

Primjena fotogrametrije za 3D digitalizaciju malih objekata

Vrkić, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:256:732981>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-15**



Repository / Repozitorij:

repozitorij.geof.unizg.hr/en



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Petra Vrkić

**PRIMJENA FOTOGRAMETRIJE ZA 3D
DIGITALIZACIJU MALIH OBJEKATA**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

Petra Vrkić ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2024.



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Petra Vrkić

**PRIMJENA FOTOGRAMETRIJE ZA 3D
DIGITALIZACIJU MALIH OBJEKATA**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET



Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1_349_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

IZJAVLJUJEM

Ja, **Petra Vrkić**, (JMBAG: 0083218887), rođen/a dana 18.12.1997. u Splitu, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

I. AUTOR	
Ime i prezime:	Petra Vrkić
Datum i mjesto rođenja:	18. prosinca 1997., Split, Republika Hrvatska
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Primjena fotogrametrije za 3D digitalizaciju malih objekata
Broj stranica:	41
Broj tablica:	6
Broj slika:	49
Broj bibliografskih podataka:	8 + 11 URL-a
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Mentor:	doc. dr. sc. Loris Redovniković
Komentor:	doc. dr. sc. Loris Redovniković
Voditelj:	Loris Redovniković, dipl. ing. geod.
III. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja teme:	16.01.2023.
Datum obrane rada:	21.06.2024.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	doc. dr. sc. Loris Redovniković
	prof. dr. sc. Mladen Zrinjski
	dr. sc. Sergej Baričević

Primjena fotogrametrije za 3D digitalizaciju malih objekata

Sažetak: Tema ovog rada je primjena fotogrametrije za 3D digitalizaciju malih objekata. Dan je kratki pregled fotogrametrijske metode i osnovnih karakteristika fotografije i digitalne kamere. Također je napravljen kratki osvrt i na metode 3D modeliranja. U sklopu ovog rada izrađena su dva modela malih objekata. Fotografije potrebne za izradu oba modela prikupljene su pomoću Canon EOS 1100D digitalnog fotoaparata, a modeli su izrađeni pomoću Reality Capture softvera. Obavljena je analiza dobivenih modela te je u zaključku napravljen osvrt na cjelokupni postupak, primjenjivost ovakvog pristupa i kvalitetu izrađenih modela.

Ključne riječi: 3D model, fotogrametrija, geodezija

Application of photogrammetry for 3D digitization of small objects

Abstract: The topic of this paper is the application of photogrammetry for 3D digitalization of small objects. A brief overview of the photogrammetric method and the basic characteristics of photography and digital cameras is given. A brief overview of 3D modeling methods was also made. As a part of this paper, two models of small objects were made. The photos needed to create both models were taken by Canon EOS 1100D digital camera, and the models were created using Reality Capture software. The analysis of the resulting models was carried out and, in the conclusion, a review was made of the entire procedure, the applicability of this approach and the quality of the created models.

Keywords: 3D model, photogrammetry, geodesy

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. FOTOGRAMETRIJSKA METODA IZMJERE	2
2.1 Fotografija.....	3
2.1.1 Vidno polje	4
2.1.2 Fokusiranje	4
2.1.3 Ekspozicija.....	5
2.2 Digitalne kamere	7
2.2.1 Objektivni	8
2.2.2 Zaslona ili blenda	12
2.2.3 Brzina zatvarača.....	14
2.2.4 ISO.....	15
3. 3D MODELIRANJE.....	16
3.1 Poligonalno modeliranje	16
3.2 NURBS modeliranje	16
3.3 Subdivizijsko modeliranje.....	16
4. SNIMANJE FOTOGRAFIJA POTREBNIH ZA IZRADU 3D MODELA.....	17
4.1 Korišteni instrumentarij za snimanje	17
4.1.1 Digitalni fotoaparati Canon EOS 1100D.....	17
4.2 Izvedba snimanja.....	19
5. OBRADA I ANALIZA PRIKUPLJENIH FOTOGRAFIJA TE REZULTANTNI 3D MODELI.....	22
5.1 Obrada fotografija prije izrade 3D modela	22
5.2 Softver korišten za izradu 3D modela.....	22
5.2.1 Reality Capture	23
5.3 Izrada 3D modela koristeći Reality Capture	24
5.4 Analiza rezultatnih 3D modela.....	31
6. ZAKLJUČAK.....	35
LITERATURA	36
POPIS SLIKA	37
POPIS TABLICA.....	39
ŽIVOTOPIS	40

1. UVOD

Napretkom tehnologije postupak izrade 3D modela postao je relativno jednostavan i brz. Sukladno tome je i sama potražnja za 3D modelima, u svrhu dokumentacije, vizualizacije i 3D printanja raznih objekata, znatno porasla. Fotogrametrijska metoda, po svojoj definiciji, za cilj ima izradu 3D modela objekata. 3D modeliranje objekata, osim u geodeziji, nalazi primjenu u različitim područjima poput industrije, kulturne baštine, arheologije, medicine i nizu drugih djelatnosti.

U ovom radu naglasak je na modelima relativno malih objekata (dimenzija nekoliko centimetara) uz primjenu fotogrametrijske metode izmjere. Za potrebe ovog rada izrađena su dva 3D modela malih objekata, uz upotrebu Canon EOS 1100D digitalnog fotoaparata i Reality Capture softvera. Cijeli postupak, počevši s prikupljanjem fotografija pa sve do rezultatnih 3D modela objekata, opisan je u nastavku. Prethodno tome napravljen je osvrt na osnovne karakteristike fotografije i digitalnih kamera, kao i na vrste modeliranja.

2. FOTOGRAMETRIJSKA METODA IZMJERE

Baučić (2018) definira fotogrametriju kao umijeće, znanost i tehnologiju dobivanja pouzdanih informacija o Zemlji i njenom okruženju, te ostalim fizičkim objektima i fizikalnim procesima, pomoću snimki, bez neposrednog kontakta s objektom, postupcima prikupljanja, mjerenja, analiza i predočavanja.

Razvitak fotogrametrije direktno ovisi o općem razvoju tehnologije i znanosti. Schenk (2005) primjećuje da su četiri glavne faze fotogrametrije izravno povezane s tehnološkim izumima fotografije, zrakoplova, računala i elektronike:

1. FAZA

Razvoj fotogrametrije započinje izumom fotografije Daguerrea i Niepcea 1839. godine. Prva faza smatra se pionirskom i eksperimentalnom fazom s izvrsnim postignućima u terestričkoj i balonskoj fotogrametriji.

2. FAZA

Drugu fazu se obično naziva fazom analogne fotogrametrije, a karakterizira je Pulfrichov izum stereofotogrametrije (1901). Nekoliko godina kasnije (1908), Orel je konstruirao prvi stereoploter. Glavni temelji tehnike snimanja iz zraka koji stoje do danas, ustanovljeni su između dva svjetska rata. Fotogrametrija se dokazala kao učinkovita metoda izmjere i kartiranja, te su instrumenti za analogno ispravljanje i stereocrtanje, temeljeni na mehaničkoj i optičkoj tehnologiji, postali široko dostupni. Iako je osnovna matematička teorija bila poznata i tada, količina računanja je bila previsoka za numerička rješenja te su svi naporni bili usmjereni analognim rješenjima.

3. FAZA

Treća faza započela je pojavom računala i naziva se fazom analitičke fotogrametrije. Osnove analitičke fotogrametrije razvio je Schmid pedesetih godina dvadesetog stoljeća koristeći matričnu algebru. Trebalo je još nekoliko godina prije nego što su operativni računalni programi postali dostupni. Kasnih šezdesetih godina Brown je razvio prvi program prilagodbe blokova temeljen na snopovima, a malo nakon Ackermann je objavio program s neovisnim modelima kao temeljni koncept. Posljedično je izvedba točnosti zračne triangulacije poboljšana za faktor deset. Još jedan veliki izum treće faze je analitički crtač. Izumio ga je Helava kasnih pedesetih godina, no prvi instrumenti su postali dostupni tek u sedamdesetima na širokoj osnovi.

4. FAZA

Četvrta faza brzo se pojavljuje kao nova disciplina u fotogrametriji i naziva se digitalnom fotogrametrijom. Za razliku od svih ostalih faza, koriste se digitalne fotografije. Dostupnost uređaja za brzu pohranu i pristup digitalnim fotografijama te procesora koji su u stanju sve brže rješavati sve kompleksnije probleme, omogućava širenje fotogrametrije na sve više područja primjene.

Na osnovu jedne snimke moguće je odrediti dvodimenzionalna svojstva objekta, no za određivanje trodimenzionalnih svojstava objekta potrebno je imati barem dvije snimke, tzv. stereopar, iz različitih kutova snimanja. U tom slučaju govorimo o stereoskopskom snimanju i stereofotogrametriji (Hrvatska enciklopedija, 2021). Maurer (2021) navodi kako se prema položaju snimanja fotogrametrija dijeli na aerofotogrametriju, kada se objekti snimaju iz zrakoplova, satelita i drugih letjelica te terestričku fotogrametriju, kada se objekt snima sa tla.

Kako bi bilo moguće rekonstruirati geometrijske odnose i veličinu snimljenog objekta potrebno je provesti postupke orijentacije i izmjere. Digitalna fotogrametrija danas, zajedno sa tehnikama računalne obrade slike, omogućuje gotovo u potpunosti automatizirano dobivanje 3D digitalnog modela objekta. Tako fotogrametrija nalazi razne primjene u geodeziji (izmjera zemljišta i izradba karata) i izvan nje (arheologija, geologija, geografija, arhitektura, kriminalistika, vojne namjene, pa i medicina). Koristeći fotogrametriju mogu se pratiti pomaci ledenjaka, deformacije zgrada ili pojava i širenje pukotina na dijelovima konstrukcija. Naposljetku, bez fotogrametrije je nezamislivo kartiranje i proučavanje površine drugih planeta (Hrvatska enciklopedija, 2021).

Fotogrametrija u Hrvatskoj ima dugu povijest. Prva knjiga iz tog područja na hrvatskom jeziku objavljena je već 1897. godine (F. Kružić: Fotogrametrija i praktični dio tahimetrije), 1947. osnovana je katedra za fotogrametriju na Tehničkom fakultetu u Zagrebu, a 1961. utemeljen je Zavod za fotogrametriju kao prva samostalna ustanova te djelatnosti (Hrvatska enciklopedija, 2021).

U odnosu na metode klasičnog premjera, poput triangulacije i nivelmana, fotogrametrija ima niz prednosti (Hrvatska tehnička enciklopedija, 1976):

- Terenski posao se reducira na minimum, što je posebno izraženo kod teško prohodnih i nepristupačnih terena, te kod izrazito velikih područja snimanja.
- Samo snimanje terena je neusporedivo brže nego snimanje klasičnim metodama.
- Kartiranje je mnogo brže nego klasičnim metodama.
- Vjernost predočavanja oblika i linija terena je mnogo veća, posebno kod, po svojoj konfiguraciji, razvedenih terena i s nepravilnim linijama. Razlog tome je što se u fotogrametriji mjeri kontinuirano svaka točka linije, za razliku od klasičnih metoda gdje se mjere određene karakteristične točke, a ostale se točke interpoliraju.
- Zahvaljujući većoj brzini, fotogrametrijska kartiranja su u pravilu i aktualnija.

No, klasične metode također imaju određene prednosti (Hrvatska tehnička enciklopedija, 1976):

- Pri visokim zahtjevima u pogledu točnosti (npr. izmjera visokovrijednih objekata i zemljišta), klasične metode mogu dati veću točnost nego fotogrametrija.
- To posebno vrijedi za visinski premjer ravničastih zemljišta, koji se nivelmanom odredi vrlo jednostavno i točno, dok su oblik i položaj slojnica dobivenih fotogrametrijskom metodom opterećeni mnogo većom pogreškom.
- Također, u zaraslim područjima i šumskim (posebno crnogoričnim) predjelima, klasične metode su značajno točnije zbog slabog prodora fotogrametrijskog snimanja ispod krošnji i niskog raslinja.

2.1 Fotografija

Prema Maurer (2021), fotografija je postupak dobivanja trajne slike objekta djelovanjem elektromagnetskog zračenja (najčešće svjetlosti, tj. vidljivog dijela spektra) na fotoosjetljivu podlogu. Fotografija je također i naziv za pojedinačnu sliku dobivenu tim postupkom.

Svjetlost odbijena od stvarnog objekta projicira se na fotoosjetljivu površinu pomoću optičkog sustava, najčešće objektivom kamere ili fotografskog aparata i uzrokuje na njoj promjene koje su kod klasičnih fotografskih postupaka fotokemijske, a kod digitalne fotografije fotoelektrične naravi. Naziv fotografija prvi je upotrijebio britanski znanstvenik J.F.W. Herschel 1839.

Danas se za fotogrametrijske primjene podrazumijeva digitalna fotografija zbog svoje trenutne dostupnosti, kompatibilnosti s ostalim današnjim tehnologijama poput e-pošte, CD/DVD-a, TV i računalnih monitora, te niza softvera za uređivanje fotografija (obrezivanje, promjena boje, kontrasta, sjene, kombiniranje dviju ili više slika, itd.)

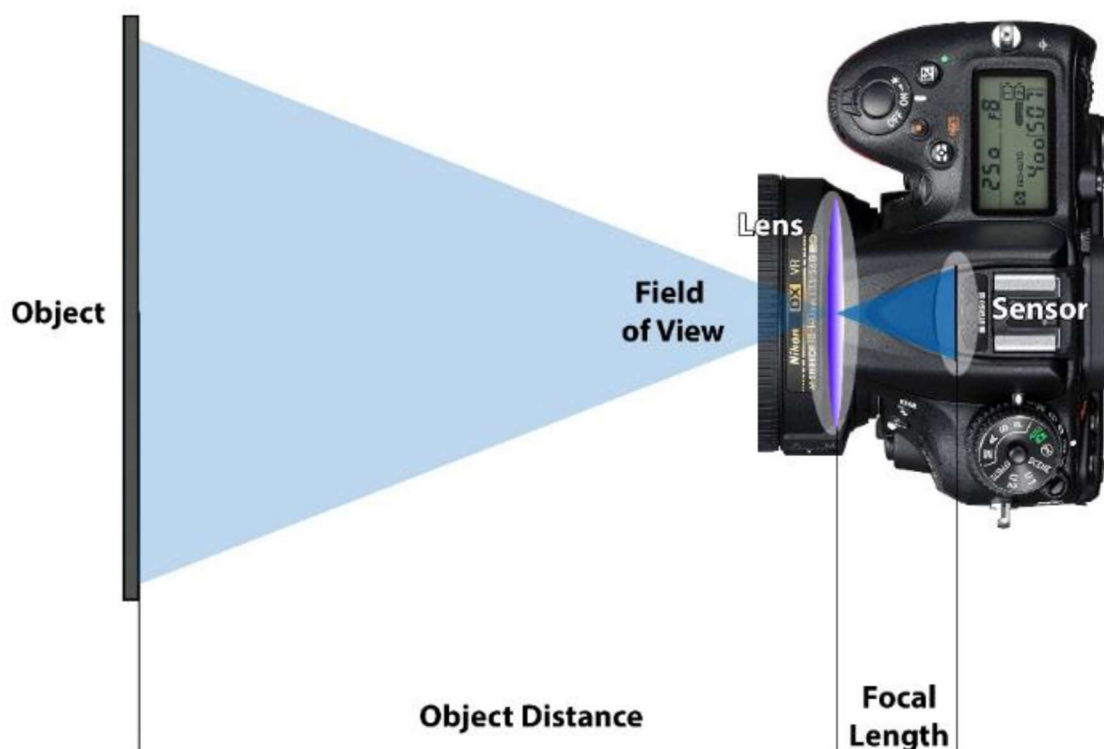
Tri su glavne postavke o kojima treba voditi računa kako bi se dobila kvalitetna fotografija (Geodetic Services Inc., n.d.):

1. Vidno polje
2. Fokuseranje
3. Ekspozicija

2.1.1 Vidno polje

Vidno polje kamere funkcija je žarišne duljine leće i veličine (formata) digitalnog senzora. Za određeni objektiv, senzor većeg formata ima veće vidno polje, te slično, za određenu veličinu senzora, leća kraće žarišne duljine ima šire vidno polje. Što je vidno polje šire, više se vidi s određene lokacije (Geodetic Services Inc., n.d.).

Odnos veličine formata, žarišne duljine leće i vidnog polja prikazan je na slici ispod.



Slika 1. Odnos veličine senzora, žarišne duljine leće i vidnog polja (Geodetic Services Inc., n.d.)

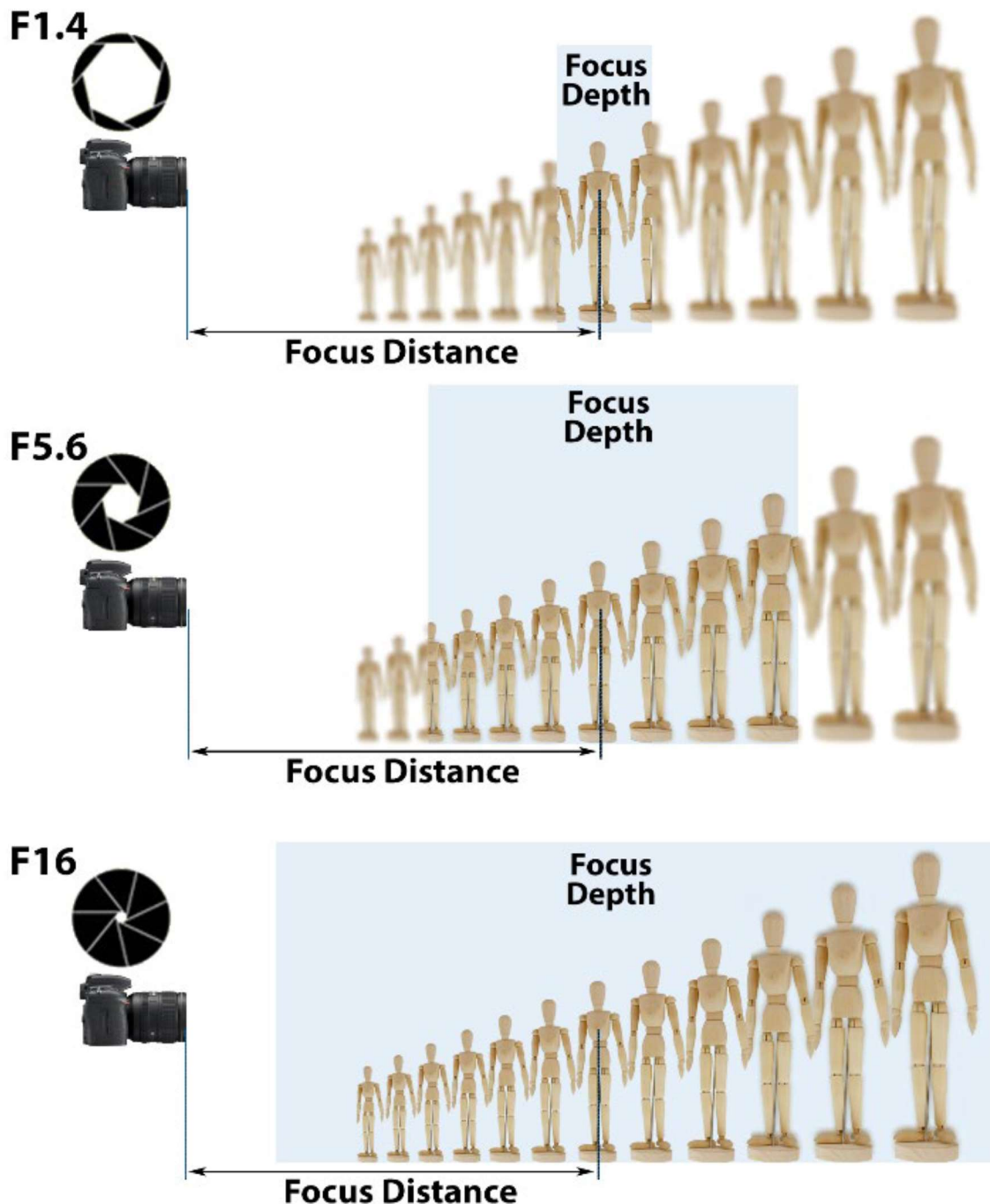
Za srednjekutne leće, praktično pravilo je da se kamera mora udaljiti od objekta onoliko koliko je velik objekt (u smjeru kamere). Odnosno, kameru je potrebno udaljiti oko tri metra da bi se vidio objekt od tri metra. Širokokutnim lećama treba manje prostora oko objekta, no one su također i manje precizne (Geodetic Services Inc., n.d.).

2.1.2 Fokuseranje

Jedna od bitnih postavki za dobivanje kvalitetne fotografije je, naravno, fokusiranje leće kako bi slika bila oštra. Raspon prihvatljive oštine naziva se dubina oštine. Dubina oštine

objektiva može biti složena funkcija mnogih čimbenika, uključujući žarišnu duljinu objektiva, udaljenost fotoaparata od objekta, veličinu objekta, f-broj objektiva itd.

Slika ispod prikazuje odnos između f-broja, udaljenosti fokusa i rezultirajuće dubine fokusa (Geodetic Services Inc., n.d.).



Slika 2. Odnos f-broja, udaljenosti fokusa i rezultirajuće dubine fokusa (Geodetic Services Inc., n.d.)

2.1.3 Ekspozicija

Ekspozicija fotografije određuje koliko će slika izgledati svijetlo ili tamno kada se snimi fotoaparatom. To određuju samo tri postavke fotoaparata: otvor blende, ISO i brzina

zatvarača (tzv. "trokut ekspozicije"). Ovladavanje njihovom uporabom bitan je dio razvoja intuicije za fotografiju (URL 4).

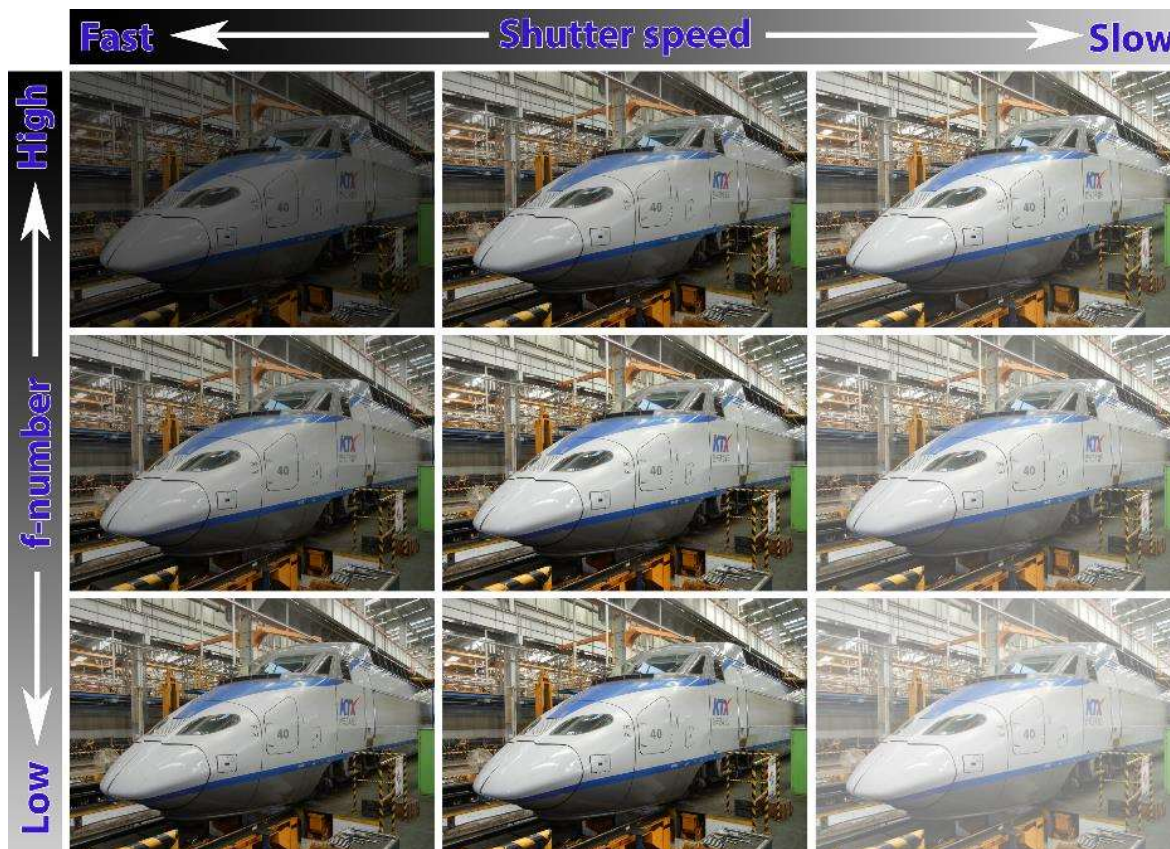
Svaka postavka drugačije kontrolira ekspoziciju:

- Otvor blende: kontrolira područje preko kojeg svjetlost može ući u kosrišteni fotoaparata
- Brzina zatvarača: kontrolira trajanje ekspozicije
- ISO brzina: kontrolira osjetljivost senzora korištenog fotoaparata na određenu količinu svjetla

Međutim, važno je znati koje kompromise napraviti jer svaka postavka također utječe na druga svojstva slike. Na primjer, otvor blende utječe na dubinu oštine, brzina zatvarača utječe na zamućenje pokreta, a ISO brzina utječe na šum slike (URL 4).

Za potrebe fotogrametrije, poželjno je postaviti mete svijetle, a pozadinu zatamnjenu. Kada se koristi retroreflektirajuće ciljanje, izloženost cilja i pozadine su gotovo neovisne jedna o drugoj. Ciljana ekspozicija tada je određena snagom bljeskalice, dok je ekspozicija pozadine određena ambijentalnim osvjetljenjem. Količina pozadinske ekspozicije kontrolira se vremenom zatvarača i f-brojem (Geodetic Services Inc., n.d.).

Slika ispod prikazuje odnos između brzine zatvarača i f-broja.



Slika 3. Odnos između brzine zatvarača i f-broja (Geodetic Services Inc., n.d.)

Uklanjanje pozadinske ekspozicije olakšava pronalaženje i mjerenje ciljeva. Međutim, ako nema nikakve pozadinske slike, pokušaj otkrivanja koja je meta koja može biti težak. Obično se traži kompromis tako da je objekt dovoljno zatamnjeno da ne ometa ciljno mjerenje, ali je još uvijek dovoljno svijetao da se može vidjeti kada se poboljša (Geodetic Services Inc., n.d.).

2.2 Digitalne kamere

Još od ranih sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća, digitalni fotoaparati se koriste za posebne fotogrametrijske primjene. Međutim, kamere dostupne u to vrijeme nisu bile vrlo precizne. Korištene su kamere s vidicon cijevi, a takve cijevi za snimanje nisu bile stabilne. Početkom osamdesetih godina dvadesetog stoljeća pojavljuju se solid-state kamere, čime je uklonjen taj nedostatak. U današnjim digitalnim fotoaparatom preferirani senzorski uređaj je uređaj sa spregnutim nabojem (CCD) jer pruža visoku stabilnost (Schenk, 2005).

Prema Schenku (2005), izraz digitalna kamera prilično je neformalan i može biti zavaravajući jer je izlazni signal u mnogim slučajevima analogan. Kao općenitiji izraz često se koriste pojmovi CCD kamera i solid-state kamera (iako se ovi pojmovi očito odnose na vrstu senzorskih elemenata, često se koriste u općenitijem smislu). Trenutna dostupnost slika za daljnju obradu i analizu jedna je od glavnih prednosti digitalnih fotoaparata u odnosu na analogne, što posebno dolazi do izražaja pri aplikacijama u stvarnom vremenu (npr. robotika, određene industrijske primjene, biomehanika itd.).

Osnovni elementi digitalnog fotoaparata su (Maurer, 2021):

- Kućište
- Tražilo (definiranje kadra - preko ekrana i fizički)
- Ekran (kadriranje, pregledavanje i namještanje postavki fotoaparata)
- Zatvarač (regulira vrijeme osvjetljenja fotosenzora)
- Fotosenzor (čip koji je osjetljiv na svjetlo i prima signal; zbog svoje visoke stabilnosti, Schenk (2005) ističe uređaje sa spregnutim nabojem (CCD) kao preferirane uređaje u današnjim digitalnim fotoaparatom)
- Procesor slike (pretvaranje svjetlosti u digitalni zapis)
- Memorijska kartica (pohranjivanje slika)

Današnji digitalni fotoaparati omogućuju profesionalnim fotografima, kao i fotografima amaterima podešavanje niza funkcija (automatski ili manualno). Također, postoji mogućnost ugrađivanja GNSS prijemnika u digitalne fotoaparate kako bi izlazne fotografije ujedno bile i georeferencirane (URL 2).

Digitalni fotoaparati dolaze u nizu veličina, značajki i cijena, uključujući sljedeće (URL 2):

- Kompaktni digitalni fotoaparat: prijenosan, jednostavan za korištenje i malen s ugrađenom bljeskalicom male snage. Slike se obično pohranjuju kao JPEG datoteke.
- Digitalni zrcalno-refleksni fotoaparat (DSLR): sustav gledanja koji koristi zrcalo za reflektiranje svjetlosti s leće preko optičkog tražila.
- Kamera prijelaznog tipa: koristi fiksni objektiv s malim senzorom, slično kompaktnim digitalnim fotoaparatom, no također i dijeli neke DSLR napredne značajke.
- Fotoaparat s izmjenjivim objektivom bez ogledala (MILC): kombinira senzore vrhunske kvalitete s DSLR objektivima, jednostavan i kompaktan.
- Sustav kamere za linijski pregled: podržava mehanizme za fokusiranje i obično sadrži senzorski čip za linijski pregled (korišten u industrijskim aplikacijama za snimanje fotografija pokretnog materijala).
- Integrirana kamera: ugrađuju se u razne uređaje, uključujući mobilne telefone, dlanovnike i prijenosna računala.

2.2.1 Objektivi

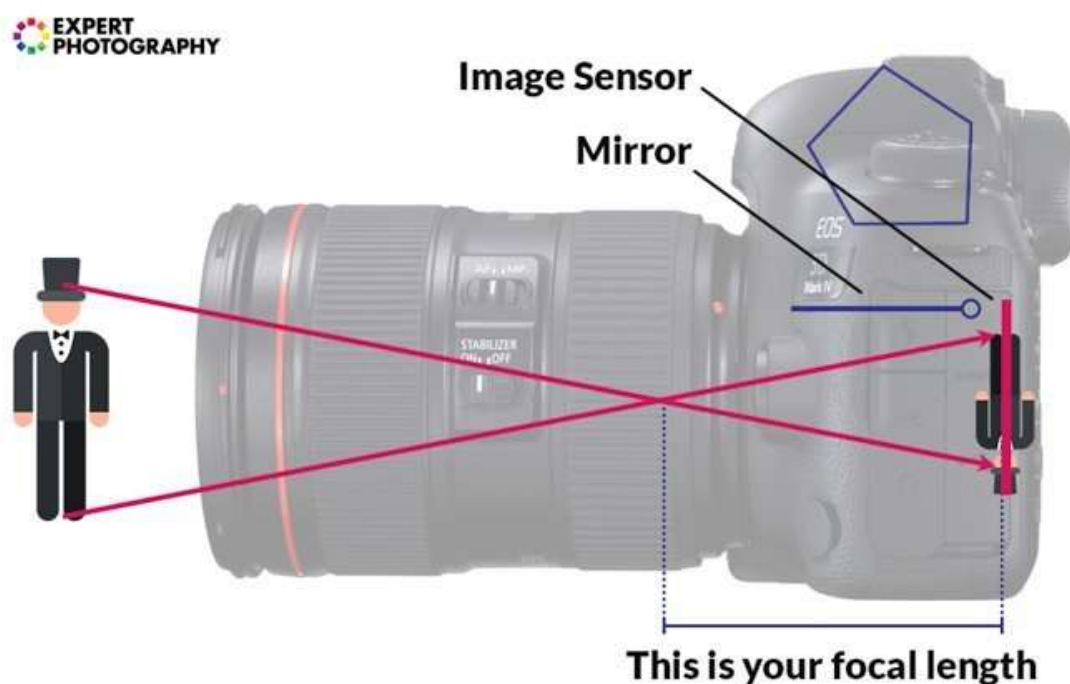
Svaki fotoapararat podrazumijeva postojanje optičkog elementa – objektiva. Kompaktni fotoaparati ga imaju ugrađenog, dok se na SLR fotoaparatomima može fleksibilno mijenjati. Ne postoji savršeni izbor objektiva koji daje optimalne rezultate u svakom slučaju, što SLR fotoaparatomima daje značajnu prednost za postizanje visoke kvalitete fotografija različitih objekata u različitim uvjetima (URL 5).

Objektiv fotoaparata usmjerava svjetlo i određuje koliko svjetla će kroz njega proći. To se djelomično postiže postavkom otvore blende. Stakleni elementi usmjeravaju svjetlost u jednu točku ispred senzora fotoaparata koja se naziva žarišna točka i definira žarišnu duljinu leće. Žarišna duljina je udaljenost između žarišne točke i senzora te nam pomaže u kategorizaciji vrsta leća (URL 6).

Kada se govori o objektivima, krovne kategorije su (URL 6):

- Prime
- Zoom

Prime objektivi imaju fiksnu žarišnu duljinu, te često imaju veći maksimalni otvor blende od zoom objektiva. Također imaju manje pokretnih dijelova nego zoom objektivi što ih čini lakšim i jeftinijim. S druge strane, zoom objektivi imaju žarišnu duljinu koja može varirati u određenom rasponu, što ih čini fleksibilnijima i daje fotografu veću kontrolu nad snimkom bez pomicanja svoje točke gledišta, no to ih ujedno čini težima i obično skupljima (URL 6).



Slika 4. Shema prolaska svjetla kroz objektiv do senzora (URL 6)

[" image sensor " = senzor slike; " mirror " = zrcalo; " focal length " = žarišna duljina]

Objektive također možemo podijeliti na:

- Normalne objektivne
- Širokokutne objektivne
- Ultraširokokutne objektivne
- Telefoto objektivne
- Super-telefoto objektivne
- Marko objektivne
- Tilt-shift objektivne

Normalni (standardni) objektiv ima žarišnu udaljenost između 35 mm i 85 mm. Naziv "normalni" ili "standardni" proizlazi iz sličnosti sa ljudskim okom. Kada se gleda kroz tražilo fotoaparata s pričvršćenim normalnim objektivom, jako je slično normalnom vidu ljudskog oka. Takvo prirodno vidno polje čini normalni objektiv popularnim izborom među mnogim fotografima i za mnoge tipove fotografija (ulična fotografija, fotoreporterstvo, portretna fotografija...).

Objektiv sa fiksnom žarišnom duljinom od 50mm često se naziva nifty-fifty. Dobio je nadimak jer je jedan od svestranijih i pouzdanijih tipova objektivna, popularan u mnogim područjima fotografije. To je i razlog zašto su jedne od najčešćih leća za pronaći (URL 6).

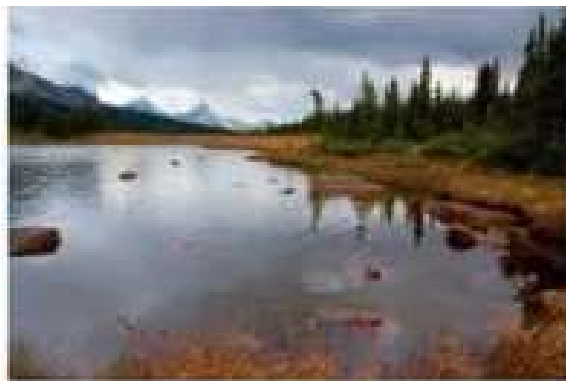


55 mm

Slika 5. Normlani objektiv (URL 7)

Širokokutni objektiv ima žarišnu duljinu između 14 mm i 35 mm. Daju široko vidno polje, panoramskije od standardnog objektivna, slično širokom platnu u kinematografiji. Širokokutni objektivni su neophodni za ozbiljne pejzažne fotografije, široki kut širi horizont, omogućujući fotoaparatu da "vidi" veći dio pejzaža (URL 6).

Također je neophodan za fotografe arhitekture i nekretnina. Za fotografiranje eksterijera, omogućuju snimanje cijele zgrade bez sve većeg udaljavanja, te jednako vrijedno za interijere, omogućuju snimanje cijelih prostorija iznutra (URL 6).



18 mm

Slika 6. Širokokutni objektiv (URL 7)

Objektiv sa žarišnom duljinom manjom od 14 mm naziva se ultraširokokutni objektiv. Vidno polje je toliko široko da je slika savijena i zakrivljena oko rubova, zbog čega je dobio i naziv "riblje oko" (fisheye). Iako ovi objektivni nude golemo vidno polje, zbog već spomenutih efekata zakrivljavanja imaju ograničenu privlačnost kod fotografa. Uglavnom se koriste za vizualni učinak u umjetničkoj fotografiji, a često i u ekstremnim sportovima poput snowboardinga i surfanja (URL 6).



Slika 7. Ultraširokokutne (URL 6)

Teleobjektiv omogućava nevjerojatnu razinu povećanja. Sadrži mnogo staklenih elemenata koji rade poput teleskopa. Koristeći teleobjektiv moguće je dobiti bliske snimke udaljenih objekata. Važno je napomenuti da je kut snimanja vrlo uzak kad se koristi teleobjektiv (URL 6).

Teleobjektive dijelimo na dvije podkategorije (URL 6):

- Kratki telefoto – žarišna duljina između 85 mm i 135 mm
- Standardni telefoto – žarišna duljina između 135 mm i 300 mm

Kvaliteta povećanja teleobjektiva čini ih popularnim posebno kod sportskih fotografa i fotografa divljih životinja, jer je moguće snimiti akcijske fotografije sportaša bez odlaska na teren, kao i dobiti intimne slike životinja u prirodi bez pretjeranog približavanja čime bi se mogli dovesti u opasnost ili prestrašiti životinje koje su objekt fotografije (URL 6).



200 mm

Slika 8. Telefoto objektiv (URL 7)

Objektiv sa žarišnom duljinom iznad 300 mm naziva se super-telefoto objektiv i ima još veće povećanje od telefoto objektiv. To su veliki, teški i skupi dijelovi opreme, koji imaju više od 10 precizno izrađenih staklenih elemenata.

Poput teleobjektiva, super-teleobjektive je također moguće pronaći kod sportskih fotografa i fotografa divljih životinja. Također, njihove teleskopske sposobnosti čine ih idealnim za astrofotografiju. Uz pomoć super-teleobjektiva moguće je snimiti nevjerovatne detalje galaksija i maglica na noćnom nebu (URL 6).



Slika 9. Supertelefoto (URL 6)

Već smo rekli da teleobjektivi rade poput teleskopa, a za razliku od njih makro objektiv rade poput mikroskopa. Omogućuju fotografiranje objekata iz velike blizine. Moguće je fotografirati male objekte s malom minimalnom dubinom oštine.

Za razliku od ostalih objektiv, makro objektiv se ne može kategorizirati samo prema žarišnoj duljini. Makro objektiv mogu imati žarišnu duljinu bilo gdje u rasponu od 35 mm do 200 mm. Makro leća definirana je sposobnošću fokusiranja na vrlo maloj udaljenosti. Makro objektiv koriste se za ekstremne krupne planove i fotografije sa sitnim subjektima. Nemaju široku primjenu što ih čini specijaliziranom opremom (URL 6).



Slika 10. Makro (URL 6)

Tilt-shift leće omogućavaju izobličenje i promjenu perspektive fotografije. Moguće je naginjati i pomicati optiku objektivu u odnosu na senzor fotoaparata, koji manipulira žarišnom ravninom. Naginjanje leće daje veću kontrolu nad dubinom oštrote te omogućuje gotovo beskonačnu dubinu na većem kraju ili preciznu točku fokusa na užem kraju.

Pomicanje leće kontrolira perspektivu, zbog čega su tilt-shift objektivu idealni za arhitektonsku fotografiju pri snimanju visokih zgrada (moguće manipulirati da zgrada izgleda nagnuto ili da okomite crte ostanu okomite). Kontrola perspektive također daje izvrsne kreativne mogućnosti (URL 6).



Slika 11. Tilt shit (URL 6)

2.2.2 Zaslona ili blenda

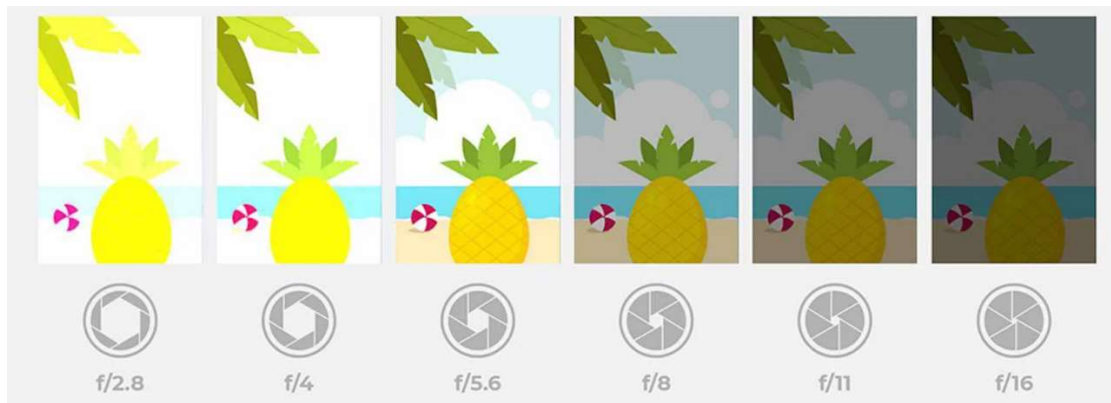
Otvor blende fotoaparata utječe na dvije ključne komponente snimanja izvrsne fotografije: svjetlo i fokus. Nužno je razumijevanje mehanizama koji se koriste. F-broj predstavlja udaljenost između ruba objektivu i rupe kroz koju se propušta svjetlost. Viši f-broj označava manji otvor blende fotoaparata i obratno, što možemo vidjeti prikazano na slici (URL 8).



Slika 12. Prikaz objektivu pri snimanju fotografije sa različitim postavkama otvora blende (f-broj) (URL 8)

Otvor blende je jedna od osnovnih postavki fotoaparata, a postavlja se uzimajući u obzir i postavke brzine zatvarača te ISO broj ("trokut ekspozicije"). Veličina otvora blende će diktirati koliko svjetlosti ulazi i koliko će fotografija biti eksponirana. U skladu s navedenim, što više svjetla prolazi kroz leću, fotografija će biti svjetlija (URL 8).

Utjecaj f-broja na ekspoziciju fotografije prikazan je na slici.



Slika 13. Kako f-broj utječe na ekspoziciju (URL 8)

No, podešavanje otvora blende ne utječe samo na izloženost svjetlosti, već i na dubinu oštine. Dubina oštine je područje prihvatljive oštine od prednjeg plana do pozadine. Jednostavno rečeno, definira koliko je mutno ili oštro područje ispred ili iza subjekta fotografije.

Veliki otvor blende (niski f-broj) rezultira malom dubinom oštine, odnosno javlja se veće zamućenje prednjeg plana i pozadine. To je idealno za portrete ili bilo koju fotografiju gdje se želi izolirati subjekt fotografije (URL 8).

Na slici je prikazan primjer fotografije snimljene sa velikim otvorom blende (mali f-broj).



Slika 14. Fotografija snimljena s velikim otvorom blende (niski f-broj) (URL 8)

Suprotno tome, mali otvor blende (visoki f-broj) rezultira većom dubinom oštine. Time se postiže oštija pozadina što je idealno za snimanje pejzaža (URL 8).

Na slici je prikazan primjer fotografije snimljene sa malim otvorom blende (visok f-broj).



Slika 15. Fotografija snimljena s malim otvorom blende (visoki f -broj) (URL 8)

2.2.3 Brzina zatvarača

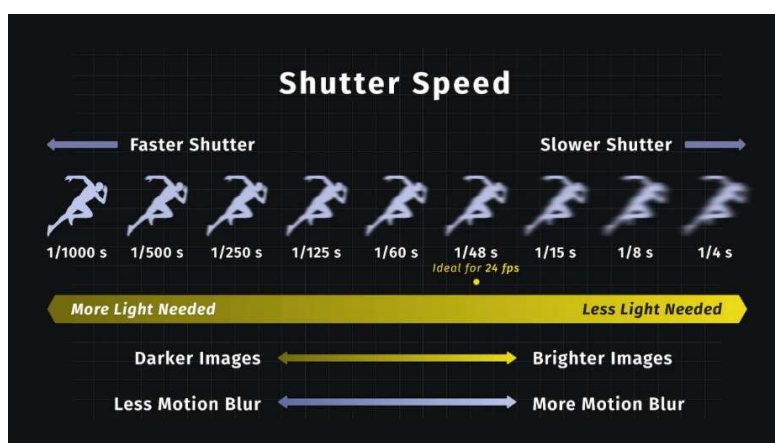
Za snimanje fotografije potrebno je digitalni senzor (ili film) izložiti svjetlu. Zatvarač se ponaša poput barijere koja spriječava prolazak svjetla kada se ne fotografira. Kada se pritisne gumb za otpuštanje okidača na fotoaparatu, okidač se otvara i snima fotografiju, te zatvara kada je gotova.

Brzina zatvarača definira koliko dugo je zatvarač fotoaparata otvoren, izlažući sliku svjetlu. Obično se izražava u djelovima sekunde. Manji broj predstavlja veću brzinu zatvarača. Suprotno tome, veći broj predstavlja manju brzinu zatvarača (URL 9).

Sukladno svemu navedenom, brzina zatvarača utječe na (URL 9):

- Ekspoziciju – ovisno o uvjetima osvjetljenja, mala brzina zatvarača posvjetlit će fotografiju, dok će velika brzina zatvarača potamniti fotografiju
- Kretanje – mala brzina zatvarača rezultirat će većim zamućenjem, a velika brzina zatvarača oštrijim prikazom pokreta

Utjecaj brzine zatvarača na osvjetljenost fotografije i zamućenje pokreta prikazan je na slici.



Slika 16. Utjecaj brzine zatvarača na osvjetljenost fotografije i zamućenje pokreta (URL 9)

[“Faster/slower shutter“ = “brži/sporiji zatvarač“; “Darker/brighter images“ = “tamnije/svjetlije fotografije“; “less/more motion blur“ = “manje/veće zamućenje pokreta“]

2.2.4 ISO

ISO je prvenstveno skraćenica od International Organization of Standardization (Međunarodna organizacija za standardizaciju). Ova organizacija je glavno upravno tijelo za standardiziranje, između ostalog i ocjena osjetljivosti za senzore fotoaparata.

Osjetljivost fotoaparata na svjetlo, odnosno osjetljivost digitalnog senzora (ili filma) na svjetlo izražava se ISO brojem. Predstavljen je brojevima kao što su 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 itd. Mijenjanjem ISO broja, mijenja se razina osjetljivosti senzora na svjetlost. Što je niži ISO broj, senzor je manje osjetljiv na svjetlost. Sukladno tome, što se više povećava ISO broj, povećava se i osjetljivost senzora na svjetlost.

U dobro osvijetljenim okruženjima treba koristiti niži ISO (200 ili niže), dok u uvjetima lošeg osvjetljenja treba koristiti veći ISO (400 ili više). ISO 100 se smatra standardom. Valja imati na umu i da veći ISO broj može uzrokovati zrnate fotografije (URL 10).

3. 3D MODELIRANJE

Bernik (2010) definira 3D modeliranje kao proces kreiranja matematičke reprezentacije trodimenzionalnog objekta, pri čemu je rezultat 3D model koji se renderiranjem može prikazati kao 2D slika ili se može koristiti kao resurs u real-time grafičkoj simulaciji.

Na osnovu informacija, uključujući podatke o točkama 3D prostora, danih u obliku razumljivom računalu, na zaslonu se iscrtava slika virtualnog objekta.

3D model je moguće generirati upotrebom raznih matematičkih algoritama pod nazivom proceduralno generiranje. Danas se sve više koristi postupak 3D skeniranja stvarnog objekta i pohranjivanja istog u formatu razumljivom računalu (Bernik, 2010).

3.1 Poligonalno modeliranje

U ovom slučaju, 3D modeli se predstavljaju nizom poligonalnih površina. Osnovni objekt je lomna točka 3D prostora. Dvije povezane točke čine rub, a tri točke generiraju trokut, koji je ujedno i najjednostavniji poligon. Trostrani i četverostrani poligoni se mogu izdvojiti kao najčešće korišteni elementi poligonalnog modeliranja. Model tada čini grupa poligona povezanih zajedničkim lomnim točkama. Potrebno je voditi računa o geometriji 3D modela, kao i o mogućim deformacijama nastalim uslijed modeliranja. Razne ljudske greške, na koje softveri neće reagirati kao takve, mogu uzrokovati greške u modelu (pogrešan unos koordinata poznatih lomnih točaka, preklapanje poligona itd.). Kako bi se minimizirale pogreške, korisnik koji stvara 3D model treba jako dobro poznavati alat koji koristi i područje primjene modela (Bernik, 2010).

3.2 NURBS modeliranje

NURBS (Non-Uniformal Rational Bezier Splines) predstavlja matematički algoritam koji 3D modele prikazuje pomoću krivulja i površina. Rezultat ovakvog modeliranja je glatka površina bez nazubljenosti rubova neovisno o veličini monitora i rezoluciji. Bézierova krivulja osnova je geometrije NURBS-a, a program ju iscrtava automatski između kontrolnih vrhova. Svaka krivulja definirana je svojim početkom, krajem i zakrivljenošću. Razina zakrivljenosti ovisi o kontrolnim vrhovima sadržanim u krivulji. Dodavanjem novih vrhova u krivulju, dobivaju se nove točke za manipulaciju, bez narušavanja glatkoće i zaobljenosti. Krivulja koja nastaje upotrebom kontrolnih vrhova naziva se izoparma. Površina stvorena između izoparmi se sastoji od raspona koji prate zakrivljenost površine definiranu izoparmama (Bernik, 2010).

3.3 Subdivizijsko modeliranje

Subdivizijsko modeliranje površina je kombinacija NURBS modeliranja i poligonalnog modeliranja. Modeliranje najčešće počinje kao poligonalno, a zatim se koristeći matematičke principe NURBS modeliranja zaglađuju grubi rubovi modela. Subdivizijske površine su definirane rekurzivno, te se proces teoretski može izvoditi u beskonačnost, ali u praksi je primjena ovog algoritma ipak ograničena. Sheme određivanja subdivizijske površine mogu se podijeliti u dvije kategorije: interpolacijske i aproksimirajuće sheme. Interpolacijske sheme zadržavaju izvorne položaje vrhova u izvornoj mreži, dok aproksimirajuće sheme mogu prilagođavati izvorne pozicije prema potrebi (Bernik, 2010).

4. SNIMANJE FOTOGRAFIJA POTREBNIH ZA IZRADU 3D MODELA

4.1 Korišteni instrumentarij za snimanje

U ovom poglavlju biti će opisan korišteni instrumentarij za snimanje. Za provedbu fotogrametrijske metode neophodna je neka vrsta kamere za snimanje fotografija. Kamere prikvačene za vozila poput dronova i aviona, standardne fotografske kamere, a u današnje vrijeme čak i kamere na mobilnim uređajima mogu se koristiti za provedbu fotogrametrijske metode. Vrsta kamere koja će se koristiti, ovisit će o vrsti fotogrametrije, karakteristikama objekta kojeg snimamo, te željenoj kvaliteti samog 3D modela. Za potrebe ovog projekta korišten je digitalni fotoaparat Canon EOS 1100D, opisan u nastavku.

4.1.1 Digitalni fotoaparat Canon EOS 1100D

Fotografije korištene za izradu dvaju modela snimljene su Canon EOS 1100D digitalnim fotoaparatom sljedećih specifikacija:

Tablica 1. Specifikacije digitalnog fotoaparata Canon EOS 1100D (URL 1)

Vrsta slikovnog senzora	22,4 x 14,7mm CMOS
Žarišna udaljenost	1,6x žarišne udaljenosti objektiva
Vrsta zatvarača	Elektronički kontrolirani zatvarač u žarišnoj ravnini, s elektroničkim prvim zastorom
Brzina zatvarača	- 30-1/4000 s - Bulb (ukupan raspon brzine zatvarača, dostupan raspon ovisi o načinu snimanja)
Balans bijele boje	Automatski balans bijele sa senzorom slike
Zadane mogućnosti balansa bijele boje	- AWB - Dnevno svjetlo - Sjena - Oblačno - Volfram - Bijelo - Fluorescentno svjetlo - Bljeskalica - Prilagođeno
Načini rada bljeskalice	- Automatski - Ručno uključivanje/isključivanje bljeskalice
Vrsta monitora	LCD 27"
Načini snimanja fotografija	- Auto - Portret

	<ul style="list-style-type: none"> - Pejzaž - Krupni plan - Sport - Noćni portret - Bez bljeskalice - Kreativni automatski - Program AE - AE s prioritetom zatvarača - AE s prioritetom otvora blende - Ručno - A-DEP
Stilovi slike	<ul style="list-style-type: none"> - Standardno - Portret - Pejzaž - Neutralno - Vjerno - Jednobožno - Korisnički definirano (mogućnost spremanja vlastitih postavki x3)
Načini okidanja	<ul style="list-style-type: none"> - Pojedinačno - Kontinuirano - Samookidač (2 s, 10 s, 10 s + kontinuirani snimci 2-10)
Format fotografije	<ul style="list-style-type: none"> - JPEG (Fine, Normal) - RAW (14-bitni Canon originalni RAW 2. izdanje) - Moguće simultano snimanje RAW + Large JPEG
Veličina fotografije	<ul style="list-style-type: none"> - JPEG (L) 4272x2848 - JPEG (M) 3088x2056 - JPEG (S1) 2256x1504 - JPEG (S2) 1920x1280 - JPEG (S3) 720x480 - RAW 4272x2848
Pohrana	<ul style="list-style-type: none"> - SD kartica - SDHC kartica - SDXC kartica
Radna temperatura i vlažnost	0 – 40°C, 85% ili manje vlažnosti
Dimenzije fotoaparata	129,9 x 99,7 x 77,9mm
Masa fotoaparata	Cca 495g (uključujući bateriju i memorijsku karticu)



Slika 17. Digitalni fotoaparati Canon EOS 1100D (URL 1)

4.2 Izvedba snimanja

U okviru ovog projekta fotografirana su 2 mala objekta:

- Objekt 1: drvena škrinjica



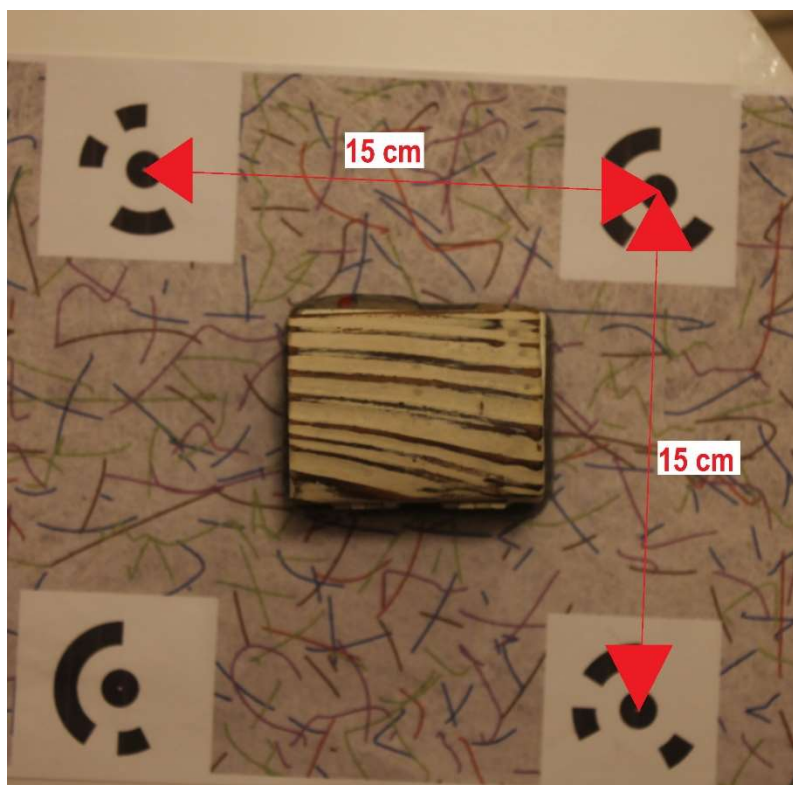
Slika 18. Objekt 1: Drvena škrinjica

- Objekt 2: crni plastični objekt nepravilnog oblika (dio sa bicikla)



Slika 19. Objekt 2: Crni plastični objekt nepravilnog oblika

Oba predmeta postavljena su na podlogu sa 4 kodirana markera koji čine okvir 15x15 cm.



Slika 20. Prikaz markera prilikom fotografiranja objekata za izradu modela

Markeri su bitni kako bi bilo moguće odrediti mjerilo 3D modela, odnosno kako bi sami 3D model poprimio dimenzije objekta u stvarnosti. Fotografije su snimljene Canon EOS 1100D digitalnim fotoaparatom, sa ručnim postavkama i bez uporabe bljeskalice. Fotografije su snimljene pod umjetnom svjetlošću. Također je važno napomenuti da su oba objekta

snimljena s jedne strane i zatim okrenute naopako i ponovo snimljene kako bi u konačnici dobili 3D model objekta sa svih strana.



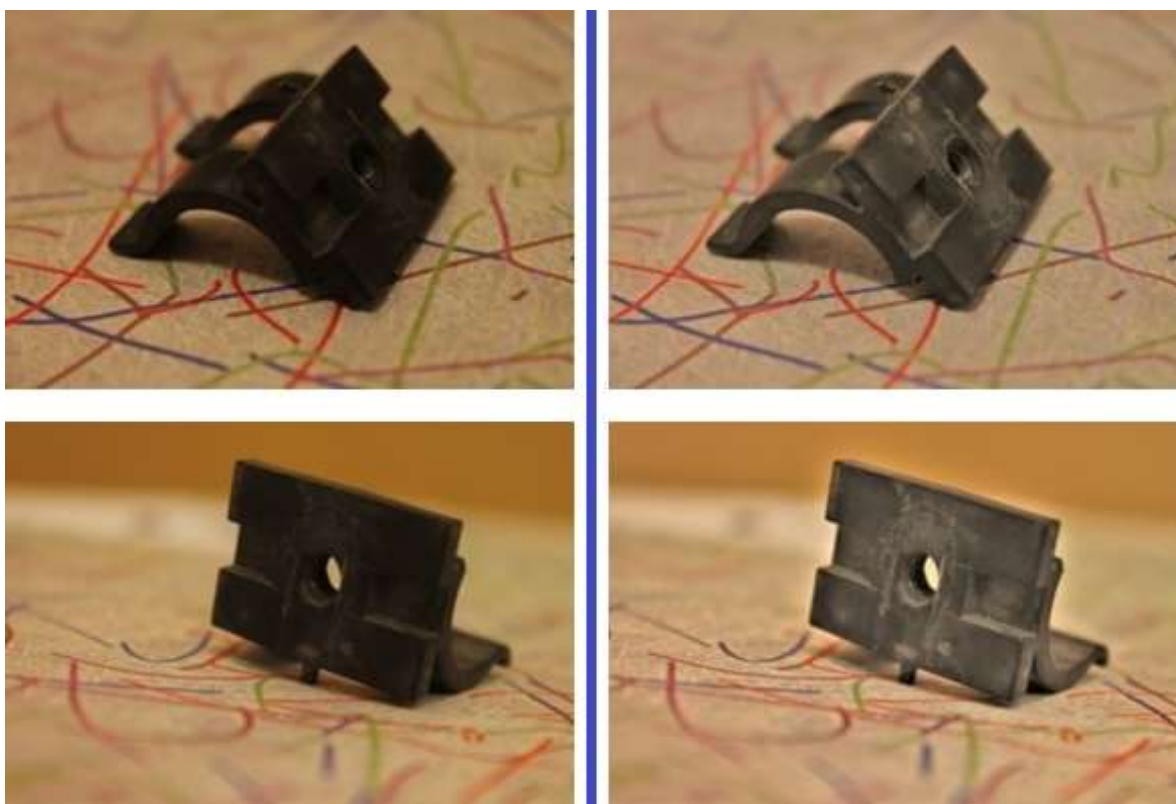
Slika 21. Prikaz fotografiranja objekata snimanih sa različitih strana

5. OBRADA I ANALIZA PRIKUPLJENIH FOTOGRAFIJA TE REZULTANTNI 3D MODELI

U ovom poglavlju će biti objašnjeni postupci korišteni za izradu dvaju 3D modela, nakon završenog postupka prikupljanja fotografija.

5.1 Obrada fotografija prije izrade 3D modela

Ponekad, zbog razloga poput lošeg osvjetljenja pri snimanju fotografija ili zbog specifičnih karakteristika objekta, može doći do potrebe za uređivanjem originalnih fotografija. Fotografije Objekta 1 korištene su originalne kakve su snimljene za izradu modela. Zbog karakteristika Objekta 2 (crna, glatka, jednobojna površina nepravilnog oblika) na tim je fotografijama bilo potrebno obaviti određene korekcije kontrasta, svjetline i sjene. Navedene korekcije obavljene su u Windows Photo Editor softveru.



Slika 22. Prikaz fotografija Objekta 2 prije i nakon uređivanja u Windows Photo Editor softveru

Nakon što su prikupljene fotografije zadovoljavajuće kvalitete, može se pristupiti izradi 3D modela.

5.2 Softver korišten za izradu 3D modela

U ovom poglavlju biti će opisan korišteni softver za izradu 3D modela. Za izradu 3D modela neophodan je nekakav fotogrametrijski softver za obradu fotografija. U današnje vrijeme dostupan je niz komercijalnih softvera, kao i softvera otvorenog koda (open source software) za izradu 3D modela objekata. Odabir softvera ovisit će o financijskim mogućnostima, brzini i razini automatiziranosti postupka te željenoj izlaznoj kvaliteti. Za potrebe ovog projekta korišten je softver Reality Capture, čije su karakteristike opisane u nastavku.

5.2.1 Reality Capture

Za izradu dvaju modela koji su dio ovog projekta korišten je Reality Capture softver sljedećih karakteristika:

Tablica 2. Karakteristike softvera Reality Capture (URL 11)

Vrste podataka za unos	<ul style="list-style-type: none"> - Slike u JPEG, PNG, TIFF, EXR, WEBP, BMP, DNG, HEIC i RAW formatima - Videozapisi u MPEG, AVI, ASF, QT, MOV i VMW formatima - Podaci laserskog skeniranja u PTX, E57, PLY, ZFS i ZFPRJ formatima - 3D modeli u OBJ, FBX, DXF, DAE i PLY formatima - Stereoskopske slike dobivene uz pomoć Leica BLK3D Image Group - Podaci o letu i zemaljskim kontrolnim točkama, PPK/RTK datoteke s informacijama o točnosti - Podržava unos slika s maskama i različitim slojevima za teksturu
Preklapanje podataka	<ul style="list-style-type: none"> - Moguća kombinacija slika i podataka laserskog skeniranja - Podržava georeferencirane i mjerljive podatke - Otkrivanje neusklađenih položaja kamera
Mogućnosti uređivanja modela	<ul style="list-style-type: none"> - Prilagodljiva gustoća detalja - Alati za uređivanje modela (zaglađivanje, pojednostavljenje, zatvaranje rupa u modelu...) - Alati za ispravljanje topologije modela - AI klasifikacija gustih oblaka točaka - Pridruživanje boje točkama modela - Prijenos teksture s modela na model
Izvoz i dijeljenje podataka	<ul style="list-style-type: none"> - Moguć direktan prijenos na Sketchfab, Cesium Ion i Nira - Izvoz oblaka točaka različite gustoće u XYZ, LAS i PTX formatima - Izvoz modela u OBJ, FBX, PLY, ABC, GLB, STL, 3MF, DXF i DAE formatima - Unaprijed definirana ili prilagođena izvješća - Izvoz niza postavki samog modela
Mjerenje i kontrola	<ul style="list-style-type: none"> - Automatsko detektiranje kodiranih markica - Automatska transformacija između koordinatnih sustava - Moguća izmjera duljina, površina i volumena
Područja primjene softvera	<ul style="list-style-type: none"> - Mjerenje i kartiranje

	<ul style="list-style-type: none"> - Vizualni efekti/ industrija računalnih igara - Vizualizacija objekata i proizvoda - Očuvanje kulturne baštine - Simulacije prostora - Istraživanje i edukacija - Proizvodnja i 3D printanje
--	--

5.3 Izrada 3D modela koristeći Reality Capture

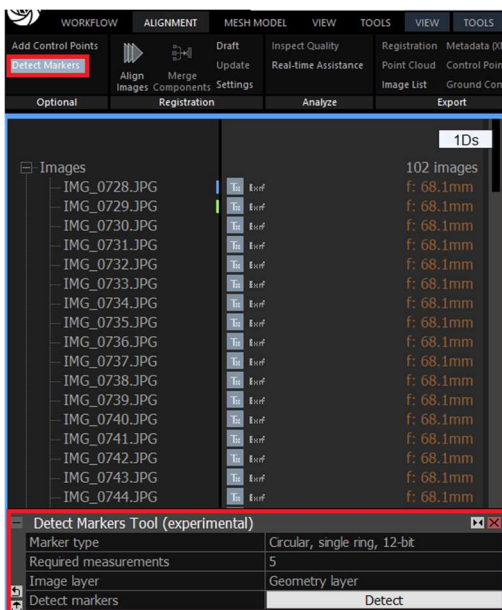
3D modeli su izrađeni u Reality Capture softveru. Prvo što je učinjeno nakon pokretanja softvera je postavljanje lokalnog euklidskog koordinatnog sustava. (Workflow – Settings – Coordinate System – Local 1: Euclidean)



Slika 23. Postavljanje lokalnog koordinatnog sustava

Zatim su uvezene slike prve strane objekta. (Import pictures)

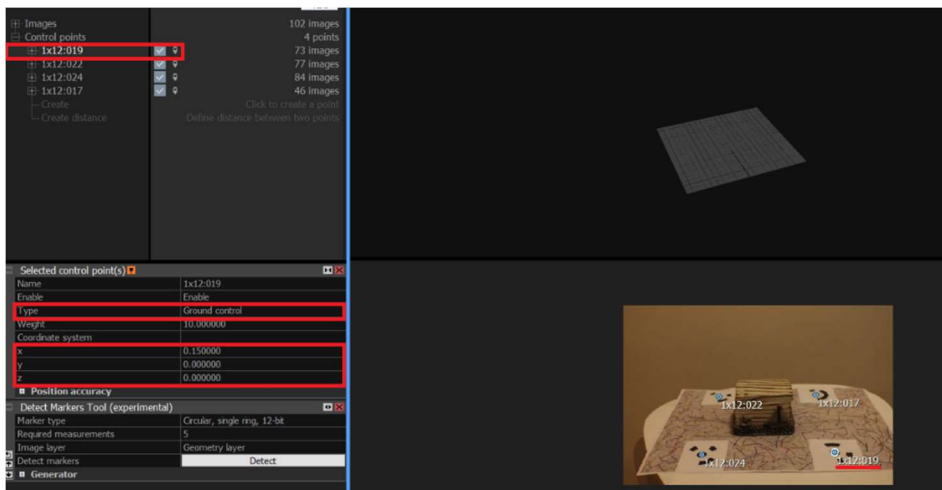
Sljedeće se pristupilo detektiranju markera na slikama automatski kroz softver (Alignment – Detect markers)



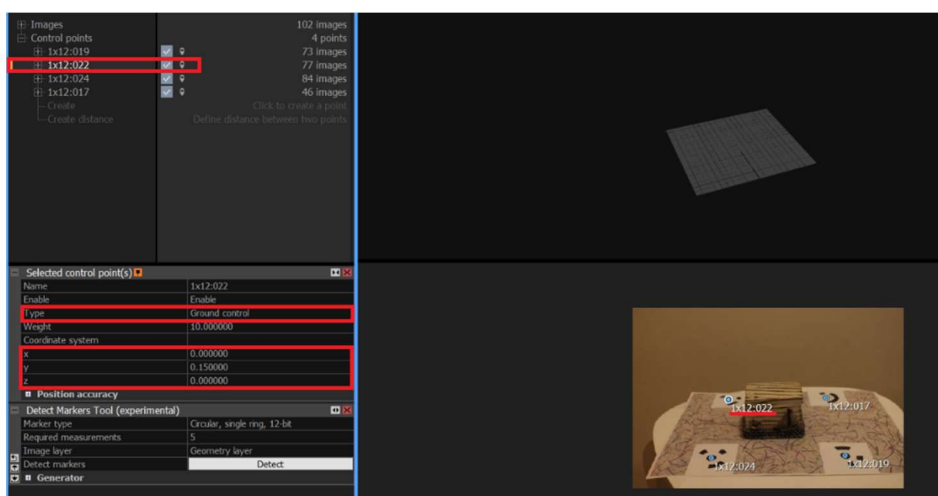
Slika 24. Detektiranje markera

Prepoznatim markerima na slikama zadan je tip "zemaljske kontrolne točke" te su im dodijeljene pripadajuće koordinate. (Control points – Type – Ground Control Points)

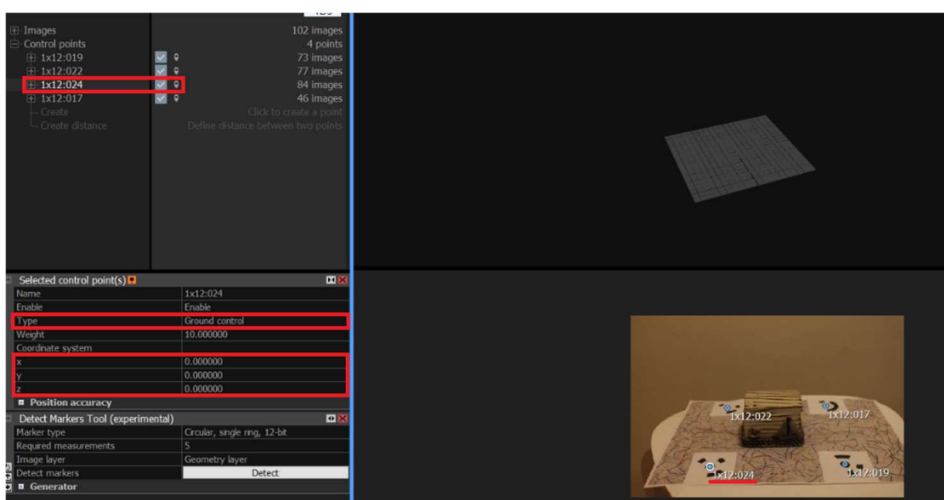
U nastavku je prikazano dodjeljivanje koordinata pripadajućim točkama za Objekt 1, a jednako je učinjeno i za Objekt 2.



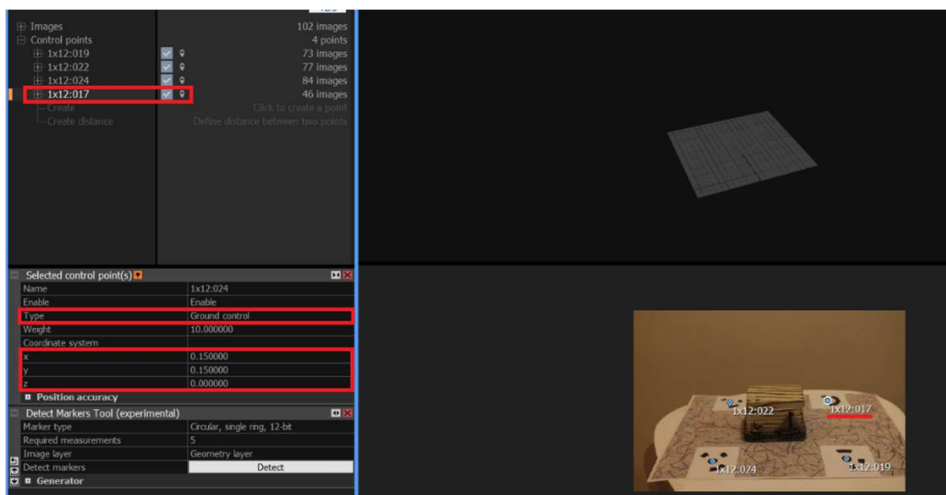
Slika 25. Zadavanje vrste točke i dodjeljivanje pripadajućih koordinata _1



Slika 26. Zadavanje vrste točke i dodjeljivanje pripadajućih koordinata _2

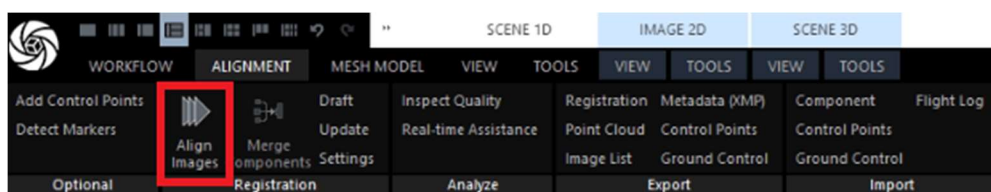


Slika 27. Zadavanje vrste točke i dodjeljivanje pripadajućih koordinata _3



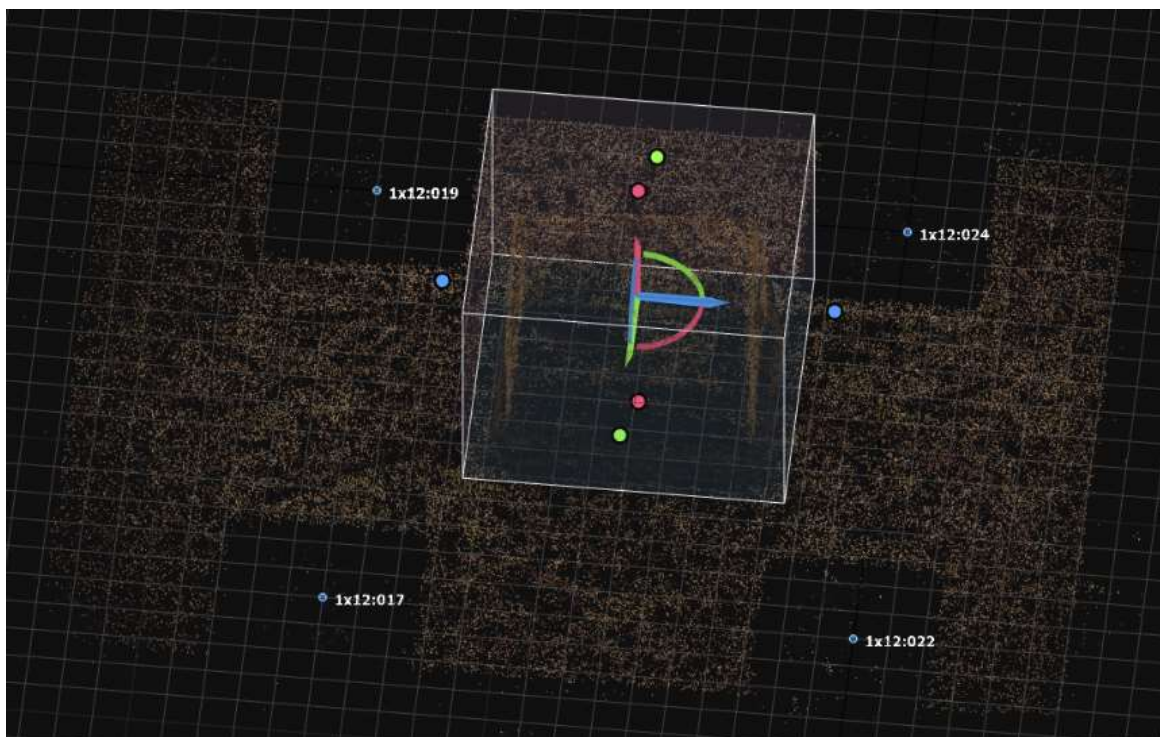
Slika 28. Zadavanje vrste točke i dodjeljivanje pripadajućih koordinata_4

Nakon toga pristupilo se preklapanju fotografija. (Aligment – Align images)

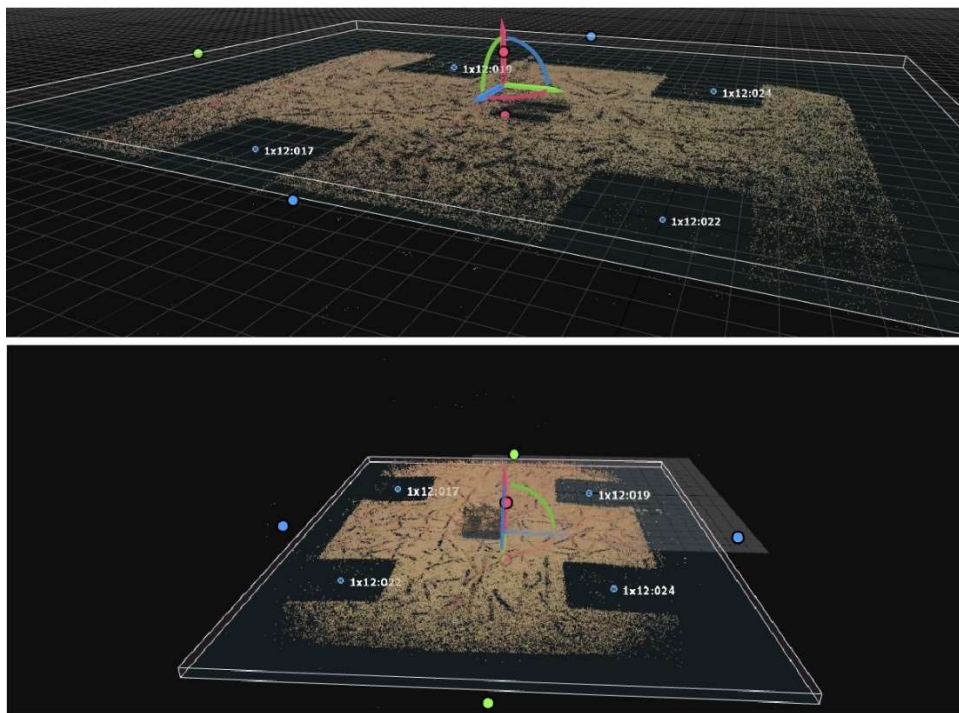


Slika 29. Zadavanje naredbe za preklapanje fotorafija

Rezultat preklapanja fotografija je oblak točaka.

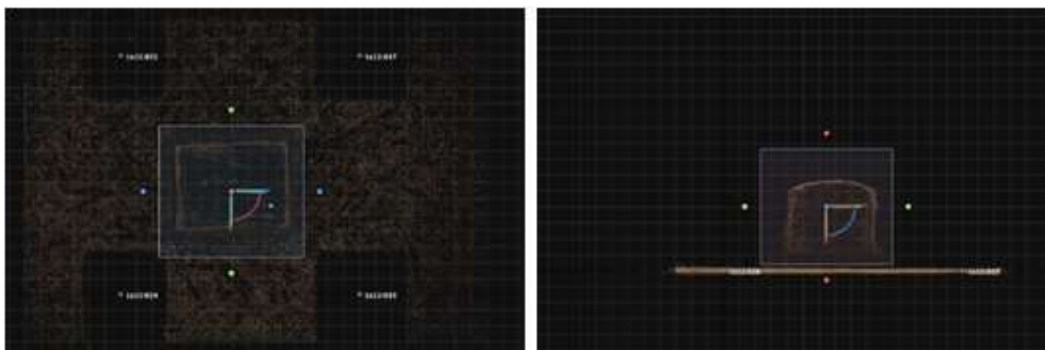


Slika 30. Oblak točaka kao rezultat preklapanja fotografija Objekta 1

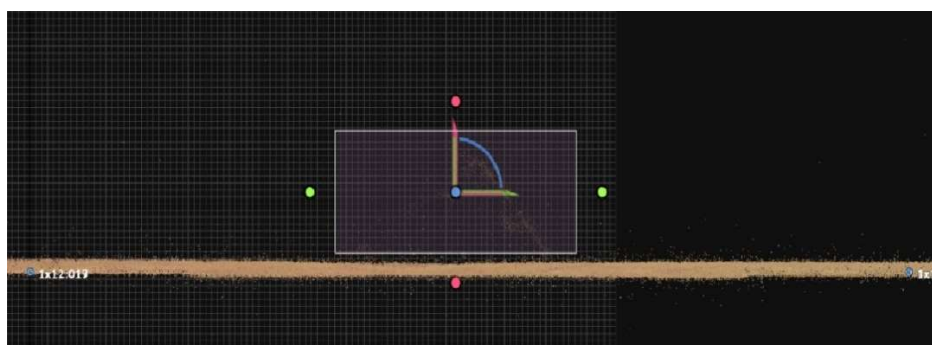


Slika 31. Oblak točaka kao rezultat preklapanja fotografija Objekta 2

Zatim slijedi definiranje područja rekonstrukcije, na način da se obuhvate točke objekta čiji model izrađujemo, a da se zanemare točke podloge i eventualne okoline. (Reconstruction region)

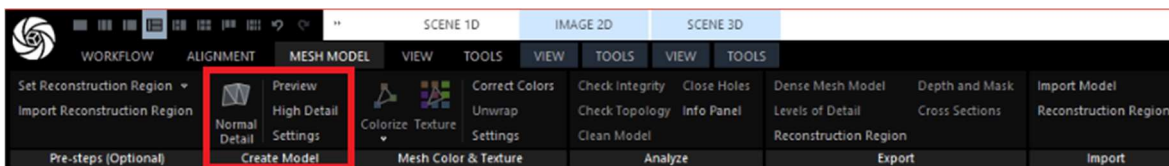


Slika 32. Definiranje područja rekonstrukcije Objekta 1



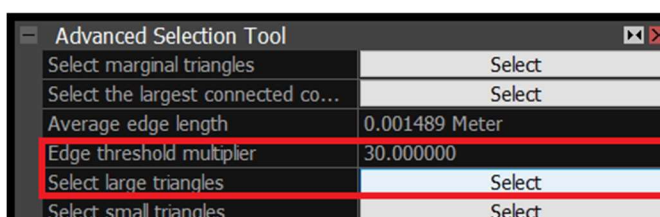
Slika 33. Definiranje područja rekonstrukcije Objekta 2

Model je moguće izraditi kao pregled (niska kvaliteta, jako brz proces izračunavanja modela), kao normalan model (optimalan omjer kvalitete i brzine izrade modela), te kao visoko detaljan model (visoka kvaliteta, dug proces izračunavanja modela). U ovom slučaju prvo je napravljen pregled. (Mesh model – Preview)



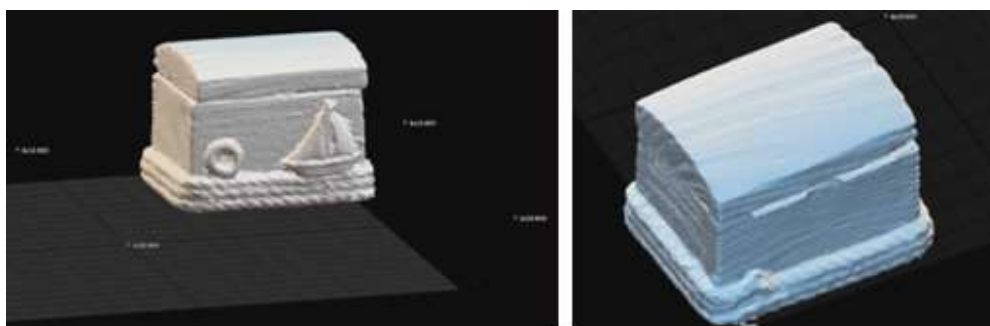
Slika 34. Naredbe za kreiranje modela

Nakon izrađenog pregleda odabrani su i uklonjeni veliki trokuti u modelu. (Scene 3D – Tools – Advanced – Select large triangles – Edge treshold Multiplier (30) – Select – Filter selection)

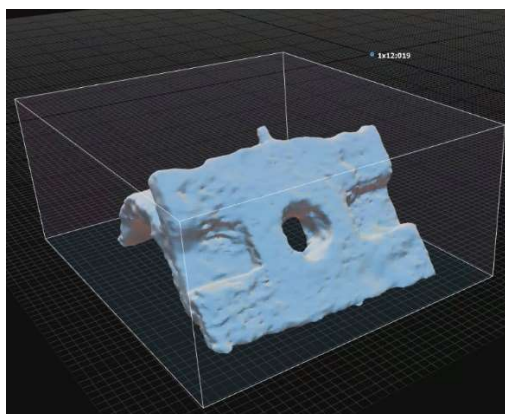


Slika 35. Odabiranje velikih trokuta u modelu

Sada kada su uklonjeni veliki trokuti iz modela, izrađuje se normalni model. (Mesh model – Normaln Detail)

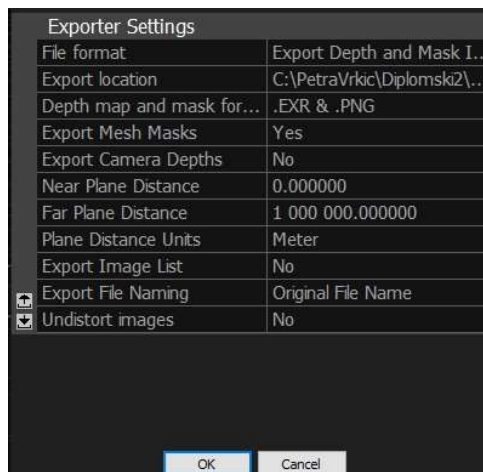


Slika 36. Normalni model prve strane Objekta 1



Slika 37. Normalni model prve strane Objekta 2

Iz takvog modela jedne strane sada je moguće izvesti maske fotografija. (Scene 3D – Tools – Export - Depth and mask – Export camera depths (No))

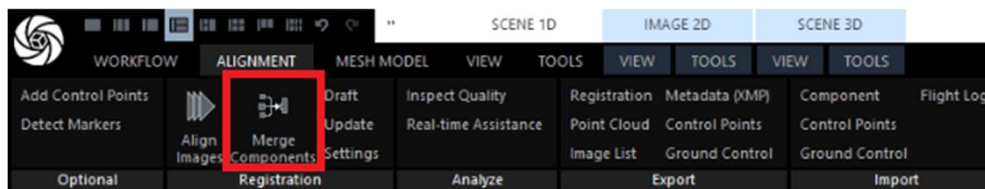


Slika 38. Izvoz maski fotografija

Nakon što su izvezeno maske prve strane otvara se novi prozor i ponavlja postupak sa fotografijama druge strane objekta. (New scene)

Kada je kompletan postupak do izvoženja maski obavljen za obje strane, otvara se ponovo novi prozor. Definira se lokalni euklidski koordinatni sustav te se uvoze fotografije prve strane, ovaj put s maskama. Ponavlja se postupak prepoznavanja markera i definiranja njihovih koordinata. Nakon definiranih markera jedne strane, uvoze se i fotografije druge strane objekta s maskama.

Zatim slijedi preklapanje fotografija s obje strane te njihovo spajanje (Alignment – Align images; Alignment - Merge components)

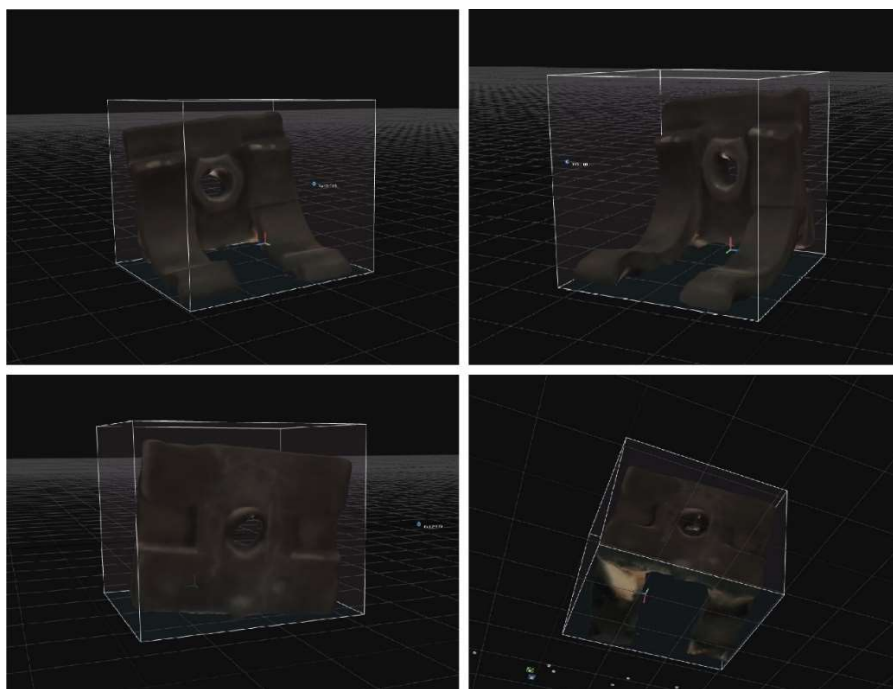


Slika 39. Spajanje komponenti jedne i druge strane

Ovog puta se pristupa izradi visoko detaljnog modela, a zatim i izračunavanju teksture i boje (Mesh model – High detail model; Mesh model – Texture; Scene 3D – Tools – Simplify tool – Color reprojection - Enable).



Slika 40. High detail model Objekta 1

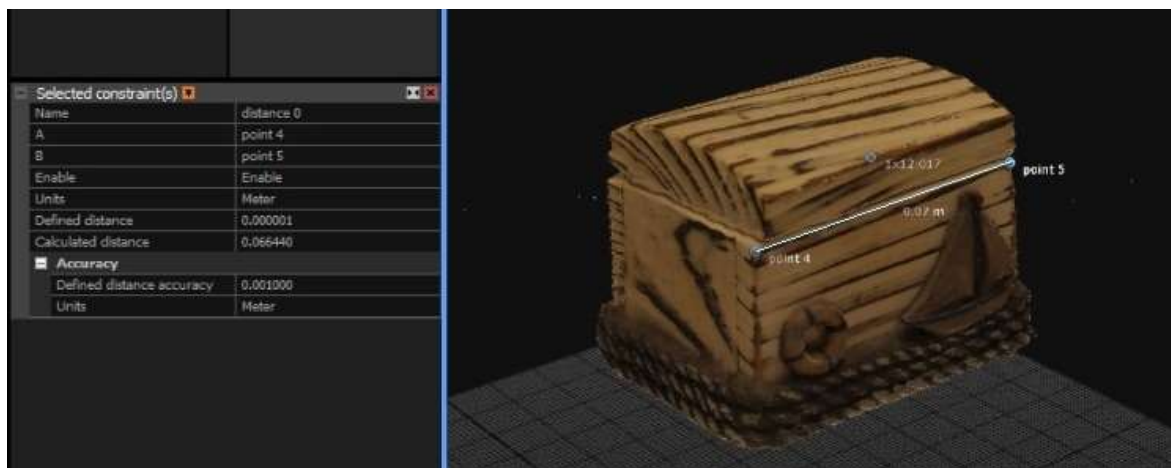


Slika 41. High detail model Objekta 2

Time je završen potupak izrade 3D modela i može se izvesti kao takav. (Mesh model – Export – Dense mesh model)

5.4 Analiza rezultatnih 3D modela

Već na prvi pogled, vidljiva je izražena razlika u kvaliteti modela Objekta 1 i modela Objekta 2. Model Objekta 1, dakle model objekta izrađenog od drva i tekstila te kontrastnih boja, značajno je kvalitetniji od modela Objekta 2, u potpunosti jednolično crnog plastičnog objekta. Sama izrada modela je također jednostavnija kod Objekta 1, dok je kod Objekta 2 potrebno puno više iteracija istih postupaka kako bi se dobio prihvatljiv rezultat, pogotovo u usporedbi s modelom Objekta 1. Kao što će biti prikazano u nastavku, oba modela su mjerljiva. Može se smatrati da su modeli kvalitetno izrađeni, naravno ovisno o namjeni samog modela. Kod modela Objekta 2 izazito je smanjena kvaliteta detalja, te je narušena i sama tekstura objekta. Softver je imao poteškoće pri razaznavanju različitih dijelova objekta što je vildljivo kod primjene naredbe align ("preklapanje"), ali i kod spajanja dviju strana modela kako bi se dobio jedinstveni rezultatni model objekta sa svih strana. Tako se javlja situacija da su modeli strane 1 i strane 2 zapravo kvalitetniji od završnog modela cijelog objekta jer softver nije mogao prepoznati zajedničke točke objekta na fotografijama. To se može korigirati u određenoj mjeri ručnim unosom dodatnih veznih točaka, no i tada je potrebno da program prepozna na kojim fotografijama je točka vidljiva. Kombinacija svih utjecaja, uključujući mali tamni predmet sitnih detalja i jednolične boje, osrednje uvjete osvjetljenja pri prikupljanju fotografija, te prilično automatiziran softver, rezultirali su i modelom osrednje kvalitete. Dovoljno kvalitetan da reprezentira uopćeni oblik objekta s njegovim dimenzijama no nedovoljno kvalitetan za, na primjer, rekonstrukciju navoja u sredini objekta. Govoreći o Objektu 1, slučaj je puno jednostavniji. Softver je puno bolje prepoznao različite dijelove objekta, čemu je zasigurno pridonijela priroda samog objekta: jedinstveni uzorci duž objekta, izraženi kontrastnim bojama te tekstura koje ne stvaraju odsjaj pri osvjetljavanju. Poprilično automatiziranim i brzim postupkom dobiven je model zadovoljavajuće kvalitete. U nastavku je prikazan odnos duljina na 3D modelu i mjereno na objektu.



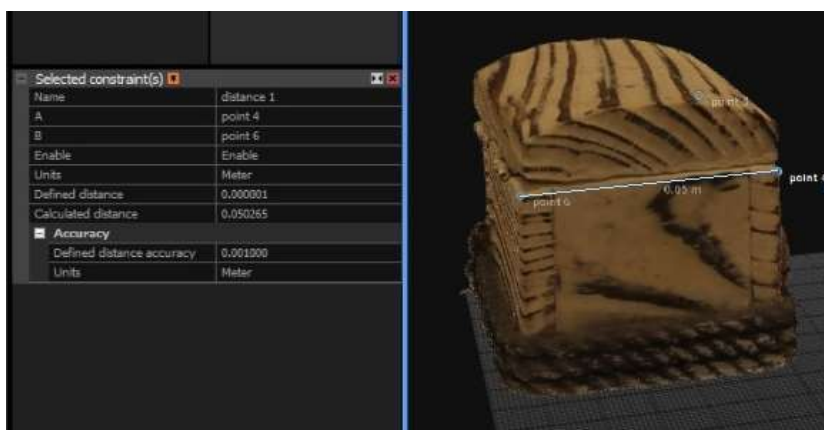
Slika 42. Duljina brida Objekta 1 mjerena na 3D modelu_1



Slika 43. Duljina brida Objekta 1 izravno mjerena na objektu_1

Tablica 3. Usporedba odgovarajućih duljina na modelu i na stvarnom objektu_1

Duljina mjerena na modelu [cm]	Duljina mjerena na objektu [cm]	Razlika [cm]
6.6	6.7	-0.1



Slika 44. Duljina brida Objekta 1 mjerena na 3D modelu_2



Slika 45. Duljina brida Objekta 1 izravno mjerena na objektu_2

Tablica 4. Usporedba odgovarajućih duljina na modelu i na stvarnom objektu_2

Duljina mjerena na modelu [cm]	Duljina mjerena na objektu [cm]	Razlika [cm]
5.0	5.1	-0.1



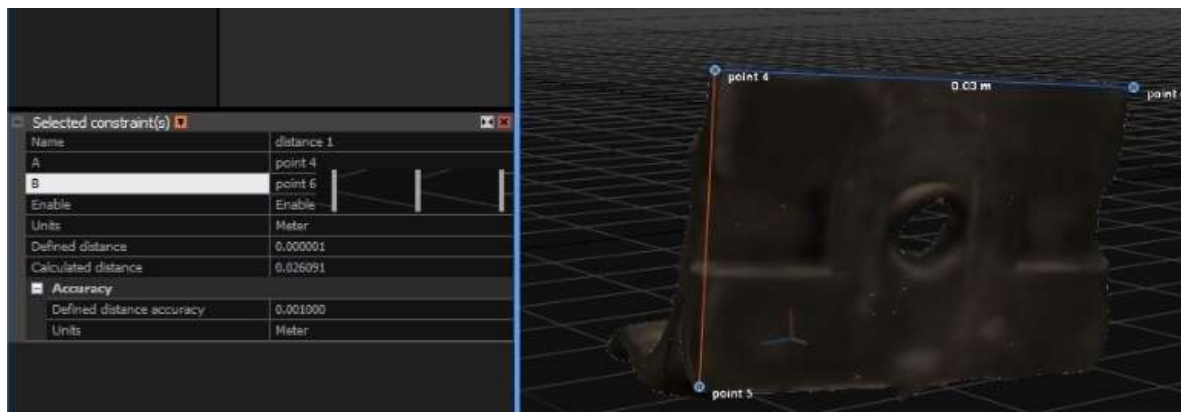
Slika 46. Duljina brida Objekta 2 mjerena na 3D modelu_1



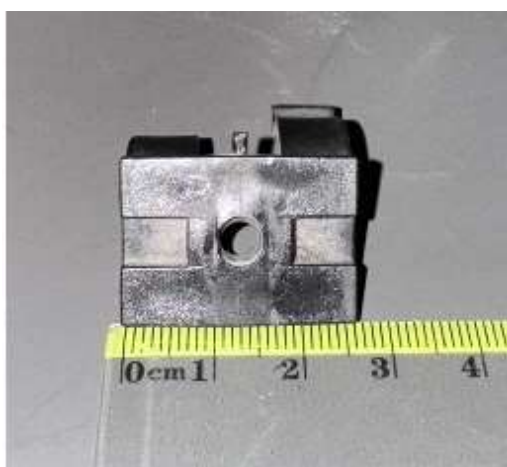
Slika 47. Duljina brida Objekta 2 izravno mjerena na objektu_1

Tablica 5. Usporedba odgovarajućih duljina na modelu i na stvarnom objektu_3

Duljina mjerena na modelu [cm]	Duljina mjerena na objektu [cm]	Razlika [cm]
1.8	1.9	-0.1



Slika 48. Duljina brida Objekta 2 mjerena na 3D modelu_2



Slika 49. Duljina brida Objekta 2 izravno mjerena na objektu_2

Tablica 6. Usporedba odgovarajućih duljina na modelu i na stvarnom objektu_4

Duljina mjerena na modelu [cm]	Duljina mjerena na objektu [cm]	Razlika [cm]
2.6	2.6	0.0

Najveće izmjereno odstupanje iznosi -0.1 cm.

6. ZAKLJUČAK

Fotogrametrija kao mjerna metoda u svrhu digitalizacije objekata ima niz prednosti, od kojih valja istaknuti brzinu i jednostavnost samog postupka. Rezultat tog postupka je 3D model, koji daje sveobuhvatan prikaz objekta od interesa. Napretkom tehnologije i širokom dostupnošću niza digitalnih alata, znanje koje se zahtjeva od izvođača postupka svedeno je na minimum. Ipak, ukoliko se zahtjeva određena kvaliteta i detaljnost samog 3D modela potrebno je poznavati postupak i način funkcioniranja fotogrametrijske metode kako bismo eventualne pogreške sveli na minimum. U konačnici, na kvalitetu samog modela utjecat će karakteristike objekta čiji model se želi izraditi, uvjeti pri fotografiranju, kvaliteta opreme, kao i odabir softvera za izradu modela.

U ovom radu opisan je postupak izrade dvaju modela uz primjenu fotogrametrijske metode. Fotografije su prikupljene uz pomoć Canon EOS 1100D digitalnog fotoaparata. Uvjeti osvjetljenja pri fotografiranju nisu bili idealni što se i odrazilo na kvalitetu samih slika. To je bilo izrazito vidljivo kod Objekta 2, zbog njegove tamne i jednolične boje. Za izradu 3D modela korišten je Reality Capture softver. Softver je prilično brz i jednostavan za korištenje, dostupan je niz vodiča za korištenje na službenim stranicama softvera, a sami postupak je u velikoj mjeri automatiziran. Korišteni softver ima određena ograničenja u slobodi koju daje izrađivaču modela, pri čemu s jedne strane olakšava izradu samog modela jer su postupci automatizirani, no s druge strane, kada se radi o slučajevima poput Objekta 2, ograničava korisnika da prepozna ono što softver ne može.

Usporedbom odnosa duljina mjerenih na modelima i duljina mjerenih izravno na objektima utvrđena su minimalna odstupanja, pri čemu maksimalno odstupanje iznosi -0.1 cm. Uzimajući u obzir sve navedeno izrada 3D modela malih objekata koristeći fotogrametrijsku metodu i Reality Capture softver daje prilično dobre rezultate na brz i jednostavan način. Također je vidljivo kako je potrebno posebno voditi računa o cijelom postupku kao i karakteristikama objekta čiji model se želi izraditi, jer se sve navedeno može i loše odraziti na kvalitetu samog 3D modela i vidljivost detalja.

LITERATURA

Baučić, M. (2018): Materijali s predavanja kolegija "Fotogrametrija", Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Bernik, A. (2010): Vrste i tehnike 3D modeliranja, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Fabio Remondino, Alberto Guarnieri, and Antonio Vettore "3D modeling of close-range objects: photogrammetry or laser scanning?", Proc. SPIE 5665, Videometrics VIII, 56650M (17 January 2005); DOI: 10.1117/12.586294

Geodetic Services Inc. (n.d.): Basics of Photogrammetry, https://www.geodetic.com/basics-of-photogrammetry/#basics-photogrammetry-_Toc496190791 [Pristupljeno 9.8.2023.]

Hrvatska enciklopedija (2021), mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=20257> [Pristupljeno 9. 12. 2023.]

Hrvatska tehnička enciklopedija (1976), 5. svezak, Braum, F. – fotogrametrija, str. 583-597, Leksikografski zavod Miroslav Krleža

Maurer, D. (2021): Materijali s vježbi kolegija "Blizupredmetna fotogrametrija", Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet

Schenk, T. (2005): Introduction to Photogrammetry, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, 2070 Neil Ave., Columbus, OH 43210

URL 1. <https://www.canon-europe.com> (9.6.2023.)

URL 2.

<https://av.jpn.support.panasonic.com/support/global/cs/dsc/knowhow/knowhow25.html> (10.8.2023.)

URL 3. <https://www.techopedia.com/definition/12704/digital-camera> (10.8.2023.)

URL 4. <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-exposure.htm> (10.8.2023.)

URL 5. <https://www.photocourse.info/the-objective-of-a-digital-camera.php> (11.8.2023.)

URL 6. <https://expertphotography.com/understanding-different-types-of-lenses/> (11.8.2023.)

URL 7. <https://www.studiobinder.com/blog/what-is-a-normal-lens-definition/> (11.8.2023.)

URL 8. <https://www.studiobinder.com/blog/what-is-aperture/> (11.8.2023.)

URL 9. <https://www.studiobinder.com/blog/what-is-shutter-speed/> (11.8.2023.)

URL 10. <https://www.studiobinder.com/blog/what-is-iso/> (11.8.2023.)

URL 11. <https://www.capturingreality.com/assets/Documents/RealityCapture-DataSheet.pdf> (19.05.2024.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Odnos veličine senzora, žarišne duljine leće i vidnog polja (Geodetic Services Inc., n.d.).....	4
Slika 2. Odnos f-broja, udaljenosti fokusa i rezultirajuće dubine fokusa (Geodetic Services Inc., n.d.).....	5
Slika 3. Odnos između brzine zatvarača i f-broja (Geodetic Services Inc., n.d.).....	6
Slika 4. Shema prolaska svjetla kroz objektiv do senzora (URL 6).....	8
Slika 5. Normlani objektiv (URL 7).....	9
Slika 6. Širokokutni objektiv (URL 7).....	10
Slika 7. Ultraširokokutne (URL 6).....	10
Slika 8. Telefoto objektiv (URL 7).....	11
Slika 9. Supertelefoto (URL 6).....	11
Slika 10. Makro (URL 6).....	12
Slika 11. Tilt shit (URL 6).....	12
Slika 12. Prikaz objektivna pri snimanju fotografije sa različitim postavkama otvora blende (f-broj) (URL 8).....	12
Slika 13. Kako f-broj utječe na ekspoziciju (URL 8).....	13
Slika 14. Fotografija snimljena s velikim otvorom blende (niski f-broj) (URL 8).....	13
Slika 15. Fotografija snimljena s malim otvorom blende (visoki f-broj) (URL 8).....	14
Slika 16. Utjecaj brzine zatvarača na osvjetljenost fotografije i zamućenje pokreta (URL 9).....	14
Slika 17. Digitalni fotoaparat Canon EOS 1100D (URL 1).....	19
Slika 18. Objekt 1: Drvena škrinjica.....	19
Slika 19. Objekt 2: Crni plastični objekt nepravilnog oblika.....	20
Slika 20. Prikaz markera prilikom fotografiranja objekata za izradu modela.....	20
Slika 21. Prikaz fotografiranja objekata snimanih sa različitih strana.....	21
Slika 22. Prikaz fotografija Objekta 2 prije i nakon uređivanja u Windows Photo Editor softveru.....	22
Slika 23. Postavljanje lokalnog koordinatnog sustava.....	24
Slika 24. Detektiranje markera.....	24
Slika 25. Zadavanje vrste točke i dodjeljivanje pripadajućih koordinata_1.....	25
Slika 26. Zadavanje vrste točke i dodjeljivanje pripadajućih koordinata_2.....	25
Slika 27. Zadavanje vrste točke i dodjeljivanje pripadajućih koordinata_3.....	25
Slika 28. Zadavanje vrste točke i dodjeljivanje pripadajućih koordinata_4.....	26
Slika 29. Zadavanje naredbe za preklapanje fotografija.....	26
Slika 30. Oblak točaka kao rezultat preklapanja fotografija Objekta 1.....	26

Slika 31. Oblak točaka kao rezultat preklapanja fotografija Objekta 2.....	27
Slika 32. Definiranje područja rekonstrukcije Objekta 1	27
Slika 33. Definiranje područja rekonstrukcije Objekta 2	27
Slika 34. Naredbe za kreiranje modela.....	28
Slika 35. Odabiranje velikih trokuta u modelu.....	28
Slika 36. Normalni model prve strane Objekta 1	28
Slika 37. Normalni model prve strane Objekta 2	28
Slika 38. Izvoz maski fotografija.....	29
Slika 39. Spajanje komponenti jedne i druge strane.....	29
Slika 40. High detail model Objekta 1	30
Slika 41. High detail model Objekta 2	30
Slika 42. Duljina brida Objekta 1 mjerena na 3D modelu_1.....	31
Slika 43. Duljina brida Objekta 1 izravno mjerena na objektu_1	32
Slika 44. Duljina brida Objekta 1 mjerena na 3D modelu_2.....	32
Slika 45. Duljina brida Objekta 1 izravno mjerena na objektu_2	32
Slika 46. Duljina brida Objekta 2 mjerena na 3D modelu_1.....	33
Slika 47. Duljina brida Objekta 2 izravno mjerena na objektu_1	33
Slika 48. Duljina brida Objekta 2 mjerena na 3D modelu_2.....	34
Slika 49. Duljina brida Objekta 2 izravno mjerena na objektu_2	34

POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifikacije digitalnog fotoaparata Canon EOS 1100D (URL 1).....	17
Tablica 2. Karakteristike softvera Reality Capture (URL 11).....	23
Tablica 3. Usporedba odgovarajućih duljina na modelu i na stvarnom objektu_1	32
Tablica 4. Usporedba odgovarajućih duljina na modelu i na stvarnom objektu_2	33
Tablica 5. Usporedba odgovarajućih duljina na modelu i na stvarnom objektu_3	33
Tablica 6. Usporedba odgovarajućih duljina na modelu i na stvarnom objektu_4	34