



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ROBOTTIHITSATTAVAT TUOTTEET ALIHANKINTAKONEPAJASSA

Kospirt Oy

TEKIJÄ: Miro Petäjämäki

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Miro Petäjämäki			
Työn nimi Robottihitsattavat tuotteet alihankintakonepajassa			
Päiväys	1.6.2018	Sivumäärä	38
Ohjaaja(t) Jenni Toivanen, Aku Tuunainen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kospirt Oy			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyö tehtiin Haukivuorella sijaitsevalle tilauskonepaja Kospirt Oy:lle. Yritys on pohtinut keinoja tehostamaan tuotannon läpimenoaikoja ja laatua. Tähän tavoitteeseen etsittiin ratkaisua nykyaikaistamalla tuotantoa robottihitsaussolun hankinnalla. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia robottihitsauksen soveltuvuutta nykyiseen tuotantoon.</p> <p>Työ aloitettiin etsimällä tietoa robottihitsaamisesta, robottihitsauslaitteista ja robottihitsauksen vaatimuksista. Yrityksen tuotannosta valittiin robottihitsaukseen parhaiten soveltuvat tuotteet ja niitä kehitettiin ottaen huomioon robottihitsauksen vaatimukset. Näille tuotteille valittiin parhaiten sopiva robottihitsaussolutyyppi. Tutkimuksessa tehtiin koehitsaus kuljetinruuville, jonka robottihitsaamisen epäiltiin olevan haasteellista.</p> <p>Työn tuloksena saatiin ehdotus soveltuvasta robottisolutyypistä ja todisteet robottihitsauksen toimivuudesta Kospirt Oy:n tuotannossa. Tuotannosta valittiin 6 eri tuotetta, joihin tehtiin robottihitsausta palvelevia muutoksia. Tuotantoon parhaiten soveltuvaksi robottisolutyypiksi valittiin solu, jossa on kaksi grilli-tyyppistä käsittelylaitetta ja yksi hitsausrobotti. Tämä mahdollistaa kahden tuotteen yhtäaikaisen hitsaamisen ja purkamisen. Kuljetinruuvien koehitsauksella todistettiin kuljetinruuvien robottihitsaaminen mahdolliseksi, kun komponentit oli silloitettu huolellisesti. Koehitsauksessa havaittiin, että merkittävin ongelma robottihitsauksessa on komponenttien välillä oleva ilmarako. Tutkimuksessa todettiin Kospirt Oy:n tuotteiden soveltuvan robottihitsaukseen ja niiden hitsaamiseen löydettiin soveltuva robottisoluu.</p>			
Avainsanat Robottihitsaus, robottihitsattavat tuotteet, tuotannon kehitys			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Miro Petäjämäki			
Title of Thesis Robot welding products in a mechanical engineering workshop			
Date	1.6.2018	Pages	38
Supervisor(s) Jenni Toivanen, Aku Tuunainen			
Client Organisation /Partners Kospirt Oy			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was made for custom engineering workshop located in the Haukivuori. The company has considered ways to improve turnaround time and quality of the production line. Solution to this goal was sought by modernizing production by purchasing a robot welding cell. The aim of the thesis was to study the suitability of robot welding for the present production.</p> <p>The work was started by searching for information about robotic welding, robot welding equipment and robot welding requirements. The most suitable products for robot welding were chosen from the company's production and were improved in the light of robot welding requirements. The most suitable robot welding cell type was chosen for these products. A welding test was made for the conveyor screw, which was suspected to be challenging for robot welding.</p> <p>As a result of the work, a proposal for a suitable type of robotic cell was obtained and robot welding was proved to function in the production of Kospirt Oy. Six different products were selected from production and then modified to benefit robot welding. The robot welding cell that has two grill-type manipulator units and one welding robot was selected for the best-suited robot cell type. This allows simultaneous welding and unloading of two products. By a welding test of the conveyor screw, the robot welding of the conveyor screw was proved possible when components were mated carefully. On the test welding it was found that the most significant problem is the gap between two components. The thesis discovered that Kospirt Oy's products were suitable for robot welding and a suitable robot cell for their products was found.</p>			
Keywords Robot welding, robot welding products, production line improvement			

ESIPUHE

Tahdon kiittää TKI-asiantuntija Jenni Toivasta ja projekti-insinööri Aku Tuunaista hyvästä sekä joustavasta opinnäytetyön ohjauksesta. Lisäksi kiitän HitSavoniaa heidän robottihittauslaitteiston käytöstä.

Haukivuoressa 1.6.2018

Miro Petäjämäki

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn tavoite	6
1.2	Työn rajaus	6
1.3	Työn toteutus	6
1.4	Kospirt Oy	7
2	ROBOTTIHITSAUS	8
2.1	Kappaleenkäsittelylaitteet	9
2.2	Kappaleen kiinnitys	10
2.3	Robottihitsattavat tuotteet	12
2.3.1	Tuotteen konstruktio	12
2.3.2	Komponenttien työstö ennen hitsausta	15
2.3.3	Liitosmuodot, hitsilajit ja hitsausasennot	16
3	ROBOTTIHITSATTAVAT TUOTTEET KOSPIRT OY:SSÄ	19
3.1	Tuotteet ja hitsauksen robotisointi	19
3.1.1	Kuljetinruuvit	19
3.1.2	Kuljetinruuvien rungot	20
3.1.3	Hihnakuljettimen rungot	22
3.1.4	Pilarit	23
3.1.5	Elevaattorin kauha	24
3.1.6	Ruuvikuljettimen pääty	25
3.1.7	Tuotteiden robottihitsattavuuden tarkastelun johtopäätökset	27
3.2	Kuljetinruuvien koehitsaus	29
3.2.1	Hitsattava kappale	29
3.2.2	Käytetty laitteisto	29
3.2.3	Koehitsauksen suoritus	30
3.2.4	Koehitsauksen tulokset	31
4	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	33
5	YHTEENVETO	36
6	LÄHDELUETTELO	37

1 JOHDANTO

Teknologian kehittyessä myös metalliteollisuus uudistuu. Pysyäkseen mukana kilpailussa, on myös pienempien yritysten pyrittävä kehittymään. Maailmalla robottihitsaus yleistyy ja automatisoidun hitsaamisen osuus kasvaa jatkuvasti. Robottihitsaus parantaa hitsauksen laatua ja lisää luotettavuutta laatuvaihteluiden vähentymisestä johtuen. Robottihitsaus kuitenkin asettaa haasteita, koska siinä täytyy pohtia ja ottaa huomioon hitsauksen automatisoinnin erityispiirteet.

Opinnäytetyö tehdään tilauskonepaja Kospirt Oy:lle. Yrityksessä on viime aikoina pohdittu keinoja tuotannon tehostamiseen ja modernisointiin, josta myös opinnäytetyön aihe on lähtöisin. Tähän tavoitteeseen pyrittiin löytämään ratkaisu nykyaikaistamalla tuotantoa robottihitsaussolun hankinnalla.

1.1 Työn tavoite

Kospirt Oy:n tuotannossa hitsaaminen tapahtuu perinteisin menetelmin, käsinhitsauksena. Tämä opinnäytetyö on tutkimus- ja kehittämistyö, jonka tavoitteena on tutkia robottihitsaamisen soveltuvuutta yrityksen nykyiseen tuotantoon ja selvittää, kuinka nykyisiä hitsattavia tuotteita voisi kehittää paremmin robottihitsattavaksi. Opinnäytetyöstä Kospirt Oy saa tiedon, mitkä tuotteet ovat järkeviä robottihitsata ja mitä toimenpiteitä niille täytyisi tehdä robottihitsauksen toteuttamiseksi. Saan itse opinnäytetyöstä tärkeää oppia ja kokemusta robottihitsauksesta ja siihen liittyvistä asioista. Uskon myös, että opinnäytetyön tekeminen parantaa ajankäytön ja aikataulun hallinnan taitojani.

1.2 Työn rajaus

Robottihitsattavien tuotteiden materiaaliksi työssä rajataan seostamattomat tai niukkaseosteiset rakenneteräkset, koska nämä muodostavat tuoterakenteiltaan potentiaalisimman tuoteryhmän robotilla hitsattavaksi. Yrityksen tuotannossa mahdollisesti hitsattavat ruostumattomasta teräksestä ja alumiinista valmistettavat tuotteet jätetään tarkastelusta pois. Opinnäytetyössä ei perehdytä hitsauskiinnittimien suunnitteluun, koska sen osuus olisi laajuudeltaan toisen opinnäytetyön arvoinen.

1.3 Työn toteutus

Työn toteutus aloitetaan tutkimalla robottihitsauksen teoriaa kirjallisuudesta ja verkkolähteistä. Teoriaosuuden jälkeen tutkitaan yrityksen valmistamia tuotteita ja etsitään ne tuotteet, jotka soveltuvat joko suoraan tai pienillä muutoksilla robottihitsattaviksi. Seuraavaksi

näille tuotteille suunnitellaan tarpeen mukaan muutoksia siten, että ne olisivat entistä paremmin valmistettävissä robottihitsaamalla. Yhdelle haastavaksi arvioidulle robottihitsattavalle tuotteelle tehtiin testihitsaukset. Lopuksi arvioitiin tuotteiden soveltuvuutta robottihitsaukseen ja valittiin yrityksen tuotteiden hitsaamiseen hyvin soveltuva robottihitsaussolu.

1.4 Kospirt Oy

Kospirt Oy on Haukivuoren kunnassa Etelä-Savossa toimiva tilauskonepaja (kuva 1). Kospirt Oy on aloittanut toimintansa suunnittelutoimistona vuonna 1973 Hollolassa. Vuonna 1978 yritys muutti Mikkelin Haukivuorelle ja aloitti toiminnan tilauskonepajana. Kospirt Oy suunnittelee ja valmistaa asiakkaan toiveiden mukaan kuljetin- siirto- ja materiaalinkäsittelylaitteita sekä monenlaisia teräsrakenteita. Yrityksessä työskentelee eri tehtävissä noin 20 työntekijää. (Kospirt Oy 2018.)

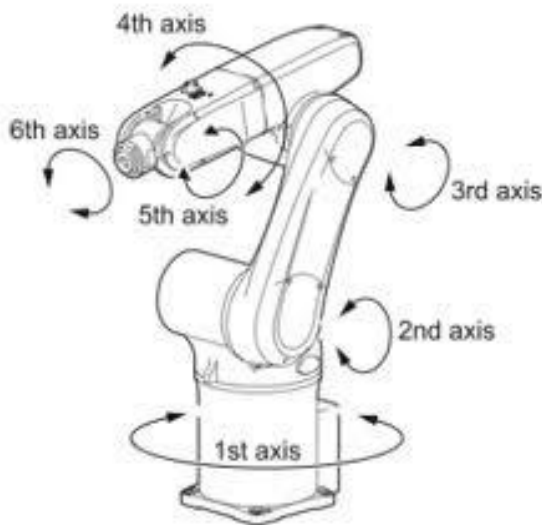


Kuva 1. Kospirt Oy:n tuotantotilat.

2 ROBOTTIHITSAUS

Teollisuusrobotiksi voidaan lukea mekaaninen laite, jossa on vähintään kolme liikkuvaa niveltä ja sen liikeradat sekä tehtävä ovat uudelleen ohjelmoitavissa. Robotteja käytetään teollisuudessa työkalujen, kappaleiden, osien ja erikoislaitteiden liikuttamiseen. Yleisiä robotin työtehtäviä teollisuudessa ovat esimerkiksi: kokoonpano asennus, hitsaus, pakkaaminen ja maalaus. (Kuivanen 1999, 13.)

Teollisuusrobotteja on saatavilla erityyppisinä, joiden työalueet ja vapausasteet vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaisesti (Helzer & Cary 2005, 313 - 314). Teollisuusrobotit jaetaan yleensä kuuteen eri tyyppiin: kiertyvänivelinen robotti, suorakulmainen robotti, napakoordinaatistorobotti, sylinterirobotti, Scara-robotti ja rinnakkaisrakenteinen robotti. Robottihitsauksessa yleisimmin käytetty robottityyppi on kiertyvänivelinen kuusiakselinen robotti (kuva 2). (Ahde 2014.)



Kuva 2. 6-akselinen robotti ja sen akselit (Intorobotics 2017).

Nykypäivän teollisuus vaatii tuotantojärjestelmältä hyvää joustavuutta. Tuotantojärjestelmän joustavuus on tärkeää, koska tällöin valmistettavaan tuotteeseen voidaan tehdä muutoksia koko tuotantolinjaa vaihtamatta. Joustavuus on yksi tärkeimmistä tuotantojärjestelmän kehityskohteista, mikä on nostanut robottihitsauksen vaihtoehdoksi käsinhitsauksen ja mekanisoidun hitsauksen rinnalle. Nykyaikainen robottihitsaus mahdollistaa myös pienien erien kannattavan hitsaamisen robotilla. Robottihitsauksen käyttöönotolla pyritään usein parantamaan tuottavuutta ja tuotteen laatua sekä vähentämään valmistuskustannuksia. (TWI 2017.)

Tyypillinen robottihitsaussolu sisältää hitsausrobotin, ohjausjärjestelmän, hitsauslaitteen varusteineen, käsittelylaitteen ja toimintatilan turvalaitteineen (kuva 3). Robottihitsaussolua hankittaessa täytyy suunnitella tarkkaan minkälainen hitsausrobotti, hitsausvirtalähde ja käsittelylaite soveltuvat parhaiten suunniteltujen tuotteiden hitsaamiseen. Lisäksi täytyy ottaa huomioon robottisolun sijoittaminen tuotantotiloihin. Robottisolu turva-aitauksineen saattaa vaatia paljonkin tilaa, joten tuotantotilojen muita toimintoja voi joutua siirtämään tai muuttamaan. Robottihitsaussoluja on saatavilla valmiina yhteensopivina kokonaisuuksina, jotka sisältävät kaikki tarvittavat laitteet ja järjestelmät, jotka ovat määrättyjen säädösten mukaisia. Robottihitsaussolun suunnittelun ja rakentamisen voi myös toteuttaa itse, mutta tällöin täytyy varmistaa, että hankitut laitteet ovat keskenään yhteensopivia ja soveltuvat halutun tuotteen hitsaamiseen. Kun robottisolu suunnitellaan ja rakennetaan itse, täytyy huomioida määriteltyjen turvallisuusmääräyksien noudattaminen. (Helzer & Cary 2005, 320 - 321.)

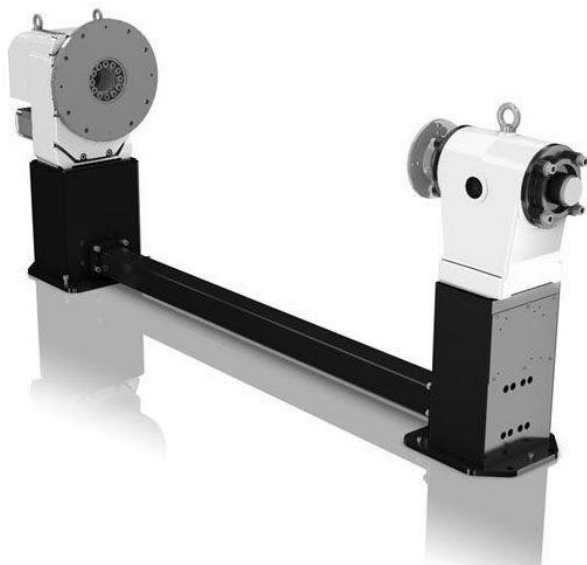


Kuva 3. Irco Automationin robottihitsaus solu, jossa on hitsausrobotti, pyörittävä käsittelylaite, MAG-hitsauslaitteisto ja suojaverkot (IRCO Automation 2017).

2.1 Kappaleenkäsittelylaitteet

Kappaleenkäsittelylaitteet ovat hitsauksessa käytettäviä apuvälineitä, jotka parantavat hitsausrobotin ulottuvuutta ja luoksepäästävyttä (kuva 4). Kappaleenkäsittelylaitteita käytetään myös käsinhitsauksessa, mutta robottihitsauksessa ne ovat yleensä tärkeämmässä roolissa. Hitsausrobotin hitsauspään kiinnitystapa sekä hitsauspään koko ja muoto voivat rajoittaa sen pääsyä hitsattavaan kohtaan. Hitsausrobotin paikka on yleensä kiinteä, mikä rajoittaa sen ulottuvuutta. Hitsausrobotti voidaan kiinnittää radalle jolla robotti voi muuttaa

asemaansa ja näin ollen ulottuvuus paranee. Käsittelylaitteilla pystytään parantamaan kappaleen hitsien luoksepäästävyttä, koska hitsausasentoa voidaan muuttaa suotuisammaksi. (Helzer & Cary 2005, 299 - 301.)



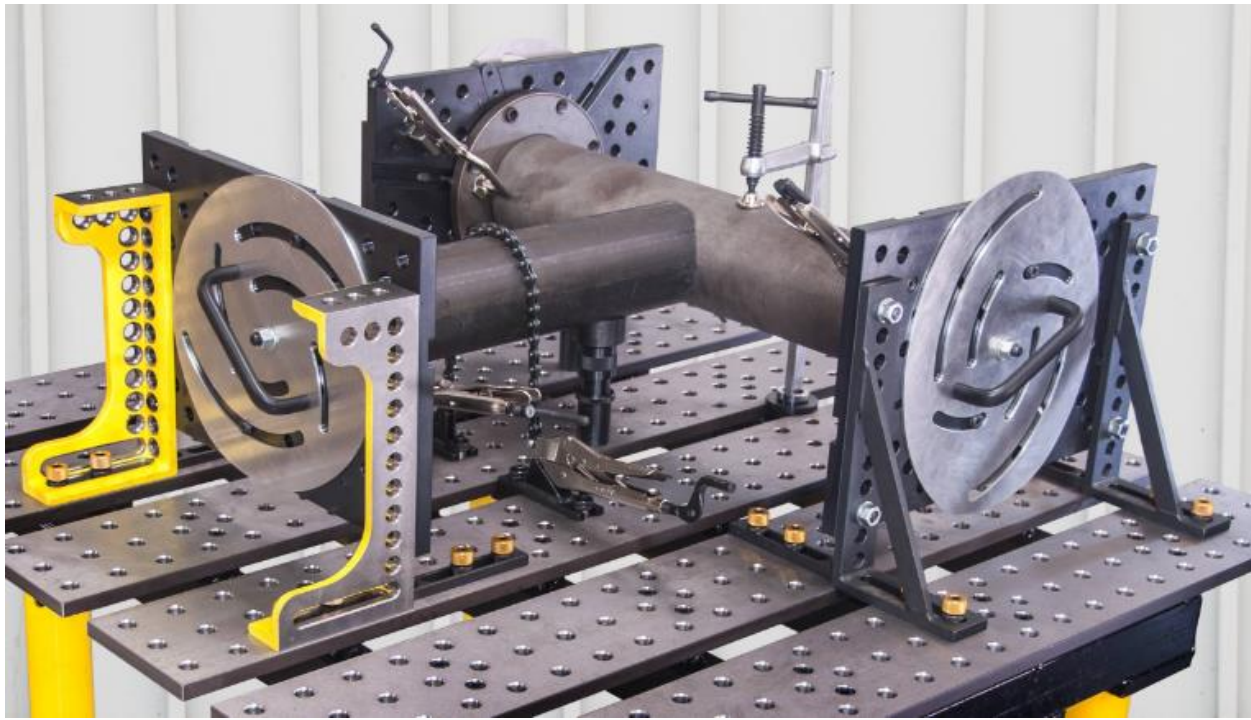
Kuva 4. ABB:n valmistava 1-akselinen pyörityspöytä IRBP-L (Direct Industry 2017).

Kappaleenkäsittelylaitteita on olemassa erityyppisiä. Yksinkertaisimmillaan kappaleenkäsittelylaite on hitsauspöytä, jossa on yksi pyörivä akseli. Hitsauspöytiä on myös kaksiakselisia, jolloin hitsattava kappale saadaan vieläkin edullisempaan asentoon. Kappaleenkäsittelylaitteita ovat myös grillipöydät, joissa on vastakkain kaksi pyörivää käsittelypöytää. Grillipöydät soveltuvat hyvin raskaiden kappaleiden hitsaamiseen suuremman kantavuuden vuoksi. Tehokkaaseen hitsaukseen voidaan käyttää kappaleenkäsittelylaitteita, joissa on kaksi eri käsittelyasemaa, tällöin toisen käsittelyaseman kappaletta hitsatessa voidaan toiseen käsittelyasemaan asettaa tai poistaa kappaletta. (Helzer & Cary 2005, 299 - 301.)

2.2 Kappaleen kiinnitys

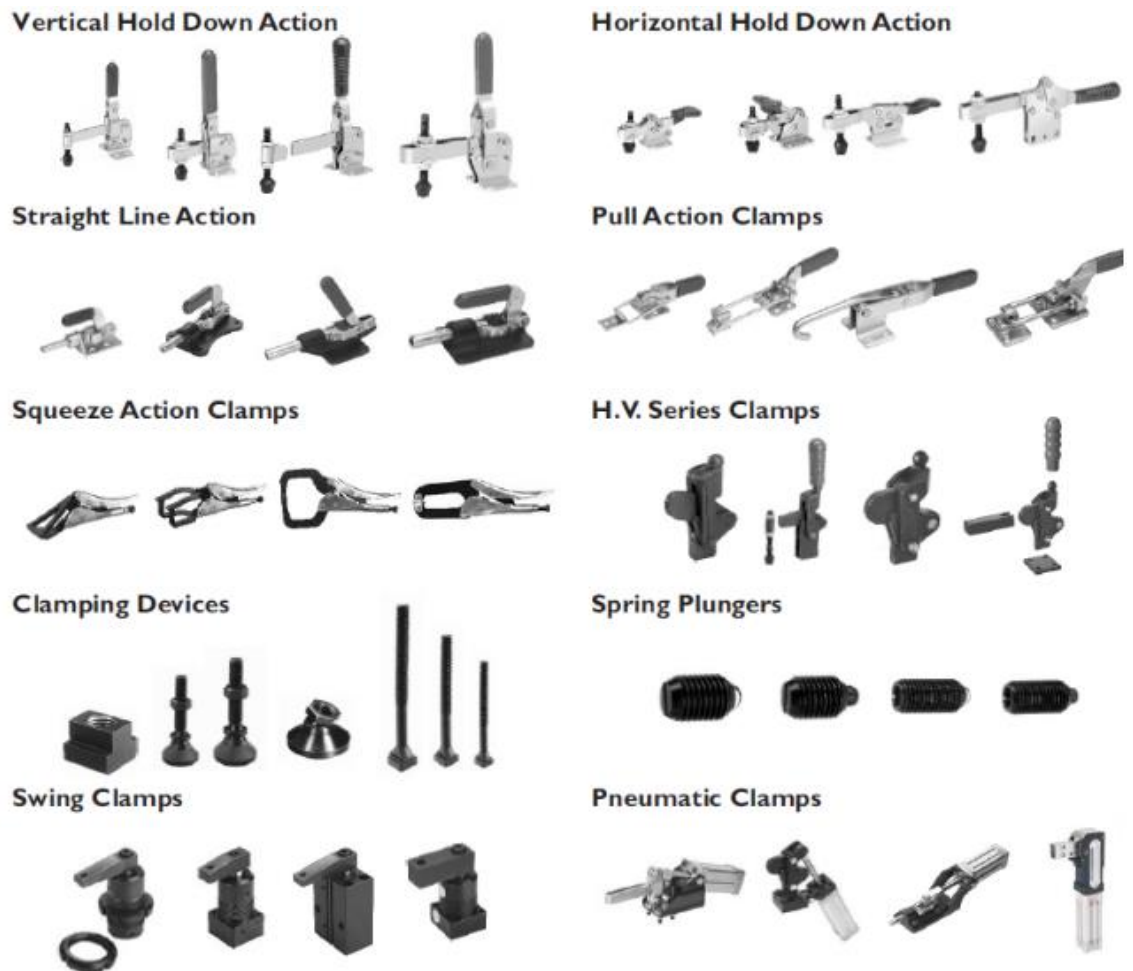
Hitsauskiinnitin on apulaite, jonka tehtävä on pitää hitsattavat komponentit paikoillaan hitsaamisen ajan (kuva 5). Robottihitsauksessa hitsauskiinnitin helpottaa hitsaamista ja pyrkii pitämään tuotteiden laatu- ja mittavaihtelut minimaalisina. Käsinhitsauksessa hitsauskiinnittimien käyttö yleensä rajoittuu vain silloitushitsaukseen.

Hyvä hitsauskiinnitin on helppokäyttöinen ja tuo taloudellisia säästöjä tuotannon laadun ja tehokkuuden parantuessa. Hitsauskiinnittimeltä vaadittavat ominaisuudet vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Jos hitsauskiinnitin tulee käytettäväksi piensarjatuotannossa, sen on tärkeä olla rakenteeltaan joustava ja kustannustehokas. Suursarjatuotannossa taas on edullisinta panostaa hitsauskiinnittimen kestävyteen. (Solehmainen, Tuunainen, Räsänen & Jääskeläinen 2016.)



Kuva 5. Putkien ja laippojen hitsaamiseen suunniteltu hitsauskiinnitin (Stronghandtools 2018).

Hitsattavan kappaleen paikallaan pitämiseen hitsauskiinnittimessä tarvitaan kiinnitysvoima. Kappaletta kiinnittävä voima toteutetaan erilaisin kiinnittimin. Kiinnittimen tehtävä on pitää kappale kiinni hitsauskiinnittimessä ja estää sen muodonmuutokset hitsauksen ja jäähtymisen aikana. Yksinkertaisimmillaan kiinnitin voi olla esimerkiksi ruuvi ja mutteri, joilla kappale kiristetään hitsauskiinnittimeen. Usein kiinnittimenä käytetään kuitenkin pikakiinnittämiä, joita on saatavana useita eri malleja (kuva 6). Yksinkertaisimpia ovat nivelvipumekanismeilla toimivat käsikäyttöiset pikakiinnittimet. Pikakiinnittämiä on olemassa myös pneumaattikka-, sähkö- ja magneettikäyttöisinä. Joissain tapauksissa maan vetovoima riittää pitämään kappaleen paikoillaan jolloin erillisiä lukitsevia kiinnittämiä ei tarvita. (Leino & Meuronen 1987, 35.)



Kuva 6. Erilaisia pikakiinnittimiä Perfect Corporationin kuvastosta (Perfect Corporation 2017).

2.3 Robottihitsattavat tuotteet

Suunniteltaessa käsinhitsauksen korvaamista robottihitsauksella, hitsattavan tuotteen rakennetta on tarkasteltava uudelleen. Jotta robottihitsaaminen olisi kannattavaa, nykyisestä tuotteesta on tehtävä robottihitsaukseen soveltuva. Ennen robottihitsaus on ollut erilaista kuin nykyisin ja sen kannattavuuden takaamiseksi tarvittiin neljä tekijää: valmistettavien kappaleiden suuri lukumäärä, samanlainen helposti toistettava hitsi, osaava työntekijä luomaan järjestelmä ja osaava työntekijä käyttämään ja hienosäätämään robottihitsausta. Nykyisin robotit ovat kehittyneet joustavimmiksi ja ohjelmointimenetelmät tehokkaimmiksi. Tämä mahdollistaa robottihitsauksen kannattavan käytön myös pienempien sarjojen ja yksittäisten kappaleiden hitsaamisessa. (Anderson 2014.)

2.3.1 Tuotteen konstruktio

Robotilla hitsattaessa on tärkeää suunnitella hitsattava tuote niin, että se pystytään hitsaamaan mahdollisimman tehokkaasti. Käsinhitsauksessa ilmenevät ongelmat esimerkiksi luoksepäästävyudessa tai mittatarkkuuksissa, on huomioitava entistä tarkemmin robotilla hitsattaessa. (Keibler 2003.)

Robottihitsauksessa komponenttien sopivuusvirheet, raot komponenttien välissä ja huono ulottuvuus vaikeuttavat hitsaamista merkittävästi. Hitsaamisen aiheuttamat muodonmuutokset saattavat aiheuttaa kappaleen jumittumisen hitsauskiinnittimeen tai toleranssit ylittävän mittavirheen (kuva 7). Käsinhitsauksessa edellä mainitut tekijät eivät välttämättä vaikeuta hitsaamista yhtä paljon kuin robottihitsauksessa. (Whitter 2014.)

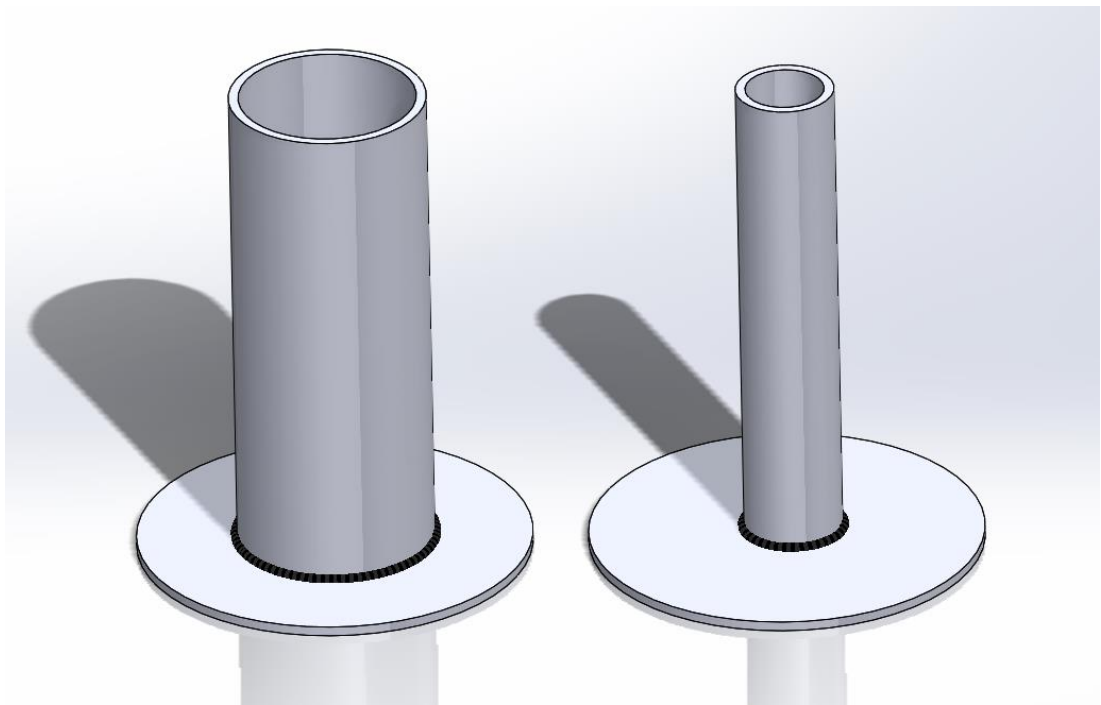


Kuva 7. Pienahitsissä tapahtunut muodonmuutos, jonka seurauksena liitos on vääntynyt.

Robottihitsattavan tuotteen standardisointi on hyödyllistä. Käyttämällä samoja aineenvahvuuksia ja materiaaleja robotin ohjelmointi ja parametrien testaaminen on helpompaa. Jos tuotteissa on monia komponentteja, joilla on eri aineenvahvuudet ja materiaalin ominaisuudet, täytyy hitseille olla eri hitsausparametrit. Vain muutamia aineenvahvuuksia ja materiaaleja käyttäessä pystytään hyödyntämään jo kertaalleen luotuja hitsausparametreja sellaisinaan tai pienin muutoksin. Lisäksi standardisointi on edullista varastoimisen kannalta, koska ei tarvitse varastoida kuin muutamia eri materiaaleja. Kun erilaisia käytettäviä materiaaleja ei ole paljon, materiaalien varastomäärien seuraaminen ja täydentäminen on yksinkertaista, mikä parantaa varastohallintaa. (Weman & Lindén 2006, 264 - 265.)

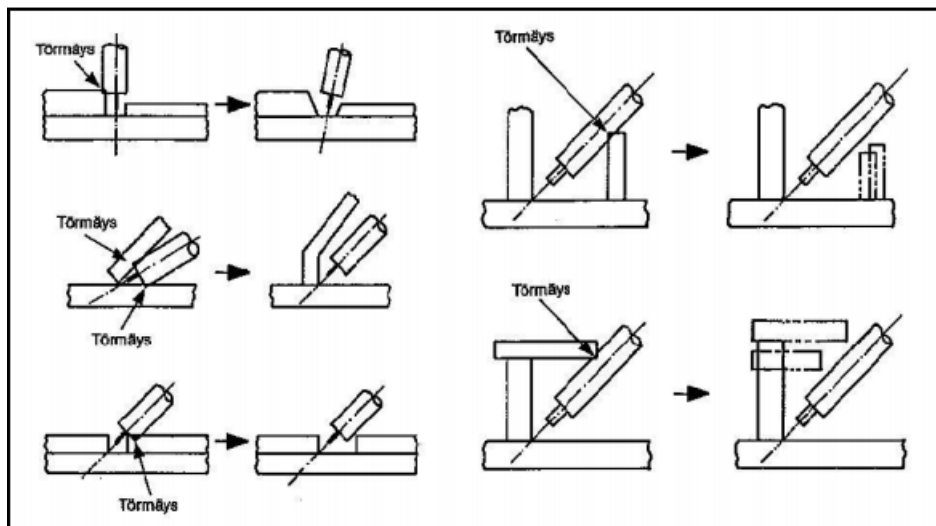
Tuotteiden komponenttien on hyvä olla helposti tunnistettavissa ja eroteltavissa, jotta vältetään komponenttien sekaantuminen. Jos tuotteessa on esimerkiksi kaksi putkimaista komponenttia, joiden ainoa eroavaisuus on putken sisähalkaisija, on mahdollista että nämä komponentit sekaantuvat keskenään. (Weman & Lindén 2006, 264 - 265.) Tuotteen asettaminen robotin käsittelypöytään täytyy huomioida sitä suunnitellessa. Tuotteen asettaminen ja irrottaminen robotin käsittelypöydästä on hyvä tapahtua helposti ja nopeasti. Tuotteen rakenteessa täytyy välttää muotoja ja piirteitä, joille on hankala suunnitella luotettava hitsauskiinnitin. Tuotteen kiinnittämisen on hyvä tapahtua ilman useita työkaluja ja monimutkaisia kiinnitystapoja. Tuotteen kiinnittämiseen menevä ylimääräinen aika huonontaa tuotavuutta. (Tregakiss 2018.)

Eri robottihitsattavia tuotteita on hyvä pyrkiä moduloimaan tai luoda niistä tuoteperheitä. Kun tuotteet ovat samankaltaisia, niiden kiinnitykseen ja hitsausparametreihin liittyvät erot pysyvät pieninä sekä ohjelmointi helpottuu. Esimerkkinä tuoteperhe, jossa on pyöreä levy ja sen keskelle hitsataan pystyyn putki, jonka halkaisija vaihtelee tuotteen mukaan (kuva 8). Tässä tuoteperheessä voidaan käyttää aina samaa hitsauskiinnitintä, koska pyöreän levyn mitat eivät muutu ja putken halkaisijan ei vaihtelulla ei ole merkitystä hitsauskiinnittimen kannalta. Edellä mainitun tuoteperheen tuotteiden ohjelmointi on myös yksinkertaista, koska hitsausohjelma voidaan luoda niin, että ohjelmaan muutetaan vain putken halkaisijaa, jolloin robotin hitsausrata muuttuu sopivaksi. Myös hitsausparametrit ovat samat kaikissa tuoteperheen tuotteissa, koska putken seinämävahvuus pysyy samana. Putken halkaisijan muutoksilla ei ole merkittävää vaikutusta hitsausparametreihin. (Weman & Lindén 2006, 264 - 265.)

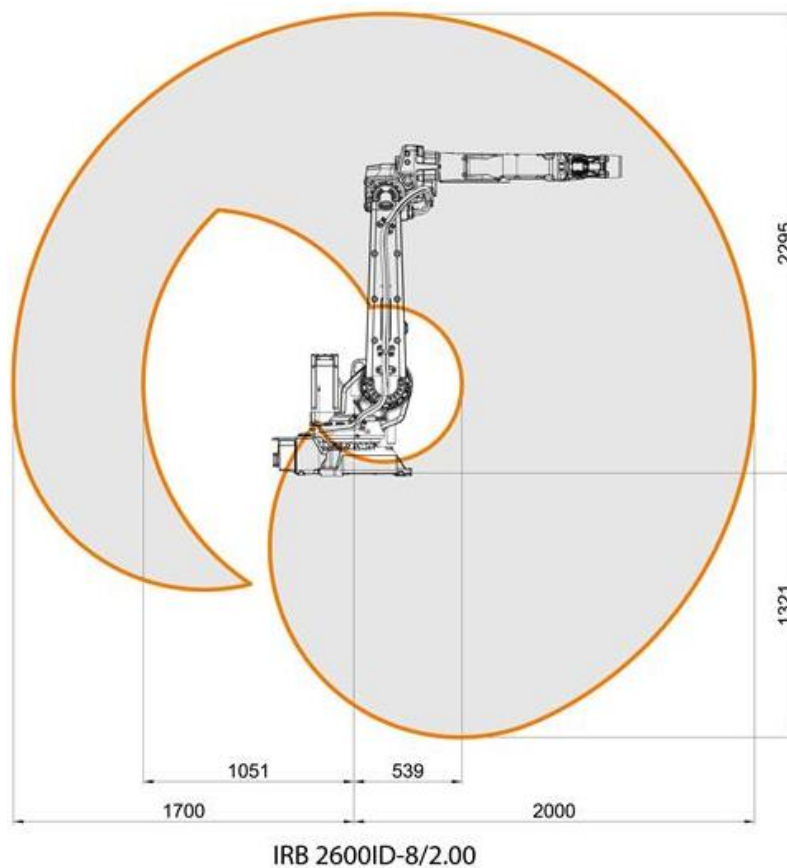


Kuva 8. Esimerkki tuoteperhe jossa samankokoiseen levyyn, samalle paikalle on hitsattu erikokoinen putki.

Robottihitsattavien tuotteiden geometriassa täytyy huomioida robotin rajoitteet ja vaatimukset (kuva 9). Hitsausroboteilla päärajoitteena on ulottuvuus ja luoksepäästävyys. Robotin ulottuvuudella tarkoitetaan sitä etäisyyttä, mihin robotti maksimissaan ylettyy (kuva 10). Hitsausrobottien ulottuvuus vaihtelee robotin mallin ja valmistajan mukaan. Luoksepäästävyydellä tarkoitetaan sitä, miten kappaleen hitsit päästään hitsaamaan. Luoksepäästävyyyteen vaikuttaa robotin hitsauspistoolin koko, nivelten liikeradat ja käsivarren mitat. (Keibler 2003.)



Kuva 9. Tuotteen rakenteen muuttaminen hitsattavuuden parantamiseksi (Ahola 1988, 22).



Kuva 10. Piirros ABB:n IRB 2600ID-8/2.00 robotin ulottuvuudesta (ABB 2018).

2.3.2 Komponenttien työstö ennen hitsausta

Ennen tuotteen hitsaamista sen komponentteja voidaan valmistaa laser-, plasma-, poltto-, ja vesileikkaamalla sekä mekaanisesti leikkaamalla. Komponentteja voidaan muovata lävis-tämällä, koneistamalla, sahaamalla ja taivuttamalla. Robotilla hitsatessa tuotteita, hitsausta edeltävien työvaiheiden mittatarkkuudella ja laadulla on suuri merkitys saatuun lopputulokseen (taulukko 1). (Keibler 2003.)

Taulukko 1. Leikkausmenetelmät sekä niillä saavutettava tarkkuus ja käytettävä leikkauspaksuus (ProLaser 2017; TurunWaterCut 2017; Walsh 2005).

Leikkausmenetelmä	Mittatarkkuus	Edullinen leikkauspaksuus
Polttoleikkaus	$\pm 1,0$ mm	6 mm – 270 mm
Plasmaleikkaus	$\pm 0,3$ mm	1 mm – 30 mm
Laserleikkaus	$\pm 0,05$ mm	0 mm – 20 mm
Vesileikkaus	$\pm 0,2$ mm	8 mm – 60 mm

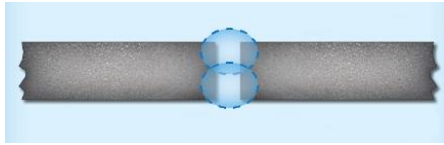
Termisiin leikkausmenetelmiin kuuluvat laser-, plasma- ja polttoleikkaus leikkaavat kappaleita sulattamalla sitä. Yleensä termisten leikkausmenetelmien ongelma on lämmöntuonnin aiheuttamat muodonmuutokset. Laserleikkauksessa lämmöntuonti on kuitenkin paljon pienempää, eikä muodonmuutoksia usein aiheudu. Erityisesti polttoleikkausta käytettäessä leikkausrailo on usein kiilamainen, mikä saattaa joissain tapauksissa vaikeuttaa komponenttien silloitushitsausta ja robottihitsausta. Vaino leikkauspinta voi esimerkiksi aiheuttaa komponenttien välisiä kulmavirheitä. Laserleikkaus ja plasmaleikkaus on parempi vaihtoehto tämän suhteen, koska niillä on helpompi saada aikaiseksi suora leikkauspinta. Leikkauspinnan pinnanlaatu on termisistä menetelmistä parhain laserleikkauksella. (Weman & Lindén 2006, 270.) Termisillä leikkausmenetelmillä pystytään myös tekemään levyleikkeiden reunoihin viisteet. Tämä on hyödyllinen piirre hitsattavien osien valmistuksessa, koska pystytään ohittamaan erillinen viisteen teon työvaihe. (Aliko Oy 2017.)

Vesileikkauksessa ei tuoda kappaleeseen lämpöä, joten lämmön aiheuttamia muodonmuutoksia ei esiinny. Myös pinnanlaatu ja tarkkuus on jopa laserleikkausta parempi. Vesileikkaus on kuitenkin hidas ja kallis menetelmä, joten sitä on usein edullista käyttää vain soveluksissa joihin termiset menetelmät eivät käy. (Savon Vesileikkaus 2017.)

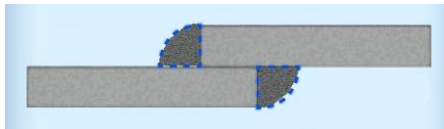
2.3.3 Liitosmuodot, hitsilajit ja hitsausasennot

Hitsatessa kappaleita yhteen voidaan käyttää eri liitosmuotoja. Liitosmuoto valitaan tuotteen rakenteen, vaatimusten ja soveltuvuuden mukaan. Eri liitosmuotoja ovat päittäisliitos (kuva 11), päällekkäisliitos (kuva 12), nurkkaliitos (kuva 13), T-liitos (kuva 14) ja reunaliitos (kuva 15) Päittäisliitoksessa hitsattavien kappaleiden pinnat ovat samalla tasolla, 135-180 asteen kulmassa toisiinsa nähden ja ne hitsataan yhteen päittäishitsillä tai pienahitsillä. Päittäisliitos on yleisin käytetty liitosmuoto. Päällekkäisliitoksessa hitsattavat kappaleet ovat asetettu osittain päällekkäin ja hitsattu kiinni joko molemmista päistä tai vain toisesta päästä. Päällekkäisliitosta käytetään usein silloin, kun liitetään eri paksuisia kappaleita yhteen. Nurkkaliitoksessa kappaleet on asetettu toisiinsa nähden vastakkain määritellyyn kulmaan ja hitsataan kiinni kulman sisä- tai ulkopuolelta. T-liitoksessa hitsattavat kappaleet muodostavat T-kirjaimen muodon. T-liitoksessa voidaan käyttää piena- ja päittäishitsejä.

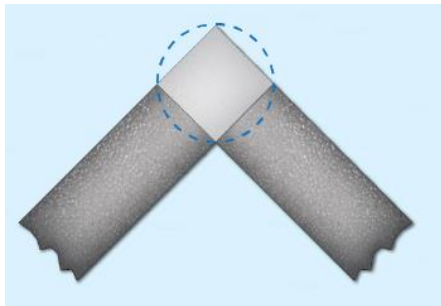
Reunaliitoksessa kappaleet ovat päällekkäin, päät samalla tasalla ja hitsillä yhdistetään päät yhteen. (Ateliers B.G. 2017.)



Kuva 11. Päittäisliitos (Technology Transfer 2018).



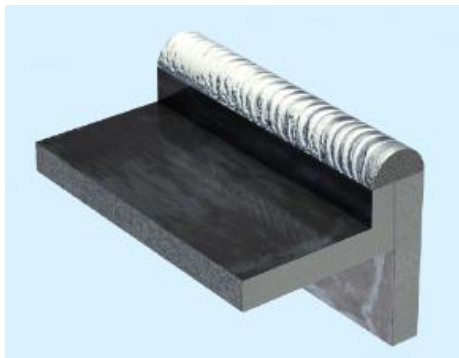
Kuva 12. Päällekkäisliitos (Technology Transfer 2018).



Kuva 13. Nurkkaliitos (Technology Transfer 2018).



Kuva 14. T-liitos (Technology Transfer 2018).

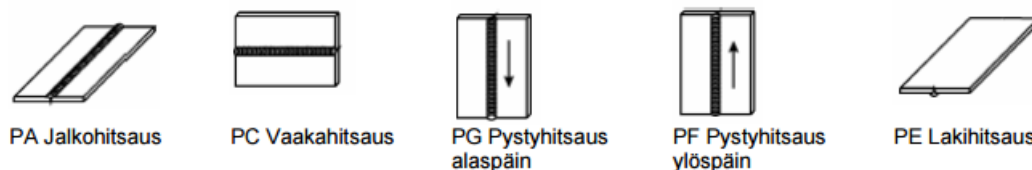


Kuva 15. Reunaliitos (Technology Transfer 2018).

Hitsauksessa yleisesti jaetaan hitsilajit kahteen eri hitsiin, piena- ja päittäishitsiin. Pienahitsi on hitsi, mikä on hitsattu pienarailoon. Pienahitsejä on esimerkiksi T-liitoksissa, päällekkäisliitoksissa ja nurkkaliitoksissa olevat hitsit. Päittäishitsejä ovat hitsit joita ei ole hitsattu pienarailoon. Päittäishitsejä käytetään päittäisliitoksissa, T-liitoksissa ja nurkkaliitoksissa. (SHY 2018.)

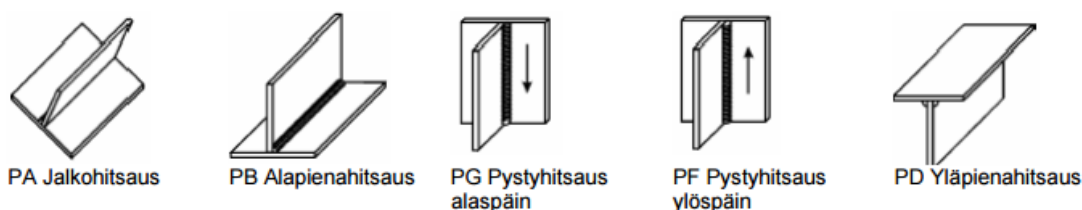
Hitsauksessa voidaan käyttää eri hitsausasentoja, riippuen hitsin paikasta ja hitsaus suunnasta. Eri hitsausasentoille on omanlaisensa hitsausparametrit. Päittäishitseille hitsausasentona on yleensä jalkohitsaus, vaakahitsaus, pystyhitsaus alaspäin, pystyhitsaus ylöspäin ja lakihitsaus (kuva 16). Pienhitseissä hitsausasentona on yleensä jalkohitsaus, alapienahitsaus, pystyhitsaus alaspäin, pystyhitsaus ylöspäin ja yläpienahitsaus (kuva 17). Robottihitsauksessa yleensä käytetään ainoastaan päittäishitseissä jalkohitsausta sekä pienahitseissä jalkohitsausta ja alapienahitsausta. Robottihitsauksessa kuitenkin käytetään usein pienahitsejä ja vältetään päittäishitsejä, koska hitsausvirran muutoksien avulla toimiva railon seuranta ei toimi päittäishitsatessa. (SHY 2018.)

PÄITÄISHITSIT



Kuva 16. Päittäishitsin hitsausasennot ja niiden tunnuksat (SHY 2018).

PIENAHITSIT



Kuva 17. Pienahitsin hitsausasennot ja niiden tunnuksat (SHY 2018).

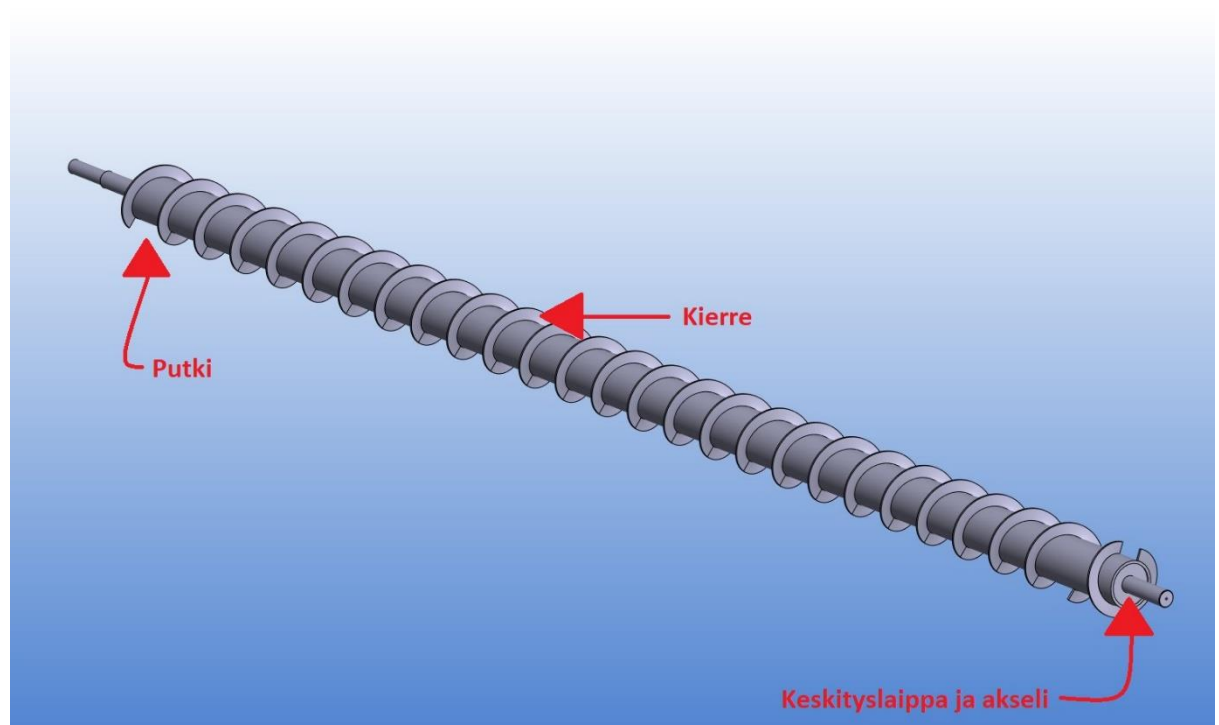
3 ROBOTTIHITSATTAVAT TUOTTEET KOSPIRT OY:SSÄ

3.1 Tuotteet ja hitsauksen robotisointi

Kospirt Oy tekee monenlaisia hitsattavia tuotteita, joiden koko vaihtelee muutamasta sadasta grammasta muutamaan kymmeneen tonniin. Erilaisten tuotteiden suuresta määrästä johtuen, valitaan 6 potentiaalisinta robottihitsattavaa tuotetta, joiden robottihitsattavuutta tarkastellaan. Perusteena tuotteiden valinnalle on: valmistusmäärä, hitsausaika, hitsattavuus sekä kappaleen konstruktio ja geometria.

3.1.1 Kuljetinruuvit

Kuljetinruuvi sisältää kaksi akselia, putken, kierteet ja yleensä kaksi keskityslaippaa yhtä akselia kohden (kuva 18). Kospirt Oy:n valmistamat kuljetinruuvit ovat yleensä 0,5 m - 12,0 m pitkiä ja painavat jopa 4000 kg. Yleisin valmistettu kuljetinruuvi on noin 6 m pitkä ja painaa noin 400 kg. Yli 12 m pitkiä ja yli 1500 kg painavia kuljetinruuveja valmistetaan kuitenkin vähän suhteessa pienempiin kuljetinruuveihin. Kuljetinruuveja valmistetaan noin 50 - 100 kappaletta vuodessa.



Kuva 18. Kuljetinruuvin 3D-piirros.

Kuljetinruuvissa kierre hitsataan putkeen usein molemmin puolin. Kierre hitsataan kokohitsillä tai katkohitsillä, riippuen kuljetinruuvin käyttötarkoituksesta. Kierteiden nousu voi olla sama koko matkalta tai se voi vaihdella käyttötarkoituksesta riippuen.

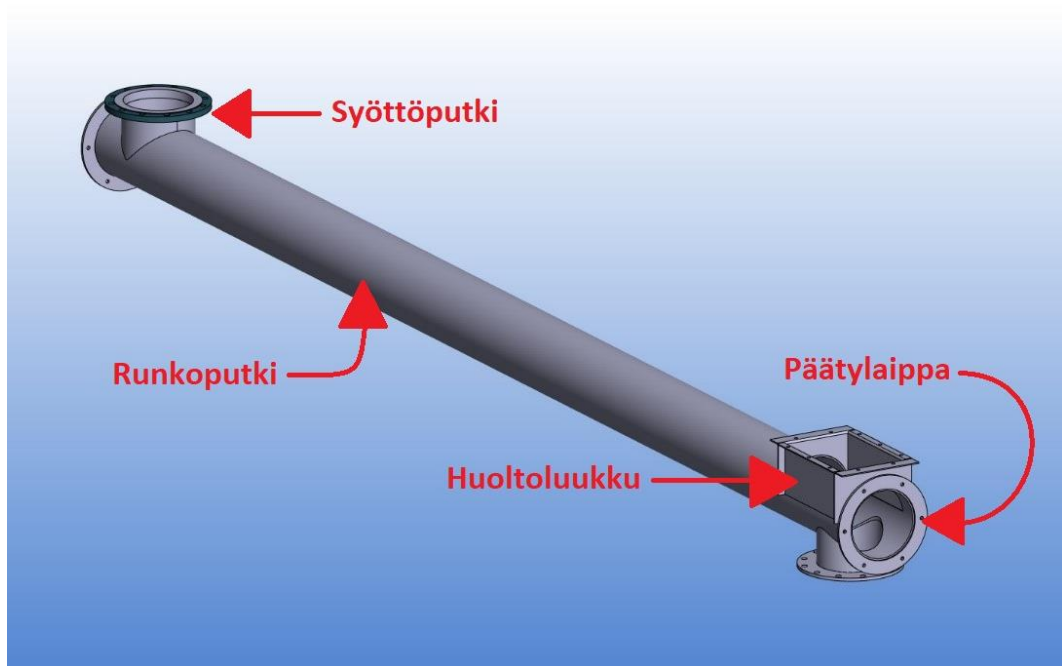
Kuljetinruuvien robottihitsauksessa akselit keskityslaippoineen ovat valmiiksi hitsattu putkeen ja robottihitsattavaksi jää ainoastaan kierteen hitsaaminen putkeen. Kuljetinruuvi on tehokkain hitsata niin, että ruuvia pyöritetään ja hitsauspoltinta kuljetetaan kierteen nousun mukaisesti. Optimaalisin robottihitsauslaitteisto tähän tarkoitukseen olisi lineaarijohteilla liikkuva hitsausrobotti ja grilli-tyyppinen käsittelypöytä. Grilli-tyyppisessä käsittelypöydässä toinen pää on kiinteä ja toimii robotin ulkoisena akselina. Toinen pää on vapaasti pyörivä ja liikkuu johteita pitkin, jotta se voi mukautua ruuvien pituuksien mukaan. Pidempien kuljetinruuvien osuus on niin pieni, ettei niiden takia kannata hankkia kalliimpaa laitteistoa, vaan robotin lineaarijohteiden pituudeksi voidaan rajata 7 metriä ja grilli-pöydän vapaan pään johteiden pituudeksi 9 metriä. Robotin lineaarijohteet voivat olla käsittelylaitteen johteita lyhemmät, koska robotin käsivarsi lisää sen ulottuvuutta vähintään metrin molempiin päihin, hitsausrobotin tyypistä riippuen. Ruuvien hitsaamisessa voidaan käyttää myös L-pöytää, joka pystytään kääntämään grillipöydäksi. Tällöin pystyttäisiin hitsaamaan paljon joustavammin erilaisia kappaleita pelkkää L-pöytää käyttäen. L-pöydäksi vaadittaisiin ruuvien suuren koon vuoksi melko raskas käsittelylaite, mikä lisäisi kustannuksia merkittävästi. Grilli-mallisissa käsittelypöydissä kantavuuden lisääntyminen ei nosta kustannuksia niin paljon kuin L-tyyppisissä käsittelypöydissä. (taulukko 2)

Taulukko 2. Kuljetinruuvi robottihitsattavana tuotteena.

Kuljetinruuvi	
Valmistusmäärä	Noin 50 - 100 kpl / vuosi
Robottihitsattavuus	Hyvä
Hitsausaika	Pitkä
Käsittelylaite	Grilli-tyyppinen käsittelylaite tai 2-akselinen L-pöytä
Robottihitsauksen haasteet	Vaaditaan huolellinen komponenttien silloitus. Muutoin ei haasteita.

3.1.2 Kuljetinruuvien rungot

Kuljetinruuvien rungot sisältävät yleensä runkoputken, päätylaipat, syöttöputket ja huoltoluukun (kuva 19). Valmistettavien kuljetinruuvien runkojen pituus vaihtelee kuljetinruuvien kanssa samalla tavalla. Painoltaan rungot painavat jopa 4000 kg. Yleisin kuljetinruuvien runkotyyppi painaa noin 400 kg. Kuljetinruuveja toimitetaan usein ilman runkoja, joten runkojen valmistusmäärä on noin 50 % pienempi kuin ruuvien.



Kuva 19. Kuljetinruuvien rungon 3D-piirros

Päätylaipat ja syöttöputket hitsataan runkoputkeen kokohitsillä ainoastaan ulkopuolelta. Kuljetinruuvien rungon hitsaamisessa luoksepäästävyys ja hitsausasennot asettavat usein haasteita hitsaamiselle. Esimerkiksi syöttöputken ja päätylaipan hitsaamisessa runkoon jää vähän tilaa hitsauspolttimelle. Tämä hitsi tuottaa haasteita robottihitsaukselle. Syöttöputken sijainnin muuttaminen keskemälle runkoputkea poistaisi kyseiseen ongelman, mutta usein se ei ole mahdollista, koska syöttöputkien laipat eivät kävisi enää vastakappaleisiinsa. Rungon syöttöputkia voisi siirtää keskemälle runkoa, hitsata sopivaan kulmaan ja viistota pään niin, että laippa on oikeassa paikassa ja oikeassa kulmassa. Tällöin ahtaaseen väliin saataisiin lisää tilaa, mutta haittapuolena toisen puolen hitsaus muuttuisi hie-man ahtaammaksi. Lisäksi syöttöputkien valmistus monimutkaistuisi merkittävästi.

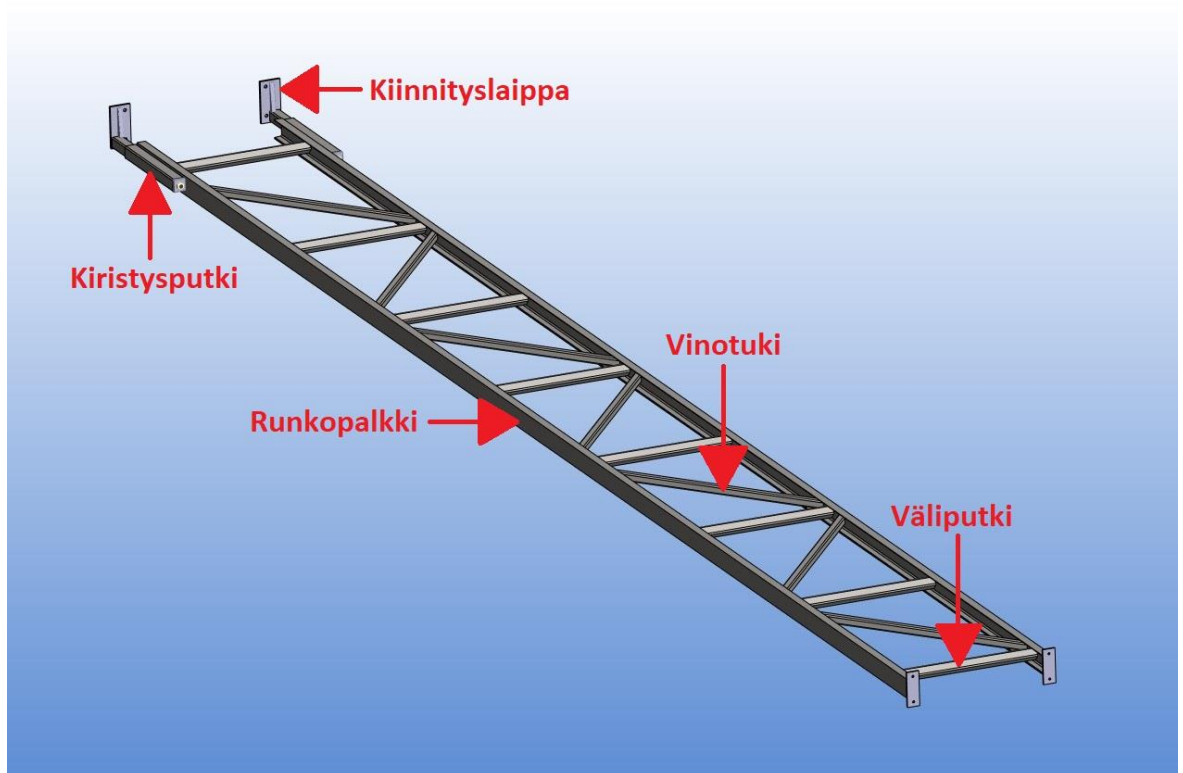
Kuljetinruuvien runkojen hitsaamiseen soveltuu parhaiten sama laitteisto kuin kuljetinruuvien hitsaamiseen. Rungon kiinnityksessä käsittelylaitteistoon voitaisiin käyttää leukaistukkaa, joka puristuisi runkoputken sisäpintaan tai käsittelylaitteistoon kiinnitettyä vastalaippaa, mikä käy päätylaipan reikiin. (taulukko 3)

Taulukko 3. Ruuvikuljettimen runko robottihitsattavana tuotteena.

Ruuvikuljettimen runko	
Valmistusmäärä	Noin 50 kpl / vuosi
Robottihitsattavuus	Hyvä
Hitsausaika	Keskipitkä
Käsittelylaite	Grilli-tyyppinen käsittelylaite tai 2-akselinen L-pöytä
Robottihitsauksen haasteet	Syöttöputken ja päätylaipan väliin jäävä ahdas hitsauspaikka. Ratkaisu: Runkoputken pidennys tai syöttöputkien kallistaminen

3.1.3 Hihnakuuljettimen rungot

Hihnakuuljettimen rungot sisältävät yleensä 2 - 4 runkopalkkia, kiristysputket, väliputket, vinoet ja kiinnitysliipat (kuva 20). Runkojen pituus voi olla jopa 10 m, paino jopa 1000 kg ja leveys 1,5 m, mutta keskimääräinen pituus on 6 m ja paino 250 kg. Hihnakuuljettimen runkoja valmistetaan noin 10 - 20 kpl vuodessa.



Kuva 20. Hihnakuuljettimen rungon 3D-piirros.

Hihnakuuljettimen runkojen hitsauksessa ongelmallisin kohta on vinoetukien ja väliputkien hitsaaminen. Vinotukien sisäkulmaan jää rajallinen tila hitsaamiseen. Tämä väli ei kuitenkaan yleensä ole niin ahdas, että se olisi este robottihitsaukselle. Väliputkien ja vinoetukien ympärillä hitsaaminen voi olla haasteellista, jos runkopalkit ovat U-palkkia ja liitos tulee U-palkin sisäpuolelle, koska silloin U-palkin reunat rajoittavat railon luoksepäästävyttä. Tämä ongelma poistuu kokonaan Kääntämällä U-palkki ympäri niin, että päittäisliitos tulee U-palkin ulkopintaan. U-palkin voi myös korvata esimerkiksi neliöputkipalkilla.

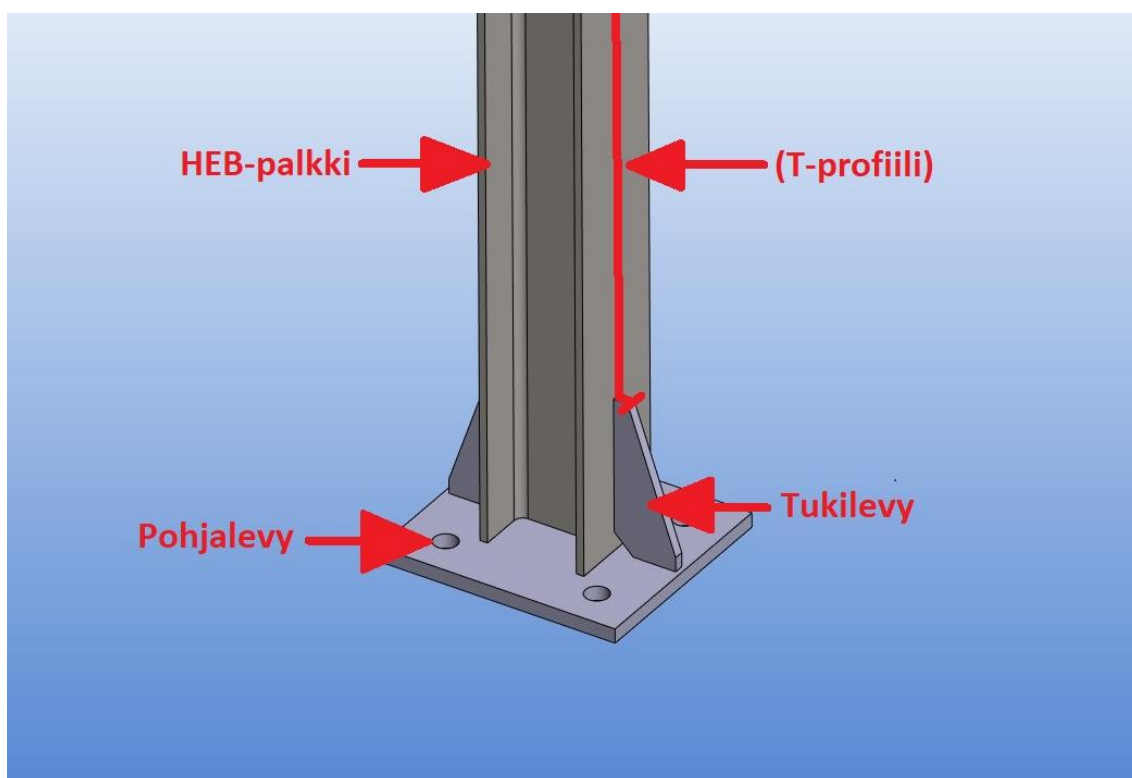
Hihnakuuljettimen rungon hitsaaminen pystytään suorittamaan samalla robottihitsauslaitteistolla kuin kuljetinruuvien hitsaus. Hihnakuuljettimen rungon kiinnitys käsittelylaitteeseen voidaan toteuttaa käyttämällä pätylaippoihin sopivaa vastalaippa. Hihnakuuljettimen rungon hitsauksessa käsittelylaitteen on oltava tarpeeksi korkea, jotta runko mahtuu pyörähtämään ympäri esteettömästi. (taulukko 4)

Taulukko 4. Hihnakujuettimen runko robotihitsattavana tuotteena

Hihnakujuettimen runko	
Valmistusmäärä	Noin 10 - 20 kpl / vuosi
Robotihitsattavuus	Kohtalainen
Hitsausaika	Keskipitkä
Käsittelylaite	Grilli-tyyppinen käsittelylaite
Robotihitsauksen haasteet	Syöttöputken ja päätylaipan väliin jäävä ahdas hitsauspaikka. Ratkaisu: Runkoputken pidennys tai syöttöputkien kallistaminen.

3.1.4 Pilarit

Pilarit sisältävät HEB-palkin, päähän hitsattavan pohjalevyn ja tukilevyt jotka hitsataan tukemaan liittosta (kuva 21). Joidenkin pilareiden sivuun hitsataan koko HEB-palkin mittainen T-profiili tueksi. Pilareiden pituus voi olla jopa 9 m ja paino 800 kg. Yleensä pilarit ovat 4 - 6 m pitkiä ja painavat noin 400 - 600 kg. Pilareita valmistetaan noin 1000 kappaletta vuodessa.



Kuva 21. Pilarin 3D-piirros, jossa mahdollisen T-profiilin paikka on merkitty punaisella viivalla.

Pilarin hitsaus robotilla onnistuu hyvin. Pilarin rakenne ei sisällä vaikeasti hitsattavia kohtia. Hitsauksen voi suorittaa niin, että pilari on vaaka-asennossa tai pystyasennossa. Vaaka-asennossa hitsatessa laitteistona toimivat samat käsittelylaitteet ja hitsausrobotin lineaarijohteet kuin kuljetinruuvihitsauksessa. T-profiilin hitsaus on vaikea suorittaa samalla kiinnityksellä, koska pilareiden on havaittu taipuvan T-profiilin hitsaamisen seurauksena. Tämän

muodonmuutoksen estämiseksi pilaria on väännettävä vastakkaiseen suuntaan ennen hitsausta, jolla saadaan kompensoitua T-profiilin hitsin aiheuttama taipuminen. Pilarin laipaton pää kiinnitetään grillipöydän vastapäätä olevaan vapaaseen päähän tarkoitukseen sopivalla hitsauskiinnittimellä.

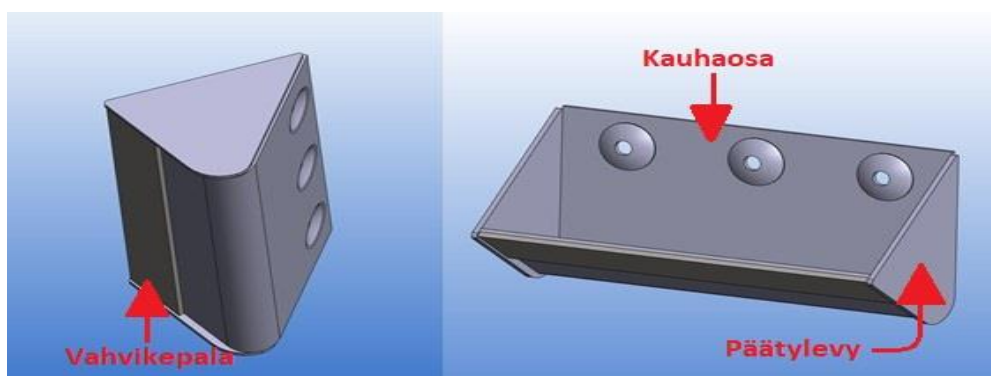
Pystyasennossa hitsatessa käsittelylaitteeksi riittää pelkkä yksiakselinen pyörityspöytä. Pystyasennossa ei kuitenkaan pysty hitsaamaan palkin sivuun T-profiilia, koska hitsausrobotin ulottuvuus ei riitä pilarin päähän asti, sekä palkkia on pystyasennossa vaikea taivuttaa muodonmuutosten kompensoimiseksi. Lisäksi pystyasennossa hitsaamisessa täytyy ottaa huomioon se, että kappaleen asetus käsittelylaitteeseen on hankalampaa, nostolaitteiden nostokorkeuden rajallisuudesta johtuen. Pystyasennossa hitsaamiseen tarvittavan laitteiston hankintahinta on edullisempi kuin vaaka-asennossa hitsaamiseen tarvittavan laitteiston, jos voidaan jättää T-profiili tukien hitsaaminen pois. Pystyasennossa hitsaamisen laitteisto on hankintahinnaltaan edullisempi, koska siinä ei tarvita tukea pilarin toiseen päähän. T-profiilin hitsaamiseen käytettävää palkin taivutuslaitteistoa on helpompi käyttää vaaka-asennossa hitsatessa. (taulukko 5)

Taulukko 5. Pilari robottihitsattavana tuotteena.

Pilari	
Valmistusmäärä	Noin 1000 kpl / vuosi
Robottihitsattavuus	Hyvä
Hitsausaika	Keskipitkä
Käsittelylaite	Grilli-tyyppinen käsittelylaite tai 1-akselinen pyörityspöytä
Robottihitsauksen haasteet	Mahdollisen T-profiilin hitsauksen aiheuttama muodonmuutos. Ratkaisu: HEB-palkin esitaivutus ennen hitsausta.

3.1.5 Elevaattorin kauha

Elevaattorin kauhat rakentuvat taivutetusta kauhaosasta, kahdesta päätylevystä ja vahvikepalasta (kuva 22). Kappaleen leveys on yleensä noin 400 mm ja paino noin 15 kg. Elevaattorin kauhoja valmistetaan noin 1000 kappaletta vuodessa.



Kuva 22. Elevaattorin kauhan 3D-piirroksat

Elevaattorin kauhoissa hitsausaika on lyhyt, joten yksittäisiä kappaleita hitsatessa asetus- aika on pitkä suhteessa hitsausaikaan. Järkevämpää on asettaa ja hitsata useampi kappale kerralla. Esimerkiksi hitsauskiinnitin johon saadaan yhtäaikaaisesti rinnakkain 10 ele- vaattorin kauhaa kiinni. Normaalisti päätylevyt hitsataan kiinni sisäpuolelta ja ulkopuolelta, mutta rakennetta voisi suunnitella uusiksi niin, että hitsit tulevat ainoastaan ulkopuolelle. Tällöin elevaattorin kauhat on mahdollista hitsata niin, että kauhan sisäpuoli on käsittely- pöytää vasten. Kiinnitys käsittelypöytään on toteutettavissa taivutetussa osassa olevia rei- kiä käyttäen.

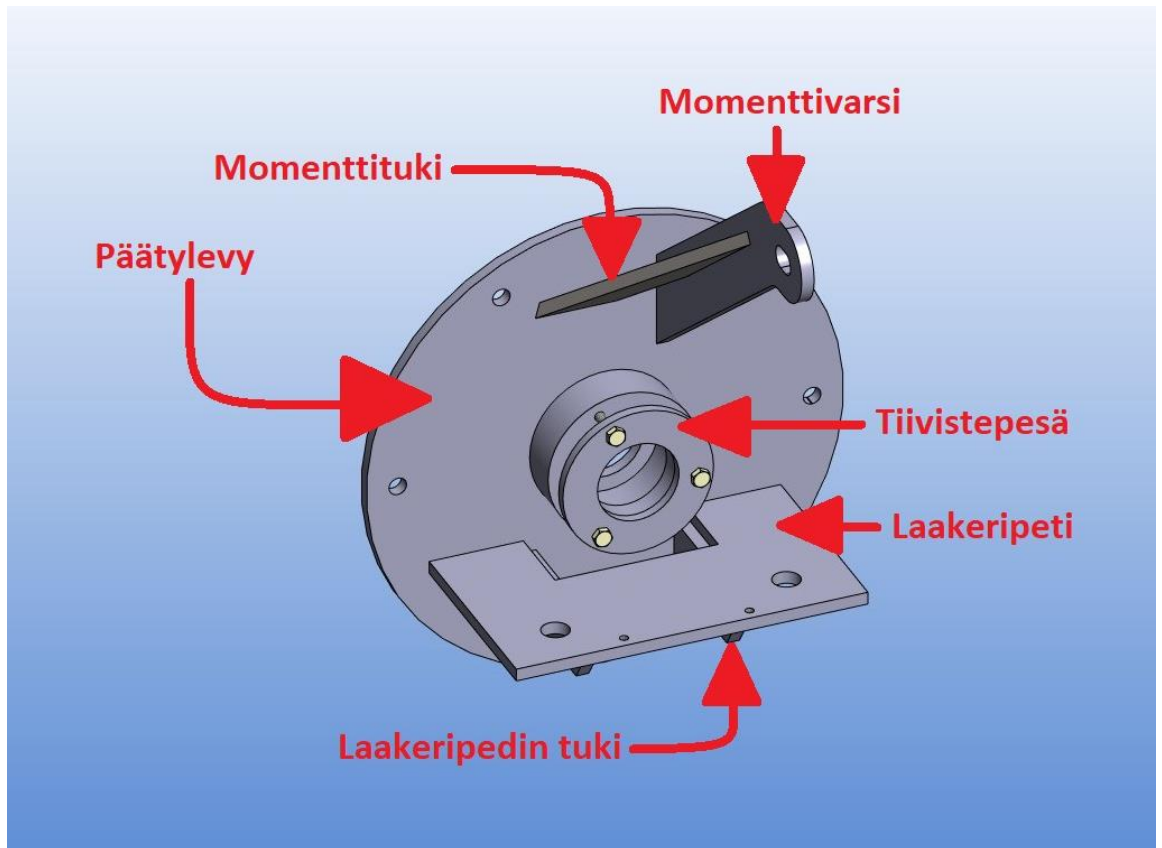
Yksittäinen elevaattorin kauha on järkevin hitsata käyttäen kaksiakselista L-mallista käsitte- lypöytää, mutta silloin usean kappaleen samanaikaisesti hitsattavaksi asettaminen vaikeu- tuu. Hyvä ratkaisu useamman kappaleen hitsaamiseen on valmistaa grilli-malliseen käsitte- lylaitteeseen käyvä hitsauskiinnitin, johon saadaan useampi kappale kiinnitetyksi peräk- käin. Tällä asettelulla tuotetta hitsatessa, voidaan käsittelypöytää kääntää niin, että aina saadaan hyvä hitsausasento. Jos grilli-mallisen käsittelylaitteen päätyjen välimatka on esi- merkiksi 8 metriä, elevaattorin kauhoja mahtuu koosta riippuen kiinnittämään noin 15 - 20 kappaletta hitsauskertaa kohden. Tällöin myös elevaattorin kauhan hitsauksessa käytet- tävä hitsauskiinnitin voidaan kiinnittää samoihin käsittelylaitteisiin kuin kuljetinruuvien hit- sauksessa. (taulukko 6)

Taulukko 6. Elevaattorin kauha robottihitsattavana tuotteena.

Elevaattorin kauha	
Valmistusmäärä	Noin 1000 kpl / vuosi
Robottihitsattavuus	Hyvä
Hitsausaika	Lyhyt
Käsittelylaite	Grilli-tyyppinen käsittelylaite tai 2-akselinen L-pöytä
Robottihitsauksen haasteet	Pitkä asetus aika suhteessa hitsausaikaan. Ratkaisu: Muutetaan rakenne niin, että hitsaus onnistuu kääntämättä kappaletta ja hitsataan useampi kauha sarjassa.

3.1.6 Ruuvikuljettimen pääty

Ruuvikuljettimen pääty sisältää pyöreän päätylevyn, momenttivarren, momenttituen, laake- ripedin, pedin tuet ja tiivistepesän (kuva 23). Päätylevyjen koko vaihtelee ruuvikuljettimen rungon koon mukaan. Kappaleen paino on usein 15 - 30 kg. Ruuvikuljettimen päätyjä val- mistetaan aina kaksi kappaletta yhtä ruuvikuljettimen runkoa kohden. Toinen pääty valmis- tetaan ilman momenttivarretta ja momentin tukea. Momenttivarren ja laakeripedin rakenne vaihtelee eri tyyppisten ruuvikuljettimien välillä.



Kuva 23. Ruuvikuljettimen päädyn 3D-piirros

Ruuvikuljettimen koosta riippuen päätylaippa voi olla pieni, jolloin eri komponenttien väliin ei jää paljoa tilaa. Tällöin ongelmaksi saattaa muodostua robotin luoksepäästävyys. Momenttivarren rakennetta voi kehittää niin, että se olisi esimerkiksi neliöputkipalkkia. Tällöin ei tarvita ylimääräistä tukea ja saadaan lisää tilaa tiivistepesän hitsaamiseen. Laakeripeti koostuu levystä ja tukipaloista. Tämä rakenne voidaan korvata U-malliseksi taivutetulla levyllä, jolloin vältetään tukipalojen ja laakeripesän hitsaaminen tiivistepesän kohdalta. Lisäksi tarvittavien komponenttien määrä vähenee, koska laakeripeti tehdään yhdestä levystä. Ruuvikuljettimen pääty on helpoin robottihitsata käyttämällä L-mallista kaksiakselista käsittelypöytää, koska silloin saadaan käännettyä hitsausrailo hitsauksen kannalta edulliseen asentoon. Hitsaaminen pelkkää yksiakselista pyörityspöytää käyttäen on hankalaa huonoista hitsausasunnoista johtuen. (taulukko 7)

Taulukko 7. Ruuvikuljettimen pääty robottihitsattavana tuotteena.

Ruuvikuljettimen pääty	
Valmistusmäärä	Noin 100 kpl / vuosi
Robottihitsattavuus	kohtalainen
Hitsausaika	lyhyt
Käsittelylaite	2-akselinen L-pöytä
Robottihitsauksen haasteet	Ahtaus vaikeuttaa hitsausta. Ratkaisu: Tehdään momenttivarasi RHS-putkesta ja korvataan laakeripeti ja pedin tuet särmätyllä yksiosaisella laakeripedillä.

3.1.7 Tuotteiden robottihitsattavuuden tarkastelun johtopäätökset

Kospirt Oy:n tuotannosta valitut 6 tuotetta: kuljetinruuvi, ruuvikuljettimen runko, hihnakuljettimen runko, pilari, elevaattorin kauha ja ruuvikuljettimen pääty eivät kaikki ole hitsattavissa samalla laitteistolla. Robottihitsaukseen on löydettävä sopiva kompromissiratkaisu joka takaa robottihitsausalalle hyvän käytettävyyden ja mahdollisimman suuren käyttöasteen. Sopiva robottisolun valitaan tarkastelemalla tuotteiden valmistusmääriä, hitsausaikoja, sopivaa käsittelylaitetta, ja soveltuvuutta robottihitsaukseen.

Robottisolun käsittelylaitteistoksi on vaihtoehtona grilli-tyyppinen käsittelylaite, jonka etuna on pitkien ja raskaiden kappaleiden hitsaus. L-tyyppinen kaksiakselinen käsittelypöytä, joka on hyvä hitsattaessa tuotteita jotka vaativat pyörittämistä useammalla akselilla. Myös pystyssä oleva yksiakselinen pyörityspöytä soveltuu yksinkertaisten railojen hitsaamiseen.

L-tyyppinen kaksiakselinen käsittelypöytä on myös soveltuva Kospirt Oy:n tuotantoon, mutta sitä pystytään hyödyntämään parhaiten elevaattorin kauhan ja ruuvikuljettimen päädyn hitsauksessa. L-tyyppisellä kaksiakselisella pöydällä pystyy hitsaamaan esimerkiksi kuljetinruuvien, niin että lukitsee yhden akselin ja pyörittää ainoastaan toista akselia. Tämä vaatisi kuitenkin melko raskaan käsittelylaitteiston hankinnan, mikä ei pienen käyttötarpeen vuoksi ole kannattavaa.

Pystypyörityspöytä on myös toimiva ja yksinkertainen käsittelylaite pilarin hitsaukseen, mutta sitä ei voi käyttää hyödyksi minkään muun kappaleen hitsauksessa. Lisäksi pilareiden hitsaaminen pystyasennossa on haasteellista jos pilarit ovat pitkiä tai sisältävät T-profiilin joka täytyy hitsata kiinni koko palkin mitalta.

Grilli-tyyppinen käsittelylaite on tuotantoon parhaiten soveltuva käsittelylaite, koska se soveltuu hyvin niiden tuotteiden hitsaukseen jotka ovat tuotannossa merkittävimpiä. Kuljetinruuvien, ruuvikuljettimen rungon, pilarin ja elevaattorin kauhan osuus kokonaistuotannosta on suuri, joten käsittelylaitteisto on hyvä optimoida niiden hitsaukseen. Lisäksi kuljetinruuvien ja ruuvikuljettimen rungon hitsausaika on pitkä, mikä lisää robottihitsaamisen hyötyä. Grilli-tyyppinen käsittelypöytä soveltuu hyvin myös hihnakuljettimen rungon hitsaamiseen. Ruuvikuljettimen pääty on ainut tuote, joka vaatii kaksiakselista käsittelylaitetta tehokkaan hitsauksen toteutumiseksi. Grilli-tyyppisellä käsittelypöydällä on myös helppo toteuttaa robottisolun, jossa on kaksi käsittelylaitteparia ja yksi hitsausrobotti. Tällöin yhtä kappaletta voidaan hitsata käsittelylaitetta käyttäen, samalla kun toista kappaletta asetetaan toiseen käsittelylaitteeseen.

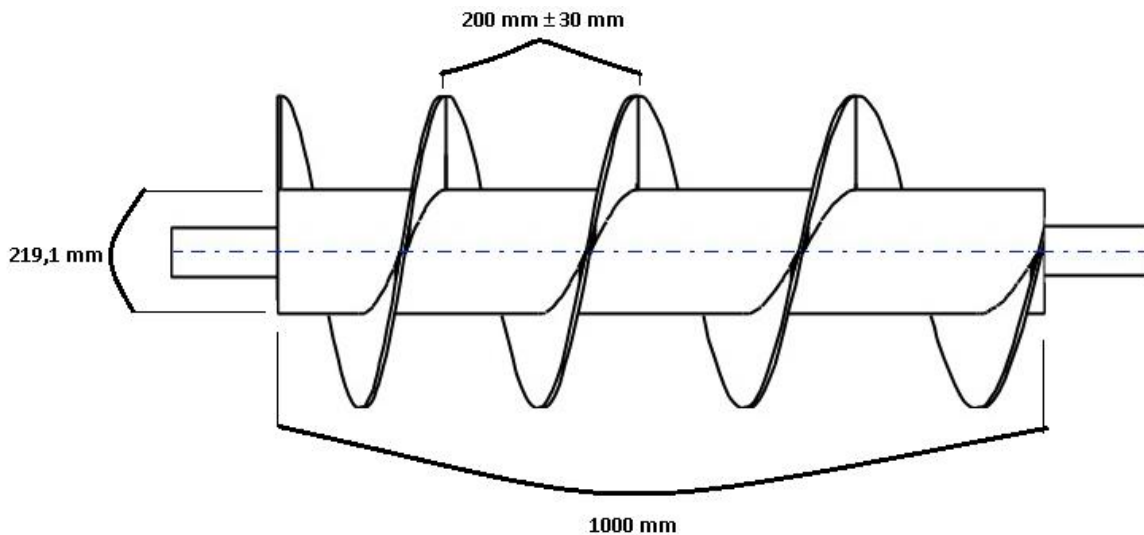
Kuudesta valitusta hitsattavasta tuotteesta on järkevää jättää pois ruvikuljettimen pääty, koska muut tarkastellut tuotteet ovat robottihitsattavissa grilli-tyyppisellä käsittelylaitteella varustellulla robottisolulla. Tarkasteltujen tuotteiden osavalmistusmenetelmiin ja geometrioihin tehdään suunnitellut muutokset, jotta robottihitsausolusta saadaan suurin hyöty.

3.2 Kuljetinruuvien koehitsaus

Kospirt Oy:n yksi tärkeä tuoteperhe on kuljetinruuvit, joiden hitsauksen robotisointi parantaisi tuottavuutta merkittävästi. Kospirt Oy:llä pohdittiin, onko kuljetinruuvien hitsaaminen mahdollista robotilla ja mitä asioita siinä täytyy ottaa huomioon. Asian selvittämiseksi päätettiin tehdä ruuvien koehitsaus Savonia-ammattikorkeakoulun HitSavonian-laboratoriotiloissa.

3.2.1 Hitsattava kappale

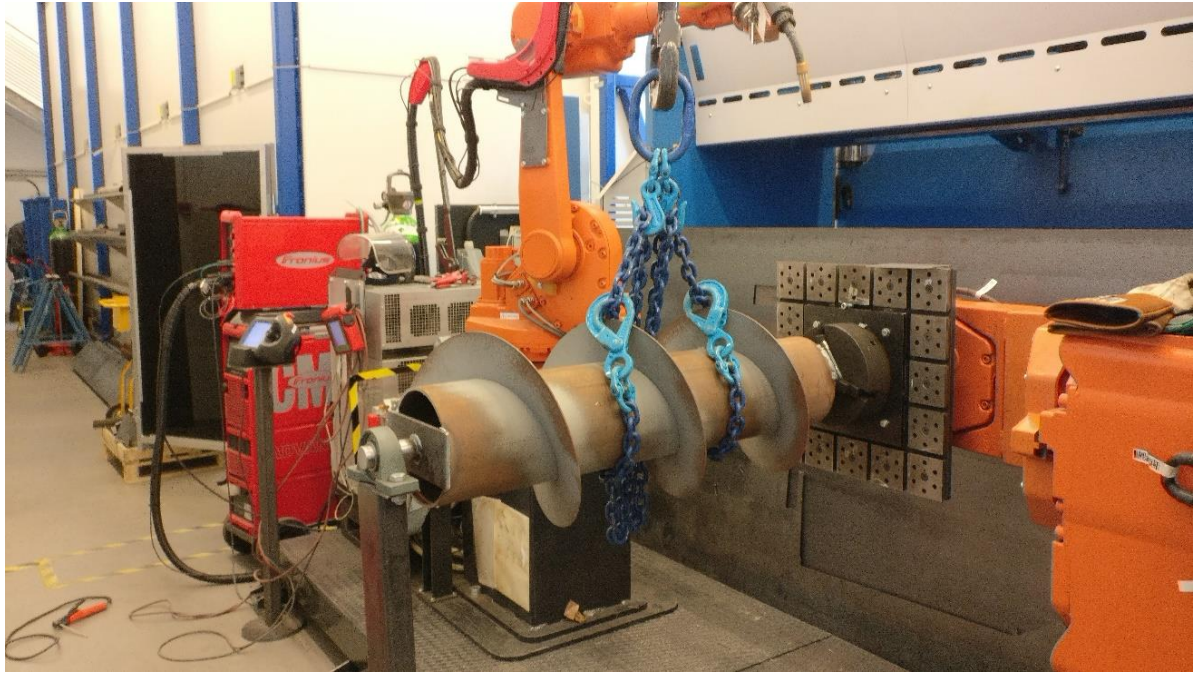
Hitsattavana kappaleena toimi valmiiksi silloitettu kuljetinruuvi, jonka putken pituus on 2000 mm, putken halkaisija on 219,1 mm ja kierteen nousu 200 mm (kuva 24). Kuljetinruuveja on yhteensä kolme kappaletta. Mittavaihtelu kierteiden nousuissa on noin ± 30 mm. Ilmarako putken ja kierteen välillä on 0 - 5 mm. Yksi kuljetinruuvi on silloitettu niin, että siinä ei ole yli 1 mm ilmarakoja. Kuljetinruuvi on tarkoitettu hitsata kierteen molemmin puolin koko matkalta. Hitsin a-mitta on 3 mm. Kierteen paksuus on 3 mm ja putken seinämepaksuus on 6 mm. Ruuvit hiekkapuhallettiin hitsattavan alueen kohdalta, jotta visuaalinen tarkastelu on selkeämpää ja saadaan poistettua pintaruosteen mahdollinen vaikutus tuloksiin.



Kuva 24. Kuljetinruuvien piirustus ja mitat.

3.2.2 Käytetty laitteisto

Robottina koehitsauksessa käytettiin ABB IRB-1600 -robottia voimaohjauksella ja Path-Mate-käyttöliittymällä. Hitsauslaitteena toimi Fronius CMT Advanced 4000 -hitsausvirtalähde railon haku- ja seurantatoiminnoilla. Kappaleenkäsittelylaitteena käytettiin L-tyyppistä kaksiakselista kappaleenkäsittelypöytää. Lisäksi käytössä oli automaattinen langankatkaisulaitteisto. Ruuvien toiseen päähän valmistettiin laakeroitu korkeussäädettävä tukijalka (kuva 25).



Kuva 25. Kuljetinruuvien asetus käsittelypöytään. Kuvassa silloitettu kuljetinruuvi, robotti, hitsausvirtalähde, käsittelypöytä ja kuljetinruuvien tukijalka.

3.2.3 Koehitsauksen suoritus

Koehitsaus aloitettiin asettamalla kuljetinruuvi käsittelypöytään ja tukijalkaan. Tukijalka säädettiin oikealle korkeudelle robotin paikoitustyökalua käyttäen. Robotin ohjelmointi aloitettiin ajamalla robotti lähelle hitsauksen aloituskohtaa. Sen jälkeen tehtiin railonhaku ja aloitettiin hitsausradan ohjelmointi. Hitsausrata ohjelmoitiin käyttäen voimaohjausta.

Hitsausradan ohjelmoinnissa vapaalangan pituus oli 21 mm. Hitsausrata ohjelmoitiin tekemällä hitsauspisteitä putken ja kierteen liitoskohtaan. Pisteitä ohjelmoitiin aluksi noin 100 millimetrin välein, mutta tämän todettiin aiheuttavan törmäyksiä robotin liikuessa hitsausradalla. Pisteiden välimatka lyhennettiin noin 60 millimetriin, mikä poisti edellä mainitun ongelman (kuva 26). Ensin ohjelmoitiin kierteen toinen puoli, jonka jälkeen ohjelmaan lisättiin langankatkaisu ja ohjelmoitiin kierteen toinen puoli. Ohjelmoinnin jälkeen luotu hitsausohjelma tarkistettiin ajamalla se läpi ilman hitsausta. Railon seurannan raja-arvoja kasvatettiin 100 millimetriin, että se sallisi suuremmat hitsausradan muutokset kierteiden jaon mittavasta vaihtelusta johtuen. Kaikki kolme ruuvia hitsattiin samalla hitsausohjelmalla, mutta hitsausvirtalähteen parametreihin tehtiin pieniä muutoksia. Hitsausparametreina käytettiin valmiita aiemmin luotuja asetuksia, joihin tehtiin pieniä muutoksia eri hitsauskertojen välillä.



Kuva 26. Robotin hitsausradan ohjelmointi.

3.2.4 Koehitsauksen tulokset

Koehitsauksessa saatiin onnistunut hitsi kuljetinruuviin, jossa ei ollut ilmarakoa kierteen ja putken välillä. Valokaari sammui muutaman kerran ensimmäistä kierteen hitsiä hitsatessa, mutta robotti pysyi hitsausradalla. Toisen puolen hitsiä hitsatessa saatiin visuaalisesti onnistunut hitsi, eikä valokaari sammunut matkalla kertaakaan. Vaikka kierteiden nousu vaihteli jopa 60 mm, railonseuranta pystyi kompensoimaan muutokset hitsausradassa. Saatu tulos oli hyvä, huomioiden että hitsausparametreja ei säädetty ennen hitsausta ja aikataulu oli rajallinen (kuva 27).



Kuva 27. Onnistuneen kuljetinruuvien hitsauksen lopputulos.

Kaksi ruuvia, joissa paikoitellen ilmarako oli useita millimetrejä, olivat ongelmallisia hitsata. Myös hitsauksen aloituspisteen kohdalla oli yli 3 mm:n ilmarako, mikä esti hitsauksen aloittamisen alkuperäisestä hitsauksen aloituspisteestä. Suuren ilmaraon kohdalla valokaari sammui useaan kertaan, koska hitsi ei riittänyt täyttämään railoa ja robotti eksyi usein radaltaan (kuva 28).



Kuva 28. Hitsatessa suuren ilmaraon ohi, valokaari sammui toistuvasti ja hitsi ei riittänyt täyttämään railoa.

Koehitsaus oli onnistunut ja sillä pystytään toteamaan kuljetinruuvien hitsaaminen mahdolliseksi. Tärkeä koehitseistä opittu asia on myös ilmaraon vaikutus robotilla hitsaamiseen. Suuria ilmarakoja täytyisi pystyä välttämään robotilla hitsatessa. Kospirt Oy:n tämän hetkessä kuljetinruuvien tuotannossa ilmaraoit hyväksytään, koska käsinhitsauksessa on mahdollista täyttää ilmaraoit hitsillä. Kuljetinruuvien tekeminen paremmin robotihitsattavaksi vaatii huolellisempaa ja tarkempaa komponenttien valmistusta, millä pystyttäisiin välttämään ilmarakoja. Ruuvien kierteiden valmistusmenetelmää täytyisi kehittää tarkemmaksi, jolloin kiekkot istuisivat putken pintaan paremmin. Valmistusmenetelmää ei vaihtoehtoisesti tarvitse muuttaa, jos putken ja kierteiden silloituksen yhteydessä täytetään ilmaraoit käsinhitsaamalla.

4 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kospirt Oy:n tuotanto on useimpien tuotteiden kohdalla pienieräistä. Tuotteiden volyymit ovat tällä hetkellä niin pieniä, että joustamattomat tietyille tuotteelle räätälöidyt valmistusmenetelmät voidaan sulkea pois vaihtoehdoista. Erilaisten valmistettavien tuotteiden suuren määrän vuoksi joustava robottihitsaus on sopivin vaihtoehto.

Kospirt Oy:n hitsattavia tuotteita tarkastellessa voidaan todeta, että suurin osa niistä on hitsattavissa käyttämällä grilli-tyyppistä käsittelylaitetta (taulukko 8). Toimiva grilli-tyyppinen käsittelylaite ratkaisu on kaksi käsittelypöytää jotka ovat vastakkain toisiinsa nähden ja kappale kiinnitetään niiden väliin. Toinen käsittelypöydistä on moottoroitu. Toinen pyörii vapaasti ja on myös pituussuunnassa vapaasti liikutettavissa, mikä mahdollistaa eri mittaisten kappaleiden kiinnittämisen käsittelypöytien väliin. Tutkituista tuotteista ainoastaan ruuvikuljettimen päädyn hitsaamisessa saadaan merkittävä hyöty kaksiakselisesta L-tyyppisestä käsittelypöydästä. Grilli-tyyppisen käsittelylaite ratkaisun voisi toteuttaa myös käyttämällä moottoroidussa päässä L-käsittelypöytää, josta saadaan tavallinen pyörityspöytä lukitsemalla ensimmäinen kääntöakseli paikoilleen. Samaa tekniikkaa käytettiin kuljetinruuvien koehitsauksessa HitSavonian laitteistolla (kuva 26). L-tyyppinen käsittelypöytä jolla pystytään käsittelemään 1500 kg painoista kappaletta on hankintahinnaltaan merkittävästi kalliimpi kuin yksiakselinen käsittelypöytä. Kospirt Oy:n täytyy pohtia, onko edullista hankkia L-tyyppistä pöytää ruuvikuljettimien päätylevyjen hitsaamisen takia. L-tyyppisen käsittelypöydän hankintaa kuitenkin tukee sen hyvä soveltuvuus muiden pienien kappaleiden hitsaamiseen, joita ei tässä tutkimuksessa ole käsitelty.

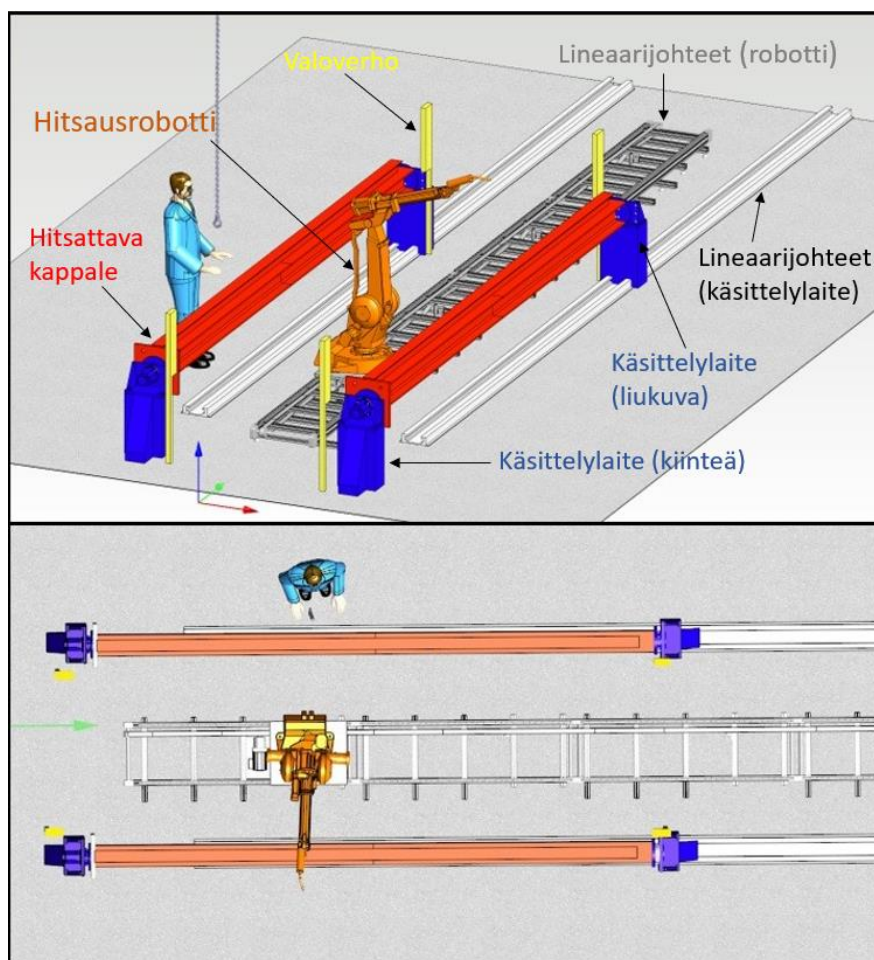
Taulukko 8. Tuotteiden robottihitsattavuuden vertailu.

Tuote	Valmistusmäärä	Paino	Hitsausaika	Käsittelylaite	Robottihitsattavuus
Kuljetinruuvi	100	400	Pitkä	Grilli-käsittelylaite	Hyvä
Ruuvikuljettimen runko	50	400	Keskipitkä	Grilli-käsittelylaite	Hyvä
Hihnakuuljettimen runko	20	250	Keskipitkä	Grilli-käsittelylaite	Kohtalainen
Pilari	1000	500	Keskipitkä	Grilli-käsittelylaite/ Pystypyörityspöytä	Hyvä
Elevaattorin kauha	1000	15	Lyhyt	L-käsittelylaite/ Grilli-käsittelylaite	Hyvä
Ruuvikuljettimen pääty	100	20	Lyhyt	L-käsittelylaite	Kohtalainen

Hitsatessa kuljetinruuvia HitSavonian robottihitsauslaitteistolla, todettiin hitsausrobotin pysyvän pysymään luodulla hitsausradalla. Suoritettaessa kuljetinruuvien hitsausta havaittiin, että ilmarako kuljetinruuvien putken ja kierteen välillä vaikeutti hitsauslaitteiston toimintaa.

Suuri ilmarako aiheutti valokaaren sammumista, vajaita hitsejä ja robotin eksymistä hitsausradalta. Kun kuljetinruuvi oli silloitettu niin, että putken ja kierteen väliin ei jäänyt usean millimetrin ilmarakoa, hitsausrobotti toimi hyvin ja saatiin hyvälaatuinen hitsi. Ilmarako osien välillä huonontaa valokaaren vakautta ja railon seurannan toimintaa. Nämä ilmiöt voidaan selittää hitsausrobotin vapaalangan pituuden muutoksella, kun robotin hitsausrata kulkee ilma-vaaraon kohdalla. Hitsauslanka ei tavoita kappaleen pintaa vaan painuu ilma-vaaraan ja tällöin vapaalanka kasvaa liian pitkäksi, hitsausarvot muuttuvat epäsuotuisiksi ja ongelmat esiintyvät.

Kospirt Oy:n tuotantoon sopivin robottihitsaussolu on grilli-tyyppinen käsittelylaitteisto ja hitsausrobotti, joka liikkuu lineaariradalla kahden käsittelylaitteeparin välissä (kuva 29). Suuri osa robottihitsattavaksi valituista kappaleista on robotin käsivarren ulottuvuutta pidempiä, joten robotin asentaminen lineaariradalle on suositeltavaa. Käsittelylaitteistoja on kaksi, molemmiin puolin hitsausrobotia, mikä mahdollistaa kappaleen purkamisen ja lastaamisen käsittelylaitteeseen samalla kun robotti hitsaa toista kappaletta. Robotin molemmilla puolilla on valoverhot, joista aktiivisena on puoli, jossa puretaan ja lastataan kappaletta.



Kuva 29. Esimerkki robottihitsaussolun layoutista jossa samanaikaisesti hitsataan ja vaihdetaan uutta hitsattavaa kappaletta.

Opinnäytetyön tuloksena on saatu todisteita robottihitsauksen toimivuudesta Kospirt Oy:n tuotannossa ja selvitetty mahdollisesti sopivin robottisolutyyppejä. Seuraava askel hitsausrobotin hankinnassa on selvittää mahdollisia kustannuksia ja pohtia onko hitsauksen robotisointi taloudellisesti kannattavaa.

Tämän opinnäytetyön päätarkoituksena oli selvittää Kospirt Oy:n tämänhetkisten tuotteiden robottihitsaus mahdollisuuksia. Hitsaaminen Kospirt Oy:ssä on tapahtunut aina ainoastaan käsin. Työ aloitettiin hankkimalla tietoa hitsauksen robotisoinnista kirja- ja verkkolähteistä. Tutkimus-osiossa pohdittiin tuotteiden robottihitsattavuutta tällä hetkellä ja kehitettiin tuotteiden valmistustapoja sekä konstruktioita robottihitsausta silmällä pitäen. Tarkasteltavat tuotteet valittiin valmistusmäärien mukaan. Näiden tietojen perusteella pyrittiin valitsemaan Kospirt Oy:n tuotannolle parhaiten sopiva robottisolutyypiksi. Lisäksi suoritettiin koehitsaus, jossa selvitettiin kuljetinruuvien robottihitsaamisen mahdollisuuksia ja ongelmia.

Kospirt Oy:n valmistamista tuotteista valittiin 6 tuotetta, joita tarkasteltiin robottihitsauksen näkökulmasta. Valitut tuotteet olivat kuljetinruuvit, kuljetinruuvien rungot, hihnakuljettimen rungot, pilarit, elevaattorin kauhat ja ruuvikuljettimen päädyt. Näiden tuotteiden rakenteita ja valmistustapoja mietittiin uudestaan ja valittiin jokaiselle tuotteelle parhaiten soveltuva robottihitsaustapa. Valituista robottityypeistä pyrittiin löytämään parhaiten Kospirt Oy:n tuotantoa palveleva ratkaisu.

Kuljetinruuvien koehitsaus osoittautui hyödylliseksi, koska sillä havaittiin ongelmakohta mikä on robottihitsaamisen kannalta merkittävä. Kospirt Oy sai koehitsauksen tuloksista varmistuksen sille, että kuljetinruuvi on hitsattavissa robotilla. Koehitsauksessa selvisi myös, että hitsauksen robotisoinnin suurimpia ongelmia on hitsattavien komponenttien välisten ilmara-kojen välttäminen.

Tuotantoon parhaiten soveltuvaksi robottisolutyypiksi valittiin solu kahdella grilli-tyyppisellä käsittelylaitteistolla, yhdellä hitsausrobotilla ja soveltuvilla turvalaitteilla. Käsittelylaitteiden toiset päät ja hitsausrobotti liukuvat lineaarikiskoilla. Tämän solun etuna on yhtäaikainen hitsaus ja kappaleiden purku sekä lastaus.

6 LÄHDELUETTELO

- ABB. 2018. Technical data for the IRB 2600ID industrial robot. [viitattu: 2018-4-19]. Saatavissa: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2600id/irb-2600id-data>
- Ahde, J. 2014. Opinnäytetyö: Robottihitsaustyöympäristön kehittäminen.
- Ahola, H. 1988. Automatisoidun kaarihitsauksen huomioonottaminen tuotteen suunnittelussa. 22.
- Aliko Oy. 2017. Messer-plasma-, -kaasu- ja -laser-leikkauskoneet. [viitattu: 2017-5-11]. Saatavissa: <http://www.aliko.fi/muut-laitteet/messer-plasma-kaasu-ja-laserleikkauskoneet>
- Anderson, C. 2017. Robot welding issues and challenges. [viitattu: 2017-5-11]. Saatavissa: <https://www.thefabricator.com/article/automationrobotics/robotic-welding-issues-and-challenges>
- Ateliers B.G. 2017. The 5 types of basic welding joints. [viitattu: 2017-5-11]. Saatavissa: <http://www.ateliersbg.com/news/the-5-types-of-basic-welding-joints.aspx>
- Direct Industry. 2017. Electric positioner. [viitattu 2017-12-20]. Saatavissa: <http://www.directindustry.com/prod/abb-robotics/product-30265-1700129.html>
- Helzer, S. & Cary, H. 2005. Modern welding technology. A.313 - 314. B.299 - 301.
- Intorobotics. 2017. Industrial robot trends and types. [viitattu: 2017-6-9]. Saatavissa: <https://www.intorobotics.com/industrial-robot-trends-and-types/>
- IRCO Automation. 2017. IRCO Designs & Builds Robotic Beam Roll-Over & Welding Cell. [viitattu: 2017-11-13]. Saatavissa: <https://www.ircoautomation.com/irco-designs-builds-robotic-beam-roll-welding-cell/>
- Keibler, C. (2017). Are your parts ready for robot welding? [viitattu 2017-10-2]. Saatavissa: <https://app.aws.org/wj/2003/06/037/>
- Kospirt Oy. 2018. Yhteystiedot. [viitattu: 2018-4-16]. Saatavissa: <http://www.kospirt.fi/fi/yhteystiedot/>
- Kuivanen, R. (1999). Robotiikka. 13.
- Leino, K. & Meuronen, I. 1987. Hitsauskiinnittimen suunnittelu. 35.

Perfect Corporation. 2017. Toggle clamps. [viitattu: 2017-5-11]. Saatavissa: <http://perfectcorporation.weebly.com/toggle-clamps.html>

ProLaser. 2017. Laserleikkaus. [viitattu: 2017-11-5]. Saatavissa: <http://www.prolaser.fi/laserleikkaus.html>

Savon Vesileikkaus. 2017. Vesileikkaus. [viitattu: 2017-11-1]. Saatavissa: <http://www.savonvesileikkaus.fi/vesileikkaus/>

SHY. 2017. Levyjen hitsausliitokset. [viitattu: 2017-12-12]. Saatavissa: <http://mandata.pp.fi/Hitsaus/Artikkelit/B2.pdf>

Solehmainen, K., Tuunainen, A., Räsänen, M. & Jääskeläinen, E. 2016. Hitsauskiinnitin vai joustava hitsauskiinnitin.

Stronghandtools. 2018. Flange pipes. [viitattu: 2018-5-28]. Saatavissa: http://stronghandtools.com/buildpro/examples/flange_pipes.ph

Technology Transfer. 2018. Introduction to Welding. [viitattu: 2018-2-20]. Saatavissa: <https://www.techtransfer.com/blog/introduction-to-welding/>

Tregakiss. 2018. What You Must Know About Robotic Welding. [viitattu: 2018-4-19]. Saatavissa: <https://www.tregaskiss.com/what-you-must-know-about-robotic-welding-p153627#.WcTg9shJaUI>

TurunWaterCut. 2017. Vesileikkaus. [viitattu: 2017-1-11]. Saatavissa: http://www.watercut.fi/vesileikkaus.html?gclid=COP5t_XS8dICFYaHsgod5VcNVg

TWI Global. 2017. Robotic arc welding. [viitattu: 2017-6-9]. Saatavissa: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/robotic-arc-welding-135/>

Walsh, M. 2017. Plasma cutting then and now. [viitattu: 2017-1-11]. Saatavissa: <http://www.thefabricator.com/article/plasmacutting/plasma-cutting-then-and-now>

Weman, G. & Lindén, G. 2006. Mig Welding Guide. 264 - 265.

Whitter, T. 2017. Best Practices for Robotic Welding. [viitattu: 2017-6-9]. Saatavissa: <http://www.sme.org/memagazine/article.aspx?id=82567>