



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

CNC-OHJATTU LIIMANLEVITYSKONE

Lauri Valtonen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2018
Ajoneuvotekniikka
Älykkäät koneet



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Älykkäät koneet

Lauri Valtonen:
CNC-ohjattu liimanlevityskone

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Joulukuu 2018

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa CNC-ohjattu liimanlevityskone. Koneen tavoitteena on luoda edellytykset yrityksen jatkuvasti suurentuvien sarjakokojen liimauksen automatisointiin. Liimaus on komposiittituotteiden yleisimpiä liittämismuotoja ja näin olleen prosessin automatisoinnilla voitaisiin saavuttaa edistystä laadun ja ajankäytön parantamiseksi. Työ on toteutettu CSI composites:ille, joka on suomalainen komposiittialan yritys.

Koneen valmistamista lähdettiin toteuttamaan 3D-tulostimen toimintaperiaatteen ympärille. Kone tulisi toimimaan samanlaisella ohjauksella, elektroniikkakomponenteilla ja työn suunnitteluohjelmalla. Koneen rungon suunnittelulle asetettiin tavoitteeksi luoda kevyt ja tukeva runko. Runko oli koneessa tärkeä elementti sen nopeustavoitteen kannalta. Suunnittelussa pyrittiin vastaamaan tähän tavoitteeseen käyttämällä kevyitä materiaaleja sekä pitämällä osakokoonpanot yksinkertaisina.

Tuloksena työssä saatiin lähes valmis kone, joka kykenee pienellä jatkokehityksellä saavuttamaan automaationa toimivan liimanlevityksen tavoitteen. Työn toteutusaikataulun takia viimeisiä testejä ja kalibrointia ei saatu suoritettua suunnitellulla tavalla. Työn viimeistelyn myötä yritys saa käyttöönsä tehokkaan koneen liimakokoonpanojen tuotantoon.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Vehicle engineering
Intelligent machines

Lauri Valtonen
CNC-Controlled Glue Applicator

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 2 pages
December 2018

The purpose of this bachelor's thesis was to design and manufacture CNC-controlled glue application machine. The goal was to create a possibility to automate the glue application process to manage better company's continuously growing product quantities. Adhesive bonding is one of the most common attaching methods used in composite manufacturing. This machine could help to further improve product quality and lower the time used in bonding process. This thesis was made for CSI composites, which is a Finnish composite manufacturer.

Design of the machine was heavily based around 3D-printing technology. The machine was designed to work with similar electrical components, CNC-system and work design system as 3D-printers. Important element in the frame design was speed of the machine which lead to light machine. Frame design was based on this aspect of the machine. Light materials and simple part assemblies were used to achieve this goal.

In conclusion we were able to create almost complete machine. This machine will need few minor modifications to meet the goals of autonomous glue application. Work schedule limited the testing and calibration of the machine when writing this thesis. After the modifications are done the company will have powerful machine to help with adhesive bonding processes.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ESISUUNNITTELU	7
3	KONEEN SUUNNITTELU	9
3.1	Runko.....	9
3.1.1	Ensimmäinen versio	11
3.1.2	Toinen versio.....	13
3.2	Veto ja johteet	16
3.3	Ohjaus ja sähköt.....	18
3.4	Pumppu	19
4	RAKENTAMINEN.....	21
4.1	Osien valmistus.....	21
4.2	Sivutuki.....	21
4.3	Runkolevyt.....	23
4.4	Alumiiniosat.....	25
4.5	Pumppu	26
5	TESTAUS JA KALIBROINTI	27
5.1	Testauksessa ilmenneet ongelmat	27
5.2	Yleistä testauksesta	28
6	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET.....	31
	LIITTEET	32
	Liite 1. Osaluettelo kuvina	32

1 JOHDANTO

Koneen suunnittelu lähti yrityksen tarpeesta luoda nopea ja hallittu tapa levittää liimaa sarjatuotteiden pinnoille. CSI Composites:illa oli kirjoitushetkellä yksi tarkka tuote, joka hyötyisi koneesta huomattavasti ja lisää olisi varmasti tulossa, sillä yrityksen tuotteiden sarjakoot ovat olleet jatkuvassa kasvussa. Koneen suurin hyöty olisi tuottaa hyvin tasalaatuinen liimanlevitys, joka olisi siisti ja hyvin toistotarkka. Kone voi olla nopeampi kuin ihminen, mutta mikä tärkeämpää kone vapauttaisi työntekijän tekemään jotain muuta liimauksen valmistelua liimanlevityksen aikana.

Liimanlevitykseen voi mennä useita minuutteja, mikä puolestaan alkaa suuremmissa sarjoissa näkymään isoina työaikaerinä. Liimattavissa osissa on usein paljon valmistelua, kuten liimattavan osan tai alueen karhennus, putsaus ja istuvuuden tarkistus. Työntekijälle jäisi koneen käyttöönoton myötä paremmin aikaa keskittyä näihin liimauksen osioihin. Nämä ovat Liimauksen kannalta tärkeimpiä osioita ja tasalaatuisen liimanlevityksen ohella (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars ja Komppa 2003, 113).

Toinen idean aloittaja oli 3D-tulostimien käyttöperiaatteen soveltaminen tähän koneeseen. 3D-tulostimet sulattavat muovifilamenttia ja levittävät sen pieninä palkoina tulosalustalle. Tulostamisessa useita tällaisia palkoja asetellaan vierekkäin ja päällekkäin, jolloin saadaan luotua halutun mallinen kappale (KJ additive.2016). Samaa tekniikkaa voisi käyttää liimanlevityskoneen ajamiseen ja koodin suunnitteluun. Tämä tekniikka tarjosi koneen ohjauksen puolelle halutun ratkaisun, sillä levitysohjelman tekeminen alusta alkaen olisi turhan aikaa vievää. Hyvää olisi myös se, että tulostimien ohjelmistoja saa halvalla ja komponentit ovat myös suhteellisen halpoja. Lisäksi koodin tekemiseen käytettäviä slicer-ohjelmistoja on laaja valikoima.

CNC-ohjaus (computer numerically controlled) tarkoittaa, että tietokone ohjaa koneen toimintaa antamalla lukuarvoja koneen liikenopeudelle, liikkeen loppupisteelle ja muille koneessa tehtäville muutoksille (Havimo 1984, 8). Liimanlevityskone tulisi olemaan edellä mainitulla toimintaperiaatteella toimiva laite, joka ei vaadi ihmistä ohjaamaan sen liikkeitä.

Työ toteutettiin CSI composite solutions and innovations yritykselle, joka on suomalainen komposiittialan yritys. Se on toiminut alalla 2006 vuodesta lähtien. Yrityksen valmistamat tuotteet keskittyvät pääosin koneenrakennuksen ympärille, mutta tämän lisäksi tuotteita on myös urheiluvälineiden ja muun teollisuuden puolella. Yrityksellä ei ole omia tuotteita, vaan se toimii täysin alihankkijana. Yritys sijaitsee Vilppulassa ja siellä työskentelee noin 15 henkilöä.

Tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa kone, joka parantaisi yrityksen liimattavien komponenttien laatua sekä nopeuttaisi tuotteiden valmistumista. Toisena tavoitteena oli kehittää yrityksen valmistusmenetelmiä hiilikuidun sekä alumiinin koneistamisen osalta. Kolmantena koneen tavoitteena oli esitellä komposiittiosista valmistettavan koneenrungon mahdollisuuksia. Työ mallinnettiin Autodesk'in Inventor ohjelmalla. CAM-ohjelmistona (computer-aided manufacturing) käytössä oli yrityksen tarjoama Fusion 360.

2 ESISUUNNITTELU

Suunnittelun päämääränä oli 3+1-akselinen laite, jossa on kolme lineaarista liikeakselia (XYZ) ja pumpunakseli (E). Tällä konfiguraatiolla koneessa on riittävä määrä akseleita annostelunokan siirtämiseen haluttuun paikkaan sekä liiman pumppaamiseen. Tarkoituksena oli käyttää 3D-tulostimen ohjelmistoa, jolla konetta ajetaan. Koneen toiminta on periaatteessa täysin sama, mutta filamentin sijasta suuttimesta syötettäisiin liimaa. Tulospaksuus eli tässä tapauksessa liimanlevitys olisi aina ikään kuin yksi kerros tulostetta. Tämä mahdollistaisi slicer-ohjelmien käyttämisen. Tämä ohjelma mahdollistaa helpon tavan tehdä uusien tuotteiden liimausratoja sekä tarvittaessa muokata jo olemassa olevia ratoja muutosten tai muiden ongelmien ilmetessä.

Tämän kaltainen projekti oli hyvä aloittaa karkealla suunnittelulla ja kustannuslaskelmalla. Karkea suunnittelu aloitettiin tutustumalla eri vaihtoehtoihin ohjelmiston, moottorien, rungon, johteiden, vetotavan ja pumpun osalta. Näiden kaikkien suunnittelusta kerrotaan lisää osakokonaisuuksien omissa suunnitteluosioissa, mutta alkuperäinen suunnitelma oli seuraavanlainen:

Ohjelmistona olisi tietokoneella toimiva Mach 3 CNC-ohjelmisto johon saisi helposti liitettyä tarvittavan moottoriohjaimen. Houkuttelevaa tässä vaihtoehdossa oli ohjainten halpa hinta sekä kaupallisesti saatava tuote, jolla on useita käyttäjiä. Ohjaimen ja ohjelmiston hinta olisi noin 250 €.

Moottoreina toimisivat NEMA 17 ja 23 askelmoottorit. Ne ovat yleisesti paljon käytettyjä pienissä CNC-koneissa ja 3D-tulostimissa. Molemmat ovat hinnaltaan kohtuullisia ja täysin yhteensopivat Mach 3 ohjauksen kanssa käytettävään moottorinohjaimen. Moottoreiden yhteenlaskettu hinta olisi noin 150 €.

Rungon alustava valmistusmateriaali oli hiilikuitulevy. Tämä ei varmastikaan ole kovin yleinen valinta materiaalille, sillä se on melko kallista tarkoitukseen. Soveltuvuus olisi kuitenkin hyvä, sillä tarkoituksena oli rakentaa nopea kone ja tähän tarkoitukseen kevyet runkomateriaalit ovat erittäin hyviä. Pohjarunko olisi parempi valmistaa jostain muusta materiaalista, jotta sille saisi enemmän painoa. Tässä tapauksessa tämä voidaan kuitenkin

korvata lisäpainoilla tai rungon kiinnityksellä alustaan, jos tukevuuden kanssa on ongelmia. Runkomateriaalit olisivat tässä tapauksessa ilmaisia, sillä materiaali olisi pääosin ylijäämää.

Johteina toimisivat standardit lineaarijohteet. Lineaarijohteet ovat hyvin yleisesti käytettyjä CNC-koneissa. Ne olisivat myös helposti saatavissa ja kilpailutettavissa. Hinta-arvio johteille olisi noin 600-700 €.

Vetotapana olisi hihnavetoinen järjestelmä, joka tarjoaa luotettavan, helposti saatavan, riittävän tarkan ja edullisen vetotavan. Hintaa hihnalle ja sen vaatimille hihnapyörille tulisi noin 100 €.

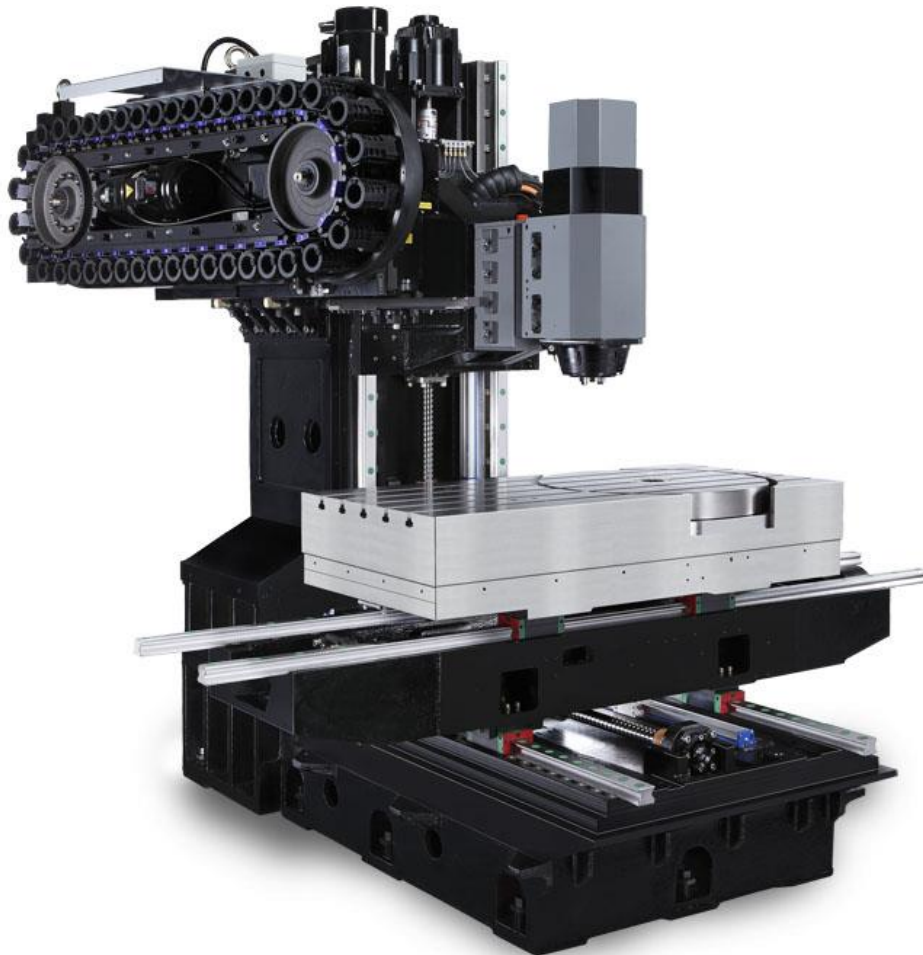
Pumppuja on saatavilla monenlaisia tarvittavassa kokoluokassa. Suurin ongelma pumpussa oli tarve jatkuvaan syöttöön tasaisella tilavuusvirralla. Paineilman ja sähköisen venttiilin käyttö saattaisi olla kaikista paras tapa tähän tarkoitukseen, mutta 3D-tulostuohjelmien käyttö edellyttää pyörivän liikkeen käyttöä pumpussa. Kaupallisten pumppujen hinnan takia alustavana suunnitelmana olisi oman pumpun suunnittelu. Hinta arvio omavalmisteiselle pumpulle olisi alle 100 € kun taas kaupallisessa tapauksessa 300-700 €.

Kokonaisuudessaan kone tulisi maksamaan osiensa puolesta alle 1500 €. Lisäksi voi tulla joitakin pieniä kuluja kiinnitysosista, sähkökomponenteista ja muista materiaaleista. Myös pumpun vaihtuminen kaupalliseen voi nostaa hintaa. Tarkoituksena olisi kuitenkin tehdä mahdollisimman paljon itse ja turvautua kaupallisiin ratkaisuihin vain sen ollessa pakollista tai hinnan puolesta järkevää. Kokonaisuudessaan tavoitteena oli valmistaa melko alhaisen hintaluokan kone.

3 KONEEN SUUNNITTELU

3.1 Runko

Rungon rakenteelle on monta erilaista vaihtoehtoa ja niiden yhdistelmää. Merkittävistä näistä on valinta siitä, mikä osa liikkuu suhteessa mihinkin. Metallintyöstökoneissa pöytä on usein liikkuva osa X ja Y akselien suunnassa tai X ja Z akselien suunnassa. Pöydän liikkeen lisäksi rungossa on lisäksi joko korkeusakseli tai vaaka-akseli. Kuvassa 1 on esimerkki tämän tyyppisestä rungosta.



KUVA 1, Hurco CNC-koneen runko (Hurco tuotekatalogi)

Tämä on hyvin tukeva ja tarkkuutta parantava tapa suunnitella runko. Tämän mallinen runko kuitenkin rajoittaa työstöpinta-alaa suhteessa koneen tarvitsemaan kokonaispinta-

alaan huomattavasti. Tästä kevyemmät ratkaisut muuttuvat usein gantry-mallin koneiksi, joissa pöytä on paikallaan ja sen yläpuolella on liikkuva siltarunko. Tämä lisää koneen työstöpinta-alaa rungon suhteen huomattavasti, mutta ei ole yleensä yhtä tukeva kuin liikkuvapöytäinen kone. Muun mallisia CNC-koneita on todella paljon. Varsinkin 3D-tulostusmaailmassa on hyvinkin erilaisia tapoja tehdä nämä kolme liikeakselia. Nämä kaksi aiempaa olivat perusvaihtoehdot tämän koneen suunnitteluun.

Rungossa päädyttiin gantry-tyyppiseen ratkaisuun sen tehokkaan tilankäytön ja kevyemmän rakenteen vuoksi. Se soveltui myös hieman paremmin tähän suunnitelmaan käytettävissä olevan hiilikuitulevyn kannalta. Rungon suunnittelussa suurin haaste oli saada se toimivaksi käytettävissä olevalla hiilikuitulevyllä. Levy on 15,2 millimetrin paksuista kennolevyä, jossa toinen pinta on epätasainen. Se on keveyden ja jäykkyyden puolesta optimaalinen rakennusmateriaali rungolle. Lämpölaajenemisen puolesta materiaali on hyvin sopivaa runkorakenteeseen, sillä sen lämpölaajeneminen on todella pieni. Tämä voisi aiheuttaa ongelmia johteiden kanssa, mutta toisaalta koneen tulisi olla jatkuvasti noin 18-25 °C asteen lämpötiloissa, joten lämpölaajenemisen ei pitäisi saada vahinkoa aikaiseksi. Levy on valmistettu tarkasti tasomaiseksi mitoitettulla pöydällä, joten muottipinnan tasomaisuus on hyvin lähellä 0,2 millimetriä. Suurin osa koneistuksista tapahtuu juurikin tätä pintaa hyödyntäen.

Suurimpana ongelmana kyseisen levyn käytössä olivat kiinnitykset ja liitokset. Pulttiliitokset levyjen välillä aiheuttavat haasteita, sillä pulttiliitoksilla on todella helppo lommauttaa levyä. Tätä ongelmaa pyrittiin suunnittelussa välttämään mahdollisimman paljon, mutta esimerkiksi johteet olisivat todennäköisesti pakko kiinnittää kyseisellä tavalla. Hyvä keino välttää tätä ongelmaa on käyttää isoja aluslevyjä, jotka jakavat pultin tekemää painetta tasaisemmin. Levyjen välissä oleva vaahto ei myöskään ratkaissut kiinnitysongelmaa, sillä Siihen ei voi tehdä kierrettä ja kierreinsertin tarkka paikoittaminen on melko haastavaa niin pehmeässä aineessa. Liimaus ei myöskään ollut vaihtoehto, sillä koneeseen voi joutua tekemään säätöä eri syistä, jolloin liimauksen tuoma pysyvä kiinnitys ei sovi tarkoitukseen.

Ongelmaksi voi muodostua myös toisen puolen epätasainen pinta. Tämän johdosta kaikki kiinnityspinnat oli joko koneistettava tasaiseksi tai käytettävä kiiltävää pintaa. Tämä ongelma oli hyvä huomioida suunnitteluvaiheessa, jolloin koneistettavien pintojen lisääminen oli helppoa.

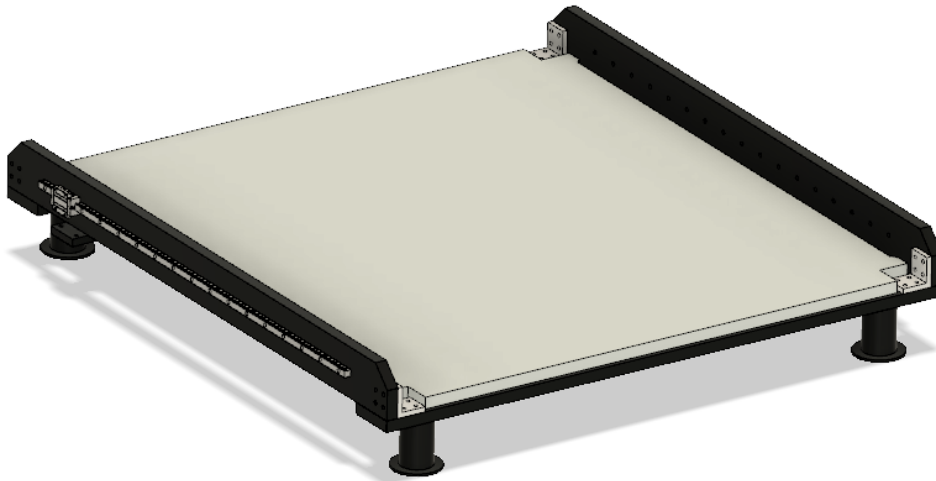
Tasainen pinta on visuaalisesti hieman paremman näköinen, joten se pyrittiin pitämään ”ulkopintana”. Tavoitteena oli myös tehdä visuaalisesti hyvännäköinen laite, jotta konetta voidaan jatkossa käyttää myös esimerkkinä komposiittiosilla tehtävistä koneista. Ulkonäkö ei tietenkään saa vaikuttaa koneen toimivuuteen.

Rungon koordinaatiston suunnat ja alustavat mitat olivat seuraavat: Y-akseli, pitkittäinen liike, 1200-1350 mm, X-akseli, poikittainen liike 800-900 mm ja Z-akseli, pystysuuntainen liike 100-300 mm

3.1.1 Ensimmäinen versio

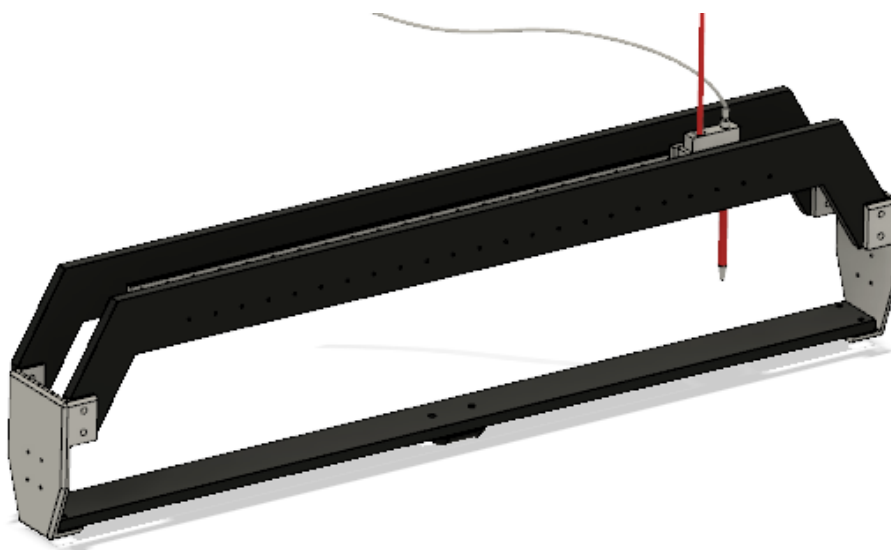
Ensimmäisessä versiossa lähdettiin suunnittelemaan runkoa sen perustoimivuuden kannalta. Suunnittelu aloitettiin pisimmästä akselistä. Tähän oli valmiina idea yhdellä moottorilla tapahtuvasta vedosta. Gantry-koneissa käytetään usein kahta moottoria ajamaan sillan kumpaakin kiinnityspäätä. Tämä on helppo toteuttaa, mutta vaatii kaksi kertaa enemmän moottoreita ja voimansiirto-osia. Tästä syystä koneessa pyrittiin kevyempään yhden moottorin ratkaisuun, jossa veto tulisi sillan keskeltä työstöpöydän alapuolelta. Yhden moottorin ratkaisu aiheuttaa ongelmia pöydän tukevuudelle. Tämän vuoksi pöydässä käytettiin 24 millimetrin paksuista kennolevyä parantamaan pöydän jäykkyyttä.

Muotoseikat ja muut helposti ratkaistavat ongelmat jätettiin vähemmälle huomiolle ensimmäisessä versiossa. Johteet oli alun perin suunniteltu rungon ulkopuolelle, jotta laitojen sisällä oleva tila kuvastaisi hyvin työstöaluetta. Laitojen ja poikkitukien kiinnitykset ajateltiin tehtäväksi normaalilla läpipultilla. Kuvassa 2 on esitetty ensimmäinen versio alarungosta, johon liikkuva silta tulee kiinni.



KUVA 2. Pohjarunko versio 1 (Lauri Valtonen 2018)

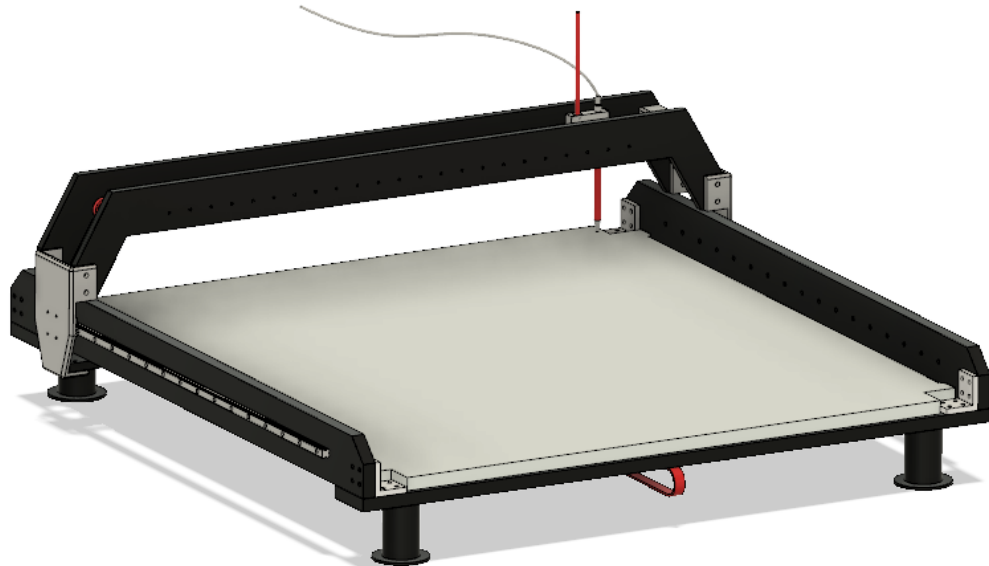
Ensimmäisen version siltarunko lähti liikkeelle sivutukien suunnittelusta. CSI:llä oli tarjolla tähän sopiva osa, jonka voisi koneistaa alla olevan kuvan 3 harmaiden osien mukaiseksi. Tämän sivutuen muodosta lähti ajatus kaksipuoleisesta sillasta, jossa Z-akseli olisi runkopalojen välissä. Tämä on tietävästi melko harvinainen tapa valmistaa kyseinen silta. Usein koneissa on yksi tukevampi palkki ja sen toisella sivulla on Z-akseli. Tämä voi johtua siitä, että työstökoneissa käytettävä kara vaatii usein paljon tilaa. Tässä koneessa z-akseli oli pyritty pitämään mahdollisimman kompaktina ja kevyenä, sillä siihen ei pitäisi tulla juuri mitään kuormia. Tämä rakenne puolestaan mahdollisti kuvan 3 mukaisen rakenteen käytön.



KUVA 3. Liikkuva siltarunko versio 1 (Lauri Valtonen 2018)

Z-akseli oli suunniteltu toimimaan pyöröjohdeholkillä ja siihen sopivalla putkella. Putken sisälle tulee kulkemaan liimaletku ja putken päähän tulee nokka, josta liima pursetetaan liimattavan kappaleen päälle. Liike tapahtuu trapetsiruuvilla, joka on kiinnitetty askelmoottoriin. Nämä luovat yhdessä tukevan rakenteen liikkeelle. Valmistettavuuden puolesta liiketapa on hyvin yksinkertainen.

Kuvassa 4 on renderöinti valmiista koneesta ensimmäisen suunnitelman mukaisena. Tämän pohjalta lähdettiin kehittämään toista versiota, jossa erityisesti liikkuvan osan sivutukien muutos tekee koneesta hieman erilaisen.



KUVA 4. Runkosuunnitelma versio 1 (Lauri Valtonen 2018)

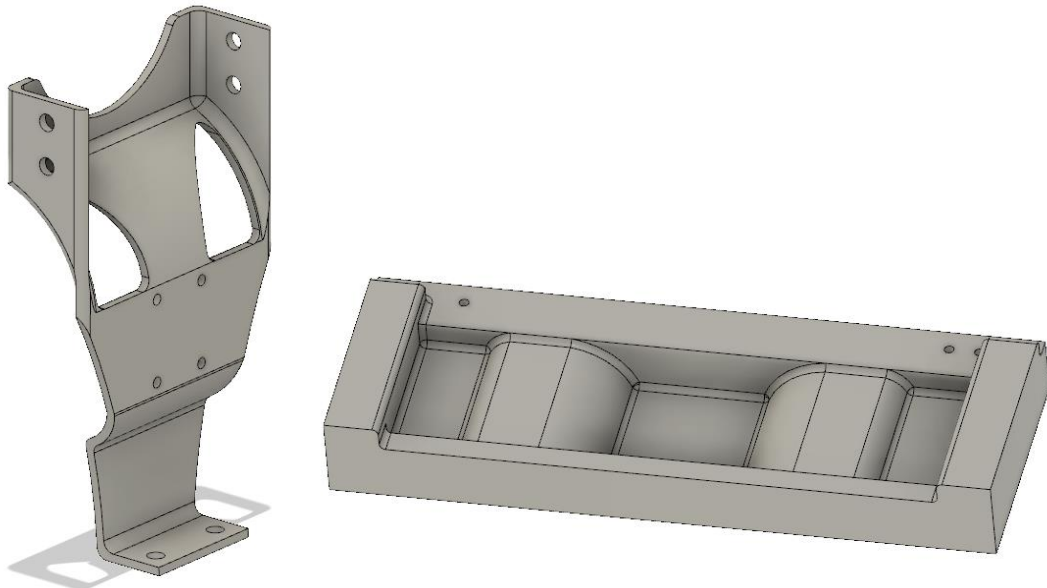
3.1.2 Toinen versio

Toisessa versiossa runkoa lähdettiin suunnittelemaan, kun ensimmäisen version ongelmia ja haasteita oltiin ehditty miettiä hetken aikaa. Toisesta versiosta yritettiin tehdä myös visuaalisesti hieman paremman näköinen.

Suurimpana yksittäisenä muutoksena oli kelkan sivutuen muutos. Tämä muutos lähti liikkeelle siitä syystä, että valmis aihio aiemmin suunnitellulle kappaleelle oli 8 millimetriä

paksua umpilaminaattia, jonka todettiin olevan liian painavaa tarkoitukseen. Myös sen koneistaminen olisi ollut hieman haasteellisempaa. Tämän tilalle päädyttiin suunnittelemaan täysin uusi osa. Näin osasta saadaan juuri halutun mallinen. Ensimmäiseen versioon suunniteltu siltarunko ja Z-akselin liike todettiin hyväksi, joten uutta sivutukea suunniteltaessa päädyttiin käyttämään samantyyppistä rakennetta. Kuvassa 5 on sivutuen uusi versio.

Johteet vaihdettiin tähän versioon koneen sisäpuolelle. Syynä oli ajatus siitä, että koneen ulkopuolella ei turvallisuuden ja käytettävyyteen liittyvistä syistä olisi enää liikkuvia osia. Johteiden vaihtaminen mahdollisti reunan korkeuden lisäämisen alaspäin tukevoit- taen näin runkoa. Muotoiluseikkana tämä tarjosi mahdollisuuden piilottaa pöydän ala- puolelle menevät rakenteet, jotka välittävät keskeltä tulevan vedon. Sisäpuolisen kiinni- tyksen haittapuolena on, ettei pöytää pysty tukemaan keskeltä sivulaitoihin. Tämä voi osoittautua ongelmaksi, jos koneeseen joudutaan laittamaan kovin painavia osia.

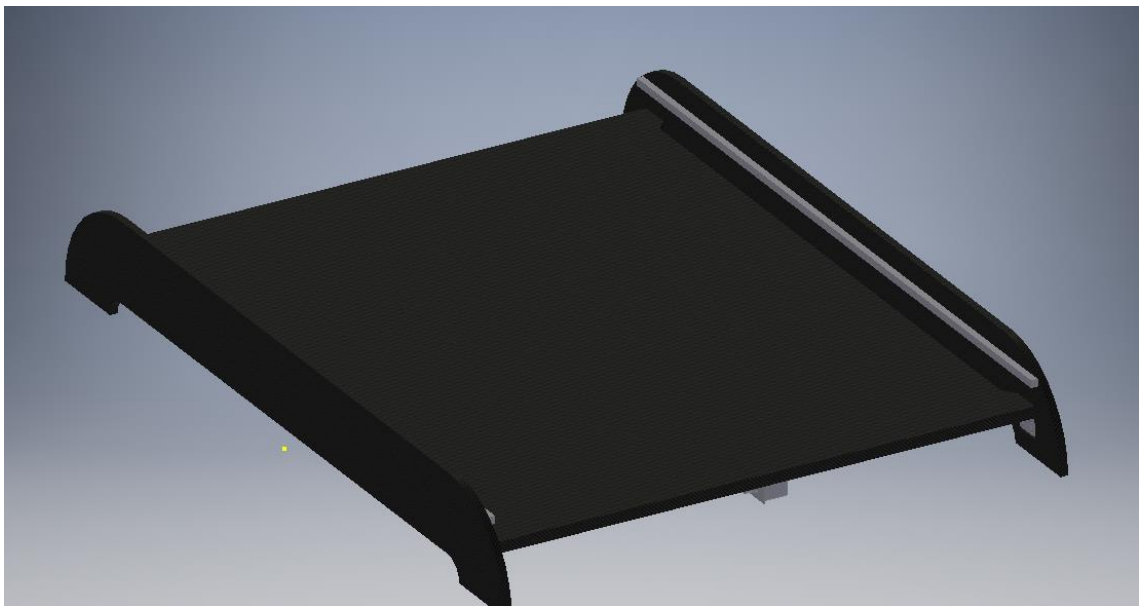


KUVA 5. Sivutuki ja sen muotti (Lauri Valtonen 2018)

Toisessa versiossa kiinnitettiin paljon enemmän huomiota yksityiskohtiin kuten kiinni- tyksiin, joissa päädyttiin liimattujen alumiiniosien käyttöön. Tämä ratkaisu mahdollisti kierteen tekemisen alumiiniin, jolloin vältetään pulttaukseen liittyvästä lommahdus on- gelmasta. Tämä tekee koneesta myös hieman siistimmän näköisen.

Hihnavedon aikaan saamiseksi pöydän keskilinjalle liimataan myös alumiinipalat moottorin ja väkipyörän kiinnitykseen. Kiinnitys laitojen ja pohjan välillä tapahtuu alumiinikulmalla, jossa on muutaman millimetrin säätö johteiden suoruudelle ja muille muuttujille joita voi jatkossa ilmaantua.

Runkoa lyhennettiin 200 millimetriä ensimmäiseen versioon verrattuna. Koneesta oli tulossa suunnitelmissa hieman liian iso. Tämä lyhensi Y-akselin käyttöaluetta saman 200 millimetriä. Muotoilussa käytettiin kaarevia muotoja viistettyjen muotojen tilalla. Kuvassa 6 on toisen version pohjarunko.

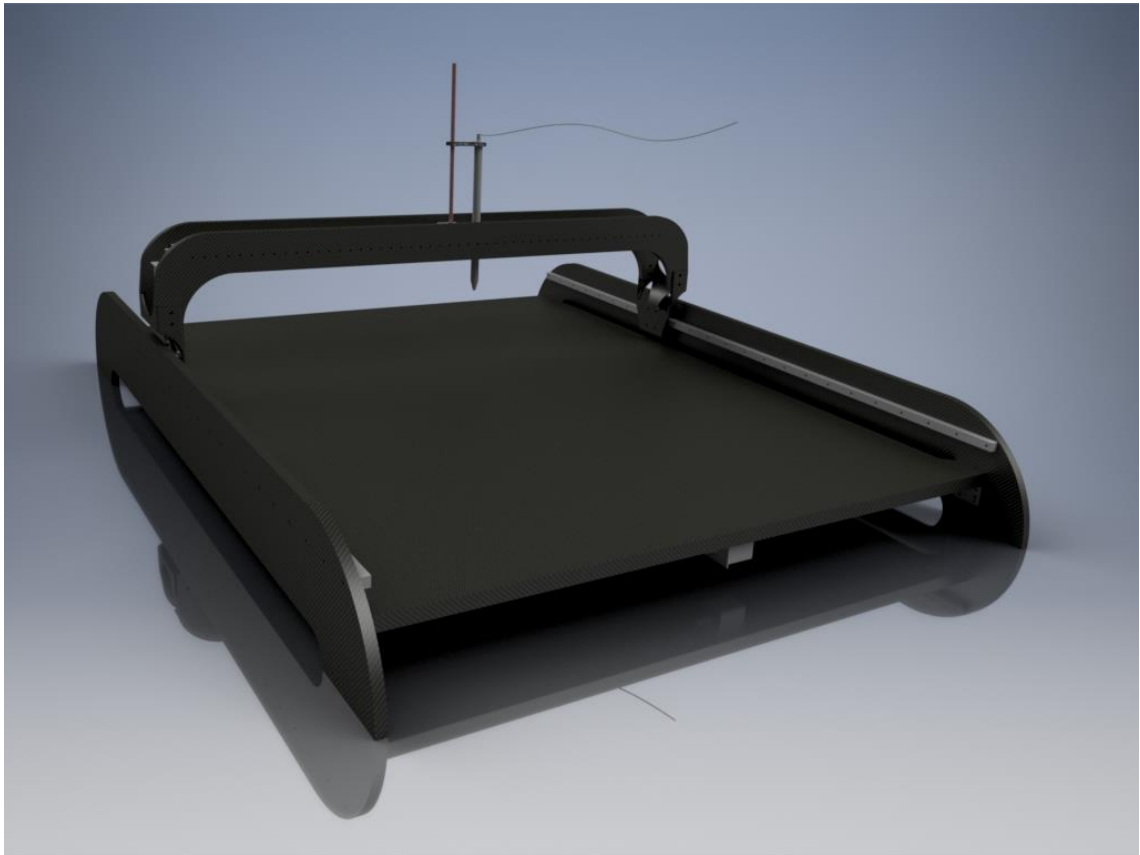


KUVA 6. Pohjarunko versio 2 (Lauri Valtonen 2018)

Siltaratkaisu pysyi hyvin samanlaisena kuin ensimmäisessä versiossa. Muutoksia tuli vain kiinnityksiin ja ulkonäköön. Myös moottorin ja väkipyörän paikat määriteltiin tarkasti tähän versioon. Edellä mainittujen osien kiinnitys toteutetaan samanlaisilla alumiinipaloilla kuin muuallakin rungossa.

Z-askelin kelkka suunniteltiin lopulliseen muotoon ja sen valmistettavuutta suunniteltiin paljon helpommaksi. Valmistettavuuden helpottamiseksi kelkan perusrunko rakennetaan alumiinisesta U-palkista. Myös moottorin, johdeholkin ja Y-akselin hihnakiinnitysten lopulliset paikat määritettiin tähän versioon.

Suunnittelun lopputuloksena oli 3D-malli, jonka pohjalta valmistusta lähdettiin toteuttamaan. Valmis malli on esitettyä kuvassa 7. Sähkökomponenttien ja johdotusten paikoitusta ei mallinnettu tähän malliin.



KUVA 7. Toinen ja lopullinen runkosuunnitelma (Lauri Valtonen 2018)

3.2 Veto ja johteet

Vetotapaan oli tarjolla monta erilaista vaihtoehtoa esimerkiksi ketju, hihna, hammastangot ja kuularuuvi. Muitakin vaihtoehtoja on, mutta nämä ovat kaikista yleisimpiä. Näistä ketju ja hammastanko olivat turhan painavia tähän käyttökohteeseen, joten jäljelle jäivät hihnaveto ja kuularuuvi. Näistä kuularuuvi olisi varmasti tarkempi, mutta se olisi hieman painavampi ja kalliimpi ratkaisu. Tarkkuus ei toisaalta olekaan koneen tärkein ominaisuus. Työlukuna paikoitustarkkuudelle voisi pitää ± 1 millimetriä. Tämän puitteissa päätettiin hihnavetoiseen järjestelmään. Z-akselissa on tosin aiemmin mainittu trapetsiruuvien rakenteen johdosta. Hihavedon etuja tässä koneessa olivat keveys, helppokäyttö-

syys, huoltovapaus ja hinta. Veto oli suunniteltu avoimen hihnan periaatteella, jossa hihnan päädyt kiinnitetään liikkuvaan osaan ja moottori ja väkipyörä muodostavat hihnan liikeradan.

Johdevaihtoehtoja oli myös useita. Yksinkertaisimmillaan johde olisi voinut olla jokin rullaliuku muutamalla laakerilla toteutettuna. Hiilikuitulevy ei kuitenkaan ole kovin hyvä vastepinta tällaiselle ratkaisulle, joten toteutusta suunniteltiin paremmin hiilikuitulevyjen käytölle sopivaksi. Kuulajohteet sopivat hyvin tähän tarkoitukseen ja ovat yleisesti käytettyjä kaikissa lineaariliikkeissä. Kuulajohteita on muutamia erityyppisiä joista pyöröjohteet ja lineaarijohteet ovat yleisimpiä. Pyöröjohde on hieman halvempi ja se sopii paremmin päistä tuettuihin johderatkaisuihin. Sitä on saatavilla myös alustaan kiinnitettävänä mallina, mutta alustaan kiinnitettävään tarkoitukseen lineaarijohde on yleisesti parempi.

Laitteessa käytettiin pyöröjohdetta Z-akselin liikkeessä, sillä sen tarvitsema tila ja malli sopi täydellisesti suunnitelmaan. X- ja Y-akselissa on puolestaan käytetty lineaarijohteita niiden paremman sopivuuden puolesta. Lineaarijohteen kiinnitys on suunniteltu tasaiselle pinnalle ja sen korkeus pinnasta on melko matala verrattuna pyöröjohteeseen, joka johti tämän johdetyypin valintaan X- ja Y-akselin osalta. Kokoonsa nähden lineaarijohteet kestävät huomattavasti enemmän voimaa ja momenttia joka suuntaan kuin pyöröjohteet

Lineaarijohteiksi valittiin Abba:n BRH15- ja BM09-mallit. Pyöröjohdeholkki oli samalta valmistajalta 16 millimetrin halkaisijalla oleva malli. Hihnavedot ovat Optibelt'in HTD3 hihnoja. Hihnat ovat 15 millimetriä leveitä. Hihnapyöräksi valittiin 15- ja 10-hampaiset pyörät.

3.3 Ohjaus ja sähköt

Kuten esisuunnittelussa mainittiin, alkuperäisenä ajatuksena oli käyttää Mach 3-ohjausta, joka on hyvin yleisesti käytetty ohjaus CNC-koneissa. Ohjelma mahdollistaa normaalin pöytäkoneen muuttamisen CNC-ohjaimeksi. Se tukee 6 akselin työstökoneita ja monia eri moottorinohjaimia (Newfangled solutions. 2018). Tämä suunnitelma muuttui kuitenkin jo suunnittelun alkuvaiheissa. Suurin ongelma tässä ohjauksessa oli tietokone, jossa tarvitsee olla Windows 10:tä vanhempi versio kuten XP, Vista, 7 tai 8. Tietokoneessa tulisi olla myös rinnakkaisportti. Projektiin oli yksi vaihtoehto tietokoneesta, mutta sitä ei saatu toimimaan halutulla tavalla, joten suunnitelmaa täytyi vaihtaa.

Jo projektin esisuunnitteluvaiheessa harkittiin Arduino-mega mikro-ohjainta Ramps 1.4 kilvellä ja Marlin-ohjelmistoa. Tämä on hyvin yleinen ohjaustapa 3D-tulostuslaitteissa. Marlin on hyvin halpa ja helppokäyttöinen ohjelma. Se on avoimen lähdekoodin ohjelma, joka mahdollistaa ohjelman muokkauksen käyttökohteeseen sopivaksi (Marlin firmware 2018). Suurin rajoite tässä yhdistelmässä oli Nema 17 moottorien käyttö. Tässä vaiheessa suunnittelua oli vaikeaa arvioida riittääkö moottorien teho laitteeseen. Moottorit saattaisivat rajoittaa kiihtyvyyksiä jonkin verran, mikä luonnollisesti hidastaa konetta, mutta toisaalta ne olisivat myös huippunopeudeltaan parempia kuin Nema 23 moottorit. Tämä asia selviää ainoastaan testaamalla. Kiihtyvyyksirajoite toi suunnitteluun myös mukavan lisähaasteen, sillä kaikista liikkuvista osista tulisi tehdä mahdollisimman kevyitä, jotta kiihtyvyys saataisiin pidettyä mahdollisimman korkealla tasolla.

Käytettävät moottorit ovat Nema 17 askelmoottoreita, eli standardin ICS 16-2001 mukaisia 17 kiinnityslevykoon askelmoottoreita (Nema ICS 16-2001). Moottorit ovat kokoluokassaan voimakkaasta päästä. Askelmoottorit ovat yleisesti käytettyjä moottoreita ohjaamaan koneita niin pyörivissä kuin lineaariliikkeissä, joskin usein halvemman luokan koneissa. Korkeampilaatuisissa koneissa käytetään lähes aina servomoottoreita, joiden suurin ero askelmoottoreihin on paikkatiedon takaisinkytkentä. Askelmoottoreiden suurin ongelma on se, etteivät ne tai niiden ohjaimet tiedä, jos moottori on jäänyt muutaman askeleen vajaaksi halutusta kohteesta. Servomoottoreiden takaisinkytkentä mahdollistaa, ettei tätä pääse tapahtumaan. Paikkatiedon anturointia löytyy myös kalliimmista askelmoottoreista.

Kotipaikan anturoinnit on toteutettu mikrokytkimillä. Moottorien jatkojohdot ovat Suojattua nelijohtoista kaapelilla, johon on asennettu pikaliittimet koneen mikro-ohjaimen helppoa irrotusta varten. Koneen kylkeen on asennettu energiansiirtoketjut, jossa kaapelit ja kotikytkinten johdot pääsevät kulkemaan järkevästi.

Tavoitteena oli ohjaus, joka olisi helppo opettaa käyttäjälle. Ohjauksen helppokäyttöisyys olisi pitkälti Marlin-ohjelmiston ansiota. Lisäksi tavoitteena oli helppo käännettävyys 3D-mallista liimausmalliksi. Tämä pitäisi tapahtua yksinkertaisimmillaan seuraavalla tavalla: Aluksi otetaan liimattavan esineen 3D-malli. Tämän mallin liimattavista pinnoista luodaan pintamalli, joka vietään slicer-ohjelmaan. Slicer-ohjelmalla taas luodaan liimanlevitysmalli, josta tehdään g-koodi. Koodi siirretään laitteeseen muistikortilla ja tämän jälkeen kaikki työntekijä pystyvät käyttämään sitä.

Yhtenä 3D-tulostusohjelman käytön ongelmana oli liimattavan kappaleen paikoitus ohjelman ja todellisuuden välillä. Suunnitelmana ongelman ratkaisuun oli tehdä riittävä määrä kohdistuspinnin paikkoja runkolevyyn. Näin liimattavat kappaleet olisi mahdollista paikoittaa suoraan pinneihin tai vaihtoehtoisesti rakentaa jigejä, jotka paikoittuvat pinnien avulla. Slicer-ohjelmilla on myös mahdollista paikoittaa liimattavaa kappaletta, joka puolestaan helpottaa paikoituspinnien käyttöä.

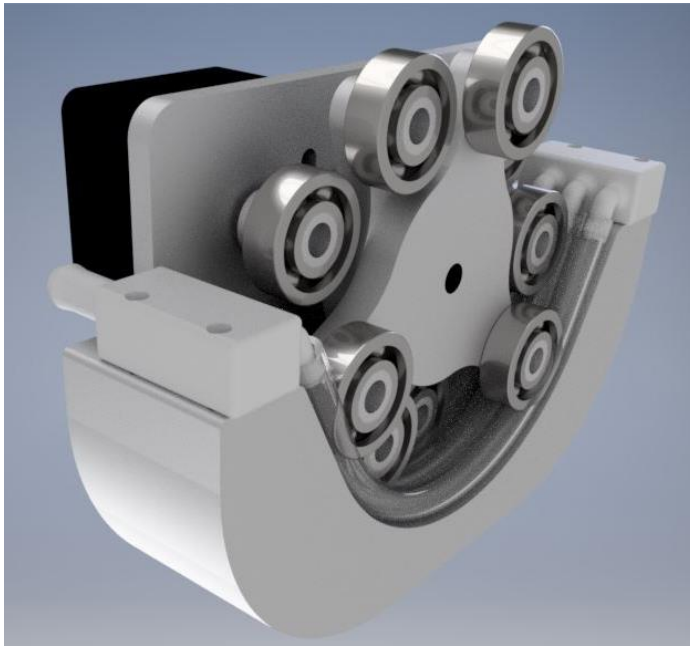
3.4 Pumppu

Tämän kokoluokan teolliset pumput ovat usein hyvin kalliita ja liiman kuljettamiseen sen sisällä liittyy aina pieni riski liiman jämähtämisestä sinne. Lisäksi näin korkean viskositeetin nesteen kuljettamiseen oli vaikea löytää sopivaa pumppua. Näistä syistä päädyttiin kehittämään omavalmisteratkaisua.

Pumppua etsiessä yhdeksi houkuttelevaksi vaihtoehdoksi osoittautui peristalttinen pumppu. Pumpun hyviä ominaisuuksia ovat sen pienet käyttö kierrokset, nesteen eristetty kulku ja todella hallittu siirtomäärä (Manufacturing chemist. 2012). Usein näiden ongelmana oli yhden letkun käyttö, mikä tarkoittaa, että pumpussa on pieni katvealue, jonka aikana nestettä ei tule. Tämä ongelma tuntui suunnitteluvaiheessa melko isolta ja johti peristalttisenpumpun osalta omavalmisteiseen ratkaisuun.

Omavalmisteisessa pumpussa oli kolme erillistä letkua, joiden työntöelementeillä on 40 asteen vaihesiirto keskenään. Jos pumpu toimii halutulla tavalla, siirtomäärässä olisi vain 33,3 % katve yhdeksän kertaa kierroksen aikana. Katveongelma ei varsinaisesti poistu tällä ratkaisulla, mutta toivottavasti ainakin tasaantuisi. Kaupallisena vaihtoehtona tälle olisi ottaa vähintään kaksi yhden letkun pumpua ja ajaa niitä vaihesiirrolla. Oman pumpun tekeminen kuitenkin houkutteli sen verran, että siihen päädyttiin. Kuvassa 8 on esitelty suunnitellun pumpun kokoonpano.

Pumpun suunniteltaessa liiman suuri viskositeetti aiheutti paljon epäilyksiä pumpun toimimisesta. Tämä oli suunnitelmissa ratkaista syöttöön tulevalla paineella, jonka avulla pumpu jaksaisi pyöriä helpommin. Paine tehtäisiin tämän hetkisen liiman tapauksessa nykyisin yrityksen käytössä olevien paineilma käyttöisten liimapistoolien avulla. Mikäli tuotteeseen on mahdollista vaihtaa yksikomponenttinen liima, tämä paine voitaisiin toteuttaa erillisellä paineastialla.



KUVA 8. Suunniteltu peristalttinen pumpu (Lauri Valtonen 2018)

Käytön puolesta pumpussa ei ole muuta haasteellista kuin kokoaminen. Letkuja joutuu todennäköisesti vaihtamaan säännöllisin väliajoin ja näin ollen niiden vaihtamisen tulisi olla suhteellisen helppoa. Tähän oli pyritty mahdollisimman vähäisellä pulttien irrotuksella, jossa lopulta päädyttiin seitsemään pulttiin ja kolmeen laakeriin. Tämän jälkeen letkut tulisi pystyä poistamaan helposti. Asennuksen puolesta toiminto on täysin sama käänteisenä.

4 RAKENTAMINEN

4.1 Osien valmistus

Osien valmistusta helpotti huomattavasti se, että suurin osa niistä on itse valmistettavia osia. Tämä mahdollisti hyvän muokattavuuden valmistusvaiheessa. Valmistettavia osia oli melko paljon, joten ihan jokaisen osan valmistusta ei käydä läpi. Monissa osissa oli myös hyvin samantyyppiset valmistusmenetelmät keskenään.

Valmistukseen oli käytössä yrityksen tarjoama CAM-ohjelma ja CNC-työstökonekone. Näiden avulla tehtiin suurin osa koneen osista. CNC-koneen ja ohjelman käyttö helpotti valmistusta huomattavasti, sillä tarkkuus koneellisessa työstössä on todella hyvä. Ensimmäisenä liitteenä on kuvat kaikista omavalmisteisista osista.

4.2 Sivutuki

Tämä on hyvä esimerkki alusta alkaen valmistetusta hiilikuitukappaleesta. Tärkeitä huomioitavia seikkoja oli monin paikoin alkaen muottisuunnittelusta jatkuen aina loppukoneistukseen. Muottisuunnittelussa oli tärkeää pitää mielessä valmistusmenetelmän sallimat muottigeometriat. Näitä olivat tässä tapauksessa nurkkien kuuden millimetrin pyöristykset, laminaatin kahden millimetrin minimipaksuus sekä kaikkien pystyreunojen päästöisyys eli vastakkain olevia pystyseinämien välttäminen tai viistäminen. Ohjearvona tälle on kahden asteen kulma vastakkaisissa seinämissä (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars ja Komppa 2003, 194). Kappaleessa pyrittiin pitämään paljon kaarevia muotoja ja isot pyöristykset reunoissa. Pystysuoriin reunoihin muotin keskialueella tehtiin tarvittavat 2 asteen päästöt. Päätyjen pystyreunat ovat niin etäällä toisistaan, että kappale taittui sen verran, ettei näihin reunoihin tarvinnut tehdä päästöä. Muotissa tulisi olla myös riittävästi työvaraa kappaleen reunoille. Mitä enemmän työvaraa, sitä helpompi kappale on valmistaa. Kuvassa 9 on esiteltynä muotti sekä valmistettu kappale. Tässä tapauksessa laminointiosuus meni melko vaikeaksi, sillä työvara oli hieman puutteellinen. Laminointi toteutettiin käsinlaminointina alipainepuristuksella. Tavoitteena oli noin neljän millimetrin paksuus valmiille kappaleelle.



KUVA 9. Valmiit sivutuet (Lauri Valtonen 2018)

Kappaleen loppukoneistus toteutettiin poraamalla kiinnitysreiät kappaleen ollessa vielä muotissa. Kappale on usein sen verran hyvin kiinni muotissa, ettei se tarvitse mitään lisäkiinnitystä. Tämän jälkeen kappale irrotettiin ja leikattiin kahteen osaan (muotista tulisi kaksi kappaletta yhdellä laminoinnilla) ja siirrettiin koneistusjigiin, johon se kiinnitettiin poratuista rei'istä. Reiät ovat myös valmiin kappaleen kiinnitysreiät lineaarikelkkaan.



KUVA 10. Sivutuen koneistus (Lauri Valtonen 2018)

Tämän jälkeen kappaleelle tehtiin loppukoneistus, jossa ajettiin kappaleen muoto, aukot sekä kiinnityspinnat. Koneistuksen tekemä muutos näkyy kuvassa 10. Hiilikuidun koneistaminen on suhteellisen helppoa, sillä materiaalina se on pehmeää ja leikkaantuu hyvin. Hiilikuidun koneistamiseen käytettävät terät ovat usein kovametallisia tai timanttipinnoitettuja, sillä hiilikuitu kuluttaa terää hyvin nopeasti. Koneistamisen suurimpia haasteita ovat edellä mainittu terän nopea kuluminen sekä pölynpoisto. Pölynpoisto on helpointa toteuttaa imurilla, joka on kiinnitetty koneeseen tai vaihtoehtoisesti manuaalisesti. Hiilikuidun leikkaamiseen ei käytetä leikkuunestettä.

4.3 Runkolevyt

Runkoon tulevia levyjä ovat pöytä, sivurungot ja siltarungot. Kaikki nämä on toteutettu samalla valmistus- ja koneistusperiaatteella. Levyt ovat alipaineinjektiolla valmistettuja

kennolevyjä, joissa on noin 1,5 millimetrin hiilikuitupinnat molemmin puolin ja 12 millimetrinen rakennevaaho välissä. Poikkeuksena pöydän levyssä on 20 millimetrinen vaaho.

Koneistukset toteutettiin alipainekiinnitteisesti imulevyn pintaa vasten. Imulevy on ensin koneistettu tasomaiseksi, jotta levyjä koneistettaessa kaikki pinnat pysyvät halutun paksuisina. Ensimmäisenä levyihin koneistettiin paikat alumiiniosille, minkä jälkeen tarvittavat alumiinipalat liimattiin paikoilleen. Tämän jälkeen alumiineihin ja loppuun hiililevyyn tehtiin tarvittavat koneistukset, joita olivat johdepintojen ajo, alumiinipintojen ajo, rei'itys alumiineihin ja hiileen sekä ulkomuotojen ajo. Näitä koneistusoperaatioita on esiteltynä kuvassa 11.

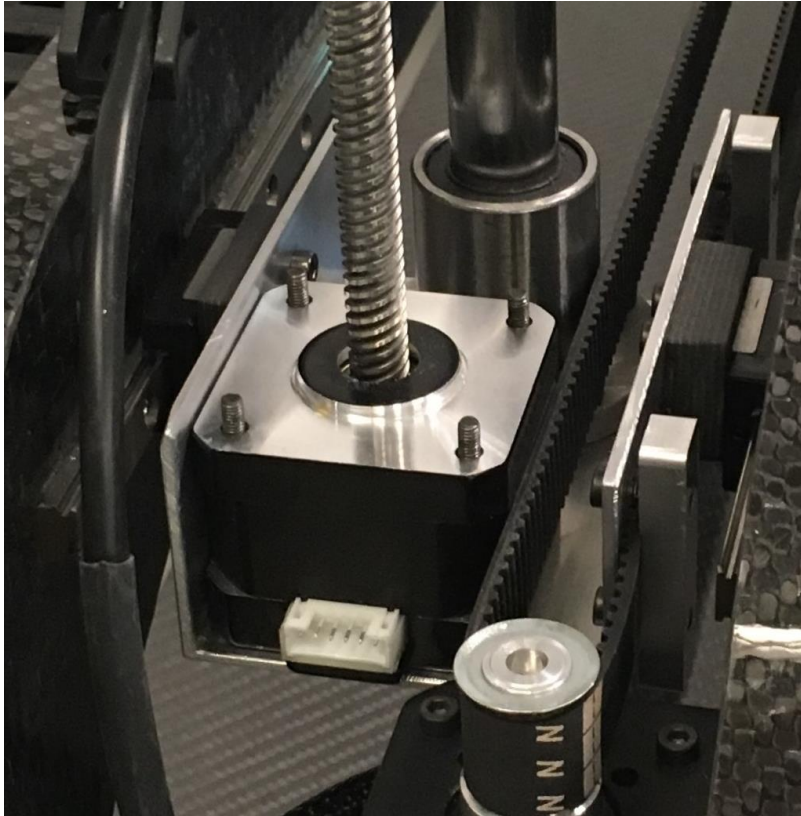


KUVA 11. Hiilikuitulevyjen koneistus (Lauri Valtonen 2018)

Alumiiniosiin tehtiin vielä tämän jälkeen tarvittavat kierteitykset ja näkyvien vahtoreunojen päälle liimattiin hiilikuitulistat. Kappaleiden reunoihin hiottiin pienet pyöritykset terävien kulmien välttämiseksi.

4.4 Alumiiniosat

Koneessa on monia alumiiniosia, jotka ovat pääosin omavalmisteisia. Näitä ovat esimerkiksi sivurunkojen ja pöydän kiinnitykseen tarkoitettut kulmapalat, Z-akselin kelkka, pumpun osat sekä muita pienempiä kappaleita. Kuvassa 12 on Z-akselinen koneistettu alumiinikelkka.



KUVA 12. Z-akselin kelkka (Lauri Valtonen 2018)

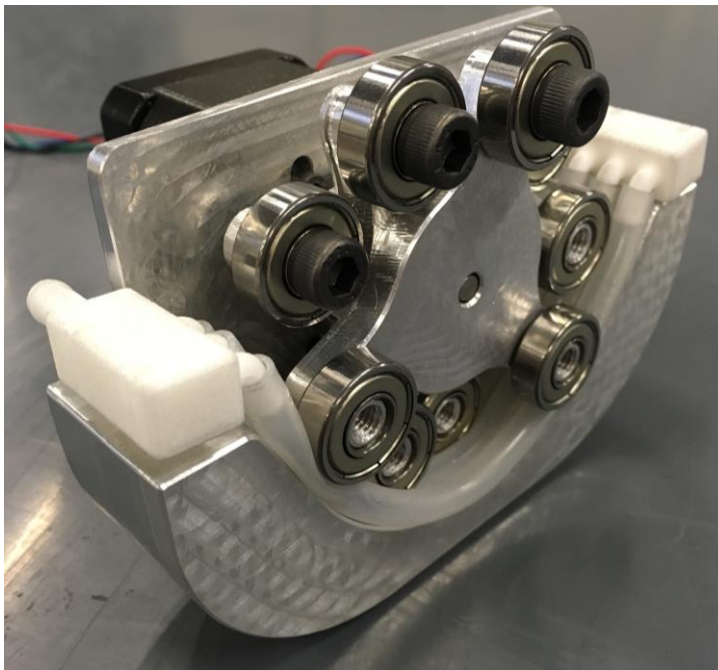
Z-akselin kelkka ja kulmapalat on valmistettu valmiista profiileista, joihin koneistettiin halutut aukotukset. Muut osat valmistettiin levyaihioista. Itse valmistettavat osat vapauttivat alumiiniosien kohdalla monia suunnittelumahdollisuuksia.

Koneistuksen kehittämiseen alumiinin osalta liittyi paljon työstönopeuksien testausta sekä sopivien terien etsintää. Koneistuksissa pystyttiin testaamaan myös hieman koneen ääriarvoja materiaalin poistonopeudelle sekä alipainekiinnityksen pitävyydelle. CAM-ohjelmoinnin puolella testattiin erilaisia työstöstrategioita, joissa Fusion 360 ohjelman Adaptive-strategia toimi erinomaisesti alumiiniin kevyehkön työstökoneen kannalta.

Adaptive-strategia on suunniteltu hyödyntämään terän koko leikkuukorkeus, joka mahdollistaa pidemmän työkaluiän ja nopeamman koneistusajan (Fusion 360. n.d). Työstönopeuksia rajoittaa leikkuunesteen puuttuminen, jota ei koneen rakenteen vuoksi ole mahdollista käyttää. Pieniä määriä leikkuunestesumua saadaan kuitenkin luotua paineilmakäyttöisellä nestesumuttimella. Yrityksen kannalta näiden kappaleiden koneistaminen antoi hyviä esimerkkejä alumiinille sopivista työstönopeuksista ja teristä.

4.5 Pumppu

Pumppuun koneistettiin alumiininen runkopala sekä pyöritys akseli, johon laakerit kiinnittyvät. Pyöritys akseli oli koneistuksen kannalta melko haastava, sillä sen geometria rajoitti koneistuskiinnityksiä jonkin verran. Haasteista kuitenkin selvittiin suhteellisen hyvin ja pumppu saatiin toimintakuntoiseksi. Suunnittelusta poiketen laakerit olivat melko tiukkasovitteisia koneistuksen jäljiltä, mikä johti siihen, että vain kolmesta laakeripai-kasta tehtiin irrotettavat. Kuvassa 13 on valmis pumppu, josta puuttuu vielä muutamia osia.



KUVA 13. Valmis pumppu (Lauri Valtonen 2018)

Pumpussa on alumiiniosien lisäksi moottori, letkut, laakerit ja 3D tulostettu jakoliitin letkuille. Jakoliittimien välissä käytettiin 6/4 mm silikonilettoa ja jakoliittimelle tuleva letku oli mitoiltaan 8/6 mm.

5 TESTAUS JA KALIBROINTI

5.1 Testauksessa ilmenneet ongelmat

Rakennusvaiheessa esille tulleet suunnitteluvirheet tai suunnittelun puutteet olivat onneksi melko vähäisiä. Sähköjohtojen paikat olivat suunnittelussa jääneet hieman vähäisemmälle huomiolle, minkä vuoksi niille jouduttiin keksimään paikat vasta rakennusvaiheessa. Asiaa ei ollut kuitenkaan täysin unohdettu, mutta paikkojen mallintaminen ja huomiointi jo suunnitteluvaiheessa olisi voinut johtaa paremmin suunniteltuihin paikkoihin.

Toinen suunnitteluvirhe oli siltarungon rakenne. Kone näytti testausvaiheessa liikkuvan hieman huonosti hitaassa vauhdissa. Silta ikään kuin keinui puolelta toiselle. Tämä johtuu todennäköisesti liian pienestä johdekelkkojen tukialueesta tai liian heikosta rungosta. Suunnitteluvaiheessa ajateltiin, että runko olisi ollut jäykempi ja näin ollen pitänyt päädyt samassa linjassa pienestä johdekelkkojen tukipinta-alasta huolimatta. Tätä yritetään korjata lisäämällä jäykistepaloja siltojen väliin. Ongelmaa helpottaa keskeltä siltaa tapahtuva veto.

Pumpun ensimmäiset testit nesteen kanssa eivät sujuneet kovin hyvin. Moottorin vääntömomentti vaikutti liian pieneltä ja aiheutti moottorin jumiutumista. Tämä ongelma voitaisiin korjata planeettavaihteistolla, sillä pumpun pyörimisen tulisi olla melko hidasta ja näin ollen moottorin kierrosaluetta on paljon käytettävissä myös vaihteiston kanssa.

Toinen mahdollisuus edellä mainitun ongelman korjaamiseen on syöttöön tehtävä paine. Paineella saataisiin aikaiseksi tilanne jossa pumpun ei varsinaisesti tarvitse työntää nestettä eteenpäin, vaan enemmänkin jarruttaa hallitusti sen kulkua. Tämä oli myös alkuperäinen suunnitelma korkean viskositeetin nesteen siirtämisen helpottamiseksi.

Toisena ongelmana oli pumpun tiiveys. Letkut eivät pysyneet paikoillaan alkuperäisen suunnitelman mukaisella rakenteella. Tämä ongelma ratkaistiin laidoilla, jotka pitivät letkut tehokkaasti halutulla paikalla. Tämä ongelma oli tärkeää saada poistettua sillä

pumppu ei toimi laisinkaan, jos se vuotaa. Syöttöpaine tosin muuttaa tätä ongelmaa hieman erilaiseksi. Siinä tapauksessa liimaa vuotaisi nokasta jonkin verran vaikka pumppu ei pyöri, joka puolestaan ei ole niin suuri ongelma varsinkaan, jos vuoto on vähäinen.

5.2 Yleistä testauksesta

Kone saatiin rungon valmistumisen jälkeen liikkumaan omin voimin. Havaitusta vaappumisesta huolimatta kone liikkuu hyvin ja nopeammassa vauhdissa ongelma häviää kokonaan. Toiset lineaariakselit toimivat moitteettomasti, joskin Z-akselin trapetsiruuviissa oli havaittavissa hieman kieroutta.

Moottorien liikematkat eivät olleet kohdillaan, mutta tämä oli odotettu ongelma, sillä yhtä askelmaa kohti kuljettava matka oli laskettu eri hihnapyörälle kuin mitä koneeseen lopulta laitettiin. Liikematka oli kuitenkin melko lähellä totuutta, joten tällä asetelmalla päästiin ajamaan jonkin verran testejä. Konetta saisi myös kalibroitu Marlin ohjelman kautta. Testaus vaiheessa Marlin ohjelmiston päivittämisessä oli kuitenkin ongelmia, joten muutosta ei pystytty tekemään sitä kautta.

Pumpun painesyöttöä testattiin vedellä. Tämä testaus paljasti monia tiiveys ongelmia letkujen kiinnityksessä ja pumpun läpivuodossa. Korkeamman viskositeetin neste ei välttämättä vuotaisi niin paljon kuin vesi, joka voisi parantaa tiiveysongelmia jonkin verran. vedellä luotava paine ei helpottanut pumpun pyörimistä.

Konetta päästiin testaamaan myös kokonaisuudessaan ajamalla skaalatun mallin kooditiedostoa. Kone liikkui ja toimi odotusten mukaisesti. Tosin pumpun ongelmat jatkuivat edellä kuvailtujen ongelmien mukaisina. Voidaan kuitenkin todeta, että kone toimii.

6 POHDINTA

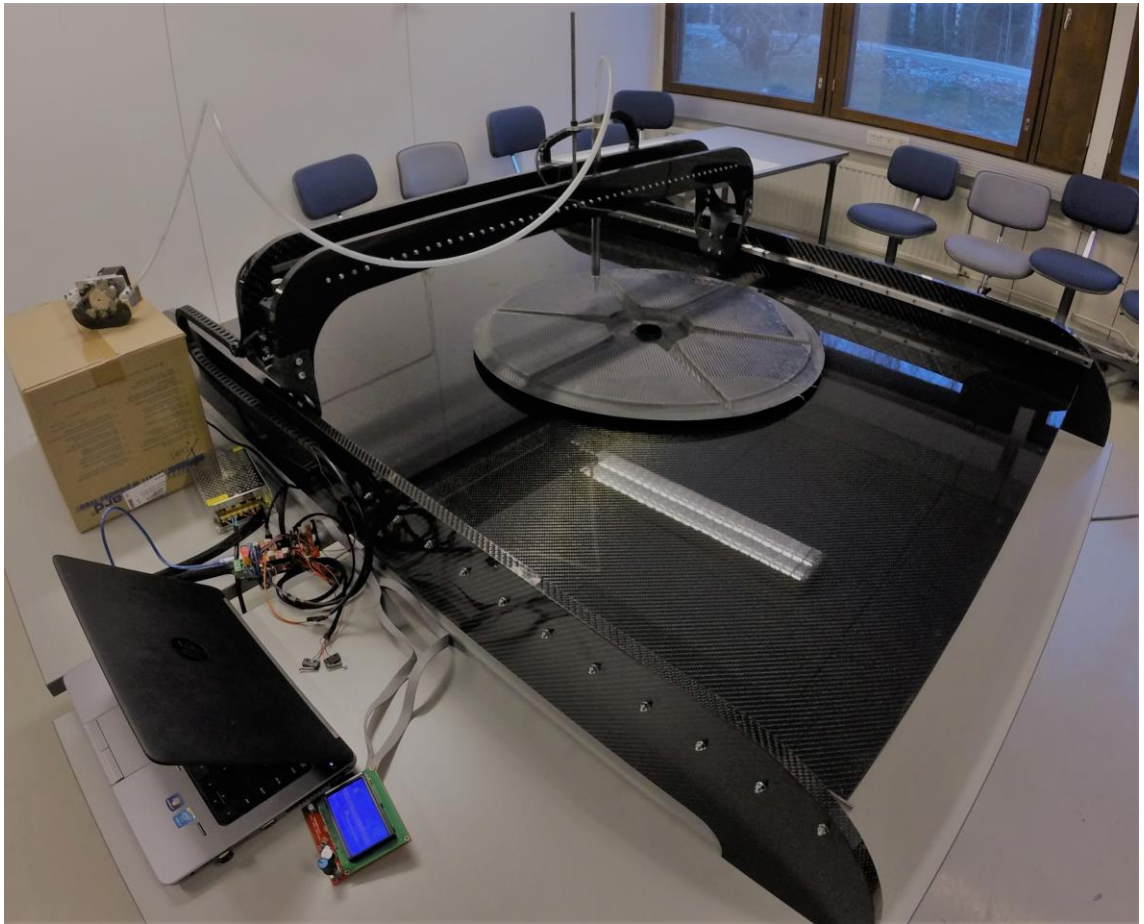
Työ oli hyvinkin haastava ja tarkkaa suunnittelutyötä edellyttävä. Koneen suunnittelemisen alusta alkaen tarjoaa niin monia eri vaihtoehtoja rakenteelle, vetotavoille sekä materiaaleille, että suunnittelussa voi olla vaikea päästä liikkeelle. Tässä tapauksessa hukkamateriaalien sekä itse tehtävien osien käyttö suuntasi tehokkaasti suunnittelumahdollisuuksia, mikä auttoi pääsemään nopeasti vauhtiin suunnittelussa. Tämän seurauksena koneen rakenne ja materiaalit alkoivat asettua paikoilleen.

Työ tarjosi runsaasti haasteita kaikkien omavalmisteosien valmistuksessa ja niiden valmistuksen suunnittelussa. Koneistuksen valmistusmenetelmien kehittäminen oli hyvin tärkeää, sillä se on valmistusmenetelmä jota omassa koulutuksessa ei ole juurikaan opiskeltu. Erilaisten valmistusmenetelmien mahdollisuuksien sekä hinnan tunteminen on myös hyvin tärkeää tämän tyyppisen koneenrakennuksen kannalta. Koneistamisen kehittäminen oli myös CSI:n kannalta hyvä kehityskohde, sillä koneistus on suhteellisen uusi alue yrityksen toiminnassa.

Aikataulun puolesta koneen suunnittelu ja valmistaminen sujui hyvin. Testauksen puolesta koneen kanssa tuli hieman kiire ja kaikkia haluttuja testejä kirjoitusta varten ei ehditty suorittaa. Budjetti pysyi myös hyvin tavoitteessa. Lopullinen kustannus ostettujen osien puolesta oli noin 1200 e. Kaikkien käytettyjen työ- ja koneistustuntien puolesta tämä budjetti ei luonnollisesti vastaa koneen todellista hintaa.

Loppupäätelmänä voidaan todeta, että kone toimii ja liikkuu lähes suunnitelmien mukaisesti. Kone otetaan yrityksessä käyttöön heti kun pumpun ongelmat on ratkottu ja lopulliset testit ja kalibroinnit saadaan suoritettua. Testauksen tuoman tiedon perusteella on mahdollista, että koneeseen lähdetään kehittämään sähköistä annosteluventtiiliä pumpun tilalle. Tavoitteena on saada kone toimimaan täysin halutulla tavalla, jotta se voi parantaa liimakokoonpanojen liimauksen laatua ja pienentää liimaukseen käytettyä aikaa. Tämän työn toteuttaminen antoi erittäin hyvän pohjan koneelle, joka tarvitsee enää pientä viimeistelyä saavuttaakseen tavoitteen.

Kuvassa 13 on valmis kone testausvaiheessa. Lähteissä on videolinkki Youtube-videoon, jossa on kuvattu koneen liikettä ja toimintaa. Videossa on myös muutama valmistusvaiheen osuus. Tähän videoon pyritään myös päivittämään koneen jatkokehityksen tulokset opinnäytetyön kirjoittamisen jälkeiseltä ajalta.



KUVA 13. valmis liimanlevityskone (Lauri Valtonen 2018)

LÄHTEET

Saarela O, Airasmaa I, Kokko J, Skrifvars M & Komppa V. 2003. Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys ry

KJ additive. 2016. FDM 3D tulostus. Luettu 6.12.2018. <http://www.kjadditive.fi/fdm-3d-tulostus/>

Havimo O & Werner Söderström Osakeyhtiö. 1984. Työstökoneen numeerinen ohjaus. Porvoo: WSOY.

Hurco. Tuotekatalogi. Luettu 5.11.2018. <http://www.hurco.com/en-us/cnc-machine-tools/machining-centers/5-axis-vertical/pages/swivel-head.aspx>

Newfangled solutions. 2018. Mach 3. Luettu 4.12.2018. <https://www.machsupport.com/software/mach3/>

Marlin firmware. 2018. Luettu 15.9.2018. <http://marlinfw.org/>

NEMA ICS 16-2001. Motion/Position Control Motors, Controls and Feedback Devices. Luettu 3.12.2018. <https://www.nema.org/standards/pages/Motion-Position-Control-Motors-Controls-and-Feedback-Devices.aspx#download>

Manufacturing chemist. 2012 Peristaltic pumps – advantages and applications. Luettu 6.12.2018. https://www.manufacturingchemist.com/news/article_page/Peristaltic_pumps_advantages_and_applications/74693

Fusion 360, Learning. Luettu 4.12.2018. <http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID09E44604-DAD8-47D6-ADC6-C100869DE724>

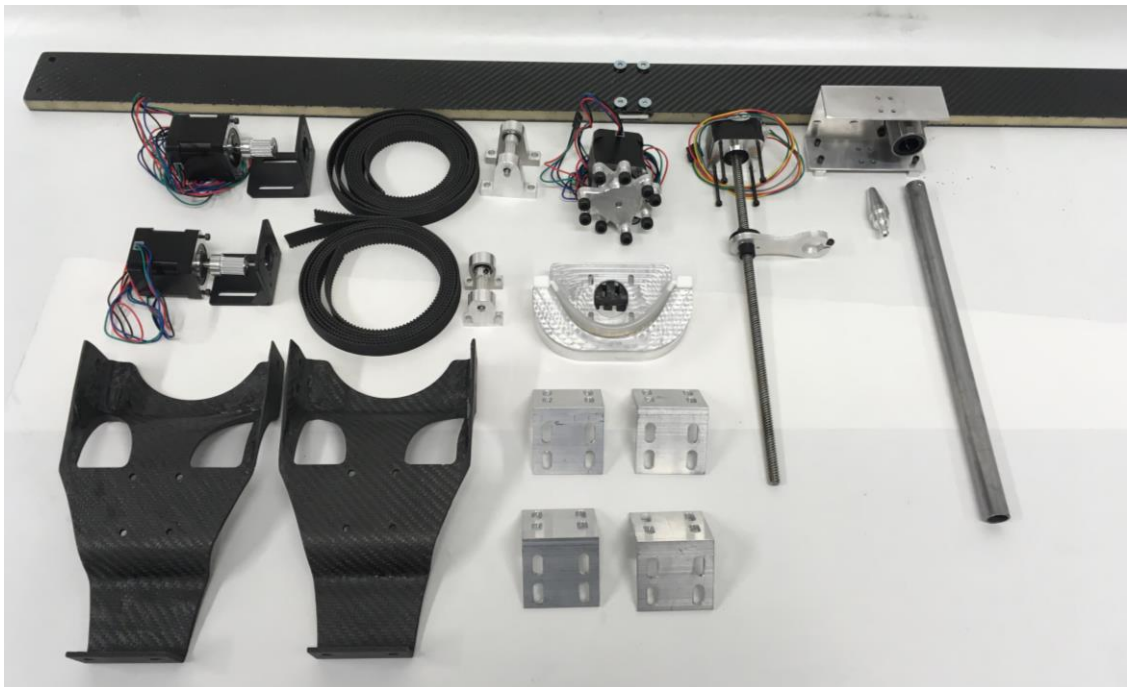
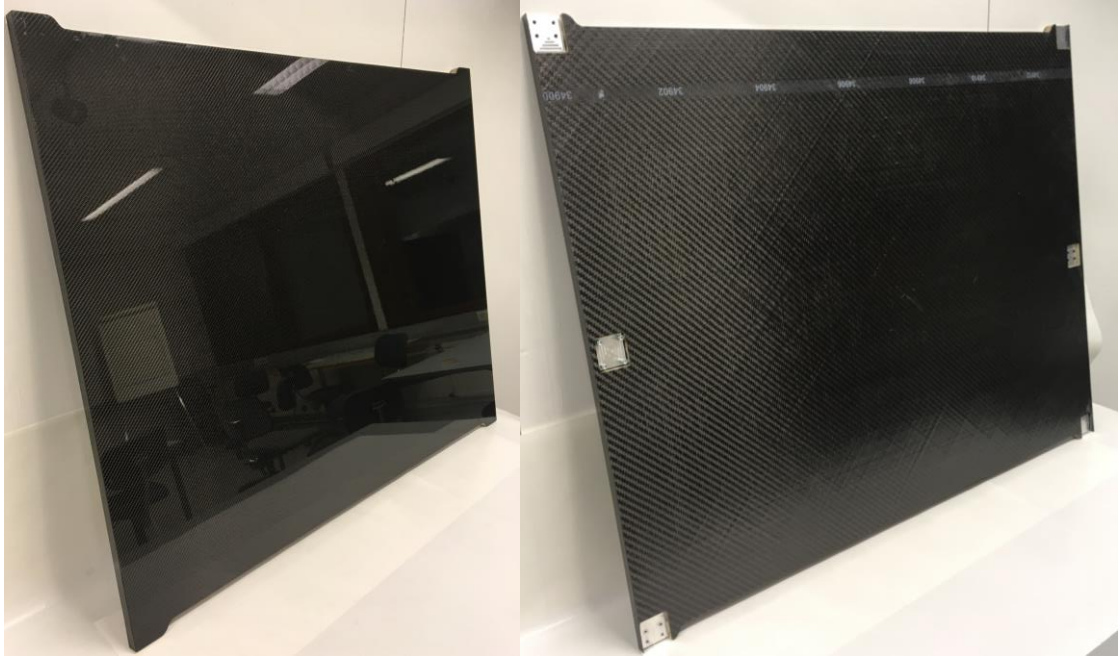
Lauri Valtonen. Videoliite koneen toiminnasta. Luotu 6.12.2018. <https://youtu.be/Jmwa8RIbrSM>

LIITTEET

Liite 1. Osaluettelo kuvina

1(2)





(Kuvat: Lauri Valtonen 2018)