



Sisälogistiikan toteuttaminen mobiilirobotilla

Konsta Hovivuori

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

HOVIVUORI, KONSTA:
Sisälogistiikan toteuttaminen mobiilirobotilla

Opinnäytetyö 39 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2024

Opinnäytetyön tarkoitus oli kehittää laboratorion sisälogistiikkaa hyödyntämällä Omron LD-90 -mobiilirobottia. Tavoitteena oli suunnitella mobiilirobotille tapa kuljettaa tavaraa ympäri tilaa ja jättää se halutuille suunnitelluille pisteille. Työ tehtiin Tampereen ammattikorkeakoululle heidän tiloihinsa.

Työssä suunniteltiin mobiilirobotille kuljetinjärjestelmä sekä kaksi erilaista purkupistettä, jotka toimivat sujuvasti toistensa kanssa. Kuljetinjärjestelmällä mobiiliroboti pystyi ottamaan kuljetettavan tavaran kyytiin ja viemään sen haluttuun purkupisteeseen itsenäisesti. Suunnittelu tehtiin 3D-mallintamalla osat ja suunnitelluista osista tehtiin valmistuskuvat.

Suunnitelma kävi läpi muutaman muodonmuutoksen ja iteraation työn aikana. Lopputulokseksi saatiin kuitenkin toimiva suunnitelma ja 3D-mallinnukset kuljetinjärjestelmästä ja purkupisteistä valmistuskuvien kera.

ABSTRACT

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

HOVIVUORI, KONSTA:
In-House Logistics with a Mobile Robot

Bachelor's thesis 39 pages, appendices 0 pages
May 2024

The purpose of this thesis was to advance the in-house logistics at a Tampere University of Applied Sciences laboratory by using an Omron LD-90 mobile robot. The mobile robot needs a way to carry an object and move it to one of the two unloading stations that are to be designed in this thesis.

The thesis consisted of designing a conveyor system for the mobile robot and two unloading points where the mobile robot can drop off the desired object. The goal of the conveyor system was for it to be able to carry objects and leave them at the desired unloading point autonomously. The designs were done by 3D designing these objects and providing manufacturing drawings for them.

The end result was a working design for the conveyor system and the unloading points completed with the 3D designs and manufacturing drawings.

Key words: mobile robot, interior logistics, mechanical design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	MOBIILIROBOTIT JA SISÄLOGISTIikka	6
2.1	Mitä ovat mobiilirobotit?	6
2.1.1	Erilaisia mobiilirobotteja ja niiden käyttökohteita.....	6
2.1.2	Mobiilirobottien historia ja kehitys	7
2.1.3	Omron LD-90.....	9
2.2	Sisälogistiikka ja sen tärkeys	10
2.2.1	Sisälogistiikan kehittäminen	10
2.2.2	Mobiilirobotit sisälogistiikassa.....	10
2.2.3	Sisälogistiikka omassa projektissa	11
3	MOBIILIROBOTTIEN TURVALLISUUS.....	12
3.1	Yleistä turvallisuudesta	12
3.1.1	Standardit.....	12
3.2	Omron LD-90 turvallisuus	13
4	SUUNNITTELU.....	14
4.1	Tavoite	14
4.2	Varhaiset versiot	14
4.2.1	Rullakuljetin	14
4.2.2	Ensimmäinen versio projektista.....	15
5	LOPPUTULOKSET.....	24
5.1	Parannusehdotukset	24
5.2	Lopullinen versio projektista	24
5.2.1	Kiinteä teline	24
5.2.2	Kuljetinjärjestelmä	26
5.2.3	Liuskateline	31
5.3	Valmistuskuvat.....	33
5.3.1	Kiinteä teline.....	33
5.3.2	Kuljetinjärjestelmä	34
5.3.3	Liuskateline	36
6	POHDINTA	38
	LÄHTEET.....	39

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö sai alkunsa 2022 keväällä Tampereen ammattikorkeakoulun tarjoamien opinnäytetyöaiheiden kautta. Aiheeksi valikoitui sisälogistiikan toteuttaminen mobiilirobotin avulla. Koululla oli tarve kehittää koulun omaan laboratoriotilaan sisälogistiikkaa hyödyntämällä koululla valmiiksi olevaa Omron LD-90 mobiilirobottia. Tavoitteena oli kehittää ja suunnitella 3D-mallintamalla mobiilirobotille kuljetinjärjestelmä ja kaksi erilaista purkupistettä, joita voitaisiin tarpeen mukaan liikutella laboratoriossa vapaasti. Kuljetinjärjestelmän avulla robotti kuljettaisi tavaran purkupaikalle, johon se voisi jättää tavarat sujuvasti ilman ihmisen puuttumista prosessiin. Kuljetinjärjestelmän ja purkupaikkojen tulisi siis toimia sujuvasti yhdessä.

Tässä opinnäytetyössä esitellään suunnittelutyön lopputulokset, 3D-mallit, valmistuskuvat suunnitelluista osista ja käydään läpi suunnittelu prosessia alusta loppuun. Työssä tarkastellaan myös mobiilirobotteja yleisesti, mobiilirobottien turvallisuutta ja sisälogistiikan tärkeyttä nykypäivän työympäristöissä.

2 MOBIILIROBOTIT JA SISÄLOGISTIIKKA

2.1 Mitä ovat mobiilirobotit?

Mobiilirobotit ovat laitteita, jotka voivat liikkua erilaisissa ympäristöissä ilman ulkoista ohjausta tai apua. Mobiilirobottien etuna on siis liikkumisen mahdollisuus ilman ihmisen avustusta ja toiminta ilman taukoja. Ne pystyvät liikkumaan vaikeissakin olosuhteissa ja ihmisille mahdottomissa paikoissa. Nämä asiat tekevät niistä korvaamattoman osan nykypäivän yhteiskuntaa.

Mobiilirobotit käyttävät itsenäisen ohjauksen saavuttamiseen erilaisia sensoreita ja antureita. Antureina ja sensoreina voi olla esimerkiksi kameroita, joilla robotti voi nähdä ympäristönsä ja tunnistaa esineitä tai lasereita, jolla robotti voi mitata välimatkan itsensä ja ympärillä olevien esteiden välillä sekä kartoittaa ympäristöään näin. Mukana on myös usein inertiamittausyksiköitä, joilla robotti voi mitata omaa kiihtyvyyttä, rotaatiota, ja muita tietoja, joiden avulla robotti saa omasta sijainnistaan ja nopeudestaan parempaa tietoa. Vaihtoehtoisesti jotkin robotit voivat käyttää GPS sensoreita, joiden avulla ne saavat tietoa sijainnistaan ja nopeudestaan. (Mobile Robot, 2022.)

Mobiilirobotteihin voidaan liittää apuvälineitä suorittamaan haluttuja tehtäviä. Yleisiä apuvälineitä mobiilirobotteihin liitettäväksi ovat esimerkiksi tarttujakäsi, siivousvälineet, porat sekä erilaiset leikkausvälineet. Tarttujakädellä robotti voi poimia ja siirtää asioita, ja siivousvälineiden, kuten imurin tai mopin avulla robotti voi puolestaan siivota helposti isoja alueita ilman ihmisen puuttumista. Roboteissa olevien antureiden avulla voidaan mm. myös kartoittaa uusia alueita hyvin tarkasti tai tarkastella ja valvoa vanhoja alueita muutoksilta. (Raj, R., Kos, A. 2022.)

2.1.1 Erilaisia mobiilirobotteja ja niiden käyttökohteita

Mobiilirobotteja on useita erilaisia erilaisiin käyttötarkoituksiin ja eri ympäristöihin. Yleisimpiä mobiilirobotin muotoja ovat pyörillä-, jaloilla- ja veden alla liikkuvat mobiilirobotit sekä lentävät ja ihmistä matkivat robotit. (Mobile Robots, 2022)

Pyörillä liikkuvat mobiilirobotit ovat yleisimpiä mobiilirobotteja. Nimensä mukaisesti ne kulkevat pyörillä lähinnä tasaisilla pinnoilla, mutta niitä voidaan muokata toimimaan myös vaativampiin olosuhteisiin. Niiden käyttökohteita ovat yleisimmin logistiikka, teollisuus ja terveydenhuolto, joissa ne muun muassa liikuttavat tavaraa paikasta toiseen tai siivoavat. (Raj, R., Kos, A. 2022.)

Jaloilla liikkuvat robotit liikkuvat jalkojen päällä eläimen omaisesti, joka antaa jaloille robotille paremmat valmiudet liikkua vaativimmissa olosuhteissa. Tämän vuoksi niiden yleisimpiä käyttökohteita ovat pelastustehtävät, alueiden kartoitus ja erilaiset armeijaan liittyvät tehtävät, kuten pommin purku.

Lentävät mobiilirobotit, eli dronet lentävät ilmassa ja ne ovat hyvin käytännöllisiä esimerkiksi valokuvaus, valvonta ja vakoilutehtävissä. Niiden avulla voidaan päästä käsiksi korkeisiin paikkoihin helposti tarkastelemaan jotain tai valvoa suurta aluetta kerralla. (Mobile Robot, 2022.)

Veden alla liikkuvilla mobiiliroboteilla voidaan tutkia alueita veden alla. Ne ovat hyvin käytännöllisiä esimerkiksi merien tutkinnassa ja meribiologiassa. (Mobile Robot, 2022.)

Ihmistä matkivat mobiilirobotit ovat suunniteltu matkimaan ihmistä ulkonäöltään ja niitä käytetään muun muassa viihteenä ja terapiassa. Niitä on käytetty esimerkiksi pitämään seuraa vanhuksille sekä auttamaan päivittäisissä tilanteissa.

2.1.2 Mobiilirobottien historia ja kehitys

Mobiilirobottien historia on pitkä ja se saa alkunsa noin toisen maailman sodan ajalta, jolloin kehitettiin pommeja, joilla voitaisiin kuvailla olevan mobiilirobottimaisia piirteitä. Yksi esimerkki tällaisesta on pommi, joka räjähtää vain tietyn etäisyyden päässä maalistaan käyttämällä sensoreita pommin sisällä, jotka pystyivät mittaamaan etäisyyden kohteeseen, esimerkiksi laivaan. (Mobile Robot, 2022.)

Seuraava merkittävä kehitys mobiiliroboteissa tapahtui, kun W. Grey Walter rakensi kaksi robottia nimeltä Elmer ja Elsie vuosina 1948 ja 1949. Elmer sisälsi valosensoreita, joiden avulla se pystyi tunnistamaan ja kulkemaan valoa kohti ja välttämään pimeitä kohtia. Se pystyi myös mukautumaan muutoksiin valoisuudessa. Elsie oli kehittyneempi versio Elmeristä ja sillä oli paljon samoja piirteitä Elmerin kanssa, mutta se pystyi huomattavasti monimutkaisempiin ratkaisuihin ja liikkeisiin. Se pystyi muun muassa palaamaan takaisin latauspisteeseen, kun se tarvitsi latausta latauspisteen päälle asetetun valon avulla. (Goodwin, 2020.)

Yksi todella suuri harppaus eteenpäin mobiiliroboteissa oli Shakey the Robot, joka kehitettiin 1960-luvun lopussa ja 1970-luvun alussa Stanfordin yliopistossa. Shakey oli mobiilirobotti, joka pystyi itse tekemään päätöksiä tekemisistään ja liikkeistään ympäristönsä perusteella. Shakey hyödynsi esimerkiksi konenäköä, reitinsuunnittelu algoritmeja ja loogista ajattelukykyä saavuttaakseen päämääränsä. Robottiin oli asennettu televisio kamera, jolla se kuvasi ympäristöään ja törmäys sensoreita kertomaan mahdollisesta osumasta. Näiden avulla Shakey pystyi navigoimaan itse läpi huoneen ilman ulkoista avustusta. Shakey inspiroi monia sen jälkeen kehitettyjä robotteja ja on keskeinen osa nykyistenkin mobiilirobottienkin historiaa. (Abby, 2023.)

Teollisuudessa mobiilirobotteja on käytetty jo 1950-luvulta lähtien. Nämä robotit pystyivät liikkumaan niille asetettuja ratoja pitkin, kuten magneettinauhaa seuraamalla ja niitä käytettiin lähinnä siirtämään tavaraa paikasta toisen. Nämä eivät kuitenkaan pystyneet vielä liikkumaan vapaasti ja itsenäisesti. Tällaiset autonomiset robotit tulivat markkinoille vasta 1990-luvulla. (Goodwin, 2020.)

Ensimmäinen autonominen mobiilirobotti markkinoilla oli HelpMate niminen robotti, jonka tehtävä oli liikuttaa tavaraa sairaaloissa. HelpMate kuljetti muun muassa potilaiden ruokia, steriilejä tarvikkeita, postia ja muita raportteja. Se käytti ultraääni- ja infrapuna sensoreita ja kameroita ohjaamaan toimintaansa. HelpMaten jälkeen autonomiset mobiilirobotit alkoivat yleistyä markkinoilla teknologian kehittyttyä ja niistä on tullut korvaamattomia apuvälineitä nykypäivänä. (Goodwin, 2020.)

2.1.3 Omron LD-90

Työssä käytettävä Omron LD-90 mobiilirobotti (kuva 1) on japanilaisen Omron yrityksen valmistama robotti. Se on osa Omronin LD-sarjaa, joiden suunniteltu tarkoitus on materiaalin siirtely ja logistiset tehtävät. Niiden käyttökohteet ovat pääsääntöisesti logistiikassa, teollisuudessa ja terveydenhuollossa. Omronin LD-sarjaan kuuluvat LD-60, LD-90 ja LD-250 mallit. Erot robottien välillä tulee robottien kantokyvystä ja maksiminopeudesta. LD-60 pystyy kantamaan 60kg kuormia 1,8m/s nopeudella, LD-90 kantokyky on 90kg ja nopeus 1,35m/s ja LD-250 pystyy käsittelemään 250kg:n kuormia 1,2m/s nopeuksilla. (Omron, ei pvm.)



Kuva 1. Omron LD-90 mobiilirobotti. (Omron, 2023.)

2.2 Sisälogistiikka ja sen tärkeys

Sisälogistiikka kaikessa yksinkertaisuudessaan tarkoittaa jossakin tilassa tapahtuvaa tavaravirran hallintaa. Tällaisia tiloja voivat olla esimerkiksi tehtaat, varastot, laboratoriot, terminaalit tai mitkä tahansa muut tilat, joissa on tarvetta tavaran liikkumiselle. Sisälogistiikka koostuu yleensä samoista vaiheista riippumatta käyttökohteesta. Se alkaa saapuvan tavaran vastaanottamisella ja sen hyllyttämisellä tai säilömisellä. Tavara haetaan sen varastopaikalta ja viedään sen käyttökohteeseen, jonka jälkeen valmis tavara viedään säilöön tai lähetetään eteenpäin lopulliseen kohteeseensa. Kaikki tämä tavaran siirtely on sisälogistiikkaa ja sen kehittäminen ja optimointi on keskeinen osa koko prosessin tehokkuutta ja kannattavuutta. Sisälogistiikalla on siis tärkeä rooli maailmassa. (Ziirto, ei pvm.)

2.2.1 Sisälogistiikan kehittäminen

Sisälogistiikan kehittämisen tavoitteena on optimoida tavaran siirtoa ja pienentää siihen kuluva aikaa. Ylimääräinen kulutettu aika voi käydä yllättävän kalliiksi. Sisälogistiikkaa voi parantaa muun muassa muuttamalla tilan pohjaratkaisua helpommaksi ja kätevämmäksi tai hankkimalla uusia välineitä, kuten robotteja ja muita kuljetusvälineitä, jotka parhaimmillaan voivat automatisoida koko sisälogistiikan. (Ziirto, ei pvm.)

2.2.2 Mobiilirobotit sisälogistiikassa

Mobiiliroboteilla on hyvin tärkeä rooli nykypäivänä sisälogistiikassa. Niiden avulla sisälogistiikkaa voidaan automatisoida ja työntekijöitä voidaan vapauttaa toimimaan muissa prosessin rooleissa. Mobiilirobottien tärkeimpiä tehtäviä sisälogistiikassa ovat materiaalin kuljetus ja käsittely. Mobiilirobotilla voidaan viedä tavara sille tarkoitettuun paikkaan ja noutaa se sieltä tarvittaessa. Se voi myös pitää varaston saldoja yllä automaattisesti lukemalla viivakoodeja, ilmoittaa vähille käy-

västä tavarasta tai muuta vastaavaa hakiessaan tai toimittaessaan tavaraa. Tämän avulla materiaalivirta voidaan pitää yhtenäisenä ja turhia seisokkeja materiaali puutoksista ei pääse sattumaan.

Mobiilirobotit pystyvät myös toimimaan pienemmissä tiloissa kuin ihmiset, jolloin saatavilla olevasta tilasta voidaan hyödyntää isompaa osaa muihin tarkoituksiin. Mobiiliroboteilla on myös kyky toimia sujuvasti yhdessä muiden robottien kanssa, jolloin isompia osia prosessista voidaan automatisoida kokonaan.

2.2.3 Sisälogistiikka omassa projektissa

Tämän opinnäytetyön aiheessa sisälogistiikan kehittämisen tarve tulee halusta saavuttaa sujuvampi materiaalinkulku työpisteiden välillä ja tähän tarkoitukseen mobiilirobotti on paras ratkaisu. Mobiilirobotti ei kuitenkaan yksinään pysty tähän, joten on tarpeellista kehittää kuljetusjärjestelmä, joka on yhteensopiva purkupaikkojen kanssa.

3 MOBIILIROBOTTIEN TURVALLISUUS

3.1 Yleistä turvallisuudesta

Mobiilirobottien käyttöön liittyy useita turvallisuusmenetelmiä ja standardeja, joilla pyritään varmistamaan mobiilirobottien turvallinen käyttö. Tällaisia ovat esimerkiksi ennen käyttöönottoa suoritettava riskienarviointi robotin suunnitelluille tehtäville ja sen toimintaympäristölle sekä jokaisessa mobiilirobotissa oleva hätäseis-painike, joka pysäyttää robotin heti siitä painettaessa.

3.1.1 Standardit

Mobiilirobotteihin liittyy useita standardeja, jotka varmistavat mobiilirobottien turvallisuuden. Tärkeimpiä standardeja ovat muun muassa seuraavat:

- ISO 10218-1 ja ISO 10218-2, jotka määrittelevät vaatimuksia teollisuusroboteille turvallisuustoimeenpiteisiin, suunnitteluun ja käyttöön liittyviin asioihin. Ne sisältävät mm. yleisiä vaaroja ja vaatimuksia niiden vähentämiseksi. (SFS-EN ISO 10218-1, SFS-EN ISO 10218-2, 2011.)
- ISO 13849-1:2023, joka määrittää robotin ohjausjärjestelmän suunnitteluun ja integrointiin liittyviä vaatimuksia. (SFS-EN ISO 13849-1:2023, 2023.)
- ISO/TS 15066:2016, jossa annetaan tarkempia turvallisuusvaatimuksia ihmisten kanssa toimiville yhteistyöroboteille ja niiden käyttöympäristölle. (ISO/TS 15066:2016, 2016.)

3.2 Omron LD-90 turvallisuus

Projektissa käytettävä Omron LD-90 on turvallisuusominaisuuksiltaan varsin hyvä mobiilirobotti, ja se täyttää mobiilirobottien turvallisuutta valvovien standardien vaatimukset. Siinä on useita kehittyneitä sensoreita, jotka valvovat robotin sijaintia ja sen ympäristöä ja varmistavat, että robotti ei törmää mihinkään. Omron LD-90 mobiilirobotissa on myös standardien vaatima hätä-seis-painike, jolla robotin voi pysäyttää heti. (OMRON, 2017-2019.)

Robotin ohjausjärjestelmä on suunniteltu ISO 13849 standardin mukaisesti ja siitä on saatavissa kattavat ohjeistukset ja harjoittelumateriaalit varmistamaan, että käyttäjä on tarpeeksi koulutettu robotin turvalliseen käyttöön. Käyttäjiä kehoitetaan tekemään riskienarviointi robotista ja sen käyttökohteista ennen robotin käyttämisen aloittamista. (OMRON, 2017-2019.)

4 SUUNNITTELU

4.1 Tavoite

Työn tavoite on kehittää Omron LD-90 robotille ratkaisu, jonka avulla se voisi kuljettaa tavaraa ympäri laboratoriota ja jättää tavara purkupisteille itsenäisesti. Suunniteltavana on siis kaksi erilaista purkupistettä ja kuljetinjärjestelmä robotin päälle kiinnitettäväksi, jotka toimivat sulavasti keskenään. Purkupisteiden tulisi olla myös liikuteltavia laboratoriossa. Toisen purkupisteen tulisi olla kiinteä tasainen teline ja toinen olisi liuskamainen teline, jossa tavara valuisi toiseen päätyyn telinettä.

4.2 Varhaiset versiot

Projektissa käytiin läpi muutamaa eri iteraatiota ja mahdollinen toteutustapa kuljetinjärjestelmälle ja purkupisteille ennen kuin löydettiin sopiva lopullinen ratkaisu. Tässä osiossa opinnäytetyötä käydään läpi erilaisia varhaisia versioita työstä, jotka syystä tai toisesta hylättiin tai päivitettiin paremmiksi.

4.2.1 Rullakuljetin

Projekti alkoi ideoimalla mahdollisia vaihtoehtoja kuljetinjärjestelmälle. Ensimmäisenä ideana oli työn tilaajankin ehdottama mobiilirobotin päälle asennettava rullakuljetin (kuva 2), joka olisi voinut liikkua lineaarisesti ylös ja alas ja kallistua kulmaan. Tämän ideana oli, että kuljetinjärjestelmä olisi voinut toimia yhdessä samantyyppisen hihnakuljettimen kanssa lastauspisteellä.

Järjestelmän lineaarinen liike ja kallistuminen olivat suunniteltu toimimaan yhdessä purkupisteiden ensimmäisten versioiden kanssa. Tarkoituksena oli, että rullakuljetin voisi jättää tavaran tavalliseen kiinteään purkupisteeseen ja nousta ylös ja kallistua tiputtamaan tavara toiseen luisumaiseen purkupisteeseen. Rullakuljetin idea kuitenkin hylättiin, sillä lastauspiste, josta tavara poimitaan kyytiin

muuttui ja purkupisteiden suunnitelma kehittyi eteenpäin ja tällaiselle ratkaisulle ei ollut enää tarvetta. Tämä idea ei koskaan edennyt 3D-mallinnus tasolle.



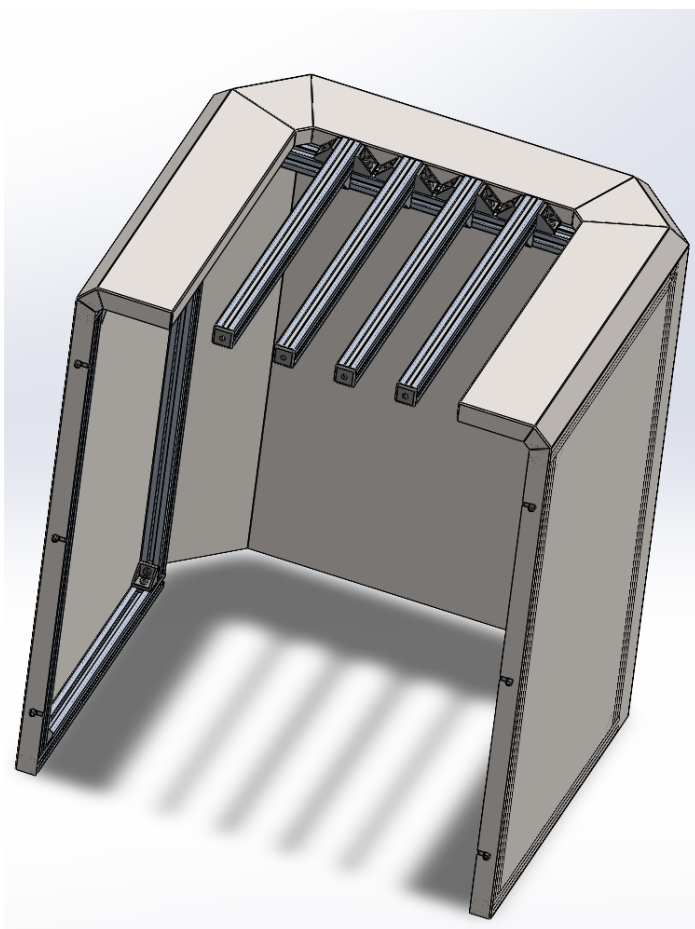
Kuva 2. Havainnekuva rullakuljettimesta Omron robotin päällä (Dimalog, ei pvm.)

4.2.2 Ensimmäinen versio projektista

Seuraava versio kuljetinjärjestelmästä ja purkupisteistä lähti tavoitteesta, jossa mobiilirobotti voisi viedä tavaraa myös purkupisteiden välillä. Tämä johtaa siihen, että saman kuljetinjärjestelmän on pystyttävä poimimaan ja jättämään kuljetettava tavara purkupisteille. Suunnittelu alkoi ideasta, jossa mobiilirobotti ajaisi purkupisteen alle ja nostaisi tavaran kyytiin liikkumalla lineaarisesti ylös. Mobiilirobotti veisi tavaran seuraavalle purkupisteelle ja laskisi tavaran siihen liikkumalla lineaarisesti alas. Idea todettiin hyväksi ja tämän version kanssa edettiin 3D-mallinnukseen asti.

Itse 3D-mallinnus alkoi miettimällä mahdollisia ratkaisuja yhteensopivuuteen kuljetinjärjestelmän ja purkupisteiden välille. Parhaaksi ratkaisuksi todettiin niin sanotut palkit purkupisteillä (kuva 3), joiden välistä kuljetinjärjestelmälle suunniteltavat vasteet mahtuisivat nousemaan ylös ja ottamaan telineen päällä sijaitsevan tavaran mukaan. Tämän jälkeen robotti olisi vapaa peruuttamaan pois purkupisteeltä ja viemään tavara haluttuun sijaintiin.

Tämän idean perusteella mallinnettiin ensimmäinen versio kiinteästä telineestä (kuva 3). Telineen kehikko rakennettaisiin alumiiniprofiileista, jotka kiinnitettäisiin toisiinsa pulteilla ja alumiiniprofiilin standardikiinnitysosilla. Telineen ulkokuori tehtäisiin taittamalla peltiä peittämään kehikon ja sen paino voisi pitää telinettä paikoillaan noston ja laskun ajan.

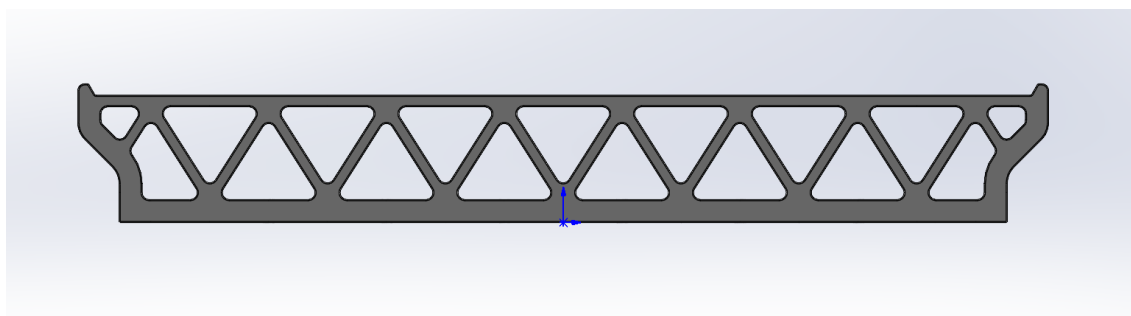


Kuva 3. Ensimmäisiä versioita kiinteästä telineestä

Seuraavaksi lähdettiin mallintamaan telineen kanssa yhteensopivaa kuljetinjärjestelmää mobiilirobotin päälle. Kuljetinjärjestelmän tulisi pystyä nostamaan omat

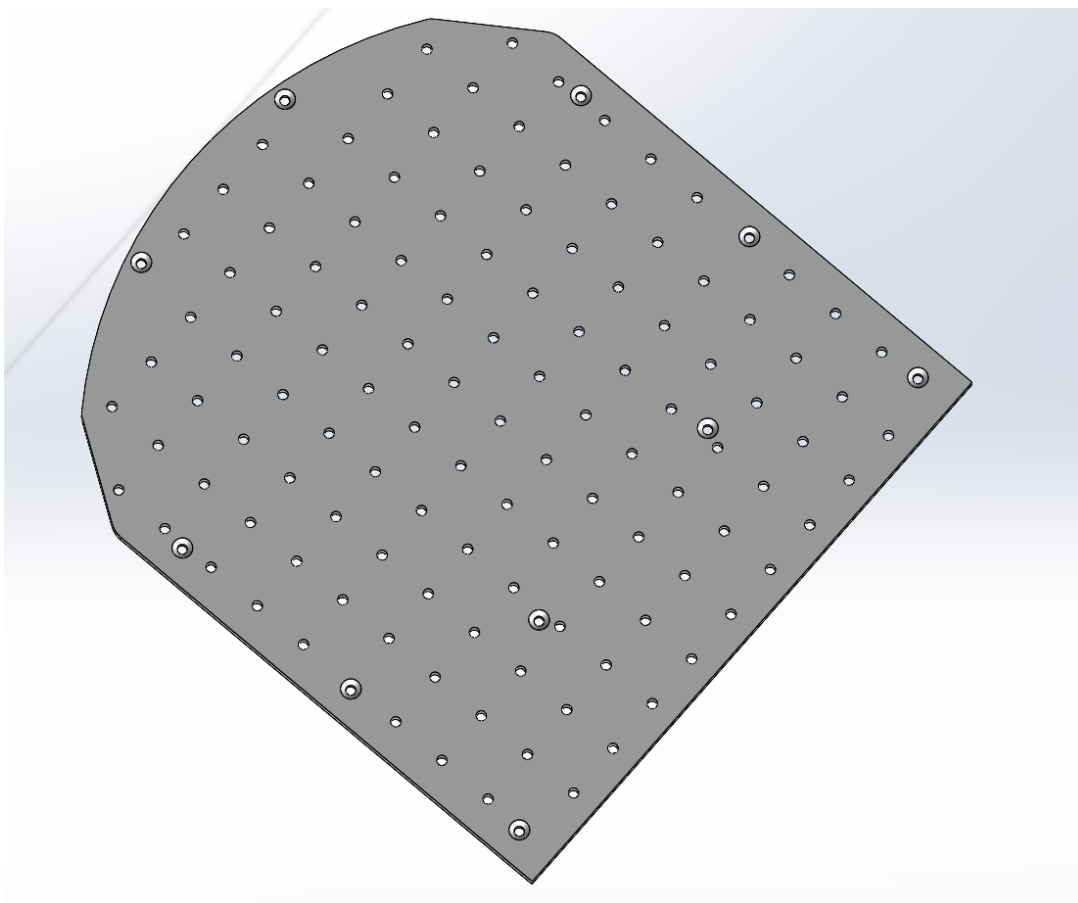
vasteensa telineen palkkien välistä suorassa sujuvasti. Nosto-ominaisuuteen päädyttiin käyttämään lineaarista karamoottoria, joka mahdollistaisi helpon ja tarkan lineaarisen ylös-alas liikkeen. Karamoottoriksi valikoitui LINAKin valmistama LA33-karamoottori, sillä se täytti kaikki vaatimukset muun muassa voiman ja iskunpituuden suhteen. Karamoottoreita päätettiin käyttää kolme kappaletta, jotta nosto olisi mahdollisimman tasainen ja voima riittäisi isommankin lastin nostoon.

Tämän jälkeen lähdettiin mallintamaan itse vastetta, jota karamoottorit nostaisivat ja millä tavara otettaisiin kyytiin. Siinä päädyttiin kuvan 4 mukaiseen ratkaisuun, joka oli suunniteltu tehtävän alumiinista tai S355 teräksestä. Materiaalivalinta perustuu vasteen riittävään kestävyys- ja esteettisyyteen. Vastetta on kevennetty kuvioimalla sitä kuvan 4 osoittamalla tavalla, jotta Omronin maksimi kuorma ei täytyisi suurimmiksi osin vain vasteiden painolla. Näitä vasteita tulisi yksi jokaiseen palkkiväliin telineessä, eli yhteensä viisi kappaletta mobiilirobotin päälle.

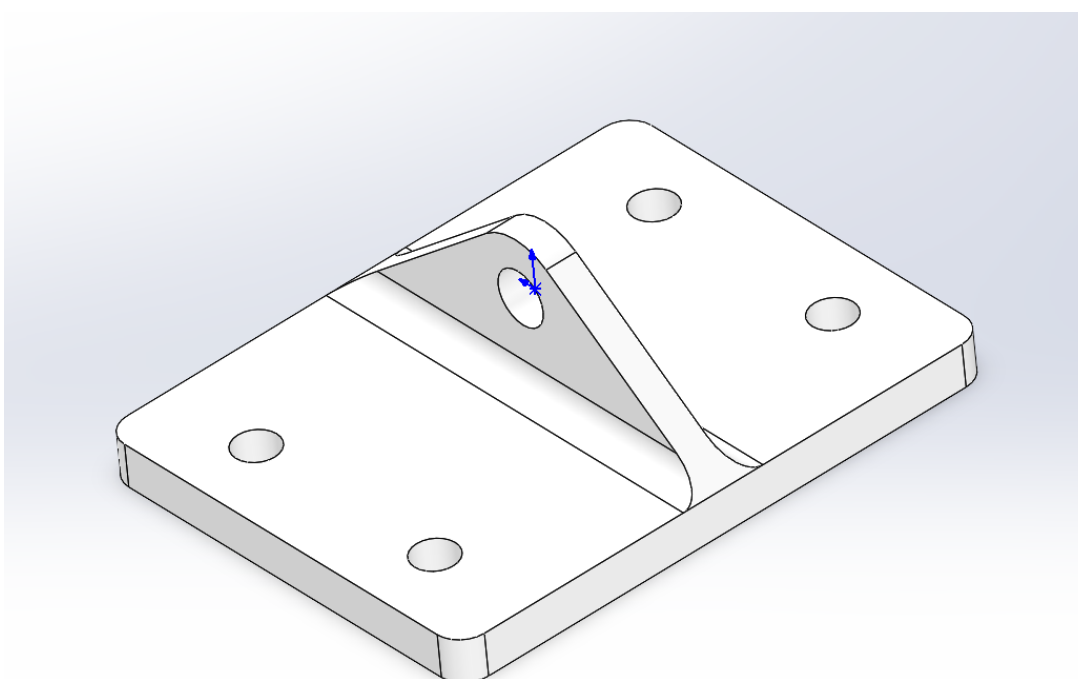


Kuva 4. Tavarantoimintaan suunniteltu vaste

Pääkomponenttien jälkeen alettiin suunnittelemaan karamoottorien kiinnitystä mobiilirobottiin ja vasteen kiinnittämistä karamoottoriin. Karamoottorien kiinnityksessä mobiilirobottiin hyödynnettiin robotin päällä valmiiksi ollutta kiinnityslevyä (kuva 5), joka 3D-mallinnettiin olemassa olevan kiinnityslevyn perusteella. Kiinnityslevyyn pystytään kiinnittämään karamoottorit pulteilla suunniteltavien kiinnityskappaleiden (kuva 6) avulla. Kiinnityskappaleet suunniteltiin valmistettavan 3D-tulostetusta muovista, sillä niihin kohdistuvat voimat tulevat suoraan ylhäältä päin, joten ne eivät rasita kiinnityskappaleita siten, että vahvempi materiaali olisi tarpeen.

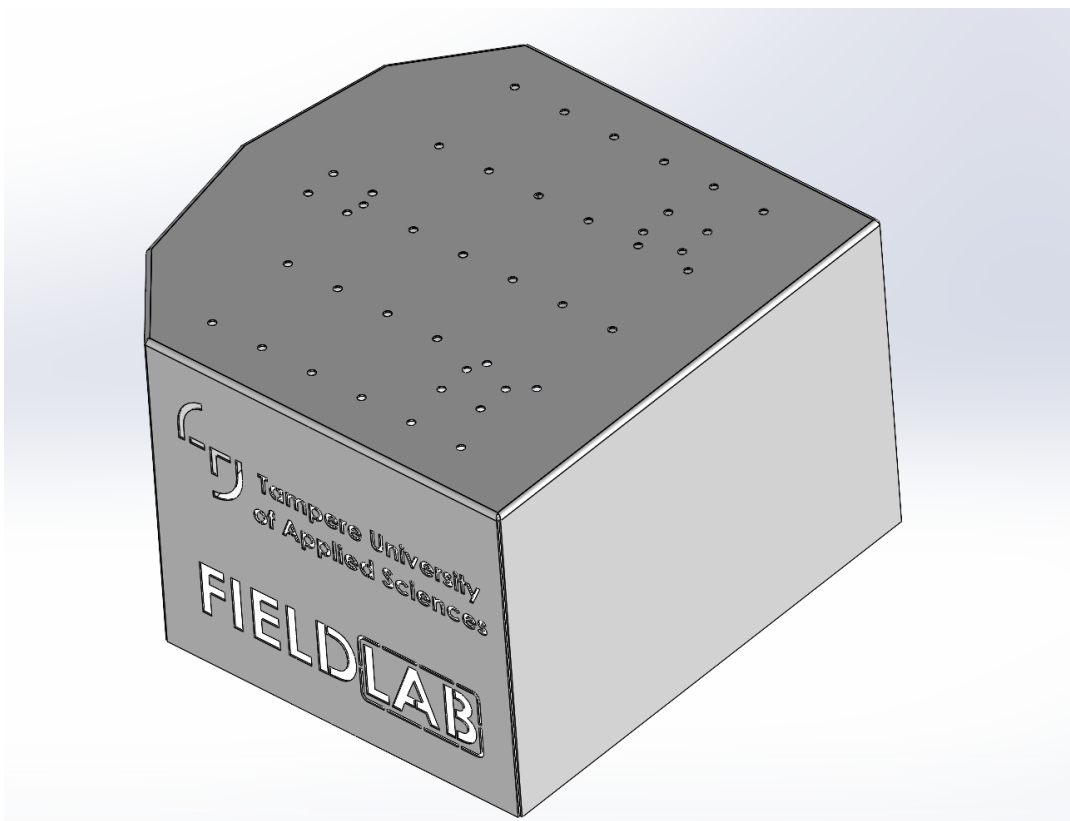


Kuva 5. 3D-mallinnus kiinnityslevystä mobiilirobotin päällä

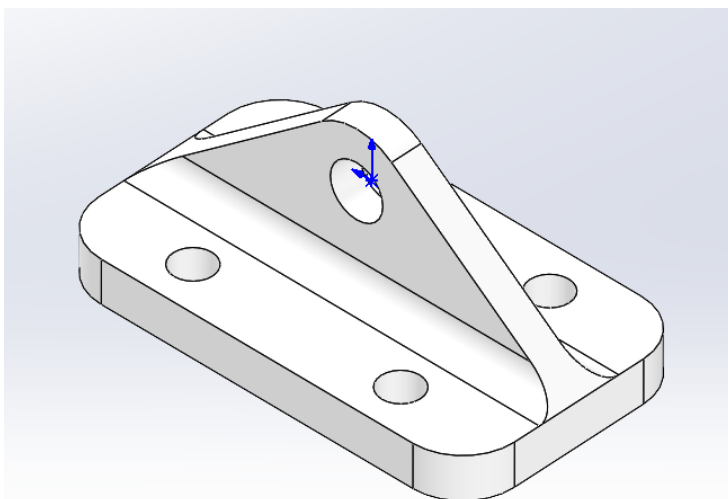


Kuva 6. Karamoottorien kiinnitykseen käytettävä kiinnityskappale

Vasteiden kiinnitykseen karamoottoreihin päätettiin suunnitella päälilevy (kuva 7), jonka alapuolelle karamoottorit voisi kiinnittää kiinnityskappaleilla (kuva 8) ja yläpuolelle vasteet kiinnitettäisiin vasteissa olevien läpäreikien kautta pulteilla. Samalla päälilevy toisi suojaa koko nostojärjestelmälle piilottamalla se pellistä tai tellun kotelon sisään, joka olisi päälilevyn kanssa samassa kappaleessa kiinni. Koteloa päätettiin myös koristella koulun logoilla.

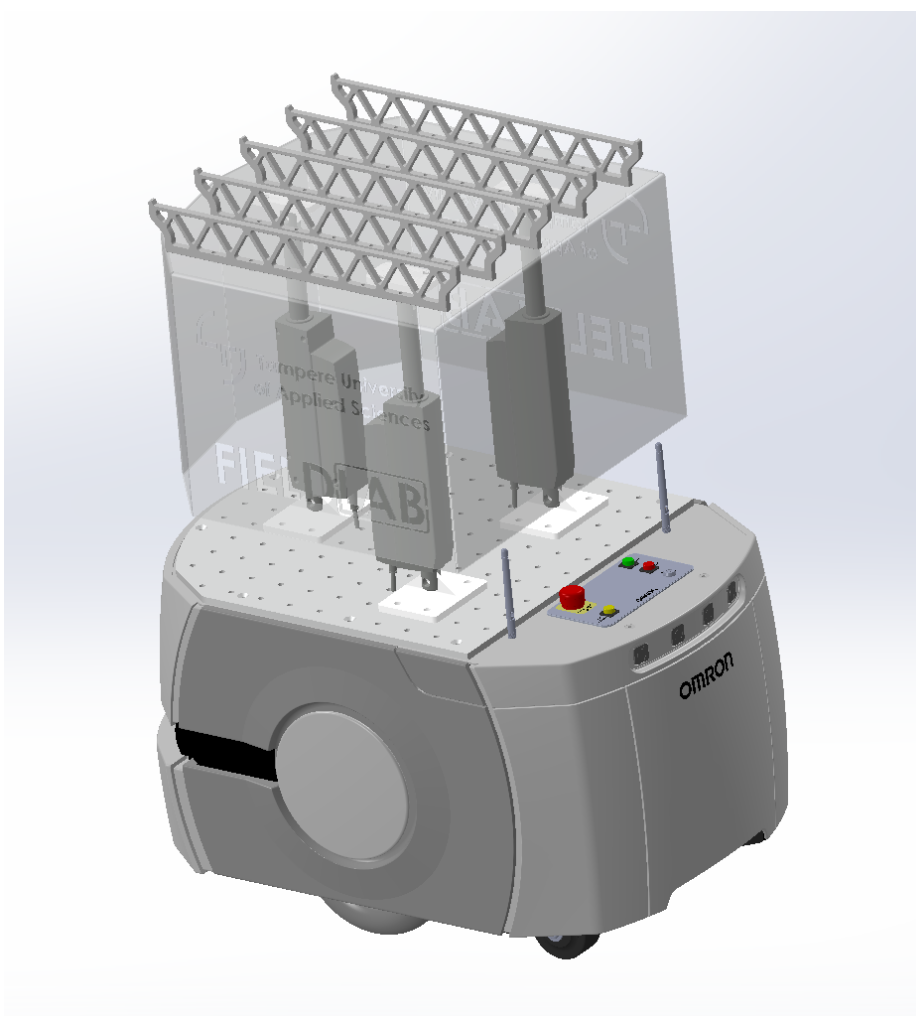


Kuva 7. Päälilevy ja kotelo



Kuva 8. Kiinnityskappale karamoottorin ja päälilevyn välillä

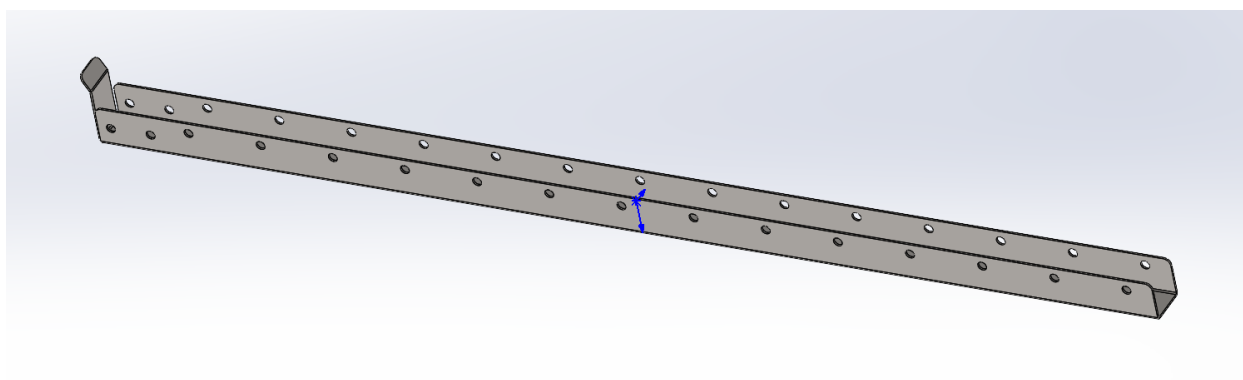
Lopputuloksena oli kuvan 9 mukainen ensimmäinen versio kuljetinjärjestelmästä.



Kuva 9. Ensimmäinen versio kuljetinjärjestelmästä

Liuskamaisen purkupisteen suunnittelu oli seuraava vaihe prosessia. Siinä lähettiin hyödyntämään kiinteän telineen alumiiniprofiilikehikko ideaa, mutta tavaransäilyttämiseen tarkoitetuista palkeista tehtäisiin rullallisia ja ne asetettaisiin pieneen kulmaan. Telineen kulma on säädettävissä vetämällä rullapalkkien alla olevaa poikkipalkkia eteen- tai taaksepäin, jolloin poikkipalkki liikkuu alumiiniprofiilipalkkien urissa ja telineen kulma muuttuu.

Halutun kulman löydettyä palkki voidaan asettaa paikalleen kiristämällä urissa kulkevien kiinnityspalojen pultteja. Telineen kulma mahdollistaa sen, että telineelle laskettavat tavarat luisuvat telineen pätyyn, jossa stopparit pysäyttävät sen. Rullapalkit suunniteltiin siten, että niihin pystytään kiinnittämään pyörivät rullat läpimenevällä pultilla. Rullapalkkien päähän sijoitettiin stopparipala, joka pysäyttää kappaleen. Rullapalkit kiinnitetään kehikkoon saranoiden avulla, minkä ansiosta palkit voivat olla pienessä kulmassa ja tavara valuu stoppareita vasten. Palkit suunniteltiin valmistettavan ohuesta teräslevystä, joka leikataan laserilla ja taitellaan suunnitellun muotoiseksi. Kuva 10 näyttää millainen palkista tuli.



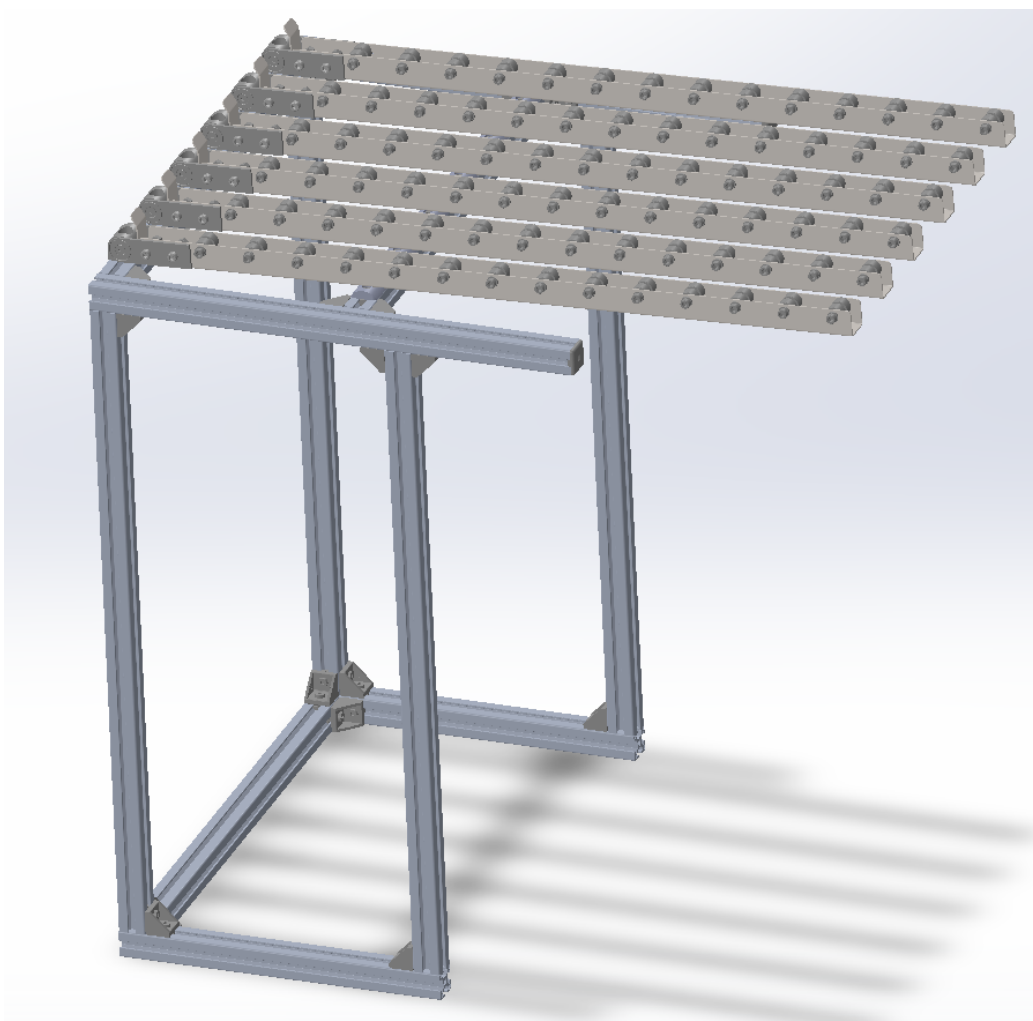
Kuva 10. Liuskatelineen rullapalkki

Sopivat rullat, välilevyt ja kiinnityskappaleet palkkiin löydettiin McMaster-Carr kaupasta. Mutteriksi valittiin Nylock mutteri, jotta mutteri irtoisi käytöstä johtuvien värinöiden takia. Kuvasta 11 nähdään, kuinka rullat oli kiinnitetty palkkiin.



Kuva 11. Rullat kiinnitettynä palkkiin

Kuva 12 esittää kokonaisuudessaan ensimmäisen version liuskatelineestä.



Kuva 12. Ensimmäinen versio liuskatelineestä

Nämä 3D-mallinnukset esitettiin työn tilaajalle, jolta saatiin parannusehdotuksia. Parannusehdotuksien ja näiden 3D-mallien perusteella suunniteltiin lopullinen kuljetinjärjestelmä ja purkupisteet.

5 LOPPUTULOKSET

5.1 Parannusehdotukset

Työn ensimmäisestä esitellystä versiosta saatiin palautetta ja parannusehdotuksia, joiden perusteella lähdettiin suunnittelemaan lopullista versiota. Parannusehdotukset olivat seuraavanlaisia:

- Työssä käytettävät peltiosat tulisivat olla helpommin valmistettavissa.
- Telineet tarvitsevat tukia, jotta eivät kaadu ja niiden on kestettävä vähintään 30kg paino.
- Kuljetinjärjestelmä on liian korkea, sitä on madallettava.
- Heiluvuutta nostaessa poistettava, suunniteltu kotelo tulisi räätälöimään ja pitämään liikaa ääntä.
- Valmistuskuvat ja piirustukset tehtävä lopullisista tuotteista.

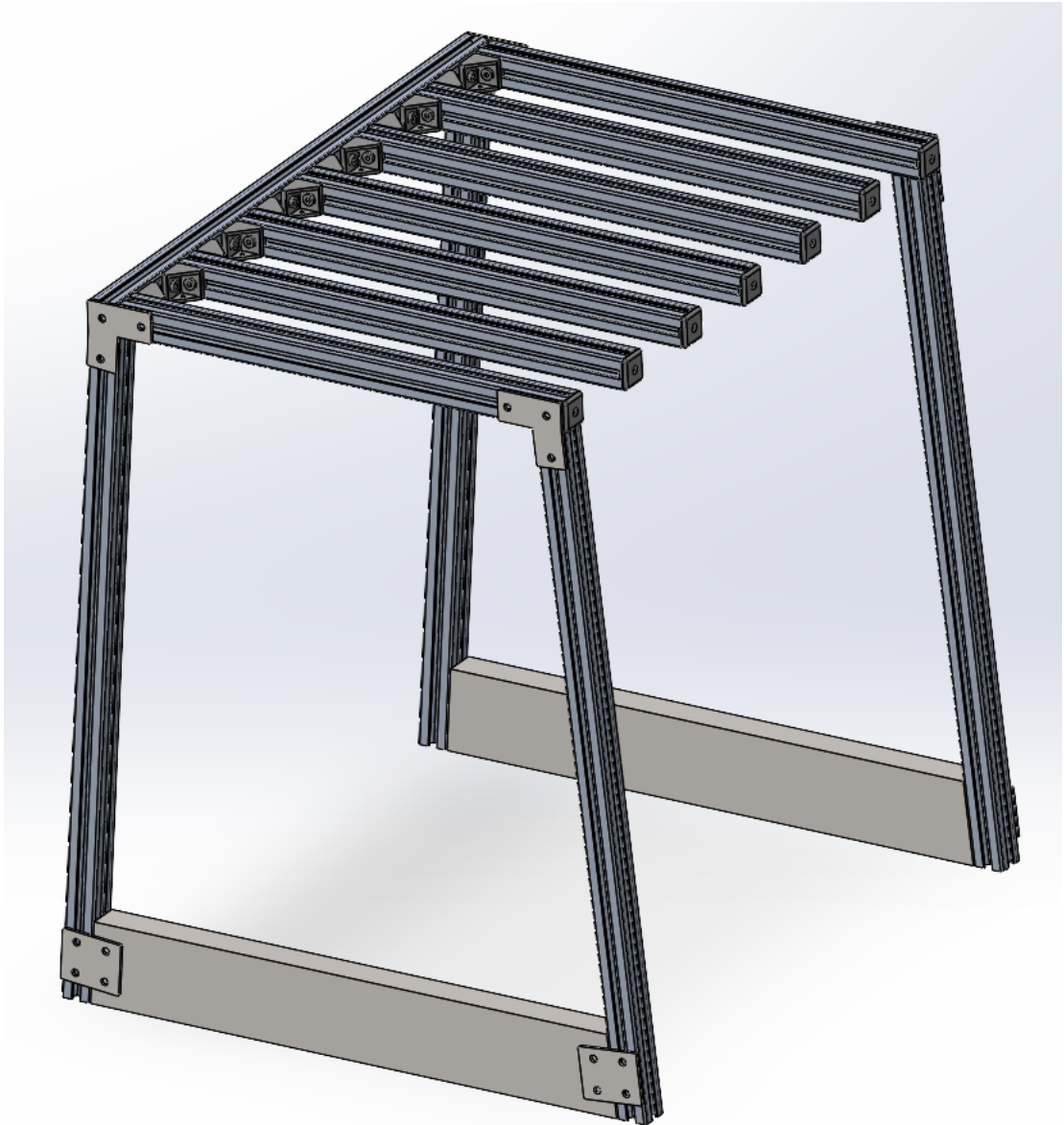
5.2 Lopullinen versio projektista

Tässä kappaleessa käydään läpi tehtyjä muutoksia edelliseen versioon työstä ja perustellaan miksi muutokset olivat tarpeellisia.

5.2.1 Kiinteä teline

Lopullinen versio kiinteästä telineestä (kuva 13) ei eroa paljoakaan edellisestä versiosta. Isoimpia muutoksia ovat teräspainojen lisäys telineen alaosaan ja telineen ympärillä olleen peltikotelon poistaminen. Painot lisättiin telineeseen, jotta se pysyisi pystyssä ja tukisi rakennelmaa. Peltikotelo taas poistettiin telineen val-

mistettävyyden parantamisen vuoksi ja siksi, että mobiilirobotti voisi kulkea sujuvasti telineen alta molemmilta puolilta. Edellisessä versiossa suunniteltua alumiiniprofiilikehikko ratkaisua pidettiin hyvänä ja sen muuttamiseen ei nähty mitään syytä.

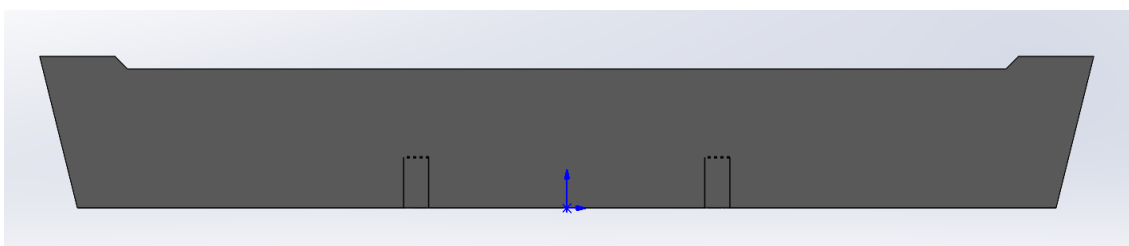


Kuva 13. Lopullinen versio kiinteästä telineestä

5.2.2 Kuljetinjärjestelmä

Kuljetinjärjestelmä kävi läpi isoimman muodonmuutoksen. Tavoitteena kuljetinjärjestelmälle oli sen madaltaminen ja tehdä nostoista sulavampia ja tasaisempia.

Vasteet päädyttiin suunnittelemaan uudelleen, sillä vanhat vasteet olivat turhan vaikeasti valmistettavissa, ja ei ollut mitään syytä valmistaa niitä alumiinista. Uudet vasteet suunniteltiin valmistettavan leikkaamalla ne muovista, jolloin vasteet ovat huomattavasti halvempia ja helpompi valmistaa. Ne ovat mahdollisesti myös kevyemmät ja tukevammat, kuin edellinen versio vasteesta.

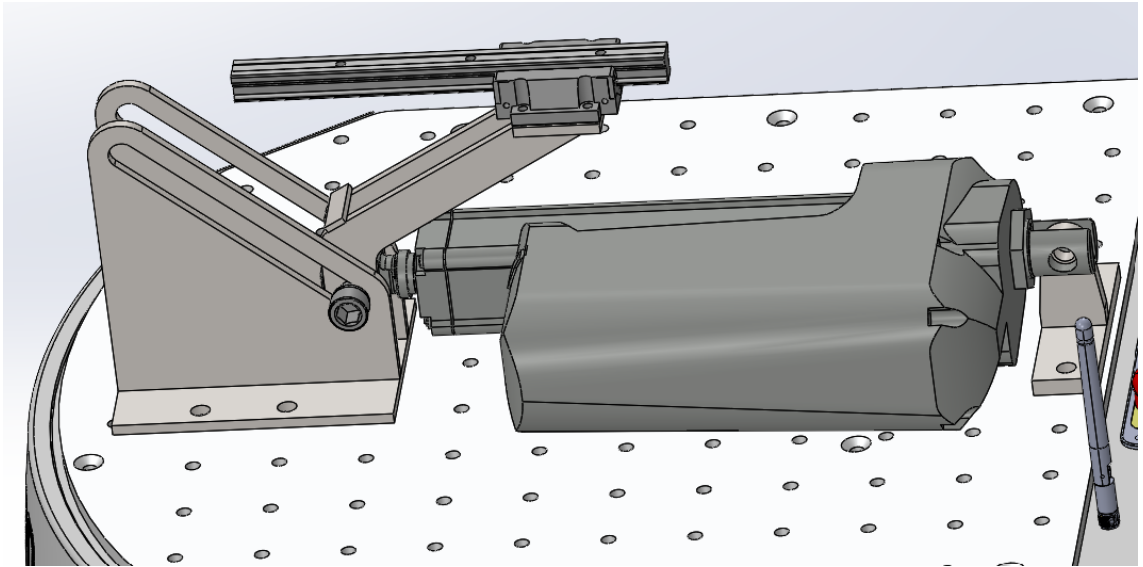


Kuva 14. Lopullinen versio vasteesta

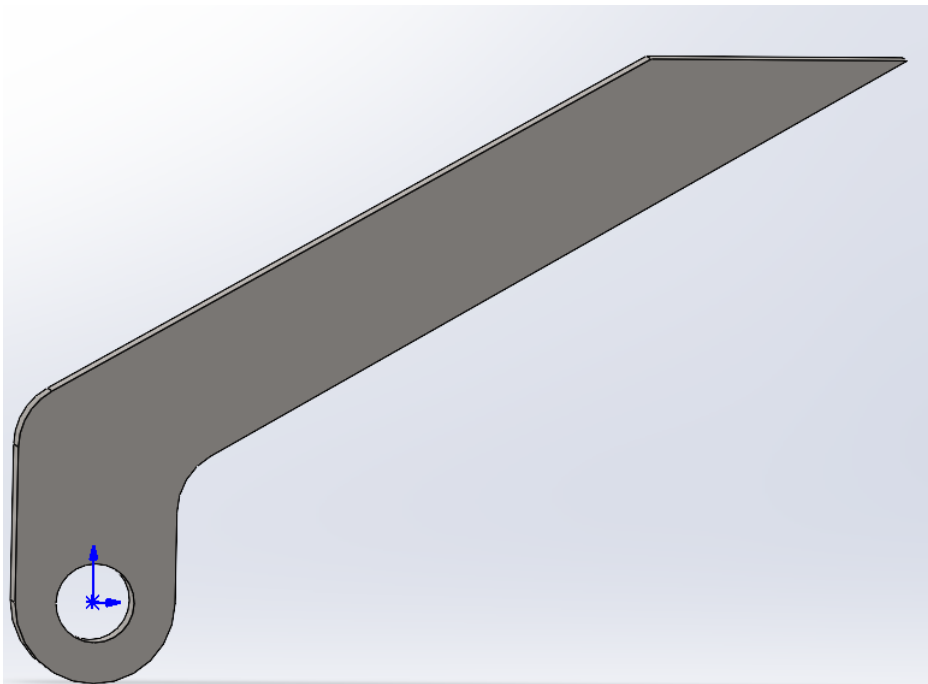
Kuljetinjärjestelmän madaltamiseksi jouduttiin karamoottorin nostojärjestelmä suunnittelemaan kokonaan uusiksi. Ensimmäiseksi todettiin, että jos järjestelmää halutaan madaltaa, edellyttäisi se sitä, että karamoottori olisi vaakasennossa, eikä pystyasennossa, kuten se oli ollut ensimmäisessä versiossa kuljetinjärjestelmästä. Edellisessä versiossa käytetty karamoottori ei myöskään soveltunut tähän suunnitelmaan, joten käytettävä karamoottori vaihdettiin sopivampaan LINAKin LA36 karamoottoriin.

Tämä johti siihen, että täytyi suunnitella jokin järjestelmä, joka muuttaisi karamoottorin liikkeen vaakatasossa tasaiseksi pystymäiseksi liikkeeksi. Tässä päädyttiin kuvan 15 osoittamaan nostojärjestelmä ratkaisuun. Ideana on, että karamoottorin päähän kiinnitetyt nostopalat (kuva 16) liikkuisivat kuvan 17 osoittaman liukuradan urassa. Karamoottorin toisessa päässä (kuvassa 15 oikealla) oleva kiinnityspala antaa karamoottorin nousta kulmaan, jotta se voi liikkua vapaasti koko liukuradan uran matkalla.

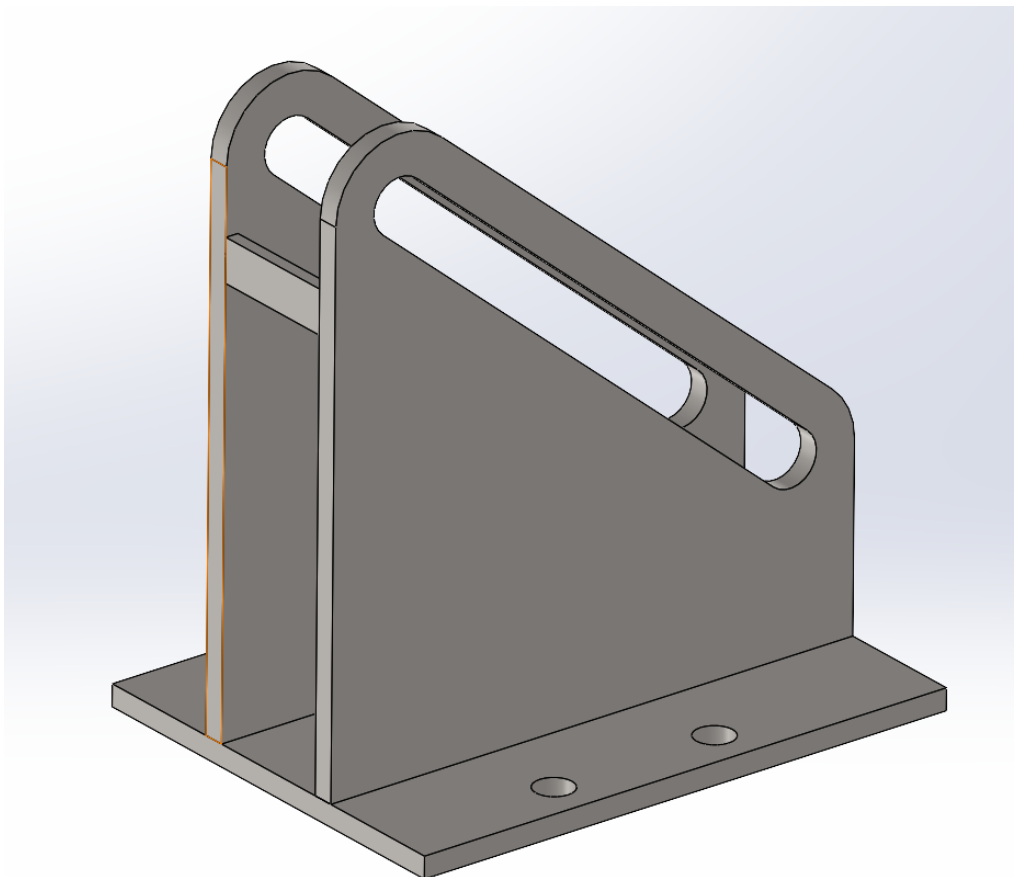
Liukuradan urassa kulkevat nostopalat on kiinnitetty Rollcon HRC FN kelkkaan (kuva 18), joka kulkee sujuvasti siihen yhteensopivalla HRC15 raidekappaleella (kuva 18). Raidekappale on puolestaan kiinnitetty läpimenevillä pulteilla sen päällä olevaan kiinnityslevyyn. Nostomekanismi toimii siis siten, että kun kara-moottori aktivoidaan, se työntää nostopaloja eteenpäin ja ne lähtevät kulkemaan pitkin liukuradan uraa ylöspäin tuottaen pystymäisen liikkeen. Samalla kelkka liikkuu raidetta pitkin pitäen raiteeseen kiinnitetyn kiinnityslevyn paikallaan.



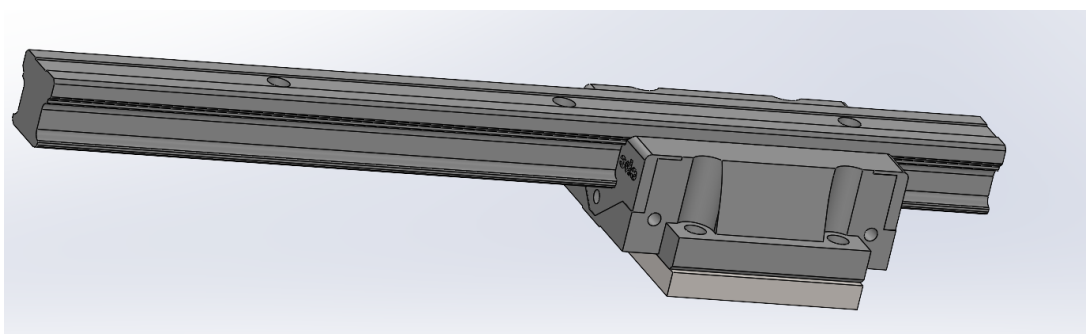
Kuva 15. Nostojärjestelmä



Kuva 16. Nostokappale



Kuva 17. Liukurata

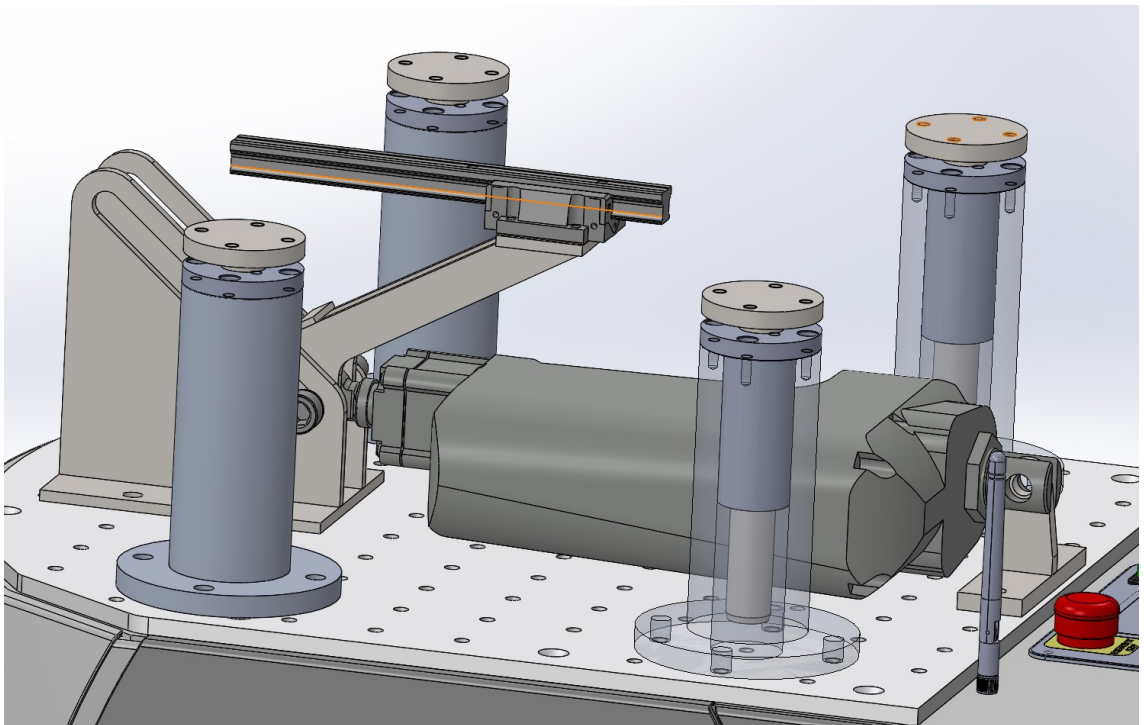


Kuva 18. Rollco raide ja kelkka

Nostojärjestelmään suunnitellut osat päätettiin tehdä S355 teräksestä kestävyys- ja vuoksi ja niitä on tuettu erilaisilla tuilla, kuten esimerkiksi kuvasta 17 nähdään liukuradan levyjen välissä. Liukuradan levyt tulevat myös karkaista, jotta ne kestäisivät paremmin niihin kohdistuvaa jatkuvaa hankaavaa liikettä.

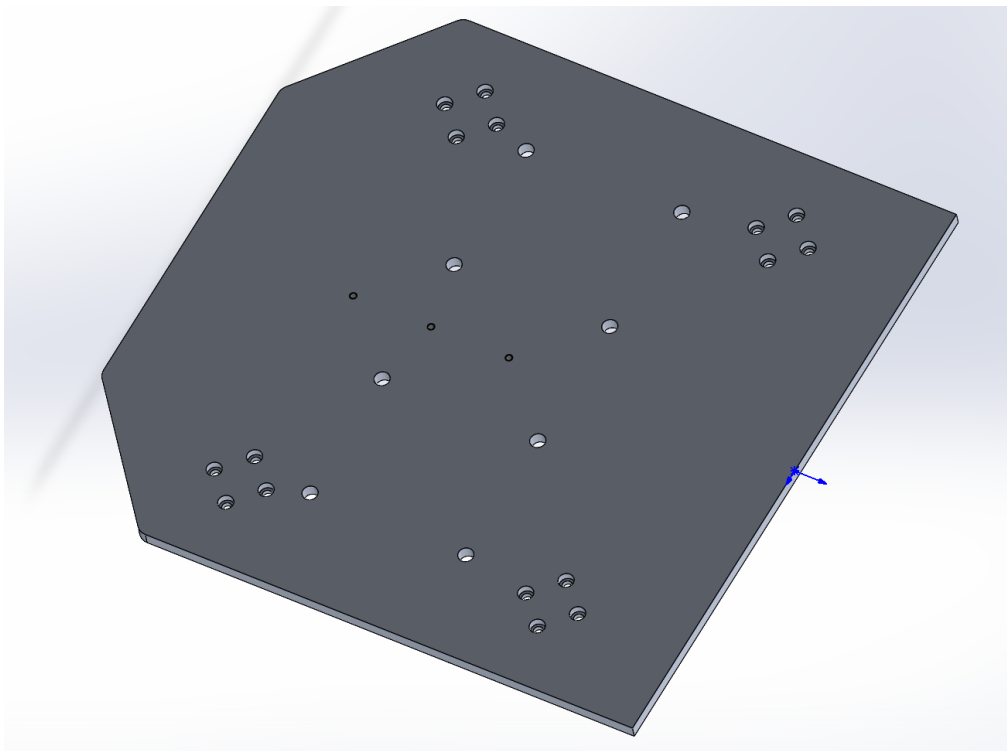
Nostojärjestelmän nostoa ja laskua sulavoittamiseksi suunniteltiin nostojärjestelmään yhteensopiva laakerijärjestelmä, joka varmistaa tasaisen liikkeen joka

kerta. Laakerijärjestelmä koostuu Mädler kaupasta löydetyistä lineaarisista kuulalaakerista, joka asennetaan sille suunnitellun kiinnikkeen sisälle. Kiinnike kiinnitetään Omronin kiinnityslevyyn. Kuulalaakerin sisälle sovitetaan siihen suunniteltu tanko, jonka yläpää on kiinnitetty ylempään kiinnityslevyyn. Tangon pinnanlaatu tulee olla hyvin hienoa, jotta se toimii laakereiden kanssa yhdessä sulavasti. Laakereita asetetaan jokaiseen levyn kulmaan yksi eli neljä yhteensä. Lopputulos on kuvan 19 mukainen ratkaisu.



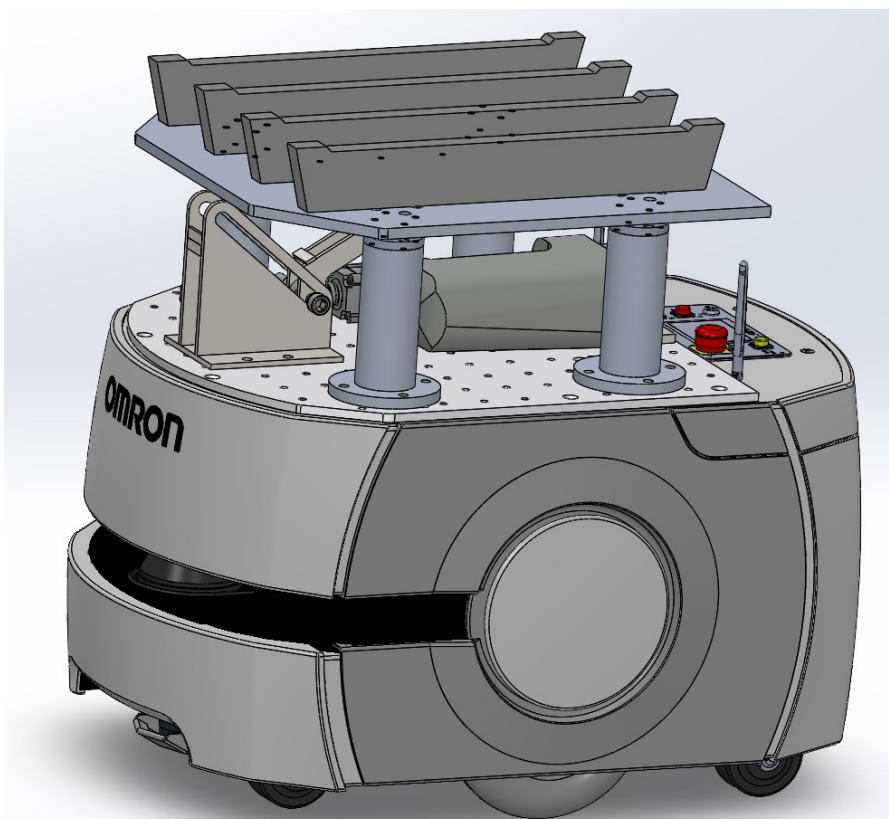
Kuva 19. Laakerijärjestelmä

Kiinnityslevy, johon vasteet, nostojärjestelmä ja laakerijärjestelmä kiinnitetään suunniteltiin myös uusiksi sopimaan uuteen versioon kuljetinjärjestelmästä. Lopullinen kiinnityslevy näyttää kuvan 20 mukaiselta. Kuljetinjärjestelmää ympäröivä kotelo päätettiin jättää kokonaan pois valmistettavuuden helpottamiseksi ja sen nostojen yhteydessä tuottaman mahdollisen ylimääräisen rätinän vuoksi.



Kuva 20. Kiinnityslevy

Lopullinen mobiilirobotin päälle asennettava kuljetinjärjestelmä on kuvan 21 mukainen ratkaisu.

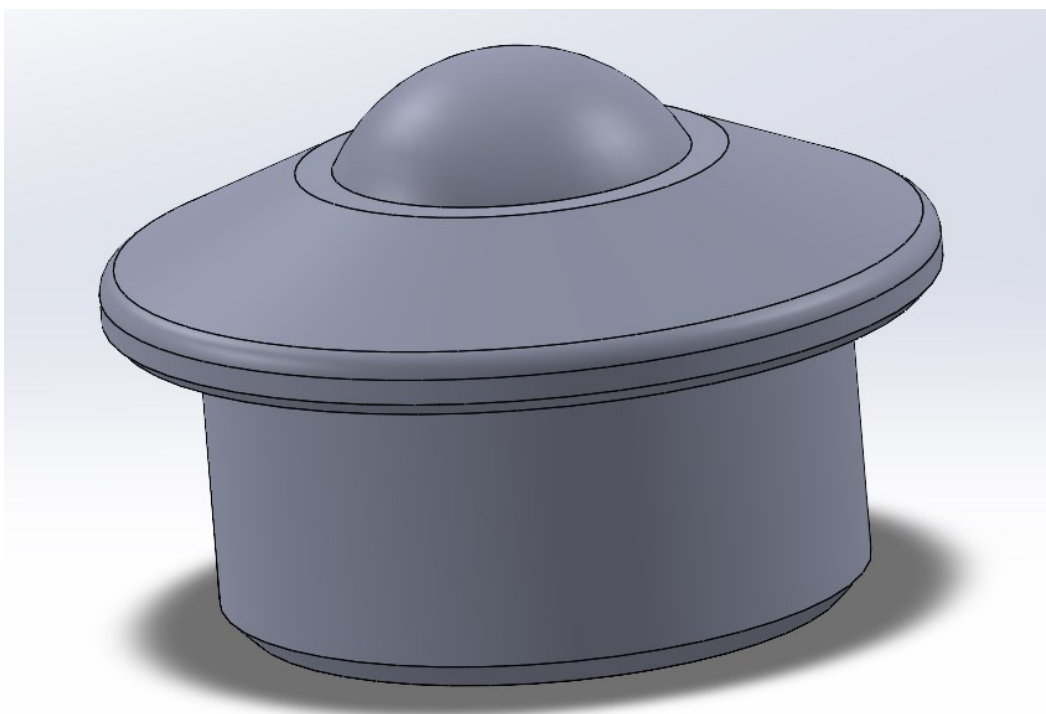


Kuva 21. Lopullinen kuljetinjärjestelmä

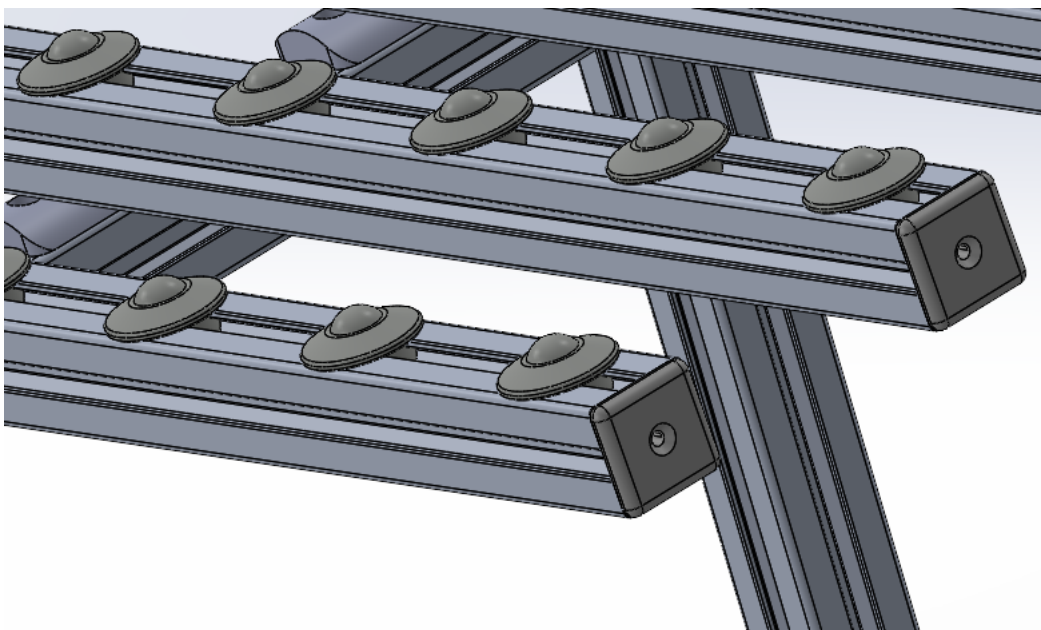
5.2.3 Liuskateline

Liuskatelineen isompina parantamisvaatimuksina oli painojen lisääminen kokoonpanoon, jotta telineen tasapaino parantuisi. Tämä toteutettiin lisäämällä telineen jalkoihin vastaavanlaisia teräspainoja, kuin mitä kiinteään telineeseen lisättiin. Toinen suuri muutos liuskatelineessä tapahtui rullajärjestelmän uusimisessa. Edellisessä versiossa käytetyt palkit ja rullat vaihdettiin alumiiniprofiili paloihin, joihin asennetaan kuvan 22 mukaisia Mädlerista löydettyjä pallomaisia liikutus-kappaleita. Näiden kappaleiden päällä säilytettävä tavara liukuu sujuvasti liuskatelinettä pitkin paikalleen.

Liikutuspalat on tarkoitus asentaa alumiiniprofiilipalkkeihin tekemällä palkkeihin sopivat reiät ja painamalla liikutuspalat paikalleen. Kuva 23 näyttää miten liikutus-kappaleet on asennettu alumiiniprofiilipalkkeihin. Tämä päivitys rullajärjestelmään tehtiin siksi, että koko telineen kehikko voitaisiin valmistaa alumiiniprofiilipaloista ja säästytäisiin edellisessä versiossa käytettyjen rullapalkkien valmistukselta.

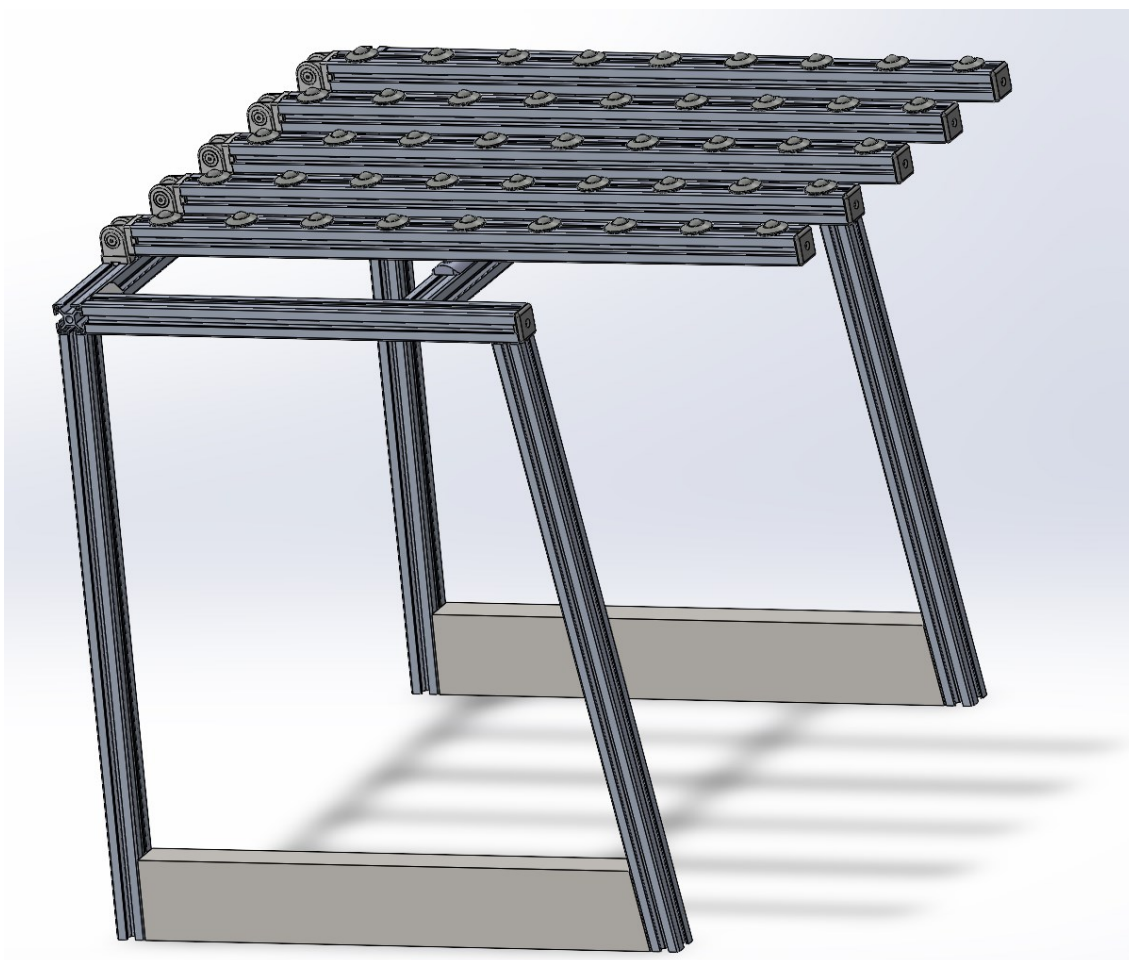


Kuva 22. Pallomainen liikutuskappale



Kuva 23. Pallomainen liikutusosake asennettuna alumiiniprofiilipalkkiin

Lopullinen liuskatelineen 3D-malli näyttää kuvan 24 mukaiselta.



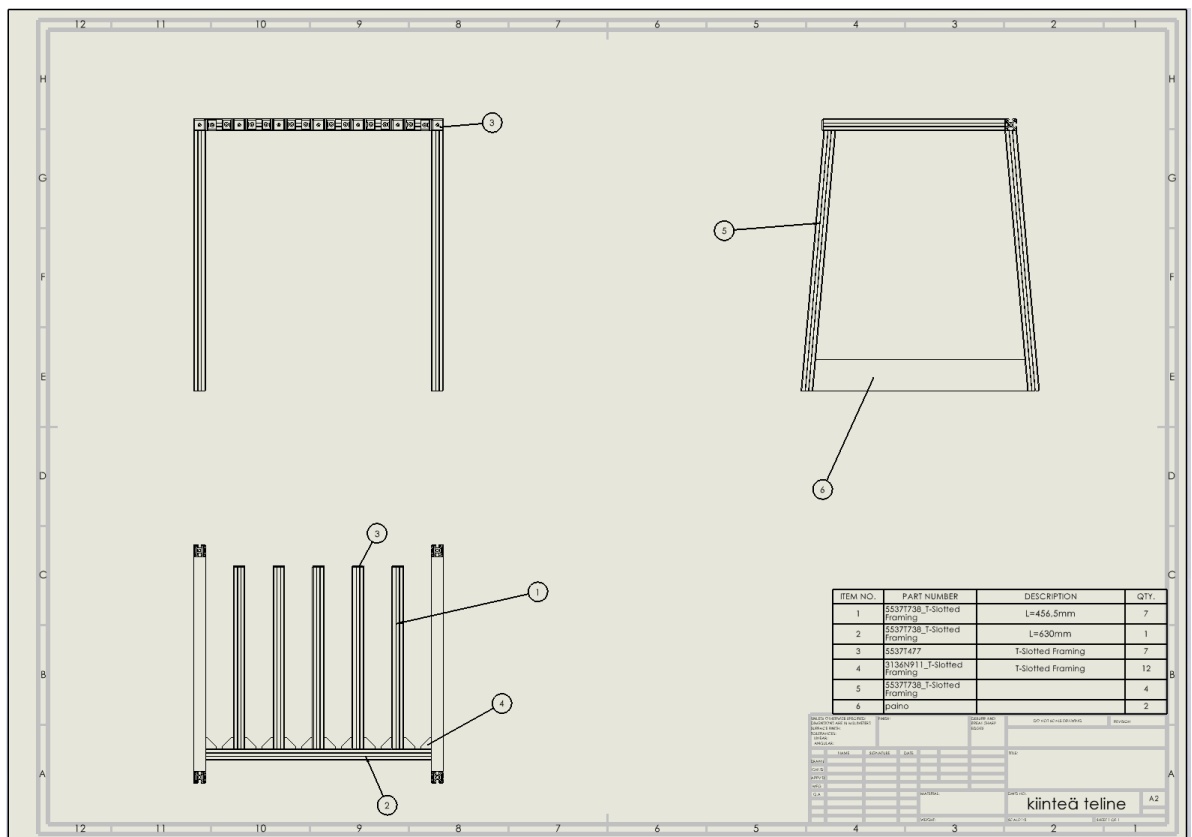
Kuva 24. Lopullinen liuskatelineen 3D-malli

5.3 Valmistuskuvat

Lopulliset 3D-mallit esiteltiin työn tilaajalle, joka hyväksyi mallit ja pyysi valmistuskuvien tuottamista näistä osista ja kokoonpanoista. Tässä kappaleessa esitellään esimerkkejä tehdyistä valmistuskuvista.

5.3.1 Kiinteä teline

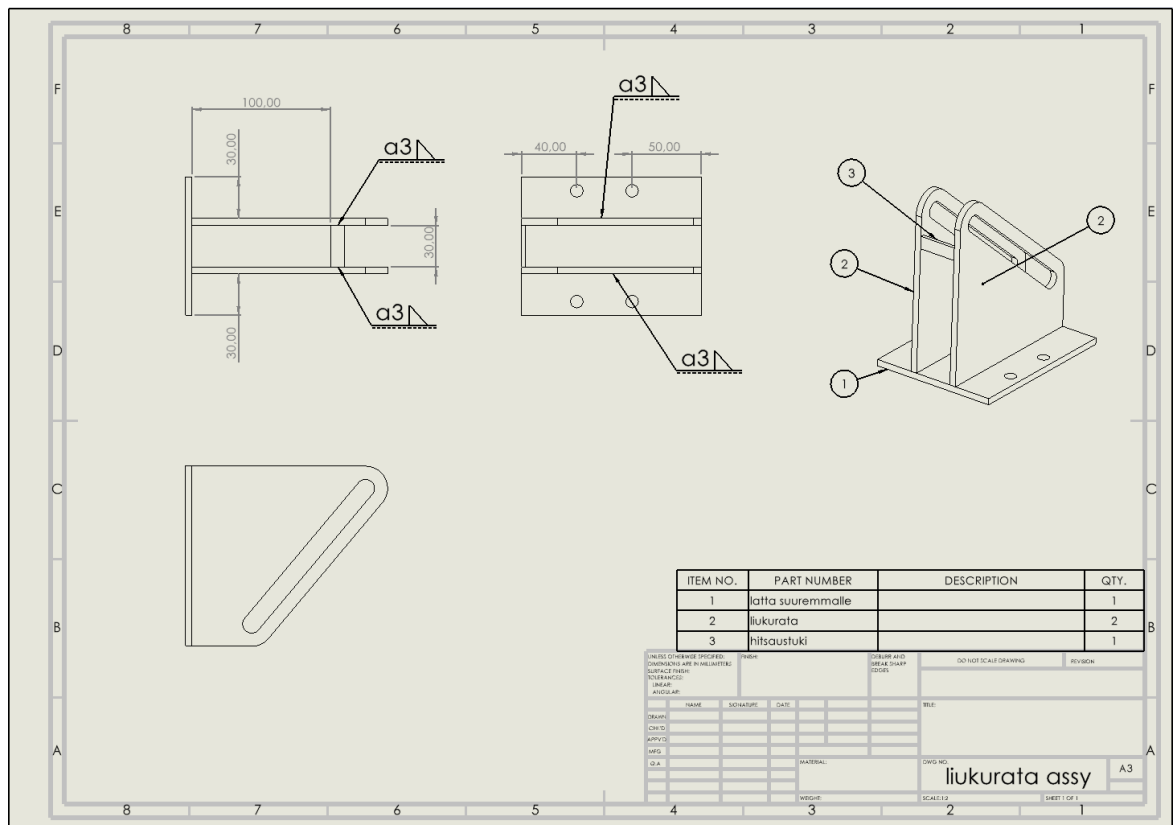
Kiinteän telineen valmistuskuvat (kuva 25) ovat hyvin yksinkertaiset. Kokoonpanon valmistuskuva ilmoittaa tarvittavien alumiiniprofiilien pituudet, joista teline kasataan. Telineen jaloista ja painoista on tuotettu valmistuskuvat erikseen, joista käy ilmi miten ja mistä materiaalista ne valmistetaan. Loput osat, kuten kiinnityskappaleet ovat osto-osia, eli ne voidaan ostaa kaupasta suoraan.



Kuva 25. Kiinteä teline valmistuskuva

5.3.2 Kuljetinjärjestelmä

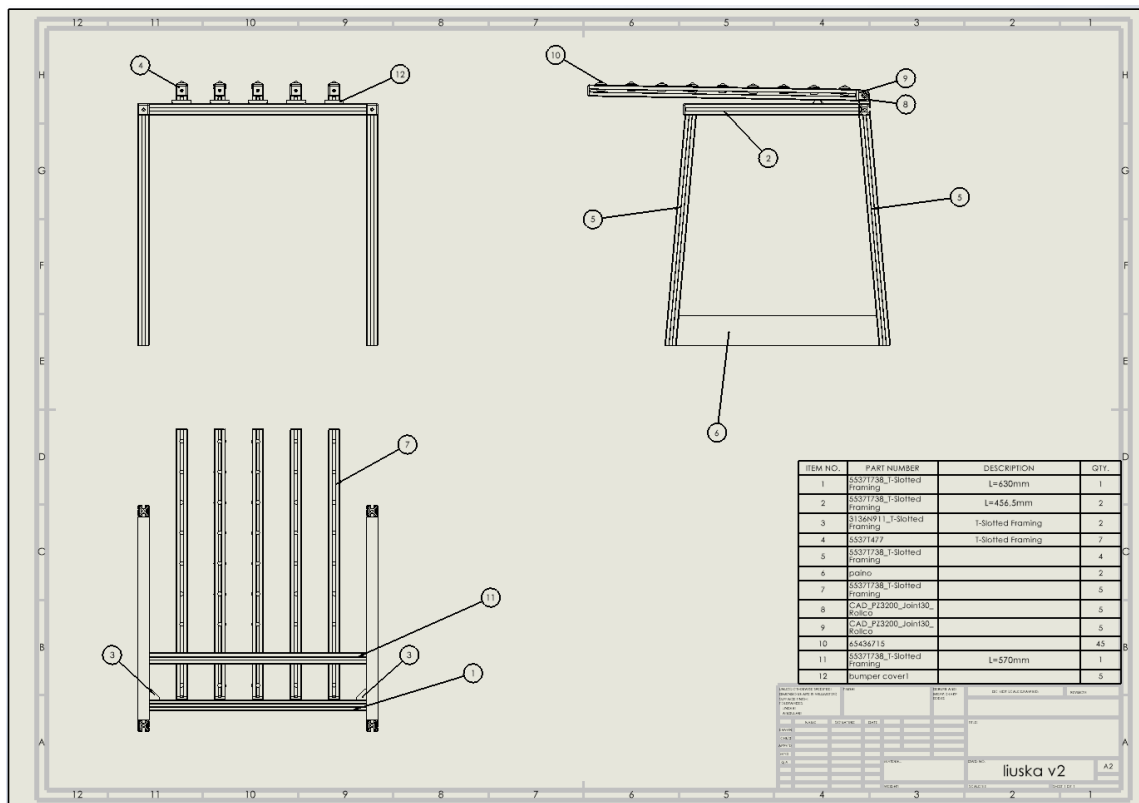
Kuljetinjärjestelmän valmistuskuvat ovat hieman monimutkaisempia. Kuljetinjärjestelmä koostuu monesta eri kokoonpanosta, jotka tarvitsevat hitsauksia. Näistä kokoonpanoista tehtiin valmistuskuvat, joista tulee ilmi hitsauksien tiedot ja osien asennuspaikat (kuva 26). Jokaisesta kokoonpanoissa olevasta osasta on erikseen myös valmistuskuva, joista käy ilmi osan mitat, miten osa tulee valmistaa ja mikä osan valmistusmateriaali on (kuva 27).



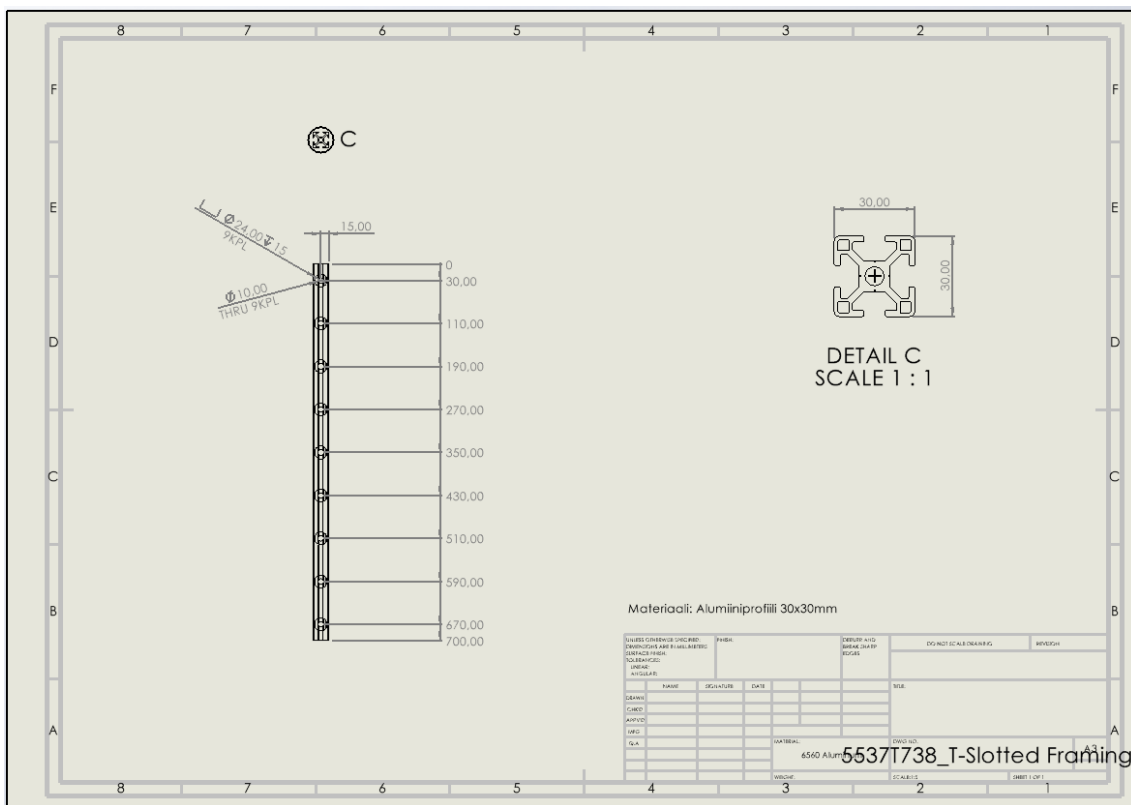
Kuva 26. Valmistuskuva liukuradan kokoonpanosta

5.3.3 Liuskateline

Liuskatelineen valmistuskuvat ovat kiinteän telineen tavoin yksinkertaisia. Liuskatelineen valmistuskuvasta (kuva 29) käy ilmi tarvittavien alumiiniprofiilien pituudet, tarvittavat osto-osat ja valmistettavat osat, kuten telineen tukipaino. Liuskatelineen alumiiniprofiili palkit, joihin pallomaiset liikutus-kappaleet kiinnitetään tarvitsevat reikiä liikutus-kappaleiden asennusta varten, joten tästä tehtiin erikseen valmistuskuva (kuva 30), mistä tulee ilmi reikien paikat, syvyydet ja koot.



Kuva 29. Liuskatelineen valmistuskuva



Kuva 30. Liikutuskappale profiilipalkin valmistuskuva

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda suunnitelma toimivasta kuljetusjärjestelmä ja purkupiste ratkaisusta Omron LD-90 mobiilirobotille. Tähän tavoitteeseen päästiin, joten opinnäytetyötä voidaan pitää onnistuneena. Mukaan mahtui paljon onnistumisia, mutta myös paljon vaikeuksia. Isoimpana virheenä voidaan pitää opinnäytetyön venymistä ajallisesti liian pitkäksi työhön liittymättömien vaikeuksien takia. Tämä vaikeutti työn sujuvaa etenemistä pitkien taukojen muodossa, jolloin asioita ehtii unohtua ja yhtenäistä suoritusta on vaikea luoda. Itse työ, eli suunnittelu ja 3D-mallintaminen oli onnistunutta, vaikka niitä jouduttiin hieman muokkaamaan. Loppujen lopuksi kuitenkin päästiin haluttuun tulokseen ja vaikeuksista opittiin tulevaisuutta varten.

LÄHTEET

OMRON, 2023. https://industrial.omron.eu/en/products/ld-series#specifications_ordering_info, luettu 20.9.2023

OMRON, ei pvm. <https://automation.omron.com/en/mx/products/family/ld>, luettu 21.9.2023

Mobile Robots, 2022. <https://www.geeksforgeeks.org/mobile-robots/>, luettu 21.9.2023

Mobile Robot, 2022. <https://devopedia.org/mobile-robot>, luettu 21.9.2023

Abby, 2023. Shakey the Robot Explained: Everything You Need to Know. <https://history-computer.com/shakey-the-robot/>, luettu 21.9.2023

Raj, R., Kos, A. 2022. A Comprehensive Study of Mobile Robot: History, Developments, Applications, and Future Research Perspectives. PDF dokumentti, luettu 21.9.2023.

Goodwin, D. 2020. The Evolution of Autonomous Mobile Robots. <https://control.com/technical-articles/the-evolution-of-autonomous-mobile-robots/> luettu 21.9.2023

Ziirto, ei pvm. Mitä on sisälogistiikka ja sen kehittäminen? <https://ziirto.com/mita-on-sisalogistiikka-ja-sen-kehittaminen/> luettu 28.4.2024

Dimalog, ei pvm. <https://www.dimalog.com/mobiilirobotin-rullakuljetin-ld-250-rc-cw/?lang=fi> 28.4.2024

SFS-EN ISO 10218-1. 2011. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/235190.html.stx>, luettu 29.4.2024

SFS-EN ISO 10218-2. 2011. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/172144.html.stx>, luettu 29.4.2024

SFS-EN ISO 13849-1:2023, 2023. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/1294785.html.stx>, luettu 29.4.2024

ISO/TS 15066:2016, 2016. <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/ISO/ISO/ID9998/1/402851.html.stx>, luettu 29.4.2024

OMRON, 2017-2019. Mobile Robot LD Safety Guide. https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v2/i616_mobile_robot_safety_system_manual_en.pdf, luettu 29.4.2024