

ŠOLSKI CENTER VELENJE
ŠOLA ZA STROJNIŠTVO GEOTEHNIKO IN OKOLJE
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

Mladi raziskovalci za razvoj Šaleške doline

RAZISKOVALNA NALOGA

**KONSTRUKCIJA IN IZDELAVA
PROTOTIPA MOBILNEGA SKENERJA ZA
SKENIRANJE POŠKODOVANIH OKONČIN**

Tematsko področje: Tehnika

Avtorji:

Vito Kumer

Dejan Mežnarc

Matija Stropnik

Mentorja:

Viljem Osojnik, univ. dipl. inž. strojništva

Klemen Hleb, dipl. inž. elektrotehnike (UN)

Velenje, 2022

KUMER, V., MEŽNARC, D. STROPNIK, M. Konstrukcija in izdelava prototipa mobilnega skenerja za skeniranje poškodovanih okončin.

II

Raziskovalna naloga, Šolski center Velenje, Šola za strojništvo geotehniko in okolje, 2022

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Šolskem centru Velenje, Šoli za strojništvo geotehniko in okolje, 2022.

Mentorja:

Viljem Osojnik, univ. dipl. inž. strojništva

Klemen Hleb, dipl. inž. elektrotehnike (UN)

Datum predavitve: marec 2022

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD ŠC Velenje, šolsko leto 2021/2022

KG zlom/opornica/3D skener/3D tisk/prototip

AV KUMER, Vito/MEŽNARC, Dejan/STROPNIK, Matija

SA OSOJNIK, Viljem/HLEB, Klemen

KZ 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

ZA ŠC Velenje, Šola za strojništvo geotehniko in okolje

LI 2022

IN KONSTRUKCIJA IN IZDELAVA PROTOTIPA MOBILNEGA SKENERJA ZA SKENIRANJE POŠKODOVANIH OKONČIN

TD Raziskovalna naloga

IJ SL

JI sl/en

AI V sklopu raziskovalne naloge smo izdelali napravo, ki lahko z enakomerno hitrostjo po naprej določeni poti premika 3D skener okoli okončine. Preizkusili smo enostavnost uporabe naprave s strani neusposobljenih uporabnikov. Preverili smo, ali je naprava primerna za uporabo na terenu. Vizualno smo primerjali skene, narejene s pomočjo naprave in brez nje (narejene z roko). Ugotovili smo, da lahko napravo uporablja večina (71 %) neusposobljenih operaterjev in da so njihovi skeni primerljivi z našimi. Napravo lahko brez težav prenašamo na razne lokacije in različne površine, ne potrebuje zunanjšega napajanja, zato lahko zaključimo, da je primerna za uporabo na terenu. Skeniranje okončin s pomočjo naprave je lažje in hitrejše, končni skeni so boljše kvalitete kot pri skeniranju »na roko«. Zaradi tega je uporaba naše naprave smiselna.

KEYWORD DOCUMENTATION

ND ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2021

CX fracture/plaster/3D scanner/3D printing/prototype

AU KUMER, Vito/MEŽNARC, Dejan/STROPNIK, Matija

AA OSOJNIK, Viljem/HLEB, Klemen

PP 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

PB ŠC Velenje, Šola za strojništvo geotehniko in okolje

PY 2022

TI **DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE MOBILE SCANNER FOR SCANNING INJURED LIMBS**

TR Research work

LA SL

AL sl/en

AB Within our research work, we have designed a device that can move a 3D scanner around an injured limb with constant speed on a predefined path. The user experience of the device operation was tested with the help of untrained users. The use of the device in field was also determined. Scans, made with and without the help of the device, were visually compared. We found out that the device can be used by the majority (71%) of untrained users. Their scans were comparable to ours. Based on the portability of the device, adaption to different ground surfaces and battery power, we have reached the conclusion that the device is suitable for field use. Scanning the limbs with the help of the device is easier and faster, the final scans are of better quality than when scanning »by hand«. This makes the use of our device reasonable.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Ideja	1
1.2	Hipoteze	1
2	TEORETIČNI DEL	2
2.1	Zdravljenje zlomov	2
2.1.1	Rezultati zdravljenja	2
2.2	Primerjava mavčne in plastične opornice	3
2.3	Primerni materiali za 3D tiskanje in stik s kožo	4
2.4	3D skeniranje	4
2.4.1	Strukturirano skeniranje svetlobe	4
2.4.2	Laserska triangulacija	5
2.4.3	Lidar	5
2.5	Mehanske in elektro komponente	8
2.5.1	Mehanske komponente	8
2.5.2	Elektronika	10
2.6	Obstoječe rešitve	12
3	Praktični del.....	13
3.1	Načrtovanje in izdelava naprave.....	13
3.1.1	Idejna zasnova	13
3.2	Konstruiranje 3D modela naprave	14
3.2.1	Izdelava mehanskih komponent	16
3.2.2	Sestavljanje mehanskih komponent	18
3.2.3	Elektro komponente.....	19

3.2.4	Programska oprema	21
3.3	Meritve in metode	23
3.3.1	Test enostavnosti uporabe naprave.....	23
3.3.2	Določanje primernosti za uporabo na terenu	24
3.3.3	Primerjava skeniranja »na roko« in skeniranja s pomočjo naprave	24
3.3.4	Primerjava skenov	25
4	Rezultati.....	28
4.1	Test enostavnosti uporabe naprave	28
4.2	Primernost uporabe na terenu	29
4.3	Primerjava skeniranja »na roko« in z napravo.....	29
4.3.1	Primerjava skenov	29
5	Razprava	31
5.1	Možnost izboljšav prototipa naprave	31
5.2	Pojav linearnih struktur pri skeniranju s pomočjo naprave	31
5.3	Težave pri skeniranju »na roko«.....	32
6	Izveček/Abstract	33
7	Viri in literatura	34
8	Shema vezja.....	35

KAZALO SLIK

Slika 1: 3D natisnjena opornica.....	1
Slika 2: Zaprti zlom roke.....	2
Slika 3: Opornica iz mavca.....	3
Slika 4: 3D natisnjena opornica.....	3
Slika 5: Strukturirano skeniranje svetlobe.....	4
Slika 6: Laserska triangulacija.....	5
Slika 7: 3D skeniranje z lidar tehnologijo.....	5
Slika 8: 3D sken, izdelan s pomočjo mobilnega telefona iPhone 12 Pro.....	8
Slika 9: Enoredni kroglični ležaj 6001 2RS.....	8
Slika 10: Manjše jermenice.....	9
Slika 11: Zobati jermen GT2.....	9
Slika 12: Linearno vodilo.....	10
Slika 13: Koračni motor nema 17.....	10
Slika 14: Gonilnik za koračni motor TB6560.....	11
Slika 15: Arduino nano.....	11
Slika 16: Napajalnik z vgrajenimi baterijami tipa 18650.....	12
Slika 17: Naprava za skeniranje okončin podjetja Exovite.....	12
Slika 18: Skica naprave.....	13
Slika 19: Jermenski prenos za linearno premikanje vozička s skenerjem.....	14
Slika 20: Prikaz sklopa za prenos gibanja.....	15
Slika 21: 3D model naprave.....	16
Slika 22: Izdelava nosilne noge teleskopskega ogrodja.....	16
Slika 23: 3D tisk večje jermenice.....	17
Slika 24: 3D natisnjene komponente.....	17
Slika 25: Izdelava gredi na CNC stružnici.....	17
Slika 26: Nastavitev parametrov za laserski razrez.....	18
Slika 27: Laserski razrez sprednjega pokrova ohišja.....	18
Slika 29: Sestavljene mehanske komponente.....	18
Slika 28: Sestavljanje mehanskih komponent.....	18

Slika 30: Blokovna shema vezja.....	19
Slika 31: Vezje, izdelano v programu Altiumu.	19
Slika 32: Prva verzija vezja.	20
Slika 33: Vgradnja elektro komponent v ohišje.	20
Slika 34: Sestavljena naprava z odprtim ohišjem.....	21
Slika 35: Programiranje mikrokrmilnika.....	22
Slika 36: Zaslonska slika aplikacije ScandyPro.	23
Slika 37: Skeniranje »na roko«.....	24
Slika 38: Skeniranje s pomočjo naprave.....	25
Slika 39: Primer nestičnosti površine pri skenu roke.	26
Slika 40: Površina roke je narebrena.	26
Slika 41: Oster rob na površini roke.....	27
Slika 42: Nepomembni deli (levo zgoraj) so ločeni od skena roke.....	27
Slika 43: Dijak poskuša upravljati napravo.	28
Slika 44: Skeniranje s pomočjo naprave.....	29
Slika 45: Skeniranje »na roko«.....	29
Slika 46: Podroben pregled površine skena »na roko«.....	30
Slika 47: Podroben pregled površine skena z napravo.	30
Slika 48: Razpršenost izven ležečih točk po skenu.	30
Slika 49: Mreža laserskih žarkov (Iphone LIDAR skeniranje, posneto z IR kamero).....	32

KAZALO TABEL

Tabela 1: Uspešnost dijakov pri skeniranju z napravo	28
--	----

1 UVOD

1.1 Ideja

Za zdravljenje nekaterih vrst zlomov se uporablja opornica iz mavca. Za pacienta mavčne opornice niso udobne in praktične, zaradi slabega zračenja pa se lahko pojavijo tudi zdravstveni zapleti. Rešitev nelagodij je tanjša, lažja, lepša in zračnejša opornica iz plastike.

Opornice iz plastike imajo bistveno daljši čas izdelave kot mavčne. V tej nalogi smo izdelali prototip prenosne naprave za 3D skeniranje okončine, da olajšamo in pohitrimo izdelavo 3D modela opornice.



Slika 1: 3D natisnjena opornica.

(Vir: <https://www.gore.com/noticias/6103/Cortex-una-ferula-impresa-en-3D-que-pretende-dejar-a-los-yesos-en-el-pasado>)

1.2 Hipoteze

Zastavili smo si naslednje hipoteze:

- a) Za upravljanje naprave ne potrebujemo dodatne izobrazbe.
- b) Naprava je primerna za uporabo na terenu.
- c) Z uporabo naprave naredimo kvalitetnejši sken okončine kot z ročnim skeniranjem.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Zdravljenje zlomov

Način zdravljenja je odvisen od vrste in mesta zloma ter pridruženih poškodb okolnih struktur. Cilj zdravljenja je čim boljša naravna odlomkov, ki jih je treba zadržati v pravilnem položaju in omogočiti celjenje. Zlome brez ali z majhnim premikom odlomkov zdravimo z mirovanjem v opornici ali mavcu. Za učvrstitev zlomov lahko uporabimo tudi tanke žice, ki jih ob ustrezni anesteziji z vrtalko uvedemo skozi kožo. Pri odprtih zlomih in zlomih, ki jih ne moremo naravnati ali zadržati v želenem položaju, moramo prerezati kožo ter si zlom prikazati. Po naravnavi ga v pravilnem položaju zadržimo z vijaki, ploščicami ali žicami. Za uspešno zdravljenje sklepnih zlomov je treba doseči čim boljše ujemanje sklepnih površin. Pri zlomih na roki je pomembno, da učvrstitev omogoča zgodnje razgibavanje, saj vodi dolgotrajna imobilizacija v slab funkcionalni rezultat. [1]



Slika 2: Zaprti zlom roke.
(<https://sl.trypathnow.com/4330246-what-is-a-closed-fracture-closed-fracture-with-displacement-first-aid-for-fractures>)

2.1.1 Rezultati zdravljenja

Na izid zdravljenja vplivajo številni dejavniki. Praviloma so rezultati zdravljenja slabši, če sega zlom v sklep, če so poškodovane tudi kite in živci in če bolnik ne sodeluje pri rehabilitaciji. Zlomi na roki se celijo od šest do osem tednov, vendar z razgibavanjem pričnemo prej. Rehabilitacija traja več mesecev, vendar kljub temu pogosto okorelih prstov ne uspemo v celoti razgibati.

Zapleti pri zdravljenju zlomov so okužba, nepravilno zaraščanje in omejena gibljivost, ki nastane zaradi nepravilnosti sklepnih površin, skrčenja obsklepnih struktur ali priraščanja kit. Pozen zaplet zdravljenja sklepnih zlomov je artroza, ki nastane zaradi poškodb hrustanca ali nepravilnega obremenjevanja zaradi neujemanja sklepnih površin. [1]

2.2 Primerjava mavčne in plastične opornice

Prednosti 3D natisnjene opornice (Slika 4):

- večja zračnost (opornica ima veliko odprtin, ki omogočajo pretok zraka),
- lažja in ožja (udobnejša za pacienta),
- stik z vodo (omogoči umivanje zlomljene okončine),
- prilagodljivost (ob segretju se da opornica dodatno prilagoditi in popraviti),
- večkratna uporaba (zdravnik lahko opornico odstrani, opravi pregled in jo znova namesti),
- hitrejša namestitev in odstranitev.

Prednosti in slabosti klasične mavčne opornice (Slika 3):

- hitrejša izdelava,
- težje snemljiva s strani pacienta.

(Povzeto po [2], [3].)



Slika 3: Opornica iz mavca.

(https://st.depositphotos.com/1729612/3451/i/450/depositphotos_34519423-stock-photo-arm-in-plaster.jpg)



Slika 4: 3D natisnjena opornica.

(https://4.bp.blogspot.com/-GdkIjZMvTH4/WQJ5pG_a8fI/AAAAAAAAAWU/5oU3Pq mz xzoI6ovwubiOQGhpAQsVUuOuwCLcB/s1600/a775z1zzcray0lh3atj8.jpg)

2.3 Primerni materiali za 3D tiskanje in stik s kožo

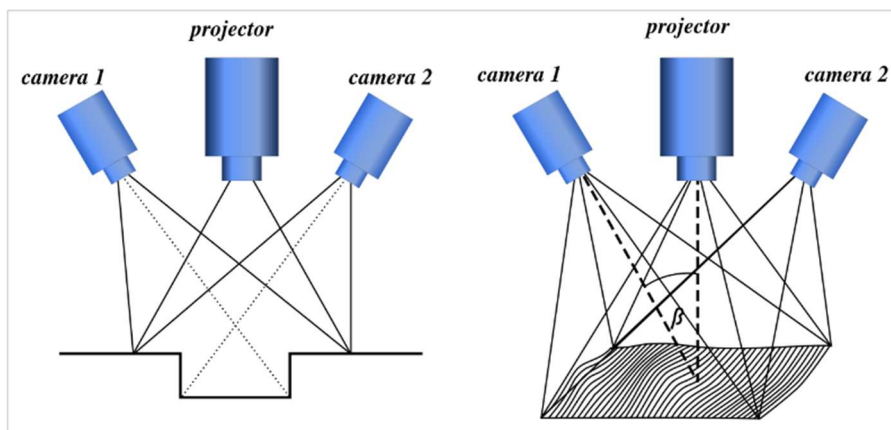
Nekateri proizvajalci filamentov ponujajo filamente PETG, ki so v EU odobreni za uporabo v stiku z živili. [4] Uporabiti ga nameravamo za 3D tisk opornic tudi zaradi dobrih mehanskih lastnosti. Primerna materiala sta še PP (polipropilen – uporablja se za medicinske pripomočke) [2] in PLA [3].

2.4 3D skeniranje

3D skeniranje je proces, ki preslika fizični model v množico točk. Množico točk nato pretvorimo v virtualno obliko, ki jo shranimo v različnih formatih datotek (STL, OBJ).

2.4.1 Strukturirano skeniranje svetlobe

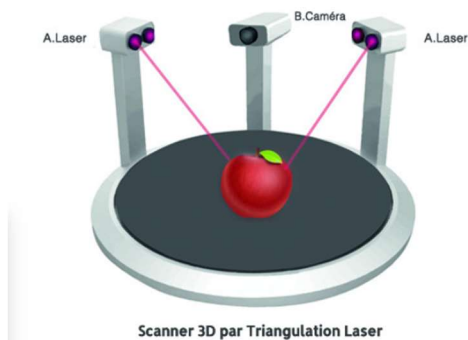
Ta tehnologija skeniranja uporablja en sam vir svetlobe, ki projektira več vrstic na objekt. Vse hkrati spremlja kamera oziroma več kamer.



Slika 5: Strukturirano skeniranje svetlobe.
(https://wblog.wiki/sl/Structured-light_3D_scanner)

2.4.2 Laserska triangulacija

S to metodo se digitalizacija sproži z emisijo pravokotnega laserskega žarka, ki se deformira ob stiku s predmetom. Skener skozi kamero analizira deformacijo črte in s trigonometričnimi izračuni določi položaj stika v prostoru.

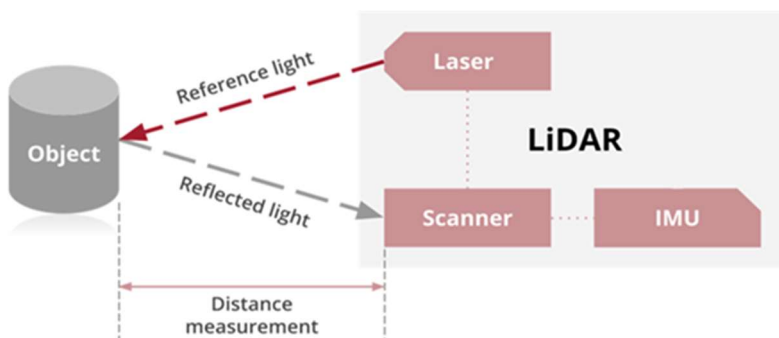


Slika 6: Laserska triangulacija.

(<https://www.3dnatives.com/en/wp-content/uploads/sites/2/c-1-69.jpg>)

2.4.3 Lidar

Lidar («light detection and ranging») deluje podobno kot radar oziroma sonar, le da namesto radijskih oziroma zvočnih valov uporablja svetlobo. Laser pošlje kratek pulz svetlobe v določeno točko in čaka, da se odboj svetlobe vrne. Na osnovi potrebnega časa nato izračuna razdaljo med senzorjem in določeno točko. Če se senzor med skeniranjem premika, moramo to premikanje slediti z drugimi senzorji (enota IMU) in ga upoštevati. Lidar tehnologijo 3D skeniranja najdemo tudi v mobilnih telefonih (iPhone 12 Pro in njegovih nadgradnjah).



Slika 7: 3D skeniranje z lidar tehnologijo.

(<https://www.mosaic51.com/technology/what-is-lidar-how-does-it-work-and-what-is-it-used-for/>)

2.4.4 Aplikacije za 3D skeniranje z mobilnimi telefoni

Na trgu je trenutno veliko aplikacij za mobilne telefone, ki omogočajo 3D skeniranje in prenos podatkov v ustreznih formatih (STL, OBJ) preko elektronske pošte ali socialnih omrežij. Seveda je osnova, da imajo mobilni telefoni sploh možnost 3D skeniranja. Trenutno je v ospredju podjetje Apple, ki je v Iphone verzije 12 pro in novejše vgradilo Lidar senzor, ki omogoča izredno hitro izdelavo kvalitetnih skenov s pomočjo sprednje ali zadnje kamere. Prav tako je izvedljivo 3D skeniranje na mobilnih telefonih z operacijskimi sistemi android (Samsung Galaxy S20). V nadaljevanju je opisanih nekaj trenutno najbolj uporabljenih aplikacij.

Canvas

Canvas je razvilo ameriško podjetje Occipital, ki se je uveljavilo s svojo strojno in programsko opremo za 3D skeniranje. Omogoča skeniranje na vseh Apple napravah, ki imajo optični bralnik LiDAR (na primer iPad Pro). Naprave, ki nimajo optičnega bralnika LiDAR, morajo biti opremljene s strukturnim senzorjem Canvas, ki stane približno 400 USD. Aplikacija je odlična tako za izdelovalce in ljubiteljske ustvarjalce kot tudi za profesionalne aplikacije, vključno z notranjim oblikovanjem in arhitekturo. Canvas je uporabniku zelo prijazen, z intuitivnim vmesnikom in enostavnim postopkom 3D skeniranja. Aplikacija je sposobna zgraditi 3D model sobe v realnem času, uporabnik mora s svojim iPadom samo hoditi po sobi. Canvas ponuja storitev skeniranja v CAD, ki uporabnikom omogoča pretvorbo 3D skena v datoteke CAD. Aplikacija uporabnikom omogoča tudi skupno rabo svojih skeniranih sporočil preko e-pošte.

Capture

Je brezplačna aplikacija za 3D skeniranje, ki je združljiva z napravami iOS, opremljenimi s kamero TrueDepth. Aplikacija optičnega bralnika je primerna za ustvarjanje in skupno rabo 3D skenov brez dodatne opreme. Aplikacija uporablja kamero in senzorje pametnega telefona, da ustvari strukturo, sestavljeno iz točk, ki so med seboj povezane in preslikajo globino skeniranega predmeta. Nato Capture ustvari celoten 3D model, ki temelji na tej strukturi. Skene si lahko ogledate v načinu predogleda. Poleg tega aplikacija optičnega bralnika Capture

omogoča brezplačno shranjevanje skenov na svojo platformo in v več oblikah datotek. Ob uporabi te aplikacije optičnega bralnika upoštevajte, da lahko skenirate samo s sprednjo kamero.

Scann3D

To aplikacijo je razvilo madžarsko podjetje Smart Mobile Device in temelji na tehnologiji fotogrametrije, ki omogoča zajem in rekonstrukcijo 3D modelov s pametnega telefona ali tabličnega računalnika. Drugače povedano, kar naprava enkrat prenese v telefon (samo za Android), postane orodje za pretvorbo posnetih slik v 3D modele z ustvarjanjem podatkov v oblaku točk. Nastale 3D modele lahko shranjujejo, delijo in urejajo v drugih aplikacijah, ti isti 3D modeli pa se lahko uporabljajo tudi v aplikacijah z razširjeno ali navidezno resničnostjo. To vključuje možnost skupne rabe s programom SketchFab. Izvozite lahko kateri koli model v več oblikah, kot so .obj, .stl ali .ply.

Scandy Pro

To aplikacijo za 3D skeniranje so razvili v ZDA in jo prvič predstavili leta 2014. Združljiva je samo z napravami iOS, natančneje iPhone X, 11 in 12 ter iPads Pro 2018 in novejšimi. Funkcije aplikacije so številne: dodajanje barvnega ozadja, prilagoditve svetlobe, pogled razširjene resničnosti, filter hrupa itd. 3D sken lahko izvozite v formate .ply, .obj, stl, zaradi česar je aplikacija idealna za 3D tisk. Scandy Pro uporablja LiDAR na najnovejših modelih iPhone [5].

Scaniverse

Aplikacija omogoča hitro 3D skeniranje predmetov, prostorov in celo celotnih zgradb. Scaniverse združuje meritve razdalje, zajete iz številnih različnih zornih kotov, da rekonstruira 3D geometrijo prizora. Hkrati ustvarja barvno teksturo visoke ločljivosti, ki se projicira na geometrijo. Rezultat je realističen 3D model, ki si ga lahko ogledate v AR, objavite na spletu ali izvozite v druge 3D aplikacije [6].

Na sliki 8 je prikazan primer 3D skena s telefonom iPhone 12 Pro s pomočjo aplikacije Scaniverse.



Slika 8: 3D sken, izdelan s pomočjo mobilnega telefona iPhone 12 Pro.

2.5 Mehanske in elektro komponente

2.5.1 Mehanske komponente

Pri izbiri strojnih elementov je bilo treba upoštevati določene kriterije:

- zadostna nosilnost konstrukcije,
- čim manjša skupna masa naprave,
- velikost (zloženo napravo je možno prevažati v prtljajniku osebnega avtomobila).

Poleg zgoraj naštetih kriterijev mora naprava zagotavljati zadostno varnost pri delu in imeti tudi zadovoljiv estetski videz.

Ležaji prenašajo vrtilni moment in skrbijo za nosilnost celotne konstrukcije, kjer je vgrajena gred, velika jermenica in prednji sklop za skeniranje. Vgrajeni so enoredni kroglični ležaji tipa 6001 2RS.



Slika 9: Enoredni kroglični ležaj 6001 2RS.

(<https://www.kugellager-express.de/deep-groove-ball-bearing-6001-2rs-c3-12x28x8-mm>)

Jermenice omogočajo prenos vrtilnega gibanja preko jermenov s koračnih motorjev na gred. Uporabili smo večje in manjše jermenice za uporabo zobatih jermenov tipa (GT2). Večja jermenica je sestavljena iz dveh delov, narejena je s pomočjo 3D tiskalnika. Pri konstrukciji je treba paziti na razmerje zob med jermenicami in njihovo velikostjo, da zagotovimo ustrezno vrtilno hitrost pri krožnem in linearnem gibanju ter zadostni vrtilni moment.



Slika 10: Manjše jermenice.
(<https://www.azurefilm.si/20-or-16-teeth-gt2-timing-pulley>)

Jermeni: v napravi sta uporabljena dva zobata jermena tipa GT2 širine 6 mm. Prvi jermen je končen in je namenjen prenosu vrtilnega gibanja z ene na drugo jermenico, medtem ko je drugi jermen brezkončen in omogoča linearno premikanje vozička na linearnem vodilu s pomočjo koračnega motorja.



Slika 11: Zobati jermen GT2.
(<https://www.nkxmotor.si/shop/jermen-jermenica/jermen/sklenjen-jermen/sklenjen-zobati-jermen-gt2-guma-10-mm/>)

Linearno vodilo s kotalnimi elementi (kroglicami) omogoča, da se vodilo premika po letvi hitro in natančno. V našem primeru smo izbrali linearno vodilo tip MGN12 dolžine 500 mm s pripadajočim vozičkom.



Slika 12: Linearno vodilo.
(<https://www.aliexpress.com/item/32675921045.html>)

Veliko vgradnih mehanskih komponent je bilo 3D natisnjenih in so podrobneje obravnavane v nadaljevanju (poglavje 3.2.1). Pri izdelavi ohišja naprave smo uporabili tudi tehnologijo laserskega razreza.

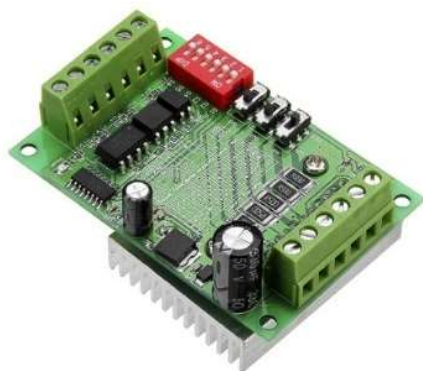
2.5.2 Elektronika

Koračni motor – Za kontrolirano in natančno premikanje 3D skenerja smo uporabili koračni motor velikosti nema 17. Izbrali smo motor z malo večjim navorom, da imamo več svobode pri konstruiranju ob nadaljnjih nadgradnjah naprave. Koračni motor ima v statorju dva sklopa navitij, ki ju kontrolirano vklopjamo oz. izklopjamo. S tem vzbudimo rotirajoče magnetno polje, ki premakne rotor, na katerem so trajni magneti.



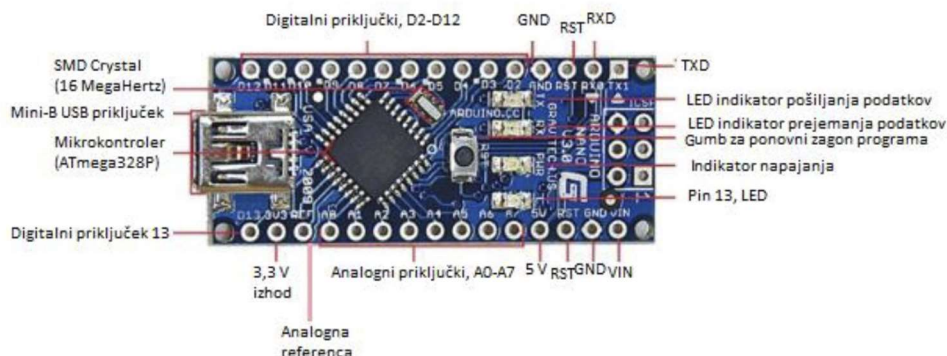
Slika 13: Koračni motor nema 17.
(https://www.alibaba.com/product-detail/42BYGH34-17HS1401-2-phase-high-torque_1600080874290.html)

Gonilnik za koračni motor – Izbrali smo TB6560 (slika 14), ker je primeren za izbrane motorje in je cenovno dostopen. Gonilnik skrbi za močnostni del vezja, hkrati pa olajša kompleksnost programa, saj skrbi za čase preklopov posameznih sklopov navitij.



Slika 14: Gonilnik za koračni motor TB6560.
(<https://www.aliexpress.com/item/4001233847546.html>)

Krmilnik – Za krmilje smo izbrali Arduino Nano. Vgrajen ima procesor ATMEL ATmega 328P. Vgrajene ima priključke, ki so namenjeni digitalnim in analognim funkcijam, napajalnemu napetostnim potencialom (GND, 5V, VIN, 3,3 V) in priključke s posebnimi funkcijami, kot je vnovični zagon (RST), ter priključke za komunikacijo. Opremljen je tudi z indikacijskimi LED diodami, ki signalizirajo napajalno napetost, UART komunikacijo in izhodno stanje priključka (slika 15) [8].



Slika 15: Arduino nano.
(http://pefprints.pef.uni-lj.si/5494/1/Magistersko-Delo_NikaRupel.pdf)

Napajalnik

Glede na to, da je naprava namenjena tudi za skeniranje poškodovanih okončin, je bilo treba zagotoviti tudi ustrezen vir napajanja glede na vgrajene komponente, hkrati pa mora zagotavljati vir energije dovolj časa. Uporabili smo ohišje, v katero lahko vgradimo 6 baterij tipa 18650 in ima možnost nastavitve izhodne napetosti.

6x18650



Slika 16: Napajalnik z vgrajenimi baterijami tipa 18650.

(<https://www.aliexpress.com/item/32725787660.html?spm=a2g0o.9042311.0.0.27424c4dF9rog2>)

2.6 Obstoječe rešitve

Špansko startup podjetje Exovite, ki se je ukvarjalo z medicinsko opremo, je razvilo stacionarno napravo za skeniranje okončin (Slika 17). Podjetje je kasneje propadlo. Razloga za propad nismo našli.



Slika 17: Naprava za skeniranje okončin podjetja Exovite.

(<https://mspoweruser.com/see-surface-pro-4-helps-exovites-juan-monzon-heal-broken-bones/>)

Na temo 3D natisnjenih opornic je kar nekaj raziskav, ki primerjajo in raziskujejo vpliv 3D natisnjenih upornic na poškodovane okončine. V raziskavi »Design of a Patient Specific 3d Printed Arm Cast« [7] omenjajo težave pri nastavljanju pozicije skenerja.

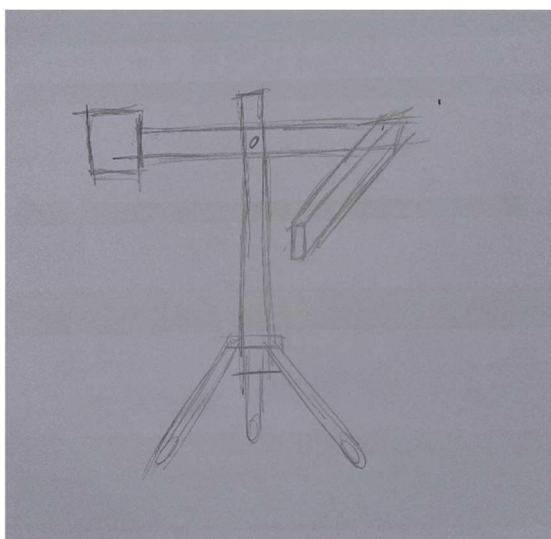
3 PRAKTIČNI DEL

3.1 Načrtovanje in izdelava naprave

3.1.1 Idejna zasnova

Najprej je bilo treba izdelati idejno skico naprave. Naprava je morala zadostiti naslednjim zahtevam:

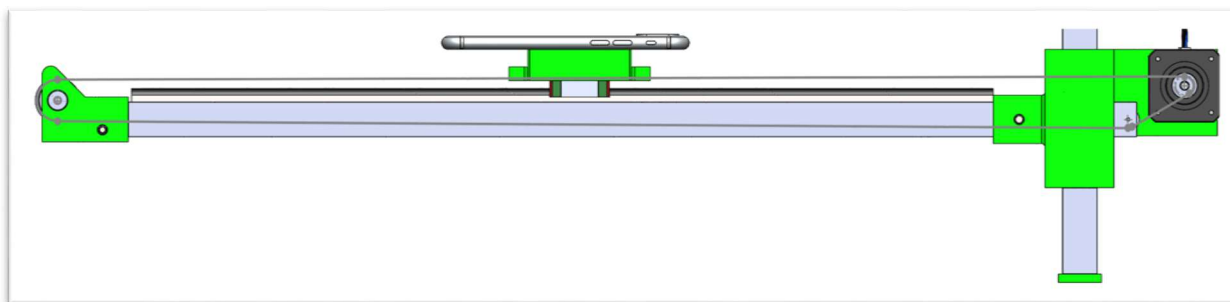
- uporaba na terenu,
- zložljivost ogrodja in prilagodljivost nastavitve višine naprave glede na pacienta,
- majhna masa celotne naprave,
- enostavnost upravljanja,
- izdelava 3D skenov zadovoljive kakovosti,
- enostaven prenos podatkov iz skenerja za nadaljnjo uporabo brez stacionarnega ali brezžičnega omrežja.



Slika 18: Skica naprave.

3.2 Konstruiranje 3D modela naprave

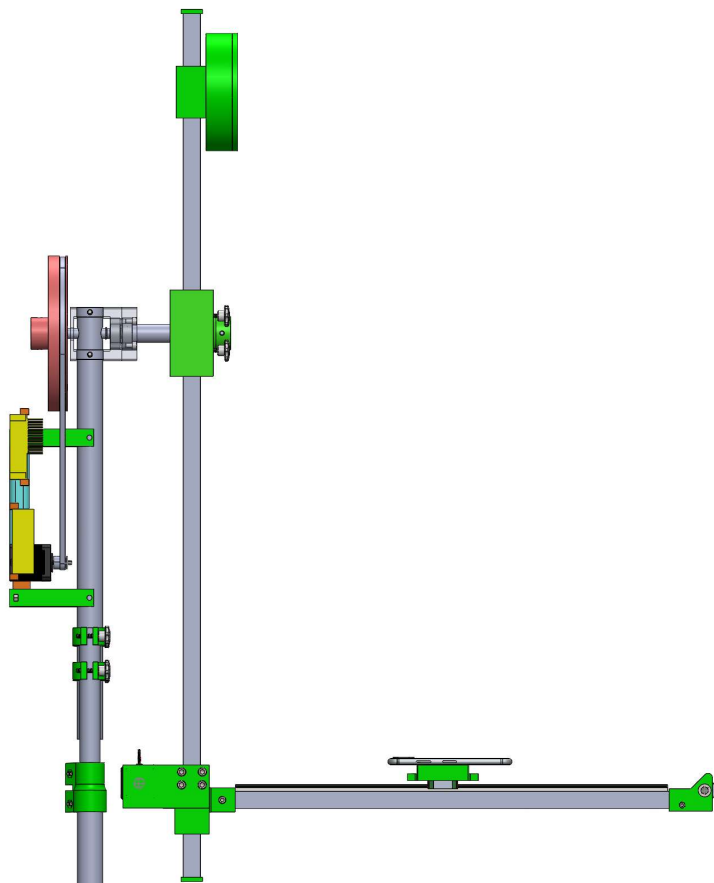
Od idejne zasnove smo prešli na izdelavo 3D modela naprave v programski opremi SolidWorks. Na ta način smo lažje sestavili vgradne komponente, simulirali smo lahko način delovanja naprave, odkrivali napake pri delovanju (interferenc med komponentami) in na enostaven način določili skupno maso naprave. Masa naprave igra zelo pomembno vlogo (prenosljivost naprave), zato smo za veliko komponent za izdelavo izkoristili prednosti 3D tiska. Ta nam je omogočil tudi izdelavo konstrukcijsko zahtevnih komponent, ki jih s klasičnimi postopki obdelave ne bi mogli izdelati (na Slika 21 so obarvani zeleno in rdeče). Z dodatno vgradnjo uteži smo uspeli uravnotežiti neenakomernost razporeditve mase in zmanjšati velikost neenakomernega vrtilnega momenta pri rotaciji roke skenerja. Da smo na gnanem delu naprave (ogrodju s skenerjem) zmanjšali število vrtljajev in povečali vrtilni moment, smo skonstruirali gnano jermenico z 270 zobmi. Pri številu zob pogonske jermenice ($z_1 = 20$) smo tako dobili prestavno razmerje $i = 13,5$. Velik zalogaj je predstavljalo iskanje rešitve, kako zagotoviti ustrezno linearno gibanje vozička na linearnem vodilu. Kot najboljša konstrukcijska rešitev se je pokazala »napeljava« jermena skozi kvadratno cev preko ležaja in nazaj do koračnega motorja (slika 19).



Slika 19: Jermenski prenos za linearno premikanje vozička s skenerjem.

Skener opravlja rotacijsko gibanje okoli poškodovanega uda na določeni razdalji, ki mora biti nastavljiva, da lahko izdelamo 3D sken zadovoljive kvalitete, v primeru daljših poškodovanih udov pa potrebujemo še linearni pomik vozička, da lahko zajemamo celotno območje okončine. Za izdelavo teleskopskega nosilnega ogrodja smo uporabili votle aluminijaste cevi različnih premerov. Gred z večjo jermenico in ogrodje skenerja predstavljata nosilec na dveh podporah z dvema prevesnima poljema. Na eni strani nosilca (aluminijaste cevi) je nameščena večja

jermenica, ki je preko jermena povezana s koračnim motorjem. Na drugi strani gredi gred obremenjuje lastna teža sklopa ogrodja skenerja, ki je sestavljen iz kvadratnih aluminijastih cevi, linearnega vodila z vozičkom, uteži in koračnega motorja. Na ohišje, ki je pritrjeno na ogrodje teleskopskega nosilca, sta vgrajena dva enoredna kroglična ležaja (slika 20).



Slika 20: Prikaz sklopa za prenos gibanja.

Upoštevali smo tudi varnost pri delu. Kritične rotacijske dele smo zaščitili z ohišjem. Za pritrditev plastičnih komponent smo uporabili posebne matice, ki se v plastiko vgrajujejo s segrevanjem. Velikost ohišja je minimalna glede na vgrajene elektro komponente. Seveda je bilo treba pri konstrukciji paziti tudi na estetski izgled naprave in enostavnost delovanja oz. rokovanja z napravo. Končni izgled 3D modela naprave je prikazan na sliki 21.



Slika 21: 3D model naprave.

3.3 Izdelava mehanskih komponent

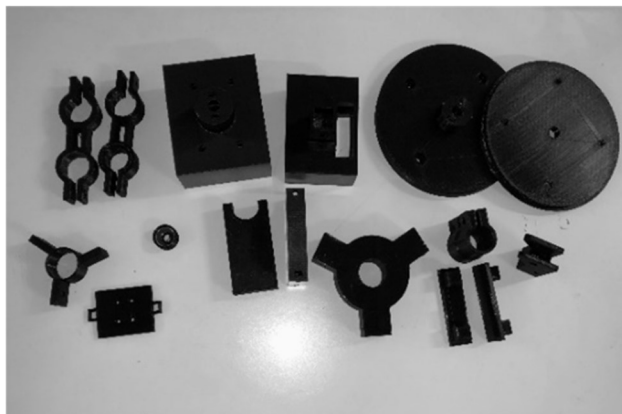
Končni izdelek je sestavljen iz več kot 100 komponent. Za določene sestavne dele smo najprej izdelali 3D model, nato pa jih 3D natisnili (nosilce za teleskopski drog, jermenico, ohišje, različne podporne in nosilne elemente ...). Pri tem smo zaradi enostavnosti tiska uporabili filament iz PLA, ki bi ga pri serijski proizvodnji naprave zamenjali s filamentom iz ASE ali ABS, določene komponente (možnost izdelave s klasičnimi odrezovalnimi postopki) pa bi izdelali iz aluminija.



Slika 22: Izdelava nosilne noge teleskopskega ogrodja.

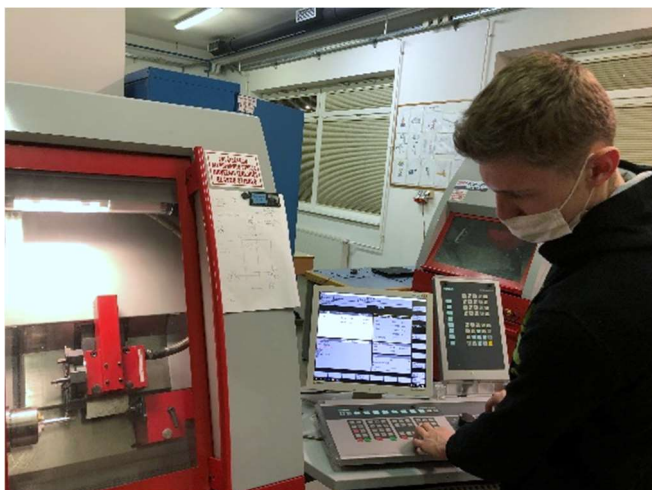


Slika 23: 3D tisk večje jermenice.



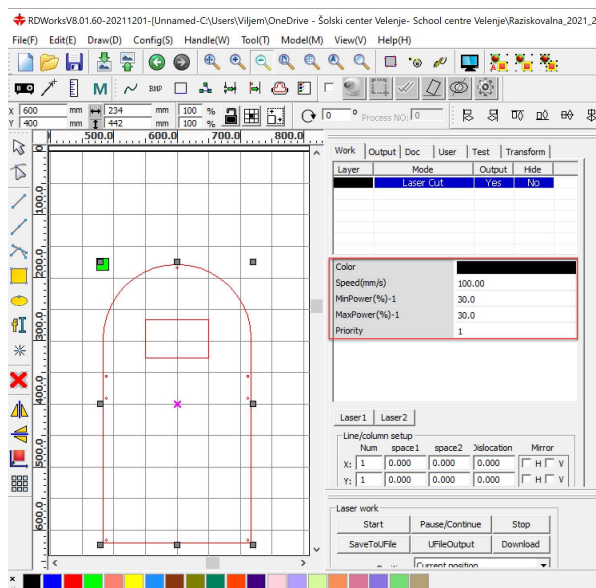
Slika 24: 3D natisnjene komponente.

Gred za prenos vrtilnega momenta s pogonskega na gnani del naprave je bila izdelana s pomočjo CNC stružnice. Gred smo postružili na toleranco in na koncu naredili še utor za vskočnik (Slika 25).

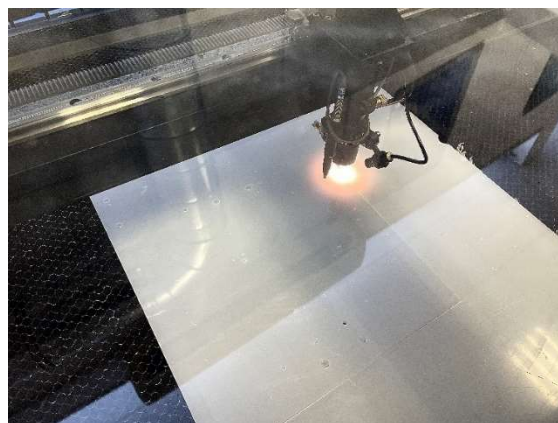


Slika 25: Izdelava gredi na CNC stružnici.

Sprednji in zadnji pokrov ohišja sta izdelana iz pleksistekla na lasersko gravirnem stroju. Pred laserskim razrezom je treba izdelati datoteko v DXF formatu, ki jo kreiramo direktno iz 3D modelirnika (v tem primeru SolidWorksa). Datoteko nato uvozimo v program za nastavitev parametrov rezanja (moč laserja in hitrost pomika laserske glave). Uporabili smo programsko opremo RDWorks (slika 26).



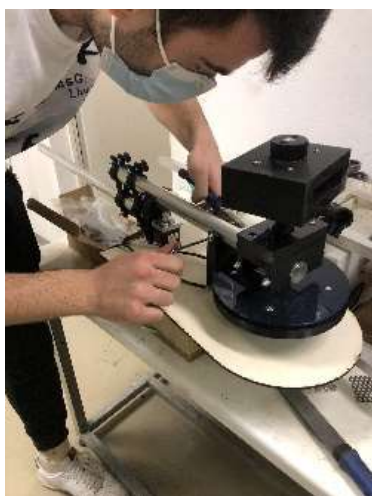
Slika 26: Nastavitev parametrov za laserski razrez.



Slika 27: Laserski razrez sprednjega pokrova ohišja.

3.4 Sestavljanje mehanskih komponent

Ko so bili izdelani vsi sestavni deli, smo pričeli s sestavo. Najprej smo sestavili komponente, ki med delovanjem naprave omogočajo rotacijsko in linearno gibanje oz. imajo največji pomen pri delovanju naprave (nosilec naprave, koračni motorji, jermenice ...). Pri tem je bilo treba paziti na natančno pozicioniranje komponent in pravilno kinematiko naprave. Slika 28 prikazuje sestavljeno napravo pred vgradnjo elektro komponent.



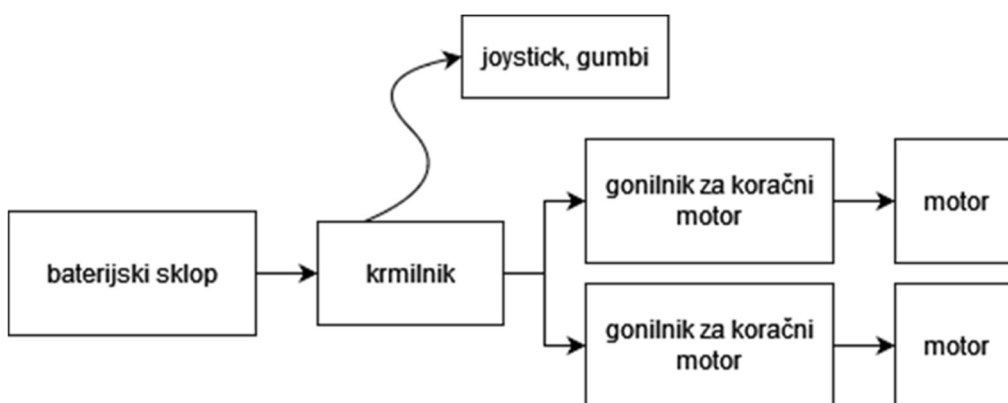
Slika 28: Sestavljanje mehanskih komponent.



Slika 29: Sestavljene mehanske komponente.

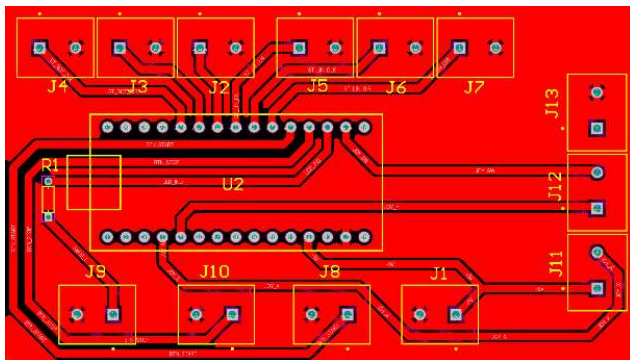
3.4.1 Elektro komponente

Pri zasnovi naprave smo upoštevali, da mora biti upravljanje naprave za uporabnika prijazno, zato smo kot dodatno možnost vgradili joystick, ki omogoča izvajanje postopka skeniranja z določene razdalje v ročnem načinu (uporabno pri pojavu kakšne ovire ali pa skeniranja samo določene strani roke). Program za mikrokrmilnik je zasnovan tako, da lahko uporabnik preklaplja med avtomatskim in ročnim načinom. V avtomatskem načinu naprava skenira okončino s prednastavljenimi parametri (hitrost rotacije, oddaljenost skenerja od okončine, pot skenerja ...).



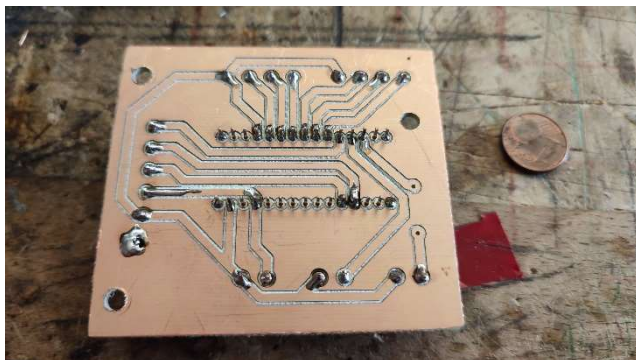
Slika 30: Blokovna shema vezja.

Za lažjo priključitev drugih komponent na krmilnik smo zasnovali tiskano vezje z vijačnimi terminali, ki smo ga narisali s pomočjo programa Altium Designer. Shema vezja je prikazana v prilogi. Vse komponente se direktno priključijo na krmilnik (dodatnih komponent ne potrebujemo).



Slika 31: Vezje, izdelano v programu Altiumu.

Zaradi enostavne zasnove smo vezje izdelali s pomočjo CNC rezkalnika (slika 32). Z rezkalnikom smo porezkali bakreno plast, kjer je bilo potrebno. Nato smo s spajkanjem na vezje pritrdili krmilnik in konektorje.

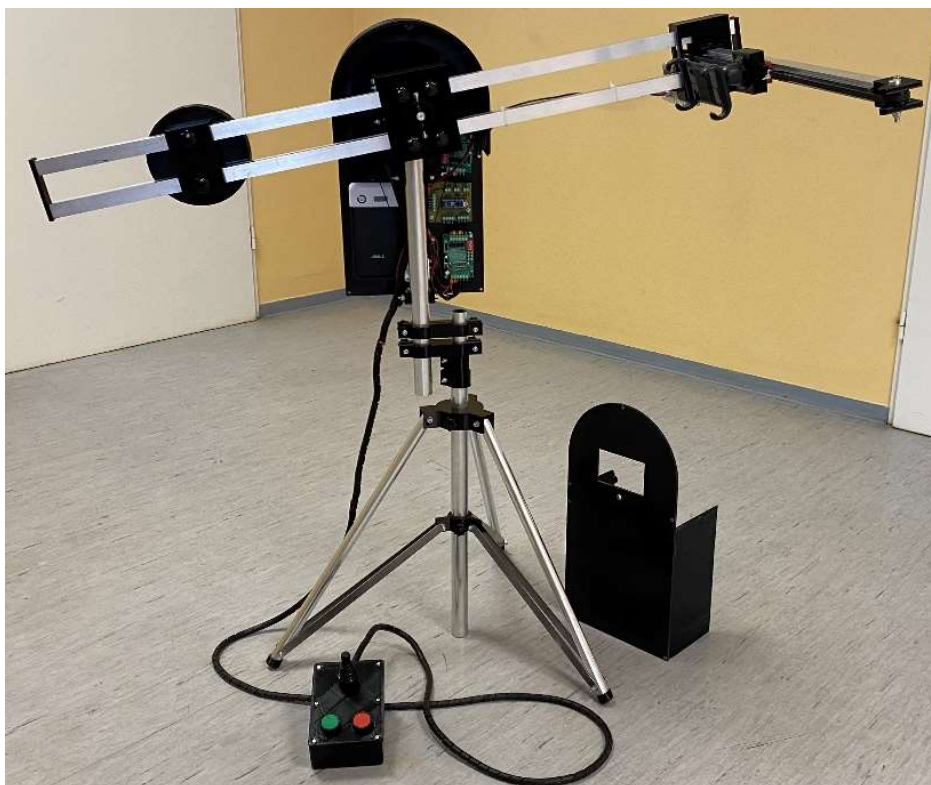


Slika 32: Prva verzija vezja.

Vse module smo namestili na ohišje in jih povezali med seboj z mehkožičnimi vodniki. Na vodnike smo pritrdili tudi votlice. Pri delovanju naprave se je pojavila precejšnja glasnost koračnih motorjev. To smo odpravili s spremembo načina krmiljenja motorja (microstepping 1/8). S tem smo zmanjšali tudi navor na motorju, vendar je bil navor kljub spremembi zadosten za zagotavljanje rotacijskega sprednjega rotacijskega sklopa (uravnoveženost gibanja zaradi dodane uteži). Končno povezavo elektro komponent prikazuje slika 33, na sliki 34 pa je prikazana sestavljena naprava.



Slika 33: Vgradnja elektro komponent v ohišje.

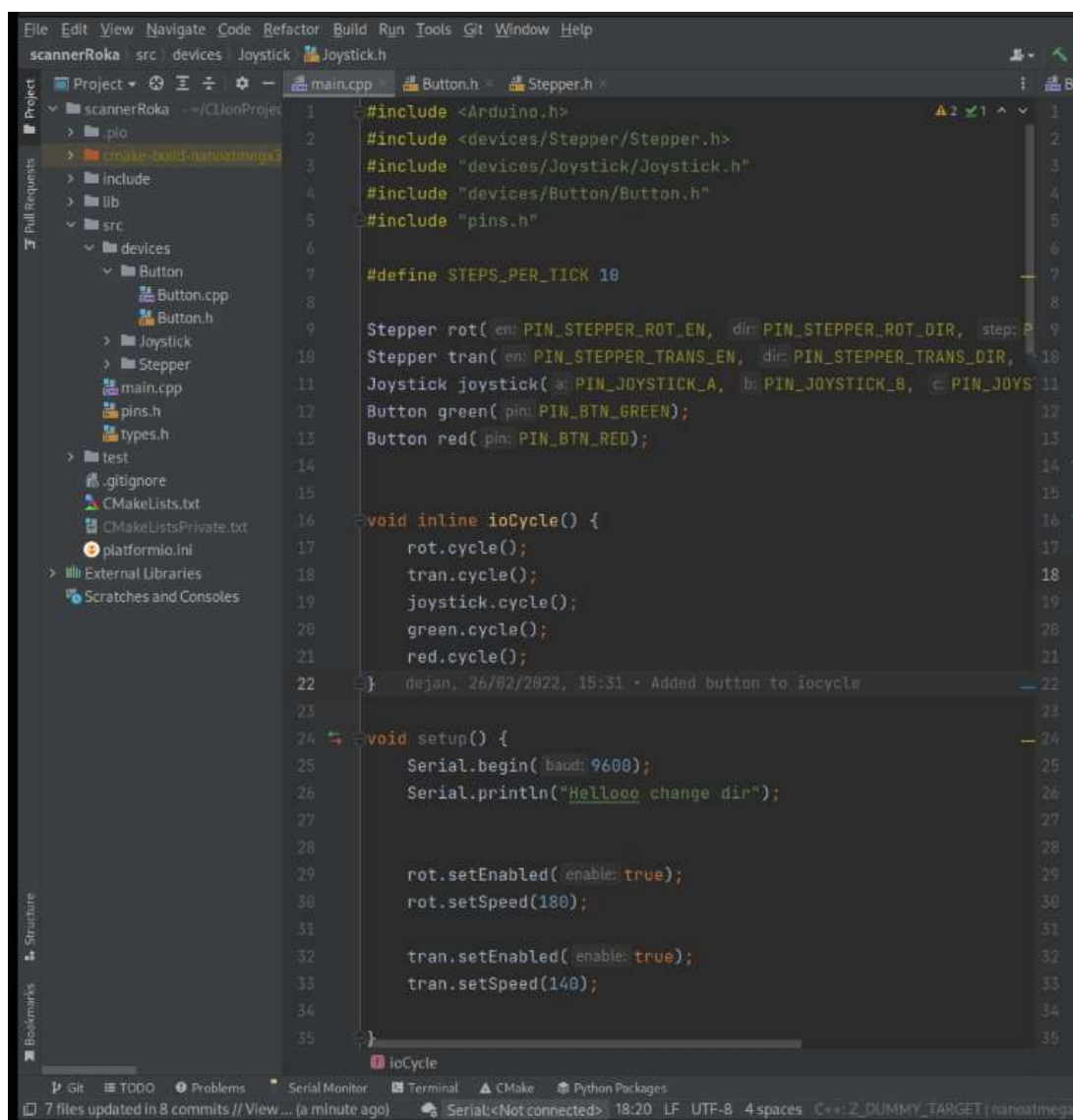


Slika 34: Sestavljena naprava z odprtim ohišjem.

3.4.2 Programska oprema

Program za mikrokrmilnik

Program za krmilnik smo napisali v programskem jeziku C (slika 35). Ta mora sočasno krmiliti koračne motorje in sprejemati komande od uporabnika (joystick, gumbi ...). Ima dva načina – ročnega in avtomatskega. Pri ročnem načinu lahko napravo upravljamo s pomočjo joysticka, pri avtomatskem načinu pa se proces skeniranja izvede po vnaprej določenih parametrih (hitrost rotacije in linearni pomik vozička s skenerjem).



```
1 #include <Arduino.h>
2 #include <devices/Stepper/Stepper.h>
3 #include "devices/Joystick/Joystick.h"
4 #include "devices/Button/Button.h"
5 #include "pins.h"
6
7 #define STEPS_PER_TICK 18
8
9 Stepper rot( en: PIN_STEPPER_ROT_EN, dir: PIN_STEPPER_ROT_DIR, step:
10 Stepper tran( en: PIN_STEPPER_TRANS_EN, dir: PIN_STEPPER_TRANS_DIR,
11 Joystick joystick( a: PIN_JOYSTICK_A, b: PIN_JOYSTICK_B, c: PIN_JOYS
12 Button green( pin: PIN_BTN_GREEN);
13 Button red( pin: PIN_BTN_RED);
14
15
16 void inline ioCycle() {
17     rot.cycle();
18     tran.cycle();
19     joystick.cycle();
20     green.cycle();
21     red.cycle();
22 }
23
24 void setup() {
25     Serial.begin( baud: 9600);
26     Serial.println("Helloo change dir");
27
28
29     rot.setEnabled( enable: true);
30     rot.setSpeed(180);
31
32     tran.setEnabled( enable: true);
33     tran.setSpeed(140);
34
35 }
```

Slika 35: Programiranje mikrokrmilnika.

Izbor aplikacije za 3D skeniranje

Za izdelavo 3D skenov smo uporabili mobilni telefon znamke Iphone 12 (ni bil pro verzija) in aplikacijo Scandy Pro, ker je brezplačna in omogoča izvoz podatkov v več različnih formatih datotek (OBJ, STL), ki jih lahko kasneje obdelamo s programsko opremo za obdelavo 3D skeniranih modelov (CAD programi, MeshLab, Blender).

Skenirali smo s sprednjo kamero. Izdelani skeni so bili dovolj kvalitetni za nadaljnjo obdelavo. Možna bi bila tudi uporaba dražje različice telefona, npr. 12 pro, pri kateri se trenutno največ uporablja aplikacija Scaniverse .



Slika 36: Zaslonska slika aplikacije ScandyPro.

3.5 Meritve in metode

3.5.1 Test enostavnosti uporabe naprave

Za preizkus enostavnosti upravljanja z napravo smo na test povabili 7 naključno izbranih dijakov, ki niso medicinsko usposobljeni in niso sodelovali pri tem projektu. Njihova naloga je bila narediti sken primerne kakovosti brez naše pomoči. Dijak je bil uspešen, če je naredil sken brez pomoči in je bil ta primerljiv s kakovostjo skena, ki ga je naredila oseba, ki je »usposobljena« za upravljanje naprave. Uspešnost dijakov je bila na koncu pokazatelj tako imenovane »enostavne uporabe« naprave.

3.5.2 Določanje primernosti za uporabo na terenu

Naprava, ki je primerna za uporabo na terenu, mora izpolnjevati naslednje kriterije:

- **prenosljivost** – njena velikost in masa morata biti primerni, da jo lahko nosi en delavec (največ 10 kg),
- **baterijsko napajanje** – baterije morajo zagotoviti dovolj energije za najmanj 25 skenov),
- **postavitev na različnih površinah** – napravo lahko postavimo na različne vrste površin (npr. trava, asfalt, tlakovci) in površine z rahlim naklonom.

3.5.3 Primerjava skeniranja »na roko« in skeniranja s pomočjo naprave

Za skeniranje smo uporabili sprednjo kamero na telefonu Iphone 12. Vsi skeni so bili opravljeni pri podobnih svetlobnih pogojih. Skenirali smo isto roko.

Način skeniranja: »na roko«

Operater je telefon ročno premikal okoli roke na razdalji približno 40 cm (Slika 37). Poskušal je ohraniti enakomeren tempo skeniranja. Za kasnejšo primerjavo med različnimi načini smo izbrali najboljšega izmed treh opravljenih skenov.



Slika 37: Skeniranje »na roko«.

Skeniranje s pomočjo naprave

Telefon (skener) je z enakomernim rotacijskim gibanjem krožil okoli roke na razdalji 40 cm v obsegu 360 °. Ročno smo mu določili vzdolžno pozicijo, ki se ni spreminjala skozi proces skeniranja. Tudi na ta način smo naredili 3 skene. Za kasnejšo primerjavo med različnimi načini smo izbrali najboljšega izmed opravljenih skenov.

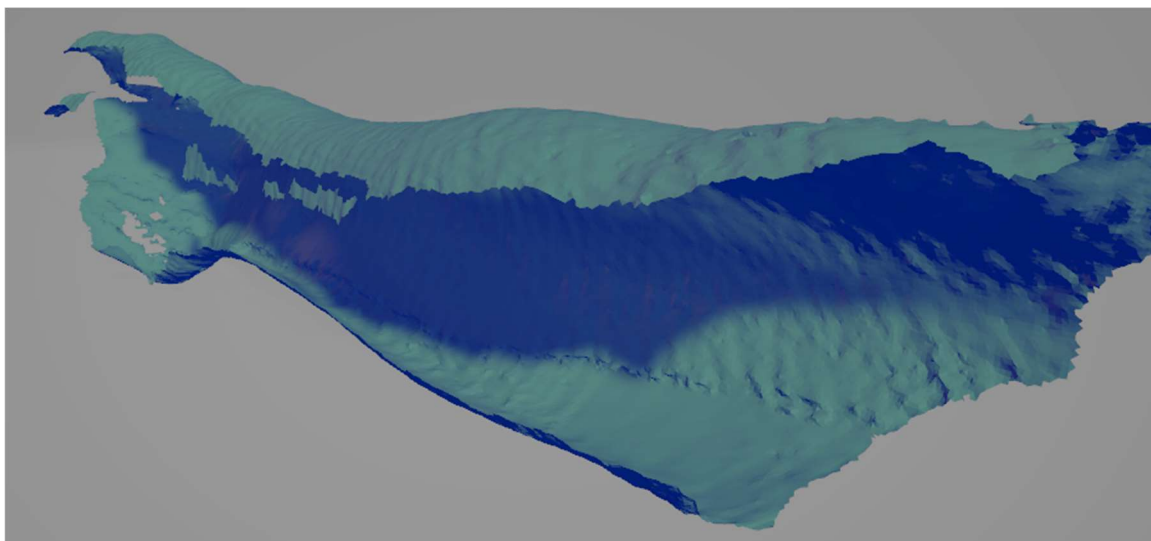


Slika 38: Skeniranje s pomočjo naprave.

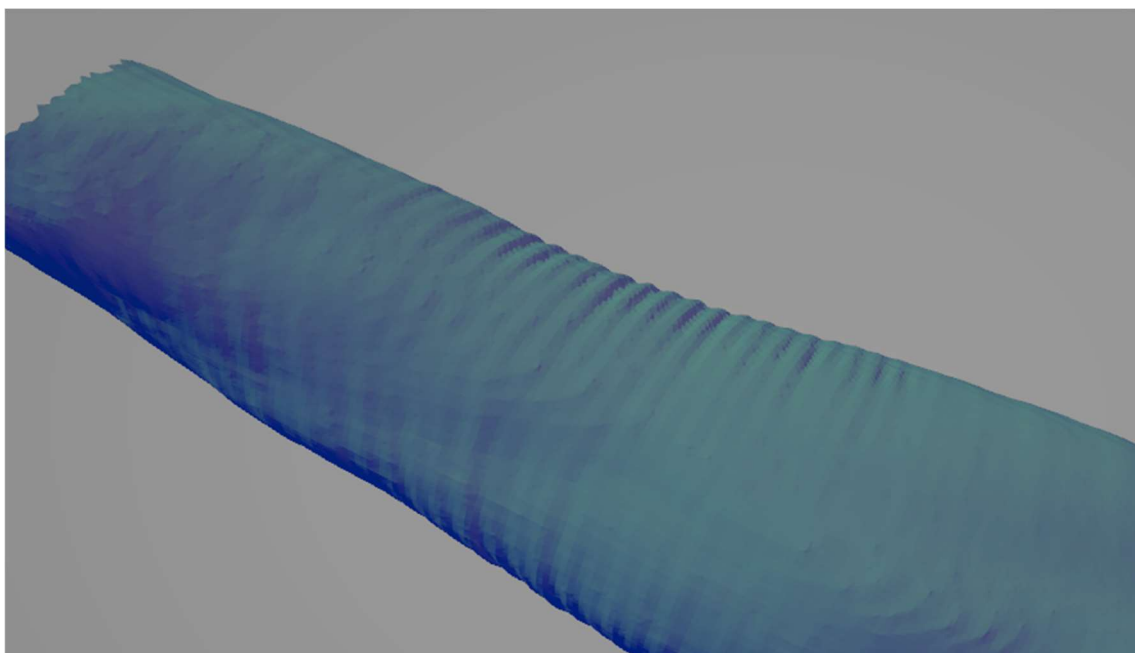
3.5.4 Primerjava skenov

Pri obeh načinih smo izbrali najboljši sken in ju primerjali med seboj. Skena smo preverjali vizualno na podlagi naslednjih kriterijev:

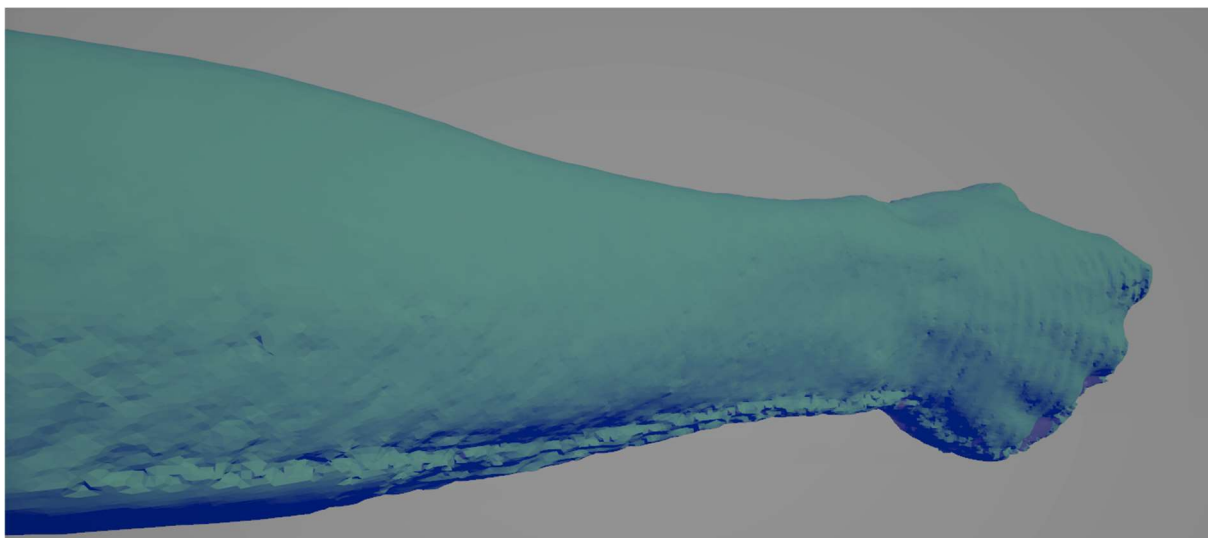
- splošen izgled (Ali je sken sploh podoben roki?),
- površina roke se stika, ni »mrtvih površin« (Slika 39),
- površina roke nima ostrih robov, ploščatih delov oziroma drugih vidnih nepravilnosti (Slika 40, Slika 41),
- nepomembni deli (npr. ohišje naprave, druge okončine, kabli ...), ki se pojavijo v skenu, so ločeni od roke in se jih da enostavno odstraniti pri nadaljnji obdelavi v programski opremi za obdelavo skenov (CAD programi, MeshLab, Blender ...) (Slika 42).



Slika 39: Primer nestičnosti površine pri skenu roke.



Slika 40: Površina roke je narebrena.



Slika 41: Oster rob na površini roke.



Slika 42: Nepomembni deli (levo zgoraj) so ločeni od skena roke.

4 REZULTATI

4.1 Test enostavnosti uporabe naprave

Tabela 1: Uspešnost dijakov pri skeniranju z napravo.

Zaporedna številka operaterja	Uporaba in iznajdljivost na napravi	Sken je primerljiv z našim skenom (<i>mi znamo upravljati napravo</i>).
1	DA	DA
2	NE	DA
3	DA	DA
4	DA	DA
5	NE	DA
6	DA	DA
7	DA	DA

Večina dijakov (71 %) je opravilo sken brez težav, torej lahko zaključimo in potrdimo hipotezo A (za upravljanje naprave ne potrebujemo dodatne izobrazbe).



Slika 43: Dijak poskuša upravljati napravo.

4.2 Primernost uporabe na terenu

Naprava skupaj s skenerjem tehta okoli 9 kg. Podporne noge so zložljive, nosilni steber je teleskopski. Zloženo napravo lahko nesemo z eno roko. Baterija, vgrajena v napravo, zadostuje za več kot 50 skeniranj.

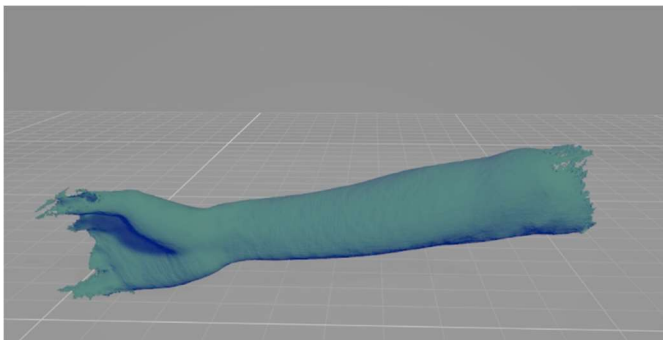
Naprava zadostuje vsem kriterijem za prenosljivost (opisanih v poglavju 3.5.2), zato lahko potrdimo hipotezo B: naprava je primerna za uporabo na terenu.

4.3 Primerjava skeniranja »na roko« in z napravo

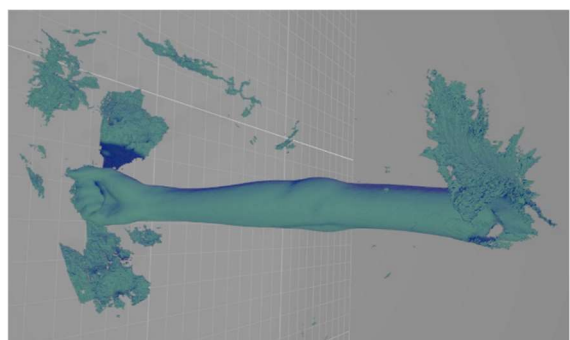
Vsi opravljeni skeni, ki smo jih opravili, so bili podobni roki. Pri skeniranju »na roko« smo imeli nekaj težav, saj je program za skeniranje med skeniranjem izgubljal pozicijo roke. Neuspešne skene smo ponovili.

4.3.1 Primerjava skenov

Izbrali smo najboljši sken za vsak način skeniranja (Slika 44 in Slika 45). Oba skena sta geometrijsko podobna roki. Prav tako na obeh skenih ni »mrtvih površin« (sken se stika).



Slika 44: Skeniranje s pomočjo naprave.

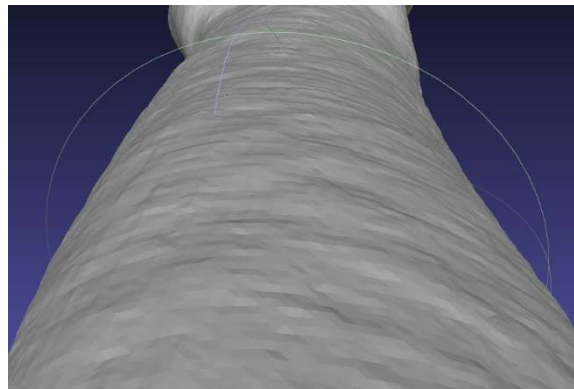


Slika 45: Skeniranje »na roko«.

Pri obeh skenih površina roke ustreza predpostavljenim kriterijem (**Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** Slika 46, Slika 47). Pri skenu s pomočjo naprave lahko opazimo manjše (< 1 mm) linearne strukture, ki potekajo v smeri skeniranja. Na ročnem skenu teh struktur ni. Ocenjujemo, da take nepravilnosti na površini roke nimajo prevelikega vpliva na končne mere opornice, saj jo izdelamo malo večjo, da lahko na notranjo stran dodamo blazinice za udobnejše nošenje.

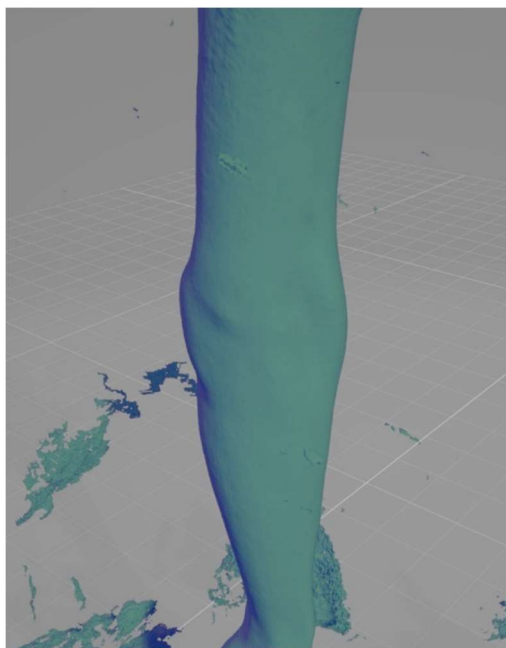


Slika 46: Podroben pregled površine skena »na roko«.



Slika 47: Podroben pregled površine skena z napravo.

Izven ležečih točk (smeti) pri skenu s pomočjo naprave ni (Slika 45). Pri »skeniranju na roko« pa jih je veliko in so razpršene po celotnem skenu (Slika 48). Sicer se površine roke ne dotikajo, ampak jih je zaradi števila in razpršenosti v nadaljnji obdelavi skena težje odstraniti. **Zaradi tega lahko hipotezo C potrdimo.**



Slika 48: Razpršenost izven ležečih točk po skenu.

5 RAZPRAVA

5.1 Možnosti izboljšav prototipa naprave

Konstrukcijo in delovanje prototipa je možno še nadgraditi. Povečati je treba togost konstrukcije z vgradnjo komponent iz materialov z boljšo natezno trdnostjo (uporaba filameta iz ABS ali ASE, izdelava določenih komponent iz aluminija). Trenutno veliko težavo predstavlja tudi vpenjanje in izpenjanje skenerja (mobilni telefon), zato bi bilo teba poiskati boljšo konstrukcijsko rešitev nosilca skenerja. Dodali bi lahko tudi dodatne ročaje za lažji prenos naprave na terenu. Dodatno je treba še skonstruirati in izdelati mehansko podporo, ki omogoča naslon in boljše pozicioniranje okončine med skeniranjem.

Lahko bi napisali svojo aplikacijo za skeniranje. To nam bi omogočilo avtomatsko proženje skenerja, sinhronizacijo skenov v oblak in večjo fleksibilnost pri nastavljanju parametrov, pomembnih za kvaliteto skena.

5.2 Pojav linearnih struktur pri skeniranju s pomočjo naprave

Pri skeniranju s pomočjo naprave so se pojavile majhne vdolbine, vzporedne s presekom roke. Vdolbine potekajo v isti smeri, kot je potekal sken. Menimo, da je te strukture povzročilo pomankanje vzdolžnega premikanja med skeniranjem. Telefon se v ravni liniji premika okoli roke, laserski žarki lidar skenerja pa zmeraj padejo na isto mesto zaradi njihove mrežaste strukture (Slika 49). Zato se na površini roke ustvarijo majhne vdolbine.



Slika 49: Mreža laserskih žarkov (Iphone LIDAR skeniranje, posneto z IR kamero).
(<https://i.imgur.com/7o01Bwa.jpg>)

5.3 Težave pri skeniranju »na roko«

Pri tem načinu so se pojavljale težave zaradi izgubljanja pozicije okončine (hitri pomiki telefona). Tudi zamenjava aplikacije za skeniranje s telefonom ni pomagala. Ugotovili smo, da s počasnejšim skeniranjem te težave omilimo. Pri skeniranju z napravo teh težav nismo imeli.

6 IZVLEČEK/ABSTRACT

V sklopu raziskovalne naloge smo izdelali napravo, ki lahko premika 3D skener okoli okončine z enakomerno hitrostjo po vnaprej določeni poti. Preizkusili smo enostavnost uporabe naprave s pomočjo neusposobljenih uporabnikov. Preverili smo, ali je naprava primerna za uporabo na terenu. Vizualno smo primerjali skene, narejene s pomočjo naprave in brez nje (narejene z roko). Ugotovili smo, da lahko napravo uporablja večina (71 %) neusposobljenih operaterjev in da so njihovi skeni primerljivi z našimi. Napravo lahko prenašamo, ne potrebuje zunanje napajanja in jo lahko postavimo na različne površine, zato lahko zaključimo, da je naprava primerna za uporabo na terenu. Skeniranje s pomočjo naprave je lažje in hitrejše, končni skeni so boljši. V primerjavi s skeniranjem »na roko« je uporaba naše naprave smiselna.

As a part of our research paper we have designed a device that can move a 3D scanner around an injured limb at a constant speed at a predefined path. The user experience of the device operation was tested with the help of untrained users. The use of the device in the field was also determined. Scans made with and without the help of the device were visually compared. We found out that the device can be used by the majority (71%) of untrained users. Their scans were comparable to ours. Based on portability of the device, adaption to different ground surfaces and battery power, we have determined that the device is suitable for a field use. Scanning with help of the device is easier and the final scans are better. Compared to scanning "by hand" the use of the device is reasonable.

7 VIRI IN LITERATURA

- [1] Zorman, »Zlomi«, <https://www.kirurgijaroke.si/si/poskodbe/zlomi/> (5. 1. 2022).
- [2] Chen YJ, Lin H, Zhang X, Huang W, Shi L, Wang D. Application of 3D-printed and patient-specific cast for the treatment of distal radius fractures: initial experience.
- [3] Tao Y, Shao J, Li P, Shi QS, Application of a thermoplastic polyurethane/polylactic acid composite filament for 3d-printed personalized orthosis, <https://www.researchgate.net/publication/331102028> (8. 1. 2022).
- [4] FD3D GmbH, »Regulatory information sheet«, <https://cdn-3d.niceshops.com/upload/file/202007-ris-petg-en.pdf> (15. 1. 2022).
- [5] <https://www.3d-tisk.si/najboljse-android-ios-aplikacije-za-3d-skenerianje/> (20. 1. 2022).
- [7] Fitzpatrick, A., Mazher, M. »Design of a Patient Specific, 3D printed Arm Cast«, KnE Engineering, 2017, <https://www.researchgate.net/publication/313654100> (9. 2. 2022).
- [8] Rupel, Nika. Začetno učenje elektronike ob podpori okolja arduino. http://pefprints.pef.uni-lj.si/5494/1/Magistersko-Delo_NikaRupel.pdf (10. 2. 2022).

Priloge

8 SHEMA VEZJA

