

Miika Heikkilä

KOORDINAATTIMITTAUSKONEEN JIGIN SUUNNITTELU

KOORDINAATTIMITTAUSKONEEN JIGIN SUUNNITTELU

Miika Heikkilä
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, tuotantotekniikka

Tekijä: Miika Heikkilä

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Koordinaattimittauskoneen jiggin suunnittelu

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Design of jig tool for coordinate measuring machine

Työn ohjaaja: Annukka Tyni

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020

Sivumäärä: 37 + 2 liitettä

Opinnäytetyö sai alkunsa toimeksiantajan Sähkö-Rantek Oy:n tarpeesta saada automatisoitua koordinaattimittauskoneen käyttö. Yksi projektin osa-alueista oli koneistetuille kappaleille sopivan jiggin suunnittelu koordinaattimittauskoneelle. Jiggin tehtävänä on mahdollistaa koneistettujen kappaleiden liikuttaminen ja varmistaa kappaleiden paikallaan pysyminen myös mittaustilanteessa. Jigiä liikutetaan mobiilirobotin ja mittakoneen päälle valmistettavan automatisoidun siirtomekanismin avulla.

Työn teoriaosuus koostuu teollisuusautomaatiosta ja koneenrakennuksessa käytettävistä toleransseista. Lisäksi käsitellään työhön liittyvän koordinaattimittauskoneen ja mobiilirobotin ominaisuuksia ja niiden käyttökohteita.

Jiggin suunnittelutyö käynnistyi tärkeimpien tuotteiden määrittämisellä ja jiggin karkealla suunnittelulla. Tärkeimmät tuotteet ovat polttoleikkeistä koneistetut kappaleet, joita Sähkö-Rantek valmistaa asiakkaalleen. Jiggin tarkkaan suunnitteluun käytettiin Fusion 360 -mallintamisohjelmaa. Työ edellytti myös teräsrakenteiden ja nivelmekanismien tarkastelua lujuusopin ja statiikan avulla.

Työn tuloksena saatiin valmistettua jigistä toimiva prototyyppi, joka on valmis käytettäväksi. Jigi on myös yhteensopiva koordinaattimittauskoneen, yhdeksän erilaisen koneistetun kappaleen ja jiggin siirtomekanismin sekä mobiilirobotin kanssa.

Parannusehdotuksista tärkeimmät ovat jigissä käytetyn mekanismin laakerointi ja terävien nurkkien pehmentäminen. Laakerointi voidaan toteuttaa itsestään voitelevilla pronssiseoksesta valmistetuilla laakereilla. Teräviä nurkkia voidaan pyöristää tai liimata niihin solukumimuovia pehmikkeeksi.

Asiasanat: koordinaattimittauskone, jigi, mobiilirobotti, mekaniikkasuunnittelu, automatisointi.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Production Engineering

Author: Miika Heikkilä

Title of thesis: Design of jig tool for coordinate measuring machine

Supervisor: Annukka Tyni

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020

Pages: 37 + 2 appendices

The thesis originated from the commissioner's need to automate the use of a coordinate measuring machine. One of the aspects of the project was the design of a jig suitable for machined parts for a coordinate measuring machine. The jig is moved by automated transfer mechanism manufactured on top of a mobile robot and a measuring machine. The purpose of the jig is to enable the movement of machined parts and to ensure that the parts remain in place even in the measuring situation.

The theoretical part of the work consists of industrial automation and tolerances used in mechanical engineering. In addition, the features of the work-related coordinate measuring machine and the mobile robot and their applications are discussed.

The design work for the jig began with the definition of the most important products and the rough design of the jig. The most important products are machined parts from flame-cuts, which Sähkö-Rantek manufactures for their customers. The Fusion 360 modeling program was used to carefully design the jig. The work also required the examination of steel structures and joint mechanisms with the help of strength theory and statics.

The result of the work was a prototype of a jig that is ready for use. The jig is also compatible with a coordinate measuring machine, nine different machined parts and a jig transfer mechanism as well as a mobile robot.

The most important suggestions for improvement are the bearing of the mechanism used in the jig and the softening of sharp corners. The bearings can be realized with self-lubricating bronze alloy bearings. Sharp corners can be rounded or glued with foam rubber as a cushion.

Keywords: coordinate measuring machine, jig, mobile robot, mechanical design, automation

ALKULAUSE

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Sähkö-Rantek Oy. Yrityksen tavoitteena oli automatisoida koordinaattimittauskoneen käyttö. Mittauskoneen käytön automatisointi edellytti sopivan jigien valmistamista. Jigi toimii apuvälineenä, jolle robotti lastaa mitattavat kappaleet, minkä jälkeen mobiilirobotti kuljettaa jigien kappaleineen mittauskoneelle. Jigien tehtävänä on mahdollistaa koneistettujen kappaleiden siirtely ja niiden tarkka sijoittaminen mittauksia varten.

Kiitän toimeksiantajaa mielenkiintoisen projektin mahdollistamisesta sekä mukana olleita Sähkö-Rantek Oy:n työntekijöitä hyvistä neuvoista. Erityisesti kiitoksen ansaitsee yrityksen puolesta ohjausta tarjonnut laaturpäällikkö Sauli Särkkä, jonka ammattitaitoiset vinkit ja näkökulmat olivat työn kannalta erittäin tärkeitä. Myös Oulun ammattikorkeakoulun, Oamkin, ohjaava opettaja Annukka Tyni ansaitsee kiitokset hyvästä opinnäytetyön ohjaamisesta ja tukemisesta.

Haluan myös kiittää saumattomasta yhteistyöstä ja hyvästä työseurasta toista opinnäytetyöntekijää Riku Hekkalaa, joka suunnitteli jigien siirtomekanismin. Kiitän suuresti myös puolisoani Reeta Peltonummea, joka jaksoi kannustaa ja auttaa minua opinnäytetyön kirjoittamisessa.

Oulussa 25.5.2020

Miika Heikkilä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 YRITYS JA TYÖN TAUSTA	9
2.1 Toimeksiantaja Sähkö-Rantek Oy	9
2.2 Työn aihe ja tavoitteet	9
3 TOLERANSSIT JA TEOLLISUUSAUTOMAATIO	10
3.1 Toleranssit koneenrakennuksessa	10
3.2 Teollisuusautomaatio	12
4 JIGIN SUUNNITTELU	14
4.1 Jigin tarkoitus	14
4.2 Kapasiteetti ja ulkoiset mitat	14
4.3 Jigin paikoitus-, lukitus- ja siirtomekanismit	16
4.4 Kappaleiden paikoitus ja lukitus jigiin	18
4.5 Materiaalit ja liitosmenetelmät	23
4.6 Lujuustarkastelu	26
5 JIGIN VALMISTUS JA TESTAUS	30
6 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	36
LIITTEET	
Liite 1 Jalustan kokoonpanokuva	
Liite 2 Kokoonpanokuva	

SANASTO

CNC-ohjaus	numeerinen ohjaus, jota käytetään työstökoneiden ohjaamisessa
jigi	kokoonpanoa, mittausta tai säätämistä varten kehitetty apuväline
mobiilirobotti	kamera ja sensoritekniikkaa käyttävä muovautuvaan ympäristöön sopeutuva pyörillä liikkuva robotti
Nasa	Yhdysvaltain liittohallituksen alainen ilmailu- ja avaruushallintovirasto
Rantek	lyhennys yrityksen nimestä Sähkö-Rantek Oy
3D-malli	kolmiulotteinen tietokoneella muodostettu malli jostakin kappaleesta tai tuotteesta

1 JOHDANTO

Nykyaikaisessa teollisuudenalan yrityksessä on huomattava määrä automatisoituja toimenpiteitä ja työvaiheita. Työvaiheen automatisoinnin toteutus vaatii erilaisia koneita ja kuljettimia. Oululainen Sähkö-Rantek Oy aloitti projektin koordinaattimittauskoneen logistiikan ja mittaustapahtuman automatisoimiseksi.

Työssä käsitellään jigien suunnittelua yksityiskohtaisesti sekä perustellaan tehdyt valinnat. Suunnittelun tavoitteena on synnyttää valmistettavissa oleva ja toimenkuvaan sopiva jigi, joka täyttää tilaajan toiveet ja vaatimukset. Jigiltä edellytetään helppokäyttöisyyttä ja sitä, että mitattavat koneistetut kappaleet sopivat siihen tarkasti ja tukevasti. Myös itse jigien tulee asettua riittävän tarkasti koordinaattimittauskoneen mittapöydälle, jotta mittaustapahtuma sujuu jouhevasti ja välttyään häiriöiltä tai virhemittauksilta.

Työssä esitetyn suunnittelutyön jälkeen esitellään myös jigien valmistaminen. Valmista jigia käytetään ja testataan. Testivaiheen aikana saadaan selville mahdolliset puutteet ja viat. Testitulosten ja käytettävyydestarkastelun jälkeen on mahdollista suunnitella parannusehdotukset tai korjaukset, jotka kohdeyritys toteuttaa prototyyppiin tai seuraavaan jigiin.

2 YRITYS JA TYÖN TAUSTA

2.1 Toimeksiantaja Sähkö-Rantek Oy

Sähkö-Rantek Oy eli Rantek on aloittanut toimintansa vuonna 1989. Oulussa sijaitsevilla toimi- ja tuotantotiloissa suunnitellaan ja valmistetaan vaativia sähköteollisuuden laitteita. (1.) Yrityksen päätoimialoina ovat sähkömoottorit sekä tarkemmin käänintä, koneistus ja kokoonpano (2). Asiakkaita ovat Euroopan johtavat sähkökoneiteollisuuden yritykset. Asiakslähtöisyyteen ja laadukkaisiin tuotteisiin keskittyvällä Rantekilla työskentelee yli 40 työntekijää. (1.)

2.2 Työn aihe ja tavoitteet

Opinnäytetyö on osa yrityksessä meneillään olevaa kehitysprojektia, jossa automatisoidaan koneistettujen kappaleiden tarkastusmittaus. Työssä kehitetään mobiilirobotilla liikutettava jigi, johon robotti lastaa mitattavat tuotteet ja kuljettaa ne jigin kanssa koordinaattimittauskoneen mittauspöydälle. Vastaavasti myös kappaleiden kuljetus pois mittalaitteelta toteutetaan mobiilirobottia käyttäen.

Nykyisin työntekijä käy noutamassa mitattavat koneistetut kappaleet ja kuljettaa ne mittauskoneelle ja mittauskoneelta pois. Automatisoimalla mittausprosessi vapautetaan resursseja muuhun käyttöön. Lisäksi mittausprosessit voidaan käynnistää mihin aikaan tahansa, eivätkä ne vaadi erillistä valvontaa työntekijän toimesta.

Työn tavoitteena on suunnitella toimiva jigi yhdelle tuoteperheelle. Jigin täytyy olla yhteensopiva mobiilirobotin ja mittapöydän välisen siirtomekanismin kanssa sekä myös koneistettujen kappaleiden ja mittauskoneen kanssa. Suunnitellulla jigillä voidaan suorittaa yhdeksän erilaisen kappaleen mittaus.

3 TOLERANSSIT JA TEOLLISUUSAUTOMAATIO

3.1 Toleranssit koneenrakennuksessa

Koneenrakennuksessa olennainen asia on saada valmistetut osat sopimaan toisiinsa, kuten on suunniteltu. Suunnittelijan suunnitellessa tiettyä osaa tai kokoonpanoa hän antaa niille tietyn mitan, jonka mukaan kappale tulee valmistaa. Nykyaikaisista tarkoista työstömenetelmistä huolimatta kappaleen valmistaminen tiettyyn mittaan on hyvin haastavaa, joten yleensä kappale on hieman nimellismittaa suurempi tai pienempi. (3, s. 85.)

Osien valmistamisen ja sopivuuden helpottamiseksi on kehitetty toleranssijärjestelmä, joka on määritetty standardissa ISO 286 (4). Toleranssista löytyy yleisimmät koneenrakennuksessa ja piirustuksissa käytettävät toleranssiluokat, jotka kertovat sallitun poikkeaman nimellismittaan tai muotoon nähden.

Yleisimpiä koneenrakennuksessa nähtäviä toleransseja ovat yleis- ja mittatoleranssit sekä reikä- ja akselitoleranssit. Suunnittelijan vastuulla on määrittää sopiva toleranssi kullekin mitalle tai muodolle (3, s. 85). Tässä tulee ottaa kappaleiden yhteensopivuuden lisäksi huomioon asennus, käyttökohde sekä tietysti kustannukset, sillä mitä tarkempaan mittaan kappale valmistetaan, sitä korkeammat ovat kustannukset (3, s. 85).

Pöytämallinen koordinaattimittauskone

Rantekilla on käytössä kaksi koordinaattimittauskonetta, joista toinen on saksalaisvalmisteinen Zeiss Accura II (kuva 1). Laitetta tullaan käyttämään mobiilirobotin ja jiggin avulla, jolloin kappaleiden asettaminen mittapöydälle ja itse mittaustapahtuman käynnistäminen ei vaadi enää työntekijää.



KUVA 1. Koordinaattimittauskone Zeiss Accura II (5)

Koordinaattimittauskoneilla päästään jopa kymmenestuhannesosamillimetrien mittaustarkkuuksiin. Yleisesti kuitenkin konepajateollisuudessa riittää tuhannesosamillimetrien tarkkuuteen yltävät mittalaitteet. Mittakoneita voidaan käyttää myös jo jonkin olemassa olevan kappaleen skannaamiseksi, jolloin siitä voidaan muodostaa 3D-malli. (6, s. 164.)

Pöytämällisen koordinaattimittauskoneen runko muodostuu paikallaan pysyvistä mittapöydästä ja sen yläpuolella liikuteltavasta mittapästä. Mittapää on kiinni pöydän yläpuolella liikkuvassa siltatyypisessä, kaarimaisessa rungossa. Kaarimainen runko on kiinni johteissa toisesta pystytolpasta ja toinen nojaa pöydän pintaan. Koordinaattimittauskoneessa liikkuvia akseleita on kolme: X- ja Y- akselit sekä pystysuuntaisen liikkeen mahdollistava Z-akseli. Mittakärjen päässä voi olla vielä lisäksi yksi tai kaksi kääntyvää akselia, jotka helpottavat mittakärjen optimaalista asettelua mittaamista varten. (6, s. 165.)

Mittapääksi kutsutaan mittalaitteen liikkuvaa, kappaleeseen koskettavaa osaa. Mittapään liikettä ohjataan joko manuaalisesti tai CNC-ohjauksella, jolloin mittapää mittaa ja liikkuu sille ohjelmoidun radan mukaisesti.

3.2 Teollisuusautomaatio

Automaatio tarkoittaa itsenäisesti toimivaa laitetta tai prosessia, ja se on kehitetty helpottamaan ihmisen elämää tai työkuormaa. Nykypäivänä automatisaatio on läsnä jokapäiväisessä elämässämme esimerkiksi kodinkoneiden, kulkuneuvojen ja elektroniikan välityksellä. Ensimmäisiä tunnettuja automatisoituja sovellutuksia on löydetty 2 000 vuoden takaa vesikellojen ja yksinkertaisten mekaanisten mekaniismien toteutuksissa. (7, s. 4.)

Teollisuusautomaatio on hyödyntänyt digitaalitekniikkaa jo 1970-luvulla, kun kehitettiin ensimmäiset mikroprosessorit, jotka syrjäyttivät vanhat analogia- ja reletekniikat. Mikroprosessorien kehittyminen mahdollisti yhä monimutkaisemmat ohjelmistot ja hallintajärjestelmät, joita tarvittiin erilaisten työstökoneiden ja robottien hallintaan sekä ohjaukseen. (7, s. 5.)

Nykyaikaisessa tuotantolaitoksessa vieraillessa huomaa, että ihminen harvoin tekee enää mitään hyvin rasittavaa tai monotonista työtä. Sen sijaan automatisoidut koneet ja robotit hoitavat työtehtävän nopeasti, tarkasti ja turvallisesti. Lisäksi vapautetut henkilökunnan resurssit voidaan ohjata tekemään hyödyllisiä tehtäviä.

Mobiilirobotti

Ensimmäiset autonomiset mobiilirobotit olivat avaruusjärjestö Nasan käytössä, mutta tarvittavan teknologian yleistymisen myötä mobiilirobotit ovat löytäneet tiensä myös teollisuuteen. Mobiilirobotit käyttävät monipuolista kamera- ja anturitekniikkaa, jonka avulla ne pystyvät havaitsemaan esteitä ja suunnittelemaan reittiään. Tämä mahdollistaa mobiilirobottien monipuolisen käytön myös muuttuvassa ympäristössä. (8.)

Yleisimmin mobiilirobotteja käytetään varaston tai tuotantolaitoksen sisäisen logistiikan hoitamiseen, kuten myös tässä opinnäytetyössä käytettävä GoPal 400

-mobiilirobotti (kuva 2). Kyseinen robotti on kehitetty lastattujen tai lastaamattomien kuormalavojen liikutteluun. (9.)



KUVA 2. Mobiilirobotti GoPal 400 (9)

4 JIGIN SUUNNITTELU

4.1 Jigin tarkoitus

Yleisesti jigiksi kutsutaan apuvälinettä, joka helpottaa toisen työvaiheen suorittamista pitämällä kappaleen paikoillaan ja oikeassa asennossa. Jigejä käytetään laajasti erilaisissa kokoonpano- ja tarkastustehtävissä, kun samanlaisia kokoonpanoja tai tuotteita rakennetaan tai tarkastetaan toistuvasti. Hyvän jigin ansiosta kappaleet asettuvat juuri haluttuun asentoon, jolloin jatkuva tarkastusmittojen ottaminen ja säätäminen poistuu. Automaattisesti toimiva jigi voi myös poistaa tarpeen manuaaliselle kappaleen asettelulle, jolloin työntekijän ei tarvitse itse käydä asettamassa kappaletta oikealle paikalleen esimerkiksi automatisoitua mittausta varten.

4.2 Kapasiteetti ja ulkoiset mitat

Jigin ulkomitat on määritelty mobiilirobotin sekä jigille tulevan kuorman mukaan. Mobiilirobotin leveys on 800 mm ja pituus 1 400 mm. Mobiilirobotti on suunniteltu eurooppalaisten kuormalavojen liikutteluun, joten myös jigin pohjalevystä päätettiin tehdä lähelle samankokoinen eli 800 mm leveä ja 1 200 mm pitkä. Samankokoisella pohjalevyllä mobiilirobotista saadaan suurin hyöty, jos tulevaisuudessa samalle alustalle päätetään asentaa jotakin toista tuotetta varten tehty jalusta.

Mobiilirobotin päällä olevan nostokelkan leveys on 550 mm. Nostokelkan ja sen päällä olevan korokkeen on mahdollista mittapöydän reunalta ulkonevien kuulojohteiden väliin, jolloin 800 mm leveän jigin laskeminen johteiden päälle on mahdollista.

Kappaleiden lastaaminen jigiin tapahtuu myös automatisoidusti teollisuusrobotin avulla (kuva 3). Robotti tarttuu kappaleeseen magneettitarttujalla otsapinnasta ja asettaa sen ensin kohdistintelineelle ja sen jälkeen jigille. Kohdistintelineen käytöllä varmistetaan siitä, että kappale on oikeassa asennossa robottiin sekä jigiin nähden.



KUVA 3. KUKA:n valmistama teollisuusrobotti ja taustalla näkyvä mittahuoneessa sijaitseva koordinaattimittauskone

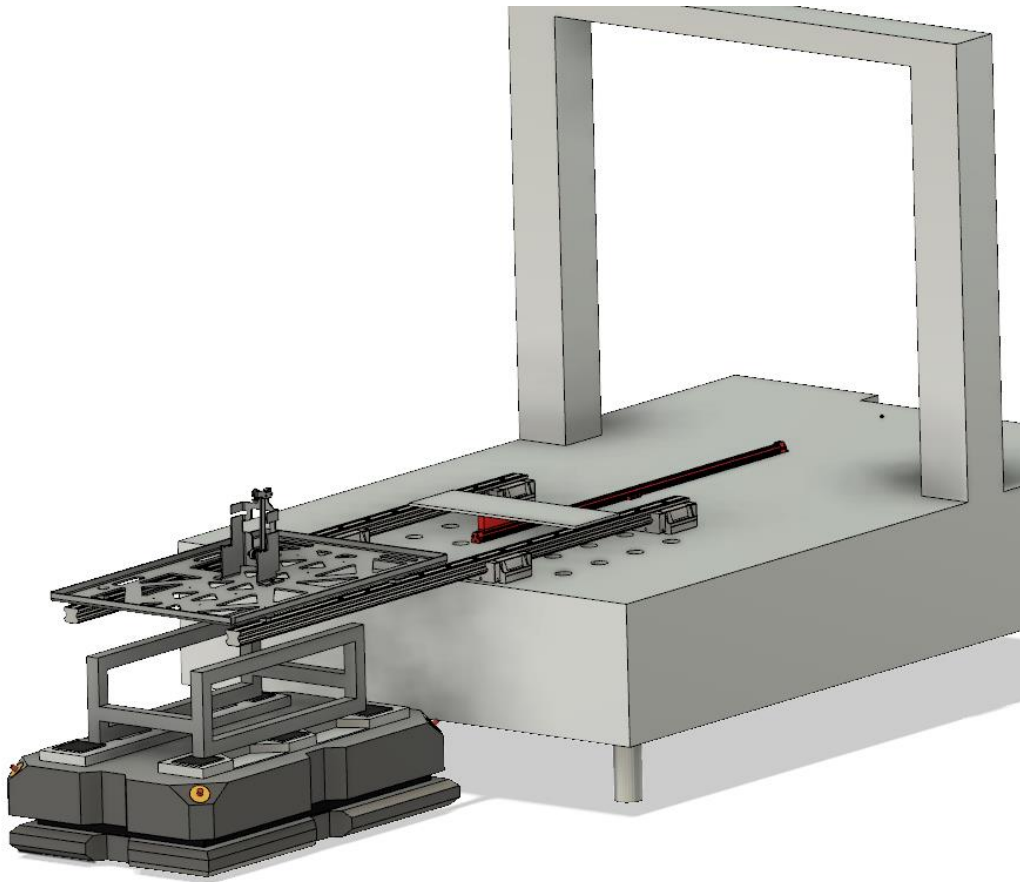
Robotin järeän rakenteen ja magneettitarttujan vuoksi sen vaatima tila on kappaleen etupuolella noin 700 mm. Tilanahtauden takia kappaleita ei voi asetella kovin lähelle toisiaan. Mobiilirobotti on suunniteltu kuljettamaan kuormalavoja, joten jigi ei voi olla tätä pidempi. Mittarajoitteiden takia jigille ei voi lastata kuin kaksi koneistettua kappaletta kerrallaan. Ensimmäisessä jigiversiossa sekä testivaiheessa käytetään kuitenkin vain yhtä jalustaa (kuva 4).



KUVA 4. Ensimmäinen jigiversio sekä mobiilirobotti, korokepala ja taustalla näkyvät koordinaattimittauskone sekä mobiilirobotin latauspiste

4.3 Jigin paikoitus-, lukitus- ja siirtomekanismit

Jigin liikkuminen mobiilirobotilta mittapöydälle ja takaisin toteutettiin kahdella kuu-lajohteella, joita liikutetaan yhdellä paineilmakäyttöisellä lineaarisylinterillä. Johteet on asennettu kiinteästi mittapöytään siten, että ne liikkuvat mobiilirobotin pituuden verran mittapöydän reunan yli. Tällöin johteista muodostuu eräänlainen telakka, jonka päälle mobiilirobotti voi laskea jigin. Jigin nostaminen ja laskeminen tapahtuu mobiilirobotin omalla nostomekanismilla. (Kuva 5.)



KUVA 5. Mobiilirobotti yhdessä korokepalan kanssa kuljettaa ja laskee jigin mittapöydän päällä liikkuvien kuulajohteiden päälle

Jigin asettuessa tukevasti sitä liikuttavien kuulajohteiden päälle on paikoitus mitauskoneelle riittävän tarkka sellaisenaan. Jigin pysyminen oikeassa asennossa on toteutettu painovoimaan perustuvalla kohdistuksella.

Mittapöytään kiinnitettyihin johteisiin on asennettu yhteensä neljä kartiopiikkiä (kuva 6). Vastaavasti jigin pohjassa on piikkeihin sopivat reiät, jolloin riittää, että jigi lasketaan noin 40 mm:n tarkkuudella paikalleen. Kartiopiikkien ansiosta jigi kohdistuu riittävän tarkasti aloilleen. Käytöstä aiheutuvaa kulumista on kompensoitu valmistamalla kartiopiikit kovemmasta materiaalista. Materiaaliksi valittiin 42CrMo4. Kyseinen materiaali on nuorrutusterästä, jolla on korkea myötö-, murto- ja väsymislujuus sekä hyvä sitkeys.



KUVA 6. Kohdistinpiikki, joka kiinnitetään M14-ruuvilla altapäin

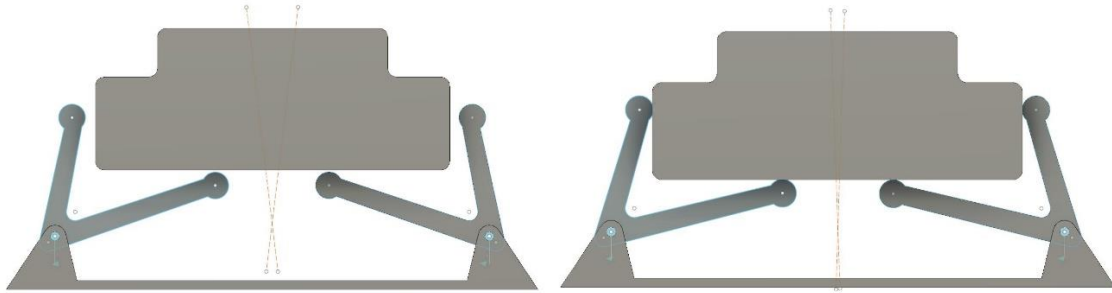
Jigin paikoitus mobiilirobotin päällä olevalle korokepälle on riittävällä tasolla sellaisenaan. Mobiilirobotin paikoitustarkkuus on noin ± 10 mm. Mobiilirobotti nostaa jigin aina kohdistinpiikkien päältä ja vastaavasti myös laskee sen aina kohdistinpiikkien päälle. Kohdistinpiikkien mahdollistama 40 mm:n poikkeama paikoitustarkkuudessa poistaa mobiilirobotin paikoitusepävarmuudesta johtuvat virheet.

Mobiilirobotin päälle rakennettu korokepala on päällystetty kumimatolla niistä kohdista, jotka koskettavat jigin pohjalevyä. Kumimaton käyttäminen lisää kitkaa jigin ja korokepalan välillä. Suuren kitkan ansiosta jigi ei lähde liukumaan esimerkiksi mobiilirobotin tekemässä hätäjarrutuksessa.

4.4 Kappaleiden paikoitus ja lukitus jigiin

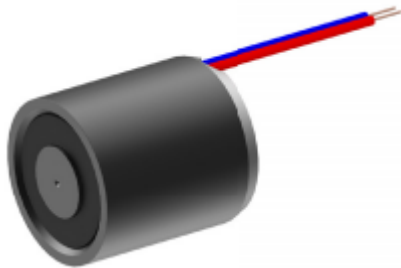
Mittaustulosten tarkkuuden kannalta on tärkeää, että mitattavat kappaleet ovat oikeassa asennossa ja tukevasti asetettuna jigiin. Kappaleen täytyy pysyä paikoillaan kuljetuksen ajan, kun mobiilirobotti ajaa lastausalueelta mittahuoneelle ja myös itse mittaustilanteessa, kun mittapää koskettaa mitattavaa kappaletta.

Lukitusmenetelmää suunniteltaessa vertailtiin useita erilaisia vaihtoehtoja, joista ensimmäisenä oli hieman tukkisaksien tapainen, kappaletta sen sivuista puristanut lukitusmekanismi. Vaihtoehto olisi ollut ongelmallinen kappaletta laskettaessa aloilleen, ja jigejä olisi täytynyt valmistaa useita (kuva 7).



KUVA 7. Havainnekuva ensimmäisestä mekanismivaihtoehdosta

Magneeteilla toteutettu lukitusmenetelmä oli myös vertailussa mukana. Mekanismi olisi toteutettu kestmagneeteilla, jotka irrottavat itsensä, kun niihin syötetään sähkövirtaa (kuva 8).



KUVA 8. Kestomagneetti, joka irrottaa itsensä sähköllä (10)

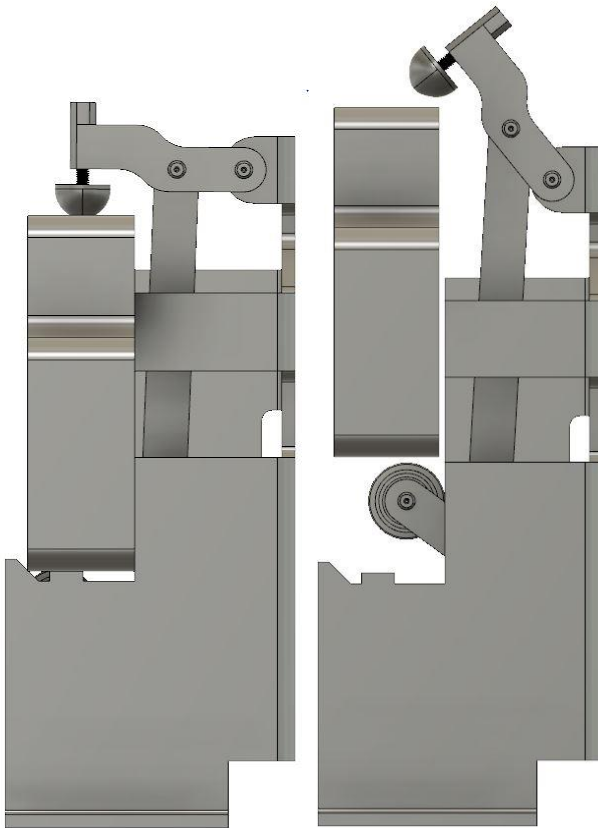
Kaksi pientä lieriön muotoista magneettia olisi sijoitettu kappaleen selkäpuolelle, jolloin kappale olisi ollut tukevasti jigissä kiinni. Kyseinen menetelmä olisi vaatinut kuitenkin erilliset jigiiin kiinnitettävät akut sekä myös automatiikan, jolla magneetit saisi irrottamaan ja kytkeytymään oikeassa tilanteessa oikeaan aikaan. Monimutkaisen toteuttamisen lisäksi liikkuvan mittapään lähellä olevat magneetit olisivat saattaneet aiheuttaa häiriöitä ja vääristymiä mittaustuloksiin.

Valittu toteutustapa

Vaihtoehdoista valittiin toteutettavaksi varmatoiminen mekanismi, jossa kappaleen tueksi on valmistettu alustaan eli jigii pohjalevyyn kiinnitetty jalusta. Koska jigille lastattava koneistettu kappale on polttoleikattu paksusta teräslevystä, sen ulkoreunat eivät ole koskaan täysin 90 asteen kulmassa otsapintaan nähden. Tästä syystä jalustan alaosassa on koko kappaleen syvyyden sijasta vain lyhyt

vaste, jonka päälle kappale asetuu. Kappaleen selkäpuoli nojaa myös vasteeseen, jolloin varmistutaan, että kappale on pystysuorassa.

Kappaleen lukitus käyttää hyväkseen myös painovoimaa. Alustaan kiinnitettyyn jalustaan on suunniteltu vipuvarsilla toimiva mekanismi, joka painaa kumivasteen kappaleen päälle. Riittävä voima saavutetaan kappaleen omalla painolla, joka painaa vipuvarsiin yhteydessä olevaa laakeroitua rullaa kappaleen alapuolella. Vastaavasti nostettaessa kappaletta pois jalustalta mekanismi nousee jousen avulla yläasentoon nostaen kumivasteen pois kappaleen päältä. (Kuva 9.)

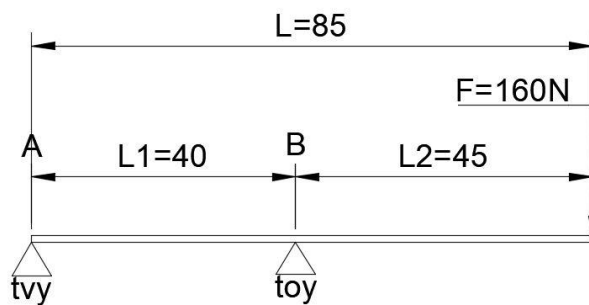


KUVA 9. Jigin jalusta sekä sen mekanismi kiinni- ja auki-asennossa

Jigin mallinnusvaiheessa täytyi ottaa huomioon usean erilaisen kappaleen eri geometrioiden sekä mittakoneen ja sen mittapäiden aiheuttamat rajoitteet. Mittakoneen mittausrata ja mittauspisteet aiheuttivat myös haastetta jigin muotoiluun. Mitattavien kappaleiden kokoerojen takia ei jigiin voitu toteuttaa mitään sivuttaissuuntaista vastetta, jota vasten kappaleen toinen laita aina asetettaisiin, mikä

helpottaisi kappaleen kohdistamista. Sen sijaan päätettiin, että kappale pyritään laskemaan robotilla jigiin aina mahdollisimman keskelle. Virhemarginaaliksi päätettiin ± 5 mm, jolloin sallitaan pieni poikkeama kappaleen asettamisessa jigiin.

Mekanismin synnyttämät voimat on laskettu tasapainoyhtälön avulla. Jotta kumi-vasteeseen kohdistuva voima voidaan laskea, täytyy ensin tietää myös alavarsiin kohdistuvat voimat. Ratkaistaan siis ensimmäisenä jäykkään välivarteen syntyvä vetovoima. Tarvittavat arvot löytyvät vapaakappalekuvasta (kuva 10).



KUVA 10. Vapaakappalekuva alavarresta, mitat millimetreinä

Oikeanpuoleinen tukivoima lasketaan tasapainoyhtälön kaavalla 1 (11).

$$A: F * L + toy * L1 = 0 \Leftrightarrow toy = \frac{F * L}{L1} \quad \text{KAAVA 1}$$

F = voima (N)

L = pituus (m)

$L1$ = pituus 1 (m)

$L2$ = pituus 2 (m)

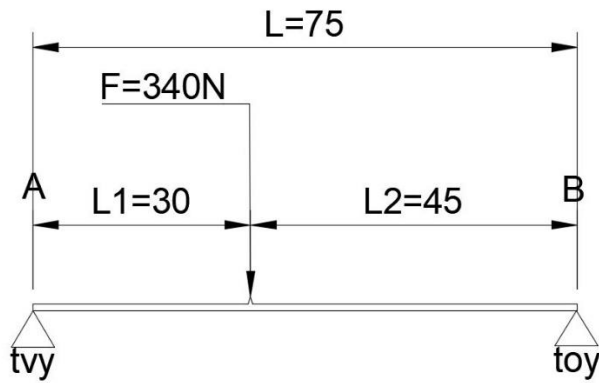
Tvy = tukivoima vasen y-akselin suuntaisesti

Toy = tukivoima oikea y-akselin suuntaisesti

A = piste A

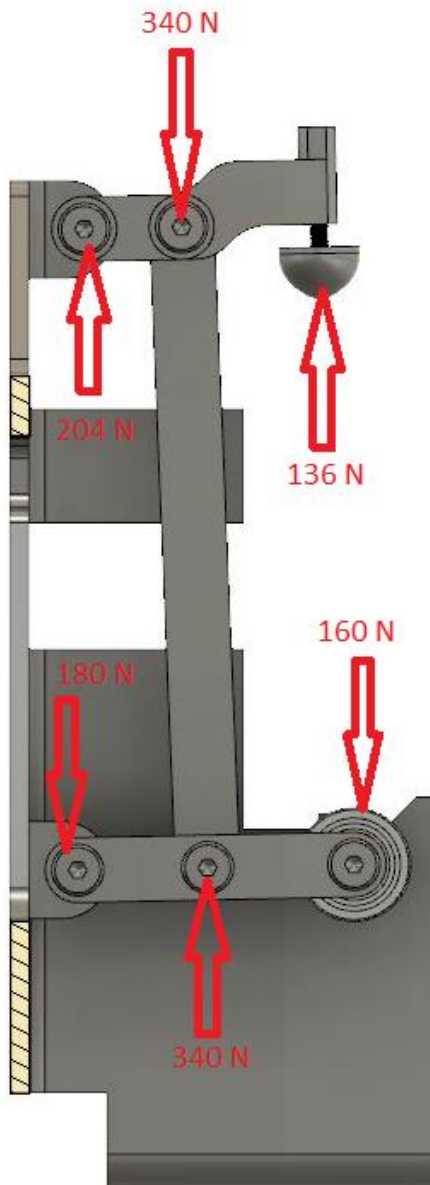
B = piste B

Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan tulokseksi 340 N. Ylä- ja alavarsien ollessa kytkettyinä jäykkään välivarren avulla toisiinsa aiheutuu ylävarren ja välivarren kiinnityspisteeseen sama 340 N alaspäin vaikuttava voima. Ylävarteen kohdistuvien voimien laskemiseen tarvittavat arvot löytyvät vapaakappalekuvasta (kuva 11).



KUVA 11. Vapaakappalekuva ylävarresta, mitat millimetreinä

Kaavaa 1 käyttämällä voidaan ratkaista myös ylempään varteen vaikuttava oikeanpuoleinen tukivoima. Tässä tapauksessa on oleellisinta saada tietää kumivasteeseen kohdistuvan voiman määrä, joka on 136 N. Käytännössä kumivaste siis painaa kappaleen yläpintaa noin 14 kg:n voimalla. (Kuva 12.)

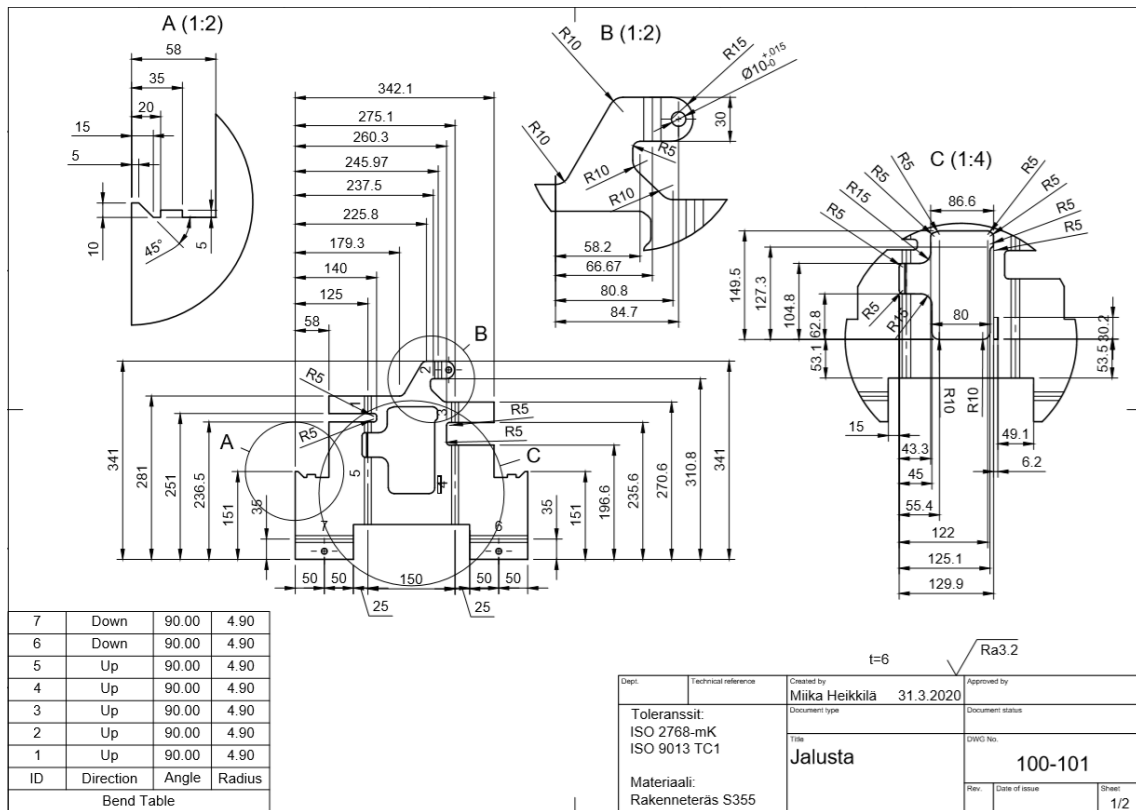


KUVA 12. Vipuvarsiin ja kiinnityspisteisiin kohdistuvat voimat

4.5 Materiaalit ja liitosmenetelmät

Jigin alusta eli pohjalevy on valmistettu 6 mm paksusta s355-teräslevystä, jossa on jäykistesärmäykset. Jigin alustaan kiinnitetty jalusta, jolle itse kappale asetetaan, on valmistettu samasta materiaalista särmäämällä (kuva 13). Samasta materiaalista on valmistettu myös jigin mekanismiin kuuluvat vipuvarret. Teräslevyn käyttö mahdollisti osien helpon valmistettavuuden. Lisäksi se on materiaalina riittävän lujaa. Jigin painolle ei ollut olemassa tarkkoja rajoituksia, joten kevyiden

materiaalien käyttö ja keveyden hakeminen ei ollut jigin toiminnan tai käytön kannalta olennaista.



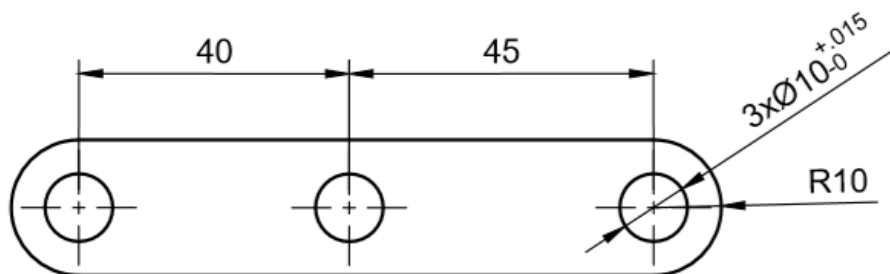
KUVA 13. Jalusta laserleikattiin suorasta teräslevystä ja lopuksi särmättiin muotoonsa

Vipuvarsien liittämisen toisiinsa toteutettiin standardin ISO 7379 mukaisilla olakeruuveilla, joissa on M8-kierre sekä 20 mm pitkä ja 10 mm paksu olake. Varsien linjaukseen ja aksiaalisten välysten poistoon käytettiin aluslevyjä. (Kuva 14.) Jalustojen kiinnittäminen teräslevystä valmistettuun pohjalevyyn toteutettiin myös ruuviliitoksin.



KUVA 14. Tarkka kuva ylä- ja alavarsien kokoonpanosta

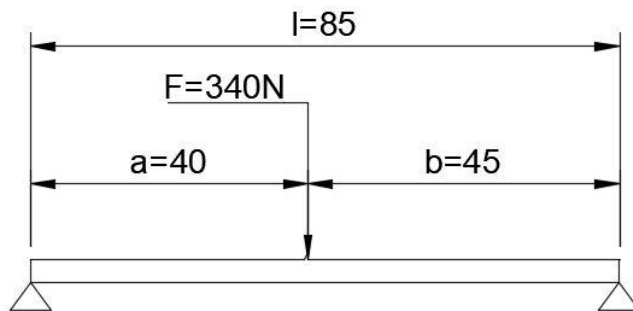
Vipuvarsien ja niiden kiinnityskorvakoiden reiät mitoitettiin käytettyjen olakeruuvien mukaisesti. Olakeruuvien olakkeeseen on määritetty toleranssiluokka f9, eli olake on aina nimellismittaansa pienempi. Ruuvien alarajamitta on 9,951 mm ja ylärajamitta on 9,987 mm. Reikien toleranssiksi valittiin H7, jolloin reiän alarajamitta on tasan 10 mm ja ylärajamitta on 10,015 mm, eli reikä on aina suurempi tai yhtä suuri kuin nimellismitta (kuva 15). Käytetyillä toleransseilla varmistetaan niveliin sopiva välys, sillä se on mekanismin liikkuvuuden kannalta erittäin tärkeä.



KUVA 15. Alavarren toleroidut reiät

4.6 Lujuustarkastelu

Varsien kestävyttä tarkastellessa voidaan olettaa, että alavarsiin kohdistuu suurin rasitus, sillä niihin vaikuttaa suurimmat voimat ja jännevälit ovat pisimmät. Varsien kestävyden voi laskea redusoidusti eli kuvittelemalla kappaleesta poistettavaksi siinä olevien reikien levyinen kaistale. Näin laskettuna voidaan varmistua varren kestävydestä. Lujuuslaskua selventämässä on kuva 16, jossa on esitetty alavarren mitat sekä siihen kohdistuva voima.



KUVA 16. Kaavoihin 2,3 ja 4 tarvittavat arvot

Laskutoimitukseen käytettiin kaavaa 2 (12).

$$\sigma = M/W$$

KAAVA 2

σ = max. jännitys (MPa)

W = poikkileikkauksen taivutusvastus (m^3)

M = taivutusmomentti (Nm)

Taivutusmomentti M saadaan laskettua kaavalla 3 (12).

$$M = \frac{a \cdot b}{l} * F$$

KAAVA 3

$$= 7,2 \text{ Nm}$$

Seuraavaksi voidaan laskea poikkileikkauksen taivutusvastus W kaavalla 4 (12).

$$W = \frac{h \cdot b^2}{6}$$

KAAVA 4

$$= 6 * 10^{-8} m^3$$

Kun tarvittavat arvot on laskettu, ne voidaan sijoittaa kaavaan 2, jolloin vastaukseksi saadaan

$$\sigma = M / W = 120 \text{ MPa.}$$

Laskennallinen varmuuskerroin saadaan, kun käytetyn teräksen myötöraja jaetaan saadulla tuloksella.

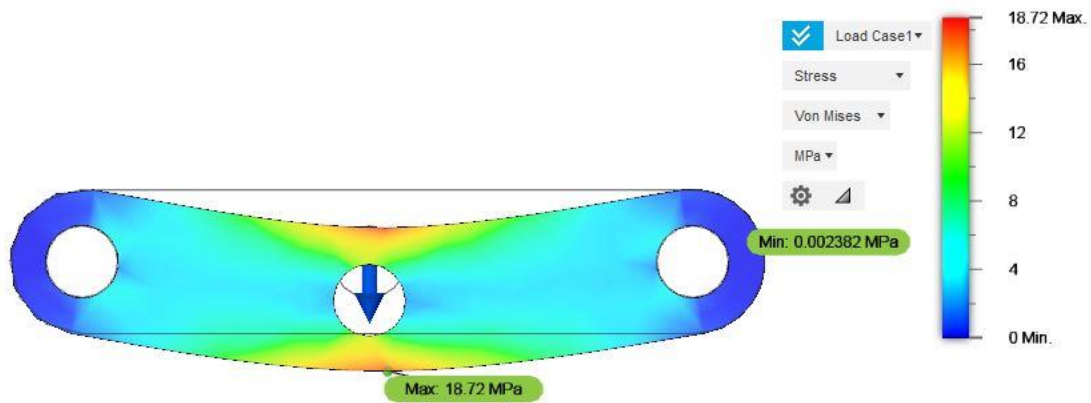
$$355 \text{ MPa} / 120 \text{ MPa} = 2,96$$

Varmuuskerroin on noin 3, joten varsi pystyisi kantamaan kuorman myös yksinään. Tässä mekanismissa kuorma jakautuu kuitenkin kahdelle lähes samantyyppiselle varrelle, joten varmuuskerroin on tällöin 6. Varmuuskerrointa muodostuu melko runsaasti, mutta siitä huolimatta varsien ohentaminen ei ole järkevää, koska kulumisen ohentaa varsia niiden kiinnityspisteistään ja varsiin kohdistuu myös värinää, kun mobiilirobotti siirtää jigia.

3D-mallien simulointi

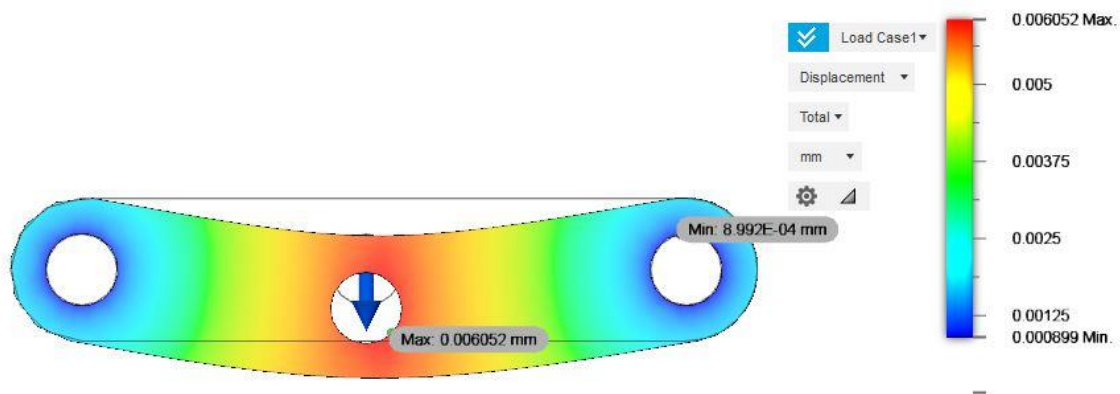
Kaikki mallinnustyö tehtiin käyttämällä Fusion 360 -ohjelmistoa. Samalla ohjelmalla on mahdollista suorittaa 3D-mallien simulointia, jolloin ohjelma laskee kappaleen kestävyuden annetun materiaalin ja rasiusten mukaan. Menetelmä on hyvä etenkin monimutkaisten kappaleiden lujuustarkastelua tehtäessä. Samalla simuloinnilla selviävät myös erilaiset venymät ja varmuuskertoimet.

Vaikka lujuuslaskelmat suoritettiin jo korkeimman rasituksen alaisille osille, niitä on mielenkiintoista tarkastella myös simuloimalla. Kuvassa 17 näkyy toiseen alavarteen kohdistuva rasitus. Kuvasta ilmenee, että kappaleen yläpintaan, kuvassa alapinta, kohdistuu noin 19 MPa:n vetojännitys. Vastaavasti kappaleen vastakkaiselle puolelle syntyy puristusta.



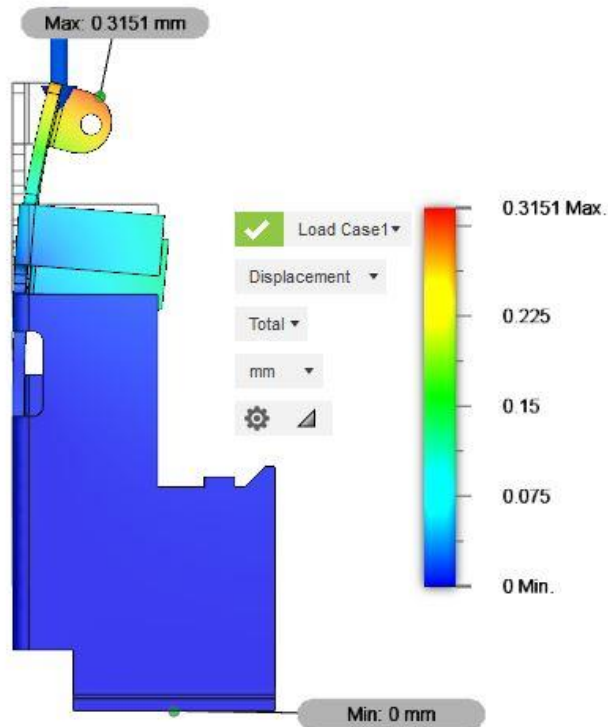
KUVA 17. Alavarteen kohdistuva jännitys

Teknisissä toteutuksissa on tärkeää ottaa huomioon myös rakenteiden tai komponenttien rasituksen tai oman massan aiheuttama taipuma. Taipumien estämisessä ei ole järkevää kasvattaa materiaalin vahvuutta loputtomiin, vaan olennaisempaa on suunnitella kappale muodoltaan jäykäksi esimerkiksi erilaisia särmäyksiä tai tukikorvakoita hyödyntämällä. Kuvassa 18 näkyy alavarren taipuma, joka on noin 6 μm . Tällaisella taipumalla ei tässä tapauksessa ole mitään merkitystä.



KUVA 18. Alavarren taipuma kuorman alaisena

Jigin ollessa kasattuna ja lastattuna vipuvarsienvääntö aiheuttaa myös rasitusta itse jigin jalustaan, johon vipuvarret ovat liitettyinä. Ylimpien vipuvarsienväntökiinnityskohdasta nähdään, että jalustan yläosa alkaa taipumaan kuorman alaisena mutta ei vielä käytön kannalta merkittävästi. Taipuma on noin 0,3 mm jigin jalustan varmuuskertoimen ollessa 5,8. (Kuva 19.)



KUVA 19. Kuormitus aiheuttaa taipumaa jalustan yläosaan

Osien simulointi antaa tarkat tulokset osien kestävydestä, taipumista ja varmuuskertoimista. Laskettaessa lujuuslaskuja perinteisin menetelmin joudutaan kappaleiden muotoja monesti yksinkertaistamaan. Yksinkertaistaminen täytyy aina ajatella siten, että kappale ajatellaan heikommaksi kuin lähtötilanne. Esimerkiksi palkista, jossa on reikä keskellä, lasketaan palkin kestävyys siten, että kuvitellaan poistettavaksi reiän kokoinen kaistale koko palkin pituudelta. Tällä tavoin tehtäessä lujuuslaskuja ja mitoittaessa palkkeja muodostuu luonnollista varmuuskerrointa ja voidaan varmistua siitä, että palkki varmasti kestä.

Simulointiohjelmaa käytettäessä voidaan myös hyvin monimutkaisten osien kestävyttä tarkastella paljon tarkemmin ja helpommin kuin perinteisin menetelmin laskemalla. Ohjelman avulla tehdyt lujuustarkastelut mahdollistavat rakenteet, joihin ei ole jätetty yhtään ylimääräistä varmuuskerrointa. Liian suuret varmuuskertoimet lisäävät suoraan kustannuksia ja saattavat vaikuttaa tuotteen tai rakenteen käytettävyyteen lisääntyneen materiaalin ja painon takia.

5 JIGIN VALMISTUS JA TESTAUS

Jigin osien 3D-malleista tehtiin dxf-tiedostot, jotka lähetettiin alihankkijalle. Osien valmistajalle toimitettiin myös osien 2D-kuvat. Osien valmistuttua hitsaustyöt ja jigin kokoonpano suoritettiin yrityksen tilojen sijasta harrastetallilla. Harrastetallin käyttö nopeutti kokoonpanoa, sillä tutut työkalut ja suojarusteet olivat helposti saatavilla.

Hitsattavia kohtia jigin jalustassa olivat alavarsien kiinnityskorvakkeen kiinnittäminen jalustaan sekä ylävarsien kiinnikkeen hitsaaminen yhtenäiseksi. Ylävarsien kiinnityskorvakkeen särmääminen vaati pienen apuleikkauksen taitokohdan, jotta kappaleen valmistaminen sujui toivotusti. Apuleikkaus tehtiin alihankkijan toimesta osan valmistusvaiheessa. Ilman leikkausta olisi ollut pieni vaara, että särmääminen olisi aiheuttanut venymää lähellä olevaan reikään, jolloin reikä ei olisi ollut enää halutussa toleranssissa. Loppukokoonpano suoritettiin liitteiden 1 ja 2 kokoonpanokuvien mukaisesti.

Ruuvien kierteissä oli valmiina kuivalukite, mutta lisäksi käytettiin myös erillistä kierrelukitetta. Liikkuviin niveliin ja ruuvien olakepintoihin levitettiin pieni määrä grafiittirasvaa mekanismin liikkuvuuden varmistamiseksi.

Käytettävyydestarkastelu ja parannusehdotukset

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kehitettyä toimiva prototyyppi tilaajan asettamien kriteerien mukaisesti. Prototyyppi ja sen valmistuskuvat sekä 3D-mallit ja kaikki työnaikainen dokumentointi jäävät tilaajan käyttöön.

Rantek tulee hyötymään valmistetusta jigistä, kun muut projektin osa-alueet on saatu valmiiksi, eli kun jigin siirtomekanismi sekä mittalaitteen ja robottien välinen tiedonsiirto on asennettu ja ohjelmoitu. Jigin käyttö edellyttää pieniä muutoksia käytettyihin mittapäihin sekä mittapäiden kalibroimista. Lisäksi mittauskoneen mittausohjelmaan täytyy tehdä pieniä muutoksia.

Jigin testauksen yhteydessä huomatuut puutteet voidaan toteuttaa nykyiseen prototyyppiin. Parannusehdotuksia mietittiin käytettävyyden, kestävyys ja turvallisuus-

suuden kannalta. Teollisuusrobotti lastaa jigin, joten käytettävyyden kannalta riittää, että jigin mekanismi toimii eikä jumiudu. Jumiutumisen välttämiseksi olisi hyvä suorittaa säännöllisesti mekanismin toiminnan tarkastus. Jigin pohjalevystä löytyy jokaiselta sivulta kädensijat, joista jigiä voi tarvittaessa turvallisesti nostaa tai siirtää.

Jigin pohjalevy ja itse jalusta kestävät käyttöä varmasti pitkään. Vipuvarsista muodostuva mekanismi ja mitattavaa kappaletta painava kumivaste ovat todennäköisimmät vikaantumiskohdat. Varsien ja olakeruuvien kulumisen tai kumivasteen haurastuminen tulevat ilmi, kun jigiä aletaan käyttämään säännöllisesti osana jatkuvaa tuotantoa.

Vipuvarsien kiinnitysreikien kulumista voi ehkäistä tekemällä sellaiset vipuvarret, joiden reiät holkitetaan esimerkiksi itsevoitelevilla, pronssiseoksesta valmistetuilla liukulaakereilla. Kumivasteen käyttöikä on riippuvainen käytetystä kumilaadusta. Tarvittaessa voidaan käyttää eri kumilaadusta valmistettua vastetta tai vaihtoehtoisesti käyttää kumivasteen tilalla jäykällä puristusjousella varustettua kovametallipiikkiä, joka pureutuu mitattavan kappaleen yläpintaan.

Käytetty palautinjousi saattaa ajan kuluessa alkaa kuoleutua eli menettää vetokykyään. Jousen kuoleutuessa voidaan jousi vaihtaa uuteen samanlaiseen tai sen tilalle voidaan vaihtaa laadukkaampi tai eri vahvuinen ja pituinen jousi. Eri kokoisen tai -vahvuisen jousen käytöllä voidaan esijännitystä ja palautusvoimaa säätää halutuksi.

Turvallisuus on tärkeä osa-alue kaikissa teknisissä ratkaisuissa, joten siihen tulee kiinnittää huomiota myös mobiilirobotilla liikuteltavaa jigiä suunniteltaessa. Jigin lukitusmekanismit varmistavat mitattavan kappaleen ja itse jigin paikoillaan pysymisen (kuva 20). Mobiilirobotin siirtäessä jigiä on jigin paikoillaan pysyminen varmistettu liimaamalla kumimatot mobiilirobotin päällä olevaan korokepalaan. Laskettaessa painava jigi kumimattojen päälle on kitka niin suuri, ettei jigi pääse liukumaan mobiilirobotin päältä pois hätäjarrutuksessa.



KUVA 20. Mitattava kappale pysyy lujasti kiinni jalustassa

Jigin pohjalevyn terävät ulkonurkat voidaan pehmentää tarvittaessa esimerkiksi liimaamalla solukumimuovin palat jokaiseen nurkkaan. Jigiä käytetään ja säilytetään kuivissa sisätiloissa, joten varsinaista pintakäsittelyä tai suojausta se ei tarvitse. Kuitenkin puhdistusta helpottava ja ulkonäköä sekä huomiota parantava kirkas pintaväri voisi olla hyvä lisäys jigiin.

6 YHTEENVETO

Koordinaattimittauskoneen mittaustapahtuman automatisoinnin toteuttaminen vaati toimivan jigien suunnittelun. Jigin tehtävänä oli mahdollistaa koneistettujen kappaleiden liikuttaminen mobiilirobottia käyttäen sekä varmistaa kappaleiden paikallaan pysyminen myös mittaustilanteessa.

Suunnittelu

Ennen jigien suunnittelua täytyi selvittää koneistetut kappaleet, joita haluttiin mitata suunniteltua jigia käyttäen. Ensimmäisiä jigiluonnoksia tehtäessä näytti siltä, että jigejä täytyy valmistaa vähintään kaksi, sillä mitattavia kappaleita oli useita erilaisia. Tästä huolimatta pystyttiin toteuttamaan yksi jigi, joka sopii kaikille halutuille kappaleille.

Projektin suorittamisen kannalta pääpaino oli mekaniikkasuunnittelussa, josta itselläni ei ollut kovinkaan paljon kokemusta. Lisäksi mallinnuksessa käytetty ohjelmisto oli minulle uusi. Uuteen mallinnusohjelmaan siirtyminen oli kuitenkin perusteltua, sillä kyseinen ohjelmisto oli jo laajalti käytössä kohdeyrityksessä, joten tiedostojen hallinta, jakaminen ja tarkastaminen helpottuivat.

Suunnittelutyön ja ideointivaiheen aikana arvioitiin useita mahdollisia vaihtoehtoja ja mekanisme. Lopulta valittiin vipuvarsia ja painovoimaa hyväksikäyttävä versio. Valintaan johtivat mekanismin varmatoimisuus, helppokäyttöisyys sekä yksinkertainen toteutus ja valmistettavuus. Mekanismin tarkka suunnittelu vaati eri alueille kohdistuvien voimien selvittämistä ja lujuustarkastelua. Lujuuslaskujen lisäksi käytettiin simulointiohjelmaa, jolla varmistettiin aiemmin lasketut laskut sekä saatiin mielenkiintoista dataa ja tietoa eri kuormien aiheuttamista rasituspesteistä ja taipumista.

Haasteet

Suurimmat haasteet koin aikataulutuksessa ja itse jigien muotoilun suunnittelussa. Aikataulusta tehtiin hyvin tiukka, jotta sitä pystyttiin tarvittaessa loppupäästä venyttämään. Jigin suunnittelu ja mallintaminen vei arvioitua enemmän

aikaa, joten jigin osat saatiin valmistukseen noin kuukausi suunniteltua myöhemmin. Tämä ei kuitenkaan jarruttanut itse opinnäytetyökokonaisuuden valmistumista, sillä myös muilla projektiryhmillä aikataulut hieman venyi.

Työlästä suunnittelua vaati erityisesti jigin jalusta, joka täytyi suunnitella yhdeksälle erilaiselle mitattavalle kappaleelle yhteensopivaksi. Tämä edellytti jokaisen mittakoneen tekemän liikkeen ja mitattavien kappaleiden monimutkaisten muotojen huomioonottamista. (Kuva 21.)



KUVA 21. Jalustan selkäpuoli

Vaikkakin kappaleet lastataan jigin jalustalle robottia käyttäen, ei lastaustarkkuutta voitu kuitenkaan olettaa täysin virheettömäksi. Kappaleen sijoittamiselle jigin jalustaan sallitaan ± 5 mm:n sivuittaisheitto, joka myös hankaloitti jo muutenkin ahtaaksi muodostuneen jalustan suunnittelua.

Haasteena oli myös katselmuspäivien järjestäminen suurelle henkilömäärälle. Koko projektissa oli osallisena kolme opinnäytetyöntekijää, heidän ohjaavat opettajansa sekä yrityksen projektiin liittämät työntekijät.

Aihealueen laajuus ja vaativuus

Aihealue oli mielestäni riittävä opinnäytetyön tasoiseen suoritukseen. Työn suorittaminen vaati pitkäjänteistä suunnittelua ja perehtymistä uusiin asioihin. Täysin

uudenlaisen jigiratkaisun mekaniikkasuunnittelu yhdessä materiaalien lujuustarkastelun ja suunnitelmien sulauttaminen osaksi muuta järjestelmää vaati hyvin kattavasti kaiken sen tiedon käyttämistä, jota olen opinnoissani saanut.

Työ soveltui hyvin opinnäytetyöksi myös työmääränsä puolesta. Tehdyt työtunnit vastaavat vaadittua opintopistemäärää, joten mielestäni projektin hallinta ja aihealueen rajaus onnistuivat hyvin. Työn tuottama käyttöön soveltuva jigin prototyyppi on myös konkreettinen todiste tehdystä työstä, jolla voitiin varmistua, että suunnitelmat toimivat myös todellisuudessa.

LÄHTEET

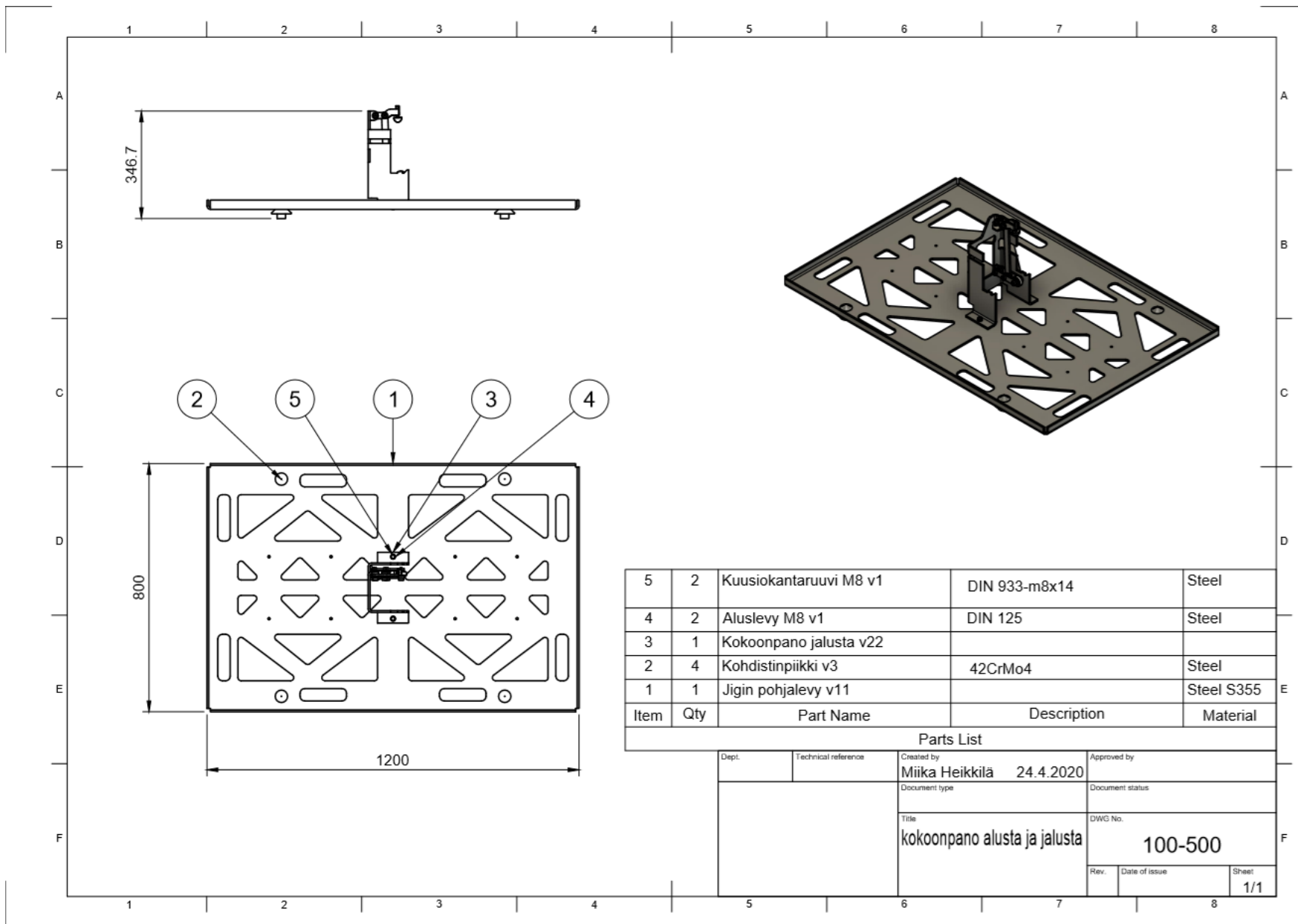
1. Yritys. 2013. Rantek. Saatavissa: <http://www.rantek.fi/yritys.html>. Hakupäivä 17.4.2020.
2. Osaaminen. 2013. Rantek. Saatavissa: <http://www.rantek.fi/osaaminen.html>. Hakupäivä 17.4.2020.
3. Maaranen, Keijo – Heinonen, Mika 2013. Tekniset piirustukset: konetekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
4. ISO 286 standardi. 2010. Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Pituusmittojen toleranssien ISO-merkintäjärjestelmä. Helsinki: SFS Suomen standardisointiliitto.
5. Mittalaitteiden valmistaja Zeiss. 2020. Zeiss. Saatavissa: <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/coordinate-measuring-machines/bridge-type-cmms/accura.html#technicaldata>. Hakupäivä 3.2.2020.
6. Keinänen, Toimi – Järvinen, Masi 2014. Mittaustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
7. Koskinen, Kari 2018. Automaation historia, nykytila ja tulevaisuus. Automaatioväylä Oy ISSN 0784 6428. Saatavissa: https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1380/automaatio_ennen_nyt_ja_tulevaisuudessa_av_artikkelisarja_2018.pdf. Hakupäivä 7.2.2020.
8. Zenner, Morgan J 2019. Autonomous Mobile Robots Push Robot Boundaries. Robotic Industries Association. Saatavissa: https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Autonomous-Mobile-Robots-Push-Robot-Boundaries/content_id/8099. Hakupäivä 12.2.2020.
9. Mobiilirobotin manuaali. 2018. Robotize ApS. The GoPal® System Operator's Manual Robotize Document No. 010835 Rev. E 01.09.2018. Robotize ApS.

10. Sähköllä irrottava kestopagneetti GTP-20. 2016. Isliker Magnete. Saatavissa: http://www.islikermagnete.ch/download/prospekt/8_01_1_GTP-20.pdf. Hakupäivä 7.5.2020.
11. Tolonen, Helena 2017. T314005 Rakenteiden statiikka 3 op. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2017. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
12. Jokinen, Kai 2017. T314203 Lujuusopin perusteet 3 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2017. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Jatkomutteri liitetään ylävarsiin väliin hitsaamalla.
 Alavarsin kiinnityskorvake kiinnitetään hitsaamalla jalustan selkäpuolelta.
 Ruuvit asennetaan kierrelukitteen kanssa ja ruuvien olakepinnat sekä varsiin nivelet voidellaan grafiittirasvalla.

Item	Qty	Part Number	Part Name	Description	Material
12	1		Jatkomutteri M6 v3		Steel
11	1		Kartiopuskin v2		Steel
10	1	100-105	Välivarsi v9		Steel S355
9	1	100-106	Ylävarsi v9		Steel S355
8	1	100-107	Ylävarsi kierteitetty v8		Steel S355
7	1	100-103	Alavarsi v6		Steel S355
6	1		Laakeri v4	SKF 6300-2RSH	
5	1	100-104	Alavarsi kierteitetty v7		Steel S355
4	27		Aluslevy M10 v3		Steel
3	5		Olakeruuvi v3	ISO7379-m8x20	Steel
2	1	100-102	Alavarsin kiinnityskorvake v6		Steel S355
1	1	100-101	Jalusta v25		Steel S355

Parts List					
Dept.	Technical reference	Created by	31.3.2020	Approved by	
		Miika Heikkilä		Document status	
		Document type		DWG No.	
		Title	Kokoonpano jalusta	100-100	
		Rev.	Date of issue	Sheet	
				1/1	



5	2	Kuusiokantaruuvi M8 v1	DIN 933-m8x14	Steel
4	2	Aluslevy M8 v1	DIN 125	Steel
3	1	Kokoonpano jalusta v22		
2	4	Kohdistinpiikki v3	42CrMo4	Steel
1	1	Jigin pohjalevy v11		Steel S355
Item	Qty	Part Name	Description	Material

Parts List

Dept.	Technical reference	Created by Miika Heikkilä 24.4.2020	Approved by
		Document type	Document status
		Title kokoonpano alusta ja jalusta	DWG No. 100-500
Rev.	Date of issue	Sheet	
		1/1	