

Integracija video snimki u 3d okruženje

Dumbović, Goran

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:728219>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-30**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

GORAN DUMBOVIĆ

**INTEGRACIJA VIDEO SNIMKI
U 3D OKRUŽENJE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

GORAN DUMBOVIĆ

INTEGRACIJA VIDEO SNIMKI U 3D OKRUŽENJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
Prof. dr. sc. Lidija Mandić

Student:
Goran Dumbović

Zagreb, 2023

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET
Getaldićeva 2
Zagreb, 13. 9. 2023.

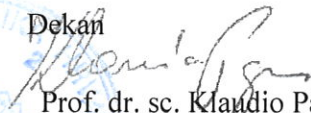
Temeljem podnijetog zahtjeva za prijavu teme diplomskog rada izdaje se


RJEŠENJE

kojim se studentu/ici Goranu Dumboviću, JMBAG 0128053673, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada diplomskog rada, pod naslovom: Integracija video snimki u 3d okruženje, pod mentorstvom prof. dr. sc. Lidije Mandić.

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

1. prof. dr. sc. Strgar Kurečić Maja, predsjednik/ica
2. prof. dr. sc. Mandić Lidija, mentor/ica
3. prof. dr. sc. Pibernik Jesenka, član/ica

Dekan

Prof. dr. sc. Klaudio Pap



SAŽETAK

U diplomskom radu opisane su i istražene različite mogućnosti integracije video snimki unutar 3D prostora u okvirima današnjeg vremena i tehnologije. Obrazložen je cjelokupni povijesni razvoj tehnologije, umjetnosti i kulture koji je doveo do današnje interpretacije i korištenja digitalnih metoda za obradu slikovnih informacija. U teorijskom dijelu rada opisani su različiti primjeri integracije video snimki u 3D okruženje. U eksperimentalnom dijelu rada prikazana je razrada projekta od ideje do realiziranog koncepta, u navedenoj kombiniranoj tehnici snimljeni video materijal se integrira u digitalno kreirani 3D prostor, uz pomoć različitih digitalnih alata i tehnika, uz to prateći generalna pravila orijentacije. Uz pomoć specifičnih tehnika želi se postići uspješno i istovremeno vizualno realan i funkcionalan koncept integracije video snimki u digitalno 3D okruženje koje će se paralelno kreirati unutar kompjuterskih programa za 3D modeliranje i animaciju.

Ključne riječi

Video, 3d, CGI, kompjuterski generirana grafika, 3d animacija

ABSTRACT:

The subject of the thesis describes and explores various possibilities of integrating video footage within a 3D space in today's time and technology. The overall historical development of technology, art, and culture that led to the current interpretation and use of digital methods for image processing is explained. The theoretical part of the thesis describes different examples of integrating video footage into a 3D environment. In the experimental part of the thesis, the development of the project from idea to the realized concept is presented. In the mentioned combined technique, recorded video material is integrated into digitally created 3D space using various digital tools and techniques, while following general orientation rules. With the help of specific techniques, the aim is to achieve a visually realistic and functional concept of integrating video footage into a digital 3D environment, which will be simultaneously created within computer programs for 3D modeling and animation.

Key words:

Video, 3d, cgi, computer generated imagery, 3d animation

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. TEORIJSKI DIO | 2 |
| 2.1. Razvoj videa kao medija..... | 2 |
| 2.2. Razvoj CGI tehnologije | 3 |
| 2.3. Pregled video tehnologija | 4 |
| 2.3.1. Digitalna kamera..... | 7 |
| 2.3.2. Objektivni kamere..... | 9 |
| 2.3.3. Optički senzori | 10 |
| 2.3.4. Green screen tehnika..... | 11 |
| 2.3.5. Postprodukcijski softveri | 13 |
| 2.4. Tehnologije za izradu 3D okruženja | 13 |
| 2.4.1. Sofveri za 3D modeliranje | 13 |
| 2.4.2. Virtualna 3D kamera..... | 17 |
| 2.5. Integracija videa u kompjuterski generirano 3D okruženje | 17 |
| 2.5.1. Pregled koncipiranja ideje..... | 18 |
| 2.5.2. Pregled storyboard-a | 18 |
| 2.5.3. Pregled priprema opreme i seta..... | 20 |
| 2.5.4. Pregled video produkcije | 22 |
| 2.5.5. Pregled post produkcije video snimki | 23 |
| 2.5.7. Pregled stvaranja 3D okruženja | 24 |
| 2.5.8. Pregled integracije video snimki u 3D okruženje | 25 |
| 3. Praktični dio..... | 26 |
| 3.1. Metodologija..... | 26 |
| 3.2. Konceptija i plan izvedbe procesa..... | 27 |
| 3.3 Priprema seta..... | 29 |
| 3.4. Video produkcija..... | 34 |
| 3.5. Post produkcija video snimki..... | 39 |
| 3.6. Integracija videa u 3D okruženje | 46 |
| 3.7. Kreiranje 3D okruženja..... | 51 |
| 3.8. Komponiranje | 54 |
| 3.9. Zaključak | 55 |

1. UVOD

Posljednjih godina video se ubrzanim tempom razvija u relativno mnogo smjerova, obuhvaćajući višeslojno područje ljudskog djelovanja. Video je kao medij tijekom vremena promijenio mnoge formate i funkcije i u relativno kratkom vremenskom periodu preuzeo je globalnu pozornost i dodao znatan utjecaj na antropomorfnu sferu. Pojava računalno generiranih slika pospješuje mogućnosti i oblike modificiranja videa i dovodi mogućnosti kombinacija ovih dviju tehnologija na visoku odnosno današnju razinu.

Implementacija stvarnih video snimki unutar računalno generiranog prostora je tehnika koje se konstantno rekreira i publicira od strane mnogih autora diljem svijeta, i to unutar više industrija kao što su filmska, glazbena (u obliku video spotova), isto tako i u različitim umjetničkim radovima i ostalim projektima nekomercijalne namjene. Navedena tehnika kao takva koristi se uz pomoć različitih medija, digitalnih i ostalih pomagala kako bi se kreirale specifične video scene. U ovom radu istražene su današnje mogućnosti stvaranja videa uz pomoć navedene tehnike i uz pomoć aktualnih kamera i kompjuterskih programa. Prezentiran je produkt estetski komplementaran današnjim standardima, pozivajući se na više reprodukcijских uređaja različitih formata, a i kvalitete medija koja se reproducira. Cilj ovog rada je postignuće tehnički uspješne kombinacije spomenutih dvaju digitalnih medija bez primjetnog i vizualno atraktivnog hibrida ostvarenog korištenjem aktualnih tehnologija.

Kroz teorijski dio diplomskog rada opisani su razvojni procesi video medija i ostalih pratećih tehnologija kroz povijest do danas, koje su pripomogle u razvoju spomenute tehnike. Kroz eksperimentalni dio oblikovan je i kreiran, idejni koncept koji je prenesen i razrađen u digitalni oblik uz pomoć tehnike integracije video snimke u trodimenzionalno okruženje.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Razvoj videa kao medija

Ideja videa kao medija koji prikazuje slikovnu informaciju mijenjanjem kadrova u određenom vremenskom periodu koncipirana je relativno davno, prvobitno u obliku animacije. U antičkom periodu specifično na području Grčke, ljudi su tvorili posuđe koje uz ljudsku manipulaciju prikazuje pomicanje skupa individualnih slika tvoreći iluziju animacije kroz njihovo kontinuirano i povezano reproduciranje. Navedeni koncept je nakon dugog niza godina uz razvoj potrebne tehnologije paralelno inspirirao i izum video medija, uz izum analogne pa naknadno i moderne digitalne animacije. Video kao tehnologija svoje korijene vuče iz 19. stoljeća kada su braća Lumière i Thomas Edison započeli s istraživanjem i koncipiranjem pokretne slike i pratećih tehnologija. Važno je napomenuti da je ranije u istom stoljeću izum fotografije, odnosno fotografskog filma direktno pomogao ubrzanju mogućnosti razvoja videa kao postojećeg, funkcionalnog medija. Tijekom narednih desetljeća dostignuća u tehnologiji na poljima pokretne slike doveli su do naglog razvoja u snimanju, reproduciranju snimaka i distribuciji istih koji su nadalje pokrenuli masovne promjene u potražnji budžeta video produkcijskih kuća, dok su istovremeno direktno utjecali na ljudski rod kroz višeslojnu adaptaciju na socijalnoj, mentalnoj i kulturološkoj razini. Izum zapisivanja video snimki pomoću magnetske trake u 50tim godinama prošlog stoljeća pretvorio je video u takozvani masovni medij omogućivši brzu automatiziranu industrijsku proizvodnju kopija i široku dostupnost na svjetskoj razini. U današnje vrijeme video medij je kroz razne načine uporabe postao globalno prihvaćena adicija unutar antropomorfne sfere svakodnevno korištena na kulturnoj, socijalnoj, umjetničkoj, edukacijskoj, znanstvenoj, političkoj, tehnološkoj i rekreativnoj razini. Način na koji je video medij upotrijebljen u praktičnom dijelu ovog diplomskog rada je relativno stariji princip koji su kroz prošlost razvijali pioniri vizualnih efekata u sklopu filmske industrije. Tijekom produkcije najčešće znanstveno fantastičnih filmova koristili bi zelenu pozadinu kako bi izolirali jedan ili nekoliko subjekata odnosno odvojili navedene stavke od pozadine većinom u svrhu umetanja nove pozadine. Više o ovoj tematici nalazi se u poglavlju 2.3.4.

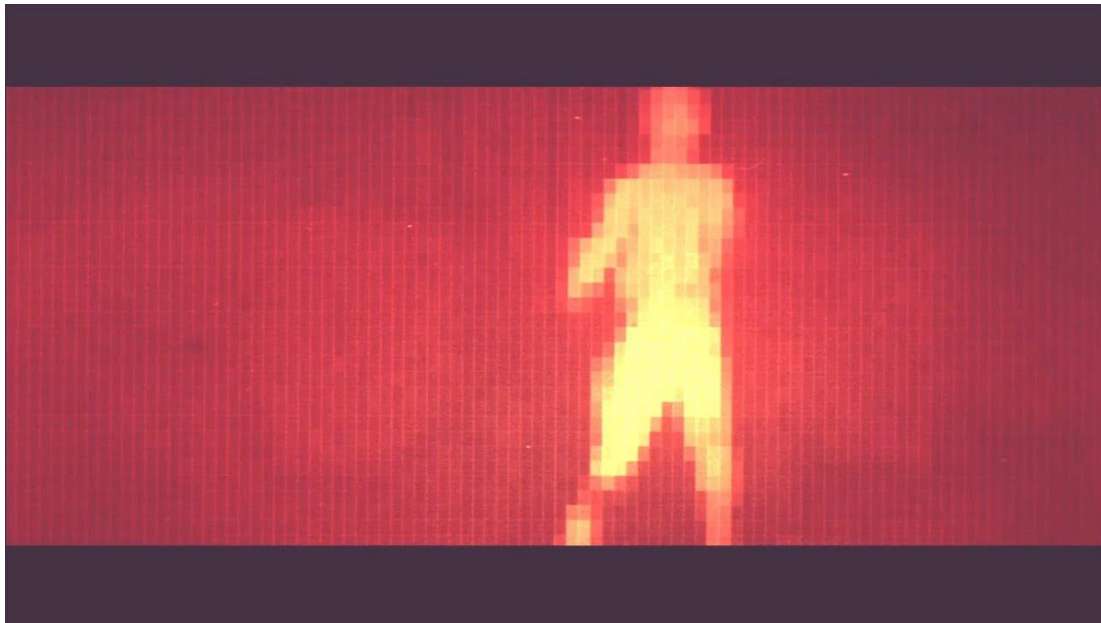
2.2. Razvoj CGI tehnologije

U 70tim godinama prošlog stoljeća pojava stolnih računala i njihova dostupnost široj publici diljem svijeta omogućava razvoj CGI-a (*computer generated imagery* ili računalno generirane slike) (Slika 1.). Računalno generirana slika u svojoj suštini je vizualni digitalni produkt ili informacija digitalnog efekta napravljena uz pomoć računalne tehnologije i snimljena na neku vrstu diska za pohranjivanje podataka, kako bi se naknadno mogla reproducirati. U prošlosti CGI je zahtjevao visoku i kompliciranu produkciju, odnosno financijski zahtjevnu tehnologiju koja je bila dostupna samo velikim industrijskim divovima, što više nije situacija kada se usporedbi s današnjicom gdje relativno veliki postotak kućnih računala, pa i pametnih telefona ili tableta ima tehnološku mogućnost za produkciju navedenih vrsta efekata i kombinacije istih sa stvarnim video snimkama. CGI može biti dvodimenzionalne ili trodimenzionalne prirode i može i ne mora se kombinirati sa video snimkama, sve navedeno ovisno je o funkciji i uporabi istoga. Pojava digitalnih fotoaparata i kamera krajem 20. stoljeća donosi video snimke u digitalnom formatu što olakšava kombinaciju navedenih dvaju medija na istom uređaju ili na istom programu, aplikaciji. Ovo uvelike skraćuje potrebno vrijeme i kompleksnost pri izradi digitalnih snimaka s kompjuterski generiranim slikama omogućivši modificiranje oba spomenuta produkcijska procesa digitalnim. Danas svakodnevno vidimo digitalne snimke koji koriste kombinaciju navedenih digitalnih medija.

CGI se najčešće koristi u računalnim igrama, filmovima, muzičkim videima, pokretnim info grafikama i slično, s istom svrhom - kreiranja estetski prihvatljive virtualne i digitalne iluzije koja služi specifičnoj svrsi, odnosno najčešće u svrhama zabave i edukacije, kao što je prikazano na slici 1. CGI kao tehnologija i alat je svoj najveću razinu uporabe „doživio“ unutar mnogih filmskih kuća baziranih u Hollywood-u, SAD. Zbog raspoloživosti ogromnih novčanih svoti uloženi u produkciju i post produkciju holivudskih filmova, omogućio se veliki prostor u evolucijskom razvoju CGI tehnologija. Razvoj video igara je sljedeći slučaj vrijedan napomene u jurisdikciji kompjuterski generirane grafike zbog svog obujma korištenja, a i količinske proizvodnje istih kroz povijest sve do megalomanske razine današnjice. Video igre su digitalni medij sa stopostotnim udjelom kompjuterski generirane grafike proizvedene u trodimenzionalnim i dvodimenzionalnim verzijama, kao i mnogobrojnim vizualnim stilovima određenim prema tematici specifične video igre.

U današnje doba postoje mnoge tehnologije koje automatski u stvarnom vremenu kombiniraju CGI s različitim medijima uz pomoć modernih uređaja kao što su pametni telefoni, tableti, pa

i skoro lansiranje Apple-ovih naočala za proširenu i virtualnu stvarnost za koje se očekuje da će postaviti standardne mogućnosti navedenih i ostalih tehnologija na novu razinu, slično kao što se dogodilo u 2000-tima s pojavom prvih pametnih telefona. Trenutne popularne tehnologije koje kombiniraju različite vizualno orijentirane digitalne medije i efekte u 2023. godini su: „AR (*augmented reality* ili proširena stvarnost), VR (*virtual reality* ili virtualna realnost) i MR (*mixed reality* ili mješovita realnost).



Slika 1. Prvi primjer pojavljivanja CGI tehnologije u filmu *Westworld* (1973.), Michael Crichton-a –

(Izvor: <https://www.youtube.com/watch?v=nILKFlpOZi0>)

2.3. Pregled video tehnologija

Današnji video kao medij ima ogroman obujam uporabe, svakodnevno je korišten u većini današnjih industrija kao zabavnoj, promotivnoj, informativnoj, kao i u edukacijske svrhe. Osnovna podjela videa kao tehnologije svodi se na digitalni i analogni. Analogni video danas se koristi neusporedivo manje u odnosu na digitalni video iako hobisti, razni umjetnici i profesionalci i dalje svakodnevno integriraju ovakvu vrstu video snimki u svoj rad, najčešće zbog staromodnog izgleda slike koji daje specifični vizualni doživljaj. Današnja tehnologija pruža mogućnost konverzije takvih vrsti snimaka s magnetskih i ostalih vrpca na digitalne medije za pohranu podataka kao što su razne vrste tvrdih diskova. Danas je najčešće u pitanju relativno brza flash memorija u obliku SSD-a (*solid state disc*) na koju se ovisno o kvaliteti

snimki i količini raspoložive memorije može pohraniti relativno velik broj digitalnih podataka odnosno video snimki. Današnji video medij reproducira odnosno gleda se na mnogo različitih vrsti naprava koje imaju integrirane ekrane u sebi:

- i. pametni telefoni
- ii. laptopi i kućna računala
- iii. tableti
- iv. teleskopi i mikroskopi
- v. uređaji u medicinskoj industriji
- vi. kamere i fotoaparati

Digitalne video snimke se mogu podijeliti na formate koji služe u svrhu reprodukcije istih na određenim uređajima i u najboljem slučaju gledano iz perspektive produkcije, unaprijed se dodjeljuju navedenom mediju specifično. Digitalne video snimke zapisuju se unutar kamere za snimanje i dostupne su u RAW formatu ili su već digitalno komprimirane unutar sofvera specifičnog uređaja. Video snimak nosi nekoliko određujućih karakteristika kao što su digitalni format, broj kadrova po sekundi vremena, kvaliteta kompresije, rezolucija, postojeći ili nepostojeći zvuk unutar snimke. Digitalni formati video snimki konstantno evoluiraju i mijenjaju se, prateći tako popratne uređaje na kojima se isti reproduciraju. Video formati sastoje se od kodeka (*codec*) i spremnika (*container*) te ih iz tog razloga ne određuje samo format, u usporedbi sa digitalnim slikovnim formatima koji su unaprijed određeni odabirom formata kao što je jpeg i slični. Spomenuti *codec* ili punim nazivom koder-dekoder, je algoritam koji je korišten za kodiranje video datoteke dok spremnikima ulogu digitalne kutije u koju su spremljeni video i prateći sadržaj [1]. Današnji digitalni video formati prvenstveno su razvijeni iz analognih. Najučestaliji digitalni formati za video medij u 2023. godini su:

- H.264/AVC - Ovaj kodek je veoma rasprostranjen i podržan na mnogim uređajima i platformama. Pruža visoku kvalitetu slike uz efikasnu kompresiju, što ga čini odličnim izborom za video streaming i online video sadržaj.
- H.265/HEVC - Nasljednik H.264, H.265 pruža bolju kompresiju uz istu kvalitetu slike ili bolju. To znači da možete dobiti manje datoteke pri istoj kvaliteti ili bolju kvalitetu pri istoj digitalnoj veličini datoteke. H.265 je posebno koristan za visokokvalitetni sadržaj poput 4K i 8K videa.

- VP9 - Razvijen od strane Google-a, VP9 je otvoreni i besplatni kodek koji pruža konkurentsku kompresiju i kvalitetu u odnosu na H.264 i H.265. VP9 se često koristi za streaming video sadržaja putem YouTube-a i drugih Google platformi.
- AV1 - Ovaj otvoreni i besplatni kodek je razvijen od strane Allianz for Open Media tvrtke, koja uključuje u svom okrilju tvrtke poput Google-a, Facebook-a, Apple-a i drugih. AV1 obećava još bolju kompresiju i kvalitetu u odnosu na prethodne kodeke, ali se još uvijek postepeno usvaja zbog potrebne hardverske podrške.
- MPEG-2 - Iako se više ne koristi tako često kao ranije, MPEG-2 je i dalje prisutan u određenim aplikacijama kao što su televizija visoke definicije (HD) i kod starijih DVD diskova.

Kvaliteta kompresije video snimki direktno korelira s količinom memorije koju specifična snimka zauzima i na taj način već predodređuje mogućnosti i nemogućnosti reprodukcije na određenim uređajima za reprodukciju istih. Nakon što je video ekstrahiran iz softvera za kreaciju istoga, njegova mogućnost gledanja odnosno reprodukcije uvjetovana je najviše s uređajima koji imaju u sebi integriranu neku vrstu ekrana. Danas postoji puno različitih vrsti ekrana i oni se razlikuju po tipu materijala i različitih vrsti slojeva od kojih su napravljeni ali su većinom povezani s jednom bitnom stavkom, a to je da su u posljednjih desetak godina bazirani na dugotrajnoj i energetske nisko utrošenoj LED (*Light Emitting Diode*) tehnologiji. LED dioda (*Light Emitting Diode*) je elektronički dio načinjen od poluvodiča koji emitira svjetlost kad kroz njega prolazi električna struja. Osnovna komponenta LED diode je čip od poluvodiča koji je postavljen na nosaču navedenog sustava. Slaganja i umrežavanje velikog broja LED dioda vodi do LED panela koji kad se nastave umrežavati jedan za drugog dobije se ekran ogromnih dimenzija i visoke rezolucije. Takvi LED ekrani se danas koriste i pojavljuju diljem svijeta, samo u Europi postoje već više od deset takvih studija koji iznajmljuju prostor za snimanje za gorostasne cijene. Ove godine u Las Vegasu-u, SAD-u je završena izgradnja dvorane za muzičke i zabavne događaje u obliku velike kugle omeđene sa 54,000 kubičnih metara najvećih LED panela na svijetu što je čini najvećim postojećim ekranom na svijetu [2]. Zbog razvijene softverske podrške video tehnologija današnjice ima velike mogućnosti kombinacije s ostalim medijima primjerice s dvodimenzionalnom i trodimenzionalnom animacijom ili samo s individualnim elementima od navedenog, fotografijom, ručno izrađenim i digitalnim grafikama, pa tako i drugim video snimkama istog medija. Razlog za kombinacijom navedenih različitih medija dolazi najčešće iz potrebe za efektivnijim i

direktnijim vizualnim obrazloženjem određene poruke ili doživljaja ovisno o projektu. Praktični dio ovog rada obuhvaća kompletan proces kombiniranja video snimke sa digitalnim 3D okruženjem.

2.3.1. Digitalna kamera

Fundamentalni alat za produkciju stvarnih video snimki je kamera. Digitalne kamere koje su danas u uporabi omogućavaju visoke performanse u smislu općenite kvalitete slike, osjetljivosti na vidljivi dio spektra, brzine operiranja zajedno s pratećim mnogobrojnim digitalnim funkcijama. Današnje kamere odlikuju se boljim mogućnostima snimanja u mračnim uvjetima uz pomoć tehnološki razvijenih optičkih senzora koji mogu digitalnom manipulacijom vizualnih informacija unutar promatranog kadra, relativno kvalitetno nadomjestiti nedostatak svjetla - više o sensorima nalazi se u poglavlju 2.3.2. Sistem profesionalne kamere sastoji se od nekoliko individualnih komponenti, a to su tijelo kamere, objektiv i prateći dodatci kao što su stativ, kućište s raznim dodatcima, blic i konstanto svjetlo i ostali mnogobrojni dodatci koji se koriste ovisno o potrebama scene koja se snima. U tijelu kamere uz bateriju nalazi se sustav čipova i mikročipova koji reproduciraju i spremaju vizualne informacije u obliku videa ili fotografije.

Pregled popularnih vrstiju kamera korištenih danas u razne svrhe uključujući i snimanje videa namijenjenog za implementacije u kompjuterski kreirano okruženje:

- Bez zrcalne kamere – je moderna kombinacija DSLR fotoaparata s video kamerom koja dostavlja odlične performanse s oba navedena medija, što ju čini praktičnom za profesionalce i hobiste koji koriste digitalnu fotografiju i video u sklopu svoga rada. Sa svojim velikim 35mm sensorima punog kadra mogu primiti puno svjetla tako da ih taj faktor čini efikasnim i u mračnijim uvjetima. Za praktični dio ovog diplomskog rada korištena je bez zrcalna kamera japanskog proizvođača Sony
- 360 stupnjeva kamere - ima mogućnost snimanja na način da u stvarnom vremenu uz pomoć specifičnih leća, senzora i brze reprodukcije promatranog okruženja spaja kadrove u jednu dvodimenzionalnu digitalnu video snimku ili fotografiju najčešće standardne pravokutne 16:9 rezolucije, a koja prikazuje svih 360 stupnjeva promatranog kadra.

- Akcijske kamere - kreira snimke visokih rezolucija iako je malih fizičkih dimenzija u usporedbi s ostalim kamerama na tržištu. Proizvedena da izdrži razna mehanička i ostala oštećenja, a svoju primjenu je našla unutar sportskih jurisdikcija što dovodi do globalnog naziva: „Action Camera“.
- Dron kamere – bespilotni kvadrokopter smanjenih dimenzija opremljen najčešće kvalitetnim sustavom kamera i stabilizatora istih, pruža mogućnost snimanja iz ptičje perspektive.
- Visoko budžetna kamera - je moderna kamera (Slika 2.) koja ima sve potrebne digitalne performanse slike dovedene na maksimalni nivo za produkciju visoke kvalitete video snimki često emitirane na platnima ili ekranima velikih formata.
- Kamere integrirane unutar pametnih telefona – važno ih je spomenuti zbog njihovih minijaturnih dimenzija ali i zbog visoke mogućnosti prilagodbe različitim svjetlosnim okruženjima i kvalitete produkcije fotografskih i video snimki iz istih uvjeta. Integrirane unutar uređaja lake mobilnosti i relativno velikih ekrana, na pametnim telefonima omogućena je reprodukcija snimaka u visokoj kvaliteti, i zbog brzih mogućnosti spajanja na sve postojeće digitalne komunikacijske i socijalne platforme istodobno, pridonosi visokoj uporabi ovih uređaja kao kamere i istodobno medija za pohranu spomenutih slikovnih informacija.



Slika 2. Tijelo bez zrcalne kamere Sony A7III

(Izvor: <https://www.sony.de/interchangeable-lens-cameras/products/ilce-7m3-body-kit>)

2.3.2. Objektivni kamere

Odabir objektiva vrlo je bitan korak u svakom projektu ove vrste. Objektiv je optičko mehanička naprava najčešće sastavljena od metalnog ili plastičnog nosivog tijela koje unutar sebe nosi složeni sustav konvergentnih ili konveksnih leći. Vanjski omotač objektiva najčešće obavijaju dva podešavajuća koluta koji služe za zumiranje odnosno povećavanje promatranog kadra i drugi za podešavanje fokusa. Objektivni se prepoznaju i razlikuju po različitim kombinacijama vrijednosti dvaju značajki odnosno:

- Žarišne duljine ili udaljenosti – fizikalna vrijednost koja je određena udaljenošću središta leće od žarišta. Žarište ili fokus (oznaka F) u geometrijskoj optici je točka kroz koju prolaze sve zrake svjetlosti što padaju na neki optički sustav paralelno s optičkom osi toga sustava [3].
- Otvoru blende - blenda fotoaparata igra ključnu ulogu u određivanju dubinske oštine slike. Otvor blende kontrolira količinu svjetla koja ulazi u objektiv i koja naknadno pada na senzor unutar tijela kamere. Manji otvor (veći f-stop) rezultira većom dubinskom oštrinom, gdje su objekti u različitim udaljenostima relativno oštri. Veći otvor (manji f-stop) stvara pliće dubinsko područje fokusa, s ostrim objektom i zamagljenom pozadinom. Razumijevanje ove veze omogućuje fotografima precizniju kontrolu nad naglaskom i kompozicijom svojih fotografija [4].

Objektivni u različitim oblicima koriste se kod fotografskih aparata, filmskih kamera, mikroskopa i refraktorskih teleskopa. Objektiv služi tijelu kamere u hvatanju i usmjeravanju svjetlosnih zraka s promatranog predmeta, koje su potom registrirane na fotoosjetljivoj površini odnosno optičkom senzoru tijela kamere kao što je opisano u sljedećem poglavlju (2.3.2. Optički senzori). Objektivni u prošlosti su bili mehanički dok su danas najviše zastupljene elektronske verzije koje omogućavaju kompleksnije ali istodobno prema korisnicima prilagođenije i lakše razine korištenja u kombinaciji s istovrsnim elektronskim tijelima kamere. Objektiv isto tako određuje vizualni doživljaj specifične scene i zato mijenjanjem različitih objektiva na istom tijelu kamere montiranom na statičnoj poziciji, postiže se različit izgled identičnog kadra. Objektivni koji su sastavljeni od sustava različitih vrsta leći integriranih unutar kućišta s podešavajućim kolutima za zumiranje i podešavanje fokusa razlikuju se po svojoj

žarišnoj duljini i kreću se od ekstremno širokih 6.5mm do fizički velikih teleobjektiva s žarišnom duljinom do 1200mm. Odabir objektiva najviše je određen o sceni koja se snima.

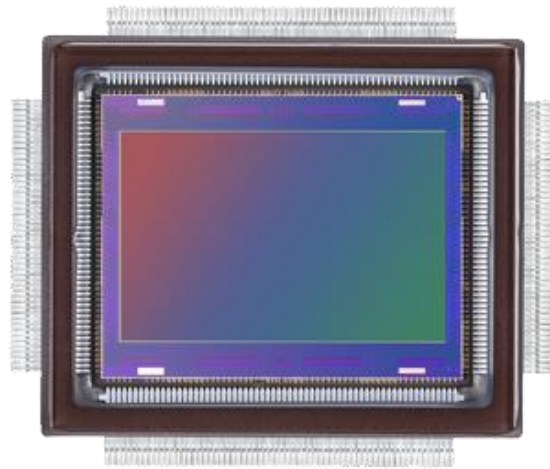
2.3.3. Optički senzori

Optički senzor ključni je dio u svakoj kameri, ekvivalent je ljudskom mozgu i funkcionira na sličan način u smislu prevođenja mnogih fotona promatranog kadra u skupove digitalnih informacija koji čine gotove slike koje se kao takve pohranjuju u internu ili eksternu memoriju ovisno o korištenom uređaju. Senzor se pojavio u tijelima digitalnih kamera krajem 20. stoljeća kao zamjena za dotadašnju fotoosjetljivu površinu odnosno filmske ili fotografske vrpce načinjene od srebrnog bromida koji bi prilikom osvjetljavanja selektivno na dijelovima gdje svjetlo pada kemijski reagirao i promijenio atomsku strukturu površine fotoosjetljivih vrpca. Uz pomoć razlike u osvjetljenom i neosvijetljenom dijelu filmskih i fotografskih vrpca dobije se vizualni prikaz promatranog kadra što je danas mimoideno uporabom elektronike ali u suštini fotoosjetljivost je ključni faktor na prošlim i današnjim površinama sa svrhom zapisivanja svjetlosnih informacija.

Foton se unutar optičkog senzora pretvara u analogni električni signal koji se obrađuje procesima uzrokovanja i kvantizacije. Naknadno se elektronski signal digitalizira s određenom specifičnom vrijednošću gdje zajedno s ostalim digitaliziranim signalima tvori skup zvan piksel. Srednja vrijednost spomenutih digitaliziranih signala određuje kako će konačna reprodukcija specifičnog piksela izgledati u smislu boja unutar vidljivog dijela elektromagnetskog spektra [5].

Optički senzor izrađen je od Silicija (Si), a s današnjim tehnološkim mogućnostima u moderni senzor relativno je lako integrirati velike količine fizičkih piksela. Nadovezujući se na to, uspoređujući senzore s početka 2000-tih s današnjim sensorima razlike u količini piksela razlikuju se u kritičnim razmjerima. Senzori su kao i ostali spomenuti uređaji i dijelovi, evoluirali eksponencijalno s vremenskim tokom. Primjerice kod većih omjera rezolucije senzora mogu skalirati do 3,2 giga piksela, kao što je senzor integriran unutar novoizgrađenog teleskopa na kalifornijskom opservatoriju Vera C. Rubin. Proporcionalno količini piksela unutar senzora vizualna količina digitalne informacija raste i producira sliku video kadra u visokoj rezoluciji odnosno otvara joj mogućnost kvalitetne reprodukcije na ekranima velikih

formata ili projektorima koji projiciraju na velika filmska ili posljednjih godina i na velike građevine što se događa sve učestalije diljem svijeta.



Slika 3. Moderni CMOS senzor - LI8020 proizveden od strane Japanske tvrtke Canon s integriranih 250 megapiksela

CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) senzori danas su najčešće korišteni senzori u produkciji modernih videa, zbog upotrebe manjih količina energije za rad dok istovremeno daju visoku kvalitetu i rezoluciju video snimke ili fotografije (Slika 3). CMOS senzori različitih proizvođača imaju različite načine digitalne reprodukcije pojedinačnih tonova što svaki individualni senzor čini prilagodljivim jednoj ili više različitih situacija specifično osvijetljenog kadra i naknadno njegovu svestranu vizualnu reprodukciju kao RAW snimke sa sadržanim velikim skupom vizualnih i ostalih informacija.

Stacked ili višeslojni CMOS senzor je relativno nova tehnologija zbog koje količina MP-a (mega piksel-a) više ne predstavlja granicu mogućnosti razvitka kvalitete u reprodukciji slikovnih informacija. Kako je više senzora naslaganih jedan na drugi, svaki dodani sloj senzora udvostručuje količinu piksela [6].

2.3.4. *Green Screen* tehnika

Chroma key pozadina – u regularnom govoru zvana *green screen* ili zeleno platno – korišteno je u filmskoj industriji još od 1930-ih za izolaciju i naknadno slaganje dviju ili više slojeva slika ili videa u jednu kompoziciju na filmskoj traci. *Chroma key* komponiranje je naziv koji se odnosi na tehniku korištenu za spajanje više slika ili videozapisa. Zeleno platno na široko se koristi u filmskoj produkciji i fotografiji kako bi se izolirao subjekt od pozadine tijekom post

produkcije. Ovaj postupak uključuje snimanje subjekta ispred jednoboje zelene ili plave pozadine i zatim zamjenu te pozadine drugom slikom ili snimkom tijekom post produkcije. Odabir plavog ili zelenog platna ovisi o osvjetljenju digitalne scene i o glumcima i rekvizitima unutar scene, jer ako je snimani subjekt obučen i izložen u toj istoj boji pozadine, algoritam za prepoznavanje unutar softvera za post produkciju video snimki teško će razaznati između ta dva tona. Više o ovoj problematici se nalazi u nastavku testa. Digitalno kreirane scene osvjetljene danjim svjetlom najčešće će biti snimljene na zelenom platnu dok se plavo platno koristi za scene s mračnijom atmosferom. Iako je osnovni cilj korištenja zelenog platna stvoriti bespriječni kompozit subjekta i nove pozadine, to također može utjecati na izolaciju drugih boja u sceni. Kada se snima pred zelenim platnom, cilj je imati samo jednu boju koja se jasno razlikuje od subjekta i objekata u prvom planu. Obično se odabire zelena boja jer je manje vjerojatno da će se podudarati s bojom odjeće subjekta ili njegovim tonom kože. Međutim, tijekom post produkcije, proces uklanjanja zelene pozadine može utjecati na druge boje prisutne u sceni, posebno one koje dijele slične nijanse sa zelenim platnom. Kod snimanja pred zelenim platnom često se javlja problem znan kao prelijevanje boje. To se događa kada se zelena boja sa zaslona reflektira na subjekt ili objekte ispred njega, to rezultira zelenkastim tonom na rubovima subjekta, što utječe na njegovu prirodnu boju. Iako alati za post produkciju mogu pomoći u smanjenju prelijevanja boje, to ga možda neće potpuno ukloniti, pa će biti potrebna neka korekcija boje (*color grading*) kako bi se obnovila prava boja subjekta.

Pravilno osvjetljenje ključno je pri snimanju pred zelenim platnom jer postava osvjetljenja koja se koristi za zeleno platno može stvarati sjene ili nejednako osvjetljenje na subjektu. Kada se ukloni zeleno platno, ti uvjeti osvjetljenja mogu utjecati na način na koji se percipiraju druge boje, budući da osvjetljenje utječe na način na koji se boje percipiraju u ljudskom mozgu. U nekim slučajevima kod osvjetljavanja zelenog platna, refleksija platna može se pojaviti na reflektirajućim površinama, poput stakla ili sjajnih predmeta, mijenjajući njihovu boju i čineći je zelenkastom. Kako bi se smanjio utjecaj zelenog platna na druge boje tijekom post produkcije, može se poduzeti nekoliko koraka:

- Pažljivo planirano osvjetljenje –zeleno platno se osvjetljava pravilno i ravnomjerno, subjekt i prvi plan se odvajaju mijenjanjem smjera emitiranja svjetlosti kako bi se smanjile pojave prelijevanja boje i nejednakog osvjetljenja.
- Odabir garderobe subjekta: Izbjegavanje odjeće koja se jako podudara s bojom zelenog platna. Potrebno je odabrati boje koje su u dobroj kontrastu sa zelenom. Prozirne tkanine

isto utječu na izljev zelene boje preko subjekta što se regulira upotrebom neprozirnih tkanina.

- Napredna postprodukcija: Iskusno korištenje softvera za postprodukciju i alata za korekciju boja može pomoći u smanjenju efekata prelijevanja boje i prilagodbi interakcije boja.
- Izbor boje platna: Iako je zelena često korištena, plava platna mogu biti alternativa. Uporaba plavog platna može imati drugačiji utjecaj na interakciju boja, pa odabir ovisi o bojama scene i subjektima.

2.3.5. Postprodukcijski softveri

Računalni Programi za render video projekta iz After Effects-a ili ostalih programa korištenih za post produkciju video snimki ponekad se nalaze integrirani unutar softvera. U slučaju Media Encodera koji se koristi na samom kraju praktičnog dijela rada, radi se o individualnom softveru koji služi za render video projekata koji stižu iz više Adobe-ovih softvera kao After Effects ili Premiere. Softverima za render općenita funkcija je da obrade i spoje dani video projekt i komprimiraju sve piksele unutar kadrova pa ih dodjele odabranom željenom video formatu. Unutar ovih softvera postoje različite funkcije za odabir raznih formata i njihovu danju kalibraciju. Odabiru se i vremenski raspon pa kvaliteta, postojanost i glasnoća zvuka i ostale važne postavke koje su sadržane unutar finalnog eksportiranog videa.

2.4. Tehnologije za izradu trodimenzionalnog okruženja

Ovaj rad se bavi problematikom kombiniranja CGI-a u obliku digitalnog okruženja s video snimkom, odnosno integracijom iste unutar digitalnog 3D prostora ili okruženja generiranog isključivo uporabom današnjih modernih računala i odgovarajućih programa. Kroz povijest postoji relativno mnogo primjera koji su uspješno realizirani korištenjem principa navedene tehnologije čije postojanje u digitalnom svijetu olakšava teorijski pristup i bolju razradu ka eksperimentalnom dijelu ovog radu.

2.4.1. Softveri za 3D modeliranje

Danas postoji relativno mnogo programa ili raznih vrsti aplikacija za 3D modeliranje i 3D

animiranje. Iako je puno funkcija i naredbi slično ili jednako u većini 3D programa, ipak pojedini softver bolje odgovara pojedinom području uporabe i namjene, ali i korisniku, kompaniji ili projektu. Ovisno o krajnjem rezultatu koji se želi dobiti potrebno je prilagoditi softver koji se koristi. U nastavku su nabrojani samo neki od mnogih, podijeljeni su prema sličnosti upotrebe:

- Blender - 3D softver koji je vrlo primjenjiv i u animacijama i izradi kraćih filmova, no ipak je najjači u izradi modela bilo statičnih bilo modela za video igre. Značajka koja ističe Blender je postupak rigging ili animacija kostura. Rigging je tehnika koja omogućuje izradu virtualnog kostura koji se nalazi unutar tijela objekta koji se želi animirati, što olakšava izradu realne animacije modela. Tehnika sculpting-a je tehnika koja je vrlo razrađena unutar Blendera te omogućuje izradu vrlo realnih modela. Sama tehnika podsjeća na izradu modela od gline u stvarnosti, no, zahtjeva veliku preciznost i koncentraciju. Jako važan podatak je da je Blender od svog početka 1994. godine ostao besplatan softver koji je moguće instalirati na doslovnoj većini kompjutera danas. Najveći manjak Blender softvera je komplicirano sučelje koje vodi do produženog vremena učenja i shvaćanja programa.
- Unreal Engine 5 – Unreal Engine je brzo evoluirajući softverski alat za 3D modeliranje, animaciju i proceduralno kreiranje modela i tekstura koji je razvila kompanija Epic Games i koristi se za kreiranje video igara, virtualne stvarnosti, simulacija, animacija i drugih interaktivnih projekata. Jedna od glavnih karakteristika Unreal Enginea je njegova sposobnost generiranja iznimno realističnih vizualnih efekata. Zahvaljujući naprednoj grafici i sposobnosti simulacije svjetla, materijala i dinamike, Unreal Engine omogućuje stvaranje uvjerljivih svjetlosnih efekata te iznimno detaljnih modela. Unreal Engine ima intuitivno korisničko sučelje koje olakšava rad razvojnim timovima. Pruža alate za modeliranje, animaciju, teksturiranje i programiranje, te omogućava suradnju između različitih stručnjaka kako bi se stvorili sveobuhvatni interaktivni sadržaji. Unreal Engine također podržava različite platforme poput PC-a, konzola, mobilnih uređaja te virtualne i proširene stvarnosti. Ovo omogućava razvoj iskustava koja su prilagođena različitim uređajima i ciljnim skupinama. Uz bogat ekosustav resursa, kao što su gotovi modeli, materijali i dodaci, Unreal Engine ubrzava razvojne procese i olakšava kreiranje visokokvalitetnih projekata. Sveukupno,

Unreal Engine predstavlja snažan alat za kreatore koji žele stvoriti impresivne interaktivne svjetove s realističnim vizualima i dinamičnim iskustvima.

- Maya - je alat koji se naširoko koristi u modernoj industriji filmskih i videoigara, a jedna od Mayinih najistaknutijih značajki je visokokvalitetno postavljanje tjelesnih mišića, koje vrlo vjerno simulira mišićnu masu ispod kože modeliranog lika. Budući da isti modeli izgledaju vrlo realistično čak i kada prikazuju bića iz znanstvene fantastike ili bajke. Maya ima sjajne mogućnosti 3D grafike, ali njezina su ciljana publika veliki studiji.
- 3Ds Max - Program je poznat po vještom prikazu dinamičkog pokreta u 3D okruženjima, kao i pokvalitetnim sjenkama i realističnoj obradi svjetla u prostoru. Kada se ove značajke kombiniraju s impresivnim sustavima renderiranja kao što su Corona i V-Ray, dobivamo izvrstan alat za vizualizaciju arhitekture. Stoga, osim u industriji filmova i videoigara, 3D Studio Max često koriste arhitekti i dizajneri interijera.
- Cinema 4D - prvenstveno je dizajniran kao alat za filmsku produkciju, ali se najčešće koristi u televizijskoj produkciji. Ono što je posebno kod Cinema 4D je to što je to daleko najlakši program za učenje i dobro se integrira s Body Paintom - njegova sposobnost prenošenja uvjerljivih i detaljnih tekstura na 3D modele čini ih veoma privlačnim na prvi pogled. No Body Paint je danas postao standard u 3D industriji, tako da ga ova značajka više ne izdvaja od ostalih softvera. Osim navedenog, Cinema 4D ima moćne značajke kao što je sustav koji simulira zakone fizike i beskonačnu mrežu renderiranja. [11]

Dodavanje tekstura je ključni aspekt procesa stvaranja vizualno bogatih 3D modela u svijetu računalne grafike. U 3D programima, teksture se koriste kako bi se površinama modela dodala dubina, detalji i vizualni realizam ili određeni vizualni stil specifičnog izgleda. Postoji niz različitih stilova teksturiranja koji se primjenjuju ovisno o specifičnom cilju projekta. Razumijevanje ovih stilova i njihova primjena ključna je stavka za postizanje željenog vizualnog izgleda.

Danas je jedan od najpoznatijih i najprimjenjivanih stilova teksturiranja foto-realizam, isti stil koji se pokušao rekreirati u eksperimentalnom dijelu ovog diplomskog rada. Ovim stilom se

prikazuju 3D modeli koji izgledaju gotovo neprimjetni ljudskom oku u usporedbi sa stvarnim objektima. Foto-realistične teksture obično se temelje na stvarnim fotografijama koje se prilagođavaju površinama modela. Ovaj stil je iznimno važan u filmskoj industriji i arhitektonskoj vizualizaciji gdje se zahtijeva precizna reprodukcija stvarnoga svijeta kao što je to prikazano u slici 4. S druge strane aspekta teksturiranja u 3D softverima, stil cel-shadinga prikazuje se u stilu nacrtanog animiranog filma. U navedenom stilu se koriste teksture koje imitiraju dvodimenzionalne ilustracije, stvarajući dojam da su 3D objekti poput ručnog crteža. Cel-shading se često koristi u filmovima, animiranim filmovima i video igrama kako bi se postigao specifičan stil i vizualni doživljaj [7].



Slika 4. Foto realistična scena kreirana u software-u Unreal Engine 5

(Izvor: <https://www.unrealengine.com/en-US/tech-blog/environment-artist-explains-how-he-created-near-photo-realistic-train-station-using-ue5>)

Proceduralno generirane teksture predstavljaju još jedan od popularnih stilova teksturiranja u današnjem dobu. Umjesto korištenja stvarnih fotografija, ovdje se koriste matematički algoritmi koje korisnik programa modificira kako bi se automatski generirale teksture. Ovaj stil omogućuje brže stvaranje velike količine repetitivnih i nerekativnih tekstura te je često korišten u video igrama gdje je potrebno generirati raznolika individualna 3D okruženja.

Nekonvencionalni apstraktni stilovi teksturiranja nude slobodu umjetnicima da eksperimentiraju s oblicima, bojama i teksturama. Ove vrste stilova često se koriste u umjetničkim projektima ili manjem broju video igara gdje je estetika bitnija od stvarnog prikaza. Iako svaki stil ima svoje prednosti i nedostatke, odabir stila teksturiranja ovisi o specifičnom projektu i željenom estetskom dojmu. Fotorealizam je većinski kompatibilan za projekte gdje se traži maksimalna autentičnost, dok su proceduralno generirane teksture korisne za bržu produkciju. Cel-shading i apstraktni stilovi omogućuju kreativnu interpretaciju specifičnog stila.

2.4.2. Virtualna 3D kamera

Jedan od najvažnijih alata potrebnih za izvedbu procesa opisanog u nazivu teme diplomskog rada je virtualna 3D kamera. Virtualna 3D kamera služi kako bi digitalnim putem replicirala i zapisala pokrete prave kamera korištene za snimanje određene video snimke. Zapis ovih pokreta i rotacija upotrebljava se u svrhu ujedinjavanja CGI scena s originalnom snimanom scenom. Ovaj alat postoji u mnogo različitih softvera uključujući i one korištene u praktičnom dijelu rada odnosno Adobe After Effects i Blender. Razlika unutar svakog individualnog softvera je ponuda funkcija ili parametara navedenog alata ili kompleksnost uporabe samog alata. Generalno je ustanovljeno da je tijekom posljednjih 15-ak godina ovaj alat najbolje automatiziran i prilagođen korisnicima unutar softvera After Effects i iz tog razloga isti je korišten u praktičnom dijelu ovog diplomskog rada. Važna je usporedba s korištenim Blenderom koji ima najkompliciraniju metodu unutar iste vrste alata. Navedena tvrdnja je još jedan od razloga za odabir After Effects-a prije Blender-a za ovaj dio procesa.

2.5. Integracija videa u kompjuterski generirano okruženje

Za izradu videa koji je izrađen kombiniranjem video snimki i kompjuterski generirane grafike potrebno je proći više različitih i individualnih koraka kako bi završni produkt bio uspješno izveden. Svaki korak je sastavljen od više pratećih koraka. Kronologija spomenutih koraka ovisi o specifičnom projektu i iz tog razloga uvijek varira, drugim riječima svakom projektu se drugačije pristupa ovisno o konceptu, tehnološkim mogućnostima i vremenskom roku za isporuku specifičnog projekta. Nakon pratećeg teorijskog razlaganja generalnog procesa kombinacije video snimki s kompjuterski generiranom grafikom, u eksperimentalnom dijelu ovaj generalizirani postupak je specijaliziran. Kronološki slijed procesa kombinacije i

integracije video snimki u trodimenzionalno okruženje podijeljen je na ukupno sedam osnovnih koraka:

1. koncipiranje ideje
2. storyboard
3. priprema opreme i seta
4. produkcija video snimki
5. postprodukcija video snimki
6. stvaranje 3d okruženja
7. integracija videa u 3d okruženje

Navedeni koraci su praćeni u procesu izvedbe i dokumentacije praktičnog dijela diplomskog rada. Važno je napomenuti da ovi i potencijalno dodani koraci i njihov redoslijed može varirati ovisno o projektu.

2.5.1. Pregled koncipiranja ideje

U prvom koraku integracije video snimki u 3d okruženje koncipira se generalna ideja projekta na osnovu zahtjeva klijenta ili ako se radi o slobodnom projektu autora, isti izvodi koncept svojevoljno ovisno o zamišljenoj ideji i namjeni navedenog projekta. Koncipiranje se može provesti u timu ljudi ili može biti provedeno od strane jedne osobe kao što je to slučaj u praktičnom dijelu ovog rada. Nakon koncipiranja ideje, bira se vizualni stil koji se želi postići i koji je moguće postići s obzirom na dano vrijeme i s obzirom na pristupačnost potrebne video opreme i računalnih programa. Za koncipiranje kvalitetnijih ideja potrebno je unaprijed znati ciljanu publiku kojoj će projekt biti ponuđen. Za bolje razumijevanje potrebne ciljane publike ka kojoj se neki projekt želi usmjeriti, potrebno je napraviti istraživanje koje se efikasno može izvesti preko informacija besplatno ponuđenih na internetu ili preko određenih pitanja s važnim parametrima povezanim za projekt koja se ponude direktno klijentu ili potencijalnoj ciljanoj publici. Na ovaj način se zaobilazi prazan hod tijekom naknadnih stadija procesa.

2.5.2. Pregled storyboard-a

Nakon koncipiranja ideje sljedeći korak do realizacije specifičnog projekta navedene tehnike je izrada storyboard-a koji je često stripovskog izražaja odnosno načina prikaza kadrova i kojim

se kronološki i pojednostavljenim vizualnim pristupom ilustrira određena priča i njen tijek radnje. Storyboard prikazuje radnju i sadržaj u slikovnim koracima i autorima omogućuje efektivan pregled razložene ideje što omogućuje mijenjanje priče i ostalih segmenata projekta u fazi planiranja. Mogućnost izmjena u storyboard-u važna je kako bi se naknadno izbjegao prazan hod i pojava kompliciranih tehničkih situacija koje usred procesa mogu oduzeti relativno velike količine vremena i tako direktno utjecati na financijske troškove projekta. Ovisno o projektu storyboard-ovi mogu biti jednostavni s minimalističkim pristupom ali ako se radi o projektu visokog budžeta koji iziskuje veliku količinu informacija i visoku razinu preciznosti u aspektu detalja, u tom slučaju se u storyboard ulaže puno više vremena i strpljivo se kalibriraju razni faktori dok se ne postigne potreban i tekući scenarij koji je moguće izvesti u zadanom roku i s dostupnim ljudskim i tehnološkim sredstvima.

Primjeri faktora koje je moguće integrirati u storyboard:

- Pozicije subjekata unutar kadra (glumci, rekviziti, interijer, eksterijer)
- Pomicanje subjekata i kamere
- Video oprema (kamera, objektiv, stabilizatori, uređaji za pomicanje kamere)
- Pozicija kamere
- Vrijeme snimanja
- Dijalog glumaca ili razne mimike

Danas kada je u pitanju poslovni projekt, i kada se storyboard dostavlja klijentu od strane profesionalnog studija ili individue, on preuzima oblik animatika (Slika 5.). Animatik je u svojoj suštini pokretni odnosno animirani storyboard koji prikazuje određene informacije i faktore iz storyboarda i uz to dodatno omogućuje vizualno puno bolji i jasniji prikaz ka finalnom video projektu. Animatici mogu biti uzastopno animirane skice nacrtane na digitalnom tabletu za crtanje ili mogu biti visoko detaljizirani digitalni crteži, zato je odabir kvalitete isporučenog animatika najčešće određen financijskim budžetom specifičnog projekta. Softver Blender koji je korišten za izradu 3D okruženja u eksperimentalnom dijelu ovog diplomskog rada je relativno nedavno integrirao u svoje sučelje alat nazvan Grease pencil. Na grease pencil se može gledati kao 2D digitalni crtači alat koji se koristi u 3D prostoru i na taj način sam postaje 3D alat s specifičnim 2D izgledom. Razvitak ovog alata uvelike je dodao evoluciji animatika jer se s njim može relativno brzo prikazati storyboard u 3D tehnici s

efikasnim izbjegavanjem nepravilne perspektive i ostalih faktora koji utječu na kvalitetan prikaz radnje unutar trodimenzionalne scene.



Slika 5. Prikaz iz animatika kreiranog od strane uspješnog engleskog studija za animaciju -
The Line Animation

(Izvor: <https://www.youtube.com/watch?v=6Vf1Lj0HzqU>)

2.5.3. Pregled priprema opreme i seta

Nakon izrade storyboard-a postavlja se filmski set na njegovoj osnovi. Filmski set je fizički prostor u kojem se odvija snimanje videa, po svojim prethodnim verzijama datira iz vremena antičke Grčke i pamt se u obliku prvog oblika kazališta. Set se može sastojati od različitih dijelova ovisno o projektu, a neki od osnovne opreme i pomagala koji se integriraju u filmske setove najčešće su:

- Kamera
- Izvori svjetlosti ili osvjetljenje
- Alati i pomagala za pomicanje kamera i svjetla
- Pozadine
- Rekviziti
- Sigurnosna oprema protiv požara i slično

Filmske setove potrebno je prilagoditi zadanoj vizualnoj ideologiji i scenografiji video projekta. Filmski setovi variraju u veličini i složenosti, prilagođavajući se potrebama različitih žanrova, vremenskih razdoblja i tematika. U nastavku su navedeni neki aspekti i neki od tipova filmskog seta:

- Eksterijerni Setovi: Ovi setovi repliciraju vanjske okoline kao što su ulice, krajolici, građevine i prirodni ambijenti. Izgradnja eksterijernih setova omogućuje filmskim tehničarima kontrolu nad svjetlom, i atmosferom, pružajući im na taj način veću slobodu u snimanju.
- Unutarnji Setovi: Setovi unutar nekog interijera obuhvaćaju unutarnje prostore poput kuća, ureda, restorana i drugih interijera. Izgradnja takvih setova omogućuje precizno postavljanje scenografije i rekvizita te kontrolu nad svim aspektima okruženja.
- Historijski Setovi: Za filmove postavljenih u prošla vremenska razdoblja, izgradnja historijskih setova ključna je za stvaranje autentičnosti. Ovi setovi zahtijevaju pažljivo istraživanje i detaljnu izradu kako bi se vjerno rekonstruirala arhitektura, kostimi i stilovi tog vremena.
- Zeleno i plavo platno (Green Screen) Setovi: Zeleni platno koristi se za snimanje scena koje će se kasnije digitalno nadograditi. Ovo omogućuje filmskim autorima da kreiraju virtualne svjetove i efekte koji se ne bi mogli postići na stvarnom setu.
- LED ekrani – Visoko budžetni ekrani koji se spajaju u ovalnom obliku na modularan način kako bi skoro u potpunosti okružili set za snimanje, isti su opisani u poglavlju 2.3. Na ekranima se reproducira željena pozadina koja je u stvarnom vremenu reflektirana na snimane subjekte unutar seta. Ova metoda zahtjeva enormno veliki budžet radi unajmljivanja ovakvog prostora s navedenim LED panelima, ali zato su uštedene velike količine resursa i vremena potrebnog za post produkciju. Drugim riječima unutar snimljene scene već postoje svi parametri koje je inače potrebno rekreirati i podešavati unutar softvera za post produkciju kao što je slučaj u praktičnom dijelu ovog diplomskog rada.
- Stvarni svijet - Filmski setovi zahtijevaju suradnju arhitekata, scenografa, dizajnera kostima, rekvizitera i mnogih drugih stručnjaka. Izrada filmskog seta zahtijeva pažljivo planiranje, preciznu konstrukciju i detaljan dizajn kako bi se postigla autentičnost i vizualna privlačnost. Kroz stvaranje filmskih setova, stvara se jedinstveni svijet koji

doprinosi dubini i autentičnosti filma.

Osvjetljenje oblikuje generalni izgled snimljenog kadra i postoji u prirodnom i umjetnom obliku. Manipulacijom svjetla se postiže vizualni doživljaj jednog kadra i daje se vizualna estetika uz pomoć različitih omjera svjetla i sjene, ovisno o specifičnoj ideji i željama klijenta ili samog autora. Osvjetljenje u ovom radu je prilagođeno onom iz video snimke s digitalnim osvjetljenjem unutar 3D softvera sa svrhom realističnog prikaza završne scene.

Aspekt Osvjetljenja: Osvjetljenje igra važnu ulogu u postizanju željene atmosfere unutar filmskog seta te naglašavanju detalja prisutnih u sceni. Konkretno, postoje tri temeljna tipa osvjetljenja:

- Ključno svjetlo: Glavni izvor svjetla koji oblikuje glumačke subjekte i rekvizite. Emitira se s odabrane strane scene kako bi se izazvale glavne sjene i istaknula tekstura unutar scene.
- Punilo svjetlo: Upotrebljava se kako bi se ublažile sjene stvorene ključnim svjetlom. Stavlja se sa suprotne strane od ključnog svjetla radi smanjivanja intenziteta sjena i ublažavanja kontrasta na subjektima.
- Stražnje svjetlo: Postavljeno iza objekata ili likova kako bi ih se odijelilo od pozadine, oblikujući sjene i naglašavajući konture.

Pažljivo kombiniranje odabranog osvjetljenja, pozadinskih elemenata te raznolikih položaja kamere, postiže se dubina i dinamika u sceni, stvarajući određeno emocionalno iskustvo.

Zaključno, filmska postavka zahtjeva studiozno planiranje i vještu implementaciju kako bi se postigao poželjan vizualni efekt. Osvjetljenje, pozadine i položaji kamere predstavljaju temeljne faktore koji združeni stvaraju filmsko iskustvo koje ostavlja neizbrisiv dojam na publiku.

2.5.4. Pregled video produkcije

Današnja produkcija video snimki ima široku primjenu. U ovom radu odabrana je jedna od branši opisana u nastavku poglavlja. U suvremenom svijetu, video snimanje postalo je kompleksno umjetničko i tehničko područje, posebno kada se radi o kombiniranju stvarnih glumačkih izvedbi s CGI (računalno generiranim slikama). Ovaj znanstveni tekst istražuje proces integracije CGI-a i glumačke izvedbe u video snimanju. Postizanje uvjerljive integracije

između stvarnih glumačkih izvedbi i CGI-a zahtijeva temeljito planiranje i usklađivanje. Glumačke izvedbe se snimaju u stvarnom okruženju, dok se CGI elementi stvaraju digitalno i kasnije se kombiniraju sa stvarnim snimkama. Snimanje se može izvoditi s različitim vrstama kamera. Bitno je imati na umu parametre koji će naknadno utjecati na vjerodostojnost i kvalitetu originalne snimke. U praktičnom dijelu rada ovaj proces je opisan kroz jedan od mogućih načina izvedbi.

Opremu korištenu tijekom snimanja potrebno je definirati unaprijed kako bi svaki komad opreme bio na određenom setu u određeno vrijeme.

2.5.5. Pregled postprodukcije video snimki

Post produkcija ili montaža neizostavan je proces kojim se „uređuju“ i prilagođavaju video snimke. Postprodukcija video materijala predstavlja ključni korak u stvaranju visokokvalitetnih video sadržaja. U praktičnom dijelu ovog diplomskog rada prolazi se kroz proces post produkcije, naglašavajući specifične softverske alate koji se koriste za montažu, dodavanje zvuka, dodavanje efekata i vizualnih poboljšanja. Montaža je proces povezivanja različitih video snimki kako bi se stvorila koherentna priča. Softverski alati za montažu omogućavaju redateljima i montažerima da organiziraju i povežu video segmente. Primjeri popularnih softverskih alata uključuju Adobe Premiere Pro, Final Cut Pro i DaVinci Resolve. Zvuk je ključni element video sadržaja, a uređivanje zvuka igra značajnu ulogu u stvaranju kvalitetne audiovizualne produkcije. Softveri za uređivanje zvuka omogućavaju kontrolu nad glazbom, dijalogom, zvučnim efektima i ambijentalnim zvukom. Alati kao što su Adobe Audition, Pro Tools i Audacity koriste se za precizno uređivanje i miksiranje zvuka.

Dodavanje Efekata i Vizualnih Poboljšanja: Vizualni efekti (VFX) dodaju dubinu i spektakularnost video sadržaju. Softverski alati za VFX omogućavaju stvaranje digitalnih efekata kao što su CGI likovi, eksplozije, supermoći i mnogi drugi fantastični scenariji. Adobe After Effects, Nuke i Blender su neki od alata za VFX. Korekcija boje igra ključnu ulogu u postizanju željenog estetskog izgleda video sadržaja. Softveri za korekciju boja omogućavaju finu prilagodbu svjetline, kontrasta, balansa bijele i drugih parametara boje. DaVinci Resolve, Adobe SpeedGrade i Colorista su često korišteni alati za korekciju boje.

Nakon završetka postprodukcije, video se priprema za distribuciju putem različitih medija. U ovoj fazi, video se komprimira i izvozi u različite formate kako bi se prilagodio različitim platformama i uređajima. Postprodukcija video materijala predstavlja ključni korak u stvaranju profesionalnih video sadržaja. Softverski alati igraju ključnu ulogu u olakšavanju tehničkih

procesa montaže, uređivanja zvuka, dodavanja efekata i korekcije boje. Kroz ovu fazu, video sadržaj dobiva svoj finalni oblik i priprema se za prezentaciju publici, čime se postiže ciljana vizualna i emocionalna reakcija gledatelja.

2.5.7. Pregled stvaranja 3D okruženja

Kreiranje trodimenzionalnih (3D) okruženja predstavlja tehnički složen i dinamičan proces koji spaja umjetnost, tehniku i tehnologiju. Prvi korak u kreiranju 3D okruženja je stvaranje konceptualnih skica i vizualnih referenci. Ovdje se postavlja temelj za dizajn svijeta, struktura i estetike. Sljedeći korak je modeliranje pri čijem procesu se radi na stvaranju 3D geometrijskih oblika koji čine objekte, strukture i krajolike u okruženju. To se postiže upotrebom specijaliziranih softverskih alata za modeliranje. Ovisno o vrsti okruženja, koriste se različite tehnike modeliranja poput poligonalnog, subdivizijskog i NURBS modeliranja. Dodavanje tekstura na modele pruža vizualnu dubinu i realističnost. Teksture uključuju površinske detalje poput boje, sjene, refleksije, transmisije i drugih svojstava svjetlosti i materijala. Tehnike poput UV mapiranja omogućuju pravilno preslikavanje tekstura na modele, što rezultira preciznim i detaljnim vizualnim efektima. Osnaživanje (rigging) je proces dodavanja digitalnih kostiju i zglobova modelima kako bi se omogućilo pokretanje i interakcija. To je ključno za animaciju likova i objekata. Animacija dodaje pokret i život u 3D okruženje. Animatori stvaraju pokrete, izraze lica i ponašanje kako bi objekti i likovi reagirali na svoje okruženje. Digitalno osvjetljenje uključuje postavljanje svjetlosnih izvora, stvaranje sjena i refleksija. Korištenje globalnog osvjetljenja omogućuje prirodno i realistično osvjetljenje u okruženju. Globalno osvjetljenje se postiže integracijom HDR (high dynamic range) fotografija snimanih i naknadno spojenih u 360 stupnjeva fotografiju koja nosi sve informacije svjetla iz snimane scene. U ovom radu osvjetljenje je jedno od ključnih čimbenika na generalnu uspješnost vizualne reprodukcije finalne snimke odnosno produkta kreiranog pri praktičnom dijelu rada. Rendering je proces pretvaranja 3D modela u 2D slike ili video snimke koristeći sofisticirane računalne algoritme.

Kreiranje 3D okruženja zahtijeva kombinaciju kreativnosti, umjetničkog izraza i tehnološke vještine. Ova proces omogućuje stvaranje dubokih, interaktivnih i realističnih svjetova koji imaju široku primjenu u raznim industrijama. Kroz pažljivo planiranje, dizajniranje i tehničku izvedbu, stvaratelji 3D okruženja oblikuju digitalne svjetove koji potiču maštu, pružaju iskustvo i omogućavaju nove oblike umjetničkog izraza.

2.5.8. Pregled integracije video snimki u 3D okruženje

Integracija stvarnog video materijala u trodimenzionalno (3D) okruženje postala je ključna u stvaranju autentičnih vizualnih iskustava u različitim industrijama poput filmske produkcije, videoigara i virtualne stvarnosti. U ovom radu istražuju se različiti tehnički aspekti, tehnike i primjene integracije video materijala u 3D okruženje te naglašava izazove koji se javljaju u tom procesu.

- *Tracking i Matchmoving*: Tehnika praćenja (tracking) omogućava precizno pozicioniranje 3D elemenata u odnosu na stvarni video materijal. Matchmoving osigurava da se virtualni objekti kreću u skladu s pokretima u stvarnom svijetu.
- *Rotoskopiranje*: Rotoskopiranje uključuje ručno iscrtavanje kontura objekata ili likova iz stvarnog video materijala. Ova tehnika omogućava precizno kreiranje maski za integraciju 3D elemenata.
- *Zeleni Ekran (Chroma Key)*: Zeleni ekran se često koristi kako bi se snimljeni likovi ili objekti odvojili od pozadine. Ova tehnika omogućava zamjenu pozadine 3D okruženjem.
- *Sjena i Refleksija*: Integracija zahtijeva usklađivanje sjena i refleksija 3D elemenata s okolinom stvarnog video materijala kako bi se postigao autentičan izgled.

Važno je napomenuti glavne vrste problematika i izazova koje se pojavljuju u navedenom procesu:

- *Skladnost u Osvjetljenju*: Ujednačavanje osvjetljenja između 3D elemenata i stvarnog materijala ključno je za postizanje koherentnog izgleda. Različiti izvori svjetla i tonovi mogu predstavljati izazov.
- *Perspektiva i dubina*: Integracija zahtijeva precizno postavljanje 3D elemenata kako bi se uskladili s perspektivom i dubinom stvarnog materijala.
- *Interakcija s likovima i objektima*: Ako 3D elementi moraju interagirati s glumcima ili objektima iz stvarnog materijala, potrebno je osigurati prirodne i uvjerljive reakcije.

Primjene integracije navedene tehnike konstantno se događaju unutar raznih profesija:

- Filmska Produkcija: U filmovima, integracija omogućava stvaranje nevjerojatnih vizualnih efekata, poput CGI likova koji se pojavljuju u stvarnom okruženju.
- Videoigre: Integracija video materijala omogućava stvaranje interaktivnih okruženja gdje igrači mogu komunicirati s 3D elementima iz stvarnog svijeta.
- Obrazovanje i Simulacije: Integracija se koristi za stvaranje realističnih obrazovnih sadržaja i simulacija, kao i za stvaranje virtualnih okruženja za trening.
- Marketing i Reklame: Integracija se koristi kako bi se proizvodi ili usluge predstavili na inovativan način, privlačeći pažnju ciljane publike.

Integracija stvarnog video materijala u 3D okruženje predstavlja složen proces koji zahtijeva tehničku vještinu i kreativnost. Kroz primjenu različitih tehnika i alata, autori postižu koherentnost između stvarnih i virtualnih elemenata, stvarajući jedinstvena i vizualno privlačna iskustva. Integriranje 3D svjetova i stvarnog video materijala postaje ključno za stvaranje suvremenih vizualnih sadržaja koji potiču maštu i emocije gledatelja.

3. PRAKTIČNI DIO

3.1. Metodologija

Ovaj dio rada navodi i opisuje sve procese potrebne za uspješnu integraciju video snimki unutar digitalnog 3D okruženja. Kao što je prethodno spomenuto, da bi se izradila ovakva vrsta video snimke neophodno je razviti ideju i kronologiju rada. S toga je oblikovanje ideje i koncepta snimanja biti polazišna točka eksperimentalnog dijela. Sljedeći korak je posvećen kreiranju stvarnoga seta na kojem će se odvijati snimanje videa. Računalni program koji se koristi za postprodukciju videa je Adobe After Effects, a za render istih je korišten Adobe Media Encoder, dok se za izradu 3D okruženja koristi Blender. Odluka za navedene programe je dovedena prema tehničkim karakteristikama kao i mogućnostima kompjutera korištenog za produkciju 3D okruženja i post produkciju video snimke i završnog videa. Računalni programi kao i postupci korišteni za postizanje krajnjeg rezultata objašnjeni su u kontekstu procesa izrade aplikacije, popraćeni teorijom i fotografijama postupaka.

Praktični dio obuhvaća koncipiranje, snimanje videa, kreiranje 3D okruženja i integraciju postproduciranog videa unutar 3D okruženja. Generalna ideja praktičnog rada je integrirati

snimljenu glumicu unutar nekoliko različitih digitalnih 3D scena preko kojih bi se vizualnim putem potvrdila uspješno spajanje stvarnog i nestvarnog odnosno spajanje snimke stvarnosti sa snimkom koja je kreirana digitalnim putem. 3D scene u kojima će se pojavljivati glumica su detaljnije opisane u poglavlju 3.2.

Iako trenutno ne postoji standardizirano mjerilo kvalitete za ocjenjivanje različitih medija koji nose u sebi spoj video snimki i 3d ili 2d kompjuterski generiranih grafika, zato postoje razni fizički zakoni koje je potrebno zadovoljiti kako bi se finalni video „prodao“ kao realan ili drugim riječima tehnički i kvalitetno prihvatljiv produkt.

Cilj eksperimentalnog dijela rada je digitalnim sredstvima spojiti dva navedena digitalna medija u jedan medij uz to poštujući spomenute zakone fizike da bi se s tom vizualno manipulativnom tehnikom koncentracija gledatelja usredotočila na radnju više nego na kritičko razmišljanje mozga gdje on automatski traži neusklađene faktore po principu usporedbe sa stvarnim svijetom. Opće je poznato da je ljudski mozak savršen alat za pronalaženje neusklađenosti i ostalih vizualnih promaka unutar fotografija i video snimki.

3.2. Konceptcija i plan izvedbe procesa

U početnom koraku praktičnog dijela razvijena je ideja videa odnosno u ovom slučaju određena je vizualna smjernica u smjeru foto realizma unutar fantazivnih scena. Video izrađen u ovom diplomskom radu striktno je estetske prirode i nema neku određenu radnju ili priču, štoviše više se upliće u generalnu uspješnost i tehničke mogućnosti spajanja 3D animacije i modela s video snimkom unutar nisko budžetnog studija. Iz navedenih razloga finalni video je određen kao kompozicija više znanstveno fantastičnih scena koja se odvija na izmišljenim lokacijama sa stvarnom glumicom integriranom u scenu. Finalna kompozicija videa planirana je u minimalnom i maksimalnom vremenskom razmaku od 20-30 sekundi. Kompozicija finalnog videa će se sastojati od dva navedena medija:

1. Jedne video snimke glumice snimljene ispred green screen pozadine, gdje se naknadno uklanja pozadina i izolira što dovodi do video medija s praznom odnosno transparentnom pozadinom
2. Više različitih digitalnih trodimenzionalnih okruženja kreiranih u softveru blender i render-ani u finalni format video snimke.

Koncipirano je da su kroz finalni video reproducirani prethodno navedeni video medij 1. koji je ukomponiran s istom ali neobrađenom video snimkom i sa render-anim 3D video scenama. Finalni video prikazuje glumicu kroz određeni konzistentan vremenski tok u kojem se jedino pozadina i *color grading* na glumici mijenjaju tijekom vremena.

Kronološkim slijedom pojavljivanja ili reprodukcije u finalnom videu, navedene su jedna video snimka snimana kamerom i ostale digitalne scene koncipirane u Blender-u za ulogu 3D okruženja, sve korištene kao pozadina subjektu odnosno glumici:

- Originalna snimka – Iz koje se izolirala glumica ali u ovom slučaju korištena je kao pozadina dok se subjekt iz post produciranog videa dupla ali zbog identičnog vremenskog toka kadrova ne primjećuje.
- 3D scena rekreiranog seta – kreirana je kopiranjem pozicija poda i osvjetljenja sa pravog seta u svrhu minimalističkog prikaza tehnike integracije video snimke u 3D okruženje. Ovim vizualnim pristupom skupa sa integriranom snimkom glumice, olakšan je prikaz ideologije ovog diplomskog rada, drugim riječima primjećuju se identični pomaci kamere, ista svjetla i sjene na 3D pozadina kao što je tako i u originalnoj video snimci.
- Šahovnica – Glumica je planski integrirana u scenu sa povećanim prikazom animirane šahovnice koja istovremeno tvori podnu plohu, a pojavljuje se s prividom lebdenja u zraku dok se figure šahovnice animirano pomiču po XYZ prostoru odnosno lete. Figure se naknadno pozicioniraju u šahovske poteze s pravilom da ne interferiraju negativno s glumicom i na taj način negativno utječu na iluziju spajanja dva medija.
- Znanstveno fantastična scena – Glumica će se pojavljivati na pozadini reproduciranoj u obliku nepostojeće planete. U ovoj sceni podna podloga je zamišljena kao reflektirajuća podloga kako bi se dodao još jedan aspekt realističnog spoja dvaju medija. Dodatno su animirani 3D modeli s materijalom stakla kako bi se u njima postigla reprodukcija refleksija unutar cijele scene i s tim načinom je iskorišten odnosno kopiran još jedan slučaj stvarnosti što gradi pozitivan utjecaj na ideologiju foto realizma.

U sceni glumica ima interakciju s navedenim 3D okolinama na više različitih načina kao što su određeni izvori svjetla i sjene orijentacijski omjeri između glumice, kamere i okoline.

3.3. Priprema seta

Ključni dio snimanog videa je snimiti subjekt u sceni iz koje ga je naknadno u postprodukciji relativno lako izolirati što direktno sugerira na odabir green screen-a kao pozadine i kao jednog od najboljih i najefektivnijeg rješenja unutar nisko budžetne produkcije. Korišten green screen je papirnati materijal u roli širine 2,8 metara. Green Screen je obostrano statično podešen na dva metalna studijska stalka uz pomoć kojih je podignut na maksimalnu visinu prostorije od 2,7 m i to iz razloga da bi prekrilo što veći dio prostorije u kojoj se odvija snimanje kao što je prikazano na slici 7. Green screen je povučen i po podnoj površini jer će u nekim scenama subjekt odnosno glumica biti kompletno vidljiva. Prostorija u kojoj se snima dimenzija je cca 12 m² i spaja se na drugu prostoriju preko otvorenih vratnica. Zbog relativno malo mjesta s obzirom na ostatak potrebne opreme na setu navedene vratnice su savršeni prolaz za kameru kako bi kamera mogla biti dovoljno udaljena i da bi subjekt mogao biti kompletno prikazan u sceni. Zbog željene nježnije refleksije svjetlosti i zbog materijala papirnate pozadine koji to omogućuje, nakon što se green screen povuče do željene lokacije na podnoj površini s istim se pokušava postići blagi ovalni prijelaz na kutu gdje vertikalni dio pozadine prelazi u horizontalni. Nakon pozicioniranja green screen-a na stalcima i prevlačenja podne površine s istim, rubovi platna se lijepe s ljepljivom trakom za pod kako bi se statično pozicioniralo platno po podu i izbjeglo na taj način njegovo pomicanje. U slučaju pomicanja platna na jednom dijelu vrlo je moguće da će utjecati na pomicanje kompletne pozadine zbog njene uniformnosti. Ti putujući valovi uzrokovani nekom vrstom pomaka vrlo lako ruše stabilnost refleksije i stvaraju sjene po površini green screen-a što direktno ruši efikasnost pozadine i potencijalno stvara problematiku u post produkciji snimljenog videa.



Slika 7. Uspješno postavljena green screen pozadina

Dodatno na pozadinu se postavljaju vrlo važne markacije (Slika 7.) koje se koriste da bi se preko njih odradilo automatizirano trodimenzionalno praćenje kamere unutar 3D softvera, jer sama zelena pozadina je neutralna u ovom aspektu i nema na sebi neku vrstu kontrasta u aspektu boja ili svjetla i sjene na što bi se alati za praćenje odnosno tracker-i digitalnim putem mogli prikazati. Ove markacije su najčešće u obliku slova ili znaka X, najviše zbog jakih kontura kuteva u samom obliku, ali i jakog kontrasta kad je odabrana odgovarajuća boja na odnosu na zeleno platno. Za samu markaciju (Slika 8.) korištena je standardna krep traka koja je nalijepljena direktno na pozadinu na različitim lokacijama po vertikalnoj i podnoj pozadinskoj površini tako da u slučaju nekolicine njih koje budu prekrivene snimanim subjektom u jednom trenutku druge se i dalje pojavljuju u kadru što je bitan faktor za uspješnu funkcionalnost digitalnog alata za praćenje kamere.



Slika 8. Markacija za 3D camera tracking

Nakon postavljanja pozadine dodaju se svjetla na pozicije isplanirane tijekom koncipiranja ideje i snimanja. Korištena su 3 tipa izvora svjetlosti:

1. LED reflektor – ukupno dva komada
2. LED panel – ukupno dva komada
3. Halogeni reflektor – ukupno dva komada

Prvo su postavljena dva LED panela u kombinaciji s dva halogena reflektora kako bi se uspješno osvijetlila zelena pozadina i kako bi se na taj način zasigurno izbjegle komplikacije u izoliranju subjekta iz pozadine tijekom postprodukcije. LED paneli marke Neewer, snage 50W su postavljeni na jedan metar od pozadine emitirajući svjetlost prema pozadini pod kutem od 45 stupnjeva na visini od jednog metra kako bi osvijetlili donji dio vertikalnog dijela pozadine. LED paneli imaju metalna krilca na rubovima oko dioda sa sve četiri strane koja služe za bolju usmjerenost svjetla. Krilca s gornje i donje stranice panela su otvorena maksimalno odnosno pod kutem od 150 stupnjeva tako da sa svjetlom prekriju što veći segment vertikalne strane Green screen pozadine. Dok je krilo sa vanjskih strana lijevog i desnog panela podešeno okomito na rub pozadine tako nisu bez-potrebno osvijetljeni dijelovi van seta i ujedno se ukupni intenzitet svjetlosti upotrebljava samo na emitiranje na pozadinu. Jedan LED panel je postavljen s desne strane pozadine, a drugi je postavljen na lijevoj strani pozadine na način da

se njihova emitirajuća svjetlost dodiruje po sredini platna i kreira konzistentnu osvjetljenost. Istom orijentacijom i pozicijom kako su postavljeni LED paneli samo pola metra iznad njih su postavljene halogene žarulje nepoznatog kineskog proizvođača snage 30W kako bi na identičan način osvijetlili gornji dio vertikalnog dijela pozadine. Halogene žarulje su opremljene s dodatnim modifikatorima svjetla odnosno softbox-evima koji istovremeno smanjuju intenzitet izvora svjetlosti, ali zato konzistentnije i mekše raspoređuju tu svjetlost na podlogu na koju pada. Softboxev-i koji se nalaze na halogenim žaruljama su poprilično malih dimenzija ali s obzirom na izlaznu snagu svjetlosti od 25W čini ih za taj tip halogenih žarulja dovoljno efikasima kao što je vidljivo na slici 9. Prethodno navedena četiri svjetla služe striktno za osvjetljenje zelenog platna i što manje njihove refleksije pada na snimani subjekt, to je bolje i detaljnije izraženo svjetlo koje služi za osvjetljenje subjekta.



Slika 9. Uspješno osvijetljeni vertikalni segment pozadine

Platno na podnoj površini je osvijetljeno s istim LED reflektorom s kojim se emitira ključno svjetlo na subjektu odnosno glumici. Svjetlo je proizvedeno od kineske firme Godox i sadrži snagu od 150W što je dovoljno jak intenzitet za ovakvu vrstu produkcije. Ovo svjetlo postavljeno je uz lijevu stranu platna, točno uz ostala dva prethodno navedena svjetla koji osvijetljavaju lijevu stranu pozadine. Svjetlo je dodatno opremljeno modifikatorom svjetla

ovalnog oblika koji je namjenjen za osvjetljavanje nepravilnih površina kao što je ljudsko lice i tijelo, kao što je to slučaj u ovom radu.

Zbog svoje mase ključno svjetlo tvorilo je preveliko opterećenje na noseći stativ tako da je stativ bio u disbalansu, što je poprilično opasno za svjetlo, a i otvara relativno veliku mogućnost požara u slučaju pada svjetla na papirnate i drvene površine na podnoj podlozi. Spomenuto neuravnoteženo svjetlo je stabilizirano uz pomoć dodatne noseće šipke većeg obujma i općenito veće fizičke čvrstoće naspram postojećeg stativa. Ta je šipka montirana uzduž cijele vertikalne dužine nosećeg stativa s dodirnom točkom na podu po sredini između tri noseće noge stativa kao što se to može vidjeti na slici 10. S montiranim i upaljenim ključnim svjetlom osvijetljena je podna površina odnosno donji dio Green screen pozadine. Svih pet svjetala su podešena na bijelu svjetlost odnosno 5000 kelvina. U slučaju postizanja specifične atmosfere scene s različitim tonovima svjetla u svrhu kako bi se lakše povezala snimana scena s umjetnom 3D scenom pojavljuje se tehnički problem jer samo LED paneli imaju opciju mijenjanja topline i tona emitirane svjetlosti.



Slika 10. Set s dodanim ključnim svjetlom sa lijeve strane seta

Još jedan od bitnih problema za navesti je taj da snimanjem u prostorijama malih dimenzija u kojima se nalaze i drugi objekti kao police i druge stvari utječe da nakon paljenja kompletnog osvjetljenja dolazi do raspršivanja neželjenih boja s navedenih objekata na snimani subjekt ili glumca. Takvo raspršivanje ne predstavlja veliki problem jer se može reducirati ili potpuno ukloniti unutar post produkcijskog softvera za video odnosno Adobe After Effects-a, ali ako to

raspršivanje utječe na mjestimično mjenjanje tonova na green screen pozadini, to znači da će efektivnost ove podloge biti uvelike smanjeno. Jedno od lakših rješenja za ovaj tip problema je da se neželjeni objekti unutar seta uklone van seta ili ako ne postoji mogućnost za njihovim uklanjanjem potrebno ih je prekriti nekom vrstom prevlake ili pokrivača u neutralnoj boji koja bi u ovom slučaju bila zelena, bijela ili crna. U odabiru jedne od triju navedenih boja za prekrivanje nepotrebnih reflektanata neželjenih refleksija boja ili njihovih izljeva na setu odlučuje se na temelju dodatne količine svjetlosti koja se želi ili ne želi integrirati u setu. Time će bijela prekrivna boja reflektirati više svjetlosti od zelene dok će crna smanjiti općenitu količinu svjetlosti cijeloga seta s apsorpcijom cijelog vidljivog dijela elektromagnetskog spektra. Nakon testiranja pozicioniranog svjetla primijećen je generalni manjak osvjetljenja u sceni tako da je dodan još jedan Godox reflektor sa 150W snage svjetlosnog toka pozicioniranog na suprotnu stranu od ključnog svjetla u ulozi punivog svjetla. Ovaj reflektor pozicioniran je s izvorom emitirane svjetlosti usmjerenim direktno na subjekt čime su postignute sjene s obje strane subjekta referirajući se i na ključno svjetlo u ovom aspektu. Spomenuti manjak osvjetljenja stvara problematiku pri kasnijoj post produkciji jer se u nekim kadrovima subjekt miješa s pozadinom i softver ne može razabrati jedno od drugoga.

Pregled snimki nakon produkcije videa ukazao je na nedostatak kontrasta za uspješno izvođenje funkcija *3D Camera Tracker*-a. Markacije za praćenje pokreta kamere prelijepjene su novima odnosno crnim duct tape-om (širine 5cm) tako da ih algoritam unutar post produkcijskog softvera After Effects lakše identificira. Problem prejake refleksije svjetla na nove markacije za praćenje pokreta smanjene su pomoću naknadno navedenih (vidi poglavlje 3.4) digitalnih stabilizatora odnosno efekata u navedenom softveru.

3.4. Video produkcija

S pripremljenim video setom omogućen je proces snimanja odnosno produkcija video snimke. Korišteno tijelo kamere za ovaj proces je digitalni bez-zrcalni aparat A7III japanskog proizvođača Sony iz 2018. godine. Navedena kamera ili fotoaparatus težu ukupno 650 grama, a u kombinaciji s njom korišten je objektiv manje mase zbog lakšeg manevriranja tijekom snimanja rukom. Navedeni objektiv proizveden je od iste firme kao i tijelo kamere, a njegove karakteristike su žarišna duljina od 35mm i maksimalni otvor blende od f 1.8. Zbog mogućnosti pozamašnog maksimalnog otvora blende ovakav tip objektiva se naziva „brzim“ jer ima kapacitet velikog upada svjetlosti što čini cijeli proces reprodukcije svjetlosne informacije

efikasnijim. Prije početka snimanja potrebno je podesiti postavke kamere i testirati ih direktno na setu skupa sa subjektom u svrhu postizanja željenog vizualnog izgleda snimanog kadra. Određene su stavke kao pozicije subjekta, putanja pomicanja, smjer svjetlosti i intenzitet ključnog svjetla. Kamera je podešena tijekom procesa testiranja koji se odvija prije snimanja, ali je dodatno kalibrirana tijekom procesa produkcije skupa s intenzitetom ključnog svjetla, jer su neke scene snimane iz veće udaljenosti, a neke iz manje što utječe na vidljivost detalja ili razliku u svjetlosti uzrokovanu prelaskom modela iz tamnijeg dijela u svjetliji dio seta. Ove stavke se reguliraju navedenim dodatnim ažuriranjem u svrhu postizanja željenog izgleda scene, iako je važno navesti da su promjene minimalne tako da ih nije potrebno dodatno opisivati.

Globalni je standard i vizualno najprihvatljiviji i najefikasniji omjer u većini individualnih situacija da se u postavkama kamere brzina okidača postavi na duplu vrijednost od snimanih kadrova po sekundi. Za snimanje u sklopu praktičnog dijela unutar izbornika kamere odabrano je 30 kadrova po sekundi ili fps-a (frames per second) tako da je brzina okidača dupla odnosno 1/60 kao što je vidljivo na slici 9. U slučaju da postoje brzi pomaci subjekta ili brzi pomaci kamere unutar scene, podiže se brzina okidača tako da se smanji motion blur ili zamućenje unutar scene uzrokovano navedenim pokretom odnosno vizualna deformacija koja direktno šteti reprodukciji zelene boja sa pozadine i samim time negativno utječe na proces post produkcije. Odabranih 30 fps-a (29,97fps) je određeno na temelju bolje reprodukcije snimaka na socijalnim mrežama gdje većina produciranih videa i završi. Samih 30fps je konstatirano i definirano od strane Instagram, Tik Tok i ostalih većih socijalnih aplikacija na račun njihove dodatne kompresije svog medijalnog sadržaja koji se šalje na njihovu platformu [8]. Navedena vrsta kompresije direktno utječe na kvalitetu sadržaja i na taj faktor se utječe tako da se snima i kasnije izvodi render video medija u najvišim mogućim postavkama u aspektu kvalitete kako bi se ponudio što veći izvorni podatak na automatizirani proces kompresije. Za veću kvalitetu snimke odabrana je maksimalna moguća rezolucija unutar korištene kamere odnosno 4K ili u pikselnoj vrijednosti 3840x2160 piksela.

Otvor blende je postavljen na F2.2 iz razloga vizualno atraktivnijeg zamućenja segmenata lica glumice snimano iz manje udaljenosti dok se s veće udaljenosti markacije za 3D praćenje, kamere i dalje očituju. Snimke iz neposredne blizine imaju zamućene markacije za praćenje ali radi činjenice da je većina kadra prekrivena subjektom, subjekt će biti izoliran na drugi način iz pozadine kao što je automatsko maskiranje uz pomoć Rotoscope alata unutar After Effects softvera gdje se navedene markacije ne koriste. Ali važno je da u sklopu ovog seta pri navedenoj situaciji emisija zelenog tona s pozadine direktno utječe na kvalitetu algoritma

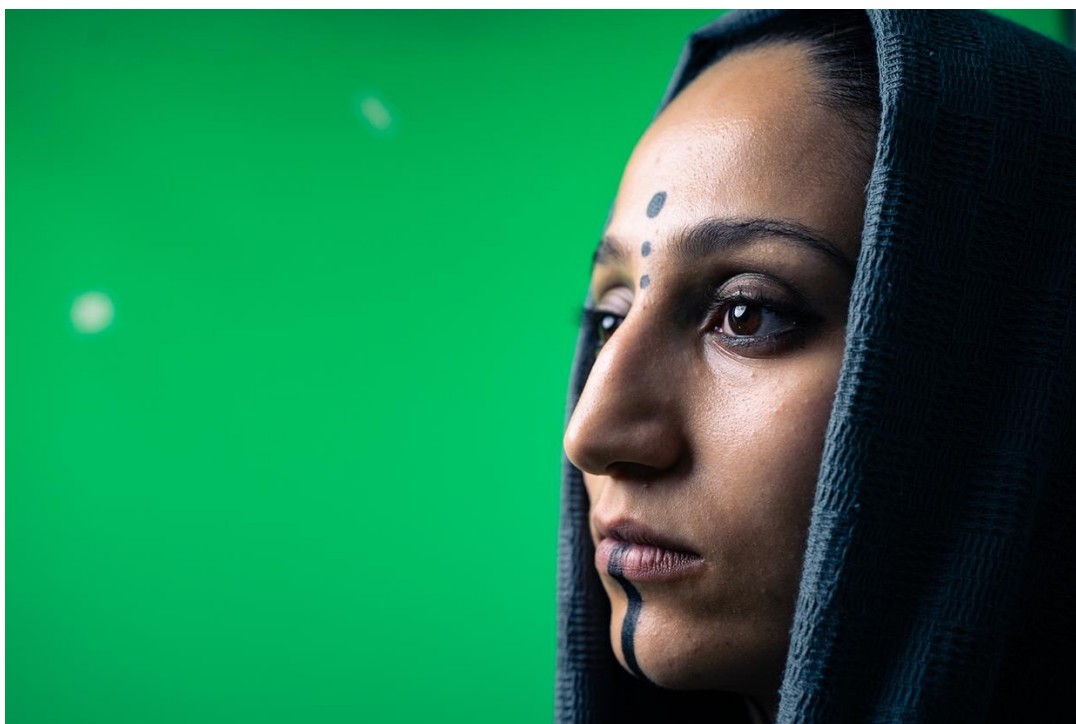
unutar Rotoscope alata koji raspoznaje elemente i automatski maskira slične tonove na račun korisnikovog odabira. ISO ili postavka osjetljivosti senzora ažurirana je na vrijednost 100 zbog omjera s drugim korelirajućim postavkama u svrhu postizanja željenog izgleda kadra, a istovremeno i zbog važnog faktora koji se odnosi na ovu izvorno digitalnu postavku iz aspekta u kojem ona u sustavu svake digitalne kamere direktno utječe na kvalitetu fotografija ili video snimaka. Taj utjecaj očituje se kreacijom digitalnog šuma koji se vizualno reproducira u obliku svjetlošću zasićenih piksela. Broj spomenutih piksela direktno je povezan s ISO postavkama, što znači da veća vrijednost ISO-a pridonosi pojavi većeg intenziteta šuma dok manja vrijednost djeluje suprotno na svaku snimanu scenu. Iz navedenog razloga odabrana je minimalna vrijednost ISO postavke kako bi se postigao maksimalan kvaliteta odnosno producirana video snimka s minimalnim ili ne postojećim digitalnim šumom [9].

Kod novijih generacija Sony-jevih kamera isto kao i kod primjerka korištenom u ovom radu, auto fokus je doveden na visok nivo i smatra se najbržim fokusom u skupini bez zrcalnih kamera. Iz navedenog razloga fokus je postavljen na automatski AF-C odnosno Auto Focus – Continuous gdje zadnja riječ predstavlja neprekidno refokusiranje tijekom protoka vremena. Zbog efikasnog fokusa integriranog u tijelo kamere fokusna točka je namještena na široku opciju gdje se prate pomaci i promjene u cijelom kadru kako bi pronašla aktivna površina fokusa uz pomoć navedene AF-C funkcije. White balans je postavljen na „Daylight“ jer se prateća 3D scena većinu vremena odvija u digitalnoj imitaciji vanjskog okruženja. Isto tako boje prikaza najviše odgovaraju onima iz stvarnosti tako da je manipulacija njima u post produkciji pogodnija korisniku potrebnih digitalnih alata. Finalna kombinacija svih spomenutih postavki vidljiva je na slici 11.



Slika 11. Prikaz finalnih postavki na kameri Sony A7III

Za snimanje je određena jedna uloga za koju je odabrana glumica kao glavni subjekt videa. Nakon postavke kamere komunicira se s glumicom u svrhu boljeg razumijevanja plana snimanja i istodobno iz važnog psihološkog aspekta u kojem se snimatelj i glumica u idealnom slučaju mentalno opuštaju i efikasnije prolaze zajedno kroz proces snimanja što dovodi do autentičnijeg izgleda i doživljaja scena što je još jedan od naknadno navedenih detalja unutar ovog poglavlja, koji utječu na povećanu razinu realističnosti završne scene pri praktičnom dijelu ovog diplomskog rada. Jer općenito gledajući kad je glumac mentalno i prateći tome, fizički opušten cijela produkcija je olakšana i istodobno video snimci izgledaju bolje i autentičnije kao što je to vidljivo na slici 12.



Slika 12. Prikaz glumice u na setu

Kao prethodno navedeno u ovom poglavlju, tijekom snimanja odabrano je pomicanje kamere ručnom metodom jer se uz takve vrste nepredvidivih i kaotičnih mikro pomaka postiže dodatan aspekt realizma unutar umjetnih scena. Svaki mali detalj na koji se može utjecati u sklopu svijetla-sjene, perspektive, različitih pomaka, gravitacije i ostalih ljudskom oku vidljivih fizičkih zakona koji su vidljivi unutar specifične scene uvelike pridonosi ovakvim vrstama projekta jer zavarava ljudsko oko kroz više različitih faktora u isto vrijeme i na taj način pridonosi foto realističnom izgledu i doživljaju. Prethodno navedeni ručni pomaci kamere su ublaženi zbog ugrađenih stabilizatora unutar kamere a ujedno i objektivu. Ovi stabilizatori čine grube trzaje i pomake kamere slabijima što direktno čini video snimak ugodniji za gledanje. Funkcija navedenih stabilizatora se uključuje ili isključuje unutar izbornika kamere i naziva se SteadyShot. U svojoj suštini SteadyShot funkcija reže rubove kadra za 1.1 puta i na taj način oslobađa senzoru više prostora za pomicanje i na taj način postiže stabilizaciju kadra [10]. Istim tim pomicanjem senzora ali aktiviranim od različite funkcije od prethodno navedene, može se reducirati prašina ili ostale čestice koje padaju na senzor i tako stvaraju neželjene mrlje na stvorenom video mediju. Sa svim definiranim i navedenim postavkama tijekom ovog poglavlja otvoren je prostor za produkciju željenih video snimki. Tijekom snimanja snimatelj drži subjekt manualno u grubom centru kadra i uz pomicanje hoda i ručnim udaljavanjem kamere prema i od subjekta stvara pomake kamere koji se prate u After Effects softveru i kopiraju se u

3D softver Blender. Zbog malog broja kadrova koji se izmjenjuju u snimanom vremenu snimatelj se tijekom snimanja pomiče kontroliranim pokretima tijela kako bi se izbjeglo prethodno navedeno zamućenje pokreta i kako bi pomoci ostali blagi i minimalni. Zbog ljudske mogućnosti kombinacije mnogih različitih individualnih vrsta pokreta i rotacija vlastitim tijelom, uzrokovano je pomicanje kamere kroz trodimenzionalni prostor. Praćenje tih trodimenzionalnih pomaka se računa automatski unutar After Effects softvera uz pomoć 3D camera tracker-a koji nosi logički odabrano ime s poveznicom na prethodno opisanu situaciju. Ovaj proces je detaljno opisan u poglavlju 3.5.

Eksterni disk koji je korišten za pohranu produciranih video snimki je SD kartica proizvedena od kalifornijske kompanije SanDisk kapaciteta 256 gigabajta. Tijekom finalne produkcije videa ukupno je napravljeno 44 snimki u memorijskoj vrijednosti od 9,77 gigabajta što je neusporedivo malo s obzirom na ukupan kapacitet korištene memorijske kartice.

Tijekom produkcije svaka individualna scena ponavlja se više puta da bi se omogućio veći izbor potencijalnih kadrova koji će biti integrirani u završni kadar. Snimanje se ponavljalo kroz 3 različita dana sa dodatnim četvrtim danom koji se izvodio prvi po kronologiji i služio je specifično za testiranje funkcionalnosti markacija za praćenje i odvojenog osvjetljenja zelenog platna i subjekta.

Neposredno nakon snimanja pregledavaju se snimljene video snimke kako bi se ustanovila kvaliteta sadržaja i istodobno identificirale potencijalne pogreške unaprijed. U slučaju primjetnih pogrešaka ponavlja se snimanje problematičnih scena, dok su u ovom praktičnom radu više putno snimljene scene bile dovoljne za uspješan nastavak rada s istima. Završenim snimanjem i finalnom selekcijom željenih snimki prelazi se na post produkciju istih.

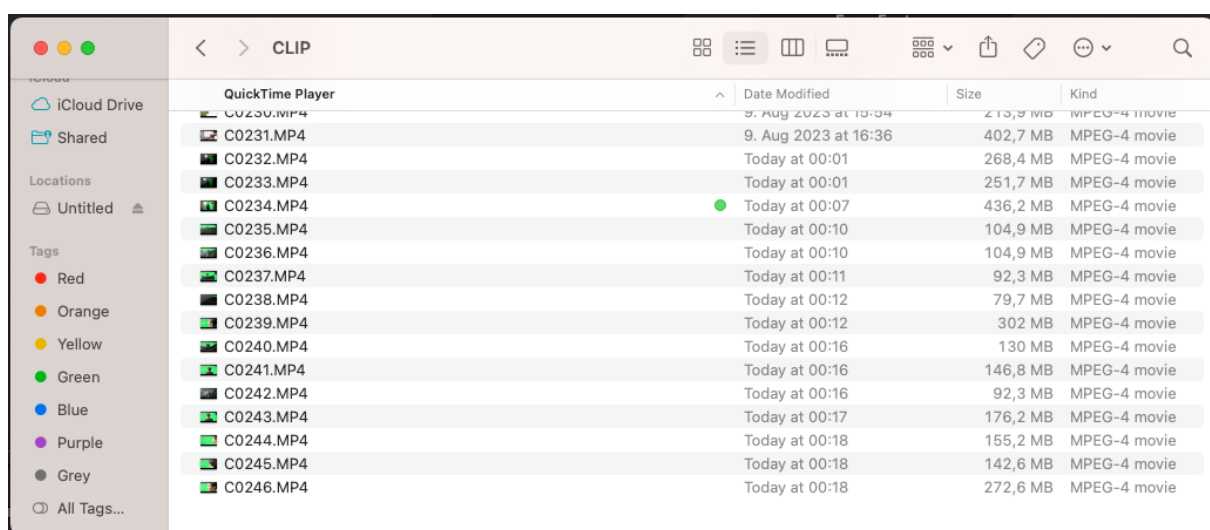
3.5. Post produkcija video snimki

Snimke se kopiraju na SSD memorijski disk koji je integriran unutar korištenog računala što čini reprodukciju i korištenje istih unutar alata After Effects i Media Encoder bržom nego u usporedbi s upotrebom navedenih datoteka čitanjem preko eksternog diska za pohranu podataka. Korišteno računalo u praktičnom radu je Apple Mac Studio sa M2 procesorom i 128 gigabajta ram memorije što ga čini vrlo prikladnim za post produkciju video snimki, a isto tako i za render 3D scene i za dinamičniji rad unutar Blender softvera. Spomenuta ram memorija je vrsta privremene memorije koja omogućava brz pristup podacima koje određeni kompjuter koristi u zadanom trenutku. Ram memorija je brza i efikasna, ali također privremena što znači da se podaci gube kada se korišteno računalo isključi [11]. Važno je napomenuti da ram

memorija ima važnu ulogu u vezi s video i 3D renderiranjem. Prilikom renderiranja kompleksnih slika ili animacija, računalo je potreban pristup velikim količinama podataka kako bi se postigla visoka kvaliteta i detaljnost. Ovdje ram memorija dolazi u igru.

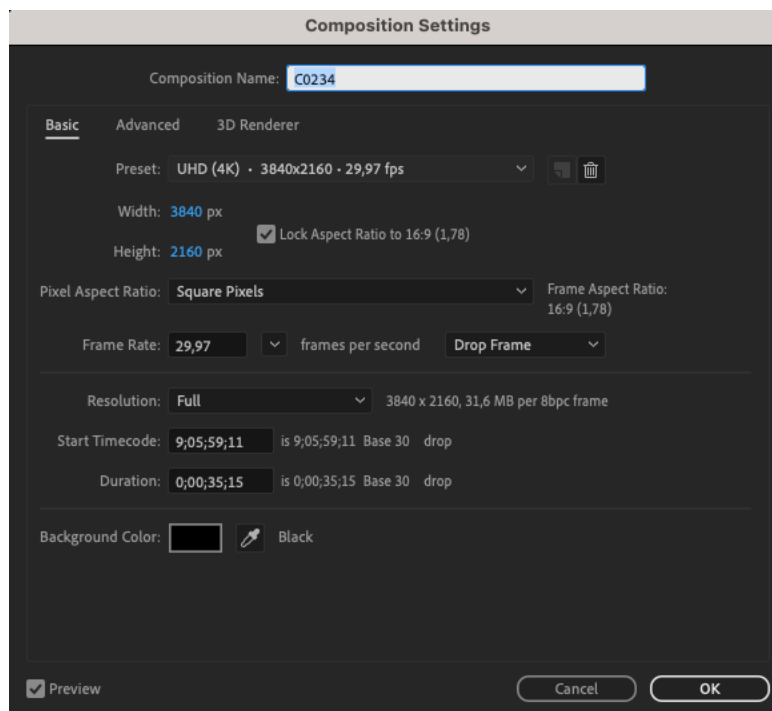
Kada koristite softver za video ili 3D renderiranje poput Adobe After Effects ili Blender, ti programi koriste velike količine podataka, poput modela, tekstura, svjetlosnih informacija. Svi ti podaci moraju biti učitani u ram memoriju kako bi se mogli brzo pristupiti tijekom procesa renderiranja. Više ram-a omogućava da se veća količina podataka drži u aktivnom stanju obrade, čime se smanjuje potreba za ponovnim učitavanjem tijekom postupka renderiranja. To ubrzava proces i može značajno poboljšati vrijeme koje je potrebno za dovršavanje renderiranja. Osim toga, veći kapacitet RAM-a omogućava i rad s većim projektima i kompleksnijim scenama. Ako ima dovoljno RAM-a, može se manipulirati većim brojem elemenata i detalja unutar svojih scena, što je bitno za postizanje visoke kvalitete u video i 3D radu.

U prvom koraku post produkcije od ukupno 15 produciranih snimki odabrana je jedna glavna snimka gdje je subjekt vidljiv u potpunosti da bi se na osnovu nje potvrdila pozitivna funkcionalnost transfera podataka snimke iz After Effects-a u Blender. Po potrebi se dodaju ostali snimci koji su snimani iz manje udaljenosti i gdje subjekt nije u potpunosti vidljiv. Prethodno navedena glavna odabrana snimka se označuje tag naredbom unutar korištenog računala, a ta naredba je integrirana unutar svih vrsta Mac kompjutera s iOS operativnim sustavom i očituje se kao obliku markacija u obliku obojane točke (Slika 13.), koja se nalazi kraj imena datoteke i na taj način olakšava brzi pregled datoteka unutar preglednika.



Slika 13. Prikaz zelene tag markacije unutar pretraživača na Mac Studio računalu

Na spomenutom računalu otvara se softver Adobe After Effects, i uz pomoć drag and drop metode ubačena je odabrana video snimka. Pojam drag and drop u prijevodu znači povuci i baci što u tehničkom smislu predstavlja klik i pritisak lijeve tipke miša na neku datoteku, u ovom slučaju specifičnu video snimku i povlačenjem i otpuštanjem iste u pretraživač unutar softvera. Na ovaj način izvršava se uspješno učitavanje snimke unutar softvera. Nakon učitane snimke se stvara kompozicija u After Effects-u na način da se snimka sa spomenutom drag & drop metodom povlači na „New comp“ ikonu. Ova radnja automatski poziva algoritam softvera da izradi novu kompoziciju na temelju karakteristike snimke kao što se očituje na slici 14. Karakteristike snimke upotrijebljene za izradu nove kompozicije su: vremenski raspon snimke, njena rezolucija i broj kadrova po sekundi. Navedene karakteristike se mogu mijenjati ovisno o raznim tehničkim razlozima tijekom procesa.



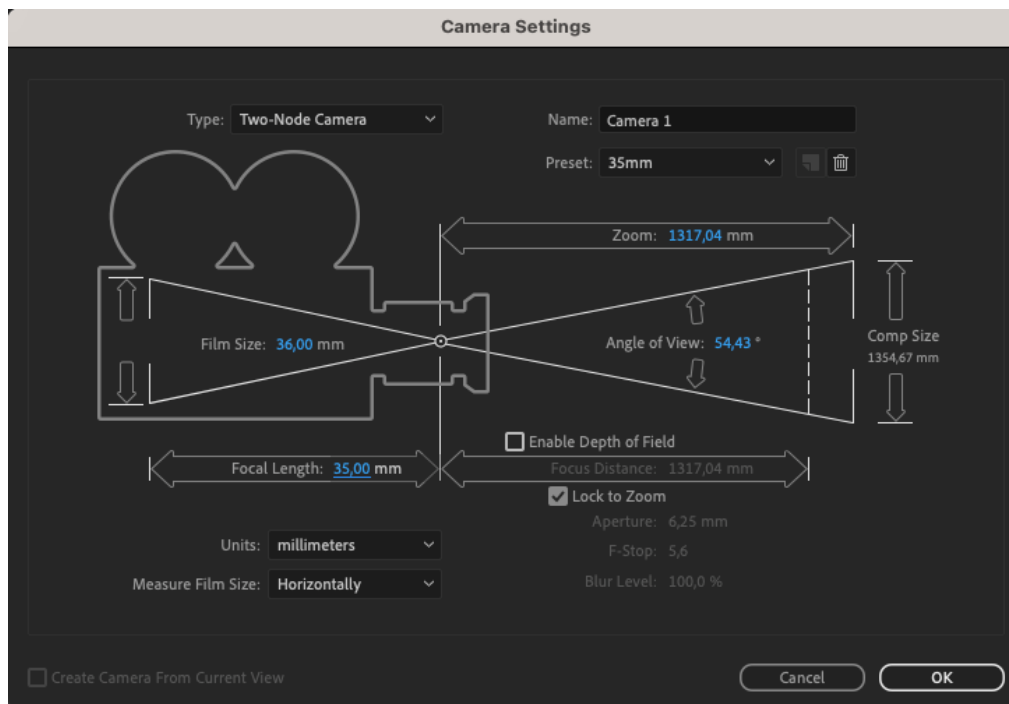
Slika 14. Prikaz definiranih faktora kompozicije unutar After Effects softvera

Nakon definirane kompozicije snimke, ista kompozicija je smanjena na Full HD rezoluciju odnosno 1920x1080px. Navedeni korak se izvodi zbog povećanja efektivnosti kod primijećenog usporenog dijela procesa koji je očitovan u efektivnosti „3D Camera Tracker“ alata u radu s vremenski dugotrajnom 4K snimkom kao što je slučaj kod odabrane s vremenskim rasponom od 40 sekundi, što je točno 1200 kadrova jer je video sniman u 29,97fps-a. Kompozicija smanjene rezolucije render-a se s najvišim postavkama unutar Adobe

Media Encoder-a. Render-an video u memorijskoj količini smanjen je za skoro duplo i sada iznosi 231,7 mega bajta. Eksportirani video se ponovno otvara u novom dokumentu i novoj kompoziciji unutar After Effects softvera.

Na layer s video snimkom dodaje se „Unsharp Mask“ efekt s kojim se pojačao kontrast i oštrina odnosno rubovi između različitih tonova unutar kadra. Rubovi ovim putem postaju vizualno istančaniji drugim riječima softver ih lakše uoči. Ovo uvelike pomaže 3D Camera Tracker alatu koji prepoznaje pomake prateći takve vrste istančano vidljivih dodirnih točaka između različitih tonova. Vrijednost intenziteta unsharp mask efekta se podiže na 400 s time da je originalna vrijednost koju softver nudi automatski namještena na 50. Tim putem pojača se prethodno navedena vizualna deformacija ili efekt. Iznad unsharp mask efekta dodaje se „Brightness & Contrast“ značajka preko koje se pojača intenzitet kontrasta snimke, a iznad nje kao prvi efekt postavlja se efekt „Highlights and Shadows“ s kojim se smanjuje refleksija svjetlosti s markacijama za praćenje pokreta unutar snimljenog kadra, koja negativno utječe na efikasnost spomenutog praćenja. Redoslijed dodanih efekata utječe na redoslijed njihove integracije unutar radne scene, što dodatno utječe i na njihovu reprodukciju i efikasnost.

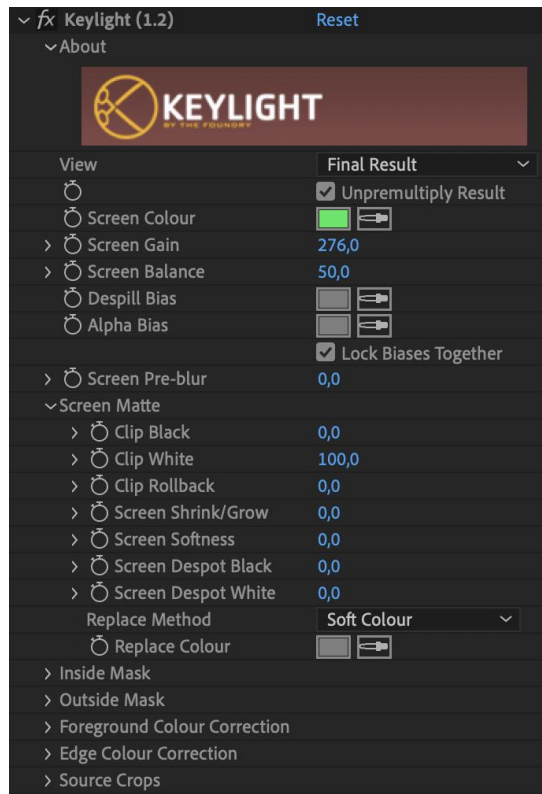
Layer se video snimkom se takozvano prekompozira odnosno stavlja se unutar nove kompozicije. Razlog je nefunkcionalnost camera tracker efekta u slučaju da na ciljanom layeru postoji bilo koji drugi efekt iz izbornika gdje se isti nalaze. U „Pre-compose“ izborniku se uključuje opcija „Move all attributes into the new composition“ kojom je softveru naređeno da prebaci sve modifikacije skupa s layer-om ili layer-ima u novu kompoziciju. Na novu kompoziciju dodan je *3D Camera Tracker* alat iz izbornika Effects & Presets unutar After Effects softvera. Navedeni efekt automatski nakon dodavanja započinje raditi na analizi snimke. Završenim postupkom praćenja kamere unutar izbornika 3D Camera Tracker-a ustanovljena je kvaliteta izvedbe alata uz pomoć „Average Error“ informacije. Ova informacija u idealnim slučajevima ima vrijednosti ispod 1, a u najviše se tolerira do 1,5 da bi se praćenje smatralo uspješnim. Nakon nezadovoljavajućih rezultata radnja praćenja je nekoliko puta ponovljena dok nije ponuđena prihvatljiva vrijednost 1,28 koja je unutar navedenih granica. Na bolji ishod praćenja kamere utjecalo se i s brisanjem nepotrebnih markera koji su se pojavljivali na površinama velikog kontrasta na subjektu odnosno glumici. Te markacije nisu bile upotrebljive jer nisu konstante pa se nasumično pojavljuju i nestaju, a uzrokovane su pomacima kamere i subjekta.



Slika 15. Prikaz Camera Settings izbornika

Određene i novo stvorene virtualne markacije na osnovi pravih markacija izrađenim s duct tape-om odabrane su na račun središnjeg prikaza njihove selekcije koji prikazuje površinu koja odgovara ili je identična pravoj orijentaciji video snimke. Desnom tipkom klika na jednu od virtualnih markacija otvara se izbornik u kojem se odabire „Set Ground Plane and Origin“ koji softveru indicira navedenu površinu kao predmet orijentacije i pozicioniranja virtualne kamere. Na istoj selekciju se ponovnim otvaranjem istog izbornika odabire „Create Solid and Camera“ kojim su kreirani virtualna kamera i ploha u orijentaciji prethodno označenih markera. Duplim klikom lijeve tipke miša na layer novo kreirane virtualne kamere otvara se prozor sa svim faktorima potrebnim za njenu funkcionalnost unutar After Effects sučelja kao što se vidi na slici 15. Neke od ovih vrijednosti koriste se u Blenderu prilikom procesa integriranja video snimke u 3D okruženje, kako je opisano u poglavlju 3.6.

Izoliranje glumice od pozadine unutar scene se postiže s ključnim „Key Light 1.2“ efektom integriranim unutar After Effects softvera.



Slika 16. Prikaz izbornika unutar efekta Key Light 1.2

Navedeni efekt služi specifično za uklanjanje jednobojne pozadine i vrlo je efektivan alat u procesu pri ovom praktičnom radu. Unutar „Key Light 1.2“ izbornika (Slika 16.) odabran je uzorak tona zelene boje unutar pozadinske površine koji u algoritmu efekta služi za određivanje srednje vrijednosti tog tona, te za razlučivanje ostalih sličnih tonova. „Screen Gain“ postavkom reguliran je intenzitet zelenog tona unutar snimke koji se reproducira i preko subjekta u obliku zelene refleksije. Navedena postavka je modificirana sa standardnih 100 na 120 s čim je povećana količina uklonjenog zelenog tona unutar kompozicije i pri čemu se pazilo da se ne pojavi transparentnost subjekta. Transparentnost subjekta se događa u slučaju prevelikog oduzimanja zelenih piksela iz kompozicije i na taj način postizanjem navedenog vizualnog promaka. U slučaju da se na subjektu pojavljuju takve vrste vizualnih pojava, to se najčešće uočava prilikom integriranja nove digitalne pozadine koja je vidljiva kroz subjekt i kviri realističnost u reprodukciji finalne scene kao što je vidljivo nakon ubacivanja testnog prostornog layera u ljubičastom tonu na slici 17. Ovaj propust se teško razaznaje na bijeloj i crnoj pozadini ako je minimalan, pa je testiran s raznim pozadinama unutar After Effects-a čime je spriječen gubitak vremena na potencijalnoj pojavi ovog problema u pratećoj produkciji u Blender-u. Par dodatnih parametara je usklađeno i podešeno unutar Key Light 1.2 kako bi se u potpunosti uklonilo zeleno platno iz scene. Navedenom tehnikom green screen je uklonjen

iz scene i sljedeća problematika koja je u slijedu procesa je uklanjanje preostalih vidljivih dijelova seta korištenjem digitalnog maskiranja.

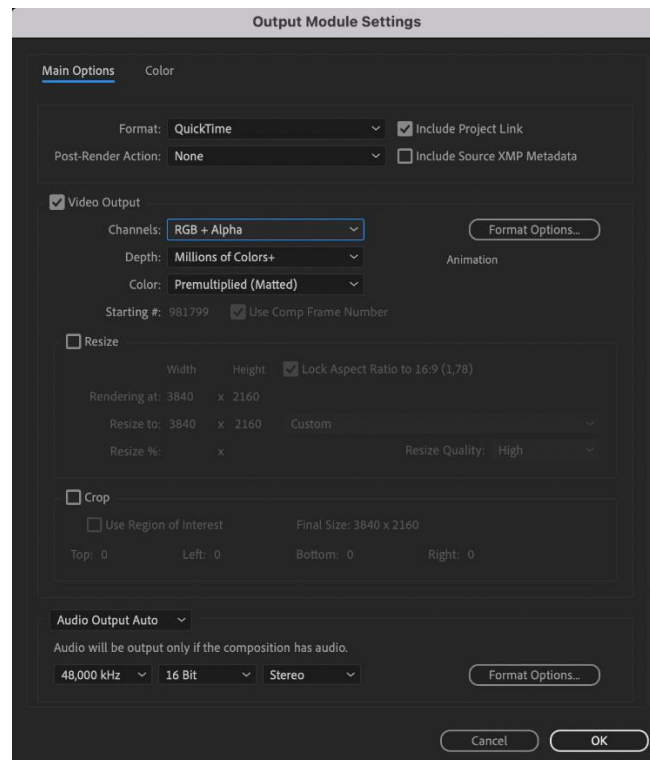


Slika 17. Prikaz transmisije ljubičastog tona pozadine kroz subjekt uzrokovan ekstremnim podizanjem vrijednosti „Screen Gain-a“ unutar Key Light 1.2 alata

Tijekom maskiranja standardnim maskama konstatirano je da će proces teći puno brže korištenjem Rotoscope dinamične maske unutar After Effects softvera. Tijekom procesa Rotoscope maska je modificirana u obliku i poziciji namještanjem pomoću miša. Tijekom procesa maskiranja maska se kalibrira tako da se izbjegne integracija nepotrebnih elemenata iz pozadine i istodobno sa svrhom da željeni element odnosno subjekt unutar granica maske. Svrha navedene manipulacije maske je ta da se prati njihov pomak koji je uzrokovan pomacima kamere tijekom produkcije video snimke. Na kraju procesa maskiranja bitna stavka je upotreba „Freeze Selection“ naredbe koja naređuje softveru da učita u memoriju konačnu selekciju kako bi se izbjeglo pucanje maske tijekom rendera. Pucanjem maske referira se na gubljenje segmenata maske tijekom rendera zbog visoke memorijske količine koje ove maske zauzimaju.

Nakon čišćenja zelenog platna i njegovih refleksija, te pratećeg maskiranja otvara se sljedeća stavka procesa u kojoj se završna kompozicija renderira odabirom „Add to Render Queue“ stavke pri izborniku „Composition“ unutar After Effects-a. U navedenom izborniku odabran

je video format „QuickTime“, a na postavkama kanala boja umjesto standardne postavke RGB odabran je „RGB + Alpha“ kako je prikazano na slici 18.



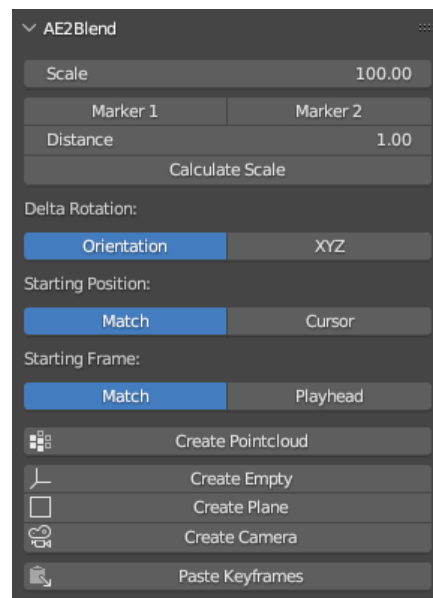
Slika 18. Prikaz završnih postavki za vrstu izlaznog video medija

Unutar „Output to“ svojstva renderirani video medij je smješten odnosno spremljen u istoj skupini datoteka kao i RAW video snimke i datoteke od After Effects-a, a i Blender-a radi efikasnosti u radnom toku. Tijekom procesa post produkcije više puta se koristi opcija „Purge“ koja briše nakupljenu cache memoriju unutar RAM-a, jer ona nakon što je njen kapacitet popunjen usporava cijeli radni proces u softveru.

3.6. Integracija Videa u 3D okruženje

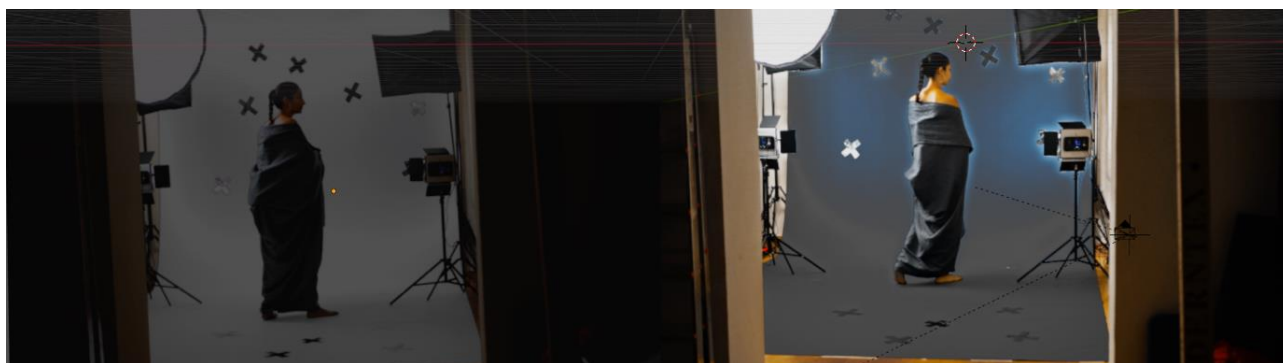
Za uspješnu integraciju videa unutar 3D okruženja prebacuju se informacije kamere i njenog pokreta unutar Blender softvera. Za taj proces se koristi AE2Blend „Add-On“ (Slika 19.) odnosno softverski nastavak ili dodatak koji se prvo instalira i onda aktivira u Blender-u. U softveru After Effects unutar „Timeline“ panela otvara se prikaz „Transform“ opcija unutar layera na kojem je primijenjen „3D Camera Tracking“. Na „Clipboard“ su kopirane XYZ vrijednosti „Position“ i „Orientation“ postavki. Otvara se Blender i u izborniku AE2Blend dodatka odabire se opcija „Create Camera“ koja kreira virtualnu kameru sa već integranim

keyframe-ovima. Ovi keyframe-ovi se nalaze na identičnim pozicijama i s istim orijentacijama kamere kao one iz After Effects-a, koja je prvobitno generirana na osnovu realne kamere korištene za snimanje video snimki. Nakon integriranih svojstava kamere otvara se After Effects i iz njega se istom metodom u clipboard kopiraju sve karakteristike prethodno kreirane plohe za orijentaciju unutar navedenog programa. Jedina stavka koja nije kopirana je „Opacity“ koji je nevažan faktor u aspektu XYZ dimenzija, orijentacije, pozicije i rotacije potrebne za kreiranje identičnog tijela unutar Blender-a. Ploha je uspješno integrirana u softver uporabom „Create Plane“ funkcije unutar AE2Blend softverske ekstenzije. Integracijom navedene plohe dobila se vizualno pregledna orijentacijska površina koja se koristi kao fundamentalna baza cijele scene modelirane u sljedećim koracima procesa.



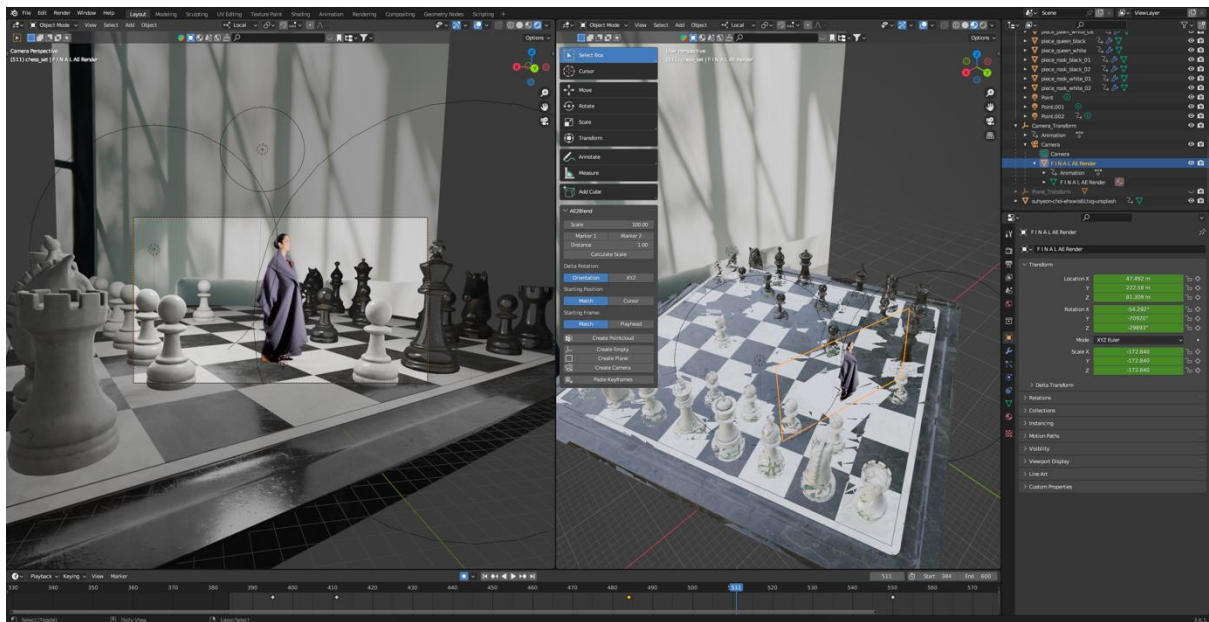
Slika 19. Prikaz sučelja AE2Blend ekstenzije

Istovremenim pritiskom na tipke „Shift“ i „A“ otvara se izbornik „Add“ u kojem se odabire „Images as Planes“ funkcija kojom se integrira post producirana video snimka unutar Blendera. Navedenim odabirom otvoren je prozor „Blender File View“ u kojem se pod „Material Settings“ izbornikom odabire „Emit“ opcija. Odabarnom opcijom softver učitava snimku u obliku dvodimenzionalnog tijela s digitalnom sposobnošću emitiranja svjetlosti.



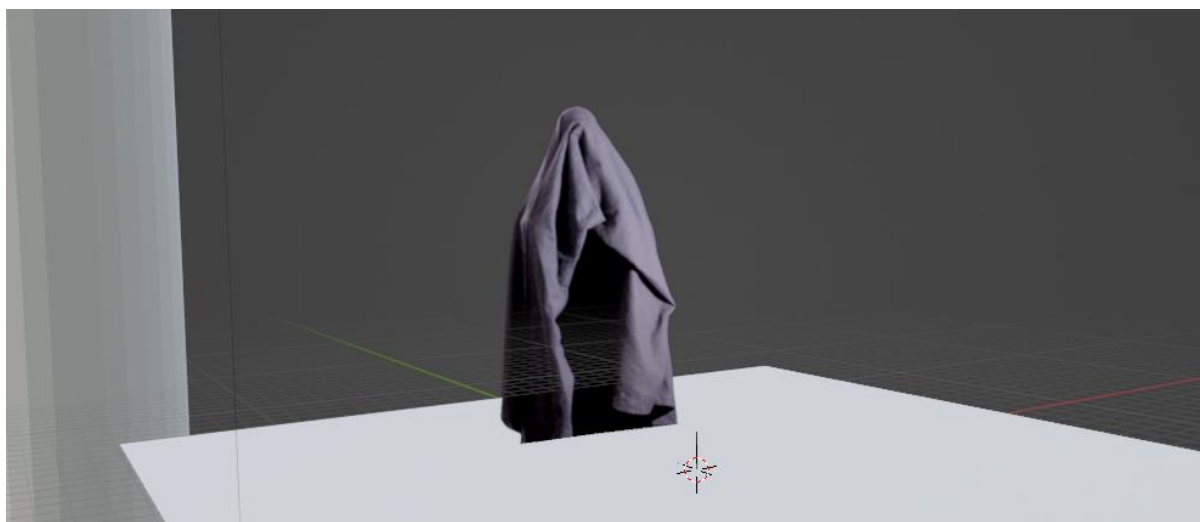
Slika 20. Prikaz video layera u blenderu sa i bez „Emit“ opcije

Bez ove opcije snimka je mračna i neupotrebljiva u slučaju ovog projekta kao što je uspoređeno na slici 20. Unutar sučelja Blender-a u izborniku s layerima zvanog „Collection“, označuje se layer s kamerom i njenim transformacijama lijevom tipkom miša zajedno uz pritisnutu tipku „Command“ na tipkovnici unutar iOS operativnog sustava. Na isti način je označen layer koji sadrži video snimku. S ovom selekcijom kursorom miša se prelazi na radnu plohu pri sučelju Blender-a i istovremenim pritiskom na tipke „Command“ i „P“ otvara se „Set parent to“ izbornik unutar kojeg se odabire „Object (Keep Transform)“ funkcija kojom je video snimka pozicionirana unutar kadra virtualne kamere. Reprodukciom promatranog kadra unutar Blender-ovog preglednika potvrđena je uspješna veza između odabranih layera kao što je prikazano na slici 21. Layer video snimke se povezuje na isti prethodno spomenuti način sa pokretima kamere. Slobodan pogled na virtualni kadar prebačen je u pogled kroz virtualnu kameru kako bi snimka bila pravilno pozicionirana unutar i u istim dimenzijama kao promatrani kut kamere. Re pozicioniranje snimke i njeno skaliranje se izvršilo alatima „Scale“ i „Grab“ unutar „Object Mode“ vrste Blender-ovog preglednika.



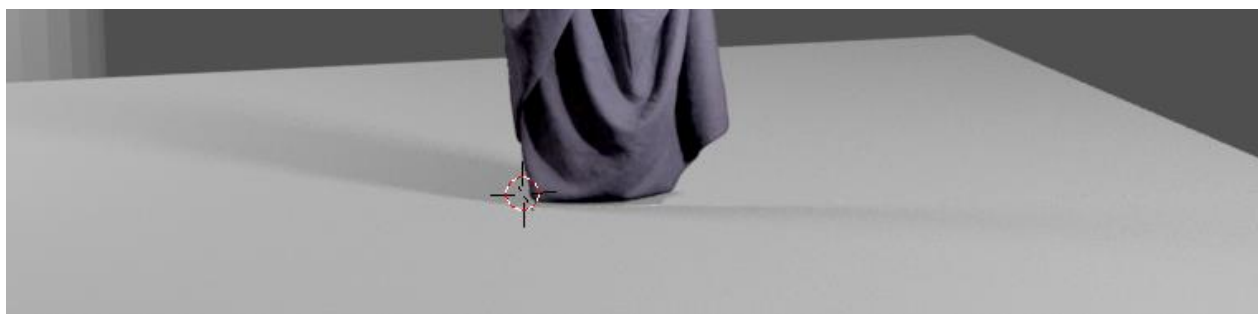
Slika 21. Prikaz podudaranja 3D plohe sa video snimkom unutar Blender sučelja

Nakon detaljne opservacije primijećeno je nepodudaranje u pomacima kamere i vremenskom tijeku video snimke. Ova pojava djelomično je stabilizirana jednostavnim pomicanjem za jedan kadar, svih keyframeov-a zaslužnih za pomak orijentacije i pozicije virtualne kamere [12]. Uvelike manje, ali još uvijek vidljivo odstupanje ispravljeno je kopiranjem fokalne duljine virtualne kamere unutar Blender-a. Informacije o fokalnoj duljini kopiraju se iz izbornika virtualne kamere prethodno kreirane unutar softvera After Effects. Važno je napomenuti da ova vrijednost iznosi 43,842mm što se razlikuje od 35mm fokalne duljine stvarne kamere korištene za snimanje. Navedena vrijednost je kreirana od strane „3D Camera Tracker-a“ čiji automatski izračun ove vrijednosti često daje korisniju informaciju u specifičnom smislu komunikacije između After Effects-a i Blender-a. Unutar Blender-ove virtualne kamere dodana je i informacija o broju kadrova po sekundi kako bi se poboljšala vjerodostojnost integrirane snimke u 3D prostor. Navedena informacija je kopirana iz virtualne kamere u After Effects-ima, ali se može očitati i u postavkama same video snimke ili postavkama kamere jer se ova vrijednost nije mijenjala tijekom procesa, kao što je to bio slučaj kod fokalne duljine kamere. Tijekom reprodukcije snimke unutar Blender sučelja primijećeno je da u nekim vremenskim segmentima layer snimke „propada“ unutar poda odnosno digitalne 3D plohe kao što je to prikazano na slici 22.



Slika 22. Prikaz „propadanja“ subjekta u plohu unutar digitalnog 3D prostora

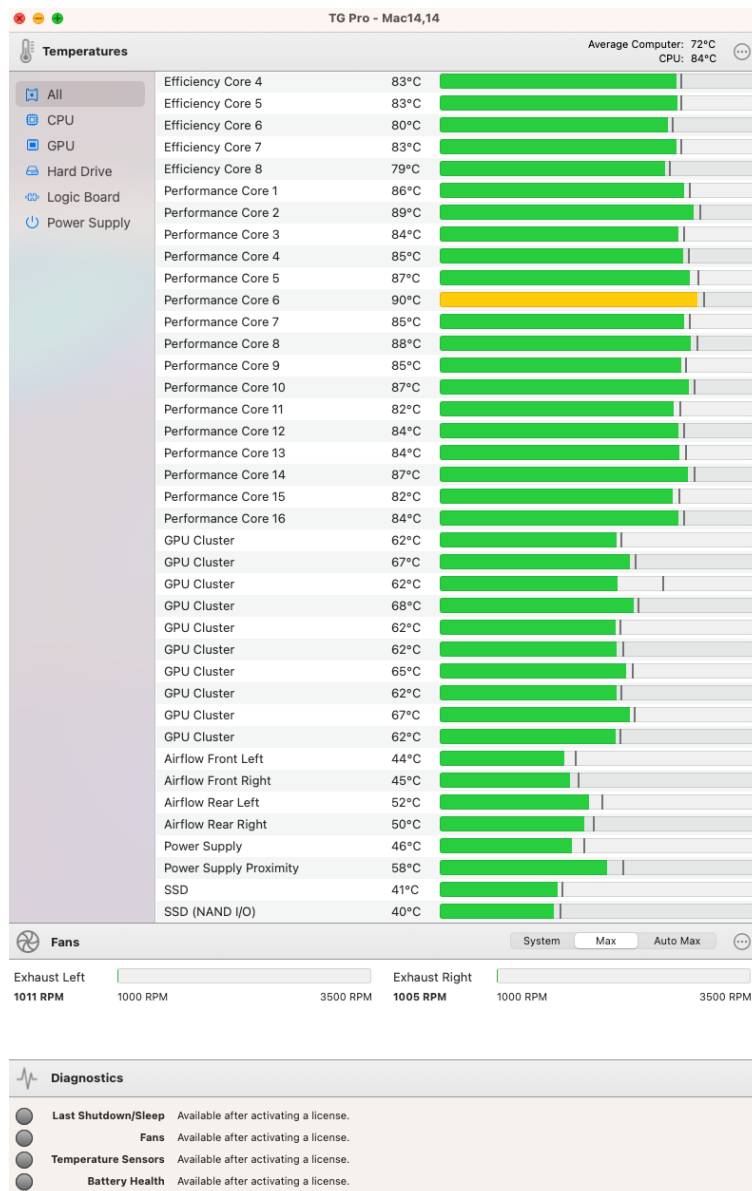
Navedeni problem je otklonjen višestrukim skaliranjem snimke u vremenskom periodu od 40 sekundi koliko snimka i traje. Prvo skaliranje se izvršilo u edit mode-u kako bi njegov „Origin Point“ ostao na idetičnoj poziciji kao i kamera, jer u tom slučaju ostaje iste dimenzije u odnosu na kameru, drugim riječima ako se snimka skalira smanjuje se u 3D prostoru, ali ne u kadru kamere. Nakandno skaliranje vršilo se u „Object Mode-u“ ali s obzirom na prvobitno skaliranje u „Edit Mode-u“ nije utjecalo na dimenzije snimke unutar kadra. Skaliranjem se postigla konstanta u vezi između 3D prostora i snimke. Prethodno navedenoj plohi se dodaje nekoliko nasumično odabranih različitih materijala kako bi se dobila probna reprodukcija po kojoj se može bolje ustanoviti uspješnost spajanja 3D objekta s dvodimenzionalnom video snimkom. Testirane su reflektivne i nereflektivne plohe i u oba slučaja video snimka interaktivno i vjerodostojno utječe na navedene. Isto tako snimka emitira sjene na vertikalnim i horizontalnim 3D modelima što je još jedan od važnih faktora koje je potrebno zadovoljiti. Spojem dvaju medija različitog broja dimenzija riješen je problem koji je na kraju procesa praktičnog rada identificiran kao glavna tehnička prepreka pri praktičnoj izvedbi ovog diplomskog rada. Nakon vizualne provjere ustanovljeno je da se snimka i pomaci kamere pomiču istovremeno s istom pozicijom i orijentacijom u odnosu na bazičnu plohu. Navedena konstatacija najviše se očitava na reprodukciji dinamičnih sjena subjekta prilikom koračanja po virtualnoj plohi što stvara vjerodostojan virtualni prikaz hibridne scene.



Slika 23. Uvećani prikaz podudaranja

3.7. Kreiranje 3D okruženja

3D okruženje modelira se unutar Blender-a s više različitih izvornih alata koji postoje u softveru. Na različite načine je izrađeno više različitih 3D scena koje se kasnije komponiraju unutar After Effects softvera zajedno s dodanim zvukom. Zbog naknadnog komponiranja svih scena u jedan finalni video uključujući originalnu snimku nije bilo potrebno gubiti vrijeme na render svih 1200 kadrova u ukupno 40 sekundi trajanja. Na temelju kronologije finalnog videa odabirao se segment vremena svake individualne 3D scene koja je renderirana i naknadno integrirana u finalni video. Količina kadrova iz svake individualne 3D scene konstatirana je na temelju kompleksnosti navedenih scena. Prva scena s jednostavnim 3D prikazom subjekta na sivoj plohi renderirana je u 28 minuta 122 kadra, dok se iz finalnog videa zadnje prikazana znanstveno fantastična scena renderirala ukupno 40 sati za 85 kadrova pri temperaturama računala do 92°C. Navedena maksimalna postignuta temperatura očitana je softverom TG Pro koji je prikazan na slici 24.

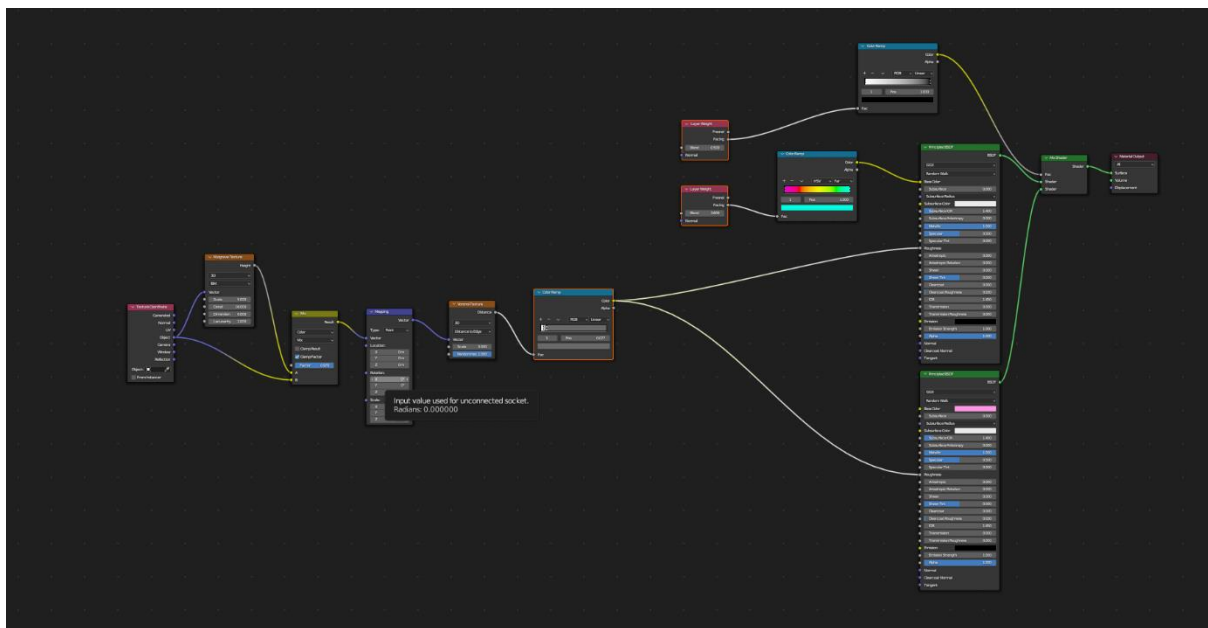


Slika 24. Prikaz očitanih temperatura hardvera

Za uvjerljiv oblik foto realizma korišten je Blender-ov metrični sistem jer po tom principu rada softver ciljano računa kako korespondirati s ostatkom scene i sa tim ustanovljenim odnosima lakše su kreirani i popraćeni prirodni zakoni fizike [13]. Za prvu scenu iskoristila se postojeća ploha kopirana iz After Effects-a. Jedina modifikacija na njoj prije rendera je povećanje njenih XY dimenzija za 200%. Scena sa šahovnicom stvorena je sa visoko detaljnim modelom šahovnice formata *.blend* i veličine 420MB koji je preuzet s otvorenog izvora odnosno sa Poly Haven web stranice. Nakon integracije video layer-a sa šahovnicom naredbom „Add“ pa „Image as Plain“ dodana je pozadinska fotografija preuzeta sa Unsplash web stranice. Na

dodanu pozadinu postavlja se „Emit“ opcija u vrijednosti 1. Figure šahovnice su animirane da dodaju dinamiku u sceni.

Posljednja i najkompleksnija scena kreirana je uz pomoć „Modifiers“ alata koji automatski mijenja oblik osnovnog geometrijskog tijela na osnovu matematičkih funkcija iz polja trigonometrije. Modelima su dodane teksture unutar „Shader Editor“ konzole gdje se kombinacijama i podešavanjima mnogih parametara postižu realistične digitalne reprodukcije materijala unutar 3D prostora.



Slika 25. Prikaz shader editor konzole u Blender-ovom sučelju

Nakon integracije video snimke modeli se animiraju jednostavnim pomacima u digitalnom XYZ prostoru. Preko izbornika „Add“ dodao se 3D objekt *empty* koji predstavlja praznu točku s fizikalnim mjerama unutar Blender-ovog koordinatnog sustava. *Empty* se spaja sa snimkom tako da prati njen pomak na isti način kao u poglavlju 3.6. gdje se spojio layer sa video snimkom za kameru. Unutar opcija kamere dodaje se dubinska oštrina tako da se unutar „Depth of Field“ izbornika „Focus Object“ stavka poveže sa layer-om koji nosi video snimku. Unutar izbornika „Depth of Field“ otvara se dodatni „Aperture“ izbornik u kojem se pod stavkom „F-stop“ mijenja blenda objektiva virtualne kamere u Blender-u. Navedenim koracima postigla se jaka dubinska oštrina koja pridonosi hibridizaciji scene promatrano iz perspektive gledaoca reprodukcije završnog videa. Render svih scena izvršen je na isti način pri kojem su odabrane postavke kao što su ime eksportirane snimke, kvaliteta rendera koja je određena na Principled

Loseless i konačno format video medija za koji je odabran široko korišten MPEG-4 odnosno MP4.

3.8. Komponiranje

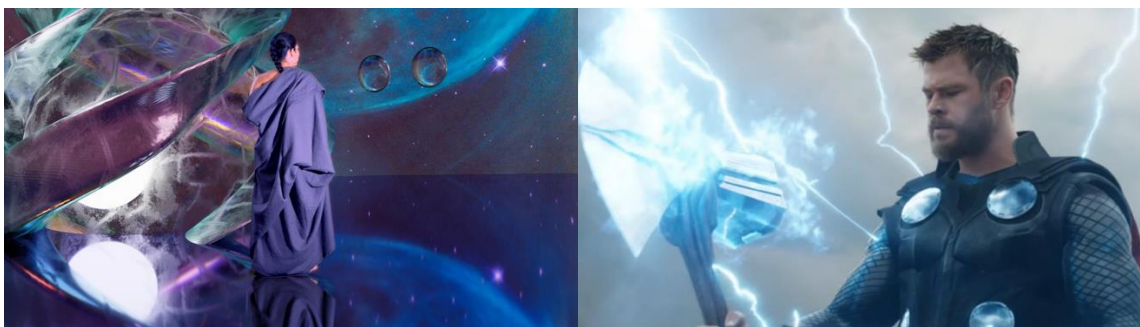
Nakon render-anih scena iz programa Blender, sve finalne snimke integriraju se u After Effects kako bi se izvršilo njihovo komponiranje i naknadan render finalnog videa. Otvoren je novi dokument i stvorena nova kompozicija. Unutar nove kompozicije integrirane su sve finalne video snimke koje su potom podešene u vremenskoj traci na način da na istom kadru kad jedna počne prethodna završava. Snimke su namještene prema estetskoj prirodi odnosno složene su u redosljed koji „dobro izgleda“. Navedeni redosljed je uspostavljen zapisivanjem kronološkog broja početnog kadra i završnog kadra prije rendera scena iz Blendera u svrhu lakšeg pozicioniranja unutar vremenske trake u donjem dijelu sučelja After Effects-a. U nekim snimkama napravljen je blagi color grading kako bi se povisila reprodukcija finalnom videa. Za render se koristio Adobe Media Encoder sa postavkama postavljenima na maksimum čime render finalnog videa u HD rezoluciji ima 124,3 MB. Nakon rendera video snimka je spremna za daljnju reprodukciju na raznim uređajima.



Slika 26. Prikaz finalnog videa

3.9. Zaključak

Integracija video snimki u 3D okruženje relativno je kompliciran zadatak za čiju izvedbu je potrebno pokriti različite faktore kao što su tehnička problematika o studijskom osvjetljenju i općenito o svjetlu, kameri i digitalnim alatima. Primijećeno je da za praktični rad bila potrebna kvalitetna softverska i hardverska podrška koja je i korištena sve kako bi proces tekao stabilnim tokom s malim odstupanjima. U usporedbi sa starijim tehnologijama ukupno vrijeme procesa trajalo bi puno duže i bilo bi potencijalno neostvarivo u pruženom vremenskom roku. Za pojavu grešaka u kasnijim dijelovima procesa konstatirano je da je izvor većine grešaka proizašao na početku tijekom snimanja što direktno ukazuje na vrijednost dobre pripreme prije početka kreiranja ovakvog tipa video snimki. Iz navedenog razloga snimanje se ponavljalo tijekom 4 različita dana kako bi se dobio optimalan i funkcionirajući rezultat. Glavna problematika diplomskog rada je dio procesa koji nosi ime diplomskog rada odnosno integracija video snimki unutar 3D okruženja i naknadna kalibracija oba digitalna medija kako bi konačna scena bila vjerodostojna u aspektu fizičkih zakona prenesenih iz stvarnoga svijeta kako je i prikazano u reprodukciji finalnog videa. Ova problematika koja je ujedno i cilj praktičnog dijela diplomskog rada je riješena i prikazana u završnom videu. Važno je napomenuti da je navedenim rješenjem daljnji dio rada striktno estetske prirode i ne utječe na navedenu problematiku u niti jednom segmentu. Foto realizam unutar finalnih 3D scena, koji se prvobitno kanio postići finalno nije doveden na željenu razinu, te više priliči srednjoj kategoriji kvalitete reprodukcije ovakvih vrsta scena. Tvrdnja o kvaliteti konstatirana je uz pomoć usporedbe finalnog videa iz praktičnog dijela rada i nekoliko hollywoodskih filmova produkcijske kuće Marvel za koju je opće poznato da za svoje filmove financira najbolje internacionalne stručnjake ovog polja. Neuspješnost u postizanju željene kvalitete ne utječe nijednim faktorom na temeljnu problematiku ovog diplomskog rada.



*Slika 27. Usporedba kadra finalnog videa i scene iz visoko budžetnog filma „Thor“
(Izvor: <https://nerdist.com/article/thors-5-best-moments-in-the-marvel-cinematic-universe/>)*

Gledano iz perspektive tematike ovog diplomskog rada, koliko god različitih okruženja biva kreirano u 3D-u, sva ona jedino služe kao prateći vizualni dodatak u kreiranom sustavu iz stvarnih snimki. Ovo isto tako indicira na važnost nestabilnih ili nepredvidivih pokreta kamerom koje u ovom slučaju djeluju pozitivno jer dodaju autentičnost nerealnoj odnosno digitalnoj sceni što ju čini „stvarnijom“. Gledano kroz prizmu visoko budžetnih videa iz više različitih industrija današnjice, ovakav tip snimki s neartikuliranim pokretima predstavljao bi nekvalitetnu snimku, osim u slučaju gdje su one odabrane namjerno da zadovolje neki vizualni cilj ili specifičan dio scenarija.

Popis literature

1. ExplainingComputers (2021). Explaining Digital Video: Formats, Codecs & Containers, dostupno na <https://www.youtube.com/watch?v=4NXxY4maYc&list=LL&index=31>
2. The Venetian Resort Las Vegas (2023). Sphere at The Venetian, dostupno na <https://www.venetianlasvegas.com/entertainment/sphere.html>
3. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje (2021). Leksikografski zavod Miroslav Krleža, žarište, dostupno na <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=67642>
4. Sony (2023). OSNOVE OBJEKTIVA - Otvor blende, f-brojevi i dubina polja“, dostupno na <https://www.sony.hr/electronics/sto-je-otvor-blende-dubina-polja>
5. Ante Poljićak (2017). Reprodukcijska Slikovnih Informacija, Sveučilište u Zagrebu, Grafički Fakultet, dostupno na <http://repro.grf.unizg.hr/media/Ante/RSI-Skripta-2017.pdf>
6. Camera Zone (2021). Stacked Sensor: The Future of Camera Industry, dostupno na <https://www.youtube.com/watch?v=o9ERJDRMG44>
7. Raul Reyes Luque (2012). The Cel Shading Technique, dostupno na https://raulreyesfinalproject.files.wordpress.com/2012/12/dissertation_cell-shading-raul_reyes_luque.pdf
8. Instagram (2023). Reels upload requirements on Instagram, dostupno na <https://help.instagram.com/1038071743007909>
9. LMscope (2012). Sensor sensitivity (ISO) in digital cameras, dostupno na https://www.lmscope.com/en/Digital_Camera_Sensitivity_ISO_en.html
10. Sony (2023). Balanced Optical SteadyShot™ Gimbal-Mechanismus integriert, dostupno na <https://www.sony.de/electronics/ausbalancierter-optischer-steadyshot>
11. Rainer Waser (2012). Nanoelectronics and Information Technology, John Wiley & Sons, stranica 790, ISBN 9783527409273
12. BROKEN STUDIO (2023). 3D Camera Tracking - After Effects & Blender Tutorial, dostupno na <https://www.youtube.com/watch?v=XUjo8-ePxr8&list=LL&index=1>
13. DECODED (2021). Quick Photo Realism In Blender, dostupno na <https://www.youtube.com/watch?v=PCuVNF5RQHg>