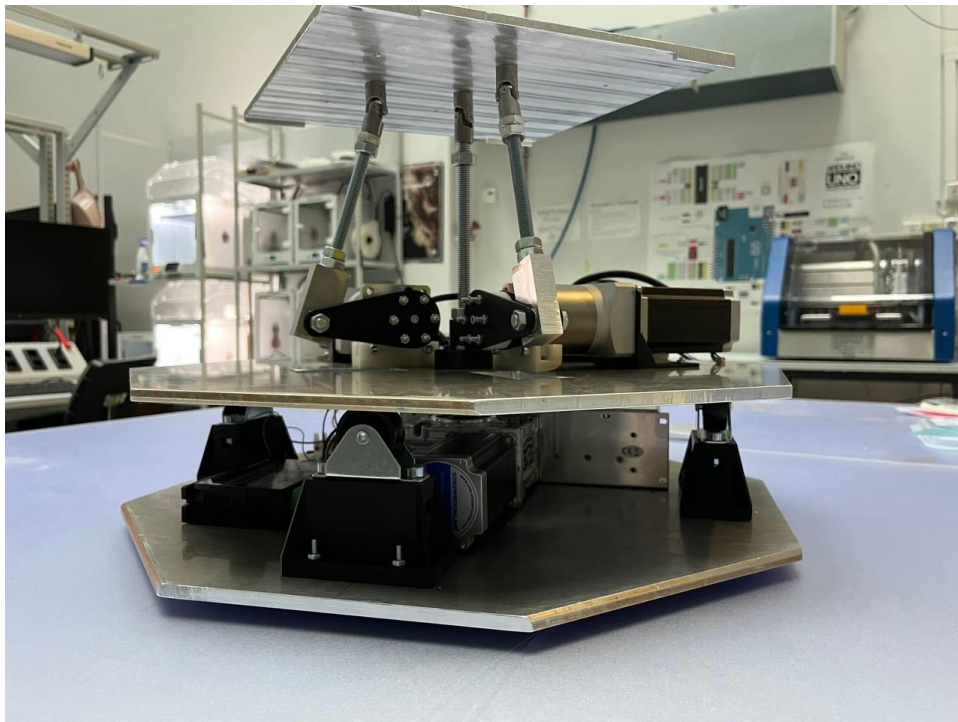


Loppuraportti

Project #01 Sensor Calibration Platform



Date: 7.9.2023

Elias Lindberg
Aleksi Saajakari
Verner Turkki
Roni Vallius

Information page

Students

Elias Lindberg

Aleksi Saajakari

Veneri Turkki

Roni Vallius

Sponsoring Company

GIM Robotics

Starting date

1.6.2023

Submitted date

7.9.2023

Vastualueet

Fyysinen laite – Elias Lindberg ja Aleksi Saajakari

PCB – Veneri Turkki

Ohjelmointi – Roni Vallius

Tiivistelmä

Tässä raportissa kuvataan kurssin projektin, eli GIM Robotics:n prototyypin, valmistamista. Projektin tavoitteena on suunnitella ja valmistaa sensorin kalibrointialusta, jolla on kolme vapausastetta: kierto x-, y- ja z-akselien ympäri. Alustan liikerata on ± 45 astetta. Tämä tarjoaa laajan toimintakapasiteetin, mikä mahdollistaa erilaisten sensorien kalibroinnin laajassa kääntö- ja kallistusalueessa. Prototyypin pääpaino on liikekäskyjen toistuvuus tarkasti kuorman avulla ja reaaliaikaisen palautteen antaminen omasta tilastaan.

Projekti jakautuu kolmeen pääkomponenttiin. Ensimmäinen osa-alue on alustan suunnittelu ja rakentaminen. Tämä käsittää mekaanisen suunnittelun ja rakentamisen, mukaan lukien materiaalien valinnan ja osien valmistuksen, jotta varmistetaan alustan mekaaninen vakaus ja tarkkuus kääntöliikkeissä. Tähän liittyy myös moottorien valinta ja laskelmat väännön tarpeesta.

Toinen osa-alue on moottorien ohjelmointi. Tässä projektiosassa moottorit ohjelmoidaan Arduino IDE:ssä sopeutumaan ROS1 (Robot Operating System) -käyttöliittymän mukaisesti. Ohjelmoinnin tavoitteena on luoda käyttöliittymä, joka on joustava, intuitiivinen ja käyttäjäystävällinen. Lisäksi se mahdollistaa tarkan ja tarkoituksenmukaisen moottorin ohjauksen kunkin akselin kiertojen osalta.

Kolmas ja viimeinen osa-alue on PCB:n (Printed Circuit Board) suunnittelu ja valmistus. Tämä osa-alue käsittää elektronisen suunnittelun ja valmistuksen, mukaan lukien tarvittavien komponenttien valinnan ja asettelun sekä PCB:n valmistuksen. Tämän osa-alueen tavoitteena on varmistaa, että koko järjestelmä on tehokkaasti integroitu ja toimii luotettavasti. Tähän osioon lisäksi liittyy laitteen sähköjohtimien sijoittelu ja siten yhteistyö alustan rakentamisen osion kanssa.

Kaiken kaikkiaan tämä projekti edustaa monitieteistä lähestymistapaa sensorien kalibrointitehtävään, yhdistäen mekaanisen suunnittelun, ohjelmoinnin ja elektroniikan suunnittelun. Se tarjoaa kattavan ratkaisun sensorien tarkan kalibroinnin tarpeisiin erilaisissa sovellusympäristöissä.

Abstract

This report describes the building of the course project, the prototype for GIMRobotics. The objective of the project is to design and manufacture a sensor calibration platform with three degrees of freedom: rotation around the x, y, and z axes. The platform's motion range is ± 45 degrees, providing extensive operational capacity, enabling the calibration of various sensors in a wide range of rotation and tilt angles. The main focus of the prototype is the accuracy and repeatability of motion commands achieved through precise load control and providing real-time feedback on its status.

The project is divided into three main components. The first component is the design and construction of the platform. This includes mechanical design and construction, including material selection and component manufacturing, to ensure the mechanical stability and precision of rotational movements of the platform. It also involves motor selection and torque requirement calculations.

The second component is the programming of the motors. In this part of the project, the motors are programmed using the Arduino IDE to adapt to the ROS1 (Robot Operating System) interface. The programming aims to create a user-friendly interface that is flexible, intuitive, and easy to use. Additionally, it enables precise and purposeful control of each axis's rotation.

The third and final component is the design and manufacturing of the Printed Circuit Board (PCB). This involves electronic design and manufacturing, including the selection and placement of necessary components and the fabrication of the PCB. The goal of this component is to ensure that the entire system is efficiently integrated and operates reliably. It also involves the arrangement of electrical connections and collaboration with the platform construction section.

Overall, this project represents a multidisciplinary approach to sensor calibration, combining mechanical design, programming, and electronic design. It provides a comprehensive solution to the precise calibration needs of sensors in various application environments.

Table of Contents / Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Table of Contents / Sisällysluettelo	5
1. Johdanto	6
2. Tavoite	6
3. Fyysinen laite	6
3.1. Laitteen yläosa sekä x- ja y-suuntaiset kierrot	8
3.1.1. Mittojen suunnittelu	8
3.1.2. Nivelet ja tukivarret	9
3.1.3. Osien kiinnitys	12
3.1.4. Moottoreiden ja vaihdelaatikoiden kiinnitys keskitasoon	13
3.1.5. Keskitolpan ja keskitason kiinnitys	14
3.1.6. Levyjen valmistus	15
3.1.7. Ylätaso ja 9DoF anturi	16
3.1.8. Xy-tason rajakytkimet	17
3.2. Laitteen alaosa ja z-akselin suuntainen kierto	18
3.2.1. Pyörät ja niiden tuet	19
3.3. Z-akselin encoder	20
4. Ohjelmointi	21
5. PCB	22
6. Yhteenveto ja johtopäätökset	24

1. Johdanto

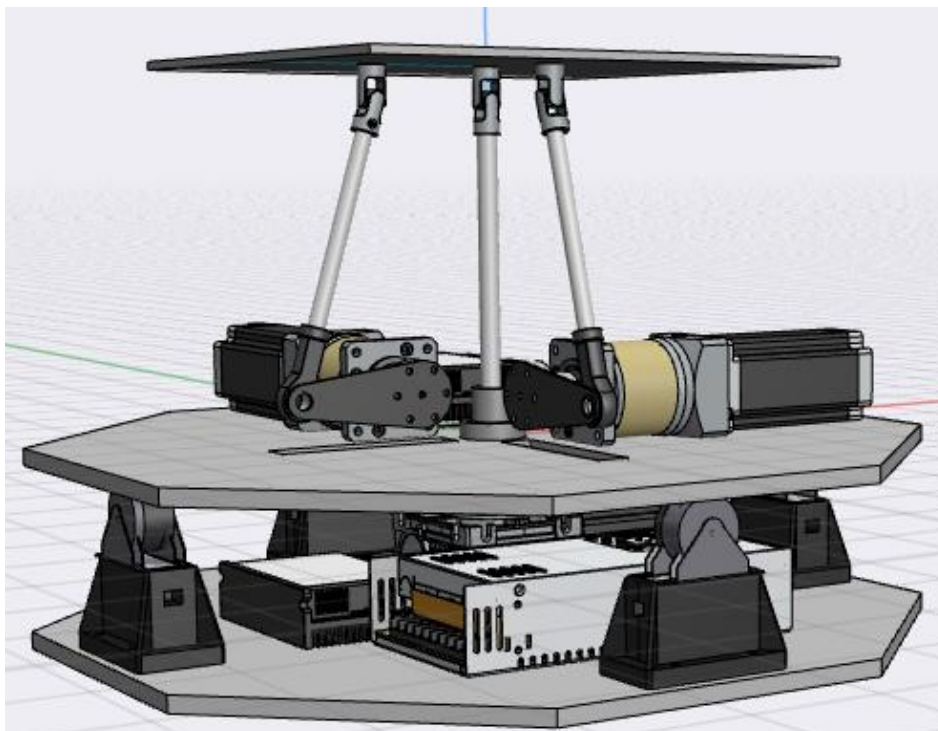
Projektin tarkoituksena on tehdä tietokoneella ohjattava mekaaninen alusta, joka liikuttaa sensoripakettia käyttäjän määräämällä tavalla. Alustalla on kolme vapausastetta, kierrot x-, y- ja z- akselien ympäri. Jotta laitetta voidaan käyttää sensoripakettien kalibrointiin, tulee sen toteuttaa liikekäskyt toistettavasti ja luotettavasti sekä antaa reaaliaikaista palautetta omasta tilastaan.

2. Tavoite

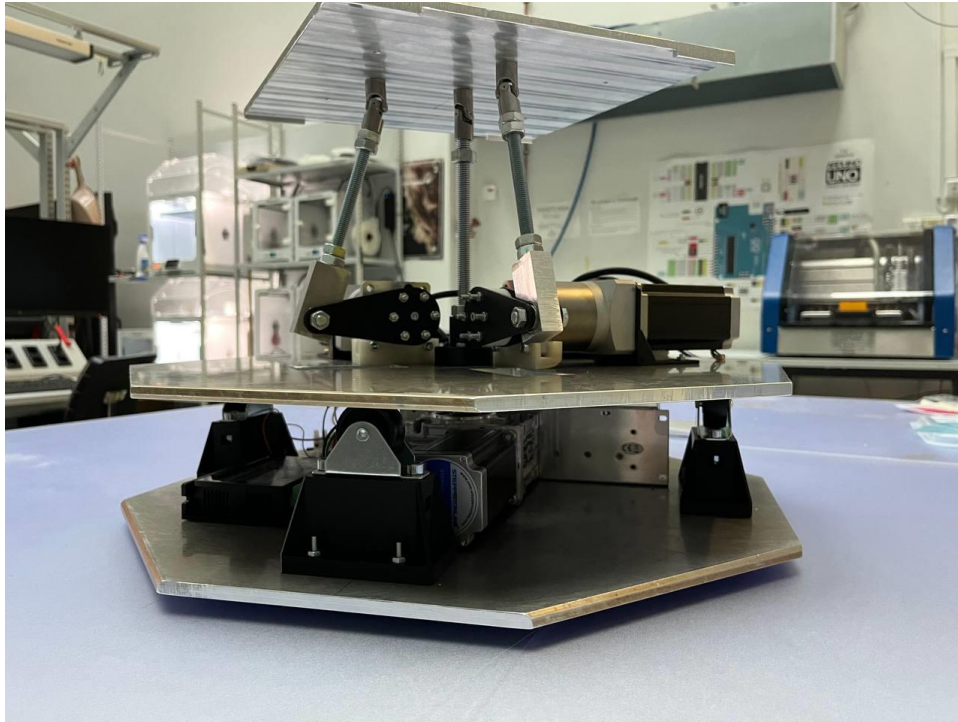
Työn tavoitteena on liikuttaa sensoripakettia mahdollisimman tarkasti. Absoluuttista tarkkuutta olennaisempaa on toistettavuus: sama liikesarja tulee pystyä toistamaan useita kertoja. Laitte suunnitellaan liikuttamaan 20 kilon painoisia ja kooltaan maksimissaan 30x30cm kokoisia sensoreita. Alusta kykenee maksimissaan ± 45 asteen kiertoihin joka vapausasteella.

Laitteen ohjaaminen tapahtuu ROS1-käyttöliittymän avulla, johon käyttäjä syöttää halutut asteet eri akseleille ja vastaanottaa liikedatan reaaliaikaisesti.

3. Fyysinen laite

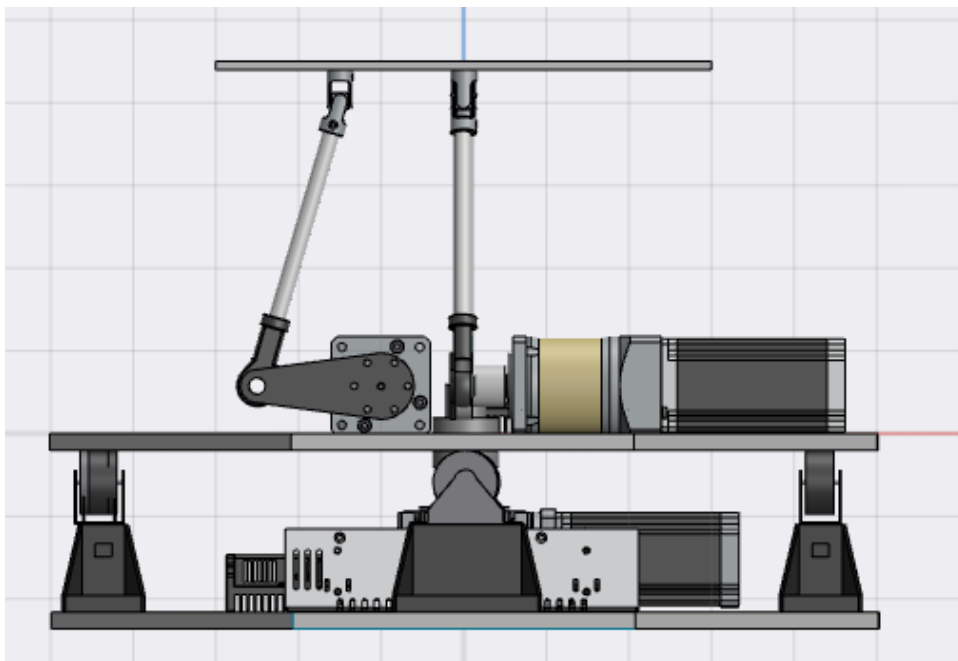


Kuva 1: Laitte 3D-mallinnettuna Shapr3D-ohjelmalla



Kuva 2: Lopullinen laite kasattuna

Kuten kuvasta 1 nähdään, laite koostuu kolmesta tasosta. Ylimpänä on 30x30cm taso jolle sensoripaketit asetetaan liikuttelua varten. Tasolle kiinnitetään myös sensori joka tarkkailee tason liiketilaa. Keskimmäisellä tasolla sijaitsevat moottorit vaihdelaatikkoineen sekä moottorinohjaimet x- ja y-suuntaisia tason kiertoja varten. Alimman tason tehtävä on pyörittää sekä ylä- että keskimmäistä tasoa z-akselin ympäri kolmannen moottorin avulla. Lisäksi alimmalle tasolle on asennettu virtalähde, PCB ja kolmas moottorinohjain. Keskimmäinen ja alin taso on suunniteltu 50cm halkaisijaltaan oleviksi kahdeksankulmioiksi.



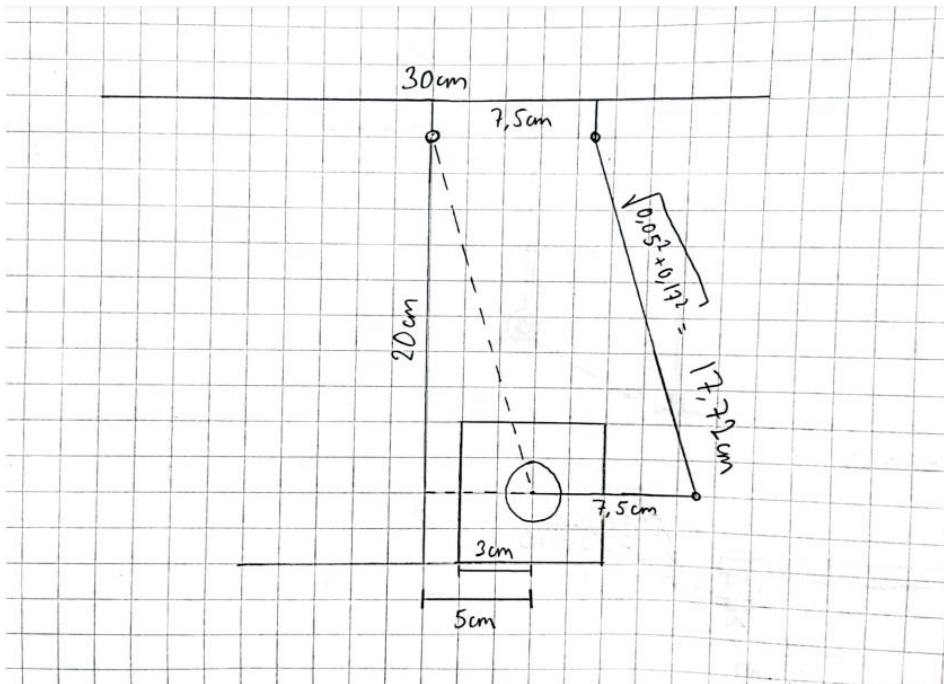
Kuva 3. Laite kuvattuna sivusta

Kaikki tässä raportissa nähtävät 3D-mallit laitteesta ja sen osista on suunniteltu Shapr3D-ohjelmalla. Suurin osa muoviosista on 3D-tulostettu mallien pohjalta PLA-muovista. Muutamia osia valmistettiin myös 3mm akryylista laserleikkaamalla.

3.1. Laitteen yläosa sekä x- ja y-suuntaiset kierrot

X- ja y-suuntaisiin kiertoihin käytetään NEMA23 3Nm closed loop steppereitä magneettisilla encodereilla. Riittävän väännön takaamiseksi steppereitä käytetään 20:1 välityssuhteen vaihdelaatikoiden kanssa. Tässä luvussa esitellään ensin x- ja y-suuntaisia kiertoja varten tehdyt mittasuhteiden suunnitelmat jonka jälkeen esitellään suunnitelmien perusteella tehdyt fyysiset osat.

3.1.1. Mittojen suunnittelu

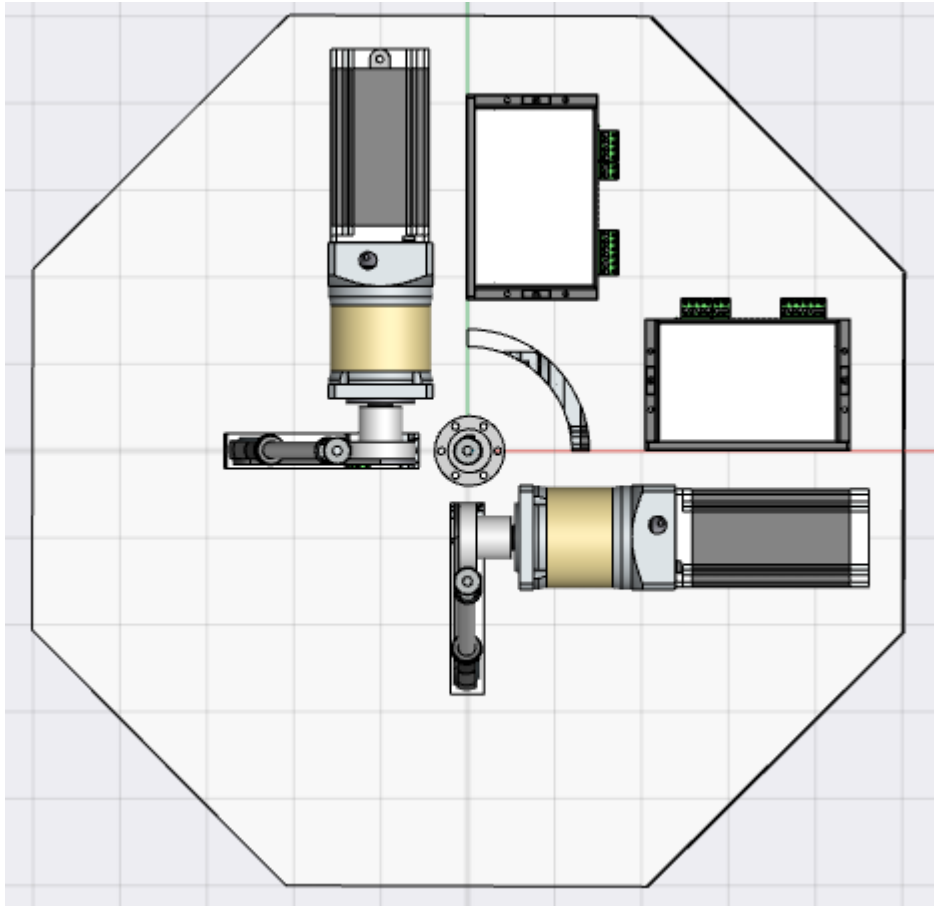


Kuva 4. Piirroskuva eri tukivarsien pituuksista

X- ja y-kiertojen suunnittelussa olennaisinta oli valita oikeanlaiset mittasuhteet, jotka on esitetty kuvassa 4. Vaihdelaatikosta lähtevä kampi liikkuu ympyrärataa, samoin kuin ylätaso, ja ne on yhdistetty tukivarrella. Mitat on valittu siten, että kammen pituus ja tason kiinnityspisteen etäisyys tason keskipisteestä ovat samat (7,5 cm), samoin kuin tukivarsi on yhtä pitkä kuin katkoviivalla piirretty etäisyys stepperin keskipisteestä tason niveleen (noin 17,72 cm). Kun mitat on valittu tällä tavalla, kampi liikkuu täsmälleen samalla tavalla kuin taso, ja stepperin liikuttamisessa täytyy ottaa huomioon ainoastaan vaihdelaatikon välityssuhde.

Absoluuttiset mitat on valittu siten, että tason korkeus olisi mahdollisimman matala ilman, että tasolla on vaara osua mihinkään. Lisäksi stepperit on pyritty mahdollisuuksien rajoissa asettaa mahdollisimman lähelle keskitolppaa (5 cm). Kammen pituus ja samalla tason kiinnityspisteen etäisyys on valittu puoleen väliin tason säteestä. Kompromissin idea on pitää kammet mahdollisimman lyhyinä kuitenkin tinkimättä liikaa tason vakaudesta.

Kaksiosaisen alustan kokonaismitat määräytyivät pitkälti moottorien ja vaihdelaatikoiden koon perusteella. Keskimmäisen tason stepperi+vaihdelaatikko -yhdistelmä on noin 24 cm pitkä, joten se määräsi pohjan halkaisijan 50 senttiin. Koon pienentämiseksi ja visuaalisista syistä alusta leikataan kahdeksankulmion muotoiseksi, kuten kuvassa 5. Alustan kokonaiskorkeus määräytyy z-akselin pyöriykseen käytettävän vaihdelaatikon korkeudesta, johon perehdytään tarkemmin z-akselin pyöritystä käsittelevässä luvussa. Laitteelle tulee korkeutta lattiasta ylätasoon noin 35 cm.



Kuva 5. Laite kuvattuna ylhäältä ilman liikuteltavaa tasoa. Moottorinohjainten väliin on mallinnettu ura, josta johdot menevät läpi. Tällöin xy-tason pyöritys pystytään toteuttamaan niin, että johdot eivät jää mihinkään kiinni ja taso pystyy pyörimään vapaasti.

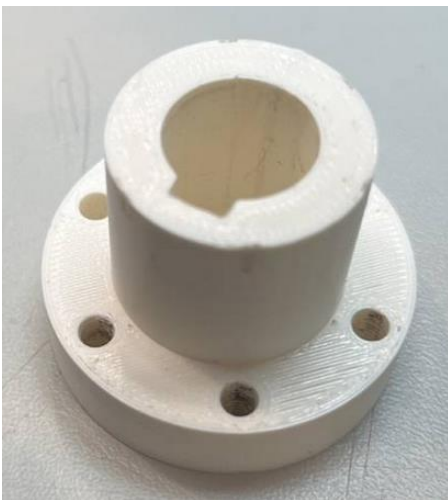
3.1.2. Nivelet ja tukivarret

Stepperien kampien, tukivarsien ja keskitolpan suunnittelussa täytyi ratkaista seuraavat ongelmat:

- Stepperien kammet
 - o Miten kampi kiinnitetään vaihdelaatikon akseliin
 - o Millainen itse kampi on
 - o Miten kammen ja pidemmän tukivarren liitos tehdään
- Tukivarret

- Miten kammen ja pidemmän tukivarren liitos tehdään
- Millainen itse tukivarsi on
- Miten tukivarsi kiinnitetään ylätasoon
- Keskitolppa
 - Millainen keskitolppa on
 - Miten keskitolppa kiinnitetään ylätasoon
 - Miten keskitolppa kiinnitetään alatasoon

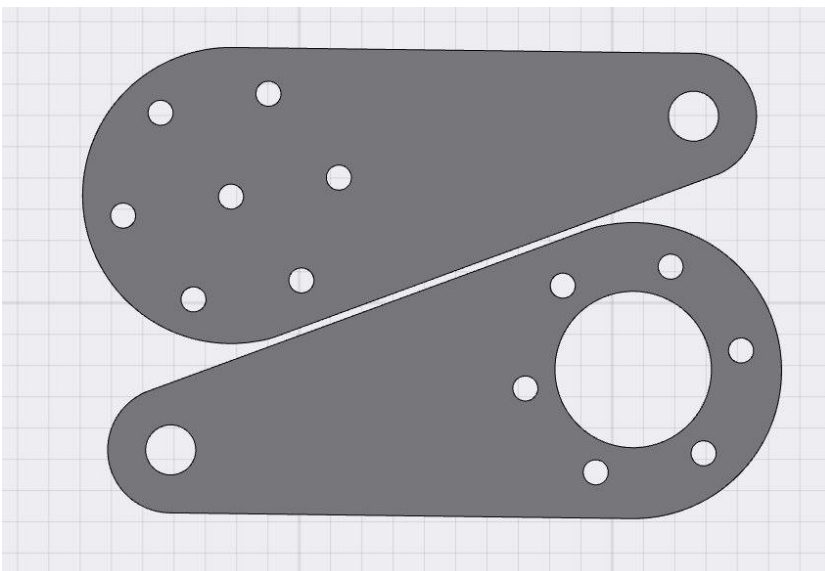
Stepperien kampien tapauksessa suunnittelimme itse tarkoitukseen sopivan akselilaipan (kuva 6), johon kiinnitetään itse suunniteltu kampi (kuva 7). Kurssin puolivälissä huomasimme tämän kiinnityksen olevan riittämätön, joten myös laipan sisäreunaan leikattiin toinen kuvassa 8 näkyvä kampi tuomaan lisää tukevuutta. Tällä hetkellä valmiit osat on 3D-tulostettu ja laserleikattu akryylistä, mutta myös alumiinisten osien valmistus on mahdollista.



Kuva 6: Akselilaippa



Kuva 6: Kampi



Kuva 8. Lopullisessa versiossa käytettävät kammien

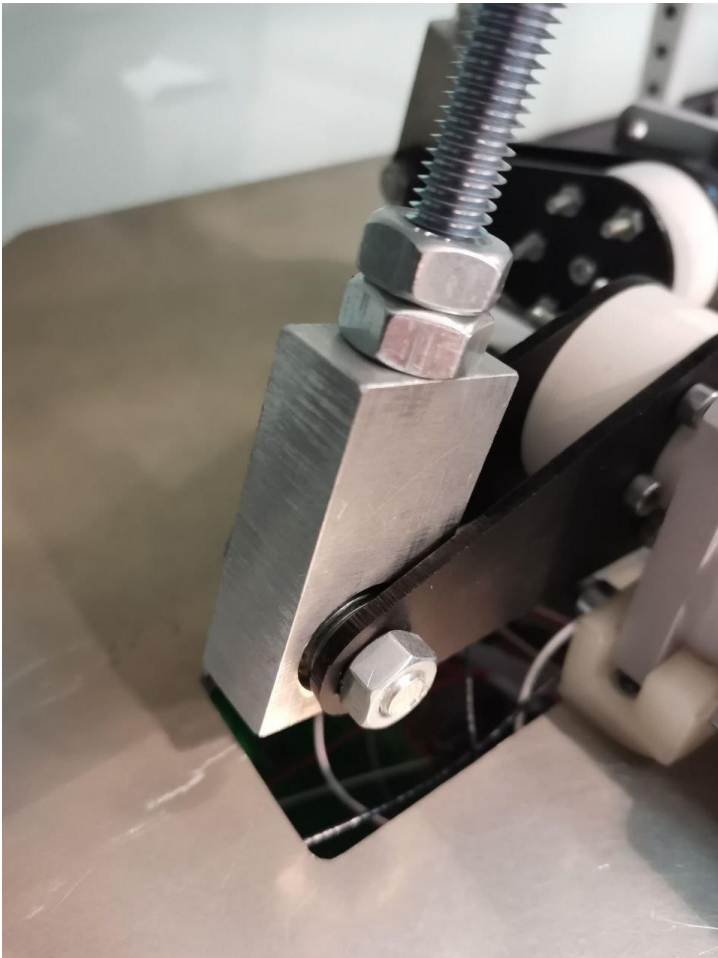
Yritimme ratkaista pidempään tukivarteen liittyvät ongelmat kuvan 9 mukaisilla osilla: kammen kiinnitykseen käytettiin palloniveltä ja tukivartena 10mm kierretankoa. Kierretankojen käyttö mahdollistaa tarkan hienosäädön tukivarsien pituuden säätämiseen. Tasoon tukivarsi kiinnitetään U-

nivelen avulla. Kurssin puolivälissä osoittautui myös, että pallonivel altistaa tason ylimääräiselle kiertymiselle. Pallonivelen tilalle jouduttiin siis suunnittelemaan uusi osa.



Kuva 9. Nivelet

Päädymme tekemään kammen ja tukivarren välisen nivelen itse kuulalaakerien avulla suorakaiteen muotoisesta alumiinipalikasta. Tällöin nivelen liikerata on suoraviivainen, eikä se pääse kääntymään ollenkaan sivuille. Tukivarren kiinnitys pysyi samanlaisena, sillä porasimme uuteen niveleen vastaavanlaiset kierteet kuin mitä alkuperäisessä nivelessä oli. Teimme myös kammen kiinnitykseen käytetyn pultin uudestaan itse 8mm sileästä alumiinitangosta, jotta laakerit pääsisivät pyörimään mahdollisimman vapaasti. Osa näkyy kuvassa 10.



Kuva 10. Pallonivelen tilalle suunniteltu uusi osa.

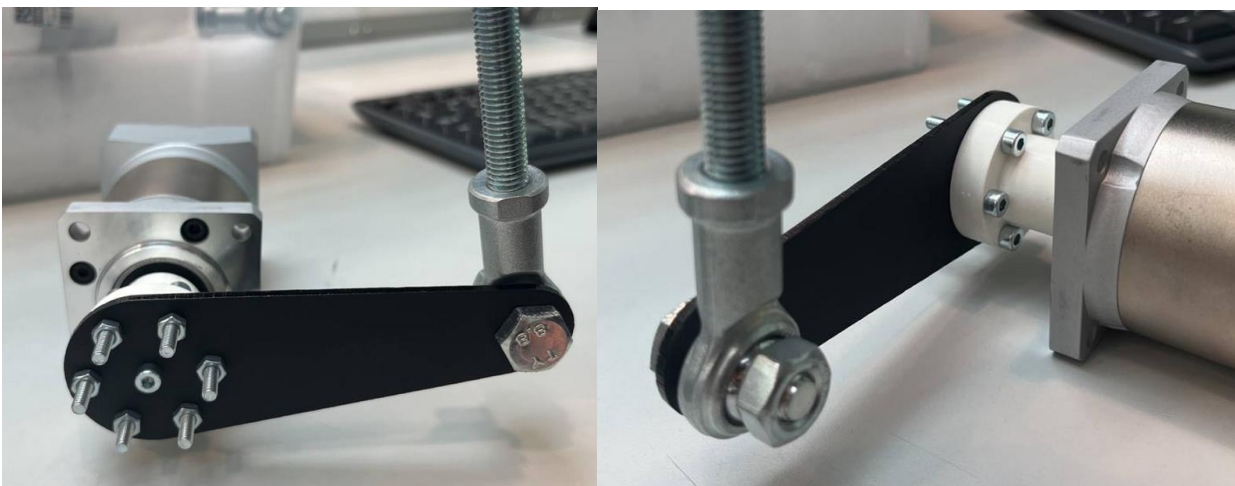
Keskitolppa kiinnitetään alustaan myös kuvan 6 kaltaisen akselilaipan avulla, jolloin se on helppo pultata tukevasti kiinni. Itse keskitolppa tehdään 12mm kierretangosta, joka kiinnittyy ylätasoon myös kuvan 7 mukaisen U-nivelen avulla. Kaikkiin kolmeen U-niveleen porataan kierteet, jolloin ne on helppo kiinnittää kierretankoihin ja ylätasoon pulteilla. U-nivelet mahdollistavat tason riittävän kääntymisen. Keskitolpan kiinnitystä esitellään tarkemmin alaluvussa “Keskitolpan ja keskitason kiinnitys”.

Kolmen samanlaisen U-nivelen käytöllä on myös muita etuja. Koska ylätaso kiinnitetään U-jointin päälle noin sentin korkeudelle nivelen kääntyvästä kohdasta, ylätaso kokee pientä heiluntaa pelkän kierron lisäksi. Jotta tämä heilunta ei vääntäisi tai rasittaisi osia, myös tukivarsien kiinnitys tehdään täysin samoilla U-nivelillä, jolloin nivelten kääntyvät kohdat muodostavat heilumattoman tason. Tämä noin sentin heitto nivelten kääntymiskohdan ja ylätason korkeuden välillä on piirretty myös kuvaan 4.

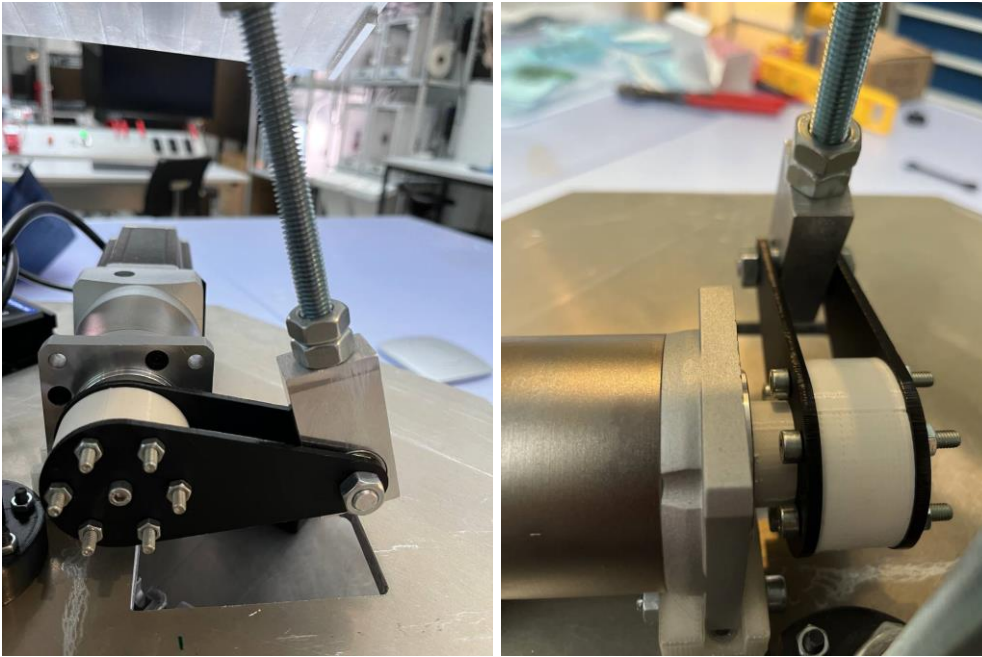
Yhteenliitettyjen osien kuvia nähdään seuraavassa alaluvussa 3.1.3: Osien kiinnitys.

3.1.3. Osien kiinnitys

Laippaan valitut mitat osoittautuivat erittäin sopiviksi. Se sopii vaihdelaatikon akseliin lähes täydellisesti, eikä akselin pyöriessä synny juuri ollenkaan klappia. Kampi kiinnitettiin laippaan 4mm pulttien avulla. Jotta laippa ja kampi eivät irtoaisi vaihdelaatikosta, on ne kiinnitetty vielä yhdellä pultilla vaihdelaatikkoon kiinni. (kuvassa 11 keskimmäinen pultti).



Kuva 11: Vanha tukivarren kiinnitysmekanismi.



Kuva 12: Lopullinen, paranneltu kiinnitysmekanismi jossa kaikki osat ovat itse suunniteltu ja valmistettu

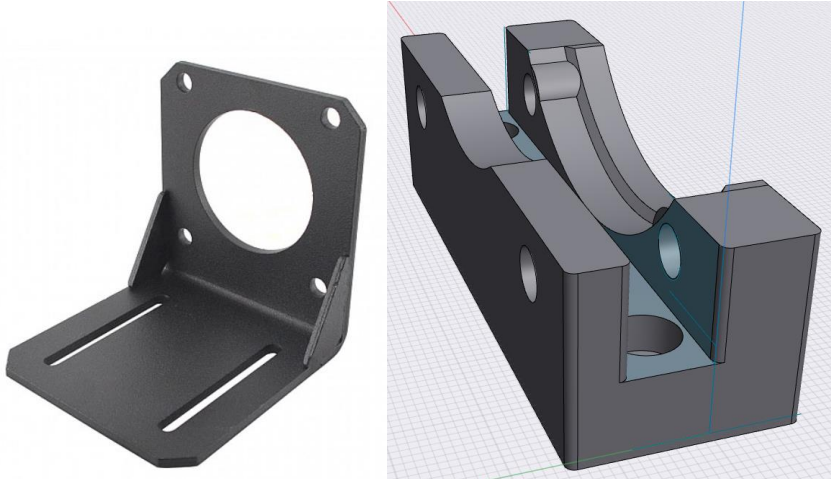


Kuva 13: U-jointiin ajetut urat ja se kiinnitettynä kierretankoon.

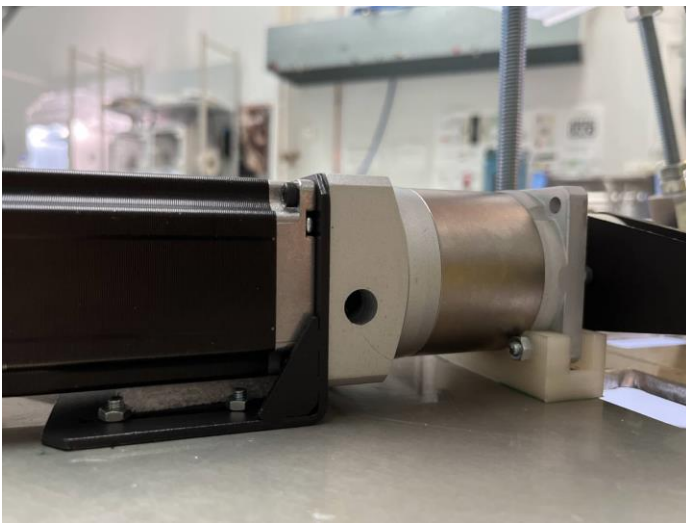
3.1.4. Moottoreiden ja vaihdelaatikoiden kiinnitys keskitasoon

Stepper-moottorit kiinnitettiin tasoon Stepperonlinesta tilattujen L-tukien avulla. Tähän L-tukeen kiinnitettynä moottori ja vaihdelaatikko eivät kuitenkaan lepää tasolla vaan ne ovat noin sentin korkeudella ilmassa. Moottorien aiheuttaman väännön seurauksena tämä kiinnitys ei ole riittävä, sillä moottori ja vaihdelaatikko pääsevät hieman kääntymään tasoa liikuteltaessa. Päätimme tehdä

itse vaihdelaatikolle vielä oman lisätuen, jolloin moottorit olivat tiukasti kiinnitettynä tasoon.



Kuva 14: Stepper-moottoreiden L-tuki ja itse tehty vaihdelaatikon tuki 3D-mallinnettuna.



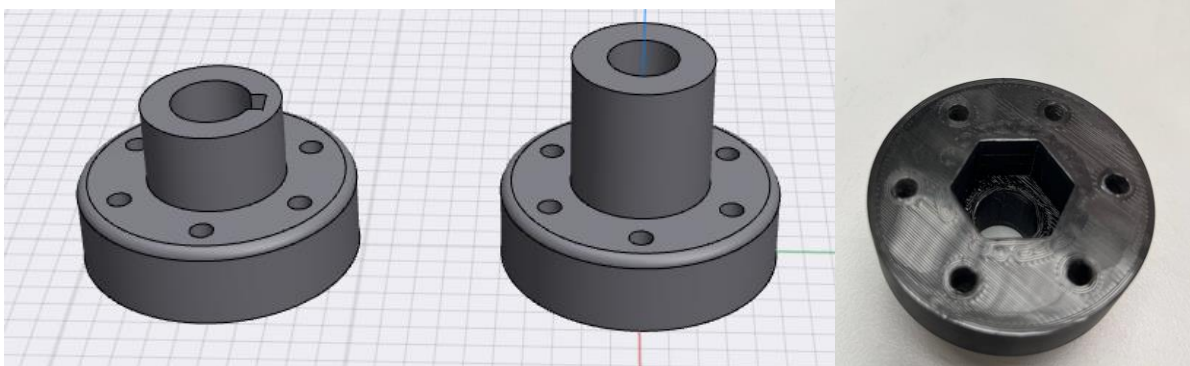
Kuva 15: Stepper-moottori ja vaihdelaatikko kiinnitettynä keskitasoon.

3.1.5. Keskitolpan ja keskitason kiinnitys

Keskitolppa tehtiin 12 mm kierretangosta ja se kiinnitettiin keskimmäiseen tasoon saman tyylisellä laipalla kuin mitä käytettiin kampien kiinnityksessä vaihdelaatikkoon. Laipasta tehtiin isompi tukevan kiinnityksen takaamiseksi ja sen pohjaan tehtiin 12 mm pultille kolo, jotta kierretangon pystyisi kiristämään paikoilleen sekä ylä- että alapuolelta. Tämä on esitetty kuvassa 16. Tämän laipan halkaisija on 50 mm ja sen korkeus on 40 mm.

Keskitaso saadaan kiinnitettyä sitä pyörittävän moottorin vaihdelaatikon akseliin vastaavalla tavalla kuin miten kammet kiinnitettiin niitä pyörittäviin moottoreihin. Molemmat laipoista suunniteltiin niin, että ne keskitaso saadaan pultattua niiden väliin kiinni. Laipat on esitetty kuvassa 16 ja lopullinen kiinnitys kuvassa 17.

Koska keskitasoa ei ole pultattu itse vaihdelaatikkoon kiinni, vaan taso lepää vaihdelaatikon päällä omalla painollaan, saa sen myös helposti irti nostamalla se vain ylös. Tällöin laitteen alatasoon on helppo päästä käsiksi ja tarvittavat muutokset esim. siellä säilytettävään elektroniikkaan on helppo tehdä myös laitteen kasaamisen jälkeen.



Kuva 16: Laipat, joiden avulla vaihdelaatikon akseli ja keskitolppa kiinnitettiin keskitasoon. Vasemmanpuoleinen laippa kiinnitettiin moottorin vaihdelaatikon akseliin ja keskimmäinen keskitolppaan. Oikeanpuoleisin kuva on keskitolpan laippa kuvattuna alhaalta.



Kuva 17: Keskitason ja keskitolpan lopullinen kiinnitys

3.1.6. Levyjen valmistus

Laitteen alin ja keskimmäinen taso valmistettiin 8mm alumiinilevystä. Levyjen työstössä käytettiin monenlaisia menetelmiä ja työkaluja, kuten vannesahaa, pylväsporakonetta, jysintä, käsisirkkeliä ja pistosahaa.

Alkuperäinen levy oli kooltaan 100x60 senttiä, eikä sen leikkaus vannesahalla ollut mahdollista. Niinpä leikkaukseen käytettiin käsisirkkeliä. Levyt leikattiin tämän jälkeen karkeasti oikeaan muotoon vannesahalla. Lopulta karkeasti leikatut levyt jysyttiin täsmälleen samaan muotoon, mikä on esitetty kuvassa 18. Lopuksi levyihin porattiin tarvittavat reiät pylväsporakoneella, ja pistosahalla leikattiin kolot johdoille ja kampia varten.

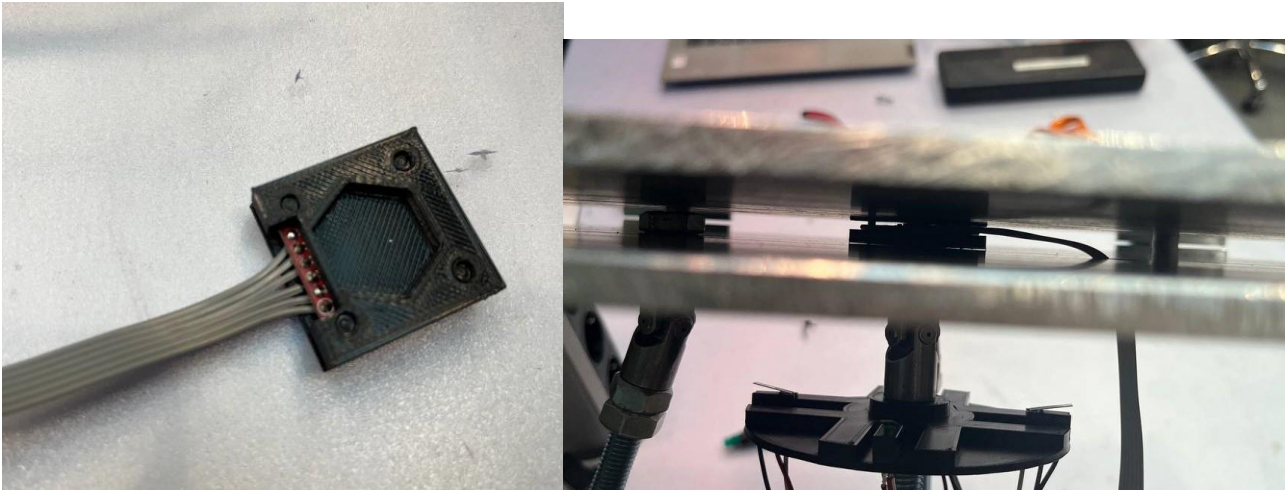


Kuva 18. Alumiinilevyjen reunojen jysyntä tasaiseksi.

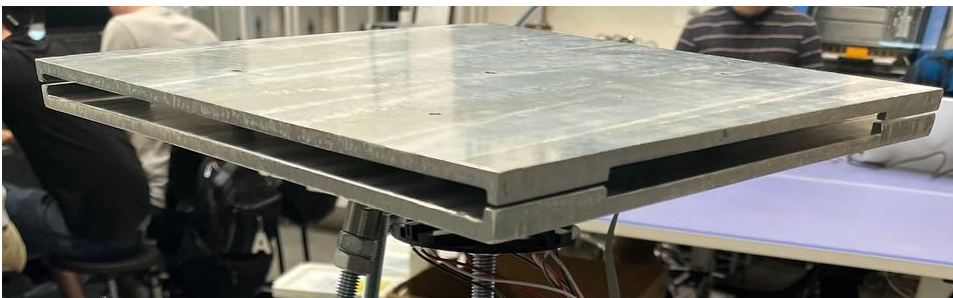
3.1.7. Ylätaso ja 9DoF anturi

Laitteen ylin taso on 30 x 30 cm kokoinen alumiinista valmistettu taso. Se koostuu kahdesta alumiinilevystä, jotta niiden väliin voidaan asentaa 9dof anturi sekä piilottaa mutterit, joilla keskitolppa ja X- ja Y-varret on kiinnitetty. 9dof anturi sijoitettiin keskelle tasoa, keskitolpan mutterin päälle. Keskitolpan mutterin pää hiottiin matalammaksi, jotta anturi mahtuisi sen päälle, eikä ylätasosta tarvitsisi tehdä tämän takia korkeampaa. Anturille 3D printattiin kotelo, joka saadaan asetettua mutterin päälle (Kuva 19). Tämän kotelon korkeus määritteli kuinka lähelle toisiaan levyt kiinnitetään, sillä kotelo jää tukevasti niiden väliin, kuitenkin ilman että levyt puristaisivat sitä ja anturia. Kotelon korkeus oli 9 mm.

Ylätason alumiinilevyihin porattiin reiät ja niihin ajettiin kierteet 5 mm pulteille, joilla levyt kiinnitettiin. Levyjen väliin asetettiin muttereihin priikkoja, jolloin saatiin levyt 9 mm päähän toisistaan ja kuitenkin kiristettyä ne tiukasti yhteen. Alempaan alumiinilevyyn porattiin reikä anturin johdoille. Levyt näkyvät kiinnitettynä kuvassa 20.



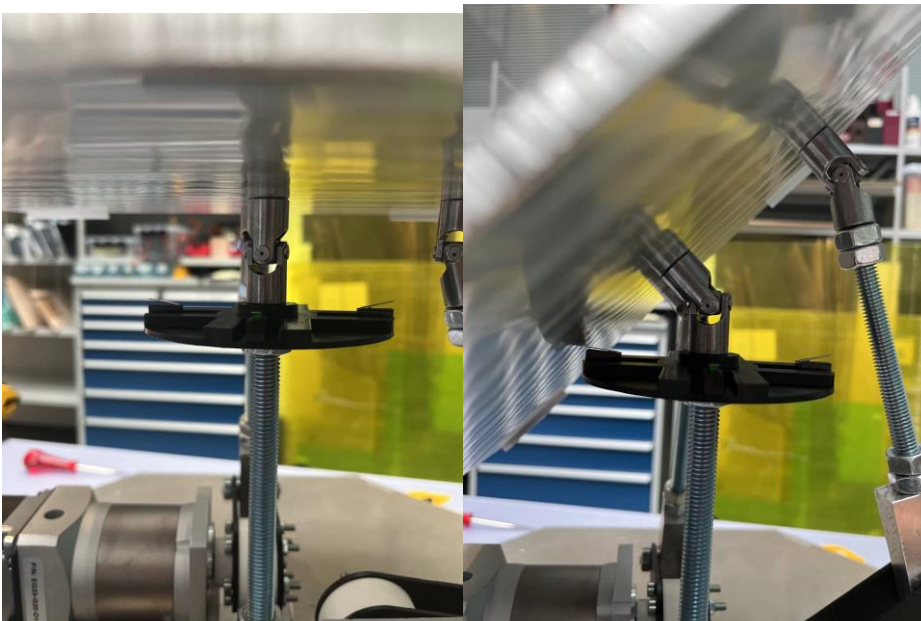
Kuva 19. 9dof anturi kotelossaan ja paikoillaan alumiinilevyjen välissä.



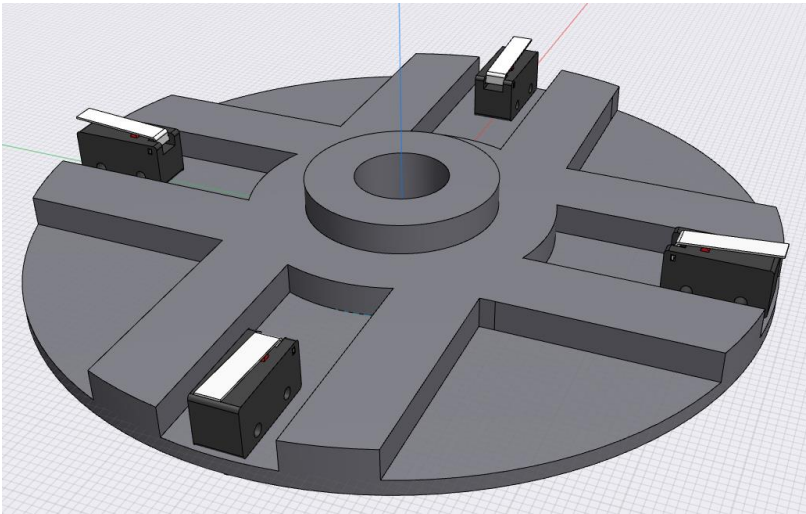
Kuva 20. Valmis ylätaso.

3.1.8. Xy-tason rajakytkimet

Suunnittelimme ja 3D tulostimme näille rajakytkimille oman tason, joka kiinnitetään keskitolpan u-jointin alapuolelle. Rajakytkinten tarkka etäisyys heti u-jointin alapuolella keskitolpan keskipisteestä on 48,23 mm. Tässä pisteessä ylätaso on kääntynyt 45 astetta ja naksauttaa rajakytkimen.



Kuva 21: Rajakytkimet tason ollessa suorassa sekä 45 asteen kulmassa, jolloin rajakytkin naksahtaa

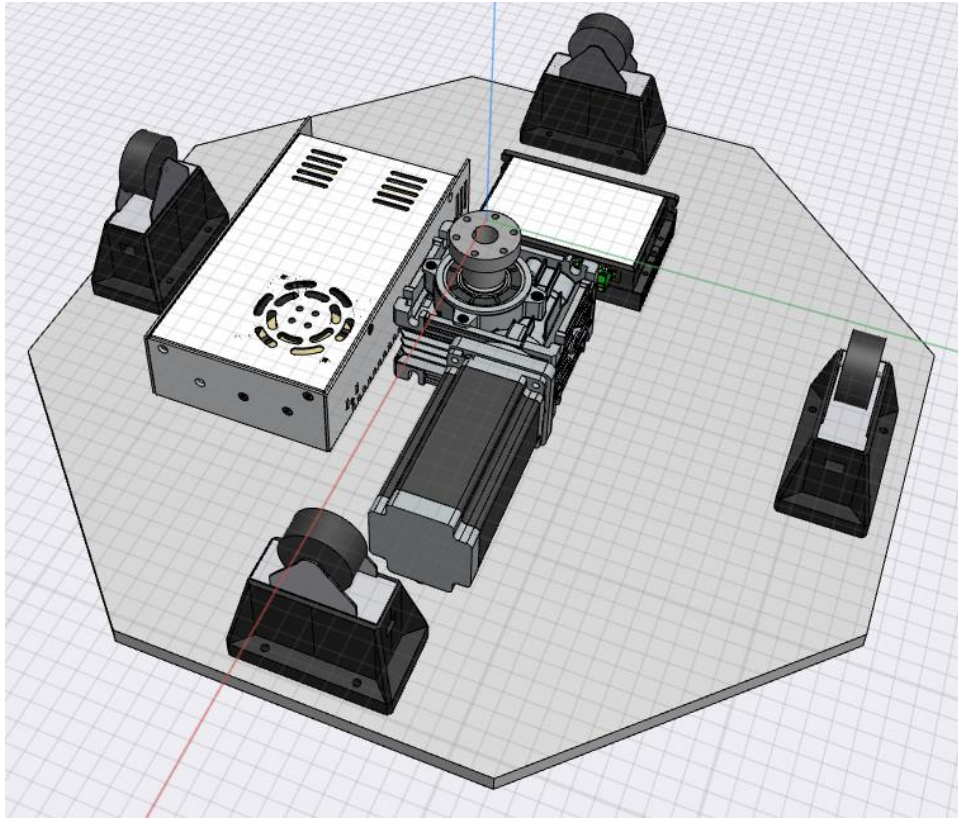


Kuva 22: Rajakytkinten taso 3D mallinnettuna

3.2. Laitteen alaosa ja z-akselin suuntainen kierto

Z-akselin suuntainen kierto toteutetaan siis pyörittämällä koko yläosaa, koska totesimme sen olevan yksinkertaisin ja vakain tapa. Pyöriytykseen käytetään samanlaista NEMA23 moottoria ja 15:1 välityssuhteen vaihdelaatikkoa, joka kääntää pyörimissuunnan pystysuuntaiseksi. Vaihdelaatikosta lähtevä akseli pultataan keskimmäiseen tasoon kahden akselilaipan avulla jotka oli esitetty aikaisemmin kuvassa 16. Jotta koko yläosan paino ei kohdistuisi vaihdelaatikkoon ja keskiakseliin, alatason reunoille asetetaan renkaat.

Lisäksi laitteen alaosassa säilytetään virtalähdettä, kolmatta moottorinohjainta, PCB:tä ja suurinta osaa elektroniikasta. Näin ollen laitteen pyöriville osille tarvitsee viedä mahdollisimman vähän johtoja. Kuvassa 23 on pelkkä laitteen alataso.

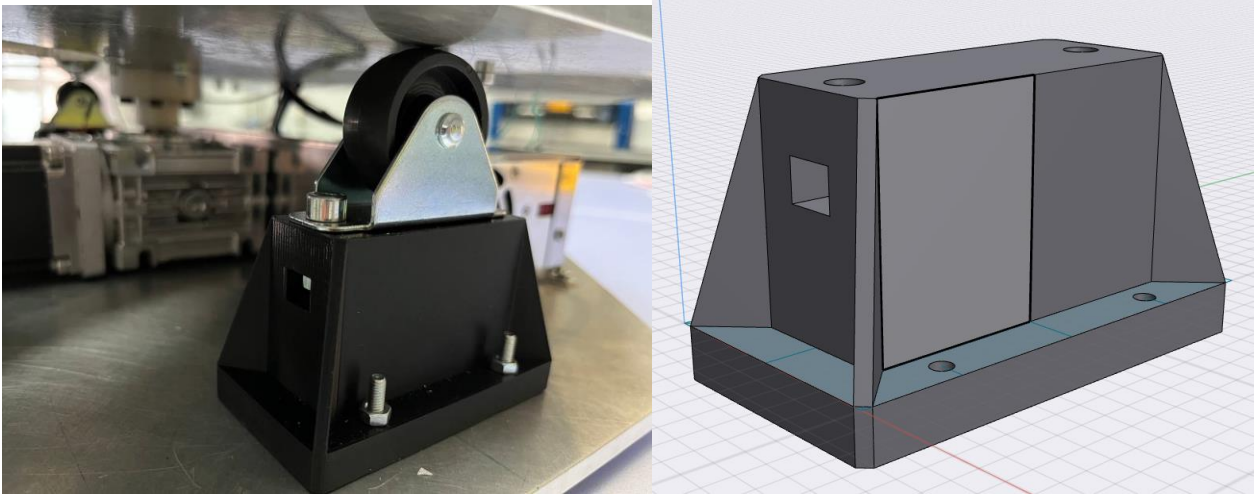


Kuva 23: Alin taso 3D-mallinnettuna

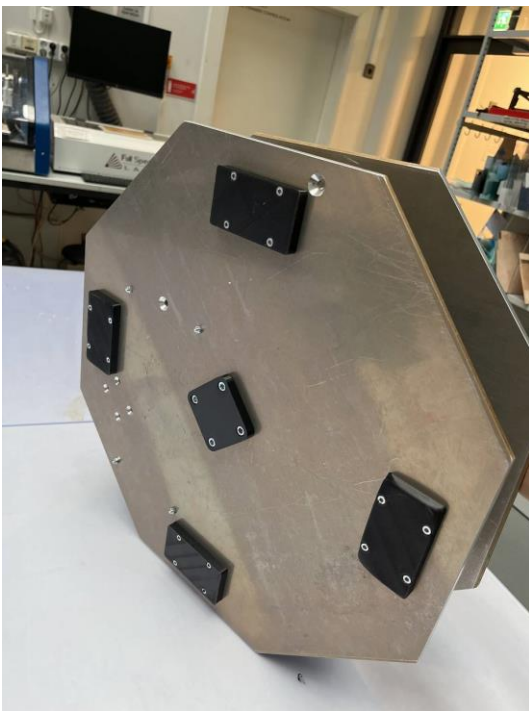
3.2.1. Pyörät ja niiden tuet

Keskitason tukena käytetyiksi pyöriksi valikoituivat pitkän mietinnän jälkeen Clas Ohlsonin 2,45€ 40 mm halkaisijan huonekalupyörät. Kukin pyöristä kestää 40kg painon, joten ne kestävät lopullisen laitteen painon sekä siihen 20 kg:n kuorman. Suunnittelimme pyörille 53 mm korkeat tuet, jolloin ne ovat samassa tasossa vaihdelaatikon akselin kanssa, ja paino jakautuu kaikille neljälle pyörille sekä akselille tasaisesti. Nämä pyörät osoittautuivat erittäin toimiviksi ja keskitaso lepää niiden päällä täysin vaaterissa. Lopullinen tulos on esitetty kuvassa 24.

Teimme alimmalle tasolle vielä pohjatassut 3D printtaamalla, joiden päällä laite lepää. Niitä on viisi kappaletta, joista neljä on kiinnitetty pyörien tukiin ja viimeinen laitteen keskelle z-suuntaisen kierron hoitavan vaihdelaatikkoon kiinnitettynä. Pohjatassut näkyvät kuvassa 25.



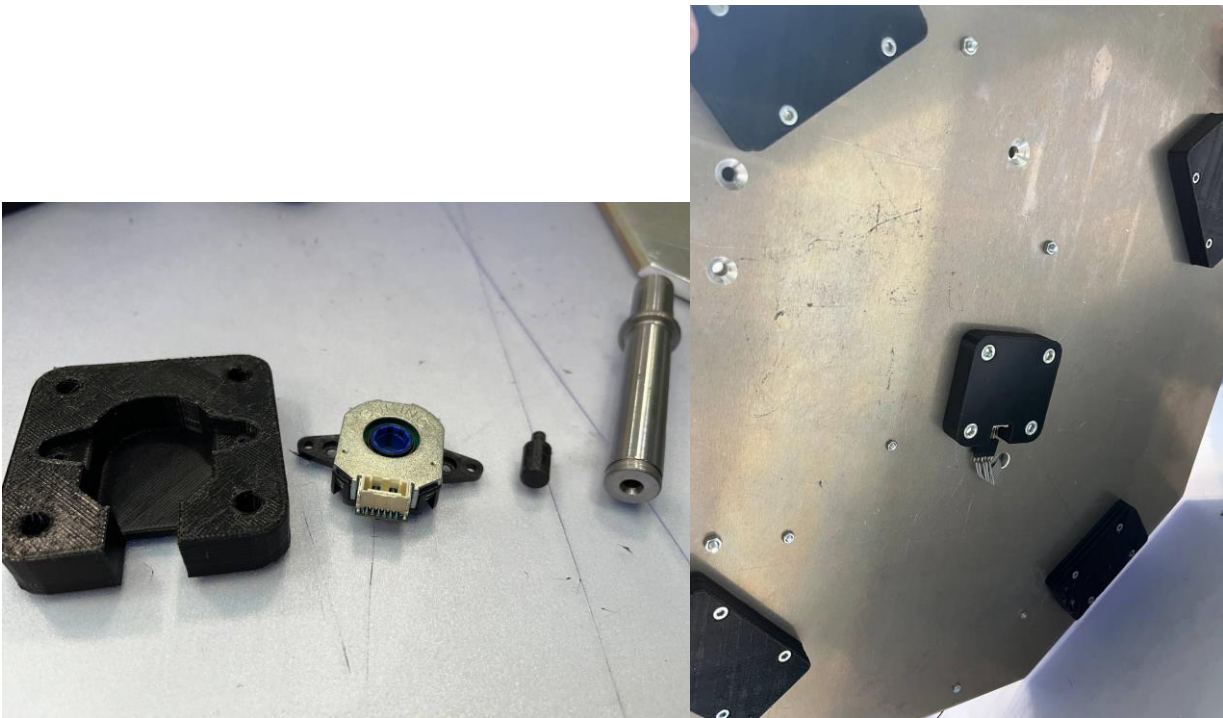
Kuva 24: Keskitasoa tukeva pyörä sille valmistetun tukensa päällä ja tuki 3D mallinnettuna.



Kuva 25: Alimman tason pohjatassut, joiden päällä laite lepää.

3.3. Z-akselin encoder

Alinta tasoa pyörittävässä NEMA23 moottorissa ei ollut sisäänrakennettua encodera, joten tilasimme siihen AMT223A-V encoderin. Kyseisen moottorin vaihdelaatikon akselin halkaisija oli kuitenkin liian iso tälle encoderille, minkä takia 3D printtasimme yksinkertaisen, halkaisijaltaan 6 mm olevan tapin, joka kiinnitettiin akselin alapäähän. Kiinnitimme encoderin laitteen alimman tason pohjaan, jossa se oli keskimmäisen pohjatassun sisällä suojassa (esitetty kuvassa 26). Kuvassa 25 ei näy encodera, sillä siinä on ensimmäinen versio keskimmäisestä pohjatassusta, johon ei vielä oltu tehty encoderille paikkaa. Alimpaan tasoon porattiin reikä, josta encoderin johdot vedettiin kiinni PCB:een.



Kuva 26: Vasemmalla: Encoder ja sille 3D printattu pohjatassu, sekä akseli johon encoder kiinnitettiin 3D printatun tapin avulla. Oikealla: Pohjatassut ja encoder kiinnitettynä paikoilleen.

4. Ohjelmointi

Ohjelma saa komentoja ROS:lta (Robot Operating System) serial-portin kautta. Ohjelma tarkastaa, onko annettu syöte jokin määritellyistä syötteistä. Määriteltyjä syötteitä on neljä kappaletta: "-h" komento, "Enable" ja "Disable" komennot sekä liikekomento.

Kun syöte ei ole mikään edellä mainituista, ohjelma yrittää muodostaa liikekomentoa. Komento annetaan kulmina asteina ja kolmea kulmaa erottaa pilkku. Desimaalimerkkinä toimii pilkku. Ohjelma pyöristää kulman lähimpään askeleeseen.

Moottorien ohjaus ja liikkeen laskenta tapahtuu vertaamalla laitteen kulmaa haluttuun kulmaan ja käyttämällä moottorin vaihdelaatikon suhdelukua.

Moottorien pyöriessä sekunnin välein ohjelma ottaa vastaan tietoa laitteen X ja Y ja Z kulmista ICM-20948-anturilta ja lähettää ne sitten ROS:lle.

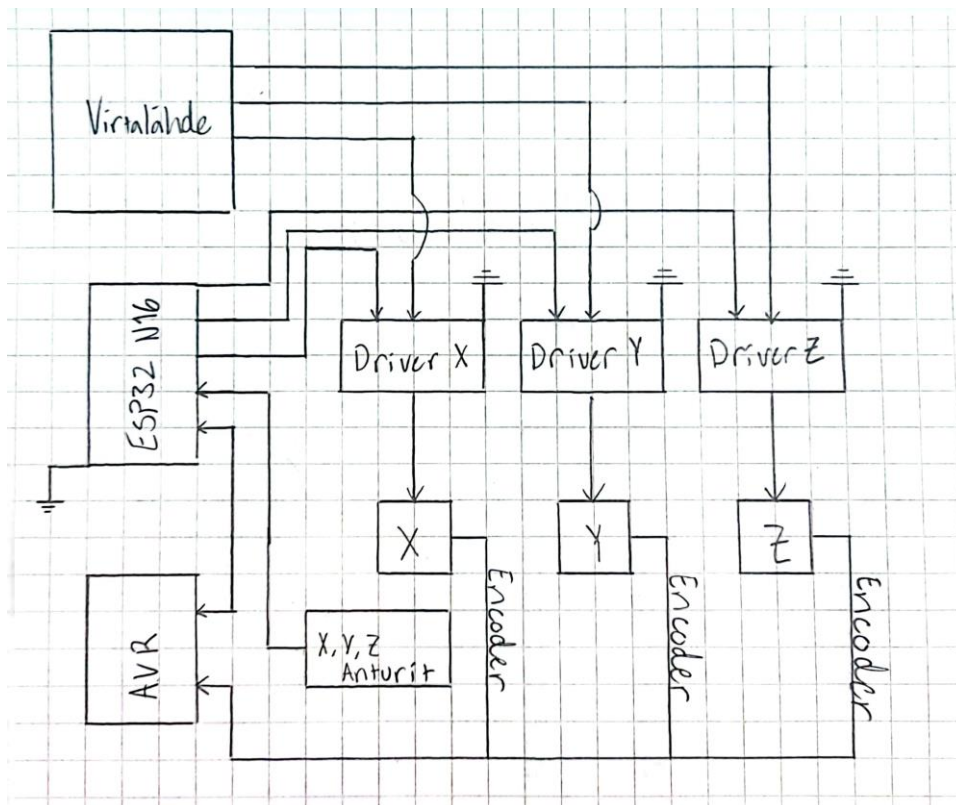
Kun moottorit ovat liikkuneet haluttuihin paikkoihin, ohjelma tallentaa paikan Preferences-kirjaston avulla, jotta nykyinen kulma löytyy muistista, vaikka laite olisi sammuneena komentojen välissä.

Ohjelma odottaa uutta syötettä while-silmukassa ja lähettää samalla sekunnin välein tietoa laitteen kulmista ROS:lle.

Huomionarvoista on, että ohjelmoinnista vastuussa ollut henkilö ei ole saanut koodia valmiiksi, eikä testannut sen toimivuutta lainkaan. Yhteydenpidon kanssa oli haasteita, eikä ryhmällä ollut kurssin edetessä kunnollista tilannekuvaa ohjelmoinnin etenemisestä. Näin ollen vaikka laitteisto mahdollistaa työn tavoitteiden saavuttamisen, laite ei liiku tällä hetkellä.

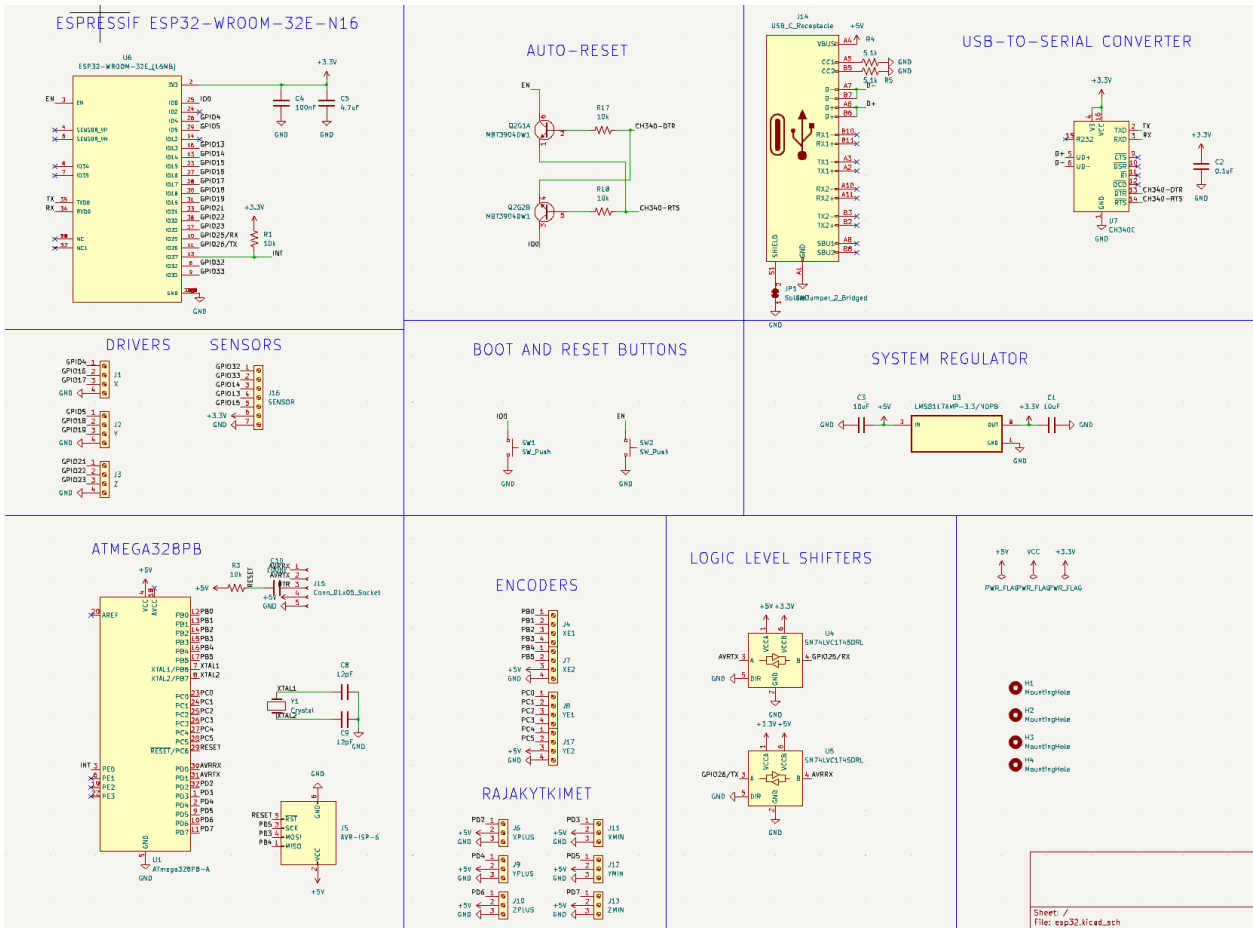
5. PCB

Prototyypissä käytetään PCB:tä, joka on suunniteltu itse käyttäen KiCad-ohjelmistoa. Suunniteltu versio perustuu lohkokaavioon prototyypin vaatimista komponenteista ja kytköksistä.

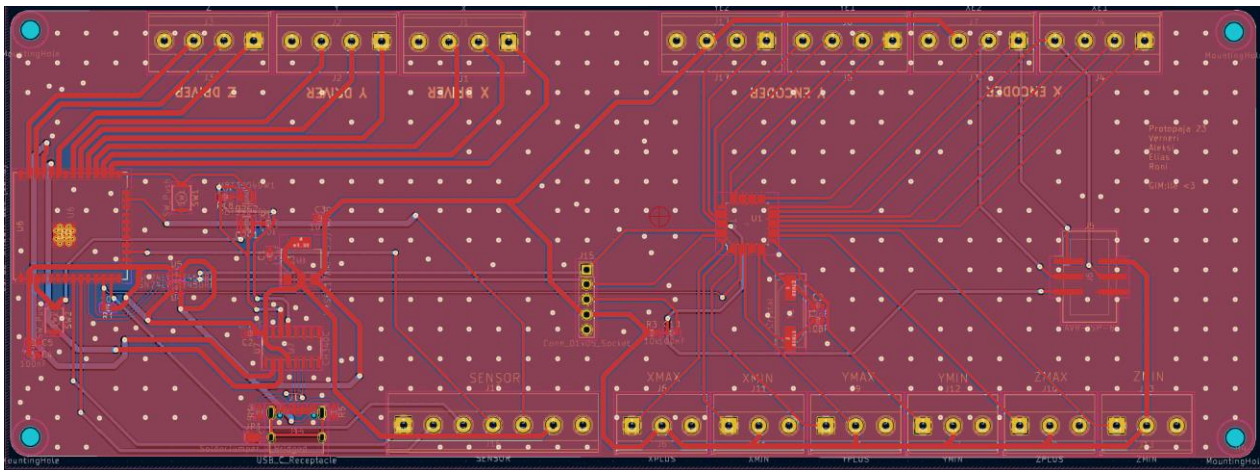


Kuva 27: Lohkokaavio

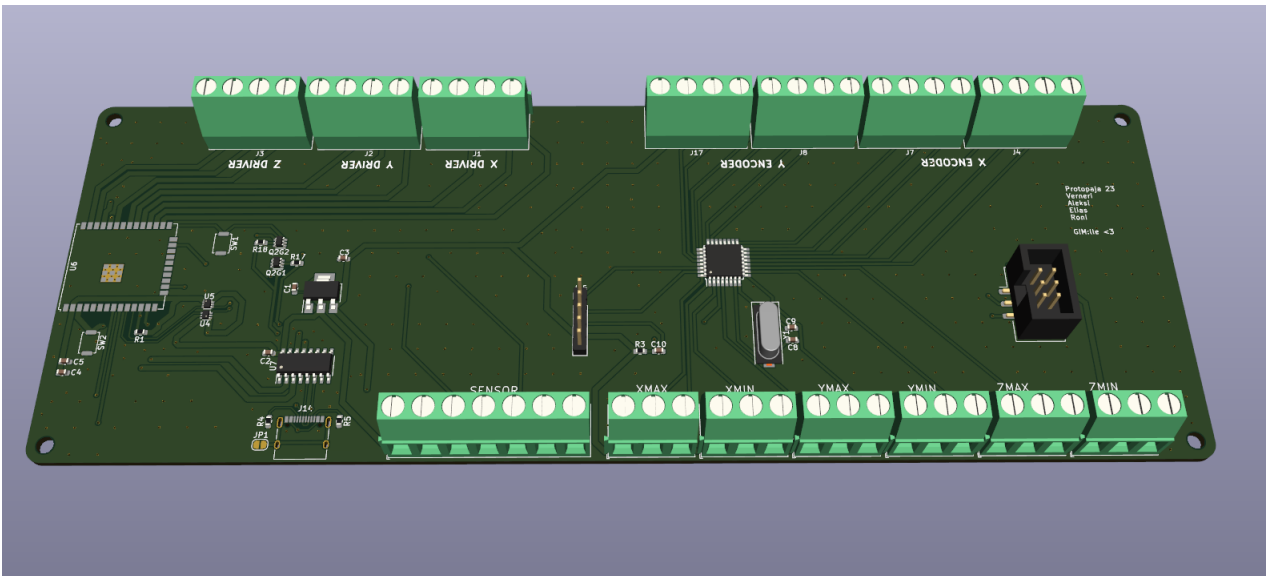
Käytämme ESP32-WROOM-32E-N16 -moduulia ohjaamaan steppereitä microstep driverin kautta sekä vastaanottamaan dataa 9dof-anturilta ja Z-kierroksen magneettiselta encoderilta. Z-kierroksen encoder ja 9dof-anturi ovat SPI-kytkennällä yhteydessä ESP32-moduuliin. Lisäksi ESP32-moduuli on UART-sillan kautta yhteydessä ATmega328PB-moduuliin, joka toimii GPIO-expanderina, millä vastaanotamme dataa X- ja Y-kierroksien magneettisilta encodereilta ja rajakytkimiltä. PCB on USB-C -kytköksen kautta yhteydessä tietokoneeseen, jolla sitä voidaan ohjata ja ohjelmointi voidaan alustaa. PCB-scheman ja designin jälkeen PCB tilattiin valmiiksi koottuna JLCPCB-sivustolta, tosin jotkin komponentit, kuten ESP32-moduuli, crystal ja IDC-header ovat itse käsin kolvattuja.



Kuva 28: PCB-schema



Kuva 29: PCB komponenttien asettelu



Kuva 30: PCB:n 3D-mallinnus

6. Yhteenveto ja johtopäätökset

Yhteenvetona prototyypistä voidaan todeta, että laite oli kokonaisuudessaan hyvin mekaaninen ja sen valmistamisessa tarvittiin paljon fyysisten osien suunnittelua ja rakentamista eri materiaaleista monenlaisia työkaluja käyttäen. Fyysisen laitteen osalta kurssin aikana päästiin opettelemaan mm. 3D-mallinnusohjelman käyttöä, 3D-tulostusta, laserleikkausta, metallintyöstöä ja sähkötyökalujen käyttöä. PCB:n valmistamisen aikana opittiin paljon KiCadin käytöstä, sekä piirilevyn päälle asetettavista komponenteista, niiden tilaamisesta ja niiden kiinnitystavoista, kuten kolvaamisesta ja reflow uunin käytöstä.

Fyysinen laite täyttää kurssin alussa sille asetetut tavoitteet. Ohjelmoinnin toimivuudesta ei sen sijaan ole tietoa, mutta olemassa olevaa koodia pystytään mahdollisesti käyttämään pohjana kun laite halutaan saada liikkeelle.