

# Postupci 3D skeniranja

---

**Knežević, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:048037>

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

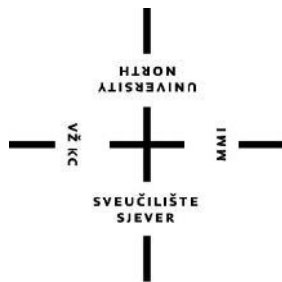
*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-15**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

Završni rad br. 042/MEH/2024

## Postupci 3D skeniranja

Josip Knežević, 0336050143

Varaždin, rujan 2024. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Mehatroniku

Završni rad br. 042/MEH/2024

## Postupci 3D skeniranja

### Student

Josip Knežević, 0336050143

### Mentor

Zoran Busija, dipl.ing.stroj.

Varaždin, rujan 2024. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za mehatroniku

STUDIJ preddiplomski stručni studij Mehatronika

PRISTUPNIK Josip Knežević

JMBAG

0336050143

DATUM 09.09.2024.

KOLEGIJ 3D oblikovanje

NASLOV RADA Postupci 3D skeniranja

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Procedures of 3D scanning

MENTOR Zoran Busija, dipl. ing. stroj.

ZVANJE

predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Siniša Švoger, mag.ing.mech, predavač
2. prof. dr. sc. Ante Čikić
3. Zoran Busija, dipl.ing.stroj, predavač
4. Josip Srpak, dipl.ing.el, viši predavač
- 5.

## Zadatak završnog rada

BROJ 042/MEH/2024

OPIS

U završnom radu potrebno je:

- opisati glavne postupke kojima se prikupljaju podaci o 3D objektima
- dodatno pojasniti skeniranje laserom i skeniranje strukturiranim svjetlom
- objasniti pojmove točka, brid, ploha, poligon i površina u kontekstu prikaza 3D modela na računalu
- detaljno opisati \*.stl zapis
- opisati David 3D skener i postupke skeniranja pomoću tog skenera
- praktično obaviti skeniranje i prikazati rezultat

ZADATAK URUČEN

17.09.2024.



*Zoran Busija*

## **Predgovor**

*Tijekom studiranja upoznao sam se s 3D skeniranjem i oblikovanjem kojeg sam zavolio. Svidio mi se postupak kako se pomoću 3D skeniranja se na kraju dobije 3D računalni model. Malo po malo sam učio o tome i sve više istraživao o tom području.*

*Izjavljujem da sam ovaj završni rad napisao samostalno, koristeći znanja stečena tijekom srednjoškolskog i sveučilišnog obrazovanja, uz pomoć mentora i navedene literature.*

*Veliko hvala i mentoru Zoranu Busiji, na uloženom vremenu i povjerenju te svim korisnim informacijama i savjetima koji su mi uveliko pomogli kod izrade ovog rada.*

*Josip Knežević*

## Sažetak

3D skeneri se sve više upotrebljavaju u svim područjima znanosti za lakšu obradu podataka. Velika primjena je u kontroli, kvaliteti i povratnom inženjeringu.

U završnom radu opisani su postupci 3D skeniranja, a u praktičnom dijelu je obavljeno skeniranje i spajanje dva skenirana dijela u jednu cjelinu. Pri opisu postupaka skeniranja kojima se prikupljaju podatci o 3D objektima, opisano je lasersko skeniranje i skeniranje strukturiranim svjetlom. Pojašnjeni su pojmovi točka, brid, ploha, poligon i površina u kontekstu prikaza 3D modela i detaljno je opisan \*.stl zapis.

Ključne riječi: 3D skeniranja, STL, David SLS-2, strukturirano svjetlo, skeniranje laserom, poligon

## **Summary**

3D scanners are increasingly used in all fields of science for easier data processing. Their major applications are control, quality and reverse engineering. In the final paper, the 3D scanning procedures are described, and in the practical part, the scanning and joining of two scanned parts into one unit was performed. When describing the scanning procedures used to collect data on 3D objects, laser scanning and structured light scanning are described. The concepts of point, edge, surface, polygon and surface in the context of 3D model display are explained and the \*.stl file is described in detail.

Keywords: 3D scans, STL, David SLS-2, structured light, laser scanning, polygon



## **Popis korištenih kratica**

<b>STL</b>	Standard Triangle Language file – format datoteke za spremanje
<b>CAD</b>	Computer Aided Design – program za oblikovanje
<b>CAM</b>	Computer Aided manufacturing – automatizacija proizvodnje
<b>CMM</b>	Coordinate measuring machine – koordinatna mjerna mašina
<b>CNC</b>	Computer numerical control – računalno numeričko upravljanje
<b>RGB</b>	Red, Green and Blue – aditivni model boja
<b>3D</b>	Trodimenzionalno

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	3D skeniranje .....	2
3.	Glavni postupci skeniranja.....	3
3.1.	Kontaktno skeniranje.....	3
3.2.	Lasersko skeniranje .....	5
3.3.	Skeniranje strukturiranim svjetlom što .....	7
3.3.1.	<i>Fazni pomak</i> .....	7
3.3.2.	<i>Analiza prugastih uzoraka</i> .....	8
4.	Stvaranje 3D modela iz skena.....	9
4.1.	Oblak točaka.....	9
4.2.	Poligonske mreže .....	10
4.2.1.	<i>Mreža vrh-vrh (engl. Vertex-Vertex VV Mesh )</i> .....	11
4.2.2.	<i>Mreža ploha-vrh (engl. Face -Vertex FV Mesh )</i> .....	12
4.2.3.	<i>Krilata-rubna mreža (engl. Winged edge Mesh)</i> .....	13
5.	STL Datoteka .....	14
5.1.	Stvaranje STL datoteke .....	15
5.1.1.	<i>ASCII kod</i> .....	15
5.1.2.	<i>Binarni kod</i> .....	16
5.1.3.	<i>Posebna pravila STL datoteke</i> .....	17
5.2.	Ispis STL datoteke.....	19
5.3.	Prednosti i nedostaci STL datoteke .....	19
6.	Praktični dio .....	20
6.1.	Oprema David 3D skenera .....	20
6.2.	Podešavanje i rad sa David programom .....	21
7.	Zaključak.....	30
8.	Literatura.....	31
9.	Popis slika .....	32



# 1. Uvod

U današnjem svijetu 3D tehnologija i 3D skeniranje igraju ulogu u svakodnevnoj primjeni. Razni korisnici stvaraju virtualne 3D modele s pomoću 3D skeniranja. Javljaju se korisnici koji imaju potrebu za 3D skeniranjem bilo to za video igre, filmove, neke fizičke objekte ili za rekonstrukciju određenog objekta ili događaja.

Ovaj završni rad tumači proces 3D skeniranja te ističe ključne faze i postupke koje uključuju skeniranje, obradu skena i njegov konačni zapis u stl formatu. Tehnologije 3D skeniranja se sve više razvijaju i nadograđuju u svrhu što boljeg i točnijeg skeniranja. Za skeniranje objekta potrebno ga je pravilno osvijetliti, postavljanjem svjetlosnog izvora na pravilne položaje oko objekta te mijenjanjem parametara osvjetljenja. U praktičnom dijelu završnog rada upotrijebljena je kocka i David 3D skener koja se nalazi u prostoriji UNIN3-211 na Sveučilištu Sjever slika 1. Tijekom skeniranja kocke upotrijebljeno je znanje iz teorijskog dijela ovog rada gdje je pojašnjeno kako se stvara skenirani računalni model.



*Slika 1: 3D skener David*

## 2. 3D skeniranje

3D skeniranje je proces analize stvarnog objekta ili okoline kako bi prikupili trodimenzionalne podatke o njegovom obliku i mogućem izgledu. Prikupljeni podatci se koriste za izradu digitalnih 3D modela. 3D skeniranje se temelji na mnogo različitih tehnologija, od kojih svaka ima svoje ograničenja, prednosti i troškove. Još uvijek postoje velika ograničenja u vrsti objekata koji se mogu digitalizirati. [1]

Tijekom postupka skeniranja mjeri se položaj točaka na površini objekta. Nakon postupka skeniranja dobiven je oblak točaka koje softver spaja u mrežu te na taj način nastaje 3D model skeniranog uzorka.

Iz dana u dan je sve veća potražnja za novim skenerima koji će moći skenirati objekte koji bi služili u mnogim područjima. Velika zainteresiranost za skeniranje i povratno inženjerstvo bila bi u svemirskim istraživanjima kao skeniranje vulkana, planina, svemirskih objekata i svemirske postaje. Trodimenzionalni skeneri se koriste i u građevinarstvu i arhitekturi gdje inženjeri trebaju skenirati i usporediti početni projekt sa završnim rezultatom, tu je prisutna i kontrola kvalitete gdje se kontrolira gotov proizvod sa željenim rezultatom. Izgled određenih povijesnih lokaliteta može se sačuvati s izradom 3D računalnog modela koji će pokazati povjesničarima, arheolozima i istraživačima kako su nekad izgledali hramovi, ceste, tuneli i drugi objekti. 3D skeneri se koriste kako bi rekonstruirali mjesta zločina, pad aviona ili bombardiranja. Velika je zastupljenost 3D skenera u medicini od skeniranja zubi do skeniranja kralježnice. U današnje vrijeme jako bi bilo teško napredovati u znanosti bez skenera koji daju jako korisne informacije.

### 3. Glavni postupci skeniranja

Postoji par načina prikupljanja podataka o skeniranim 3D objektima, koji su detaljno opisani u nastavku. Ukratko su opisani neki od postupaka i tehnologija skeniranja.

Koordinatni mjerni uređaji tradicionalno imaju 3 okomite pomične osi i dodirnu sondu koja je postavljena na Z os. Sonda se pomiče oko dijela objekta te sve položaje bilježi u XYZ koordinatama.

Pulsno skeniranje je 3D postupak skeniranja koji koriste lasersko svjetlo za ispitivanje objekta. Glavni dio ove vrste skenera je laserski daljinomjer koji mjeri vrijeme refleksije svjetla, od objekta do detektora.

Strukturirano svjetlo reflektira jednu liniju svjetla ili uzorka na objekt, a zatim koristi kameru i softver koji mjere kako je ta linija iskrivljena, te se ti podaci koriste za stvaranje oblaka točaka ili modela.

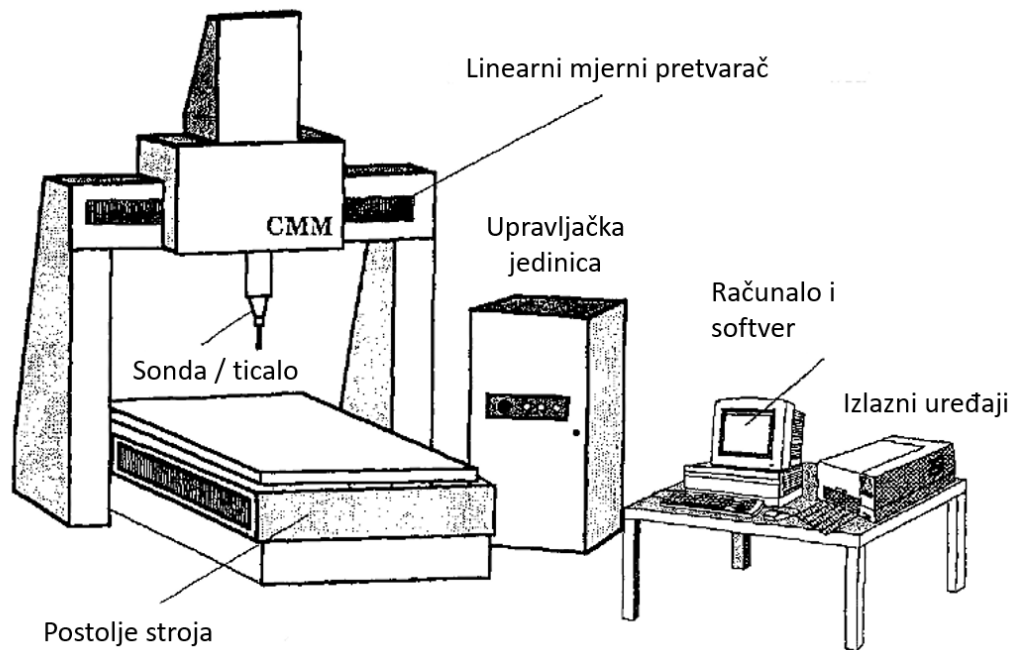
Oblak točaka je skup točaka u 3D prostoru. Informacije o točkama se kasnije koriste za daljnju obradu. Što je broj točaka veći prikaz skeniranog objekta je bolji i datoteka je veća u odnosu na manji broj točaka.

#### 3.1. Kontaktno skeniranje

Kontaktne skeneri obično se nalaze na fiksnom platformama s mjernim instrumentom na vrhu mehaničke ruke. Mehanička ruka može biti automatizirana ili ručno upravljana. Glavna karakteristika je kontakt između mjernog objekta i mjernog uređaja.

Postoje dvije glavne vrste kontaktnih 3D skenera[1]:

- Koordinatni mjerni strojevi (engl. *Coordination Measuring Machine* - CMM) koji tradicionalno imaju 3 međusobno okomite pomične osi s dodirnom sondom postavljenom na Z os (slika 3.1). Dok se sonda za dodir pomiče oko dijela, senzori na svakoj osi bilježe položaj za generiranje XYZ koordinata. Moderni CMM su sustavi s 5 osi, s dvije dodatne osi koje osiguravaju pokrete glave senzora. CMM su najprecizniji oblik 3D mjerenja koji postiže mikronska preciznost. Najveća prednost CMM-a nakon točnosti je da se može pokrenuti u autonomnom (CNC) načinu rada ili kao ručni sustav sondiranja.



Slika 3.1: Prikaz koordinatnog mjernog stroja [20]

- Zglobne ruke koje općenito imaju više segmenata s polarnim sensorima na svakom zglobu. U odnosu na CMM pomicanjem zglobne ruke oko dijelova, senzori bilježe položaj zglobova, a lokacija kraja ruke izračunava s pomoću složene matematike iz kuta rotacije zapešća i kuta zakreta svakog zgloba. Iako obično nisu tako precizni kao CMM, zglobne ruke ipak postižu visoku točnost te su jeftinije i nešto lakše za korištenje (slika 3.2) u proizvodnim pogonima.

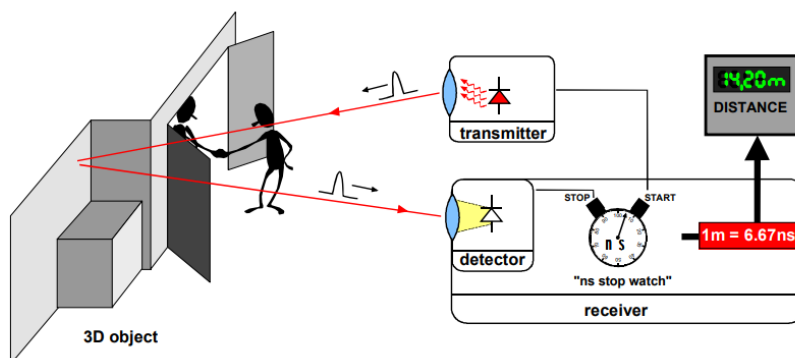


Slika 3.2: Zglobne ruke [21]

I na zglobne ruke i na CMM se mogu ugraditi beskontaktni laserski senzori umjesto dodirnih sonde. Beskontaktni senzori emitiraju neku vrstu zračenja ili svjetla i detektiraju njegovu refleksiju ili zračenje koje prolaze kroz objekt kako bi ispitali objekt ili okolinu. Vrste zračenja koja se koriste uključuju svjetlo, ultrazvuk ili x-zrake.[1]

### 3.2. Lasersko skeniranje

Pulsno skeniranje se zasniva na mjerenju vremena između odašiljanja laserske zrake i detektiranja točke na objektu koji se skenira (eng. *Time of Flight* - ToF). 3D laserski skener je aktivni skener koji koristi lasersko svjetlo za ispitivanje objekta. Glavni dio ove vrste skenera je laserski daljinomjer koji mjeri vrijeme refleksije svjetla od objekta do detektora. Laserski daljinomjer utvrđuje udaljenost površine mjerenjem vremena puta svjetlosnog impulsa. Laser se koristi za emitiranje svjetlosti i mjeri se vrijeme koje je potrebno da detektor vidi reflektirano svjetlo. Temeljem brzine svjetlosti  $c$  čiji iznos je poznat, i mjerenog vremena putovanja zrake, određuje se udaljenost objekta. Zraka svjetla prevaljuje put od skenera do površine i potom se vraća prema detektoru, koji se nalazi na istom mjestu kao i izvor svjetla.. Oznaka  $t$  se koristi za vrijeme prijeđenog puta, pa se udaljenost objekta računa kao  $s = c \cdot t/2$ . Točnost pulsnog skenera ovisi o tome koliko precizno možemo izmjeriti vrijeme  $t$ . Put od jednog milimetra svjetlost prijeđe u vremenu od 3,3 pikosekunde (približno). Laserski daljinomjer detektira samo udaljenost jedne točke u svom smjeru gledanja. Stoga skener skenira cijelo vidno polje jednu po jednu točku mijenjajući smjer gledanja daljinomjera kako bi skenirao različite točke. Smjer gledanja laserskog daljinomjera može se promijeniti bilo rotiranjem samog daljinomjera, bilo korištenjem sustava rotirajućih zrcala kao što je prikazano na slici 3.3. [1]

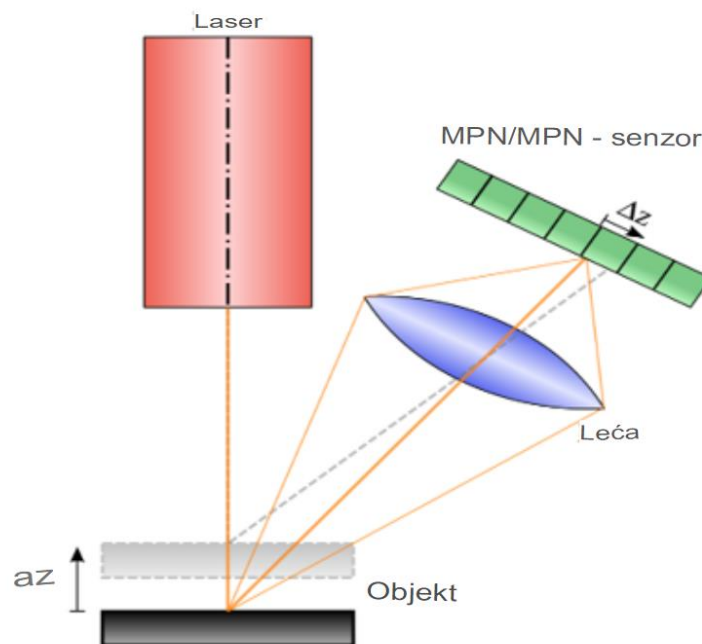


Slika 3.3: Pulsno skeniranje [19]



Triangulacijski 3D laser skener je također, aktivni skener koji koristi svjetlost lasera za ispitivanje okoline. Triangulacijski laser odašilje svjetlost lasera na objekt i koristi kameru za traženje lokacije laserske točke. Ovisno o tome koliko laser daleko udara u površinu, laserska točka pojavljuje se na različitim mjestima u vidnom polju kamere. Ova tehnika se naziva triangulacija jer laserska točka, kamera i laserski emiter čine trokut. Poznata je duljina jedne stranice trokuta, udaljenost između kamere i laserskog emitera. Poznat je i kut pod kojim je postavljen laserski odašiljač. Otklon kamere može se odrediti promatranjem položaja laserske točke u vidnom polju kamere. Ova tri podatka u potpunosti određuju oblik i veličinu trokuta i daju vrijednost kuta laserske točke trokuta. U većini slučajeva laserska zraka, umjesto jedne laserske točke, šalje snop točaka preko objekta kako bi se ubrzao proces skeniranja. Upotreba triangulacije za mjerenje udaljenost datira iz antike.[1]

Razlika između pulsnog skeniranja i triangulacijske metode ta što se za triangulacijsku metodu koristi laser kako bi emitirale točke na objekt, te točke potom detektira kamera i podatke o njima bilježi u računalo.



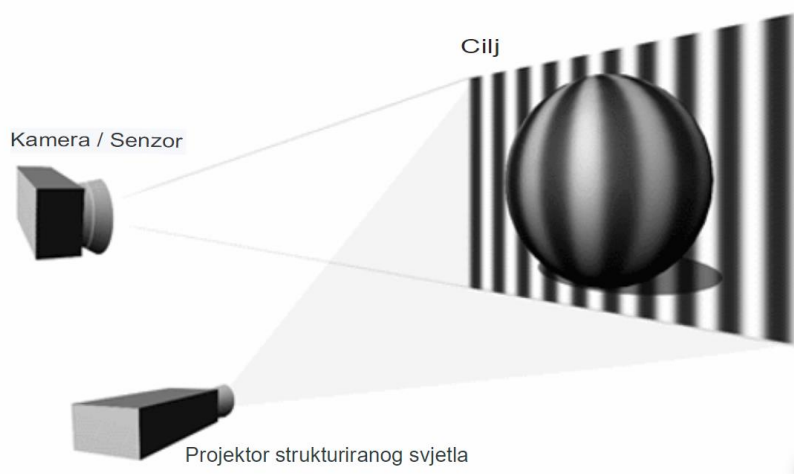
Slika 3.4: Princip laserskog triangulacijskog senzora [1]

Razlika između pulsnog skeniranja i triangulacije je da se pulсно skeniranje koristi kod velikih udaljenosti skeniranja, kao što su skeniranje zgrada ili geografske karakteristike. Nedostatak pulsnog skeniranja je njihova preciznost. Zbog velike brzine svjetlosti, određivanje vremena za povratno putovanje svjetlosti je teško i točnost mjerenja je niska. Triangulacijski skeneri su

,suprotno od pulsnog skeniranja, bolji što se tiče preciznosti i udaljenosti skeniranja. Triangulacijski skeneri imaju doomet od nekoliko metara, ali njihova preciznost je visoka.

### 3.3. Skeniranje strukturiranim svjetlom što

3D skener sa strukturiranim svjetlom je uređaj za 3D skeniranje s pomoću projiciranih svjetlosnih uzoraka i sustava kamera (slika 4.1). Projektor strukturiranog svjetla projicira niz paralelnih uzoraka na objekt koji se skenira. Kada se svjetlost projicira na neravnu površinu objekta, kamera vidi iskrivljene uzorke. Kamera snima te slike i šalju ih softveru za 3D skeniranje na obradu.[6]

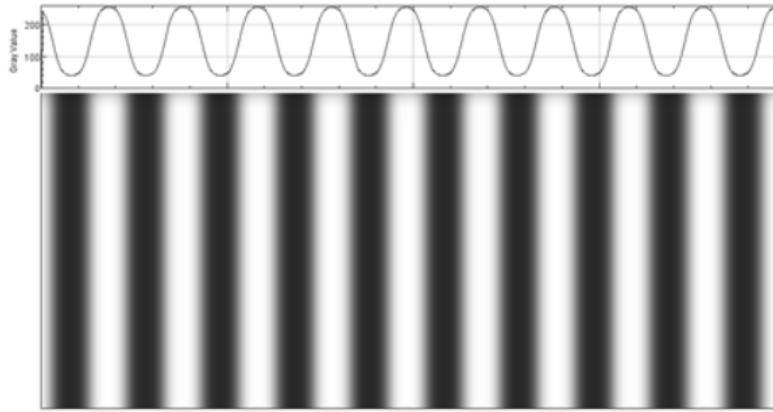


Slika 4.1: Primjer strukturiranog svjetla skeniranja [7]

#### 3.3.1. Fazni pomak

Fazni pomak je jedna od najčešće korištenih tehnika pri mjerenja oblika.

Metoda faznog pomaka koristi skup slika u sivim tonovima s intenzitetom piksela definiranim uzorkom sinusnog vala kao što je prikazano na slici 4.2. Obično se koriste tri (ili moguće više) slika s poznatim faznim pomakom između slika. Kako kamera vidi pruge iz drugog kuta nego projektor, one izgledaju iskrivljeno proporcionalno dubini površine objekta. Razlikom između iskrivljenog i izvornog uzorka može se rekonstruirati dubina za svaki piksel. [7]



*Slika 4.2: prikaz faznog sinusnog vala [7]*

### **3.3.2. Analiza prugastih uzoraka**

Dubina se promatranjem uzoraka pruga može odrediti na nekoliko načina. . Pomak bilo koje pojedinačne trake može se izravno pretvoriti u 3D koordinate. U tu svrhu potrebno je identificirati pojedinačnu traku, što se može, na primjer, postići praćenjem ili brojanjem pruga (metoda prepoznavanja uzorka). Još jedna uobičajena metoda projicira naizmjenične uzorke pruga, što rezultira binarnim nizovima Grayeva koda koji identificiraju broj svake pojedinačne pruge koja pogađa objekt. Dubina se može odrediti mijenjanjem širina pruga duž površine objekta. Širina pruge ovisi o tome kolika je strmina dijela površine. Frekvencija pruga i fazni pomak daju slične promjene i mogu se analizirati Fourierovom transformacijom.[6]

U mnogim praktičnim primjenama postupci koji kombiniraju prepoznavanje uzoraka, Grayeve kodove i Fourierovu transformaciju omogućuju potpunu i jednoznačnu rekonstrukciju oblika.[6]

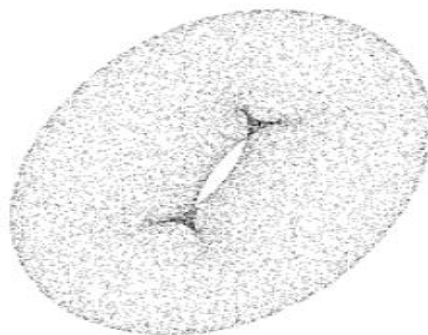
Kod strukturiranog svjetla pruge se projiciraju okomito jer kad se predmet približava ili udaljava primjećuje se razlika te skener može izračunati udaljenost i oblik predmeta. Kada se pruge projiciraju u vodoravnom položaju skener neće moći izračunati udaljenost jer su kamera i projektor u vodoravnom položaju. Sa strukturiranim svjetlom je potrebno napraviti više od 3 skena kako bi se dobro prikazao oblik u programu, ali u slučaju da postoji dosta rupa skeniranjem se to neće moći prikriti i skenirani predmet će biti loše prikazan, isto vrijedi i za predmete koji odbijaju svjetlost tj. imaju refleksiju.

## 4. Stvaranje 3D modela iz skena

Namjena 3D skenera je stvaranje računalnog 3D modela koji bi se koristio u daljnje svrhe. 3D model je nastao na temelju poligonske mreže, strukturiranog svjetla ili oblaka točaka geometrijskih uzoraka na površini objekta. Te se točke mogu koristiti za ekstrapolaciju oblika objekta (proces koji se naziva rekonstrukcija). Ako se informacije o bojama prikupe u svakoj točki, tada se mogu odrediti i boje ili teksture na površini predmeta.[1]

### 4.1. Oblak točaka

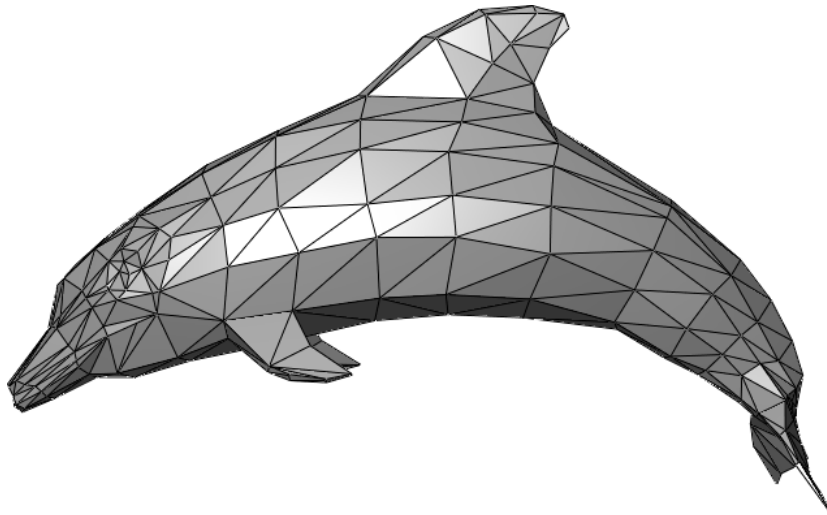
Oblak točaka slika 5.1 je diskretni skup podataka o točkama u prostoru. Točke mogu predstavljati 3D oblik ili objekt. Svaki položaj točke ima svoj skup Kartezijevih koordinata (X, Y, Z). Točke mogu sadržavati podatke kao što su položaj boje (engl. *Red Green Blue* - RGB), vremenske oznake i druge podatke. Oblaci točaka općenito se proizvode 3D skenerima ili softverom za fotogrametriju, koji mjere mnoge točke na vanjskim površinama objekata i oko njih. Kao rezultat procesa 3D skeniranja, oblaci točaka se koriste u mnoge svrhe, uključujući stvaranje 3D modela za računalno oblikovanje (CAD) ili modela geografskih informacijskih sustava (GIS) koji mogu poslužiti za mapiranje objekata kao što su teren, ceste i zgrade.[5] Što su točke gušće to je prikaz detaljniji što omogućuje jasnije i preciznije definiranje određenih detalja.



*Slika 5.1: Oblak točaka torusa [5]*

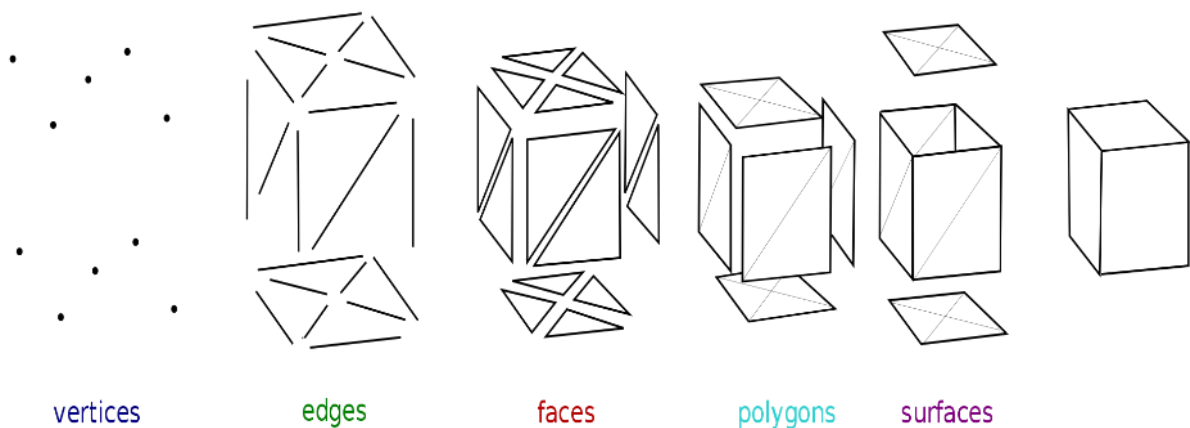
## 4.2. Poligonske mreže

U 3D računalnoj grafici i čvrstom modeliranju, poligonska mreža slika 5.2 je skup vrhova (engl. *vertices*), rubova (engl. *edges*) i ploha (engl. *faces*) koje definiraju oblik poliedarskog objekta. Plohe se obično sastoje od trokuta (trokutna mreža), četverokuta ili drugih jednostavnih konveksnih poligona (n-kuta), jer to pojednostavljuje iscrtavanje, ali također mogu biti općenito sastavljeni od konkavnih poligona ili čak poligona s rupama.



Slika 5.2: Primjer poligonske mreže[4]

Volumetrijske mreže se razlikuju od poligonskih mreža po tome što jasno predstavljaju i površinu i volumen strukture, dok poligonske mreže samo jasno predstavljaju površinu.[4]

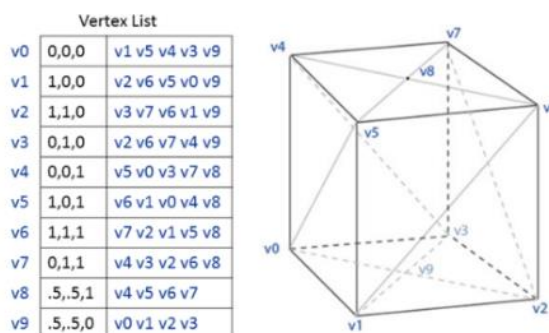


Slika 5.20: Primjer elemenata koji čine 3D model [4]

Objekti stvoreni poligonskim mrežama mogu se sastojati od različitih vrsta elemenata. Ti elementi su vrhovi (*vertices*), bridovi (*edges*), plohe (*faces*), poligoni (*polygons*) i površine (*surfaces*) kao što je prikazano na slici 5.20 [4]

Vrhovi su položaji (točke) u 3D prostoru, bridovi su linije koje služe za spajanje dva vrha. Kad se spoje 3 vrha i tri brida dobije se ploha, spajanjem tih ploha dobiju se poligoni. Spajanjem više poligona dobiva se poligonska mreža iz kojih nastaju površine. Spajanjem svih površina dobije se konačni oblik objekta. [4]

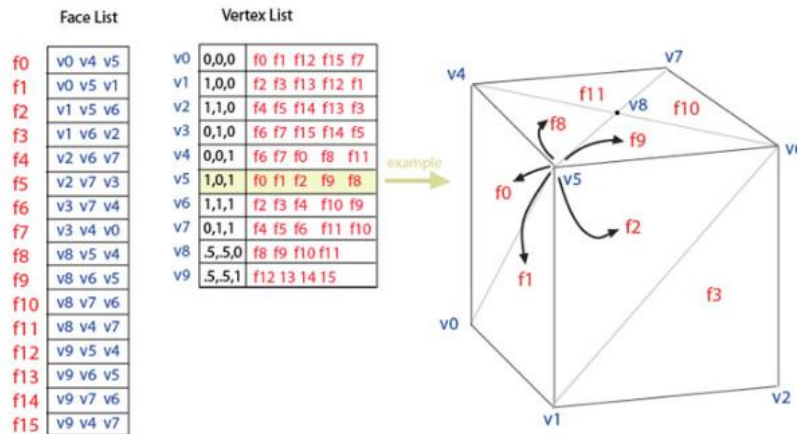
#### 4.2.1. Mreža vrh-vrh (engl. Vertex-Vertex VV Mesh )



Slika 5.21: Prikaz vrh-vrh mreže[4]

Vrh-vrh mreža prikazuje objekt kao skup vrhova povezanih s drugim susjednim vrhovima. To je najjednostavniji oblik mreže koji se ne koristi često jer ne sadrži informacije o bridovima i plohama. S obzirom da je taj model najjednostavniji trebaju mu jako malo prostora za pohranu. Slika 5.21 prikazuje kocku koja je predstavljena vrh-vrh mrežom. Posljednja dva vrha koji su u gornjem (v8) i donjem (v9) težištu plohe kocke. Oni su povezani s 4 vrha dok su ostali povezani s 5 vrhova. U tablici su prikazane koordinate vrhova u x, y i z koordinatnom sustavu, te sve vrhove koji se mogu povezati s tim vrhom.[4]

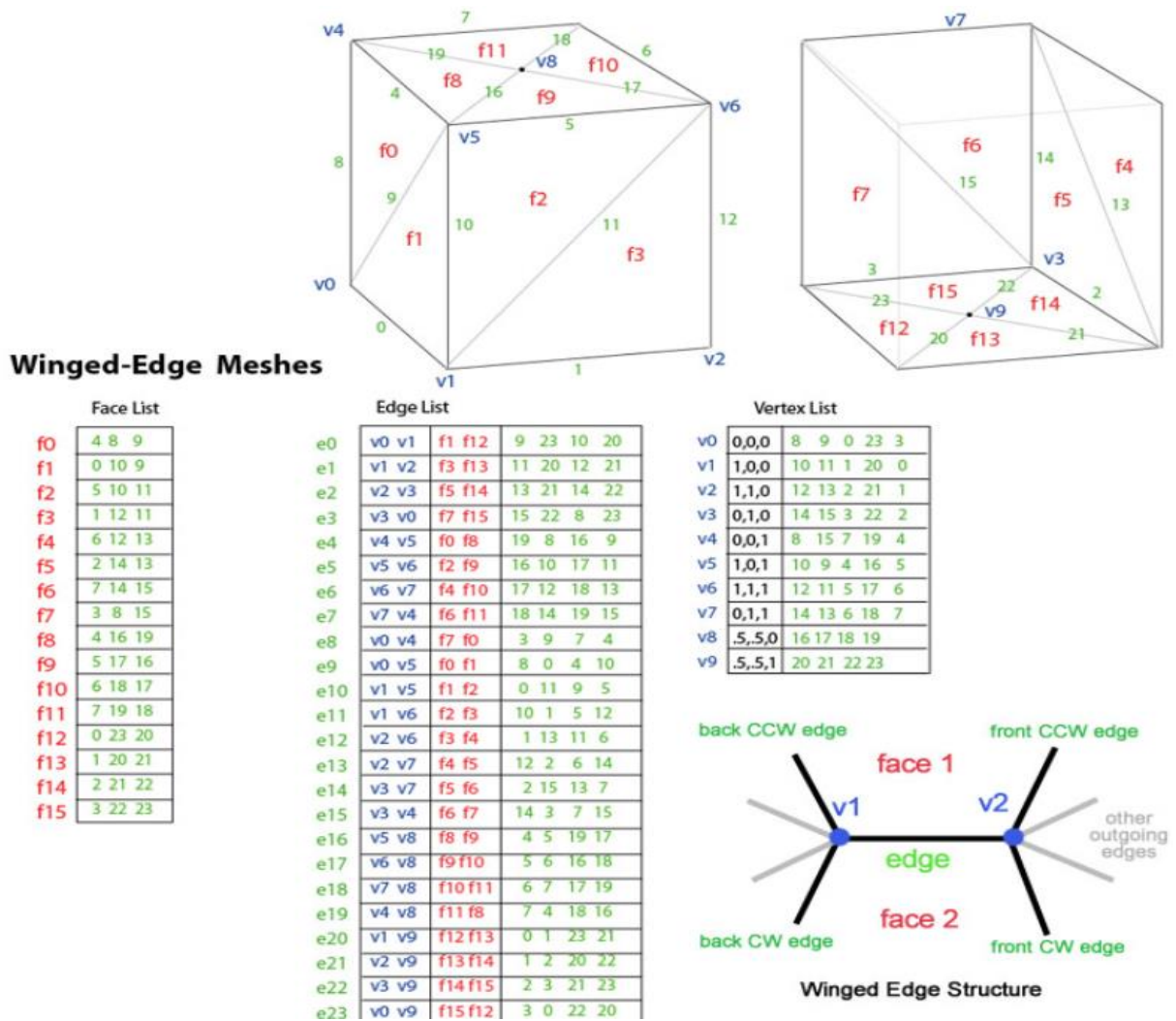
#### 4.2.2. Mreža ploha-vrh (engl. Face -Vertex FV Mesh )



Slika 5.22: Prikaz ploha-vrh mreže [4]

Mreža ploha-vrh predstavlja objekt kako skup ploha i vrhova. To je najčešće korišteni mrežni prikaz jer te informacije prihvaća moderni grafički hardver. Na slici 5.22 su prikazane dvije tablice jedna je tablica za vrhove koji su opisani s koordinatama i s omeđenim plohami. Tablica s plohami prikazuje od koja se tri vrha sastoji svaka ploha. [4]

### 4.2.3. Krilata-rubna mreža (engl. Winged edge Mesh)



Slika 5.23: Prikaz krilate-rubne mreže [4]

Ova mreža se opisuje pomoću vrhova, ploha i bridova. Ovaj prikaz se najviše koristi u programima za modeliranje kako bi se osigurala najveća fleksibilnost pri dinamičkom mijenjanju geometrije mreže. Operacije razdvajanja i spajanja se događaju jako brzo. Veliki nedostatak je zahtjev za velikim prostorom za pohranu jer je mreža složena pošto sadrži mnogo informacija. Podaci za rub slika 5.23 u donjem desnom kutu su prikazani od dva vrha, dvije plohe i od 4 ruba (krilata ruba). Svaka tablica sadrži podatke o susjednim vrhovima, rubovima i plohamu. [4]

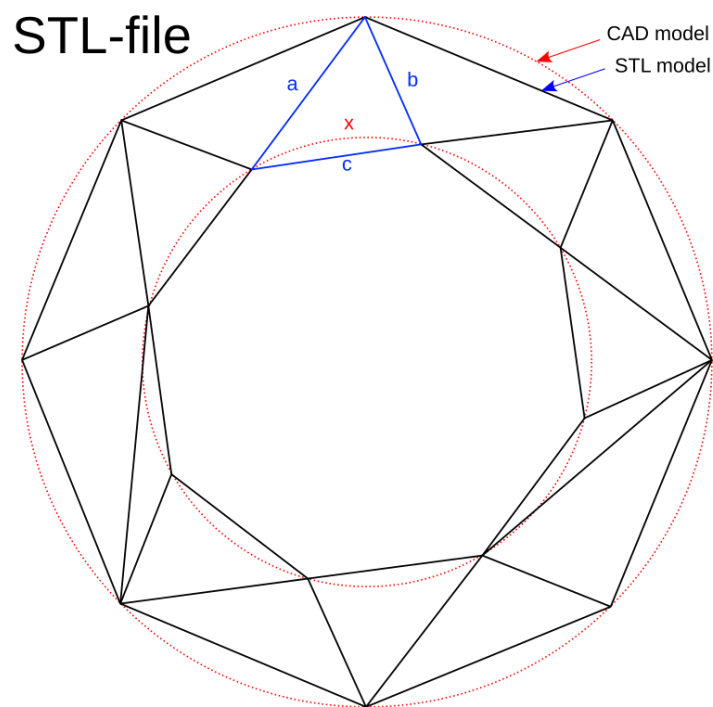


## 5. STL Datoteka

STL je format datoteke izvorni za stereolitografski CAD softver koji je stvorio 3D Systems. Chuck Hull, izumitelj stereolitografije i osnivač 3D Systemsa, tvrdi da je ekstenzija datoteke skraćenica za stereolitografiju. [8]

STL datoteka opisuje neobrađenu, nestrukturiranu trianguliranu površinu s jediničnim normalama i vrhovima trokuta (poredani su prema pravilu desne ruke) koristeći trodimenzionalni Kartezijev koordinatni sustav. U izvornoj specifikaciji, sve STL koordinate su morali biti pozitivni brojevi, ali ovo ograničenje se više ne provodi i negativne koordinate se danas često susreću u STL datotekama. STL datoteke ne sadrže informacije o dimenzijama, a jedinice su proizvoljne. STL datoteke opisuju samo površinsku geometriju trodimenzionalnog objekta bez ikakvog prikaza boje, teksture ili drugih uobičajenih opisa CAD modela. STL format može biti zapisan u ASCII ili u binarnom obliku. Binarne datoteke su češće jer su univerzalnije. [8]

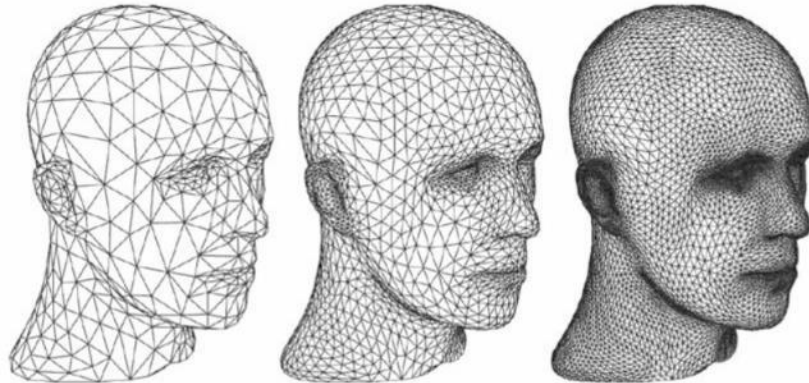
Na slici 6.1 može se vidjeti razlika između CAD prikaza kružnog vijenca (prikazana kao dva koncentrična crvena kruga) i STL aproksimacije istog oblika (sastavljenog od trokuta).



Slika 6.1: Prikaz razlike CAD modela i STL modela [8]

## 5.1. Stvaranje STL datoteke

Ova datoteka zapisuje površinsku geometriju nekog objekta. Koncept koji se koristi u ovom koraku naziva se teselacija. Teselacija je radnja popločavanja površine geometrijskim oblicima, a posebno trokutima, baš kao na slici 6.2[9]:



Slika 6.2: Teselacija trokutima [9]

Uloga datoteke bit će pohranjivanje informacija o tim trokutastim geometrijama. Postoje dva različita načina za pohranjivanje informacija u datoteku: ASCII zapis i binarni zapis, koji spremaju komponente jediničnog normalnog vektora na trokut i koordinate vrhova trokuta.[9]

### 5.1.1. ASCII kod

ASCII STL datoteka uvijek počinje redom:

```
solid name
```

Name je naziv modela, a nastavlja se s brojevima trokuta:

```
facet normal ni nj nk  
outer loop  
    vertex v1x v1y v1z  
    vertex v2x v2y v2z  
    vertex v3x v3y v3z  
endloop  
endfacet
```

Svaki n ili v je broj s pomičnim zarezom. ASCII STL datoteka završava s [9]:

```
endsolid name
```

Na slici 6.20 može se vidjeti primjer koda u ASCII kodiranju kako je gore objašnjeno. Primjer je za kocku koja se nalazi u Kartezijevom koordinatno sustavu.

```
solid Exported from Blender-2.80 (sub 75)
facet normal 0.000000 0.000000 1.000000
outer loop
vertex 1.000000 1.000000 1.000000
vertex -1.000000 1.000000 1.000000
vertex -1.000000 -1.000000 1.000000
endloop
endfacet
```

*Slika 6.20: Programski kod [10]*

### 5.1.2. Binarni kod

Binarna datoteka počinje zaglavljem od 80 znakova, a svaki trokut je zatim predstavljen s dvanaest 32-bitnih brojeva s pomoćnim zarezom kao na slici 6.21 [9]

```
UINT8[80] - Header
UINT32 - Number of triangles
foreach triangle
REAL32[3] - Normal vector
REAL32[3] - Vertex 1
REAL32[3] - Vertex 2
REAL32[3] - Vertex 3
UINT16 - Attribute byte count
end
```

*Slika 6.21: Prikaz binarnog koda [9]*

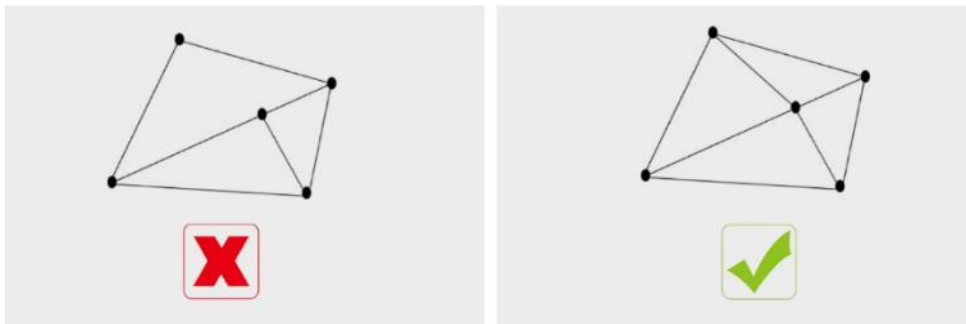
Binarni zapis je kompaktniji ali je teži za čitanje, što može biti nezgodno za pregled datoteke kada se traži eventualni problem.[9]

### 5.1.3. Posebna pravila STL datoteke

Postoje četiri pravila kod stvaranja STL datoteke:

- Pravilo vrhova [11]:

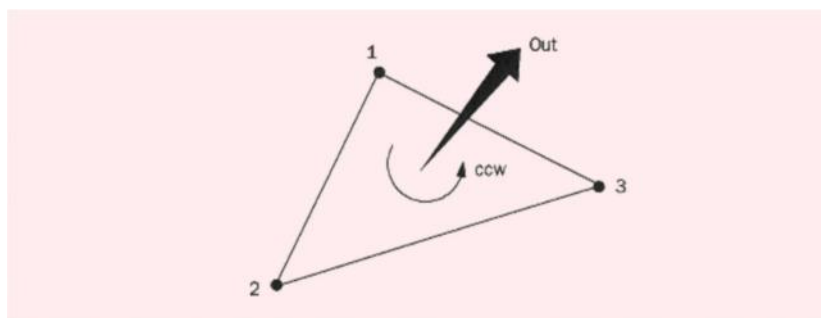
Prema ovom pravilu, svaki trokut treba dodirivati dva vrha sa susjednim trokutom kao na slici 6.22. Ovog se pravila treba pridržavati tijekom teselacije površine 3D objekta.



Slika 6.22: Pravilo vrhova [11]

- Pravilo orijentacije [11]:

Ovo pravilo se sastoji od dva dijela. Prvo pravilo kaže da normala treba pokazivati na vanjsku stranu. Prema drugom pravilu, koje se također naziva i pravilo desne ruke, vrhovi se navode u smjeru suprotnom od kazaljke na satu kao što je prikazano na slici 6.23. Ovo pravilo jamči dosljednost podataka

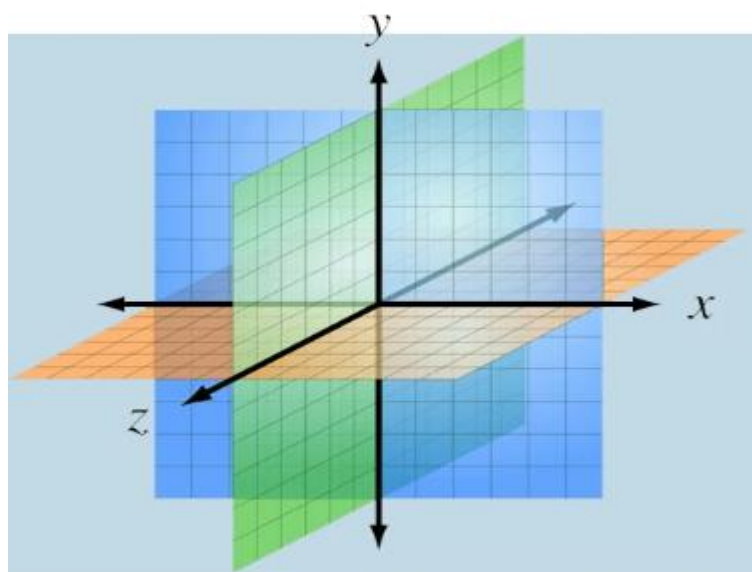


Slika 6.23: Pravilo orijentacije [11]

- Pravilo svih pozitivnih kvadranta [11]

Ovo pravilo kaže da sve koordinate vrhova trokuta trebaju biti pozitivne. To se prevodi u činjenicu da bi 3D objekt ostao u potpunom pozitivnom kvadrantu 3D kartezijskog

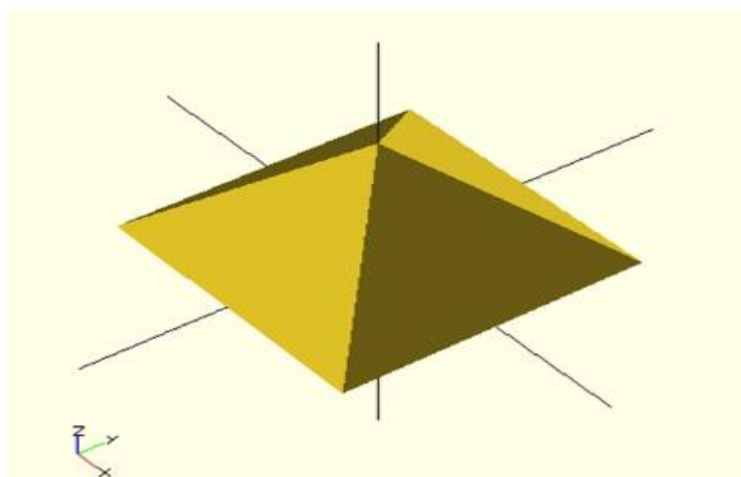
sustava slika 6.24. Pravilo je namijenjeno uštedi prostora, u slučaju da je objekt u negativnom kvadrantu onda će datoteka za spremanje trebati više prostora.



*Slika 6.24: Kartezijev koordinatni sustav [11]*

- Pravilo trokutnog sortiranja[11]:

Prema ovom pravilu, trokuti slika 6.25 se moraju pojaviti u rastućem redoslijedu z-vrijednosti. Ovo pravilo omogućuje brže rezanje 3D modela



*Slika 6.25: Trokutno sortiranje [11]*

## 5.2. Ispis STL datoteke

Aditivna proizvodnja funkcionira dodavanjem materijal sloj po sloj. Dakle, ono što će biti zanimljivo za 3D printer su slojevi 3D objekta. Alat za 3D rezanje omogućuje stvaranje svih slojeva u 2D, a sve se to zatim zapisuje u G-kod datoteku, čiji jezik 3D pisac razumije. Tako će stroj moći izvršiti proces izgradnje objekta, sloj po sloj. Velika prednost STL-a za 3D ispis je opći format datoteke i svi pisaci ga mogu čitati. Nakon stvaranja 3D modela, potrebno je 3D model pretvoriti u STL datoteku. Prije slanja datoteke na 3D ispis, potrebno je provjeriti da stl zapis nije oštećen. Ako je datoteka oštećena 3D printer je neće moći ispisati. Susjedni trokuti moraju dijeliti dva vrha, a pravilo desne ruke primijenjeno na vrhove trebalo bi rezultirati istom orijentacijom koju pokazuje vektor normale. [9]

## 5.3. Prednosti i nedostaci STL datoteke

- Prednosti [12]:
  - Gotovo svi 3D skeneri mogu koristiti \*.STL format datoteke. To je zato što je široko priznat kao standard za 3D ispis. Stoga je odličan izbor za ispis i dizajn 3D objekta
  - STL datoteka može kreirati razne objekte. Bez obzira na oblik, ovaj format datoteke može opisati točan model. Može stvarati predmete poput posuda za biljke i dronove
  - STL datoteke brzo se obrađuju zbog svoje male veličine. To je zbog odsustva teksture i boje. Stoga je ovaj format datoteke izvrsna opcija za ispis objekta ili modela u jednom materijalu i boji
  
- Nedostaci[12]
  - Neki podaci se ne mogu pohraniti u ovu datoteku. Na primjer, teško je pohraniti pojedinosti poput lokacije i autorskih prava. Ova vrsta podataka je vrlo važna za objavljivanje.
  - STL datoteka ima ograničene mogućnosti u pogledu teksture i boje. Stoga je idealan za dizajniranje prototipova umjesto konačnog proizvoda

## 6. Praktični dio

U ovom poglavlju rada skenirana je kocka pomoću David 3D skenera. Prikazani su postupci korištenja opreme, skeniranja, kalibracije te spajanje dva dijela skenirane kocke. Za ovaj praktični rad korištena je oprema s fakulteta.

### 6.1. Oprema David 3D skenera

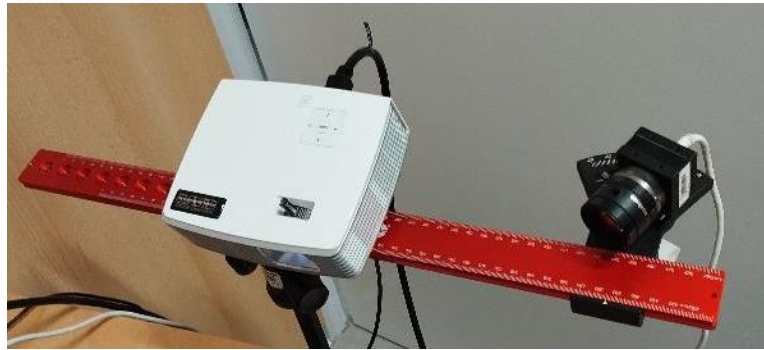
Kalibracijska ploča se sastoji od dvije ploče koje moraju biti postavljene za 90° u odnosu jedna na drugu kao na slici 7.1.



*Slika 7.1: Kalibracijska ploča*

Prije povezivanja uređaja, potrebno je namjestiti kut za skeniranje objekta. Kut presjeka između projekcije i kamere treba biti između 20°-25°. Kamera se može postaviti lijevo ili desno od projektora. Softver DAVID podržava vertikalno podešavanje, sa kamerom i projektorom jedan iznad drugog.[17]

Ako je objekt manji od 110 milimetara kameru je bolje postaviti u lijevi položaj u odnosu na projektor. Ako je objekt u rasponu od 110 milimetara do 350 milimetara kamera će i dalje biti lijevo pozicionirana, dok u slučaju ako je objekt veći od 350 milimetara preporučuje se postavljanje kameru u desni položaj u odnosu na projektor. Kameru i projektor treba približiti objektu u slučaju da je objekt mali, ako je objekt veći kameru i projektor treba udaljiti od objekta kao što je prikazano na slici 7.2



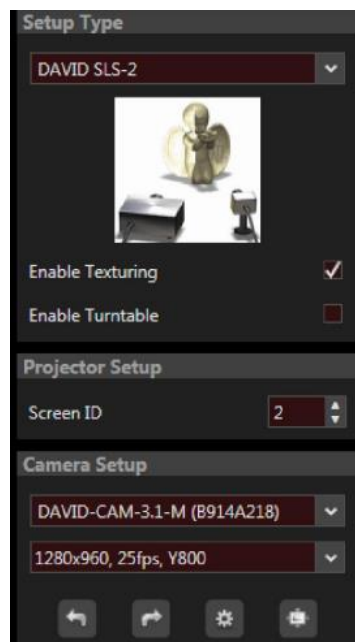
Slika 7.2: Postavljanje kamere

## 6.2. Podešavanje i rad sa David programom

Podešavanje i rad sa skenerom se provodi kroz nekoliko cjelina: podešavanje sustava, kalibracija, skeniranje, teksture i spajanje oblika.

Prva cjelina: Podešavanje sustava (engl. *Setup*)

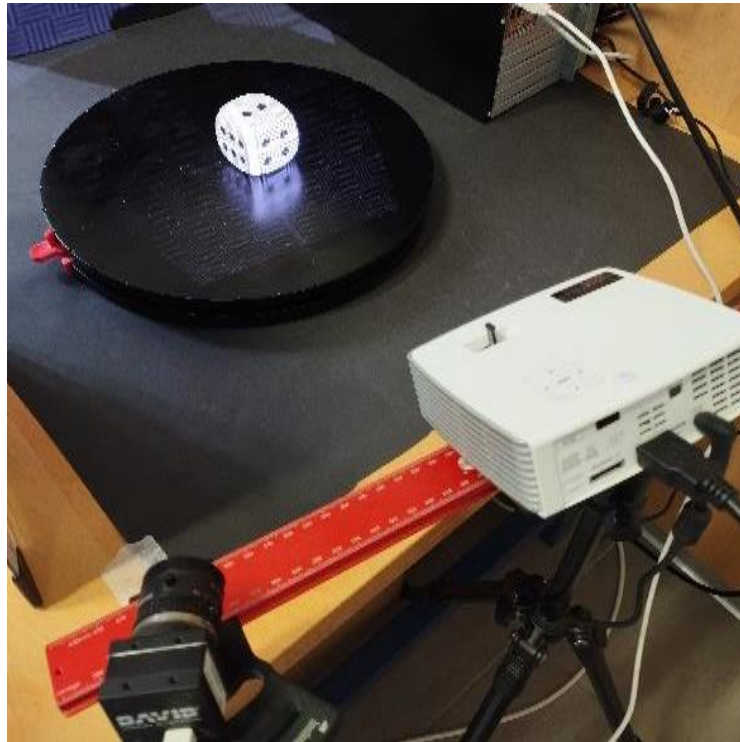
Na slici 7.3 prikazan je izbornik prvog koraka "*Setup*" za početno podešavanje postavki s DAVID 3D skenerom. Prema slici odabire se tip DAVID skener. Pod stavkom "*Screen ID*" odabire se broj 2 koji se koristi za strukturirano svjetlo. Pod karticu "*Kamera*" odabiru se podaci za kameru koja se koristi. "*Enable Texturing*" se koristi za skeniranje objekta u boji i preuzimanje tekstura s površine objekta.



Slika 7.3: „*Hardware Setup*“ izbornik[18]



Prije skeniranje potrebno je postaviti skener ispred skeniranog objekta i podesiti položaj i smjer projektora tako da njegova projekcija osvjetljava skeniranu površinu na odgovarajućoj udaljenosti (Slika 7.4).

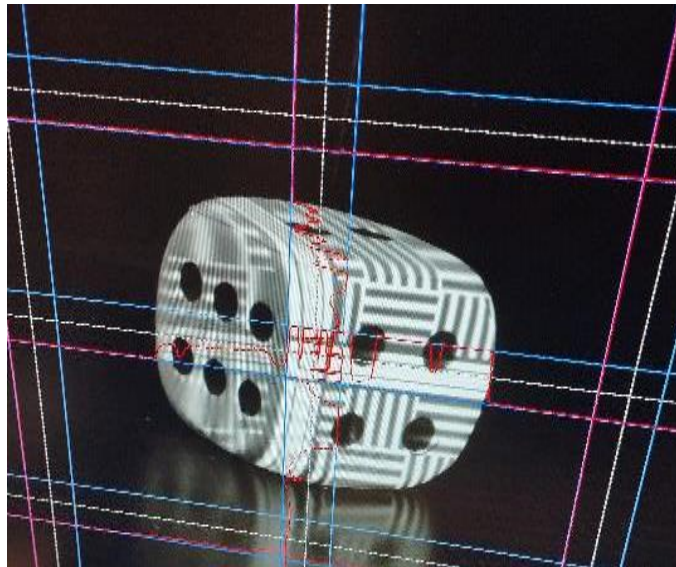


*Slika 7.4: Skeniranje objekta*

Podešavanje oštine se na kameri izvodi pomoću prstena za fokusiranje. Crno bijele pruge moraju biti što oštrije na površini objekta koji se skenira.

Vrijeme „*Exposure*“ potrebno je postaviti na  $1/60$  s. Ovime se podešava da slika kamere ne treperi ili pulsira kada prati projekciju.[17]

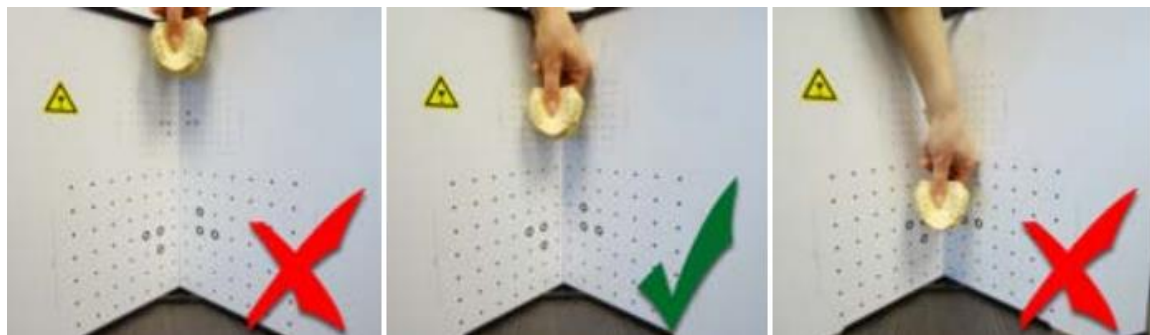
Pravilan otvor blende se mora postaviti na objektivu kamere. Idealan uzorak skena postiže se kada su crvene krivulje intenziteta u obliku sinusoide koje ne smiju biti previše zasićene ili pod zasićene. Crvene sinusoide se trebaju nalaziti u rasponu plavog okvira. Na slici 7.5 vidljiva je kocka i crvene sinusoide koje su najviše savijene na mjestima gdje je kocka svjetlija.



Slika 7.5: Podešavanje crvene sinusoide

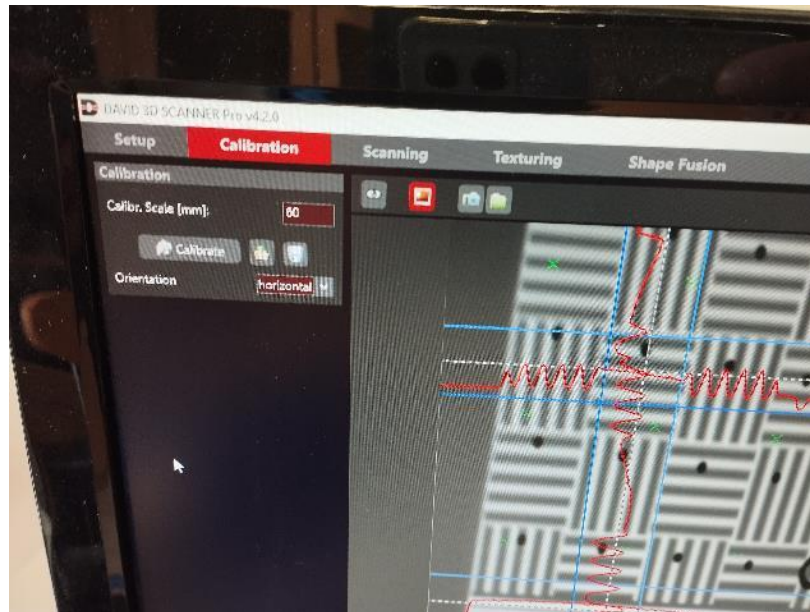
#### Druga cjelina: Kalibracija (engl. Calibration)

Postupak za odabir uzorka koji odgovara objektu prikazan je na slici 7.6. Prvo se traže dimenzije u koje stane objekt: 30 milimetara, 60 milimetara ili 120 milimetara. Dimenzije su bitne samo za visinu objekta. Na mjesto gdje se nalazi objekt potrebno je postaviti kalibracijsku ploču kako bi projektor i slika kamere imali dobar fokus. Slika kamere mora prikazivati svih 6 krugova za kalibraciju. Svjetlina se podesit s pomoću kontrole projektora “*Brightness*“ tako da se odabere između 1 i 255. Što je broj manji sve je tamnije, te što je broj veći sve je svjetlije. Tijekom procesa kalibracije, softver izračunava položaj i orijentaciju kamere, kao i širinu i dužinu i parametre izobličenja njenog objekta. Nakon završetka procesa ništa se ne podešava niti pomiče u suprotnom sve se mora ponovno podešavati.



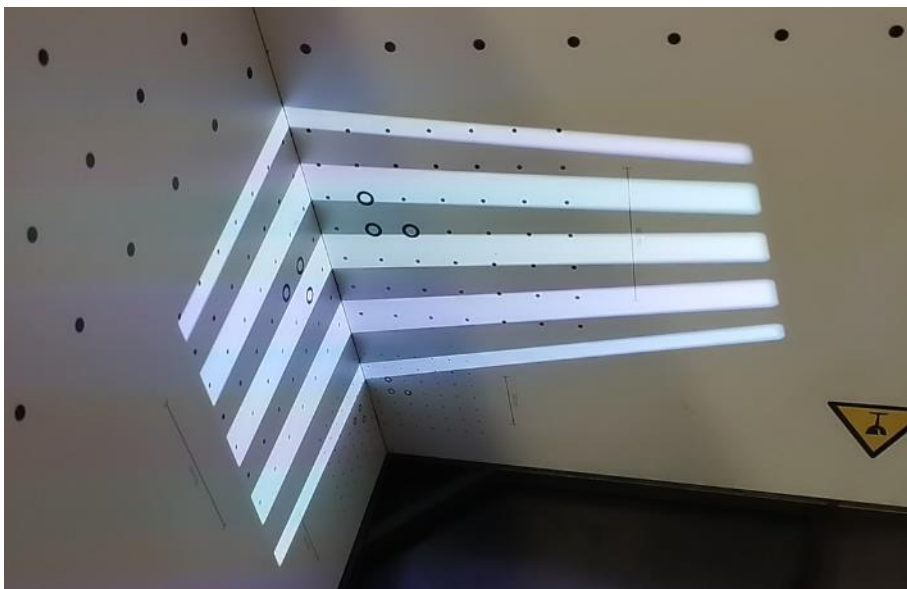
Slika 7.6: Određivanje dimenzije objekta za kalibraciju [18]

U postavkama programa odabire se veličina uzorka kalibracije pod nazivom “Calibr. Scale[mm]“, pa se potom pokreće postupak kalibriranja, pritiskom na tipku “Calibrate“ kao što je prikazano na slici 7.7.



*Slika 7.7: Odabir dimenzije kalibracije*

Cijela slika kamere mora biti ispunjena s oko 15 do 70 kalibracijskih točaka, a kamera ne bi trebala gledati van kalibracijskih točaka koje su raspoređene u kvadrat, kao na slici 7.8.



*Slika 7.8: Prikaz skeniranja kalibracijske ploče*

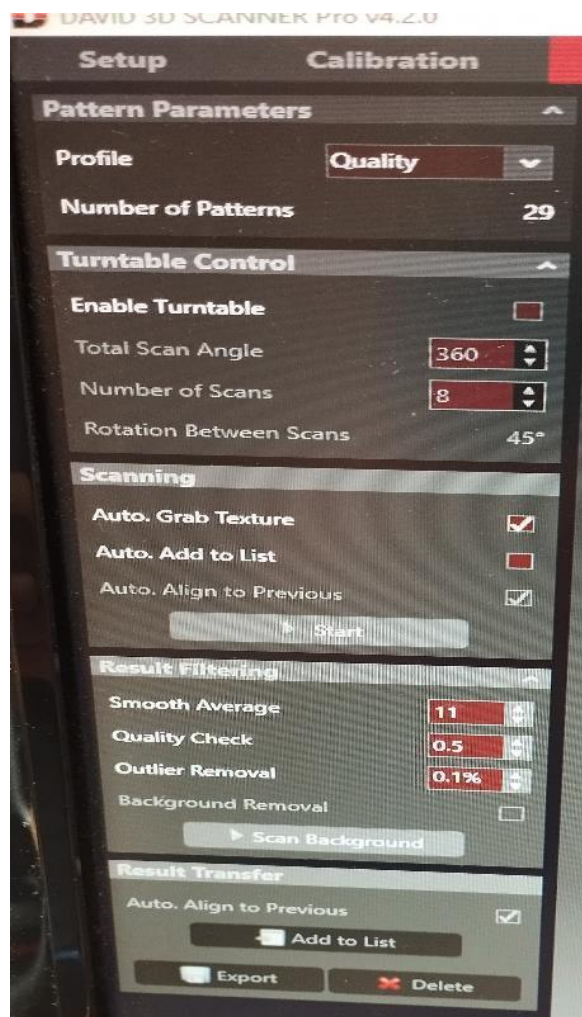
### Treća cjelina: Skeniranje (engl. *Scanning*)

U postavkama „*Scanning*“ prikazano na slici 7.9 ima više postavki za odabir. Skener i objekt se postave jedan ispred drugog, kao i tijekom kalibracije. Ako se udaljenost previše razlikuje, projicirane pruge i slika kamere bit će van fokusa. U tom slučaju treba korigirati udaljenost, a ne fokus kamere. [17]

Opcija „*Pattern Parameters*“ koristi se za određivanje količine i vrste projiciranog uzorka. U opciji „*Profile*“ se odabire jedna od tri ponuđene opcije. „*Speed*“ opcija se koristi kad je brzina vrlo važna, vrijeme skeniranja je minimalna, drugo opcija je „*Default*“ koja daje dobar omjer brzine i kvalitete skeniranja. Treća opcija koja se preporučuje za skeniranje je „*Quality*“ gdje je vrijeme skeniranja duže u odnosu na prijašnje opcije i kvaliteta skena je bolja.

Opcija „*Turntable Control*“ ima određene podopcije koje se koriste za određivanje koliko se puta neki objekt skeniran i pod kojim kutom, te samim time izračuna koliki kut treba biti okretanja objekta da bi se dobio cijeli objekt od 360°.

Odabirom „*Auto. Grab Texture*“ DAVID skener će snimiti fotografiju pri svakom skeniranju. Ako tekstura nije potrebna može ju se promijeniti u četvrte cjeline „*Texturing*“. Teksture u ovom radu nisu obrađivane pa su navedene postavke ostavljene nedirnutе. S opcijom „*Auto. Add to List*“, izvodi se više neovisnih skenova, a ti skenirani dijelovi se dodaju na listu koja se kasnije koristi za spajanje dijelova u cjeloviti sken. Dovoljno je 6-8 skenova oko objekta za dobivanje punog volumena. Skeniranje objekta se pokreće tipkom „*Start*“ i traje par sekundi.



*Slika 7.9: Postavke skeniranja*

Dok projektor skenira, na objektu se vide bijelo-crne linije i par boja kojima se određuju boje objekta. Nakon navedenih postupaka podešavanja programa skenirana su dva dijela kocke slika 7.10 i 7.11



*Slika 7.10: Slika desne strane kocke*

Nakon prvog skena kocka je zakrenuta i napravljen je drugi neovisni sken iste kocke.



Slika 7.11: Slika lijeve strane kocke

#### Peta cjelina: Spajanje oblika (engl. *Shape Fusion*)

U izborniku „*Fusion*“ postoji nekoliko opcija za spajanje i korekciju spajanja kao što je prikazano na slici 7.12. Spaja se jedan po jedan sken te se nakon spajanja odabire opcija „*Fuse*“ kako bi se sve sjedinilo u cjelinu. Proces traje od par sekundi do par minuta. Odabire se opcija s „*Free*“ modom, koji usklađuje jedno skeniranje s drugim u svakom koraku. Da bi se moglo spajati jedno s drugim skenovi se moraju poklapati odnosno dobar dio skena mora sadržavati identične položaje.

Opcija „*Align Scan*“ pokreće poravnanje tj. spajanje dijelova skena. Odabire se prvo objekt A kojeg spajamo s objektom B. Proces se ponavlja više puta za više skenova koji su skenirani. U slučaju pogrešnog odabira spajanja postoji opcija za vraćanje unazad koje je zelene boje. Opcija „*Refinement*“ poboljšava oštrinu i točnost, ali često uzrokuje distorziju. „*Resolution*“ služi za razlučivost slike, ako je veća razlučivost vrijeme trajanja računanja skeniranja je dugo i više se memorije koristi. Opciju „*Contact Pair Selection*“ se uključuje kada automatsko usklađivanje pronade pogrešna rješenja.



Slika 7.12: Postavke spajanja

Slika 7.13 prikazuje dvije skenirane strane kocke koje idu u proces spajanja pomoću opcije „Align Scans“. Spojen je lijevi sken s desnim, a sam proces je trajao manje od sekunde.



Slika 7.13: Dva dijela skena

Slika 7.14 i 7.15 prikazuju dva skena spojena jedan s drugim. Spojeni dijelovi su dobro spojeni i dobro su se sjedinili u cjelinu.



*Slika 7.14: Jedna strana spajanja*

Na slikama se vidi i nedostatak skeniranih dijelova plohe, a to su rupe na skenu. Rupe na skeniranom objektu nastaju kada na objektu postoji rupa ili crna boja koju je teško uočiti jer apsorbira svjetlo.



*Slika 7.15: Druga strana spajanja*



## 7. Zaključak

Ovim završnim radom objašnjeno su postupci skeniranja 3D modela te je proveden postupak skeniranja jednostavnog objekta. U početnom djelu su objašnjeni neki od glavnih postupaka skeniranja koje se danas koristi. Veliki dio rada se bazirao na objašnjenima kako 3D model nastaje i koje stvari se događaju tijekom samog skeniranja. U početnom dijelu skeniranja prikupljaju se podaci o točkama na površini objekta. Tako nastaje oblak točaka koji je i prva stvar koja se događaja tijekom skeniranja modela, a jako je bitan jer tehnologija skeniranja s pomoću lasera mora dobro izračunavati udaljenosti da bi se dobila određena točka u prostoru. Prijelaz iz oblaka točaka u poligonske mreže i u konačnici na 3D gotov model je dosta zahtjevno za savladati jer se uvijek javljaju neke greške tijekom te pretvorbe. Pogotovo je teško prepoznavanje i spajanje točaka s rubovima i s bridovima, veliki napori se ulažu u razvoj tih tehnologija i matematičkih izračuna. Nakon skeniranja potrebno je odabrati i format datoteke u kojoj će taj skenirani model biti spremljen, jedan od tih formata je i stl format datoteke. Podatkovne dimenzije spremanja te stl datoteke su male jer ovakav zapis ne sadržava boju, teksturu ili autorska prava što je dobro ako se želi samo spremiti neki jednostavni model. Sve navedeno u završnom radu o tome kako nastaje 3D računalni model i što se događa tijekom tog procesa skeniranja, primijenjeno je u praktičnom radu gdje se je kao jednostavni primjer, opremom sa Sveučilišta Sjever, skenirala kocka. Jedan od nedostataka skeniranog modela su male rupe koje su nastajale uslijed lošeg površine skeniranog objekta ili od zrcaljena dijela modela koji se skenirao. Zbog toga kamera loše snima objekt s kojeg se svjetlo zrcali. Trebalo bi dati više detaljnih objašnjenja i dublje ulaziti u problematiku za izradu kvalitetnijeg 3D računalnog modela. 3D skeniranje je široko područje i svaki dio ima svoje prednosti i nedostatke, daljnjim razvojem tehnologija i principa skeniranja problemi će se rješavati te ovo područje ima veliki opseg rada i primjene.

## 8. Literatura

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanning](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanning) (pristupljeno rujan.2024)
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight\\_camera](https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_camera) (pristupljeno rujan.2024)
- [3] <https://fibrox3d.com/advantages-vs-disadvantages-of-3d-laser-scanner> (pristupljeno rujan.2024)
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon\\_mesh](https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh) (pristupljeno rujan.2024)
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Point\\_cloud](https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud) (pristupljeno rujan.2024)
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Structured-light\\_3D\\_scanner](https://en.wikipedia.org/wiki/Structured-light_3D_scanner) (pristupljeno rujan.2024)
- [7] <https://www.roboticstomorrow.com/article/2018/04/what-is-structured-light-imaging/11821/> (pristupljeno rujan.2024)
- [8] [https://en.wikipedia.org/wiki/STL\\_\(file\\_format\)](https://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format)) (pristupljeno rujan.2024)
- [9] <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/create-3d-file/what-is-an-stl-file/> (pristupljeno rujan.2024)
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=7FmW6qhaupw> (pristupljeno rujan.2024)
- [11] <https://professional3dservices.com/blog/STL-file-format.html> (pristupljeno rujan.2024)
- [12] <https://www.raypcb.com/stl-file-format/> (pristupljeno rujan.2024)
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/David\\_Laserscanner](https://en.wikipedia.org/wiki/David_Laserscanner) (pristupljeno rujan.2024)
- [14] [https://www.researchgate.net/figure/SLS-scanner-and-position-of-projector-and-camera-26-21-http-wwwdavid-3dcom-en-22\\_fig3\\_339844033](https://www.researchgate.net/figure/SLS-scanner-and-position-of-projector-and-camera-26-21-http-wwwdavid-3dcom-en-22_fig3_339844033) (pristupljeno rujan.2024)
- [15] <https://sites.williams.edu/makerspace/our-printers/david-3d-scanner/> (pristupljeno rujan.2024)
- [16] <https://www.cnc-step.com/3d-scanner-david-sls/> (pristupljeno rujan.2024)
- [17] [https://manuals.plus/david/sls-1-structure-light-3d-scanner-manual#calibration\\_of\\_the\\_scanner](https://manuals.plus/david/sls-1-structure-light-3d-scanner-manual#calibration_of_the_scanner) (pristupljeno rujan.2024)
- [18] [https://www.bibus.sk/fileadmin/editors/countries/bibsk/Suppliers/David/documents/DAVID-SLS-2-Quickguide-EN\\_web.pdf](https://www.bibus.sk/fileadmin/editors/countries/bibsk/Suppliers/David/documents/DAVID-SLS-2-Quickguide-EN_web.pdf) (pristupljeno rujan.2024)
- [19] R. Lange: 3D Time-of-Flight Distance Measurement with Custom Solid-State Image Sensors in CMOS/CCD-Technology, University of Siegen, Siegen, Njemačka, 2000. (pristupljeno rujan.2024)
- [20] <https://www.semanticscholar.org/paper/Coordinate-measuring-machines-%3A-a-modern-inspection-Mantel/385d9fa517446e21e3dc965f99d0c3d6499680a1> (pristupljeno rujan. 2024)
- [21] <https://www.trimos.com/products/portable-measuring-arms/what-is-a-measuring-arm/> (pristupljeno rujan.2024)

## 9. Popis slika

Slika 1: 3D skener.....	1
Slika 3.1: Prikaz koordinatnog mjernog stroja.....	4
Slika 3.2: Zglobne ruke.....	4
Slika 3.3: Pulsno skeniranje.....	5
Slika 3.4: Princip laserskog triangulacijskog skenera.....	6
Slika 4.1: Primjer strukturiranog svijetla skeniranja.....	7
Slika 4.2: Prikaz faznog sinusnog pomaka.....	7
Slike 5.1: Oblak točaka torusa.....	9
Slika 5.2: Primjer poligonske mreže.....	10
Slika 5.20: Primjer elemenata stvaranja poligona.....	10
Slika 5.21: Prikaz vrh-vrh mreže.....	11
Slika 5.22: Prikaz ploha-vrh mreže.....	12
Slika 5.23: Prikaz krilate-rubne mreže.....	13
Slika 6.1: Prikaz razlike CAD modela i STL modela.....	14
Slika 6.2: Tesalacija trokutima .....	15
Slika 6.20: Programski kod.....	16
Slika 6.21: Prikaz binarnog koda.....	16
Slika 6.22: Pravilo vrhova.....	17
Slika 6.23: Pravilo orijentacije.....	17
Slika 6.24: Kartezijev koordinatni sustav.....	18
Slika 6.25: Trokutno sortiranje.....	18
Slika 7.1: Kalibracijska ploča .....	20
Slika 7.2: Postavljanje kamere.....	21
Slika 7.3: „Hardware Setup“ izbornik.....	2
Slika 7.4: Skeniranje objekta.....	22
Slika 7.5: Podešavanje crvene sinusoide.....	23
Slika 7.6: Određivanje dimenzije objekta za kalibraciju.....	24
Slika 7.7: Odabir dimenzije kalibracije .....	24
Slika 7.8: Prikaz skeniranja kalibracijske ploče.....	24
Slika 7.9: Postavke skeniranja.....	25
Slika 7.10: Slika desne strane kocke.....	26
Slika 7.11: Slika lijeve strane kocke.....	26
Slika 7.12: Postavke spajanja.....	27

Slika 7.13: Dva dijela skena.....	27
Slika 7.14: Jedna strana spajanja.....	28
Slika 7.15:Druga strana spajanja.....	28



Sveučilište  
Sjever



#### IZJAVA O AUTORSTVU

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

Ja, JOSIP KREŽEVIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom POSTUPCI ZA SKEKIRANJA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Josip Krežević  
(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

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