



Mobiilirobotin laatikonvaihtojärjestelmän kehittäminen ja mahdolliset sovellukset

Jyri Mononen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

MONONEN, JYRI

Mobiilirobotin laatikonvaihtojärjestelmän kehittäminen ja mahdolliset sovellukset

Opinnäytetyö 58 sivua, joista liitteitä 16 sivua
Toukokuu 2024

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan laatikonvaihtojärjestelmä Omron LD-90 -mobiilirobotille, sekä pohditaan mahdollisia sovelluksia kyseiselle järjestelmälle. Työn tilaajana toimi Tampereen Ammattikorkeakoulu.

Opinnäytetyön teoriaosa käsittelee teknistä suunnittelutyötä, jota hyödynnettiin suunnitelman pohjana. Työssä esitellään laatikonvaihtojärjestelmän toteuttaminen nostolaitteen mekaanisen suunnittelun, ohjauksen sekä ohjelmoinnin osalta. Järjestelmää varten suunniteltiin myös teline, johon laatikko vaihdetaan. Työssä perehdytään myös laatikonvaihtojärjestelmän mahdollisiin sovelluksiin ja laatikon tunnistamiseen liittyvään ratkaisuun.

Lopputuloksena on suunnitelma, joka täytti työn tilaajan mukaan sille asetetut tavoitteet. Työn pohjalta Tampereen ammattikorkeakoulu voi toteuttaa laatikonvaihtojärjestelmän ja tarpeen tullen kehittää sitä niin, että sitä voidaan hyödyntää sisälogistiikan opettamisessa, sekä käyttää näytösmielessä esimerkiksi mesuilla.

Asiasanat: tekninen suunnitteluprosessi, tuotekehitys, mobiilirobotti

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

MONONEN, JYRI

Development and Possible Applications of the Mobile Robot's Box Exchange System

Bachelor's thesis 58 pages, appendices 16 pages
May 2024

The purpose of the thesis was to create a box exchange system for the Omron LD-90 mobile robot. The work was ordered by Tampere University of Applied Sciences. The goal of this thesis was to design a box exchange system that can be used to teach intralogistics and showcase it at different events.

The theory part of the work deals with technical design work, which was used as a basis for the design. The thesis examines the implementation of the box exchange system in terms of mechanical design, control, and programming of the lifting device. A rack was also designed for the system, to which the box can be changed. The work also explores potential applications of the box exchange system and solutions related to box identification.

The goals of this study were met. Based on this work, Tampere University of Applied Sciences can implement a box exchange system and if necessary, develop it further so that it corresponds to their planned use.

Key words: technical design work, product development, AMRs

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TEKNINEN SUUNNITTELUPROSESSI	6
3	MOBIILIROBOTTI.....	8
4	LAATIKONVAIHTOJÄRJESTELMÄ.....	10
5	TELINE	13
6	NOSTOLAITE	16
	6.1 Nostolaitteen kotelo.....	18
	6.2 Nostotaso, kiinnikkeet ja pohja.....	19
	6.3 Askelmoottori, askelmoottorintaso ja ohjuri.....	21
	6.4 Sakset, akselit ja pyörät	23
	6.5 Nostolaitteen kokoonpano.....	25
7	NOSTOLAITTEEN JA ROBOTIN OHJAUS	29
	7.1 Nostolaitteen ohjaus.....	29
	7.1.1 Kytkentä	32
	7.2 Askelmoottorin ohjauksen ohjelma.....	33
	7.3 LD-90-mobiilirobotin ohjaus	34
8	LAATIKON TUNNISTAMINEN.....	37
9	MAHDOLLISET SOVELLUKSET	38
10	POHDINTA	39
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET	43
	Liite 1. Teline	43
	Liite 2. Kotelo	44
	Liite 3. Nostotaso	45
	Liite 4. Nostotason kiinnike	46
	Liite 5. Pohja	47
	Liite 8. Saksen levy	50
	Liite 9. Akseli 1.....	51
	Liite 10. Akseli 2.....	52
	Liite 11. Akseli 3.....	53
	Liite 12. Digital I/O taulukko	54
	Liite 13. User Power taulukko	55
	Liite 14. Aux power taulukko	56
	Liite 15. Kytkentäkaavio	57
	Liite 16. Arduino koodi	58

1 JOHDANTO

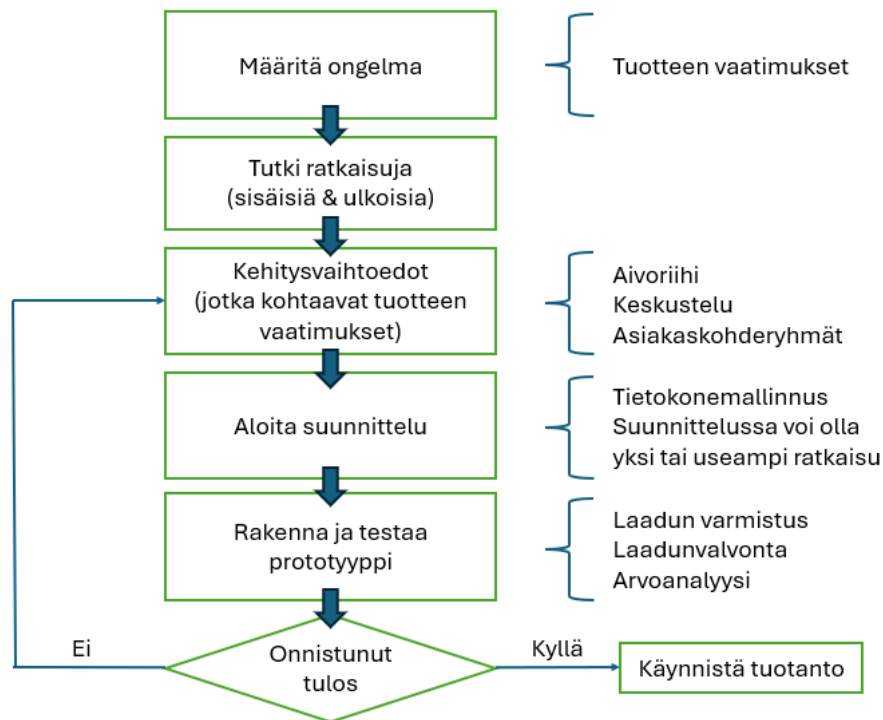
Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda laatikonvaihtojärjestelmä mobiilirobotille. Työn tilaajana toimi Tampereen ammattikorkeakoulu. Alustavasti järjestelmä oli tarkoitus toteuttaa käytännössä, mutta opinnäytetyön puolivälissä sovimme työn tilaajan kanssa, että järjestelmän suunnittelu riittää tilaajalle. Työn lopullisena tavoitteena oli suunnitella toimiva sovellus, jota voidaan hyödyntää koulun sisälogistiikan opetuksessa, sekä käyttää esittelytarkoituksessa esimerkiksi messuille.

Aluksi opinnäytetyössä esitellään teknistä tuotekehitysprosessia, jota hyödynsin nostolaitteen suunnittelua tehdessä. Sen jälkeen käydään läpi lyhyesti mobiilirobotin käyttötarkoituksia, sekä perehdytään LD-90 ominaisuuksiin. Järjestelmän kehittämisen kuvaus alkaa olemassa oleviin ratkaisuihin perehtymisellä ja telineen suunnittelulla, jonka jälkeen esitetään nostolaitteen mekaaninen suunnittelu osa kerrallaan. Tämän jälkeen käydään läpi nostolaitteen ohjaukseen liittyvät komponentit ja kytkennät. Seuraavaksi laaditaan nostolaitetta ohjaavan mikrokontrollerin ohjelmointi sekä robotin ohjaus. Lopuksi kuvataan laatikonvaihtojärjestelmän käyttöön soveltuvia sovelluksia, sekä laatikon tunnistamiseen liittyvä ratkaisu.

2 TEKINEN SUUNNITTELUPROSESSI

Tuotekehitys on prosessi, jossa koettu tuotteen tarve johtaa vaatimusten määrittelyyn, joka muunnetaan suunnitteluksi. Vaatimusten määritelmä johdetaan suoraan markkinoiden tarpeista ja tuotteen valmistuksen rajoituksista. (Kapur. 2014. luku 6.)

Yksi ensimmäisistä askeleista tuotekehityksessä on prosessi, jossa laajat tavoitteet ja epämääräiset konseptit muunnetaan toteuttavaksi, konkreettisiksi vaatimuksiksi. (Kapur. 2014. 6.1.) Kuviossa 1 on havainnollistettu tekninen suunnitteluprosessi. Tuotekehitys alkaa **ongelman määrittelyllä**, sekä sen vaatimuksilla ja rajoitteilla. Kun ongelma on määritelty, asetetaan kehitettävälle tuotteelle vaatimukset. Esimerkkejä vaatimuksista ja rajoitteista voivat olla mm. Koko, paino, toiminnallisuus, suorituskyky, käyttöympäristö, luotettavuus, hinta ja turvallisuus.



KUVIO 1. Tekninen suunnitteluprosessi (Tennah, D. 2022. luku 3.2)

Kaksi yleistä riskiä vaatimusten ja rajoitusten määrittelyssä ovat epäolennaisten vaatimusten sisällyttäminen ja asiaankuuluvien vaatimusten poisjättäminen. Epä-

olennaisten vaatimusten sisällyttäminen voi vaatia tarpeetonta suunnittelu- ja testausaikaa sekä rahaa. Kriittisten vaatimusten pois jättäminen voi heikentää merkittävästi tuotteen tehokkuutta. (Kapur. 2014. luku 6.6.)

Kun tuotteelle on määritelty sen vaatimukset ja mahdolliset rajoitteet, alkaa **ratkaisujen etsintä**. Tässä kohdassa suunnittelija selvittää, millaiset toteutukset voisivat toimia tuotteelle määriteltyjen vaatimusten mukaan. Suunnittelija perehtyy myös materiaalivalintoihin sekä komponentteihin, joita tuotteen valmistukseen tarvitaan. (Tennah. 2022. luku 3.2)

Kohdassa **kehitysvaihtoehdot** valitaan sopivin ratkaisu tuotteen toteutukselle. Ratkaisujen etsinnän aikana on voinut tulla vastaan useampikin lähestymistapa, jota tuotteen toteutuksessa voitaisiin hyödyntää. (Tennah, 2022. luku 3.2)

Kun sopiva ratkaisu on valittu, alkaa **suunnitteluprosessi**. Tässä vaiheessa luodaan piirustukset, sekä mallinnukset tulevalle tuotteelle. Suunnitteluvaiheessa voi olla tarpeen rakentaa prototyyppi, jotta tuotetta voidaan testata ja arvioida. Näiden testien perusteella tuotteeseen voidaan tehdä muutoksia ennen tuotteen tuotantoon laittamista. Suunnittelupäätökset ovat tasapaino kaikkien vaatimusten välillä tuotteen lopullisten eritelmien mukaisesti. Suunnittelua voidaan säätää kustannusten vähentämiseksi tai sellaisten ominaisuuksien, kuten ergonomian, turvallisuuden, suorituskyvyn, laadun ja luotettavuuden parantamiseksi. (Kapur. 2014. luku 6.1.)

Prototyyppejä voidaan valmistaa useampaa erilaista tietokonemallituksen pohjalta. Testauksen aikana saatujen tulosten pohjalta voidaan todeta, mikä prototyyppi soveltuu kyseiseen tehtävään parhaiten. On mahdollista, että mallia voidaan joutua muokkaamaan tai jalostamaan saatujen tulosten pohjalta (Tennah, D. 2024. 3.2).

Kun lopullinen suunnittelu on testattu ja hyväksytty, voidaan tuotteen valmistus käynnistää. Mikäli tuotteen testauksessa ilmenee, että tuote ei täytä sille asetettuja kriteereitä, palataan projektissa takaisin kehitysvaihtoehtojen pariin.

3 MOBIILIROBOTTI

AMR-robotit (autonomous mobile robot) ovat ketteriä liikkuvia robotteja, jotka ovat varusteltuina erilaisilla kameroilla, antureilla ja tutkilla. Hyödyntäen niiden tekoälyalgoritmeja, robotti osaa navigoida reitin laitoksen tai tehtaan ympäristön mukaan. Mobiilirobotit on suunniteltu suorittamaan toistuvia sekä yksinkertaisia työtehtäviä autonomisesti, jotta työntekijät voivat suorittaa tuottavampaa työtä, ja siten nostaa työn tehokkuutta. Robotit kykenevät suorittamaan yksinkertaisia siirto-, kuljetus- ja reititystöitä yksin tai laivueena, ja ne voidaan jopa valjastaa toimimaan yhdessä yhteistyörobotin kanssa. Robotteihin on saatavilla erilaisia lisäosia, kuten rullakkoja, hissejä, liukuhihnoja ja robottikäsiä. (Omron n.d.)

Omron LD-90 -mobiilirobotti

Omron LD-90 on Omronin valmistama mobiilirobotti. LD-90 kykenee autonomiseen reititykseen, sekä seuraamaan ympäristöään lasereilla, joilla se kartoittaa ympäristönsä. Robotin edestä löytyy yksi turvaskannauslaser, jonka näkökenttä on 270 astetta, sekä alempi skannauslaser, jonka näkökenttä on 126 astetta. Robotin puskurista löytyy kaksi sensoria törmäyksen tunnistamista varten, ja sen takaosassa on kaksi tutkaa, jotka havaitsevat kahden metrin etäisyydellä olevat esteet. Robottiin on myös optio kahdelle sivulaserille, joiden näkökenttä on 270 astetta. Antureiden, tutkien ja sensoreiden sijainnit ovat nähtävissä kuvasta 1.

LD-60, LD-90, LD-60/90 ESD

Operaattori paneeli
Virta ON/OFF, Häätäseis, Jarru, 3,5
tuumainen värinäyttö.

Antenni IEE 802.11 a/b/g/n/ac

Tutka (perä)
Tunnistaa esteet mobiilirobotin takaa
käyttäen kaikuluotainta

Pääliivey (valinnainen)
Tulee aloituspakkauksen mukana.
Ei tarvita rakennettaessa muokattuja
nostotasoja



Valolevy
Tila indikaattori löytyy robotin
molemmilta puolilta.

Turvalaaseri
Turvatason laaseri jota käytetään
jatkuvaan paikantamiseen ja
turvatoimintoihin.

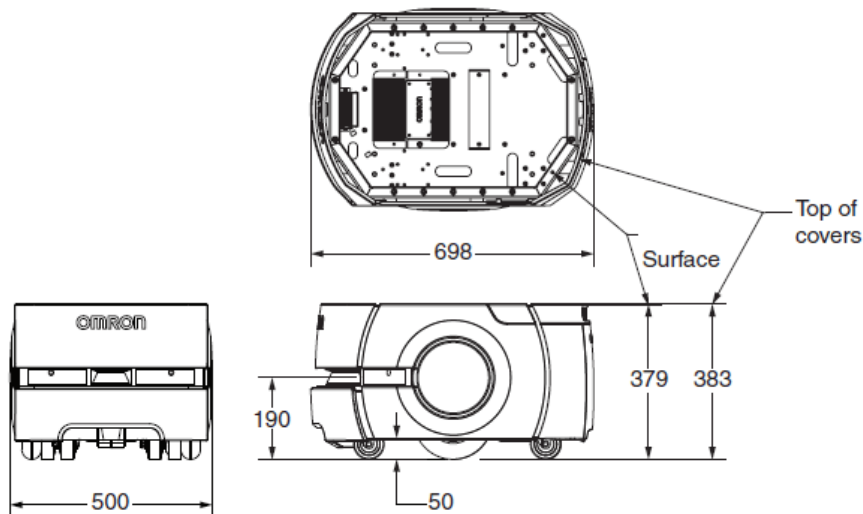
Etulaaseri (matala)
Tunnistaa matalat esteet liikkeessaan eteenpäin

Etupuskuri
Pysäyttää osuessaan esteeseen

KUVA 1. Omron LD-90-mobiilirobotin Komponentit ja funktiot (Omron 2023).

Robotin maksimikuorma on 90 kg, ja se kykenee kulkemaan 1,8 m/s maksiminopeudella. LD-90 korkeus on lattiasta 383 mm, leveys 500 mm ja syvyys 698 mm (Kuva 2). (Omron 2023.)

LD-60, LD-90, LD-60 ESD, and LD-90 ESD



LD-250, LD-250 ESD

KUVA 2. LD-90-mobiilirobotin dimensiot (Omron 2023)

4 LAATIKONVAIHTOJÄRJESTELMÄ

Tuotekehitysprosessi alkaa ongelman määrittämisellä. Aluksi käydään läpi, millaista laatikonvaihtojärjestelmää ollaan toteuttamassa ja mitkä ovat sille asetetut vaatimukset. Kun ongelma ja vaatimukset on määritetty, etenee prosessi ratkaisujen tutkintaan.

Tehtävänantoni oli kehittää laatikonvaihtojärjestelmä kokonaisuutena. Minulle annettiin vapaat kädet järjestelmän suunnittelussa. Järjestelmälle ei asetettu minikäänlaisia vaatimuksia nostokyvyn taikka käytettävien komponenttien suhteen, joten lähdin suunnittelemaan pientavaralle tarkoitettua järjestelmää. Työssä käytettävät materiaalit olisivat pääsääntöisesti muovia tai alumiinia, joita työn tilaajakin suositteli käytettäväksi.

Itse järjestelmän tulisi olla sellainen, jossa robotti noutaa laatikon pisteestä A ja siirtää sen pisteeseen B. Tätä varten täytyy suunnitella teline, josta robotti noutaa laatikon sekä palauttaa sen. Myös robotille oli suunniteltava mekaniikka, jotta laatikko saadaan poimittua robotin matkaan. Lopputuloksena tulisi syntyä järjestelmä, jossa mobiilirobotti osaa hakea laatikon telineeltä, ja viedä sen toiselle telineelle.

Seuraavaksi perehdyttiin olemassa oleviin ratkaisuihin. Teollisuudessa vastaavanlaiset laatikonvaihto-operaatiot on toteutettu niin, että robotti ajaa itsensä liukuhinnan päähän, josta laatikko siirtyy robotin päällä olevalle rullakolle tai kuljetinhihnalle (Kuva 3).



KUVA 3. Kuljetin yläosa (Omron n.d.a. Products)

Kokoonpano- ja keräystehtävissä robotti toimii itse telineenä, eikä se laske laatikkoa missään vaiheessa, siirtyen pisteeltä seuraavalle suoraan työvaiheen valmistuttua (Kuva 4).



KUVA 4. Hylly-yläosa (Omron n.d.b. Products)

Erilaisia ratkaisuja löytyi myös nousevalla tasolla, jossa ne olivat joko kiinteitä tai ne sisälsivät rullakon tai kuljettimen. Kiinteitä tasoja hyödynnettiin enemmän isompien asioiden, kuten hyllyjen ja lavojen siirtelyyn, kun taas rullakoita ja kuljettimia käytettiin pienemmän tavaran siirtelyyn. Kiinteää tasoa käytettäessä robotti ajaa noudettavan kuorman alle, josta se nostaa sen kyytiinsä (Kuva 5).



KUVA 5. Hissi (Omron n.d.c. Products)

Näistä esitellyistä ratkaisuvaihtoehdoista päädyttiin laatikonvaihtojärjestelmään, jossa mobiilirobotissa olisi nostolaite, joka nostaa laatikon suunniteltavalle telineelle ja telineestä pois. Seuraavissa luvuissa esitellään ensiksi telineen suunnittelu, sitten nostolaitteen suunnittelu. Näissä molemmissa hyödynnettiin myös teorialuvussa esiteltyä suunnitteluprosessia eri vaiheineen (luku 2).

5 TELINE

Telineen vaatimukset ja rajoitteet

Ensimmäiseksi on määritettävä telineen alustava tehtävä. Tässä sovelluksessa telineen tehtävä on toimia kiinteänä pisteenä, johon ja josta laatikkoa siirretään. Seuraavaksi tulee selvittää telineen vaatimukset ja rajoitteet. Asetin telineelle vaatimuksiksi, että sen täytyy pysyä kevyenä ja käsin siirrettävänä. Tämä tarkoittaa sitä, että telineen mitat täytyy pitää maltillisina ja materiaalit kevyinä. Lisäksi telineen tulisi olla yksinkertainen, eikä sen itsessään tulisi vaatia minkäänlaista automatiikkaa taikka mekaniikkaa. Selkeä toiminnallinen vaatimus telineelle on, että se kykenee kannattelemaan kevyttä laatikkoa.

Ratkaisujen tutkiminen

Projekti alkoi olemassa oleviin ratkaisuihin perehtymisellä. Kuten aiemmin todettiin, on vastaavanlaisia laatikonvaihtoprojekteja toteutettu kiinteillä ja nousevilla tasoilla. Mikäli noutopisteessä on käytetty automatiikkaa, voidaan laatikko syöttää robotin päälle yleensä rullakolle tai kuljettimelle. Kiinteät noutopisteet vaativat robotilta jonkinlaista nousevaa tasoa.

Vaihtoehtojen kehittäminen

Koska asetin telineelle vaatimukseksi, että sen täytyy olla yksinkertainen ja käsin siirrettävissä, jää vaihtoehdoksi kiinteä taso, josta robotti poimii laatikon. Lähdin toteuttamaan telineä ajatuksella, että robotti menee telineen alle ja nostaa laatikon kyytiinsä sen alapuolelta. Palauttaessaan laatikkoa nostolaite olisi ylhäällä ja robotti laskisi laatikon takaisin telineeseen.

Telineen suunnittelu

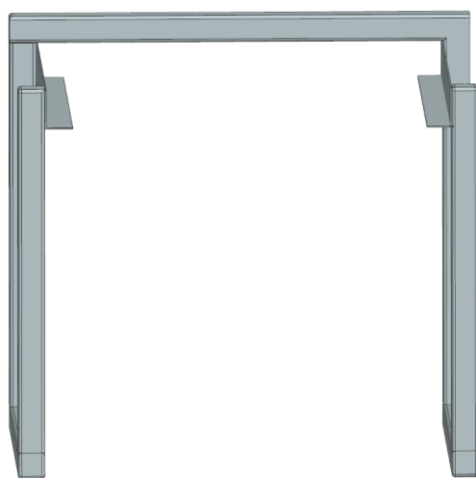
Telineen korkeutta suunnitellessa tulee ottaa huomioon se, että robotti mahtuu kulkemaan sen alle. Lisäksi täytyy huomioida se, että robotin ja telineen väliin jää riittävästi tilaa nostolaitteelle. Jotta teline pysyy helposti siirrettävänä, täytyy korkeus pitää maltillisena.

Telineen leveydessä on huomioitava robotin leveys, vaihdettavan laatikon mitat sekä sen turva-alueet. Jos telineestä tekee liian kapean, robotti ei suostu ajamaan

sen alle. Telineen leveys tulee myös olla sellainen, että käytettävä laatikko mahtuu siihen eikä pääse putoamaan. Jotta laatikko saadaan poimittua telineen alapuolelta, on laatikolle tarkoitettu taso oltava pohjasta avoin.

Suunnittelin telineen niin, että laatikko asettuu telineen sisäpuolelle kahden peltilevyn päälle. Telineen pätyyn tulee poikittainen putki, joka estää laatikon putoamisen telineen takapuolelta ja auttaa laatikkoa asettumaan telineeseen. Teline jää takaa avonaiseksi, eikä siten häiritse robotin ajamista telineen alle.

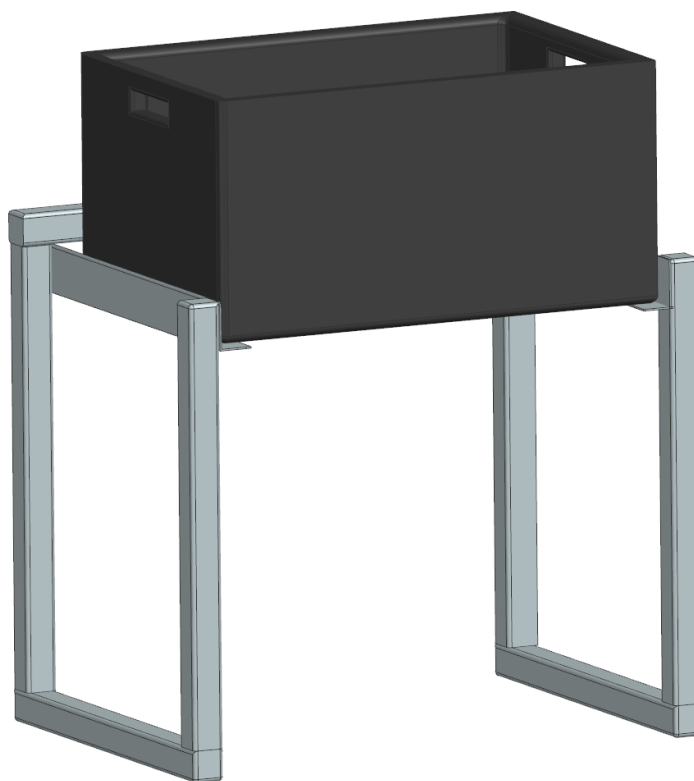
Kokonaiskorkeudeksi telineelle tuli 630 mm ja tasolle, josta robotti noutaa laatikon 530 mm. Robotin korkeus on 383 mm, joten nostomekanismille ja sen liikeradalle jää tilaa 147 mm. Telineen jalkojen sisäpuolelle jää tilaa 610 mm, joten robotille jää kummallekin puolelle tilaa noin 55 mm. Laatikon tasona toimivat peltilevyt tulevat 42 mm telineen sisäpuolelle, jolloin levyjen väliin jää tilaa 526 mm. Syvyyttä telineelle tuli kokonaisuudessaan 500 mm (Kuva 6, Liite 1).



KUVA 6. Telineen mallinnus

Teline voidaan valmistaa huonekaluputkesta, jotta se pysyy kevyenä ja helposti siirrettävänä. Mallinnuksessa käytetyn putken korkeus on 40 mm ja leveys 40 mm. Kasaaminen tapahtuu hitsaamalla. Mikäli materiaaliksi halutaan jokin muu materiaali kuten alumiini, on kiinnitys tehtävä muulla menetelmällä. Tätä ei ole huomioitu mallinnuksessa.

Vaihdeettavana laatikkona käytetään muovista varastolaatikkoa. Laatikko asetetaan peltilevyjen päälle kuvan 7 mukaisesti. Laatikko on mallinnettu Tokmannilla myytävän 50 l varastolaatikon mitoitusten mukaan, mutta laatikkona voidaan käyttää mitä tahansa muuta laatikkoa, mikäli se sopii telineeseen suunnitellulla tavalla. Telineelle ei ole tehty lujuuslaskentaa, joten siirrettävät kuormat tulee pitää maltillisina.



KUVA 7. Laatikko mallinnettuna telineeseen

6 NOSTOLAITE

Nostolaitteen vaatimukset ja rajoitukset

Kuten telineelle, myös nostolaitteelle täytyy määrittää alustava tehtävä, sekä vaatimukset ja rajoitukset. Nostolaitteen tehtävä on nostaa laatikko telineestä, sekä palauttaa se siihen yhdessä robotin kanssa. Toiminnallisia vaatimuksia ovat, että nostolaitteen tulisi toimia robotilta saatavan virran avulla. Lisäksi sen on pystyttävä vastaanottamaan käskyjä robotilta. Materiaalivaatimus nostolaitteelle on, että mekaniikan tulisi olla valmistettu pääsääntöisesti alumiinista tai muovista, kuten työn tilaaja toivoi. Päätin myös, että kokoonpano pyritään toteuttamaan mahdollisimman edullisesti.

Ratkaisujen tutkiminen

Perehtyessäni jo olemassa oleviin ratkaisuihin törmäsin muutamaan vaihtoehtoon. Eräässä sovelluksessa laatikon nouto oli toteutettu haarukkanostimena. Yksi ratkaisu oli tehdä robotin perälle hissi, jonka mukana kiinteä taso kulki. Lisäksi törmäsin myös saksinostimia muistuttaviin ratkaisuihin.

Kehitä vaihtoehtoja

Mielestäni ainoat järkevät vaihtoedot tälle toteutukselle ovat haarukkanostin ja saksinostin. Päätin lähteä toteuttamaan nostolaitetta saksinostimena, jota ohjataan askelmoottorilla. Vastaavanlaista toteutusta on käytetty Omron LD250:llä ja LD-90:llä (Kuva 8).



KUVA 8. Saksinostin (Omron n.d.d. Products)

Päädyin tähän ratkaisuun, koska käytössäni on vain robotilta tuleva virta, jolloin mekaniikka on liikuteltava sähköisesti. Askelmoottorilla nostotaso saadaan paikoitettua tarkasti halutulle tasolle. Lisäksi saksinostimen mekaniikka on melko yksinkertainen, ja se saadaan toteutettua suhteellisen vähillä osilla. Etuna saksinostimessa on myös se, että se mahtuu pieneen tilaan. Koska kokoonpano tulee opetuskäyttöön ja sitä käytetään luokkatiloissa, on saksinostin käytännöllisempi ratkaisu haarukkanostimeen verrattuna.

Nostolaitteen suunnittelu

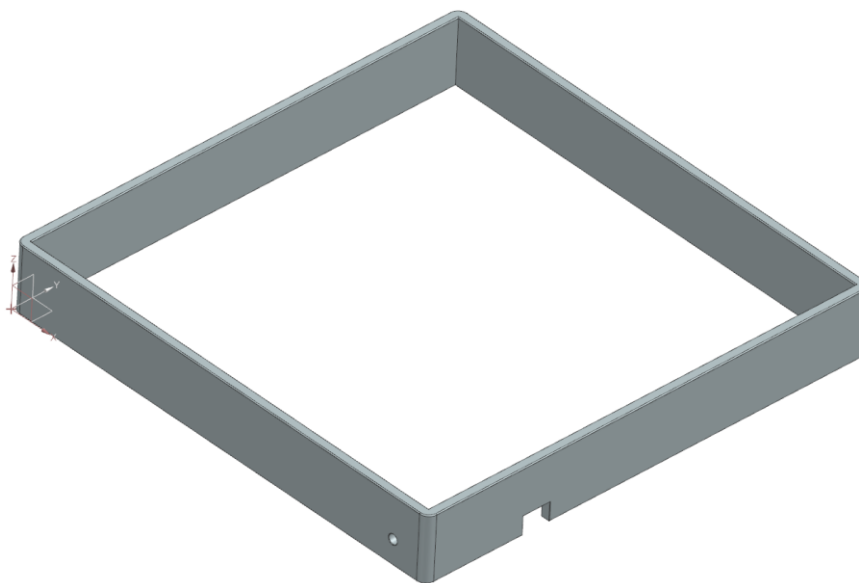
Nostolaitteen suunnittelussa tuli ottaa huomioon sen mitat, sekä kiinnitys robotiin. Laitteen leveys ei saisi olla liian suuri, jotta laatikko saadaan nostettua telineestä, muttei liian pieni, jotta kaikki tarvittavat osat ja komponentit saadaan mahdutettua laitteen sisälle. Pituussuunnassa laitteelle tulee rajoitteeksi robotin perässä sijaitsevat antennit ja operaattoripaneeli. Laitteen korkeus tulisi suunnitella niin, että se mahtuu telineen alle ja kykenee nostamaan laatikon kyytiinsä. Lisäksi nostolaite täytyy saada kiinnitettyä robotin kanteen. Mekaniikkaa suunnitellessa täytyy ratkaista se, miten nostimen sakset saadaan liikkumaan askelmoottorilla. Huomioitava on myös se, kuinka johdotukset tuodaan nostolaitteelle.

Hahmottelin nostolaitteen laatikoksi, jonka kansi toimisi nostotasona. Laatikon pohjaan tulisi kiinnitysreiät, joilla nostolaite kiinnitetään robotin kanteen. Myös kotelon kiinnitys pohjaan toteutettaisiin ruuveilla. Sisälle tuleva mekanismi koostuisi

kahdesta parista levyjä, jotka toimivat saksina. Saksien puolesta välistä menisi akseli, joka linjaa levyt toisiinsa nähden samaan kulmaan. Ensimmäisen saksipari lukittaisiin alhaalta kiinteäksi pääksi akselilla, joka menee kotelon ja saksien läpi. Toinen saksipari kiinnitettäisiin alhaalta askelilla erillisen osan välityksellä askelmoottorille. Askelmoottori olisi vaakatasossa muuhun mekanismiin nähden, ja vetäisi saksia lähemmäksi toisiaan, täten kammaten saksia pystyyn. Ensimmäisen saksiparin yläosaan tulisi renkaat, jotka tukevat tasoa noston aikana, ja toinen pari kiinnitettäisiin kanteen erillisin kiinnikkein.

6.1 Nostolaitteen kotelo

Aloitin nostolaitteen suunnittelun kotelosta, jonka mitat otin suoraan robotin piirustuksista. Kotelon leveydeksi päätin 500 mm, jolloin se on yhtä leveä kuin robotti. Pituutta kotelolle tulee 475 mm, jotta kotelo mahtuu robotin päälle osumatta antenneihin. Korkeutta kotelon kyljellä on 70 mm. Kotelon takaosaan jätin aukon robotilta tulevia johdotuksia varten. Kotelon kylkeen tulee 10 mm poraus molemmin puolin läpimenevälle akselille, jolla nostomekanismi saadaan lukittua koteloon. Kotelon pohjassa on neljä 6 mm kierrereikää pohjan kiinnitystä varten (Kuva 9, Liite 2).

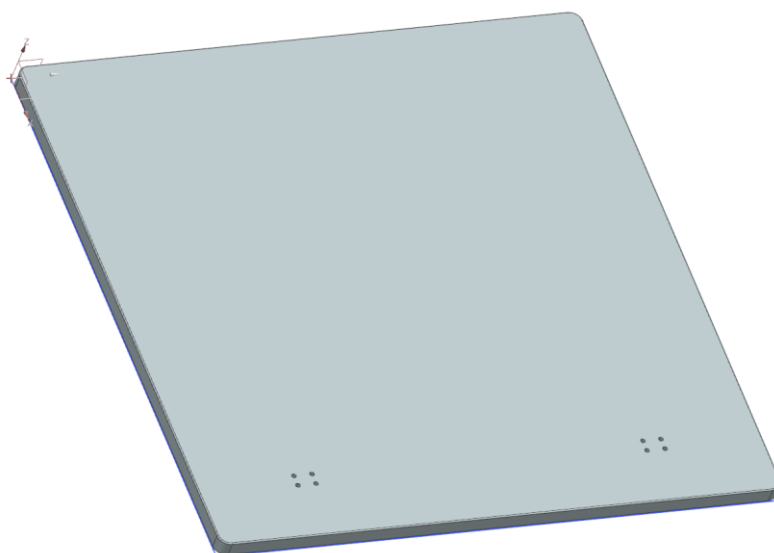


KUVA 9. Kotelo mallinnettuna

Alustavasti kotelo olisi tarkoitus valmistaa tulostamalla, mutta mikäli tarpeeksi isoa 3D-tulostinta ei löydy, voidaan vaihtoehtoisena ratkaisuna kotelon sivut valmistaa erillisinä osina. Mikäli sivut tulostellaan erillisinä tai valmistetaan muusta materiaalista osissa, tulee sivujen kiinnitystä varten lisätä kierrereiät ja poraukset. Mallinnus on tehty tulostettavaksi kokonaisena.

6.2 Nostotaso, kiinnikkeet ja pohja

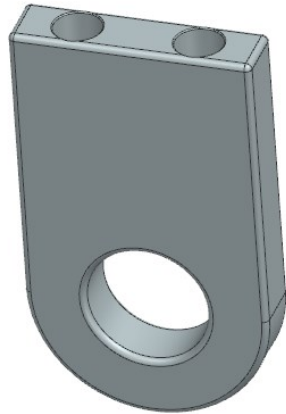
Nostotaso on ulkomitoiltaan samankokoinen kuin kotelo. Tason paksuus on 15 mm ja siihen on porattu ruuvipaikat nostotason kiinnikkeitä varten. Kiinnikkeitä tulisi kaksi vierekkäin niin, että niiden väliin jää 11 mm väli. Tämänkin osan voi valmistaa muovista taikka alumiinista (Kuva 10, Liite 3).



KUVA 10. Nostotaso

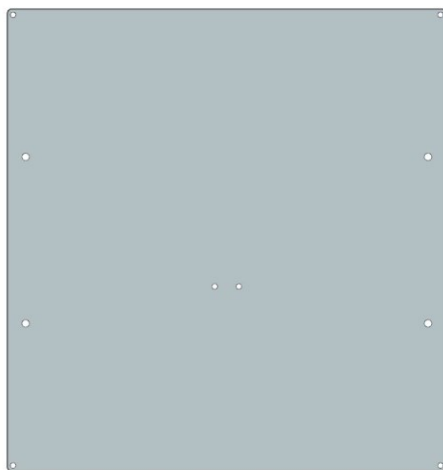
Jotta nostotaso saadaan liitettyä muuhun mekanismiin, täytyy suunnitella siihen soveltuvat kiinnikkeet. Päätin nostotaso suunnitellessa, että kiinnikkeet tulevat kiinni nostotason pohjaan kahdella M4 kierteen ruuvilla, joten tein siihen soveltuvat kierrereiät kiinnikkeisiin. Kiinnikkeiden naamapintaan tulee 10 mm poraus saksien kiinnitystä varten.

Taso kiinnitettäisiin nostolaitteeseen hyödyntäen näitä kiinnikkeitä, sekä toista saksiparia. Saksiparin päähän on tehtävä 10 mm poraus, jotta ne saadaan kiinnitettyä nostotasoon. Kiinnitys toteutettaisiin asettamalla sakseen tehty poraus kiinnikkeiden väliin niin, että ne ovat linjassa kiinnikkeiden reikien kanssa, ja luokitsemalla ne pultilla ja mutterilla toisiinsa. Kiinnikkeet voidaan valmistaa muovista tai alumiinista (Kuva 11, Liite 4).



KUVA 11. Nostotason kiinnike

Kotelon pohja noudattaa samoja mitoituksia kuin kotelo ja nostotaso. Pohjalevyn paksuudeksi päätin 15 mm. Pohjaan tehdään poraukset kotelon kiinnitykselle, sekä toiset poraukset, joista nostolaite kiinnitetään robotin kansilevyyn. Materiaalina voidaan käyttää muovia tai alumiinia (Kuva 12, Liite 5).



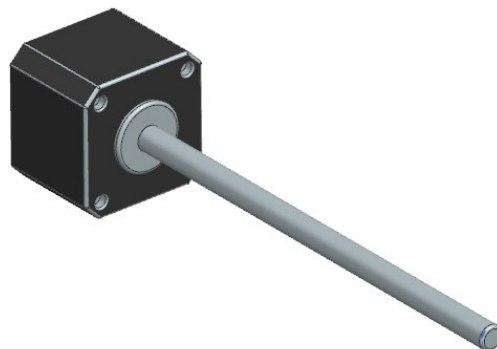
KUVA 12. Pohjalevy

6.3 Askelmoottori, askelmoottorintaso ja ohjuri

Askelmoottoriksi valitsin 3D printterissä moottorinakin käytetyn Nema17 askelmoottorin. Moottorin pitovoima on 28 N/cm. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseinen moottori tuottaa senttimetrin pituisella varrella 28 N voiman. Kiloissa tämä vastaa noin 3 kg kuormaa. Kyseisen moottorin saa ostettua AliExpressiltä edullisesti. Moottorin mitat näkyvät kuvassa 13. Mallinsin kappaleen näiden mittojen mukaan.

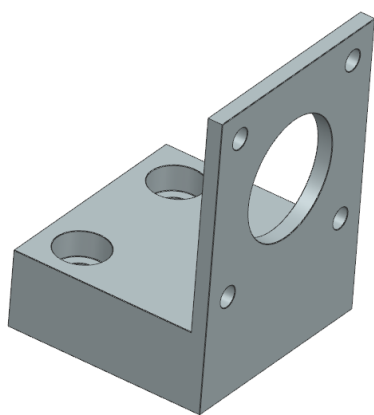


KUVA 13. Askelmoottori (AliExpress. n.d)



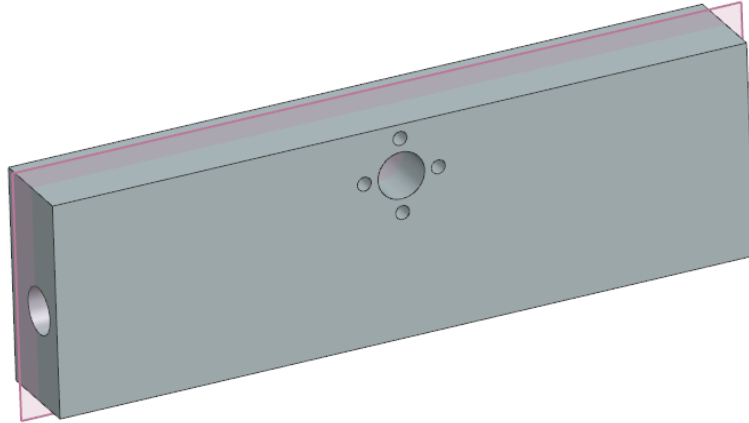
KUVA 14. Askelmoottori mallinnettuna

Askelmoottorille täytyy suunnitella taso, koska moottorin kiinnitys tapahtuu sen naamapinnasta, eikä sitä voida kiinnittää suoraan kotelon pohjaan. Taso kiinnitettäisiin pohjaan kahdella ruuvilla. Tämän vuoksi kotelon pohjaan oli lisättävä kaksi M6 kierrereikää. Tason naamapintaan on tehty poraukset askelmoottorin kiinnitystä varten. Askelmoottori kiinnitetään tasoon neljällä M3 kierteen ruuvilla. Tason korkeudeksi tulisi 57 mm, jolloin se jää kotelon reunojen sisäpuolelle. Kuten muidenkin osien kanssa, suositetaan tämänkin osan valmistuksessa alumiinia tai muovia (Kuva 15, Liite 6).



KUVA 15. Askelmoottorin taso

Seuraavaksi aloin suunnittelemaan ohjuria, jota askelmoottori liikuttelee. Ohjurin kylkeen tulee läpäreikä akselille, joka kiinnittyy saksilevyjen toiseen pariin pakottaen tämän liikkumaan ohjurin mukana. Ohjurin naamapintaan tulee poraus askelmoottorin ruuville, sekä poraukset ruuvien kiinnitystä varten. Ohjuri on mitoitettu niin, että sen ollessa kiinnitettynä, sen sekä pohjalevyn väliin jää pieni rako. Näin ollen se ei raahaudu pohjaa pitkin ja aiheuta kitkaa. Ohjuri siis lepää läpimenevän akselin, sekä askelmoottorin ruuvien kiinnityksen varassa. Tämänkin osan voi valmistaa alumiinista taikka muovista. Osan mitat 150 mm x 46 mm x 20 mm (Kuva 16, Liite 7).

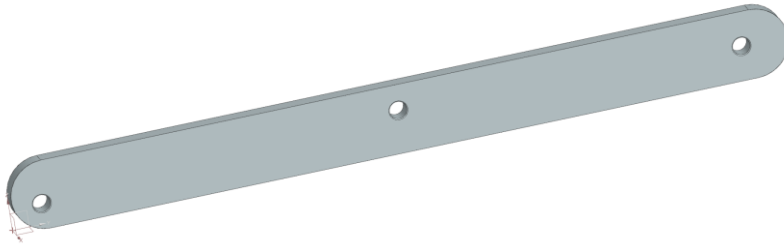


KUVA 16. Ohjuri

6.4 Sakset, akselit ja pyörät

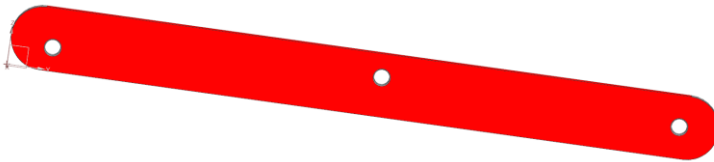
Seuraavaksi lähdin mitoittamaan saksia. Kotelon pituuden ollessa 475 mm, päätin saksien pituudeksi 450 mm. Näin kotelon seinämien ja saksien väliin jää pieni rako. Saksien leveydeksi asetin 40 mm, jolloin ne jäisivät kotelon sisäpuolelle. Saksen paksuudeksi tulisi 10 mm, jotta ne mahtuvat nostotason kiinnikkeiden väliin. Saksen päät pyöristettäisiin, jotta mekanismi mahtuu liikkumaan vapaasti, eikä levyjen kulmat törmäisi mihinkään liikkeen aikana. Saksissa on kolmet 10 mm poraukset, joiden reikäjako sekä korkeudet ovat samat. Näin levyt saadaan liikkumaan synkroniassa keskenään. Kuten aiemmatkin osat, myös nämä valmistettaisiin joko alumiinista tai muovista (Liite 8).

Ensimmäisen levyparin ensimmäinen reikä on tarkoitettu kotelon läpi menevälle akselille, joka pitää levyt paikallaan antaen tukea nostolle toisesta päästä. Toinen reikä on tarkoitettu tangolle, joka menee molempien levyparien läpi, ja pitää levyt linjassa toisiinsa. Kolmas reikä on tarkoitettu tasoa tukevien muovirenkaiden kiinnitystä varten (Kuva 17).



KUVA 17. Saksen levy 1

Kuvassa 18 Toisen levyparin ensimmäinen reikä on tarkoitettu ohjurin läpi menevälle akselille. Kolmatta reikää käytetään nostotason ja saksien kiinnittämiseen kiinnikkeiden avulla (Kuva 18).



KUVA 18. Saksen levy 2

Kokoonpano tarvitsee kolme erimittaista akselia toimiakseen. Ensimmäisen akselin pituudeksi tulisi 495 mm, jolloin se menisi kotelon läpi. Akseli lukittaisiin mekanismiin parilla ruuvilla ja mutterilla, joita varten akselin päähän tehdään poraukset. Akseliin tulee myös toiset poraukset 75 mm päähän akselin päistä. Näillä pyritään estämään ensimmäisen saksiparin liikkuminen sivuttaissuunnassa (Liite 9).

Toinen akselin on mentävä molempien saksiparien läpi. Mitoitin akselin 395 millimetriseksi, jolloin mekanismin leveys on sopiva kotelon sisään. Myös tämän akselin päihin tulee poraukset, jotka estävät ensimmäisen akseliparin liikkumisen sivuttaissuunnassa (Liite 10).

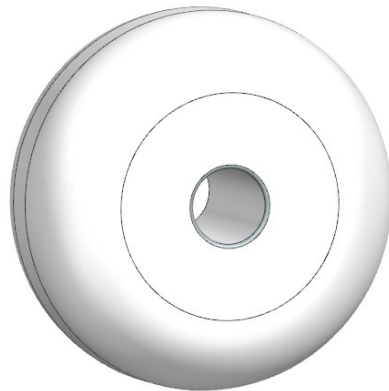
Kolmannen akselin tulee mahtua ensimmäisen saksiparin sisäpuolelle. Akselin ollessa 340 mm jää akselin ja saksien väliin sopiva rako. Akseliin tehdään neljät poraukset, joilla toinen saksipari lukitaan paikoilleen askelmoottorin päästä. Näin mekanismi olisi lukittu paikalleen, antaen sille pienen liikkumavaran. Akselit ja poraukset on mitoitettu pienellä välyksellä, jonka tulisi myös rajata mekanismin

sivuttaisliikettä. Akselien halkaisijat ovat 10 mm ja materiaalina näille akseleille käytettäisiin alumiinipyörötankoa (Kuva 19, Liite 11).



KUVA 19. Akseli

Muovirenkaat ovat valmisosat, joita on mahdollista tilata verkosta muutamalla eurolla. Polyamidipyörät pyörivät nostotaso vasten mekanismin noustessa, antaen tälle tukea toisesta päästä noston aikana. Kyseiset pyörät ovat halkaisijaltaan 50 mm ja leveydeltään 25 mm. Max kuormitukseksi on ilmoitettu 150 kg, joka on enemmän kuin tarpeeksi kyseiseen tehtävään. Kuvassa 20 on mallinnettu versio kyseistä muovipyörästä.

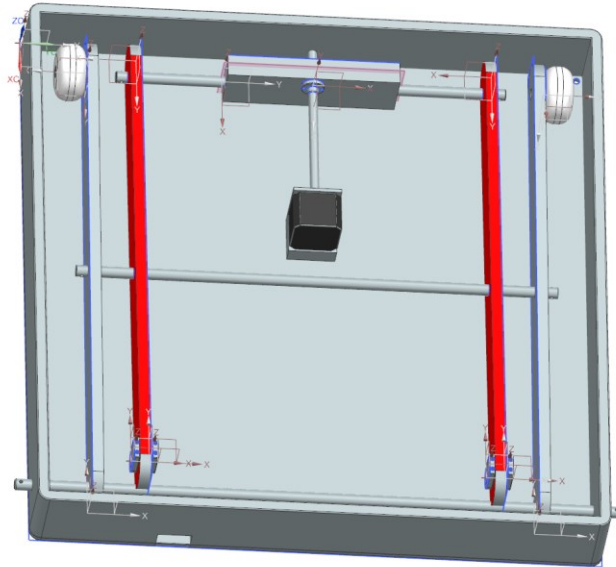


KUVA 20. Muovipyörä mallinnettu (Germans n.d. Pyörä)

6.5 Nostolaitteen kokoonpano

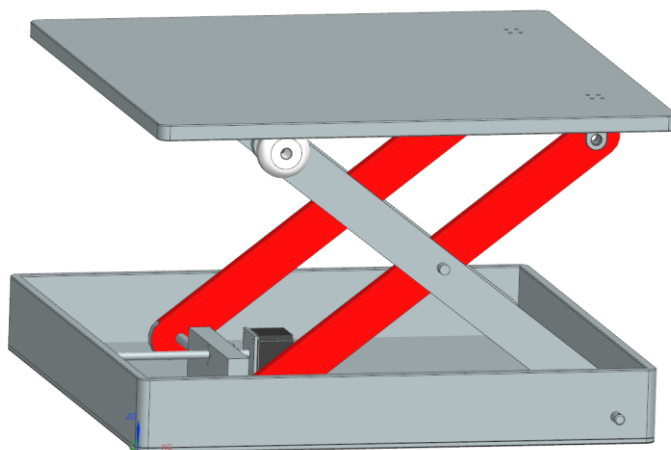
Kuvasta 21 nähdään, miltä kokoonpano näyttää kotelon sisällä nostolaitteen ollessa ala-asennossa. Askelmoottori on päätepisteessään, jolloin ohjuri on vetänyt

perimmäiset akselit erilleen toisistaan laskien saksien levyt vaakatasoon. Saksien toinen pari on tarkoituksella mitoitettu niin, että ne lepäävät kotelon läpi tulevan akselin päällä, helpottaen ja ohjaten liikkeelle lähtöä. Kotelon sisälle jää riittävästi tilaa askelmoottorin ohjaukselle, jota ei ole mallinnettu kuvaan.



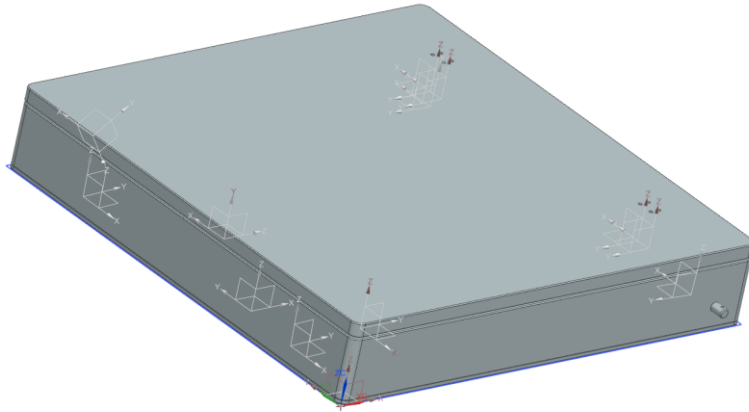
KUVA 21. Nostolaite sisältä

Kuvassa 22 nostolaite on yläasennossa. Mekanismin ollessa yläasennossa askelmoottori on vetänyt ohjurin taakse, vetäen saksien kiinteät päät lähemmäksi toisiaan, ja täten kammaten levyjä pystyasentoon. Nostolaitteen maksimi nostokorkeus on 238 mm mallinnuksesta mitattuna.



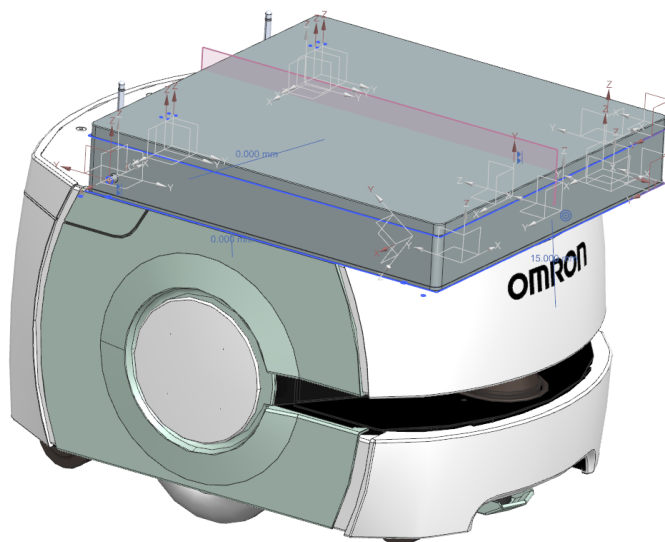
KUVA 22. Nostolaite yläasennossa

Kuvasta 23 nähdään, miltä nostolaite näyttää ulkoapäin sen ollessa ala-asennossa. Nostolaitteen ulkoiset mitat olisivat 500 mm x 457 mm x 100 mm.



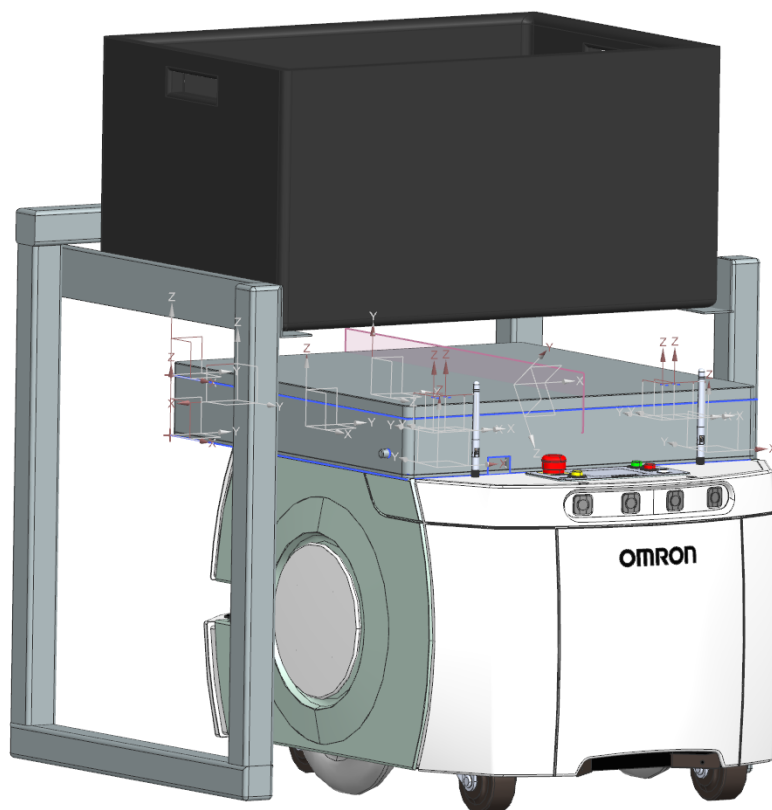
KUVA 23. Nostolaite ala-asennossa

Kuvassa 24 nostolaite on mallinnettu Omron-LD90 päälle. Nostolaite kiinnitetään robottiin sen päällä olevan erillisen kiinnityslevyn avulla. Koska robotin keula on pyöreä, jää nostolaitteen reunat ilman tukea. Tätä en ottanut huomioon koteloa suunnitellessa, mutta sen ei pitäisi aiheuttaa minkäänlaisia ongelmia.



KUVA 24. Nostolaite ja robotti

Kokonaisuus on nähtävillä kuvasta 25. Robotti mahtuu kulkemaan telineen alta nostotason ollessa alhaalla. Lattiasta laatikon pohjaan on 530 mm ja robotin ja nostolaitteen korkeus on yhteensä 483 mm. Nostolaitteen ja laatikon pohjan välille jää noin 48 mm rako, joten nostolaitteen liikerata riittää helposti nostamaan laatikon pois telineestä.



KUVA 25. Kokoonpano kokonaisuudessaan

7 NOSTOLAITTEEN JA ROBOTIN OHJAUS

7.1 Nostolaitteen ohjaus

Nostolaitteen ohjausta suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon, että askelmoottori tarvitsee erillisen ohjaimen. Kokonaisuuden ohjaukseen tarvitaan myös mikrokontrolleri, jolla robotti ja nostolaite saadaan keskustelemaan keskenään. Kytkeä suunniteltaessa täytyy huomioida, mistä komponenttien vaatimat virrat saadaan, sekä miten robotilta tulevat käskyt tuodaan mikrokontrollerille. Jotta kokonaisuus toimii, on mikrokontrollerille sekä robotille luoda ohjelmointi.

Lähdin toteuttamaan ohjausta Arduinolla, jota esittelen tarkemmin myöhemmin. Robotilta tuodaan I/O portin kautta tiedot, joiden mukaan Arduino ohjaa askelmoottoria ohjaimen avulla. Nostolaitteen ohjaukseen tarvitaan myös mikrokytkin, jotta nostotaso tunnistetaan sen ollessa alhaalla. Ohjaimelle sekä Arduinolle tuodaan tarvittava virta, robotilta niille soveltuvista porteista.

Askelmoottori tarvitsee ohjaimen, jotta pyörimisnopeus ja suunta saadaan määrättyä. Lisäksi ohjaimen avulla saadaan tuotua suurempi jännite askelmoottorille. Valitsin moottorin ohjaimeksi DM556, joka soveltuu Nema17 askelmoottorin ohjaukseen (Kuva 26). Ohjaimen syöttöjännitealue on 20–50 V ja virta 1–5.6 A. Kyseisen kortin saa edullisesti mm. AliExpressistä. (AliExpress. n.d.a Microstep driver.)



KUVA 26. DM556 (AliExpress. n.d.a. Microstep driver.)

Robotissa on HDB44 liitin digital I/O:lle (KUVA 27). Portista on vedettävä kaapeli nostolaitteelle askelmoottorin ohjausta varten. Kaapelin toinen pää on kuorittava, ja johtimet kiinnitettävä riviliittimiin. (Sinetechcable n.d).



KUVA 27. HDB44 Kaapeli (Sinetechcable n.d HDB44 Kaapeli.)

Tarvittava virta moottorin ohjaimelle otetaan robotin User Power liittimestä, jonka kytkentä tyyppi on mini-fit 6x2 (Kuva 28). Arduinolle virrat otetaan Aux Power liittimestä, joka tulee vastaavalla mini-fit liittimellä, mutta 3x2 koossa. (DigiKey n.d.).



KUVA 28. Mini-fit 6x2 liitin (DigiKey n.d. Mini-fit 6x2.)

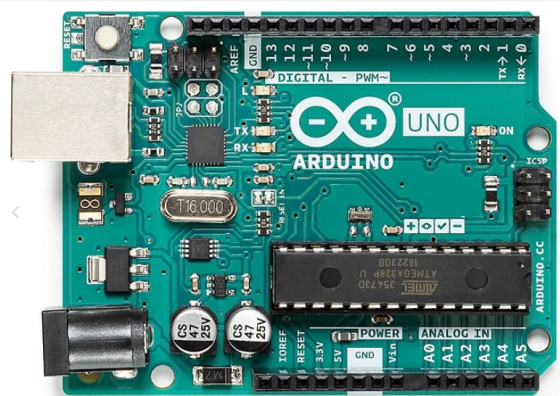
Robotin nostoliikkeen ohjaamiseen tarvitaan rajakytkin, joka ilmoittaa Arduinolle, milloin nostotaso on alhaalla. Kyseiseen tehtävään soveltuu mekaaninen mikrokytkin (Kuva 29). Kytkin sijoitetaan nostotason alle kotelon seinää vasten niin, että kytkin on painettuna alas tason ollessa alhaalla. (Partco n.d.).



KUVA 29. Mikrokytkin johdolla (Partco n.d. Mikrokytkin johdolla.)

Arduino

Nostolaitteen ohjaus toteutetaan Arduinolla. Arduino on mikrokontrolleri alusta, joka hyödyntää avointa lähdekoodia. Arduinoon saadaan kytkettyä elektroniikkaa niin, että se voi ohjalla asioita kuten valoja ja moottoreita. Se kykenee tunnistamaan mm. valoa ja lämpöä. Arduinon pystyy yhdistämään tietokoneeseen USB:n avulla, ja ohjalla siihen kytkettyjä komponentteja tietokoneelta (Kuva 30).



KUVA 30. Arduino UNO (Verkkokauppa.com n.d. Arduino Uno.)

Arduinon Power liitännät ovat Reset, 3,3 V, 5 V, GND, ja 9 V. GND tai maa tarkoittaa 0 V. Se on vertailujännite, johon levyn kaikki muut jännitteet ovat suhteellisia. Reset toimii samoin kuin levyssä oleva Reset painike. Se nolaa mikrokontrollerin niin, että ohjelma alkaa alusta. Asettamalla Reset -pinnin nolnaan volttiin, kaikki levyn lähdöt menevät nolnaan.

Arduinossa on neljätoista digitaaliliitäntä-pinniä (0–13). Ensimmäiset kaksi liitäntää ovat RX ja TX. Nämä liitännät ovat varattuja käytettäväksi viestinnässä, ja ne ovat epäsuorasti vastaanotto- ja lähetysyhteyksiä tietokoneen USB-yhteydelle. Digitaaliliitännät voivat olla joko tuloja tai lähtöjä riippuen siitä, miten ne määritetään ohjelmassa. Lähtönä käytettynä nämä pinnit käyttäytyvät kuin virtalähde, antaen 5 V jännitteen, jonka voi kytkeä päälle tai pois ohjelmallisesti. Poiskytkettynä pinnin antama jännite on 0 V. Digitaaliliitännät voivat antaa 40 mA virran viidessä voltissa. Tämä riittää valaisemaan perinteisiä LED:ejä, mutta ei riitä ohjamaan sähkömoottoreita suoraan.

Analogiliitäntä-pinnejä on Arduinossa kuusi kappaletta. Analogiliitännät ovat nimetty A0-A5, ja niitä voidaan käyttää niihin kytketyn jännitteen mittaukseen. Tätä tulosta voidaan hyödyntää erilaisissa sovelluksissa. Vaikka nämä liitännät ovat nimetty analogisiksi, voidaan näitäkin liitäntöjä käyttää kuten digitaalisia tuloja ja lähtöjä. (Dr.Monk,S 2012.)

7.1.1 Kytkentä

Nostolaitteen kotelon sisällä tulisi kolme riviliitin-riviä robotilta tuleville johdotuksille. Ensimmäinen riviliitin-rivi on varattu robotin Digital I/O portin liitännöille, toinen on varattu User Power portin liitännöille, ja kolmas Aux Power portilta tuleville johtimille (Liitteet 12,13,14).

Digital I/O riviliittimiä tarvitaan robotilta tulevien ja lähtevien tietojen hyödyntämiseen. Liitteessä 1 nähdään, että robotin I/O portin 1 ja 2 lähdöt ovat kytkettyinä Arduinon 12 ja 13 pinneihin.

User Power portista saadaan tarvittavan virta askelmoottorin ohjaimelle (5 A). Virta tulee suoraan robotin akulta, ja on robotin hätäseis-kytkimen takana. User Power riviliitin 12 (Safe_VBAT_OUT) on kytketty ohjaimen V+ liittimeen. Myös askelmoottorinohjaimen maa (GND) on kytketty maihin User Power riviliittimen kautta (GND 1).

Aux Powerista saadaan Arduinolle 5 V syöttö. Aux Power riviliittimeltä 4 on vedetty johdin Arduinon Vin-pinnille. Arduinon Gnd on kytketty Aux Power riviliittimen maahan.

Arduinon pinni n.2 on kytketty ohjaimen Ena+ liittimeen. Pinni n.4 on kytketty rajakytkimelle ja on varustettu vastuksella. Näin tulo ei pääse kellumaan, ja tilatieto pinnillä pysyy tasaisena. Rajakytkimelle tulee jännite Arduinon 5 V Power pinniltä. Pinniin n.8 on kytketty ohjaimen DIR+ liittimeen. Pinni n.9 on kytkettynä askelmoottorihjaimen PUL+ liittimeen.

Askelmoottorihjaimen A+ on kytketty askelmoottorin neljänteen pinnin ja A- kolmanteen pinniin. B+ on kytketty pinniin 1 ja B- on kytketty pinniin 2.

Mikäli kotelon tila käy vähiin, voidaan osa riviliittimistä jättää pois. Tärkeintä on, että kytkentään käytetyt liittimet ovat käytettävissä. Tällöin riviliittimien määrä tippuu kuuteen. Liitteessä 15 on esitetty kytkentäkaavio.

7.2 Askelmoottorin ohjauksen ohjelma

Nostomekanismin ohjausta varten täytyi luoda ohjelma Arduinolle. Ohjelman pääperiaate on, että robotilta tuodut kaksi lähtöä ohjaavat nostolaitetta. Käytännössä nämä kaksi tietoa ovat käskyt "nostolaite ylös" sekä "nostolaite alas". Nostolaitteen asemaa seurataan lisäksi mikrokytkimellä.

Toteutin nostolaitteen ohjauksen If-toiminnolla. Tätä käytetään tarkastamaan ehdot nostolaitteen nostamiselle sekä laskemiselle. Nostotason nostolle on asetettu ehdoksi, että nostotaso on alhaalla, sekä robotilta tulee käsky "nostolaite ylös". Lisäksi komento nostolaitteen laskulle täytyy olla passiivinen samanaikaisesti. Näiden ehtojen toteutuessa moottori aktivoituu, jolloin moottori ajaa määriteltyyn pisteeseen. Tämän jälkeen moottori deaktivoituu. Nostolaitteen laskeminen toimii samalla kaavalla vain, jos If-lausekkeen ehdot ovat päinvastaiset.

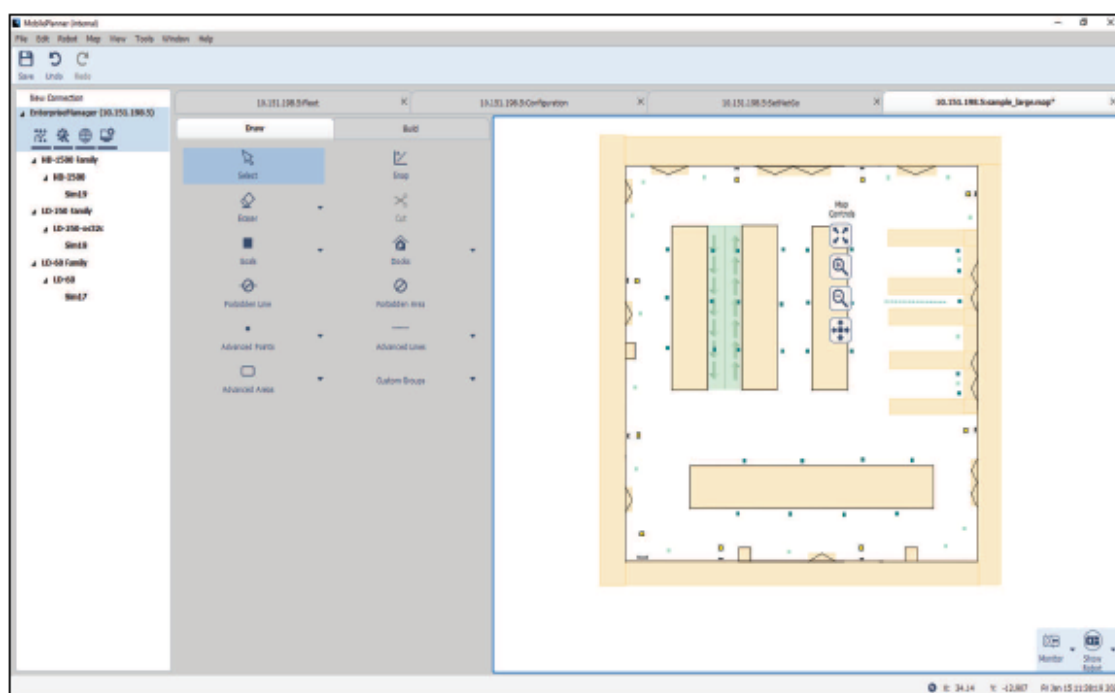
Koodissa olen määritellyt nostomatkan arvoksi 1600. Tämä lukema muodostuu siitä, että askelmoottori tekee 200 askelta kokonaiselle kierrokselle ja moottorin

ruuvien kierteen nousu on 8 mm ($200 \cdot 8 = 1600$). Näin ollen moottorin pyörähtäessä kahdeksan kierrosta, tulisi nostotason nousta 64 mm. Robotin ja nostolaitteen välissä, tason ollessa alhaalla rako on 48 mm:n. Nostotason ollessa ylhäällä, laatikon tulisi olla irti telineestä noin 16 mm. Nostokorkeutta saadaan lisättyä suurentamalla nostomatkan arvoa.

Ohjelmassa on myös osio rajakytkimen etsimiselle. Ohjelman käynnistyessä nostolaite ajaa itseään alas askel kerrallaan, kunnes kotelon kyljessä sijaitseva mikrokytkin on painuneena. Tämä toimii referenssiin ajona nostolaitteelle (Liite 16).

7.3 LD-90-mobiilirobotin ohjaus

Robotin ohjaus suoritetaan Omron MobilePlanner ohjelmalla (Kuva 32). MobilePlanner on graafinen käyttöliittymä robotin kanssa kommunikointiin sekä määrittelyyn. Ohjelmasta on nähtävillä ja muokattavissa kartta, jota robotti käyttää. Sen käyttöliittymässä on työkalut kaikkiin pääaktiviteetteihin, kuten laivueen tarkasteluun, yksittäisten mobiilirobottien ohjaamiseen, uusien karttojen luomiseen ja muokkaamiseen, maalien luomiseen, tehtävien määräämiseen, robotin asetusten muokkaamiseen, sekä muihin toimintoihin. (Omron 2022. Fleet operations workspace core user manual. 16.)



KUVA 32. MobilePlanner käyttöliittymä (Omron 2022. Fleet operations workspace core user manual. 16).

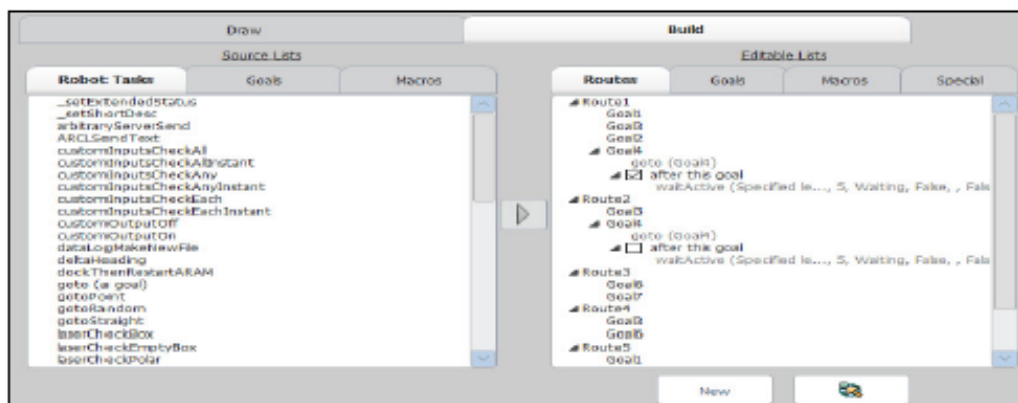
I/O Tehtävä

Digital input/output (I/O) tarjoaa rajapinnan AMR:n tarvikkeiden, antureiden ja kuormatason välillä, jotka yleensä tarvitsevat virtaa. Esimerkiksi jos mobiilirobotti on varustettuna liukuhihnalla, voidaan digital I/O:ta käyttää kytkemään hihna päälle ja pois.

Muokatut tulot ja lähdöt ovat digitaalituloja, lähtöjä ja virtalähteitä oheislaitteille. Mukauttaminen tapahtuu asettamalla niiden tyyppin tilaan custom. Mukautetut tulot ja lähdöt voidaan myös nimetä. (Omron 2022. Fleet operations workspace core user manual. 187.) Nostolaitteen ohjaukselle on luotava tällaiset lähdöt. Lähdöt nimetään ”nostolaite ylös” ja ”nostolaite alas”, joita sitten käytetään robotin tehtävien luonnissa.

Reitin rakentaminen

Robotille on luotava reitti, jotta I/O tehtäviä päästään hyödyntämään. Reitille voidaan lisätä maaleja, joita tässä tapauksessa ovat telineet. Jokaiselle maalille voidaan määrittää tehtäviä, joita robotti sitten suorittaa. (Kuva 33).



KUVA 33. Reitin rakentamisen ikkuna (Omron 2022. Fleet operations workspace core user manual. 198)

Maalien lisääminen toimii yksinkertaisesti vetämällä maali kartalle, tai luomalla sellainen robotin sen hetkiseksi sijainnille. Seuraavaksi lisätään tehtävä, esimer-

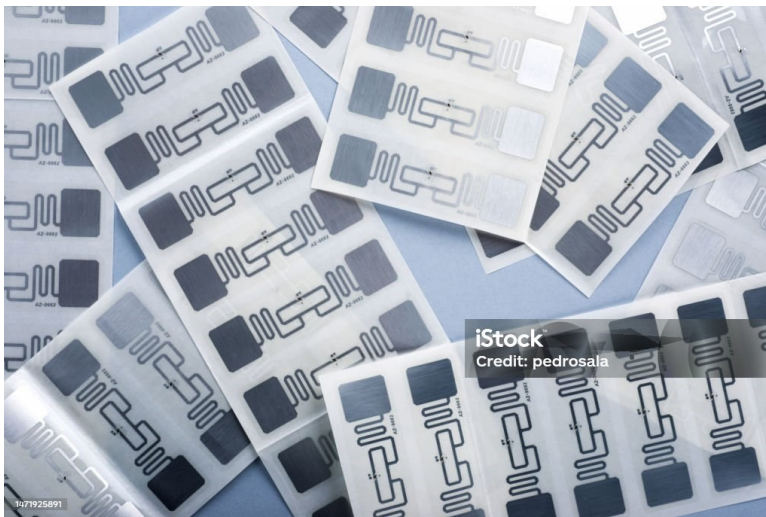
kiksi customOutputOn. Tällöin robotti suorittaa tehtävän päästyään maalille. Robotin laatikonvaihto toteuttaa samaa logiikkaa. Asetetaan maali telineelle, määrätään tehtävä "nostolaite ylös" tai laatikkoa palautettaessa "nostolaite alas". Tämän jälkeen lisätään seuraava maali reitille.

Mikäli robotti ei asetu oikein telineen alle, voidaan käyttää tehtävää Precision-Drive. Tämä parantaa robotin linjausta telineen suhteen. Sama pystytään myös toteuttamaan TriangleTargetDrive tehtävää käytettäessä, muokkaamalla tehtävän parametrejä.

8 LAATIKON TUNNISTAMINEN

RFID kappaleiden tunnistuksessa

Laatikoiden tunnistukseen voitaisiin hyödyntää RFID- tunnistetta (Kuva 34). RFID tulee sanoista Radio Frequency identification. RFID teknologialla voidaan välittää tietoa radiotaajuuksia pitkin. Kiinnittämällä laatikkoon pieni mikrosiru ja antenni, sekä lisäämällä lukija robottiin, voidaan laatikko sekä sen sisältö tunnistaa, kun robotti noutaa sen telakalta. Laatikossa olevan tunnisteen tullessa RFID-lukijan tuottamaan magneettikenttään, sen anteeniin indusoituu sen verran sähkövirtaa, että mikrosiru pystyy käynnistymään, ja lähettämään antennin kautta lukijalle tunnistekoodinsa. (Välimäki, Niemelä, Liuha, Latokartano, Lempiäinen, Billing & Ahonen. 2023.)



KUVA 34. RFID-tunniste (pedrosala 2023.)

9 MAHDOLLISET SOVELLUKSET

Kyseistä kokoonpanoa voidaan hyödyntää erinäisten työvaiheiden väliseen materiaalin siirtelyyn. Esimerkiksi teollisuuden pienkokoonpanossa säästetään aikaa, kun työvaiheen valmistuttua työntekijä pääsee jatkamaan tuottavaa työtä, robotin siirtäessä valmistuneet kappaleet seuraavalle työpisteelle, ja tarvittaessa noutaen uusia komponentteja edeltävälle työvaiheelle.

Kokoonpanoa voidaan myös hyödyntää keräily- sekä varastointityössä. Robotin kuljettamaan laatikkoon voidaan esimerkiksi pakata osa lähetettävästä tai varastoitavasta sisällöstä, jonka jälkeen robotti siirtyisi seuraavalle keräilypisteelle. Kun laatikkoon on pakattu kaikki lähetettävät tai varastoitavat tavarat, voidaan robotti käskä viemään laatikko pakkaamoon tai varastoon tilanteen mukaan.

Parhaiten tämä kokoonpano palvelee kuitenkin opetusympäristössä, johon se alun perin suunniteltiin. Kyseisillä komponentti- ja materiaalivalinnoilla nostolaitteen nostokyky jää maltilliseksi, mutta kyseinen kokoonpano täyttää sisälogistiikan opetukseen tarvittavat kriteerit.

10 POHDINTA

Työn tavoitteena oli suunnitella laatikonvaihtojärjestelmä LD-90 mobiilirobotille. Suunnittelin järjestelmälle telineen sekä nostolaitteen, joista tein mallinnukset sekä tekniset piirustukset. Lisäksi laadin ohjauksen nostolaitteelle, johon sisältyi komponenttien valinta, kytkennän suunnittelu sekä Arduinon ohjelmointi. Robotin ohjauksesta tein pienen suunnitelman Omronin tarjoamien dokumenttien pohjalta. Lopuksi kävin hieman läpi laatikon tunnistamiseen liittyvää ratkaisua, sekä mahdollisia sovelluksia kyseiselle järjestelmälle.

Opinnäytetyö oli mielestäni melko laaja ja haastava. Vaativuutta lisäsi se, että tein opinnäytetyötä kokopäivätyön ohessa, jonka vuoksi projekti osoittautui paikotellen todella raskaaksi. Suunnittelu itsessään vei suhteellisen paljon aikaa osittain Solidworksin lisenssin umpeutumisen vuoksi, eikä sen uusiminen onnistunut. Lopulta mallinnus toteutettiin Siemens nx:llä, josta minulla oli vain vähän aikaisempaa kokemusta, joten osana opinnäytetyöprosessia opettelin myös ohjelmiston käyttöä. Mallinnuksen mukaan nostolaitteen tulisi toimia, mutta todellisuus selviää vasta, kun kyseistä kokoonpanoa lähdetään toteuttamaan ja testaamaan.

Nostolaitteen ohjaukseen käytettyä Arduino-koodia en ole päässyt testaamaan. Ohjausta joudutaan mahdollisesti säätämään tarpeen mukaan, mikäli se ei toimi halutulla tavalla. Joka tapauksessa se toimii hyvänä pohjana nostolaitteen ohjaukselle.

LD-90 ohjelmoinnin suunnittelu jäi teoreettiselle tasolle. Pehdyin kuitenkin Omronin tarjoamiin dokumentteihin robotin ohjelmoinnista, sekä loin sen pohjalta perusohjeen, jonka mukaan ohjelmointi on mahdollista toteuttaa. Käytännössä voi kuitenkin tulla vastaan ongelmia, joita tässä työssä ei ole käsitelty.

Opinnäytetyö oli opettava kokemus. Työtä tehdessä huomasin, kuinka haastavaa ja aikaa vievää on suunnitella tämänkin kokoisen kokoonpanon suunnittelu. Laatikonvaihtojärjestelmää ei rakennettu opinnäytetyön aikana, joten kyseinen kokoonpano jäi suunnittelutasolle. Järjestelmän kokoamisvaiheessa tai testausvai-

heessa voi ilmetä ongelmia, joita en ole osannut ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Mikäli näin käy, toimii työ kuitenkin loistavana pohjana tulevalle kehitystyölle. Työn tilaajan mukaan työssä on tarpeeksi sisältöä, ja se täytti työlle annetut kriteerit.

LÄHTEET

AliExpress. n.d.a. Verkkosivu. Viitattu 1.11.2023.
<https://www.aliexpress.com/i/32994914921.html>

AliExpress. n.d.b. Microstep driver. Verkkosivu. Viitattu 15.1.2023.
<https://www.aliexpress.com>

DigiKey. n.d. Mini-fit 6x2. Verkkosivu. Viitattu 15.11.2023. <https://www.digikey.fi>

Gerdmans. n.d. Pyörä. Verkkosivu. Viitattu 1.11.2023.
<https://www.gerdmans.fi/varasto-ja-teollisuus/varastok%C3%A4rryt-muu-kuljetus/irtopy%C3%B6r%C3%A4t-rullap%C3%B6yd%C3%A4t/polyamidipy%C3%B6r%C3%A4-liukulaakeri-py%C3%B6rien-%C3%B8-x-leveys-50-x-25-mm-kantavuus-150-kg>

Kapur, K. Pecht, M. 2014. Reliability Engineering. E-Kirja. Wiley & Sons. Viitattu 10.4.2024

Omron. 2022. Fleet operations workspace core user manual. [pdf] Omron. Julkaistu 2020. Viitattu 28.1.2024. https://industrial.omron.eu/en/services-support/support/downloads#fleet_manager

Omron. 2023. Products family. Verkkosivu. Päivitetty 25.7.2023. Viitattu 24.1.2024. <https://www.ia.omron.com/products/family/3664/>

Omron. n.d. Autonomous mobile robot. Verkkosivu. Viitattu 24.1.2024.
<https://industrial.omron.fi/fi/products/autonomous-mobile-robot>

Omron. n.d.a. Products. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://industrial.omron.fi/fi/products/ld-series>

Omron. n.d.b. Products. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://industrial.omron.fi/fi/products/third-party/conveyor-robot>

Omron. n.d.c. Products. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2024. <https://industrial.omron.fi/fi/products/third-party/rex-100>

Omron. n.d.d. Products. Verkkosivu. Viitattu 28.3.2024. <https://industrial.omron.fi/fi/products/third-party/rex-250m>

Partco. n.d. Mikrokytkin johdolla. Verkkosivu. Viitattu 3.1.2024.
<https://www.partco.fi/fi/saehkoemekaniikka/kytkimet/mikrokytkimet/25023-mdudfw05lb00d0eea001.html>

Pedrosala. 2023. RFID-tunniste. iStock. <https://www.istock-photo.com/fi/valokuva/rfid-tunnisteet-l%C3%A4hikuvassa-gm1471925891-502413761>

Dr.Monk,S. 2012. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. McGraw-Hill Education.

Sinotechcable. n.d. HDB44 Kaapeli. Verkkosivu. Viitattu 15.11.2023.
<https://www.sinotechcable.com/d-sub-cable/db44-cable/hdb44-male-to-male-cable.html>

Tennat, D. 2022. Product development: an engineer's guide to business considerations, real-world product testing, and launch. E-Kirja. John Wiley & Sons. Viitattu 11.4.2024

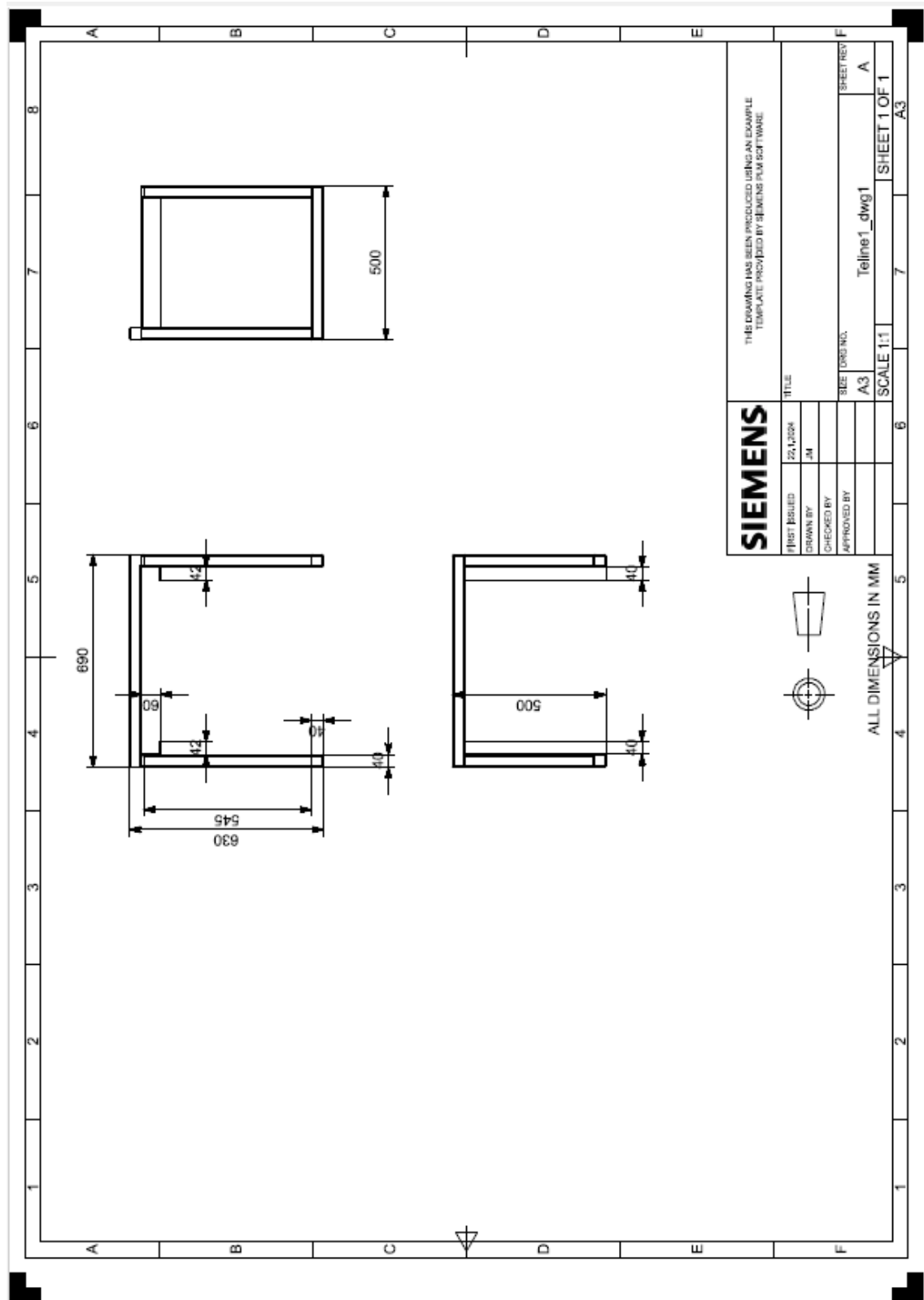
Tokmanni. n.d. Varastolaatikko. Verkkosivu. Viitattu 15.7.2023. <https://www.tokmanni.fi/varastolaatikko-50-l-keter-3253924834290>

Verkkokauppa.com. n.d. Arduino Uno. Verkkosivu. Viitattu 17.11.2023.
<https://www.verkkokauppa.com/fi/product/171110/Arduino-Uno-Rev-3-kehitysalusta>

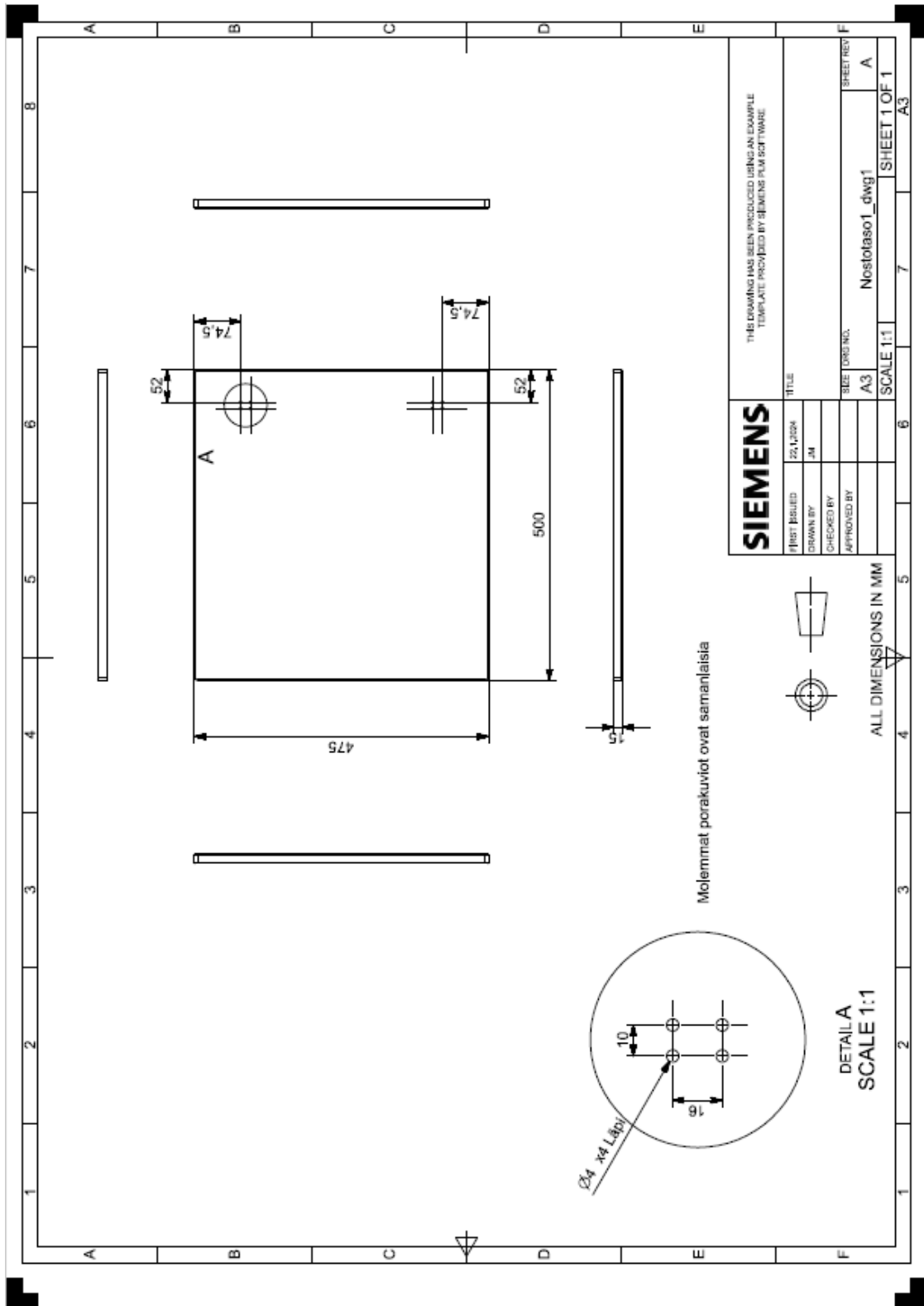
Välimäki, K. Niemelä, M. Liuha, A. Latokartano, J. Lempiäinen, J. Billing, M. & Ahonen, T-P. 2023. Teollisuuden robotiikka. Keuruun Laatusaino KLP oy 2023

LIITTEET

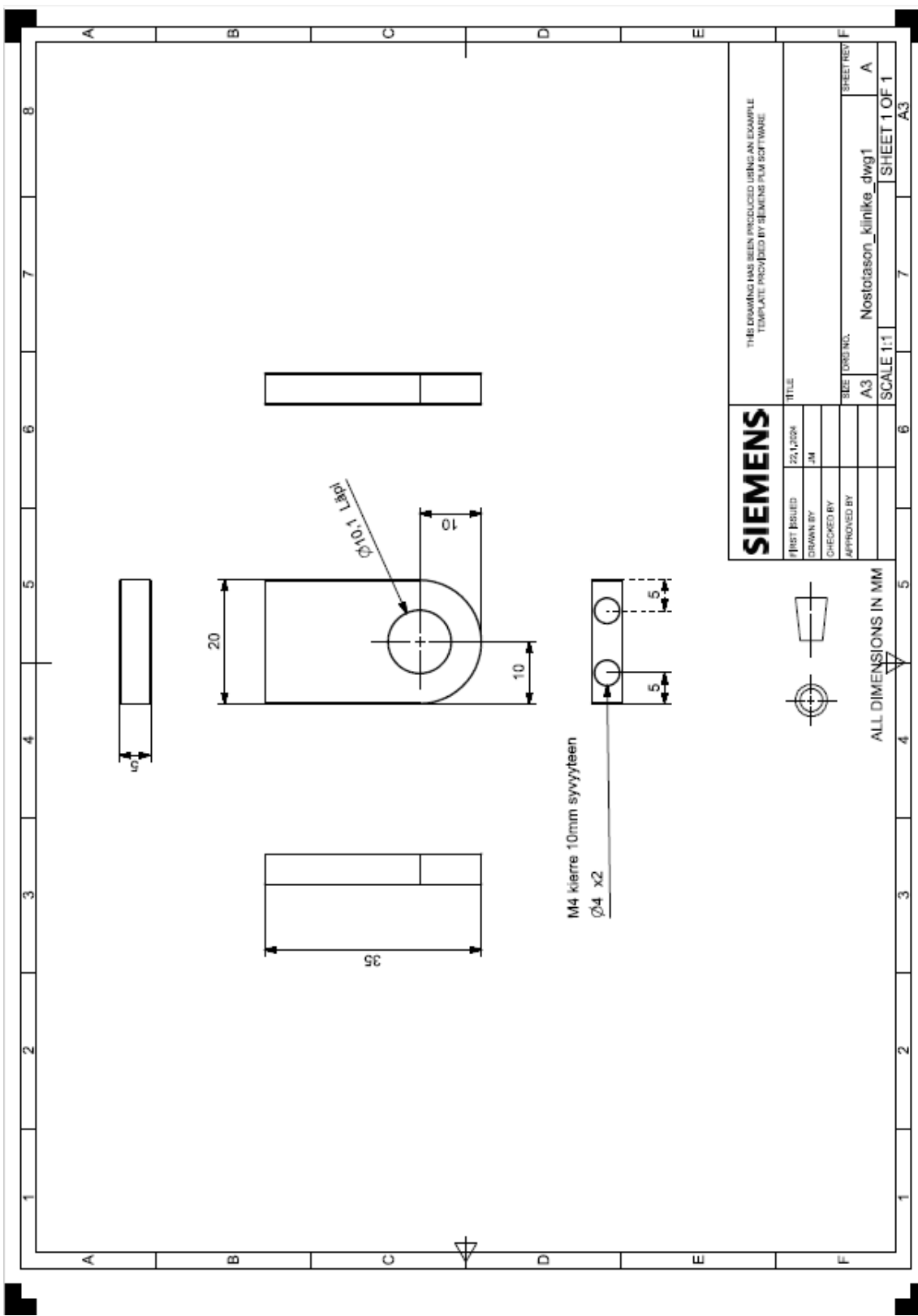
Liite 1. Teline



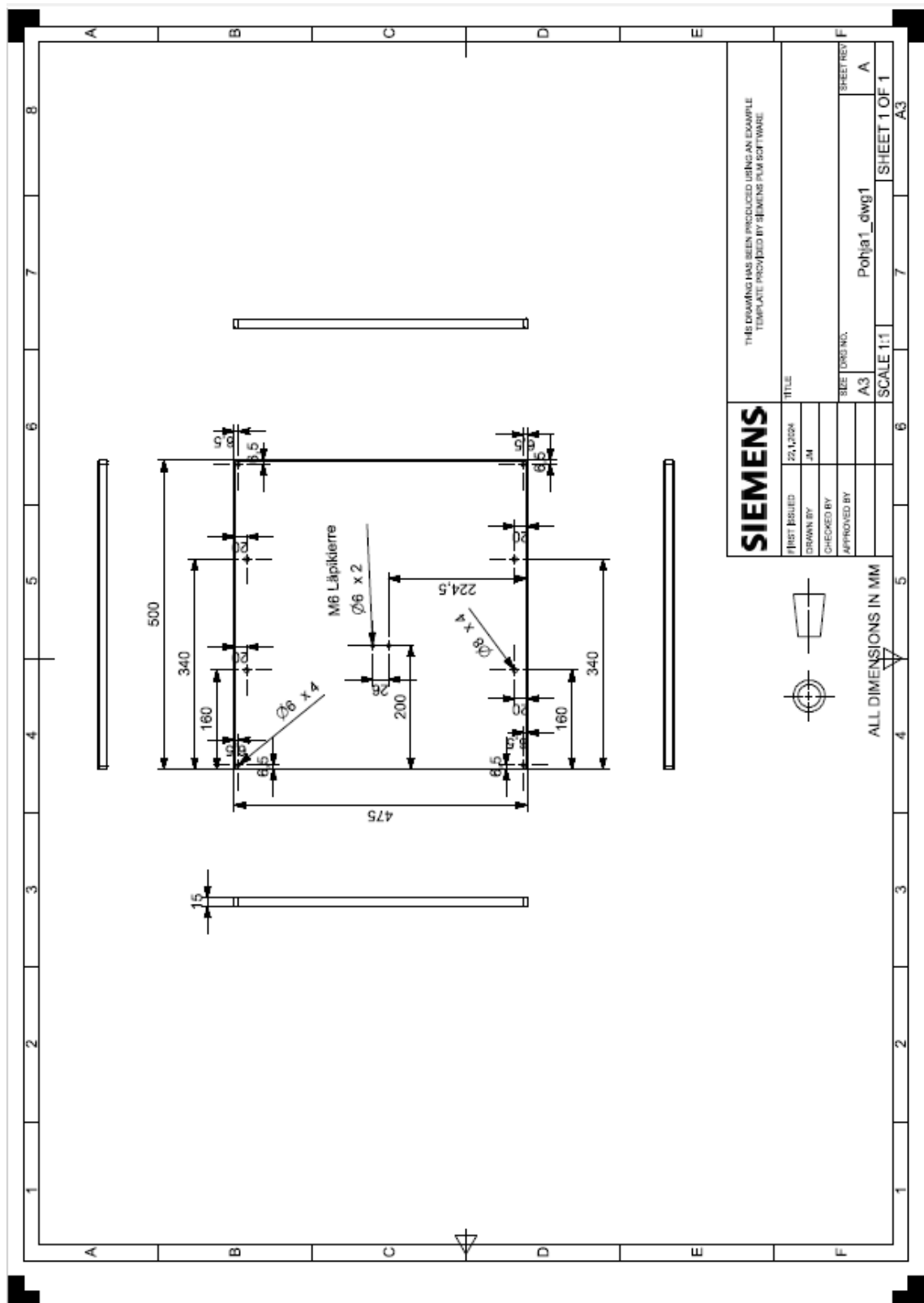
Liite 3. Nostotaso



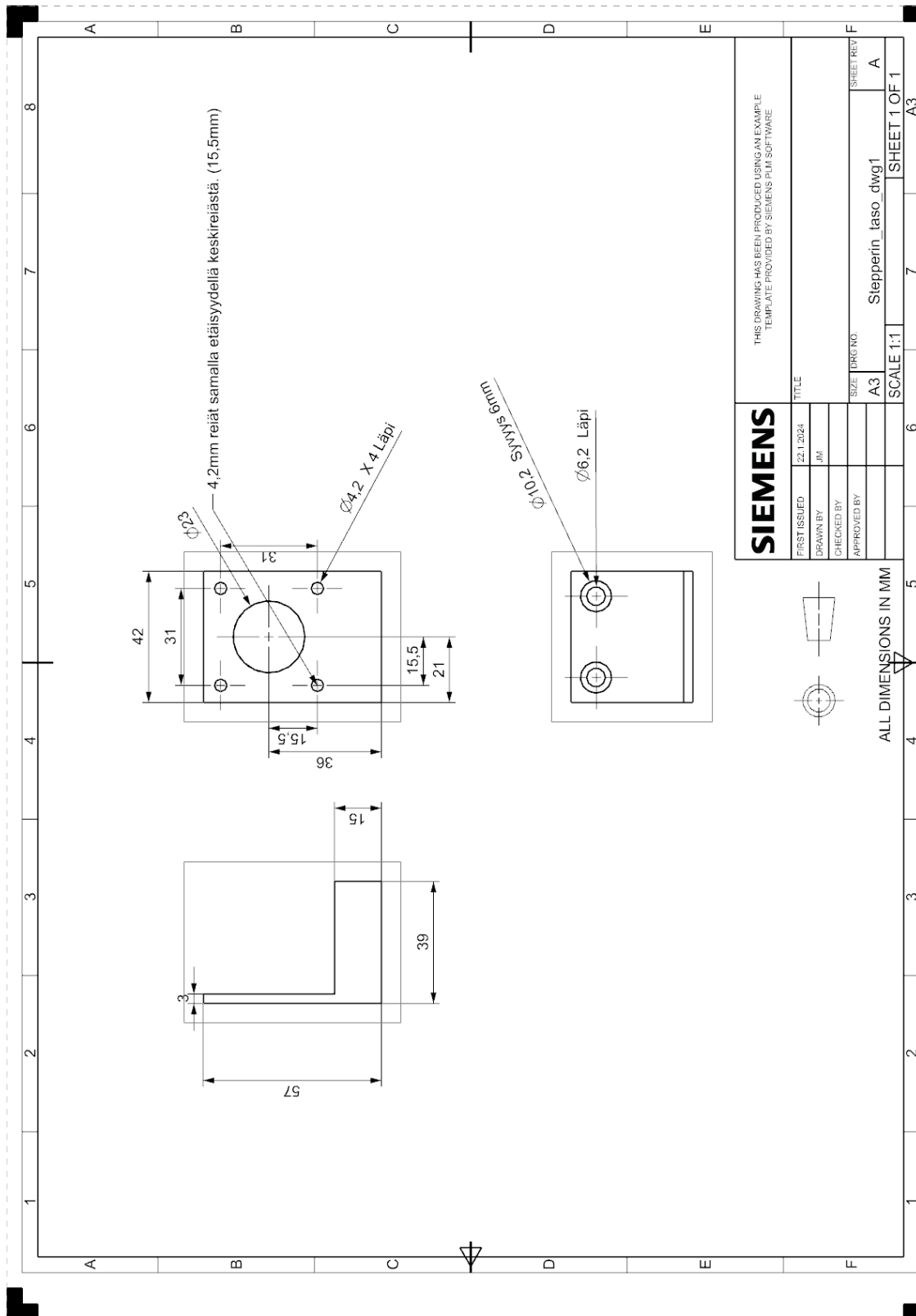
Liite 4. Nostotason kiinnike

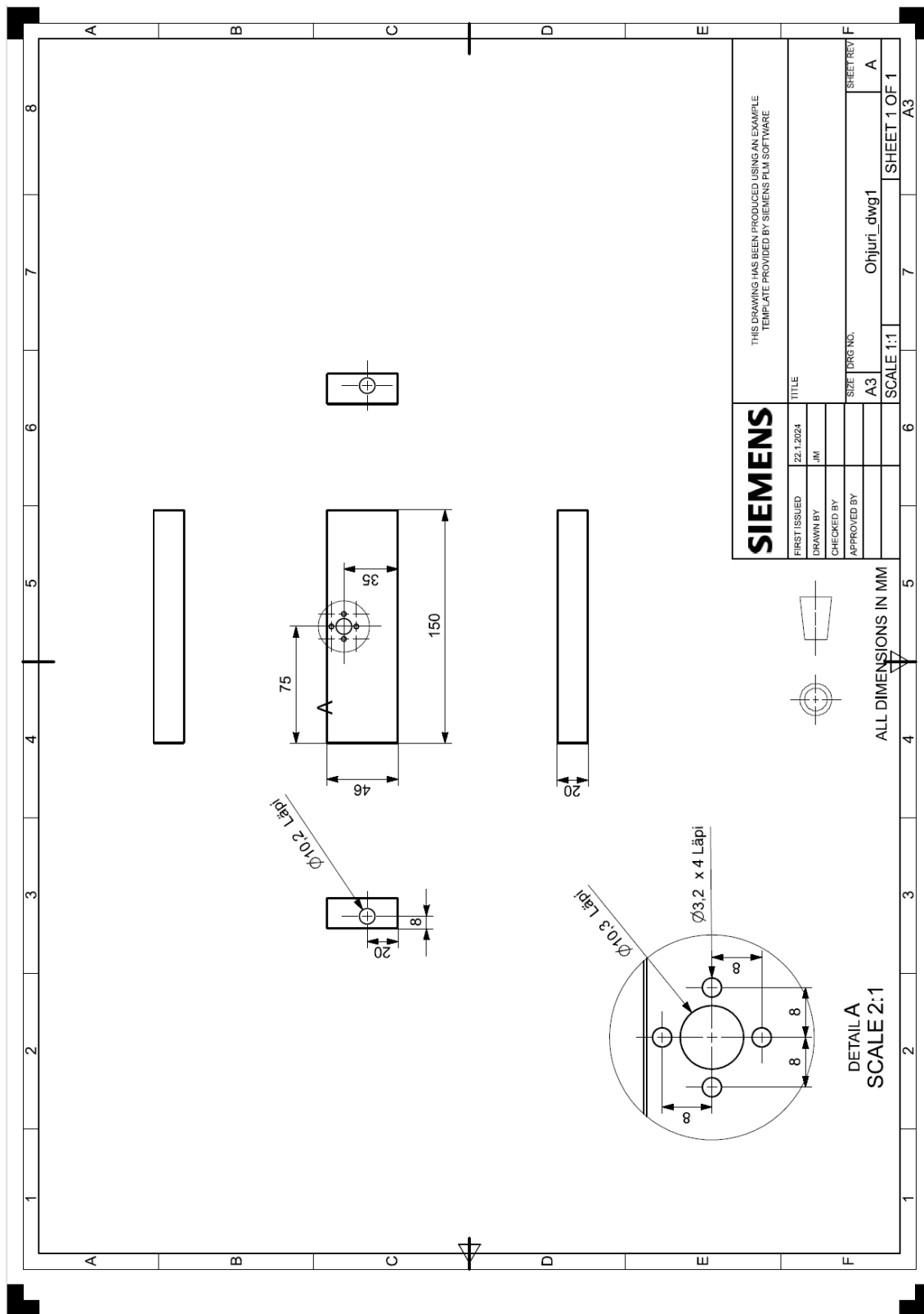


Liite 5. Pohja

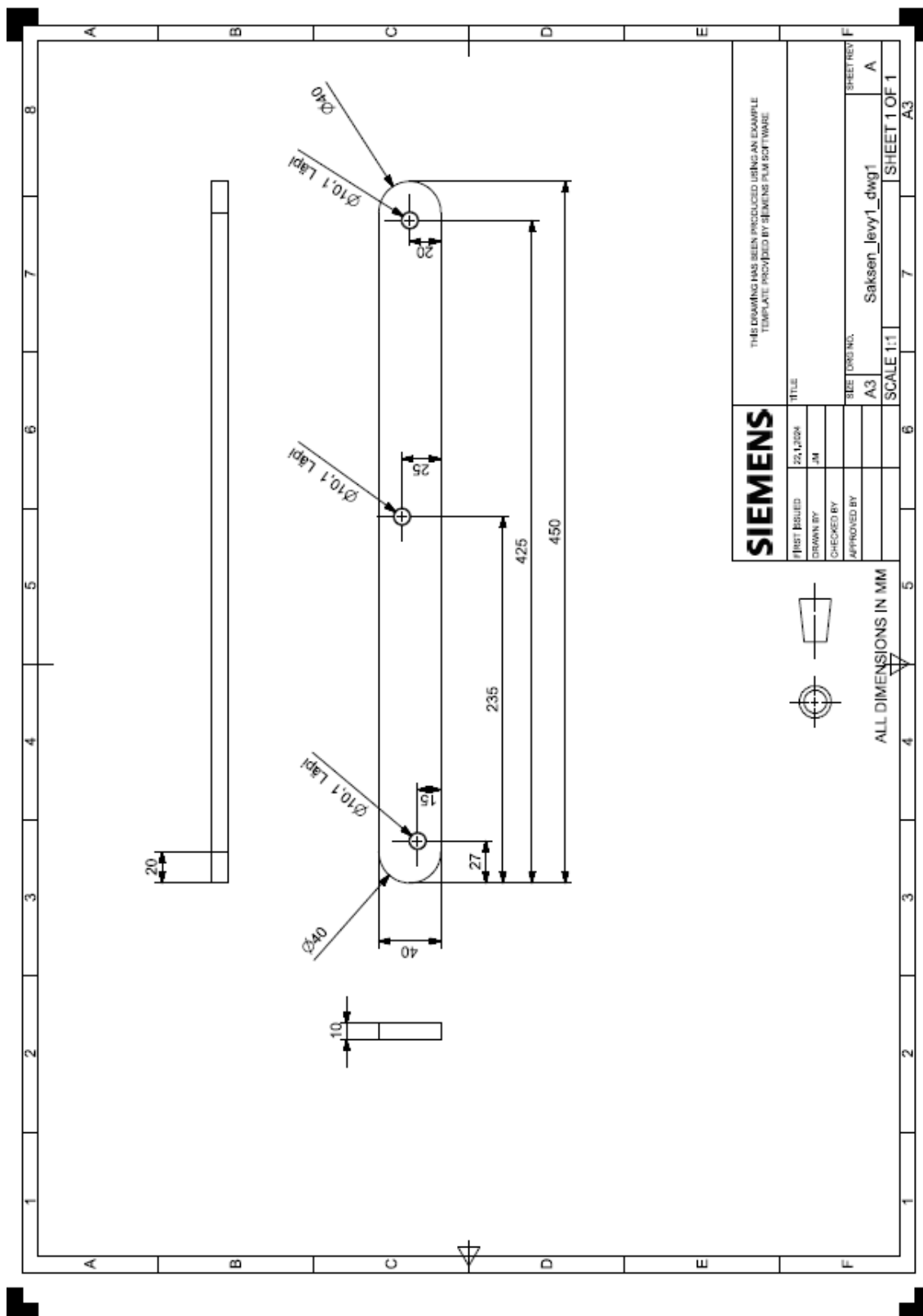


Liite 6. Askelmoottorin taso

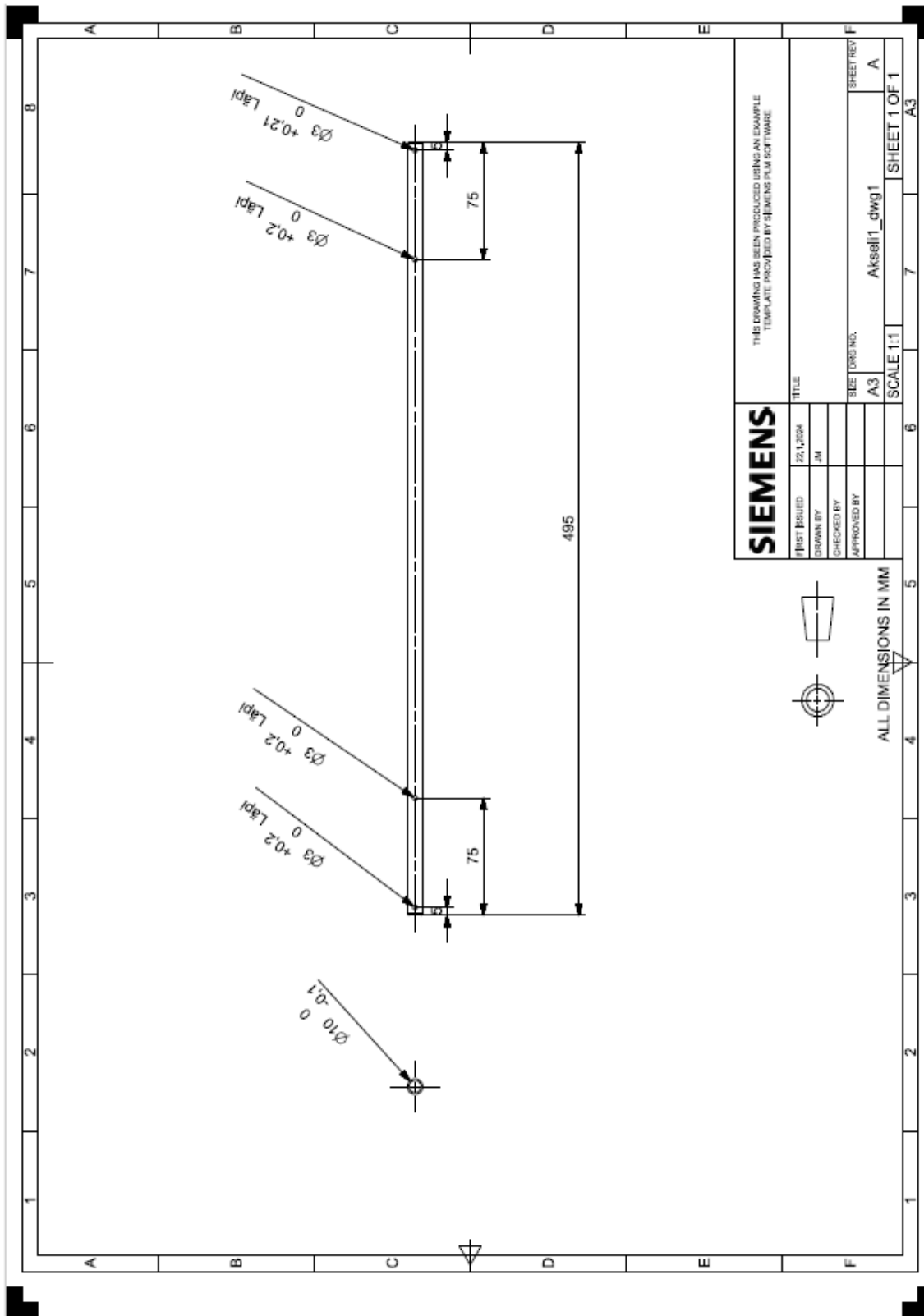




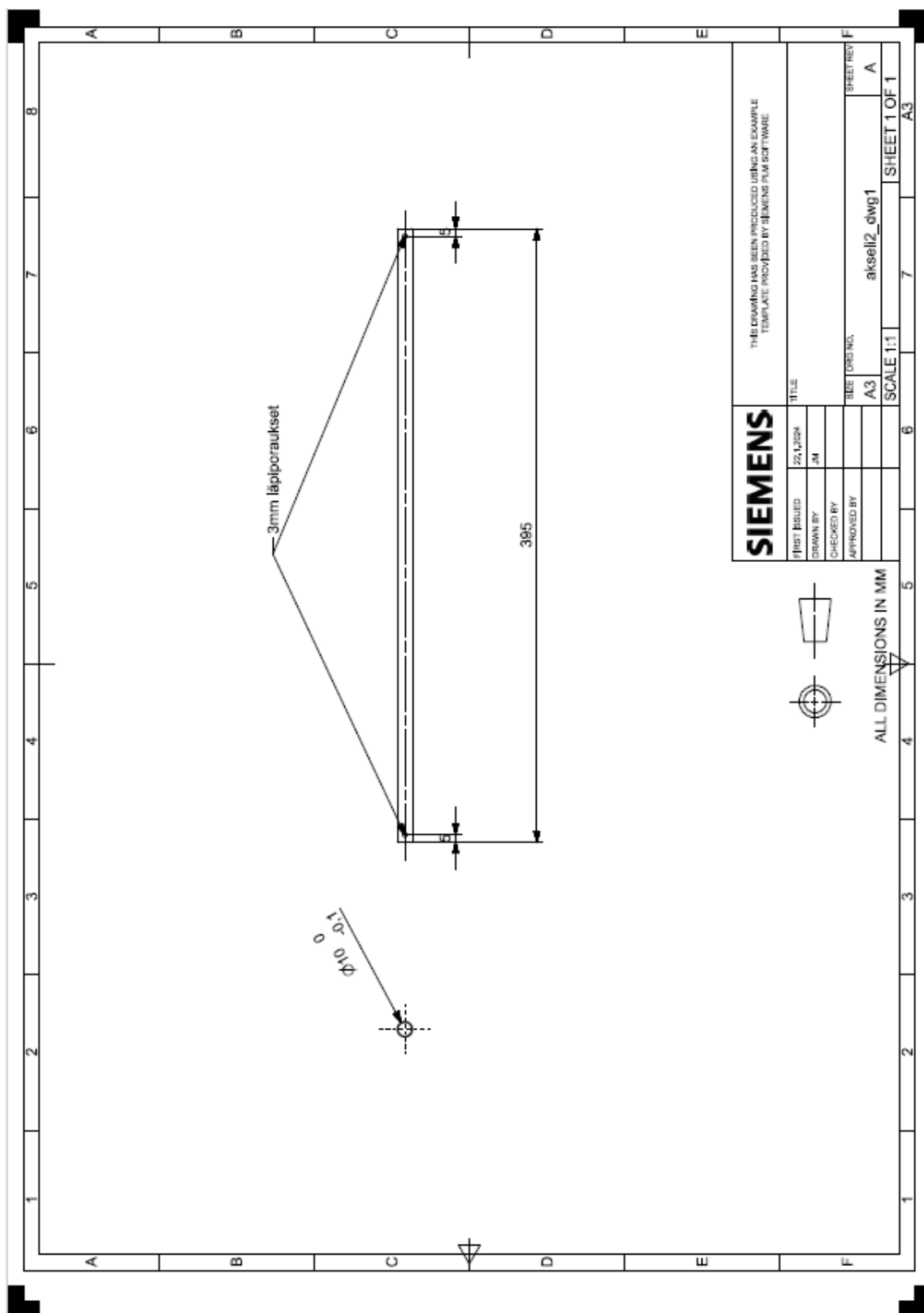
Liite 8. Saksen levy



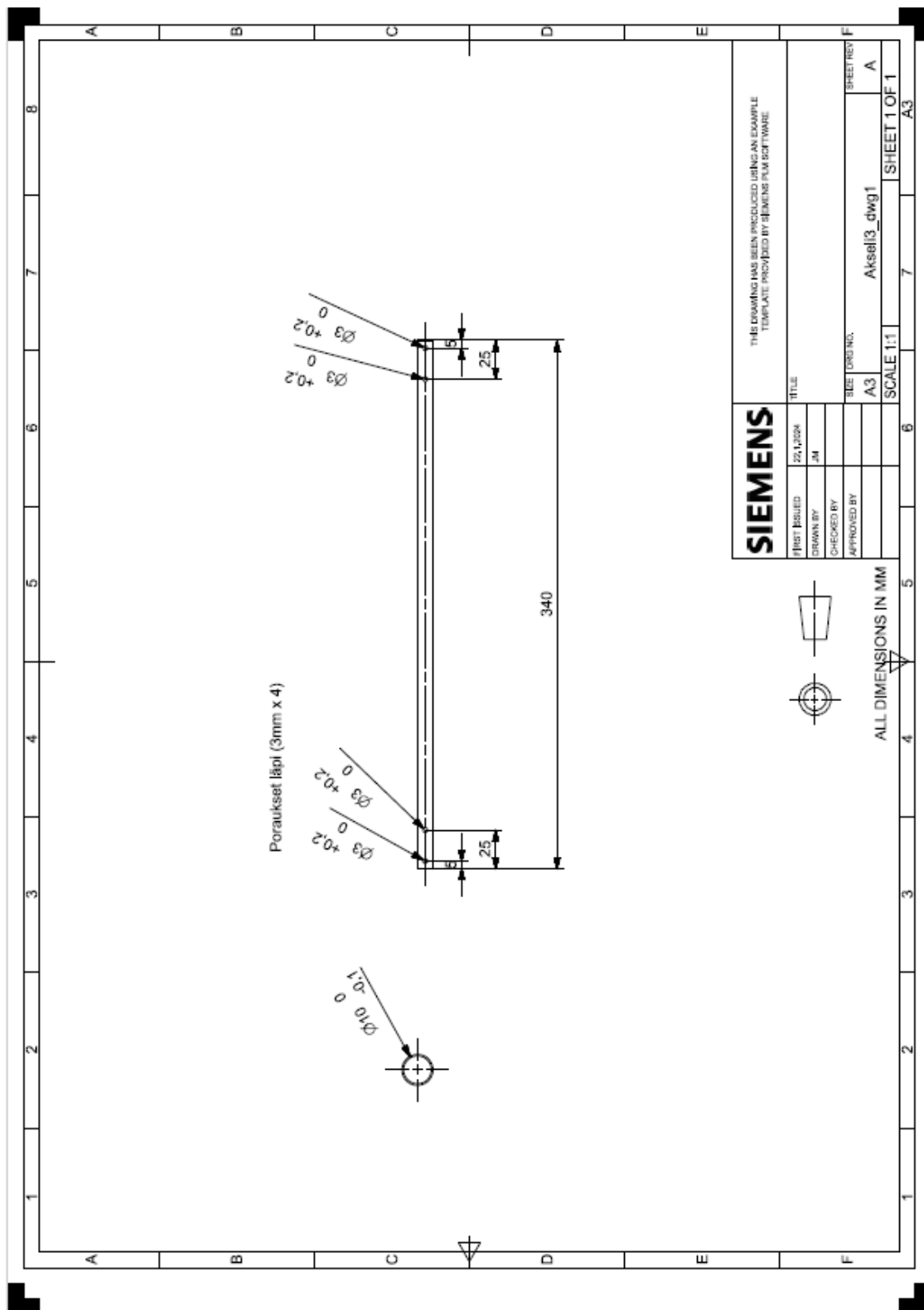
Liite 9. Akseli 1



Liite 10. Akseli 2



Liite 11. Akseli 3



Liite 12. Digital I/O taulukko

Digital I/O

Connector type HDB44F

Pin No.	Designation		Notes
	Hardware	Software	
1	INPUT_1.1	Input_1.1	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
2	INPUT_1.2	Input_1.2	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
3	INPUT_1.3	Input_1.3	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
4	INPUT_1.4	Input_1.4	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
5	BANK1		Common for INPUT_1.X
6	INPUT_2.1	Input_2.1	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
7	INPUT_2.2	Input_2.2	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
8	INPUT_2.3	Input_2.3	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
9	INPUT_2.4	Input_2.4	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
10	BANK2		Common for INPUT_2.X
11	INPUT_3.1	Input_3.1	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
12	INPUT_3.2	Input_3.2	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
13	INPUT_3.3	Input_3.3	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
14	INPUT_3.4	Input_3.4	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
15	BANK3		Common for INPUT_3.X
16	INPUT_4.1	Input_4.1	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
17	INPUT_4.2	Input_4.2	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$

Pin No.	Designation		Notes
	Hardware	Software	
18	INPUT_4.3	Input_4.3	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
19	INPUT_4.4	Input_4.4	0 – 30 V Range, $R_{in} = \sim 3.9 \text{ k}\Omega$
20	BANK4		Common for INPUT_4.X
21	OUTPUT_1	Output_1	
22	OUTPUT_2	Output_2	
23	OUTPUT_3	Output_3	
24	OUTPUT_4	Output_4	
25	OUTPUT_5	Output_5	
26	OUTPUT_6	Output_6	
27	OUTPUT_7	Output_7	
28	OUTPUT_8	Output_8	
29	OUTPUT_9	Output_9	
30	OUTPUT_10	Output_10	
31	OUTPUT_11	Output_11	
32	OUTPUT_12	Output_12	
33	OUTPUT_13	Output_13	
34	OUTPUT_14	Output_14	
35	OUTPUT_15	Output_15	
36	OUTPUT_16	Output_16	
37	VBAT_IO_OUT4		VBAT @ 0.5 A Max (shared with light pole)
38	VBAT_IO_OUT3		VBAT @ 0.5 A Max
39	VBAT_IO_OUT2		VBAT @ 0.5 A Max
40	VBAT_IO_OUT1		VBAT @ 0.5 A Max
41 - 44	GND		

Liite 13. User Power taulukko

User Power

Connector type Mini-Fit® 6 x 2

Pin No.	Designation		Notes
	Hardware	Software	
1, 2, 3, 4, 5, 6	GND		Limit to < 5 A per pin
7	SW_VBAT_OUT1	Battery_Out_1	VBAT @ 4 A max (switched in SW)
8	SW_VBAT_OUT2	Battery_Out_2	VBAT @ 4 A max (switched in SW)
9, 10*	SW_VBAT_OUT34	Battery_Out_3_and_4	VBAT @ 10 A max (switched in SW) Limit to < 5 A per pin.
11, 12*	SAFE_VBAT_OUT		SW_VBAT_OUT34 gated by dual-channel ESTOP relays
*9,10 and 11,12 share the 10 A of current.			

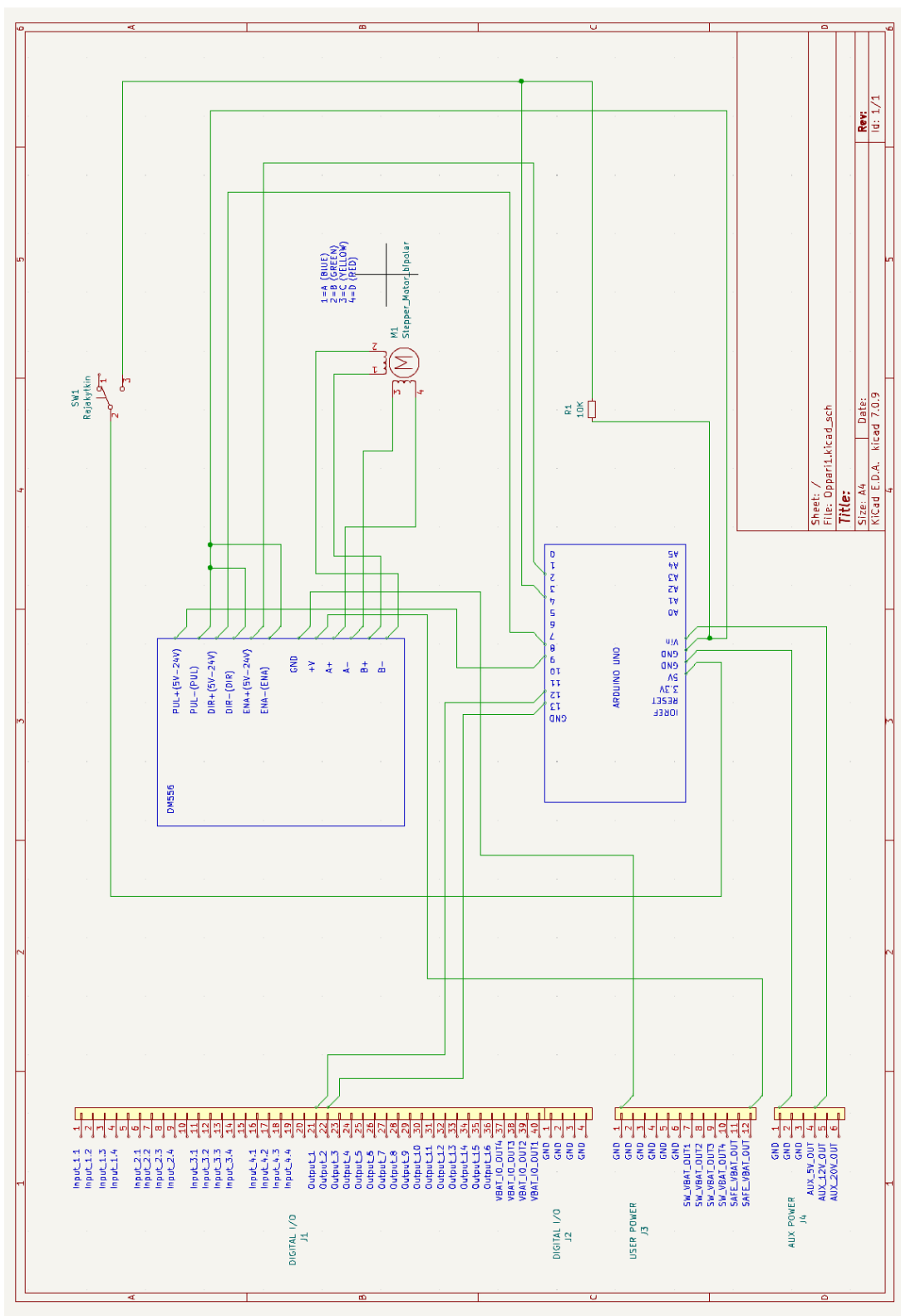
Liite 14. Aux power taulukko

Aux Power

Connector type Mini-Fit® 3 x 2

Pin No.	Designation		Notes
	Hardware	Software	
1, 2, 3	GND		
4	AUX_5V_OUT	Aux_5V	5 V @ 1 A max
5	AUX_12V_OUT	Aux_12V	12 V @ 1 A max
6	AUX_20V_OUT	Aux_20V	20 V @ 1 A max

Liite 15. Kytentäkaavio



Liite 16. Arduino koodi

```

Steppimoottorin_ohjaus.ino
1  #include <AccelStepper.h>
2
3  #define MOOTTORIN_ASKELEET 200
4  #define motorInterfaceType 1
5  #define enapin 2
6  #define rajapin 4
7  #define dirpin 8
8  #define pullpin 9
9  #define robo1pin 12
10 #define robo2pin 13
11 int const alustatop = 1600; // 8mm nousulla 8*8=64mm
12 AccelStepper stepper = AccelStepper(motorInterfaceType, pullpin, dirpin);
13
14 void setup() {
15     pinMode(enapin, OUTPUT); // Ena +
16     pinMode(rajapin, INPUT); // Rajakytkimen tieto
17     pinMode(dirpin, OUTPUT); // Dir +
18     pinMode(pullpin, OUTPUT); // Pull +
19     pinMode(robo1pin, INPUT); // Robotilta tuleva tieto (kappaleen nousto)
20     pinMode(robo2pin, INPUT); // Robotilta tuleva tieto (kappaleen palautus)
21     stepper.setMaxSpeed(1000); // Maksimi nopeuden asetus
22     stepper.setAcceleration(500); // Kiihtyvyyden asetus
23
24     nolla(); // Etsii rajakytkimen (ala-asennon)
25     stepper.setCurrentPosition(0);
26 }
27 void loop() {
28
29     int raja = digitalRead(rajapin);
30     int robo1 = digitalRead(robo1pin);
31     int robo2 = digitalRead(robo2pin);
32
33     //Laskutelineen ollessa alhaalla ja robotin ollessa telineen alla --> Nostolaite ylös.
34     if (raja == 1 && robo1 == 1 && robo2 == 0) {
35         digitalWrite(enapin, HIGH);
36         delay(1000);
37         stepper.moveTo(alustatop);
38         stepper.runToPosition();
39         digitalWrite(enapin, LOW);
40
41         //Laskutelineen ollessa ylhäällä ja robotin ollessa telineen alla --> Nostolaite alas.
42     }
43     if (raja == 0 && robo2 == 1 && robo1 == 0) {
44         digitalWrite(enapin, HIGH);
45         delay(1000);
46         stepper.moveTo(0);
47         stepper.runToPosition();
48         digitalWrite(enapin, LOW);
49     }
50 }
51 void nolla() {
52
53     digitalWrite(enapin, HIGH);
54
55     while (digitalRead(rajapin) == 0) {
56         int move = -1;
57         stepper.moveTo(move);
58         stepper.runToPosition();
59         --move;
60     }
61
62     digitalWrite(enapin, LOW);
63 }

```