

# Pojava fenomena tajnovite doline u obliku 3D digitalnog realističnog portreta i proces izrade istog

---

**Galunić, Neven**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:210174>

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

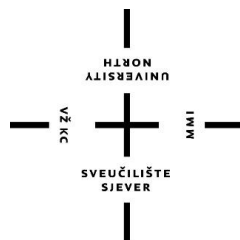
*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

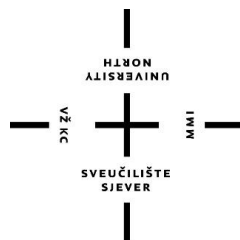
**Diplomski rad br. 065-MMD-2022**

**Pojava fenomena tajnovite doline u obliku 3D digitalnog realističnog  
portreta i proces izrade istog**

**Neven Galunić, 2669/336**

Varaždin, rujan 2022. godine





**Sveučilište  
Sjever**

**Odjel za Multimediju**

**Diplomski rad br. 065-MMD-2022**

**Pojava fenomena tajnovite doline u obliku 3D digitalnog realističnog  
portreta i proces izrade istog**

**Student**

Neven Galunić, 2669/336

**Mentor**

doc. art. dr. sc. Robert Geček

Varaždin, rujan 2022. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

|                             |                                                                                                                                                                                     |            |                    |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|
| ODJEL                       | Odjel za multimediju                                                                                                                                                                |            |                    |
| STUDIJSKI PROGRAM           | diplomski sveučilišni studij Multimedija                                                                                                                                            |            |                    |
| PREDAVAČNIK                 | Neven Galunić                                                                                                                                                                       | JMBG       | 0336020320         |
| DATA                        | 07.09.2022.                                                                                                                                                                         | TIPOLOGIJA | Projektni studij 1 |
| NASLOV RADA                 | Pojava fenomena tajnovite doline u obliku 3D digitalnog realističnog portreta i proces izrade istog                                                                                 |            |                    |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | The emergence of the "uncanny valley" phenomenon in the form of a 3D digital realistic portrait and the process of making it                                                        |            |                    |
| MENTOR                      | Robert Geček                                                                                                                                                                        | ZVANJE     | doc.art.dr.sc.     |
| ČLANOVI POVJERENSTVA        | 1. doc.dr.sc. Andrija Bemik - predsjednik<br>2. doc.dr.sc. Domagoj Frank - član<br>3. doc.art.dr.sc. Robert Geček - mentor<br>4. izv.prof. dr.sc. Emil Dumić - zamjenski član<br>5. |            |                    |

## Zadatak diplomskog rada

PROJ 065-MMD-2022

Idėja ovog diplomskog rada je predstaviti fenomen tajnovite doline, prikazati i objasniti proces izrade 3D digitalnog realističnog portreta, te provesti istraživanje u skladu s tim tema. U radu će se pokušati ustanoviti razlozi zbog kojih dolazi do fenomena tajnovite doline u 3D digitalno stvorenom čovjeku. U praktičnom dijelu objasniti će se izrada 3D digitalnog čovjeka u sljedećim računalnim programima: Maxon ZBrush, Autodesk Maya, Microsoft Dynamics 3D Printer i Fourdry Mail.

Diplomski rad sastoji se od teorijskog i praktičnog dijela. U teorijskom dijelu razrađeni su pojmovi fenomena tajnovite doline i integracija tog fenomena u digitalnom mediju, dok se u praktičnom dijelu razrađuje proces izrade 3D digitalnog portreta. Provede se anketno istraživanje na temu razlike fenomena tajnovite doline u 3D digitalnim portretima i mogućih razloga koji utječu na percepciju promatrača.

OPREZ - BUĐET

07.09.2022.



OPREZ - BUĐET

## **Sažetak**

Zamisao ovog diplomskog rada je predstaviti, objasniti i prikazati upotrebu 3D računalnih operacijskih sustava u svrhu stvaranja 3D digitalnih realističnih portreta te obrazložiti i objasniti procese i provesti istraživanje na temu „tajnovite doline“. Digitalna umjetnost veoma je opširan pojam te se mnoštvo raznih multimedijских sadržaja može svrstat kao digitalni rad. 3D u tom pogledu raste nekontrolirano brzo, ne samo zbog novih načina stvaranja u 3D prostoru, već radi tehnologije koja se nadograđuje iz dana u dan.

Ključne riječi: 3D, umjetnost, portret, digitalno, tajnovita dolina

## **Summary**

The idea of this thesis is to present, explain and demonstrate the use of 3D computer operating systems for the purpose of creating 3D digital realistic portraits and to explain the processes and conduct research on the topic of the "uncanny valley". Digital art is a very broad term, and various content in the multimedia field can be classified as digital work. 3D in this perspective is growing uncontrollably fast, not only because of new ways of creating in the 3D space, but because of the technology that is improving day by day.

Keywords: 3D, art, portrait, digital, uncanny valley

# Sadržaj

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Uvod.....                                                                                    | 1  |
| 2. Tajnovita dolina.....                                                                        | 2  |
| 2.1 Što uzrokuje efekt tajnovite doline?.....                                                   | 3  |
| 2.2 Prisutnost tajnovite doline.....                                                            | 5  |
| 3. Ljudska sličnost .....                                                                       | 6  |
| 4. Koraci procesa izrade 3D digitalnog portreta .....                                           | 9  |
| 4.1 Konceptualizacija i referenciranje.....                                                     | 9  |
| 4.2 Organičko 3D modeliranje .....                                                              | 12 |
| 4.3 3D modeliranje tvrdih površina .....                                                        | 20 |
| 4.4 Važnost UV mapa i topologije 3D modela .....                                                | 25 |
| 4.4.1. UV mapa.....                                                                             | 25 |
| 4.4.2. Topologija 3D modela .....                                                               | 29 |
| 4.5 Kreiranje 3D odjevnih predmeta.....                                                         | 30 |
| 4.6 Mape tekstura.....                                                                          | 32 |
| 4.7 Kreiranje virtualnih dlaka i materijala unutar softvera za finalni prikaz 3D portreta ..... | 34 |
| 4.7.1. Kreiranje virtualnih dlaka.....                                                          | 34 |
| 4.7.2. Kreiranje materijala na 3D sceni .....                                                   | 35 |
| 5. Istraživanje .....                                                                           | 38 |
| 5.1 Rezultati anketnog istraživanja .....                                                       | 39 |
| 6. Zaključak.....                                                                               | 53 |
| 7. Literatura.....                                                                              | 54 |
| Popis slika.....                                                                                | 55 |



# 1. Uvod

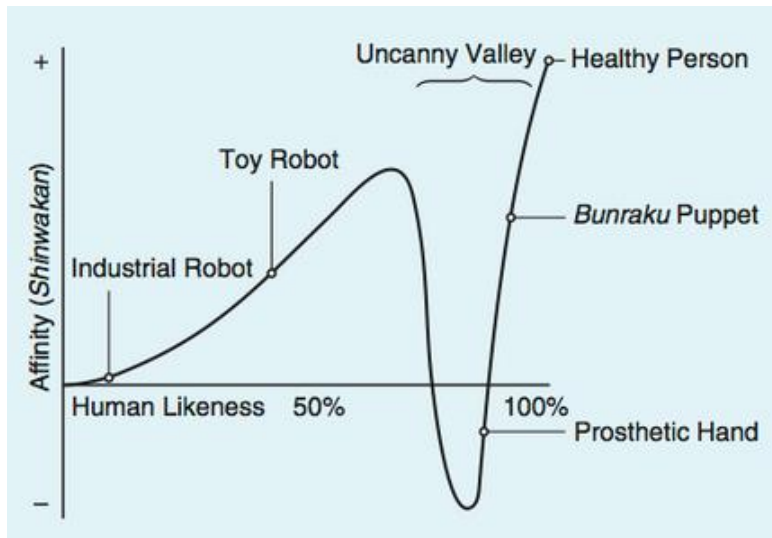
Predstavljeni diplomski rad bazira se na upoznavanju i detaljnoj razradi čitatelja s pojmom „tajnovita dolina“, procesima izrade 3D digitalnog realističnog portreta te istraživanje fenomena tajnovite doline u polju 3D digitalnog čovjeka. Koncept tajnovite doline usko je vezan uz praktični dio te vrlo bitan za rad kako bi se mogla provesti istraživanja tijekom rada te anketna istraživanja. Najnovije metode i načini izrade svih potrebnih koraka biti će objašnjeni u ovom radu. Već spomenuto polje treće dimenzije u digitalnoj umjetnosti uvelike se unapređuje te danas ne samo profesionalci, već svatko ima pristup mnoštvu računalnih programa, sistema, sredstva te video sadržaja putem kojih pojedinac može naučiti ili podučiti. Ljudima je omogućeno korištenje i rad u računalnim programima namijenjenim za 3D digitalnu umjetnost, što nije bilo moguće prije desetak ili više godina. Proces rada zahtijeva od umjetnika da razumije i posjeduje vještine i znanje mnogih artističkih i tehničkih aspekata umjetnosti te mnoštvo softvera koji će se detaljno objasniti kroz diplomski rad.

No, sami programi nisu dovoljni kako bi se kreirao rad. Ogroman broj sati mora se uložiti u učenje softvera, od temelja kao što su kretanje unutar 3D prostora do svih mogućnosti koje softver pruža te usavršavanja vlastitog znanja i vještina. Međutim, poznavanje softvera i softverskih mogućnosti nije jedino što je pojedincu dovoljno kako bi se izradio rad poput ovog. Važniji aspekt za kreaciju jest vladanje raznovrsnim znanjem i vještinama koje su više no potrebne, kao što su znanje o ljudskoj anatomiji mišića i kostura, što je neophodno kako bi se kreirala digitalna skulptura, odnosno digitalni portret. Mnogi drugi faktori su jednako bitni, od vještina i znanja kreiranja odjeće, do tekstura, optimizacije 3D mreže modela, poznavanje rasvjete scene i modela te mnoštvo drugih koji će biti detaljno objašnjeni i pokazani u diplomskom radu.

Smisao diplomskog rada je upoznati hrvatsku publiku s ovakvom vrstom digitalne umjetnosti, navesti, objasniti i podučiti čitatelje o ovoj temi i „tajnovitoj dolini“ te provesti anketno istraživanje.

## 2. Tajnovita dolina

Prije četrdesetak godina, profesor robotike na Tehnološkom institutu u Tokiju, Masahiro Mori napisao je znanstveni rad o svojoj viziji ljudske reakcije na robote koji se ponašaju i izgledaju gotovo ljudski. Konkretnije, pisao je o promjeni ljudskih emocija, koje bi se mijenjale iz empatije u gadljivost kada bi se pravi čovjek približio robotu koji ne uspijeva postići izgled sličan živom biću. Takva pojava osjećaja sablasnosti poznata je kao tajnovita ili jezovita dolina (eng. uncanny valley). Mori je ovakvu pojavu identificirao kao „bukimi no tani genshō“ što u prijevodu znači dolina jezivosti. Znanstveni rad Masahiro Morija objavljen je u opskurnom japanskom časopisu Energy u 1970. godini te do nedavno nije imao previše utjecaja ni čitanosti. No, nekoliko godina unazad, fenomen tajnovite doline rapidno je privukao interes u robotici i drugim znanstvenim krugovima te u popularnoj kulturi. Mnogo istraživača istraživalo je i još istražuje učinke interakcije čovjeka i robota te animaciju računalne grafike, dok su drugi istraživali društvene i biološke korijene teme. Interes i značaj ove teme raste usporedno s tehnologijom te granica između tajnovite doline i realnosti postaje sve tanja i tanja. Mori je u svojem radu zapisao da su roboti koje izradi privlačniji ako izgledaju više ljudski. Iako ta činjenica stoji, to je funkcioniralo samo do određene točke. Ako bi se ljudi približili i imali interakciju s robotom, ljudi bi se osjećali nelagodno. Nakon što se dosegne ta točka jezovite doline, osjećaji bi čak prešli u uznemirenost i strah. [1]



Slika 1 Uncanny valley, Masahiro Mori 1970.

Slika 1 ilustrira graf koji je stvorio Masahiro Mori. Graf prikazuje odnos između ljudske sličnosti i emocije. Na grafu je y os označena sa afinitetom, dok je x os označena s ljudskom sličnošću. Kad se povećava podražaj ljudske sličnosti, emocionalni odgovor pojedinca postaje pozitivniji, no kad ljudska sličnost dospije blizu savršenstva, emocionalni podražaj naglo pada i postane negativan. Dio grafa nakon tog dijela jest tajnovita dolina.

„Primijetio sam da, penjući se prema cilju da roboti izgledaju kao ljudi, naša sklonost prema njima raste sve dok ne dođemo do jedne granice, koju ja nazivam jezivom dolinom“ objasnio je Mori. [2]

## 2.1 Što uzrokuje efekt tajnovite doline?

Iako postoji mnoštvo predloženih objašnjenja zbog čega dolazi do tajnovite doline, trenutno ne postoji dokaz ili zaključak koji bi to konkretno definirao. Određene teorije sugeriraju kako je fenomen na biološkoj razini, dok druge teorije ukazuju na to da postoje i kulturološka objašnjenja. Premda ne postoje dokazane činjenice, uzroci su podijeljeni u više skupina:

## **1. Dvosmislenost**

Često je osjećaj jezovitosti uzrokovan osjećajem dvosmislenosti. Kad promatrač gleda u predmet koji je gotovo, ali ne sasvim ljudski, to stvara napetost koja uzrokuje neugodnost. Takvi se efekti često iskorištavaju za pojačavanje užasa i jezovitosti u kinematografiji, točnije horor žanru, primjerice ubacivanje ljudske karakteristike u neljudska bića.

## **2. Neusklađeni elementi**

Istraživanja pokazuju kako se ljudi uznemire kada se spajaju elementi koji često nisu spojivi. Primjerice, kroz razne testove otkriveno je da ljude ne uznemiravaju roboti s automatiziranim robotskim glasom, ali korištenje ljudskog glasa u robotu dovodi do raznih miješanja osjećaja jezivosti, gadljivosti, neugodnosti itd. Taj efekt također se može primijeniti na računalnim animacijama ljudi ili životinja.

## **3. Nedosljednost**

Ljudsko oko naučeno je i vrlo vješto u prepoznavanju i najmanjih nedosljednosti u robotskom ili računalno animiranom humanoidu, čak i u vrlo realističnim prikazima. Relativno minorne razlike mogu uništiti uvjerljivost onog što promatrač gleda. U jednom od primjera Masahiro Morija, robotski lik odjednom je postao vrlo nesimpatičan i jeziv kada se nasmiješio malo presporo.

## **4. Reakcije živog ili neživog**

Masahiro Mori i drugi znanstvenici koji su istraživali ovu temu sugeriraju da je tajnovita dolina odbojan i artificijelan odgovor na potencijalnu bolest ili smrt. S obzirom na to da je nešto nalik živom čovjeku, ali nije sasvim živo, može izazvati isti osjećaj koji ljudi imaju kad naiđu na nešto što je bolesno, umire ili je već mrtvo.

## **5. Nesigurnost**

Jedna od teorija, dvosmislenost, implicira da ovaj fenomen postoji zbog poteškoća u određivanju kategorije kojoj entitet pripada. Uključujući u to je li figura pravi čovjek,

fizička lutka ili računalni trodimenzionalni model. Čovjek i neživi predmet postaju dvije odvojene kategorije. Dakle, kad se nešto približi točki u kojoj se čini da prelazi iz jednog u drugo, to može izazvati osjećaj kognitivne disonance. Kad se u ljudima probudi konflikt između onog što vide i onog što misle da vide, skloni su iskusiti psihičke nelagode. U ovom slučaju, postoji sukob između uvjerenja je li entitet čovjek ili nije. Nešto što izgleda ljudski i živo, može se iznenada činiti neljudskim te se čak taj osjećaj može ispreplitati ovisno o perspektivi ili pomaku pogleda promatrača. Umjetni prikaz može biti realističan da vas zamalo prevari kako je prikaz živ, ali odstupa od stvarnosti te se osjećaji promatrača sukobljavaju. Zbog toga dolazi do određenih emocija kao što su ambivalentnost ili jezovitost. [2]

## **2.2 Prisutnost tajnovite doline**

Fenomen tajnovite doline pojavljuje se u mnogim drugim poljima kao što su robotika, računalna grafika, industrija filma i video igara.

### **1. Robotika**

Sve veće oslanjanje ljudi na robotsku tehnologiju povećava važnost dizajniranja uređaja koji ne izazivaju nelagodu i nepovjerenje. Naročito u razvoju tehnologije koja je osmišljena za pomoć osobama s invaliditetom u obavljanju svakodnevnih poslova i interakcija. Korisnik će vjerojatnije prihvatiti i kupiti dizajn koji je, prije svega koristan, ali privlačan na prvi pogled. Izgled robota koji pada u tajnovitu dolinu izazvao bi nelagodu i jezovitost te samim time bio lošije prihvaćen te rjeđe korišten.

### **2. Računalna grafika**

U ovu skupinu najčešće se ubrajaju digitalni avatari, odnosno karakteri ljudskih osobina. Koriste se u brojnim područjima zabave, korisničkih usluga, marketinga i slično. U ovom području najčešći problem je uvjerljivo izraditi karaktera koji neće upropastiti ono s čim korisnik ima interakciju ili što gleda. U filmovima, reklamama ili online uslugama koji

sadrže ljudsku figuru dolazi često do fenomena tajnovite doline zbog toga što je vrlo teško replicirati realistično ljudsko lice u digitalnom mediju, osobito kada dolazi do računalne animacije. Ovo polje tajnovite doline usko je povezan s diplomskim radom te će se detaljnije obraditi u daljnjoj razradi.

### **3. Film**

Filmska scena sve više se oslanja na post-produkciju te računalno generirane efekte. Filmaši nastavljaju rad na razvoju realističnih računalno generiranih karaktera koji se savršeno sklapaju s pravim glumcima te ne izazivaju fenomen tajnovite doline. No, samo nekolicina je to uspjela. Kreirati iluziju pravog čovjeka u digitalnoj verziji, čak i uz pomoć pravih snimaka ljudskog lica ili figure, vrlo je kompleksan zahvat. Mnogi smatraju kako se računalno generirani efekti previše koriste te gube smisao.

### **4. Dizajn video igara**

Tajnovita dolina također utječe na reakcije igrača na realistične karaktere u video igrama. U video igrama se tajnovita dolina zapravo češće iskorištava kao resurs da se pojača osjećaj jezivosti, nelagode itd. Veliki razlog tome je što se digitalni karakteri za video igre izrađuju podosta drugačije od karaktera za film te se teže postiže realizam i uvjerljivost samih likova, naročito portreta ili lica likova. [2]

## **3. Ljudska sličnost**

Termin ljudske sličnosti povezuje dva značenja, koja su vrlo usko povezana. Oba značenja su relativno subjektivna. Jedno značenje ljudske sličnosti jest stupanj do kojeg korisnik percipira da određeni objekt ima ljudski izgled i ponašanje, dok drugo značenje opisuje stupanj do kojeg promatrač percipira prepoznatljivost nekog lica, njemu/njoj poznate osobe ili primjerice neke slavne osobe. No, ljudska sličnost također se može analizirati u objektivnom smislu, kao skup svojstava podražaja. Takva definicija otklanja neke od problema o kojima se često raspravlja kod teme fenomena tajnovite doline te može pripomoći u kreiranju ljudske sličnosti u računalnoj grafici

i robotici. Robotičar David Hanson sugerirao je da rekreacija ljudske sličnosti mora posjedovati samo one elemente koje čovjek prirodno posjeduje:

„Ljudska sličnost je termin unutar mogućeg, prirodnog izgleda stvarnih ljudskih bića...pod-karakteristike realizma, kao što su geometrija, tekstura, boja koje će biti ograničene ljudskom biologijom.“

S obzirom na izradu ljudske sličnosti, bilo to u polju robotike ili računalne grafike, ključni pojam u toj definiciji je realizam, jer stvarno ljudsko biće posjeduje savršeni realizam. Realizam se najbolje može razumjeti u smislu tehnologije za kreiranje računalne ljudske sličnosti. Umjetnici u tom polju mogu izraditi digitalnog čovjeka prema različitim specifikacijama, ovisno o softveru i hardveru koji koriste. Napretkom računalne tehnologije, umjetnici uspijevaju povećati sličnost u digitalnim ljudima razvijanjem 3D modela s više detalja. U usporedbi s D. Hansovim istraživanjem i teorijom, količina detalja koju 3D karakter posjeduje može se podijeliti na svojstva poput rezolucija teksture, broj poligona, broj dodatnih modela na sceni itd. Rezolucija teksture odnosi se na količinu informacija koju jedna površina 3D modela može prikazati. Smanjenje rezolucije također smanjuje samu kvalitetu površine te se kod najmanje rezolucije predstaviti može samo boja. Kako se rezolucija povećava, više karakteristika se mogu uvesti na površinu teksture. Na većoj razlučivosti moguće je predstaviti značajke poput kožnih pora, vena, nabora ili milijuna pojedinačnih dlaka. Broj poligona se pak odnosi na broj linija i točaka u 3D modelu. Četiri točke i četiri linije stvaraju jedan poligon, kao kvadrat, a najjednostavniji 3D oblik je kocka, koju čine šest poligona. Broj poligona vrlo je bitan jer omogućuje strukturiranje 3D modela što bliže pravom ljudskom obliku. Sa smanjenjem poligona, gubi se forma i samim time oblik ljudske figure. Povećavanjem rezolucije teksture i broja poligona povećavat će se i zahtjevi za memoriju i obradu slike, odnosno za hardver. Što znači da se mogućnosti napretka u ovom polju povećavaju s napretkom tehnologije, u softverskom i hardverskom smislu. [3]

Već spomenuto drugo značenje ljudske sličnosti vrlo je usko povezano s tehničkim ali i artističkim aspektima. Proces izrade računalnih 3D realističnih karaktera vrlo je zahtjevan postupak, umjetnički i tehnički gledano. Mnogo različitih softvera potrebno je kako bi se kreirao jedan 3D digitalni karakter. U profesionalnoj industriji, svaki dio u procesu podijeljen je na mnogo ljudi kako bi se što brže i kvalitetnije posao odradio. Što znači da, specijaliziranje u jednu profesiju je normalna pojava u ovoj struci. Primjerice, postoje umjetnici koji se bave isključivo digitalnim

organskim modeliranjem, dok se drugi bave kreiranjem tekstura ili osvjetljenjem scene itd. U ovom području umjetnosti, na profesionalnoj razini, značenje ljudska sličnost odnosi se na prepoznavanje ličnosti neke osobe, npr. glumaca. Primjerice, mnogi filmovi koriste 3D digitalne kopije glumaca koje kreira mnoštvo umjetnika. Digitalne kopije (eng. digi-double) koriste se u ekstremnim scenama koje su opasne po život. Vrlo često takve scene unište uvjerljivost priče ili cijelog filma zbog fenomena tajnovite doline. Stvaranje realistične 3D digitalne kopije vrlo je teško postići da bude savršeno, stoga se pokušava najviše sakriti pravim snimkama. No, zadnjih godina umjetnici sve bolje obavljaju taj posao, uz bolju tehnološku podršku. Ovaj rad također se svodi na praktični dio, u kojem se u detalje opisuje i prikazuje cijeli proces izrade 3D realističnog portreta kakav bi se koristio u filmu, reklami ili bilo kojem snimljenom sadržaju kao 3D digitalni karakter.



## 4. Koraci procesa izrade 3D digitalnog portreta

### 4.1 Konceptualizacija i referenciranje

Termin koncept (eng. concept art) prvi put je koristio studio Walt Disney u 1930.-ima. Umjetnik koji izrađuje koncept je individualac koji stvara vizualni dizajn za neki određeni predmet, karaktera, područja itd. Taj umjetnik treba razvit i posjedovat širok raspon ideja koje se kasnije realiziraju u 2D i 3D obliku. Također, on ili ona mora biti vješt ilustrator koji svoju ideju može vizualno realizirati i predočiti gledatelju ili timu. Koncepti poput takvih koriste se najčešće u industriji filma, video igara, animacije i slično. Nakon što se koncept odobri, 3D umjetnici kreiraju 3D digitalne modele na temelju tog koncepta. [4]



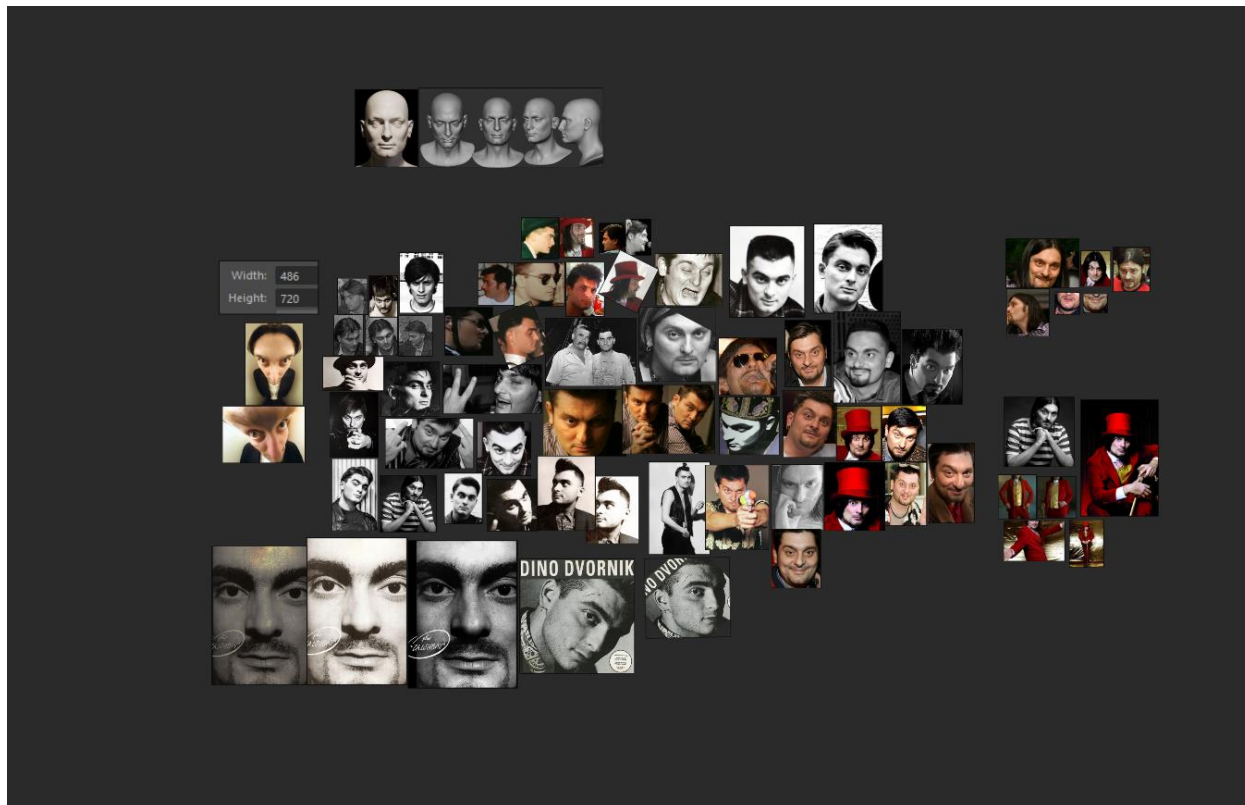
*Slika 2 Koncept umjetnik*



Slika 3 Primjer koncepta za igru ili film

Referenciranje u ovom kontekstu jest sakupljanje već postojećih fotografija ili osobno fotografiranje potrebnih, koje bi služile kao reference u daljnjoj izradi 3D digitalnog portreta. U ovom radu, referenciranje je prvi korak u procesu izrade. Iako za ovaj termin referenciranja nije potrebna specifična vještina i znanje kompleksnog softvera, ovaj korak prije samog početka stvaranja je vrlo bitan kako bi se što lakše ostvarila ideja koju umjetnik želi prenijeti, odnosno kako bi umjetnik ostao konzistentan u ideji i modelu kojeg stvara. U ovom koraku umjetnik traži i sakuplja reference koje će mu pomoći pri kreiranju. S obzirom da se ovaj diplomski rad usredotočuje na vrlo specifičnu tematiku u digitalnoj umjetnosti, izradu 3D digitalnog portreta, bitno je promisliti o glavnom motivu i cilju samog rada te sakupiti što više iskoristivih fotografija koje će služiti za referiranje i prema kojima će se raditi 3D model. Umjetnik najčešće preuzima fotografije s interneta ili digitalnih kopija knjiga. No, samo preuzimanje fotografija znači da ih korisnik sačuva jednu po jednu na računalo, što je nezahvalno koristiti zbog toga što se tijekom rada promatraju i proučavaju više fotografija od jednom, koje služe kao reference, kako bi umjetnik što kvalitetnije i brže kreirao 3D model ili dobio željeni oblik. Upravo zbog tog razloga je vrlo korisno upotrebljavati softver pod nazivom „PureRef“. Taj program stvoren je isključivo iz namjene prikupljanja fotografija kao referenca. Vrlo je praktičan u tom pogledu, zbog toga što se

svaka fotografija sprema u jedno beskonačno virtualno platno, što znači da korisnik može sakupljati fotografije u nedogled u jednom dokumentu i nadopunjavat kolekciju referenci. [5]



*Slika 4 Primjer sakupljenih referentnih fotografija – PureRef*

Na slici 4 prikazuje se virtualno digitalno platno unutar PureRef softvera te sakupljene referentne fotografije na tom platnu. S obzirom da se u ovom primjeru radi o izradi 3D digitalnog portreta poznatog muzičara Dine Dvornika, bilo je potrebno pronaći dovoljno fotografija kako bi se portret mogao rekreirati najbolje moguće. Nužno je, kad se izrađuje portret, prikupiti što više fotografija iz raznoraznih kutova i perspektiva, kao što su profil subjekta, pogled sprijeda i straga, pogled iz 45° odnosno lagano zakrenute glave, bliži kadar lica i detalja, pogled odozgo i odozdo te bilo koje druge perspektive. Naravno, nije uvijek moguće naći takve fotografije, pogotovo kad takve fotografije jednostavno ne postoje, stoga je vrlo bitno pronaći što je više moguće i iskoristiti ono što je iskoristivo. Također, vrlo je korisno poznavati barem osnove fotografije, fotografskih tehnika i specifikacija u ovom koraku, kako bi se izbjegle nepravilne ili loše fotografije ili isto

tako, pronašle one iskoristive. Također, najbolje je pronaći fotografiju koja služi kao glavna referentna točka prema kojoj će se umjetnik orijentirati te koristiti ostale fotografije za kompletnu 3D digitalni skulpturu glave ili lica. Naravno, same fotografije su samo početak, a sljedeći koraci opisuju samu izradu i najvažnije elemente kod digitalnog organskog 3D modeliranja.

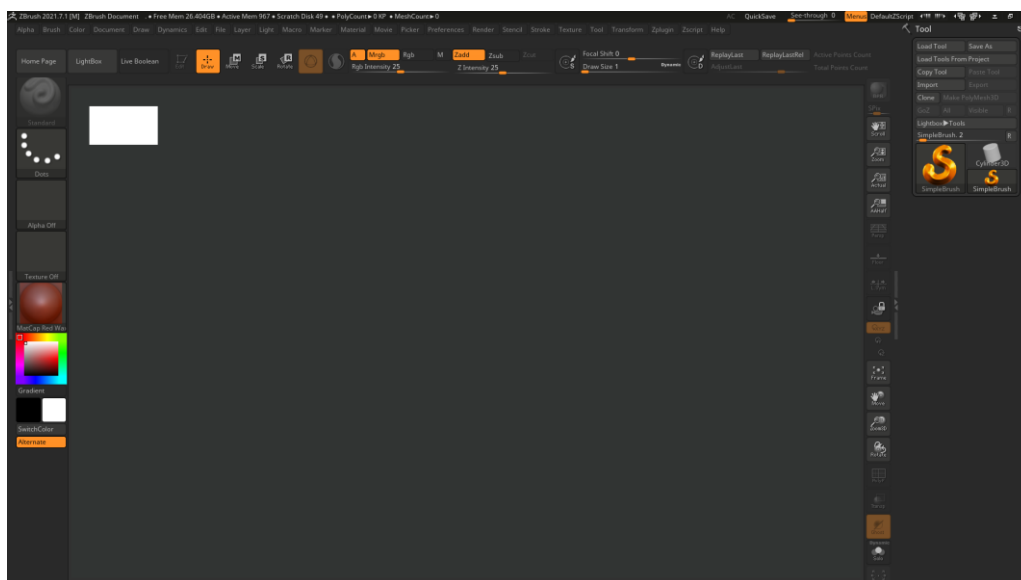
## 4.2 Organičko 3D modeliranje

Nakon što se pronađe dovoljan broj referentnih fotografija koje služe kao smjernice, umjetnik je spreman za ulazak u 3D svijet. Softver kojim se prvenstveno služi jest Maxon ZBrush, koji se koristi u profesionalnoj industriji. To je računalni program koji je namijenjen umjetnicima bilo kojeg medija, ali najviše se može usporediti s tradicionalnim kiparstvom. ZBrush je zamišljen i kreiran u svrhu organskog modeliranja, odnosno kontroliranje digitalnog 3D objekta u kiparskom smislu. Kao što kipar miče i oblikuje glinu rukama i prstima, tako se 3D model može transformirati i definirati u virtualnom 3D okruženju. Digitalno kiparstvo zato zahtijeva grafički tablet, koji služi kao alat u tradicionalnom kiparstvu. Pomoću grafičkog tableta i olovke digitalni kipar oblikuje željenu formu mnogo efikasnije nego klasičnom periferijom kao što je računalni miš. Iako velika razlika između medija, slikarstvo i kiparstvo veoma su usko povezane vrste umjetnosti s digitalnim slikarstvom i digitalnim kiparstvom. Likovne osnove formi, svjetla i sjena, proporcija, boja, ritma i harmonije veoma su važni aspekti te igraju veliku ulogu u stvaranju u svakome mediju. [6] Softver ZBrush osmišljen je isključivo za organsko 3D modeliranje te je vrlo limitiran time, što znači da se ostale akcije i procesi potrebni za cijelu izradu ne mogu odrađivati u ZBrush programu. S obzirom na to, najprestižniji je softver kreiran upravo za to te se koristi u profesionalnoj industriji za razne svrhe. Jedna od opcija je upravo ovo polje industrije koje se opisuje u radu, izrada modela za vizualne računalne efekte, no također se koristi i za izradu modela za video igre ili skulptura za 3D tisak. Sve vrste tehnologija napreduju iz dana u dan te se tako i ZBrush, ali i ostali softveri razvijaju.



Slika 5 Logo ZBrush softvera

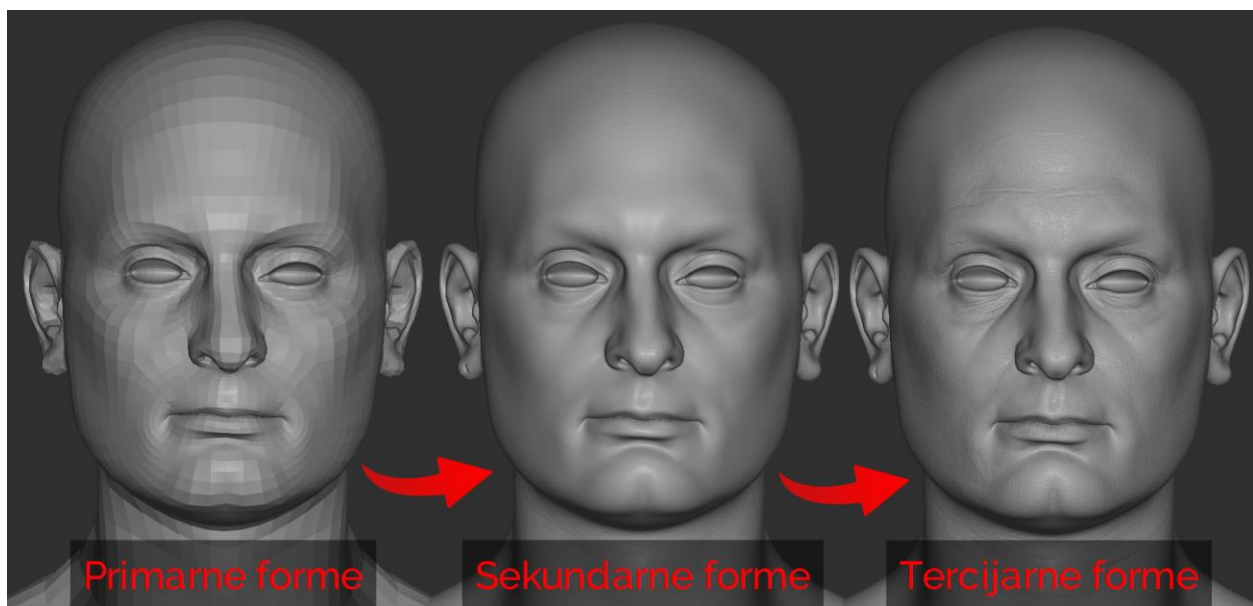
Mnogi aspekti važni su kako bi se mogla kreirati digitalna skulptura unutar ZBrush-a, no prva stvar s kojom je korisnik upoznat jest sučelje softvera. Iako zastrašujuće na prvu, zbog raznoraznih opcija, kategorija, potkategorija i gumbova, vrlo lako se može savladati. Razlog tome je što je kompletno sučelje podložno modificiranju, što znači da umjetnik može postaviti sučelje po želji, kako bi si olakšao/la posao.



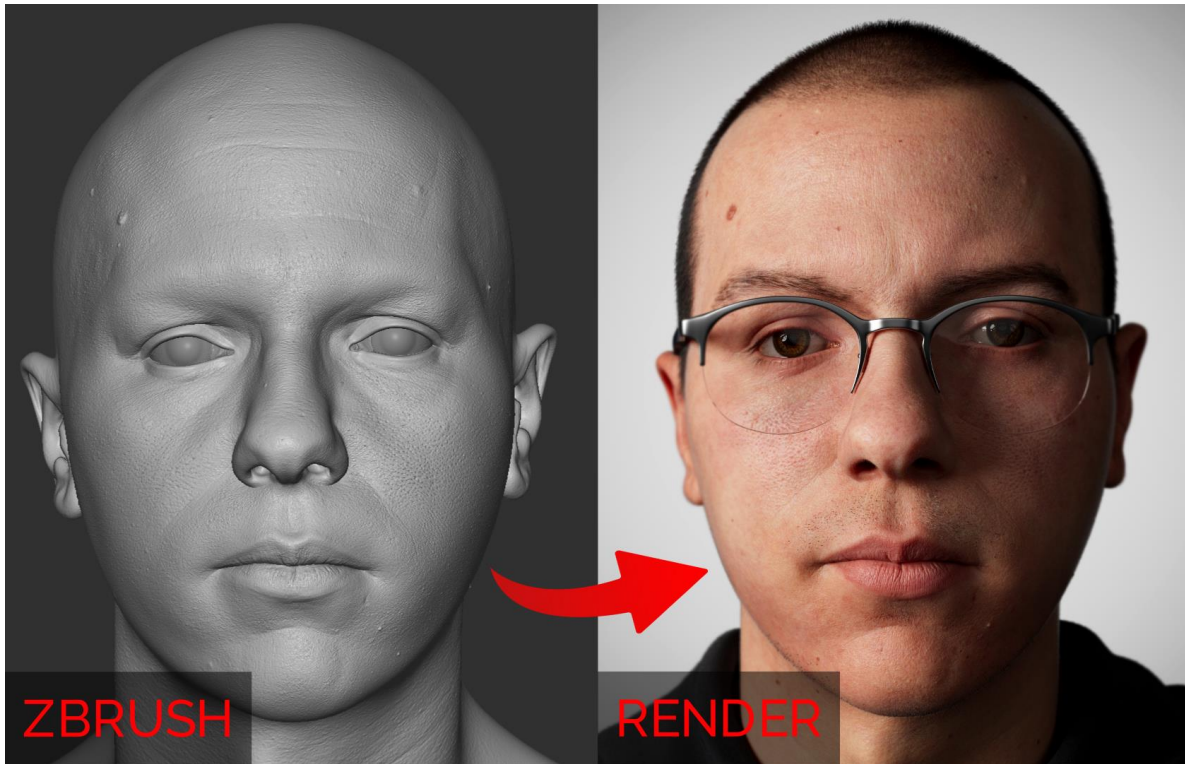
Slika 6 Sučelje ZBrush softvera

Na slici 6 prikazuje se što korisnik prvenstveno susreće kada otvori ZBrush softver. Nakon što umjetnik nauči osnove sučelja i mogućnosti programa, spreman je za rad. S obzirom da se u ovom radu opisuje proces izrade 3D digitalnog portreta, biti će opisani koraci potrebni za izradu skulpture ljudske glave. Prioritet svakog umjetnika kojeg zanima izrada ljudske figure, primoran

je vladati znanjem i vještinom ljudske anatomije te moći prenijeti to u izradu digitalne skulpture. To je jedan od najbitnijih aspekata kod kreacije i ujedno najveća greška kod mnogih početnika. Većina ljudi koja tek počinje s ovom umjetnošću ima krivi način razmišljanja. Neizgovoreno pravilo kod tradicionalne ili digitalne skulpture jest podjela formi na tri dijela. Primarne, sekundarne i tercijarne forme. Isto kao i u tradicionalnom slikarstvu i kiparstvu, primarne forme i proporcije najbitniji su element pri stvaranju. Primarne forme su najveće forme, glavne forme koje obilježavaju predmet koji umjetnik izrađuje, u ovom primjeru glava. Nakon što je temelje postavljeno i primarne forme su solidne, pouzdano je krenut u daljnju izradu skulpture. Sekundarne forme jednako su bitne, zbog toga što se na već postojeće ključne forme, dorađuju manje forme koje spajaju cijelu konstrukciju. Zadnji element u podijeli su tercijarne forme. To su površinski detalji koji se kreiraju na kraju već definirane skulpture te pridodaju samoj kvaliteti skulpture. Svaka od ovih definicija mogla bi se gledati kao identična interpretacija. Ukoliko bismo se približili samoj skulpturi, sekundarne forme tada bi postale primarne, a tercijarne bi postale sekundarne. No, neovisno o tome, ta podjela postoji iz dobrih razloga. Često početnici ne ulože dovoljno truda ili vremena u razvijanje jedne od tih podjela, već krenu radit na teksturama, materijalima i finalnim slikama samog rada. Ono što se treba razumjeti jest, da je skulptura jedan od bitnijih elemenata u cijelom procesu, jer ukoliko skulptura ne zadovoljava, finalna slika ne može biti kvalitetna.

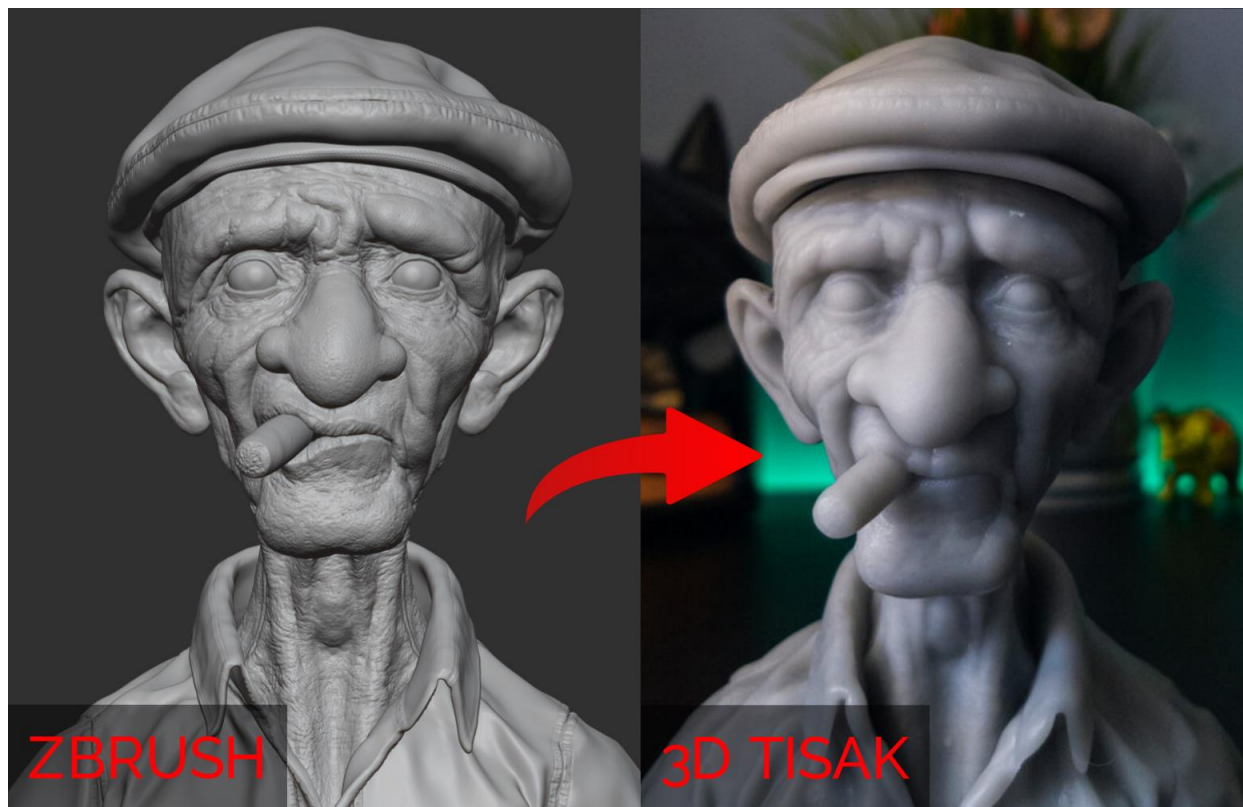


*Slika 7 Prikaz primarnih, sekundarnih i tercijarnih formi na digitalnoj skulpturi glave*



*Slika 8 Primjer digitalne skulpture u ZBrushu i finalnog rendera.*

Slika 5 prikazuje 3D digitalnu skulpturu izrađenu u ZBrush softveru, u ovom primjeru portret, te finalni render u softveru. Render u prijevodu znači finalna slika generirana pomoću 3D modela, tekstura, svjetla i materijala, što će se detaljnije objasniti i prikazati u daljnjoj razradi. Ovakav princip koristi se u filmskoj industriji te je vrlo sporiji način rada nego i industriji video igara, zbog toga što u filmu ne postoji interakcija s igračem ili gledatelje, dok u video igri 3D modeli moraju biti vjerodostojni pravom vremenu te omogućeni za interakciju s igračem. Ograničenja u filmu manja su u tom pogledu, no izrada je jednako ili više zahtjevnija.



*Slika 9 Primjer digitalne skulpture u ZBrushu i 3D tiska iste.*

Na slici 6 prikazani su identični 3D modeli u drugačijem mediju. Lijeva fotografija prikazuje 3D digitalni model u softveru ZBrush, dok se na desnoj fotografiji nalazi primjer 3D tiska tog istog modela. Vrlo lako mogu se primijetiti razlike između dva formata. 3D digitalni model sadržava daleko više detalja i rezolucije. Kod 3D tiska to se gubi, ne samo zbog kvalitete stroja i materijala, već i zbog fizičkih specifikacija tog materijala, kao što je pod-površinsko raspršivanje svjetla. Također, detalji na 3D tiskanom modelu ovise o veličini modela i kvaliteti materijala i samog printera.



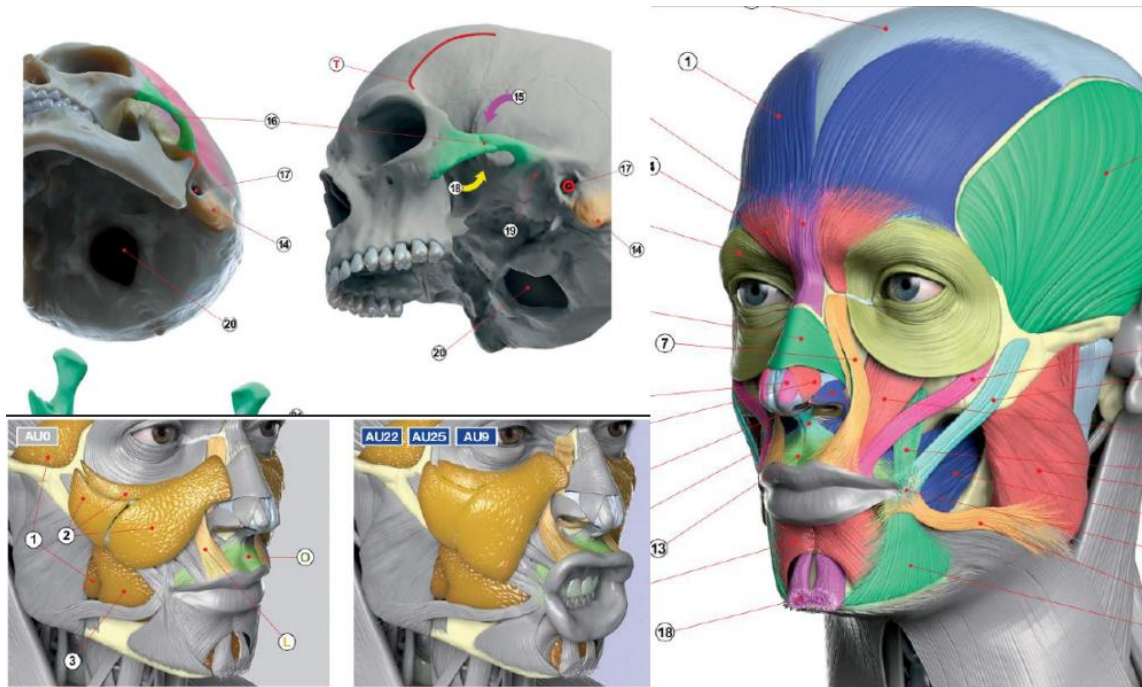


*Slika 10 Primjer digitalne skulpture u ZBrushu i igri nakon procesa izrade modela za video igre*

Slika 7 prikazuje 3D model iz video igre God of War. Lijeva fotografija je 3D skulptura kreirana u ZBrush programu, a desna fotografija prikazuje taj isti model nakon što su izvršeni svi potrebni procesi kako bi 3D karakter bio spreman za video igru. Generalno mišljenje ljudi je da se takvo što vrlo brzo realizira, no umjetnik potroši stotine sati kako bi kreirao 3D model sličan prikazanom. Podosta drugačiji proces potreban je za kreiranje 3D modela za video igru nego za 3D tisak ili film, no tijekom radnje u ZBrush-u potpuno je isti za sve ove primjere.

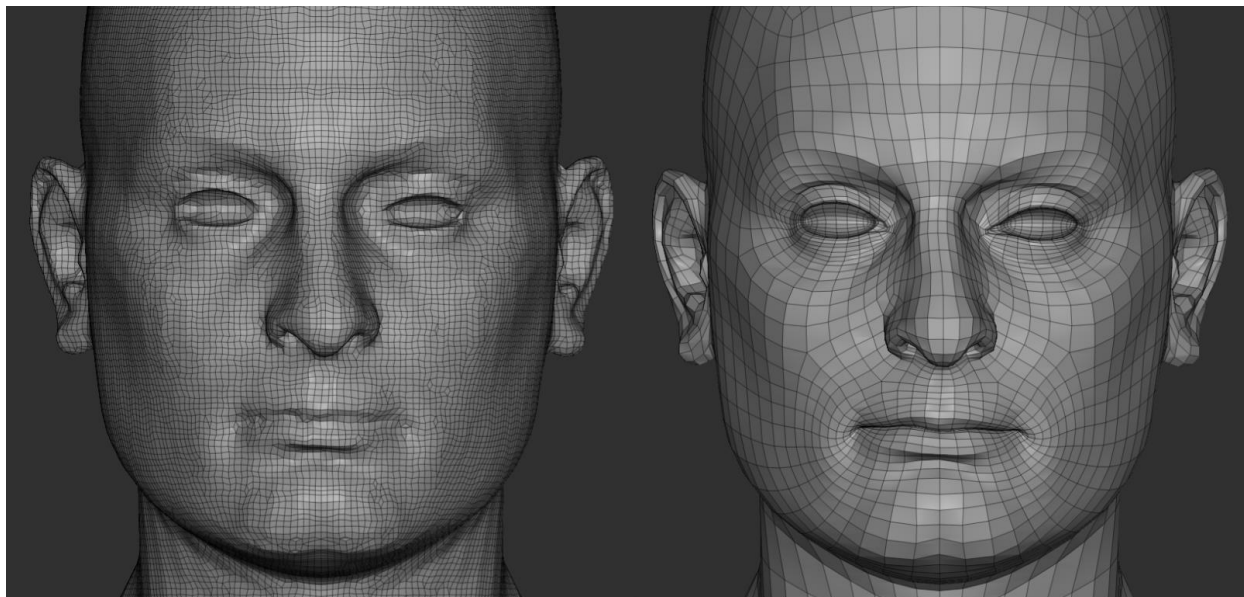
S obzirom da se praktični dio diplomskog rada odnosi na izradu 3D digitalnog portreta za film ili animaciju, potrebno je opisati ključne stavke nužne za kreiranje modela. Na slici 8 prikazan je upravo takav način izrade. Prvenstveno što umjetnik mora savladat kako bi se kreirao kvalitetan 3D digitalan portret je znanje i vještina ljudske anatomije lubanje i mišića glave. Mnogo vremena mora se uložiti u učenje i proučavanje ljudske anatomije te koristiti to znanje u praksi. Usavršavanje vještina organskog 3D modeliranja uz znanje ljudske anatomije jedno je od najbitnijih obilježja cijelog rada. Bez tog znanja i vještine, rad ne može izgledati kvalitetno i uvjerljivo. Vrlo bitno je da umjetnik također dublje poznaje ljudsku anatomiju, kako bi mogao rekreirati bilo kakvu ekspresiju ljudskog lica u 3D. Iako se većinu vremena digitalni portreti za produkcijske svrhe izrađuju u neutralnoj ekspresiji te kasnije izrađuju ekspresije kroz animaciju,

postoje projekti koji zahtijevaju izradu specifičnih ekspresija, što uvelike zakomplicira posao. Stoga, umjetnik mora savršeno razumjeti lokomotorni sustav ljudskog tijela, u ovom primjeru ljudskog lica. [7]



Slika 11 Vizualizacija lokomotornog sustava ljudske glave - *Anatomy of Facial Expression*, 2017.

Ukoliko je umjetnik savladao ili usavršio znanje ljudske anatomije, ovaj postupak u procesu neće mu stvarati probleme. Naprotiv, najčešće je najzabavniji dio cjelokupnog procesa upravo organsko modeliranje, ukoliko je umjetnik dovoljno vješt. Najlakši opis 3D organskog modeliranja jest igranje virtualnom glinom. Korištenjem raznoraznih alata korisnik pomiče, reže, gradi ili oduzima masu s postojećeg 3D modela. Takve akcije moguće su zbog već spomenutih poligona, koji stvaraju mrežu modela, odnosno sam 3D model. Svaki poligon kreiran je od četiri točke i četiri linije, ali zajedno stvaraju mrežu koja je vrlo bitna za daljnji razvoj rada. Mreža modela zaslužna je za sve moguće detalje koje model može sadržavati. Ukoliko je mreža loše napravljena, rad na modelu će biti otežan te će detalji biti nemogući za održati. S obzirom da je ZBrush stvoren u svrhe digitalnog kiparstva, spomenuta mreža 3D modela manje je bitna pri organskom modeliranju. Važnost mreže, odnosno topologije 3D modela, detaljnije će se opisati u daljnjoj razradi.



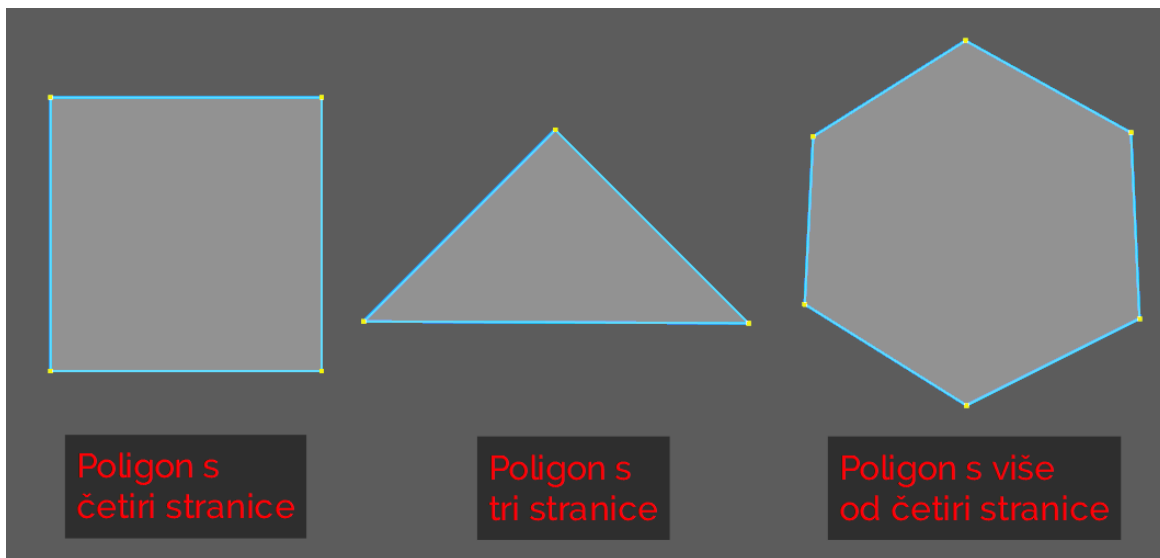
*Slika 12 Primjeri mreže 3D modela*

Na slici 12 prikazana su dva primjera moguće mreže modela. Mrežu modela, kao što je već rečeno, čine poligoni. No, raspored, veličina i oblik poligona vrlo su bitni elementi. Lijevi primjer mreže sadrži poligone koji su stvoreni od četiri točke i linije, no također sadrži poligone sačinjene od tri točke i tri linije, što kreira trokut, a ne kvadrat. Dok je na desnom primjeru mreža konzistentna u obliku, ali i veličini poligona; svi poligoni su kvadratičasti te vizualno čišćeg rasporeda. Desni primjer mreže je pravilan te potreban kako bi se nastavio rad na modelu. Međutim, lijevi prikaz je također u redu koristiti, no samo u procesu kreiranja skulpture, u ovom slučaju skulpture glave. Nakon što je umjetnik zadovoljan, potrebno je rekreirati mrežu, tako da se novim, pravilnim poligonima stvori mreža optimizirana za daljnji rad.

Jednako bitno je spomenuti da se ZBrush ne koristi isključivo za izradu ljudske figure. 3D digitalni karakteri zahtijevaju više od tog. Baš kao pravi čovjek, karakteri često ili uvijek imaju odjevne predmete ili predmete koje nose ili posjedaju. Takvi elementi najčešće se izrađuju u drugim softverima, no gotovo uvijek se modeli finaliziraju u ZBrush-u, što znači da je potrebno znanje i vještina o tvrdoći i površini raznoraznih materijala, od sintetike, plastike, drva do metala.

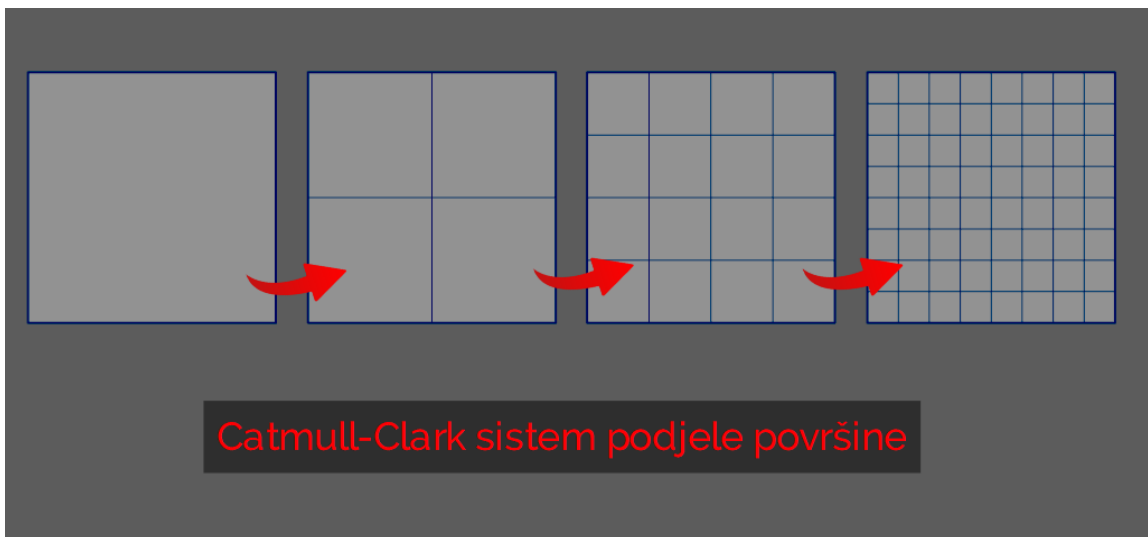
### 4.3 3D modeliranje tvrdih površina

U cjelokupni proces, osim 3D organskog modeliranja, svrstava se i 3D modeliranje tvrdih površina (eng. 3D hard-surface modeling). Računalni softver koji će se obraditi jest Autodesk Maya. Također je jedan od najkorištenijih softvera u industriji te sadrži mnoge alate kojima se umjetnici služe kako bi stvorili razne 3D kreacije, od 3D modeliranja do simulacija, tekstura i generiranja finalnih slika. Međutim, kao što mnogo likovnih aspekata igraju ulogu u 3D organskom modeliranju, na isti način postoji mnoštvo pravila i principa u tehničkom smislu koja se moraju poštovati u 3D modeliranju tvrdih površina. Tehnički dio izvedbe u procesu također je iznimno važan segment u cjelokupnom radu, s obzirom da se svi postupci zasnivaju na korištenju mnoštva softvera te prijenos informacija i podataka zahtijeva vještinu i znanje iz raznih područja 3D umjetnosti.[8] Postupak 3D modeliranja svodi se na stvaranje oblika pomoću virtualnih poligona. Svaki 3D model na sceni sastavljen je pomoću mreže poligona te je upravo iz tog razloga vrlo bitno uspostaviti odnos veličine i kvantitete poligona. Glavno i najbitnije pravilo kod modeliranja za bilo koju svrhu jest čistoća mreže. To znači da se mreža modela mora sastojati od pravilno formiranih poligona, a to su poligoni kvadra i trokuta; četiri točke i linije ili tri točke i linije. No, više od četiri točke kreira poligon koji se stručno naziva n-gon, odnosno mnogokut i nepogodan je oblik poligona za rad te se izbjegava, odnosno ne smije koristiti radi nepravilnog formiranja.



Slika 13 Vrste poligona u 3D modeliranju

Jedan od najvećih problema kod n-gona i razlog zbog kojeg se ne koristi jest sistem podjele površine pod nazivom Catmull-Clark. Taj sistem stvoren je 1978. godine od strane informatičara Edwin Catmull-a i Jim Clark-a. Takav algoritam podjele površine tehnika je koja se koristi u svakom softveru modeliranja te je globalno primijenjen u ovoj struci. Način na koji funkcionira je prikazan na slici 14. Jedan poligon, sa četiri stranice množi se četiri puta te time stvara četiri poligona. Tako se, četiri poligona pretvaraju u šesnaest poligona i tako dalje. Ta procedura naziva se povećanje površine poligona (eng. subdivision). [9]

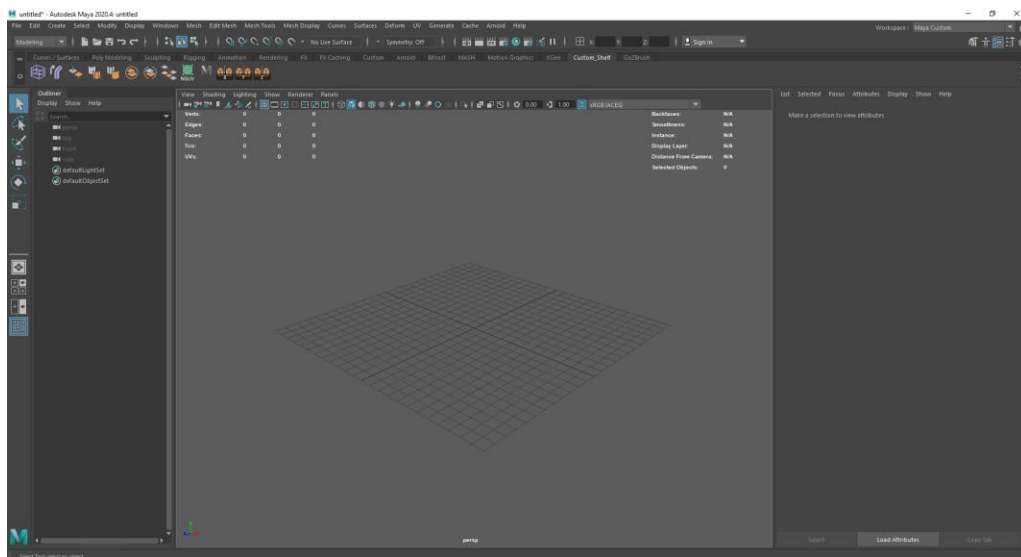


Slika 14 Primjer Catmull-Clark algoritma za podjelu površine

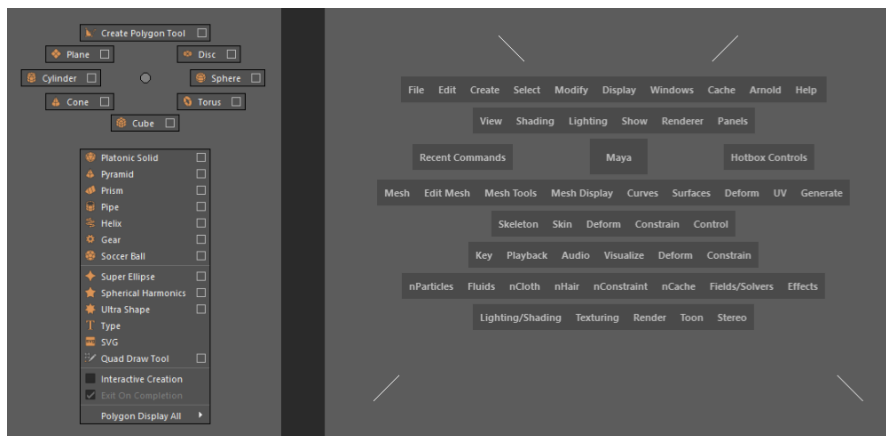
Iako je Catmull-Clark algoritam generalizirani sistem za 3D modeliranje, način rada za video igre i film podosta je drugačije. Dok se kod video igara vrlo često prihvaćaju poligoni oblika trokuta i kvadrata u finalnoj verziji modela, u filmskoj industriji poligon oblika trokuta se izbjegava zbog toga što se za finalnu sliku koristi podjela površine na više divizija, kako bi svi potrebni detalji bili vidljivi. Što je veća divizija, povećava se i rezolucija modela, što omogućuje kvalitetniji prikaz detalja. Poligon oblika trokuta ili n-gon virtualno lome geometriju modela te je takva geometrija vrlo uočljiva i neiskoristiva u finalnoj slici. Čista i precizna topologija, odnosno mreža modela je izrazito bitna. Softver koji se koristi u ovom praktičnom dijelu rada jest Autodesk Maya. Taj softver industrijski je standard te se uz ostale softvere prakticira u profesionalnoj industriji. Sistem je vrlo drugačiji od ZBrush programa. Maya pruža veliki niz mogućnosti pri izradi, od već spomenutog modeliranja, do simulacija,

generiranja finalne slike, stvaranja materijala i slično. Mnogi softveri konkuriraju Mayi, naročito besplatni softveri koji svakim danom napreduju, poput programa Blender. Autodesk Maya vrlo je skup softver te mnogi ljudi prelaze na alternative poput Blendera koji je potpuno besplatan te pruža iste mogućnosti.

Sučelje Autodesk Maya programa vrlo je nezahvalno na prvu. Vrlo zastarjeli izgled sučelja i ikona odbija mnoge korisnike na prvu. No, svaka ikona i stavka na sučelju ima svoje mjesto te svrhu. Kontrole su posve drukčije negoli u ZBrush-u što može predstavljati problem ukoliko umjetnik koristi mnoštvo ostalih programa.



Slika 15 Sučelje softvera Autodesk Maya

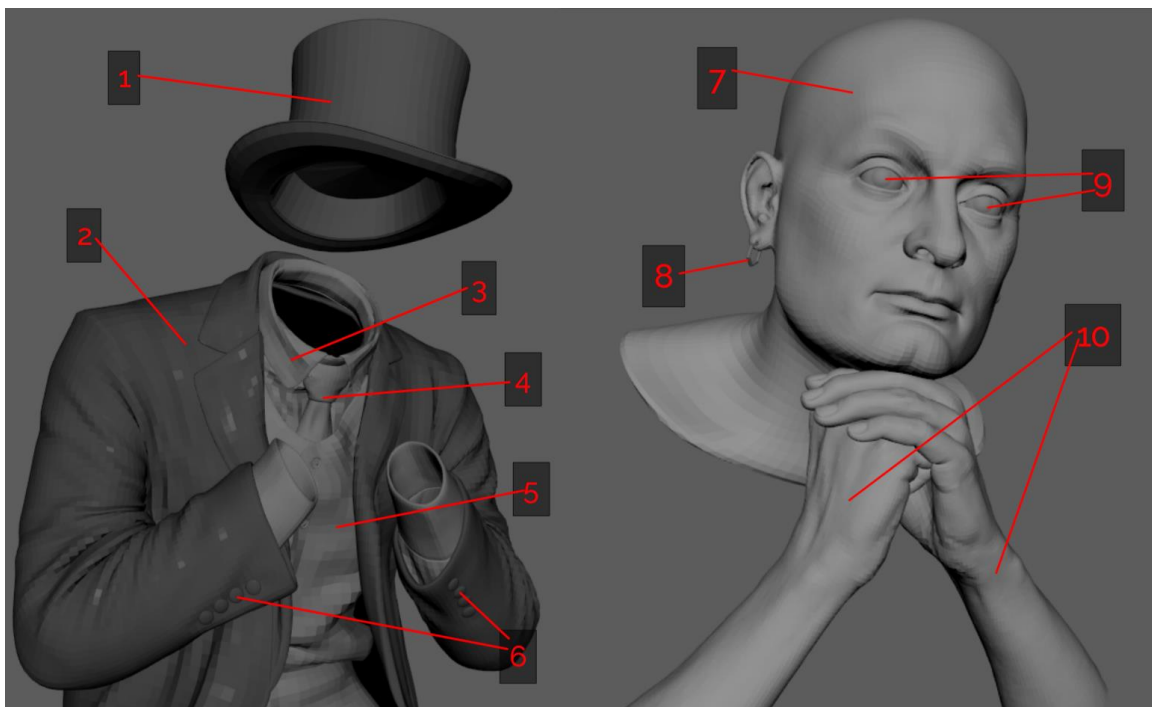


Slika 16 Brzi pristup akcijama u Autodesk Maya programu

Maya dopušta vrlo brz rad uz efikasan sistem brzog pristupa najbitnijim i najkorištenijim akcijama. Način izrade uz brzi pristup uvelike olakšava i ubrzava rad.

3D modeliranje tvrdih površina zahtijeva drugačiji pristup od organskog modeliranja. Preciznost i urednost mreže poligona kod modeliranja tvrdih površina mnogo je bitnija zbog daljnjeg rada na modelu. Već spomenuta Catmull-Clark metoda rada veliki je dio procesa izrade 3D modela na ovaj način. Ukoliko je topologija modela nepravilna, model je beskoristan. Proces modeliranja u primjeru kreiranja 3D realističnog portreta manji je dio posla, zbog toga što se fokus stavlja pretežito na organski dio modeliranja. No, ovisno o 3D karakteru, modeliranje tvrdih površina može oduzimati puno vremena. Krećući najčešće od 3D kocke, umjetnik stvara željeni oblik pomoći raznih funkcija u softveru. Bilo to odjevni predmet, oružje ili izmišljeni oblik, uvijek se kreće iz jednostavnih oblika te s vremenom nadograđuje. Sličan princip se koristi i za organsko modeliranje; primarne, sekundarne i tercijarne forme, jednako pravilo vrijedi i za modeliranje tvrdih površina.

Dio modeliranja svodi se na raznolike motive u sceni. Od modeliranja glave, očiju, odjevnih predmeta do predmeta koje karakter sadrži. Stoga, ovaj proces nema određeno mjesto i vrijeme u cjelokupnom procesu, već se umjetnik može vratiti i doraditi model ukoliko su iteracije potrebne.



Slika 17 Primjer modeliranja potrebnih 3D predmeta u 3D sceni



*Slika 18 Kompletan 3D karakter*

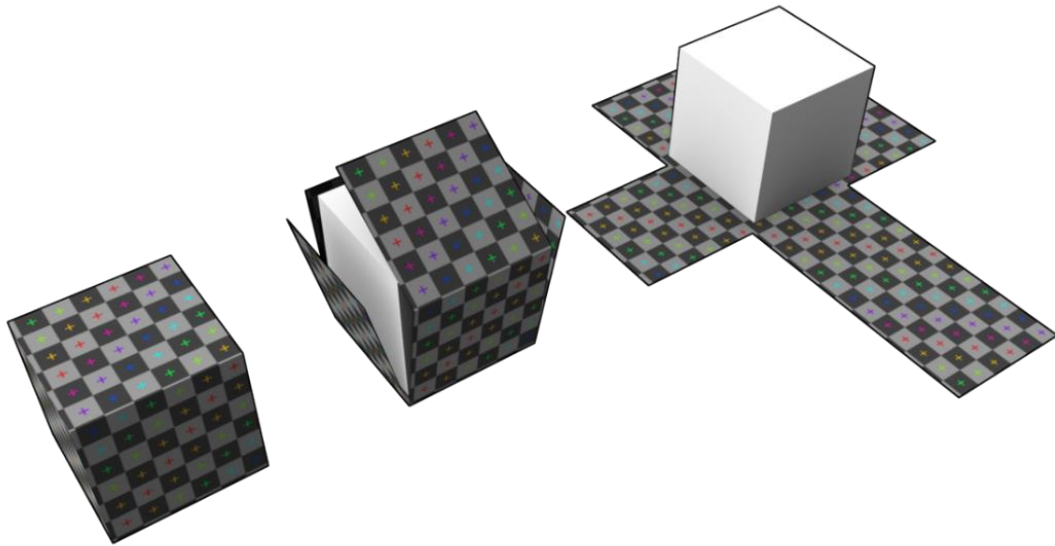
Na slici 17 prikazani su svi potrebni predmeti koji su modelirani kako bi se kreirao 3D digitalni portret. Iako nisu svi modeli kompletno izrađeni u Autodesk Maya softveru, finaliziranje modela te modificiranje topologije i UV mapa stvara se u Mayi. Više o tome razradit će se u daljnjoj obradi.



## 4.4 Važnost UV mapa i topologije 3D modela

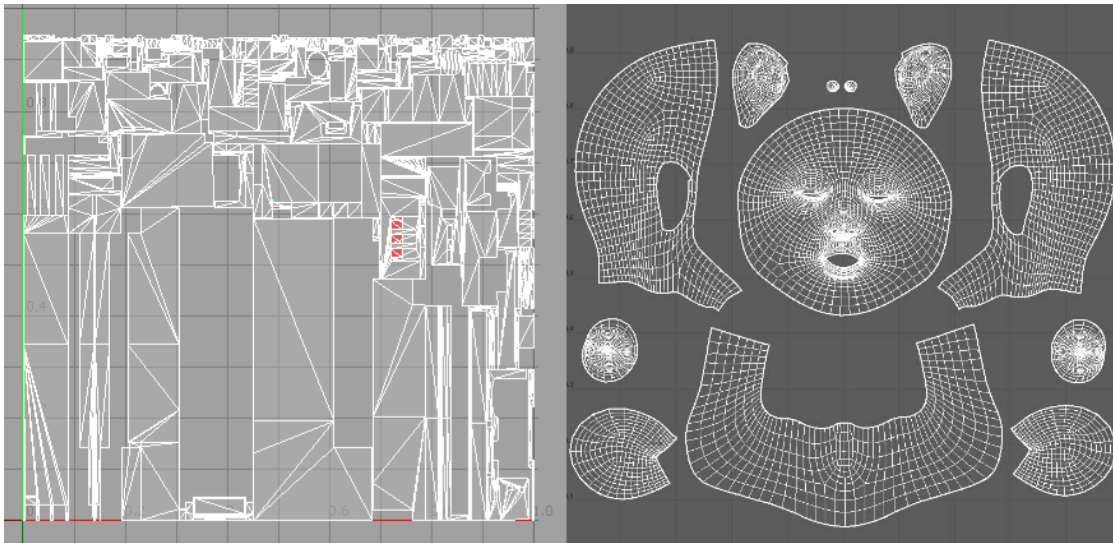
### 4.4.1. UV mapa

Slova U i V označavaju osi 2D teksture. X i Y slova ne mogu se koristiti jer u 3D okruženju označavaju smjer kretanja; X, Y i Z osi. UV mapa ravan je prikaz površine 3D modela te se putem UV mape prenosi tekstura na 3D objekt. Proces izrade UV mape naziva se UV mapiranje te je vrlo bitan dio procesa zbog toga što svaki model na sceni ima određenu teksturu koja se putem UV mapa prenosi na objekt u sceni. To je proces prevođenja 3D mreže modela u 2D informaciju tako da se 2D ploha, odnosno tekstura, može omotati oko 3D modela. Dakle, 3D tekstura ne postoji. Sve teksture 3D modela na sceni zapravo su 2D teksture. Taj princip u početku se čini kao zbunjujuća i nepotrebna ideja, no vrlo je jednostavno. Isti postupak radi se kada se stvara kocka iz papirnatoг križa, samo obrnuti redoslijed. [10]



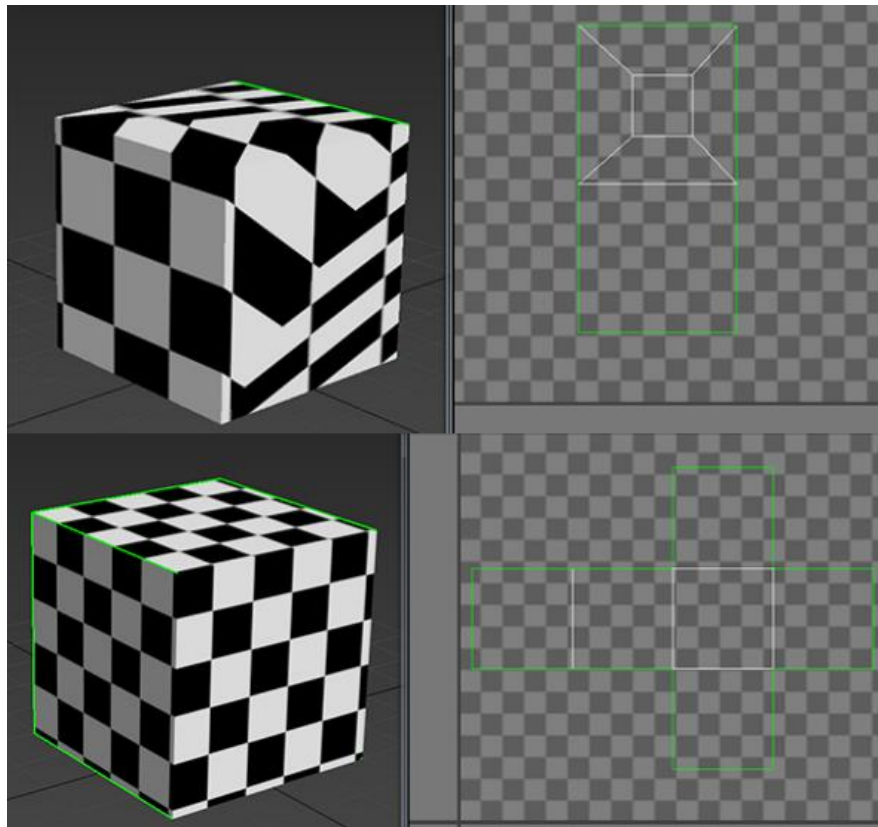
*Slika 19 Vizualni prikaz principa UV mapiranja*

Iako jednostavno za shvatiti, proces UV mapiranja sadrži mnogo kompleksnije akcije i postupke u određenim situacijama. Ovisno o potrebi, UV mapiranje može oduzeti mnogo vremena kako bi se 2D ploha, odnosno UV mapa modela savršeno izradila. U ovom slučaju, kod kreiranja 3D realističnog portreta, UV mapa izgleda podosta drugačije od UV mape 3D modela oružja, auta ili zgrade.



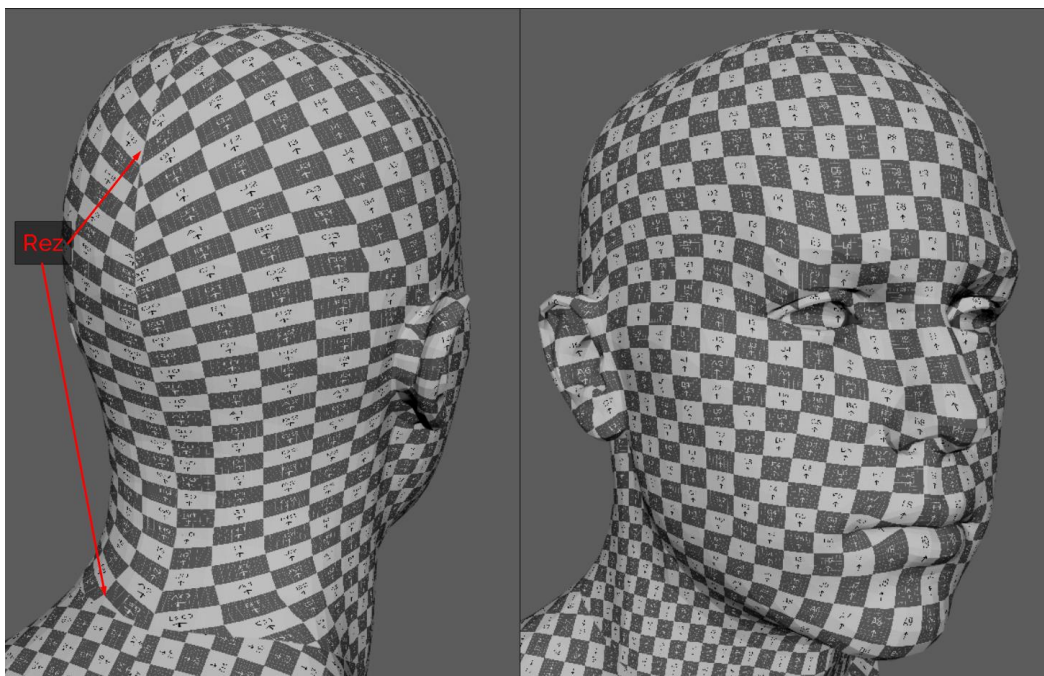
*Slika 20 Primjeri UV mapa 3D modela zgrade i glave*

Na slici 20 prikazane su dvije UV mape. Lijeva je UV mapa od 3D modela zgrade, dok je desna UV mapa od 3D modela ljudske glave. Isto kao u razlikama modeliranja tvrdih i organskih površina, UV mapa će varirati. No, svaka UV mapa, bila ona od organskog modela ili modela tvrdih površina, mora se poštivati pravilo rezova. Rez se stvara na dijelu mreže koji je potrebno odvojiti kako bi se 2D mapa mogla opustiti. To znači da su rezovi na UV mapama neizbježni i potrebni kako bi se izravnala UV mapa. Ukoliko UV mapa nije ravna i uredna, tekstura će biti neispravna. UV mapiranje uvijek je kompromis uzrokovanja što manjeg izobličenja teksture, uz svođenja rezova na minimum. Izobličenje u smislu UV mape jest koliko se oblik i veličina poligona morala promijeniti da bi se prilagodili procesu izravnavanja. Previše izobličenja utjecat će na način na koji su detalji prikazani na finalnom 3D modelu. Solucija jest koristiti prikazani uzorak na slici 21 kako bi se izobličenja izbjegla. Najbolji način je stvarati rezove na najmanje vidljiva mjesta na 3D modelu. Ukoliko je uzorak jednakih veličina i bez iskrivljenja, tada će tekstura biti uredna.



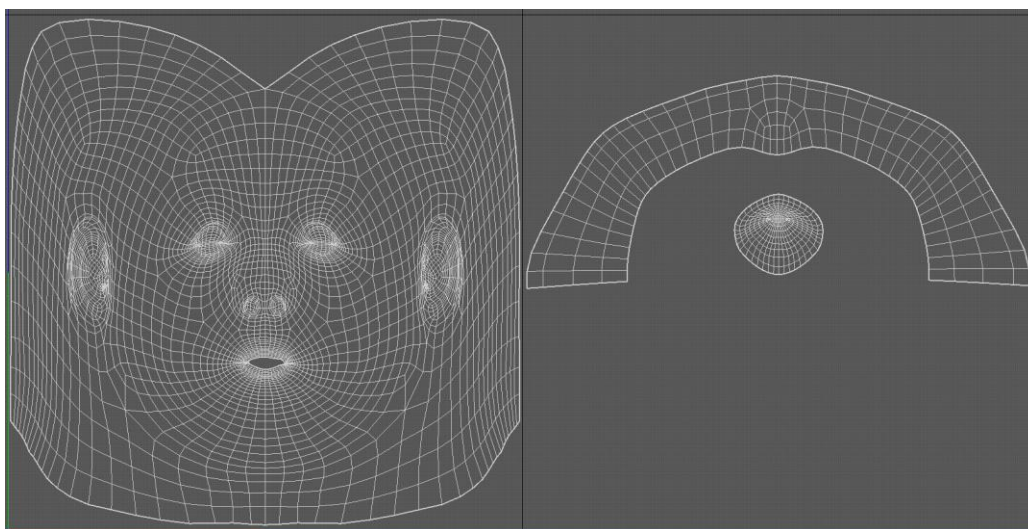
*Slika 21 Prikaz lošeg i dobrog UV mapiranja*

U praktičnom dijelu rada, UV mape 3D digitalnog portreta zahtijevaju pomalo drugačiji pristup izradi, iako su glavna obilježja ista. Spomenuti rezovi kreiraju se manualno na najmanje vidljivim mjestima. S obzirom da se radi o ljudskoj glavi, dijelove koji su prekriveni kosom mogu se iskriviti u UV mapi radi manjeg značaja. Najbitniji dio UV mape za 3D model ljudske glave je lice, a manje ili jednako bitni dijelovi su uši i vrat, ovisno o projektu i cilju. To znači da je rezove UV mape najbolje stvarati na zatiljku i vratu. Kreiranjem rezova na tom dijelu stvara jaka izobličenja koja bi bila vidljiva bez digitalne kose na karakteru. No, takvo što umjetnik mora predvidjeti i planirati. Planiranje je vrlo važan aspekt jer se time uštede brojni sati rada.



Slika 22 Prikaz uzorka UV mape na 3D modelu glave

Na slici 22 mogu se uočiti razlike u veličini, rasporedu i broju crno bijelih kvadratića. Ti kvadratići predočuju izobličenja koja će se stvarati na teksturi. S obzirom da zatiljak nije u fokusu te se preko tog dijela 3D modela nalazi digitalna kosa, rezovi su najoptimalniji za uraditi na zadnjem dijelu glave i vratu.

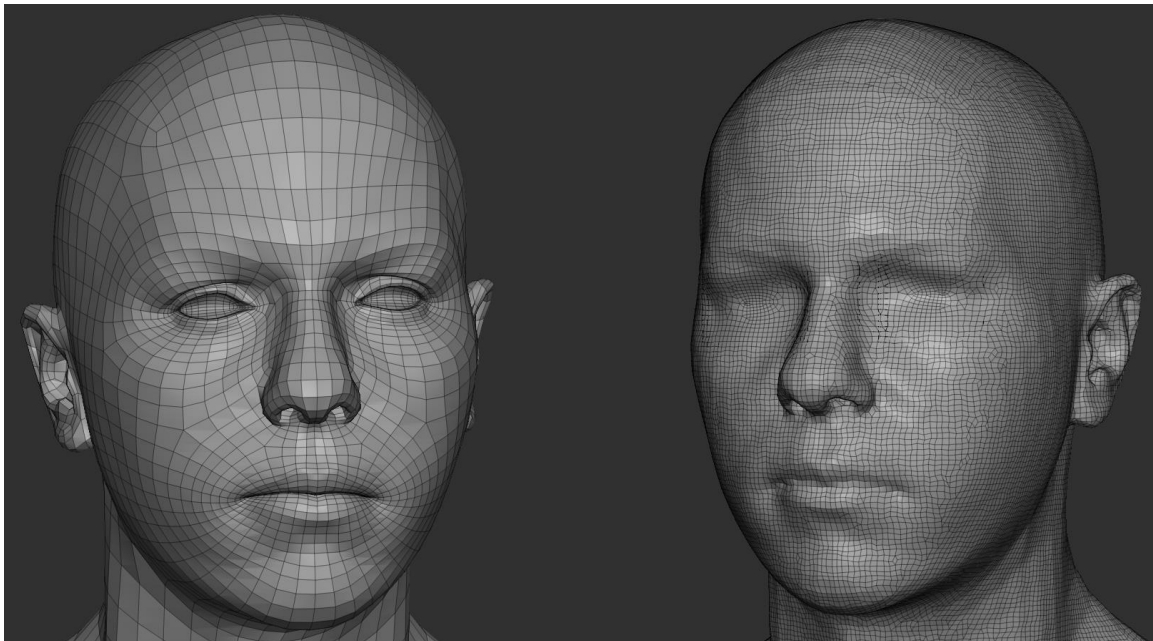


Slika 23 UV mapa prikazane 3D digitalne glave

## 4.4.2. Topologija 3D modela

3D model je skup 2D ploha; točaka i linija koje u cjelini kreiraju mrežu, odnosno topologiju, tog 3D modela. Drugim riječima, topologija 3D modela je struktura, tok i organizacija 2D ploha. Kao primjer uzimo kocku u 3D prostoru; sastoji se od šest poligona, odnosno 2D ploha, dvanaest linija, i osam točaka. Zajedno, skupina tih atributa u 3D prostoru čine 3D kocku. Mnogo elemenata zahtijevaju preciznu i strukturiranu topologiju. Ulaganje vremena u stvaranje kvalitetne topologije na početku projekta uštedi mnogo vremena kasnije, jer je rad s preciznom i pravilnom topologijom mnogo lakši. Drugi čimbenik je animacija. Egzaktna topologija 3D modela neophodna je kako bi se animacija 3D digitalnog modela izvele korektno. Lošu topologiju nemoguće je kontrolirati te se tako stvaraju artefakti koji se moraju izbjegavati. [11]

Spomenuti softver ZBrush lošu topologiju ipak može iskoristiti. Kod 3D digitalnog organskog modeliranja, topologija može biti vrlo fleksibilna. Iako neki umjetnici zahtijevaju i kreiraju preciznu topologiju 3D modela na kojem rade, moguće je i raditi na naizgled lošoj, no iskoristivoj topologiji, koju je kasnije potrebno preraditi i učiniti iskoristivom.



*Slika 24 Dvije vrste topologije 3D modela koje su pogodne za rad*

Slika 24 prikazuje pravilnu (lijevo) i nepravilnu (desno) topologiju za daljnji rad na 3D modelu, no kod digitalnog organskog modeliranja, desni prikaz je i više nego pogodan za rad. No, kada je umjetnik zadovoljan sa skulpturom, potrebnu ju je obraditi te rekreirati topologiju kako bi daljnji rad bio moguć. Najveći problem kod takve topologije bila bi čistoća, odnosno grbavost i deformacije površina modela te nemogućnost animiranja 3D digitalnog lica. Vrlo je važno da svi modeli na sceni sadrže pravilnu i konzistentnu topologiju, odnosno mrežu 3D modela kako bi se moglo korektno animirati te kako bi finalni izgled bio kvalitetan.

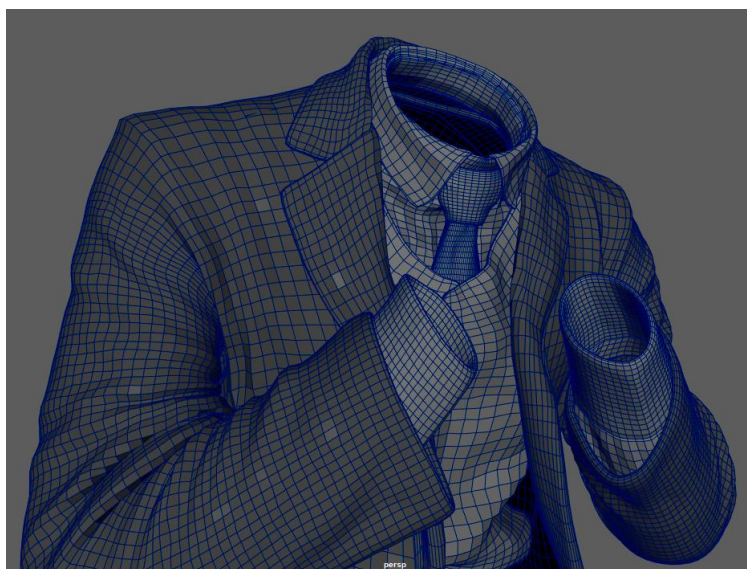
## 4.5 Kreiranje 3D odjevnih predmeta

S obzirom da se u radu opisuje i razrađuje kreiranje 3D karaktera te se osim samog 3D modeliranja tvrdih površina ulazi i u organsko 3D modeliranje, neophodno je istaknuti i razumjeti fazu kreiranja odjevnih predmeta u 3D prostoru. Iako se u ovoj fazi odjeća može kreirati na klasičan način 3D modeliranja i organskog modeliranja, sve češće se u industriji zahtijeva i poštuje kad je umjetnik vješt i u specijaliziranom softveru upravo za taj zadatak, kreiranje 3D odjeće. Marvelous Designer jest upravo taj računalni program te je specifično kreiran kako bi se što lakše, realističnije i po mjeri izradila odjeća za 3D karaktera. Slično kao što se Maxon ZBrush razlikuje od ostalih 3D računalnih softvera, Marvelous Designer odstupa tako što se 3D model odjeće stvara na način da se prvo kreiraju 2D uzorci za šivanje kao u pravom svijetu te se u virtualnom načinu „šivaju“ kako bi se kreirao dio odjeće. Taj proces sličan je onom u pravome životu. Nakon toga se pokreće simulacija koja stvoreni 3D odjevni predmet simulira na postavljeni 3D model lika. Kasnije se 2D uzorci mijenjaju, krata ili produljuju kako bi se sačinilo savršeno pristajanje odjeće na model. Marvelous Designer često se koristi kao pomagalo pravim krojačima te može služiti za testiranje odjevnih predmeta i krojeva. Također se koristi za ostale potrebe u 3D svijetu, kao što je kreiranje predmeta poput 3D jastuka, prekrivača, zastava i sličnih objekata koji zahtijevaju realističnu simulaciju. [12]



*Slika 25 Prikaz 2D uzoraka digitalne odjeće i 3D simulirane digitalne odjeće u programu Marvelous Designer*

Nakon što se odjeća izradi i simulira, dodatno se dorađuje u softverima kao što su ZBrush i Autodesk Maya. Topologija odjeće također je vrlo važna radi animiranja karaktera. Dodatni poligoni potrebni su na mjestima pregiba kako ne bi dolazilo do deformacija u modelu. 3D model iz programa Marvelous Designer nepogodan je za daljnji rad zbog nepravilne topologije, te se mreža modela mora rekreirati. Nakon što se mreža rekreira, potrebno je izraditi UV mapu odjeće kako bi se teksture mogle izraditi.



*Slika 26 Rekreacija topologije 3D odjela*

## 4.6 Mape tekstura

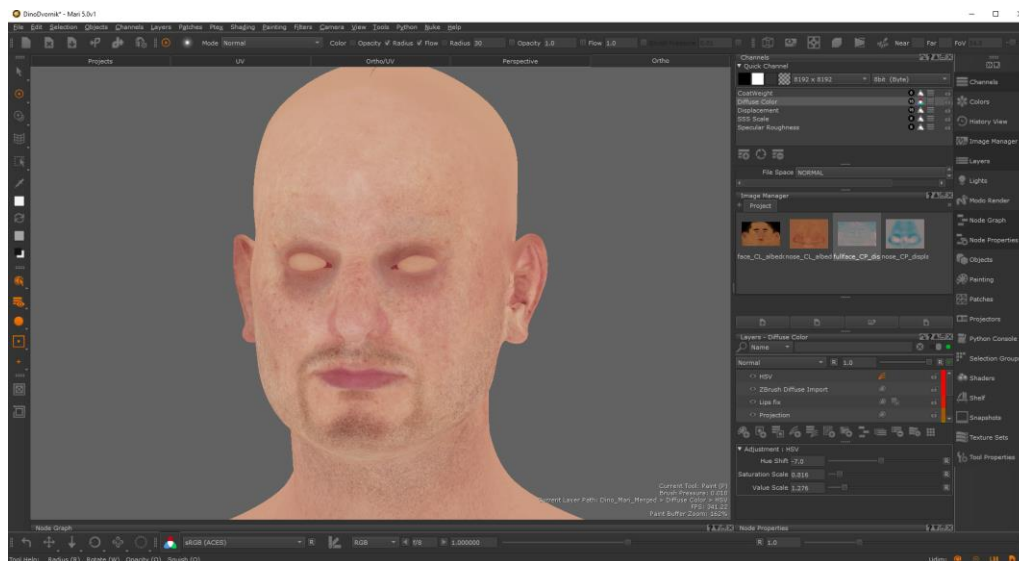
Jedan od procesa koji zahtijeva da svi tehnički i artistički elementi projekta budu uredno odrađeni jest kreiranje mapa tekstura. Stvaranje tekstura vrlo je važan dio procesa, jer se upravo u tom dijelu dodaje život 3D modelu. Pretežito su 3D modeli stvoreni u određenoj ili zadanoj sivoj nijansi u softveru te se teksturom dodaju svojstva površine, boja i materijal tom 3D modelu. Tekstura se također može rastumačiti kao proces odijevanja 3D modela 2D slikom. Omatanje 2D slike oko 3D modela putem UV mapa određuje kako će 3D model na kraju izgledati i kako će svjetlo reagirati na taj model. U virtualnom 3D okruženju, tekstura daje kontekst i osjećaj od koje tvari se objekt sastoji. Predmeti u pravom svijetu imaju specifična i jedinstvena svojstva, kao što su refleksija, refrakcija, forma, boja i mnoga druga kada su izloženi svjetlu. Upravo radi tih elemenata bi umjetniku bilo nemoguće obraditi svaki taj element eksterijera 3D modela u fazi modeliranja. Kreiranjem tekstura se rješava taj problem dopuštajući umjetniku da dodaje mikroskopske detalje na površinu modela, kao što su pore, nabori, frakture, kvрге, oštećenja i slično. [13]

Najkorišteniji softveri u industriji su softveri pod nazivom Adobe Substance 3D Painter i Foundry Mari. Oba softvera služe za stvaranje tekstura, no koriste se u drukčijem okruženju. Primjerice, Substance Painter češće se koristi u industriji video igara, dok se Mari koristi najviše u filmskoj industriji. Razlog toga je, što Mari podržava visoke rezolucije tekstura i veliki broj poligona na 3D modelu, dok Substance Painter podržava manju rezoluciju i manji broj poligona na 3D modelu. No, to nije jedina razlika između softvera, Substance Painter konkurrira s sistemom koji Mari ne podržava, koji se na engleskom jeziku naziva PBR, odnosno „Physically Based Rendering“. U prijevodu to bi bilo „Fizički zasnovano renderiranje“. To je metoda sjenčanja i stvaranja slike, odnosno renderiranja, koja pruža točan prikaz interakcije svjetla s površinama u realnom vremenu. Razlike i ograničenja u ta dva softvera sužavaju se kako tehnologija napreduje te oba softvera pružaju umjetnicima ogroman raspon mogućnosti.





Slika 27 Sučelje softvera Adobe Substance 3D Painter



Slika 28 Sučelje softvera Foundry Mari

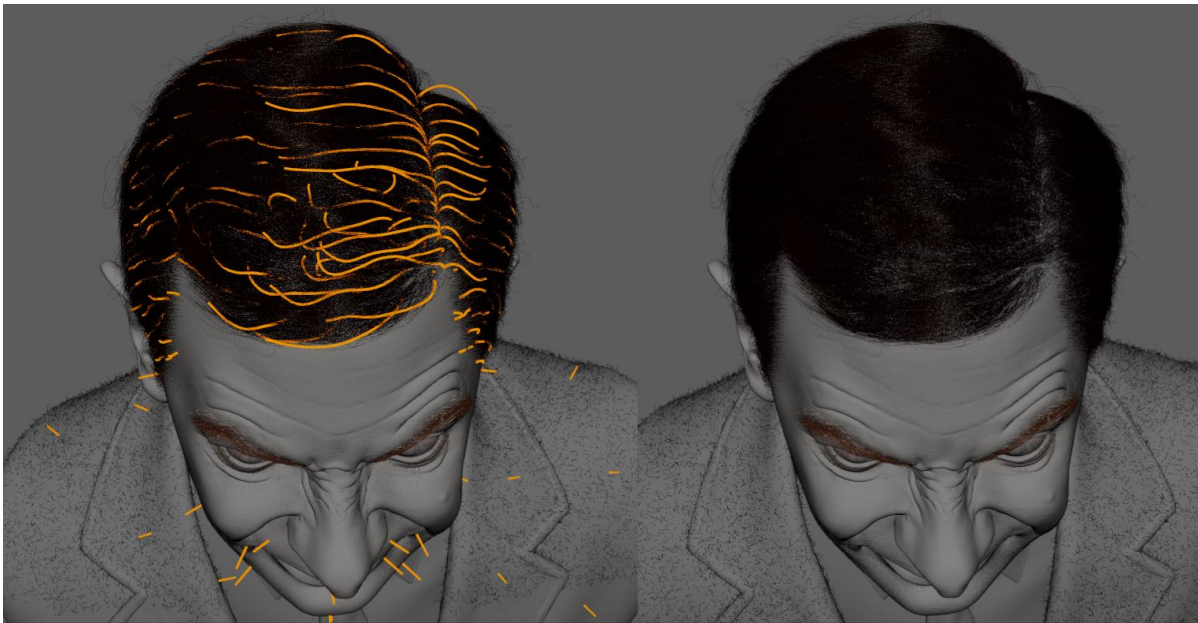
Tijekom izrade tekstura, umjetnik gotovo uvijek odrađuje testna renderiranja kod kojih uočava greške koje je potrebno promijeniti te tako dolazi do finalnog rezultata u teksturi. Nakon što se teksture finaliziraju, bitno je izraditi kvalitetan materijal u određenom softveru za renderiranje kako bi se finalizirana tekstura iskoristila na najbolji mogući način.

## 4.7 Kreiranje virtualnih dlaka i materijala unutar softvera za finalni prikaz 3D portreta

### 4.7.1. Kreiranje virtualnih dlaka

Jedni od finalnih procesa cjelokupnog kreiranja 3D digitalnog realističnog portreta jest izrada ljudskih virtualnih dlaka i kose portreta. Stvaranje digitalnih dlaka vrlo je spor i kompleksan postupak za koji se koristi poseban softver unutar Autodesk Maya softvera, zvan XGen. Takav sistem posebno je programiran u svrhu stvaranja dlaka te se koristi isključivo u tu svrhu. Također, navedeni proces kreiranja digitalnih dlaka može se započeti kreirati u ranijim fazama rada, no to bi mnogo zakompliciralo samu izradu te se takav način rada češće izbjegava. [14]

Kako bi se kosa stvorila, potrebno je koristiti vodilje koje služe kao temelje za generiranu kosu. Umjetnik vodiljama postiže glavni oblik kose i dlaka te kasnije pomoću opcija modificiranja dodaje raznorazne efekte kako bi dobio prirodni izgled kose i dlaka.



*Slika 29 Primjer vodilja i generirane kose u XGen sistemu*

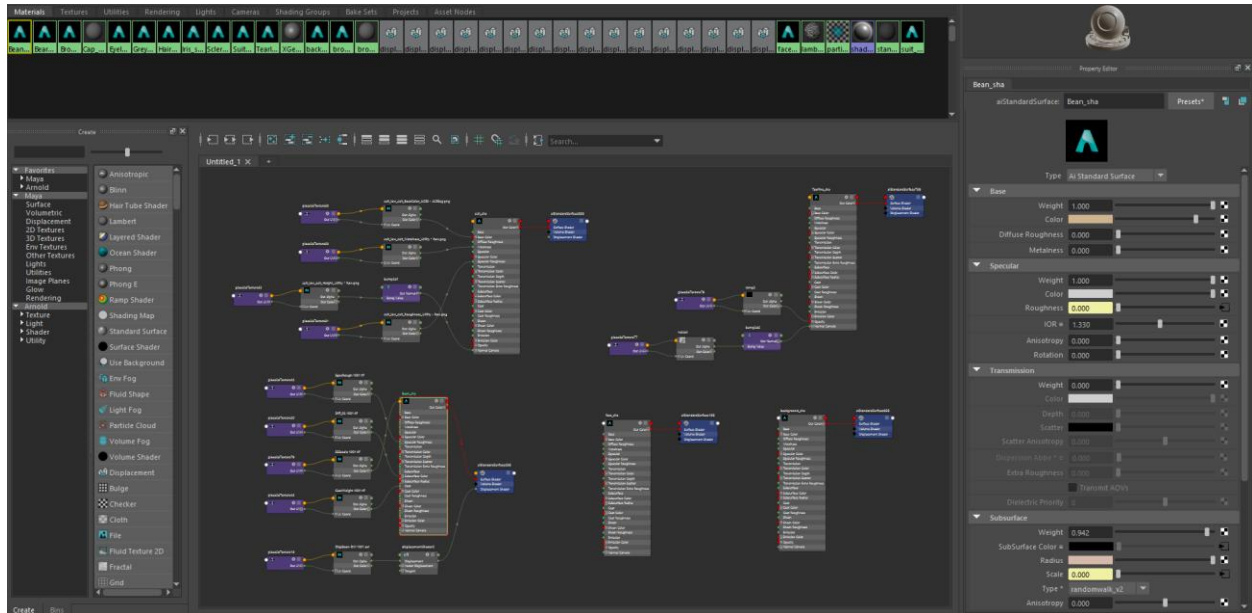
Vodilje korištene u svrhu oblikovanja glavnih oblika kose označene su žutom bojom. Uz pomoć vodilja i dodatnih efekata postignuti je prikazani desni rezultat na slici 29. Mnogo vremena potrebno je kako bi se kreirala uvjerljiva kosa, što najčešće znači da je potrebno koristiti više slojeva za prijelaze između manjih dlačica te kose ili brade. Također, velik problem kod stvaranja realistične digitalne kose jest debljina, duljina i površina dlaka ili kose koje su na licu. Kako bi se umjetnik osigurao da su parametri tih elemenata točni, potrebno je odraditi istraživanja i sakupiti dovoljno referentnih fotografija. Opcija „XGen Interactive“ u XGen sustavu omogućuje korisniku upravljanje svake dlačice zasebno te pruža vrlo visoku razinu prilagođavanja. Nakon što je umjetnik zadovoljan s izgledom kose, potrebno je i kreirati materijale za svaku vrstu kose na sceni. [15]

#### **4.7.2. Kreiranje materijala na 3D sceni**

Virtualni materijal nekog 3D digitalnog objekta jest isto što i materijal u pravome svijetu. Kreator stvara materijal na osnovu željenog objekta te modificira parametre svakog materijala kako bi dobio željeni rezultat. Isto kao i kod kreiranja dlaka, materijal 3D objekata može se kreirati u bilo kojem segmentu izrade, te vrlo lako raditi iteracije kroz sam rad. Naime, bez kreiranog modela i tekstura u prethodnim koracima materijali su beskorisni. Svi aspekti rada su veoma bitni i nadovezuju se jedan na drugi te kod integracije u cjelinu nadopunjavaju jedan drugog. Tijekom cijele izrade 3D digitalnog portreta radi se postupak stvaranja slike, odnosno renderiranja, uz pomoć softvera pod imenom Arnold Renderer. To je poseban dodatak programu koji se koristi za renderiranje, odnosno prikaz 3D modela. Arnold Renderer jest zadnji softver koji se koristi u procesu, zbog toga što se putem tog softvera kreira finalna slika koja se kasnije može dodatno urediti, ukoliko je potrebno. Softver je dodatak softveru Autodesk Maya, te u kombinaciji čine savršenu konfiguraciju za izradu rada. [16]

S obzirom da se koristi Arnold Renderer, već spomenuti materijali izrađuju se pomoću materijala i atributa Arnold-a u Mayi. Materijali se kreiraju pomoću sustava pod nazivom „Hypershade“ u softveru Maya koji omogućuje kreiranje raznih materijala te kombiniranje više materijala u jedan. Ovaj sustav nije isključivo moguć u Mayi, već svaki 3D softver koji podržava renderiranje sadrži isti ili sličan sustav za stvaranje materijala. Pod stvaranje materijala uključuju se i već spomenute

kreirane teksture. Bez tekstura materijal bi bio samo boja sa atributima svjetlosti i refleksija. Međutim, uz pravilne teksture, materijal može izgledati foto-realistično, ukoliko je to cilj. Naravno, materijali nisu isključivo stvoreni kako bi se omogućio foto-realističan izgled objekta. Svi animirani filmovi koriste stilizirane teksture i materijale te se sa istim tim materijalima može postići realističan izgled.



Slika 30 Sučelje Hypershade sistema u softveru Autodesk Maya

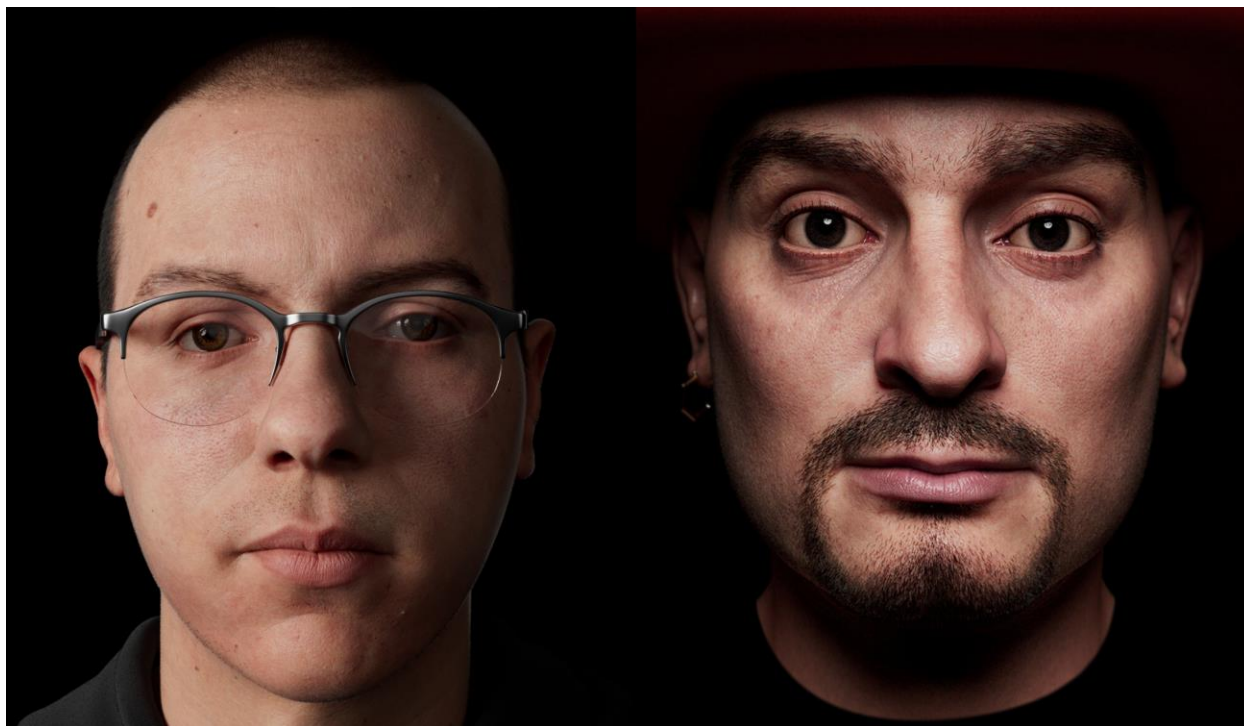
Na slici 30 prikazani su neki od materijala na 3D sceni. Svaki od tih materijala sadrži specifično kreirane teksture i uz te teksture dodatnim elementima pridodaje realizmu. Varijacijom i promjenom svojstava tih materijala, korisnik postiže željeni izgled. Primjerice, materijal za oko bit će potpuno drugačije postavljen od materijala za tkaninu. Oko je mokro i reflektivno, dok tkanina nije te se materijalom i teksturom određuju osobine svakog elementa na sceni. Uz teksture, materijalima se dolazi do života u 3D modelima te nakon finaliziranja tekstura i materijala, 3D digitalni model spreman je za stvaranje finalne slike, odnosno renderiranje.



*Slika 31 Primjer finalnih digitalnih portreta 1*



*Slika 32 Primjer finalnih digitalnih portreta 2*



*Slika 33 Primjer finalnih digitalnih portreta 3*

Na slikama 31, 32 i 33 prikazani su 3D digitalni portreti koji su kreirani koristeći isti ili vrlo sličan tijek procesa i rada kakav je opisan i prikazan u diplomskom radu. Finalne slike renderirane su pomoću svih spomenutih elemenata. Kako bi se portret unaprijedio, potrebno je uložiti više vremena i truda u prilagođavanje svih segmenata.

## **5. Istraživanje**

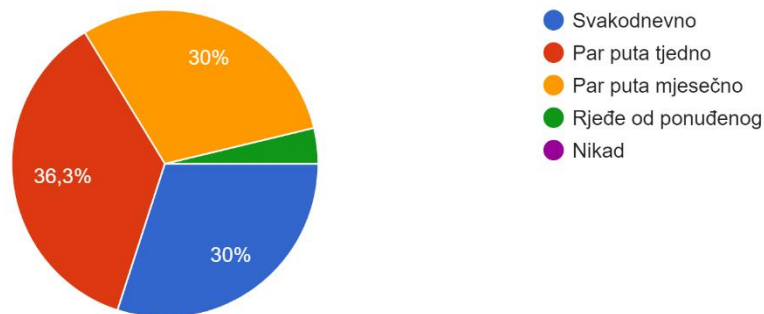
Istraživanje se provelo u razdoblju od 28. 8. 2022. do 1. 9. 2022. godine. Anketa je kreirana pomoću online Google obrasca te se sastoji od 26 pitanja, od kojih su 6 pitanja putem teksta, a 20 pitanja uz fotografiju. Svi ispitanici su zaprimili anketu putem društvenih mreža. Na anketu je odgovorilo 80 ispitanika. U anketi se nalaze 4 fotografije pravih ljudi i 16 slika digitalno stvorenih ljudi. Cilj ankete je saznati faktore koji utječu na ljudsku percepciju, shvaćanje i zapažanje fenomena tajnovite doline u kreiranim 3D digitalnim portretima te hoće li ispitanici razaznati pravu osobu od digitalno stvorene.

## 5.1 Rezultati anketnog istraživanja

U rješavanju ankete sudjelovalo je 80 osoba, od kojih je 47,5% ženska, a 52,5% muška publika. Godine ispitanika bile su ispod 20 godina do 60 godina. Najveći postotak koji je sudjelovao u anketi bio je u dobi između 21 i 30 godina, odnosno 67,5%. Drugi najveći postotak bio je ispod 20 godina, odnosno 16,3%. 51 do 60 godina bio je treći po redu zajedno sa godinama od 31 do 40, 6,3%, dok su godine od 41 do 50 sadržavale samo 3,7% od ukupnih ispitanika. Završeni stupanj obrazovanja je najviše varirao između VSS i VŠS, sa 51,2% i SSS sa 43,8% dok je NSS bio tek 5% od ukupnih ispitanika.

### 1. Koliko često gledate filmove ili serije?

80 odgovora

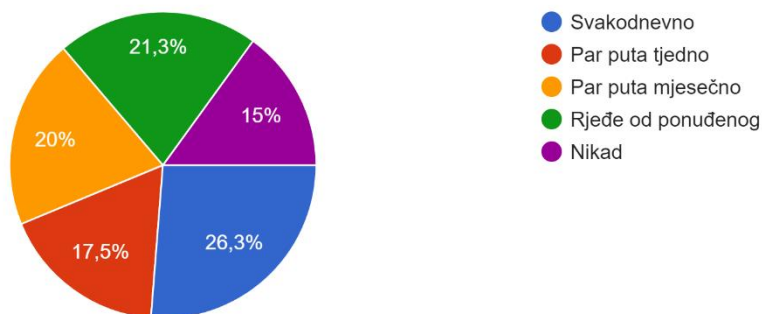


Slika 34 Rezultat ankete - 1. pitanje

Na pitanje koliko često gledaju filmove ili serije od ukupno 80 ispitanika njih 36,3% gleda ih par puta tjedno. Svakodnevno ih gleda 30%. Isto tako, 30% ih gleda samo par puta mjesečno, dok ih samo 3,7% gleda rjeđe od ponuđenih odgovora. Nijedna osoba nije odabrala odgovor „nikad“.

## 2. Koliko često igrate video igre?

80 odgovora

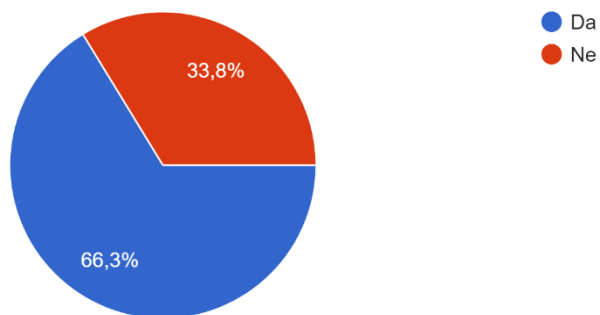


Slika 35 Rezultat ankete - 2. pitanje

Na pitanje koliko često igraju video igre njih 26,3% ih igra svakodnevno. 21,3% ih igra rjeđe od ponuđenih odgovora, dok ih 20% igra par puta mjesečno. Par puta tjedno ih igra 17,5% dok ih čak 15% ne igra nikad.

## 3. Jeste li upoznati s procesima izrade u filmskoj produkciji i produkciji video igara?

80 odgovora



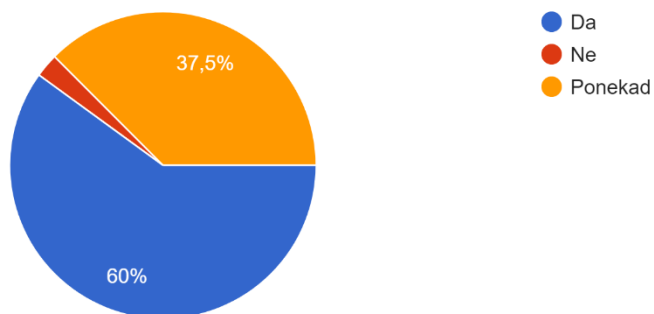
Slika 36 Rezultat ankete - 3. pitanje

Na pitanje jesu li upoznati s procesima izrade u filmskoj produkciji i produkciji video igara, 66,3% njih odgovorilo je s „Da“, dok ih je 33,8% odgovorilo s „Ne“.



#### 4. Znete li raspoznati digitalno stvorene likove od pravih glumci u filmu?

80 odgovora



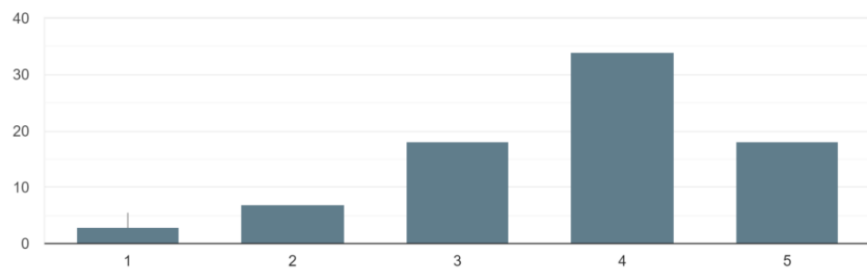
Slika 37 Rezultat ankete - 4. pitanje

Na pitanje znaju li raspoznati digitalno stvorene likove od pravih glumaca u filmu njih 60% odgovorilo je s „Da“. Njih 37,5% odgovorilo je s „Ponekad“, dok ih je samo 2,5% odgovorilo s „Ne“.

Sljedeća pitanja baziraju se na ocjenjivanju fenomena tajnovite doline od 1 do 5 u slikama digitalno stvorenih ljudi i u fotografijama pravih ljudi. Ispitanicima je bilo zadano odabrati broj između 1 i 5 za rangiranje svoje percepcije fenomena tajnovite doline. Broj 1 označava najvišu razinu tajnovite doline, odnosno nerealističan/umjetan prikaz čovjeka, dok broj 5 označava najnižu razinu tajnovite doline, odnosno realističan/živ prikaz čovjeka. Ispitanici nisu imali uvid u to je li na slici prava osoba ili 3D digitalno stvorena osoba.



5. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora

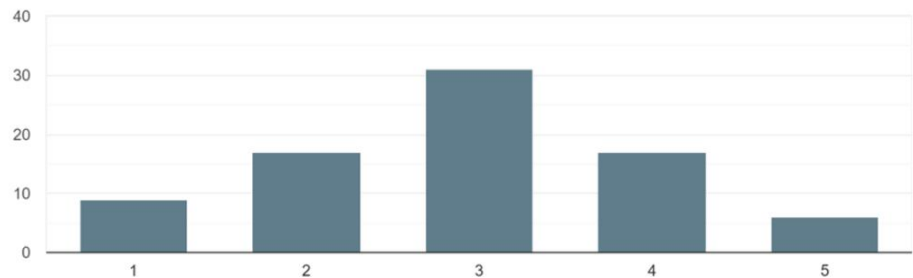


Slika 38 Rezultat ankete - 5. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 4, odnosno njih 42,5%. Njih 22,5% dalo je ocjenu 5, isto kao i ocjenu 3. Ocjenu 2 dalo ih je 8,8% dok je ocjenu 1 dalo tek 3,8%. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



6. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora



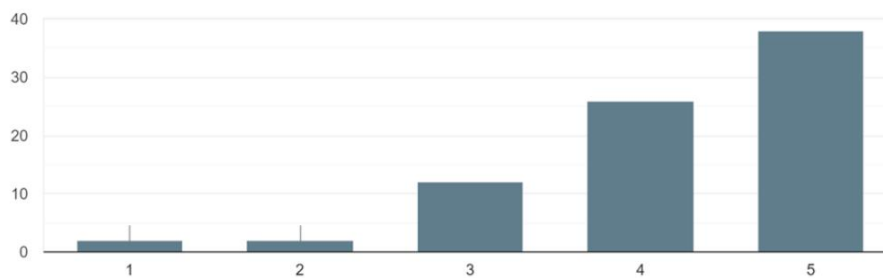
Slika 39 Rezultat ankete - 6. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 3, odnosno njih 38,8%. Njih 21,3% dalo je ocjenu 4, isto kao i ocjenu 2. Ocjenu 1 dalo ih je 11,3%. Tek njih 7,5% je dalo ocjenu 5. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



7. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?

80 odgovora



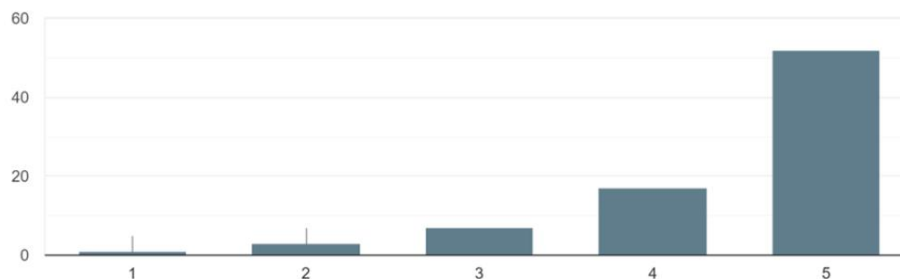
Slika 40 Rezultat ankete - 7. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, odnosno njih 47,5%. Ocjenu 4 dalo je njih 32,5%, dok je ocjenu 3 dalo njih 15%. Ocjenu 1 i 2 dalo ih je isti postotak, 2,5%. Na slici se nalazi stvarna osoba.



8. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?

80 odgovora

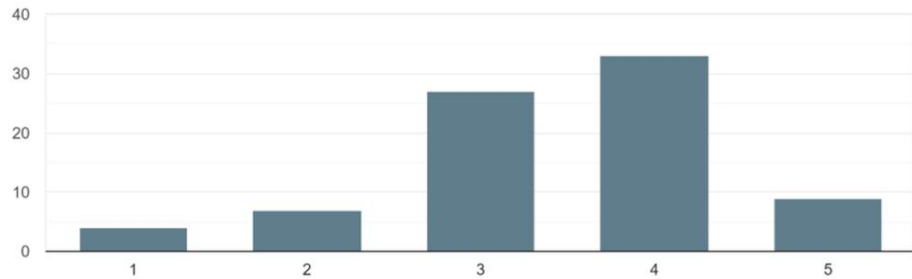


Slika 41 Rezultat ankete - 8. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, odnosno njih 65%. Ocjenu 4 dalo ih je 21,3%. Njih 8,8% dalo ih je ocjenu 3. Ocjenu 2 dalo ih je 3,8% i tek 1,3% je dalo ocjenu 1. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



9. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora

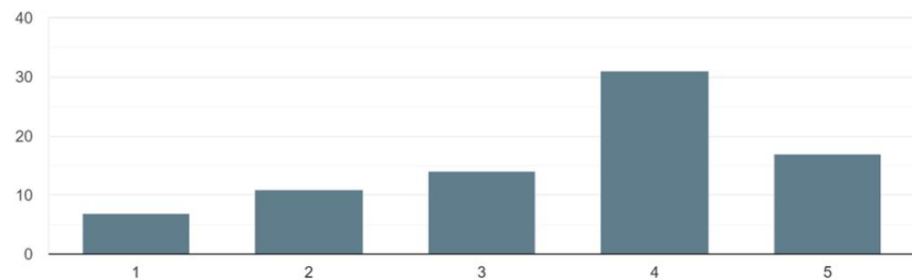


Slika 42 Rezultat ankete - 9. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 4, njih 41,3%. Njih 33,8% dalo je ocjenu 3. Ocjenu 5 dalo ih je 11,3%, a ocjenu 2 njih 8,8%. Tek 5% ih je dalo ocjenu 1. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



10. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora



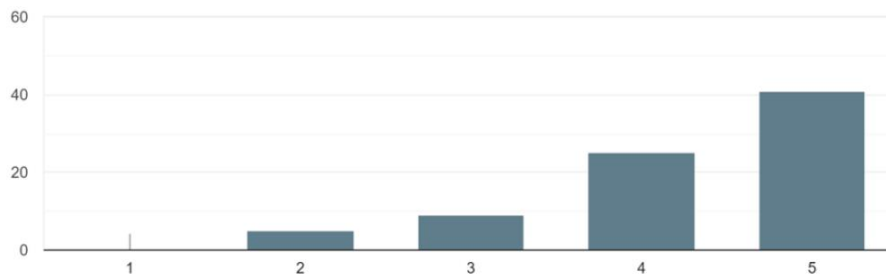
Slika 43 Rezultat ankete - 10. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 4, odnosno njih 38,8%. Njih 21,3% dalo je ocjenu 5. Ocjenu 3 dalo ih je 17,5%, dok je 13,8% njih dalo ocjenu 2. 8,8% ih je dalo ocjenu 1. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



11. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?

80 odgovora



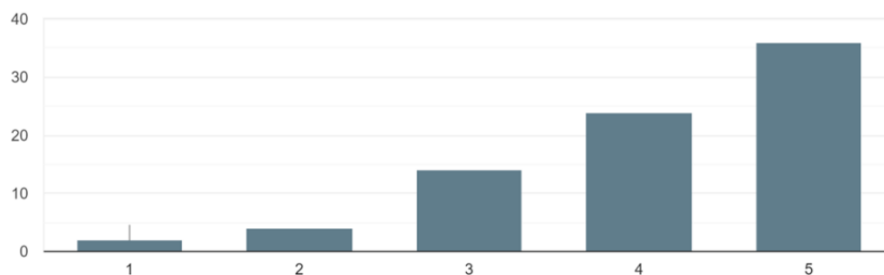
Slika 44 Rezultat ankete - 11. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, čak njih 51,2%. Ocjenu 4 dalo ih je 31,3%, dok ih je 11,3% dalo ocjenu 3. Njih 6,3% dalo je ocjenu 2, a nijedan ispitanik nije dao ocjenu 1. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



12. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?

80 odgovora

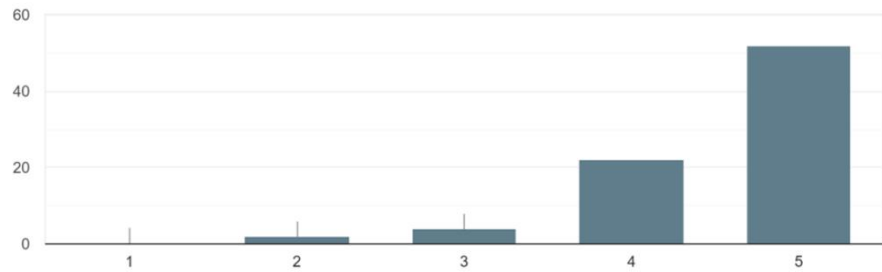


Slika 45 Rezultat ankete - 12. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, njih 45%. 30% ih je dalo ocjenu 4, dok ih je ocjenu 3 dalo 17,5%. Njih 5% dalo je ocjenu 2, dok ih je samo 2,5% dalo ocjenu 1. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



13. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora

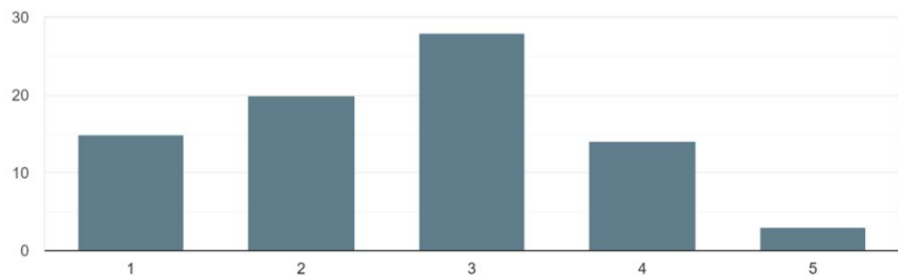


Slika 46 Rezultat ankete - 13. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, njih čak 65%. Njih 27,5% dalo je ocjenu 4. Ocjenu 3 dalo ih je 5%, a ocjenu 2 samo 2,5%. Nitko od ispitanika nije odabrao ocjenu 1. Na slici se nalazi stvarna osoba.



14. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora

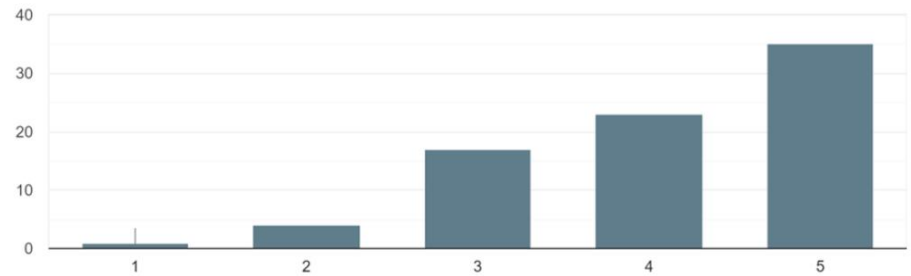


Slika 47 Rezultat ankete - 14. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 3, njih 35%. Njih 25% dalo je ocjenu 2, dok ih je 18,8% dalo ocjenu 1. 17,5% ih je dalo ocjenu 4, a tek 3,8% ocjenu 5. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



15. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora

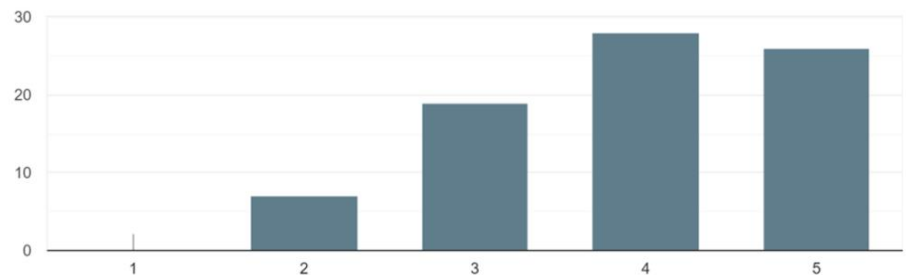


Slika 48 Rezultat ankete - 15. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, njih 43,8%. Njih 28,7% dalo je ocjenu 4, a ocjenu 3 ih je dalo 21,3%. Ocjenu 2 dalo ih je 5%, a ocjenu 1 tek 1,3%. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



16. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora

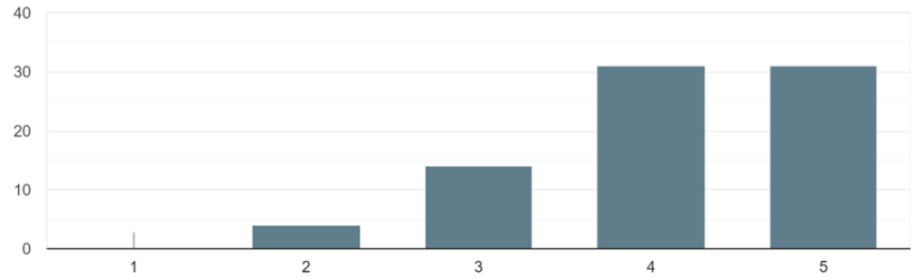


Slika 49 Rezultat ankete - 16. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 4, njih 35%. Ocjenu 5 dalo ih je 32,5%. Njih 23,8% dalo je ocjenu 3, dok ih je 8,8% dalo ocjenu 2. Nijedan ispitanik nije dao ocjenu 1. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



17. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora

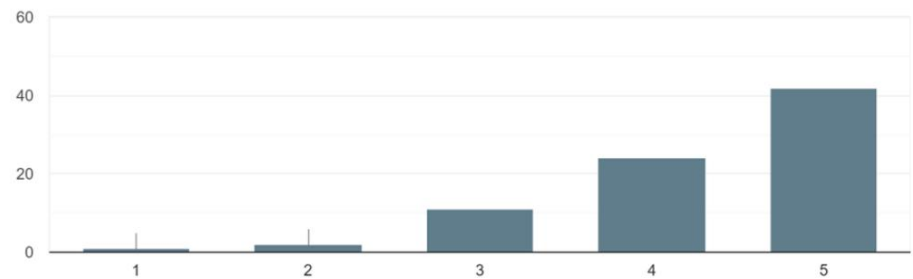


Slika 50 Rezultat ankete - 17. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji jednak postotak ispitanika je dao ocjenu 4 i 5, 38,8%. Njih 17,5% dalo je ocjenu 3, dok je 5% dalo ocjenu 2. Nijedan ispitanik nije dao ocjenu 1. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



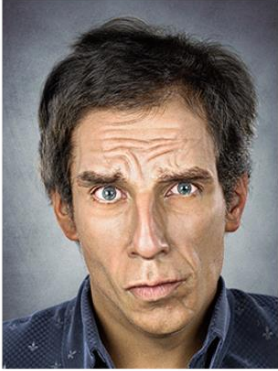
18. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora



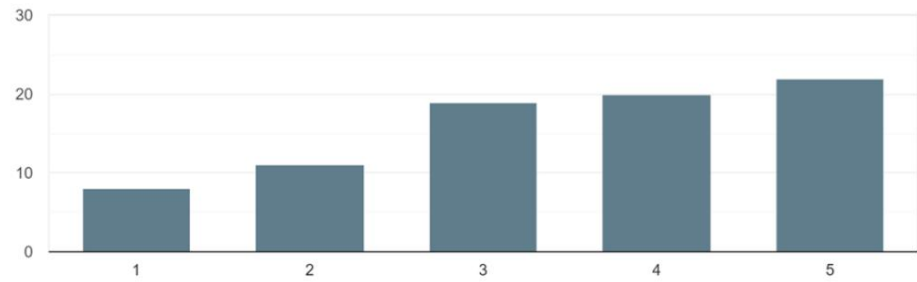
Slika 51 Rezultat ankete - 18. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, njih čak 52,5%. Ocjenu 4 dalo ih je 30%, dok ih je ocjenu 3 dalo 13,8%. Njih 2,5% dalo je ocjenu 2, dok je samo 1,3% njih dalo ocjenu 1. Na slici se nalazi stvarna osoba.





19. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora

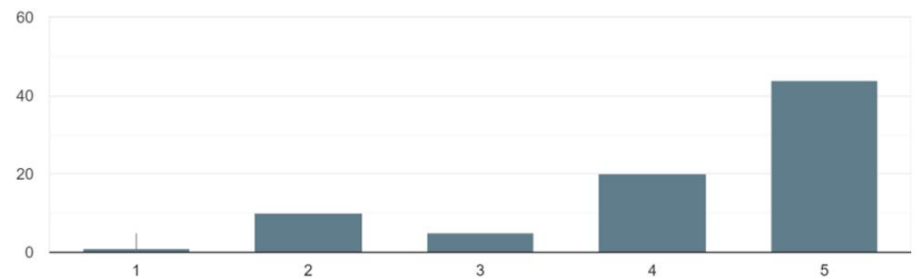


Slika 52 Rezultat ankete - 19. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, njih 27,5%. Ocjenu 4 dalo je 25%, dok je ocjenu 3 dalo 23,8% ispitanika. 13,8% njih dalo je ocjenu 2, a ocjenu 1 čak 10%. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.

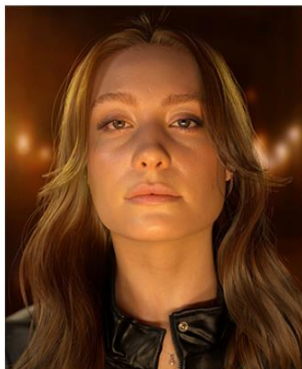


20. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora



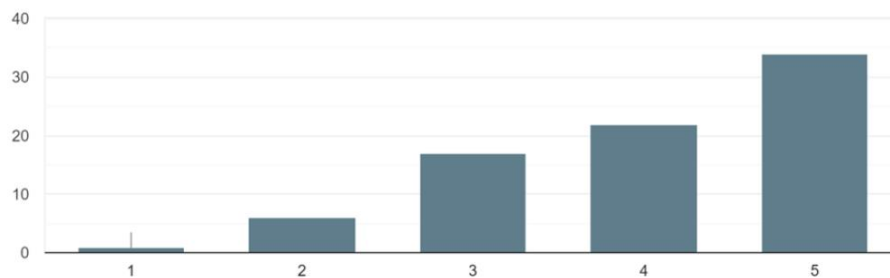
Slika 53 Rezultat ankete - 20. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, njih čak 55%. Ocjenu 4 dalo je 25% ispitanika, dok je ocjenu 3 dalo 6,3%. Ocjenu 2 je dalo čak 12,5% ispitanika, više od ocjene 3. Samo 1,3% ispitanika dalo je ocjenu 1. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



21. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?

80 odgovora



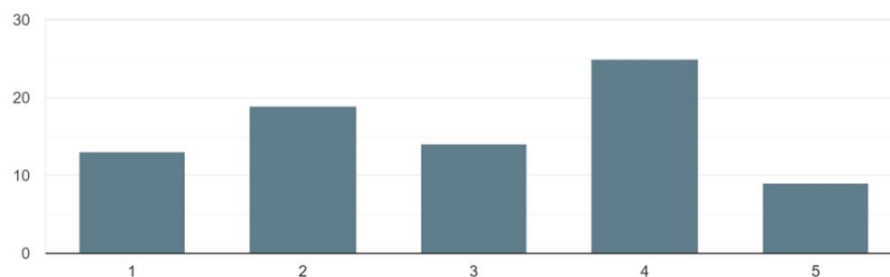
Slika 54 Rezultat ankete - 21. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, njih 42,5%. Ocjenu 4 dalo je 27,5%, dok je ocjenu 3 dalo 21,3% ispitanika. Ocjenu 2 dalo je 7,5%, a ocjenu 1 samo 1,3% ispitanika. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



22. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?

80 odgovora

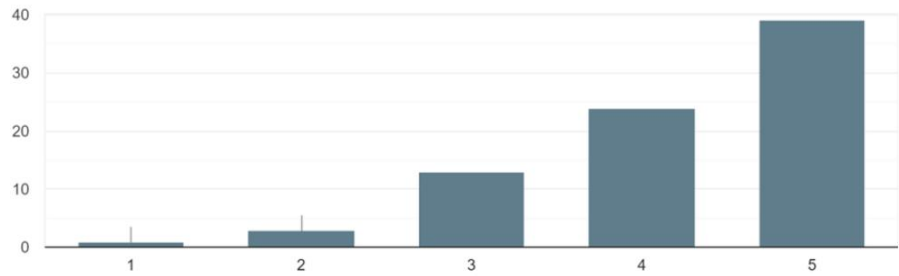


Slika 55 Rezultat ankete - 22. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 4, njih 31,3%. Ocjenu 2 dalo je 23,8% njih, a ocjenu 3 17,5% ispitanika. Čak 16,3% dalo je ocjenu 1, dok je ocjenu 5 dalo samo 11,3% ispitanika. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



23. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora

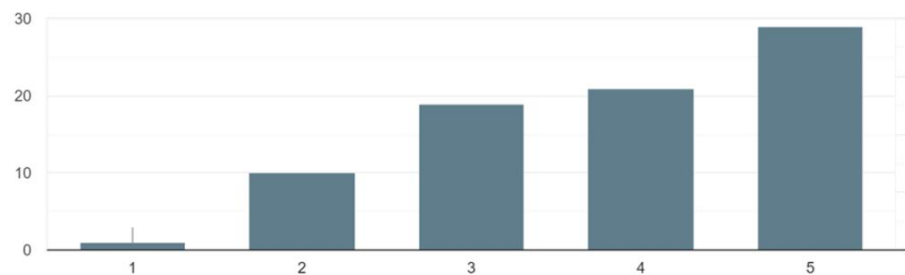


Slika 56 Rezultat ankete - 23. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, njih 48,8%. Njih 30% dalo je ocjenu 4, a ocjenu 3 je dalo 16,3% ispitanika. Ocjenu 2 dalo je 3,8% ispitanika, a ocjenu 1 tek 1,3% ispitanika. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.



24. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora

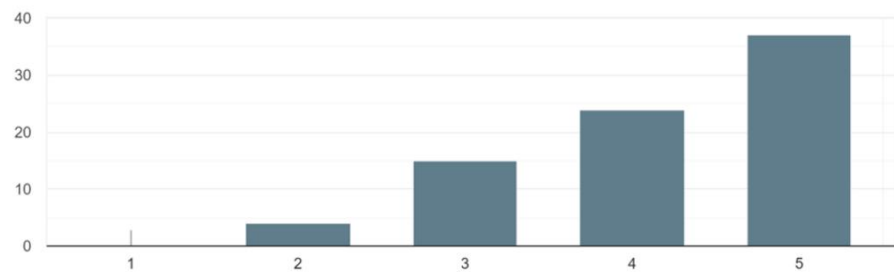


Slika 57 Rezultat ankete - 24. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, njih 36,3%. Ocjenu 4 dalo je 26,3% ispitanika, dok je ocjenu 3 dalo 23,8% njih. Ocjenu 2 dalo je 12,5% ispitanika. Tek 1,3% dalo je ocjenu 1. Na slici se nalazi stvarna osoba.



25. Koliko prikazana slika priliči fotografiji?  
80 odgovora



Slika 58 Rezultat ankete - 25. pitanje

Na pitanje koliko prikazana slika priliči fotografiji najviše ispitanika dalo je ocjenu 5, njih 46,3%. Ocjenu 4 dalo je 30%, dok je ocjenu 3 dalo 18,8% ispitanika. Samo 5% dalo je ocjenu 2, dok nijedan ispitanik nije dao ocjenu 1. Na slici se nalazi 3D digitalno stvorena osoba.

Tek nekolicina ispitanika odgovorilo je na zadnje pitanje, koje se nadovezalo na sva prijašnja.

26. Što smatrate koji je razlog raspoznavanja fotografije portreta od digitalno obrađene fotografije portreta?

- Koža, njena svojstva kao materijal, svjetlo
- Teksture, lice i razina odsjaja i svjetla na licu
- U više slučajeva odaju kosa, brada/brkovi, pore na licu i oči
- Tekstura lica, kosa i ostale dlake na tijelu, oči, emocije
- Teško za objasniti, bez dugog razmišljanja bih rekao čitljivost finih detalja, svjetlina, čistoća i oštrina
- Ne znam
- Digitalno kreirane osobe izgledaju previše plastično/gumeno
- Najčešće je razlog osvjetljenje i kalibracija svojstava materijala, odnosno kože i kose
- Nisam sigurna

## 6. Zaključak

Fenomen tajnovite doline prvenstveno je borba ljudskog oka i uma. Ljudsko oko izuzetno je kompleksno te se svakodnevno razvija nesvjesnim proučavanjem i promatranjem ljudi. Svaki ljudski pokret složena je kombinacija mnogih slojeva ljudskog tijela te čovjek vrlo lako opazi neprirodne ili nelogične karakteristike u pokretu ili izgledu ljudskog tijela ili lica. Ponajviše iz tih razloga je neizmjereno lako dokučiti djeluje li neživi predmet neljudski, kad pokušava izgledati i ponašati se ljudski. No, postoje trenutci u opažanju kada se pojedinac dvoumi između zaključka je li predmet živ ili neživ. Kod takvih situacija dolazi do fenomena tajnovite doline, odnosno osjećaja jezivosti ili gadljivosti. Razvoj tehnologije i vještina ljudi, odnosno umjetnika, koji izrađuju virtualno ili prave lažne ljude, uvelike smanjuje granicu između razlika živog i neživog ljudskog oblika, naročito u industriji i proizvodnji digitalnih 3D realističnih ljudi. Uporaba digitalnih 3D ljudi postao je standard u kreaciji filmova, serija i reklamnih sadržaja. Međutim, svejedno veliki broj gledatelja primjećuje implementaciju digitalnih ljudi u pravu snimku, što rezultira fenomenom tajnovite doline. No, nije svaki rezultat iste kvalitete te se filmaši i umjetnici u industriji uvijek suočavaju s novim poteškoćama i problemima tijekom izrade. U radu je provedeno istraživanje pojave fenomena tajnovite doline u obliku 3D digitalno stvorenih ljudi. Uspješno je izvršena anketa od 80 ispitanika kojom se došlo do raznovrsnih odgovora i zamjedbi vezano uz fenomen tajnovite doline u 3D digitalnim ljudima. U anketi je bilo prezentirano dvadeset slika, od kojih su samo četiri bile fotografije pravih osoba, dok su ostalih šesnaest bile slike 3D digitalno stvorenih ljudi. Anketno istraživanje nije imalo ciljanu publiku, ali je većina ispitanika izjavilo kako gleda filmove i igra video igre. Više od 60% ispitanika je također izjavilo da su upoznati s procesima izrade u filmskoj produkciji i produkciji video igara. Većina ispitanika je ocijenilo najgore 3D stvorene ljude s lošom ocjenom, a fotografije pravih osoba s najvišom. No, zanimljivo je da su neki od ispitanika ocjenjivali fotografije pravih osoba s nižom ocjenom, dok su više ili iste ocjene dali slikama 3D stvorenih ljudi. To ukazuje na nesigurnost, zbunjenost i sumnjičavost ispitanika prema zadanim fotografijama i slikama. Rezultati također naznačuju vrlo niske razine fenomena tajnovite doline u nekim primjerima, što implicira na veliko smanjenje granice između onoga što je realno i onoga što nije. S obzirom na brzinu napretka tehnologije i društva, granica između živog i neživog u digitalnom svijetu biti će ekstremno tanka u narednih nekoliko godina te ljudi neće raspoznati pravu osobu od digitalne.

## 7. Literatura

- [1] <https://spectrum.ieee.org/the-uncanny-valley> , dostupno 3. 9. 2022.
- [2] <https://www.verywellmind.com/what-is-the-uncanny-valley-4846247> ,  
dostupno 3. 9. 2022.
- [3] Burleigh T. (2011.): Does the uncanny valley exist? An empirical test of the relationship between eeriness and the human likeness of digitally created faces
- [4] Holmes M. T. (2016.): Designing Creatures and Characters: How to Build an Artist's Portfolio for Video Games, Film, Animation and More
- [5] <https://discover.therookies.co/2022/05/31/little-hmong-harvester-an-expression-of-feeling-in-3d/> , dostupno 4. 9. 2022.
- [6] <https://www.maxon.net/en/zbrush> , dostupno 4. 9. 2022.
- [7] Zarins U. (2017.): Anatomy of Facial Expression
- [8] <https://www.autodesk.com/products/maya/overview?term=1-YEAR&tab=subscription> ,  
dostupno 4. 9. 2022.
- [9] Cheng F. (2008.): Catmull-Clark Subdivision Surfaces: an introduction to one-piece representation
- [10] <https://conceptartempire.com/uv-mapping-unwrapping/> , dostupno 4. 9. 2022.
- [11] <https://thilakanathanstudios.com/2016/09/why-do-we-need-topology-in-3d-modeling/> ,  
dostupno 4. 9. 2022.
- [12] <https://www.marvelousdesigner.com/product/overview> , dostupno 4. 9. 2022.
- [13] <https://www.a23d.co/blog/what-is-3d-texturing/> , dostupno 4. 9. 2022.
- [14] <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Maya/files/GUID-47644337-40F0-4766-BD3B-4104F9F9B7E2-htm.html> , dostupno 4. 9. 2022.
- [15] Spriggs I. (2021.): A Portrait of the Digital Age
- [16] <https://academyofanimatedart.com/arnold-software/> , dostupno 4. 9. 2022.

## Popis slika

Slika 59. Uncanny valley, Masahiro Mori 1970.

Slika 60. Koncept umjetnik

Slika 61. Primjer koncepta za igru ili film

Slika 62. Primjer sakupljenih referentnih fotografija – PureRef

Slika 63. Logo ZBrush softvera

Slika 64. Sučelje ZBrush softvera

Slika 65. Prikaz primarnih, sekundarnih i tercijarnih formi na digitalnoj skulpturi glave

Slika 66. Primjer digitalne skulpture u ZBrushu i finalnog rendera.

Slika 67. Primjer digitalne skulpture u ZBrushu i 3D tiska iste.

Slika 68. Primjer digitalne skulpture u ZBrushu i igri nakon procesa izrade modela za video igre

Slika 69. Vizualizacija lokomotornog sustava ljudske glave - Anatomy of Facial Expression, 2017.

Slika 70. Primjeri mreže 3D modela

Slika 71. Vrste poligona u 3D modeliranju

Slika 72. Primjer Catmull-Clark algoritma za podjelu površine

Slika 73. Sučelje softvera Autodesk Maya

Slika 74. Brzi pristup akcijama u Autodesk Maya programu

Slika 75. Primjer modeliranja potrebnih 3D predmeta u 3D sceni

Slika 76. Kompletan 3D karakter

Slika 77. Vizualni prikaz principa UV mapiranja

Slika 78. Primjeri UV mapa 3D modela zgrade i glave

Slika 79. Prikaz lošeg i dobrog UV mapiranja

Slika 80. Prikaz uzorka UV mape na 3D modelu glave

Slika 81. UV mapa prikazane 3D digitalne glave

Slika 82. Dvije vrste topologije 3D modela koje su pogodne za rad

Slika 83. Prikaz 2D uzoraka digitalne odjeće i 3D simulirane digitalne odjeće u programu Marvelous Designer

Slika 84. Rekreacija topologije 3D odjela

Slika 85. Sučelje softvera Adobe Substance 3D Painter

Slika 86. Sučelje softvera Foundry Mari

Slika 87. Primjer vodilja i generirane kose u XGen sistemu

Slika 88. Sučelje Hypershade sistema u softveru Autodesk Maya

Slika 89. Primjer finalnih digitalnih portreta 1

Slika 90. Primjer finalnih digitalnih portreta 2

Slika 91. Primjer finalnih digitalnih portreta 3

Slika 92. Rezultat ankete - 1. pitanje

Slika 93. Rezultat ankete - 2. pitanje

Slika 94. Rezultat ankete - 3. pitanje

Slika 95. Rezultat ankete - 4. pitanje

Slika 96. Rezultat ankete - 5. pitanje

Slika 97. Rezultat ankete - 6. pitanje

Slika 98. Rezultat ankete - 7. pitanje

Slika 99. Rezultat ankete - 8. pitanje

Slika 100. Rezultat ankete - 9. pitanje

Slika 101. Rezultat ankete - 10. pitanje

Slika 102. Rezultat ankete - 11. pitanje

Slika 103. Rezultat ankete - 12. pitanje

Slika 104. Rezultat ankete - 13. pitanje

Slika 105. Rezultat ankete - 14. pitanje

Slika 106. Rezultat ankete - 15. pitanje

Slika 107. Rezultat ankete - 16. pitanje

Slika 108. Rezultat ankete - 17. pitanje

Slika 109. Rezultat ankete - 18. pitanje

Slika 110. Rezultat ankete - 19. pitanje

Slika 111. Rezultat ankete - 20. pitanje



Slika 112. Rezultat ankete - 21. pitanje

Slika 113. Rezultat ankete - 22. pitanje

Slika 114. Rezultat ankete - 23. pitanje

Slika 115. Rezultat ankete - 24. pitanje

Slika 116. Rezultat ankete - 25. pitanje



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, NEVEN GALUNIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom POJAVA FENOMENA TAJNOVIŠE BOJNE U OBLIKU 3D DIGITALNOG REALISTIČNOG PORTRETA I PROCES IZRADE ISTOG (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

gn  
(vlastoručni potpis)

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

Ja, NEVEN GALUNIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom POJAVA FENOMENA TAJNOVIŠE BOJNE U OBLIKU 3D DIGITALNOG REALISTIČNOG PORTRETA I PROCES IZRADE ISTOG (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

gn  
(vlastoručni potpis)