



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Jere Leinonen

# Hitsausrobotin etäohjelmoinnin käyttöönotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

24.8.2019

Tekijä Otsikko	Jere Leinonen Hitsausrobotin etäohjelmoinnin käyttöönotto
Sivumäärä Aika	28 sivua + 2 liitettä 24.8.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Antti Liljaniemi Projekti-insinööri Mikael Hilden
<p>Tämän insinööriyön aiheena oli robottien etäohjelmoinnin käyttöönotto yrityksessä Yaskawan MotoSim-ohjelmalla. Tavoitteena oli suunnitella sekä valmistaa kokoonpanoteline Pullman-kattoon asennettavalle kääntövuoteelle ja siirtää se käsin hitsauksesta robottihitsaukseen, sekä ohjelmoida kyseinen tuote MotoSim-ohjelmalla.</p> <p>Työssä käytettiin hyväksi alan kirjallisuutta ja aiempaa kokemusta robottihitsauksesta. Työn aikana tutkittiin robottien etäohjelmointia ja niiden ohjelmoimiseen käytettävää MotoSim-ohjelmaa.</p> <p>Lopputuloksena syntyi toimiva kokoonpanoteline robottihitsausta varten Pullman-kääntövuoteelle. Tämän tuotteen myötä tehtiin yrityksessä ensimmäinen etäohjelmoitu hitsausohjelma robotille sekä varmistettiin ohjelman toimivuus ja mallinnetun robottisolun paikkansa pitävyys.</p> <p>Työssä huomattiin, että etäohjelmointi on nopeampaa kuin opettamalla ohjelmointi. Etäohjelmoitu ohjelma joudutaan kuitenkin tarkistamaan robotilla ennen tuotannon aloittamista. Hitsausrobotille jää joka tapauksessa enemmän tuotantoaikaa, kun hitsausohjelmat tehdään etäohjelmoimalla.</p>	
Avainsanat	Etäohjelmointi, hitsausrobotti, MotoSim, MIG/MAG

Author Title Number of Pages Date	Jere Leinonen Remote Programming of a Welding Robot 28 pages + 2 appendices 24 August 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Antti Liljaniemi, Senior Lecturer Mikael Hilden, Project Manager
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to bring to use the remote programming of a welding robot. The aim was to design and produce a jig for a Pullman ceiling mounted foldable bed and transfer it from hand welding to robot welding. This product was programmed with the MotoSim program.</p> <p>Previous experience of welding robots and literature of this field were utilized in this study. Remote programming of robots as well as the MotoSim software used in their programming were studied during the study.</p> <p>As a result, a functional jig was created for the Pullman foldable bed. With this product, the functionality of the program was ensured and the accuracy of the modeled robot cell was checked as well. Also, the first remote programmed welding program was created for the company.</p> <p>It was discovered that remote programming is faster than teaching programming. However, the remote-programmed program must be checked with a real robot before the production process can be started. In any case, the welding robot will have more production time available, when welding programs are done remotely.</p>	
Keywords	Remote programming, welding robot, MotoSim, MIG/MAG

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yritysesittely	2
3	Robottihitsaus	3
3.1	Nivelvarsirobotti	3
3.2	MIG/MAG-hitsaus	4
3.2.1	Edut ja haitat	4
3.2.2	Suojakaasu	5
3.2.3	Kaarityypit	6
3.3	MIG/MAG-hitsaus robotilla	8
3.3.1	Railonhaku	10
3.3.2	Railonseuranta	10
3.4	Robotin ohjelmointi	12
3.4.1	Johdattamalla ohjelmointi (online)	13
3.4.2	Opettamalla ohjelmointi (online)	13
3.4.3	Etäohjelmointi (offline)	14
3.4.4	VR-ohjelmointi (offline)	14
4	Tuotteen robotisointi	15
4.1	Käytettävä laitteisto	15
4.2	Jigin suunnittelu	16
4.3	Jigin valmistus	18
4.4	Etäohjelmointi	19
4.4.1	3D-mallin lisääminen robottisoluun	20
4.4.2	Hitsausohjelman teko	21
4.4.3	Ohjelman läpikäyminen robotilla	23
5	Etäohjelmoinnin hyödyt	26
6	Yhteenveto	27

Liitteet

Liite 1 Kattoon asennettava Pullman-kääntövuode

Liite 2 Jigin piirustukset

## Lyhenteet

CAD	<i>Computer Aided Design</i> . Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> . Tietokoneavusteinen valmistus.
MAG	<i>Metal-arc Activ Gas</i> . Puoliautomaattinen hitsausmenetelmä.
MIG	<i>Metal-arc Inert Gas</i> . Puoliautomaattinen hitsausmenetelmä.
USB	<i>Universal Serial Bus</i> . Sarjaväyläarkkitehtuuri ohislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.
VR	<i>Virtual Reality</i> . Tietokoneella luotu keinotekoinen ympäristö.

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on ottaa käyttöön hitsausrobottien etäohjelmointi SBA Interior Oy:llä. Kyseisellä yrityksellä on kolme hitsausrobottisolua, joita ohjelmoidaan opetusmenetelmällä. Opettamalla ohjelmointi tapahtuu siten, että robotin käyttäjä ohjelmoi robottia sen välittömässä läheisyydessä. Opettamalla ohjelmointi vaatii robotin ja hitsattavan tuotteen ohjelmoinnin ajaksi. Etäohjelmoinnilla saataisiin roboteille enemmän tuotantoaikaa. Etäohjelmointi tehdään mallinnetun robottisolun, kokoonpanotelineiden ja valmistettavan tuotteen avulla etänä. Yritykseen oli hankittu Yaskawan MotoSim-etäohjelmointiohjelma, mutta sitä ei ollut vielä otettu käyttöön

Työssä käsitellään Yaskawa-merkkisiä nivelvarsirobotteja robotisoidussa MIG/MAG-hitsauksessa (*Metal-arc Inert Gas/Metal-arc Active Gas*, puoliautomaattinen hitsausmenetelmä). Työn tavoite on ottaa robottien etäohjelmointi käyttöön yrityksessä käyttäen Yaskawan MotoSim-ohjelmaa. Toisena tavoitteena on siirtää yrityksen oma tuote, kattoon asennettavan Pullman-kääntövuoteen runko (liite 1), robottihitsaukseen. Tätä varten täytyy suunnitella ja valmistaa jigi eli kokoonpanoteline kyseiselle tuotteelle. Lisäksi selvitetään etäohjelmoinnin hyödyt verrattuna opettamalla ohjelmointiin.

MotoSim-ohjelma on kalibroitu paikan päällä Yaskawa Motomanin toimesta, joten työssä keskitytään etäohjelmoinnin osalta enemmän itse ohjelmointiin. Lisäksi varmistetaan mallinnetun robottisolun vastaavuus oikeaan robottisoluun.

Pullman-kääntövuoteen runkoa hitsataan tällä hetkellä käsin, ja tarkoitus on siirtää tuotteen hitsaus robotille. Kääntövuoteesta on olemassa monta eri versiota, joista kahta versiota haluttaisiin hitsata jatkossa robotilla. Näiden kahden version erona on ainoastaan kääntövuoteen pituus. Jigi on suunniteltava niin, että siinä voidaan hitsata molempia versioita.

## 2 Yritysesittely

SBA Interior Oy on yritys, joka valmistaa omia tuotteinaan huonekaluja ja seinäelementtejä laivateollisuuteen sekä valmistaa alihankkijana ohutlevytuotteita teollisuuden eri tarpeisiin. SBA Interior on perustettu vuonna 1985 Mustiolla 1800-luvun lopulla rakennettuun ruukkirakennukseen (kuva 1). Yritys työllistää tällä hetkellä noin 130 henkilöä. Kaksi vuotta sitten SBA työllisti noin 70 henkeä. Rakennusta on remontoitu sekä siihen on rakennettu lisäsiipiä.

SBA Interior osti talvella 2018 Raaseporista vanhan teollisuusrakennuksen, tälle oli tarvetta, sillä yritys on laajentunut ja entinen vuokralla oleva ruukkirakennus kävi liian pieneksi. Yritys muutti kesällä 2019 uusiin toimitiloihin.

SBA Interiorilla on kolme tulosityksikköä: Marine, Components ja Materials. Marine-yksikkö on vastuussa omista tuotteista (huonekalut ja seinäelementit) ja toimii maailmanlaajuisesti. Components on vastuussa alihankintapuolesta ja toimii lähinnä kotimaan markkinoilla. Materials tarjoaa paloratkaisuja rakennusteollisuudelle sekä erilaisia kääntövuoteita julkisrakentamisen kohteisiin ja vapaa-ajan asuntoihin.



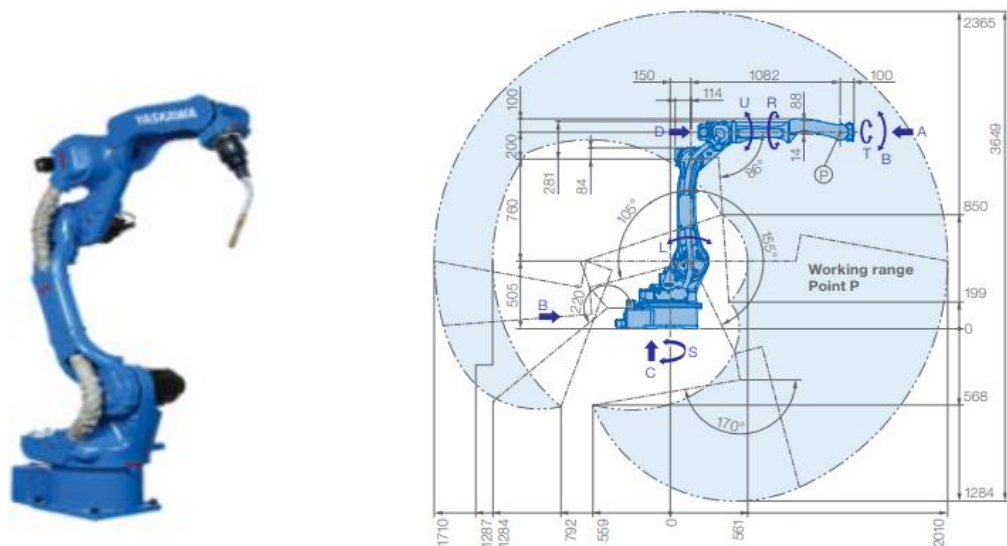
Kuva 1. SBA Interior Mustiolla.



### 3 Robottihitsaus

#### 3.1 Nivelvarsirobotti

Yleisin teollisuusrobottityyppi on nivelvarsirobotti, jonka yleensä neljästä kuuteen vapausastetta ovat kiertyviä. Tämän robottityypin kantokyky on pieni, mutta sitä vastoin sen ulottuvuus on suuri pallonmuotoisen työalueen takia (kuva 2).



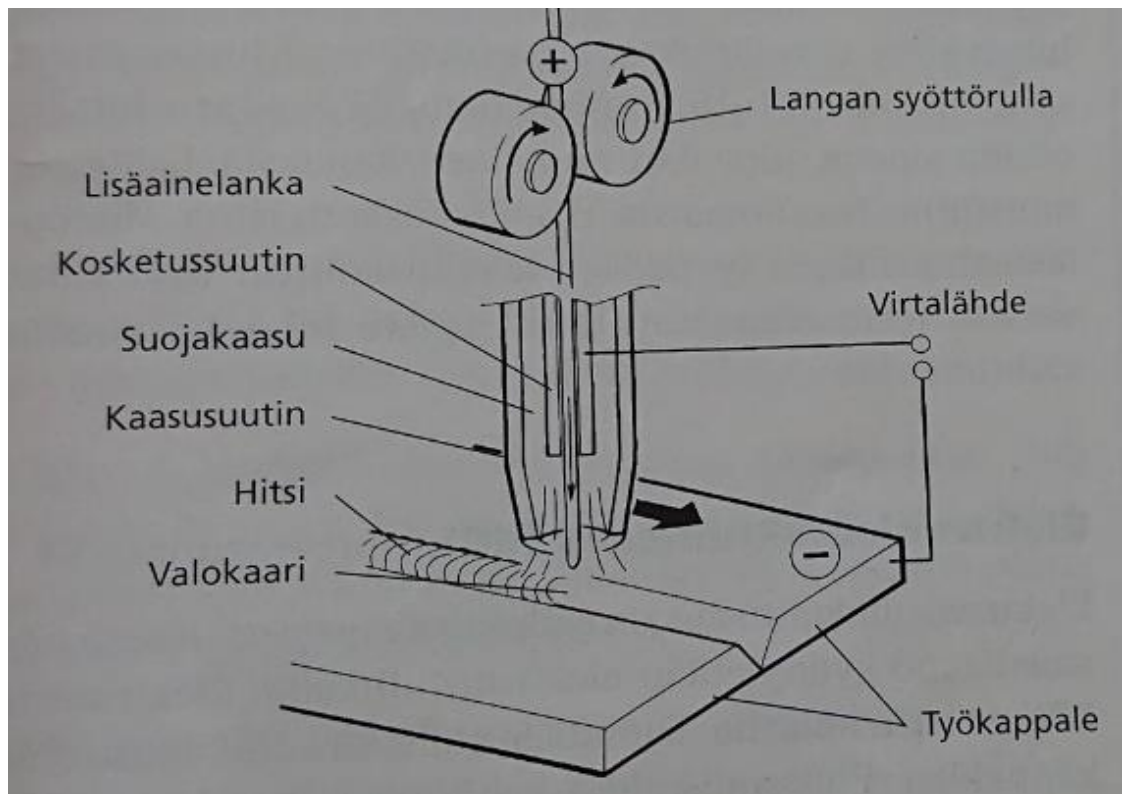
Kuva 2. MOTOMAN MA2010 -robotti [1].

Robotti koostuu tukivarsista, joista kaksi liikkuu toistensa suhteen joko tietyn suoran suunnassa tai suoran ympäri. Tätä kuvitteellista akselia kutsutaan niveleksi. Nivelten avulla tukivarret muuttavat keskinäisiä asentoja ja asemiaan. Yhtä robotin niveltä sanotaan vapausasteeksi. Yhtä vapausastetta kohti on yleensä yksi toimilaite, esimerkiksi sylinterin tai moottori. Nivelvarsirobotissa kaikki vapausasteet ovat kiertyviä. [2, s. 15–16.]

Monikäyttöisimpiä robotteja ovat robotit, joilla on kuusi vapausastetta ja vähintään kolme vapausasteista on kiertyviä. Tällaisen robotin työkalun saa mihin tahansa asentoon ja paikkaan työalueella. Saavutettavia asemia rajoittavat nivelten mekaaniset liikealueet ja robotin sallittava työalue. Kuuden vapausasteen haittana on vapausasteiden mekaniikan ja ohjauksen korkea hinta. [2, s. 16.]

### 3.2 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on puoliautomaattinen hitsausmenetelmä (kuva 3), jossa lisäaineena käytettävää lankaa syötetään automaattisesti vakionopeudella suojakaasulla suojattuun hitsauskohtaan, missä lisäainelangan kärjen ja perusaineen välissä palava valokaari sulattaa lisä- ja perusainetta. [3, s. 103.]



Kuva 3. MIG/MAG-hitsauksen toimintaperiaate [3, s. 11].

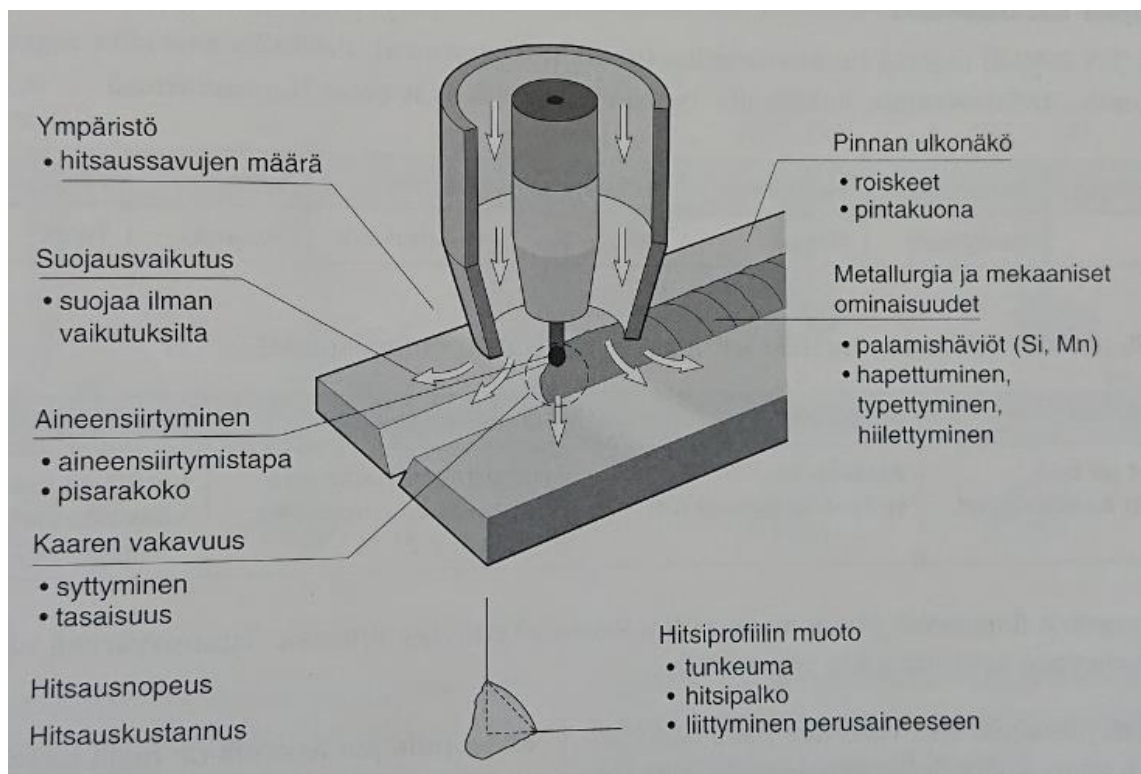
#### 3.2.1 Edut ja haitat

MIG/MAG-hitsauksen prosessin hyvinä puolina voidaan pitää hyvää tuottavuutta sekä lisäaineen edullisuutta. Kyseinen prosessi soveltuu myös ohutlevyjen hitsaukseen sekä sillä voidaan hitsata kaikissa asennoissa. MIG/MAG-hitsaus ei myöskään muodosta kuo-  
naa. [3, s. 103.]

Huonoina puolina voidaan pitää arkuutta vedolle ja tuulelle suojakaasun takia. Hitsausarvojen säätö on hankalampaa kuin puikkohitsauksessa sekä lisäainevalikoima on suppeampi. [3, s. 103.]

### 3.2.2 Suojakaasu

Suojakaasun tehtävä kaarihitsauksessa on suojata hitsisulaa, lisäainelangan päätä sekä sulia lisäainepisaroita ilman hapelta ja typeltä. Suojakaasu myös jäähdyttää hitsauspol-tinta. Suojakaasu vaikuttaa lisäaineen siirtymiseen, valokaaren vakauteen, tunkeuman syvyyteen ja muotoon, roiskeiden kokoon ja määrään sekä hitsin lujuusominaisuuksiin, joten suojakaasulla on tärkeä rooli kaarihitsauksessa (kuva 4).



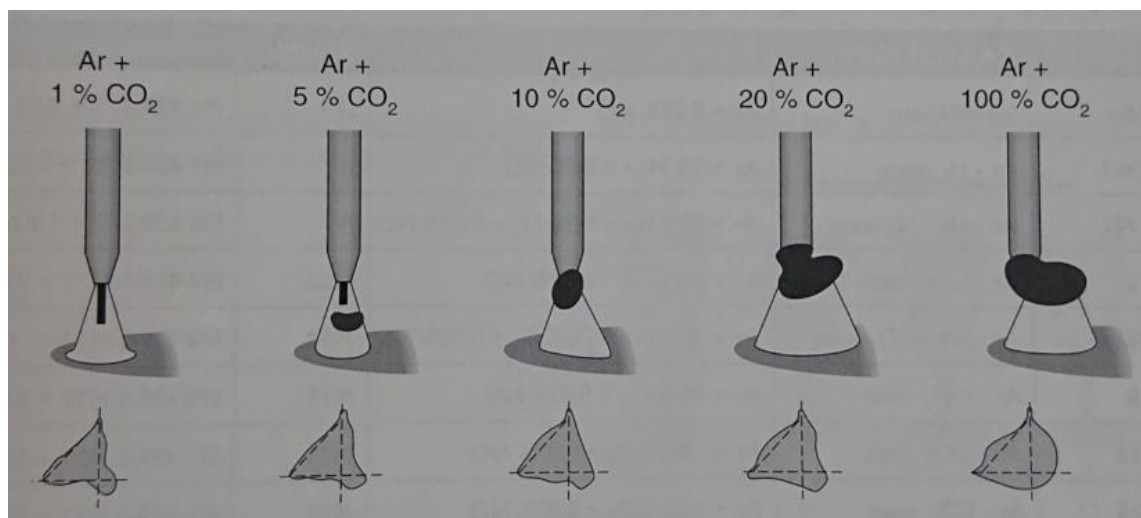
Kuva 4. Suojakaasun vaikutukset [3, s. 111].

Tyypillisimmin MIG/MAG-hitsauksessa käytetään suojakaasuna argonia, hiilidioksidia tai näiden sekoitusta.

Argon (Ar) on väritön, hajuton, tukahduttava ja ilmaa raskaampi jalokaasu. Argon on inertti kaasu, joka ei reagoi kemiallisesti hitsisulan kanssa. Tämän takia argon on pääkaasuna useimmissa MIG/MAG-hitsauksen kaasuissa.

Hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) on nesteytyvä väritön, hajuton, tukahduttava ja ilmaa raskaampi kaasu. Hiilidioksidi on hapettava kaasu, joka reagoi hitsisulan kanssa. Argon-hiilidioksidi-kaasuseoksia käytetään terästen MIG/MAG-hitsauksessa.

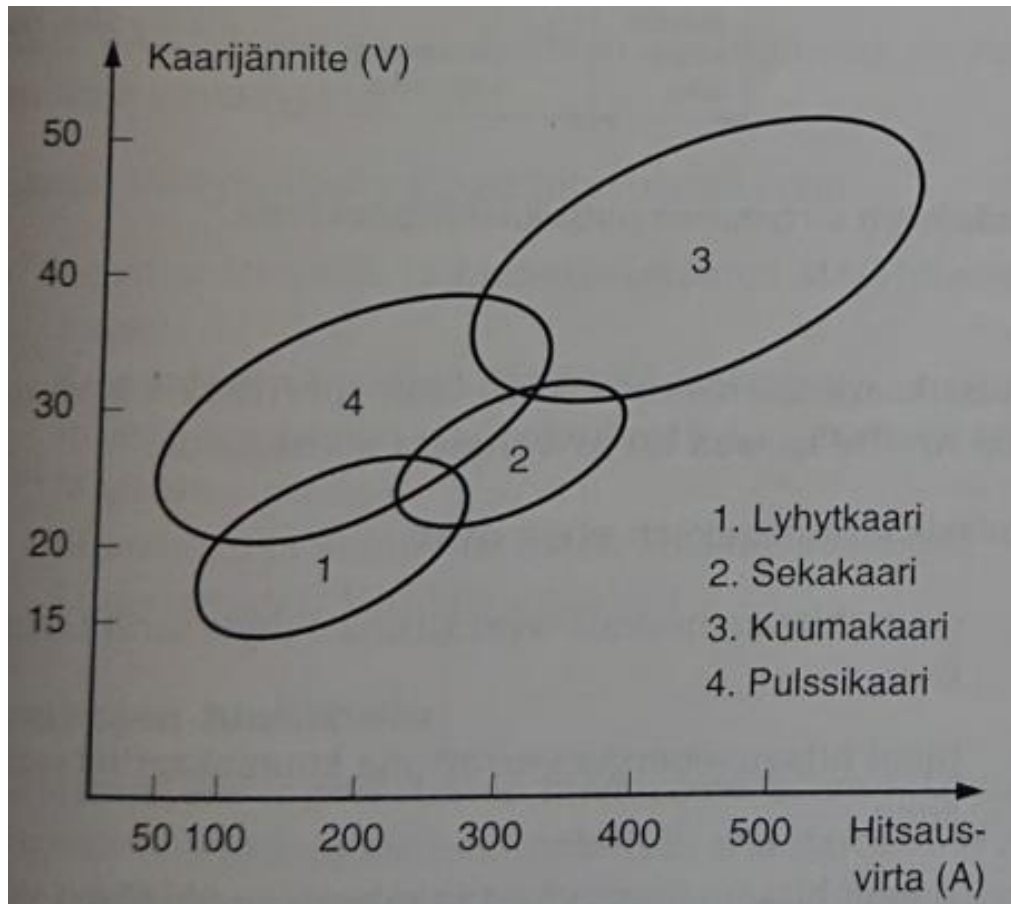
Puhdasta argonia ei teräksille yleensä käytetä sen aiheuttaman valokaaren sivuttaisuuntaisen rauhattomuuden vuoksi. Valokaaren rauhattomuus puhtaalla argonilla johtuu hitsisulan pinnan hyvästä sähköjohtavuudesta, jolloin valokaari suuntautuu sivuttaisuuntaisesti ja sen kohdistaminen on vaikeaa. Pienellä hiilidioksidilisäyksellä (kuva 5) muodostuu sulan pintaan oksidifilmi, joka huonon sähköjohtavuuskyvyn ansiosta pakottaa valokaaren kohdistumaan pienelle alueelle ja vakauttaa valokaaren. Yleensä seoskaasut sisältävät hiilidioksidia 1–25 % ja argonia 75–99 %. [3, s. 109–113.]



Kuva 5. Suojakaasun vaikutuksen hitsaukseen [3, s. 113].

### 3.2.3 Kaarityypit

MIG/MAG-hitsauksessa voidaan hitsata erilaisilla kaarityypeillä riippuen parametrien säädöistä ja suojakaasusta. Kaarityyppejä on neljä; lyhytkaari, sekakaari (väliskaari), kuumakaari ja pulssikaari (kuva 6).



Kuva 6. Eri kaarityypit [3, s. 115].

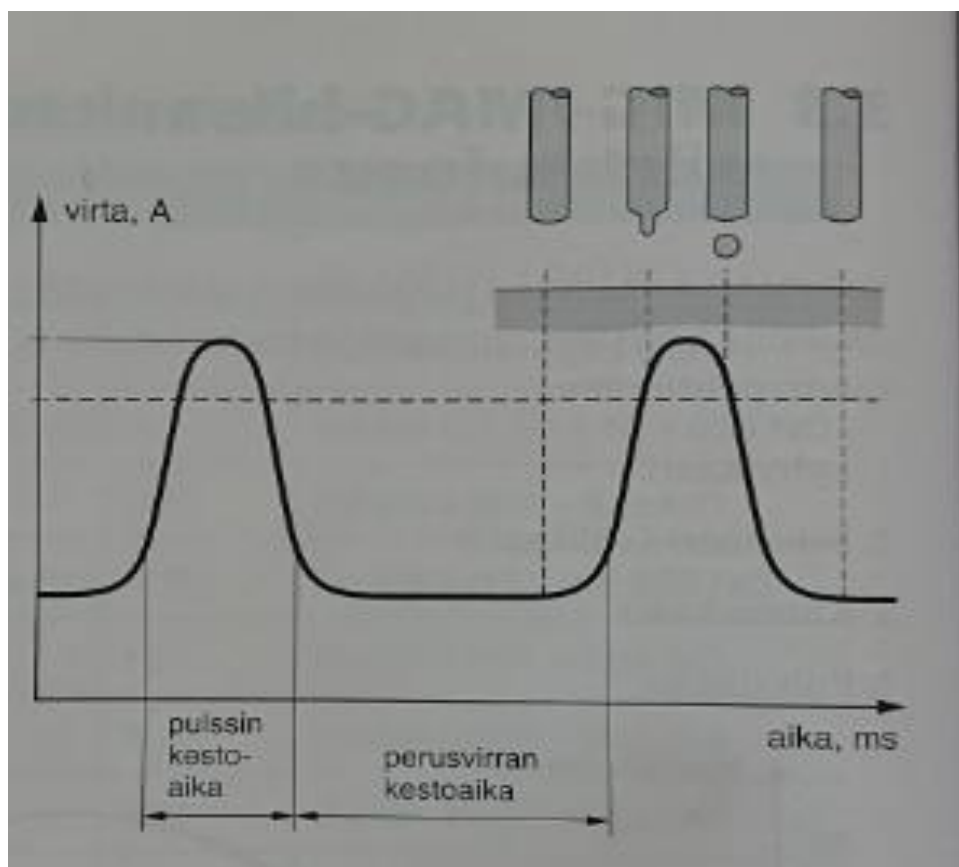
Lyhytkaarihitsauksessa valokaari sammuu jaksoittain lisäainelangan ja perusaineen välillä syntyvien oikosulkujen aikana. Kaarijännite on lyhytkaarihitsauksessa niin alhainen, ettei valokaaren teho ehdi sulattamaan lisäainetta vaan lanka ehtii törmätä ja aiheuttaa oikosulun perusaineeseen. Oikosulku ja valokaarivaiheet tapahtuvat erittäin nopeasti, 30–200 kertaa sekunnissa. Lyhytkaarihitsauksen hitsisula on hyvin hallittavissa kaikissa hitsausasennoissa. [3, s. 115.]

Kuumakaarihitsauksessa kaariteho on niin suuri, että valokaari palaa jatkuvasti ilman oikosulkuvaiheita. Kuumakaaren käyttö merkitsee suurta hitsaustehoa, mikä johtaa suureen lisäainemäärään ja suureen tunkeumaan. Suuren hitsisulan ansoista kuumakaari ei sovellu asentohitsaukseen. Kuumakaarihitsausta käytetään yleensä paksujen perusaineiden hitsaukseen. [3, s. 115.]

Sekakaari on lyhyt- ja kuumakaaren välissä oleva alue. Tällä alueella kaariaika muodostuu pitkäksi ja oikosulkuvaiheet harvoiksi. Lisäaineen siirtyminen tapahtuu

oikosulkusiirtymisenä suurina pisaroina ja kaariaikana suihkumaisena. Oikosulut, suuri-pisarainen lisäaineen siirtyminen ja kaaripaine aiheuttavat runsaasti roiskeita. Sekakaarialueella hitsaamista pyritään yleensä välttämään. [3, s. 115.]

Pulssikaari on oikosuluton kaari, jossa lisäainepisara irrotetaan lisäainelangan kärjestä virtapulssia käyttäen (kuva 7). Pulssikaari muodostetaan syöttämällä virtapulsseja perusvirran päälle, jolloin lisäaine siirtyy suihkumaisena korkean virtapulssin aikana. Jännite vaihtuu vastaavasti virtapulssin ajalla. Perusvirta pitää lisäainelangan kärjen ja hitsin sulana. Pulssivirta muodostaa sulan langan kärkeen pisaran, joka irtoaa ja sinkoutuu perusaineen puolelle. Pulssikaaren taajuus on noin 20–400 Hz. [3, s. 116.]



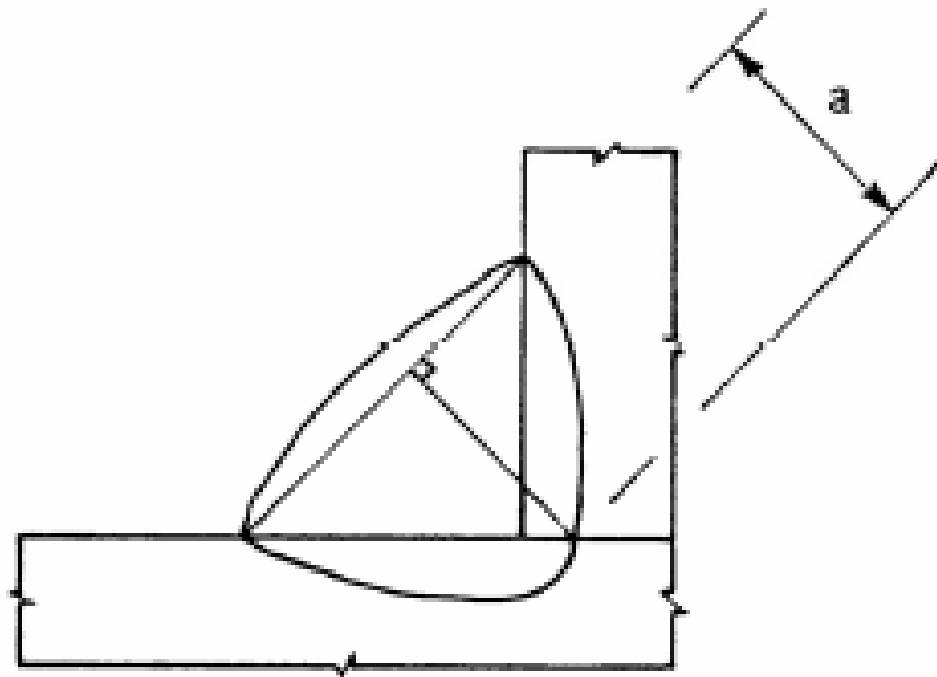
Kuva 7. Lisäaineen siirtyminen pulssihitsauksessa [3, s. 116].

### 3.3 MIG/MAG-hitsaus robotilla

Robottihitsauksella lisätään laatua ja tuottavuutta. MIG/MAG-hitsaus robotilla tapahtuu samalla tavalla kuin käsin hitsaten. Erona on, että robotti hitsaa tasaista laatua, eikä väsy

pitkissäkään hitsisaumoissa. Robottihitsaus parantaa myös hitsaajien työturvallisuutta ja -ergonomiaa. Hitsaajat eivät altistu niin paljon haitalliselle UV-säteilylle ja hitsauksen savukaasuille. [4.]

Robotin tasaisella laadulla voidaan myös tunkeumaa hallita paremmin, mikä mahdollistaa pienemmän näkyvän hitsisauman käytön, sillä a-mittaan lasketaan mukaan tunkeuman osuus. A-mitta on hitsin poikkileikkauksen pituus pienahitsissä ja tunkeuma on perusaineeseen sisälle tunkeutunut lisäaine (kuva 8). [5, s. 45.]

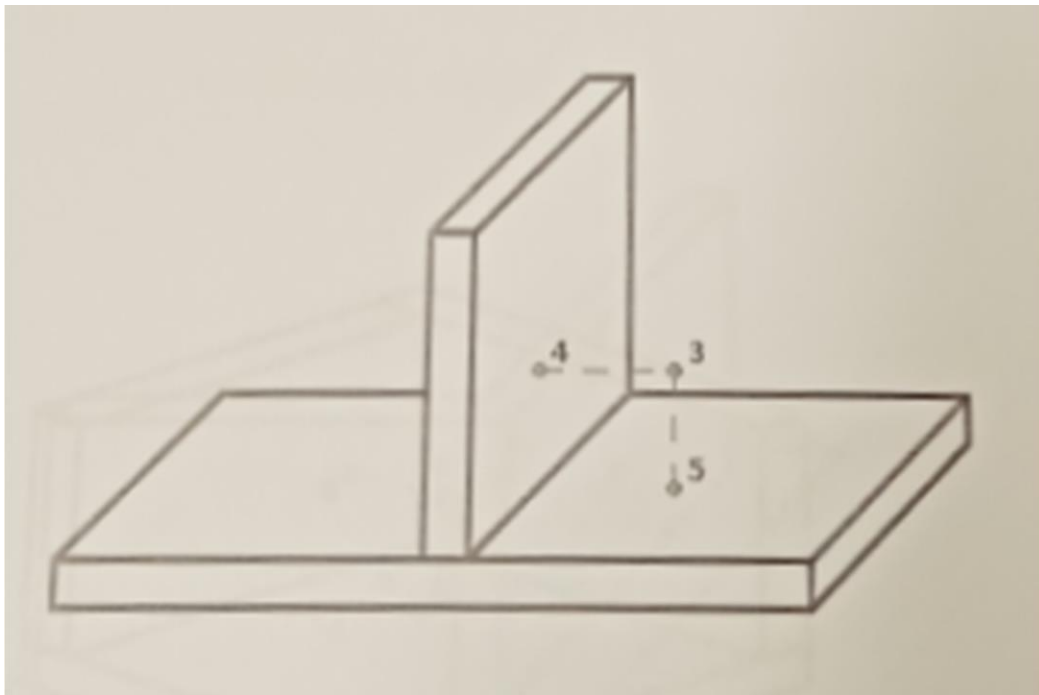


Kuva 8. A-mitta [5, s. 45].

Robottihitsaus toteutetaan yksinkertaisimmillaan siten, että opetetaan vain hitsisauman aloitus- ja lopetuspisteet sekä hitsauksen aloitus- ja lopetuskäskyt. Tämä ei huomioi mahdollisia hitsattavan kappaleen paikoitus- ja mitoitusvirheitä. Jotta hitsauksesta saataisiin toimintavarmempaa, voidaan käyttää railonhakua ja railonseurantaa. [6, s. 3.]

### 3.3.1 Railonhaku

Railonhakutoiminnan avulla voidaan korjata hitsattavan kappaleen virheellisestä asenninnasta tai virheellisestä mitoituksesta johtuvat virheet hitsauspisteiden paikoituksissa. Kuvassa 9 näkyy kahden suunnan railonhaun referenssipisteet. Referenssipiste 3 on lähestymispiste, referenssipiste 4 on pystysuuntaisen seinän kosketuspiste ja referenssipiste 5 on vaakasuuntaisen seinän kosketuspiste. Railonhakua varten tarvitsee vain opettaa referenssipisteet ja kutsua railonhaun aliohjelma. Yaskawa Motoman DX200 -järjestelmässä on valmiiksi 7 eri railonhakuohjelmaa erilaisille hauille. [6, s. 3.]

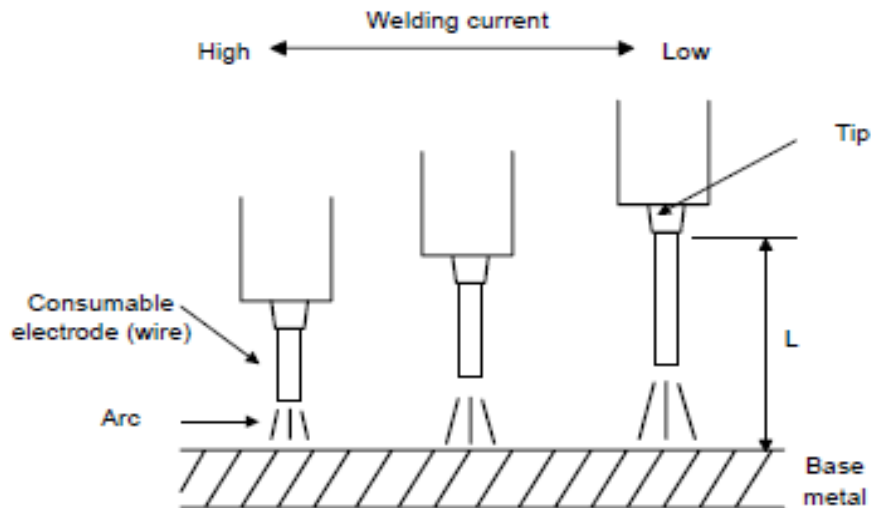


Kuva 9. Railonhaku [6, s. 19].

### 3.3.2 Railonseuranta

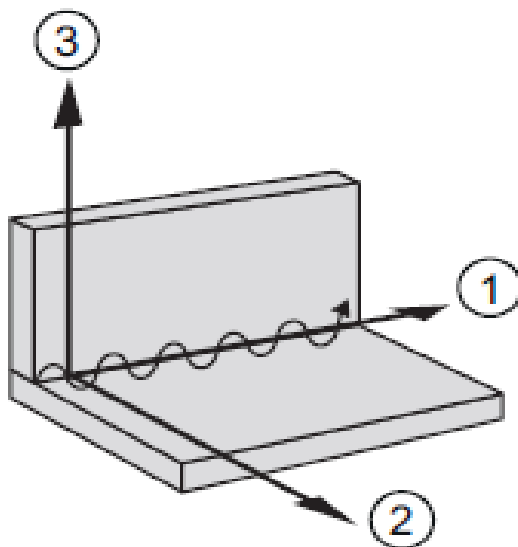
Railonseurantatoiminnon avulla robotti korjaa hitsauspisteiden välisellä matkalla tapahtuvia paikoitus- ja muotovirheitä. Kun hitsataan virtalähteellä, jolla on vakiojännite, hitsausvirta vaihtelee etäisyyden  $L$  muuttuessa kuvassa 10 esitetyllä tavalla. Etäisyys  $L$  on hitsaussuuttimen ja perusaineen välinen etäisyys. Railonseurantatoiminto toimii tämän hitsausvirran vaihtelun perusteella. [7, s. 3.]





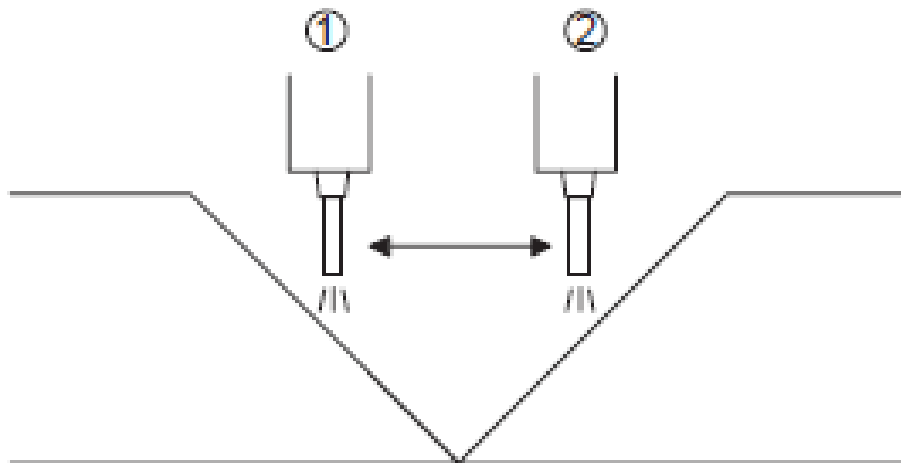
Kuva 10. Railonseuranta [7, s. 16].

Vaaputusta käytetään usein railonseurannan kanssa. Vaaputus (kuva 11) on ohjelmoidun hitsiradan päällä tehtyä levitysliekkettä. Vaaputuksella saadaan yleensä parempi hitsin tunkema aikaan, ja se myös helpottaa railonseurantaa.



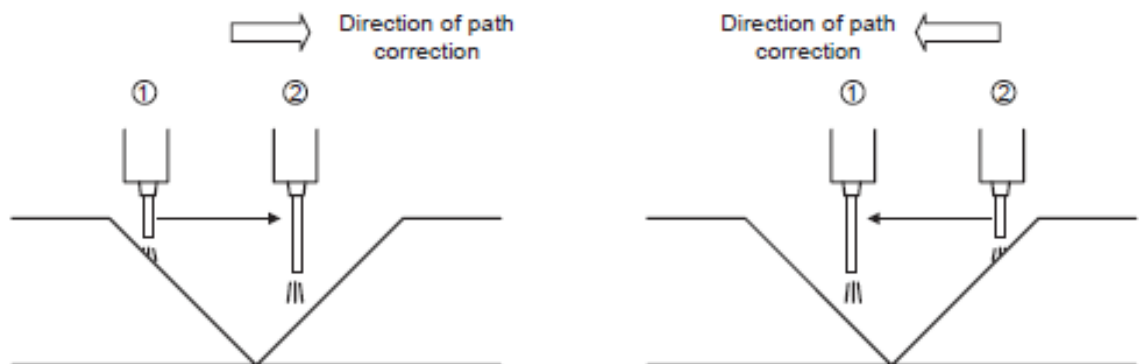
Kuva 11. Vaaputus [8, s 113].

Hitsauksen aikana, kun robotti vaaputtaa sivulta sivulle, kulkee pisteissä 1 ja 2 (kuva 12) yhtä suuri virta hitsaussuuttimen ja perusaineen välillä. Näin ollen robotti tietää kulkevasa keskellä hitsirailoa. [7, s. 16.]



Kuva 12. Railonseuranta ja vaaputus [7, s. 16].

Jos robotti eksyy hitsirailosta sivusuunnassa, kulkee kuvan 13 mukaisesti pisteissä 1 ja 2 eri suuruinen virta perusaineen ja hitsaussuuttimen välillä. Tällöin robotti lähtee korjaamaan liikettä pyrkien tasaamaan virtaeron. [7, s. 16.]



Kuva 13. Railonseurannan sivusuuntainen korjaus [7, s. 16].

### 3.4 Robotin ohjelmointi

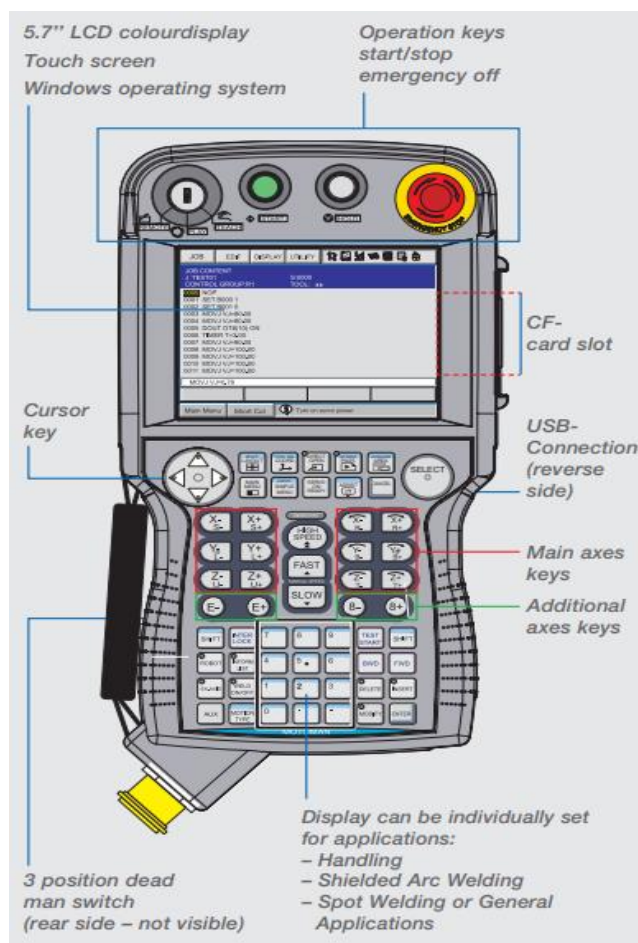
Robotteja voidaan ohjelmoida useammalla eri tavalla. Ohjelmointitavat jaetaan kahteen ryhmään, online- ja offline-ohjelmointiin. Online-ohjelmointi tapahtuu robotin välittömässä läheisyydessä ja vaatii robotin ohjelmoinnin ajaksi. Offline-ohjelmointi voidaan suorittaa etänä eikä robottia tarvita ohjelmoinnin aikana.

### 3.4.1 Johdattamalla ohjelmointi (online)

Johdattamalla ohjelmointi tapahtuu ”taluttamalla” robottia. Johdattamalla ohjelmoinnin on mahdollistanut voimaan reagoivien anturien ja turvalaitteiden kehittyminen. Anturit tunnistavat ihmisen robottiin kohdistamat voimat, jolloin robotti liikkuu voiman suuntaan. Liikepisteet ja käskyt tallennetaan yksi kerrallaan. Tämä mahdollistaa ohjelmoinnin ilman suurempaa ohjelmointikokemusta. [2, s. 78.]

### 3.4.2 Opettamalla ohjelmointi (online)

Opettamalla ohjelmoitaessa operaattori ohjaa robottia käsiohjaimella. Robotti ajetaan haluttuun pisteeseen ja liikepisteet sekä muut käskyt tallennetaan yksi kerrallaan. Käsiohjaimessa on yleensä x-, y- ja z-akseleiden suoraviivaiset ja ympyränkaaren interpoloinnin liikekäskypainikkeet (kuva 14) tai joystick, joilla robottia ohjataan. [2, s. 79–80.]



Kuva 14. Yaskawa DX200 -käsiohjain [9].

### 3.4.3 Etäohjelmointi (offline)

Etäohjelmointi tehdään tietokoneella ilman tuotantorobottia. Järjestelmä vaatii 3D-mallinnetun simulointimallin robottisolusta sekä jigeistä ja hitsattavista tuotteista. Ennen ohjelmoinnin aloittamista on robottisolusta tehty simulointimalli kalibroitava vastaamaan todellista robottisolua. Simuloinnissa voidaan testata robotin ulottuvuus hitsauksien osalta sekä varmistaa, ettei robotti törmää tai ylitä liikeratojaan. Tämä on suuri etu verrattuna muihin ohjelmointitapoihin. [2, s. 81–84.]

Etäohjelmointi perustuu robotin paikoituspisteisiin, kuten opettamalla ohjelmointikin. Paikoituspisteitä ja käskyjä voidaan tallettaa yksi kerrallaan tai voidaan myös hyödyntää 3D-mallin muototietoa, joka mahdollistaa nopean paikoituspisteiden generoinnin ja työkalun asennon säilyttämisen vakiona esimerkiksi käyrän ja tason suhteen samanaikaisesti [2, s. 85–87.]

### 3.4.4 VR-ohjelmointi (offline)

Virtuaalitodellisuus on nopeasti kehittyvä teknologia, joka tekee tuloaan myös robottien ohjelmointiin. Virtuaalitodellisuus (VR) on tietokoneella luotu keinotekoinen ympäristö. Käyttäjä voi VR-lasit päässään katsoa virtuaalista todellisuutta ja ohjelmoida robottia käden liikkeillä. VR-ohjelmoinnin etu on sen nopeus. Lisäksi se on helpompaa kuin ohjelma-koodin kirjoittaminen. Tämä johtuu siitä, että käyttäjä näkee robotin liikkeet edessään ja voi tehdä muutoksia saman tien. Pohjimmiltaan VR-tekniikka on uudenlainen käyttöliittymä 3D-CAD -järjestelmissä (*Computer Aided Desing*, tietokoneavusteinen suunnittelu) ja offline-ohjelmointityökaluissa jo pitkään käytetyille digitaalisille 3D-malleille. [10; 11.]

## 4 Tuotteen robotisointi

### 4.1 Käytettävä laitteisto

Jigi suunniteltiin yrityksen toiselle robottisolulle, jossa on Yaskawan MA2010-robotti TSL-600SN-radalla sekä Yaskawan VMF-750S5D-käsittelylaite. VMF-750S5D-käsittelylaitteen kiinnityslaippojen etäisyys toisistaan on 2 520 mm (kuva 15). Kiinnityslaippojen keskipisteen ja käsivarren (kuva 25, osa D) välinen etäisyys on 750 mm, joten jigin suurin sallittu leveys on 1 500 mm. Suurin sallittu hyötykuorma on 750 kg. Jigi oli suunniteltava niin, että edellä mainitut mitat eivät ylitä. Aiemmat käsittelylaitteeseen tehdyt jigat on tehty 2 495 mm:n pituisiksi, joten se valittiin myös nyt suunniteltavan jigin pituudeksi.

#### Main parts VMF-500/750S5D

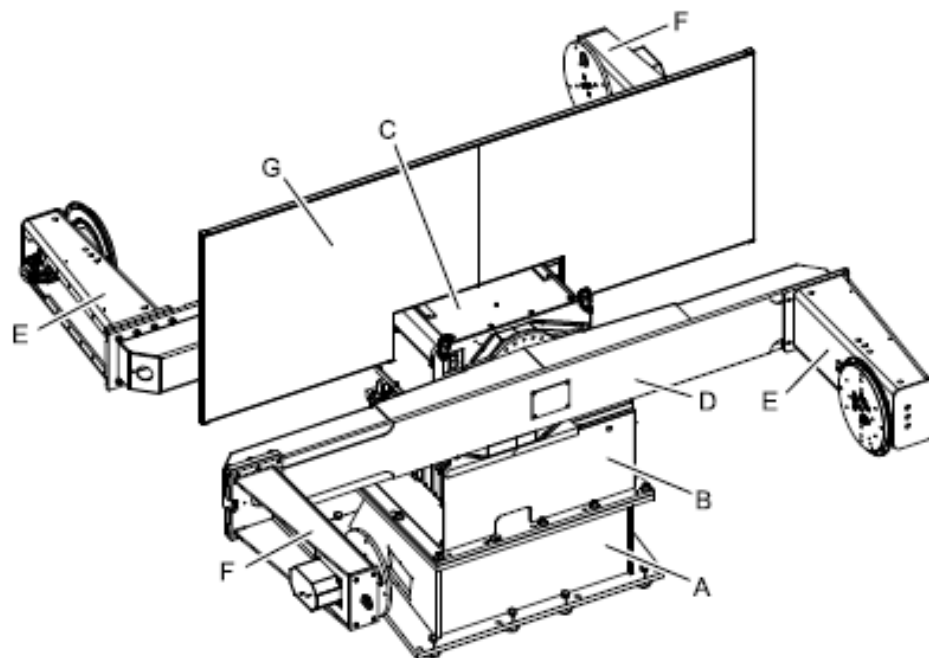
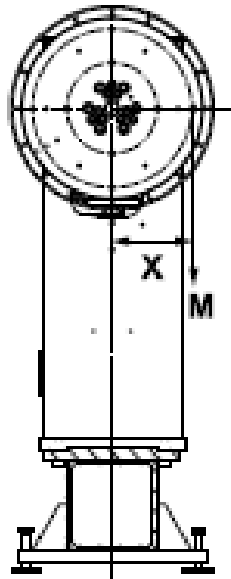


Fig. 1 Positioner VMF-500/750S5D

- |                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| A. Foot                     | E. Headstock    |
| B. Y-unit                   | F. Tailstock    |
| C. Twin X-unit (index unit) | G. Glare shield |
| D. Arm                      |                 |

Kuva 15. VMF-750S5D-käsittelylaite [12, s. 9].

Kääntölaitteen valmistaja on määritellyt kiinnityslaipan keskipisteen ja jiggin painopisteen maksimi etäisyydeksi 145 mm 750 kg:n massalla (kuva 16).



### Maximum x-offset rotating axis VMF-750S5D

Maximum static torque of rotating axis = 1063 Nm

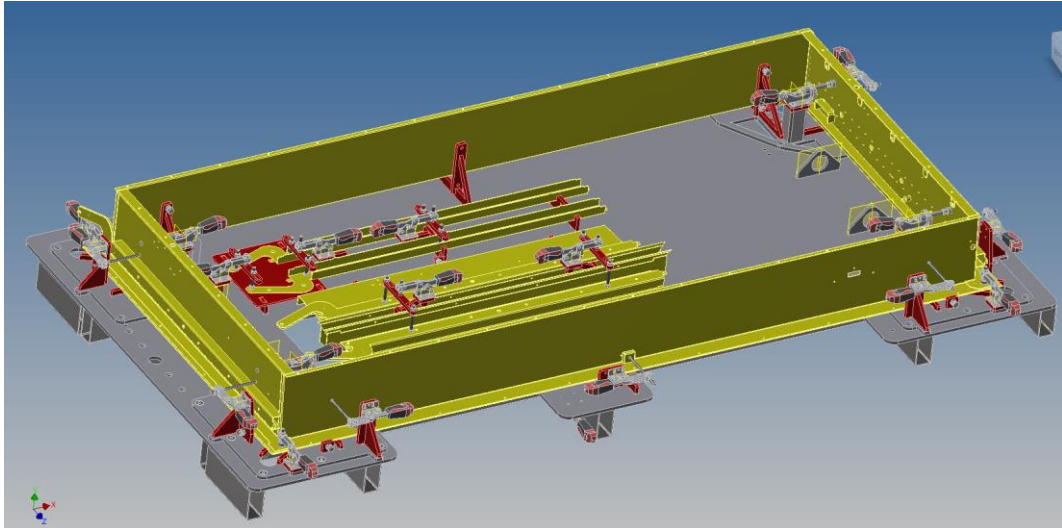
**M** Maximum payload 750 kg (incl. fixtures)

**X** Maximum offset from rotation centre at 750 kg = 145 mm

Kuva 16. Kääntölaitteen painopisteen maksimi etäisyys [12, s. 31].

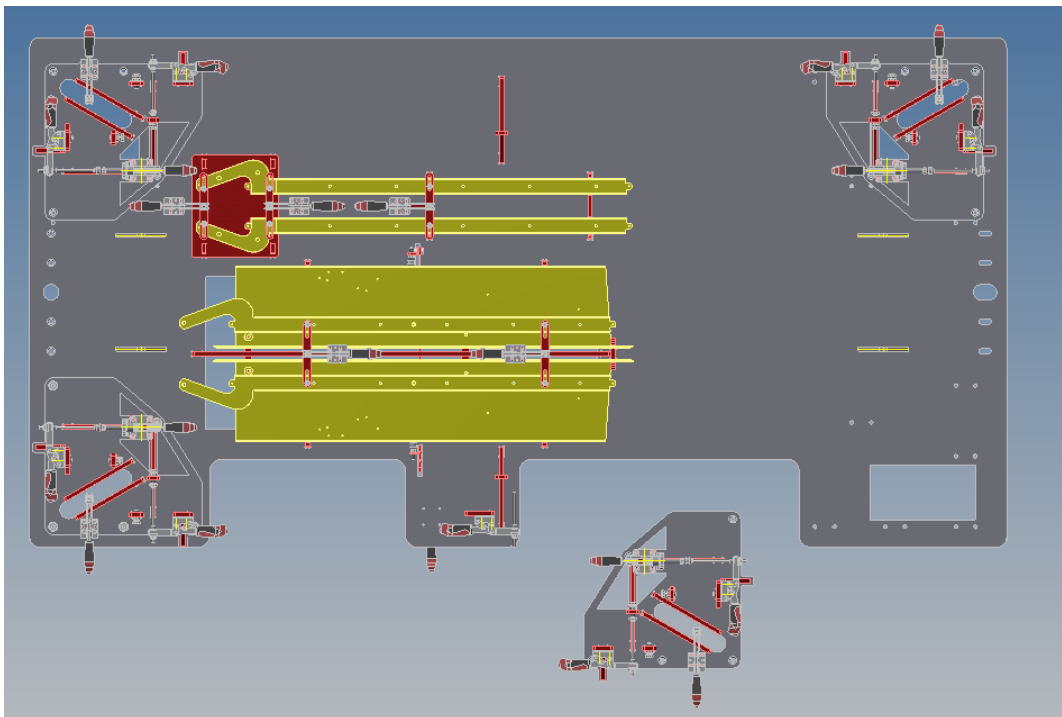
## 4.2 Jigin suunnittelu

Jigi mallinettiin Autodesk Inventor -ohjelmalla. Mallinnetuista osista ja kokoonpanoista luotiin myös piirustukset (liite 2). Jigistä mallinnetussa 3D-kuvassa (kuva 17) on havainnollistamisen parantamiseksi hitsattavat tuotteet merkitty keltaisella, pohjalevy ja tukirakenteet harmaalla ja rajoittimet sekä puristimet punaisella värillä. Jigi suunniteltiin siten, että keskellä hitsataan Pullman-kääntövuoteen sivulaidat sekä sivulaitojen u-profiilit ja näiden ympärille tulee itse kääntövuoteen runko. Näin saatiin hitsattua sivulaidat samalla ohjelmalla ja jigillä rungon kanssa.



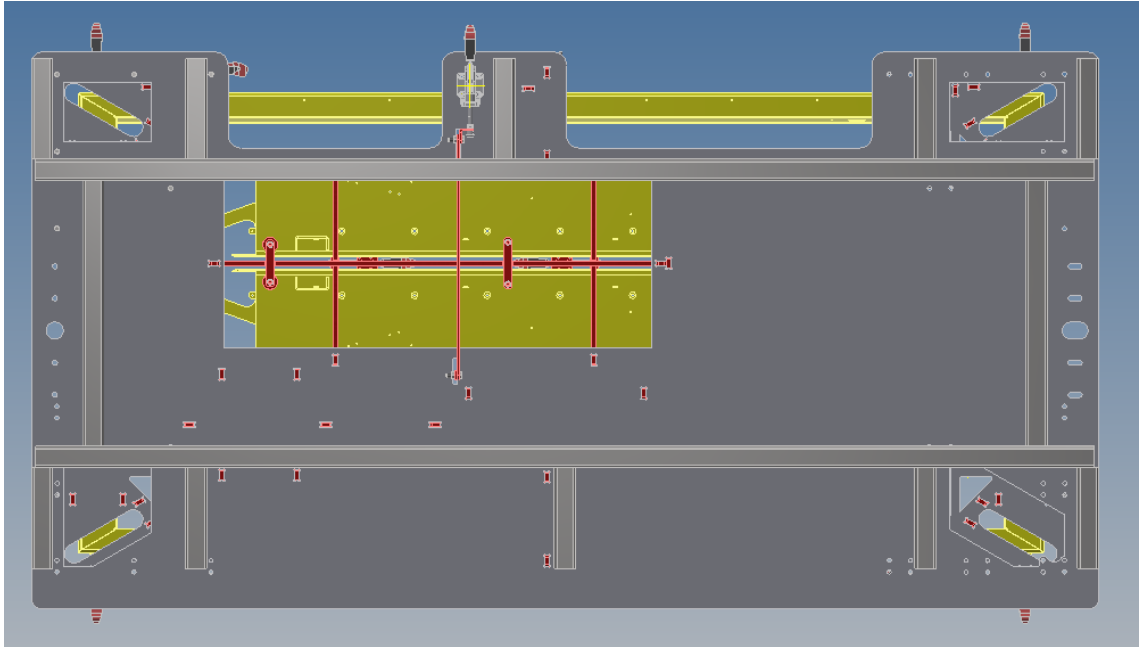
Kuva 17. Jigi.

Koska hitsattavista Pullman-kääntövuoteista oli kaksi eri pituista versiota, suunniteltiin jigin reunoihin ruuveilla kiinnitettävät kiinnitinkokoonpanot rajoittimiseen. Kuvassa 18 on oikeanpuoleinen alakiinnitinkokoonpano siirretty, jotta nähdään pohjalevyssä olevat kiinnitysreiät eri pituisille verioille. Kuvassa näkyy myös pohjalevyyn suunnitellut helpotukset, jotka mahdollistavat ihmisen pääsyn lähemmäksi sivulaitoja. Näin osien paikalleen laittamisessa ei tarvitse kurottaa niin pitkälle.



Kuva 18. Oikea alakiinnitinkokoonpano irrallaan.

Pullman-kääntövuoteen alapuolelle reunoihin oli hitsattava saumat, joten jigiiin suunniteltiin kolot tätä varten (kuva 19). Keskellä oleva isompi reikä suunniteltiin sivulevyjen holkkien ja tappien hitsaamista varten.



Kuva 19. Jigin pohja.

Jigi suunniteltiin siten, että mahdollisimman moni osista pystyttiin valmistamaan itse yrityksessä. Ainoastaan putket, puristimet, pultit ja mutterit tilattiin jälleenmyyjiltä. Kokonaispainoksi tuli 371,5 kg. Jigin uloimmat osat ovat puristimien kahvat, joiden etäisyys kiinnityslaipan keskipisteeseen on 710 mm, joten käsittelylaitteen määräämä suurin sallittu 750 mm:n leveys alittui. Jigin painopiste sijaitsee 27,8 mm:n etäisyydellä kääntölaitteen kiinnityslaipan keskeltä, kun suurin sallittu etäisyys 145 mm oli 750 kg:n massalla.

#### 4.3 Jigin valmistus

Koottaessa jigiiä huomattiin, että kolot, jotka leikattiin pohjalevyyn rajoittimia varten, olivat turhan suuret. Ne mallinnettiin 0,5 mm:n välyksellä, kun 0,1–0,2 mm olisi riittänyt. Tästä ei kuitenkaan suurempaa haittaa ollut. Jigin osat hitsattiin kiinni osahitseillä, jotta välttyäisiin vääntörasituksilta. Jigin runko kuitenkin väänny hieman kuperaksi hitsauksen takia, mikä korjattiin lämmittämällä jigii pohjalevyä kaasupillillä kuperalta puolelta. Kuvassa 20 on valmis jigi.



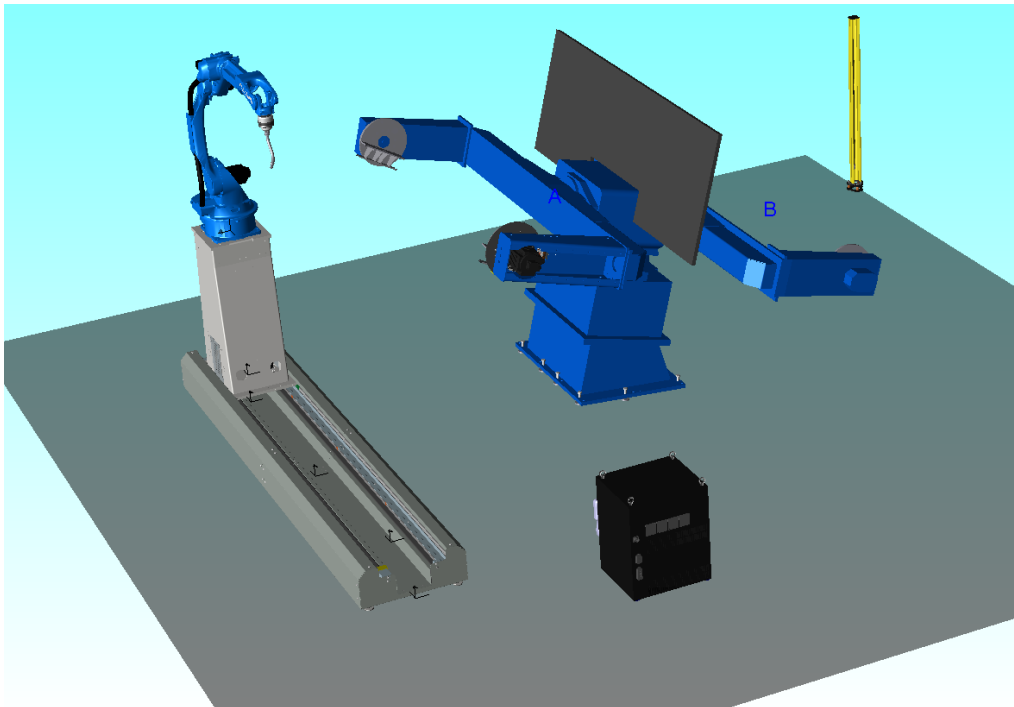
Lämmöllä oikaisu perustuu siihen, että teräs kuumennettaessa laajenee paikallisesti ja ympärillä oleva kylmempi teräs vastustaa laajentumista, jolloin kuumennettu teräs alkaa tyssääntyä ja aineeseen syntyy voimakasta puristusjännitystä. Jäähdyessään teräs taas pyrkii kutistumaan, mutta kylmempi osuus ympärillä pyrkii estämään tämänkin ja aiheuttaa jäähtyvään kohtaan voimakkaan vetojännityksen. [3, s. 368.]



Kuva 20. Valmis jigi.

#### 4.4 Etäohjelmointi

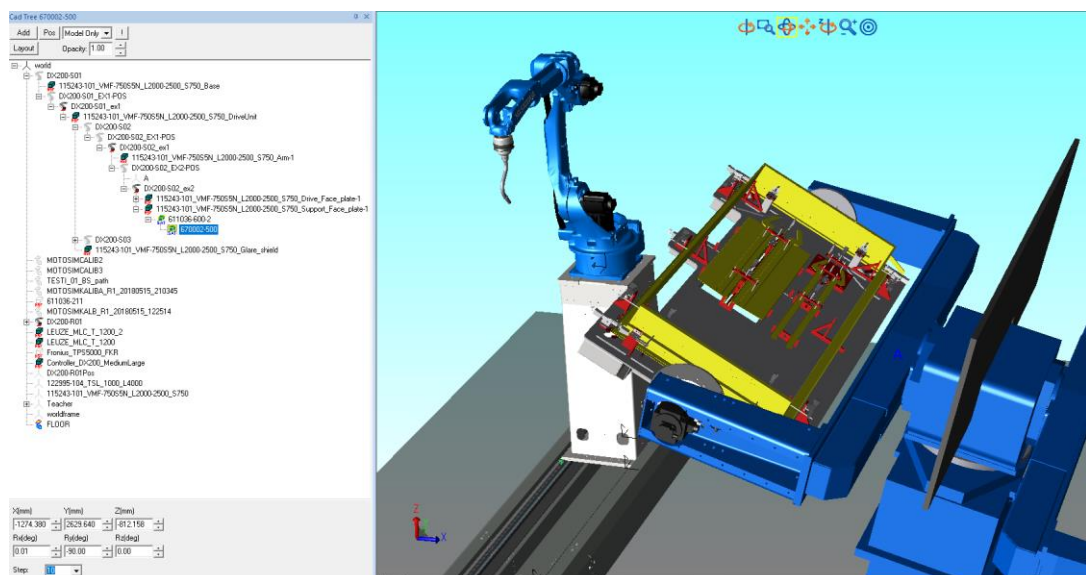
Hitsattavan tuotteen ohjelmointi tehtiin etäohjelmoimalla Yaskawan MotoSim-ohjelmalla. Yaskawalta saatiin valmis malli 3D-malli robottisolusta (kuva 21), johon he myös suorittivat kalibroinnin. Robottisolun kalibrointi tehdään, jotta 3D-malli vastaa todellista robotisolua.



Kuva 21. Mallinnettu robottisolu.

#### 4.4.1 3D-mallin lisääminen robottisoluun

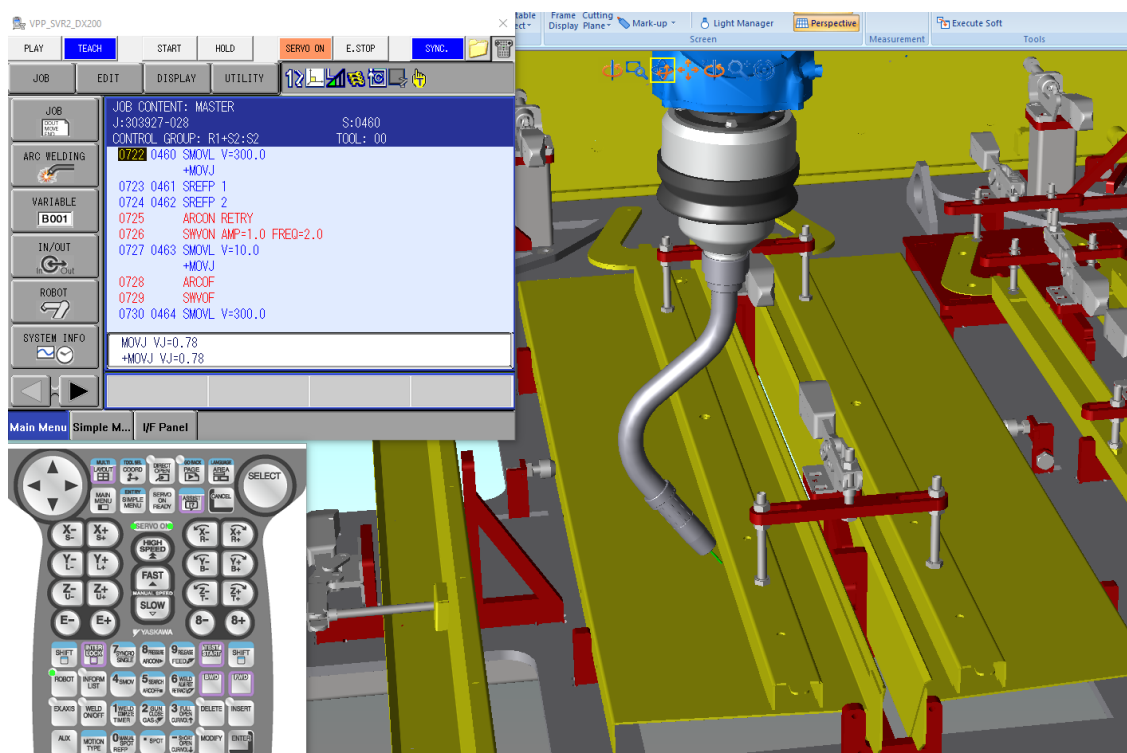
Koska MotoSim-ohjelma ei pysty lukemaan Inventor-ohjelman tallentamaa tiedostomuotoa, jigin 3D-malli tallennettiin Standar ASCII Text -muotoon (sat), jota MotoSim-ohjelma tukee. 3D-malli lisättiin CAD-puuhun kiinnityslaipan alle (kuva 22).



Kuva 22. Jigin 3D-malli lisätty robottisoluun.

#### 4.4.2 Hitsausohjelman teko

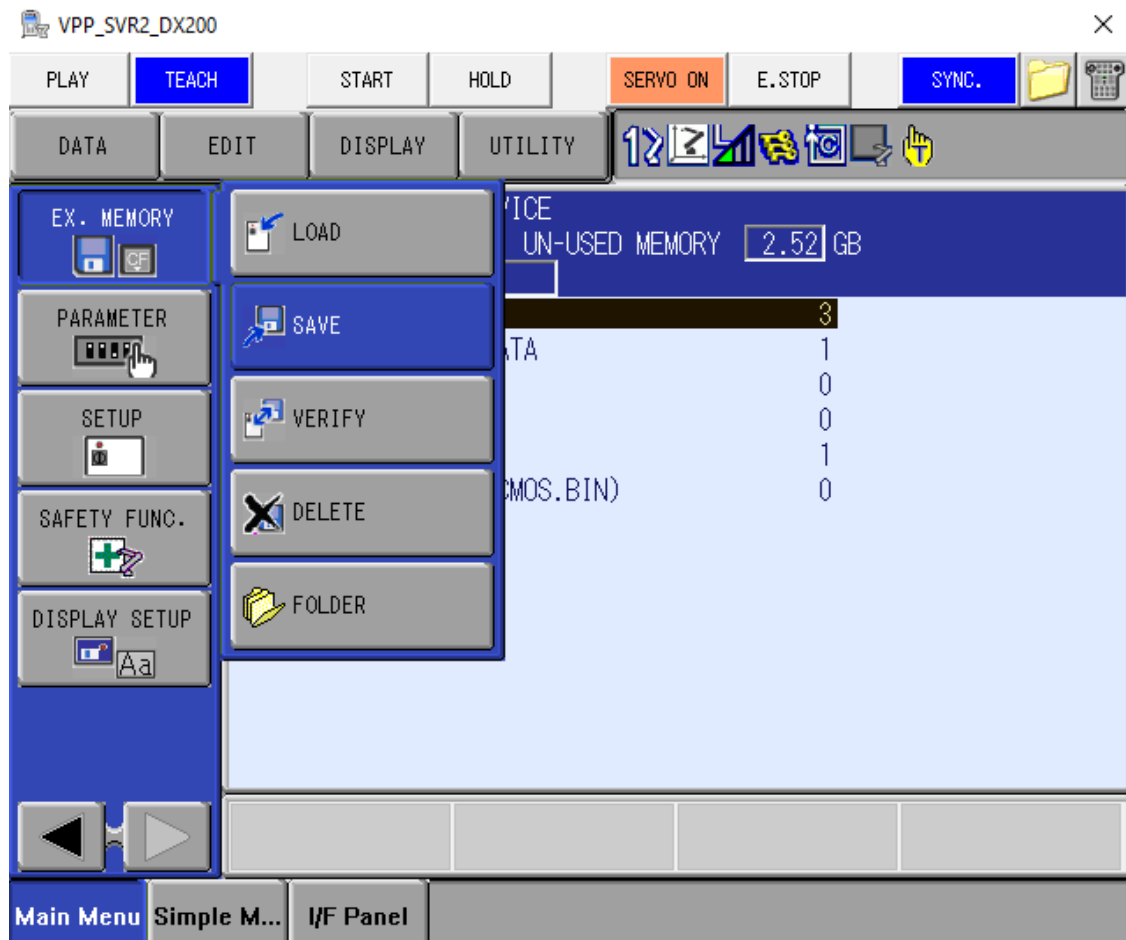
MotoSim-ohjelmalla hitsausohjelma tehdään käytännössä samalla tavalla kuin oikealla robotilla. Liikepisteet ja hitsauskäskyt lisätään samalla tavalla virtuaaliseen käyttöliittymään. Kuvassa 23 näkyy virtuaalisessa käyttöliittymässä yhden hitsausauaman tiedot sisältäen 1 mm:n amplitudilla ja 2 Hz:n frekvenssillä vaaputuksen. Hitsisauman lähestymis- ja poistumispisteet ovat 300 mm/s ja hitsaus 10 mm/s nopeudella. Hitsausauamojen arvot tehtiin tässä vaiheessa arvaamalla. Robotilla hitsattiin myöhemmässä vaiheessa koesaumot, joiden perusteella oikeat hitsausarvot muutettiin ohjelmaan.



Kuva 23. Virtuaalinen käyttöliittymä.

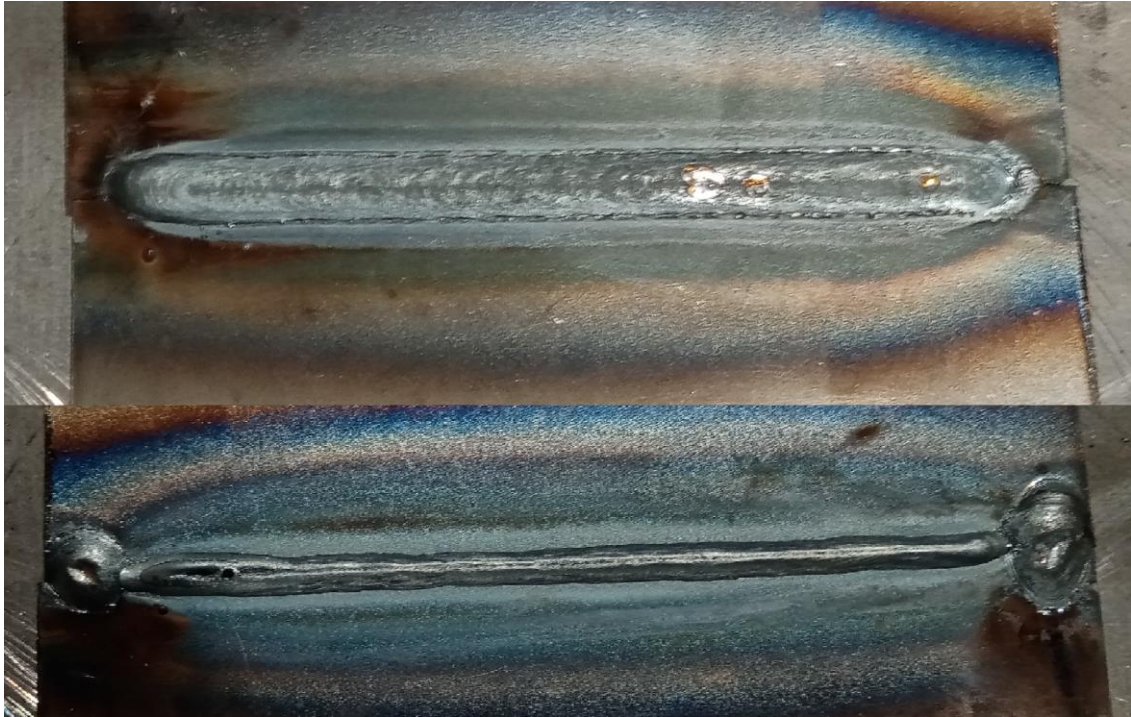
Ohjelmointi tehtiin virtuaalisesti opettamalla ja tallentamalla liikepisteet sekä hitsauskäskyt yksittäin. MotoSim-ohjelmalla on mahdollista CAM-ominaisuudella (*Computer Aided Manufacturing*, tietokoneavusteinen valmistus) osoittaa hiirellä hitsattava reuna, jolloin ohjelma luo automaattisesti liikepisteet ja hitsauskäskyt. Tämä soveltuu pitkiin ja monimuotoisiin hitsisaumoihin. Tätä ei kuitenkaan tässä työssä käytetty, tuotteen lyhyiden ja yksinkertaisten hitsisaumojen takia.

Hitsausohjelma tallennettiin MotoSim-ohjelmalla USB-muistitikulle ja vietiin robotille la-dattavaksi (kuva 24).



Kuva 24. Ohjelman tallennus USB-muistitikulle.

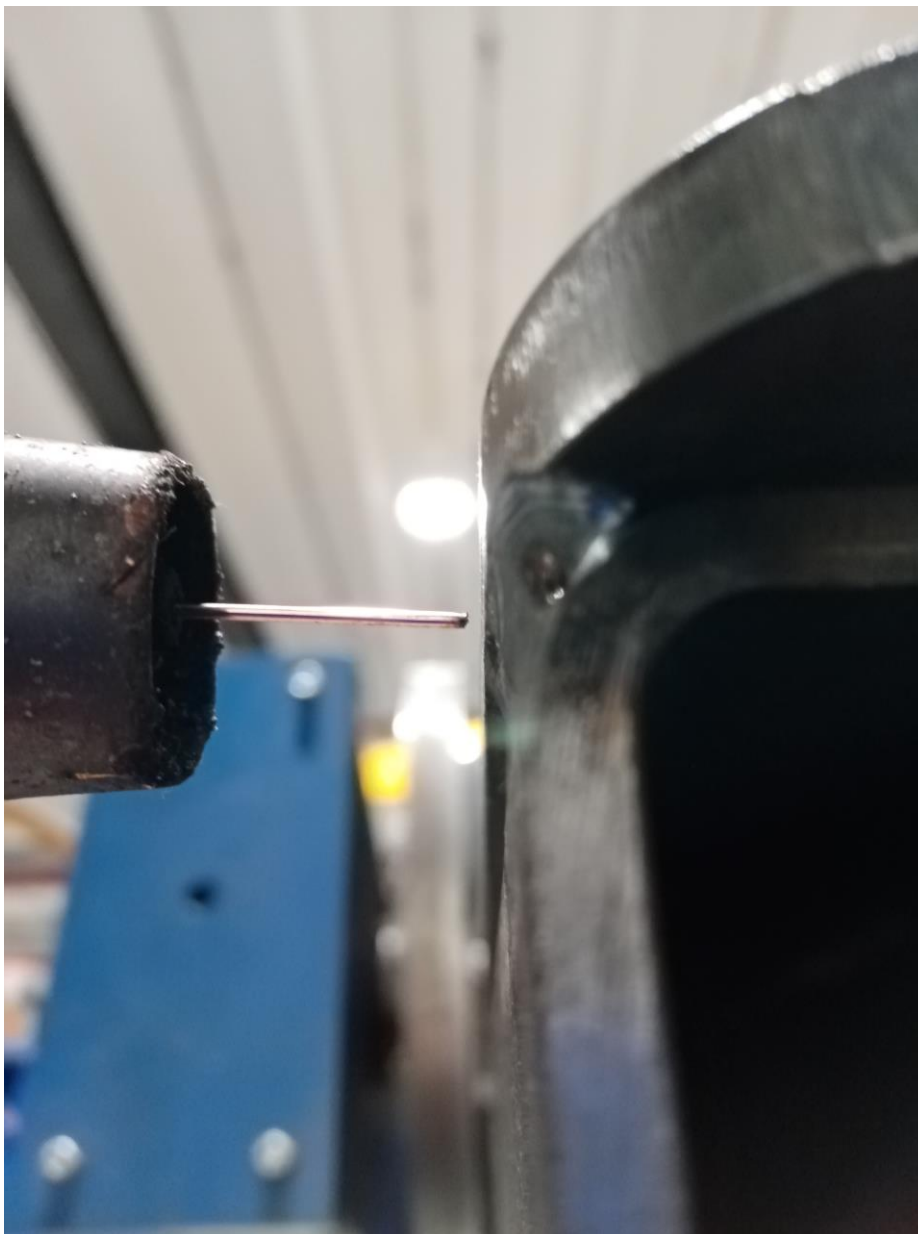
Hitsausarvot säädettiin Fronius TPS500i -virtalähteelle hitsaamalla koesaumoja 1,5 mm:n teräslevypaloihin. Kokeiden perusteella päädyttiin käyttämään i-railoissa pulssi-kaarta langansyöttönopeudella 5,6 m/min ja kuljetusnopeudella 9 mm/s. Kuvassa 25 on hitsattu koesauma molemmin puolin kuvattuna. Näihin saumoihin tehtiin etäohjelmointi-vaiheessa vaaputukset, mutta ne poistettiin, koska ne eivät kokeiden perusteella sovel-tuneet i-railoihin. Muut hitsisaumat olivat pienahitsejä, joihin tehtiin toinen hitsausohjelma Fronius-virtalähteelle, jossa langansyöttönopeus oli 8 m/min ja kuljetusnopeus 8 mm/s. Kokeiden perusteella päädyttiin käyttämään pienahitseissä vaaputusta 0,5 mm:n ampli-tudilla ja 2 Hz:n frekvenssillä.



Kuva 25. I-railon koesauma.

#### 4.4.3 Ohjelman läpikäyminen robotilla

Hitsausohjelman alkuun tehtiin testiohjelma, jossa robotti ajettiin hitsauslangan kärjellä jigin pohjalevyyn kiinni useammasta kohdasta. Näin voitiin turvallisesti varmistaa, että robotti on kalibroitu oikein. Huomattiin, että ero robotin ja mallinnetun robotin välillä oli noin 2 mm (kuva 26). Tämä oli valmistajan mukaan sallituissa rajoissa. 2 mm:n eroavaisuuden takia jouduttiin osa liikepisteistä siirtämään. Paksumpiin levyihin, joihin hitsataan suurempia saumoja, olisi 2 mm:n poikkeamasta tuskin ollut suurta haittaa, mutta tässä tapauksessa materiaalivahvuudet olivat 1,5 mm ja 2 mm. Näin ollen hitsattavat saumat olivat pieniä, joten liikepisteet piti kohdistaa tarkasti oikeaan paikkaan. Muutoin etäohjelmoitu ohjelma oli toimiva, eikä muita ongelmia tullut vastaan.



Kuva 26. Testiohjelma.

Seuraavaksi tarkistettu ohjelma ajettiin robotilla hitsaten. Hitsauksen jälkeen hitsattu kappale tarkistettiin ja mitattiin. Kääntövuoteen rungon ristimitassa havaittiin 3 mm:n virhe, joka korjattiin jigin säätöpulteilla. I-railojen hitsisaumoissa myös havaittiin korjaimisen tarvetta turhan korkean hitsikuvun takia (kuva 27). Tätä ei vielä korjattu, koska nyt hitsatussa kappaleessa ei ollut ilmarakoa ollenkaan, ja valmistustoleranssien takia seuraavassa kappaleessa saattaa olla pieni ilmarako, jolloin hitsisauma saattaa palaa läpi jättäen reiän materiaaliin. Ilmarakoa seurataan jatkossa ja toimenpiteet tehdään sen mukaan.



Kuva 27. I-railo hitsattuna.

## 5 Etäohjelmoinnin hyödyt

Etäohjelmoinnin käyttöönotto on hyvä keino nostaa robottien käyttöastetta. Tuotanto-  
seisokit vähenevät huomattavasti etäohjelmoinnin myötä. Varsinkin prototyyppien ja  
piensarjojen kohdalla tämä tulee ilmi. Hitsausjigien suunnittelua voidaan tehdä samalla  
kun etäohjelmoidaan. [13.]

Simuloimalla havaitaan, mitkä saumat ovat hitsattavissa ja törmäystarkastelu on turval-  
lisempaa kuin oikealla robotilla. Hitsattavassa kappaleessa voi olla paikkoja, joihin on  
vaikeaa tai mahdotonta nähdä ohjelmointihetkellä, etäohjelmoidessa tämä ei ole on-  
gelma, kun voidaan katsoa 3D-mallin sisälle. Tuotantoajat saadaan selville simuloinnin  
yhteydessä. Myös työkalun asennon ja sijainnin määrittäminen käy nopeammin kuin  
opettamalla ohjelmoidessa. [13.]



## 6 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli ottaa käyttöön hitsausrobotin etäohjelmointi. Tämä tavoite saavutettiin ja yritykseen on nyt tehty ensimmäinen hitsausohjelma etäohjelmoiden. Työssä varmistettiin oikean robotin ja mallinnetun robotin välinen paikkansa pitävyys. Työn aikana tutkittiin Yaskawan MotoSim-etäohjelmointiohjelmaa ja kokeiltiin sen eri toimintoja.

Jatkossa yrityksessä voidaan uusia tuotteita simuloida ja varmistaa niiden soveltuvuus robottihitsaukseen ennen varsinaista tuotannon aloittamista käyttäen MotoSim-ohjelmaa. Hitsausroboteille jää myös enemmän tuotantoaika. Etäohjelmoimalla saadaan hitsausohjelma tehtyä nopeammin kuin opettamalla ohjelmoiden. Etäohjelmoitu ohjelma joudutaan tarkistamaan ja mahdollisesti hienosäätämään oikealla robotilla ennen tuotannon aloittamista. Tämä käy kuitenkin huomattavasti nopeammin kuin koko ohjelman teko opettamalla, sillä kaikki liikepisteet, käskyt ja työkalun kulmat ovat valmiina.

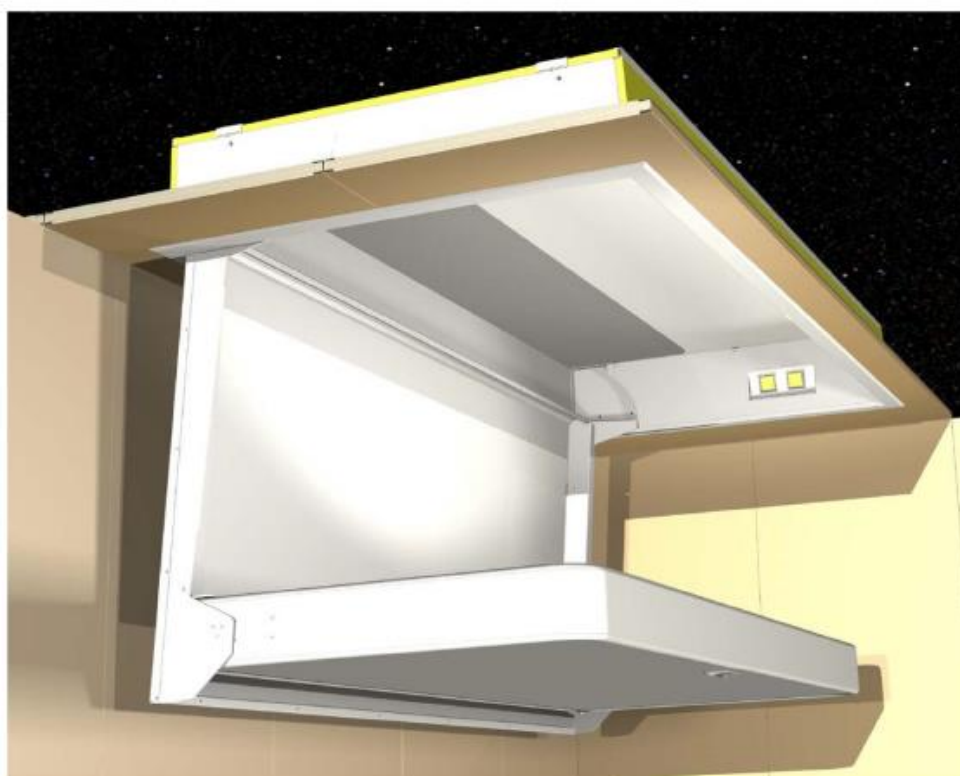
Jigi suunniteltiin käyttäen apuna hitsausrobotin mallinnettua solua, näin voitiin koko suunnitteluprosessin ajan varmistaa jigin sopivuus robottisoluun. Jigin suunnittelu ja valmistus sujui hyvin. Jigistä tuli toimiva ja verrattuna tuotteen käsin hitsaukseen, kaikki tuotteen hitsattavat osat saadaan hitsattua samassa jigissä. Kääntövuoteen hitsausaika käsin hitsaten pelkän rungon osien osalta on noin 10 minuuttia. Tähän lisäksi vielä sivulaitojen pistehitsaukseen menee noin 2 minuuttia ja sivulaitojen tappien holkkien hitsaukseen 5 minuuttia. Kokonaisaika on näin ollen noin 17 minuuttia. Robotti hitsaa kaikki osat 9 minuutissa.

Pullman-kääntövuoteen valmistukseen ehdotettiin myös muutoksia, joilla saataisiin tuotteen tuotantoaika lyhennettyä ja osat sopimaan paremmin robottihitsaukseen. Tällä hetkellä vielä sivulaitojen osat pistehitsataan toisiinsa kiinni. Ehdotetuilla muutoksilla päästäisiin eroon pistehitsauksesta tuotteen sivulaitojen osalta ja näin saataisiin robotilla hitsattua tasaisempaa laatua ja nopeutettaisiin tuotantoa.

## Lähteet

- 1 Motoman Flyer\_Robot\_MA2010. 2018. Verkkodokumentti. <<https://www.yaskawa.fi/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=15392&token=30157f851d496d2c88f4a151699df8f68c654c81>>. Luettu 30.5.2019.
- 2 Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj/MetalliTekniikka.
- 3 Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.
- 4 Automatisoinnin ja mekanisoinnin sovelluksia MIG/MAG- ja TIG-hitsauksessa. 2017. Verkkodokumentti. <[http://www.woikoski.fi/sites/default/files/hitsaustekniikka\\_2\\_2017\\_automatisoinnin\\_ja\\_mekanisoinnin\\_sovelluksia.pdf](http://www.woikoski.fi/sites/default/files/hitsaustekniikka_2_2017_automatisoinnin_ja_mekanisoinnin_sovelluksia.pdf)>. Luettu 16.7.2019.
- 5 SFS-EN 1993-1-8. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. osa 1-8: Liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 6 Yaskawa Motoman DX100 Robottihitsauksen pikaohje. 2011. Yaskawa Finland Oy.
- 7 Yaskawa DX100 Options instructions for ARC sensor comarc function. 2010. Yaskawa Electric Corporation.
- 8 Yaskawa Operating instructions ARC Welding. 2013. Yaskawa Europe.
- 9 Motoman Brochure DX200. 2018. Verkkodokumentti. <<https://www.yaskawa.eu.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=11192&token=efe3c920a0b9c9af3992ac23ce1c5b8b7fc68d89>>. Luettu 16.7.2019.
- 10 Virtuaalimaailmasta todellisuuteen. 2018. Verkkodokumentti. <<https://new.abb.com/news/fi/detail/20055/virtuaalimaailmasta-todellisuuteen>>. Luettu 16.7.2019.
- 11 ABB Offers VR Integration for Robot Programming. 2019. Verkkodokumentti. <<https://www.robots.com/blogs/abb-offers-vr-integration-for-robot-programming>>. Luettu 16.7.2019.
- 12 Yaskawa Instruction manual VMF-750S5D. 2013. Yaskawa Nordic AB.
- 13 Robotiikkaa piensarjoille. Verkkodokumentti. <<https://www.delfoi.com/fi/ratkaisut/robotiikka/>>. Luettu 7.8.2019.

## Kattoon asennettava Pullman-kääntövuode



## HOISTABLE PULLMAN B-0 / B-15

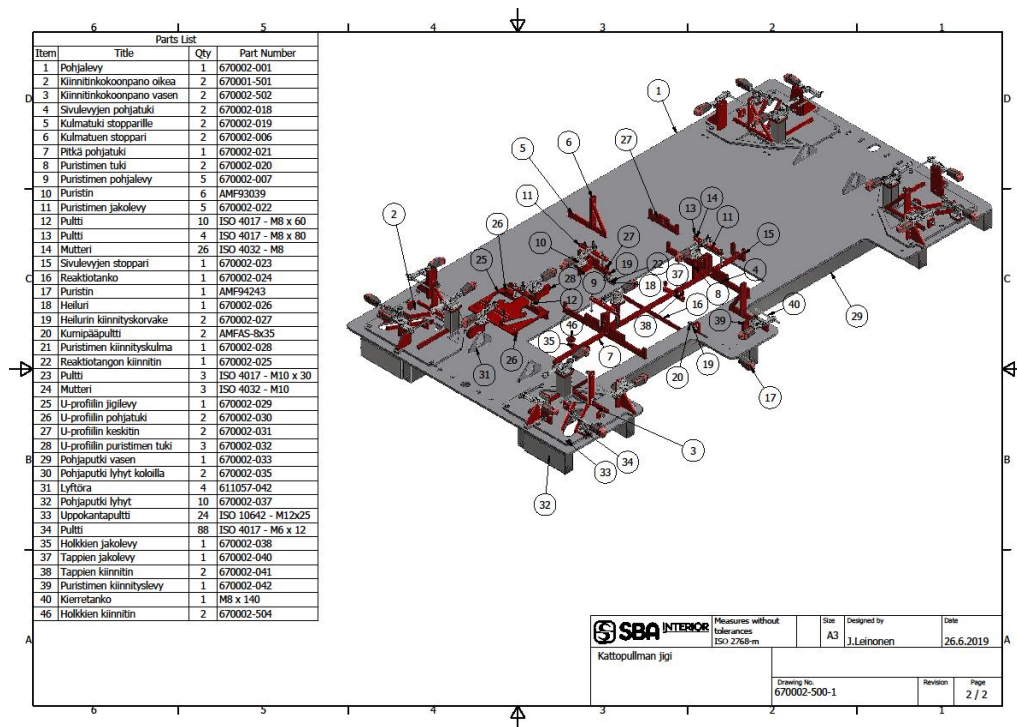
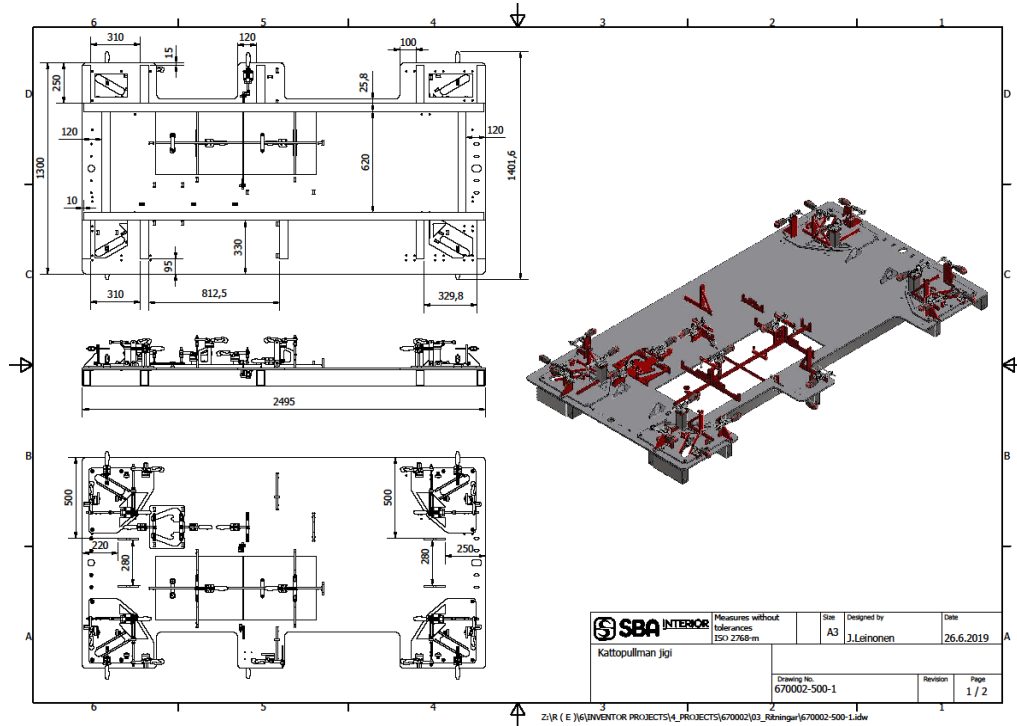
### Technical data

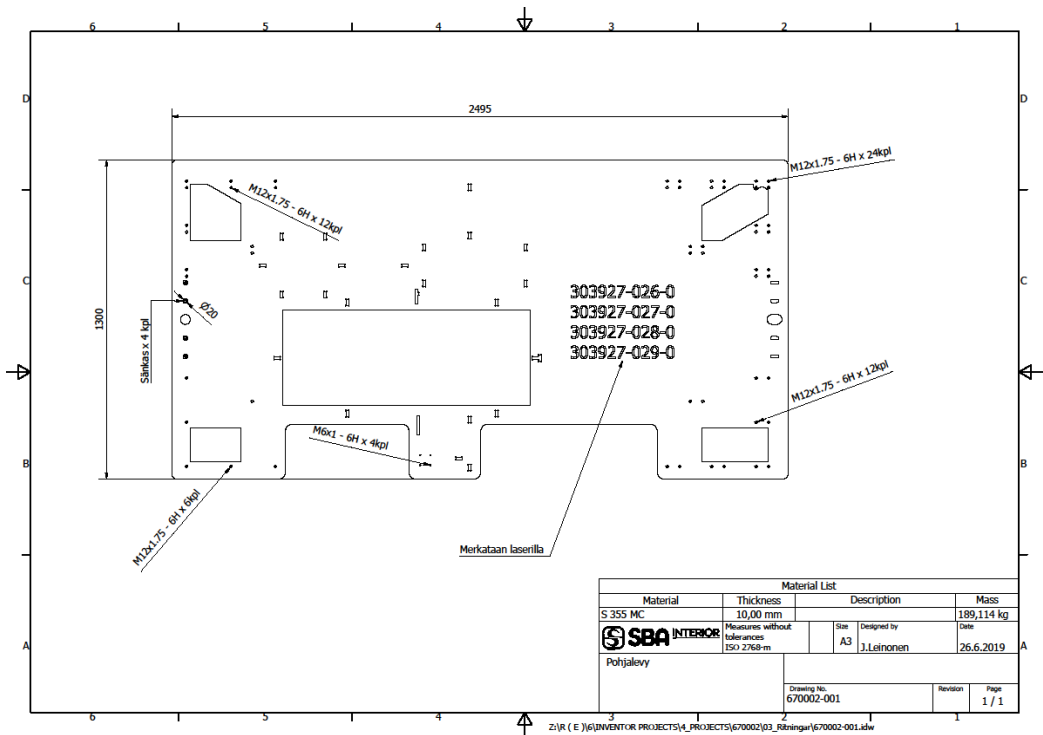
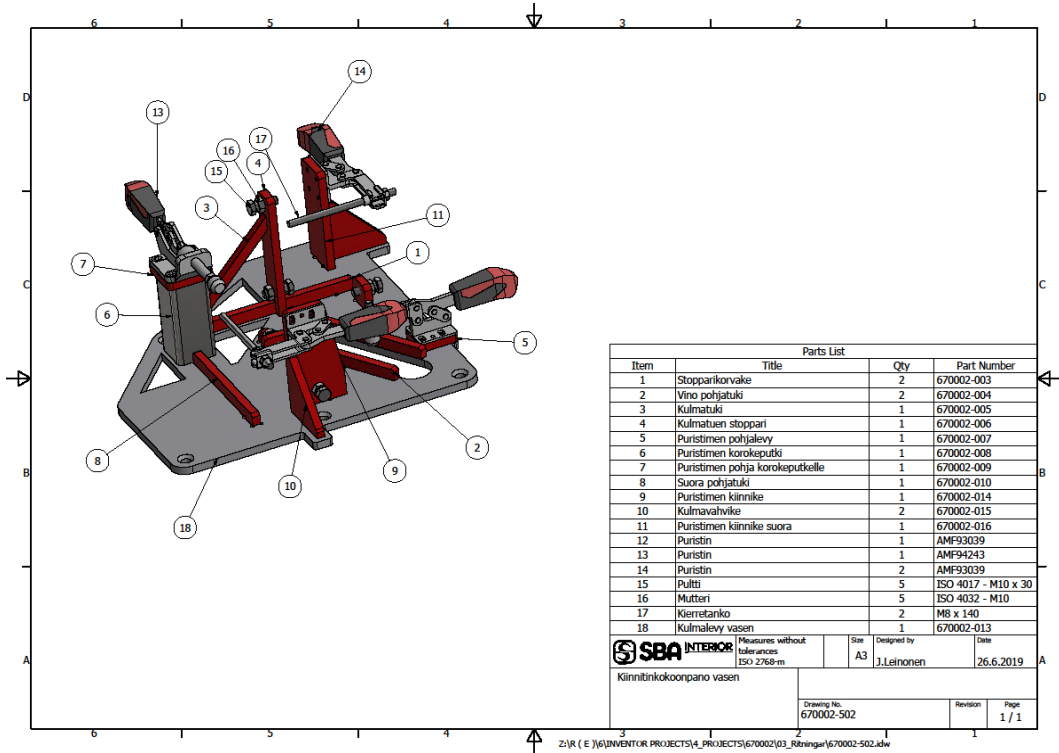
Weight (excl. mattress)	app. 110 kg
Mattress size L x W	according to spec.
Mattress recommended thickness	120 mm

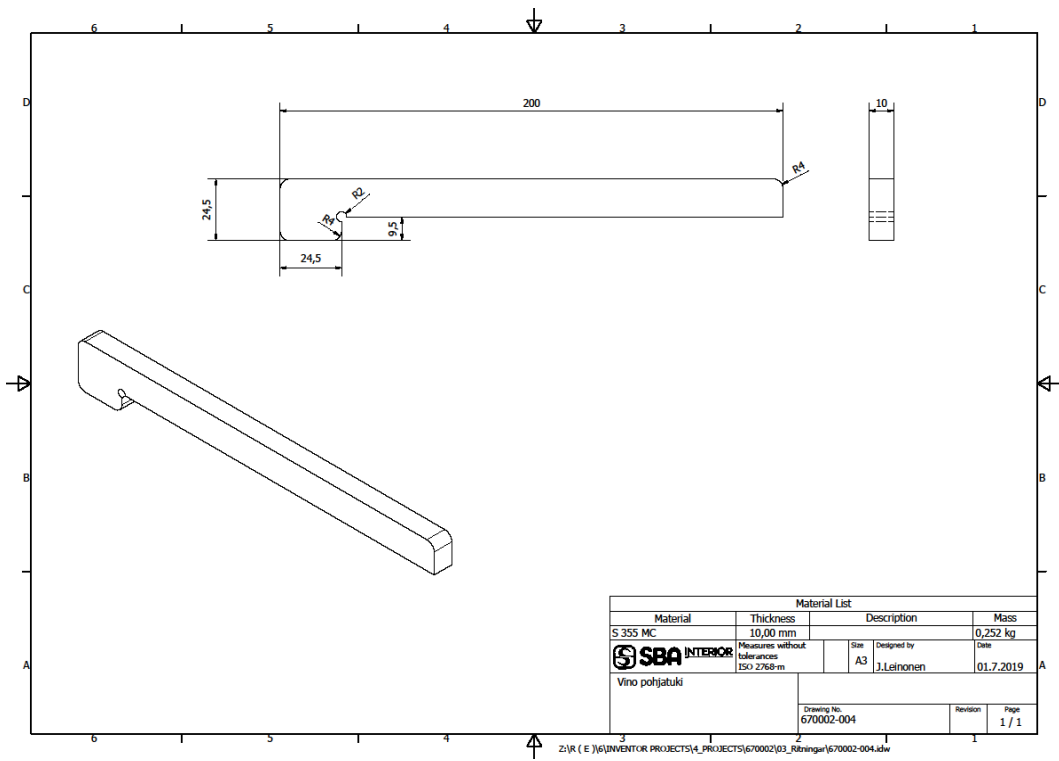
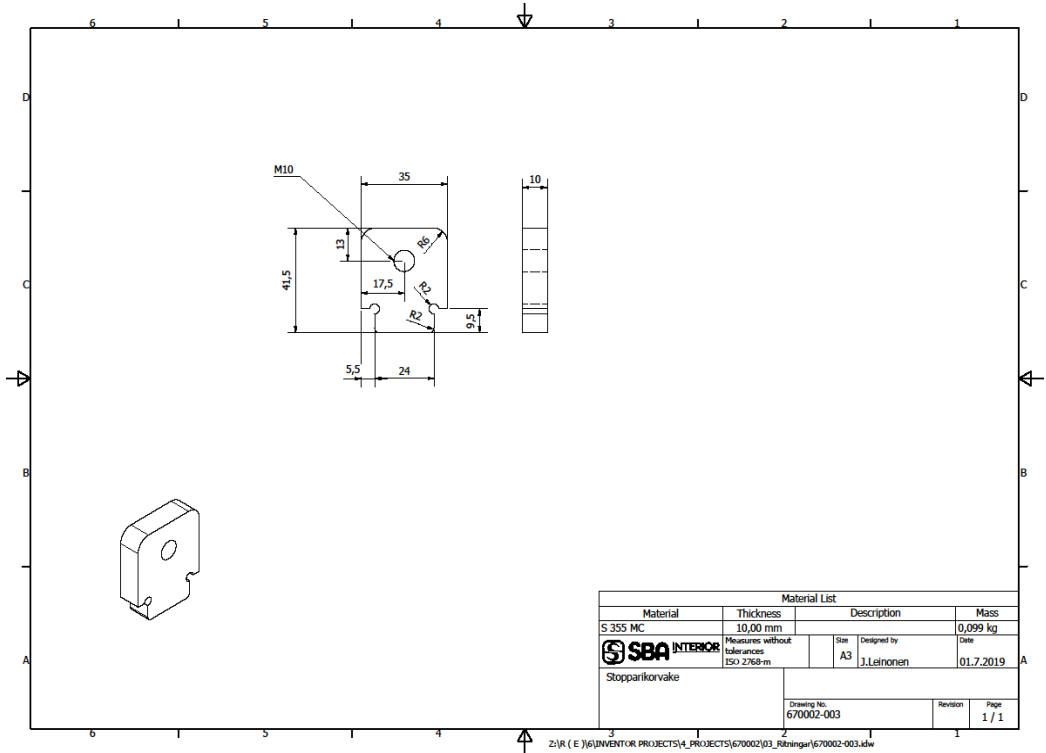
08/2018

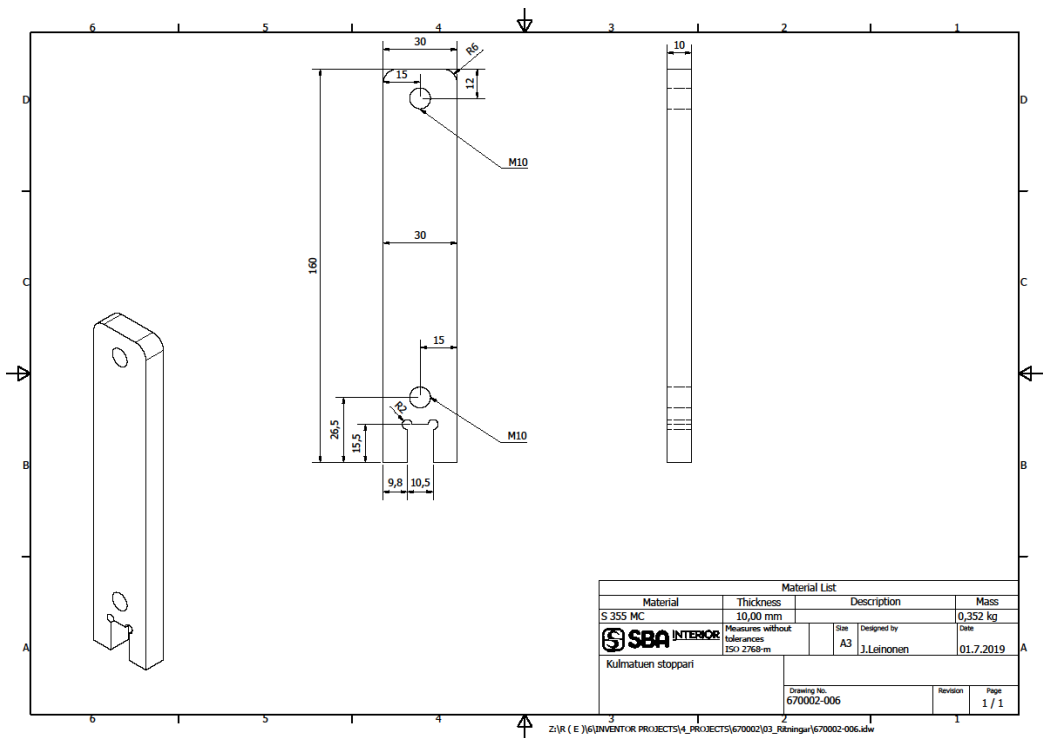
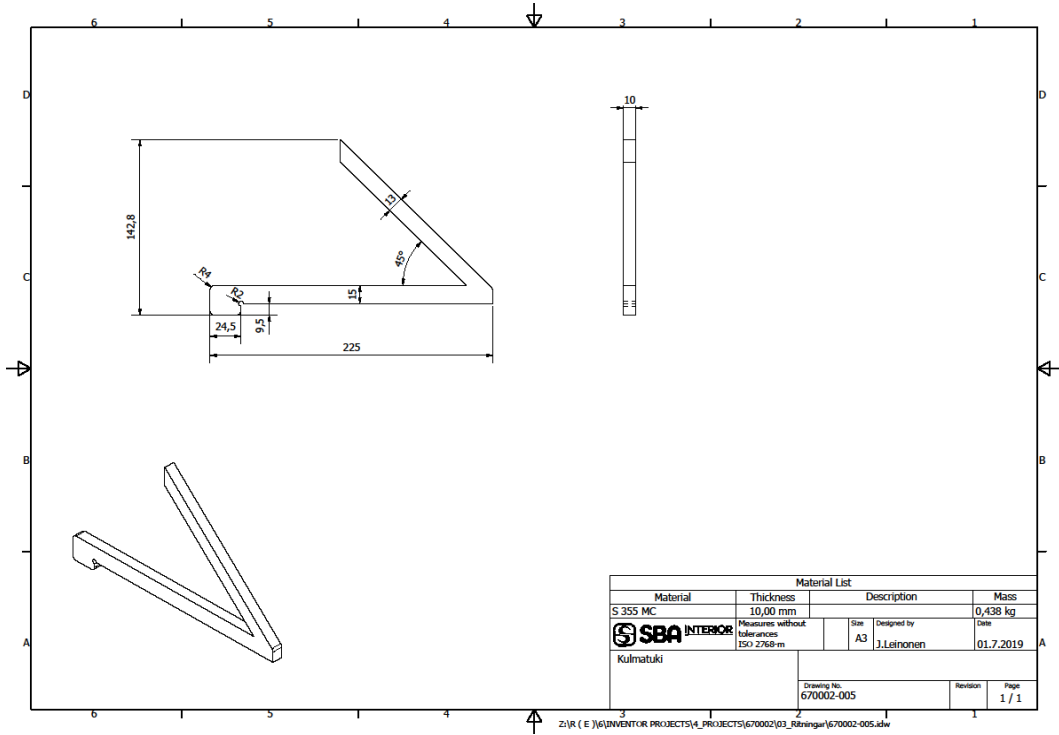
SBA Interior Ltd, Hällsnäsintie 99, FI-10360 Mustio, Finland | Phone +358 19 3277 1 | [www.sba.fi](http://www.sba.fi)

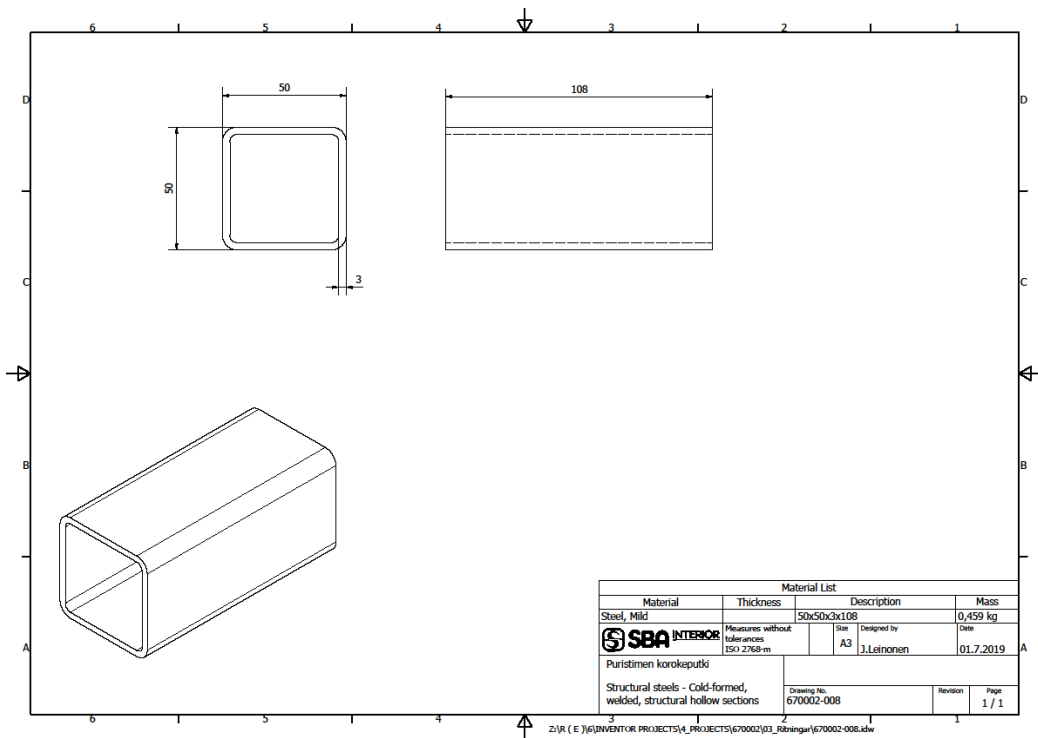
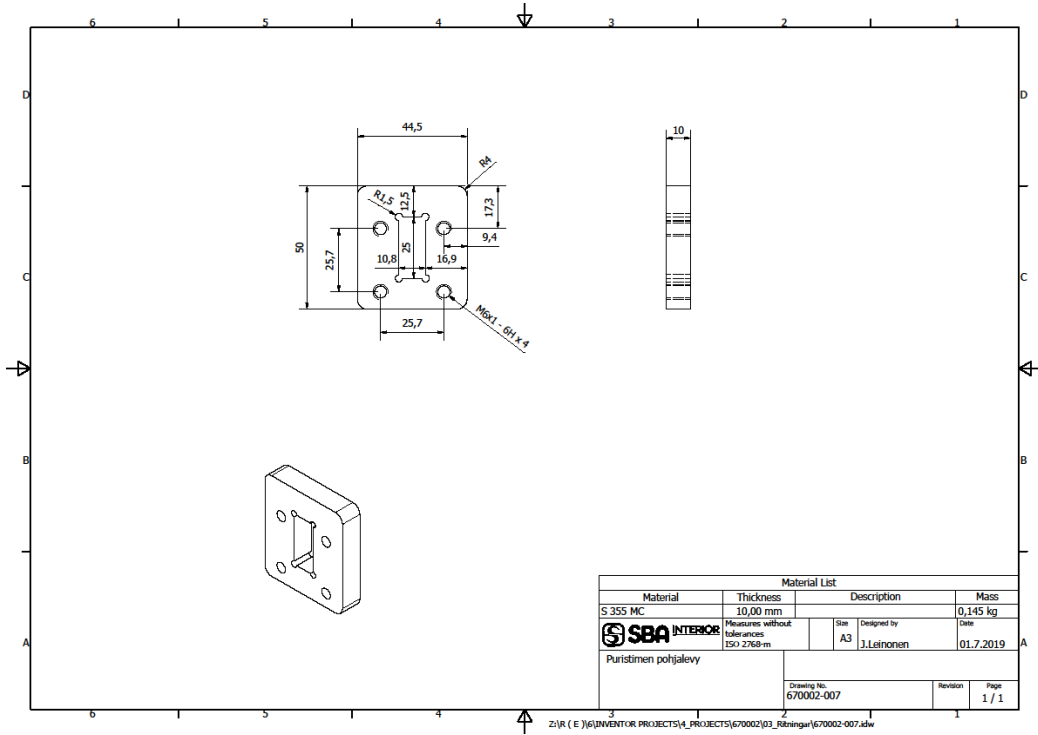
## Jigin piirustukset



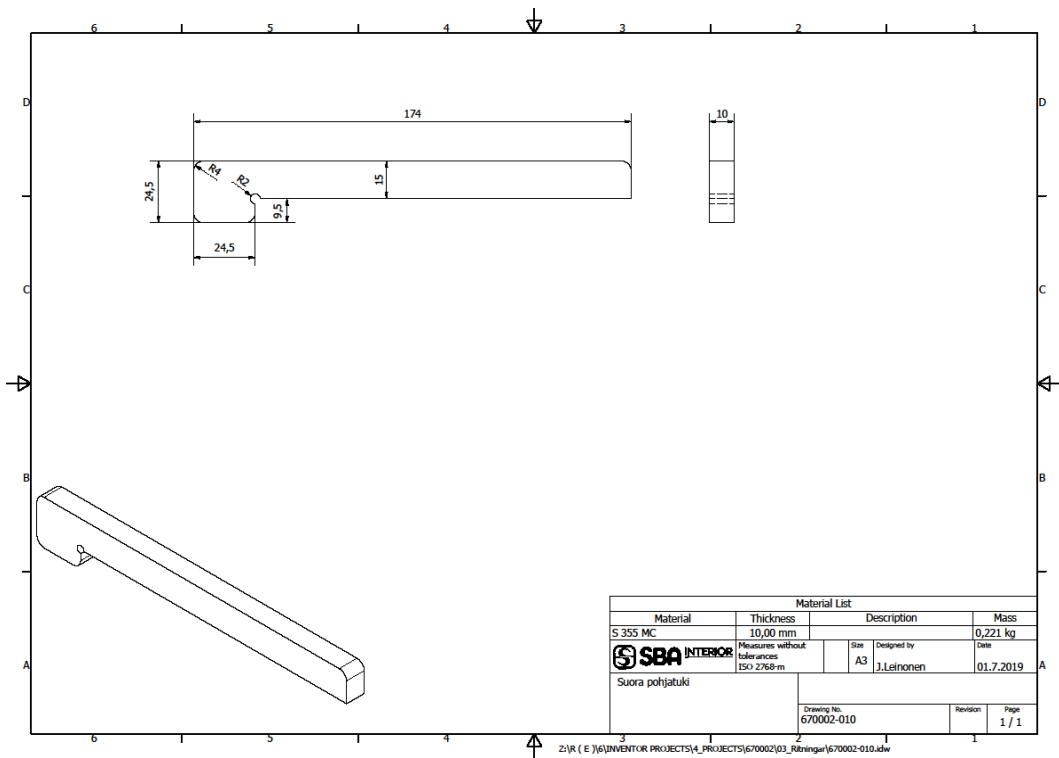
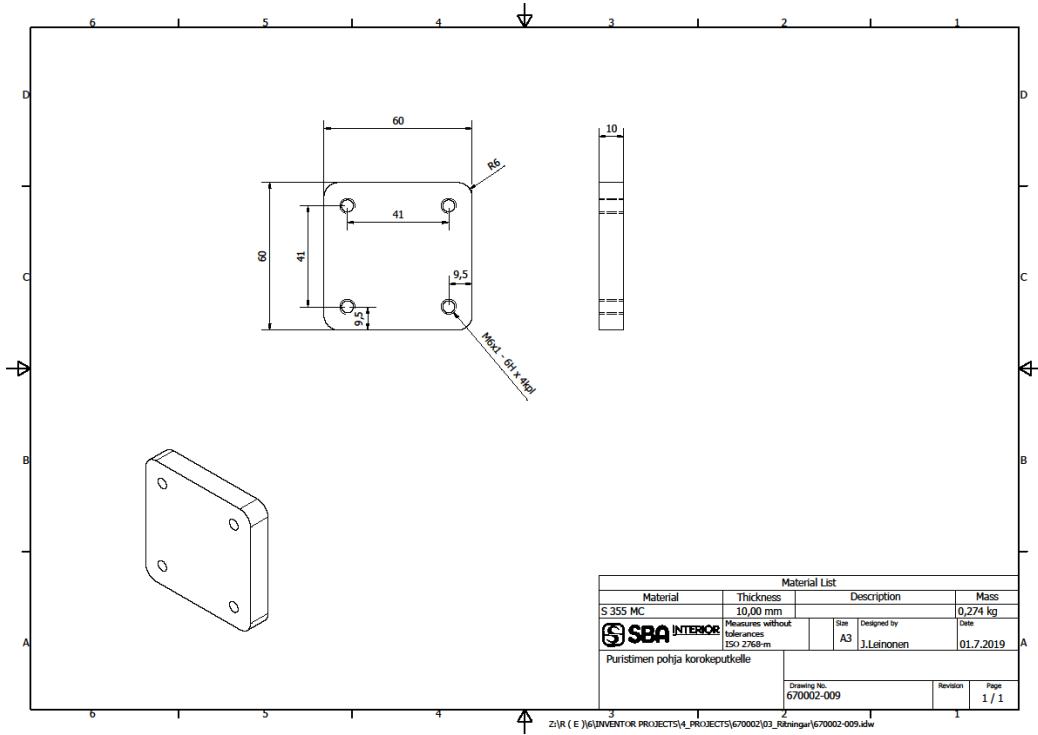


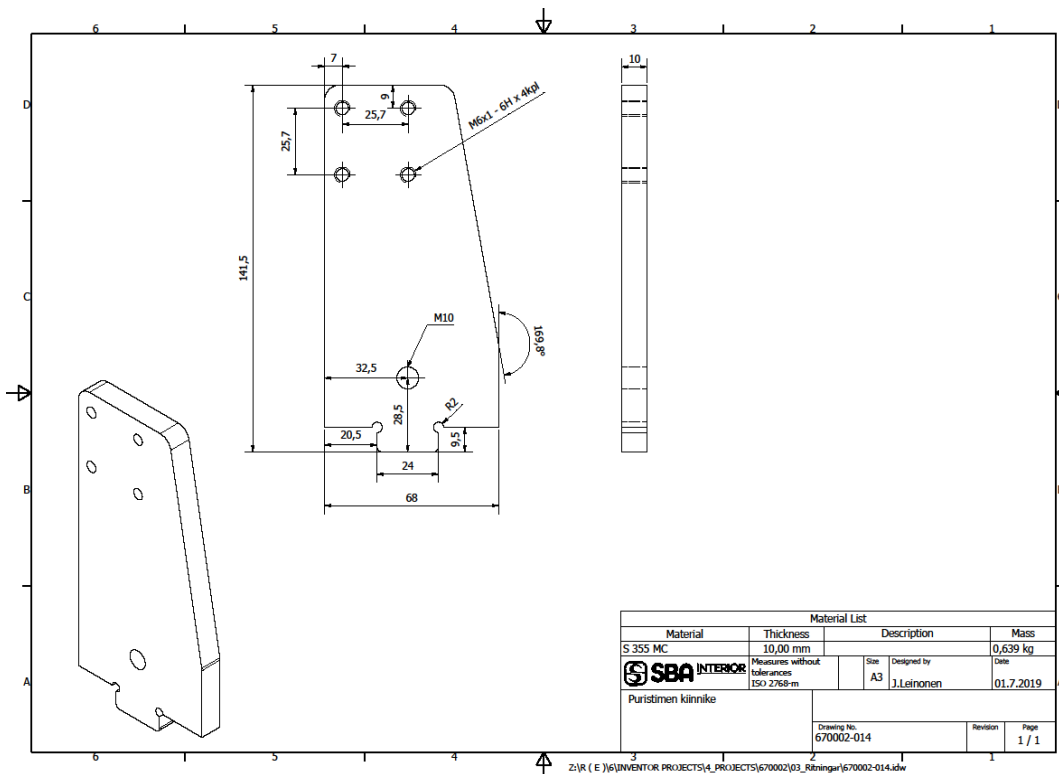
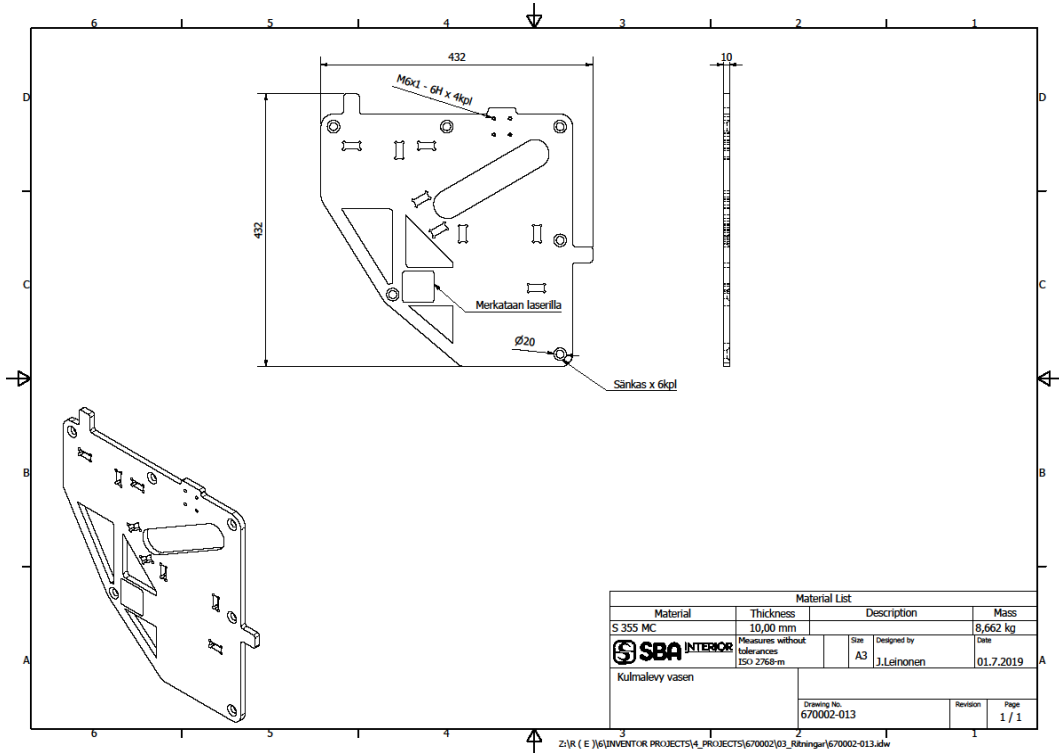


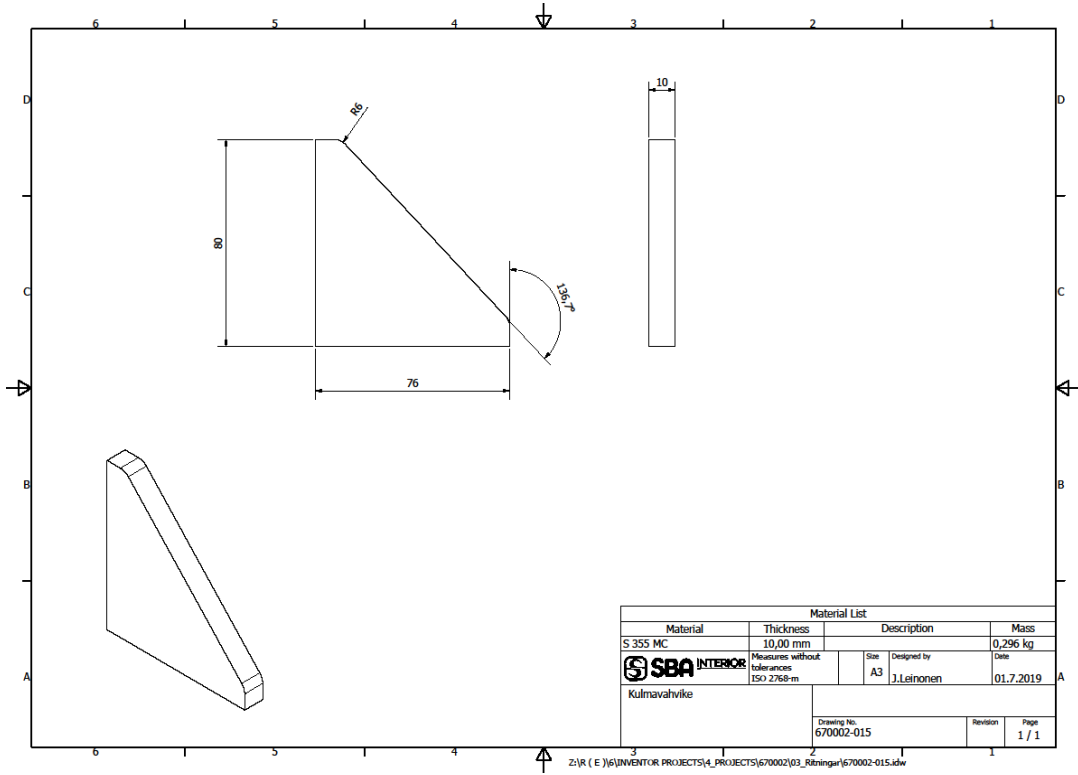




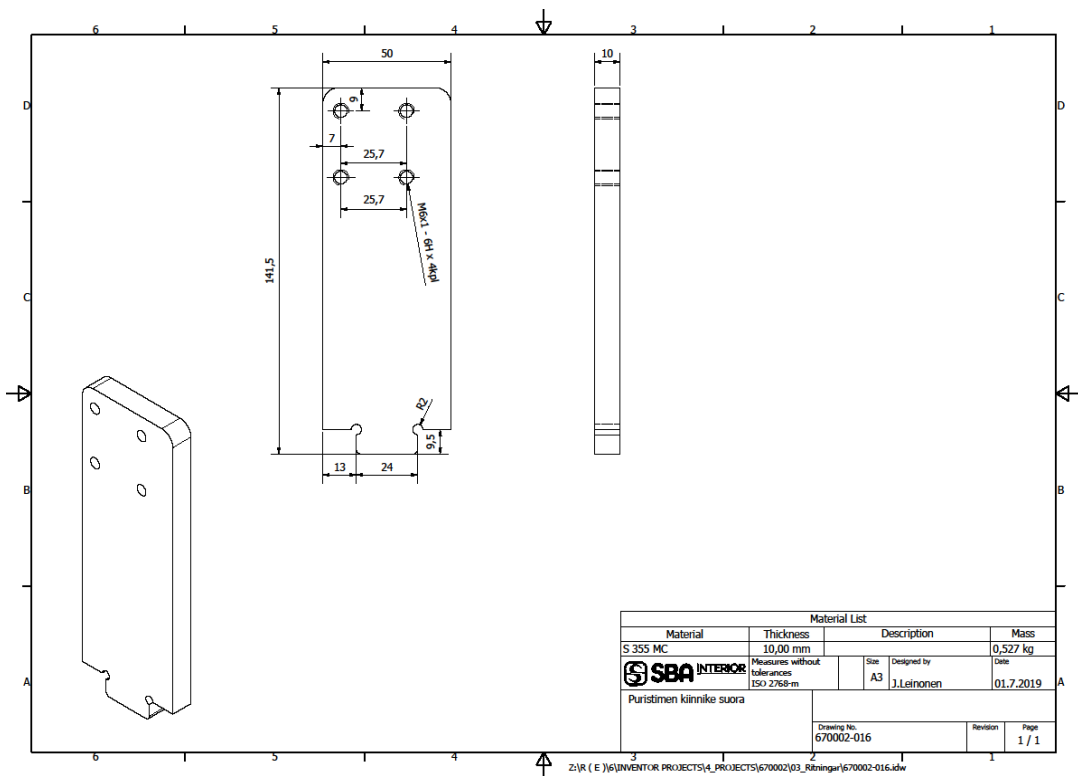








Z:\R (E )\6\INVENTOR PROJECTS\4\_PROJECTS\670002\03\_Ritningar\670002-015.dwg



Z:\R (E )\6\INVENTOR PROJECTS\4\_PROJECTS\670002\03\_Ritningar\670002-016.dwg

