



ŠOLSKI CENTER CELJE

Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

Raziskovalna naloga
**AVTOMATIZACIJA PROCESA
3D-SKENIRANJA**

Področje: mehatronika

Avtorji:

Klemen Kaše, M-4. c

Maj Udovč, M-4. c

Primož Založnik, M-4. c

Mentor:

Martin Amon, mag. inž. str.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, marec 2025

Mentor Martin Amon, mag. inž. str. v skladu z 20. členom Pravilnika o organizaciji mladinske raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom Avtomatizacija procesa 3D-skeniranja, katere avtorji so Klemen Kaše, Maj Udovč in Primož Založnik:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, _____ —

žig šole

Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

*

POJASNILO

V skladu z 20. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja (-ice) in odgovorne osebe šole vključiti v izvod za knjižnico, dovoljenje za objavo avtorja (-ice) fotografskega gradiva, katerega ni avtor (-ica) raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se našemu mentorju Martinu Amonu, mag. inž. str., za koordinacijo pri izdelavi raziskovalne naloge in strokovne nasvete.

Hkrati se zahvaljujemo še vsem profesorjem in ostalim izven šole, ki so nam z različnimi nasveti pomagali pri izdelavi projekta.

Na koncu bi se zahvalili še Brigiti Renner, prof., za pregled in lektoriranje naloge.

POVZETEK

Modeliranje nam lahko vzame precej časa, še posebej, če je objekt, ki ga hočemo ustvariti, nepravilnih ali zahtevnih oblik. Ta problem je možno rešiti s 3D-skenerjem, ki lahko isti objekt dokaj hitro zajame v skupek točk ali slik, iz katerih se nato naredi model.

Naša naprava ta postopek še izboljša. Izdelek raziskovalne naloge avtomatizacija procesa 3D-skeniranja omogoča, da se izbrani predmet s skeniranjem zajame s strani in prav tako z vrha. Hkrati pa se skenirani predmet še vrti na vrtljivi plošči, da se zajamejo vsi njegovi koti.

V raziskovalni nalogi smo sprva izdelali nekaj skic, kako bi naš izdelek izgledal in kako bi realizirali ideje, da se med skeniranjem vrti, 3D-skener pa premika po kotu za 90°. Nato smo izdelali prve 3D-modele z uporabo programa SolidWorks 2024 in sproti začeli izdelovati prototipe s tehnologijo 3D-tiska. Po nekaj prototipih in ročno izdelanih kosih iz jeklene pločevine smo začeli izdelovati končni izdelek in vanj namestili izbrano elektroniko. To smo nato sprogramirali s programom Arduino IDE.

Ključne besede: 3D-skener, 3D-skeniranje, 3D-tisk, 3D-model, oblak točk, triangulacija, vrtljiva miza, Arduino

SUMMARY

Modeling can take a considerable amount of time, especially if the object we want to create has irregular or complex shapes. This problem can be solved with a 3D-scanner, which can quickly capture the same object as a set of points or images, from which a model is then created.

Our device further improves this process. The research project Automation of the 3D-Scanning Process enables the selected object to be scanned both from the sides and from the top. At the same time, the scanned object rotates on a turntable to capture all its angles.

In the research project, we first created sketches of how our product would look and how we would implement the idea of rotating the object during scanning while moving the 3D-scanner along a 90° arc. Then, we designed the first 3D models using SolidWorks 2024 and started prototyping using 3D-printing technology. After several prototypes and manually crafted parts made of steel sheet, we began assembling the final product and integrating the selected electronics. Finally, we programmed the system using Arduino IDE.

Keywords: 3D-scanner, 3D-scanning, 3D-printing, 3D-model, point cloud, triangulation, turntable, Arduino

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Namen naloge	1
1.2	Hipoteze	2
1.3	Predstavitev problema.....	2
1.4	Metode raziskovanja	3
2	OD IDEJE DO MODELA.....	4
2.1	Primer mize 1	4
2.2	Primer mize 2	5
2.3	Končna verzija mize	5
2.4	Primer loka 1	6
2.5	Primer loka 2.....	7
2.6	Končna verzija loka	8
3	ELEKTRONIKA	9
3.1	Koračni ali servomotor	9
3.2	Izbira motorjev.....	10
3.3	Mikrokrmilnik.....	11
3.4	Ostale komponente	12
4	IZBIRA MATERIALOV	14
4.1	3D-tisk	14
4.2	Konstrukcija.....	15
5	EKSPERIMENTALO DELO	16
5.1	Prvo testiranje laserske triangulacije	16
5.1.1	Ugotovitve.....	17
5.1.2	Rešitev.....	18

5.2 Preračun zobnikov	19
5.3 Testiranje motorjev in končnih stikal.....	20
5.3.1 Shematski prikaz vezave	21
6 IZDELAVA SOLIDWORKS MODELA.....	22
6.1 Ohišje.....	22
6.2 Odpiralna vrata	22
6.3 Vrtljiva miza.....	23
6.3.1 Stojalo mize.....	23
6.3.2 Stojalo motorčka	24
6.3.3 Stojalo kolesčkov	25
6.3.4 Držalo odpiralnih vrat	26
6.4 Držalo zaslona.....	26
6.5 Lok in držalo kamere	27
6.6 Celoten model	28
7 IZDELAVA.....	29
7.1 Ohišje.....	29
7.2 Vezava elektronike	33
8 STROŠKI MATERIALOV	35
9 TESTIRANJE 3D-SKENIRANJA	36
9.1 Testiranje 3D-skenerja	36
9.2 Testiranje 3D-skenerja in vrtljive mize.....	38
10 ANALIZA HIPOTEZ	40
11 ZAKLJUČEK	42
12 VIRI IN LITERATURA	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Einstar 3D-skener	1
Slika 2: Primer mize 1	4
Slika 3: Primer mize 2	5
Slika 4: Primer modela loka 1	6
Slika 5: Testni model 1	6
Slika 6: Presek modela loka 2	7
Slika 7: Model loka 2	7
Slika 8: Arc rail moving system for plasma diagnostics	8
Slika 9: Koračni motor Nema 17	10
Slika 10: Vezava koračnega motorja Nema 17	10
Slika 11: Koračni motor Nema 17	11
Slika 12: Vezava koračnega motorja Nema 17	11
Slika 13: Mikrokrmilnik Arduino uno R3	11
Slika 14: A4988 driver modul	12
Slika 15: Končno stikalo	12
Slika 16: Laser s piko	13
Slika 17: Črtni laser	13
Slika 18: Creality Ender 3 S1 3D-skener	14
Slika 19: Miza	15
Slika 20: Testna verzija 3D-skenerja	16
Slika 21: Zaznavanje laserske črte	17
Slika 22: 3D-model v MeshLabu	18
Slika 23: Vezava motorjev preko Arduina in gonilnikov	20
Slika 24: Shematska vezava	21
Slika 25: Model ohišja	22
Slika 26: Model odpiralnih vrat	22
Slika 27: Model vrtljive mize	23
Slika 28: Model stojala mize	23
Slika 29: Model stojala motorčka	24
Slika 30: Stojalo motorčka	24
Slika 31: Model stojala kolesčkov	25
Slika 32: Stojala kolesčkov	25
Slika 33: Model držala odpiralnih vrat	26
Slika 34: Model držala zaslona	26
Slika 35: Model loka in držala kamere	27
Slika 36: Model celotnega izdelka	28
Slika 37: Model celotnega izdelka (odprto)	28
Slika 38: Označevanje plošč	29
Slika 39: Zavarjene stranske stranice	29
Slika 40: Izrezovanje plošč	30
Slika 41: Ojačanje osnovne ploskve	30
Slika 42: Odprto ohišje	31
Slika 43: Odprto ohišje	31
Slika 44: Izdelek po barvanju	32
Slika 45: Vezava elektronike v izdelku	33

Slika 46: Oblak točk (Point cloud)	36
Slika 47: Nastali model zajet s 3D-skenerjem	37
Slika 48: Končni izdelek s 3D-skenerjem	38
Slika 49: Nastali model, zajet s 3D-skenerjem	39
Slika 50: Končni izdelek	42

KAZALO TABEL

Tabela 1: Rezultati geometrij zobnikov	19
Tabela 2: Vezava LCD	34

UPORABLJENE KRATICE

3D – tridimenzionalni (ang. three dimensional)

mm – milimeter

V – volt

A – amper

Ω – ohm

Gb – gigabajt

RAM – bralno-pisalni pomnilnik (ang. random-access memory)

IDE – integrirano razvojno okolje (ang. integrated development environment)

PLA – polimlečna kislina (ang. polylactic acid)

PE – polietilen

PLY – (ang. Polygon file format)

GPT – (ang. Generative Pre-training Transformer)

VCSEL – (ang. Vertical Cavity Surface Emitting Laser)

LCD – (ang. Liquid Crystal Display)

I2C – (ang. Inter-Integrated Circuit)

VS – (ang. Visual Studio)

CV – (ang. Computer Vision)

SSD – (ang. Solid State Drive)

1 UVOD

"3D-skener je naprava, ki analizira objekte realnega sveta in zbira podatke o obliki in videzu." (Muck, 2018: 2) [3]



Slika 1: Einstar 3D-skener

(Vir: <https://www.einstar.com/cdn/shop/files/go-ahead-with-einstar.jpg?v=1721699046&width=2880>)

Ideja o izdelavi avtomatiziranega procesa 3D-skeniranja se nam je porodila, ko nam je profesor v šoli predstavil 3D-skener, ki smo ga lahko tudi preizkusili. Hkrati je sošolec želel že obstoječi objekt zmodelirati in natisniti. Spoznali smo, da bi si prihranil čas, če bi imel doma lasten 3D-skener. Za izbiro teme smo se odločili, saj sami radi modeliramo in 3D-tiskamo, hkrati pa smo želeli razširiti naše znanje na tem področju.

1.1 Namen naloge

Namen naloge je narediti avtomatiziran proces, ki bo omogočil 3D-skenerju, da bo avtomatsko zajel predmete. Prav tako smo želeli preizkusiti laserski skener, ki bi uporabljal tehnologijo laserske triangulacije za zajem predmeta. Skeniranje bi uporabili zgolj za meritve in pridobivanje oblik izdelkov, ki že obstajajo. Z njim bi si prihranili čas pri modeliranju nepravilnih ali zahtevnih geometrij na računalniku. Naš izdelek bi kamero premikal po loku za 90°, da se lahko predmet zajame z vrha in s strani. Istočasno pa se bo skenirani objekt tudi vrtel na vrtljivi mizi, z namenom, da zajamemo vse kote objekta. Skeniran predmet bi s pomočjo že obstoječe programske opreme spremenili iz mreže točk v model. Tega bi shranili v datoteko, primerno za 3D-tisk, ali pa model prilagodili potrebam.

1.2 Hipoteze

Pred izvedbo raziskovalne naloge smo si postavili nekaj hipotez, ki jih bomo po končani nalogi potrdili ali zavrgli. Te so:

1. Natančnost 3D-skeniranja se razlikuje glede na uporabljeno tehnologijo.
2. 3D-skenerji lahko nudijo različne prednosti in slabosti glede na uporabljeno tehnologijo.
3. Zunanji dejavniki, kot so osvetlitev in motnje, vplivajo na proces 3D-skeniranja.
4. Napravo za avtomatizacijo 3D-skeniranja lahko izdelamo doma.
5. Izdelali bomo napravo, ki bo izdelek 3D skenirala avtomatizirano z več strani.
6. Izdelali bomo lasten 3D-skener s pomočjo laserja.

1.3 Predstavitev problema

Glavni problem pri 3D-skeniranju je, da mora oseba s kamero ročno zajeti želen predmet z vseh kotov. Nekaterim se to delo prilega, a mi smo hoteli zadevo poenostaviti. Pri našem izdelku bo predmet postavljen na vrtljivo mizo, ki se bo zagnala s pritiskom na gumb in bo po končanem postopku shranjena v datoteko. Glavni cilj je zagotoviti učinkovito skeniranje brez ročnega dela in optimizirati produktivnost ter kakovost 3D-skeniranja.

1.4 Metode raziskovanja

Da bi lahko izbrane cilje čim bolj in čim hitreje realizirali, smo pri raziskovanju uporabili metodi:

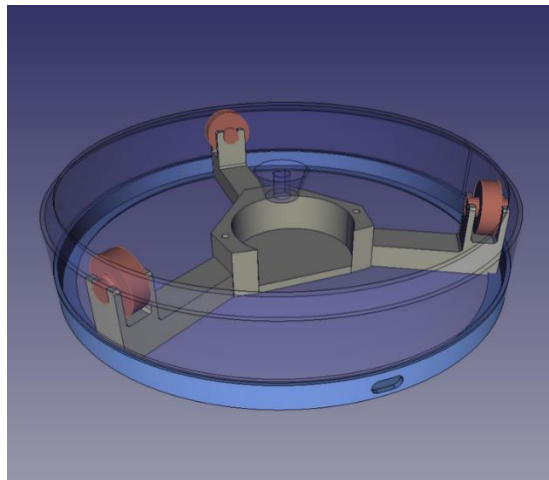
- Metoda analize, ki temelji na razčlenitvi celote na njene osnovne sestavne dele. Tako smo svojo kompleksno nalogo razdelili na več delov: modeliranje, izdelava, programiranje itd. S tem je bilo delo preglednejše in bolj sistematično.
- Primerjalna metoda, ki temelji na primerjavi več ugotovitev. To metodo smo največkrat uporabili pri modeliranju, kjer smo svoje ideje primerjali z že izdelanimi 3D-skenerji in ponovno pri sami izdelavi, ko smo se vračali v modeliranje.

2 OD IDEJE DO MODELA

Naloga je predstavljala izziv na več področjih, zato smo si morali delo dobro organizirati. Začeli smo z modeliranjem ohišja in vrtljive plošče, ki predstavlja ključni del celotnega projekta. Kakšen mehanizem izbrati za vrtenje mize nam je predstavljalo velik izziv, saj je bilo na voljo mnogo opcij, a je vsaka imela tako dobre kot tudi slabe lastnosti. Po primerjanju verzij in posvetu z mentorjem smo izbrali tisto, ki se nam je zdela najboljša.

2.1 Primer mize 1

Na spodnji sliki je prikazana prva zamisel za vrtljivo mizo, ki se ni uresničila, saj smo kasneje našli boljšo. Pri slednji bi preko malega zobnika, pritrjenega na motorček, poganjali večjega, pritrjenega na mizo. [17]



Slika 2: Primer mize 1

(Vir: https://cdn.thingiverse.com/assets/5b/a6/87/32/b2/large_display_b7138f79-4600-4485-87e5-fc08b66967ee.png)

2.2 Primer mize 2

Na spodnji sliki je druga verzija mize, ki smo jo na koncu izbrali, vendar smo prvotno zasnovo spremenili. Uporabili bomo velik zobnik, natisnjen s tehnologija 3D-tiska, ki ga bo poganjal manjši zobnik, prav tako izdelan s 3D-tiskom, ki se bo vrtel na enem od motorjev. Ploščo, na kateri bodo skenirani predmeti, bomo pritržili na velik zobnik. [18]



Slika 3: Primer mize 2

(Vir: https://cdn.thingiverse.com/assets/0a/77/53/51/b9/large_display_Rotating_display_table_2021-Apr-04_08-31-23PM-000_CustomizedView8893440741.png)

2.3 Končna verzija mize

Končna verzija bo izgledala tako, da bo miza pritržena na velik zobnik, v katerem bo ležaj, ki bo omogočal nemoteno vrtenje. Velik zobnik bo gnan s pomočjo manjšega zobnika, ki bo pritrjen na koračni motor. Na štirih točkah pod mizo bodo majhni kolesčki, pritrženi na podstavke, izdelane s 3D-tiskom. Ti kolesčki bodo podpirali mizo in preprečili kakršno koli nagibanje v eno ali drugo stran.

2.4 Primer loka 1

Ena izmed idej za lok je bila, da se kamera in motor premikata skupaj po loku na vozičku, ki drži kamero. To idejo je dobil sošolec med 3D-tiskom. Šoba se namreč premika po vodoravni osi, mi pa smo ta princip hoteli uporabiti za lok. To idejo smo hitro ovrgli, saj je bila težko izvedljiva.

Le-to smo dokazali pri izdelavi testnega modela, prikazanega na spodnji sliki, kjer smo videli, da bo konstrukcija še posebej težka, če se bo zraven po loku premikal še koračni motor.



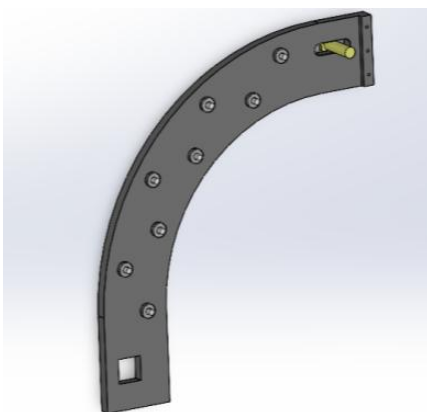
*Slika 4: Primer modela loka 1
(Osebni vir)*



*Slika 5: Testni model 1
(Osebni vir)*

2.5 Primer loka 2

Druga ideja je bila, da se kamera premika s pomočjo koračnega motorja, ki vrtil jermen, na katerem je pritrjena kamera. Ker mora biti jermen nameščen v loku, smo v modelu na določenih mestih upodobili ležaje, po katerih bi se premikal. Ker pa se jermen čez čas lahko raztegne, je na koncu vijak, ki ga po potrebi ponovno napne.



*Slika 6: Presek modela loka 2
(Osebni vir)*



*Slika 7: Model loka 2
(Osebni vir)*

Med iskanjem idej za izdelavo loka smo našli videoposnetek premičnega sistema za plazemsko diagnostiko. Preko njega je bila izdelana druga verzija v programu SolidWorks 2024. [4, 19]



*Slika 8: Arc rail moving system for plasma diagnostics
(Vir: https://youtu.be/pE3-5VBnBJg?si=h_-h9xON9YHUIijz)*

2.6 Končna verzija loka

Ker nam je zmanjkalo časa, je bil princip loka spremenjen. Nova ideja je bila, da izdelamo navaden 90° lok iz tehnične plastike, kamor bomo lahko namestili držalo kamere. Izdelali smo 3D-model držala in ga natisnili, da je ustrezal meram 3D-skenerja in se bo lahko nastavljal na 5 različnih položajev.

3 ELEKTRONIKA

3.1 Koračni ali servomotor

KORAČNI MOTOR

- Omogoča natančen položaj (premik po korakih, natančno pozicioniranje).
- Preprost (ni kompleksne zasnove).
- Stabilnost pri nizki hitrosti (stabilnejši pri počasnem premikanju).

SERVOMOTOR

- Motor s senzorjem za povratne informacije o položaju.
- Povratna povezava omogoča natančen nadzor položaja, hitrosti in navora, prenašanje večjih bremen, stabilen in prilagodljiv.

Za našo nalogo bo primeren koračni motor, saj omogoča natančen nadzor položaja (premik po korakih), je preprost in omogoča stabilnost pri nizki hitrosti.

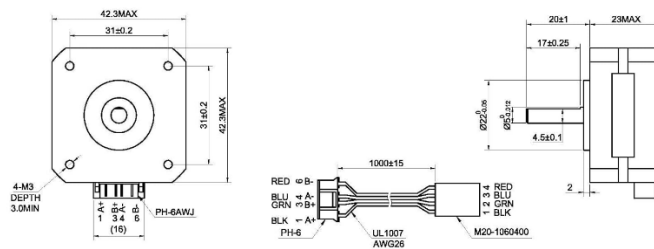
Servomotor bi bil primernejši, če bi potrebovali zelo visoko hitrost, če bi pričakovali hitre spremembe obremenitev ali če bi želeli povratno zanko (izjemna natančnost).

3.2 Izbira motorjev

Za premik vrtljive mize bomo uporabili koračni motor Nema 17, z močjo 1 A in 12 V. Na prvi sliki je motorček, na drugi pa njegove dimenzije in vezalni načrt. [11]



Slika 9: Koračni motor Nema 17
(Vir: https://m.media-amazon.com/images/I/510KNvPIQSL._SL1000_.jpg)

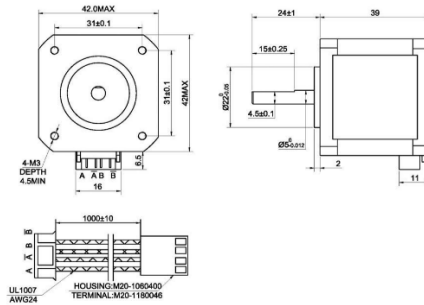


Slika 10: Vezava koračnega motorja Nema 17
(Vir: https://m.media-amazon.com/images/I/51mq5tQvsYL._SL1500_.jpg)

Za premik kamere po loku pa bomo prav tako uporabili koračni motor Nema 17, vendar z močjo 1.5 A in 12 V. Na prvi sliki je motorček, na drugi pa njegove dimenzije in potek kablov. [12]



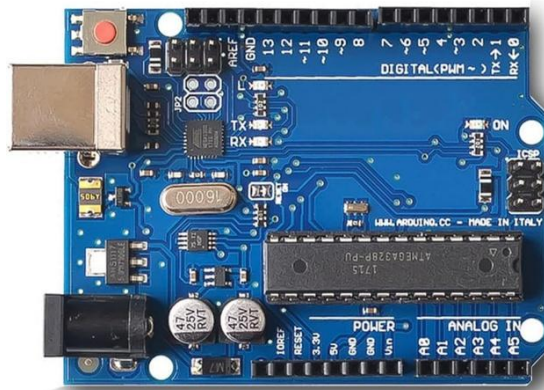
Slika 11: Koračni motor Nema 17
(Vir: https://m.media-amazon.com/images/I/51vXZxg5QFL._SL1000_.jpg)



Slika 12: Vezava koračnega motorja Nema 17
(Vir: https://m.media-amazon.com/images/I/511NY0WV5gL._SL1000_.jpg)

3.3 Mikrokrmilnik

Za krmiljenje bomo uporabili mikrokrmilnik Arduino uno R3. V šoli jih uporabljamo že od 2. letnika in se nanj dobro spoznamo. [16]



Slika 13: Mikrokrmilnik Arduino uno R3
(Vir: https://m.media-amazon.com/images/I/61EtGQoG2RL._AC_SL1200_.jpg)

3.4 Ostale komponente

Za krmiljenje koračnih motorjev smo izbrali A4988 driver modul za koračni motor. [5]



Slika 14: A4988 driver modul
(Vir: https://m.media-amazon.com/images/I/81uyuHgRrL._SL1500_.jpg)

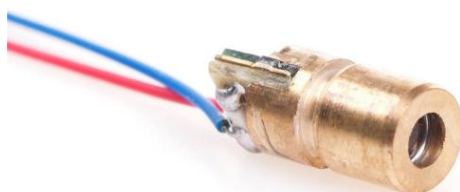
Da se bo kamera pravilno pomikala po loku in da bo koračni motor razumel svoj položaj, bomo na koncu loka namestili končno stikalo (ang. limit switch). [13]



Slika 15: Končno stikalo
(Vir: https://m.media-amazon.com/images/I/51OUKIL5LhL._SL1001_.jpg)

Prav tako smo za preizkus laserske triangulacije izbrali naslednja laserja. Eden izmed laserjev projicira črto, drugi pa točko. Da se bodo zajele vse točke na želenem modelu, bomo za začetek uporabili navadno web kamero.

Laserja sta prikazana na spodnjih slikah. [9, 14]



Slika 16: Laser s piko

(Vir: https://m.media-amazon.com/images/I/51wXcFvURNL._SL1000_.jpg)



Slika 17: Črtni laser

(Vir: https://m.media-amazon.com/images/I/41jvIQV4JpL._AC_.jpg)

4 IZBIRA MATERIALOV

4.1 3D-tisk

3D-tiskanje je omogočilo razvoj novih materialov, namenjenih posebej za 3D-tiskalnike. Glede na različne tehnologije 3D-tiskanja so na trgu na voljo različni materiali, kot so plastika, kovina, keramika, vosek itd. Med seboj se razlikujejo po vrsti, debelini, teksturi in ceni. 3D-tiskalnik, s katerim smo tiskali, je CREALITY Ender 3 S1, prikazan na spodnji sliki. [8]



Slika 18: Creality Ender 3 S1 3D-skener

(Vir: https://3dshark.si/wp-content/uploads/2022/01/Creality-Ender-3-S1-220-220-270-mm-Ender-3-S1-27077_3_3dshark_crealiti-slovenija.jpg)

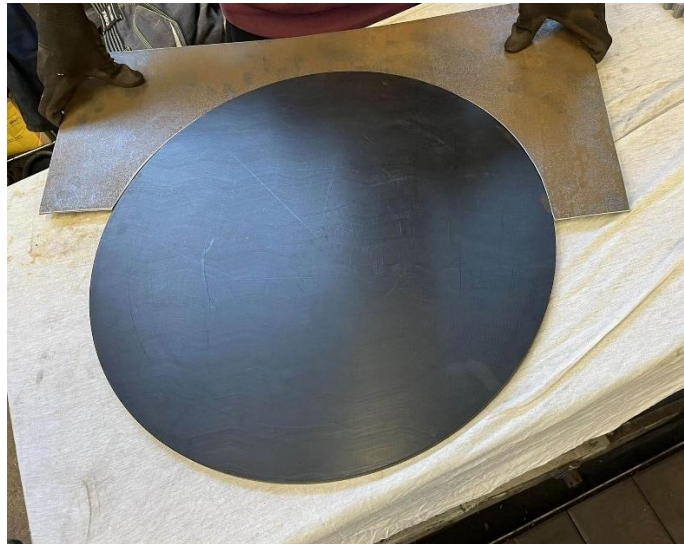
Za naše potrebe smo izbrali material PLA oz. polimlečno kislino, ki je eden izmed najpogosteje uporabljenih materialov v 3D-tisku. Izdelan je iz obnovljivih virov, kot sta koruzni škrob in sladkorni trs. PLA je biorazgradljiv in ga je mogoče reciklirati. Odlikuje ga dobra trdnost, vendar ni odporen na visoke temperature in močne udarce. Je enostaven za tiskanje, cenovno ugoden in zato primeren za naš projekt.

V naši nalogi je veliko delov izdelanih s tehnologijo 3D-tiska. Ti deli so stojalo vrtljive mize, motorčka in stojala za kolesčke. Prav tako veliki in mali zobnik, vendar smo ob testiranju ugotovili, da bi bilo bolje, če bi zobnike naredili evolventne in ne ravnih, kakor smo to storili prvotno. Prav tako je s 3D-tiskom izdelano držalo 3D-skenerja na loku in podpore, ki držijo odpiralna vrata v zaprtem položaju.

4.2 Konstrukcija

Za izdelavo našega projekta smo poleg 3D-tiskanih delov uporabili jekleno pločevino, iz katere smo izdelali celotno ohišje in odpiralna vrata. Težava je nastopila, saj se nam je sredina upogibala in smo jo zato podprli. Sošolčev oče je imel pločevino v svoji avtokleparski delavnici in brez težav nam jo je odstopil.

Vrtljivo mizo in lok smo izdelali iz materiala PE 1000, tj. je tehnična plastika iz polietilena, ima visoko molekularno gostoto in je zelo odporna proti obrabi.



*Slika 19: Miza
(Osebni vir)*

5 EKSPERIMENTALNO DELO

5.1 Prvo testiranje laserske triangulacije

Najprej smo z uporabo lego kock sestavili vrtljivo mizo, saj še nismo imeli pretvornika, da bi lahko upravljali koračni motor na zeleni napetosti. S 3D-tiskalnikom smo natisnili držalo za laser, ki smo ga vgradili na vrh lego konstrukcije. Naložili smo knjižnico OpenCV, ki bo služila kalibraciji uporabljene kamere. Prav tako smo namestili programski jezik Python in program VS Code, v katerem bomo vse urejali. Napisali smo osnovno kodo s pomočjo aplikacije ChatGPT in YouTuba, ki pa smo jo morali velikokrat spremeniti, da bi se približali tisti, ki bo pravilno zajela vse točke samo po črti laserja. Zajete točke smo pretvorili v datoteko oblike PLY, ki jo lahko odpremo v programu MeshLab. Uspelo nam je posneti in narediti 3D-model, ki pa ni podoben predmetu, ki smo ga uporabljali kot model. Sklepamo, da je razlog za to nepravilna kalibracija kamere, ki bi jo morali narediti. [6, 9, 16]



*Slika 20: Testna verzija 3D-skenerja
(Osebni vir)*

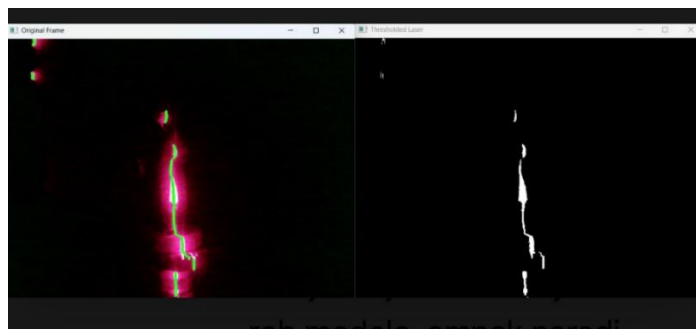
5.1.1 Ugotovitve

Laserske triangulacije ne bomo uporabili, saj bi za kalibracijo kamere in pisanje programa za beleženje točk porabili preveč časa. To bi morali storiti v programu VS Code. Prav tako bi za pisanje kode morali stalno uporabljati program ChatGPT, ker smo se v šoli naučili samo osnove programiranja v programskem jeziku Python, ki pa je izredno zahteven.

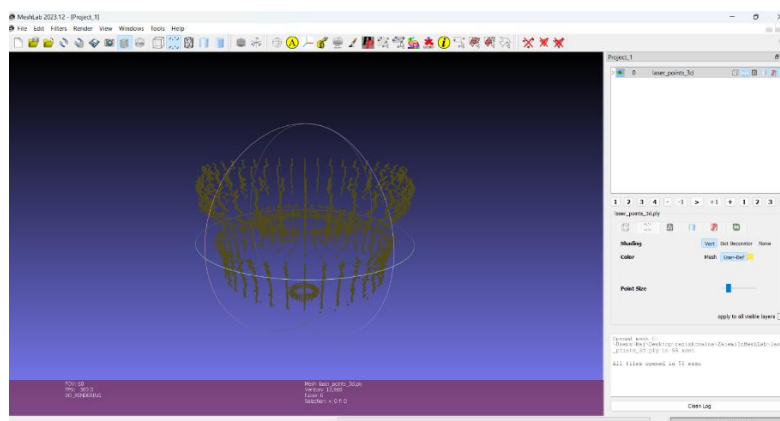
VS Code je integrirano razvojno okolje, ki ga je razvil Microsoft za Windows, Linux, macOS in spletne brskalnike. Funkcije vključujejo podporo za odpravljanje napak, označevanje sintakse, inteligentno dokončanje kode, izrezke in refaktoriranje kode. V tem programu bi nato morali napisati kodo, ki bi po laserski črti preko kamere zajela točke, ki bi jih pozneje morali pretvoriti v PLY-datoteko. Pred tem pa bi s pomočjo knjižnice OpenCV kamero kalibrirali. OpenCV je knjižnica za računalniški vid, strojno učenje in obdelavo slik. Namen kalibracije je, da se odpravijo distorzije in napake v sliki. Te vključujejo parametre, kot so leča, razdalja med kamero in predmetom, goriščna razdalja, faktorji popačenja itd. Zato je pravilna kalibracija ključna za pravičen zajem predmetov brez napak.

Tadeja Muck (Muck, 2018: 8) navaja, da se postopku, kjer kamera (ena ali dve v stereonačinu) zazna položaj točke, linije ali vzorca svetlobe oz. laserja na površini, reče triangulacija. S tem dobimo oblak točk (ang. point cloud), ki ga lahko odpremo v MeshLabu, iz katerega se izriše model.

Na spodnji prvi sliki je slika kamere, kjer se vidi, kako se zaznava laserska črta. Na drugi sliki pa je nastali 3D-model v MeshLabu. To je program, ki nam omogoča obdelavo oblakov točk in njihovo urejanje, čiščenje, pretvorbo, zdravljenje in pregledovanje. [3, 6, 20, 21]



*Slika 21: Zaznavanje laserske črte
(Osebni vir)*



*Slika 22: 3D-model v MeshLabu
(Osebni vir)*

5.1.2 Rešitev

Ker z laserskim zajemom točk nismo prišli do želene rešitve, smo se odločili za uporabo obstoječega 3D-skenerja. Za našo nalogo bomo uporabili 3D-skener Shining3D Einstar, ki ga imamo na šoli. 3D-skener bomo namestili na lok, ta pa bo posnel predmet tako s strani kot tudi z vrha.

Skener deluje preko infrardeče VCSEL strukturirane svetlobe, ki je ena izmed tehnologij 3D-skeniranja. Polno ime VCSEL je Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL), ki se imenuje laser, ki oddaja površino. Je eden izmed virov svetlobe, ki se uporablja pri optični komunikaciji. Tehnologija strukturirane svetlobe deluje tako, da projektor projicira svetlobni vzorec na objekt, ki ga kamera zazna. Ta vzorec se s površino deformira, nato pa na podlagi te deformacije računalnik izračuna 3D-obliko izdelka. (Shenzhen Optika Komunikacija Co., 2019: 104)

Skener omogoča delovno razdaljo od 160 do 1400 mm in ima 434 x 379 mm polje skeniranja. (Shenzhen Optika Komunikacija Co., 2019: 104)

Tako smo se odločili, ker smo si zadali pretežek cilj, da bi izdelali svojo kamero za 3D-skeniranje s tehnologijo laserske triangulacije. Že sama miza in lok nam bosta povzročala veliko dela in ne bi uspeli narediti vsega. [6, 10, 15]

5.2 Preračun zobnikov

V našem primeru uporabljamo 2 zobnika. Manjši zobnik, ki bo vrtel velikega, ima 20 zob in premer 64 mm ter 20 mm debeline. Večji zobnik ima 72 zob in premer 217.4 mm ter debelino 20 mm. Naš koračni motor Nema 17 ima 200 korakov na eno revolucijo (1 obrat) ali 1.8° na korak.

Ker manjši zobnik (20 zob) poganja večjega (72 zob), veljajo naslednje formule:

Izračun geometrije malega zobnika:

$$d_0 = m \times z = 2,91 \times 20 = 58,20 \text{ mm} \quad (5.1)$$

$$d_k = d_0 + 2 \times m = 58,2 + 2 \times 2,91 = 64,020 \text{ mm} \quad (5.2)$$

$$d_f = d_0 - 2,2 \times m = 58,2 - 2,2 \times 2,91 = 51,798 \text{ mm} \quad (5.3)$$

Po istem postopku smo izračunali še geometrije velikega zobnika, ki so podane v tabeli skupaj z rezultati manjšega zobnika.

*Tabela 1: Rezultati geometrij zobnikov
(Osebni vir)*

		modul zob m	delilni krog d_0	temenski krog d_k	vznožni krog d_f
število zob Z1	20	2,91	58,20	64,020	51,798
število zob Z2	72	2,91	209,52	215,340	203,118
prestavno razmerje $i=$	3,6	medosna razdalja	133,86		

Število korakov za en obrat velikega zobnika:

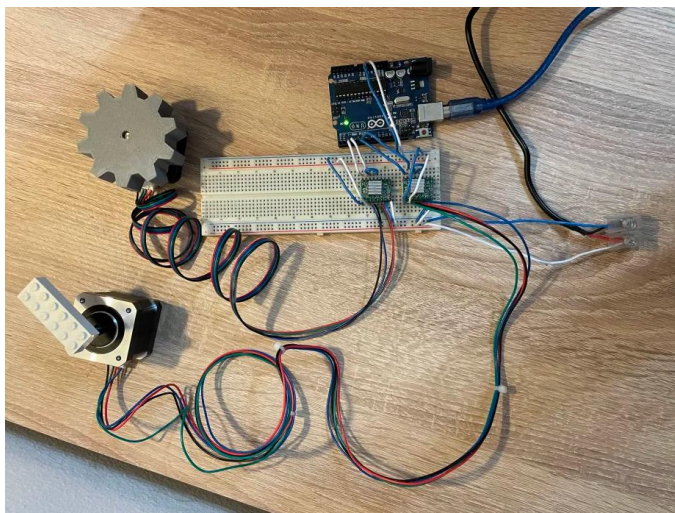
$$\begin{aligned} \text{koraki za obrat velikega zobnika} &= \text{koraki na obrat motorja} \times i \\ &= 200 \times 3,6 \\ &= 720 \text{ korakov} \end{aligned} \quad (5.4)$$

5.3 Testiranje motorjev in končnih stikal

Motorja s testnim zobnikom smo najprej zvezali na testno ploščico, pri čemer smo pazili na pravilno vezavo žic iz motorja. Za delovanje koračnega motorja je nujno potreben tudi ustrezen pogonski modul. Za to smo izbrali gonilnik A4988, ki omogoča natančno upravljanje motorja. Preko vezalnega načrta za motorje smo povezali žice na ustrezne vhode na gonilniku. Pravilna vezava je ključnega pomena, saj v nasprotnem primeru motor ne bi deloval pravilno. Testno kodo smo napisali z uporabo ChatGPT.

Na oba gonilnika smo pripeljali 12 V napetost preko napajalnika, ki zagotavlja dovolj moči in toka, da lahko oba motorja delujeta hkrati. Ker napajalnik omogoča dovolj toka za oba motorja, smo lahko zagotovili, da sta delovala sočasno brez težav.

Na drugi strani gonilnika smo povezali pin za *step* (korak) in pin za *dir* (smer) na Arduino. S tem smo omogočili, da lahko preko Arduina natančno upravljamo motorja. Nato smo napisali začetni testni program, s katerim smo preverili, ali vse deluje pravilno. Po nekaj manjših popravkih v programu smo uspešno zagnali oba motorja. S tem smo potrdili načrtovano delovanje. [5, 6, 7, 11, 12, 13, 16]



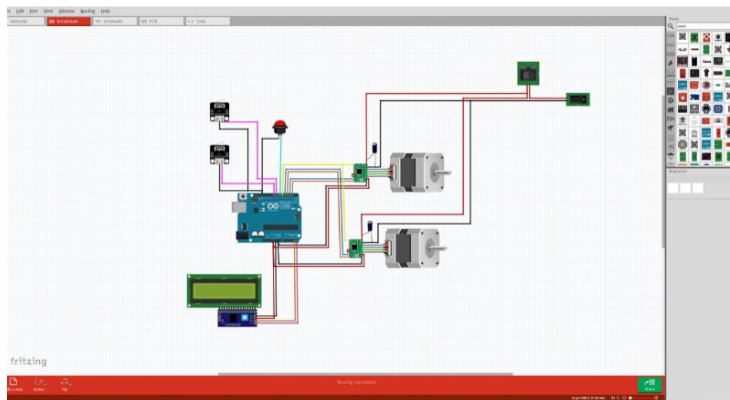
*Slika 23: Vezava motorjev preko Arduina in gonilnikov
(Osebni vir)*

5.3.1 Shematski prikaz vezave

Vezava sistema je bila načrtovana s pomočjo programa Fritzing, pri čemer smo vizualizirali prikaz komponent. Shema vezave vključuje povezave med Arduinoom, motorjema, stikalom za izklop, tipko, LCD-zaslonom in končnimi stikali, ki jih bomo uporabljali za določanje položaja na loku.

Sistem se napaja preko 12 V napajalnika, ki je povezan z varnostnim stikalom. Ko vklopimo stikalo, se napajanje prenese na Arduino in gonilnike. Za zagon motorjev uporabimo tipko, ki sproži program za premikanje motorjev. Eden od motorjev ima nameščena končna stikala in ko doseže eno izmed njih, pošlje signal Arduino, ki ustavi gibanje v to smer, da se preprečijo mehanske poškodbe.

Za prikaz stanj, kot so: "Sistem pripravljen", "Motor v gibanju", "Doseženo končno stikalo" itd., uporabimo LCD-zaslon. Po končani uporabi se izklopi varnostno stikalo, s čimer se prekine napajanje in zagotovi varna zaustavitev sistema.

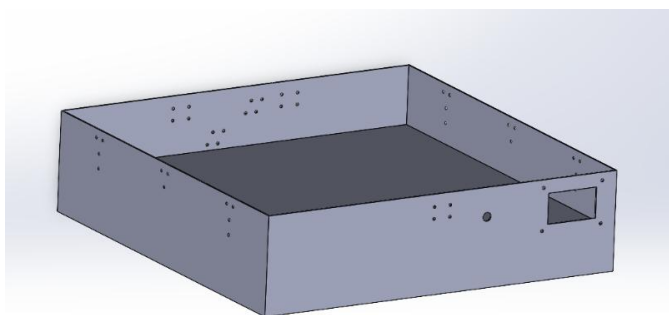


*Slika 24: Shematska vezava
(Osebni vir)*

6 IZDELAVA SOLIDWORKS MODELA

6.1 Ohišje

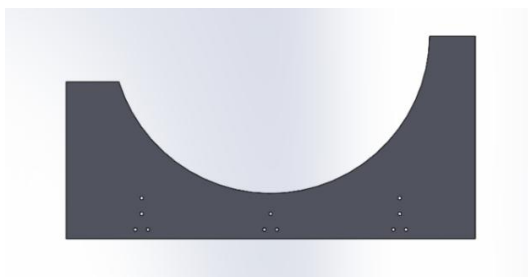
Model ohišja je bil izdelan s programom SolidWorks 2024. Dimenzije ohišja so 650 x 650 mm. Višina stranic pa je 170 mm. Osnovna plošča je zavarjena 100 mm od vrha in je od spodaj ojačana, da se sredina ne deformira.



*Slika 25: Model ohišja
(Osebni vir)*

6.2 Odpiralna vrata

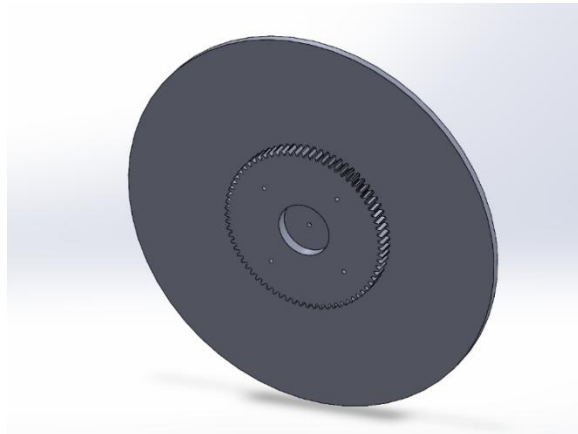
Vrata smo izdelali zato, da imamo hiter in enostaven dostop do elektronskih komponent. Okroglina je polmera 510 mm. Zadnja stranica je krajša z namenom, da se lahko v primeru nadgradnje z avtomatskim pomičnim lokom vse skupaj lažje sestavi.



*Slika 26: Model odpiralnih vrat
(Osebni vir)*

6.3 Vrtljiva miza

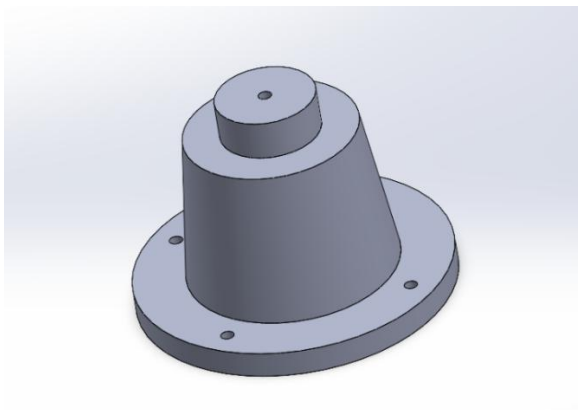
Vrtljiva miza je sestavljena iz okrogle mize premera 500 mm in velikega zobnika z 72 zobmi. Na sredini je luknja, v kateri je prostor za ležaj. Zobnik in mizo smo spojili s pomočjo 4 vijakov.



*Slika 27: Model vrtljive mize
(Osebni vir)*

6.3.1 Stojalo mize

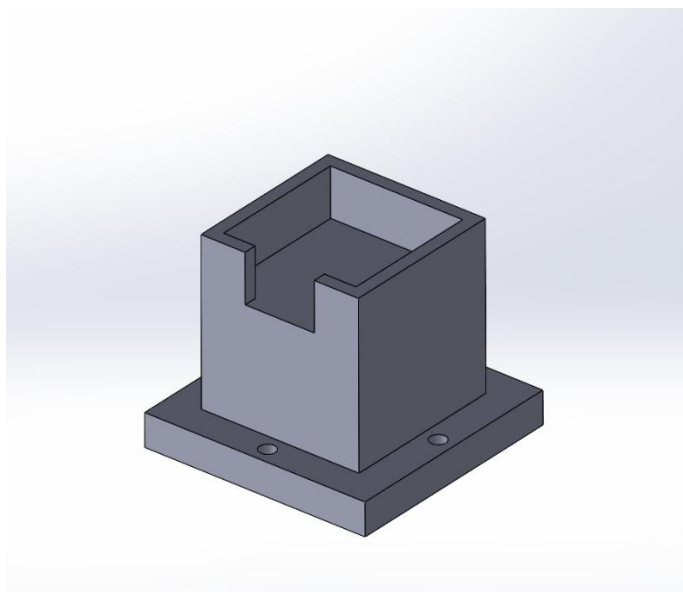
Stojalo mize je pritrjeno na sredino osnovne plošče s pomočjo 4 vijakov. Na vrh pa se pritrdi vrtljiva miza z ležajem.



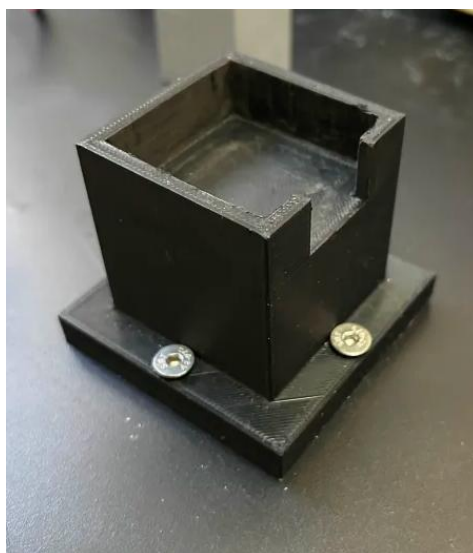
*Slika 28: Model stojala mize
(Osebni vir)*

6.3.2 Stojalo motorčka

Stojalo motorčka je namenjeno pritrditvi koračnega motorja na določeni višini. Prav tako pa je enako kot stojalo mize pritrjeno na osnovno ploščo s 4 vijaki.



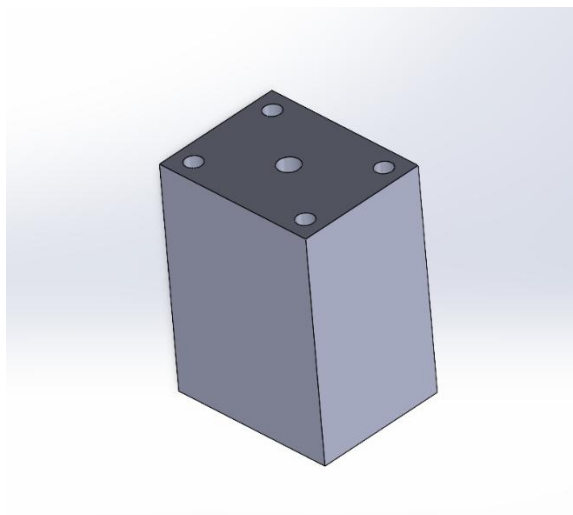
*Slika 29: Model stojala motorčka
(Osebni vir)*



*Slika 30: Stojalo motorčka
(Osebni vir)*

6.3.3 Stojalo kolesčkov

Stojalo za kolesčke je preprosto izdelano. 4 takšna stojala so pritrjena na osnovno ploščo na 4 mestih, da preprečimo nagib vrtljive mize.



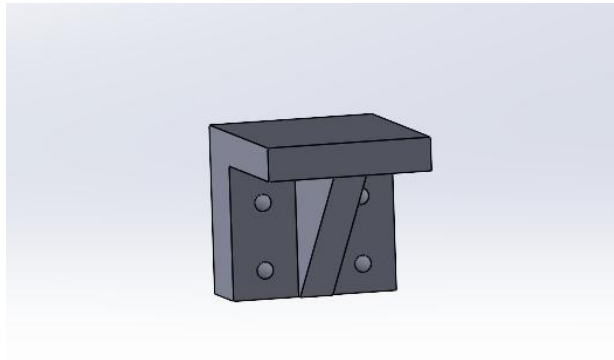
*Slika 31: Model stojala kolesčkov
(Osebni vir)*



*Slika 32: Stojala kolesčkov
(Osebni vir)*

6.3.4 Držalo odpiralnih vrat

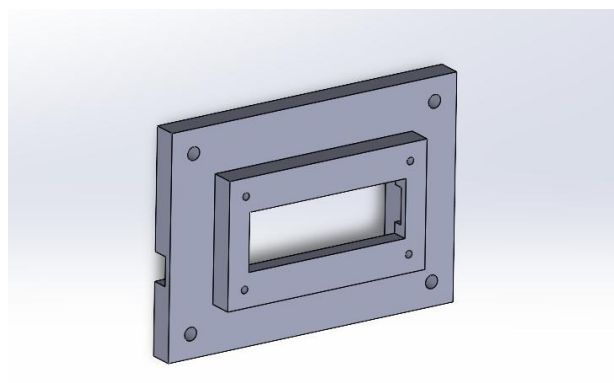
Držala odpiralnih vrat služijo temu, da se vrata naslonijo nanje in tako zaprejo pogled v električno vezavo. Poleg tega pripomorejo k estetskemu izgledu celotnega izdelka.



*Slika 33: Model držala odpiralnih vrat
(Osebni vir)*

6.4 Držalo zaslona

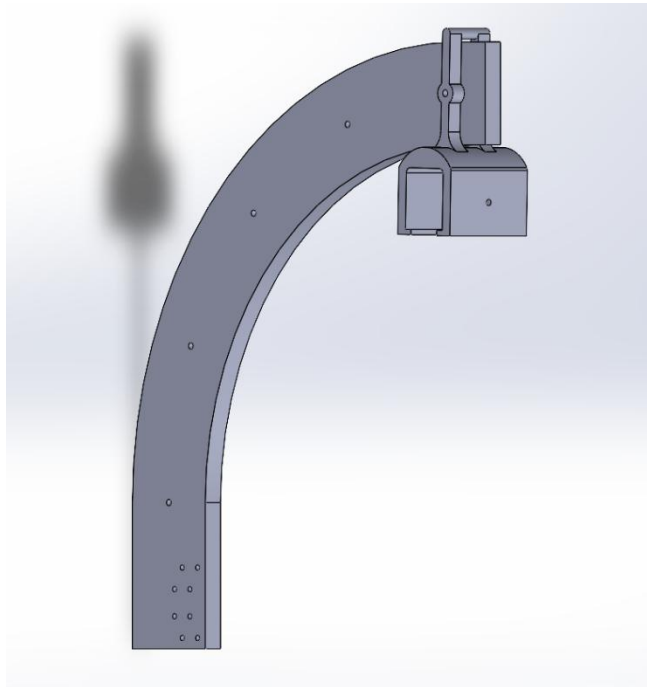
Držalo zaslona je namenjeno držanju LCD-zaslona, na katerem se izpisujejo stanja procesa avtomatskega skeniranja.



*Slika 34: Model držala zaslona
(Osebni vir)*

6.5 Lok in držalo kamere

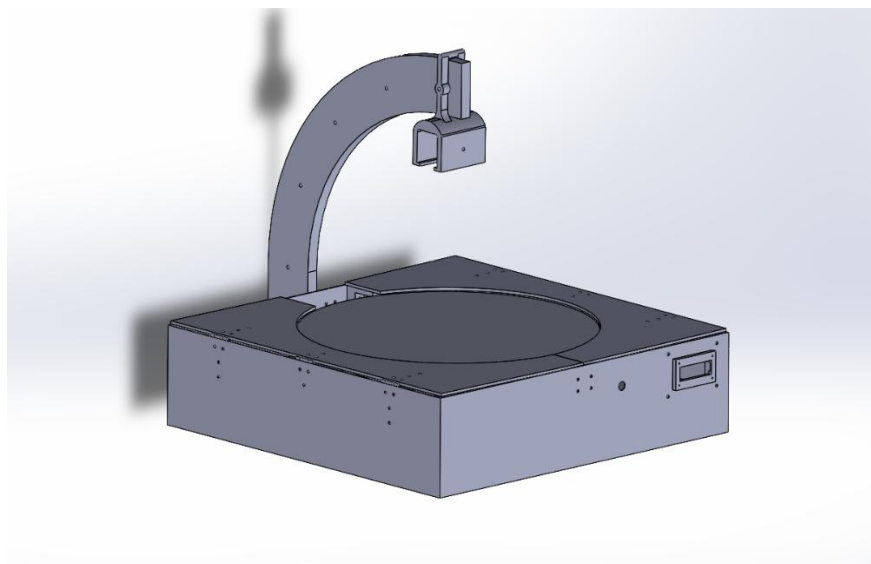
Lok in držalo kamere sta izdelana iz plastičnih materialov. Lok je narejen iz tehnične plastike PE 1000, držalo kamere pa iz PLA-filamenta in natisnjeno na 3D-tiskalniku. Držalo je pritrjeno na lok, ki ima na 5 mestih izvrtane luknje, na katere se lahko prestavi.



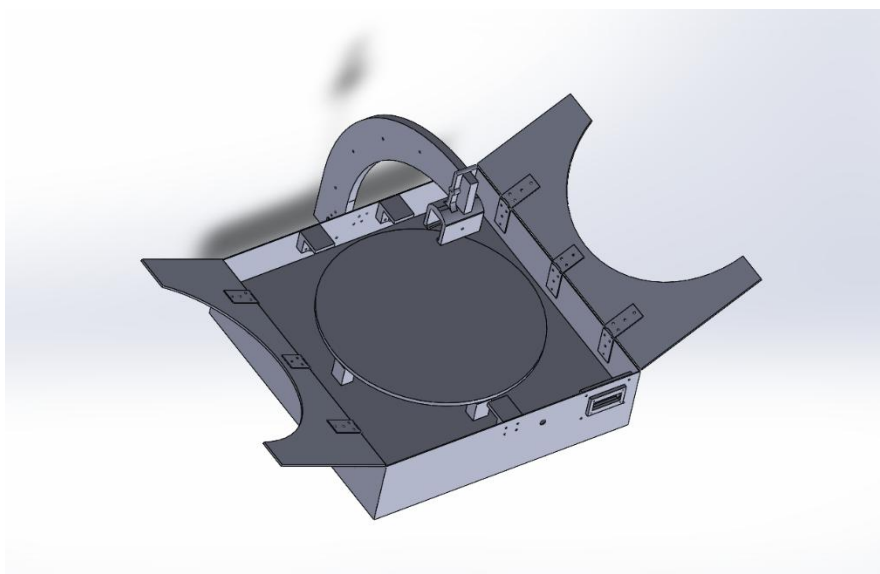
*Slika 35: Model loka in držala kamere
(Osebni vir)*

6.6 Celoten model

Celoten izdelek je na spodnjih slikah še zmodeliran in prikazan v montaži s pomočjo programa SolidWorks 2024.



*Slika 36: Model celotnega izdelka
(Osebni vir)*



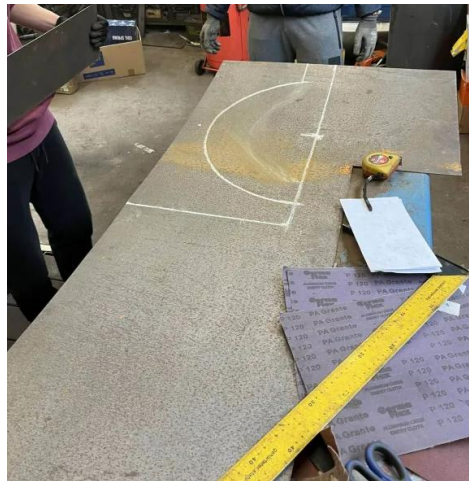
*Slika 37: Model celotnega izdelka (odprto)
(Osebni vir)*

7 IZDELAVA

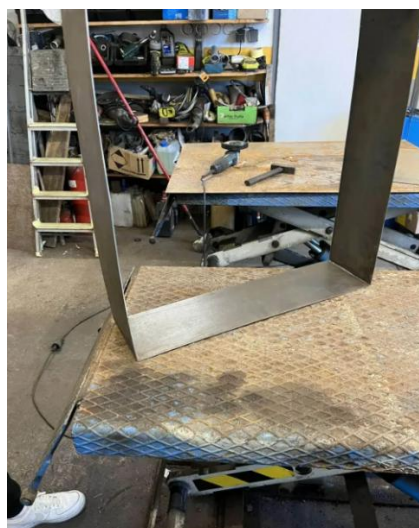
7.1 Ohišje

Celotni fizični del izdelka smo izdelali v delavnici sošolčevega očeta, ki je imela vse potrebne pripomočke in orodja, vključno z jeklenimi pločevinastimi ploščami, iz katerih smo izdelali ohišje za naš projekt.

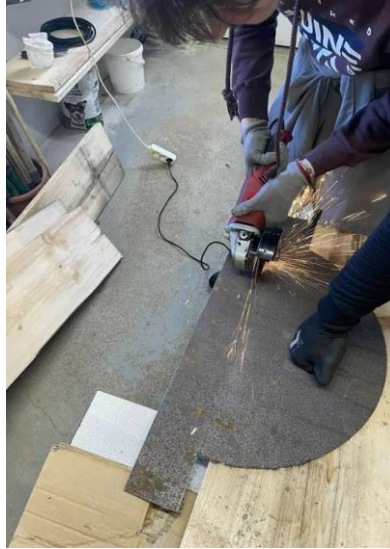
Najprej smo na plošče izrisali stranice, osnovno ploščo in odpiralna vrata po merah, ki smo si jih zamislili. Nato smo jih s kotnim brusilnikom izrezali in zbrusili.



*Slika 38: Označevanje plošč
(Osebni vir)*



*Slika 39: Zavarjene stranske stranice
(Osebni vir)*



*Slika 40: Izrezovanje plošč
(Osebni vir)*

Stranice in osnovno ploščo smo zavarili in na spodnji strani podprli za boljšo stabilnost. Prav tako smo na vsak vogal zavarili manjši trikotnik z luknjami, kamor smo kasneje pritrdili 4 nogice.



*Slika 41: Ojačanje osnovne ploskve
(Osebni vir)*

V stranice smo začrtali in izvrtali luknje, na katere smo pritrdili 3 šarnirje na vsaki stranski plošči. Potrebno je bilo veliko prilagajanja in ponastavljanja, da se je vse pravilno ujemalo. Na šarnirje smo pritrdili odpiralna vrata, ki so namenjena zakritju elektronskih komponent in omogočajo hiter dostop do njih v primeru napak pri delovanju.



*Slika 42: Odprto ohišje
(Osebni vir)*



*Slika 43: Odprto ohišje
(Osebni vir)*

Na osnovno ploskev smo morali izvrtati še veliko lukenj, kamor bodo nameščena stojala kolesčkov, ki bodo služila kot opora mizi in preprečila kakršno koli nagibanje v eno ali drugo smer. Prav tako smo določili sredino ploskve in na to mesto postavili stojalo vrtljive mize ter na primerni razdalji od velikega zobnika še stojalo motorja, na katerem se vrti mali zobnik.

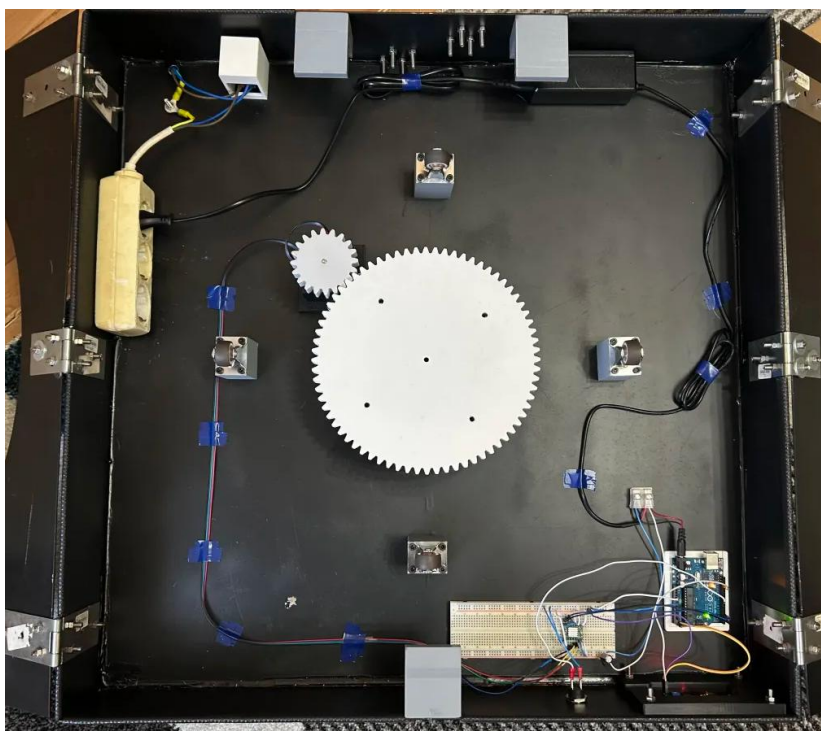
Celoten izdelek smo pobarvali s črno barvo in v notranjost pritrčili vse sestavne dele, vključno s 3 podpornimi modeli, narejenimi s tehnologijo 3D-tiska, ki bodo zaustavili odpiralna vrata v višini vrtljive mize. Za konec smo pritrčili še lok, v katerega smo kasneje izvrtali 5 lukenj za zajem s 5 pozicij. Na lok moramo pritrčiti še držalo 3D-skenerja in strojni del je zaključen.



*Slika 44: Izdelek po barvanju
(Osebni vir)*

7.2 Vezava elektronike

Vezava elektronike v izdelku je spremenjena glede na prvotno načrtovano vezavo. Trenutna vezava vključuje stikalo za vklop in izklop sistema, ki je neposredno zvezano na razdelivec. Služi temu, da prekine napajanje celotnega sistema. Uporabljen je koračni motor NEMA 17, ki za svoje delovanje potrebuje 12 V in 1 A. To je omogočeno s pomočjo napajalnika, ki nam daje 12 V in 3 A ter gonilnika, ki je vezan na Arduino. Tako ga lahko upravljamo preko programske kode. Med napajalnikom in gonilnikom motorja je vezan kondenzator za glajenje napetostnih špic. Poleg tega je na Arduino vezana še tipka, ki požene motor in LCD-zaslon, ki nam izpisuje stanja delovanja. [5, 11, 16]



*Slika 45: Vezava elektronike v izdelku
(Osebni vir)*

Tokovna zmogljivost napajalnika je 3 A. Gonilnik A4988 je zmožen samostojnega omejevanja toka glede na nastavitev U_{ref} napetosti. Da smo dovedli pravilen tok do koračnega motorja, smo na gonilniku nastavljali potenciometer. Upor na gonilniku ima upornost (R_{CS}) $0,1 \Omega$. Izmerili smo U_{ref} napetost s pomočjo multimetra, ki je bila na začetku $0,69$ V. Nato pa smo izračunali tok motorja (I_m) po spodaj napisani enačbi. Potenciometer smo nastavljali tako dolgo, da smo prišli na zelen tok 1 A.

Enačba:

$$I_m = \frac{U_{ref}}{(8 \times R_{CS})} \quad (7.1)$$

V vezavo je poleg koračnega motorja in gonilnika povezan še LCD-zaslon. Povezan je preko I2C modula in uporablja manj pinov za povezavo na Arduino ter je enostaven za uporabo. I2C modul uporablja samo dva pina na Arduinu, t. i. pina SDA in SCL. V tabeli je prikazana vezava LCD I2C modula in Arduina.

*Tabela 2: Vezava LCD
(Osebni vir)*

LCD I2C modul	Arduino uno R3
GND (masa)	GND
VCC (napajanje)	5 V
SDA (podatki)	A4
SCL (ura)	A5

8 STROŠKI MATERIALOV

Stroški za izdelavo avtomatizacije procesa 3D-skeniranja so bili naslednji:

- Arduino UNO: 14,35 €
- 2 koračna motorja: 25,61 €
- AZDelivery 3 x A4988 gonilnik koračnega motorja: 8,19 €
- 5 x laser s piko: 6,14 €
- 2 x črna laserja: 15,35 €
- različne vrste stikal: 14,86 €
- vijaki in matice: 14,80 €
- 4 x nogice za ohišje: 15,16 €
- Šarnirji: 17,52 €
- Žice: 0,35 €

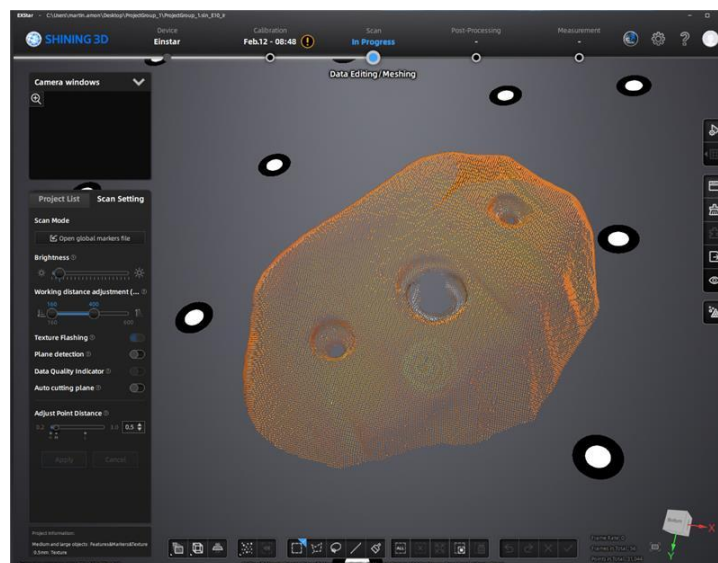
Skupni stroški: 150,68 €

9 TESTIRANJE 3D-SKENIRANJA

9.1 Testiranje 3D-skenerja

Postopek testiranja poteka tako, da na mizo postavimo želen objekt za skeniranje, ki ga nato poskušamo čim bolj zajeti z vseh strani. Postopek zajemanja vseh točk traja okoli 3 minute. Ko ocenimo, da smo objekt zajeli v celoti, se v programu EXstar, ki je namenjen 3D-skenerju, ustvari oblak točk, ki ga lahko urejamo, zapolnimo luknje ali izbrisemo neželene dele.

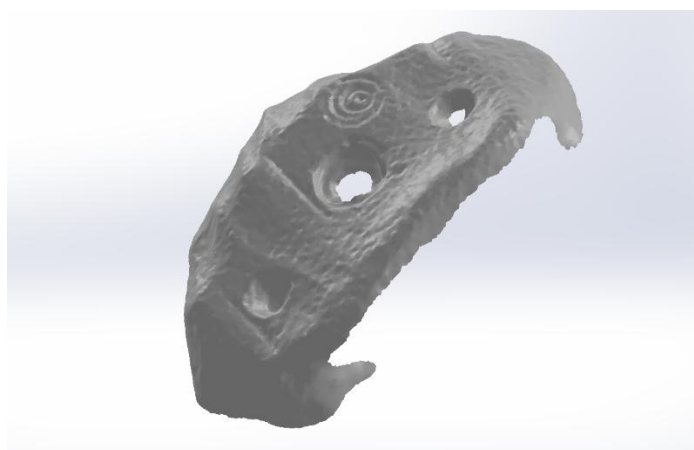
Po potrebi pa program in skener omogočata, da se postopek skeniranja še nadaljuje, če so kakšne nepopolnosti. Urejenemu modelu s pomočjo markiranih točk, ki so nalepljene po mizi, določimo meje in nato se ustvari model znotraj teh meja. Temu modelu rečemo oblak točk "point cloud".



Slika 46: Oblak točk (Point cloud)
(Osebni vir)

Za skeniranje smo uporabili plezalni oprimek. Posneli smo ga na hitro in v približnem času, kot bi ga na vrtljivi mizi. Narejen oblak točk smo uredili, tako da smo izrezali neželene dele mize in okolice, ki so se zajeli med skeniranjem. Iz oblaka točk smo nato ustvarili model. Čas, ki je potreben za ta proces, pa je odvisen od zmogljivosti računalnika, predvsem od delovnega pomnilnika RAM; mi smo imeli na voljo 16 Gb. Računalnik je nastavljen tako, da v kolikor je premalo delovnega pomnilnika, se ta razširi na SSD-disk. V našem primeru je ustvarjanje končnega modela trajalo okoli 30 minut. Računalnik pa je pri tem porabil skupno 60 Gb pomnilnika za izdelavo končnega modela.

Glavni problem skeniranja z roko je, da kamera zajame preveč točk, ki se kasneje zelo dolgo obdelujejo v model. Prav tako moramo upoštevati človeški faktor, saj človeška roka ne more premikati kamere popolnoma enakomerno. Na koncu pa je vse odvisno od zmogljivosti računalnika.



*Slika 47: Nastali model zajet s 3D-skenerjem
(Osebni vir)*

9.2 Testiranje 3D-skenerja in vrtljive mize

Ko smo vse elemente pravilno zvezali, smo lahko testirali vrtenje mize. Postopek je izgledal tako, da smo s pomočjo YouTube posnetka o delovanju koračnega motorja napisali kodo za vrtenje mize, ki jo poganja koračni motor preko zobniškega pogona. Koda je delovala pravilno in proces se je zagnal s pritiskom na gumb.

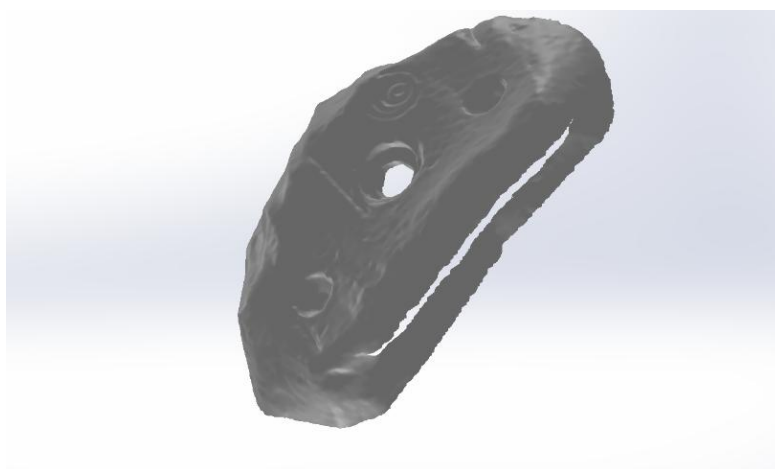
Da bi lahko procesa na koncu primerjali, smo prav tako kot skeniran objekt na vrtljivi mizi uporabili plezalni oprimek. Oprimek smo s skeniranjem zajeli s 3 pozicij po višini.



*Slika 48: Končni izdelek s 3D-skenerjem
(Osebni vir)*

Izkazalo se je, da je vrtljiva miza v primerih skeniranja majhnih in srednje velikih izdelkov primernejša, saj zajame potrebno število točk, ki so se obdelale v nekaj minutah. Računalnik je med obdelovanjem modela porabil manj kot 16 Gb delovnega pomnilnika RAM.

Za tovrstno skeniranje je primerneje, da posnamemo več predmetov pod vedno enakimi pogoji, kar omogoča večjo mero natančnosti pri modelih. Če bi želeli na naši rotacijski mizi skenirati večje predmete, to z lokom ne bi šlo, ampak bi morali za stojalo kamere uporabiti tripod. S tem bi bil skener ravno dovolj oddaljen, da zajame še večje predmete.



*Slika 49: Nastali model, zajet s 3D-skenerjem
(Osebni vir)*

10 ANALIZA HIPOTEZ

1. Natančnost 3D-skeniranja se razlikuje glede na uporabljeno tehnologijo.

Na podlagi poskusa izdelave laserskega 3D-skenerja in nato uporabe skenerja Shining 3D Einstar smo ugotovili, da se uporabljena tehnologija razlikuje. Zaradi zahtevnosti kalibracije kamere in pisanja programa smo pri poskusu zajema z laserskim 3D-skenerjem naleteli na težave glede natančnosti. Zato je Shining 3D Einstar, ki uporablja tehnologijo strukturirane svetlobe, omogočil stabilnejše in natančne rezultate. ✓

2. 3D-skenerji lahko nudijo različne prednosti in slabosti glede na uporabljeno tehnologijo.

Med raziskovanjem smo ugotovili, da 3D-skenerji uporabljajo različne tehnologije za zajem 3-dimenzionalnih podatkov, kar vpliva na njihove prednosti in slabosti. Glavne vrste 3D-skenerjev vključujejo laserske skenerje strukturirano svetlobo, fotogrametrijo in kontaktne skenerje. Nekateri so primerni tudi za velike objekte, drugi samo za manjše. Razlikujejo se v hitrosti zajemanja podatkov, natančnosti, ločljivosti in v občutljivosti na zunanje svetlobne pogoje. ✓

3. Zunanji dejavniki, kot so osvetlitev in motnje, vplivajo na proces 3D-skeniranja.

To smo dokazali pri testiranju laserske triangulacije, saj če smo prižgali luč, se je slika kamere precej spremenila in tudi točke so se zajele slabše. Pri uporabi 3D-skenerja pa svetloba prav tako vpliva na postopek skeniranja, le da več svetlobe pripomore k boljšemu zajemu točk. ✓

4. Napravo za avtomatizacijo 3D-skeniranja lahko izdelamo doma.

To hipotezo smo potrdili, saj je bila naprava v celoti izdelana doma. ✓

5. Izdelali bomo napravo, ki bo izdelek 3D-skenirala avtomatizirano z več strani.

To nam je uspelo le delno. Uspelo nam je izdelati vrtljivo ploščo, ki izdelek zavrti za 360°. Zaradi časovne stiske pa nam ni uspelo avtomatizirati pomika po loku. Namesto tega smo uporabili navaden lok, na katerega se lahko pritrdi kamero, ki omogoča zajem objekta s 5 različnih položajev. ✓ ✗

6. Izdelali bomo lasten 3D-skener s pomočjo laserja.

To hipotezo smo zavrgli, saj je kalibracija kamere za nas prezahtevna in prav tako tudi postopki, s katerimi bi to omogočili. To sta programiranje v programskem jeziku Python in kalibracija same kamere z uporabo knjižnice OpenCV v programu VS Code. ✗

11 ZAKLJUČEK

Raziskovalna naloga je bila zelo zanimiva z več vidikov, predvsem pa zato, ker je delo potekalo v skupini in je bilo potrebno precej dogovarjanja, usklajevanja idej, iskanja različnih materialov, naročanja delov po spletu. Nenazadnje tudi selitev na različne lokacije, saj smo posamezne faze izdelovali enkrat v delavnici, drugič na naših domovih. Skozi izdelavo samega ohišja smo se kot skupina dobro povezali. Precejšen izziv pa nam je predstavljala 1. stopnja idejne zasnove oblike izdelka z izdelavo naše lastne kamere za 3D-skeniranje. Imeli smo zelo dobro idejo, realizacija pa je pokazala, da smo si na začetku zastavili prezahtevno nalogo. Ker je delo potekalo v skupini, smo sklenili, da poenostavimo izdelek, kar se je izkazalo za pravilno odločitev. Želimo si, da bi lahko 6. hipotezo potrdili, kot je bilo prvotno načrtovano, in da bi se izdelani laserski skener, ki bi bil pritrjen na lok, premikal in s tem omogočil povsem avtomatski proces.

Menimo, da bi si lahko že od začetka celoten potek dela boljše zastavili in organizirali, saj nam je na koncu zmanjkalo časa za izvedbo kar nekaj dobrih idej. Prav tako bi morali biti za nalogo enako motivirani, saj bi lahko tako izdelek na koncu zaključili, kot smo si ga zamislili na samem začetku. Nalogo smo na koncu izpeljali, pridobili podatke in ugotovili, da ima izdelek potencial koristiti uporabniku in mu skrajšati čas pred obdelavo modela. Uporaben bi bil tudi v industriji, kjer moramo predmete skenirati pod enakimi pogoji in tako pridobiti enake podatke.

V življenju delamo različne stvari, največja sreča pa so stvari, ki te osrečijo. Veseli smo, da smo izbrali poklic, ki v življenju dodaja vrednost in nove priložnosti.



*Slika 50: Končni izdelek
(Osebni vir)*

12 VIRI IN LITERATURA

- [1] ČETINA, P. in KOSTAJNŠEK, A. *Snovanje in konstruiranje 4*. 1. izdaja, 1. natis. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, d. d., 2007.
- [2] MUCK, T. in KRIŽANOVSKIJ, I. *3D-tisk*. 1. izdaja, 1. natis. Ljubljana: Založba Pasadena, d. o. o., 2015.
- [3] MUCK, T. 3D-Tehnologije (online). 2018. (citirano 2. 3. 2025). Dostopno na naslovu: <https://www.ntf.uni-lj.si/igt/wp-content/uploads/sites/8/2018/03/3D-skeniranje.pdf>.
- [4] Arc rail moving system for plasma diagnostics. Ideja za premični lok (online). (citirano 3. 3. 2025). Dostopno na naslovu: https://youtu.be/pE3-5VBnBJg?si=v_vcLa1vh8jJPj1R
- [5] A4988 driver modul (online). (citirano 4. 3. 2025). Dostopno na naslovu: https://www.amazon.de/dp/B07C2V9GWC/ref=pe_27091401_487024491_TE_item?th=1
- [6] ChatGPT (online). (citirano 4. 3. 2025). Dostopno na naslovu: <https://chatgpt.com>
- [7] Control a NEMA 17 Stepper Motor with A4988 Driver and Arduino. Navodila (online). (citirano 3. 3. 2025). Dostopno na naslovu: <https://youtu.be/wcLeXXATCR4?si=vm9B51uPYfAMS-IO>
- [8] CREALITY Ender 3 S1 3D-tiskalnik (online). (citirano 3. 3. 2025). Dostopno na naslovu: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2F3dshark.si%2Fizdelek%2Fcreality-ender-3-s1-3d-tiskalnik%2F&psig=AOvVaw2hISseekP-t9TbsPLWFqjds&ust=1740906557707000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCLCx9eiO7osDFQAAAAAdAAAAABAE>
- [9] Črtni laser (online). (citirano 4. 3. 2025). Dostopno na naslovu: https://m.media-amazon.com/images/I/41jvIQV4JpL._AC_.jpg
- [10] Einstar 3D-skener (online). (citirano 5. 3. 2025). Dostopno na naslovu: https://www.3way.si/izdelek/rocni-3d-skener-shining3d-einstar/?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI4pH8hKryiwMVy6iDBx34vQPDEAAYASAAEgKkpD_BwE

- [11] Koračni motor Nema 17 in vezava (online). (citirano 3. 3. 2025). Dostopno na naslovu:
https://www.amazon.de/dp/B0B93PNYCP/ref=pe_27091401_487024491_TE_item?th=1
- [12] Koračni motor Nema 17 in vezava (online). (citirano 3. 3. 2025). Dostopno na naslovu:
https://www.amazon.de/dp/B07KZQ77VH/ref=pe_27091401_487024491_TE_item
- [13] Končno stikalo (online). (citirano 4. 3. 2025). Dostopno na naslovu:
https://www.amazon.de/dp/B08734MSDD/ref=pe_27091401_487024491_TE_item
- [14] Laser s piko (online). (citirano 4. 3. 2025). Dostopno na naslovu:
https://www.amazon.de/dp/B071JN3NQ8/ref=pe_27091401_487024491_TE_item
- [15] Laser z vertikalno votlino na površino (online). (citirano 5. 3. 2025). Dostopno na naslovu: <https://si.fttxsolution.com/info/vcsel-laser-vertical-cavity-surface-emitting-32411943.html>
- [16] Mikrokrmilnik arduino uno R3 (online). (citirano 4. 3. 2025). Dostopno na naslovu:
https://www.amazon.de/dp/B0C1V3QT9T/ref=pe_27091401_487024491_TE_item
- [17] Primer mize 1 (online). (citirano 3. 3. 2025). Dostopno na naslovu:
<https://www.thingiverse.com/thing:5988098>
- [18] Primer mize 2 (online). (citirano 3. 3. 2025). Dostopno na naslovu:
<https://www.thingiverse.com/thing:4817279>
- [19] Primer premičnega loka (online). (citirano 3. 3. 2025). Dostopno na naslovu:
https://youtu.be/pE3-5VBnBJg?si=h_-h9xON9YHUIijz
- [20] Wikipedia MeshLab (online). (citirano 5. 3. 2025). Dostopno na naslovu:
<https://en.wikipedia.org/wiki/MeshLab#>
- [21] Wikipedia Visual studio code (online). (citirano 5. 3. 2025). Dostopno na naslovu:
https://sl.wikipedia.org/wiki/Visual_Studio