



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

NIKO WESTERBERG

Hitsausjigin suunnittelu

robottikäyttöön

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2021

Tekijä(t) Westerberg Niko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu, 2021
	Sivumäärä 35 + 3	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Hitsausjigin suunnittelu robottikäyttöön		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan koulutusohjelma		
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella hitsausjigi, joka otettaisiin robotti-hitsauskäyttöön. Opinnäytetyön toimeksiantaja toimii Turun Pansiossa toimiva Stairon Oy. Työn lähtökohtana oli tuottaa muunneltavissa oleva hitsausjigi, jota pystytään käyttämään eräänlaisen laitteen eri mittavariaatioille. Työn tarkoituksena oli lisäksi tutkia robottihitsauksen kustannuksia vertailtuna käsin tehtävään hitsaustyöhön. Opinnäytetyössä perehdyttiin hitsaukseen prosessina, CMT-hitsaukseen ja hitsauskiinnittimien suunnitteluun, joita pyrittiin käyttämään teoriapohjana jigisuunnittelussa. Pohjatietojen ja toimeksiantaja yrityksen vaatimuksien mukaan pystyttiin valmistamaan jigisuunnitelma ja jigin valmistuskuvat. Työn tuloksena syntyneiden valmistuskuvien avulla pystytään valmistamaan jigikokonaisuus ja käyttämään sitä tuotteen kaikille mittavariaatioille. Työn kustannuslaskelman pystytään paremmin hahmottamaan kuluja työssä käsiteltävän tuotteen hitsauksen osalta. Jigin valmistuskuvat, sekä kustannuslaskelma toimitettiin yritykselle. Tuloksena syntynyt jigi tehostaa ja nopeuttaa hitsausprosessia huomattavasti.		
Asiasanat CMT-hitsaus, hitsausjigi		

Author(s) Westerberg Niko	Type of Publication Bachelor's thesis	Date Month Year May 2021
	Number of pages 35 + 3	Language of publication: Finnish
Title of publication Designing welding fixture for robot usage.		
Degree program Mechanical Engineering		
The purpose of this thesis was to design a welding fixture which was meant to take robot welding usage. Client of this thesis is Stairon Oy which runs at Pansio Turku. Starting point was to produce transformable welding fixture which could be used to certain appliances different dimension variables. Purpose of this thesis was also study cost of the robot welding and compare these with welding job made with hands. Thesis orients in welding as process, CMT welding and designing welding clamps which are tried to be used as theory basic information in fixture designing. By basic information and from client company requirements fixture plan and manufacturing pictures were able to produce. With the help of the manufacturing images created as a result of the work it is possible to create fixture assembly and use it to all dimensional variables of the product. With the cost calculation of the work, it is possible to better figure outcome of welding the product that is covered in this work. Fixture's manufacturing pictures as the cost calculation were submitted to the company. The resulting jig makes the welding process more efficient and faster.		
Key words CMT-welding, fixture		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 STAIRON OY	7
3 HITS AUS	8
3.1 CMT-hitsaus	8
3.2 Robottihitsaus	9
3.3 Hitsausmuodonmuutos	10
4 HITS AUSKIINNITTIMET	11
5.1 Hitsauskiinnittimien perusteet	11
5.2 Hitsauskiinnittimen suunnittelu	11
5.3 Paikoittaminen	13
5.4 Kiinnittäminen	13
4.1 Muodonmuutosten huomioonotto	15
5 ROBOTTIAS EMA	16
6 HITS AUSJIGIN SUUNNITTELU	17
6.1 Lähtötilanne	17
6.2 Vaatimukset	17
6.3 Ideointi	17
6.4 Mallinnus	19
6.5 Mallinnettava hitsausjigi	21
6.6 Kiinnityselementit	24
6.7 Kokoonpano	25
7 TUOTTEEN HITS AUS	28
7.1 Hitsaustarkastelu	28
7.2 Hitsausohjelma	30
8 KUSTANNUSLASKELMA	31
9 YHTEENVETO	34

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Hefti = Lyhyt hitsisauma, jonka tarkoituksena on pitää hitsattavat osat kiinni toisissaan ennen varsinaista hitsausta

Jigi = Kappaleen kiinnityskokonaisuus, jonka tarkoituksena on pitää kappale paikoillaan sitä työstettäessä tai hitsattaessa.

Delfoi = Hitsausrobotin ohjelmoinnissa käytettävä sovellus

CMT = Cold Metal Transfer, Kylmäkaarihitsaus

MIG = Metal inert Gas welding, metallikaari inertti kaasu

MAG = Metal active Gas welding, metallikaari aktiivi kaasu

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Stairon Oy:lle hitsausjigi eli eräänlainen kiinnitysratkaisu kappaleelle sitä hitsattaessa. Työ suunnitellaan Yaskawa Motomanin robottiasemalle, jolla mahdollistetaan suurien kappaleiden hitsaaminen. Yrityksessä on aikaisemmin suunniteltu ja toteutettu hitsausjigejä, mutta ei tuotteelle, jota opinnäytetyössä tullaan käsittelemään. Hitsausjigin tarkoituksena on saavuttaa kustannustehokas kokonaisuus ja kohdistaa robotille useamman tunnin käsihitsausprosessi.

Tämän työn tavoitteena on pyrkiä modernisoimaan hitsausprosessia ja pyrkiä maksimoimaan robottiaseman hyöty. Työllä pyritään helpottamaan ja tehostamaan pitkää käsihitsausprosessia siirtämällä tämä robotille.

Opinnäytetyössä tullaan tarkastelemaan käytännön työn lisäksi CMT-hitsausprosessia, muodonmuutoksia, hitsauskiinnittimiä ja näiden soveltamista itse hitsausjigin suunnitteluun. Työn lopussa tullaan tarkastelemaan kuluja robotti- ja käsihitsauksen välillä, sekä vertailemaan näitä keskenään.

2 STAIRON OY

Turun Pansiossa sijaitseva Stairon Oy on teollinen palveluyritys, joka ratkaisee asiakkaittensa haasteita, sekä valmistaa ja kehittää prosessilaitteita eri alojen teollisuusyrityksille kotimaassa ja ulkomailla. Yrityksen palveluihin kuuluu myös tuote- ja valmistuskehitys, laitemodernisaatiot, huolto, sekä korjaus ja kaikkea näiden väliltä, joten voidaan puhua kokonaisvaltaisesta yrityksestä. Stairon yrityksenä on melko nuori 2009 perustettu, mutta yrityksen juuret yltävät vuoteen 1964 asti. Alkujaan tehdas kulki nimellä Valmet vuodesta 1964 vuoteen 1999 asti, josta nimi vaihtui Valmet-Rauma Oy:ksi ja samana vuotena Metso Oy:ksi. Vuonna 2009 Metso myi Pansion valmistavan yksikkönsä Stairon Oy:lle. Nykyisin yritys työllistää noin 70 henkilöä ja 2019 vuoden liikevaihto oli noin 11 M€. Yrityksen nykyisenä toimitusjohtajana toimii Timo Kylä-Nikkilä. (Stairon www-sivut 2021.)



Kuva 1. Stairon yrityksen logo (Stairon www-sivut 2021.)

3 HITSAUS

3.1 CMT-hitsaus

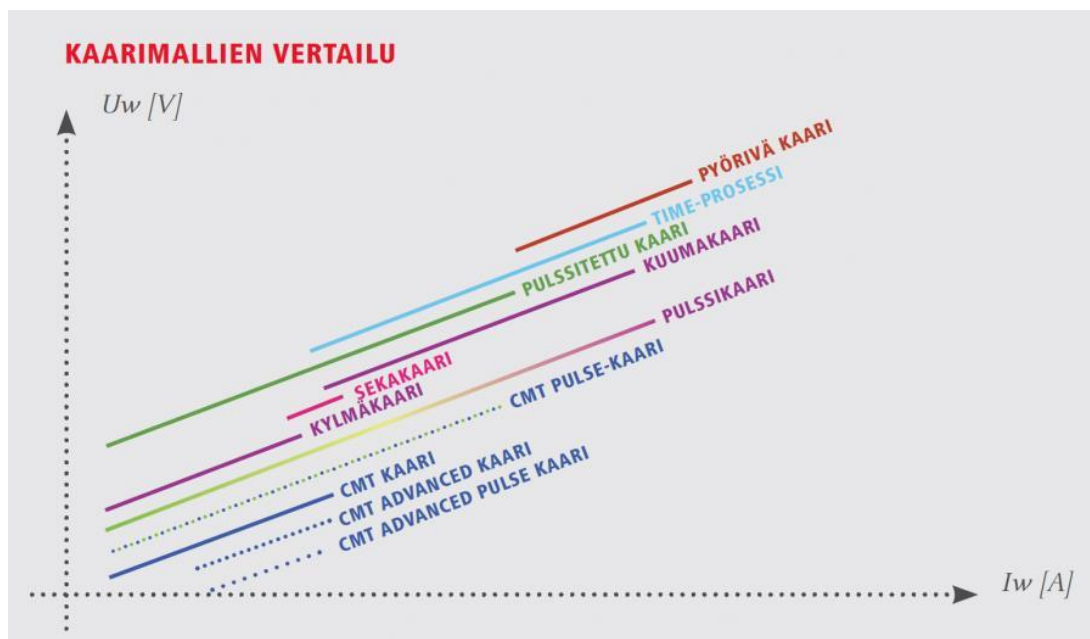
CMT on kylmän hitsausprosessin menetelmä. CMT tulee englannin kielen sanoista Cold Metal Transfer, jonka julkisti ensimmäisenä 2005 Fronius nimellä kulkeva yritys. CMT kehitettiin perinteisen MIG/MAG-hitsaus menetelmän rinnalle, koska haluttiin pyrkiä parempaan ohutlevyhitsaukseen aina 0,3 mm asti. Vaikka CMT-hitsaus on sanojensa mukaan kylmähitsausta, niin prosessi tästä huolimatta tapahtuu jatkuvasti kylmän ja kuuman välillä. Prosessi perustuu langan edestakaiseen liikkeeseen eli kun hitsausprosessissa tapahtuu oikosulku, niin lanka vetäytyy takaisin kohti hitsauspoltinta. Langan edestakaiset liikkeet tapahtuvat hyvin lyhyellä aikavälillä, jopa 90 kertaa sekunnissa. (Fronius www-sivut 2021)

CMT-hitsauksen hyöty tulee suureen käyttöön ohutlevyjen hitsauksessa, jossa ei haluta tuottaa ylimääräistä lämpöä, joka taas johtaisi mahdollisiin muodonmuutoksiin hitsattavassa kappaleessa. CMT-hitsaus mahdollistaa myös halvempien suojakaasujen käytön, kuten hiilidioksidin eli CO₂, jolla käyttökustannuksia saadaan vieläkin alemmas tällä menetelmällä. (Fronius www-sivut 2021)



Kuva 2. CMT-hitsausmenetelmä (Fronius www-sivut, 2021)

CMT-hitsausmenetelmän etuihin kuuluu vähäisen lämmöntuonnin lisäksi myös hitsausnopeuden etu ja roiskeiden vähyys, joiden osalta saavutetaan suuri hyöty. (Fronius www-sivut 2021)



Kuva 3. Hitsausmenetelmien vertailua taulukossa. (Fronius www-sivut 2021)

3.2 Robottihitsaus

”Robottihitsauksessa hitsausprosessi automatisoidaan roboteilla, jotka hoitavat hitsauksen ohjelman perusteella.” (Kemppi www-sivut 2021) Robotiikka mahdollistaa tarkan ja nopean hitsausprosessin, jolla tuotetaan vähemmän jätettä ja taataan parempi turvallisuus. Robotit ulottuvat paikkoihin, joihin ei muuten päästä, sekä ne kykenevät suorittamaan monimutkaisia ja tarkkoja hitsauslinjoja nopeammin kuin käsin hitsa-
tessa. Robotti voidaan mukauttaa eri hitsausmuodoille. (Kemppi www-sivut 2021)

Robottihitsauksen käyttökohteeksi parhaiten soveltuvat kohteet, jotka vaativat lyhyitä hitsejä, sisältävät kaarevia pintoja ja ovat toistettavissa ennakoitavilla toiminnoilla, jotka eivät vaadi jatkuvia vaihtoja tai muutoksia. Robotti soveltuu myös hyvin pitkille hitseille sen akselien ja ulottuvuuden ansiosta. Robottihitsausta voidaan myös käyttää sarjatuotannon ohella yksittäiskappaleiden hitsauksessa kustannustehokkaasti. (Kemppi www-sivut 2021)

3.3 Hitsausmuodonmuutos

Hitsausmuodonmuutokset syntyvät hitsausprosessin jälkeen ja esiintyvät rakenteen pitkittäis- tai poikittaissuuntaisina muutoksina. Muodonmuutokset johtuvat hitsausprosessissa syntyneestä nopeasta lämmöntonniasta kappaleeseen, joka taas synnyttää hitsattavassa kappaleessa jännityksiä eri suuntiin muuttaen sen muotoa. Kaikki muodonmuutokset ja jännitykset eivät jää silmämääräisiksi, vaan ne saattavat jäädä piileviksi vaurioiksi rakenteeseen, josta seuraa mahdollinen laukeaminen myöhemmällä ajalla tätä rakennetta kuormitettaessa tai muun tekijän vaikutuksesta. (Lepola & Ylikangas 2016, 339)

Muodonmuutoksiin voidaan ennakoida eri tavoilla. Ennaltaehkäisemisen menetelmiä listattuna:

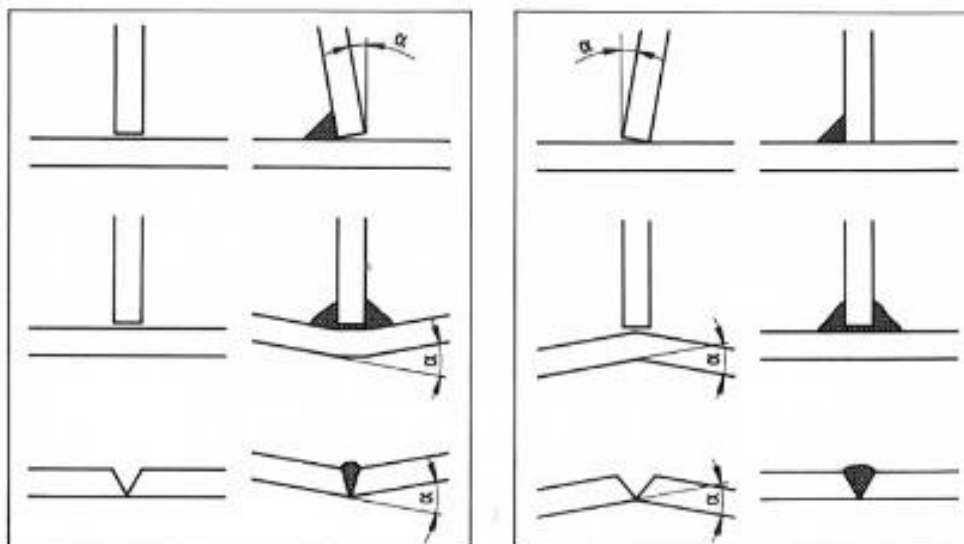
Pituuskutistuman ennaltaehkäisy

- lämmöntonnin vähentäminen
- monipalkohitsaus
- hitsauksen oikea suoritusjärjestys
- hitsien symmetrinen sijoittelu rakenteen neutraaliakseliin nähden

Poikittaiskutistuman ennaltaehkäisy

- lämmöntonnin vähentäminen
- ylisuurien pienahitsien välttäminen
- kiinnittimien käyttäminen

Muodonmuutoksien ennaltaehkäisy menetelmien lista (Lepola & Ylikangas 2016, 343)



Kuva 4. Muodonmuutoksia kuvattuna (Lehtimäki 2020, 27)

4 HITSAUSKIINNITTIMET

5.1 Hitsauskiinnittimien perusteet

Hitsauskiinnitin on yksi oleellisimpia osia hitsauksessa. Hitsauskiinnittimien edut tulevat suureen tarpeeseen etenkin robottihitsauksessa, jossa halutaan hitsattava kappale pitää paikallaan koko hitsausprosessin ajan. Käsihitsauksessa hitsauskiinnittimiä pidetään luonteeltaan pieninä apulaitteina, joilla pyritään parantamaan lopputuotteen mita- ja muototarkkuutta. Hitsauskiinnittimillä pyritään siis luomaan kappaleelle vahva tuki, jolla minimoidaan hitsattavien kappaleiden liike ja vähentäen muodonmuutoksia. (Leino & Meuronen 1987, 3)

5.2 Hitsauskiinnittimen suunnittelu

Hitsauskiinnittimen suunnittelussa on otettava huomioon hitsattavan kappaleen kokoamisjärjestys, kokoamisvaiheet, sekä hitsauksen aiheuttamat jännitykset ja muodonmuutokset. Kappaleen muodonmuutos on tärkeä pitää mielessä suunniteltaessa, sillä muodonmuutoksen vaikutuksesta voidaan väärin suunnitellulla hitsauskiinnittimellä

toteuttaa lukkiutuva rakenne. Hitsauskiinnittimen suunnittelulla pyritään yksinkertaisuuteen, sekä lastaus- ja purkausvaiheen helppouteen.

(Lehtimäki 2020, 23)

Hitsauskiinnittimen suunnittelussa voidaan käyttää hyödyksi hitsattavan kappaleen 3D-malleja, mutta parempi lopputulos voitaisiin saavuttaa käyttämällä suunnittelussa valmiita hitsattuja kappaleita. Suunnittelun apuna olisi hyvä olla myös henkilö, joka on jo aikaisemmalta kokemukseltaan perehtynyt robotilla hitsaukseen ja näin ollen saataisiin kokemuspohjaista tietoa ja apua hitsauskiinnittimen suunnitteluun. Tämänkaltaisen suunnittelumalli kuluttaa robotin tuottavaa työaikaa, mutta tällä tavoin voitaisiin myös vähentää kiinnittimien muutostöihin kuluva-aikaa.

(Lehtimäki 2020, 23)

Hitsauskiinnittimen suunnittelussa on hyvä muistaa seuraavanlainen lista hyvin suunnitellun hitsauskiinnittimen tunnusmerkeistä:

- Kappale sijaitsee kaikilta hitsattavilta osiltaan robotin ulottuvissa.
- Robotti kykenee hitsaamaan kaikki tarvittavat hitsit
- Osien kiinnityselementit eivät estä hitsauspolttimen työskentelyä.
- Hitsauksen paluuvirran reitti on varma ja harkittu. Paluuvirta johdetaan yleensä tukipintojen kautta hitsauskiinnittimen runkoon, siitä kappaleenkäsittelylaitteen pöytään tai laippaan, josta edelleen liukukontaktien kautta hitsausvirtalähteen paluuvirtakaapeliin.
- Robotin ei tarvitse tehdä turhia liikkeitä kiinnittimien vuoksi.
- Hitsausasennot ovat edulliset (jalkoasento on ihanteellisin, hyödynnetään kappaleenkäsittelylaitteita).
- Hitsattavat osat ovat ladattavissa ja valmis kappale poistettavissa esteettä. Kun hitsausmuodonmuutokset ohjataan kiinteistä tuista poispäin, kappaleen poisto kiinnittimestä onnistuu varmemmin.

(Leino & Meuronen 1987, 23)

5.3 Paikoittaminen

Osien paikoittamisessa pätevät samat periaatteet kuin muissakin kappalekiinnityksissä. Hitsausmenetelmässä kappaleelle ei ole niin ankaria vaatimuksia kiinnityksen suhteen verrattuna lastuavaan työstöön, joka mahdollistaa lisävapauksiin suunniteltaessa. (Leino & Meuronen 1987, 12)

Suurien tai ohuiden levyosien paikoittamisessa voidaan levyn taipumisen vuoksi joutua käyttämään useampaa tukipistettä tai nämä voidaan joutua korvaamaan kapeilla tasomaisilla pinnoilla. (Leino & Meuronen 1987, 12)

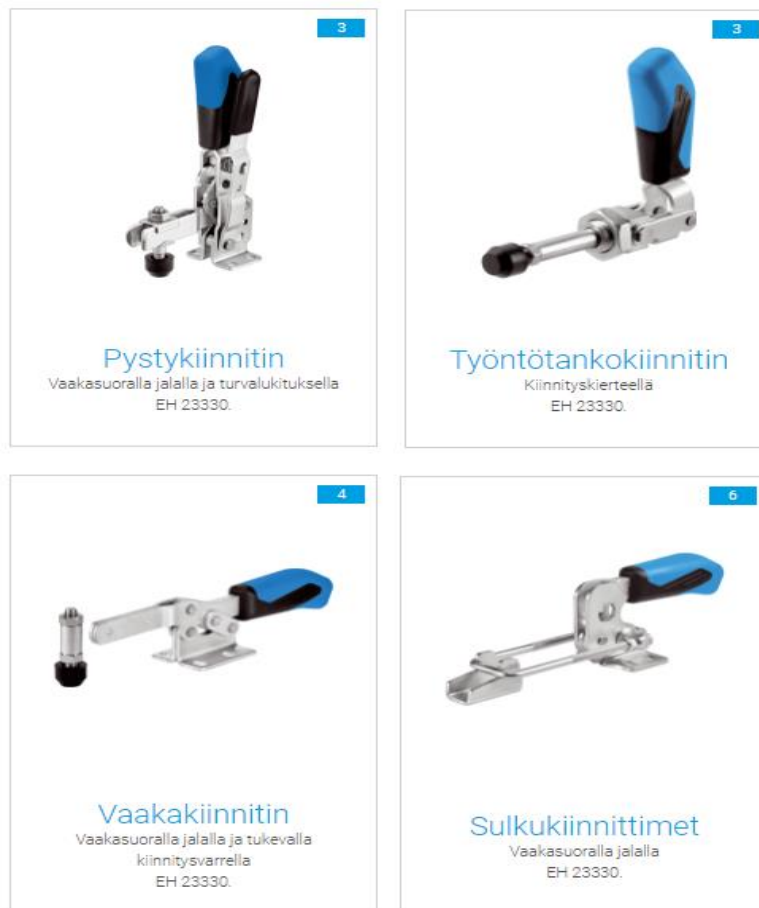
Paikoituksessa ei yleisesti suositella irrallisia elementtejä. Irrallisiin elementteihin kohdistuu usein häviämisen- ja sekaantumisen riski, sekä irrallisella elementillä paikoitustarkkuus ei vastaa kiinteän tarkkuutta. Irrallinen paikoituselementti ei kaikissa tapauksissa ole poissuljettu, vaan sillä voidaan joissain tapauksissa huomattavasti yksinkertaistaa hitsauskiinnittimen rakennetta ja jopa korvata erillisiä vaihekiinnittimiä. (Leino & Meuronen 1987, 29)

5.4 Kiinnittäminen

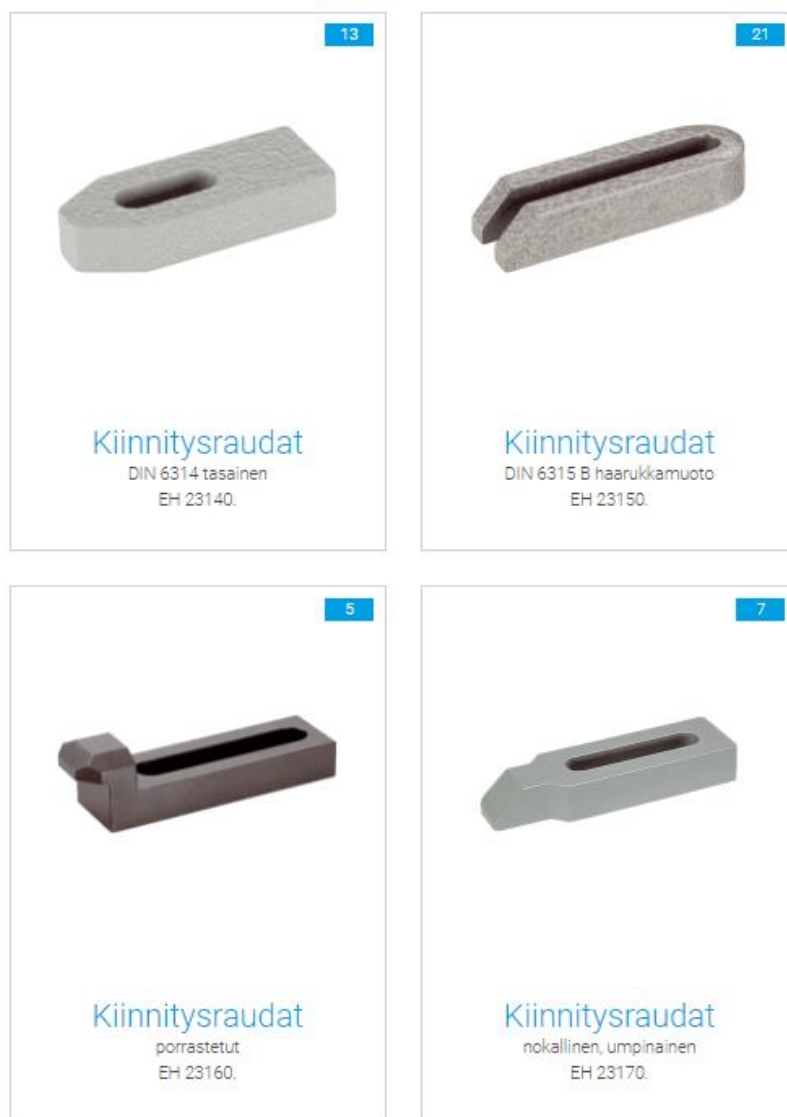
Paikoittamisen jälkeen täytyy kappaleelle tuottaa tarvittava kiinnitysvoima. Kiinnitysvoiman tarve tulee tärkeään rooliin etenkin tilanteissa, joissa kappaletta joudutaan kääntämään, kuten tässä työssä. Joissain tapauksissa kiinnityksen osalta riittää pelkkä maan vetovoima, mutta usein tarvitaan erillisiä kiinnityskomponentteja. (Leino & Meuronen 1987, 35)

Kiinnittimien osalta usein käytetään käsikäyttöisiä pikakiinnittimiä, joiden toiminta perustuu nivelvipumekanismilla aikaansaatavaan voimaan. (Leino & Meuronen 1987, 35)

Kiinnittimiä löytyy nykyään laaja variaatio lukemattomiin eri käyttökohteisiin.



Kuva 5. Halder vipukiinnittimiä (Halder www-sivut 2021)



Kuva 6. Halder kiinnittimiä (Halder www-sivut 2021)

4.1 Muodonmuutosten huomioonotto

Hitsausmuodonmuutosten laskeminen etukäteen on hyvin vaikeaa, siksi hitsauskiinnittimissä tulisi käyttää säädettäviä vasteita, jotta päästäisiin haluttuun tulokseen. Pääsääntönä hitsauskiinnittimien osalta pidetään sitä, että hitsausmuodonmuutoksia ei pyritä estämään, vaan niitä pyritään ohjaamaan hallitulla tavalla. Tämän johdosta voimat pysyvät pieninä ja kiinnikkeet pystytään luomaan keveiksi. Ohutlevyjen osalta voidaan kuitenkin poiketa, koska niissä muodostuvat voimat pysyvät pieninä. (Leino & Meuronen 1987, 69)

5 ROBOTTIASEMA

Opinnäytetyö kohdistuu robottiaseman ympärille, johon hitsausjigi on tarkoitus suunnitella. Robottiasema eli robottisolu on kokonaisuus, johon sisältyy yleensä robotti ja kappaleenkäsittelylaite tai -laitteita. Tässä tapauksessa robottiasema on Yaskawa Motomanin kokonaisuus, joka on yrityksessä käyttöönotettu 2019 vuoden alkupuolella. Yrityksen robottiaseman kokonaisuus rakentuu seuraavista laitteista:

- Gantry TSG Midsized 14 m portaali
- Ma1440 Robotti
- Dx200 ohjausjärjestelmä
- MT1-3000 käsittelypöytä
- Vastapöytäpari
- Hitsauslaitteisto Fronius TPSI500I pulse

Robottiasemassa pystytään käsittelemään suurikokoisia kappaleita, käsittelypöydällä seuraavan kokoisia: paino maksimi 3000 kg, säteeltä 1800 mm ja korkeudelta maksimi 3000 mm. Vastapöytäpari tyyppisesti eli niin sanotussa grilliasennossa mahdollisuudet käsiteltävän kappaleen osalta nousevat seuraavasti: paino maksimi 7000 kg ja pituus maksimi 13000 mm.



Kuva 7. Robottiasema

6 HITS AUSJIGIN SUUNNITTELU

6.1 Lähtötilanne

Työ aloitettiin aloituspalaverilla, jossa käytiin läpi alustavaa suunnitelmaani opinnäytetyön osalta ja tarkasteltiin myös itse tuotetta, jolle hitsausjigi olisi tarkoitus tuottaa. Alustavassa käsittelyssä tuli ilmi montakin asiaa pohdittavaksi jigisuunnittelun osalle. Aloituspalaverissa tuli myös ilmi, että tuotteella on olemassa monta eri kokovariaatiota, jotka tulee ottaa suunnittelussa huomioon ja, jotka myös tuovat omat haasteensa suunnittelun osalle.

Aloituspalaverin jälkeen käytiin tutustumassa lisää robottiasemaan ja kävimme läpi nykyisen robottioperaattorin kanssa jigisuunnittelun yleisiä asioita, sekä tähän opinnäytetyön kappaleeseen liittyen. Robotin osalta kävimme myös läpi maksimi työstömittoja, jotka eivät vaikuttaneet tähän työhön.

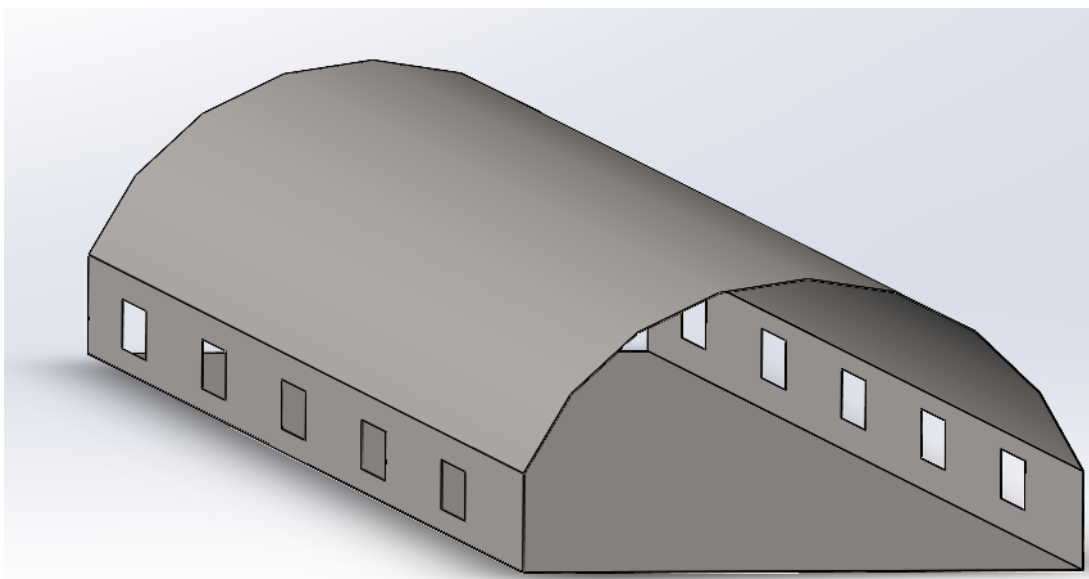
6.2 Vaatimukset

Jigin vaatimuksien osalta tuli sen oltava yksinkertainen, helposti koottava ja kustannustehokas. Vaatimuksilla pyrittiin jigirakenteeseen, joka ei ole turhan monimutkainen, täyttää tuotteen painovaatimuksen ja mahdollistaa tuotteen hitsauksen kaikissa mittavariaatioissa

6.3 Ideointi

Jigin suunnittelussa lähdettiin liikkeelle tutkimalla tuotteen 3D-mallia Solidworks ohjelmiston kautta ja ottamalla ylös mittoja suunnittelua varten. Suunnitelmia tehtiin aluksi kynällä paperille, josta mielestäni oli helpompi lähteä hahmottamaan suuntaa, johon pyrittiin jigin mallintamisen osalta. Hahmottelun tuloksena syntyi muutama erilaista näkemystä jigin osalta, joista osan kuitenkin poistin heti alkuun. Ideointi oli melko suoraviivaista ja minulla oli melko selkeä kuva, mitä haluttiin lopputuotteen olevan, mutta alkuun se vei useita hahmotelmia.

Lähtökohtana oli tieto kappaleesta, joka on 6000 mm pitkä ja säteeltään 1000 mm luokkaa ja painoltaan 1000 kg. Suunnitelman osalta lähdettiin liikkeelle siitä, että pohjaksi tarvitaan pitkä palkki tai palkit, jonka pohjalta jigiä aletaan suunnittelemaan. Kun kappaleen pituussuunnan osalta oli idea hahmoteltuna, oli tämän jälkeen tarkoitus ideoida leveyssuunnan osalle jotain. Jigin osalta ei pyritty luomaan yksittäistä kiinteää rakennetta vaan monesta samankaltaisesta osasta koostuvan kokonaisuuden. Jigien suunnittelua osittain helpotti tuotteen tasainen iso pinta-ala. Tuote itse on tunnelin mallinen eli pohjapinta on tasainen ja päältä kaareva. Tuote on myös umpinainen, jolloin sisäpuolelta kiinnittäminen edellyttäisi poraamista tai leikkaamista, jota tässä yritetään välttää. Tuotteen päädyt ovat avoimet, jolloin tätä kautta pystyisi kiinnityksiä suunnittelemaan.



Kuva 8. Kappaleen muoto.

Ideointia lähdettiin toteuttamaan tuotteen osalta niin, että tasaista pintaa käytetään tukevana ja kiinnitystä lähdetään suunnittelemaan ulkopuolelta, jolloin vältetään itse tuotteen levyosien suuremmalta työstämiseltä.

Myöhemmin ideoinnin ohessa sain varmistuksen kappaleen mittojen suhteen, jotka olivat 4000–8000 mm pituudelta ja säteeltään maksimissaan 1300 mm. Nämä mitat

tulisi ottaa huomioon jigiä suunnitellessa, mutta lähtökohtana on tuottaa jigi 6000 mm ja kääntösäteeltään 1000 mm kappaleelle.

6.4 Mallinnus

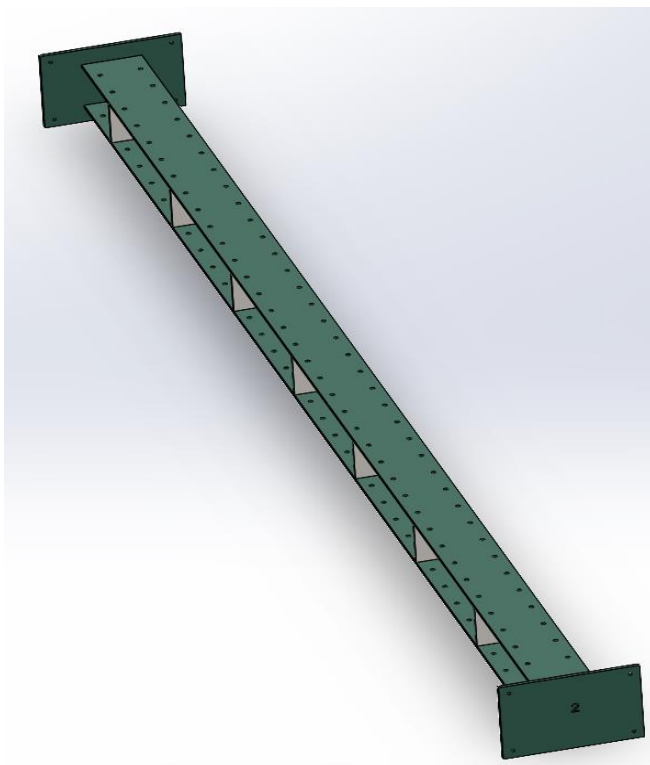
Ideoinnin jälkeen oli tarkoitus mallintaa hitsausjigi Solidworks-ohjelmistolla. Tässä vaiheessa suunnittelu oli vielä luonnostelupohjalla, eikä lopullisia materiaaleja ollut päätetty. Ideoinnin osalta päädyin suunnittelemaan jigitasoja, jotka pystyttäisiin hyödyntämään I-palkissa.

Kun jigistä oli saatu luonnostelumalli tuotettua, alettiin miettimään palkkia, joka kattaisi koko mittavariaation 4000–8000 mm. Valmiina yrityksestä ei löytynyt koko pituuden kattavaa palkkia, mutta oli kuitenkin 7500 mm I-palkki, jota oli muokattu hie-man robottiasemakäyttöä varten. Tämän I-palkin johdosta syntyi idea sen käyttämisestä opinnäytetyön jigiin.

Nykyisessä tilassa ei I-palkkia voitu käyttää tähän työhön, vaan sitä tulee muokata. Palkista oli jo aikaisemmin tarkoitus tehdä paremmin robottihitsaukseen sopiva ja palkista oli myös luotu 3D-malli tulevaisuuden muokkauksia ajatellen. Palkista luotiin suunnitelma, miten voitaisiin suunnittelemani jigitasot siihen liittää ja niin päädyttiin ratkaisuun, että tehdään palkin päälle ja pohjapuolelle rei'itys tietyllä reikäjaolla. Reikäjako mahdollistaisi niin tämän työn, kuin tulevaisuuden työt erilaisilla kiinnikkeillä. Palkista oli myös aikaisempi ajatus, että siitä poistettaisiin korvakkeet, joka osoittautui myös hyväksi suunnitelmaksi. Ainoaksi ongelmaksi toistaiseksi jäi palkin mitta, joka oli 7500 mm ja tuotteen maksimi mitta oli 8000 mm. Mittaongelmaan saatiin ratkaisu palkin tulevaisuudessa kannalta jatkopalalla liittämisellä tai samankokoisen palkin pidempänä ostamisella.

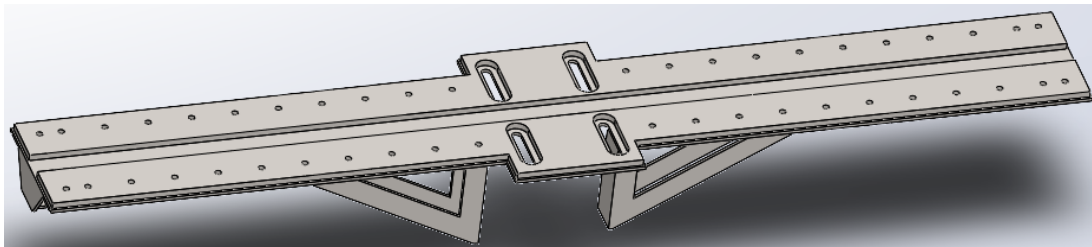


Kuva 9. Palkki nykyisessä tilassa



Kuva 10. Solidworks-ohjelmalla piirretty suunnitelma palkista.

Palkin ratkaisun jälkeen voitiin siirtyä mallintamaan tarkempia mittoja jigiin. Jigin osalta syntyi kappale, joka myötäilee palkkia ja on liikuteltavissa palkin suuntaisesti. Näitä jigitasoja oli tarkoitus valmistaa useampi tähän työhön.

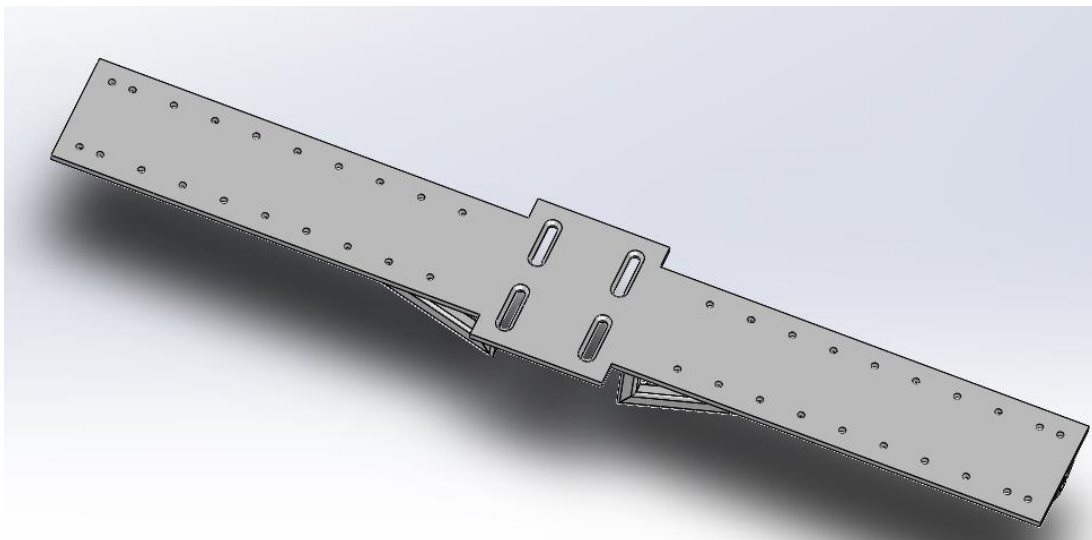


Kuva 11. Solidworks-ohjelmalla mallinnettu jigitaso.

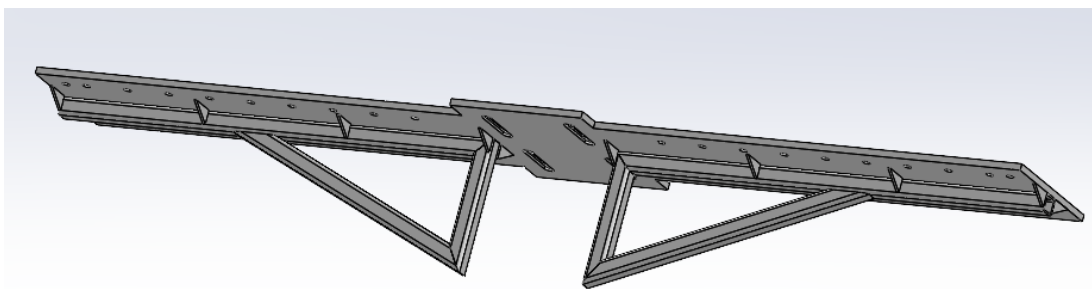
6.5 Mallinnettava hitsausjigi

Hitsausjigin suunnittelun osalta käytiin välikeskustelu, jossa esittämäni idea kolmen jigitason kokonaisuudesta päätettiin muuttaa niin, että tasojen määrää kasvatettaisiin kahdella, jolloin näitä olisi yhteensä viisi. Viiden tason kokoonpanolla saataisiin aikaan hyvä tukipinta-ala, joka estäisi mahdolliset notkahdukset tuotteessa pohjapuolelta. Ajatus tuotteesta, joka olisi 8000 mm pitkä voitaisiin tasoja mahdollisesti vielä lisätä nykyisestä suunnitelmasta.

Hitsausjigi nykyisessä muodossaan olisi turhan järeä, jos niitä valmistettaisiin 5 kappaletta, jolloin päädyttiin keventämään rakennetta ja samalla yksinkertaistamaan sitä. Jigitason päällä olevan levyn osalta päädyttiin käyttämään 15 mm teräslevyä ja tuen osalta putkipalkkeja koossa 40x40x4mm. Jigin kiinnityksen osalta päädyttiin käyttämään uppokantapultteja, jolloin päällä olevan levyn paksuutta ei tarvitse kasvattaa säilyttääkseen tasomaista pintaa. Pohjapuolelle suunnittelin myös jäykistekolmiot 6 mm teräslevyistä.

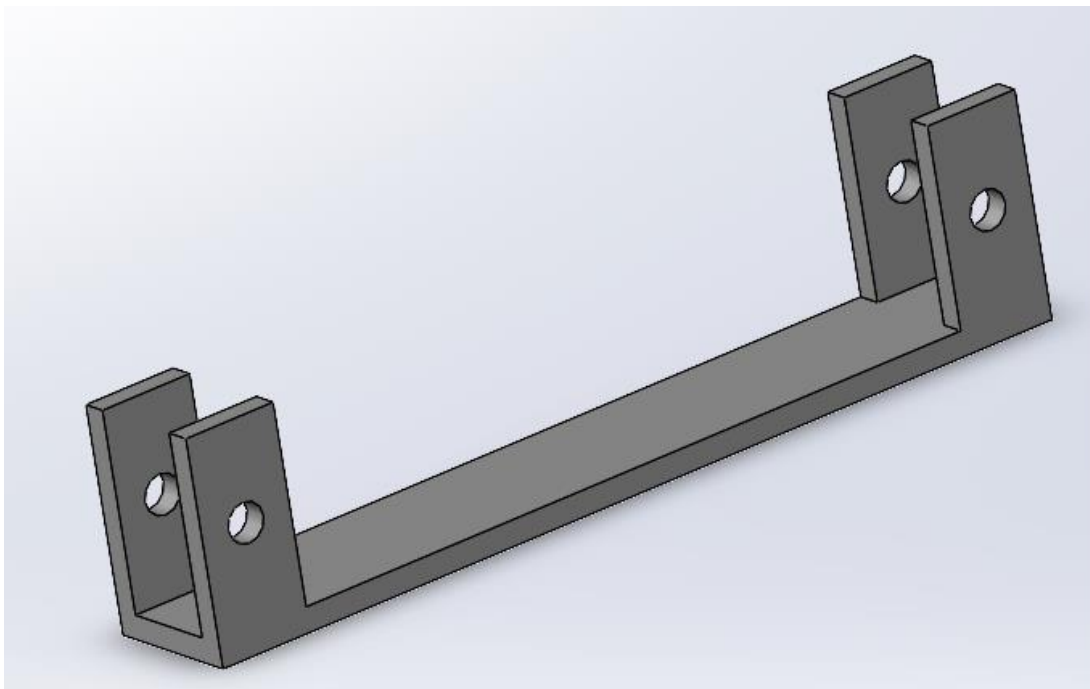


Kuva 12. Uusi mallinnettu jigi yläpuolelta.

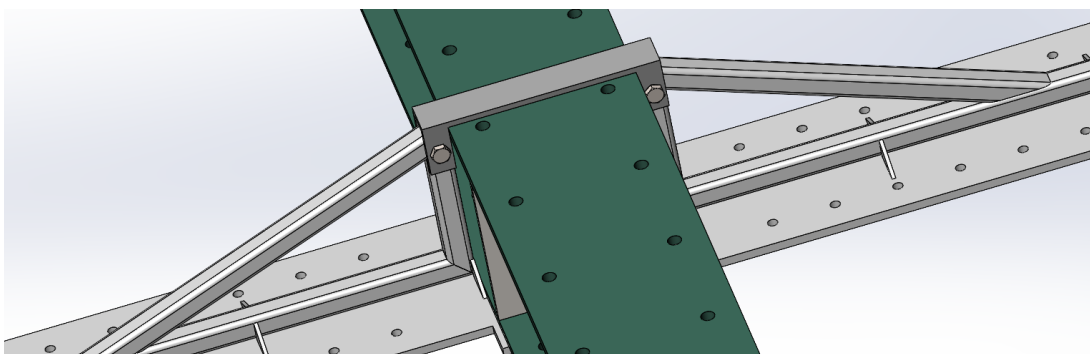


Kuva 13. Uusi mallinnettu jigi alapuolelta.

Jigin kiinnitys pitkittäispalkkiin tapahtuu neljällä M20 uppokantapultilla yhtä tasoa kohden. Jigi tässä tilassa ei kuitenkaan anna mahdollisuutta kääntää sitä ylösalaisin, koska kiinnitys tapahtuu keskeltä ja ylösalaisin jigin päädyt taipuisivat mahdollisesti. Kääntöön suunniteltiin lisäkappale, joka kiinnitetään jigin putkipalkkien välille kahdella pultilla. Lisä-osa mahdollistaa jigin kääntämisen ylösalaisin, sekä samalla luo jigirakenteesta yhtenäisemmän.

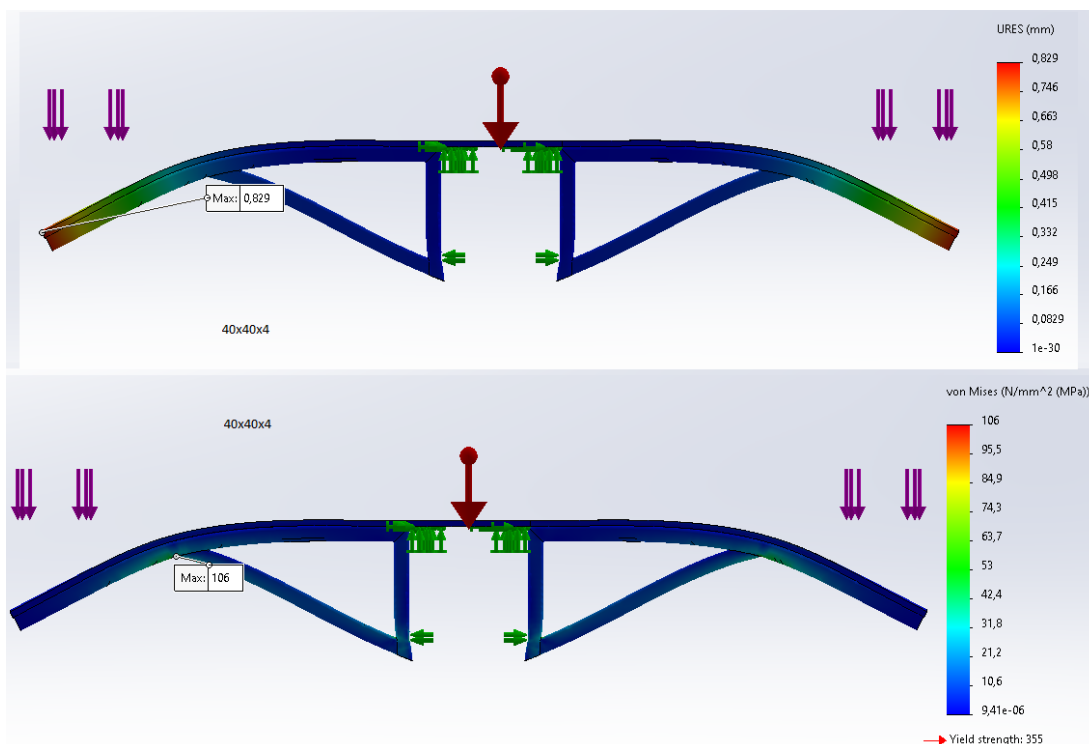


Kuva 14. Vastakappale.



Kuva 15. Kiinnityspeeriaate.

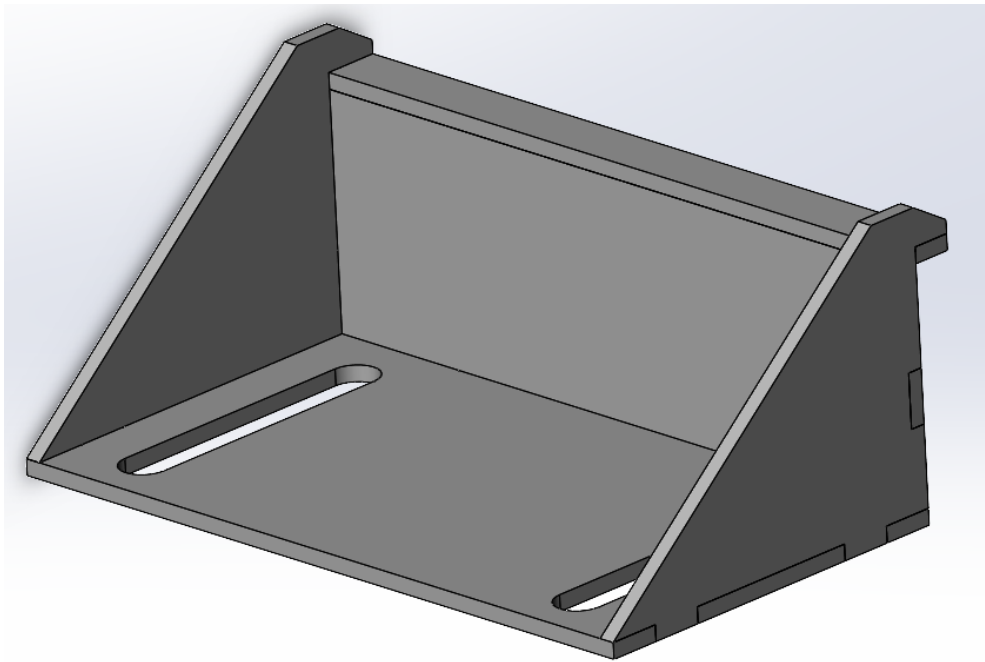
Jigitasojen osalta tehtiin myös simulaatio, jolla varmistutaan tasojen kantavuudesta. Simulaatio toteutettiin Solidworks-ohjelmistolla laittamalla tason molempiin pätyihin 200 kg painot, jolloin saadaan maksimirasitus simuloitua. Simuloinnin tuloksena 40 x 40 x 4 mm putkipalkilla tulokseksi saatiin 0,8 mm suurin taipuma ja 106 N/mm^2 suurin jännitys.



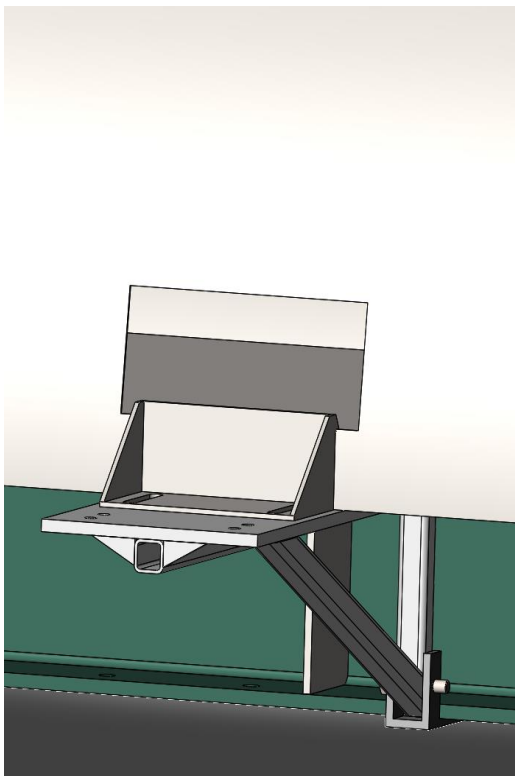
Kuva 16. Simuloinnin tulokset Solidwork:ssä, jossa ylempänä taipuma (mm) ja alempana jännitys (N/mm^2).

6.6 Kiinnityselementit

Jigiin on luotu samalla periaatteella reikäjako kuin palkkiin. Reikäjako mahdollistaa erilaisten kiinnikkeiden kiinnittämisen tasoon, sekä myös liikuttamaan kiinnikkeitä kappaleen leveyssuuntaisen mitan muuttuessa. Kiinnikkeiden osalta reikäjako ei riittänyt kattamaan kaikkia tuotteen mittavariaatioita, vaan oli niiden osalta suunniteltava liukuva kiinnitys, joten päädyttiin käyttämään kiinnikkeissä pitkän mallisia reikiä pyöreiden sijaan. Kiinnike on suunniteltu niin, että ”kynsiosa” puristaa hitsattavaa kappaletta tasoon nähden. Kiinnikkeen levyosat on suunniteltu niin, että ne paikoittavat toisensa, jolloin kokoonpanon osuus helpottuu.



Kuva 17. Kiinnike.



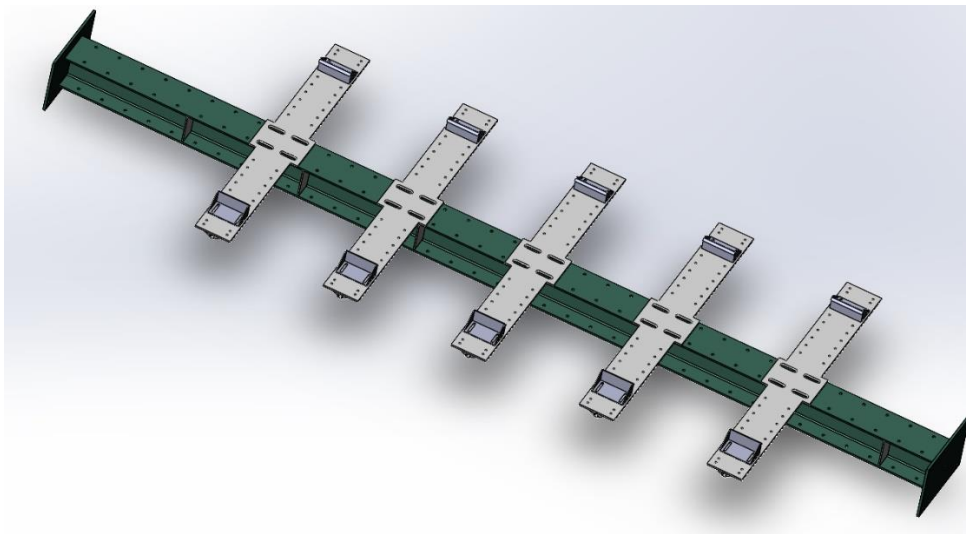
Kuva 18. Kiinnityksen periaate.

6.7 Kokoonpano

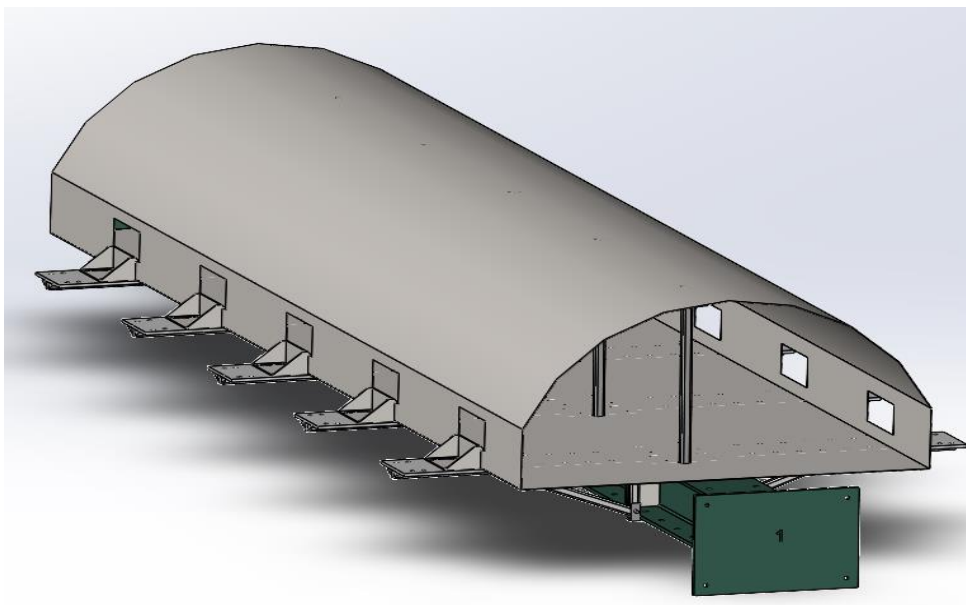
Kokoonpanona jigeistä muodostuu hyvin muunneltavissa oleva kokonaisuus, joka myös mahdollistaa kappaleen mittavariaatiot koko pituuden, sekä leveyden osalta.

Kokoonpanoon sisältyy myös pystytuet, jotka tulee heftaus-vaiheessa kappaleen sisäpuolelle kannattelemaan tämän tunnelimaista rakennetta.

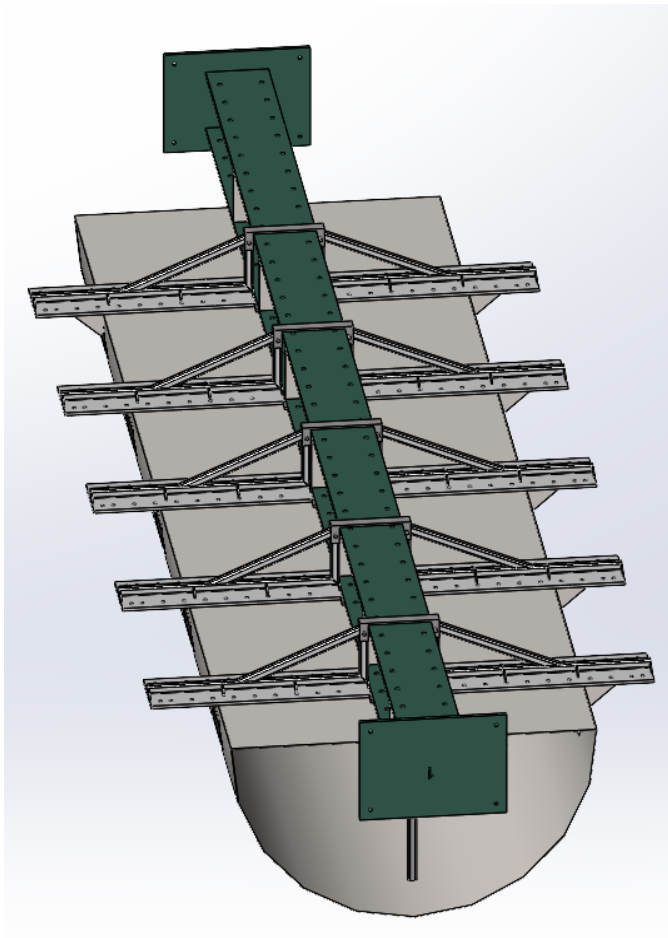
Tuote on tarkoitettu kasata valmiiksi palkin päälle, jossa on valmiiksi jigitasot, jolloin koko paketti voidaan nostaa yhtenäisenä robotille työstettäväksi. Kappaleen kasaus tehdään nollatoleranssiin, joka tapahtuu linjaintyökalua käyttäen. Kappaleen hitsauksen jälkeen tarkastus tehdään samalla tavalla.



Kuva 19. Jigikokoonpano.

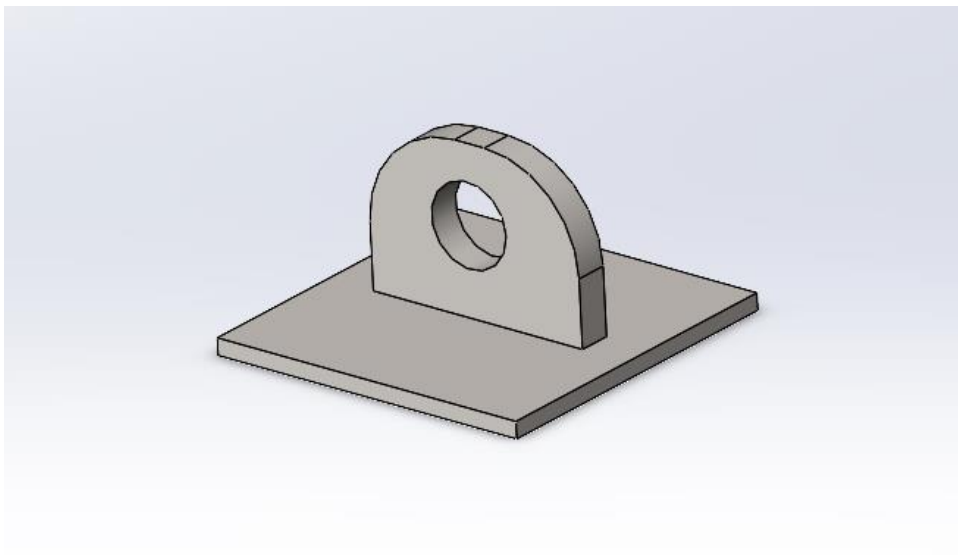


Kuva 20. Kokoonpano täydellisenä.



Kuva 21. Kiinnitys alapuolelta.

Kappaleen kokoonpanon osalle kuului myös suunnitelma hitsauksen jälkeiselle pois nostamiselle. Kappaleen pois nosto tapahtuu hitsattavien nostokorvakkeiden avulla. Nostokorvakkeet hitsataan kappaleen päällyspuolelle pituussuuntaisesti. Korvakkeita tulee yhteensä kaksi kappaletta.



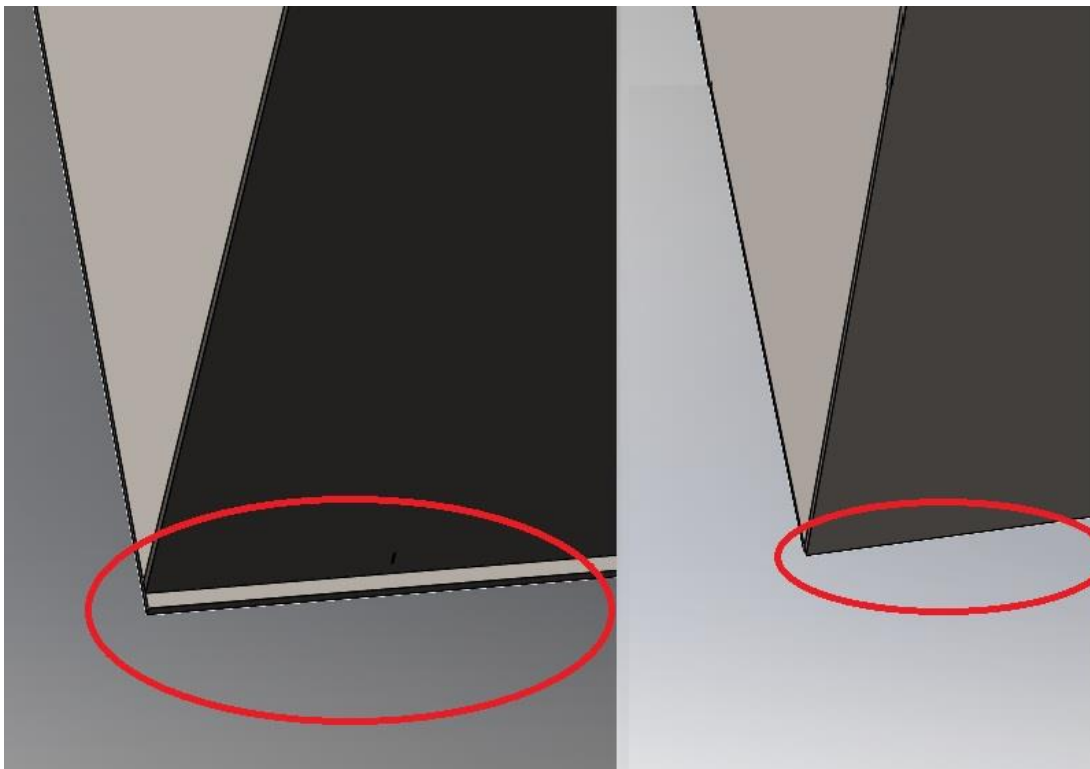
Kuva 22. Nostokorvake hahmoteltuna Solidworks:llä.

7 TUOTTEEN HITSAUS

7.1 Hitsaustarkastelu

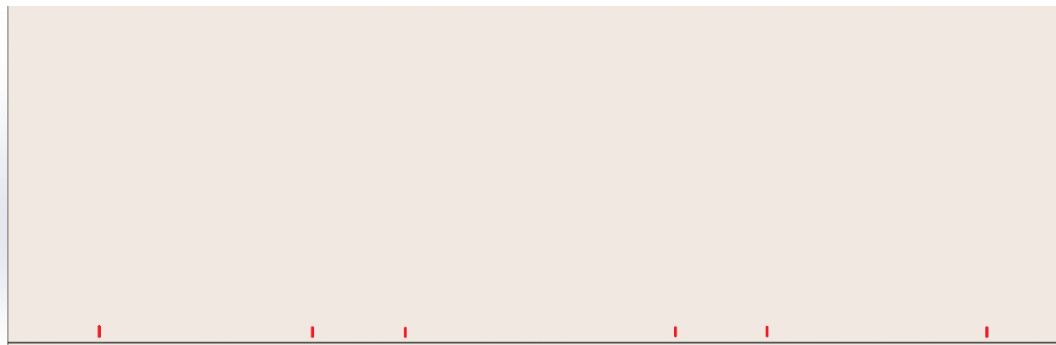
Hitsauksen osalta tuote on melko vaativa, koska se sisältää paljon hitsattavaa, joka taas suurentaa riskiä muodonmuutoksille. Keskimäärin hitsisaumaa tulee tuotteeseen 78 metriä robotilla. Työn suurin onnistumiseen johtava merkitys tulee CMT-hitsausmenetelmästä, jolla mahdollistetaan mahdollisimman pieni lämmöntuonti kappaleeseen minimoiden kappaleen muodonmuutoksia hitsauksen osalta. Kaikkia saumoja ei lähtökohtaisesti pyritty robotilla hitsaamaan, mutta hitsaus pyrittiin maksimoimaan robotin osalle.

Kappaleen levyosien kasaan hitsaaminen tapahtuu heftaamalla, jolloin robotille jää varsinainen hitsausosuus. Kappaleen levyosille jouduttiin tekemään muutoksia hitsausta ajatellen, koska levyliitokset alkuperäisen mallin mukaan olisi tapahtunut kulmasaumana, joka ei ole robotille helppo saumamuoto. Levyosien kokoa kasvatettiin niin, että pystytään hitsaamaan pienasaumaa, joka on robotille helpompi.



Kuva 23. Levyosien muutos kuvattuna niin, että oikealla puolella on alkuperäinen malli.

Hitsattavan kappaleen levyosille suunniteltiin myös lasermerkinnät, jota voidaan hyödyntää robottihitsauksessa. Koska CMT-hitsauksessa ei ole railoseurantaa jouduttiin levyysiin suunnittelemaan merkinnät, joista robotti tekee ”hakuja”, joiden avulla robotti pysyy halutulla reitillä. Merkkien tarkoituksena on myös näyttää heftauksen tekijälle paikat, joihin ei saa tehdä heftiä. Merkinnät on tehty niin, että levyn kulmasta tehdään merkintä 60 mm päähän, josta tulee seuraava merkki 200 mm kohdalle 60 mm lokeronä, jos hitsattavaksi tarkoitettun sauman mitta ylittää 400 mm. Eli kuvan tapauksessa 60 mm lokero, josta 200 mm ja viivamerkintä 30 mm tästä molemmille puolille, jolloin syntyy 60 mm lokero ja vastakkaisesta kulmasta peilikuva.



Kuva 24. Lasermerkinnät levyosissa.

Kappaleelle käytiin ennen varsinaista aloitusta ulottuvuustarkistelu, jossa nähtiin pääsy kaikkiin hitsattaviin kohtiin. Hitsaustarkastelu tehtiin Delfoi-ohjelman kautta.

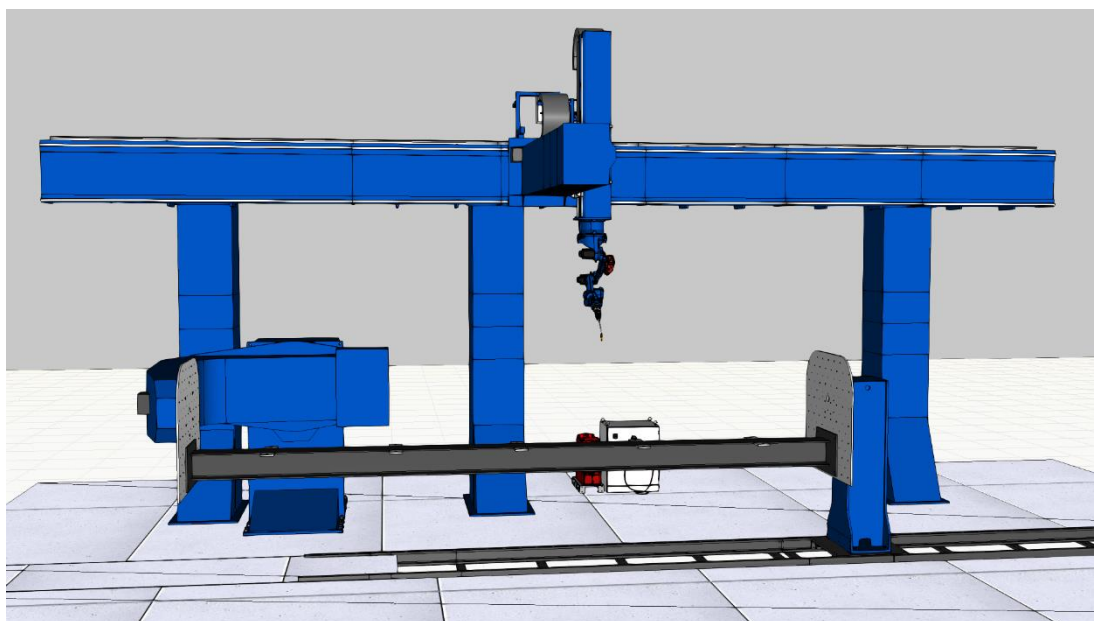
Hitsaus kappaleeseen tulee pienahitseillä 3 mm a-mitalla kappaleen materiaalivahvuuden ollessa 3 mm. Kappaleen hitsauksen osalta hitsausjärjestys on toteutettu niin, että pyritään jakamaan lämpö mahdollisimman laajasti. Lämmönjakaminen tapahtuu saumakohtien välillä hyppimisellä, eli yhtäjaksoista pitkää saumaa ei synny. Hitsausjärjestelyä auttaa kappaleen symmetriset saumakohdat, jotka mahdollistavat hitsauspaikkojen välillä hyppimisen. Käsihitsaukseen verrattuna robottihitsaus tulee eduksi hitsisaumojen välillä hyppimisessä varsinkin suurikokoisissa kappaleissa.

7.2 Hitsausohjelma

Hitsausohjelmien tekeminen tapahtui Delfoin toimittamalla offline-ohjelmointi ohjelmalla, jota käytetään tietokoneen välityksellä. Ohjelmassa on valmiiksi olemassa robottiasema mallinnettuna täydellisenä ja ohjelmaa tehdessä tuodaan tähän lisäksi kappale, jolle halutaan tehdä hitsausohjelma. Delfoi simulointi ohjelma osaa käyttää robotin kaikkia akseleita, sekä ehdottaa käyttäjälle mahdollisia hitsausreittejä ja liikkeitä. Usein näitä valmiiksi ehdotettuja liikkeitä joudutaan muuttamaan, jotta saadaan robotin ja kappaleen asento järkeviksi. Yksinkertaistettuna hitsausohjelman teko menee hitsisauman valintana haluttuun paikkaan, josta ohjelma saattaa ehdottaa valmiita robotin ja kappaleen asentoja. Robotin ja kappaleen asento tarkistetaan ja muutetaan

haluttuun. Ohjelmaan määritellään myös kaikki haluttavat hitsausparametrit, jotka robotin ja käsittelypöydän liikkeineen voidaan siirtää suoraan robottiasemalle väylän kautta tai USB-tikulla. Todellisuudessa ohjelman tekoon vaaditaan enemmän perehtymistä käyttäjältään, joihin tässä työssä ei syvennyttä.

Delfoilla voidaan simuloida robotin koko liikerata kappaleen hitsauksessa, josta voidaan nähdä helposti virheet, jota ohjelma itsessään ei välttämättä näe ja tarvittaessa korjata nämä virheet.



Kuva 25. Robottiasema Delfoi:ssa

8 KUSTANNUSLASKELMA

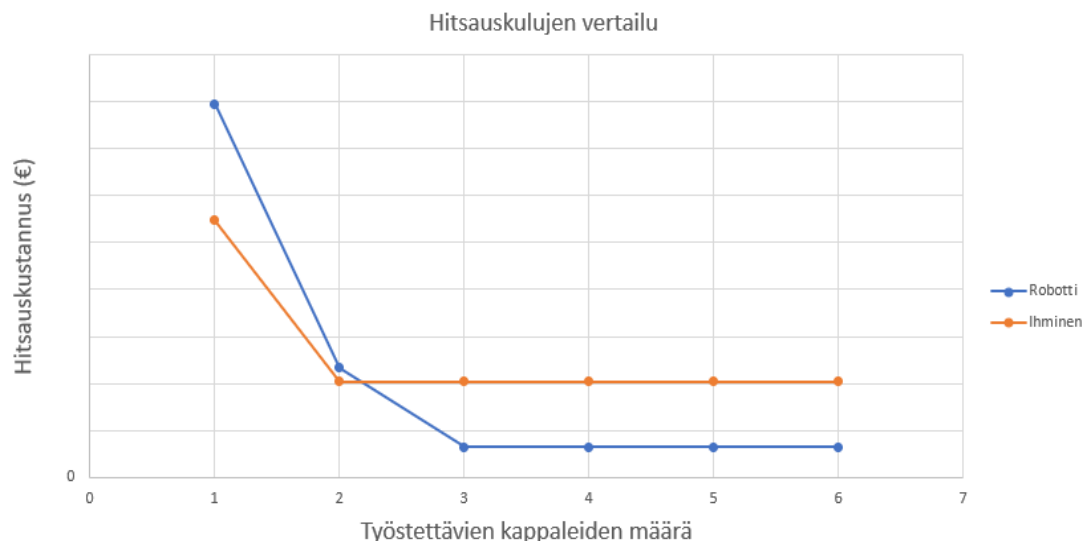
Työn yhtenä osana oli tarkoitus laskea robottihitsaukselle kustannukset ja vertailla sitä käsin tehtävään hitsaukseen. Kustannuslaskelman tarkoituksena ei ollut laskea hitsauksesta tulevia kaikkia kuluja, koska molemmissa hitsausmuodoissa käsin ja robotilla itse hitsausprosessi pysyy lähes samana. Molempiin hitsausmuotoihin kuuluu samoja asioita, joita ei myös olla lähdetty erikseen laskemaan. Molempiin hitsausprosessimuotoihin kuuluu jigisuunnittelu, jigien valmistus, hitsattavan kappaleen kiinnitys jigiin, heftaus ja hitsaus. Robottiaseman käyttö nostaa kuluja tuntia kohden, mutta

robotilla itse hitsausprosessi pystytään suorittamaan huomattavasti lyhyemmässä ajassa. Käsillä tehtävälle hitsaukselle kulut tuntia kohden ovat pienemmät, mutta itse hitsaus käsillä kuluttaa huomattavasti enemmän aikaa etenkin, kun kyseessä on suuri kokoinen kappale.

Jigien monikäyttöisyyden osalta on huomioitava kustannuslaskelmassa, että käyttö-kustannukset laskevat jigijä uudelleen käytettäessä. Jigien käyttö ei rajoitu pelkästään tämän opinnäytetyössä käsiteltävään tuotteeseen ja sen eri mittavariaatioiden kohdalle, vaan jigijä voidaan käyttää myös muissa töissä. Jigien käyttö muissa töissä laskisi kokonaiskustannuksia entisestään, jolloin hyötytaso nousisi.

Kustannuslaskelmassa tulisi ottaa huomioon myös työntekijät, jotka vapautuvat hitsaustehtävästä työn siirtyessä robotille. Nämä vapaat työntekijät voidaan siirtää muihin työtehtäviin, joka taas lisää hyötyä robottihitsaukselle.

Robottihitsauksen kustannukset näyttävät aluksi suurilta, koska hitsausohjelma täytyy tehdä alusta alkaen uuden työstettävän kappaleen osalta. Jos seuraavan kappaleen mitat pysyvät lähes samoina entisen työn kanssa, voidaan ohjelma lähes kokonaan kopioida ja vähentää hitsausohjelman tekemiseen kulunutta aikaa huomattavasti. Tilanteessa, jossa kappaleen mitat muuttuvat enemmän, joudutaan hitsausohjelman tekemiseen käyttämään enemmän aikaa, mutta koska ensimmäisen hitsausohjelman myötä tiedetään hitsausasennot ja hitsausparametrit, voidaan näiden tietojen myötä aikaa säästää myös tässä tilanteessa.



Kuva 26. Hitsauskulut kaaviolla.

Kaavion pystyakselilla on kuvattu kulut ja vaaka-akselilla työstettävien kappaleiden määrä, joka on määritelty kuudeksi. Kaavion vasemmassa reunassa voidaan nähdä, kuinka molemmissa hitsausmuodoissa aloituskulut ovat korkealla, koska joudutaan tekemään suunnittelutöitä, sekä jigien valmistus tuottaa kustannuksia. Eteenpäin kaaviossa mentäessä voidaan huomata lasku molempien hitsausmuotojen kuluissa, koska jigijä voidaan käyttää seuraavien töiden työstössä, sekä suunnittelun osalta ei tarvitse työhön panostaa seuraavissa töissä yhtä paljon kuin ensimmäisellä kerralla. Robottihitsauksen osalta toisen kappaleen hitsaukseen on kuviteltu jouduttavan panostamaan hitsausohjelman teon osalta useampi tunti. Kolmas ja seuraavat pisteet robottihitsauksen osalta on kuviteltu niin, että hitsausohjelma voidaan tehdä lähes kopioimalla, jolloin kulut laskevat huomattavasti.

9 YHTEENVETO

Työn tuloksena syntyi hyvin muunneltavissa oleva kokonaisuus, jolla mahdollistetaan tuotteen eri mittavariaatioiden kiinnitys ja käyttö hitsausrobotilla. Työn tuloksena syntyi myös kokonainen suunnitelma itse tuotteen kokoamisvaiheille. Tulos on myös askel kohti toimivampaa hitsausratkaisua tämän tuotteen kohdalle.

Projekti oli sopivan haastava ja työssä joutui ottamaan useamman asian huomioon suunniteltaessa. Haastetta nosti tuotteen suuri koko, mutta samalla se myös lisäsi mielenkiintoa työn osalta. Projektissa pääsi perehtymään moniin asioihin itse jigisuunnittelun ohella, joka lisäsi työn monipuolisuutta. Työ avasi monia uusia näkemyksiä suunnittelun osalta ja samalla opetti paljon uutta.

Jigin valmistuskuvat ja suunnitelma tuotteen osalta toimitettiin toimeksiantajalle. Valmistuskuvien avulla pystytään valmistamaan jigi ja kiinnityselementit, sekä suunnitelmaa työn osalta voidaan hyödyntää tuotteen valmistamiseen. Valitettavasti työssä ei päässyt näkemään jigejä käytännössä, koska projektin oli tarkoitus toteutua myöhemmällä ajalla.

LÄHTEET

Fronius Oy www-sivut. Viitattu 9.4.2021. <http://www.fronius.com>

Halder www-sivut. Viitattu 10.4.2021. <http://www.halder.com>

Kemppi Oy www-sivut Viitattu 4.5.2021 <https://www.kemppi.com/>

Lehtimäki, A. 2020, Hitsauksen mekanisointilaitteet. Tampere: Aarre Lehtimäki. Viitattu 2.4.2021.

Leino, K. & Meuronen, I. 1987, Hitsauskiinnittimen suunnittelu. Mänttä: Metalliteollisuuden kustannus Oy. Viitattu 4.4.2021.

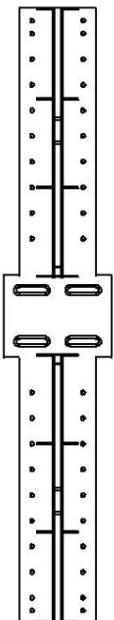
Lepola, P. & Ylikangas, R. 2016, Hitsaustekniikka ja teräsrakenteen. Helsinki: Sanoma Pro Oy. 1.4.2021.

Stairon Oy www-sivut. Viitattu 29.3.2021. <http://www.stairon.fi>

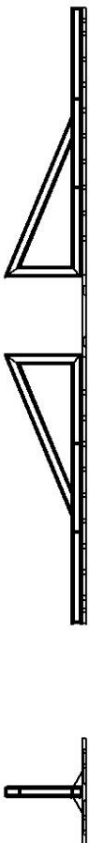
2

1

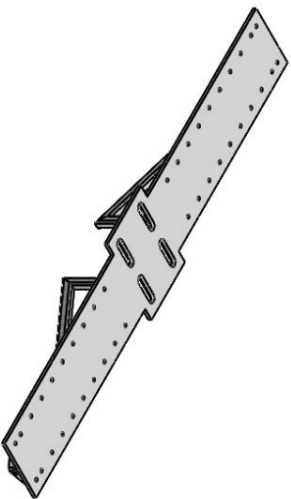
B



B



A

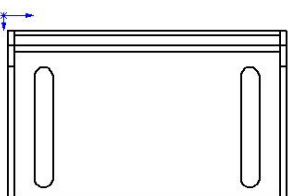


A

[illegible]

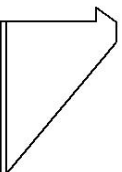
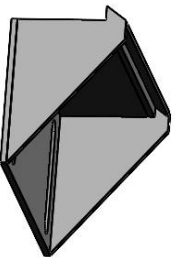
2

—



B

A



A

[illegible]

