

# Fotorealistični 3D modeli i njihova primjena

---

Šprem, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:250403>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**

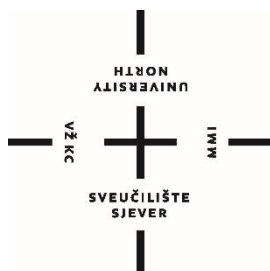


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER  
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



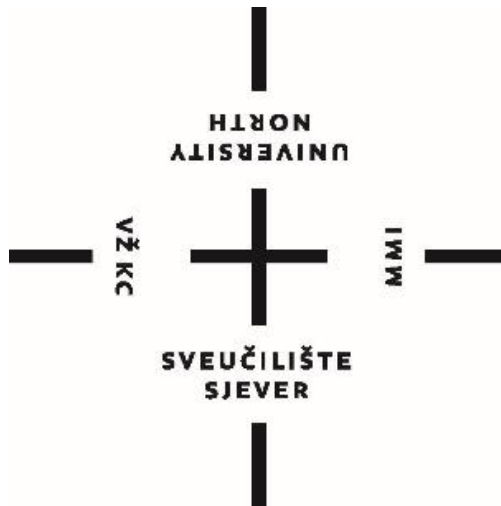
DIPLOMSKI RAD br.143-MMD-2024

**FOTOREALISTIČNI 3D MODELI I NJIHOVA  
PRIMJENA**

Marko Šprem, 0016128248

Varaždin, kolovoz 2024.





**Odjel za Multimediju**

Diplomski rad br. 143-MMD-2024

Fotorealistični 3D modeli i njihova primjena

**Student**

Marko Šprem, 0016128248

**Mentor**

doc. art. dr. sc. Robert Geček

Varaždin, rujan 2024. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za multimediju		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Multimedija		
PRISTUPNIK	Marko Šprem	MATIČNI BROJ	0016128248
DATUM	03.9.2024.	KOLEGIJ	Projektni studio 1
NASLOV RADA	Fotorealistični 3D modeli i njihova primjena		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Photorealistic 3D models and their application		
MENTOR	Robert Geček	ZVANJE	izv.prof.art.dr.sc.
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc. dr. sc. Andrija Bernik - predsjednik		
	2. izv. prof. dr. sc. Emil Dumić - član		
	3. izv. prof. art. dr. sc. Robert Geček - mentor		
	4. doc. art. dr. sc. Mario Periša - zamjenski član		
	5.		

## Zadatak diplomskog rada

BROJ	143-MMD-2024
OPIS	

Cilj diplomskog rada je prikazati primjenu fotorealističnih 3D modela kroz različite perspektive, odnosno kako fotorealistični 3D modeli predstavljaju značajan napredak u digitalnoj vizualizaciji. Karakteriziran njihovom sposobnošću repliciranja objekata iz stvarnog svijeta sa zapanjujućom preciznošću i detaljima. Ova je tehnologija revolucionirala razne industrije pružajući svestrane primjene u područjima kao što su film, video igre, arhitektura, dizajn proizvoda i virtualna stvarnost.

U praktičnom dijelu rada objašnjen je proces izrade takozvanog fotorealističnog 3D modela na praktičnom primjeru koji prikazuje sve tehnike i detalje koje ulaze u izradu takvog modela. Sam model je namijenjen za korištenje u video igrama ali koncept izrade može se primijeniti na različite industrije poput filmova ili dizajn proizvoda.

ZADATAK URUČEN

5.9.2024.



POTPIS MENTORA

# Sažetak

Cilj diplomskog rada je prikazati primjenu fotorealističnih 3D modela kroz različite perspektive, odnosno kako fotorealistični 3D modeli predstavljaju značajan napredak u digitalnoj vizualizaciji. Karakteriziran njihovom sposobnošću repliciranja objekata iz stvarnog svijeta sa zapanjujućom preciznošću i detaljima. Ova je tehnologija revolucionirala razne industrije pružajući svestrane primjene u područjima kao što su film, video igre, arhitektura, dizajn proizvoda i virtualna stvarnost. Objasnjen je proces izrade takozvanog fotorealističnog 3D modela na praktičnom primjeru koji prikazuje sve tehnike i detalje koje ulaze u izradu takvog modela. Sam model je namijenjen za korištenje u video igrama ali koncept izrade može se primijeniti na različite industrije poput filmova ili dizajn proizvoda.

Ključne riječi: modeliranje, 3D, fotorealistično, primjena, multimedija

# Summary

The aim of the thesis is to show the application of photorealistic 3D models through different perspectives, that is, how photorealistic 3D models represent significant progress in digital visualization. Characterized by their ability to replicate real-world objects with astonishing accuracy and detail. This technology has revolutionized various industries providing versatile applications in areas such as film, video games, architecture, product design and virtual reality. The process of creating a so-called photorealistic 3D model is explained using a practical example that includes all the techniques and details that go into creating such a model. The model itself is intended for use in video games, but the crafting concept can be applied to different industries such as movies or product design.

# Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	<b>4</b>
<b>2. Fotorealistično 3D modeliranje</b>	<b>5</b>
<b>3. Proces izrade fotorealističnog 3D modela</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Konceptualizacija</b>	<b>8</b>
3.1.1. Reference i koncept	8
3.1.2. Izrada koncepta za stvaranje rekvizita	8
<b>3.2. Modeliranje</b>	<b>10</b>
3.2.1. Detaljno „polygon“ modeliranje	10
3.2.2. Modeliranje visokom rezolucijom	13
<b>3.3. Teksturiranje</b>	<b>15</b>
3.3.1. UV mapiranje	16
3.3.2. Teksturiranje	18
<b>3.4. Render 3D modela</b>	<b>23</b>
3.4.1. Osvijetljene	24
3.4.2. Postavke renderanja	25
3.4.3. Finali rezultat	27
<b>4. Primjena fotorealističnih 3D modela</b>	<b>29</b>
4.1. Filmska industrija i VFX	29
4.2. 3D Modeli u animaciji	31
4.3. Video igre	33
4.3.1. Unreal Engine 5	35
4.4. Dizajn interijera	38
<b>5. Istraživanje</b>	<b>41</b>
<b>6. Zaključak</b>	<b>60</b>
<b>Literatura</b>	<b>61</b>
<b>Popis slika</b>	<b>63</b>



# 1. Uvod

Napredak digitalne tehnologije unaprijedio je brojna područja, uključujući umjetnost, dizajn, arhitekturu i zabavu. Među najznačajnijim dostignućima je stvaranje i korištenje digitalnih 3D modela. Ovi modeli, koji blisko oponašaju izgled i detalje stvarnih objekata, transformirali su način na koji vizualiziramo, dizajniramo i komuniciramo s virtualnim okruženjima.

Fotorealistično 3D modeliranje uključuje izradu trodimenzionalnih digitalnih prikaza koji se ne mogu razlikovati od svojih primjeraka iz stvarnog svijeta. Ovaj proces uključuje napredne tehnike mapiranja teksture, osvjetljenja, sjenčanja i renderiranja, postižući razinu realizma koja može zavarati i najzibirljivije oko. Sposobnost proizvodnje tako detaljnih i realističnih modela otvorila je mnoštvo primjena u raznim industrijama.

U području arhitekture, fotorealistični 3D modeli omogućuju arhitektima i dizajnerima stvaranje točnih i impresivnih vizualizacija zgrada i prostora prije njihove izgradnje. Ovo ne samo da pomaže u procesu dizajna, već također poboljšava prezentacije klijenata i marketinške napore. Slično tome, u industriji zabave, ovi su modeli ključni u produkciji filmova, videoigara i iskustava virtualne stvarnosti, pružajući publici zapanjujuće realistične vizualne prikaze koji poboljšavaju pripovijedanje i uranjanje.

Cilj ovoga diplomskoga rada je istražiti sam proces izrade fotorealističnih modela te njihovu primjenu u različitim ranije navedenim područjima poput industrije video igara ili filmske industrije. Prvi dio rada odnosi se na tehnički aspekt izrade fotorealističnoga 3D modela koji prati čitav proces izrade, od samog početka pa sve do samih krajnjih 3D renderiranih slika koje služe kao rezultat. U ovo slučaju izrađen je model prema standardu izrade 3D modela za video igre. Proces izrade 3D modela za neka druga područja poput stvaranje digitalnih modela za marketing i oglašavanje je drugačiji od onoga koji se koristi za video igre, te se ovaj rad ograničava na model pripremljen za video igru. U drugom djelu rada prikazane su neke od mogućih primjena digitalnih 3D modela, navedene su samo neke od najpopularnijih područja poput video igara ili dizajn interijera. Kraj rada predstavlja istraživanje na temelju ankete gdje su sudionici morali diferencirati sliku na temelju je li stvaran život ili 3D model.

## 2. Fotorealistično 3D modeliranje

Fotorealistično 3D modeliranje umjetnost je stvaranja digitalnih trodimenzionalnih modela koji izgledaju toliko realistično da se često ne mogu razlikovati od objekata ili scena iz stvarnog svijeta. Ovaj proces uključuje korištenje naprednog softvera za precizno projektiranje detaljnih geometrija, primjenu tekstura visoke razlučivosti i simulaciju točnih svojstava materijala. Ključne tehnike uključuju globalno osvjetljenje, praćenje zraka svjetlosti te „*physically based rendering*“ (PBR) za postizanje realističnih efekata osvjetljenja i sjene. Uključivanjem detaljnih površinskih tekstura, precizne rasvjete i karakteristika materijala, umjetnici mogu stvoriti modele koji ponavljaju nijanse objekata iz stvarnog svijeta [1].

3D modeliranje sa svrhom najviše razine imitacije stvarnog svijeta naširoko se koristi u raznim industrijama zbog svoje sposobnosti stvaranja vrlo realističnih digitalnih prikaza objekata i okruženja. U zabavi, poboljšava vizualnu kvalitetu filmova, TV emisija i videoigara pružajući realistične likove, okruženja i specijalne efekte. U arhitekturi i nekretninama omogućuje stvaranje detaljnih i realističnih vizualizacija zgrada i interijera, pomažući klijentima da vizualiziraju projekte prije izgradnje. Dizajneri proizvoda koriste fotorealistične modele za izradu prototipa i prodaju proizvoda, prikazujući ih na vrlo detaljan i atraktivan način. U zdravstvu pomaže u stvaranju točnih anatomskih modela za obrazovne i kirurške svrhe. Osim toga, fotorealistično 3D modeliranje ključno je u aplikacijama virtualne stvarnosti (VR) i proširene stvarnosti (AR), nudeći impresivna i realistična virtualna okruženja koja poboljšavaju korisnička iskustva. Ovi realistični modeli također igraju značajnu ulogu u oglašavanju, obrazovanju i znanstvenoj vizualizaciji, pružajući moćne alate za komunikaciju, obuku i analizu [2].



*Slika 1. Fotorealističan prikaz 3D modela, autor Natasha Breen*

Fotorealistični 3D modeli stvaraju interes zbog svoje sposobnosti repliciranja stvarnih objekata i okruženja sa zapanjućim detaljima i točnošću. Ova visoka razina realizma povećava vizualnu privlačnost, čineći digitalni sadržaj kao što su filmovi, videoigre i iskustva virtualne stvarnosti impresivnijim i privlačnijim. Služe kao moćni alati za jasno prenošenje složenih ideja i dizajna, olakšavajući bolju komunikaciju i donošenje odluka u područjima kao što su arhitektura, dizajn proizvoda i nekretnine.

### 3. Proces izrade fotorealističnog 3D modela

U ovom dijelu rada opisan je proces stvaranja navedenog modela koje je podijeljeno u nekoliko koraka, te će svaki od koraka biti objašnjen kako bi se jasno prikazao kompletan proces i tehnike modeliranja. Stvaranje fotorealističnog 3D modela uključuje pedantan „workflow“ u više koraka. Proces počinje razvojem koncepta, gdje su istraživanje i prikupljanje referenci presudni za razumijevanje teme, nakon čega slijede početne skice za vizualizaciju modela. Zatim, faza modeliranja počinje stvaranjem osnovne geometrije, koja se zatim doraduje detaljnim tehnikama modeliranja kako bi se osigurali točni i zamršeni oblici. Optimizacija topologije provodi se kako bi se održala čista i učinkovita geometrija. U fazi teksturiranja, „UV unwrapping“ priprema model za teksturiranje, nakon čega slijedi razvoj tekstura visoke razlučivosti i definiranje svojstava materijala korištenjem radnih procesa fizičkog renderiranja (PBR). Zatim se postavlja rasvjeta, uključujući postavljanje svjetala i simulaciju realnih svjetlosnih uvjeta, često korištenjem tehnika poput globalnog osvjetljenja i slike visokog dinamičkog raspona (HDRI). Faza renderiranja uključuje konfiguriranje postavki renderiranja, provođenje testnih renderiranja kako bi se osiguralo da su svi elementi točni i izvođenje konačnog renderiranja, potencijalno u slojevima za naknadnu obradu. Naknadna obrada uključuje sastavljanje različitih prolaza renderiranja, korekciju boja, ocjenjivanje i dodavanje efekata poput dubinske oštine i zamućenja kretanja radi poboljšanja realizma. Tijek rada također uključuje fazu pregleda i iteracije, gdje se model pregledava radi kvalitete, povratne informacije od klijenata ili dionika su ugrađene, te se vrše konačne prilagodbe. Konačno, faza prezentacije i isporuke uključuje izvoz konačnih slika ili animacija, pripremu dokumentacije ili prezentacijskih materijala i isporuku konačnih datoteka ili njihovu integraciju u predviđenu aplikaciju, osiguravajući uglađen i realističan ishod [3].

## **3.1. Konceptualizacija**

### **3.1.1. Reference i koncept**

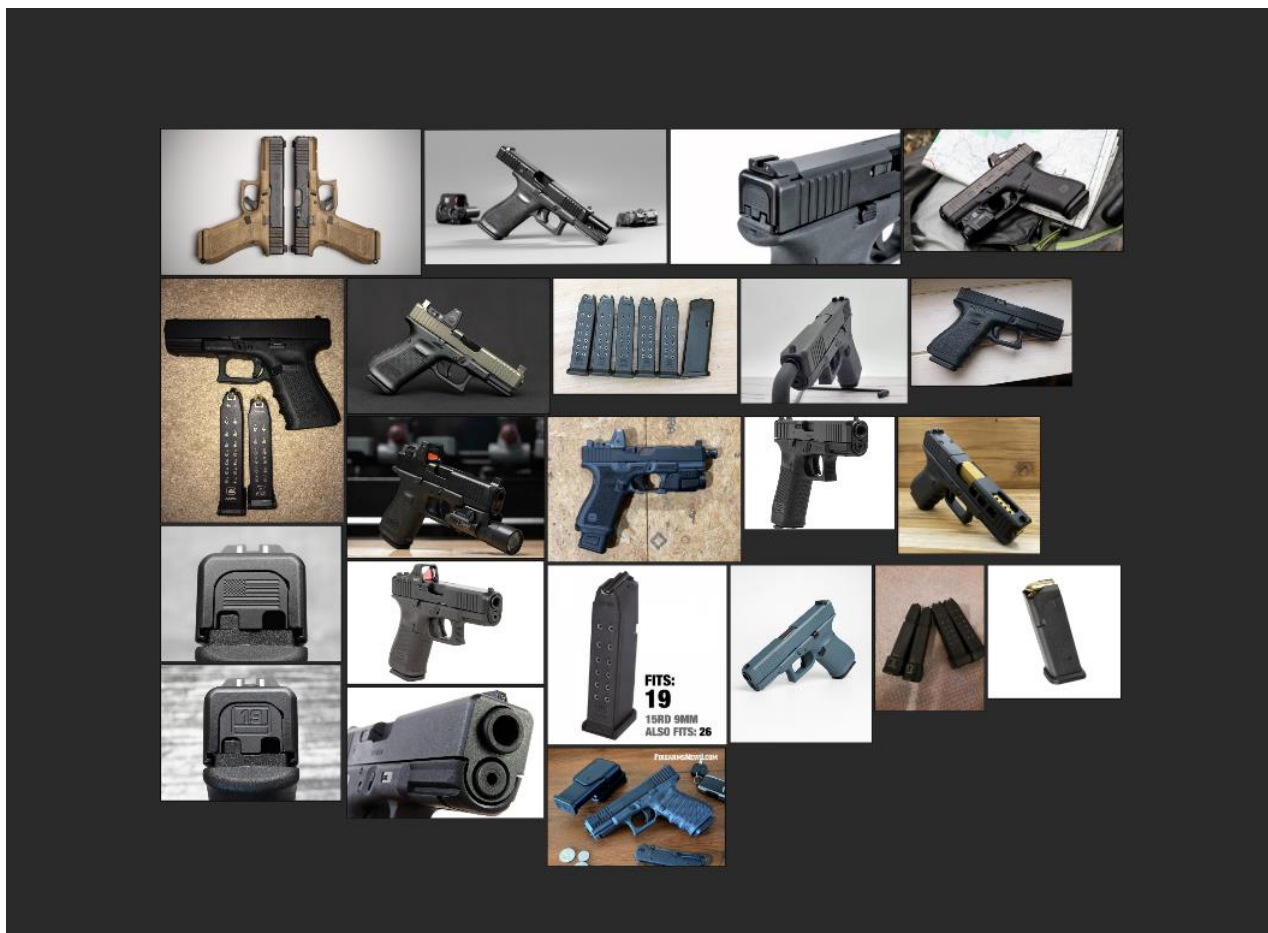
Ideja ili vizija za projekt može se komunicirati kroz konceptualnu umjetnost, vrstu crteža, prije nego što se u potpunosti realizira. Kako bi se zamislili likovi, okruženja, predmeti i sveobuhvatne teme, pripremna umjetnost često se koristi u raznim industrijama, uključujući film, video igre, animaciju, pa čak i arhitekturu. Konceptna umjetnost prvenstveno se koristi za istraživanje i prenošenje estetike projekta, osiguravajući da svi kreativni partneri rade prema istom cilju. Konceptnu umjetnost obično proizvode umjetnici u ranoj fazi proizvodnog procesa koji koriste digitalne alate poput Photoshopa i digitalnih tableta ili konvencionalne instrumente poput olovaka i vodenih boja. Cijela produkcijska ekipa koristi se ovim umjetničkim djelima, koja mogu biti bilo što, od grubih crteža do kompliciranih slika. Konceptna umjetnost vodi konstrukciju 3D modela, setova i drugih vizualnih aspekata, pomaže u stvaranju tona i stila te pomaže u otkrivanju mogućih problema s dizajnom kroz ponavljanja i revizije. Konceptna umjetnost ključna je u oblikovanju konačnog proizvoda jer stvara jedinstven vizualni jezik koji jamči da je kreativno usmjerenje inventivno i u skladu s ciljevima projekta [4].

### **3.1.2. Izrada koncepta za stvaranje rekvizita**

Prikupljanje konceptualne umjetnosti i referenci ključno je u 3D modeliranju jer pruža jasnu i kohezivnu viziju, osiguravajući da je konačni model usklađen s planiranim dizajnom i umjetničkim smjerom. Konceptna umjetnost služi kao vizualni nacrt koji modelatora vodi u razumijevanju oblika, proporcija, tekstura i cjelokupne estetike subjekta. Pomaže uspostaviti jedinstveni stil i ton, osiguravajući da su svi elementi projekta dosljedni i skladni. Reference, s druge strane, nude primjere iz stvarnog svijeta i detaljne informacije koje povećavaju točnost i realističnost 3D modela. Oni pružaju bitne uvide u zamršene detalje, materijale i strukturalne aspekte predmeta, koji su ključni za stvaranje uvjerljivog i realističnog modela. Štoviše, posjedovanje sveobuhvatnog skupa referenci i konceptualne umjetnosti usmjerava komunikaciju između članova tima, smanjujući nesporazume i osiguravajući da su svi na istoj stranici. Ovaj pripremni korak štedi vrijeme i resurse minimiziranjem revizija i prerade, što dovodi do učinkovitijeg tijeka rada. U konačnici, konceptualna umjetnost i reference

nezamjenjivi su alati u procesu 3D modeliranja, jer osiguravaju da se kreativna vizija učinkovito prevede u visokokvalitetan i realističan 3D model [5].

Nadalje, kako bi se 3D umjetniku omogućio brži pristup svim referencama na jednom mjestu za brzi pregled detalja, veličina i oblika, postoje programi poput „PureRef“ koji omogućuju potpuni pregled svih slika na jednom mjestu radi bržeg stvaranja modela.



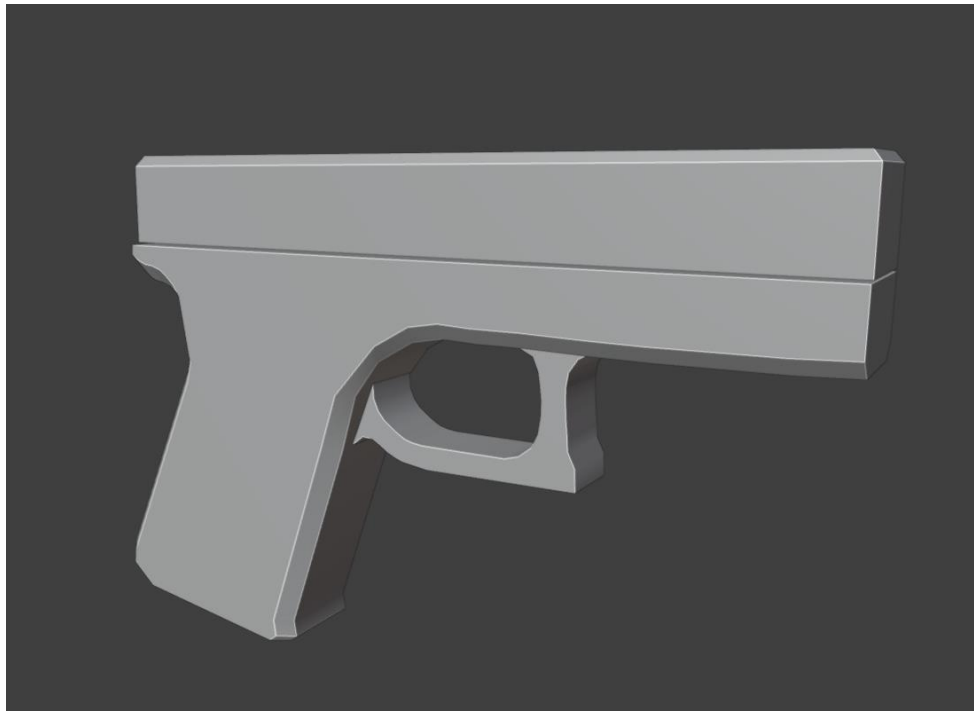
*Slika 2 Pregled referenca u programu PureRef*

## 3.2. Modeliranje

### 3.2.1. Detaljno „polygon“ modeliranje

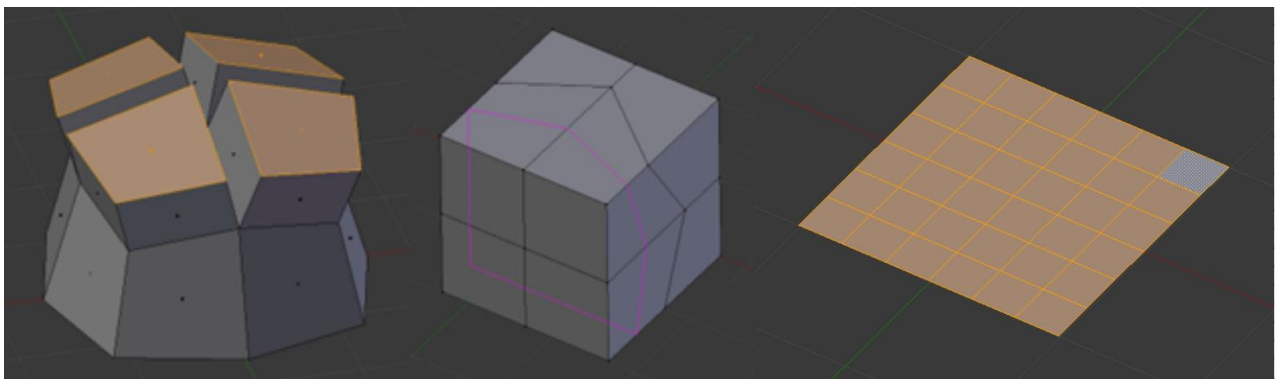
Detaljno modeliranje poligona u 3D modeliranju tehnika je koja uključuje stvaranje složenih i vrlo detaljnih digitalnih modela manipuliranjem poligonima—osnovnim geometrijskim oblicima poput trokuta i četverokuta. Ova metoda omogućuje preciznu kontrolu nad površinom modela, omogućujući umjetnicima izradu zamršenih detalja i glatkih, realističnih oblika. Proces počinje s osnovnom mrežom, koja se postupno pročišćava dodavanjem više poligona kroz tehnike kao što su rubne petlje, istiskivanje i podjela. Alati za kiparstvo često se koriste za dodavanje organskih detalja i finih tekstura, dok održavanje čiste topologije osigurava da model ostaje upravljiv i deformabilan za animaciju. Detaljno modeliranje poligona bitno je za postizanje realističnih modela visoke rezolucije u industrijama kao što su igre, film i virtualna stvarnost, gdje su vizualna vjernost i realizam ključni. Pedantno kontrolirajući raspored i gustoću poligona, umjetnici mogu stvoriti modele koji su i estetski detaljni i funkcionalno robusni [6].

„Blockout“ početna je faza u kojoj se primarni oblici i forme modela stvaraju pomoću jednostavnih geometrijskih oblika kako bi se uspostavila cjelokupna struktura i proporcije. Ova faza je ključna jer postavlja temelje za detaljno modeliranje koje slijedi. Tijekom „blockouta“ modeler se usredotočuje na definiranje siluete i glavnih komponenti modela bez zalaženja u fine detalje. To pomaže u vizualizaciji cjelokupnog dizajna, osiguravajući da su proporcije i prostorni odnosi između različitih dijelova točni prije nego što uložite vrijeme u zamršene detalje. Faza blokiranja omogućuje brze prilagodbe i ponavljanja, što olakšava eksperimentiranje s različitim dizajnom i izgledima. Također služi kao referentna točka za održavanje predviđenog mjerila i ravnoteže tijekom cijelog procesa modeliranja. Uspostavljanjem čvrste baze tijekom koraka blokiranja, modelari mogu osigurati učinkovitiji i strukturirani tijek rada, što u konačnici dovodi do preciznijeg i uglađenijeg konačnog modela [7].



*Slika 3. Blockout faza*

Nakon inicijalnog „blockout“ koraka u 3D modeliranju, proces prelazi u fazu usavršavanja i detaljiziranja. Tijekom ove faze, osnovni oblici i oblici uspostavljeni u blokoutu postupno se detaljiziraju i poboljšavaju kako bi dodali realizam i složenost. Počinje dodavanjem geometrije, koristeći tehnike kao što su „loop cut“, „extrude“ i „subdivide“ kako bi povećali gustoću mreže gdje je to potrebno, kao što je vidljivo na Slika4.. To omogućuje stvaranje zamršenih obilježja poput nabora, kosina i kontura [3]

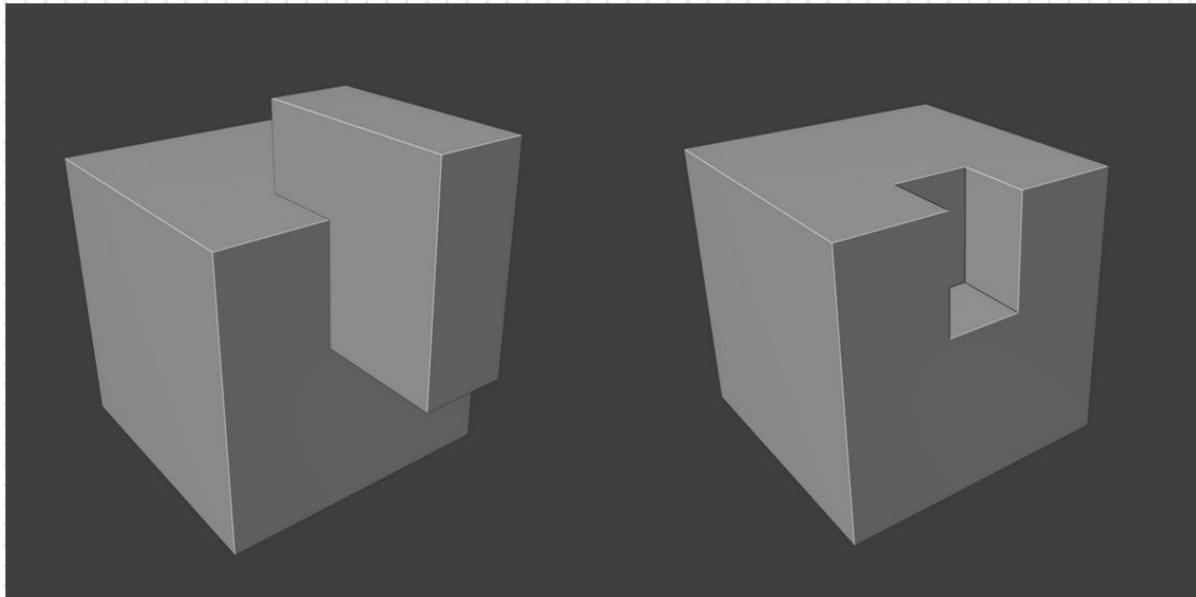


*Slika 4. Extrude, Loop Cut i Subdivide akcije*

Za „hard-surface“ modele koriste se precizni alati i modifikatori kao što su kosine i Booleovi za izradu oštih rubova i mehaničkih detalja. Postoji velik raznih modifikatora koji



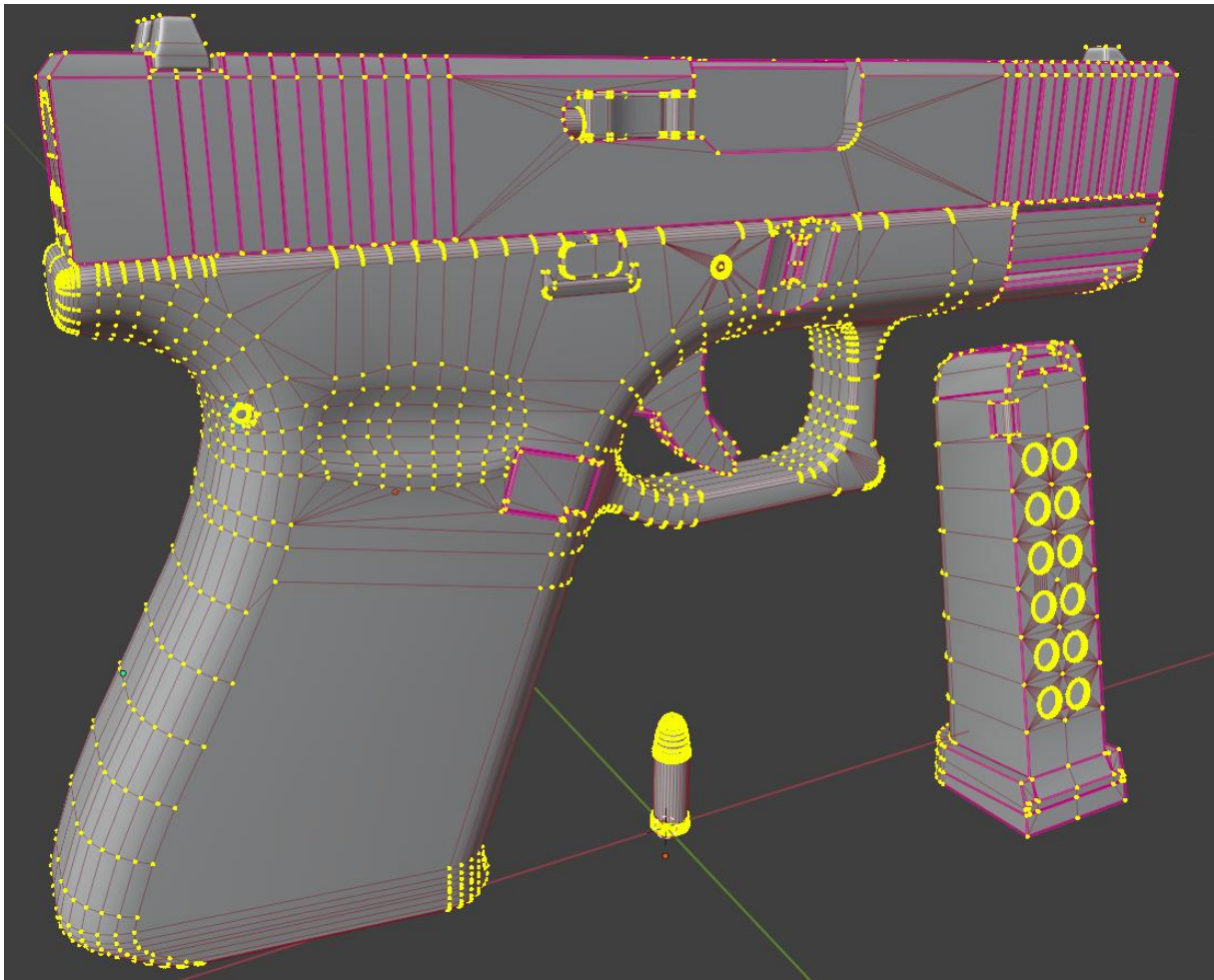
mogu ubrzati cjelokupan tijek rada. Koje modifikatore koristiti tijekom modeliranja ovisi o samoj vještini modelera, ali oni koji najviše pomažu u stvaranju detalja su Boolean modifikatori. Osnovne akcije koje se mogu postići s navedenim modifikatorom vidljive su na Slika.5. broj Tijekom ove faze, održavanje dobre topologije ključno je kako bi se osiguralo da se model ispravno deformira tijekom animacije i podržava učinkovito teksturiranje i UV mapiranje [3].



*Slika 5. Boolean modifikatori*

### 3.2.2. Modeliranje visokom rezolucijom

Modeliranje visoke razlučivosti je tehnika u 3D modeliranju koja se fokusira na stvaranje izuzetno detaljnih digitalnih modela s velikim brojem poligona. Ovaj je pristup bitan za postizanje realističnog realizma i snimanje suptilnih detalja koji su često potrebni za vizualne efekte, filmove, videoigre i vrhunske vizualizacijske projekte. Proces počinje s osnovnim modelom, kako je navedeno u ranijim poglavljima koji se zatim usavršava metodama kao što su „*subdivision modeling*“ i „*sculpting*“. „*Subdivision modeling*“ povećava broj poligona mreže dijeljenjem njezinih površina, što omogućuje finije detalje i glađe krivulje. Alati za oblikovanje omogućuju umjetnicima dodavanje zamršenih tekstura i nijansi izravno na površinu modela, kao što su pore na koži, bore i teksture tkanine. Modeliranje visoke razlučivosti često uključuje stvaranje višestrukih razina detalja (LOD-ova), gdje se najviša razlučivost koristi za snimke izbliza, dok se niže razlučivosti koriste za udaljene poglede kako bi se optimizirala izvedba. Održavanje učinkovite topologije ključno je kako bi se osiguralo da model bude spreman u slučaju da je potrebno animirati neke dijelove modela. Ovaj pedantan proces rezultira vrlo detaljnim modelima koji mogu izdržati kontrolu zaslona visoke razlučivosti i pružiti realistično i impresivno iskustvo [8].



*Slika 6. Prikaz "wireframe" modela*

Na slici br. 6 vidljiv je „wireframe“ modela. *Wireframe* u 3D modelu vizualni je prikaz strukture modela, koji prikazuje njegovu temeljnu poligonalnu geometriju bez ikakvih površinskih tekstura ili sjenčanja. Sastoji se od mreže međusobno povezanih linija (brdova) i točaka (vrhova) koje ocrtavaju oblike i forme površina modela (lica). Ovaj skeletni prikaz omogućuje umjetnicima i dizajnerima da vide temeljni okvir svog modela, olakšavajući razumijevanje topologije i cjelokupne geometrije [8].



*Slika 7. Model završen sa svim detaljima visoke rezolucije*

Na slici br.7 vidljiv je finalni model sa svim detaljima koji su stvoreni pomoću programu za 3D modeliranje, u ovom slučaju korišten je Blender. U ovom koraku je potrebno provjeriti da li sve sa modelom izgleda u redu jer je to zadnji korak prije stvaranja UV mapa i primjene samih tekstura na model, jer ako se neki problemi tek vide u kasnijim koracima, onda puno vremena oduzima ponovno slaganje novih UV mapa i rješavanje problema, stoga je bolje model pomno istražiti u slučaju nekih nepravilnosti [8].

## 3.3. Teksturiranje

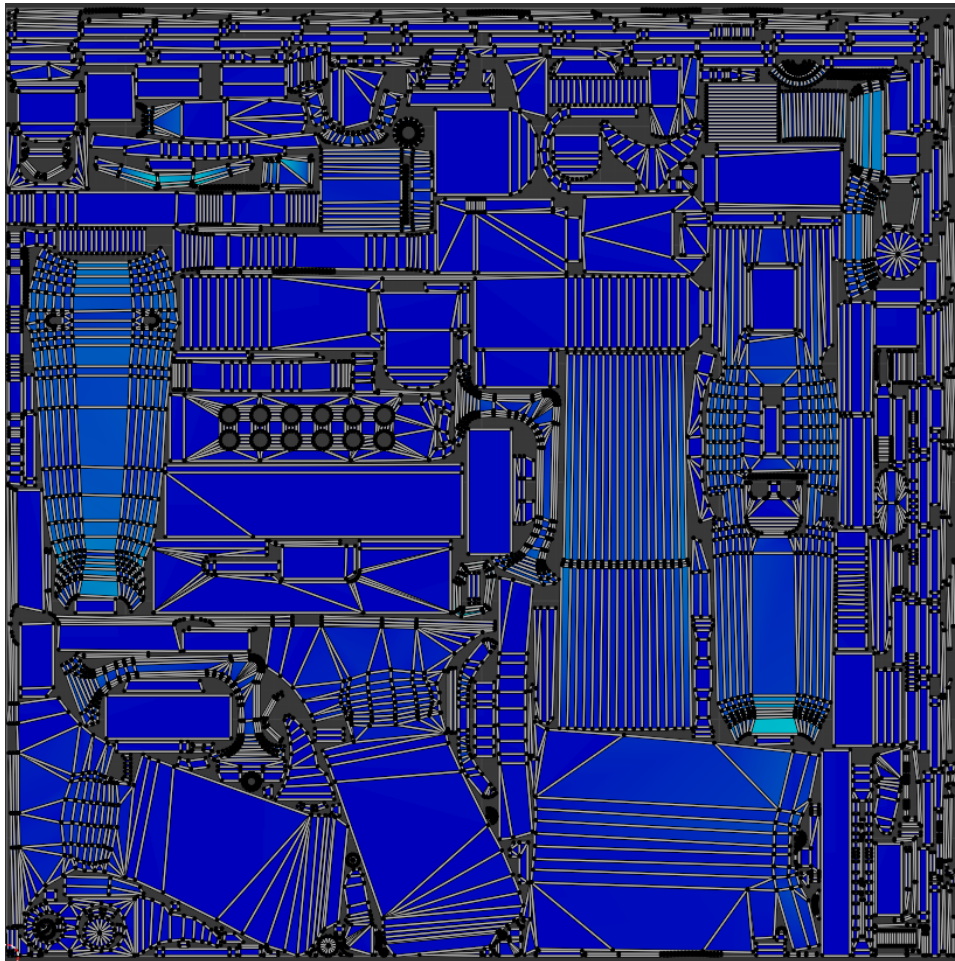
### 3.3.1. UV mapiranje

UV mapiranje u 3D modeliranju tehnika je koja se koristi za projiciranje površine 3D modela na 2D ravninu, čime se omogućuje točna primjena tekstura. "U" i "V" predstavljaju osi koordinata 2D teksture, različite od osi "X", "Y" i "Z" 3D modela. Ovaj proces počinje "odmotavanjem" 3D modela, što uključuje definiranje spojeva gdje se površina modela može izrezati i položiti ravno. Spljošteni izgled, poznat kao UV mapa, omogućuje umjetnicima da slikaju teksture, primjenjuju decale ili stvaraju materijalne efekte u 2D prostoru, koji se zatim precizno preslikavaju natrag na 3D model. UV mapiranje bitno je za osiguravanje ispravnog poravnanja tekstura s geometrijom modela, izbjegavajući probleme poput istežanja ili izobličenja. Umjetnicima pruža veću kontrolu nad postavljanjem teksture i učinkovitosti, kao i pomaže u upravljanju šavovima kako bi se smanjile vidljive linije na konačnom modelu. Ovaj je proces ključan za dodavanje realizma i detalja, čineći UV mapiranje temeljnim korakom u radnom tijeku stvaranja visokokvalitetnih, vizualno uvjerljivih 3D materijala [9].



*Slika 8 Šavovi na modelu prije UV mapiranja*

Slika 8. prikazuje kako izgleda 3D model koji ima složene šavove preko kojih će se tada svaka površina pretvoriti u plohe na 2D prostoru. Crvene linije predstavljaju same šavove na modelu koje je potrebno složiti na način da ne bude izobličenje prilikom prebacivanja na 2D prostor. Samo slaganje kvalitetnih UV mapa je umjetnost po sebi te većina ljudi smatra taj korak nebitnih te u kasnijim koracima dolaze do problema [9] .



*Slika 9. Primjer UV mape*

Slika 9. prikazuje primjer UV mape stvorena prema ranije prikazanom modelu na slici 8.. Svaki plavi dio predstavlja zaseban „otok“ koji je stvoren prema ranije prikazanim šavovima kao što je vidljivo na slici 8.. Iskorištavanje što je moguće više UV prostora tijekom izrade UV mapa presudno je za maksimiziranje rezolucije teksture i detalja, što izravno utječe na vizualnu kvalitetu 3D modela. Učinkovito korištenje UV prostora osigurava da se dostupno područje teksture koristi optimalno, što omogućuje više detalja i jasnoće u primijenjenim teksturama. Kada su UV otoci (spljošteni dijelovi površine 3D modela) čvrsto i učinkovito zbijeni unutar UV mape, to smanjuje gubitak prostora i povećava gustoću teksture. To znači da je više piksela teksture posvećeno površini modela, poboljšavajući izgled modela

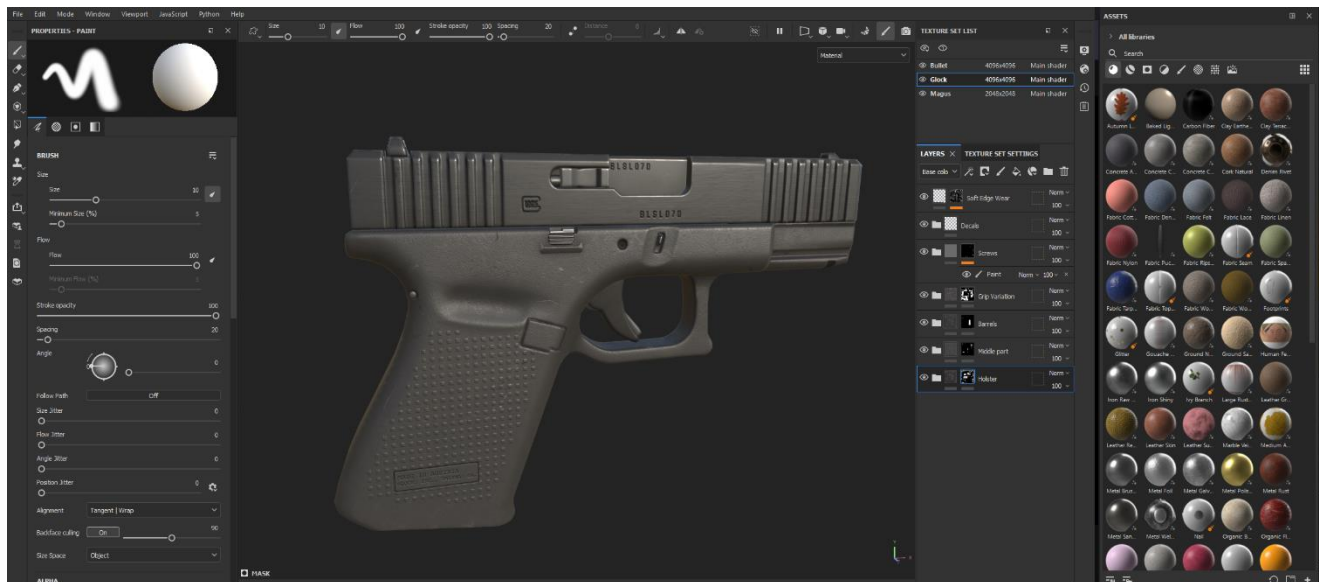
bez povećanja veličine datoteke teksture. U praktičnom smislu, to može rezultirati oštrijim, detaljnijim teksturama, čak i na zaslonima visoke razlučivosti ili u prikazima izbliza. Osim toga, učinkovito korištenje UV prostora može poboljšati izvedbu renderiranja minimiziranjem potrebe za pretjerano velikim datotekama teksture, koje mogu zahtijevati velike resurse i usporiti proces renderiranja. Također pomaže u izbjegavanju problema poput pikselizacije ili zamućenja koji proizlaze iz neučinkovitog UV mapiranja. Općenito, maksimalno iskorištavanje UV prostora ključni je aspekt stvaranja visokokvalitetnih, učinkovitih i vizualno privlačnih 3D modela, što ga čini kritičnom praksom u profesionalnim radnim procesima 3D modeliranja [9].

### **3.3.2. Teksturiranje**

Teksturiranje u tijeku rada 3D modeliranja kritičan je proces koji dodaje realizam i detalje 3D modelima primjenom slika, uzoraka i boja na njihove površine. Ovaj korak uključuje stvaranje i dodjeljivanje mapa teksture, koje mogu uključivati mape difuzije za osnovnu boju, karte zrcala za refleksije, karte normala za simulaciju detalja površine i karte neravnina za informacije o visini. Umjetnici počinju s UV razmotavanjem 3D modela, što uključuje projiciranje 3D površine na 2D ravninu kako bi se stvorila UV karta. Ova karta služi kao vodič za slikanje tekstura na način da one ispravno odgovaraju modelu. Alati poput Photoshopa ili Substance Paintera često se koriste za stvaranje i uređivanje ovih tekstura, omogućujući preciznu kontrolu nad načinom na koji se materijali poput drveta, metala ili kože pojavljuju na modelu. Osim toga, može se koristiti proceduralno teksturiranje, gdje matematički algoritmi generiraju teksture na temelju uzoraka i pravila, korisnih za stvaranje složenih i organskih površina. Ispravno teksturiranje također uključuje podešavanje shadera, koji definiraju način na koji svjetlost stupa u interakciju s površinama, kako bi se postigli željeni vizualni efekti kao što su sjaj, prozirnost i raspršenje ispod površine. Konačni model s teksturom ne samo da izgleda uvjerljivije, već također poboljšava impresivno iskustvo u aplikacijama poput videoigara, filmova i virtualne stvarnosti [10].

U ovom priručniku korišten je PBR tijekom rada radi stvaranja realističnih tekstura. PBR (Physically Based Rendering) radni tijek teksturiranja proces je koji uključuje stvaranje i primjenu tekstura na 3D modele kako bi se postigla realna svojstva materijala temeljena na fizičkim načelima. Ovaj tijek rada započinje stvaranjem modela visoke rezolucije, često oblikovanog za snimanje finih detalja, i modela niske razlučivosti radi učinkovitosti. Sljedeći korak je UV odmotavanje modela niske rezolucije kako bi se stvorila 2D karta koja se može koristiti za primjenu teksture. Nakon dovršetka UV mapiranja, mape tekstura se generiraju ili slikaju, obično pomoću softvera kao što je Substance Painter, Photoshop ili Blender. Ključne PBR mape teksture uključuju mapu albedu (osnovne boje), koja definira osnovnu boju materijala bez svjetlosnih efekata; mapu normalu, koja dodaje detalje površine simulirajući male neravnine i brazde; mapu hrapavosti, koja kontrolira sjaj ili mat površinu; i metalna karta, koja označava metalna i nemetalna područja. Dodatne karte kao što su ambijentalna okluzija (AO) i karte visine (pomaka) također se mogu izraditi kako bi se poboljšao realizam simulacijom sjenčanja u pukotinama i dodavanjem dubine površini. Te se mape tekstura zatim primjenjuju na 3D model pomoću shadera koji tumači fizička svojstva definirana teksturama. Model je testiran u različitim uvjetima osvjetljenja kako bi se osiguralo da se teksture ponašaju realistično, reflektirajući svjetlost na prirodan način. Prilagodbe se rade prema potrebi za fino podešavanje tekstura za željeni vizualni učinak. PBR tijekom rada osigurava da materijali modela izgledaju dosljedno i realistično u različitim okruženjima, što ga čini ključnim procesom u stvaranju visokokvalitetnih 3D sredstava za igre, filmove i aplikacije virtualne stvarnosti. Ovaj pristup ne samo da poboljšava vizualnu vjernost, već i pojednostavljuje proces teksturiranja, omogućujući učinkovitije i predvidljivije rezultate [10].

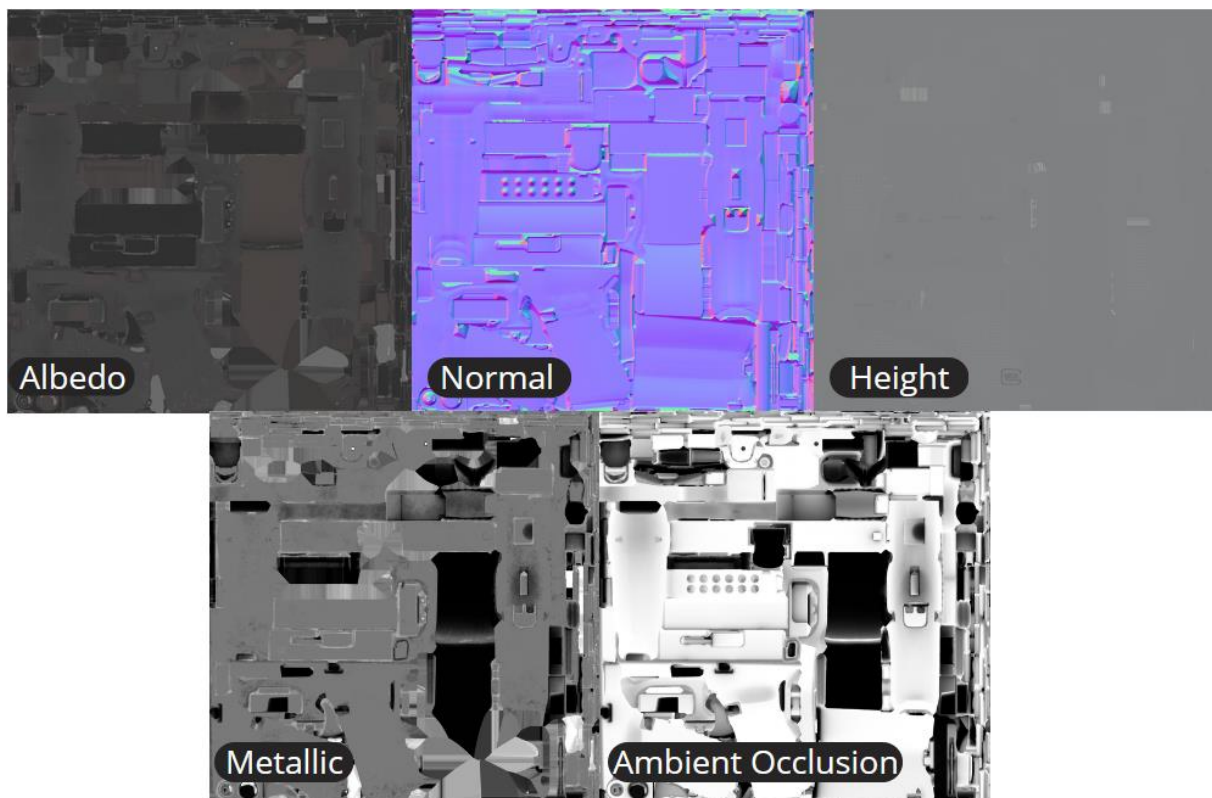




*Slika 10 Prikaz teksturiranja u programu Substance Painter*

Substance Painter je softverska aplikacija koju je razvio Allegorithmic, sada dio Adobea, a koristi se za stvaranje detaljnih i realističnih tekstura za 3D modele. Omogućuje umjetnicima da slikaju izravno na 3D model u stvarnom vremenu, kao što je vidljivo na slici 10 pružajući neposrednu vizualnu povratnu informaciju i podržavajući radni tijek fizičkog renderiranja (PBR) kako bi se osiguralo da materijali izgledaju dosljedno u različitim uvjetima osvjetljenja. Softver nudi niz naprednih alata, uključujući proceduralne i fiksne kistove, pametne materijale koji se prilagođavaju geometriji modela i dinamičke pametne maske. Substance Painter također ima tijekom rada temeljen na slojevima za nedestruktivno uređivanje, te besprijeckornu integraciju s drugim 3D softverom i motorima za igre kao što su Maya, 3ds Max, Blender, Unreal Engine i Unity.

Sam UI Substance Painter-a je prilično jednostavan te ukoliko su korisnici ranije koristili programe poput Photoshopa tada će se vrlo brzo naviknuti na „layer“ sistem uređivanja. Na samom primjeru na slici 10 vidljiv je gotov model sa primjenjenim svim teksturama. Teksture su kombinacija pametnih materijala koji su naknadno uređeni, neke stvari su dodane, neke maknute. Zasebno su dodani dekal i tekst, poput „Glock“ logotipa koji je vidljiv sa strane.



*Slika 11 Mape tekstura*

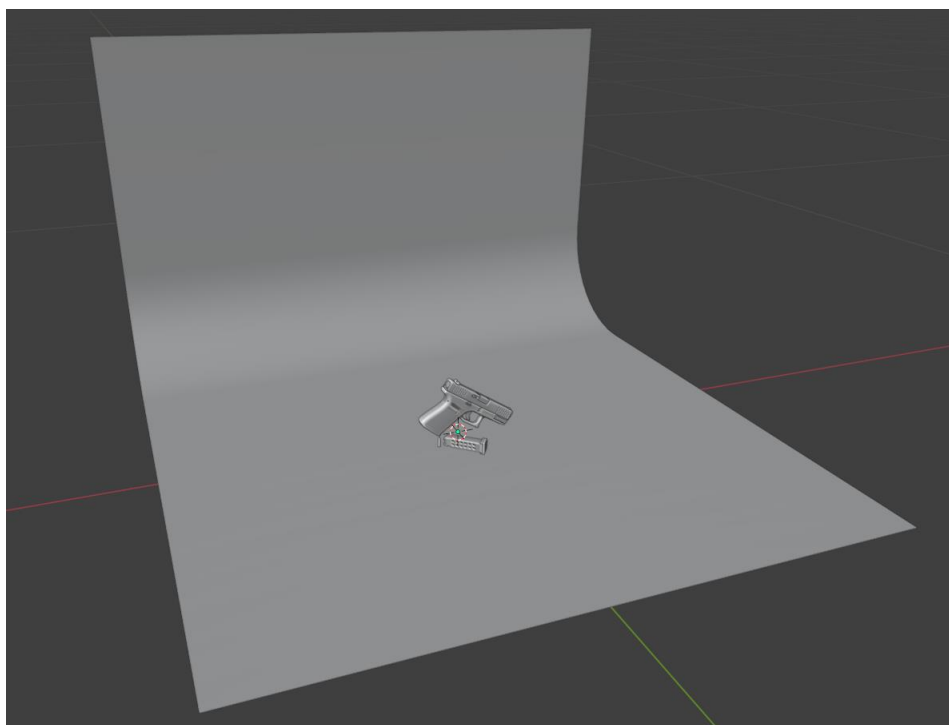
Završetkom stvaranja tekstura za model, potrebno ih je izvesti iz Substance paintera te uvesti u program koji će koristiti kao platforma za stvaranje realističnih slika. Prije izvoza korisnik mora odlučiti koje mape tekstura će izvesti za sam model. Izvoz može varirati ovisno i finalnoj destinaciji modela, na primjer da li će ići direktno u neki game engine poput Unity.ja ili Unreal Engnie-a ili u program poput Marmoset Toolbag-a koji, između ostalog, služi za stvaranje render slika. U ovom slučaju model je napravljen za prikaz modela u što boljem okolišu radi stvaranja realistične scene, stoga je finalna destinacija Marmoset Toolbag, time za izvoz tekstura odabrane su mape temeljene na PBR tijekom rada. PBR se oslanja na skup standardiziranih mapa za predstavljanje površinskih svojstava. Na slici broj 11 vide se osnovne mape tekstura koje su napravljene u programu Substance Painter te izvedene radi jednostavnijeg prikaza. Pregled primarnih PBR mapa tekstura:

1. **Albedo:** Ova karta sadrži informacije o primarnim bojama materijala bez ikakvih učinaka osvjetljenja ili sjenčanja. On definira boju površine i osnovne uzorke materijala.

2. **Metallic:**, ova mapa definira koji su dijelovi materijala metalni, a koji su nemetalni (dielektrični). Metalna područja odražavaju okolinu, dok nemetalna područja koriste osnovnu boju za difuznu refleksiju. Karta je obično slika u sivim tonovima gdje bijela (ili vrijednosti blizu 1) predstavljaju metalne površine, a crna (ili vrijednosti blizu 0) predstavljaju nemetalne površine.
3. **Roughness:** ova mapa kontrolira detalje mikropovršine, utječući na to koliko će materijal izgledati grubo ili glatko. Hrapavija površina raspršuje svjetlost šire, što rezultira mat izgledom, dok glatka površina oštrije reflektira svjetlost, stvarajući sjajan izgled. To je slika u sivim tonovima gdje bijela označava najveću hrapavost, a crna glatkoću.
4. **Normal:** ova mapa simulira sitne detalje površine, utječući na to kako svjetlost stupa u interakciju s površinom. Stvara iluziju dubine i teksture bez mijenjanja stvarne geometrije modela. Karte normala obično su kodirane u RGB, pri čemu svaki kanal predstavlja drugu os normalnog vektora.
5. **Height:** Ova mapa dodaje prave geometrijske detalje pomicanjem vrhova na temelju vrijednosti u sivim tonovima, gdje bijela predstavlja visoka područja, a crna niska područja. Ovo stvara stvarne promjene u geometriji površine, a ne samo simulaciju detalja.
6. **Ambient occlusion(AO):** Ova mapa simulira ambijentalno svjetlo u pukotinama i kutovima, dodajući dubinu i realističnost pružajući suptilne efekte zasjenjenja. To je karta u sivim tonovima gdje bijela predstavlja punu izloženost ambijentalnom svjetlu, a crna predstavlja područja koja su potpuno zatvorena [10].

### 3.4. *Render 3D modela*

Renderiranje 3D modela je proces pretvaranja trodimenzionalne digitalne scene u dvodimenzionalnu sliku ili animaciju. Rasvjeta je ključni dio procesa, s virtualnim svjetlima postavljenim da simuliraju prirodne ili umjetne izvore, utječući na to kako se scena percipira. Tehnike sjenčanja definiraju kako površine stupaju u interakciju sa svjetlom, koristeći shadere za izračunavanje boje i intenziteta u svakoj točki. Kamere su postavljene da odrede točku gledišta i kadriranje renderirane scene. Samo renderiranje koristi algoritme poput praćenja zraka, koji simulira putanju svjetlosti za visoko realistične rezultate, ili rasterizaciju, koja pretvara 3D objekte u piksele za brže aplikacije u stvarnom vremenu poput videoigara. Naknadna obrada može poboljšati konačnu sliku efektima poput korekcije boje i zamućenja kretanja. Izlaz je 2D prikaz 3D modela, proizveden kao jedna slika ili niz slika za animacije, što često zahtijeva značajnu računalnu snagu ovisno o složenosti i željenom realizmu. Nadalje, prije stvaranja slika, potrebno je posložiti 3D model u programu za 3D modeliranje na način gdje je spremno za testiranje s osvjetljenjem koji naglašavaju detalje na samom 3D modelu radi stvaranja realističnog prikaza [13].

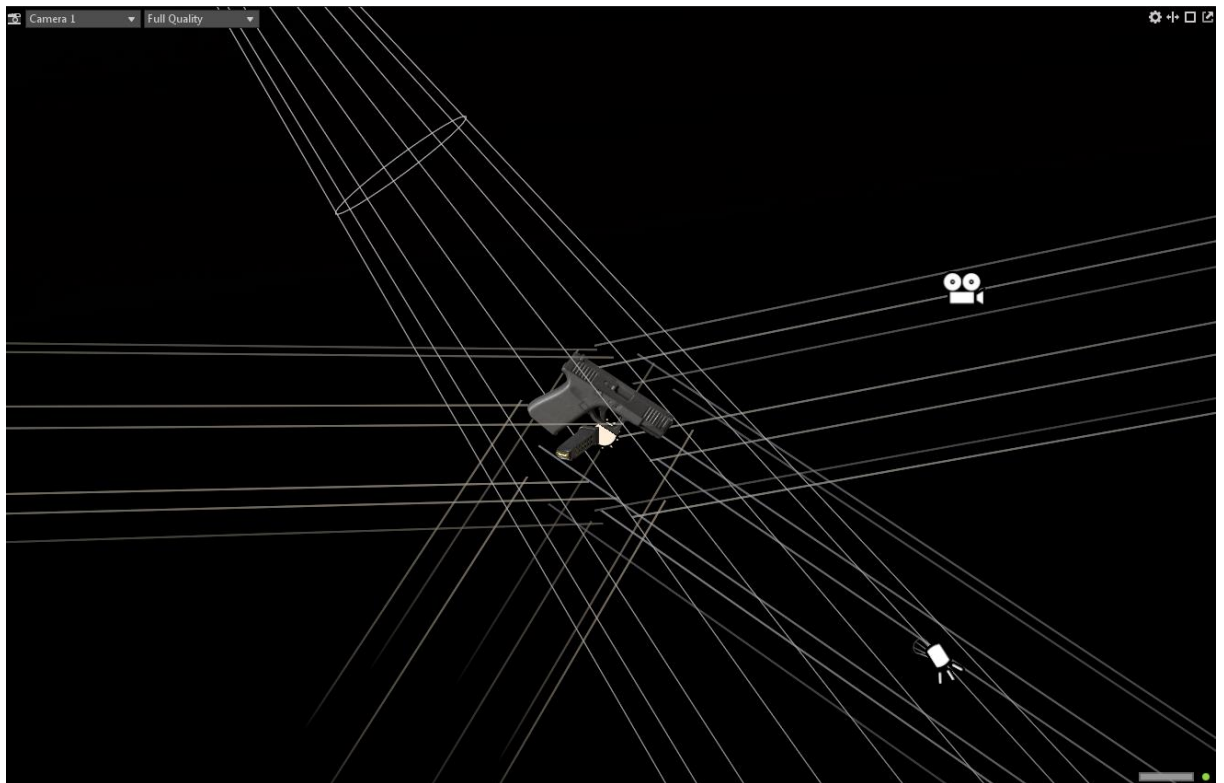


*Slika 12 Prikaz postavljene scene u Blenderu*

Slika 12. prikazuje postavljenu scenu koja će se dalje iskoristiti za finalno renderiranje 3D modela. Postavljanje scene znači i postavljanje kamera i njezina svojstva. Od kamere igra važnu ulogu u sastavu, potrebno je definirati njegova svojstva kao što su razlučivost, fokus i udaljenost

### 3.4.1. Osvijetljene

Postavljanje osvjetljenja tijekom renderiranja realističnog 3D modela ključni je korak koji uključuje strateško postavljanje i konfiguriranje virtualnih izvora svjetla za simulaciju interakcije svjetla s objektima u sceni. Ovaj proces zahtijeva duboko razumijevanje principa osvjetljenja u stvarnom svijetu kako bi se postigao fotorealizam. Različite vrste svjetla, kao što su točkasta svjetla, usmjerena svjetla, reflektori i prostorna svjetla, koriste se za oponašanje prirodnih i umjetnih izvora svjetlosti. Ključno svjetlo, dopunsko svjetlo i pozadinsko svjetlo obično su raspoređeni tako da stvaraju dubinu, kontrast i detalje, replicirajući kako se svjetlo ponaša u fizičkom svijetu. Prilagodbe intenziteta svjetla, boje i kuta pomažu u postizanju željenog ugođaja i atmosfere. Sjene, refleksije i lomi pomno su izračunati kako bi se poboljšao realizam. Dodatno, tehnike globalnog osvjetljenja koriste se za simulaciju odbijanja svjetlosti od površina, čime se povećava autentičnost. Ovo postavljanje rasvjete ne samo da ističe teksture i materijale, već i prožima scenu živopisnom kvalitetom koja poboljšava gledateljevo iskustvo uživanja [13].



*Slika 13 Postavljanje osvjetljenja u sceni*

Na slici 13 se vidi postavljeno osvjetljenje u programu Marmoset Toolbag u kojem će se napraviti i samo renderiranje 3D modela. Za osvjetljenje korištena je kombinacije usmjerenih svjetla zajedno sa reflektor svjetlom koje ima užu snop za naglašavanje nekih dijelova 3D modela. Kao glavno svjetlo za osvjetljenje scene iskorišteno je svjetlo okoliša. Moguće je odabrati različite varijacije takvog svjetla te razlika koju stvara je toplina boje koja se vidi kao odsjaj na modelu.

### **3.4.2. Postavke renderanja**

Zadnji ili predzadnji korak, ovisno da li će se renderane slike dodatno uređivat, je renderiranje 3D modela u 2D oblik. Proces se kao i prijašnji koraci stvaranja osvijetljena, nastavlja u Marmoset Toolbag-u. Nakon uvoza, primijenite teksture i materijale na svoj model pomoću intuitivnog uređivača materijala, prilagođavajući svojstva poput diffuse, gloss, normal map i roughness kako biste postigli željeni izgled. Na ta mjesta se uvoze ranije napravljene teksture iz Substance Painter-a. Koristeći okvir za prikaz u stvarnom vremenu da trenutno pregledate svoje prilagodbe, unoseći iterativne promjene po potrebi [14].

Jedna od bitnijih opcija koju je potrebno uključiti za stvaranje realističnih sjena i osvjetljenja je Ray Tracing. Navedena tehnika u modelima videoigara je sofisticirana tehnika renderiranja koja poboljšava vizualni realizam simuliranjem fizičkog ponašanja svjetla. Za razliku od tradicionalnih metoda rasterizacije, koje aproksimiraju svjetlosne efekte, praćenje zraka izračunava stvarne putanje svjetlosnih zraka dok putuju kroz scenu, reflektirajući, lomeći i bacajući sjene s velikom preciznošću. Ovaj proces bilježi zamršene optičke fenomene kao što su realistične refleksije na vodenim ili staklenim površinama, precizne sjene koje omekšavaju s udaljenošću i suptilna međugra svjetlosti kroz prozirne materijale poput kože ili tkanine. Dinamičkim praćenjem svake zrake svjetlosti od kamere kroz scenu do izvora svjetlosti, praćenje zraka stvara slike koje su nevjerojatno realistične. U videoigrama to znači da okruženja i likovi izgledaju impresivnije i uvjerljivije, s osvjetljenjem i sjenama koje prirodno reagiraju na promjene u sceni. Iako je računalno intenzivan, napredak u hardveru i softveru, kao što su mogućnosti praćenja zraka u stvarnom vremenu u modernim GPU-ovima i motorima za igre, učinio ga je izvedivim za interaktivne aplikacije, transformirajući vizualnu kvalitetu suvremenih videoigara [15].



*Slika 14 Usporedba rasterizacije i Ray Tracing-a*

Slika 14 prikazuje razliku koju predstavlja korištenje Ray Tracing metode u usporedbi sa tradicionalnom metodom rasterizacije. *Ray Tracing* često se odabire umjesto rasterizacije zbog njegove sposobnosti stvaranja realistične i vizualno zapanjujuće grafike. Dok je rasterizacija brža, učinkovitija metoda, renderiranje slika pretvaranjem 3D modela u 2D slike i korištenjem aproksimacija za osvjetljenje i sjene, ne uspijeva uhvatiti složene interakcije svjetla. *Ray Tracing*, s druge strane, simulira stvarno ponašanje svjetlosti, omogućujući precizne izračune refleksija, loma i sjena. To rezultira vrlo realističnim rezultatima kao što su precizni odrazi na sjajnim površinama, nijansirano raspršivanje svjetla kroz prozirne materijale i meke, prirodne sjene koje se dinamički mijenjaju sa scenom. Sposobnost prikazivanja fotorealističnih okruženja poboljšava uranjanje i vizualnu vjernost, čineći praćenje zraka preferiranim izborom za aplikacije u kojima je vizualna kvaliteta najvažnija, kao što su kinematografske sekvence, video igre i virtualna stvarnost. Iako računalno zahtjevniji, nedavni napredak u hardveru, kao što su namjenske jezgre za praćenje zraka u modernim GPU-ovima i optimizirani algoritmi učinili su praćenje zraka u stvarnom vremenu pristupačnijim, pružajući značajan skok u vizualnom realizmu u odnosu na tradicionalne metode rasterizacije [14]

### 3.4.3. Finalni rezultat

Finalni rezultat praćenja dosadašnjeg procesa kreiranja realističnog 3D modela su renderane slike. Slaganjem postavka rendera poput rezolucije i slično dolazi se do sljedećih rezultata.



*Slika 15 Primjer finalnog rendera 1*



*Slika 16 Primjer finalnog rendera 2*





*Slika 17 Primjer finalnog rendera 3*



*Slika 18 Primjer finalnog rendera 3*

# 4. Primjena fotorealističnih 3D modela

## 4.1. Filmska industrija i VFX

3D modeli napravili su ogromni pomak u filmskoj industriji i području vizualnih efekata (VFX), nudeći realizam i kreativnu fleksibilnost. U filmskoj produkciji ovi su modeli sastavni dio stvaranja realističnih likova, okruženja i objekata koji se besprijekorno stapaju sa snimkama akcije uživo. Ova mogućnost omogućuje filmašima da prikažu scene koje bi bilo nemoguće, opasno ili pretjerano skupo snimiti u stvarnosti. Na primjer, čitavi fantastični svjetovi mogu se oživjeti s razinom detalja koja uvjerava publiku da su stvarni. U VFX-u fotorealistični 3D modeli omogućuju stvaranje složenih simulacija kao što su eksplozije, prirodne katastrofe i animacije stvorenja, poboljšavajući iskustvo pripovijedanja. Korištenje ovih modela također pojednostavljuje proizvodne tijekove rada dopuštajući redateljima i producentima da vizualiziraju scene prije snimanja, što olakšava planiranje i izvođenje složenih sekvenci. Štoviše, ponovna upotreba 3D sredstava u različitim projektima dodaje učinkovitost i isplativost industriji. Kako tehnologija napreduje, primjena fotorealističnih 3D modela nastavlja se širiti, pomičući granice onoga što je vizualno moguće i postavlja nove standarde za kinematografsku izvrsnost [16].

Digitalni 3D modeli sastavni su dio moderne filmske industrije.. Koriste se za stvaranje realističnih likova, od fantastičnih bića do digitalnih dvojnika glumaca, često poboljšanih tehnologijom snimanja pokreta kako bi se postigli realistični pokreti i izrazi. Čitava okruženja, bilo da se radi o povijesnim okruženjima, futurističkim gradovima ili vanzemaljskim krajolicima, dizajnirana su korištenjem 3D modeliranja, omogućujući filmskim stvarateljima da naprave scene koje bi bilo nemoguće ili pretjerano skupo snimiti u stvarnom životu. U predvizualizaciji, 3D modeli pomažu redateljima i snimateljima u planiranju složenih sekvenci i vizualizaciji kadrova, štedeći vrijeme i resurse tijekom stvarne produkcije. Specijalni efekti, kao što su eksplozije, prirodne katastrofe i magični fenomeni, također se stvaraju pomoću 3D modela, dodajući slojeve realizma i dinamične interakcije. Tijekom postprodukcije, ovi modeli se besprijekorno integriraju sa snimkama uživo kroz kompozitiranje, osiguravajući dosljedno osvjetljenje, sjene i interakcije. Animacija se uvelike oslanja na 3D modele za stvaranje svega, od kratkih sekvenci do cjelovečernih filmova. Korištenje digitalnih 3D modela ne samo da unapređuje pripovijedanje oživljavanjem maštovitih svjetova, već i poboljšava troškovnu učinkovitost i proizvodne rokove, čineći ih nezamjenjivim alatom u filmskom stvaralaštvu [16]



*Slika 19 Prikaz izgleda modela lika iz filma Avatar*

U "Avataru" Jamesa Camerona digitalni 3D likovi bili su ključni u stvaranju sveobuhvatne i emocionalno angažirane pripovijesti filma. Na'vi, autohtoni narod Pandore, oživljen je kombinacijom snimanja performansi i naprednog 3D modeliranja. Glumci su nosili posebna odijela i lica kako bi uhvatili njihove pokrete i izraze s nevjerojatnom preciznošću. Ti su podaci zatim korišteni za animiranje vrlo detaljnih 3D modela Na'vija, osiguravajući da svaka suptilna nijansa izvedbe glumaca bude sačuvana u digitalnim likovima [17].



*Slika 20 Prikaz "wireframe" dobivenog na temelju glumca*

Dobiveni Na'vi bili su nevjerojatno realistični, sa zamršenom teksturom kože, izražajnim očima i fluidnim, prirodnim pokretima. Ova razina detalja omogućila je publici da se poveže s

digitalnim likovima na emocionalnoj razini, poboljšavajući pripovijedanje. Dodatno, integracija ovih likova u svijet bogatih detaljima Pandore bila je besprijekorna, postignuta pedantnim sastavljanjem i renderiranjem. Na'vi su uvjerljivo komunicirali sa svojom okolinom i elementima žive akcije, kao što su ljudski likovi i praktični setovi, stvarajući kohezivno i impresivno kinematografsko iskustvo. Upotreba digitalnih 3D likova u "Avataru" ne samo da je prikazala potencijal digitalnog snimanja filmova, već je postavila i novi standard za animaciju likova i emocionalnu dubinu u vizualnim efektima [17].

## **4.2. 3D Modeli u animaciji**

Kvalitetni digitalni 3D modeli ključni su za stvaranje uvjerljivih animacija modela jer pružaju temelj za realizam i emocionalni angažman u vizualnom pripovijedanju. Visokokvalitetni 3D modeli osiguravaju da likovi i okruženja izgledaju realistično, s detaljnim teksturama, točnim proporcijama i zamršenim značajkama koje odražavaju stvarni svijet. Ova razina detalja omogućuje realističnije osvjetljenje, sjene i refleksije, koji su ključni za uvjeravanje publike da je ono što vide na ekranu opipljivo. Nadalje, dobro izrađeni 3D modeli omogućuju točnije i prirodnije animacije. Omogućuju animatorima da manipuliraju složenim pokretima, izrazima lica i interakcijama s većom preciznošću, osiguravajući da se likovi kreću i reaguju na način koji je uvjerljiv i povezan. Dobri modeli također omogućuju bolju integraciju s drugim vizualnim efektima i elementima akcije uživo, stvarajući besprijekoran spoj koji održava iluziju stvarnosti. Dodatno, detaljni modeli pružaju fleksibilnost potrebnu za snimke izbliza, gdje nesavršenosti mogu lako prekinuti uredan gledatelj. U biti, kvaliteta 3D modela izravno utječe na učinkovitost animacije, što ih čini nezamjenjivima za stvaranje uvjerljivih, realističnih i emocionalno rezonantnih vizualnih iskustava na filmu i drugim medijima [18].



*Slika 21 Toy Story 4*

"Toy Story" naširoko se smatra vrhuncem kvalitete 3D animacije zbog svoje majstorske kombinacije vrhunske tehnologije, zamršenih detalja i emotivnog pripovijedanja. Pixarove napredne tehnike renderiranja oživljavaju likove i okruženja s neusporedivim realizmom, prikazujući materijale poput drva, plastike, tkanine i krzna u zadivljujućim detaljima. Složene animacije likova u filmu hvataju suptilne nijanse u izrazima i pokretima, čineći likove poput Woodyja i Buzza Lightyera duboko povezanim i emocionalno privlačnim. Okolina bogata detaljima, od antikvarijata do živopisnog karnevala, stvara impresivna i uvjerljiva okruženja koja poboljšavaju narativ. Realistična fizika i simulacije za kosu, tkaninu i druge materijale doprinose realističnoj kvaliteti animacije, dok inovativno pripovijedanje isprepliće ta tehnička dostignuća u uvjerljivu i srdačnu priču. Besprijekorna integracija ovih elemenata demonstrira Pixarov kontinuirani pritisak na tehnološke inovacije i izvrsnost pripovijedanja, postavljajući nove industrijske standarde i učvršćujući "Toy Story 4" kao vrhunsko postignuće u 3D animaciji [18].

### 4.3. Video igre

3D tehnologija danas je jedna od najsofisticiranijih tehnologija u visokoj tehnologiji i koristi se u mnogima polja ljudskog života. Razumna integracija 3D tehnologije u video igre može učiniti kvalitativnim promijeniti u igru. Trenutne videoigre evoluirale su od prethodnog 2D efekta do 3D efekta, što videoigrama omogućuje živopisne scene poput filmova. Trenutno, industrija 3D videoigara je postao predstavnik visoke i nove tehnologije u industriji zabave, i to postupno teži sazrijevanju. S razvojem tehnologije igara, sadržaja igre i načina igre, 3D igre postat će važan dio ljudskih života [19].

Grafika videoigara ključna je za igrače iz nekoliko razloga, značajno pridonoseći ukupnom iskustvu igranja i angažmanu. Visokokvalitetna grafika poboljšava igranje, čineći virtualni svijet realističnijim i dopuštajući igračima da se osjećaju kao da su dio igre. Ova razina igranja ključna je za stvaranje emocionalne veze s pričom i likovima igre. Digitalni 3D modeli ključni su u stvaranju vizualno zapanjujuće videoigre jer čine temelj vizualnog iskustva igre, oživljavajući likove, okruženja i objekte s realizmom i detaljima. Visokokvalitetni 3D modeli omogućuju programerima izradu zamršenih i impresivnih svjetova koji očaravaju igrače i poboljšavaju pripovijedanje. Ovi modeli omogućuju detaljne teksture, realistično osvjetljenje i dinamične sjene, stvarajući osjećaj dubine i uvjerljivosti u svijetu igre. Likovi dizajnirani s 3D modelima mogu pokazivati realistične animacije i izražajne značajke, čineći interakciju zanimljivijom i emocionalno dojmljivijom. Osim toga, 3D modeli olakšavaju stvaranje složenih okruženja, od prostranih gradova do prirodnih krajolika, svaki s jedinstvenim elementima koji doprinose atmosferi igre. Raznovrsnost 3D modeliranja također omogućuje ugradnju naprednih grafičkih tehnika, kao što su praćenje zraka i efekti čestica, koje dodatno poboljšavaju vizualnu vjernost. Omogućujući detaljnu prilagodbu i optimizaciju, digitalni 3D modeli osiguravaju da igre mogu postići visoke performanse na različitim platformama. Sve u svemu, digitalni 3D modeli nezamjenjivi su u razvoju vizualno zadivljujućih videoigara, pružajući bitne komponente koje definiraju estetske i impresivne kvalitete iskustva igranja [20].



*Slika 22 Cyberpunk 2077*

Na slici 22 vidljiv je "Cyberpunk 2077", koji je razvio CD Projekt Red, smatra se jednom od vizualno najzapanjućih videoigara ikada zbog svoje neusporedive razine detalja, impresivnog dizajna svijeta i vrhunske grafičke tehnologije. Mjesto radnje igre, Night City, prostrana je, neonski osvijetljena metropola koja pulsira životom, sa zamršenom mješavinom visokih nebodera, užurbanih ulica i sjenovitih uličica. Svaka četvrt Night Cityja ima svoju jedinstvenu estetiku, od raskošnih korporativnih zona do grubog podzemlja grada, a sve je izvedeno s pažnjom posvećenom detaljima. Igra koristi napredne grafičke tehnike kao što je praćenje zraka, koje poboljšava refleksije, sjene i osvjjetljenje, stvarajući realističnije i dinamičnije okruženje. Modeli likova i animacije su realistični, s teksturama visoke razlučivosti i detaljnim izrazima lica koji dodaju dubinu interakcijama. Kibernetička poboljšanja i futuristička tehnologija prikazani su sa zavidljivim realizmom, pridonoseći impresivnoj cyberpunk atmosferi. Štoviše, korištenje volumetrijske magle, dinamičkih vremenskih sustava i ciklusa dan-noć u igri dodatno obogaćuje vizualni doživljaj, čineći da se Night City osjeća kao živi svijet koji diše. Unatoč početnim tehničkim problemima, "Cyberpunk 2077" postavlja nove standarde za vizualnu vjernost u video igrama, nudeći zavidljivo i vizualno upečatljivo iskustvo koje se ističe u industriji igara [21].

### 4.3.1. Unreal Engine 5

Unreal Engine 5 (UE5) najnovija je iteracija naširoko korištenog pokretača igara koji je razvio Epic Games, poznat po svojoj vrhunskoj tehnologiji i alatima koji razvojnim programerima omogućuju stvaranje visokokvalitetnih, impresivnih videoigara. UE5 mijenja igru u industriji zahvaljujući svojim revolucionarnim značajkama i mogućnostima, koje značajno poboljšavaju vizualnu vjernost, performanse i radni tijek razvoja igara [22].

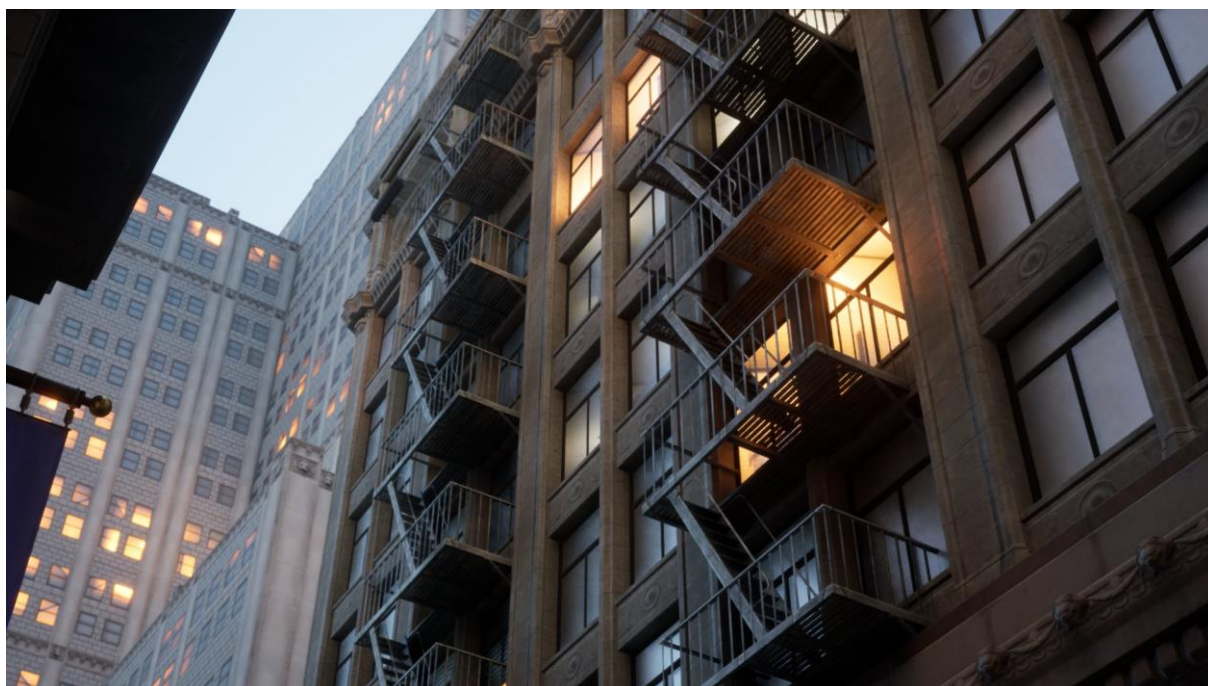


*Slika 23 Unreal Engine 5 "Nanite"*

Nanite je virtualizirani geometrijski sustav predstavljen u Unreal Engine 5 od strane Epic Gamesa, dizajniran za rukovanje do sada neviđenim razinama detalja i složenosti u 3D modelima uz održavanje visokih performansi. Nanite programerima omogućuje uvoz i korištenje materijala filmske kvalitete s milijunima poligona izravno u motor igre bez potrebe za tradicionalnim procesima optimizacije broja poligona. To se postiže Naniteovom sposobnošću strujanja i obrade samo potrebnih detalja potrebnih za trenutni prikaz, dinamičkim podešavanjem razine detalja u stvarnom vremenu. To omogućuje da se vrlo detaljna okruženja, likovi i objekti učinkovito renderiraju, povećavajući vizualnu vjernost igara na nove visine. Uz Nanite, programeri više ne moraju ručno stvarati različite razine detalja (LOD-ove) za svoje resurse, što značajno pojednostavljuje tijek rada i smanjuje vrijeme razvoja. Sustav podržava goleme, zamršene svjetove ispunjene bogatim detaljima, od ekspanzivnih krajolika do fino izrađenih interijera, a sve prikazano s besprijeornom preciznošću. Omogućujući upotrebu vrlo detaljnih modela bez ugrožavanja performansi,



Nanite transformira kreativne mogućnosti u razvoju igrica, omogućujući impresivnija i vizualno zapanjujuća iskustva. Ova revolucionarna tehnologija ne samo da postavlja nove standarde za grafičku kvalitetu u aplikacijama u stvarnom vremenu, već također demokratizira stvaranje vrhunskog 3D sadržaja, čineći ga dostupnim širem rasponu programera i umjetnika [23].



*Slika 24 Unreal Engine 5 "Lumen"*

Kao što je vidljivo na slici 24, jedna od ključnih značajka je Lumen. On je najsvremeniji globalni sustav osvjetljenja i refleksije predstavljen u Unreal Engine 5 od strane Epic Gamesa, dizajniran za stvaranje realističnog osvjetljenja u stvarnom vremenu. Za razliku od tradicionalnih statičnih metoda osvjetljenja koje zahtijevaju opsežno prethodno izračunavanje i pečenje, Lumen nudi potpuno dinamičnu rasvjetu koja trenutno reagira na promjene u okolini. To razvojnim programerima omogućuje stvaranje vrlo impresivnih i interaktivnih svjetova u kojima se osvjetljenje može mijenjati ovisno o dobu dana, vremenskim uvjetima ili interakcijama igrača. Lumen upravlja i izravnim i neizravnim osvjetljenjem, uključujući difuzne interrefleksije i zrcalne refleksije, omogućujući postizanje fotorealističnih okruženja uz minimalan napor. Sustav koristi napredne algoritme za aproksimaciju globalnog osvjetljenja, hvatajući zamršenu međuigru svjetlosti dok se odbija od površina i osvjetljava scenu. Ova mogućnost osvjetljenja u stvarnom vremenu značajno

poboljšava vizualnu kvalitetu igara, pružajući realističnije i živopisnije scene bez potrebe za složenim mapama svjetla ili ručnim podešavanjem. Uklanjanjem dugotrajnog procesa pečenja i omogućavanjem dinamičkih prilagodbi svjetla, Lumen usmjerava radni tijek razvoja, omogućujući umjetnicima i dizajnerima da brzo ponavljaju i vide trenutne rezultate. Utjecaj Lumena je dubok, jer ne samo da podiže realizam i estetsku privlačnost virtualnih svjetova, već i demokratizira stvaranje visokokvalitetne rasvjete, čineći napredne vizualne efekte dostupnima širem rasponu programera i smanjujući tehničke prepreke stvaranju zapanjujućih, dinamičnih osvjetljenja u igrama i drugim aplikacijama u stvarnom vremenu [24].

Sam Unreal Engine također uključuje napredak u animaciji sa značajkama kao što su Control Rig i Full-Body IK, koje pojednostavljuju proces animacije i poboljšavaju realizam pokreta likova. Integracija UE5 s Quixel Megascans omogućuje pristup ogromnoj biblioteci visokokvalitetnih sredstava, omogućujući programerima da učinkovitije grade bogate i detaljne svjetove. Skalabilnost motora osigurava da se može koristiti na raznim platformama, od vrhunskih računala i konzola sljedeće generacije do mobilnih uređaja, što ga čini svestranim za različita iskustva igranja. Uz to, UE5 predstavlja MetaHuman Creator, alat za brzo i jednostavno stvaranje vrlo realističnih ljudskih likova. Ova inovacija smanjuje vrijeme i resurse potrebne za stvaranje likova, a istovremeno zadržava visoku razinu detalja i uvjerljivosti. Važnost Unreal Enginea 5 leži u njegovoj sposobnosti da pomakne granice onoga što je vizualno i tehnički moguće u videoigrama. Pružajući razvojnim programerima moćne alate i tijekove rada, UE5 demokratizira vrhunski razvoj igara, dopuštajući studijima svih veličina stvaranje zavidljivih, impresivnih iskustava. Njegov napredak u renderiranju, osvjetljenju, animaciji i upravljanju imovinom postavlja nove standarde za industriju, osiguravajući da će buduće igre biti detaljnije, realističnije i zanimljivije nego ikad prije.

## 4.4. Dizajn interijera

3D modeliranje igra ključnu ulogu u dizajnu interijera, mijenjajući način na koji dizajneri konceptualiziraju, planiraju i provode svoje projekte. Jedna od primarnih prednosti 3D modeliranja je njegova sposobnost pružanja realističnih pregleda unutarnjih prostora. To omogućuje dizajnerima i klijentima da vizualiziraju gotov projekt na detaljan i realističan način prije nego što započne fizički rad. Stvaranjem točnih prikaza o tome kako će namještaj, boje, teksture i rasvjeta izgledati u konačnom prostoru, dizajneri mogu osigurati da njihova vizija bude usklađena s očekivanjima klijenta. Ova vizualna jasnoća pomaže u donošenju utemeljenijih odluka i smanjuje rizik od nesporazuma [25].

Preciznost i točnost također su značajno poboljšane kroz 3D modeliranje. Detaljno planiranje postaje lakše jer modeli nude precizna mjerenja i točne prikaze prostornih odnosa. Time se smanjuje vjerojatnost pogrešaka tijekom faze implementacije, osiguravajući da svaki element savršeno pristaje. Štoviše, modeli u mjerilu stvoreni 3D modeliranjem točno odražavaju dimenzije sobe i njezinog namještaja, dodatno pomažući u procesu planiranja. Ovi točni modeli omogućuju dizajnerima da rano identificiraju potencijalne probleme, štedeći vrijeme i novac sprječavajući skupe pogreške tijekom izgradnje [25].

Komunikacija i suradnja uvelike su poboljšani korištenjem 3D modeliranja u dizajnu interijera. Klijenti se mogu učinkovitije uključiti u proces dizajna putem realističnih vizualizacija, što im olakšava razumijevanje i pružanje povratnih informacija o predloženim konceptima. Ovaj interaktivni angažman potiče okruženje za suradnju u kojem se ideje mogu doraditi kako bi se bolje zadovoljile potrebe klijenta. Osim toga, 3D modeli olakšavaju besprijekornu suradnju između dizajnera interijera, arhitekata, izvođača radova i drugih dionika, osiguravajući da svi koji su uključeni u projekt imaju jasno i dosljedno razumijevanje namjere dizajna [25].



*Slika 25 Realističan prikaz 3D dizajna interijera*

Stvaranje fotorealističnog 3D renderiranja dizajna interijera počinje planiranjem i modeliranjem. Započnite izgradnjom detaljnog 3D modela unutarnjeg prostora pomoću softvera kao što je 3ds Max, Blender ili SketchUp, osiguravajući da sav namještaj, oprema i arhitektonski elementi budu točno predstavljeni s točnim proporcijama i geometrijom. Primijenite teksture visoke razlučivosti na svaku površinu, koristeći mape izbočina i normala za dodavanje dubine i realizma. Ispravno UV mapiranje ključno je za izbjegavanje izobličenja teksture. Zatim postavite realističnu rasvjetu kombinirajući prirodne i umjetne izvore svjetlosti. Upotrijebite globalno osvjetljenje i HDRI okruženja za simulaciju ponašanja prirodnog svjetla i refleksije. Implementirajte materijale koji se temelje na fizičkom renderiranju (PBR) kako biste osigurali da površine autentično reagiraju na svjetlost, uzimajući u obzir svojstva poput hrapavosti i refleksije. Za materijale koji zahtijevaju raspršivanje ispod površine, poput kože ili određene plastike, konfigurirajte shadere da oponašaju prodor i difuziju svjetlosti. Koristite visokokvalitetni mehanizam za renderiranje kao što je V-Ray, Corona Renderer, Arnold ili Blender's Cycles kako biste postigli željeni fotorealizam. Pažljivo prilagodite postavke iscrtavanja kako biste uravnotežili kvalitetu i vrijeme iscrtavanja, uključujući anti-aliasing i odgovarajuće stope uzorkovanja. Nakon što je početno renderiranje dovršeno, poboljšajte sliku naknadnom obradom u softveru kao što je Adobe Photoshop ili After Effects, fokusirajući se na korekciju boja, dodavanje suptilnih efekata poput cvjetanja i odsjaja te fino podešavanje sjena i svjetla. Da biste dodali autentičnost, uključite sitne detalje i nesavršenosti, poput male istrošenosti namještaja, otisaka prstiju na staklu ili svakodnevnih predmeta poput knjiga i biljaka. Koristite realne postavke

fotoaparata, uključujući dubinsku oštrinu, žarišnu duljinu i ekspoziciju, kako biste oponašali fotografiju iz stvarnog svijeta. Ovaj sveobuhvatni pristup, od preciznog modeliranja do naprednih tehnika renderiranja i promišljene naknadne obrade, osigurava stvaranje fotorealističnog 3D rendera dizajna interijera koji bilježi svaku nijansu i detalj zamišljenog prostora [26].

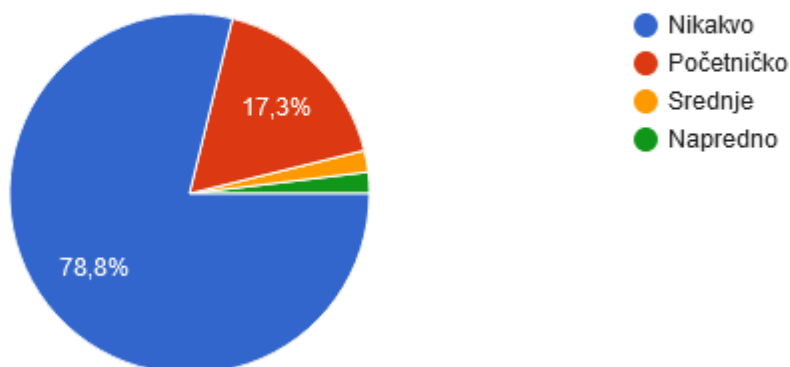
## 5. Istraživanje

Svrha upitnika na temu "Stvarnost ili 3D prikaz" je istražiti i razumjeti percepcije, preferencije i sposobnosti razlikovanja pojedinaca kada im se predstave slike iz stvarnog svijeta u odnosu na računalno generirane 3D prikaze. Ovaj upitnik ima za cilj prikupiti podatke o tome koliko dobro ljudi mogu razlikovati to dvoje, na koje elemente ili karakteristike se oslanjaju da bi napravili tu razliku i njihovo opće povjerenje i prihvaćanje 3D prikaza u različitim kontekstima kao što su oglašavanje, film, arhitektura i igre . Dodatno, nastoji identificirati bilo kakve predrasude ili predrasude o autentičnosti i estetskoj vrijednosti 3D prikaza u usporedbi sa stvarnim fotografijama. Analizirajući odgovore, istraživanje može steći uvid u učinkovitost tehnika 3D renderiranja i kako se one mogu poboljšati da bolje oponašaju stvarnost ili, obrnuto, kako se njihove jedinstvene kvalitete mogu kreativno iskoristiti. Sam upitnik se sastoji od 24 pitanja na koju su sudionici morali dati odgovore.

Od sveukupno 52 odgovora, 60% sudionika bilo je muško, 38% je bilo žensko te 2% sudionika je odabralo „ostalo“. Na pitanje kojoj dobnoj skupini pripadaju, 63,5% sudionika pripada dobnoj grupi unutar 18-25 godina, 30,8% sudionika pripada dobnoj grupi unutar 26-35 godina, 3,8% sudionika pripada dobnoj grupi ispod 18 godina, te 1,9% sudionika pripada dobnoj grupi iznad 55 godina.

## 1. Prijašnje iskustvo s 3D modeliranjem.

52 odgovora

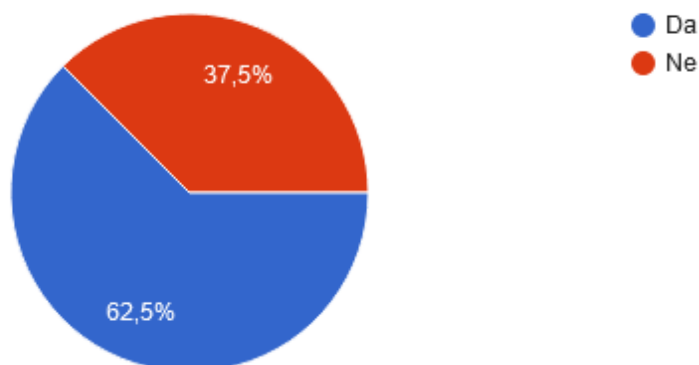


*Slika 26 Rezultati ankete*

Na prvom pitanju sudionici su morali odabrati njihovu razinu ranijeg iskustva u 3D modeliranju. 78,8% sudionika nema nikakvo prijašnje iskustvo u 3D modeliranju, 17,3% sudionika ima početničko iskustvo u 3D modeliranju, te srednje i napredno iskustvo u 3D modeliranju ima 1,9% sudionika.

## 2. Jeste li ikada prije pokušali identificirati slike iz stvarnog života od 3D modela?

48 odgovora

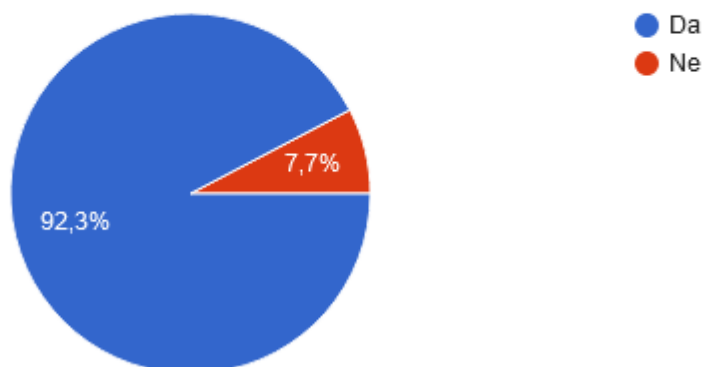


*Slika 27 Rezultati ankete*

Na drugo pitanje sudionici su morali odgovoriti jesu li ikada prije pokušali razlikovati slike iz stvarnog života od 3D prikaza. 62,5% sudionika je imalo iskustvo u razlikovanju 3D prikaza od stvarnoga života, dok 37,5% nije nikada pokušalo razlikovati.

### 3. Mislite li da 3D prikazi mogu postići istu razinu detalja kao slike iz stvarnog života?

52 odgovora

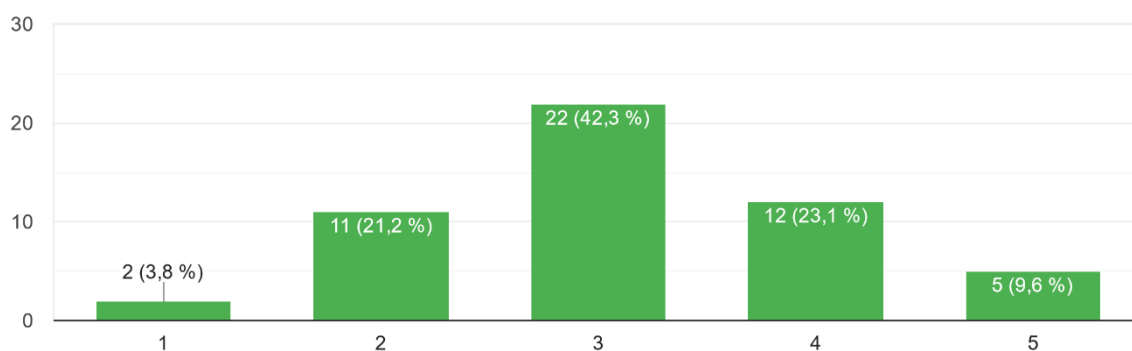


*Slika 28 Rezultati ankete*

Na trećem pitanju sudionici su morali odgovoriti da li misle da 3D prikazi mogu postići jednaku razinu detalja kao slike iz stvarnoga života. 92,3% sudionika misle da 3D prikazi mogu postići razinu detalja kao stvaran svijet, dok 7,7% misle da ne može.

### 4. Na ljestvici od 1 do 5, koliko ste sigurni u svoju sposobnost razlikovanja slika iz stvarnog života od 3D modela?

52 odgovora



*Slika 29 Rezultati ankete*

Na četvrtom pitanju sudionici su morali odabrati svoju procijenjenu sposobnost razlikovanja slika iz stvarnoga života od 3D prikaza na ljestvici od 1 do 5, gdje je 1 najmanja

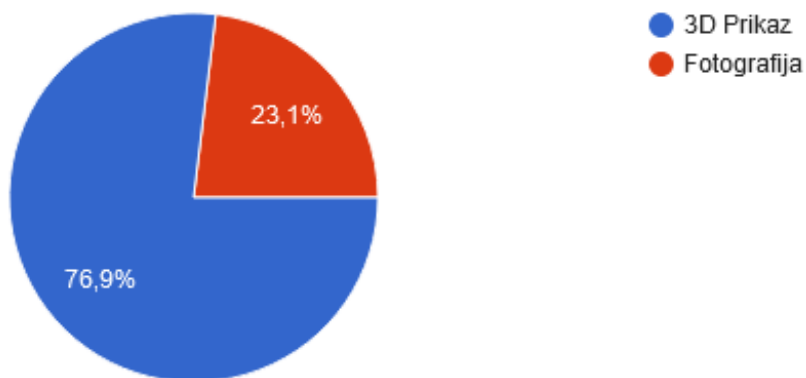


razina samouvjerenosti, a 5 najviša razina. Najveći postotak odnosno 42,3% sudionika je odabralo broj 3 na ljestvici, 23,1% sudionika je obralo broj 4, 21,2% je obralo broj 2 na ljestvici, 9,6% sudionika je odabralo broj 5 na ljestvici, te 3,8% je odabralo broj 1 na ljestvici.



#### 5. Smatrate da je slika 3D prikaz ili fotografija?

52 odgovora



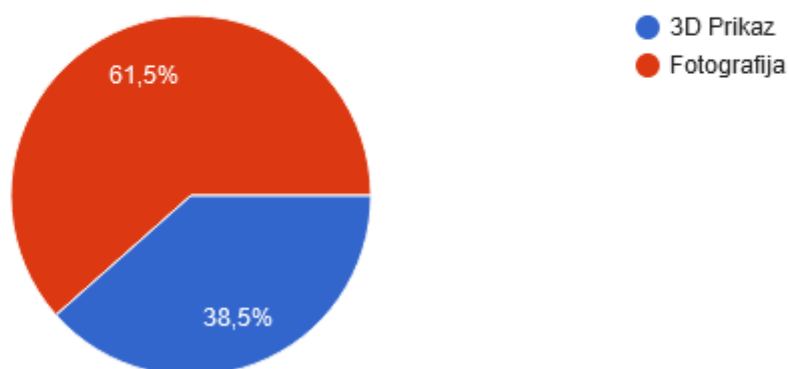
*Slika 30 Rezultati ankete*

Na petom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je 3D prikaz te 76,9% sudionika je uspjelo prepoznati 3D model od stvarne slike, dok 23,1% nije.



6. Smatrate da je slika 3D prikaz ili fotografija?

52 odgovora



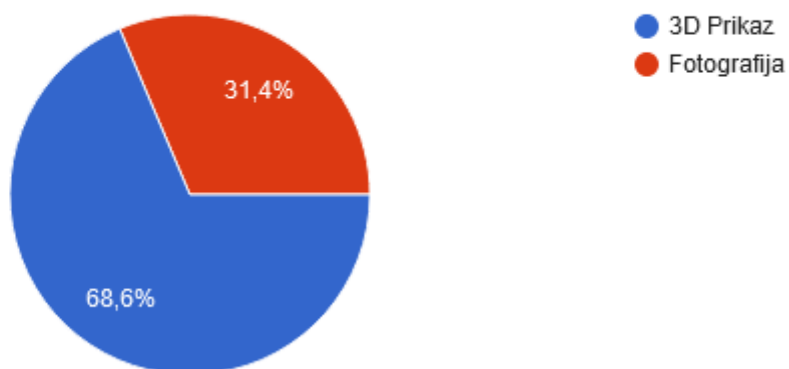
*Slika 31 Rezultati ankete*

Na šestom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je fotografija te 61,5% sudionika je uspjelo prepoznat fotografiju od 3D prikaza, dok 38,5% nije.



## 7. Smatrate da je slika 3D prikaz ili fotografija?

51 odgovor



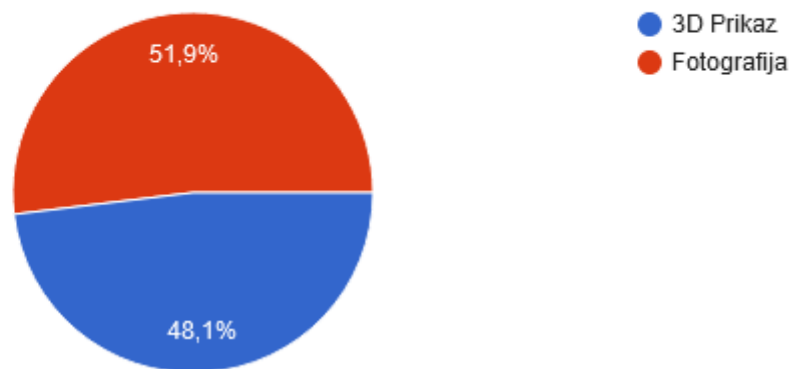
*Slika 32 Rezultati ankete*

Na sedmom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je 3D prikaz te 68,6% sudionika je uspjelo prepoznati 3D model od stvarne slike, dok 31,4% nije.



### 8. Smatrate da je slika 3D prikaz ili fotografija?

52 odgovora



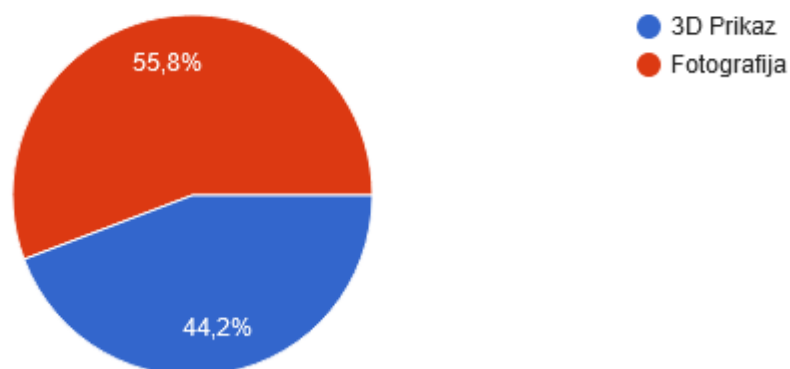
*Slika 33 Rezultati ankete*

Na osmom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je fotografija te 51,9% sudionika je uspjelo prepoznati fotografiju od 3D prikaza, dok 48,1% nije.



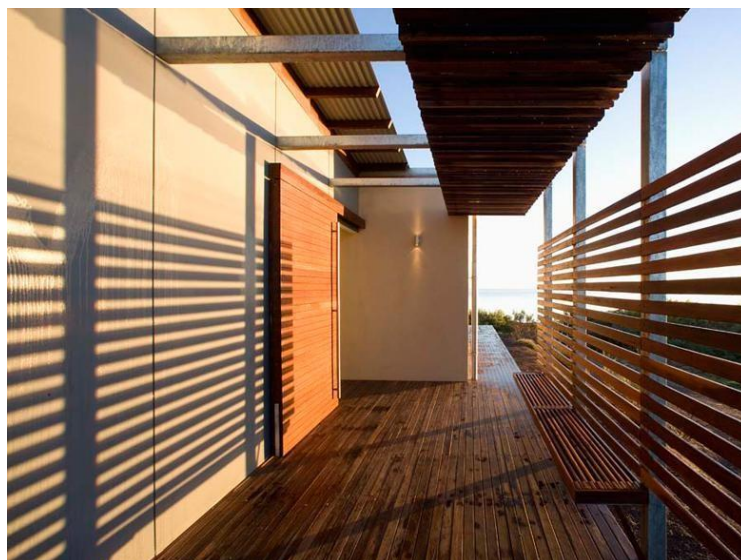
9. Smatrate da je slika 3D prikaz ili fotografija?

52 odgovora



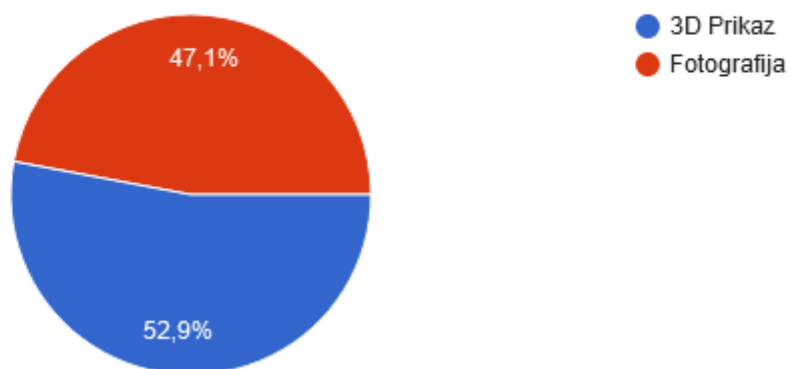
*Slika 34 Rezultati ankete*

Na devetom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je fotografija te 55,8% sudionika je uspjelo prepoznati fotografiju od 3D prikaza, dok 44,2% nije.



### 10. Smatrate da je slika 3D prikaz ili fotografija?

51 odgovor



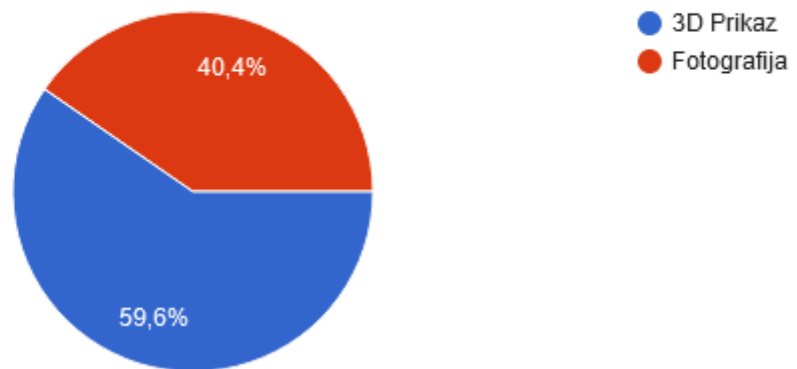
*Slika 35 Rezultati ankete*

Na desetom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je fotografija te 47,1% sudionika je uspjelo prepoznati fotografiju od 3D prikaza, dok 52,9% nije.



11. Smatrate da je slika 3D model ili fotografija?

52 odgovora



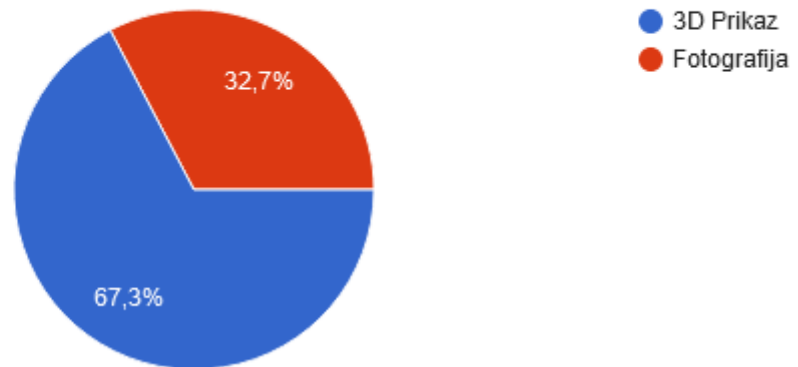
*Slika 36 Rezultati ankete*

Na jedanaestom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je fotografija te 40,4% sudionika je uspjelo prepoznati fotografiju od 3D prikaza, dok 59,6% nije.



## 12. Smatrate da je slika 3D prikaz ili fotografija?

52 odgovora



*Slika 37 Rezultati ankete*

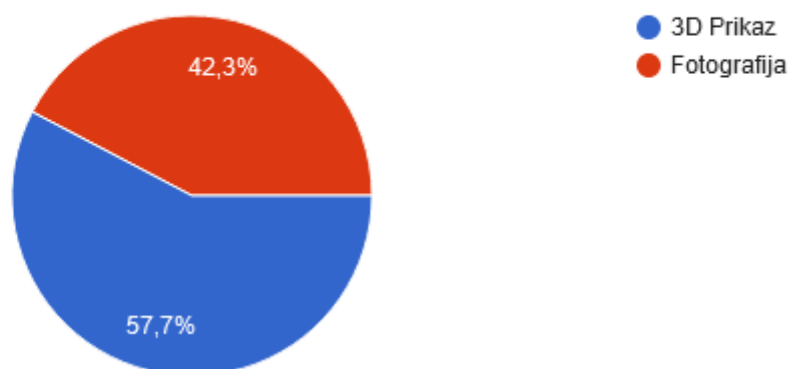
Na dvanaestom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je 3D prikaz te 68,6% sudionika je uspjelo prepoznati 3D model od stvarne slike, dok 31,4% nije.





13. Smatrate da je slika 3D prikaz ili fotografija?

52 odgovora



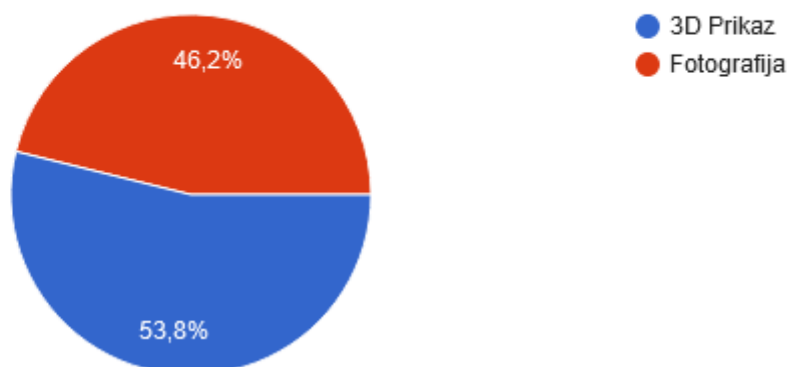
*Slika 38 Rezultati ankete*

Na trinaestom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je 3D prikaz te 57,7% sudionika je uspjelo prepoznati 3D model od stvarne slike, dok 42,3% nije.



14. Smatrate da je slika 3D prikaz ili fotografija?

52 odgovora



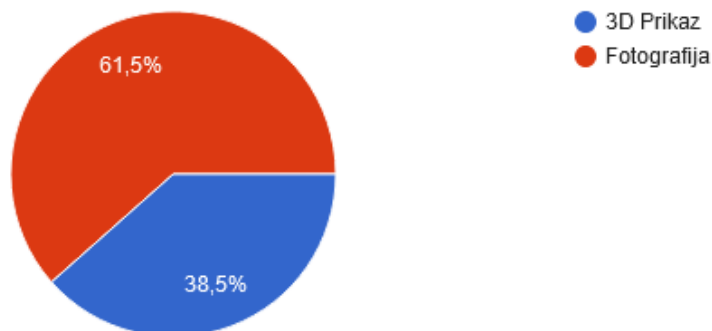
*Slika 39 Rezultati ankete*

Na četrnaestom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je fotografija te 46,2% sudionika je uspjelo prepoznati fotografiju od 3D prikaza, dok 53,8% nije.



15. Smatrate da je slika 3D prikaz ili fotografija?

52 odgovora

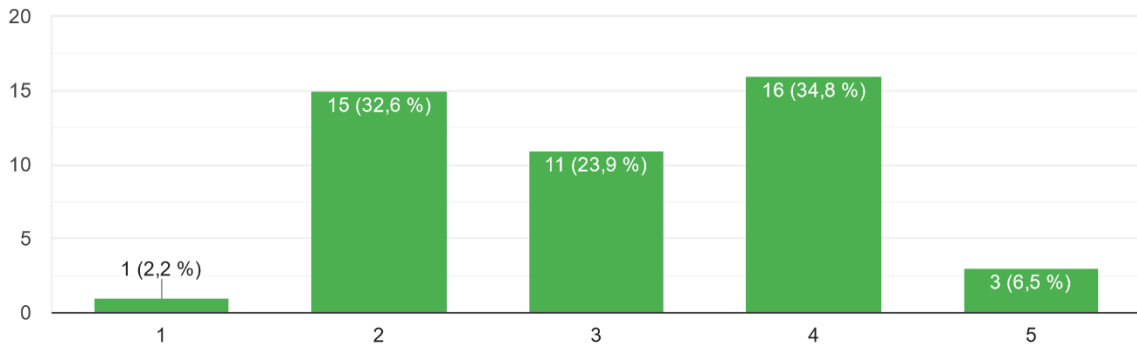


*Slika 40 Rezultati ankete*

Na petnaestom pitanju sudionici su prema slici morali prepoznati da li se radi o 3D prikazu ili fotografiji. Slika je fotografija te 61,5% sudionika je uspjelo prepoznati fotografiju od 3D prikaza, dok 38,5% nije.

16. Na ljestvici od 1 do 5, koliko ste sigurni u svoje odgovore na pitanja 5.-15.?

46 odgovora

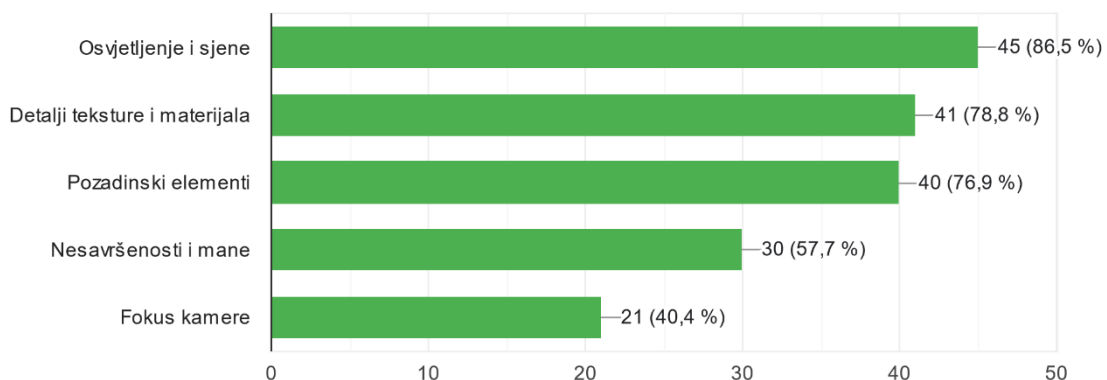


*Slika 41 Rezultati ankete*

Na šesnaestom pitanju sudionici su morali odabrati svoju razinu samouvjerenosti u odabiru odgovora na pitanja 5.-15. na ljestvici od 1 do 5, gdje je 1 najmanja razina samouvjerenosti, a 5 najviša razina. Najveći postotak odnosno 34,8% sudionika je odabralo broj 4 na ljestvici, 32,6% sudionika je obralo broj 4, 23,9% je odabralo broj 3 na ljestvici, 6,5% sudionika je odabralo broj 5 na ljestvici, te 2,2% je odabralo broj 1 na ljestvici.

17. Koje čimbenike prvenstveno koristite za razlikovanje slika iz stvarnog života od 3D modela?

52 odgovora



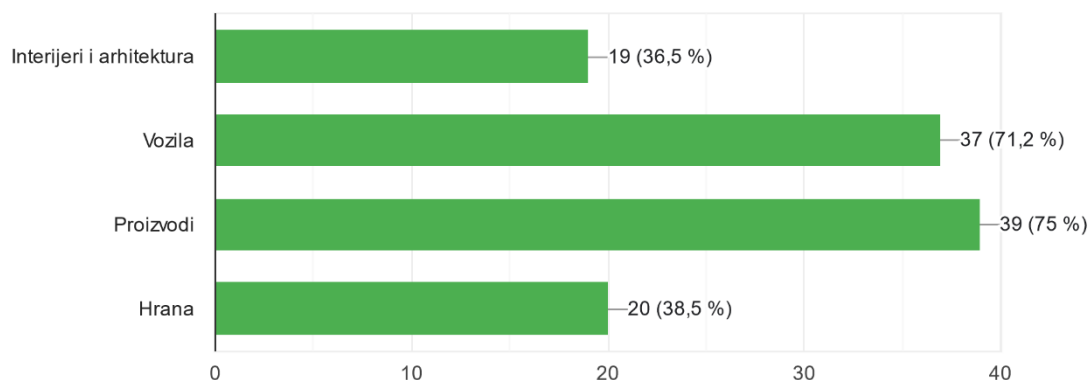
*Slika 42 Rezultati ankete*

Na sedamnaestom pitanju višestrukog odabira sudionici su morali odabrati čimbenike koje najviše utječu na sposobnost razlikovanja 3D prikaza od stvarnoga života. Čimbenik sa

najviše odabira je „Osvjetljenje i sjene“ sa 86,5% odabira, nakon njega je „Detalji teksture i materijala“ sa 78,8% odabira, sljedeći je „Pozadinski elementi“ sa 76,9%, „Nesavršenosti i mane“ nose 57,7% odabira, te na zadnjem mjestu je „Fokus kamere“ sa 40,4% odabira.

18. Koju vrstu slika vam je najteže identificirati kao stvarne ili 3D modele?

52 odgovora

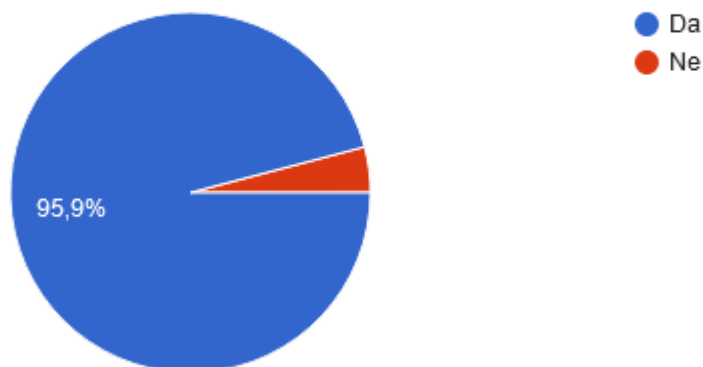


*Slika 43 Rezultati ankete*

Na osamnaestom pitanju sudionici su morali putem višestrukog odabira odabrati za koju vrstu im je bilo najteže identificirati 3D prikaz od stvarnoga života. Najveći broj odabira je na „Proizvodi“ sa 75%, dalje je „Vozila“ sa 71,2%, sljedeći je „Hrana“ sa 38,5%, te nakraju „Interijeri i arhitektura“ sa 36,5% odabira.

### 19. Vjerujete li da 3D modeli mogu uvjerljivo replicirati slike iz stvarnog života?

49 odgovora

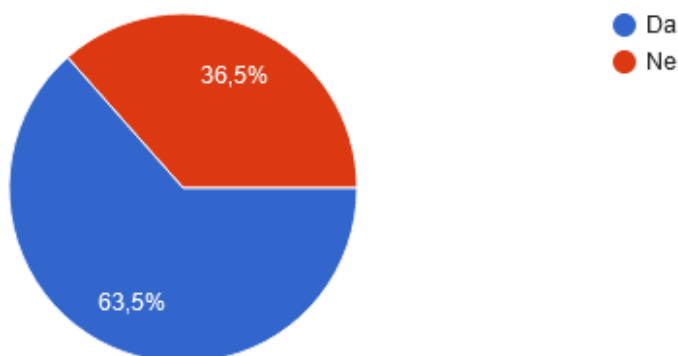


*Slika 44 Rezultati ankete*

Na devetnaestom pitanju sudionici su bili pitani da li vjeruju da 3D modeli mogu uvjerljivo replicirati slike iz stvarnoga života. 95,9% sudionika je odgovorilo sa „Da“, dok 4,1% sudionika je odgovorilo sa „Ne“.

### 20. Jeste li ikada pogledom na sliku mislili da je iz stvarnoga života a zapravo je bio 3D prikaz?

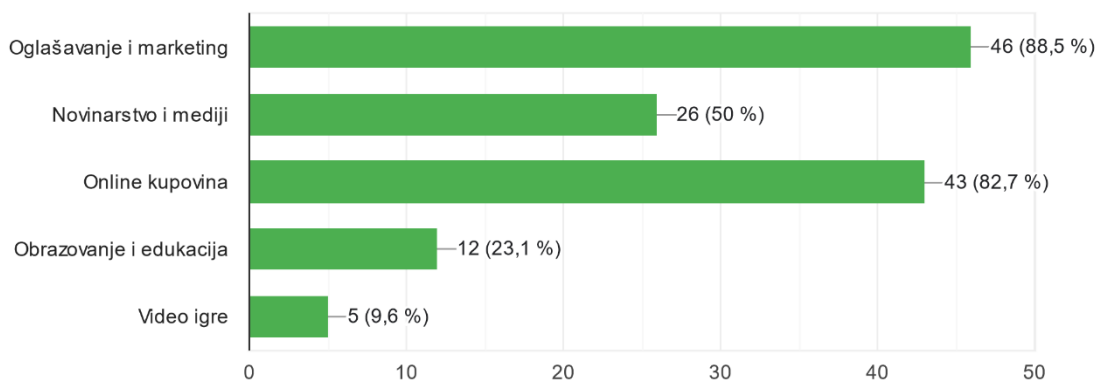
52 odgovora



*Slika 45 Rezultati ankete*

Na dvadesetom pitanju sudionici su bili pitani jesu li ikad pogledom na sliku mislili da je iz stvarnoga života, a zapravo je bio 3D prikaz. 36,5% sudionika je odgovorilo sa „Da“, dok 63,5% sudionika je odgovorilo sa „Ne“.

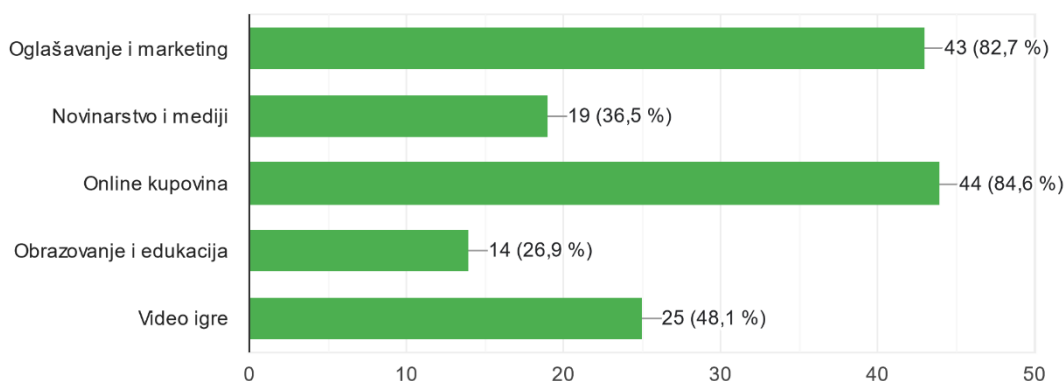
21. U kojim područjima mislite da je najvažnija razlika između slika iz stvarnog života i 3D modela?  
52 odgovora



*Slika 46 Rezultati ankete*

Na dvadeset-prvom pitanju sudionici su morali putem višestrukog odabira odabrati za koja područja misle da je najbitnija razlika između 3D prikaza i stvarnoga svijeta. Najveći broj odabira je na „Oglašavanje i marketing“ sa 88,5%, dalje je „Online kupovina“ sa 82,7%, sljedeći je „Novinarstvo i mediji“ sa 50%, te „Obrazovanje i edukacija“ sa 23,1%, te nakraju „Video igre“ sa 9,6% odabira.

22. U kojim područjima mislite da realistični 3D modeli mogu imati najveći utjecaj?  
52 odgovora



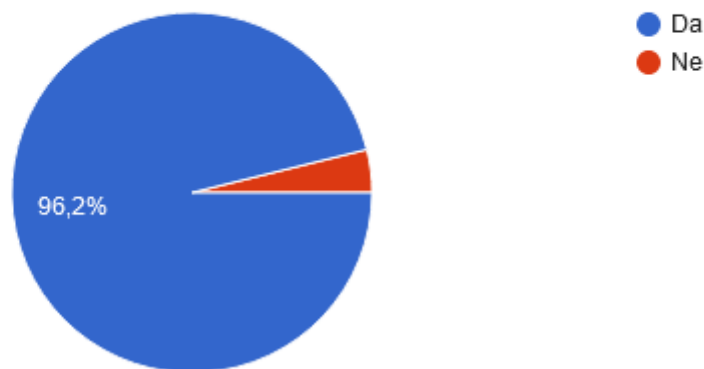
*Slika 47 Rezultati ankete*

Na dvadeset-drugom pitanju sudionici su morali putem višestrukog odabira odabrati za koja područja misle da realistični 3D modeli mogu imati najveći utjecaj. Najveći broj odabira je na „Online kupovina“ sa 84,6%, dalje je „Oglašavanje i marketing“ sa 82,7%, sljedeći je

„Video igre“ sa 48,1%, te „Novinarstvo i mediji“ sa 36,5%, te nakraju „Obrazovanje i edukacija“ sa 26,9% odabira.

### 23. Mislite li da bi web stranice u područjima poput oglašavanja, marketinga ili online kupovine trebale navesti na slici da li je 3D prikaz?

52 odgovora



*Slika 48 Rezultati ankete*

Na dvadeset-trećem pitanju sudionici su bili pitani da li misle da bi web stranice u područjima poput oglašavanja, marketinga ili online kupovine trebale navesti na slici da li je 3D prikaz. 96,2% sudionika je odgovorilo sa „Da“, dok 3,8% sudionika je odgovorilo sa „Ne“.

Upitnik imao je za cilj procijeniti sposobnost sudionika da razlikuju visokokvalitetne 3D modele od fotografija iz stvarnog života. Sudionicima je pokazan niz slika, od kojih su neke bile 3D renderi, a druge stvarne fotografije, te su zamoljeni da identificiraju svaku kao stvarnu ili render. Rezultati su otkrili da se značajan dio ispitanika borio da dosljedno napravi razliku između to dvoje, što ukazuje na impresivan realizam postignut modernim tehnikama 3D renderiranja. Međutim, određeni elementi kao što su osvjetljenje, detalji teksture i suptilne nesavršenosti u stvarnim objektima pomogli su nekim sudionicima da naprave točne razlike. 3D prikazi koji pripadaju grupi „Vozila“ i „Proizvoda“ su stvarali navise nesigurnosti prilikom odabira. Pri kraju ankete sudionici su bili pitani da odaberu područja u kojima je vrlo bitna razlika između fotografije i 3D prikaza te je velika većina ispitanika odabrala „Oglašavanje i marketing“ te „Online kupovina“ kao najbitnije, ukazujući na moguće probleme u budućnosti kada 3D prikazi prijeđu na još višu razinu realnosti. Sve u svemu, nalazi naglašavaju napredno stanje tehnologije 3D modeliranja i njezinu sposobnost da blisko oponaša vizualne slike stvarnog svijeta, često brišući granicu između digitalnih kreacija i stvarnosti.



## 6. Zaključak

Zaključno, istraživanje fotorealističnih 3D modela i njihove primjene pokazuje značajan napredak u raznim područjima, uključujući zabavu, arhitekturu, obrazovanje i virtualnu stvarnost. Ovaj diplomski rad je istaknuo tehničke zamršenosti uključene u stvaranje realističnih digitalnih prikaza, naglašavajući važnost tekstura visoke razlučivosti, točne rasvjete i sofisticiranih tehnika renderiranja na praktičnom prikazu stvaranja modela kroz sve faze, od početka do kraja. Integracija fotorealističnih 3D modela u modernu tehnologiju revolucionirala je vizualnu komunikaciju, nudeći realizam koji poboljšava korisnička iskustva i procese donošenja odluka. Od virtualnih obilazaka nekretnina do impresivnih okruženja za igranje, primjena ovih modela nadilazi tradicionalne granice, pružajući interaktivne i zanimljive platforme. Istraživanjem se prikazalo trenutno moderno stanje tehnologije stvaranje 3D modela, odnosno prikaza, nasuprot stvarnom svijetu. 3D modeli koji prikazuju proizvode stvarali su najviše problema kod ispitanika prilikom odabira, te je u kasnijem dijelu istraživanja vidljivo da je veoma mali broj ispitanika siguran u svoje odgovore, stoga se može zaključiti da su neki „pogodili“ samo putem sreće, odnosno nasumičnog odabira. Nadalje, na trenutnoj razini još je moguće raspoznati 3D model od stvarnosti, osobito ako pojedinac zna na koje detalje mora paziti, takve vještine pripadaju pojedincima unutar industrije videoigara, filmova ili amatera u 3D modeliranju. Kako napredujemo prema sve digitalnijem svijetu, uloga fotorealističnih 3D modela postaje sve važnija, obećavajući da će poboljšati razne industrije pružanjem preciznijih i vizualno uvjerljivijih prikaza. Stoga studija naglašava učinak fotorealističnog 3D modeliranja, zalažući se za stalne inovacije i primjenu u različitim domenama kako bi se otključali novi potencijali i učinkovitosti.

# Literatura

- [1] Rademacher, P., Lengyel, J., Cutrell, E., & Whitted, T. (2001). Measuring the perception of visual realism in images. In *Rendering Techniques 2001: Proceedings of the Eurographics Workshop in London, United Kingdom, June 25–27, 2001* 12 (pp. 235-247). Springer Vienna.
- [2] Luan, X., Xie, Y., Ying, L., & Wu, L. (2008). Research and development of 3D modeling. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 8(1), 49-53.
- [3] Brito, A. (2018). *Blender Quick Start Guide: 3D modeling, animation, and render with Eevee in Blender 2.8*. Packt Publishing Ltd.
- [4] Viro, V. (2022). Problems in turning concept art into 3D objects: concept art to 3D object pipeline.
- [5] Heikkinen, S. (2018). The role of concept art in game design, 19-26
- [6] Russo, M. (2006). *Polygonal modeling: basic and advanced techniques*. Jones & Bartlett Learning.
- [7] Ward, A., & Randall, D. (2010). *3D Modeling in Silo: The Official Guide*. Taylor & Francis.
- [8] Kuusela, V. (2022). 3D modeling pipeline for games.
- [9] Villanueva, N., & Villanueva, N. (2022). UV Mapping. *Beginning 3D Game Assets Development Pipeline: Learn to Integrate from Maya to Unity*, 117-149.
- [10] Lappa, D. (2017). *Photorealistic Texturing for Modern Video Games*.
- [11] Kumar, A. (2020). *Beginning PBR texturing: Learn physically based rendering with allegrithmic's substance painter*. Apress.
- [12] Li, J., Watkins, A., Arevalo, K., & Tovar, M. (2021). *Creating Games with Unity, Substance Painter, & Maya: Models, Textures, Animation, & Code*. CRC Press., 91-131
- [13] Catherine Gyll L., (2021)., Parallax Effect, Independently publishe
- [14] Marmoset Toolbag., <https://docs.marmoset.co/>
- [15] Glassner, A. S. (Ed.). (1989). *An introduction to ray tracing*. Morgan Kaufmann.
- [16] Prince, S. (2011). *Digital visual effects in cinema: The seduction of reality*. Rutgers University Press.
- [17] Hurwitz, M. (2023). I SEE YOU: How James Cameron and his Visual Effects Team Create an Otherworldly Reality in Avatar: The Way of Water. *Sound & Vision*, 88(4), 43-50.
- [18] Beane, A. (2012). *3D animation essentials*. John Wiley & Sons.

- [19] Terävä, T. (2017). Workflows for Creating 3D Game Characters.
- [20] Balalaa, M. S. (2023). Video Game Graphics: A Comprehensive Analysis of Styles and Techniques. *resmilitaris*, 13(3), 2184-2200.
- [21] López, M. B., & Casado, C. Á. (2023). A Cyberpunk 2077 perspective on the prediction and understanding of future technology. arXiv preprint arXiv:2309.13970.
- [22] Venter, H., & Ogterop, W. (2022). Unreal Engine 5 Character Creation, Animation, and Cinematics: Create custom 3D assets and bring them to life in Unreal Engine 5 using MetaHuman, Lumen, and Nanite. Packt Publishing Ltd. 123-267
- [23] Epic Games Documentation, Nanite Virtualized Geometry, <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine>
- [24] Epic Games Documentation, Lumen Dynamic Global Illumination, <https://www.unrealengine.com/en-US/tech-blog/unreal-engine-5-goes-all-in-on-dynamic-global-illumination-with-lumen>
- [25] Cline, L. S. (2023). *Sketchup for interior design: 3D visualizing, designing, and Space Planning*. John Wiley & Sons.
- [26] NoTriangleStudio (2023), *How To Create High Quality 3D Photorealistic Rendering*, <https://notrianglstudio.com/how-to-create-high-quality-3d-photorealistic-renderings/>

# Popis slika

Slika 1. Fotorealističan prikaz 3D modela, autor Natasha Breen.....	10
Slika 2 Pregled referenca u programu PureRef .....	13
Slika 3. Blockout faza .....	15
Slika 4. Extrude, Loop Cut i Subdivide akcije .....	15
Slika 5. Boolean modifikatori .....	16
Slika 6. Prikaz "wireframe" modela .....	18
Slika 7. Model završen sa svim detaljima visoke rezolucije .....	19
Slika 8 Šavovi na modelu prije UV mapiranja.....	20
Slika 9. Primjer UV mape .....	21
Slika 10 Prikaz teksturiranja u programu Substance Painter .....	24
Slika 11 Mape tekstura .....	25
Slika 12 Prikaz postavljene scene u Blenderu .....	27
Slika 13 Postavljanje osvjetljena u sceni .....	28
Slika 14 Usporedba rasterizacije i Ray Tracing-a .....	30
Slika 15 Primjer finalnog rendera 1 .....	31
Slika 16 Primjer finalnog rendera 2 .....	31
Slika 17 Primjer finalnog rendera 3 .....	32
Slika 18 Primjer finalnog rendera 3 .....	32
Slika 19 Prikaz izgleda modela lika iz filma Avatar .....	34
Slika 20 Prikaz "wireframe" dobivenog na temelju glumca .....	34
Slika 21 Toy Story 4.....	36
Slika 22 Cyberpunk 2077 .....	38
Slika 23 Unreal Engine 5 "Nanite" .....	39
Slika 24 Unreal Engine 5 "Lumen" .....	40
Slika 25 Realističan prikaz 3D dizajna interijera .....	43
Slika 26 Rezultati ankete .....	46
Slika 27 Rezultati ankete .....	46
Slika 28 Rezultati ankete .....	47
Slika 29 Rezultati ankete .....	47
Slika 30 Rezultati ankete .....	48
Slika 31 Rezultati ankete .....	49
Slika 32 Rezultati ankete .....	50
Slika 33 Rezultati ankete .....	51
Slika 34 Rezultati ankete .....	52
Slika 35 Rezultati ankete .....	53
Slika 36 Rezultati ankete .....	54
Slika 37 Rezultati ankete .....	55
Slika 38 Rezultati ankete .....	56
Slika 39 Rezultati ankete .....	57
Slika 40 Rezultati ankete .....	58
Slika 41 Rezultati ankete .....	59
Slika 42 Rezultati ankete .....	59
Slika 43 Rezultati ankete .....	60
Slika 44 Rezultati ankete .....	61
Slika 45 Rezultati ankete .....	61
Slika 46 Rezultati ankete .....	62
Slika 47 Rezultati ankete .....	62
Slika 48 Rezultati ankete .....	63

MARKOM  
ALIEBRAJMA

Sveučilište  
Sjever



SVEUČILIŠTE  
SJEVER

### IZJAVA O AUTORSTVU

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

Ja, MARKO ŠPREM (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica ~~završnog/diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom FOTOREALISTIČNI 3D MODELI I NJIHOVA PRIMJENA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Marko Šprem

(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu svenčilišta 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.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.