

3D modeliranje u računalnim igrama

Belošević, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:216:246218>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-26**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD

Luka Belošević

GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: Tehničko tehnološki

ZAVRŠNI RAD

3D MODELIRNJE U RAČUNALNIM IGRAMA

Mentor:

Prof. dr. sc. Lidija Mandić

Student:

Luka Belošević

Zagreb, 2019.

SAŽETAK

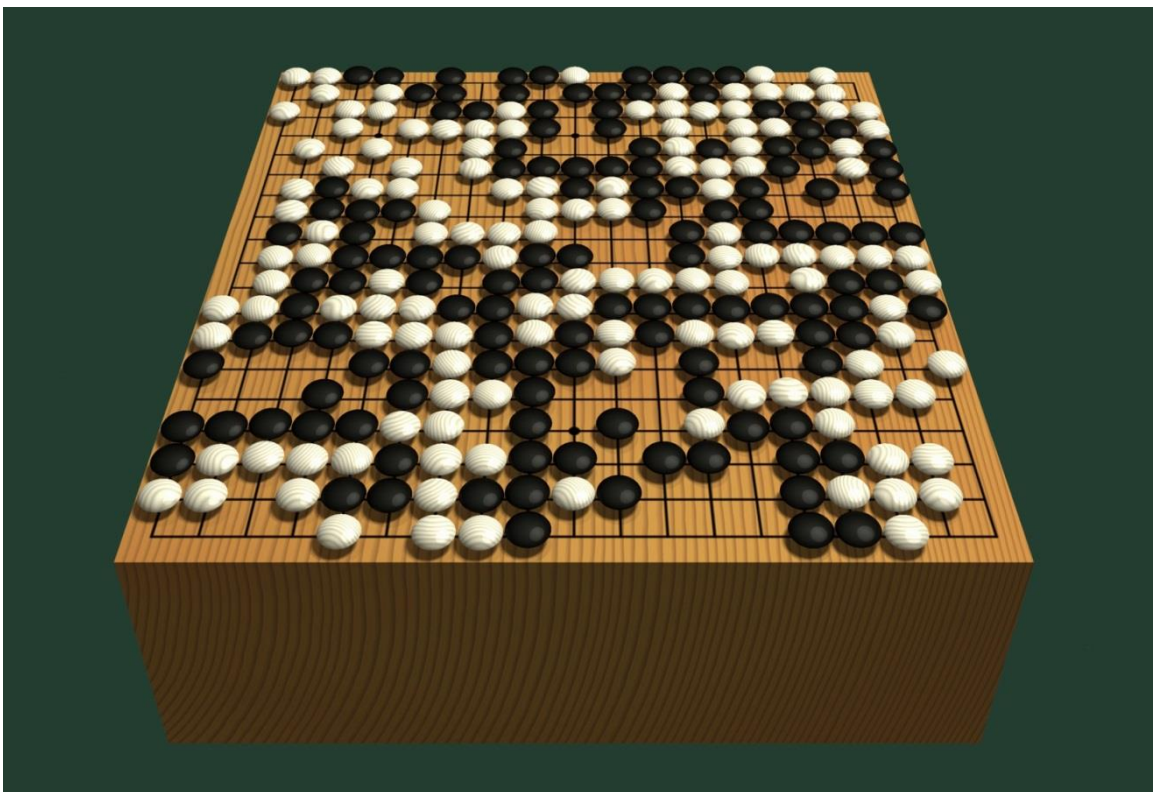
U ovom završnom radu je prikazan cijeli proces izrade 3D modela spremnog za implementaciju u računalnu videoigru. Objasnjene su uloge tekstura u 3D modeliranju i načini na koje su one koriste. Objasnjene su značajke 3D modeliranja za različite industrije, te na što se mora paziti kod modeliranja za videoigru. Korišteni su programski alati kao što su Blender 2.79, Adobe photoshop CS 5, Substnace Painter.

KLJUČNE RIJEČI: 3D modeliranje, računala, tekstura, videoigre

1. UVOD	1
2. RAZVOJ RAČUNALA KROZ POVIJEST	2
2.1. Najstariji strojevi za računanje	2
2.2. Mehanički strojevi za računanje	3
2.3. Elektronička računala	4
3. POVIJEST I RAZVOJ RAČUNALNIH IGARA	5
3.1. Počeci videoigara	5
3.2. Razvoj grafike u računalnim igrama.....	6
3.3. Moderne videoigre	8
4. 3D MODELIRANJE	10
4.1. Što je 3D modeliranje	10
4.2. Načini 3D modeliranja	11
4.3. Teksturiranje i osvjetljavanje 3D modela.....	15
4.4. Primjena 3D modeliranja u ostalim industrijama	20
5. EKSPERIMENTALNI DIO	24
5.1. Opis projekta	24
5.2. Proces 3D modeliranja	24
5.3. Teksturiranje 3D modela	24
6. ZAKLJUČAK	32
7. LITERATURA	33

1. UVOD

Potreba za igrom i zabavom prisutna je kod ljudi od samih početaka civilizacije, još otkada se čovjek transformirao iz lovca i sakupljača u ratara i poljoprivrednika. Po prvi puta u čovjekovu životu se tako stvorio višak slobodnog vremena, koje je trebalo nekako ispuniti u trenucima odmora od rada. Tako je čovjek krenuo izmišljati različite igre sa određenim pravilima i ciljevima. Procjenjuje se da su se prve igre pojavile prije više od 5,500 godina, a zanimljivo je kako se pojavljuju relativno istodobno u svim kulturama diljem zemaljske kugle. Skoro svaka civilizacija je imala svoje vrste igara. Stari Egipćani su tako imali *Senet* (u prijevodu protjecanje, prolazak). Igra se pojavljuje na mnogim egipatskim hijeroglifima, još od razdoblja između 3,000 do 3,500 godina. Stari Kinezi su imali *Wei-Chi* (Slika 1.), odnosno svima danas poznatiji kao *Go*. Arheolozi procjenjuju da se *Go* igrao još od prije 4000 godina. To je ujedno i najstarija igra koja je zadržala ista pravila i ostala neizmijenjena. Igra se i danas aktivno, a jako je popularna u azijskim zemljama.



Slika 1. Stara popularna kineska igra „WeiChi“
(<https://www.chess.com/forum/view/general/is-go-a-technically-harder-game-then-chess>)

2. RAZVOJ RAČUNALA KROZ POVIJEST

2.1. Najstariji strojevi za računanje

Znanje računanja primjenjivalo se praktično još u starom vijeku, prije otprilike 5000 godina, u drevnom Babilonu, Sumeru, Egiptu, Kini i Indiji. Graditelji golemih piramida, hramova i drugih građevina morali su se koristiti računskim znanjima. Prvo računalo u svijetu je poznati "Stonehenge" (Slika 2.). On je omogućio još prije 4000 godina točno predviđanje Mjesečevih mijena. Uz pomoć Mjeseca koji je bacao sjenu kamenja na točno označena mjesta na tlu moguće je bilo predvidjeti vrijeme sljedećeg punog Mjeseca te vrijeme pomrčine Mjeseca.



Slika 2. Stonehenge danas i Stonehenge kreiran pomoću računala.
(<https://www.duna.cl/podcasts/stonehenge-y-su-aura-hechicera/>)

Prvo prijenosno računalo je abak (grčki *abax* znači ploča za računanje). Prvi poznati abak postojao je u Babilonu prije 5.000 godina. Njime se računalo pomoću kamenčića koji su se umetali u žljebove napravljene u pijesku. Zatim se abak razvio u oblik kao na slici koji se sastojao od okvira i razapetih žica na kojima su postavljene pločice ili kuglice. Takvim su se abakom koristili u Egiptu i u Kini 2500 godina, a nešto kasnije i u antičkoj Grčkoj. Zahvaljujući abaku, u Egiptu, Mezopotamiji i Kini postoje najstariji zapisi o brojevima sačuvani do današnjeg dana. Usavršeni abak i danas koriste za svakodnevno računanje narodi Rusije, Kine i Japana.

2.2. Mehanički strojevi za računanje

Nakon izuma abaka ništa se u svijetu računala nije događalo sve do XV. stoljeća kad je Leonardo da Vinci skicirao ideju za mehanički stroj za računanje. U konstruiranju mehaničkih strojeva za računanje pomoglo je načelo rada mehaničkih satova i njihova izrada. Mehanički računski strojevi koji su radili na tom načelu rabili su se sve do četrdesetih godina 20-tog. stoljeća kad su se počeli izrađivati elektromehanički i elektronski strojevi za računanje.

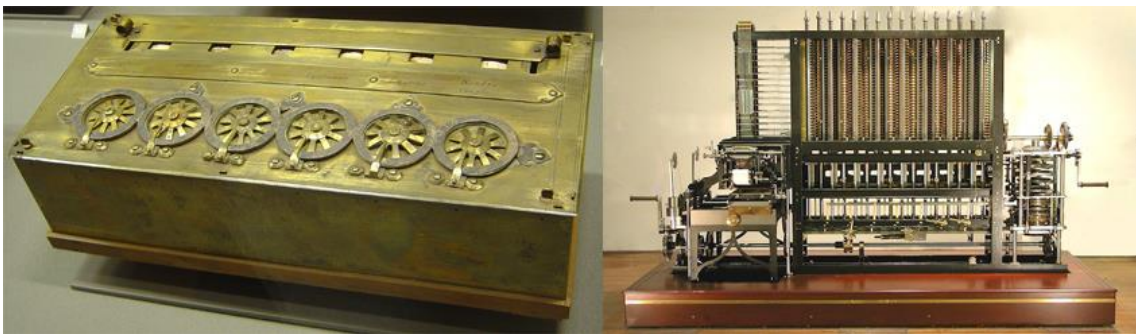
NEKI OD NAJPOZNATIJIH MEHANIČKIH STROJEVA ZA RAČUNANJE SU:

PASCALOV (Slika 3.) računski stroj prvi je mehanički stroj za računanje koji je samo zbrajao i oduzimao.

LEIBNITZOV računski stroj izvodio je i računске operacije množenja i dijeljenja.

BABBAGE je nazvan ocem modernih računala zbog ideje o načelu rada računala koje se održalo do danas.

ADA LOVALACE (Slika 3.) prva je uvela ideju o programiranju mehaničkih strojeva, zato je nazvana majkom modernih računala i prvom programerkom na svijetu.



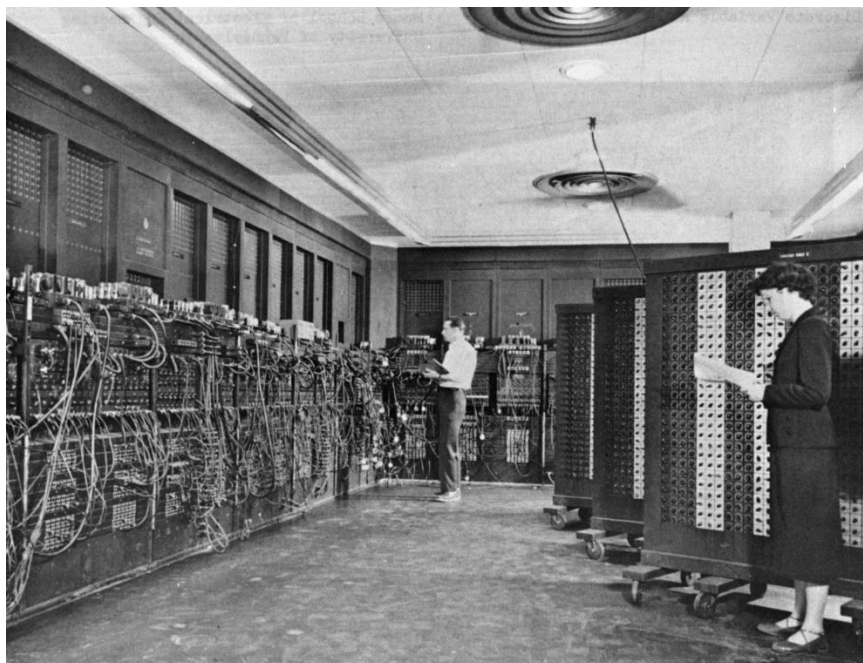
Slika 3. Prikaz Pascalovog i Ada Lovalace stroja za računanje

(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/80/Arts_et_Metiers_Pascaline_dsc_03869.jpg)

(<https://voxfeminae.net/wp-content/uploads/2018/09/difference-engine-number-two.jpg>)

2.3. Elektronička računala

Osim izuma električne energije, konstrukciji prvog elektroničkog računala prethodio je i izum elektronske cijevi. Elektronska cijev služila je za pojačanje, usmjeravanje i zaustavljanje električnih signala kako bi se u računalu mogle izvršavati složene računске operacije. Prvo elektroničko računalo bilo je Colossus. Računalo je konstruirano 1943. godine u vrijeme drugoga svjetskoga rata. Načinjeno je u strogoj tajnosti i koristila su ga za dešifriranje povjerljivih njemačkih poruka. Računske operacije obavljalo je 2000 elektronskih cijevi. Računalo se sastajalo od ulaza za podatke, odnosno 5 rola papira s rupicama na kojima je bila poruka koja koju je trebalo dešifrirati. Trake papira čitale su se optičkim čitačem i niz rupica pretvarao se u električne impulse. Električni su se impulsi zatim prenosili i nad njima su se izvršavale različite operacije. Na kraju se dobila dešifrirana poruka. Prvo računalo opće namjene koje je moglo izvoditi različite zadatke bio je američki uređaj ENIAC (*Electronical Numerical Integrator and Computer*) koji je konstruiran 1946. godine. Stroj je imao 18000 elektronskih cijevi i mogao je zapamtiti 20 brojeva, a bio je težak 30 tona. Mušice koje su se lijepile na vruće elektroničke cijevi uzrokovale su pogreške u radu računala. Od tada do danas pogrešku u programu nazivamo BUG (*bug*=mušica).



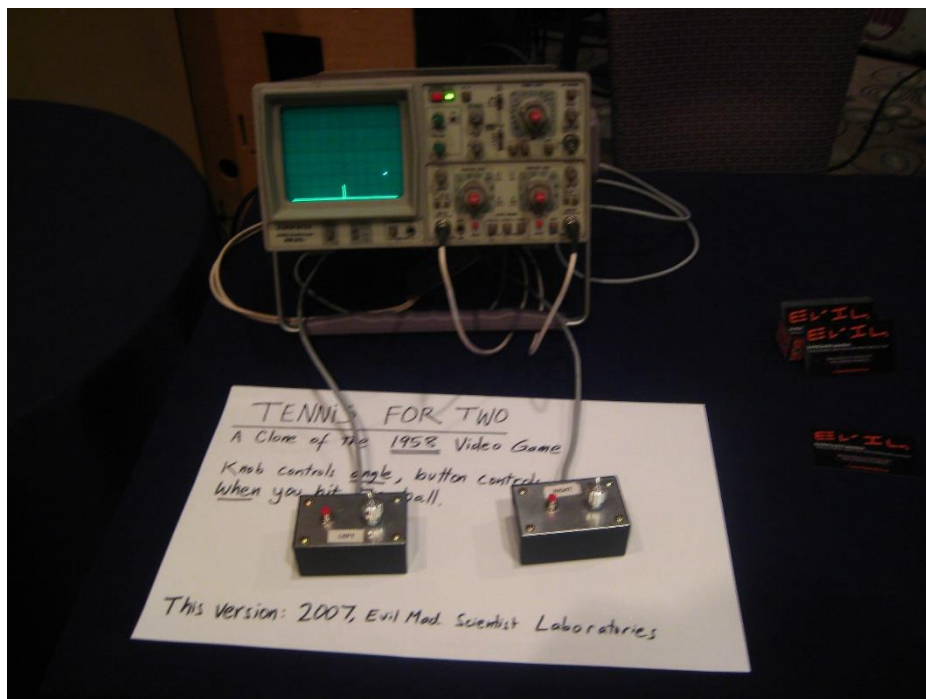
Slika 4. Prikaz prvog računala opće namjene „Eniac“

(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Eniac.jpg>)

3. POVIJEST I RAZVOJ RAČUNALNIH VIDEO IGARA

3.1. Počeci videoigara

Prvu video igru u povijesti "Tennis for Two" (Slika 5.), kreirao je 1958. godine američki fizičar William Higinbotham, koristeći osciloskop kao ekran, a prva računalna igra je bila svemirska pucačina za dva igrača *Spacewar!* iz 1961. godine koju su osmislili studenti Steve "Slug" Russell, Martin "Shag" Graetz i Wayne Wiitanen, implementirajući je na DEC PDP-1 računalo instituta *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), no prva generacija video igara uglavnom se sastojala se od tekstualnih igara. To su bile igre u kojima je igrač ručno upisivao zapovijedi i tako određivao kuda se želi kretati i što želi činiti. Igra je prepoznavala određene komande (riječi) i na njih odgovarala opisima akcija, lokacija, i omogućivala razvoj radnje. Druga generacija video igara predstavljala je mješavinu tekstualnih igara i igara sa statičnom grafikom. Prva tekstualna avantura bila je *Adventure* (Crowther and Woods 1976), napravljena 15 godina nakon *Spacewara*. Najprodavanija igra na svijetu je tetris koja je prodana u 170 000 000 primjeraka.



Slika 5. Prikaz prve računalne videoigre na osciloskopu

(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/17/Tennis_for_Two_Machine_at_CAX_2010.jpg)

3.2. Razvoj grafike u videoigramama

S razvitkom tehnologije računala su postala dovoljno jaka da renderiraju pokretne objekte, pa je to dovelo do pojavljivanja novih žanrova kao što su simulacije letenja i vožnje automobilom. Tijekom 1977 godine, nastaju i prva kućna računala - Radio Shack TRS-80, Commodore PET i Apple II, no pravu eru igranja na kućnim računalima započinje Sir Clive Sinclair iz Sinclair Research Ltd, kompanije koja je napravila prvi džepni kalkulator na svijetu, izbacivši na tržište jeftino i minijaturno računalo ZX80 (1980.), nakon čega slijedi ZX81 (1981.), te na kraju ZX Spectrum, na kojemu dolaze neke od najvećih legendi računalnih igara, poput čuvenog platformera Manic Miner.

Da bi videoigre na računalu uopće bile moguće potrebna je grafička kartica. Grafička kartica je dio opreme koju sadrži bilo koje računalo i njena glavna svrha je da na zaslonu prikazuje sliku. Prvu grafičku karticu razvila je tvrtka IBM 1981. godine. Bila je to MDA (*Monochrome Display Adapter*) kartica. MDA je mogla raditi samo u tekstualnom modu koji predstavlja 80 stupaca i 25 redaka na (80x25) zaslonu. Imala je 4KB video memorije i samo jednu boju. Glavni dio grafičke kartice je grafički procesor (GPU) to je procesor specijalno namijenjen i optimiziran da proizvodi grafičke elemente. Ovaj procesor je specijaliziran da vrši proračune u pokretnom zrezu, što je od fundamentalnog značaja za 3D grafičko renderiranje i 2D slikovno crtanje. Osnovni atributi grafičkog procesora su frekventna jezgra koja varira od 250Mhz do 4Ghz, i broja cjevovoda, koji prevode 3D prikaz okarakteriziran tjemjenima i linijama u 2D prikaz formiran pikselima.



Slika 6. Prikaz raznih generacija grafičkih kartica.

(<https://images10.newegg.com/BizIntell/item/14/137/14-137-084/1.png>)

Jedan od najboljih primjera razvoja grafike je videoigra Tomb Raider (Slika 6.) koji je počeo sa serijalom 1996. godine te još dan danas izlaze novi serijali uz poboljšanu grafiku u svakom novom serijalu.

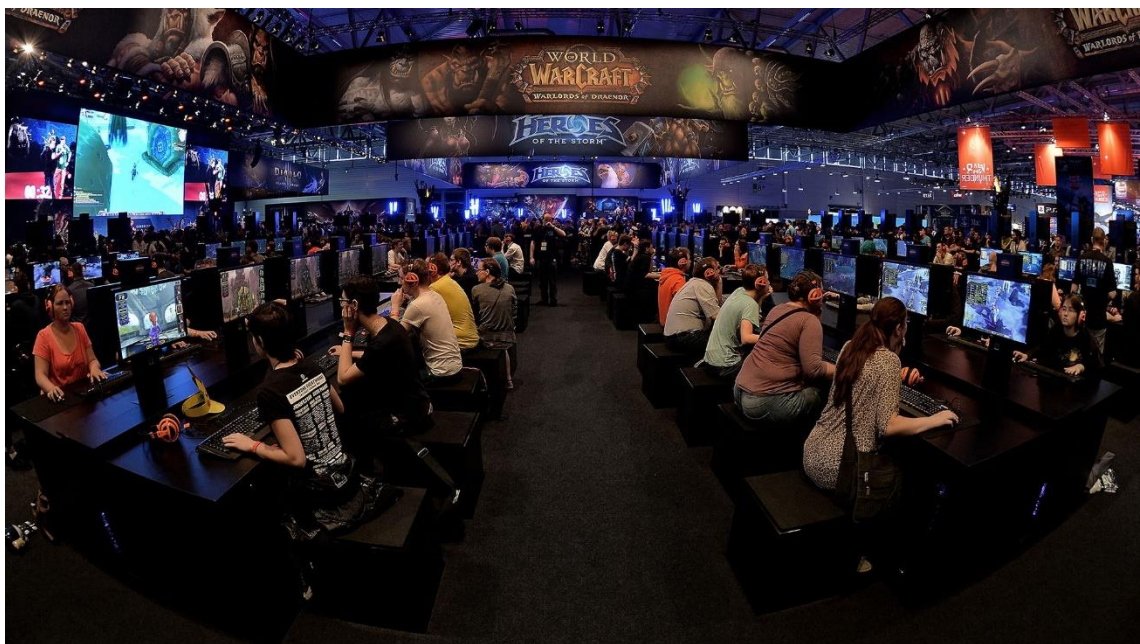


Slika 7. Prikaz napredka grafike i 3D modela u videoigri
(<https://bfgblog-a.akamaihd.net/uploads/2013/04/laura-croft-underworld.jpeg>)

3.3. Moderne videoigre

Današnja industrija videoigara ali također i filmska industrija izgledala bi potpuno drugačije bez korištenja vizualnih efekata (VFX). Stručnjaci za VFX u svojim studijima provode nebrojene sate obrađujući snimljeni materijal kako bi stvorili što realističnija i uvjerljivija okruženja. Sam proces rada prilično je dugotrajan i skup, a krajnji rezultat koliko može doprinijeti, toliko može i naštetiti krajnjem proizvodu.

Evolucija videoigara tijekom godina bila je brza i efikasna a svoj rast, te društveni i konkurentski potencijal najviše se desio nakon što je pristup internetu postao standard odnosno razvijanjem *multiplayer* (Slika 7.) igara. Revolucija u igranju videoigara putem interneta je bila potaknuta društvenim elementom odnosno mogućnosti povezivanja sa cijelim svijetom u izmišljenom svijetu iz vlastitoga doma. Ove igre su doživjele zlatno doba u ranim 2000.-tima kad su se pojavili poznati naslovi poput igre World of Warcraft. World of Warcraft je danas toliko popularan da virtualna valuta unutar igre (gold) vrijedi više nego valuta države Venezuele odnosno Venecuelanski Bolivar.



Slika 8. Prikaz igranja videoigara putem interneta na festivalu videoigara

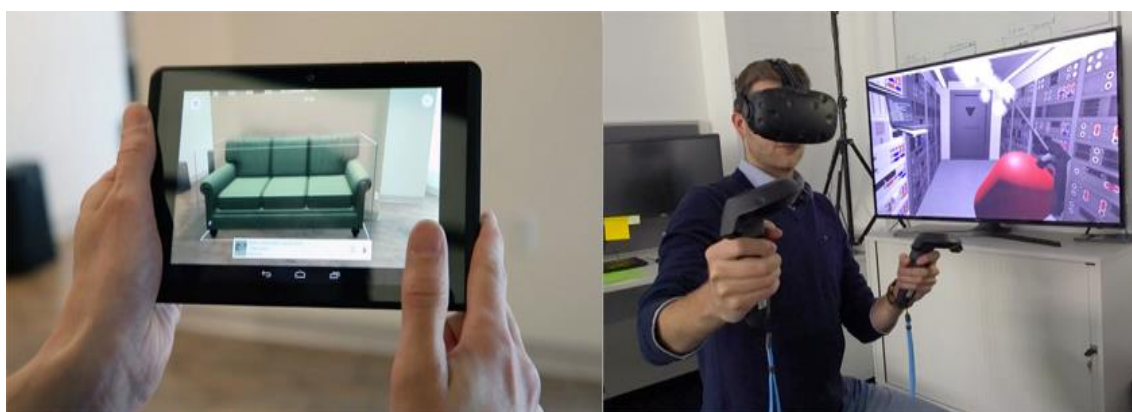
(<https://ww2.kqed.org/wp-content/uploads/sites/43/2016/04/videogameconference-1920x1080.jpg>)

Razvijanju industrije videoigara doprinijelo je razvijanje AR i VR tehnologije.

AR (Proširena stvarnost) tehnologija omogućuje nam da putem aplikacije kroz zaslon nekog uređaja, najčešće mobilnog telefona, vidimo elemente koji ne postoje u stvarnom životu. Ti elementi proširuju stvarnost oko nas, ali samo ako je gledamo kroz zaslon. Aplikacija omogućuje gledanje bez mogućnosti mijenjanja elemenata koje vidimo, tj. bez mogućnosti ikakve interakcije s njima.

VR (Virtualna stvarnost) za razliku od proširene stvarnosti (AR) zahtjeva naočale kroz koje se ne vidi okruženje, već samo virtualno stvoreni svijet. U tom trenutku taj svijet koji gledate postaje vaša virtualna stvarnost, u kojoj interakcija s elementima koje vidite u aplikaciji nije moguća ili je pak moguća tek u minimalnoj mjeri – možete, primjerice, otvarati vrata, pomicati predmete, povećavati prikaz i slično. Postoje VR sustavi koji su prilično jednostavni pa treba samo kartonski okvir u koji se umetne mobilni telefon na kojem se pokreće VR aplikacija, dok drugi imaju nešto sofisticiranije dodatke koji omogućuju da dublje „uronite“ u novi svijet, pri čemu se koriste rukavice, slušalice ili neki drugi elementi, a moguće je čak i kretanje unutar 3D prostora.

Tehnologija virtualne i proširene stvarnosti nije baš najnovija, ali još uvijek nije postala nešto što je svima poznato i svakodnevno se koristi, kao što su to primjerice mobilni telefoni koji su nam stalno u ruci. Naime, prvi relativno funkcionalan sustav te vrste izumljen je još davne 1990. godine. Međutim, VR i AR tehnologije još uvijek se najčešće vezuju uz igrice i zabavu, iako su prisutne i na nekim puno višim, a manje poznatim razinama.



Slika 9. Prikaz virtualne i proširene stvarnosti

(<https://emerj.com/wp-content/uploads/2018/10/augmented-reality-shopping-and-artificial-intelligence-near-term-applications-3.jpg>)

(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/Reality_check_ESA384313.jpg)

4. 3D MODELIRANJE

4.1. Što je 3D modeliranje

3D modeliranje spada među najzahtjevnije oblike bavljenja računalnom grafikom. Možemo ga opisati kao proces stvaranja objekata na ekranu pomoću poligona. Pojednostavljeno, to je slaganje geometrijskih tijela tako da izgledaju poput predmeta, prostora ili likova. Iako je teško zamisliti da takva tehnika može dovesti do fotorealističnih rezultata, to je uistinu konačan rezultat. Ako su izvedeni pedantno i profesionalno, 3D modeli mogu pružiti toliko nevjerojatnih detalja da ljudsko oko na prvi pogled neće znati radi li se o realnoj slici ili renderu. S takvim pristupom u radu s lakoćom je moguće dočarati ciljani dizajn ili atmosferu. 3D modeli kao matematička reprezentacija, su u svojoj srži kolekcija podataka o točkama u 3D prostoru (eng. *Vertices*) i drugih informacija koje računalo interpretira u virtualni objekt koji se iscrtava na zaslonu. Kao takvi, ima više načina za kreiranje 3D modela, najkonvencionalniji način je korištenje 3D paketa, među kojima dominaciju drže poznata imena poput 3ds maxa te Maya koju su danas pod okriljem Autodesk, nešto manje popularni su Houdini i Blender.



Slika 10. Prikaz 3D modela u softveru za modeliranje.

(<http://gamedev.machina.hr/wp-content/uploads/2018/01/FWI-4.jpg>)

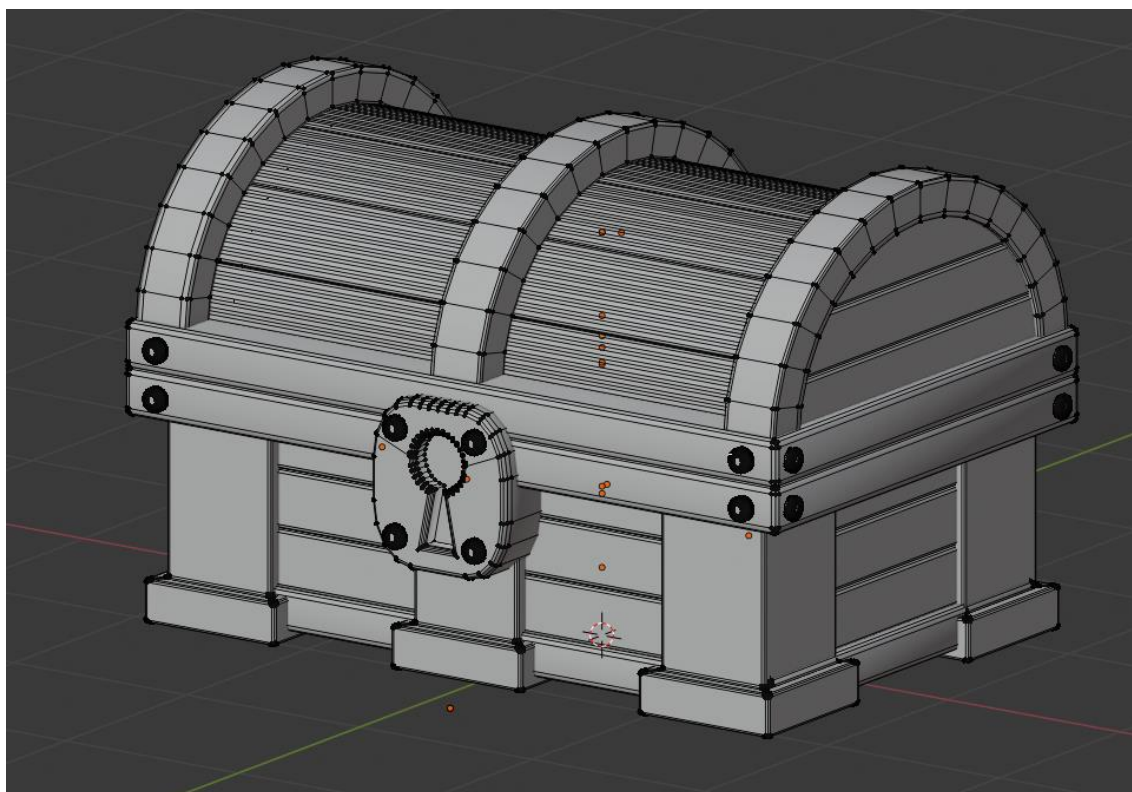
4.2. Načini 3D modeliranja

Postoji više načina ili tehnika 3D modeliranja. Modelari objekte na sceni mogu modelirati koristeći poligone, NURBS krivulje ili kombinaciju jednog i drugog, što se naziva subdivizijsko modeliranje. Zvuči komplicirano? Sve je razumljivo objašnjeno u nastavku teksta. Ono što se mora znati u ovom trenutku jest da način modeliranja ne određuje kvalitetu krajnjeg proizvoda, već može utjecati na brzinu samog procesa rada.

POLIGONALNO MODELIRANJE

Kao što i sam naziv kaže, poligonalno modeliranje (Slika 11.) bazira se na manipulaciji poligonima koji se sastoje od više točaka (eng. *vertices*) izloženih u 3D prostoru te međusobno povezanih linija (*lines*). Najmanji poligon sadržava tri međusobno povezane točke i zove se trokut. U kolokvijalnom jeziku često se naziva i “tris”. Poligon koji se sastoji od 4 točke naziva se “quad” te je izbor kod većine 3D umjetnika.

U današnje doba moguće je prikazati puno više poligona nego što je to nekada bilo moguće zamisliti. Tako primjerice japanska game kompanija *Square Enix* u svojim scenama manipulira s modelima i objektima koji ponekad imaju i više od 60 milijuna poligona.



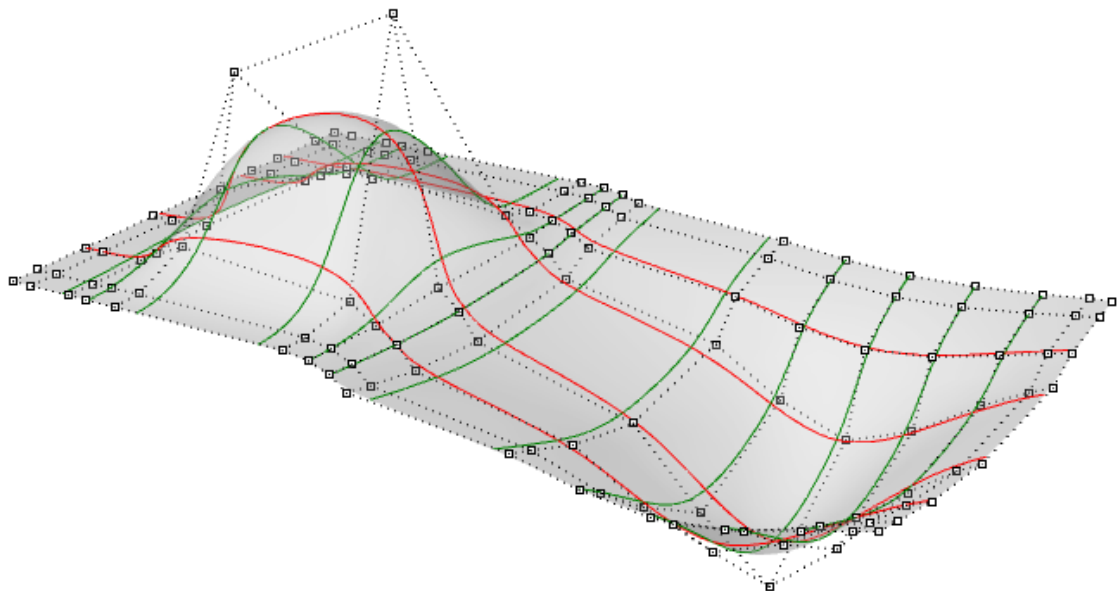
Slika 11. Prikaz poligonalnog modeliranja.

NURBS MODELIRANJE

Modelirati se može i takozvanim NURBS (*Non-Uniform Rational Bezier Splines*) krivuljama. NURBS krivulje za razliku od poligonalnog modeliranja koriste kontrolne točke i nude parametar “težine”. Povećavajući težinu kod jedne kontrolne točke približit će krivinu bliže navedenoj (slika 12).

Ako trebamo ovo opisati kroz primjer u stvarnom svijetu, zamislite običan bijeli papirić čiji su kutovi kontrolne točke. Zamislite neki nevidljivi prst koji dotiče sredinu papira i time zapravo “daje težinu” određenom dijelu papirnate površine. Papir će se iskriviti s obzirom na pritisak.

Nurbs modeliranje pogodno je kod organskog modeliranja ili glatkih objekata. Njime se najčešće koriste u automobilske industriji jer automobili imaju zakrivljene linije zbog aerodinamičnih svojstava. Iako iza NURBS modeliranja stoji kompleksna matematika, sam modelar ne treba biti upoznat s njom i vrlo lako oblikuje materijal u željeni oblik



Slika 12. Prikaz nurb načina modeliranja

(<http://gamedev.machina.hr/wp-content/uploads/2017/10/math-image78.png>)

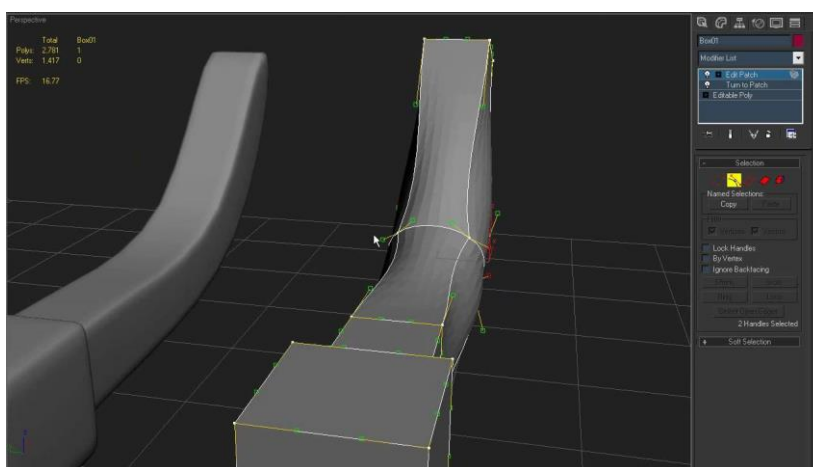
SUBDIVIZIJSKO MODELIRANJE

Subdivizijsko modeliranje uključuje kombinaciju poligona i NURBS-a. Takav tip rada najčešće započinje poligonalnim modeliranjem modela. Zatim se koristi matematika nurbs-a kako bi se dobila što bolja zaglađenost rubova. U ovom tipu modeliranja *poligonalna mreža* koja je nastala modeliranjem objekta, a sastoji se od verteksa i linija svakog pojedinog poligona, modificira se i nadograđuje pomoću nurbs-a. Ovo je malo kompliciraniji način rada i ne koriste ga početnici.

PATCH

Postoji još jedna tehnika modeliranja linijama. *Patch* spaja više samostalnih linija u 3D površinu zvanu zakrpom (eng. *patch*). Više takvih spojenih *patcheva* sačinjavaju 3D model (slika 13). Drugim riječima, kao da krojač slaže odijelo od više komada tkanine. Ovom se tehnikom rade modeli slični meshu, ali čija se površina može lako dodatno obraditi. Isto tako, većinu objekata može se prebaciti u patch format bez nekih većih poteškoća.

Kada se radi uz pomoć specijalnog programa poput 3Ds Maxa ili Maye, 3D artisti često koriste referencu iz stvarnog svijeta te skice modela da bi olakšali proces modeliranja. Što se tiče kompleksnijih formi i pojava iz stvarnog života poput volumnih oblaka, eksplozija, tekućina itd. one se kreiraju uz pomoć čestica (eng. *particle*) sustava koji zapravo generiraju veliku količinu koordinata koji imaju određeni materijal i način ponašanja. Zbog velike količine podataka koje se tiču kreiranja ovakvih pojava, trajanje renderiranja ili iscrtavanja slike mogu se znatno povećati.



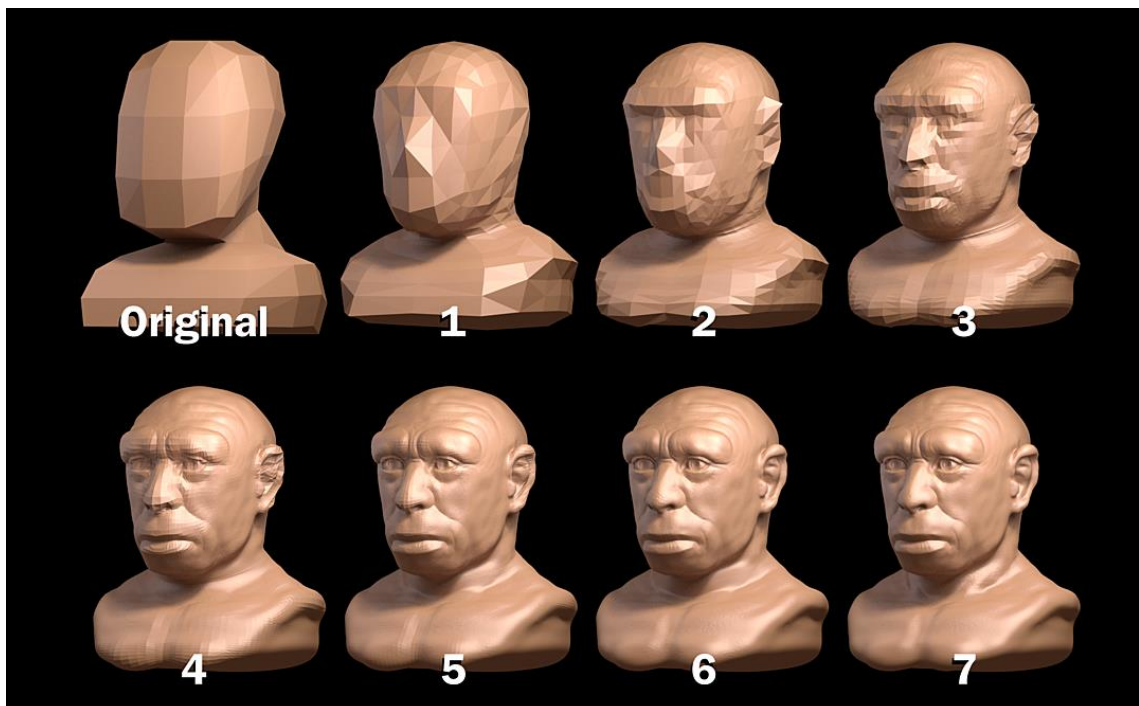
Slika 13. Prikaz *patch* načina modeliranja

(<https://i.ytimg.com/vi/HIIgYQWJ2vE/maxresdefault.jpg>)

DIGITAL SCULPTING

Digitalno kiparstvo (eng. *Sculpting*) poznato i kao modeliranje skulptura je korištenja softvera za manipulaciju 3D objekta na način kao da je izrađen od stvarne gline.

Sculpting se uvelike razlikuje od “poligonskih” načina za 3D modeliranje. Kao što je već spomenuto, rad u njemu nije temeljen na postavljanju različitih poligona u zamišljenom prostoru, već formiranjem svojevrsne “digitalne” gline koju korisnik oblikuje na ekranu po svojoj želji (slika 14). Zbog toga možemo reći da je *sculpting* više umjetnička dizajnerska vještina nego tehnička. Razlike u pristupu modeliranja likova nastaju tek nakon što se odredi kakav tip ili stil modela je potreban, koju i kakvu ulogu će lik imati te hoće li biti animiran, modularan i kolika će biti njegova zastupljenost na ekranu. To su sve faktori koji se kasnije moraju uzeti u obzir kod odabira prikladnog načina rada cijelog tima (workflowa). S obzirom na to da se sa *sculptingom* uglavnom rade kompleksni i detaljni modeli da bi ih se moglo upotrijebiti za videoigre, uglavnom ih je potrebno optimizirati. Taj se proces naziva retopologija. To se može opisati i tako da imamo glinenu skulpturu na koju lijepimo papiriće koje, kada ih spojimo, maknemo sa skulpture kako bismo dobili isti oblik, ali sa smanjenom težinom.



Slika 14. Prikaz procesa sculptanja lika.

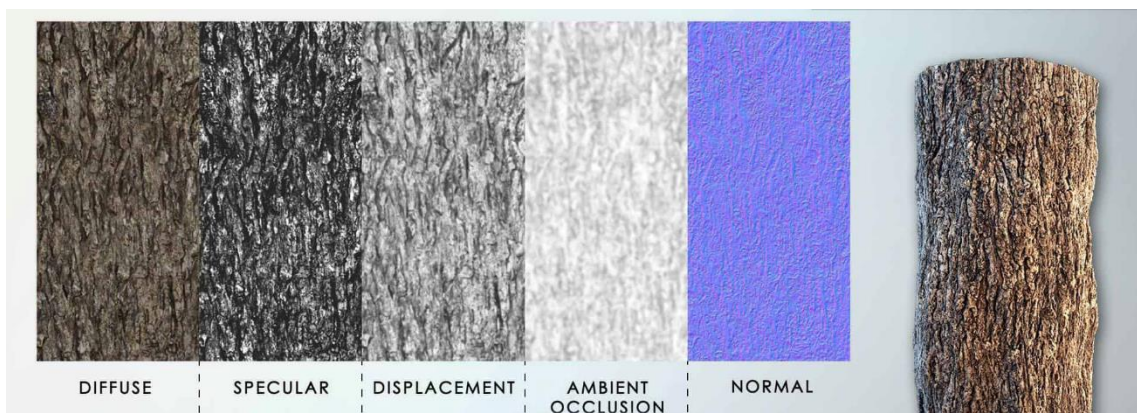
http://4.bp.blogspot.com/-510pG5n9ax4/UTh1jk5rekI/AAAAAAAAAGWE/EfQA7n6-9xg/s1600/IMG_info_sculp_sub_sharpen.png

4.3. Teksturiranje i osvjetljavanje 3D modela

U svijetu videoigara tekture imaju posebno mjesto. Njihova kvaliteta i brojnost uvelike utječu na vizualnu privlačnost. Razvojem tehnologije postale su jedna od najvažnijih stavki grafičkog prikaza. Laički objašnjeno, teksturiranje je proces stavljanja "naljepnica" preko sirovih modela igre dajući im detalje, raznolikost i karakternu posebnost.

Iako modeli mogu izgledati poprilično detaljno, sam model bez tekstura i nije pretjerano realističan. Proces dodavanja tekstura na model naziva se "*texture mapping*". To su zapravo 2D slike koje se dodjeljuju određenom segmentu 3D modela. Kao što 3D model ima koordinate (XYZ) kroz koje se kreće u 3D prostoru, tako i 2D tekstura ima svoje koordinate (UV koordinate) koje određuju na koji dio površine modela se tekstura postavlja. Vrsta tekstura ima na pretek tako da se na model dodjeljuje *shader*/materijal koji ima različita svojstva poput *diffuse* teksture, *bump* teksture, *normal maps*, *displacement* teksture, *noise* teksture itd .

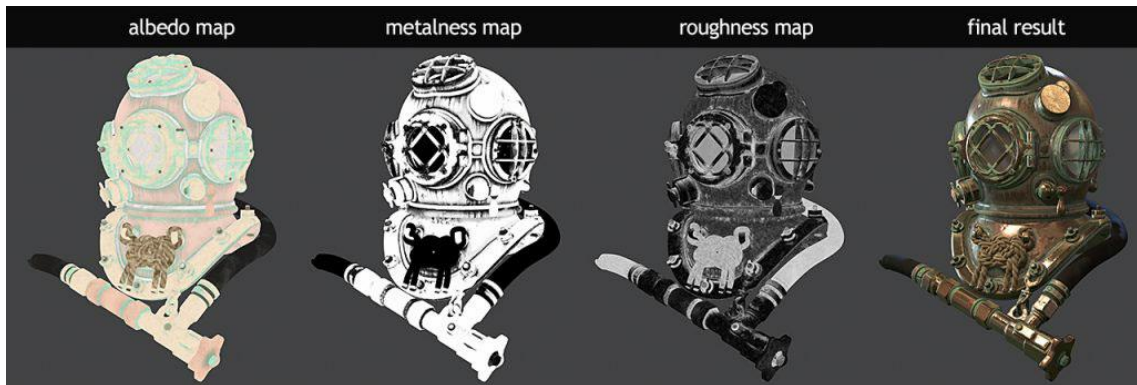
Osvjetljenje je također vrlo bitan element koji je presudan kvaliteti i realističnosti 3D scene. Bitno je napomenuti da svjetlost u 3D svijetu je samo nepotpuna simulacija svjetlosti u stvarnom svijetu koja je zasad poprilično nedostižna zbog kompleksnih kalkulacija koje bi se trebale izračunavati pri svakom koraku renderiranja scene. Uzevši to u obzir, za pravilno osvjetljavanje potrebno je ponuditi više svjetlosnih izvora. Ima različitih tipova svjetla, poput *directional lighta* (usmjereno svjetlo), *point light* (svjetlost se "prosipa" iz jedne točke u svim smjerovima)



Slika 15. Prikaz različitih tekstura koje se mogu primijeniti na model.

(<https://cgtricks.com/wp-content/uploads/2018/03/Basic-guide-for-textures-map-types-1.jpg>)

Postoje mnogo raznih tekstura koje se mogu primijeniti na 3D model i svaka od tih tekstura nam govori neku informaciju o modelu jer rijetko kad imamo modele koji su iste boje, glatkoće ili refleksivnosti po cijeloj svojoj površini pa te informacije definiramo preko tekstura. Kombinaciju svih tih tekstura nazivamo materijal tako da možemo reći da je tekstura dio materijala. Često se koristi po pet-šest različitih tekstura kako bi se definirao jedan materijal i to svaku za određeni kanal.



Slika 16. Prikaz dobivanja materijala korištenjem različitih tekstura

(<http://gamedev.machina.hr/wp-content/uploads/2018/04/divingmetal01-teksturiranje-1024x384.jpg>)

Neke od najčešće korištenih tekstura (Slika 15.) su:

DIFFUSE MAP

Diffuse mapa sadrži informacije o boji koju će tekstura imati odnosno definira kakvu će boju model imati na određenim dijelovima.

SPECULAR MAP

Specular mapa definira koliko jako će površina sjajiti na određenim dijelovima. Ova mapa se često koristi kako bi se naglasili *highlights* na modelu.

DISPLACEMENT

MAP

Displacement mapa sadrži informacije o izbočinama na modelu. Ono što je posebno kod ove mape je što stvara pravu geometriju na modelu baziranu na podacima iz teksture.

AMBIENT OCCULSION MAP

Ambient occlusion mapa služi da bi odredili koliko jako svijetlo bi trebalo osvijetliti na određenim dijelovima, odnosno stvaranje lažnog osvjetljenja kako bi model izgledao realnije.

NORMAL MAP

Normal mapa je vjerojatno najzaslužnija što današnje igre izgledaju jako realno, naime *normal* mapa koristi crvene, zelene i plave kalana da bi kontrolirala smjer gledanja pojedinog piksela. Također generira izbočine na modelu bez dodavanja geometrije odnosno koristeći smjer kretanja svjetla stvara dojam da geometrija postoji na dijelovima gdje je zapravo nema. Na primjer čavli na 3D modelu (Slika 17.) nisu modelirani nego *normal* mapa koristeći matematičke funkcije upravlja sa svjetlom i stvara iluziju da su oni stvarno tu. Također se može vidjeti na primjeru modela (Slika 18.) koliku dozu realnosti *normal* mapa stvara bez dodavanja dodatne geometrije što je u svijetu videoigara od velike važnosti.

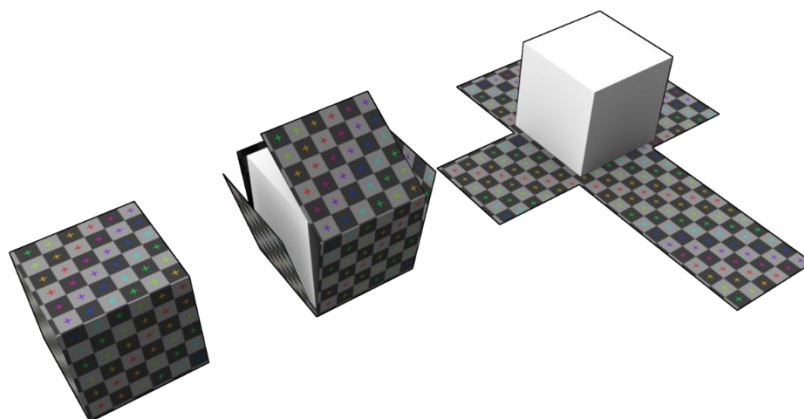


Slika 17. Prikaz korištenja normal mape u produkciji videoigara



Slika 18. Prikaz stvaranja iluzije kako bi se povećala realnost pomoću normal mape

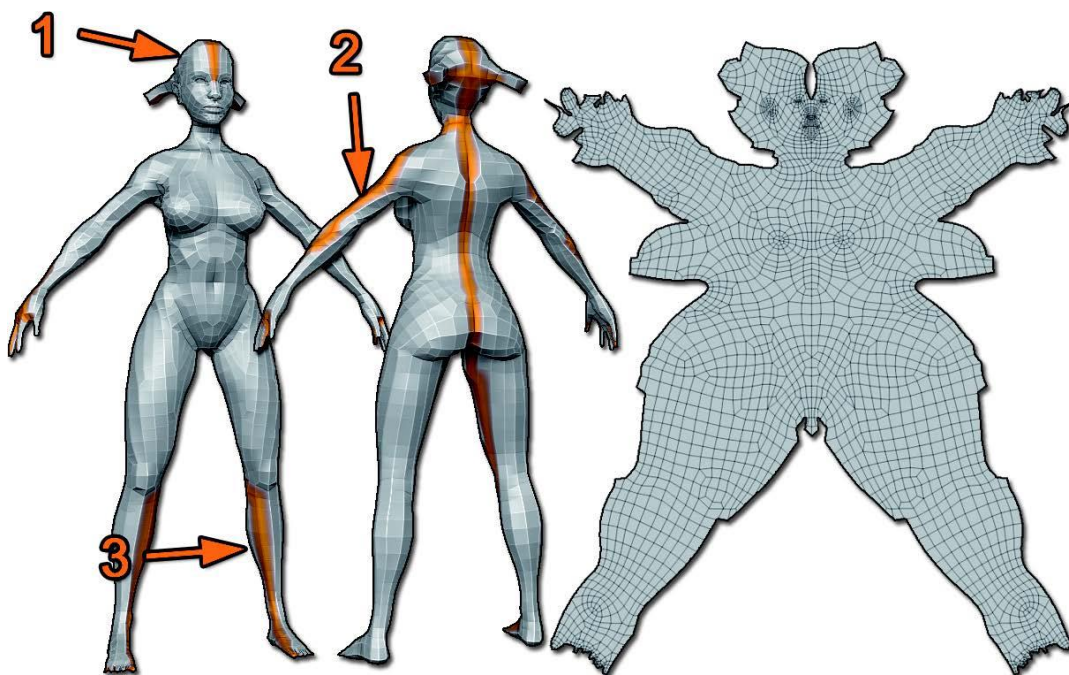
Da bi teksturiranje uopće bilo moguće 3D model je potrebno prvo rastvoriti (eng. *Unwrapping*) odnosno projicirati 3D model na 2D površinu (Slika 18.)



Slika 19. Unwrappanje 3D modela.

(https://en.wikipedia.org/wiki/UV_mapping#/media/File:Cube_Representative_UV_Unwrapping.png)

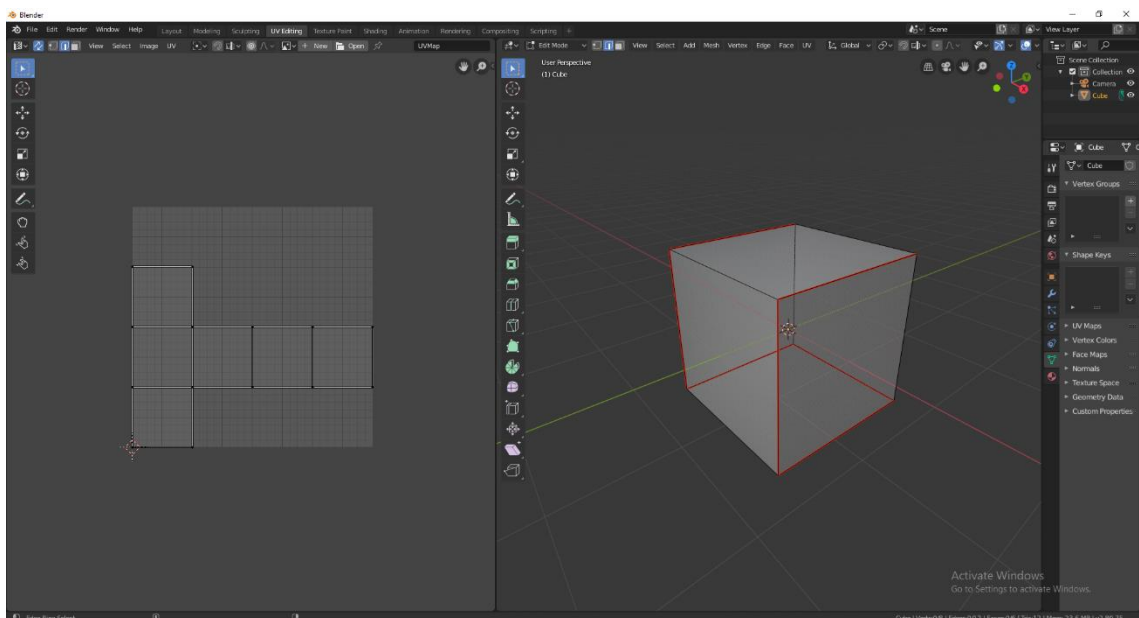
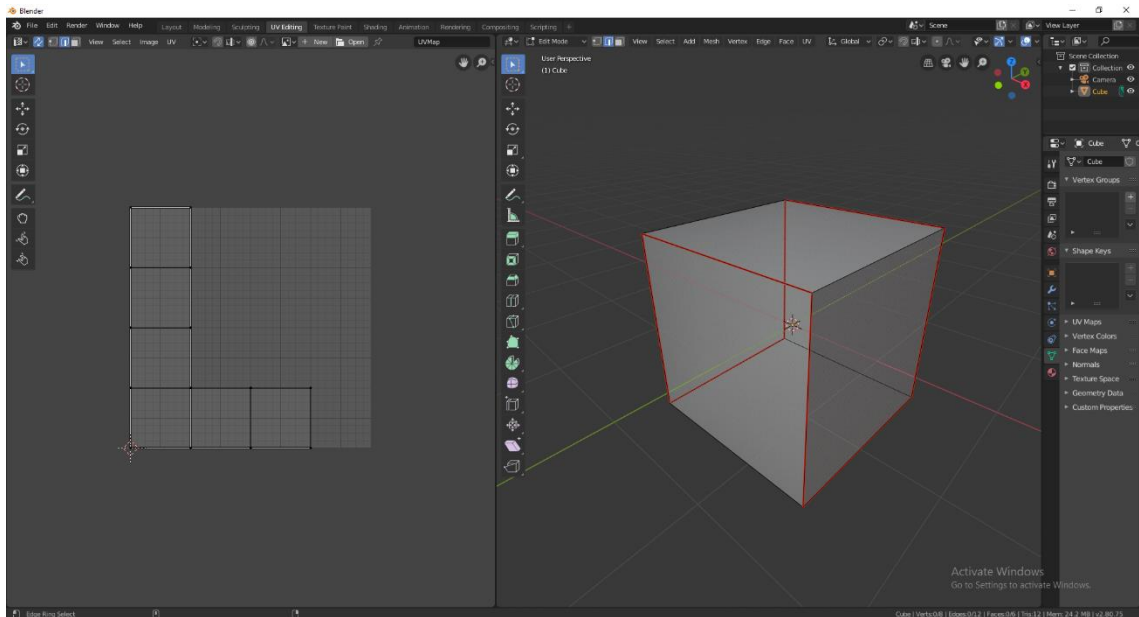
Proces *unwrappanja* se radi na način da se na modelu označe rubovi gdje se želi stvoriti rez (eng. *Cut*).



Slika 20. Prikaz unwrapanog modela čovjeka.

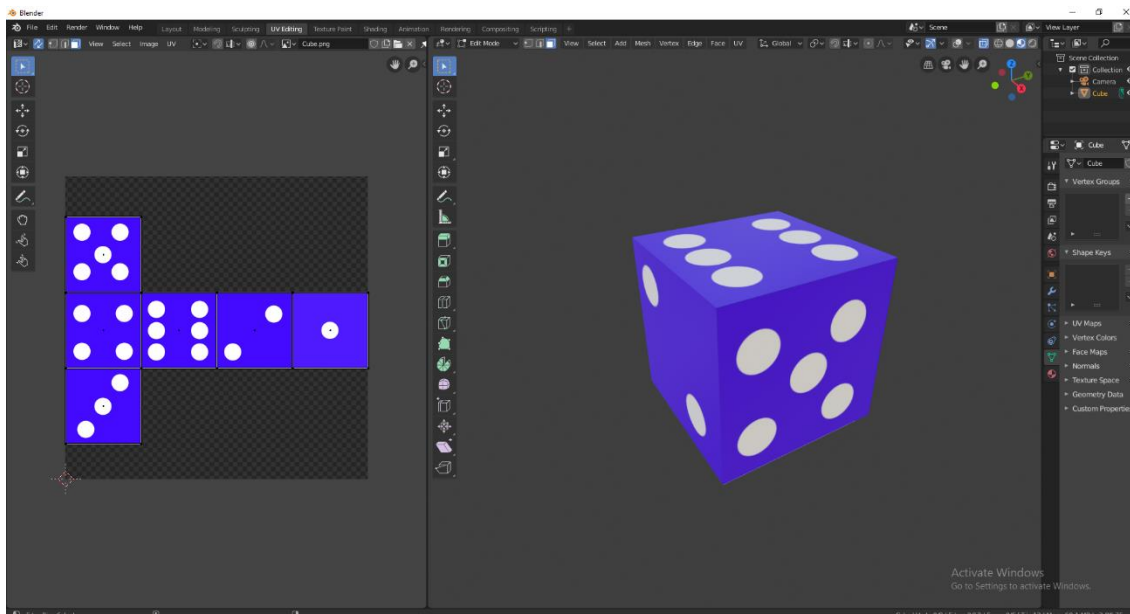
(<http://docs.pixologic.com/wp-content/uploads/2013/01/4R7-UVM-31.jpg>)

Pozicioniranjem rezova na određena mjesta odlučujemo na koji način želimo *unwrapati* naš model crveni rubovi koji su manualno označeni, prikazuju gdje će se raditi rez (Slika 21.). Kod kompleksnijih modela proces *unwrappanja* mora biti jako točan i precizan kako bi se mjesta za teksture maksimalno iskoristile. Točnost i preciznost ovog koraka najznačajnija je u industriji videoigara.



Slika 21. Prikaz različitog unwrappanja 3D modela.

Nakon što je model pravilno *unwrappan* spreman je za primjenu tekstuure (Slika 22.). Izrada tekstura može se raditi u softverima za modeliranja ali češće se za to koriste softveri specijalizirani za teksturiranje kao što su Substance Painter, Adobe Photoshop, i Materialize.



Slika 22. Prikaz iztexturiranog 3d modela sa osnovnom teksturom (diffuse).

4.4. Primjena 3D modeliranja u ostalim industrijama

PRIMJENA 3D MODELIRANJA U FILMSKOJ INDUSTRIJI

Filmska industrija i 3D industrija danas su u neraskidivoj vezi. Ono što pokreće 3D industriju je priča koju pratimo kroz filmove i interakcija koju doživljavamo kroz računalne igre. Ogromna prednost korištenja tehnologije za 3D modeliranje i animiranje je ta što za stvaranje filma više nije potrebno financijsko bogatstvo, već samo znanje i vrijeme. Sve se može napraviti iz jedne sobe, no često na filmovima koji se temelje na 3D tehnologiji radi 500-tinjak izvrsnih stručnjaka koji su također plaćeni za svoj rad.

Najviše se koriste u polju specijalnih efekata za stvaranje objekata i efekata koje nije moguće stvoriti ili je preskupo izvesti u normalnim uvjetima.

Tu nailazimo na pojam CGI (“*Computer Generated Imaging*“) gdje pojedinci stvaraju novu zamišljenu scenu ili manipuliraju postojećom da bi dobili okruženje koje je u skladu s atmosferom i vizijom filma.

Predvodnik u ovome bio je Pixar koji je još 1972. godine prvi put izradio grubi render ljudske ruke.

Čak i s nevjerojatnom računalnom snagom tvrtke Pixar potrebno je više od 6 sati renderiranja za samo jednu sličicu (kadar) animiranog filma. Od animatora se očekuje da pripreme po 100 kadrova tjedno, a prosječan film od 90 minuta ima čak 130 000 kadrova.

Zbog napretka tehnologije i realističnog dizajna, kada je pravilno izveden, CGI danas često neće biti primjetan (ovdje, dakako, ne mislimo na filmove poput Avatara gdje su specijalni efekti veliki dio filma).



Slika 23. Prikaz korištenja i modela i specijalnih efekata u filmu.

(<https://digitalsynopsis.com/wp-content/uploads/2015/04/movies-before-after-green-screen-cgi-iron-man-2.jpg>)

PRIMJENA 3D MODELIRANJA U MEDICINI

3D tehnologija u službi suvremene medicine donijela je značajna poboljšanja u odnosu na tradicionalne metode liječenja. Veliki napredak zabilježen je u prvom redu u kirurgiji i ortopediji, osobito u pristupu tretiranja lomova kostiju. Frakture kostiju međusobno se razlikuju ne samo u smislu vrste kosti koja je pretrpjela prijelom, nego i prema mjestu prijeloma, mehanici loma i drugim okolnostima ozljeđivanja. Osim toga, u anatomijama pacijenata postoje određena odstupanja koja se prvenstveno odnose na građu tijela, uzrast pacijenta te strukturu same kosti, pa možemo reći da ne postoje dva ista prijeloma te da se svakoj sanaciji frakture treba pristupiti na individualan način. Takav personalizirani pristup koji daje najbolje rezultate za izlječenje i oporavak od prijeloma omogućila je upravo 3D tehnologija.

Prije samo 10 godina izrada ortopedskih pomagala bila je dugoročan i skupocjen proces. Prijašnja ortopedska pomagala bila su ograničena materijalima te često vrlo teška i gruba za pacijenta, a situacija je bila još kompleksnija kod djece koja rastu.

Bez tehnologije 3D skeniranja, modeliranja i printanja za izradu pomagala pacijente je bilo potrebno ručno mjeriti te izrađivati odljeve i kalupe po kojima bi se pomagala izrađivala. Odljevi i modeli često ne bi ispali savršeno, što je zahtijevalo da se proces ponovi i po nekoliko puta.

Uz pomoć modernih skenera i softvera ovaj proces se znatno skratio s obzirom da je za sken od 360 stupnjeva potrebno svega 30 sekundi, a ujedno se i izbjegao problem radijacije prisutan kod strojeva za magnetsku rezonancu.



Slika 24. Prikaz isprintane 3D proteze za rehabilitaciju.

(https://assets.pinshape.com/uploads/image/file/26180/container_3d-printed-exoskeleton-hands-3d-printing-26180.JPG)

PRIMJENA 3D MODELIRANJA U ARHITEKTURI

Nekad davno, dizajneri interijera i eksterijera u arhitekturi teško su mogli predočiti svoje ideje potencijalnim klijentima. Ako je netko želio poslodavcu iznijeti projekt na kvalitetan način, nerijetko bi tražio usluge profesionalnog ilustratora koji bi nacrtao prostor u skladu s arhitektovim sugestijama.

Pojavom kompleksnih 3D programa, ovaj problem je uvelike riješen, te dizajneri sami mogu pokazati svoje ideje na fotorealističnoj razini.

Pri 3D modeliranju za arhitektonsku vizualizaciju prostora, ključno je da rad ima visoku vizualnu kvalitetu. Kako je konačan proizvod najčešće komplet od nekoliko slika, optimizacija nije primarna pri izradi.

Čak i ako se napravi arhitektonska vizualizacija s puno detalja, izazov će biti jedino duže renderiranje (od nekoliko sati). Naravno, u slučaju hitnosti, 3D artisti mogu koristiti neki od već navedenih oblika optimizacije, što će skratiti trajanje renderiranja.

Primarno je da u arhitektonskim vizualizacijama do izražaja dolaze ideje samog korisnika, odnosno arhitekta koji predstavlja svoj rad. Kako moderni programi za 3D dizajn mogu prilično dobro odraditi tehnički dio prezentacije, na njemu je da se posveti svojoj vještini – koju će iskazati odabirom kuta kamere, osvjetljenjem i teksturama.



Slika 25. Primjena 3D modeliranja u arhitekturi.

(<https://www.sculpteo.com/blog/wp-content/uploads/2017/11/revit-min-1.jpg>)

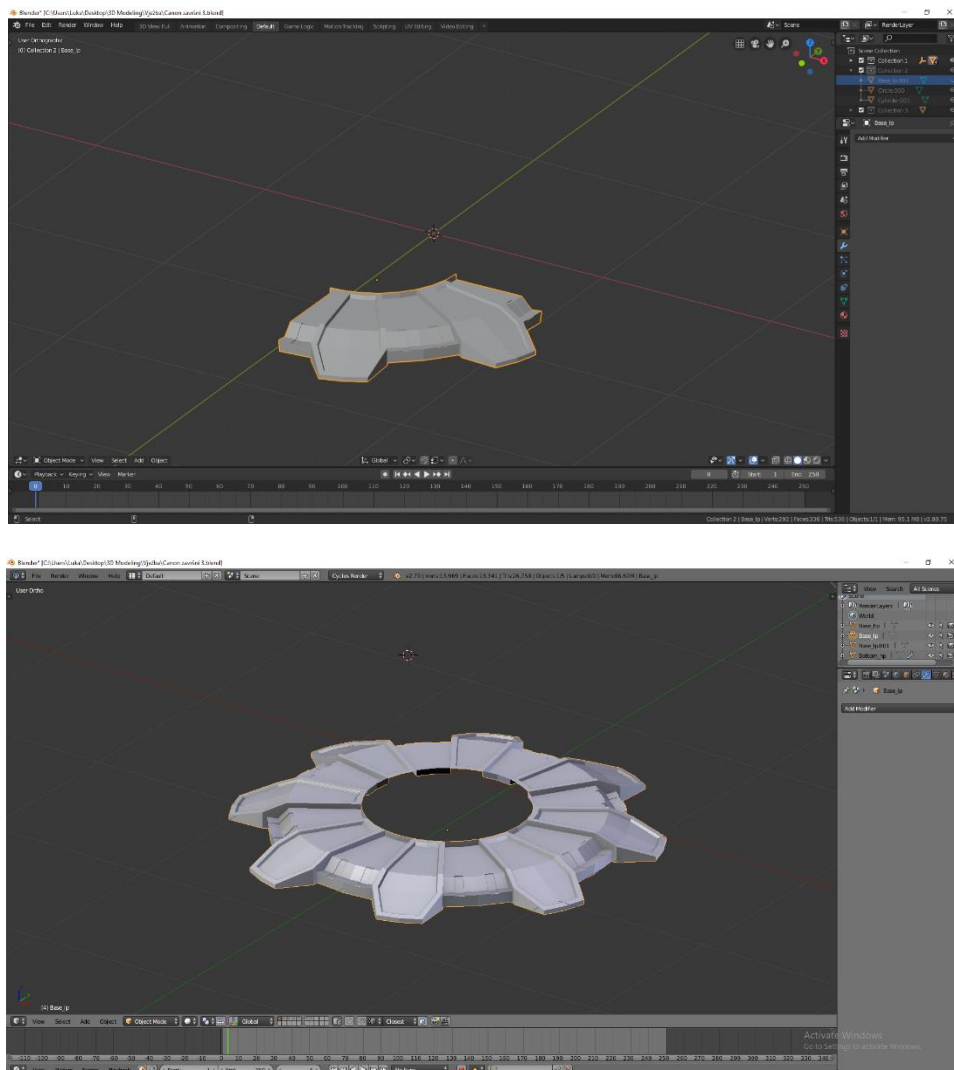
5. EKSPERIMENTALNI DIO

5.1. Opis projekta

U ovom završnom radu izrađen je 3D model koristeći se softverima Blender i Substance painter. Rađen je kombinacijom poligonalnog u subdivizijskog modeliranja. Model je napravljen da bude spreman za implementaciju u računalnu videoigru (eng. Game ready.) Model koji je napravljen je top (eng. Turret) koj se može koristiti u *Tower Defense* igrama.

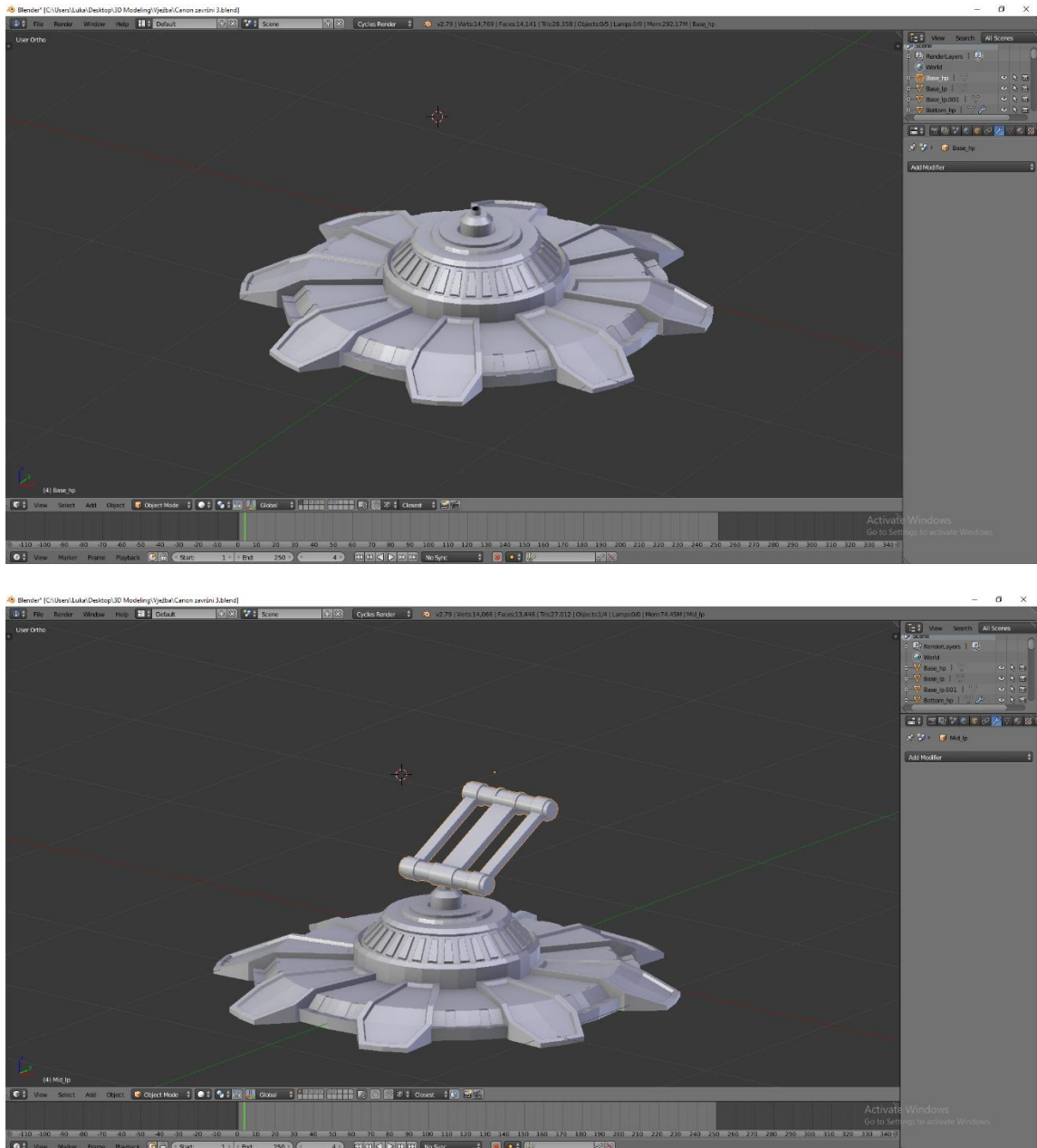
5.2. Proces 3D modeliranja

Proces izrade modela krenuo je izradom baze na kojoj će cijeli top stajati. Modelirana je jedna četvrtina baze a i onda pomoću *modifera* napravljene 3 kopije koje su zarotirane da se stvori okrugla baza (Slika 26.).



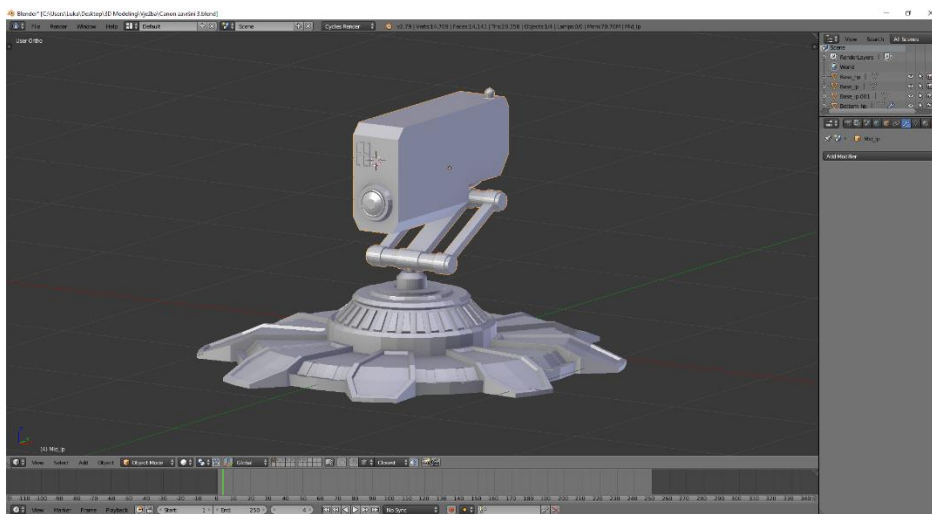
Slika 26. Prikaz modeliranja baze

Nakon modeliranja baze dolazi izrada postolja koje je *extrudirano* i oblikovano iz baze. (Slika 27.). U ovom procesu korišteni su razni alati za modeliranja kao što su smanjivanje i povećavanje (eng. *Scaling.*), uvlačenje i izvlačenje (eng. *Insert i Extrude.*).



Slika 27. Prikaz modeliranja postolja.

Nakon modeliranja postolja dodan novi objekt koji će biti glavno kućište (Slika 28.) na koje će dolaziti topovi, pomoću naredbi iz prijašnjeg koraka oblikovano je kućište, dodani dodatci kao što su svjetla i ekrani da izgledalo kao glavni dio cijelog topa.



Slika 28. Prikaz izrade kućišta.

Nakon izrade kućišta slijedi izrada posljednjeg dijela a to su topovi iz kojih će se pucati. Pored kućišta izrađena je baza na kojoj će topovi stajati i povezani sa raznim cijevima i vodovima te dodana razna osvjetljenja da izgleda kao da je sve povezano i da je sve jedna cjelina. Zatim je dodani novi cilindar pomoću kojeg su oblikovane cijevi za top, to se sve modelira samo na jednoj strani koja će se kasnije zrcaliti (eng. *Mirror*.) na drugu stranu.



Slika 28 Prikaz izrade i zrcaljenja topa.

IZRADA HIGH-POLY MESHA

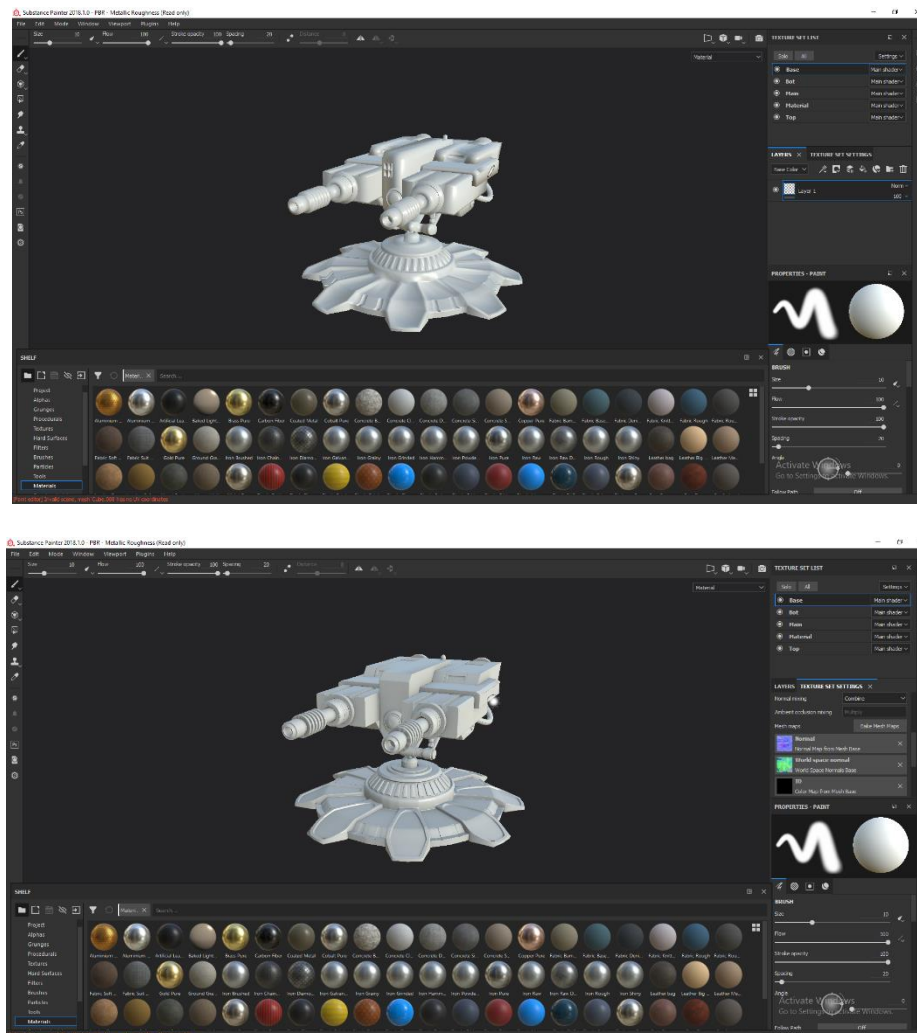
Model koji je napravljen izgleda dobro i po broju poligona može se implementirati u videoigru no nema puno detalja. Da bi se postigao model koji ima puno detalja a da i dalje može ići u videoigru treba se napraviti taj detaljan model i onda se pomoću *normal* mapa informacije sa tog modela prebace na takozvani *low-poly* model bez dodavanja ekstra poligona. *High poly mesh* je napravljen tako da je na sadašnji model dodan *modifier subdivision surface* i onda pomoću njega dodani detalji s time da kada se kreira *high poly* model ne mora se paziti na broj poligona.



Slika 29. Prikaz finalnog low poly i high poly modela.

5.3. Teksturiranje 3D modela

Nakon što je 3D model modeliran slijedi faza teksturiranja koja je rađena u Substance painteru. Prvi korak je ubacivanje modela u substance painter a zatim prebacivanje informacije sa *high poly mesha* na *low poly mesh* što se još zove i bakanje.



Slika 30. Prikaz low poly modela sa informacija od high poly modela.

Nakon bakanja tekstura slijedi proces teksturiranja modela (Slika 31.) odnosno dodavanje materijala. Materijali se kao i kod procesa modeliranja dodavaju dio po dio. Prvo slijedi teksturiranje baze a zatim postepeno dio po dio prema gore. Za metalne dijelove se koristi kombinacija tamno i svijetlo sive boje a za detalje se koristi crvena boja kako bi top došao do izražaja. Za dijelove koji svijetle se koristi svijetlo plava boja kako bi top izgledao više futuristički. Za glavno kućište se koristi crveno svijetlo kako bi se dobio dojam da je top u funkciji i spreman za upotrebu.



Slika 31. Prkaz tekstuiranja 3D modela

RENDERING

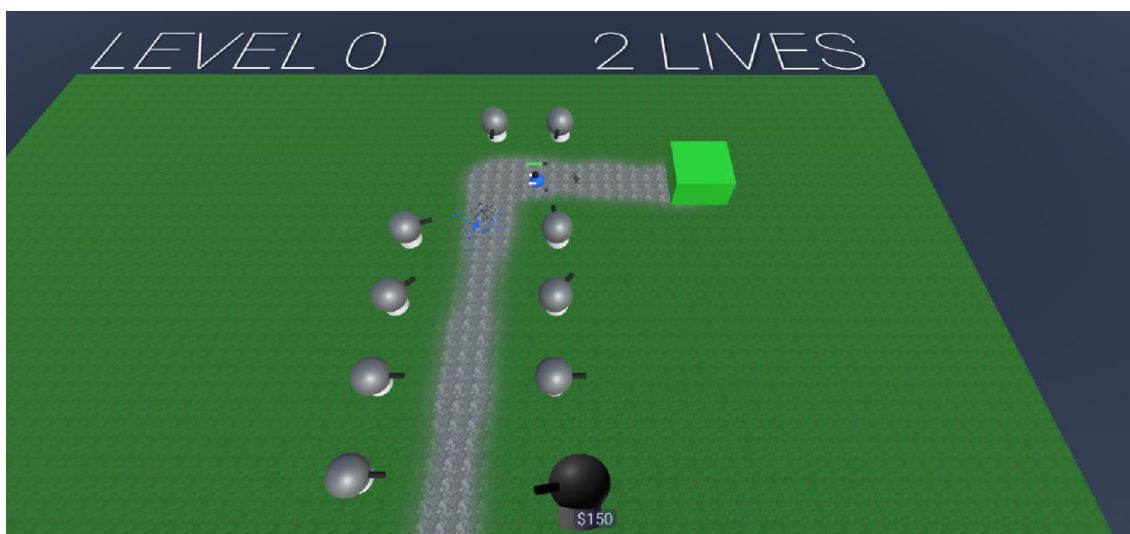
Pri završetku teksturiranja model se zajedno sa teksturama *exporta* i spreman je za implementaciju u *game engine* ili natrag u 3D softvere za rad na animacijama. Nakon *exportanja* modela 3D artisti će uglavnom raditi render (Slika 32.) modela odnosno smještati ga u scenu pod određenim kutom i sa posebno namještenim osvjetljenjem kako bi se dobio što ljepši prikaz gotovog modela. Softveri za 3D modeliranje uglavnom imaju svoj *render engine* ali postoje posebni softveri koji su specijalizirani samo za render neki od njih su V-ray , Marmoset Toolbag i OctaneRender.



Slika 32. Prikaz završnog rendera u slikovnom formatu.

IMPLEMENTIRANJE 3D MODELA U GAME ENGINE

Nakon što je faza teksturiranja gotova model je spreman za implementaciju u *game engine* koji se koristi, najpopularniji danas su Unity engine i Unreal engine. Svaki game engine ima svoj način obrade osvjetljavanja objekta tako da se cijeli proces osvjetljavanja i balansiranja svjetla obavlja u *game engineu*. Ako model nije spreman programer će za modele koristiti neke osnovne oblike kako bi se lakše navigirao (Slika 33.) i onda po završetku modeliranja naknadno ubaciti gotov model (Slika 34.)



Slika 33. Prikaz igre u game engineu prije dodavanja modela.



Slika 34. Prikaz igre u game engineu nakon dodavanja modela.

6. ZAKLJUČAK

Cijeli proces izrade 3D modela za računalnu igru nije jednostavan, potrebno je paziti na mnoge stvari no nema sumnje da je to industrija koja je iz dana u dan sve popularnija i vrlo je vjerojatno da će tim tijekom nastaviti i dalje. Kako se računala razvijaju tako se razvijaju i videoigre koje ta računala mogu pokrenuti, no ne razvijaju se samo videoigre nego i njihova izrade, u zadnjih 30 godina izrada videoigara vrlo napredovala za nešto što je prije zahtjevalo cijeli tim ljudi danas može napraviti jedna osoba i to na računalu u svom domu. Pozitivna strana je što je danas kada je internet postao standard puno lakše ući u tu industriju i steći određeno znanje sa svog osobnog računala, upravo zbog toga postoji negativna strana a to je velika konkurencija jer broj igara iz godine u godinu eksponencijalno rastu zato da bi se probili sa novom videoigrom ideja mora biti kreativna, zanimljiva i jedinstvena što je jako teško s obzirom na današnju ponudu na tržištu. Bez obzira na to 3D modeliranje je vještina koja će se u budućnosti jako razvijati, ne samo u videoigrama nego i u ostalim granama industrije.

7. LITERATURA

1. http://www.zbrdazdola.com/infobible/infobible/razvoj_racunala_kroz_povijest.htm
2. <http://gamedev.machina.hr/uvod-u-3d-modeliranje/>
3. Understanding digital games – Jason Rutter and Jo Bryce
4. Understanding viode games – Simon Egenfeldt – Nielsen
5. <http://www.izit.hr/novosti/primjena-3d-tehnologija-u-medicini/>
6. http://profine-croatia.hr/arh_sheme/pdf/3D_modeliranje.pdf
7. https://hr.wikipedia.org/wiki/3D_modeliranje
8. <http://gamedev.machina.hr/teksturiranje-i-substance-painter/>
9. <https://3d-ace.com/expertise/technical-expertise/texturing>
10. <https://pogledkrozprozor.wordpress.com/2017/08/31/graficko-3d-modeliranje-pomocu-alata-blender-i-sketchup/>
11. Works of game on the aesthetics of games and art – John Sharp
12. <https://www.opensource-osijek.org/2015/08/24/codecamp-3d-modeliranje-u-blenderu/>
13. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Videoigra>