

Izrada 3D modela za videoigre

Pečarić, Filip

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:216:923442>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

FILIP PEČARIĆ

IZRADA 3D MODELA ZA
VIDEOIGRE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

FILIP PEČARIĆ

IZRADA 3D MODELA ZA
VIDEOIGRE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
Prof. dr. sc. Nikola Mrvac

Student:
Filip Pečarić

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

Getaldićeva 2

Zagreb, 15. 9. 2023.

Temeljem podnijetog zahtjeva za prijavu teme diplomskog rada izdaje se

RJEŠENJE

kojim se studentu/ici Filipu Pečariću, JMBAG 0128063400, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada diplomskog rada, pod naslovom: Izrada 3D modela za videoigre, pod mentorstvom prof. dr. sc. Nikole Mrvca.

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. izv. prof. dr. sc. Mikota Miroslav, predsjednik/ica
2. prof. dr. sc. Mrvac Nikola, mentor/ica
3. prof. dr. sc. Pap Klaudio, član/ica



Prof. dr. sc. Klaudio Pap

Sažetak

Izrada 3D modela je proces stvaranja digitalne reprezentacije objekta u trodimenzionalnom prostoru. Postupak izrade 3D modela započinje stvaranjem geometrijskog okvira objekta u kojemu se definiraju njegove dimenzije, oblik i položaj u prostoru. Nakon što se definira geometrija objekta, sljedeći korak je dodavanje materijala i tekstura koji će dati realističan izgled modelu. Ovisno o potrebama, mogu se primijeniti različiti materijali poput stakla, metala, plastike ili drva, a mogu se dodati i teksture kao što su uzorci, slike ili slično. Nakon što se definira geometrija i materijali, slijedi dodavanje svjetla i sjene kako bi se dodatno poboljšao izgled modela. Ovo je važno kako bi se dobio dojam dubine i volumena objekta. Korištenje sofisticiranih alata za osvjetljavanje može stvoriti različite efekte poput sjena, refleksija i zasjenjenih područja. Kada se završe svi koraci izrade modela, potrebno je provesti njegovu optimizaciju kako bi se smanjio broj poligona i olakšala njegova manipulacija. To se radi pomoću softverskih alata koji se bave redukcijom poligona bez gubitka detalja. 3D modeli koriste se u različitim područjima, poput arhitekture, inženjerstva, medicine, videoigara i animacije. U ovom diplomskom radu izrađeni 3D modeli pogodni su za korištenje u industriji videoigara.

U ovom radu izrada 3D modela odvijat će se u program *Blender*. *Blender* je *open-source* program za izradu 3D modela i animacija. Za izradu geometrije modela koristit će se prostor za modeliranje i digitalno kiparstvo. Izrada tekstura odvijat će se u UV prostoru *Blender* programa. Tehničke teksture (UV mape, *Height* mape) i materijali biti će ručno napravljeni i povezani sa modelom. Optimizacija modela također će se odvijati u *Blender*. Model će pratiti *low-poly* filozofiju izrade modela i biti će visoko stiliziran i kao takav biti prikazan u konačnoj slici.

Cilj ovog diplomskog rada je istražiti i proučiti proces izrade stiliziranog 3D modela za korištenje u video igrama. Poblje objasniti tehnologije koje se koriste, mape tekstura, UV mape, *cavity* mape, normalne mape i ostale tehnike i tehnologije koje se koriste za izradu konačnog proizvoda i izgleda 3D modela. Također, cilj je napraviti vlastiti model prema spoznajama koje su dobivene iz istraživanja.

Ključne riječi: *Blender*, Modeliranje, optimizacija, UV mapa, tekstura

Abstract

Creating a 3D model is the process of generating a digital representation of an object in three-dimensional space. The process of creating a 3D model begins with establishing a framework for the object, defining its dimensions, shape, and position in space. Once the geometry of the object is defined, the next step is to add materials and textures to give a realistic appearance to the model. Depending on the needs, various materials such as glass, metal, plastic, or wood can be applied, and textures such as patterns, images etc. can be added. After defining the geometry and materials, the next step is to add lighting and shadows to further enhance the model's appearance. This is important to create a sense of depth and volume for the object. Various effects like shadows, reflections, and shaded areas can be create using sophisticated digital lighting tools. Once all the steps in creating the model are completed, it is necessary to optimize it by reducing the number of polygons and making manipulation easier. This is done using software tools that handle polygon reduction without losing details. 3D models are used in various fields such as architecture, engineering, medicine, video games, and animation. In this thesis, the 3D models created are suitable for use in the video game industry.

In this work, the creation of 3D models will take place in the „Blender“ program. Blender is an open-source program for creating 3D models and animations. Making of the model's geometry will be done in Blender's modeling and digital sculpting workspace. Texture creation will take place in Blender's UV space. Technical textures (UV maps, height maps) will be manually created and linked to the model. Model optimization will also be done in Blender. The model will follow the low-poly philosophy of model creation and will be highly stylized, as it will be presented in the final image.

The aim of this thesis is to explore and study the process of creating a stylized 3D model for use in video games. It aims to provide a detailed explanation of the technologies used, such as texture maps, UV maps, cavity maps, normal maps, and other techniques and technologies used in the creation of the final product and the appearance of the 3D model. Additionally, the goal is to create a custom model based on the knowledge obtained from research.

Keywords: Blender, Modeling, Optimization, UV Mapping, Texture

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Teorijski dio.....	2
2.1.	Povijest modela u videoigrama.....	2
2.2.	Povijest i razvoj programa Blender.....	3
2.3.	Izrada 3D modela.....	5
2.3.1.	Primitivni oblici u modeliranju.....	5
2.3.2.	Modeliranje poligonima.....	6
2.3.3.	NURBS modeliranje.....	7
2.3.4.	Digitalno kiparstvo.....	8
2.3.5.	<i>Box modeling</i>	9
2.4.	UV mape.....	10
2.4.1.	Tehnike UV mapiranja.....	10
2.5.	PBR materijali u 3D modeliranju.....	12
2.6.	Mape svojstava modela.....	13
2.6.1.	Mapiranje boja.....	13
2.6.2.	<i>Displacement</i> mape.....	13
2.6.3.	<i>Bump</i> mape.....	13
2.6.4.	Normalna mapa.....	14
2.7.	<i>Ptex</i> metoda.....	15
2.8.	Korištenje programa Blender.....	16
2.8.1.	Korisničko sučelje.....	16
3.	Eksperimentalni dio.....	21
3.1.	Proces izrade modela.....	21
3.1.1.	Radni tok izrade modela.....	21
3.1.2.	Izrada koncepta modela.....	22
3.1.3.	Planiranje izrade mreže modela.....	23
3.1.4.	Izrada modela drvene drške.....	24
3.1.5.	Izrada modela oštrice.....	25
3.1.6.	Izrada modela ornamenta glave.....	26
3.1.7.	Modeliranje lanaca.....	28
3.1.8.	Modeliranje detalja na topologiji modela.....	29
3.2.	Optimizacija topologije modela.....	30
3.3.	Izrada tekstura modela.....	33
3.3.1.	Povezivanje datoteka.....	33

3.3.2.	Izrada blokova boja.....	34
3.3.3.	Ručno bojanje tekstura.....	35
3.3.4.	Generiranje AO mape	36
	<i>Slika 29. Generirana AO mapa modela.....</i>	<i>36</i>
3.3.5.	Izrada maske za metalna svojstva.....	37
4.	Rezultati i rasprava	38
4.1.	Konačan model.....	38
5.	Zaključak	39
6.	Literatura.....	40
7.	Popis slika	41

1. Uvod

U svijetu digitalne umjetnosti, videoigara, animacija, arhitekture i filma 3D modeli se koriste kao osnovni alat koji digitalni svijet, objekte i likove prenosi u stvaran svijet. Ovim procesom stvaraju se digitalni predstavnici stvarnih ili izmišljenih objekata koji umjetnicima omogućuju njihovo manipuliranje i prilagođavanje posebnim uvjetima samog projekta. Ovi 3D modeli, od kojih je svaki posebno kompleksan, čine kohezivnu cjelinu koja se koristi za izradu vizualno zadivljujućih prikaza u digitalnom svijetu. Među brojnim programima za izradu 3D modela i animacije ističe se *Blender* koji svojim *open-source* konceptom privlači brojne digitalne umjetnike. *Blender* je uz pomoć zajednice koja ga koristi postao jedan od neprepoznatljivijih programa za 3D modeliranje.

U ovom diplomskom radu *Blender* će se koristiti za izradu modela za videoigru. Na odabranoj tematici biti će prikazan proces izrade modela koji počinje njegovim vizualnim konceptom. Nakon toga biti će opisan proces manipulacije osnovnih digitalnih geometrijskih tijela u željene oblike, njihovo optimiziranje, teksturiranje i grafička dorada, te same tehnike i značajke programa koje su u cijelom procesu korištene.

Cilj ovog diplomskog rada je dokazati da je izrada potpunog i optimiziranog 3D modela koji se može koristiti u brojnim industrijama zabave moguća koristeći *Blender* i sve opcije koje program nudi, koristeći program *Photoshop* za grafičku doradu tekstura modela.

2. Teorijski dio

2.1. Povijest modela u videoigrama

Sami početci izrade 3D modela za videoigre mogu se pratiti do 1970-ih godina kada je bila napravljena prva interaktivna grafika. Međutim, tek su 1980-ih prvi puta za izradu videoigre bili korišteni modeli. Tako su se za izradu igre *Battlezone* (1980) koristili primitivni modeli za malim brojem lica i poligona, što je i dalje bilo tehnološko postignuće s obzirom na tadašnju računlanu tehnologiju.

Razvojem tehnike koja je omogućavala stavljanje tekstura na modele (*texture mapping*) 90-ih godina prošloga stoljeća proizvođači videoigara počeli su navedenu tehnologiju koristiti za izradu realističnih modela. Videoigre kao „*DOOM*“ (1993). Među prvima su počele koristiti 3D modele u svojim vizualnim prikazima, iako 3D tehnologija nije bila dovoljno razvijena, pa su se morali koristiti 2.5D metodama prikazivanja.

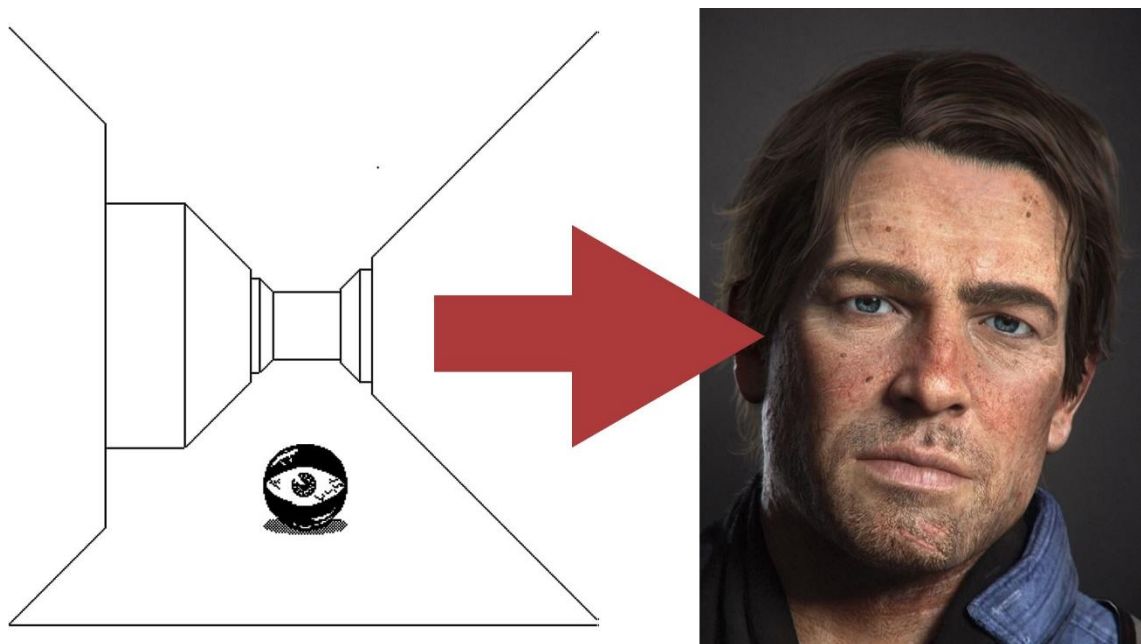
Brzim razvijanjem računalne tehnologije otvaranju se mogućnosti korištenja pravih 3D modela u digitalnim svjetovima. Tako je Sony i njihova Playstation konzola za videoigre zaslužan za prave začetke korištenja 3D modela u videoigrama, jer su koristili hardver koji je u stvarnom vremenu mogao prikazivati 3D modele sa povezanim teksturama i 3D okolinom. Ovaj veliki korak u industriji videoigara otvorio je vrata brojnim umjetnicima te pokrenuo lavinu ideja i mogućnosti. [1] [2]

Eksponencijalnim rastom računalne tehnologije i memorije pojavljuju se videoigre u kojima se nalaze modeli sa velikim brojem lica i teksturama visoke razlučivosti. Mogućnost procesiranja veoma velike količine podataka dovodi do integracije tehnologija kao što je *motion capture* u proces izrade animacije modela, skeletne strukture modela postaju detaljnije, pokreti prirodniji, a cijeli ekosustav videoigara kompleksniji i sličniji stvarnosti. Najbolji primjer ovoga je „*Half-Life*“ (1998) koju je proizveo *Valve*. Upravo su se u ovom razdoblju razvoja počeli javljati programi za modeliranje koji nisu bili namijenjeni isključivo u CAD (Computer aided design) vrhe, kao što su Autodesk-ov 3DS Max i Maya. [3]

2000-ih pojavljuju se videoigre sa otvorenim svjetovima, odnosno nelinearnim pričama, koje igračima daju dotad neviđenu količinu slobode što se tiče kretanja i napredovanja. Dotad neviđena snaga računala omogućila je razvoj igara kao što su „*The Elder Scrolls*“ i „*Grand Theft Auto*“ serijali timova „*Rockstar Games*“ i „*Bethesda Softworks*“ koji se danas smatraju začetnicima igara sa otvorenim svijetom.

Brzim napretkom grafičke tehnologije kasnih 2000-ih i mogućnost brzih proračuna svjetlosti i sjena u animacijama i videoigrama dovodi do razvoja igara koje su iznimno realistične. Igre kao „*Battlefield*“ serijal gotovo zamućuju granicu stvarnosti i animacije koristeći najmoderniju tehnologiju za Animiranje objekata u okolišu i lika igrača.

Konačno, 2010-ih godina pojavljuje se koncept umjetne stvarnosti i proširene stvarnosti (VR i AR) koji u potpunosti uklanjaju granicu stvarnosti i digitalnog svijeta. Koristeći moderne senzore i kamere na pametnim uređajima, digitalni objekti mogu se projicirati u stvaran svijet te biti interaktivni u digitalnom obliku. Najpopularniji primjer ovakvog načina interakcije je „*Pokemon GO*“ iz 2016. godine. [4]



Slika 1. *Maze War* (1974.) uspoređen sa *Red Dead Redemption 2* (2018.)

2.2. Povijest i razvoj programa *Blender*

Blender je računalni program za 3D modeliranje objekata koji se mogu koristiti u videoigrama, animacijama i filmova i ostale procese povezane digitalnom umjetnošću. Razvoj projekta je započeo 12.01.1994, no tadašnja inačica programa nema mnogo sličnosti sa moćnim programom za modeliranje koji se koristi danas. Nizozemac Tom Roosendaal napravio je program za izradu animacija za svoj NeoGeo studio. Prve inačice softvera nosile su naziv *Traces* Roosendaalova ideja bila je da *Traces* bude

dostupan svima i da svi mogu u njemu raditi, neovisno o količini znanja o izradi i manipulaciji 3D modela i animacija.

„Blender“ kao trajni identitet nastaje 1995. godine. Naziv je igra riječi na engleskom jeziku (*Blend*; mješati), pošto je Roosendaal za izradu svojih animacija i umjetnina „mješao“ različite elemente u programu.

Blender 1.0 bila je prva javno dostupna verzija programa objavljena 1998. godine, pri čemu je mišljenje korisnika i tržišta prema samome programu i njegovoj funkcionalnosti bilo miješano dobrim i lošim komentarima. 2002. godine nastala je grupa *Blender Foundation* čiji je cilj bio održavanje i unaprjeđivanje programa i zagovaranje za programe otvorenog tipa (*open-source*). Iste godine pokrenuta je kampa za javno financiranje programa pod nazivom *Free Blender* koja je omogućila da program bude objavljen pod licencom slobodnog softvera (GPL (*General Public Licence*)), što je omogućavalo korisnicima potpunu kontrolu i mogućnost nadogradnji. Tako je većinu posla pri razvoju i unaprjeđivanju programa preuzela zajednica korisnika, koja se sastojala od programera, ljudi razvojnog djela softvera, umjetnika i hobista.

Jedan od najznačajnijih koraka razvoja programa *Blender* bila je implementacija samostalnog sustava za renderiranje realističnih digitalnih vizuala. Prva verzija ove značajke programa izdana je pod nazivom *Blender Internal Render Engine*, no kasnije je zamijenjena inačicom *Cycles*, koja je nudila još bolju kvalitetu rendera.

Najveće organizacijske promjene i promjene korisničkog iskustva i sučelja napravljene su u verziji *Blender 2.5*, gdje se promijenio vizualni identitet *Blendera*. Također, predstavljene su i različite radne površine (*Workspaces*) koji su korisnicima omogućavali brzo biranje između radnih površina programa koje su konfigurirane za različite zadaće; npr. modeliranje, digitalno kiparstvo, animiranje ključnim točkama, postavljanje tekstura, UV mapa i sl.

S vremenom je *Blender* postao svojevrsni standard industrije u području besplatnih programa za 3D modeliranje. Prolaskom vremena i velikim brojem novih inačica programa koje donose nove mogućnosti, snagu *Blendera* prepoznala je i sama 3D industrija. Stoga su brojni 3D umjetnici i manji studiji za proizvodnju animacija i videoigara počeli koristiti *Blender* u svojim poslovnim procesima. 2019. godine tvrtka „*Epic Games*“, koja je jedna od najvećih distribucijskih platformi za videoigre, donirala 1,2 milijuna dolara zajednici *Blender Foundation* za daljnji razvoj programa.

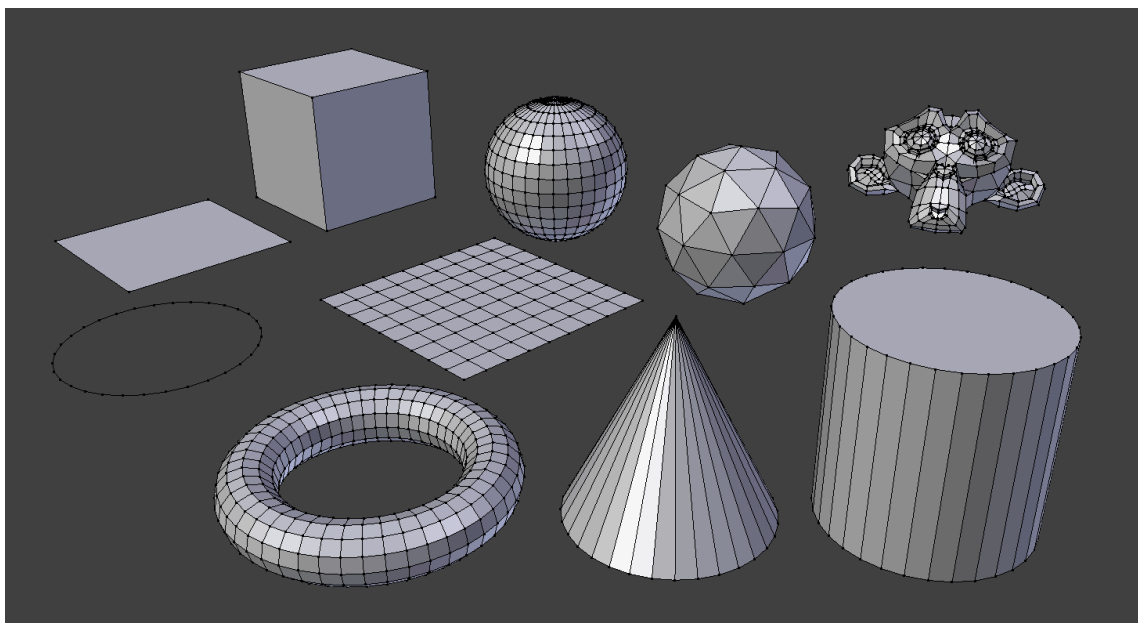
Tako *Blender* polako postaje jedan od najtraženijih i najkvalitetnijih programa za izradu 3D digitalnih proizvoda. [5] [6]

2.3. Izrada 3D modela

Izrada 3D modela je proces stvaranja i manipulacije 3D modela koji pomoću geometrije predstavlja 3D objekt u digitalnom okruženju. Razvojem programa za izradu 3D modela, javile su se i različite tehnike proizvodnje.

2.3.1. Primitivni oblici u modeliranju

Primitivi su osnovni geometrijski oblici koji se koriste za manipulaciju i izradu kompleksnijih oblika i modela. Ovi oblici sastoje se od lica, rubova i točaka. Kada se lica manipuliraju u željeni oblik, treba obratiti pažnju a oblike lica koji ostaju nakon manipulacije. Generalno, kada dolazi do pretvaranja modela u određeni format za korištenje u drugom programu, sva lica na modelu pretvorena su u trokute (eng. *triangles*, *tris*). Tako se u procesu modeliranja svi modeli pokušavaju svesti na trokute ili nepravilne kvadrate (eng. *quads*). Osnovni primitivi u programu *Blender* su ploha, kocka, krug, UV sfera, *icosphere*, cilindar, stožac, torus, mreža, i primitivni oblik motiva majmunske glave pod imenom *Suzanne* koji se često koristi za ispitivanje tekstura na modelu. Koristeći navedene primitivne materijale i njihovom kombinacijom i manipulacijom, 3D umjetnik može napraviti gotovo beskonačan broj oblika i modela.



Slika 2. Navedeni primitivni oblici u programu *Blender*

2.3.2. Modeliranje poligonima

Poligoni se sastoje od točaka, rubova i lica koja se mogu koristiti za izradu 3D modela. Sastoje se od jednog lica koje je omeđeno točkama, te su te točke povezane rubovima. Najčešće je poligon omeđen sa tri točke i tri ruba, no neke geometrije modela zahtijevaju poligone omeđene sa više točaka i rubova. Spajanjem više lica u jedno moguća je njihova manipulacija u digitalnom 3d prostoru. Na taj način dobiva se mreža koja omeđuje 3D model i definirane njegov volumen u 3D prostoru. Orijehtacija lica definirana je normalom na površinu lica. Poznavanje orijentacije lica važno je zbog postavljanja tekstura na model, pošto će greške u orijentaciji dovesti do neželjenih rezultata pri formiranju UV mape i postavljanja tekstura. Također, normale služe za računanje kuta loma svjetlosti prilikom stvaranja konačnog modela. Više lica koja su povezana u cjelinu, ali nisu zatvorena, odnosno dva ili više ruba nemaju zajedničke točke nazivaju se ljuske. Obično se ljuske koriste za optimizaciju UV mape. Ljuske se iz gotovih modela dobivaju dodavanjem šavova koji zatvorenu ljusku (model) režu i razdvajaju. Dijagram 1. prikazuje hijerarhiju komponenti poligonalnog modela. [7]

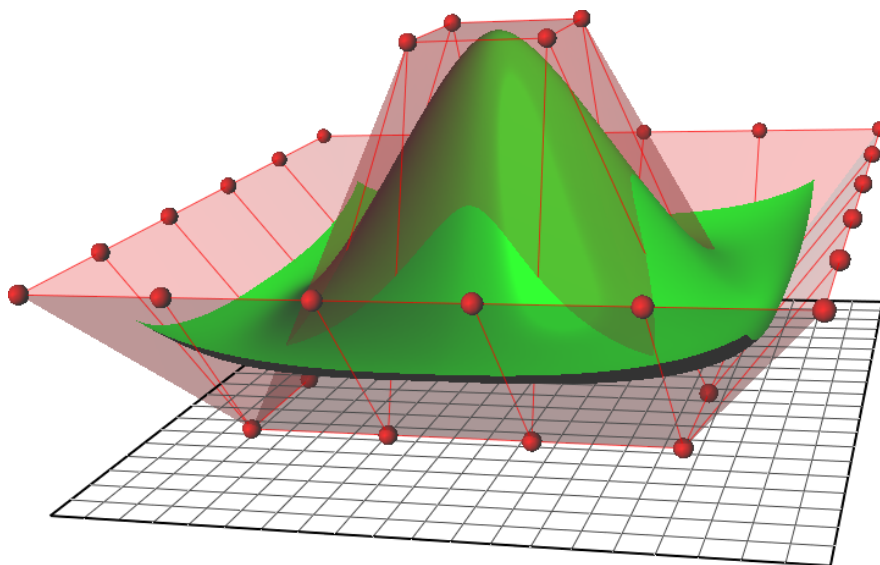


Slika 3. Hijerarhija poligonalnog modela

2.3.3. NURBS modeliranje

NURBS (eng. *nonuniform rational B-spline*) modeliranje za izradu 3D modela koristi krivulje i njihove kontrolne točke, odnosno vrhove. Površine NURBS krivulje baziraju se na Bezierovim krivuljama. Ovakva vrsta modeliranja proizvodi površine koje su glatke i bez nazubljenih rubova zasebnih lica površine modela. Dodavanjem dodatnih kontrolnih točaka može se mijenjati oblik krivulje bez pojavljivanja neravnina i nazubljenosti.

NURBS modeliranje koristi se u industrijama gdje je potrebno napraviti kontinuirano kvalitetne i glatke površine. Zbog same prirode izrade modela vrlo je jednostavno teksturirati površinu. Za razliku od modeliranja poligonima, NURBS modeliranje koristi značajno manje pohrane podataka na računalo. Modeliranje poligonima, pogotovo izrada modela sa velikim brojem poligona, može zauzimati mnogo memorije. Modeliranje poligonima za zaglađivanje površina koristi *smooth* modifikator, koji povećava broj poligona na površini modela. NURBS modeli nemaju ravne poligone, te stoga nema potrebe za ogromnom količinom podataka koji opisuju svaku poziciju na modelu, već se spremaju samo kontrolne točke, njihove interakcije i parametrički podatci. [8]



Slika 4. Princip rada NURBS modeliranja

2.3.4. Digitalno kiparstvo

Proces digitalnog kiparstva povezan je sa modeliranjem uz pomoć poligona. Međutim, zbog načina manipulacije lica na površini modela smatra se zasebnom tehnikom modeliranja. Proces se naziva digitalno kiparstvo zbog samog procesa koji nalikuje na pravo kiparstvo koristeći digitalne alate za manipulaciju materijala koji se ponaša kao glina.

Proces digitalnog kiparstva započinje postavljanjem oblika koji donekle liči željenom konačnom rezultatu. Ako se radi o kompleksnijim modelima, ovaj dio može se napraviti i koristeći modeliranje poligonima. Kada je Umjetnik zadovoljan rezultatom, razinu detalja na modelu može povećati sa *subdivide* modifikatorom. Ovaj modifikator jedan poligon djela na određeni broj malih, pri čemu zadržava oblik uzimajući u obzir poziciju točkaka i rubova na nemodificiranom modelu.

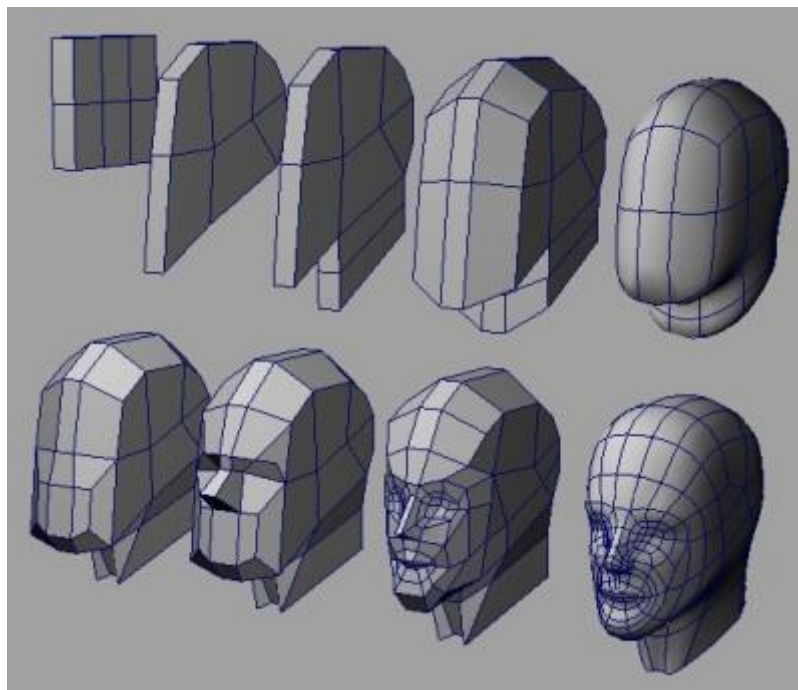
Što je veća razina detalja na modelu, broj poligona mora biti veći. *Dyntopo* opcija koju posjeduju gotovo svi programi za 3D modeliranje sa radnim prostorom za digitalno kiparstvo omogućuje brzu optimizaciju modela. Korisnik odredi gustoću mreže poligona koja se u procesu kiparstva prenosi na model. Na taj način nije potrebno povećati broj poligona na cijelom modelu, već samo na područjima gdje je to potrebno. Jedna od najvećih mana digitalnog kiparstva je upravo broj poligona na modelu, koji se kod modela visoke kvalitete može kretati u desecima milijuna poligona. Takav model sadrži ogromnu količinu podataka koje je teško procesirati i spremati. Zato se digitalno kiparstvo najčešće koristi za izradu AO mape i normalne mape, odnosno mapa sjena na modelu. Kasnije se ti podaci „peku“ na model koji je optimiziran na manji broj poligona. [7]



Slika 5. Model napravljen procesom digitalnog kiparstva

2.3.5. *Box modeling*

Box modeling još je jedna od tehnika izrade 3D modela. Za izradu modela ovom tehnikom koriste se primitivna geometrijska tijela. Njihovom manipulacijom dobivaju se modeli koji zadovoljavaju nižu razinu detalja. Ova tehnika modeliranja najčešće se koristi za izradu prototipa konačnih modela. Dodavanjem novih bridova i lica na površinu primitiva omogućuje se povećanje razine detalja na modelu. Kao i u prije navedenom procesu digitalnog kiparstva, razina detalja na modelu proporcionalno je povezan sa brojem lica na odabranom modelu. Za izradu modela ovom tehnikom potrebno je poznavati program i inačice koje omogućuju željeni oblik manipulacije geometrije. Također, potrebno je postaviti dobar plan izrade. To omogućuje odabir točnog primitivnog oblika za daljnju manipulaciju (npr. oblik ljudskog lica ne može se napraviti od torusa). Neki od najbitnijih alata u programu *Blender* za *box modeling* su *scale*, *loop cut*, *knife tool*, *extrude* i *inlay*. Navedeni alati koji se koriste u *edit mode* načinu rada 3D prikaza omogućuju dodavanje i uklanjanje rubova i lica. Kao i kod tehnike modeliranja poligonima, po završetku izrade modela potrebno je pregledati površinu i uvjeriti se da prilikom modeliranja nije ostalo praznih lica, odnosno da svaki rub zatvara minimalno dva lica.



Slika 6. Primjer *box modeling* procesa

2.4. UV mape

U procesu izrade 3D modela, svaka površina 3D objekta je definirana točkama, rubovima i licima. Međutim, kada se radi o primjeni tekstura na te površine, potrebna je 2D slika teksture. UV mapiranje je proces izrade dvodimenzionalnog plašta od određenog proja UV točaka. Te točke su dvodimenzionalne koordinate koje opisuju poligone mreže modela. Zadatak UV točaka je da uz pomoć položaja točaka na modelu i UV točaka na UV mapi određuju poziciju teksture modela.

Izraz "UV" dolazi od osi U i V koje se koriste za predstavljanje 2D prostora teksture. U programu *Blender*, proces UV mapiranja uključuje raspakiravanje površine 3D modela na 2D ravninu, odnosno stvaranje 2D površine modela nazvanu UV mapa. Svaka točka na 3D modelu povezana je s odgovarajućom točkom na UV mapi, što definira kako će se 2D tekstura primijeniti na 3D površinu.

Točno i učinkovito UV mapiranje ključno je za postizanje realističnih i vizualno privlačnih tekstura na 3D modelima. Pravilna optimizacija UV mapa osigurava da se tekstura pravilno poravnava s geometrijom i da ne izgleda iskrivljeno ili rastegnuto. Dobro optimizirana UV mapa također pomaže smanjiti istezanje teksture i artefakte slike, što može biti štetno za ukupnu kvalitetu završnog modela.

Dodatno, UV mape igraju značajnu ulogu u stvaranju efikasnih atlasa tekstura. Atlasi tekstura kombiniraju više tekstura u jednu sliku, smanjujući broj poziva za crtanje u aplikacijama u stvarnom vremenu, poput video igara. Pravilno UV mapiranje omogućava umjetnicima da efikasno spakiraju više elemenata teksture u jednu UV mapu, čime se štedi memorija i optimizira performanse. [9]

2.4.1. Tehnike UV mapiranja

Postoji nekoliko tehnika za izradu UV mapa. Svaka tehnika koristi se u određenim slučajevima i situacijama kako bi se dobila optimalna kvaliteta tekstura. Automatsko UV mapiranje u *Blenderu* u velikom broju slučajeva ne daje zadovoljavajuće rezultate jer dolazi do neželjenih deformacija prostornog razmještaja UV točaka. Bitno je napomenuti da svaka promjena na modelu, npr. dodavanje lica ili apliciranje *subdivison* modifikatora dovodi do promjene UV mape. U tim slučajevima potrebno je ponovo UV mapiranje i optimizacija 2D prostornog razmještaja UV točaka. Zbog ovoga, UV mapiranje se generalno radi nakon što je model završen i topološki optimiziran.

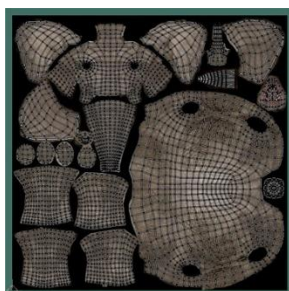
Kod automatskog UV mapiranja program pokušava pronaći najoptimalniji raspored UV točaka kako bi se osigurala najbolja kvaliteta tekstura. Ovakav tip mapiranja koristi se kod kompleksnijih modela. U procesu nastaje nekoliko UV ljski različitih dijelova modela. Ako se radi o generiranim teksturama koje ne idu na grafičku obradu, tada je ovo najbolja tehnika izrade UV mape. Međutim, ako tekstura zahtjeva dodatnu grafičku obradu, tada je potrebno optimizirati UV mapu dodavajući šavove koji povezuju zasebne ljske UV mape. Na taj način neće biti vidljivih prijelaza sa jedne ljske na drugu. Upravo će ova tehnika biti korištena u izradi modela u praktičnom djelu rada.

Cilindrično UV mapiranje stvara cilindrični plašt oko modela koji se normalno projicira na površinu modela.

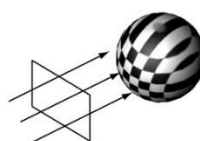
Planarno, odnosno plošno projiciranje UV točke projicira na model normalno s obzirom na odabranu plohu. Takva tehnika često se koristi za mapiranje ravnih površina. Pokušaj korištenja ove tehnike na zakrivljenim površinama na vanjskom dijelu modela rezultira deformacijama, odnosno razvlačenjem tekstura.

UV mapiranje sferama na površinu modela neravnog oblika projicira teksturu sa kugle koja omata model.

Potrebno je dobro poznavati izrade UV mapa. Odabir UV mape koja će se koristiti u procesu teksturiranja modela ovisi o izgledu, broju lica na modelu i kompleksnosti samog modela. [9] [10]



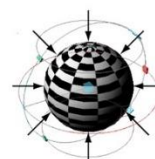
Automatsko UV mapiranje



Planarno UV mapiranje



Cilindrično UV mapiranje



Sferno UV mapiranje

Slika 7. Tehnike UV mapiranje

2.5. PBR materijali u 3D modeliranju

Fizički temeljeni materijali (eng. *Physically Based Rendering* (PBR)) čine temelj modernih 3D modela i njihovog teksturiranja. PBR materijali su dizajnirani da se ponašaju slično stvarnim, fizičkim materijalima koje simuliraju pod različitim svjetlosnim uvjetima. Ovaj pristup temelji se na principima fizike, koji diktiraju interakciju svjetlosti s različitim površinama. PBR materijali sastoje se od nekoliko povezanih mapa, od kojih svaka predstavlja različita svojstva materijala poput *albedo* (boje), hrapavosti, metala, normalnih i ambijentalnih sjena. Ove mape zajedno simuliraju interakciju svjetlosti sa površinom materijala, rezultirajući realističnijim i koherentnijim rezultatom renderiranjem.

Proceduralne teksture, koje dopunjuju fizički temeljene materijale, pružaju alternativni pristup teksturiranju bez upotrebe tekstura zasnovanih na rasterskim grafikama. Proceduralne teksture generiraju se algoritamski i nude značajne prednosti u smislu vizualne kvalitete, neovisnosti o razlučivosti i varijacijama. Umjesto korištenja unaprijed napravljenih tekstura, umjetnici mogu manipulirati parametrima unutar proceduralnih tekstura kako bi stvorili složene uzorke, površinske detalje i vizualne efekte. Ovaj pristup je posebno koristan za generiranje materijala s kompleksnim karakteristikama poput oštećenja, pukotina i složenih uzoraka koji bi bili teško precizno uhvatiti u jednoj slici.

Blender za izradu PBR materijala i tekstura koristi *Principled BSDF shader*. Ovaj *shader* uključuje bitna svojstva PBR materijala, omogućavajući umjetnicima kreiranje složenih i uvjerljivih materijala. *Principled BSDF shader* nudi klizače i postavke za kontroliranje parametara poput hrapavosti, metala i više, čineći proces kreiranja realističnih materijala intuitivnim i dostupnim širokom rasponu korisnika.

2.6. Mape svojstava modela

2.6.1. Mapiranje boja

Mapiranje boja je proces u kojemu se osnovna boja koja je zadana modelu zamjenjuje teksturom koja sadrži informacije o pozicijama različitih boja na modelu. Kada se mapiranje boja koristi u PBR procesu, potrebno je postaviti samo osnovne vrijednosti boja. Nije potrebno postavljati boju za svjetlosne vrijednosti. Također, preporuča se izbjegavanje potpuno crnih i potpuno bijelih područja na modelu.

2.6.2. *Displacement* mape

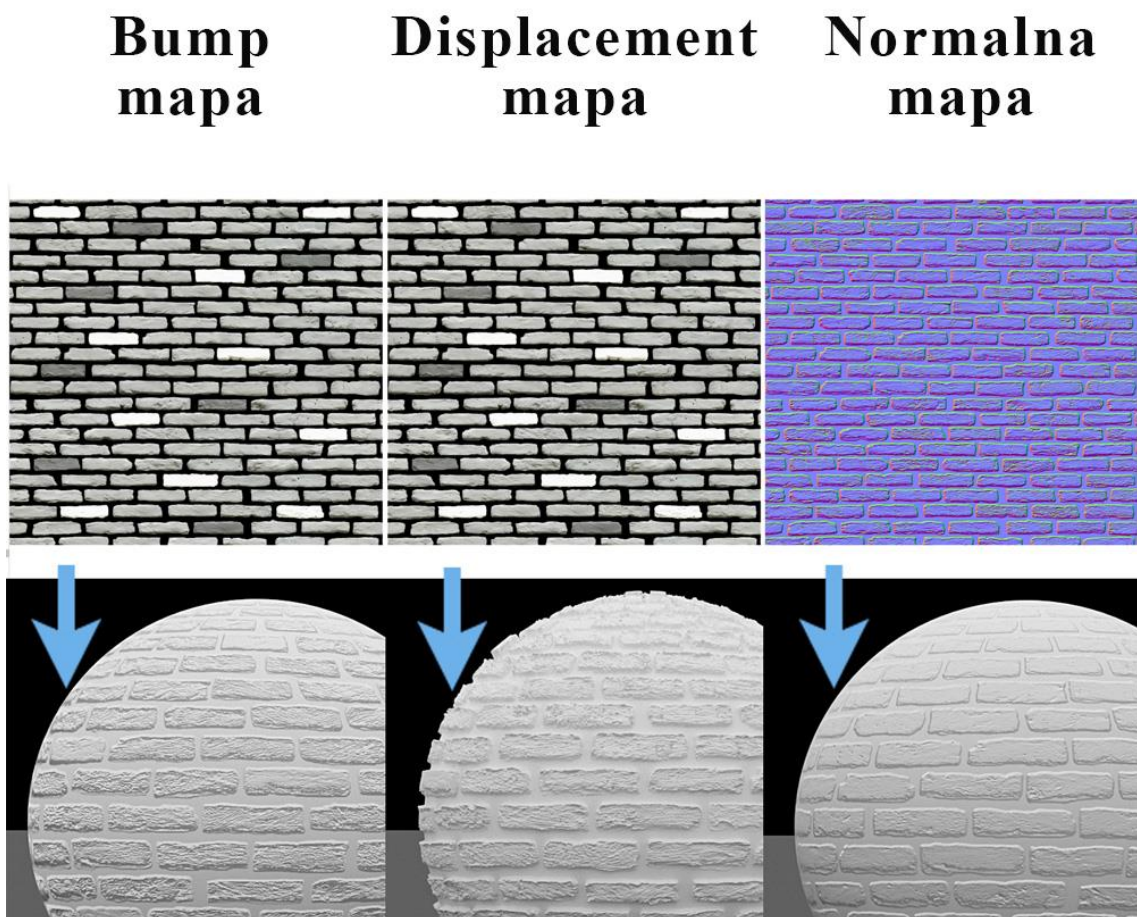
Displacement mape koriste za promjenu oblika modela sa kojim su povezane. Odstupanje područja modela od početne pozicije u 3D prostoru ovisi o svjetlini područja mape koje je povezano sa tim dijelom modela. Kako bi *displacement* bila pravilno prikazana, model mora imati veliki broj lica. Što je veći broj lica, detalji koji su zapisani na mapi biti će bolje iskorišteni i bolje vidljivi.

2.6.3. *Bump* mape

Bump mape se koriste za dodavanje svjetlosnih svojstava na model bez promjene geometrije modela, odnosno bez dodavanja lica. Interakcija sa izvorom svjetlosti *bump* mape je opisana kutom koji je okomit na zadano lice modela. Navedena mapa mijenja normalne pravce lica na modelu, što dovodi do privida promjene geometrije na površini modela. Svjetliji tonovi na mapi predstavljaju područja izbočenja, dok tamnije površine predstavljaju udubljenja. Najčešće se 50% sive boje koristi kao početna vrijednost mape. [11]

2.6.4. Normalna mapa

Normalna mapa također se koristi za promjenu interakcije površine modela sa svjetlosti bez promjene geometrije. Kod normalnih mapa vrijednost koja opisuje lom svjetla spremljena je u rasterskoj grafici gdje svaki piksel pohranjuje informacije u 3 kanala. Normalne mape vrlo često se koriste za dodavanje detalja na modele koji imaju mali broj lica. S obzirom na boju piksela rasterske grafike određuje se kut nagiba površine, što utječe na razinu svjetlosti koja dopire do određenog područja. [12]



Slika 8. Vrste mapa

2.7. *Ptex* metoda

Ptex je relativno nova metoda postavljanja tekstura na model. Ova metoda nastala je 2008. godine, a razvio ju je *Walt Disney Animation Studios*. *Ptex* metoda za sjenčanje modela ne koristi UV mapu. Umjesto UV mape, koristi se posebno razvijen *texel* sustav. Ova metoda sjenčanja omogućuje da svako lice na modelu posjeduje svoju teksturu koja je pohranjena u povezanoj *.ptx* datoteci. Ova metoda uvelike smanjuje vrijeme koje je potrebno za izradu modela, pošto nema potrebe za izradom UV mape. Također, pošto svaki poligon na mreži modela ima svoje određeno mjesto u *.ptx* datoteci nema potrebe za postavljanjem šavova na model, što na jednostavnijim modelima često traje i po nekoliko sati. [14]

Iako se *Ptex* metoda sjenčanja u nekim slučajevima čini brža i jednostavnija, tehnologija i dalje ima ograničenja. Kod *Ptex* metode nije moguće postaviti istu teksturu na više poligona. UV mape omogućavaju preklapanje poligona na datotekama koje se koriste kao tekstura. *Ptex* metoda ne dozvoljava pomicanje točaka u 2D prostoru, već su pozicije točaka fiksne. Također, *.ptx* datoteke nije moguće otvarati u programima za rastersku ili vektorsku grafiku kao što su *Photoshop* i *Illustrator*. To znači da se postavljanje tekstura na model mora vršiti u programu koji je specijaliziran upravo za takve procese kao što su *MARI*, *Mudbox*, *Substance painter* i *3D-Coat*.

Dosadašnje spoznaje upućuju na to da je *ptex* metoda povoljna za modele koji se neće dodatno sjenčati izvan procesa izrade modela, odnosno one modele koji se koriste za izradu animacija i *CGI* elemenata u filmovima. Za *Ptex* proces izrade tekstura potreban je veliki broj specijaliziranih programa i formata koji su rijetko podržani izvan procesa izrade modela, te nisu optimizirani za korištenje u videoigrama. [15]

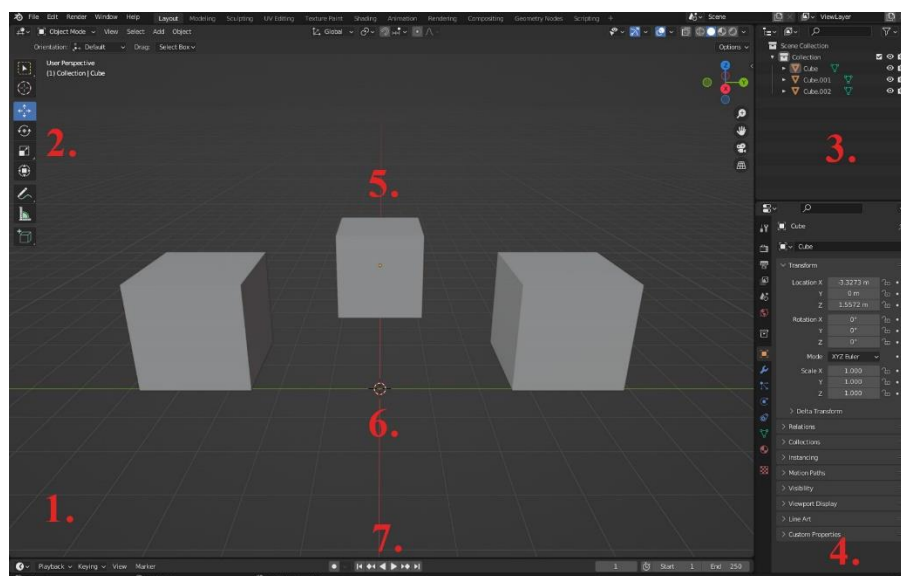
2.8. Korištenje programa *Blender*

2.8.1. Korisničko sučelje

Korisničko sučelje programa *Blender* dijeli se na više radnih površina koje se koriste za različite zadatke u toku izrade modela, animacija i sl. Osnovna radna površina je *layout* radna površina. Glavna i najveća stavka je 3D prikaz, odnosno *viewport* koji omogućuje interakciju sa željenim modelom. Korisnik se kroz digitalni 3D prostor može kretati kruženjem, pomicanjem gledišta i povećalom. Ove promjene perspektive omogućavaju laku manipulaciju modela sa svih strana.

Osnove funkcije odabira modela vrše se lijevom tipkom miša na model. Zahvaćanjem više model u prostor za odabir biti će ih odabrano više. Korištenjem CTRL+desni klik opcije korisnik može odabrati novi model pri čemu odabrani model ostaje u selekciji. Svi odabrani model biti će označeni narančastom bojom. Posljednji odabrani model, odnosno model koji program smatra „aktivnim modelom“ biti će obrubljen svijetlo-narančastom bojom.

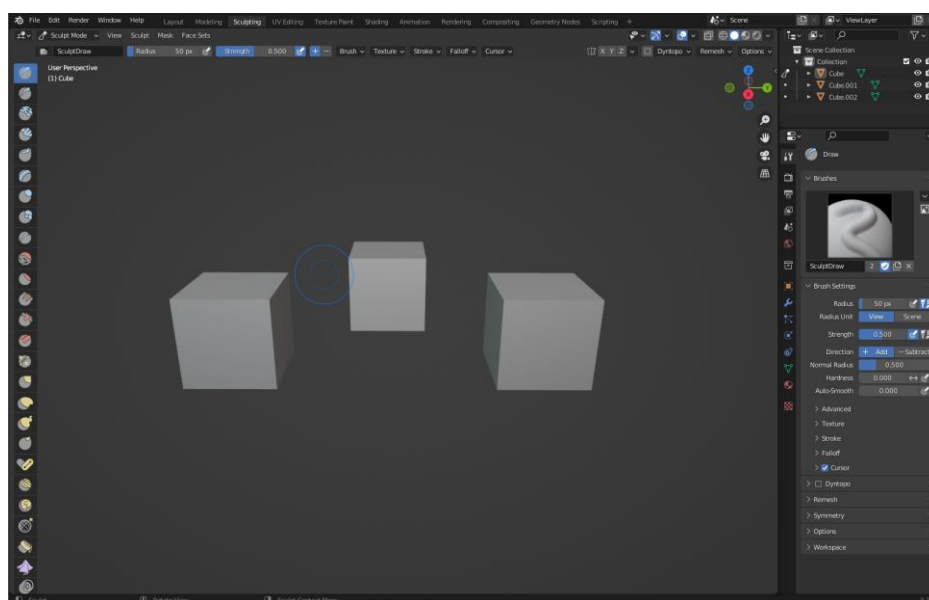
U zamišljenoj sredini 3D prostora nalazi se *3D Cursor*, alat koji se koristi za pozicioniranje novih objekata u scenu ili pozicioniranje starih objekata u relaciju sa pozicijom kursora. Pri otvaranju programa kursor se nalazi u ishodišnoj točki digitalne scene. Ostatak *layout* radnog prostora sastoji se od *outliner-a*, svojstava, vremenske trake i info ploče.



Slika 9. 1: 3D prikaz, 2: alati, 3: outliner, 4: Svojstva, 5: modeli, 6: 3D kursor, 7: Vremenska traka

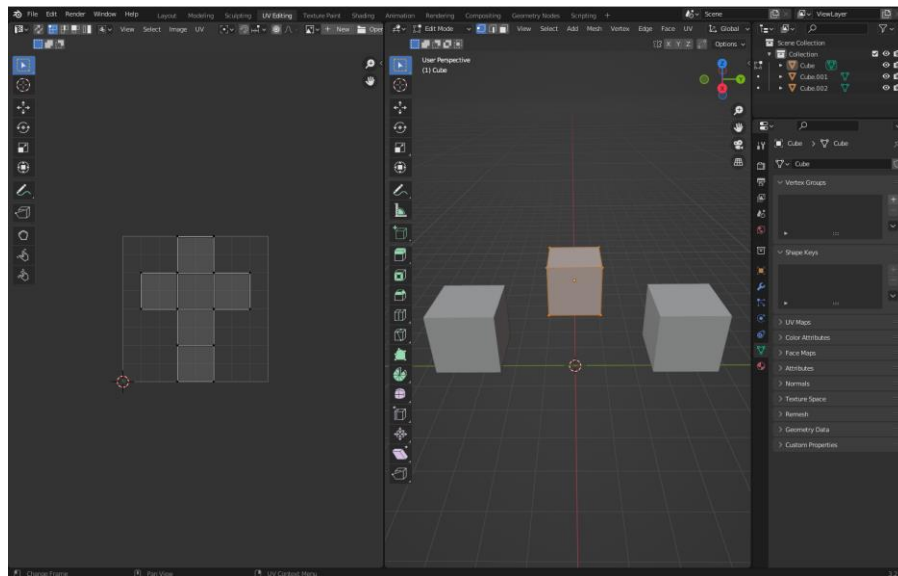
Outliner služi kao popis svih modela i komponenti koje se nalaze u zadanoj sceni. Omogućuje skrivanje neželjenih komponenti koje potencijalno smetaju tokom procesa izrade modela. Također omogućuje organizaciju modela u kolekcije, što je vrlo korisno ako korisnik radi projekt sa velikim brojem zasebnih komponenti. Radni prostor za svojstva je, uz 3D prikaz, najbitnija komponenta *layout* radnog prostora. Nudi potpunu kontrolu nad svim svojstvima komponenti projekta. Neke od opcija koje svojstva nude je: postavke kamere, postavke *lightbox* okruženja 3D scene, postavke fizičkih svojstava objekata u sceni, njihovih interakcija, postavke modifikatora modela, povezivanje materijala sa modelom, osnovna manipulacija svojstava materijala i sl. Vremenska traka koristi se za podešavanje dužine animacije i praćenje ključnih kadrova u animaciji. Info ploča sadrži opcije koje nude promjenu radnog prostora. Također nudi i osnovne opcije koje su povezani sa operativnim sustavom kao spremanje, ubacivanje i promjena formata radnog datoteke. Ostali radni prostori koji će se koristiti u izradi praktičnog djela diplomskog rada su *sculpting*, *UV editing*, *texture paint*, i *shading* radni prostor.

Radni prostor za digitalno kiparstvo, odnosno *sculpting* sastoji se od 3D prikaza digitalnog okruženja koje je podešeno za proces kiparstva. Sa lijeve strane 3D prikaza nalaze se alati koji služe za manipulaciju modela. Neki od alata su *draw*, *clay*, *smooth*, *fill* i *pinch*. Koristeći ove alate i ostale alate korisnik može na intuitivan način manipulirati oblik modela. Jedna od najbitnijih komponenti 3D prikaza za kiparstvo je *dyntopo* i *remesh* opcija koja se nalazi u gornjem desnom kutu. Ova opcija omogućuje promjenu gustoće mreže na modelu, odnosno brzo dodavanje novih lica na model. Ostatak radnog prostora sastoji se od već spomenutih Svojstava i *Outliner* prostora.



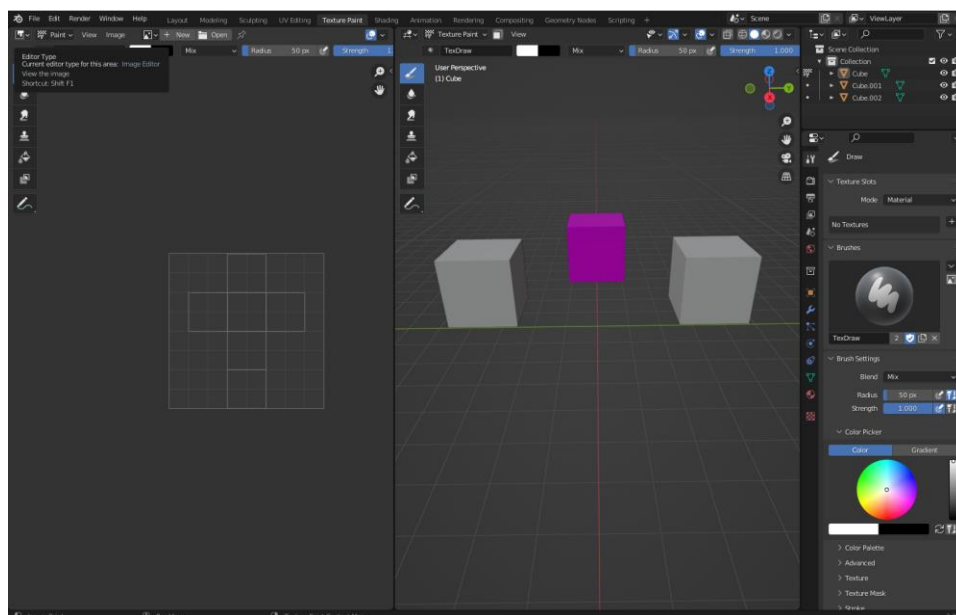
Slika 10. Sculpting radni prostor

Radni prostor za *UV editing* koristi se za izradu i optimizaciju UV mapa. Najveći dio rade površine zauzimaju *UV editor* i 3D prikaz koji je u *edit mode*-u. Ovaj način rada 3D prikaza omogućuje manipulaciju zasebnih točaka, rubova i lica na modelu. *UV editor* i 3D prikaz u ovom radnom prostoru usko su povezani. Lica koja su odabrana u 3D prikazu biti će prikazani, ali ne i odabrana u *UV editor*-u. Ovaj način rada programa omogućuje brzo prepoznavanje i mapiranje lica na UV mapu. *UV editor* u gornjem desnom kutu nudi padajući izbornik gdje se mogu mijenjati teksture koje su postavljene na UV mapu. Ta opcija je vrlo korisna ako se radi na modelu koji ima više mapa kao što su normalne mape, AO mape i mape za maskiranje određenih svojstava materijala sa UV mape. Ostatak radnog prostora sastoji se od Svojstava i *Outliner* prostora.



Slika 11. UV editing radni prostor

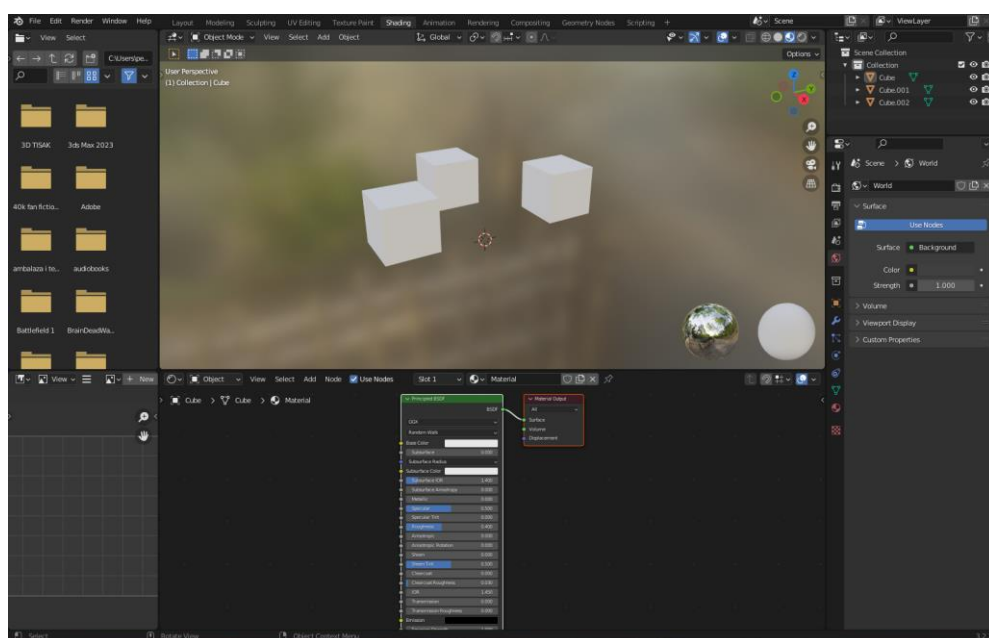
Blender također omogućuje i uređivanje ručno crtanih tekstura. U *texture paint* radnom prostoru moguće je crtati teksture. Povezivanjem materijala čiji *base color* kanal spojen sa teksturom korisnik može raditi promjene na teksturi u jednom od dva prozora: *image editor* i 3D prikazu koji je postavljen na *texture paint* način rada. Sve promjene događaju se u stvarnom vremenu, a datoteka može biti brzo i jednostavno spremljena *active tool* sekciji prozora Svojstava. Osim navedenih radnih prozora, *texture paint* radni prostor također sadrži i *Outliner* prozor.



Slika 12. Texture paint radni prostor

Radni prostor za sjenčanje modela odnosno povezivanje modela sa teksturama, atlasima i mapama za različite efekte naziva se *shading* radni prostor. Od do sada opisanih radnih prostora *shading* ima najviše radnih površina. U gornjem lijevom kutu nalazi se prostor za brzo pretraživanje datoteka koji se naziva *file browser*. Ovaj radni prostor omogućuje brzo pronalaženje različitih tekstura ili datoteka koje potrebne u procesu sjenčanja. U donjem lijevom uglu nalazi se već spomenuti *image editor*. Središnji dio radnog prostora podijeljen je na dva djela. Gornji dio je 3D prikaz čiji je početni način rada *object mode* u *material preview* načinu rada za sjenčanje. Ovaj način rada pokazuje osnovna svojstva materijala bez potrebe za renderiranjem. Koristi se u slučajevima kada je potrebno brzo namjestiti svojstva materijala. Drugi dio sredine radnog prostora zauzima *shader editor* koji je najbitniji radni prostor za izradu PBR tekstura. Koristeći čvorove (eng. *Node*) u ovom prozoru moguće je stvarati teksture koje imaju različita, miješana i nasumično postavljena svojstva. Svako svojstvo materijala može biti spojeno sa nizom kontrolnih panela koje tome svojstvu daju određen intenzitet, gustoću, veličinu itd. Upoznavajući ovaj sustav moguće je stvoriti svaki materijal koji korisnik poželi. Ostatak radne površine sastoji se od Svojstava i *Outliner* prostora.

Bitno je napomenuti da su navede radne površine postavljene od strane *Blendera* i da su samo dio radnih površina koje se mogu koristiti. Također, korisnici mogu stvarati i spremati svoje radne površine. Tako se kolikom na znak plusa u izborniku radnih površina može napraviti raspored i veličina prozora koji točno odgovaraju potrebama korisnika i koje su prilagođene za njegov način rada. [13]



Slika 13. Shading radni prostor

3. Eksperimentalni dio

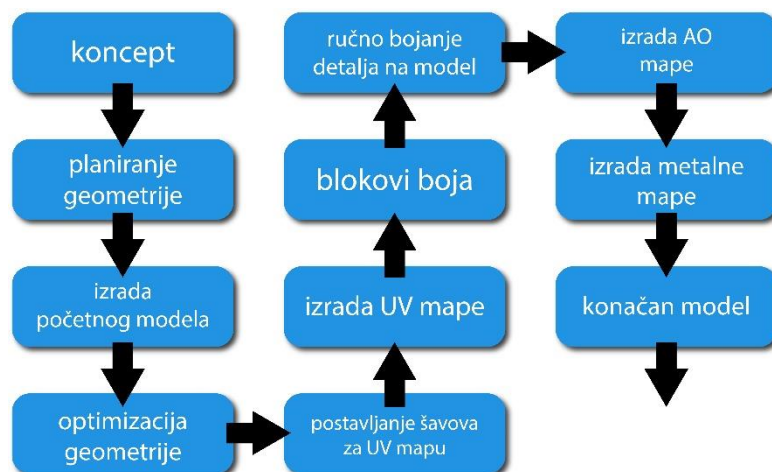
3.1. Proces izrade modela

3.1.1. Radni tok izrade modela

Izrada 3D modela za videoigre kompleksan je proces koji se izvršava u više koraka. Najčešće se cijeli proces radi u timu od nekoliko ljudi od kojih svaki ima svoju zadaću, odnosno izvršava jedan ili više od koraka u postupku.

Postupak izrade modela započinje generiranjem ideja s obzirom na zadatak i umjetnički pristup koji se koristi. Konceptualni umjetnici izrađuju vizualne reference i koncepte. Nakon odobrenja koncepta kreće izrada 3D modela koja je podijeljena u nekoliko Koraka. Cijeli proces započinje planiranjem izrade, odnosno prepoznavanjem geometrije koja će biti najoptimalnija za izradu modela. Ova praksa je poželjna jer će skratiti postupak optimizacije modela za sjenčanje i dodavanje tekstura. Nakon ovog koraka kreće izrada modela. Koristeći alate za manipulaciju geometrije objekta umjetnik osnovne modela (primitive) modelira u konačni oblik. Po završetku modeliranja geometrija modela se optimizira i priprema za izradu UV mape. Za ovaj korak potrebno je poznavati načela UV mapa kako bi se osigurala najbolja kvaliteta teksture. Koristeći primjerene alate umjetnik „reže“ model na zasebne ljske. Početna projekcija točaka modela na UV mapu najčešće se radi automatski, te se kasnije točke razmještaju po površini UV mape. Nakon izrade UV mape kreće proces izrade tekstura i, ako je potrebno, dodavanja PBR materijala na birane površine modela. Ako se radi o modelu koji je statičan, odnosno nije animiran, ovdje završava proces izrade. Model se sprema u željeni izvorni format i predaje se drugim timovima sa svim potrebnim rasterskim grafikama.

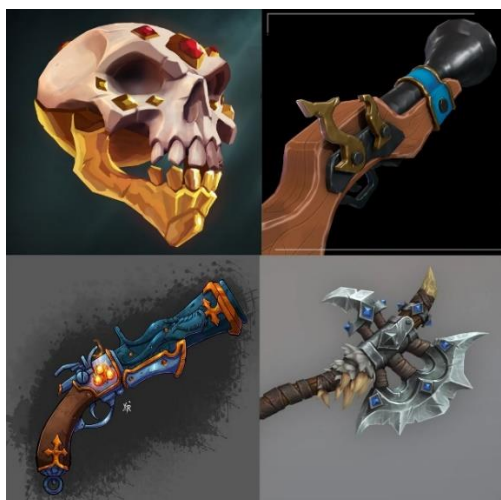
Ako se radi o modelu koji je animiran, što su najčešće digitalni prikazi stvorenja, likova ili mehaničkih komponenti, idući korak u izradi je postavljanje kostura za animaciju, proces koji se naziva *rigging*. Na željene točke na ili u modelu postavljaju se kontrolne točke za animaciju, odnosno kostur modela. Kontrolne točke povezuju se sa uputama za animaciju koje sadržavaju informacije o položaju svake kontrolne točke u 3D prostoru. Nakon izrade kostura i povezivanja sa animacijama model je gotov, pretvara se u željeni format i zajedno sa svim potrebnim datotekama stvara cjelinu koja se može koristiti u videoigrama ili animacijama.



Slika 14. Proces planiranja i izrade modela

3.1.2. Izrada koncepta modela

Ovisno o potrebama studija koji proizvodi konačan proizvodi, koncept može biti vrlo kompleksan. Zadatak ovog projekta je napraviti model stilizirane sjekire. Kao umjetnički pravac koristiti će se stil ručno crtanih tekstura. Najbitnije značajke ovog stila su teksture koje su ručno bojane na rastere za teksturu, donosno *albedo* (*diffuse*, *color*) komponentu sjenčanja modela. Određeni programi, kao *Blender*, omogućuju bojanje tekstura na model u jednom od radnih prostora, što se odmah sprema na raster za *albedo*. Ako je potrebno, koristeći PBR materijala moguće je postaviti dodatna svojstva materijala kao što su metalni odsjaj, raspršivanje svjetla i sl. Neke od videoigara koje koriste ovaj stil sjenčanja su *World of Warcraft* serijal, *League of legends* i *Sea of Thieves*.



Slika 15. Umjetnički smjer i inspiracija

Kao inspiracija za izgled modela sjekire koristiti će se priče iz knjiga pisca H.P. Lovecraft. Lovecraft je začetnik žanra kozmičkog horora. Ovaj žanr opisan je stanjem melankolije, straha i psihoze koja je uzrokovana nadnaravnim bićima. U nekoliko njegovih djela spominje se mitsko čudovište *Cthulhu*. Ovo mitsko čudovište predstavlja strah od nepoznatih morskih dubina. „*It seemed to be a sort of monster, or symbol representing a monster, of a form which only a diseased fancy could conceive. If I say that my somewhat extravagant imagination yielded simultaneous pictures of an octopus, a dragon, and a human caricature, I shall not be unfaithful to the spirit of the thing.*“ [16]. Iako H.P. Lovecraft u svojim knjigama rijetko daje opis mitskom čudovištu, najčešće karakteristike su povezane sa morskim stvorenjima kao što su lignje i hobotnice. Zbog navedenih stavki model će biti ukrašen motivima mora, odnosno pipcima, perajama, drvetom starih potonulih brodova i ostalim povezanim motivima. Proces izrade koncepta započinje crtanjem osnovnog izgleda modela. [16] Nakon toga, dodaju se boje koje će se koristiti te se dodaju završni detalji na sam crtež.



Slika 16. Proces izrade Vizualnog koncepta

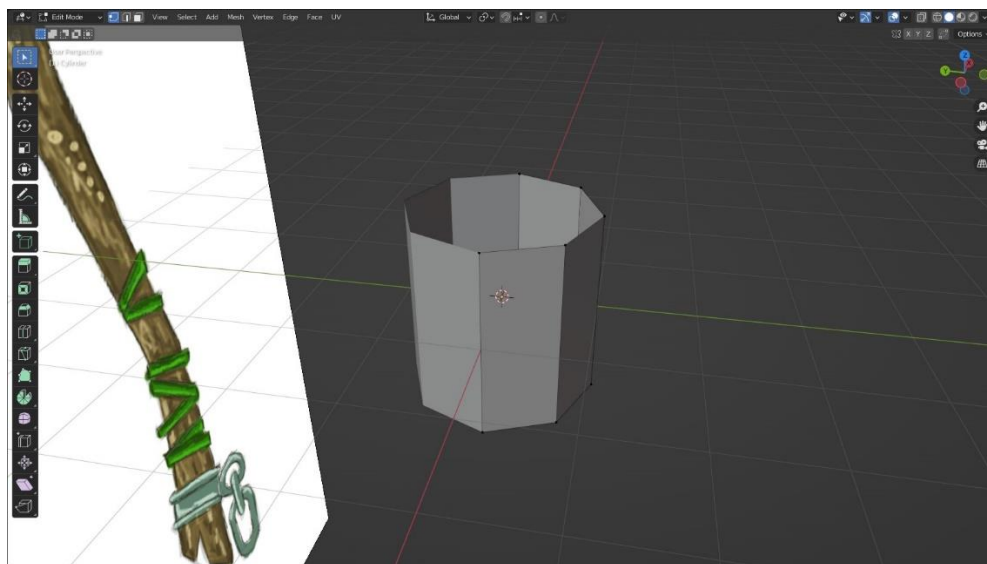
3.1.3. Planiranje izrade mreže modela

Često su modeli koji se koriste u videoigrama izrazito kompleksni. Iako je model koji se izrađuje za ovaj diplomski rad jednostavniji, potrebno je napraviti plan izrade svih komponenti modela. Model će biti podijeljen u nekoliko dijelova: Drvena drška, oštrica, motiv koji spaja dršku i oštricu, te različite detalje koji se nalaze na model. Potrebno je pratiti pozornost na smještaj rubova i točaka na modelu, kako bi se mogla provesti jednostavnija optimizacija modela.

3.1.4. Izrada modela drvene drške

Koristeći opciju za ubacivanje novih elemenata u scenu je postavljena konačna slika koncepta. Ova slika služi za vizualnu referencu. Namještanjem slike na u prostor na način da je normala slike paralelna sa Y osi 3D prostora. Orijentacija slike i modela ključna je za olakšavanje procesa izrade modela i sjenčanja.

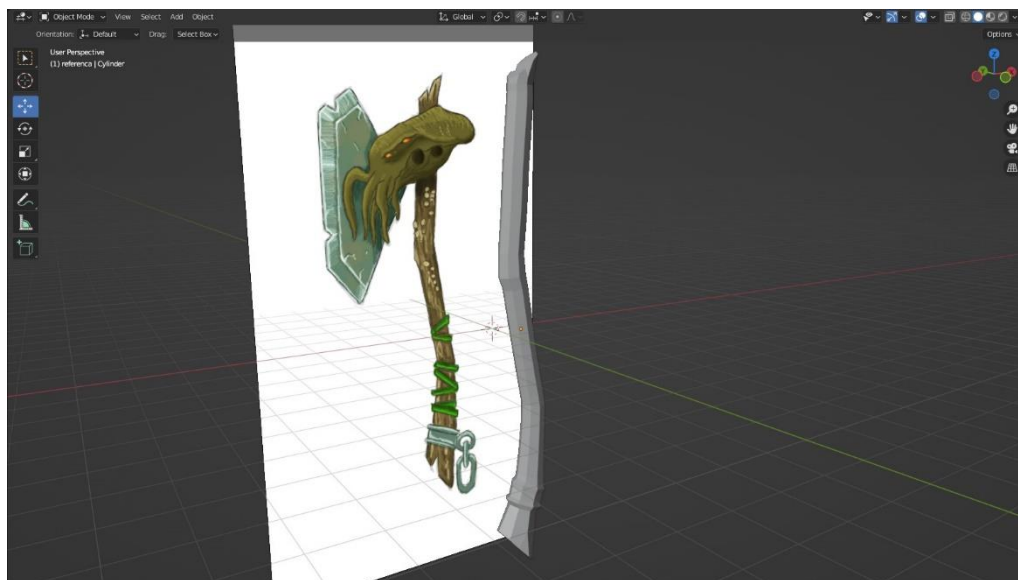
Proces izrade drške započet je ubacivanjem cilindra od 8 segmenata. Cilindar je postavljen u 3D prostor na način da se na pola kroz X os 3D prostora. Koristeći *edit mode* način rada 3D prostora odabrane su određene točke koje su izbrisane. U radnom prostoru svojstava odabran je izbornik *modifier* te je postavljena opcija modificiranja koja omogućuje da se isti objekt zrcalno projicira s obzirom na odabranu os ili objekt. U ovom slučaju odabrana je opcija da se model projicira preko X osi iz središta scene. Ovaj postupak omogućuje lakšu manipulaciju objekta koja zahtjeva manipulaciju samo na jednoj strani modela.



Slika 17. Početni model drvenog dijela sjekire

Model je trenutno otvorena ljuska, odnosno cilindar koji nema dvije stranice. Za manipulaciju modela koristi se radni prostor *edit mode*. Koristeći *extrude* alat moguće je kopirati točke i smješati ih u 3D prostor. Točke automatski stvaraju rubove i stranice gdje je to moguće. Koristeći *rotate* alat točke se mogu rotirati oko zamišljenog centra ravnoteže. Također, koristeći alat *scale* točke ili dijelovi modela mogu se proporcionalno smanjivati i povećavati iz točke ravnoteže. Pažljivom manipulacijom točaka stvara se model kojemu je referenca crtež koji se nalazi iza modela.

Model i dalje nije zatvoren. Odabравši bridove koji opisuju stranicu koju je potrebno zatvoriti i koristeći *fill* opciju generira se stranica na željenom mjestu. Na referencama model ima određene ukrase koji asociraju na prelomljeni dio drveta. Dodavajući nove rubove na model koristeći *knife tool* omogućuje se dodatna manipulacija modela. Dodavanjem detalja i zatvaranjem ljuske prva komponenta modela je završena.

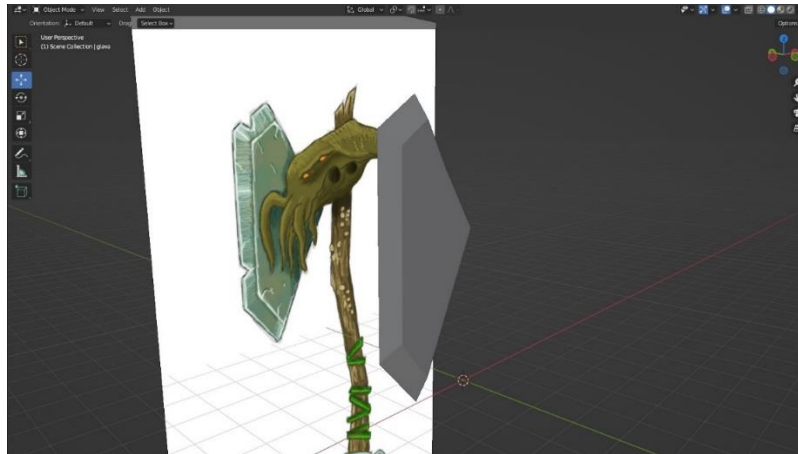


Slika 18. Konačni oblik drške sjekire

3.1.5. Izrada modela oštrice

Za izradu oštrice potrebno je napraviti plohu koja se daljnjim manipulacijama pretvara u 3D objekt. Izrada započinje dodavanjem jedne točke u izborniku za dodavanje elemenata u scenu. U *edit mode* načinu rada 3D prostora koristeći *extrude* alat točka se duplicira i kopija se premješta na željenu poziciju. Daljnjim manipulacijama točaka stvara se obris oštrice. Zahvaćanjem svih točaka na obrisu oštrice prostor između točaka ispunjava se koristeći *fill* funkciju. U ovom trenutku procesa oštrica nije 3D model, nego 2D ploha. Iz jednostavnih 2D oblika mogu se stvoriti 3D objekti pomoću *solidify* modifikatora. Aktiviranjem *solidify* modifikatora parametar *offset* stavlja se na vrijednost 0.000. Postavljanjem opcije za debljinu modela i odabirom osi za ekstruziju modela u željenom smjeru doba se 3D model oštrice čija centralna os prolazi kroz sredinu oštrice. Korištenjem *knife tool* alata u *edit mode* načinu rada dodaju se novi bridovi koji su potrebni za dobivanje željenog modela. Model se reže na pola ovisno o potrebama daljnjeg procesa. Koristeći *mirror* modifikator model se duplicira na način

da originalni model i zrcalna projekcija čine cjelinu. Bitno je da tijekom procesa u izborniku *mirror* modifikatora bude uključena opcija *clipping*. Ova opcija ne dozvoljava točkama da prijeđu preko granice zamišljene plohe koja model dijeli na pola. Na taj se način točke oštrice koji opisuju vrh oštrice mogu spojiti u jednu točku koja se nalazi na samoj plohi koja dijeli model. Manipulirajući određene točke model oštrice je završen.



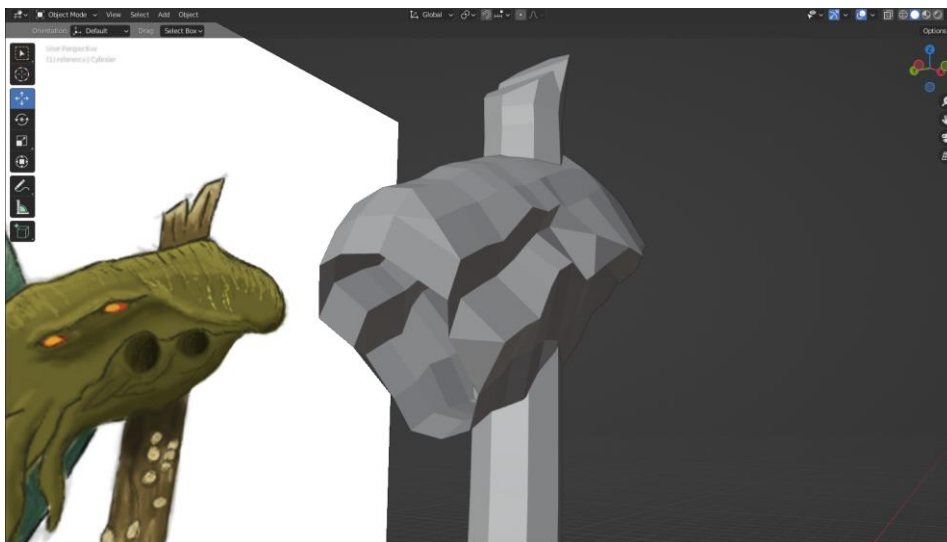
Slika 19. Oblik oštrice sjekire (bez detalja)

3.1.6. Izrada modela ornamenta glave

Središnji dio modela, odnosno ornament glave koji povezuje dršku sa oštricom najkompleksniji je dio cijelog modela. Sastoji se od nekoliko dijelova koji čine cjelinu dizajna. Zbog kompleksnosti samog modela bitno je da se napravi dobar plan izrade i odabere točan geometrijski oblik sa kojim započinje izrada.

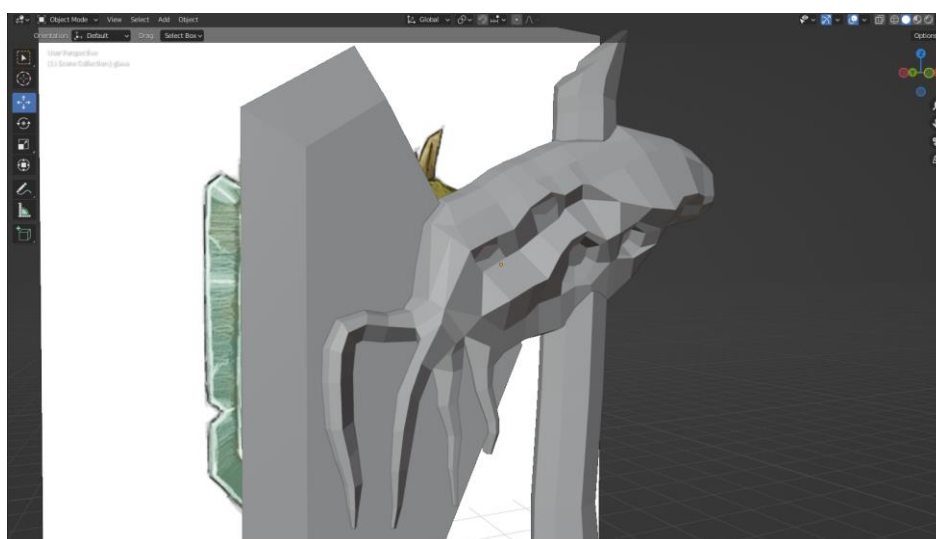
Kao početni element odabran je krug koji je rotiran tako da normalni pravac kruga bude paralelan sa x osi, te da se pomoću *mirror* modifikatora model može prepoloviti i zrcaliti na željeni način. Prilagođeni model bilo je potrebno dodatno promijeniti pošto komponenta modela nije zamišljena da izgleda cilindrično. Kako bi se dobio željeni početne točke kruga razmještene su na željene pozicije u 3D prostoru.

Daljnijim promjenom topologije modela dobiva se željeni dio prvog ornamenta. Modeliranje je započelo izradom područja oko očiju i stražnjeg dijela ornamenta. Koristeći *extrude* alat točke su duplicirane i pomaknute na željene pozicije. Sa *scale* alatom određene regije, odnosno određeni broj stranica, rubova i točaka skaliran je kako bi odgovarao slici koja se koristi za referencu.



Slika 20. Proces izrade ornamenta glave

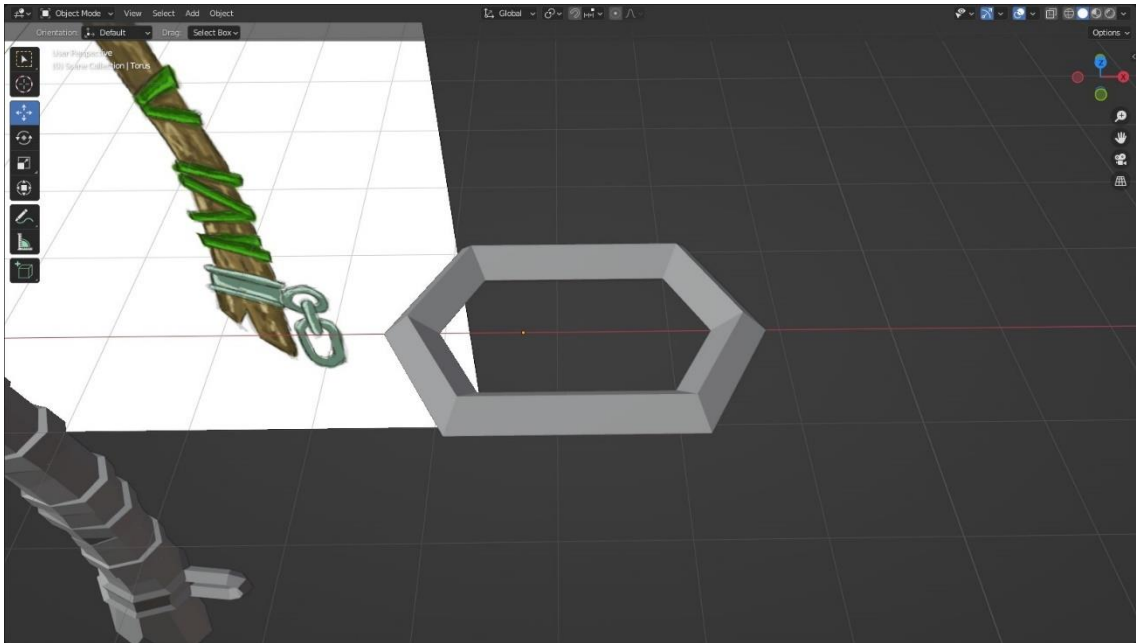
Idući korak je modeliranje dijelova koji povezuju oštricu sjekire sa ornamentom. Kako bi se dobili željeni oblici potrebno je promijeniti topologiju dosadašnjeg modela. Određene točke koje se nalaze na prednjem dijelu modela pomaknute su na način da se mogu dodati mogu komponente koje se povezuju na njih. Koristeći *knife* alat u *edit mode* načinu rada dodane su nove točke koje stvaraju nova lica na modelu. Pažljivim razmještajem točaka i korištenjem *extrude* i *scale* alata dobivena je željena topologija. Kada je osnovna mreža završena, potrebno je dodati detalje. Manji detalji ne zahtijevaju promjenu topologije modela, pošto će biti nacrtani tijekom procesa sjenčanja. Koristeći *knife* alat i pažljivom promjenom položaja točaka na modelu dodani su detalji očiju i zamišljenih potisnika na daljnjoj strani modela. Ovime je završen modela ornamenta.



Slika 21. Konačni oblik ornamenta glave

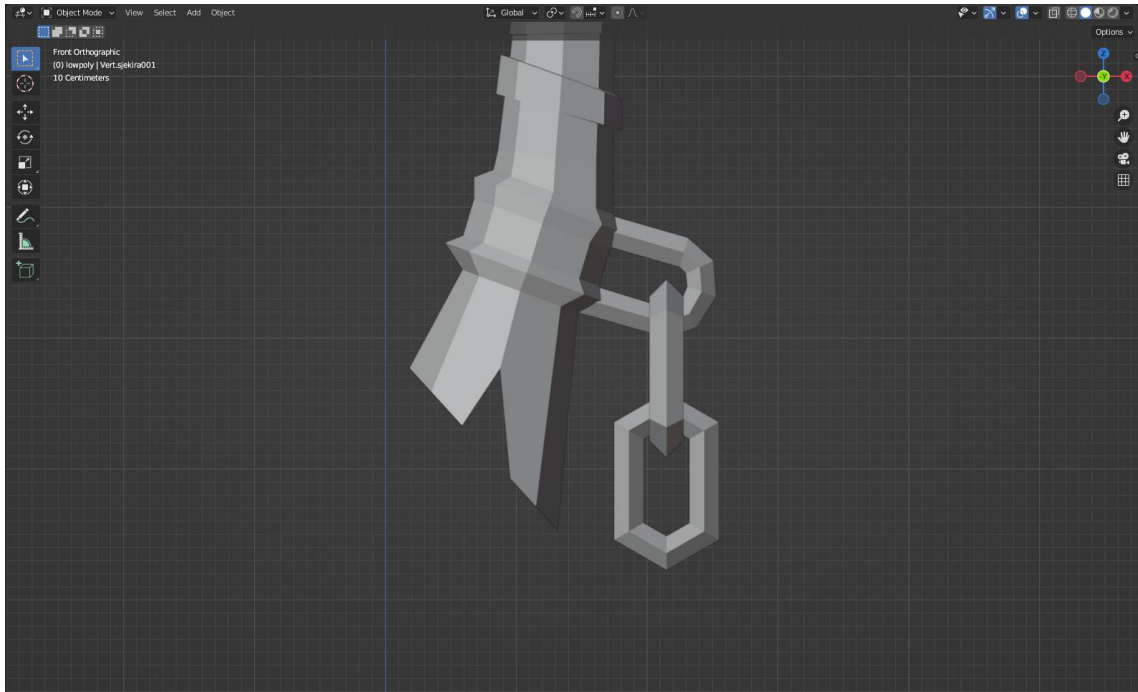
3.1.7. Modeliranje lanaca

Idući korak je izrada uzorka karika koji se nalazi na dnu drške modela. Uzorak okova koji su povezani na lance dodan je u postupku modeliranja drvene drške koristeći *extrude* i *scale* alate. Za izradu uzorka lanca korišten je oblik torus koji se sastoji od četverostranog obruča. Model je orijentiran na način da se odabrana stranica može izdužiti i kako bi predstavljala kariku lanca.



Slika 22. Osnovni model korišten za izradu lanca

Osnovi oblik karike kopiran je željeni broj puta. Jedan kopija spojena je sa okovom na način da se određeni broj točaka izreže i model se postavi na željeno mjesto u 3D prostoru. Ostale dvije karike rotirane su i postavljene u 3D prostor kako bi komponente zajedno činile motiv lanca. Sve komponente su orijentirane na način da se mogu zrcaliti na željeni način pomoću *mirror* modifikatora.



Slika 23. Konačni model karika na lancu

3.1.8. Modeliranje detalja na topologiji modela

Iako su određeni dijelovi modela gotovi, postoje detalji na konceptu koje je potrebno napraviti na već gotovim dijelovima modela. Jedni od tih detalja su oštećenja na oštrici sjekire. Udubine na oštrici dodane su korištenjem *knife* alata. Uzevši sliku kao referencu na površinu model dodane su željene točke i rubovi. Određene točke postavljene su na željeno mjesto kako bi se dobio konačan oblik.

Drška je na konceptu omotana uzorcima i motivima morske trave. Jedan od načina dodavanja ovih uzoraka je ubacivanjem novih komponenti u scenu i njihova manipulacija u željeni oblik. Međutim, ovaj proces je prespor i dovodi do velikog broja digitalnih tijela u sceni, što može uzrokovati greške u ostatku procesa izrade modela.

Za dodavanje uzoraka morske trave korišten je *loop cut* alat. Ovaj alat na model dodaje rubove proporcionalno s obzirom na poziciji ostalih rubova. Navedenim alatom postavljena je nova geometrija. Kako bi se novi uzorci odvojili od prijašnje geometrije odabrana su lica od kojih se sastoje i transformirana su pomoću *scale* opcije.

Dodavanjem uzoraka izrada prve verzije modela je gotova.



Slika 24. Konačna verzija ne optimiziranog modela

3.2. Optimizacija topologije modela

Nakon što su napravljene svi elementi modela, potrebno je napraviti teksture. Teksture u *Blenderu* mogu se napraviti na više načina. PBR teksture izrađuju se korištenjem svojstava materijala u *shader editor* radnom prostoru. Ove teksture su nasumično generirane ovisno o postavkama svojstava materijala. Ručno crtane teksture zahtijevaju proces izrade UV mape koja je optimizirana za rastersku grafiku. UV mapa mora biti jasna, sadržavati sve komponente modela i biti dobro organizirana kako bi se osigurao kvalitetan rezultat.

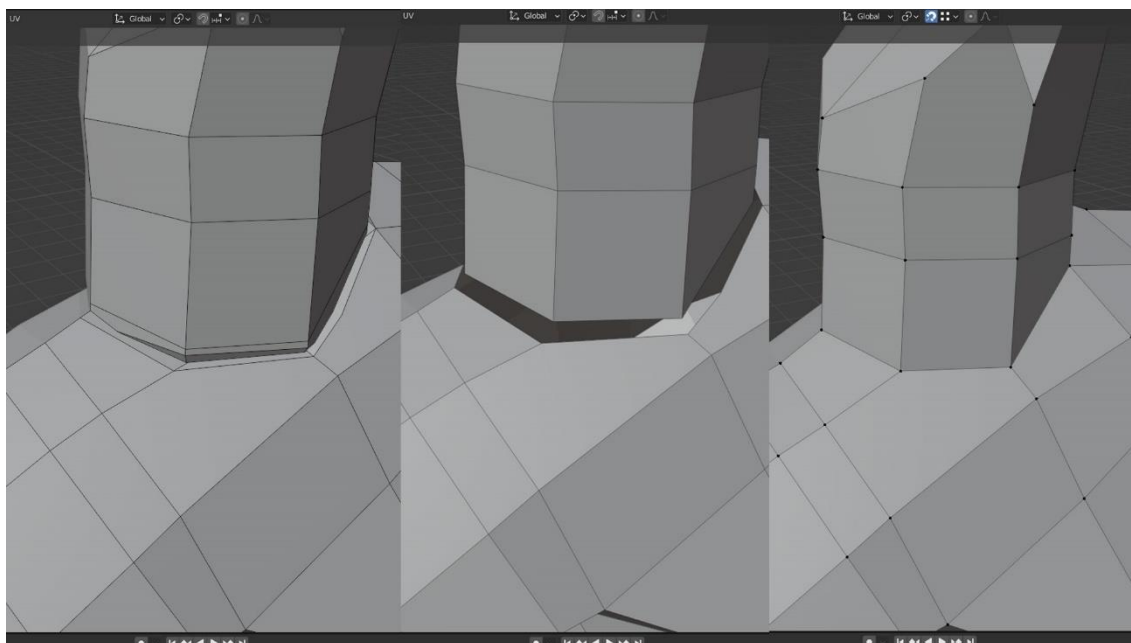
Optimizacija modela, odnosno promjena topologije, koristi se kako bi se model pripremio za izradu UV mape. Kod izrade kompleksnih modela često dolazi do propusta na mreži modela. Često su ti propusti preklapanje bridova, preklapanje točaka, nepravilna geometrija i sl. Kako bi se osigurao kvalitetan model izvršava se postupak optimizacije površine modela (eng. *Retopology*). Na modelu koji je napravljen u svrhu ovog rada nije bilo kompleksnih oblika, ali je bilo potrebe provesti optimizaciju zbog preklapanja modela.

Koristeći *bool tool – union* alat svi modeli pretvoreni su u jedno tijelo. Sva geometrija koju je *Blender* detektirao da se nalazi unutar zatvorene ljuske jedne od komponenti modela izbrisana je automatski od strane programa. Ovaj postupak olakšava izradu tekstura, pošto se svi segmenti vrlo jednostavno mogu postaviti na rastersku grafiku koja se koristi kao datoteka za teksture.

Optimizacija modela počinje provjerom područja gdje su modeli spajani. Na tim područjima tijekom izrade modela često dolazi do grešaka kao što su geometrija koja se bespotrebno preklapa i točke koje čine dodatna lica na mreži modela. Ova lica dodatno kompliciraju mrežu modela, što otežava proces izrade UV mape.

Analiza područja modela na mjestima gdje se komponente spajaju daje jasniju sliku nepravilnosti. Dodavanjem nove geometrije pomoću *knife tool* alata dodaju se točke i rubovi koji su donekle paralelni sa postojećim rubovima na kojima je došlo do spajanja modela. Nakon toga, potrebno je izbrisati sva lica na modelu koja su zatvorena rubovima spoja modela i novo napravljenim rubovima. Na taj način brzo se može obrisati sva rudimentarna geometrija. Korisnici *snap* opciju koja je podešena na privlačenje točaka sve točke koje ne pridonose geometriji modela, već ju dodatno kompliciraju spojene su u željene točke. Bitno je napomenuti da u ovome procesu točke sa kompleksnijih modela uvijek treba spajati sa stacionarnim točkama jednostavnijeg modela. Ako se mijenja geometrija jednostavnijeg modela, ponovo dolazi do neželjenih deformacija na površini modela te se model neće dobro prevesti u željeni format na kraju cijelog procesa izrade.

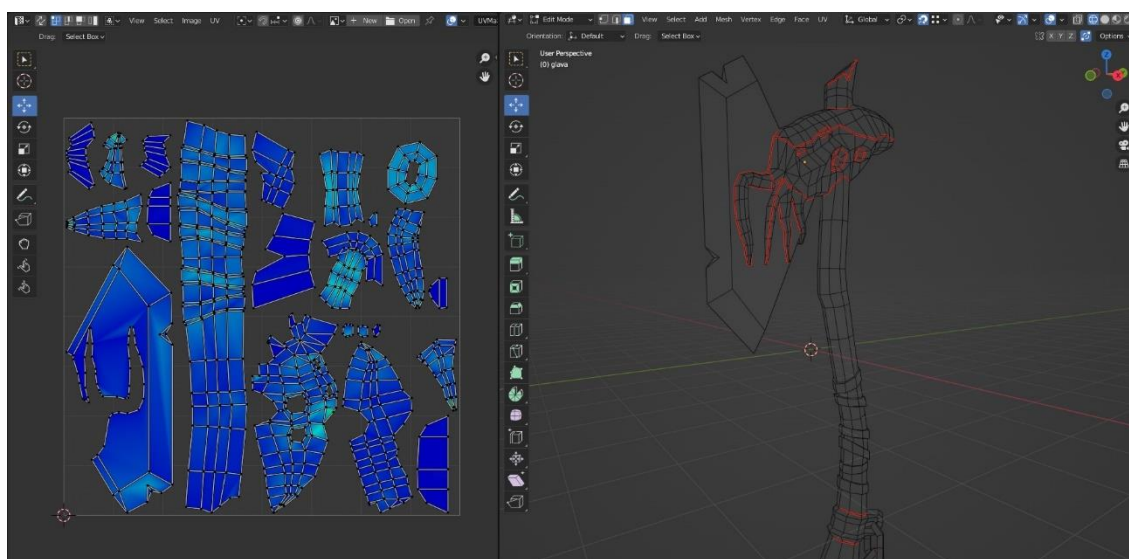
Kada su uklonjene sve bespotrebne točke i model je ponovo pretvoren u zatvorenu ljusku, odnosno nema nepovezanih susjednih točaka i rubova, model je spreman za daljnju obradu. Idući korak je označavanje područja gdje se model razdvaja za izradu UV mape.



Slika 25. Proces optimizacije geometrije modela

Prije projiciranja modela na UV mapu potrebno je model razdvojiti na različite dijelove. Najčešće se model razdvaja s obzirom na materijal koji se nalazi na određenim dijelovima. Međutim kako bi UV mapa bila optimizirana i kako ne bi došlo do gubitka kvalitete tekstura potrebno je provest dodatne optimizacije. Odabirom rubova koje želimo da opisuju dio modela koji želimo odvojiti. Desnim klikom pojavljuje se izbornik koji nudi opciju *mark seam*. Ova opcija nudi da se na model postavi rezna linija, odnosno digitalni šav. Šavovi na mreži modela daju informaciju programu o tome na kojim mjestima se model može razrezati i odvojiti, što znači da će program lakše model projicirati na 2D površinu UV mape.

Svaki dio modela koji predstavlja zaseban materijal ili jedan od početnik modela odvojen je od ostalih sa šavovima. Gornji i donji dio drške odvojen je od ornamenta glave. Oštrica je odvojena od ornamenta na područjima dijelova gdje se ukrasni elementi pipaka spajaju sa ravnim plohom modela oštrice. Ukrasi na donjem dijelu drške nisu odvojeni, pošto ne deformiraju 2D projekciju. Lanac je odvojen od ukrasa na dršci i izrezan na način da svaka karika ima dvoju projekciju. Ornament glave razdvojen je na više dijelova: gornji dio, srednji dio, oči, ornamenti potisnika i pipci. Ovaj dio modela je potrebno razdvojiti radi razine detalja i kompleksnosti mreže. U protivnom dolazi do deformacija projekcije. Mapa deformacije projekcije pokazuje da su, uz nekoliko ručnih manipulacija, deformacije minimalne. Model je spreman za dodavanje tekstura.



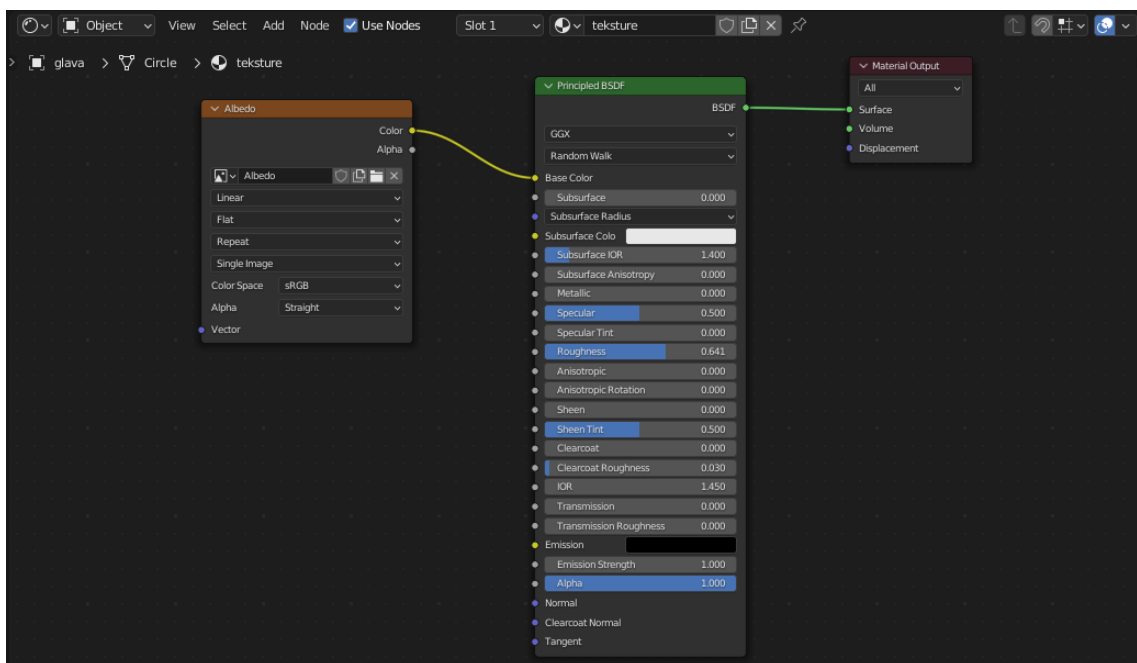
Slika 26: Lijevo: Optimizirana UV mapa. Desno: Optimizirani model označenim šavovima.

3.3. Izrada tekstura modela

3.3.1. Povezivanje datoteka

Kako bi se teksture mogle bojati na model, potrebno je postaviti određene datoteke i spojiti ih sa modelom. U *UV editing* radnom prostoru u radnom prozoru za UV mape stvorena je nova rasterska datoteka. Rasterska datoteka je rezolucije 2048x2048 piksela. Datoteka je nazvana „Albedo“. Ova datoteka će se koristiti kao rasterska grafika na koju će se crtati svi detalji modela kao što su nabori, detalji drvene teksture, metalni odsjaj i ostali detalji koji se nalaze na konceptu.

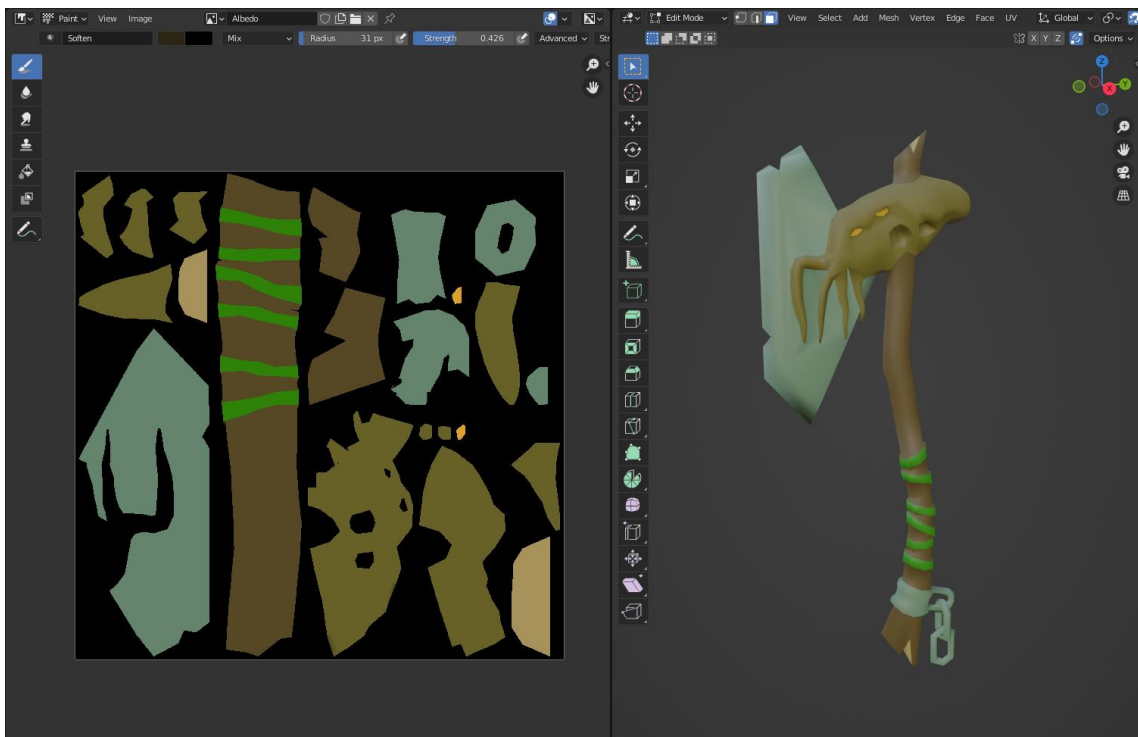
Rasterska datoteka je generirana, ali nije povezana sa modelom. U *Shading* radnom prostoru stvara se novi materijal pod nazivom „teksture“. Koristeći čvorove u *Shader editor* prozoru kao *base color* parametar postavlja se generirana datoteka „Albedo“. Na ovaj način UV mapa koja sadrži podatke o raspredu tekstura na modelu povezana je sa kanalom koji određuje boju modela.



Slika 27. Spajanje tekstura u Shader editor radnom prozoru

3.3.2. Izrada blokova boja

Blokovi boja koriste se kako bi se brzo i jednostavno popunio prostor modela sa bojama koje su osnovne za određenu površinu. Obično je to srednji ton površine modela koja sa pojavom svijetla i sjena postaje svjetlija ili tamnija. Pošto se na modelu koristi više boja, potrebno je postaviti više blokova različitih boja. Ulaskom u *Texture paint* radni prostor moguće je brzo i jednostavno postaviti blokove boja na željeni dio mreže. Pritiskom tipke TAB dok je pokazivač u 3D radnom prozoru način rada se mjenja iz *texture paint* u *edit mode*. U *edit* moguće je odabrati željni dio mreže. Pošto su šavovi za razdvajanje i projiciranje modela postavljeni u prijašnjem koraku, moguće je vrlo brzo odabrati željeni dio modela. Prelaskom kursora preko željenog dijela mreže i pritiskom tipke L otvara se izbornik koji nudi da se odaberu sva lica koja se nalazu unutar ljuske koju omeđuje šav. Povratkom u radni prostor za bojanje i korištenjem *bucket tool* alata moguće je odmah zapuniti cijeli označeni dio modela željenom bojom. Boje koje čine blokove su:



Slika 28. Lijevo: blokovi boja tekstura. Desno: Model sa blokovima boja

3.3.3. Ručno bojanje tekstura

Nakon što su odabrani stil i boje koje će se koristiti, slijedi proces ručnog bojanja tekstura. Proces ručno bojanih tekstura na modelu vrlo je kompliciran. Razlog tomu je to što je cilj procesa napraviti privid 3D detalja na relativno ravnoj površini.

Proces dodavanja gotovih tekstura može se izvesti i na druge načine. Jedan od načina je koristeći različite mape. Neke od tih mapa su AO mapa, *cavity* mapa i normalna mapa. Svaka od ovih mapa modelu daje različita dodatna svojstva. AO mapa ne sadrži informacije o boji modela, već isključivo informacije o razini osvjetljenja koje dolazi do određenog dijela elementa. Ove mape najčešće se koriste u kombinaciji sa *diffuse* mapa koje sadrže informacije o bojama modela. Normalne mape se koriste za podizanje razine detalja na modelu sa malim brojem lica. Normalne mape najčešće nastaju procesom koji se naziva *baking*. Normalne mape je moguće renderirati na verziji modela koja ima visoki broj poligona, te se rezultati renderiranja može *baking* procesom povezati sa UV koordinatama modela koji ima manji broj poligona.

Cavity mape se koriste za podizanje razine kontrasta između svjetlijih i tamnijih dijelova modela. Takve mape se renderiraju pomoću informacija koje nastaju u tamnijim dijelovima normalnih mapa. Za izradu tekstura ovog modela koristit će se *diffuse* mapa, AO mapa i mapa koja maskira metalna svojstva pojedinih dijelova modela.

Koristeći toplije i hladnije tonove boja koje su odabrane crtaju se detalji na samoj površini modela. Svaka promjena koja se napravi na modelu odmah je vidljiva na rasterskoj grafici. Koristeći reference drvena drška dobiva oblik sa detaljima napuknutog drveta. Metalni dijelovi će imati određeni sjaj pomoću metalne mape, no i dalje su ručno nacrtani detalji odsjaj svijeta od površine. Ornament glave obojan je na način da podsjeća na naboranu tamnu kožu, a oči da daju dojam izvora svjetlosti. Ostali detalji obojani su prateći vizualni koncept. Model je spreman za izradu generiranih mapa.

3.3.4. Generiranje AO mape

Za generiranje AO mape potrebno je napraviti novu rastersku grafiku. U *shading* radnom prostoru generira se nova rasterska grafika rezolucije 2048x2048 piksela.

Grafika se ubacuje u *shader editor* prozor unutar radnog prostora pomoću *add image texture* opcije. Bitno je napomenuti da se ova rasterska grafika u ovom koraku ne spaja ni sa jednim čvorom. Konačno povezivanje mapa raditi će se u programu Adobe Photoshop.

Postavljaju se parametri za renderiranje nove mape. U *shader editor* radnom prostoru odabire se *image texture* čvor koji nije povezan sa ni jednim drugim čvorom. Kao rasterska grafika se odabire novo generirana slika, u slučaju ovog projekta „AO.jpg“

U radnom prozoru Svojstava odabire se izbornik za renderiranje i *render engine* se postavlja na *Cycles*. *Cycles* je jedini od 3 algoritama za renderiranje koji podržava renderiranje tekstura na postojeće UV mape. U izborniku *Bake* pod *type* se odabire *Ambient Occlusion*. Nakon što je proces renderiranja gotov u datoteci „AO.jpg“ pojaviti će se crno-bijela rasterska grafika.



Slika 29. Generirana AO mapa modela

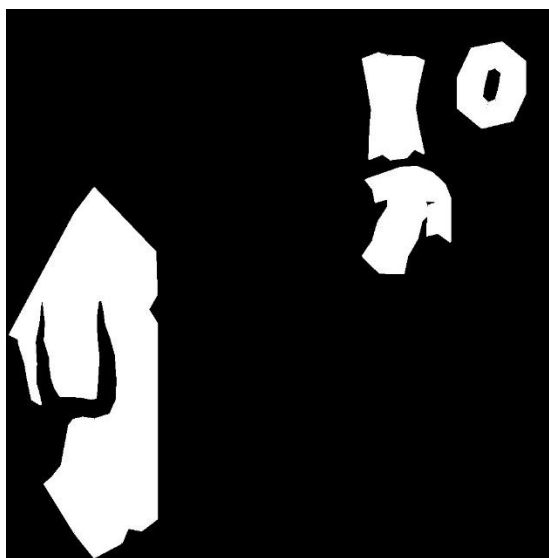
3.3.5. Izrada maske za metalna svojstva

Kao što je već spomenuto, simulacija stvarnih materijala u programima za 3D zasniva se na principu svojstva materijala. Kompleksni materijali koji imaju različita svojstva na različitim područjima zahtijevaju maskiranje određenih dijelova modela. Najčešće se maskiranje provodi korištenjem nasumično generiranih maski u *Shader editor* radnom prostoru. Generirane maske se povezuju sa željenim svojstvima modela. Maska je skupina crno-bijelih točaka koje se kreću od potpuno bijele do potpuno crne. S obzirom na nijansu sive na podređenom području maske, svojstvo materijala će biti u potpunosti vidljivo ili u potpunost i nevidljivo.

Za izradu maske modela koji se koristi u praktičnom dijelu potrebno je izraditi rastersku grafiku koja se sastoji od crne pozadine i potpuno bijelih blokova na područjima gdje je zamišljeno da materijali budu metalne prirode. Z izradu Maske postoje dva načina.

Koristeći program Adobe Photoshop moguće je odabrati piksele određene boje koristeći opciju koja se nalazi pod *Select – Color Range* izbornikom. Odabirom svih područja koja se metalna, u novom sloju je moguće odabrana područja zapuniti bijelom bojom, a ostatak crnom.

Drugi način je generiranjem nove rasterske grafike u *Blender*-u. U *texture paint* radnom prostoru generira se nova rasterska grafika. Odabiru se željena područja pomoću *linked select* opcije i *bucket tool* alatom bojavu se u potpuno bijelu boju. Kasnije se rasterska grafika povezuje sa svojstvom modela u *shader editor* radnom prostoru.



Slika 30. Maska za metalna svojstva modela

4. Rezultati i rasprava

4.1. Konačan model

Povezivanjem mapa koje su napravljene na određeni način dobiva se model koji ima sadrži ručno crtane teksture sa metalnim efektom na dijelovima modela gdje je to potrebno. Model se sprema u .fbx formatu pod imenom „Sjekira_model.fbx“. Sve rasterske grafike povezane sa modelom spremljene su u jednu datoteku.

Projektom prikazanim u eksperimentalnom dijelu rada potvrđena je tvrdnja da je potpuni proces izrade modela moguće raditi u programu *Blender*. Koristeći radne prostore za modeliranje moguće je izvršiti potpunu manipulaciju i optimizaciju mreže modela. U radnim prostorima za sjenčanje i postavljane tekstura napravljene su rasterske datoteke povezane sa modelom. Koristeći *Texture paint* prostor svi su detalji ručno nacrtani. Konačni model prikazan je na slici 31.



Slika 31. Konačni render modela

5. Zaključak

3D modeliranje u video igrama ima bogatu povijest koja seže unatrag desetljećima.

Upravo to svjedoči o ljudskoj kreativnosti, tehničkim inovacijama i težnji za sve dubljim iskustvima u igrama. Od ranih dana grubih poligona do foto-realističkih grafika i iskustava proširene stvarnosti koje danas svjedočimo, 3D modeliranje ima ključnu ulogu u oblikovanju industrije video igara. Kako tehnologija nastavlja napredovati, može se predvidjeti da će 3D modeli imati još značajniju ulogu u budućnosti video igara, donoseći sve realističnije i zanimljivije virtualne svjetove.

Proces izrade modela bio je zahtjevan i zanimljiv. Izrada početne mreže modela zahtijevala je proces planiranja. Zbog kompleksnosti same geometrije ornament glave svakako je bio zahtjevan za modeliranje. Odabir točnog primitiva za daljnju obradu bio je ključan za kvalitetan ishod. Također, topološka optimizacija bila je mukotrpan zbog velikog broja nepravilnih preklapanja poligona različitih dijelova modela. Postavljanje šavova na mjestima odvajanja modela za izradu UV mape zahtijevalo je dublje poznavanje prirode modela i interakcije svih komponenti. Svakako, najzanimljiviji dio projekta bio je postavljanje i ručno crtanje tekstura, pri čemu je u svakom koraku model izgledao bliže konceptualnom crtežu i konačnom proizvodu.

Iako se *Blender* pokazao kao i više nego adekvatan program za potpuni proces izrade modela u željenom stilu, postoje načini na koji bi proces bio lakši. *Blender* ima samo nekoliko originalnih alata za izradu ručno crtanih tekstura. Iako je uvođenje novih alata moguće zahvaljujući zajednici, selekciju spomenutih alata trebalo bi proširiti novim kistovima i maskama boja.

Blender je izrazito moćan softver za 3D modeliranje, omogućavajući umjetnicima i kreatorima da ostvare svoje vizije s preciznošću i umjetničkim izražajem. S njegovim snažnim skupom značajki, intuitivnim korisničkim sučeljem i aktivnom zajednicom, *Blender* je postao jedan od najprepoznatijih programa iz svijeta 3D modeliranja, omogućavajući početnicima i profesionalcima da krenu graditi ili usavršavati svoje znanje u području 3D umjetnosti i animacije.

6. Literatura

- [1] Kowert R., Quandt T. (2016.) The Video Game Debate
Unravelling the Physical, Social, and Psychological Effects of Video Games, Routledge
- [2] *** <https://medium.com/@mpcaro/the-history-of-3d-graphics-in-digital-games-6a1ddcc8f7cb> - The History of 3D Graphics in Digital Games, 24.05.2023.
- [3] *** <https://www.gameopedia.com/the-evolution-of-3d-graphics-in-video-games-the-hunt-for-photorealism/> - The Evolution of 3D Graphics in Video Games (The Hunt for Photorealism), 03.06.2023.
- [4] Xi-Dao L., Yu-Xiang X., Long Y., Ling-Da W. (2008). 'Research and Development of 3D Modeling', IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security
- [5] *** <https://www.blender.org/about/history/> - Blender.org, 06.07.2023.
- [6] *** <https://www.makeuseof.com/blender-history-invention-evolution/> - A Brief History of Blender: The Invention and Evolution of the 3D Graphics Software, 20.07.2023.
- [7] Vaughan W. (2012). Digital Modeling 1st Edition, New Riders Pub, SAD
- [8] Bernik, A. (2010). 'Vrste i tehnike 3D modeliranja', Tehnički glasnik
- [9] Chang C. (2006). Modeling, UV Mapping, and Texturing 3D Game Weapons, Wordware Publishing
- [10] Bernik, A., i Kelnarić, D. (2011). 'Vrste i tehnike 3D teksturiranja', Tehnički glasnik
- [11] Birn J. (2013). Digital Lighting and Rendering, Pearson Education
- [12] Flavell L. (2010). Beginning Blender Open Source 3D Modeling, Animation, and Game Design, Apress

[13] *** <https://docs.blender.org/manual/en/latest/editors/index.html> - Blender.org, 16.08.2023.

[14] Lanier I. (2015). Advanced Maya Texturing and Lighting, Wiley

[15] Engel W. (2013). GPU Pro⁴: Advanced Rendering Techniques, Taylor & Francis

[16] Lovecraft H.P. (1928). Call of Cthulhu, Weird Tales, SAD

7. Popis slika

Slika 1. Maze War (1974.) uspoređen sa Red Dead Redemption 2 (2018.)	3
Slika 2. Navedeni primitivni oblici u programu Blender.....	5
Slika 3. Hijerarhija poligonalnog modela	6
Slika 4. Princip rada NURBS modeliranja	7
Slika 5. Model napravljen procesom digitalnog kiparstva	8
Slika 6. Primjer box modeling procesa	9
Slika 7. Tehnike UV mapiranje	11
Slika 8. Vrste mapa	14
Slika 9. 1: 3D prikaz, 2: alati, 3: outliner, 4: Svojstva, 5: modeli, 6: 3D kursor, 7: Vremenska traka	16
Slika 10. Sculpting radni prostor	18
Slika 11. UV editing radni prostor	19
Slika 12. Texture paint radni prostor	19
Slika 13. Shading radni prostor.....	20
Slika 14. Proces planiranja i izrade modela	22
Slika 15. Umjetnički smjer i inspiracija.....	22
Slika 16. Proces izrade Vizualnog koncepta.....	23
Slika 17. Početni model drvenog dijela sjekire.....	24
Slika 18. Konačni oblik drške sjekire	25
Slika 19. Oblik oštrice sjekire (bez detalja	26
Slika 20. Proces izrade ornamenta glave	27
Slika 21. Konačni oblik ornamenta glave	27

Slika 22. Osnovni model korišten za izradu lanca.....	28
Slika 23. Konačni model karika na lancu	29
Slika 24. Konačna verzija ne optimiziranog modela	30
Slika 25. Proces optimizacije geometrije modela	31
Slika 26: Lijevo: Optimizirana UV mapa. Desno: Optimizirani model označenim šavovima.	32
Slika 27. Spajanje tekstura u Shader editor radnom prozoru.....	33
Slika 28. Lijevo: blokovi boja tekstura. Desno: Model sa blokovima boja.....	34
<i>Slika 29. Generirana AO mapa modela.....</i>	36
Slika 30. Maska za metalna svojstva modela	37
Slika 31. Konačni render modela.....	38