

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan koulutusohjelma
BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

TEOLLISUUSSUODATTIMEN 6 M² SUODINLEVYN KULMAPALOJEN
HITSAUSKIINNITTIMEN SUUNNITTELU

DESIGN OF WELDING FIXTURE TO CORNER PIECES OF FILTER PLATE

Lappeenrannassa 1.10.2009
Arto Parkko

Työn teettäjä:
Larox Oyj, Lappeenranta

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
1.1 Työn tavoitteet	1
1.2 Työn rajaus	1
1.3 Yritysesittely	2
2 HITSAUSKIINNITTIMET	3
2.1 Kappaleenkäsittely ja hitsauskiinnittimet robottihitsauksessa	3
2.2 Hyvä hitsauskiinnitin robottihitsaukseen	5
2.3 Osien paikoittaminen kiinnittimeen	7
2.3.1 Käsikäyttöiset kiinnitinkomponentit	9
2.3.2 Automatisoidut kiinnitinkomponentit	10
2.4 Hitsauskiinnittimen virtuaalinen mallinnus	12
3 ROBOTIIKKA	13
3.1 Teollisuusrobotti	14
3.2 Teollisuusrobotin ominaisuudet	15
3.3 Teollisuusrobotin koordinaatistot	17
3.4 Teollisuusrobotin ohjausjärjestelmä	18
3.5 Kaarihitsauksessa käytettävä robotti	18
3.6 Hitsausrobotiaseman etäohjelmointi ja kalibrointi	19
3.7 Railonhaku ja -seuranta sekä hitsausprosessin hallinta	21
4 TUOTANTOTALOUDELLISET SEIKAT	24
4.1 Läpimenoaika	24
4.2 Kustannusvaikutukset	25
5 CASE: 6 M ² SUODINLEVYN KULMAPALOJEN HITSAUSKIINNITTIMEN SUUNNITTELU	27
5.1 Hitsattava tuote	27
5.2 Hitsauskiinnittimen suunnittelun lähtökohdat	28
5.2.1 Robottihitsauslaitteisto Larox:lla	29
5.2.2 Hitsauskiinnittimen vaatimukset	32
5.3 Kiinnitinratkaisuvaihtoehdot	32
5.4 Hitsattavan tuotteen asento ja kiinnitys	36
5.5 Hitsauksen simulointi	37
5.6 Valitun kiinnitinratkaisun jatkokehittäminen	39
6 NYKYTILANTEEN JA UUDEN TILANTEEN VERTAILU	40
6.1 Tämänhetkinen tuotteen hitsausmenetelmä	40
6.2 Läpimenoaika	42
6.3 Kustannukset	44
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	45
8 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	47
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Automatisoitu hitsaus on yleistynyt nykypäivänä suomalaisessa konepajateollisuudessa. Yhä useammille tuotteille suunnitellaan valmistuksen automatisointia, jotta valmistuskustannuksia saataisiin alemmas. Tässä kandidaatintyössä käsitellään hitsauskiinnittimen suunnittelua robottihitsausasemaan tietynlaiselle tuotteelle. Työ on tehty Larox Oyj:lle (myöhemmin Larox) Lappeenrantaan. Työssä on selvitetty kappaleenkäsittelyn ja robottihitsauksen asettamat vaatimukset hitsauskiinnittimelle, sekä mallinnettu ja simuloitu kiinnitinluonnos Larox:n robottihitsausaseman virtuaalimallissa. Työn tarkoituksena on toimia apuna ja päätöksenteon tukena hitsauskiinnittimen valmistamiseksi ja käyttöönottamiseksi Larox:lla.

1.1 Työn tavoitteet

Kandidaatintyön tavoitteena on selvittää toimiva hitsauskiinnitinratkaisu suodinlevyn kulmapalojen robottihitsaukseen. Tavoitteena on tehostaa tuotantoa automatisoimalla työvaiheita, joita ennen suoritettiin käsinhitsauksella. Työ jakautuu kahteen osaan, jotka ovat teoria- ja caseosa.

Teoriaosuudessa selvitetään hitsauskiinnittimen ominaisuudet ja vaatimukset robottihitsauksessa. Samalla esitellään teoriaa roboteista. Teorian tavoitteena on tukea toimivan hitsauskiinnitinratkaisun löytymistä.

Caseosuudessa eli käytännön osuudessa käsitellään erilaisia ratkaisuja toimivan robottihitsauskiinnittimen toteuttamiseksi kohdeyrityksen tarpeisiin. Osuudessa vertaillaan robottihitsausta ja käsinhitsausta.

1.2 Työn rajaus

Työ rajattiin koskemaan kohdeyrityksen malliston kooltaan suurimpia 6 m² suodinlevyjä ja niiden kulmapalojen hitsauksen automatisointia. Samalla yritetään

löytää myös ratkaisu, jolla olisi mahdollista suorittaa suodinlevyn päätylatan hitsaaminen samalla kiinnittimellä. Työn tuloksena syntyvä kiinnitinratkaisu on suuntaa antava ratkaisu varsinaisesta hitsauskiinnittimestä. Siksi työstä rajattiin pois tarvittavien lujuuslaskelmien ja tarkkojen osapiirustusten teko.

1.3 Yritysesittely

Kandidaatintyö tehdään Larox Oyj – nimiseen yritykseen. Yrityksen päätoimipaikka on Lappeenrannassa ja työ tehdään Lappeenrannan tuotantolaitokselle. Larox on teollisuussuodattimia kehittävä, suunnitteleva, valmistava ja niiden jälkimarkkinapalveluista vastaava konepajayritys. Se on täyden palvelun ratkaisutoimittaja nesteen- ja kiintoaineen erottamiseksi toisistaan suodattamalla. Larox-teknologiaa hyödynnetään maailmanlaajuisesti pääosin kaivos- ja metallurgisen teollisuuden ja kemian prosessiteollisuuden sovelluksissa. Larox toimii yli 40 maassa ja sillä on yli 590 työntekijää. Pääkonttori sijaitsee Lappeenrannassa, jossa konsernilla on myös tuotantotoimintaa. Liikevaihto vuonna 2008 oli 208,0 miljoonaa euroa, josta yli 93 % kertyi Suomen ulkopuolelta. Kuvassa 1 on yksi Larox:n valmistamista tuotteista kokoonpanotehtaalla. (Larox 2009)



Kuva 1. Larox PF 60 –sarjan suodatin, jossa käytetään 6 m² suodinlevyjä. (Larox 2009)

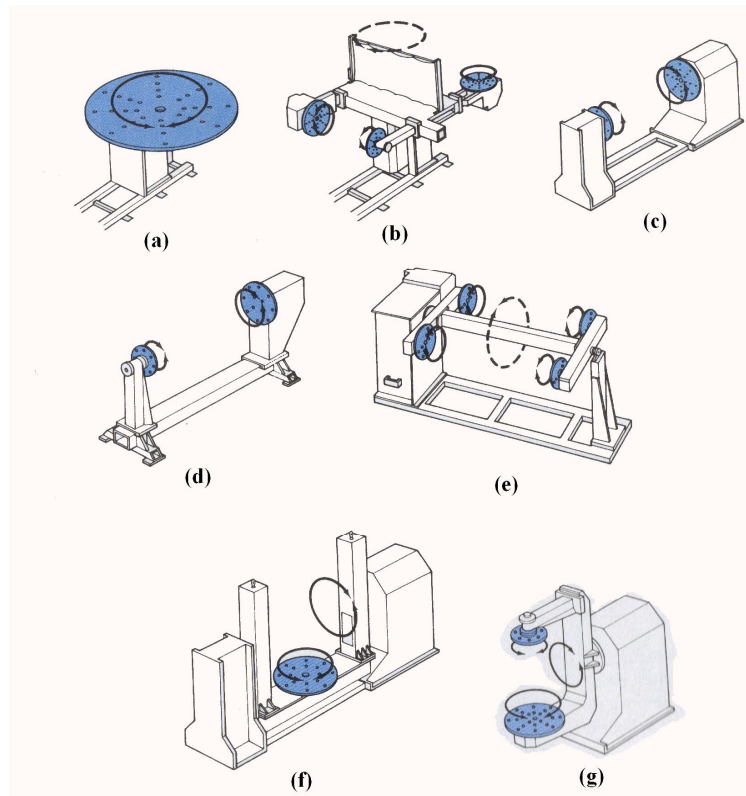
2 HITSAUSKIINNITTIMET

Tässä kappaleessa esitetään kappaleenkäsittelyä robottihitsauksessa, hitsauskiinnittimiä ja niiden kiinnitinkomponentteja. Lisäksi käsitellään kappaleiden paikoittamista ja kiinnittimen virtuaalista mallintamista.

2.1 Kappaleenkäsittely ja hitsauskiinnittimet robottihitsauksessa

Robottihitsauksessa käytetään kahta kappaleenkäsittelijätyyppiä. Näitä tyyppiä ovat hitsauspöytätyypiset ja vastapöytäparityypiset kappaleenkäsittelijälaitteet. Näistä johtuen myös hitsauskiinnittimet lasketaan kuuluvan kahteen eri kappaleenkäsittelijätyyppiin eli pöytälevylle asetettaviin ja päistä kiinnitettäviin kiinnittimiin. Erityyppisiä kappaleenkäsittelijöitä on esitetty kuvassa 2.

Hitsauspöytätyypisen kiinnittimen etuja ovat kahdella ohjattavalla akselilla aikaansaavat monipuoliset liikkeet, joilla hitsauskappale saadaan yleensä hyvään hitsausasentoon. Haittapuolena kyseiselle kiinnitintyypille on hitsattavan kappaleen pöytälevyn puoleisen sivun katveeseen jääminen. Vastapöytäparityypiseen kappaleenkäsittelylaitteeseen on mahdollista rakentaa hitsauskiinnitin, joka mahdollistaa kappaleen hitsauksen kaikilta suunnilta. Hitsausasennoille ei ole kuitenkaan niin paljon variaatioita vastapöytäparityypisellä kappaleenkäsittelylaitteella kuin hitsauspöytätyypisellä kappaleenkäsittelylaitteella, koska tavallisesti laitteessa on vain yksi ohjattava akseli. Robottiasemalla käytetään usein useita erilaisia kappaleenkäsittelylaitteita ja kiinnittimiä, jolloin voidaan hitsata samassa sarjassa tuotettavaan kappaleeseen kuuluvat erilaiset osat. (Leino et al. 1987, s. 3)



Kuva 2. Kappaleenkäsittelylaitteita robotisoituun hitsaukseen: a) 1-akselinen hitsauspöytä, b) kaksiasemainen vastapöytäpari, c) ja d) vastapöytäpari, e) kaksiasemainen vastapöytäpari, f) 2-akselinen hitsauspöytä ja g) 2-akselinen vastapöytäpari. (Cary et al. 2005, s. 302)

Hitsauspöytätyyppisen kappaleenkäsittelylaitteen hitsauskiinnitin rakennetaan yleisimmin suoraan levyrungon päälle. Levyrunko suojaa samalla hitsauspöydän pintaa hitsausroiskeilta. Hitsauskiinnitin paikoitetaan hitsauspöytätyyppiseen kappaleenkäsittelijään levyrungossa olevilla paikoituselimillä kuten esimerkiksi kahdella erikokoisella lieriötapilla. Tämän jälkeen kiinnitin lukitaan paikoilleen kahdella tai useammalla ruuvilla. (Leino et al. 1987, s.3)

Vastapöytäparityyppisen kappaleenkäsittelylaitteen hitsauskiinnittimen muodostaa tavallisesti kehikko, johon kappaleen paikoituksessa ja kiinnittämisessä tarvittavat elementit kiinnitetään. Kiinnitin paikoitetaan kappaleenkäsittelijään yleensä päistään lieriötapeilla ja lukitaan paikalleen useilla ruuveilla. Vastapöytäparityyppisen kappaleenkäsittelijän toinen pää kannattaa tehdä aksiaalisuunnassa uivaksi, jolloin hitsauskiinnittimien pituusvaihtelut eivät tuota ongelmia. (Leino et al. 1987, s. 3)

Hitsauskiinnittimen kiinnittäminen kappaleenkäsittelijään ruuveilla on yleensä riittävän nopeaa myös tuotantoon, jossa tuote vaihtuu päivittäin. Yleensä aikaa kuluu eniten hitsauskiinnittimen siirtämiseen varastosta robottisoluun, robottiohjelman tarkistamiseen ja muokkaamiseen. Lieriötapeilla ja ruuveilla tapahtuvan hitsauskiinnittimen kiinnittämisen huono puoli on kuluminen kun asetuksia tehdään usein. Usein tapahtuvaa asetusta varten kiinnittimen kiinnitys voidaan tehdä erilaisten ohjaavien muotojen avulla, kiiloilla ja itselukittuvien pikaliittimien avulla. Itselukittavuus varmistaa sen, että kiinnitin pysyy paikallaan vaikka paineilmaverkosta tai hydraulikkasysteemistä loppuisi paine. (Leino et al. 1987, s. 7)

2.2 Hyvä hitsauskiinnitin robottihitsaukseen

Hyvin suunniteltu hitsauskiinnitin täyttää seuraavat tunnusmerkit (Leino et al. 1987, s. 12):

- kappale sijaitsee kaikilta hitsattavilta osiltaan robotin ulottuvissa
- robotti kykenee hitsaamaan kaikki hitsit
- hitsauksen paluuvirran reitti on varma ja harkittu
- robotin ei tarvitse tehdä turhia liikkeitä kiinnittimen vuoksi
- hitsausasennot ovat edulliset
- hitsattavat osat voidaan ladata ja valmis kappale poistaa esteettä.

Hitsauskiinnitin suunnitellaan tavallisesti vain yhdelle tuotteelle tai sen osalle. Monimutkaisille osille voidaan joutua rakentamaan useita kiinnittimiä eri hitsaustyövaiheille. Lisäkiinnittimet tarkoittavat lisää rahanmenekkiä, joten kiinnitin tulee suunnitella niin, että siinä pystyttäisiin hitsaamaan mahdollisimman paljon. Siksi robottihitsauksessa tulee usein muuttaa vastaavan kappaleen hitsausjärjestystä, kun verrataan käsinhitsaukseen. Käsinhitsauksessa käytettävät erilliset vaihekiinnittimet voidaan korvata usein alikokoonpanokiinnittimillä, joissa hitsatut osat voidaan siirtää pääkiinnittimeen loppuhitsausta varten. Valmiiksi hitsattu alikokoonpano tarvitsee pääkiinnittimessä huomattavasti

yksinkertaisemmat paikoitus- ja kiinnityselementit kuin suoraan irrallisena pääkiinnittimeen kiinnitettävät osat. (Leino et al. 1987, s.7)

Hitsauskiinnittimen suunnittelussa ja materiaalinvalinnassa tärkeitä tekijöitä ovat valmistuskustannukset, pitkäaikaiset kunnossapitokustannukset ja erityisesti robotihitsaukselle tärkeät ominaisuudet, kuten esimerkiksi paikoitustarkkuuden säilyminen korkeissa lämpötiloissa ja hitsausroiskeille altistuessa. Hitsauskiinnittimen materiaaleina käytetään useimmiten rakenneterästä, työkaluterästä, alumiinia, ruostumatonta terästä ja kuparia. (Lipnevicius 2008)

Kiinnittimen runko-osa tehdään yleensä pyöreästä tai neliöprofiilista. Kiinnittimen ohjaus- ja paikoitusosat tehdään puolestaan kovasta ja kulutuskestävästä korkeahiilisestä työkaluteräksestä tai vastaavasta. Vaihtoehtona työkaluteräkselle paikoitusosissa on alumiinipronssi, joka lujittuu käytössä. Alumiinipronssin etuna työkaluteräkseseen on, että siihen ei synny jäännösmagnetismia. Sähkönjohtavuuden parantamiseksi käytetään kupariseoksia. Sähkönjohtavuutta ei tule unohtaa ja siksi kiinnittimeen on jätettävä maalaamattomia kohtia paikkoihin, joissa vaaditaan esteetöntä sähkön johtumista. (Lipnevicius 2008)

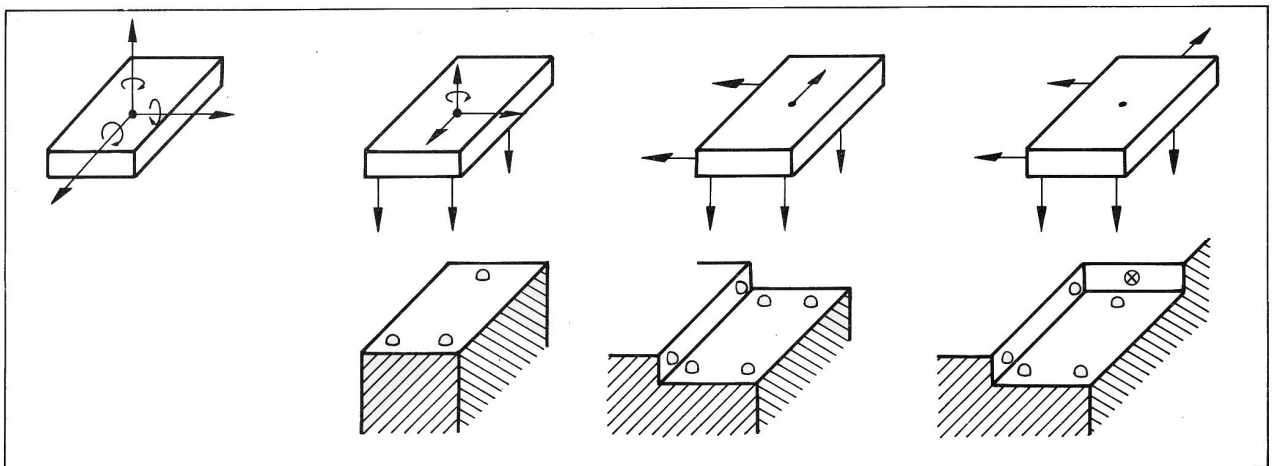
Hitsauskiinnittimen suunnittelussa tulee ottaa huomioon lämmön johtuminen ja kappaleen muodonmuutosten vaikutus. Kiinnittimissä käytetään hyvin lämpöä johtavia materiaaleja, kun lämpöä halutaan johtaa pois työkappaleesta tai levittää laajalle alueelle vähentääkseen työkappaleen muodonmuutoksia. Alumiini reagoi lämpöön huomattavasti suuremmalla lämpölaajenemisella kuin kupari, joten kuparia käytetään useammin lämmönjohtajana. Lämmöstä johtuvia muodonmuutoksia voidaan ehkäistä lisäksi hitsausjärjestyksellä sekä lämmöntonin kontrolloinnilla. (Lipnevicius 2008)

2.3 Osien paikoittaminen kiinnittimeen

Hitsauskiinnittimessä osien paikoittamiselle pätevät samat periaatteet kuin muillakin kiinnittimillä. Hitsauksessa kappaleen kiinnittämisen tarkkuusvaatimus ei ole kuitenkaan yhtä tarkka kuin esimerkiksi lastuavassa työstössä. Se antaa hitsauskiinnittimen suunnittelijalle lisävapauksia. Seuraavassa käsitellään levyosien paikoittamista kiinnittimeen. (Leino et al. 1987, s.12)

Kappaleen saamiseksi staattisesti määrättyyn asemaan käytetään ns. 3-2-1 – sääntöä, jolloin kappaleen pinta-alaltaan suurin paikoitettava pinta tuetaan kolmella tukipisteellä, seuraavaksi suurin kahdella ja pienin yhdellä tukipisteellä. Kuvassa 3 on malliesimerkkejä kappaleen saamiseksi edellä mainittuun tilanteeseen. Tukipisteiden paikkaa ja lukumäärää valitessa tulee ottaa huomioon seuraavat seikat (Leino et al. 1987, s.12):

- suurin määrä tukipisteitä tulee sijoittaa kappaleen suurimmalle paikoitettavalle pinnalle
- tukipisteiden vastinpinnat on valittava kappaleen mitoitus- ja toimintaperiaatteen mukaan eli vastinpinnoiksi valitaan pinnat, joiden asemalla on merkitystä kappaleen toiminnalle
- eri hitsaustyövaiheissa käytetään mahdollisimman paljon samoja vastinpintoja.

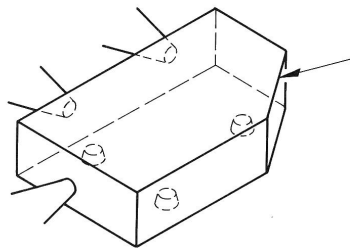


Kuva 3. Kappaleen saattaminen staattisesti määrättyyn tilaan. (Leino et al. 1987, s.12)

Suurikokoisten tai ohuiden levyjen paikoituksessa voidaan levyn taipumisen vuoksi joutua käyttämään kolmea useampaa tukipistettä yhdessä tasossa tai korvaamaan ne kapeilla tasomaisilla tukipinnoilla. Tasomaisia tukipintoja voidaan käyttää myös esimerkiksi päittäishitsiliitoksen juuritukena. Suurten tasopintojen käyttämistä tukipintoina tulisi välttää, koska niihin kerääntyy helposti hitsausroiskeita ja tällöin esimerkiksi hitsauksen paluuvirran kulkureitti muodostuu epämääräiseksi. (Leino et al. 1987, s. 12)

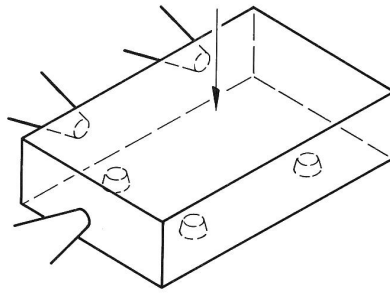
Hitsauskiinnittimen kiinnitysvoiman ei tarvitse kohdistua välttämättä tukipisteen tai tukipinnan kohdalle, vaan suhteellisten pienien kiinnitysvoimien johdosta se voidaan kohdistaa myös tukipisteiden välille. Ohuet levyt on tuettava kuitenkin kiinnitysvoiman vaikutuspisteen kohdalle, jos taipuma muodostuu huomattavaksi tarvittavalla kiinnitysvoimalla. (Leino et al. 1987, s. 12)

Kiinnitysvoiman suunnan ja vaikutuskohdan perusteella voidaan puhua aktiivisesta ja passiivisesta paikoituksesta. Aktiivisessa paikoituksessa kiinnitysvoima työntää kappaletta jatkuvasti tukipistettä vasten, kuten kuvassa 4. (Leino et al. 1987, s. 12)



Kuva 4. Aktiivinen paikoitus. (Leino et al. 1987, s. 13)

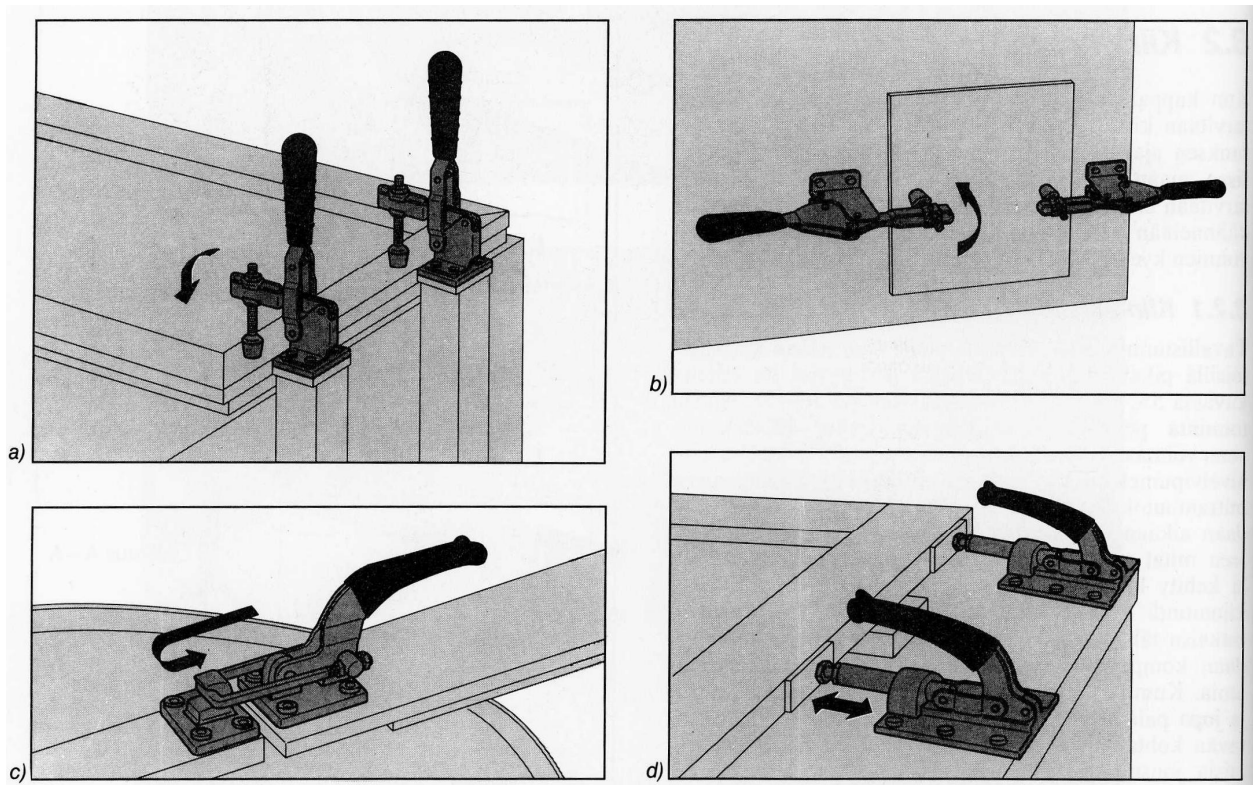
Passiivisessa paikoituksessa kiinnitysvoima on vain yhdessä suunnassa aktiivinen. Muissa suunnissa kappale pysyy paikallaan kitkavoimien vaikutuksesta, kuten kuvassa 5. Levyjen paksuus- ja esivalmistustoleranssien vaikutusta voidaan pienentää käyttämällä vastepintoina niitä pintoja, jotka välittömästi määräävät railon sijainnin. (Leino et al. 1987, s.12-13)



Kuva 5. Passiivinen paikoitus. (Leino et al. 1987, s.13)

2.3.1 Käsikäyttöiset kiinnitinkomponentit

Useimmissa tapauksissa hitsattava kappale täytyy kiinnittää hitsauskiinnittimeen jollakin lukitsevalla komponentilla, jolloin kiinnittimen voi esimerkiksi kääntää toiseen asentoon ja kappale pysyy paikoillaan. Manuaalisessa kiinnittämisessä kappale kiinnitetään käsikäyttöisillä puristimilla, joiden eri tyyppejä on esitetty kuvassa 6. Käsikäyttöiset puristimet toimivat usein erilaisilla vipumekanismeilla, joilla saadaan aikaiseksi lukitseva kiinnitys ja vaadittu puristusvoima kappaleen paikallaan pitämiseksi. Mekaanisen vipumekanismin heikkoutena on sen herkkyys työkappaleen mittamuutoksille. Haluttu puristusvoima saadaan aikaiseksi vain tietyllä kappalemitalla. Muussa tapauksessa puristusvoima on joko liian heikko tai kasvaa niin suureksi, ettei puristinta saada lukittuun asentoon. Tämän ongelman ehkäisemiseksi voidaan käyttää kumisia tai sitä kestävimpiä jousitettuja painimia, jotka kompensoivat mahdollisia mittamuutoksia. Nivelvipumekanismien lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi myös ruuveja, epäkeskoja, kiiloja, kulissivipuja ja jousikuormitettuja pantoja. (Leino et al. 1987, s. 35 - 36)



Kuva 6. Käsikäyttöisten pikakiinnittimien perustyyppit: a) pystysuora kiinnitin, b) vaakasuora kiinnitin, c) sulkukiinnitin ja d) työntötankokiinnitin. (Leino et al. 1987, s. 36)

2.3.2 Automatisoidut kiinnitinkomponentit

Käsikäyttöiset kiinnitinkomponentit voidaan korvata paineilma- tai hydraulikäyttöisillä kiinnitinkomponenteilla. Niiden käyttöönottoa sopii harkita, kun kiinnitinkomponenttien lukumäärä on suuri, osien kiinnittäminen tulee tapahtua samanaikaisesti useassa kohdassa tai kiinnitinkomponentit sijaitsevat lataajan kannalta vaikeapääsyisissä tai kokonaan ulottumattomissa olevissa kohteissa. Paineilma- ja hydraulikäyttöisinä kiinnitinkomponentteina käytetään yleensä työsylinterejä, jotka joko toimivat sellaisenaan painimena tai erilaisten vipumekanismien välityksellä. Kuvassa 7 on esitetty käsikäyttöisten kiinnitinkomponenttien lisäksi paineilmakäyttöisiä kiinnitinkomponentteja. (Leino et al. 1987, s. 54)



Kuva 7. Erilaisia käsikäyttöisiä ja paineilmakäyttöisiä kiinnityskomponentteja. (Lipnevicius 2008)

Paineilmaa tai hydraulikkaa voidaan myös käyttää kappaleen poistamiseksi kiinnittimestä. Työsylinterien lisäksi voidaan käyttää myös paisuvia paineletkuja kiinnitysvoiman aikaansaamiseksi. Paineilmakäyttöisten komponenttien etuna on niiden siisteys vuodon sattuessa verrattuna hydraulikäyttöisiin komponentteihin. Lisäksi hydraulikäyttöisen komponentin vuodon vaarana on öljyn syttymisriski. Hydraulikäyttöisten komponenttien etuna on niiden suuri aikaansaama voima kokoonsa nähden. Hydraulikäyttö vaatii oman painetta tuottavan koneikon, joka lisää kustannuksia. Paineilmajärjestelmä löytyy useimmiten yrityksestä ”vakiovarusteena”. (Leino et al. 1987, s. 54)

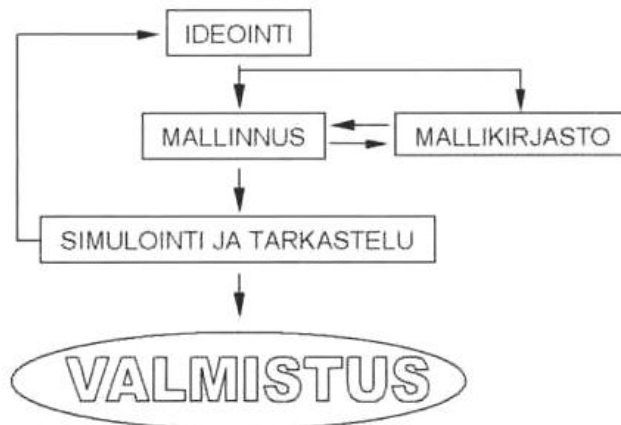
Paineilma- ja hydraulikäyttöisiin kiinnitinkomponentteihin voidaan liittää lisäksi tunnistusjärjestelmä, jonka tarkoituksena on anturoida, ovatko kaikki osat paikoillaan ja kiinnitinkomponentit lukittu –asennossa. Tunnistimet voidaan kytkeä hitsausrobotin ohjausjärjestelmään siten, ettei robottiohjelma käynnisty, elleivät kaikki kiinnityskomponentit ole oikeassa asennossa. (Leino et al. 1987, s. 54)

Hitsattaessa monimutkaisia kappaleita voidaan kiinnittimestä tehdä pidemmälle automatisoitu, jolloin se tekee itsenäisesti operaatioita hitsaustyöjakson aikana. Tällaisia toimintoja ovat esimerkiksi kiinnitinkomponenttien avaus tai vasteiden vetäytyminen osan silloituksen jälkeen luoksepäästävyuden parantamiseksi sekä uusien osien paikoitus aiemmin hitsattujen osien päälle. Kiinnittimen toiminnan

ohjaus voidaan joko liittää robotin ohjaimeen tai käyttää järjestelmäohjainta, joka synkronoi robotin ja kiinnittimen toiminnot. (Leino et al. 1987, s. 58)

2.4 Hitsauskiinnittimen virtuaalinen mallinnus

Käyttämällä virtuaalista 3D-simulointia hitsauskiinnittimen suunnitteluun voidaan huomata hyvissä ajoin sellaisia seikkoja, jotka tulisivat vastaan vasta prototyypin rakentamisen yhteydessä. Kolmiulotteisen virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen on yleistynyt vahvasti. Simuloinnilla saadaan tarkasteltua hyvin toimintoja ja variaatioita ja tehtyä sen perusteella parempia päätöksiä valittavista rakenteista ja toiminnoista. Virtuaalimaailmassa voidaan suorittaa hitsauskiinnittimen optimointia, hitsausprosessin eri vaiheiden testausta ja selvittää työkappaleen vaatimuksia sekä sen osanvalmistuksen vaatimuksia. Kuvassa 8 esitetään kiinnittimen virtuaalisuunnitteluprosessi. (Neuvonen et al. 1999, s. 24)



Kuva 8. Virtuaalisen kiinnittimen suunnitteluprosessi. (Neuvonen et al. 1999, s. 26)

Virtuaalimaailma on mallin ja ympäristön luoma keinotodellisuus tietokoneen näytöllä. Virtuaalimallilla käsitetään CAD-ohjelmalla luotua kolmiulotteista mallia mekaniikasta, laitteesta tai laitteistosta. Geometrian lisäksi virtuaalimalliin on lisätty sen kinematiikka eli eri osien suhteellista liikettä kuvaavat parametrit, kuten esimerkiksi nivelten ja luistien liikeradat, liikesuunnat, liiketyypit ja liikerajat. Animoinnilla saadaan lisättyä malliin ajan funktio ja sillä parannetaan mallin visuaalisuutta toimintatarkastelussa. Animointi voidaan luoda ohjelmoimalla. (Neuvonen et al. 1999, s. 26)

Virtuaalikiinnittimeen tarvittavat osat, kuten runko-osat, kiinnitys- ja paikoituskomponentit voidaan luoda joko tuomalla ne 3D-malleina erilaisista mallikirjastoista tai esimerkiksi mallintamalla tavallisesta 2D-piirustuksesta. Virtuaalimaailmassa on helppo testata eri valmistajien kiinnitinkomponentteja, koska ne ovat yleensä maksutta käytettävissä. Internetin mallikirjastoissa on komponentit usein useilla eri formaateilla tiedonsiirron varmistamiseksi. (Neuvonen et al. 1999, s. 26)

Virtuaalitodellisuudessa mallit ovat tarkalleen dimensioissaan eli ne ovat absoluuttisia. Todellisuudessa kappaleiden koko vaihtelee toleranssien rajoissa. Vaikka virtuaalimalli onkin epätodellinen, niin dimensioiden ääritapaukset pystytään kuitenkin tutkimaan. Samalla osanvalmistukselle saadaan tieto vaadittavasta valmistustarkkuudesta ja kiinnitykselle kriittiset kohdat saadaan määritettyä aikaisessa vaiheessa. Simuloinnilla saadaan selvitettyä myös tarvittavat säätö- ja liikevarat kiinnityskomponenteille. Liitettäviin kappaleisiin voidaan myös suunnitella kiinnitystä helpottavia ulokkeita ja aukkoja, jolloin hitsattavat osat toimivat paikoitus- ja tukieliminä toisilleen. (Neuvonen et al.1999, s. 26)

3 ROBOTIIKKA


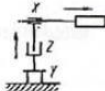


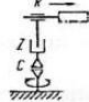





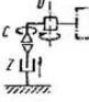


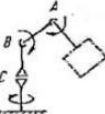


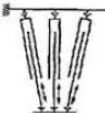

Tässä kappaleessa esitellään yleisimmät teollisuusrobotit, niiden ominaisuuksia ja robotin yhteyteen vaadittavia lisälaitteita. Lisäksi kappaleessa esitetään robottihitsausta, hitsausrobotin etäohjelmointia ja hitsausrobotin railonhakua sekä hitsausprosessin hallintaa.

Tässä työssä käsitellään robotiikkaa laajalti, koska on tärkeää, että robotti ja hitsauskiinnitin toimivat hyvin yhdessä. Kiinnittimen toiminta ei saa haitata robotin toimintaa ja hitsausasennot on optimoitava mahdollisimman hyviksi.

3.1 Teollisuusrobotti

Kansainvälisen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen, vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein erilaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden eri sovelluksissa. Nykyään teollisuusrobotin uudelleen ohjelmoitavuus ei pelkästään riitä, vaan sen on kyettävä muodostamaan liikeratansa tuotteiden suunnittelutiedon ja ympäristömallin perusteella. Lisäksi teollisuusrobotti voi anturoida ympäristön muutoksia ja päivittää prosessia samanaikaisesti. Teollisuusrobotin liikerata voi olla kokonaan etukäteen määritetty, toimintaympäristön tapahtumien perusteella valittava tai antureiden perusteella liikkeiden aikana luotu. (Kuivanen 1999, s.13)

Standardi ISO 8373 määrittelee robottisanastoa ja lajittelee yleisimmät robottimallit mekaanisen rakenteen mukaan. Yleisimmät rakenteet, niiden kinemaattiset kaaviot ja työalueet on esitetty kuvassa 9.

Nimitys pääakseleiden mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaatirobotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			
Rinnakkaisrakenteinen robotti			

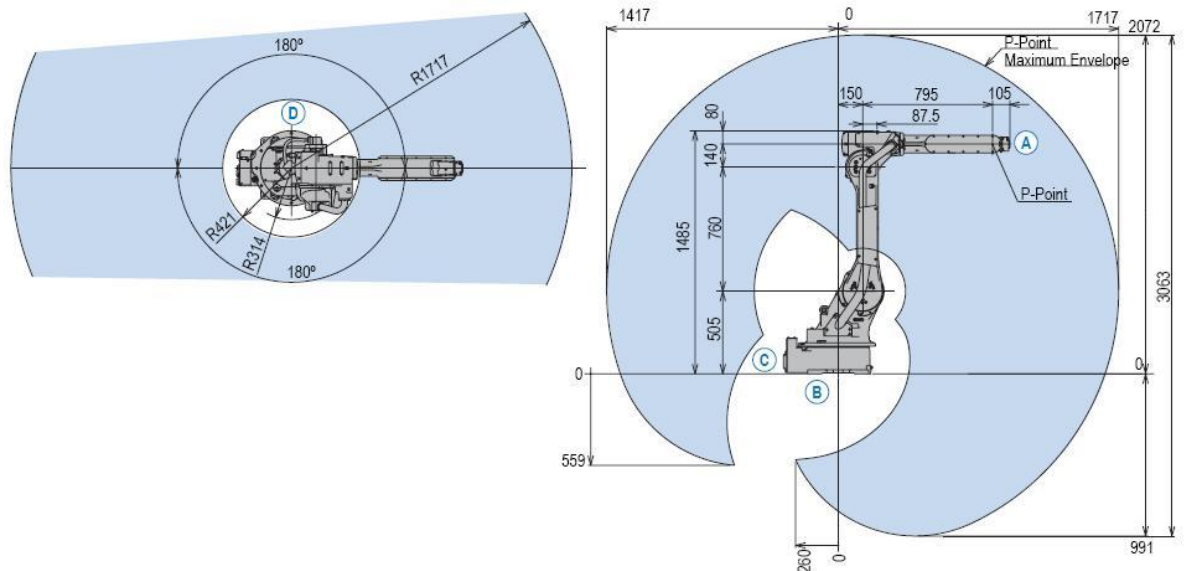
Kuva 9. Yleisimpien robottien rakenne-esimerkkejä (Kuivanen 1999, s.12)

3.2 Teollisuusrobotin ominaisuudet

Teollisuusrobottien ominaisuuksissa ilmoitetaan yleensä työalueen profiilit sivulta ja päältä, nivelten suurimmat nopeudet, toistotarkkuus, kantokyky ja paino. Standardi SFS-EN ISO 9283:en määrittelee robottien ominaisuuksien tarkastelutavat (SFS 2009). Kuvassa 10 on esitetty tyypillinen robotin työaluekuva.

Teollisuusrobotin toistotarkkuudella tarkoitetaan sitä tilastollista tarkkuutta, jolla robotin, esimerkiksi työkalun joku piste, palaa takaisin aikaisemmin opetettuun pisteeseen. Robotin absoluuttisella tarkkuudella tarkoitetaan sellaista tarkkuutta, jolla robotti saadaan robotin runkoon sidotussa koordinaatistossa haluttuun pisteeseen. Absoluuttinen tarkkuus on työkalun mitoista riippuen usein kymmeniä tai satoja kertoja epätarkempi kuin toistotarkkuus. (Kuivanen 1999, s. 14)

Robottiaseman tuotantotarkkuudella tarkoitetaan kaikkien työkappaleeseen liittyvien ohjelmien paikkaan ja asentoon vaikuttavien laitteiden tarkkuuksien summaa. Se koostuu robotista, lineaariakseleista, pyörityspöydistä, kiinnittimistä ja työkaluista. (Neuvonen et al. 1999)



Kuva 10. Esimerkki nivelvarsirobotin työalueesta ja ulottuvuuksista. (Motoman 2009)

Robotti koostuu tukivarsista ja nivelistä, jotka pystyvät liikkumaan tiettyihin suuntiin ja tuottamaan haluttua liikettä. Robotin mekanismeja liikutetaan lineaarikäytöllä, jotka voivat olla hydraulisia, pneumaattisia tai sähköisiä, tai rotaatiokäytöllä, jotka voivat olla hydraulisia tai sähköisiä. Voimansiirtoon käyttölaiteelta itse niveleen käytetään yleisimmin työntötankoja, kuularuuveja, ketjuja, vipumechanismeja, hammashihnoja tai hammaspyörästäjä. Nykyään yleisimpiä käyttölaitteita ovat sähköiset servomootorit, joista on takaisinkytketty tiedonkulku. Tukivarsia toistensa suhteen liikuttavat toimilaitteet tekevät varsinaisen työn. Mekanismien avulla, joita usein kutsutaan niveliksi, tukivarret muuttavat keskinäisiä asentoja ja asemiaan. Työkalut kiinnitetään robotin työkalulaippaan. Työkalulaippa on yleensä ympyrämäinen pinta robotin ranteessa, johon kiinnitetään työkalu tai työkalunvaihtajan perusosa. Robotin ranteella tarkoitetaan joko toisiinsa tai peräkkäin kytkettyjä mekaanisia toimilaitteellisia tukivarsia käsivarren ja työkalun välissä, jotka tukevat ja liikuttavat työkalua haluttuun asentoon. (Cary et al. 2005, s. 313. Kuivanen 1999, s. 15-19, 182, 185)

Monikäyttöisimpiä ovat robotit, joiden työkalun saa mihin tahansa asentoon ja asemaan työalueella. Tähän tarvitaan kuusi vapausastetta, joista vähintään kolme on kiertyviä. Kiertyvät vapausasteet ovat yleensä ranteessa. Kuuden vapausasteen roboteista yleisimpiä ovat kiertyväniveliset robotit, kuten kuvassa 11. Saavutettavia asemia (paikka ja asento) rajoittavat nivelten mekaaniset liikealueet ja robotille sallittava työskentelyalue. (Kuivanen 1999, s. 18)



Kuva 11. Kiertyvänivelinen 6 vapausasteen robotti. (Motoman 2009)

3.3 Teollisuusrobotin koordinaatistot

Teollisuusrobotin yleiset koordinaatistot ovat suorakulmaisia ortonormeerattuja oikeakätisiä koordinaatistoja. Ortonormeerattu tarkoittaa xyz-koordinaatistoa, joka on positiivisesti suunnattu siten, että katsottuna origoa sellaisesta suunnasta, jossa kaikki koordinaatit ovat positiivisia, x-, y-, ja z-akselit seuraavat järjestyksessä toisiaan positiivisessa kiertosuunnassa eli vastapäivään (Pirttimäki 2000). Standardin ISO 9787-1990 mukaan edellä mainittuja koordinaatistoja ovat maailmankoordinaatisto, peruskoordinaatisto ja työkalukoordinaatisto. Maailmankoordinaatisto on robotin ulkopuolinen koordinaatisto, joka on sidottu työskentely-ympäristöön esimerkiksi rakennukseen, lineaarirataan tai robotin oheislaitteisiin. Peruskoordinaatisto on robotin jalustaan sidottu koordinaatisto. Työkalukoordinaatisto on suorakulmainen koordinaatisto, joka sidotaan työkalumäärittelyllä kiinni haluttuun kohtaan robotin työkalua lähtien

työkalulaippaan sidotusta koordinaatistosta. Tällöin saadaan esimerkiksi robotti siirtämään hitsauksen valokaaren kohtaa suoraviivaisesti 10 mm:n päässä suuttimesta hitsauslankaa pitkin. Työkalua liikuttaessa liikutetaan siis työkalukoordinaatiston origoa ja haluttua työkalupistettä halutuilla parametreilla annetulla nopeudella. (Kuivanen 1999. s.21)

3.4 Teollisuusrobotin ohjausjärjestelmä

Robotin ohjausjärjestelmä muodostuu seuraavista osista (Kuivanen 1999, s. 34):

- keskusyksikkö
- massamuisti ohjelmien tallennusta varten
- käsiohjain operointia ja ohjelmointia varten
- liitännät ulkoisia tietokoneita varten
- nivelkohtaiset servotoimilaitteet
- teholähteet, jotka muuttavat sähkönsyötön järjestelmälle ja laitteelle sopivaksi.

Robotinohjausjärjestelmän piirteitä ja toimintoja ovat ohjelmien tulkinta liikekäskyiksi, toimilaitteiden takaisinkytketty servo-ohjaus, toimintaympäristön anturointi, muualla tehdyn ohjelman ymmärtäminen ja robotin sisäisen toiminnan tarkkailu eli itsediagnostiikka. (Kuivanen 1999, s. 34)

Robotin ohjausjärjestelmän tehtävät voidaan jakaa viiteen ryhmään. Näitä ryhmiä ovat liikeohjauksen tehtävät, ohjelmointiin ja opetukseen liittyvät tehtävät, ohjelmien toisto ja liikkeiden suoritustehtävät, turvallisuustoimintojen toteuttaminen ja apuna toimiminen huoltotehtävissä ja käyttöönotossa. (Kuivanen 1999, s. 35)

3.5 Kaarihitsauksessa käytettävä robotti

Kaarihitsauksessa voidaan käyttää useita erityyppisiä robotteja. Yleisimpiä ovat kiertyväniveliset robotit, joilla pystytään jäljittelemään ihmiskäden liikkeitä mahdollisimman hyvin. Tällöin voidaan muuttaa hitsauspolttimen kulmaa ja sen

kuljetuskulmaa, jolloin saadaan aikaiseksi hyvälaatuista hitsiä. Lisäksi polttimella pitää päästä vaikeisiin työkulmiin. Hitsausrobottiin voidaan liittää myös lisäakseleita, jolloin robotti voidaan kytkeä vaikkapa portaaliin, jolloin robotin työalue ja ulottuvuus paranee huomattavasti. (Cary 2005, s.315)

Kaarihitsauksessa käytettävälle robotille asetettuja vaatimuksia ovat (Kuusisto 2007, s. 31):

- vapausasteita oltava vähintään 5, mielellään 6 kpl
- riittävän laaja työskentelyalue: Robotti on joko paikallaan tai liikuteltavissa ulkoisella liikeradalla tai liikeradoilla
- robotin ohjauslaitteet ovat varustettu riittävällä muistikapasiteetilla
- liikkeiden absoluuttinen tarkkuus on vähintään 0.3 mm
- railon seuranta ja -haku on voitava yhdistää ohjaustoimintoihin
- ohjelmointi on oltava helposti tehtävissä
- ohjelman siirto ja joustava taltiointi on oltava mahdollista
- vaaputusliike ja monipalkohitsausrutiinit on oltava mahdollisia
- säädöksen mukaiset turvalaitteet.

3.6 Hitsausrobotiaseman etäohjelmointi ja kalibrointi

Hitsausrobotin etäohjelmointiin käytetään yleisimmin CAD-malleja apuna käyttävää ohjelmointiohjelmaa. Ideaalinen etäohjelmointiohjelma pystyy suoriutumaan seuraavista tehtävistä (Holamo et al. 2006. s. 78):

- CAD-tiedostojen siirto
- (automaattinen) hitsausratojen muodostus
- (automaattinen) törmäystarkastelu
- ohjelman kääntö robotin ohjaimelle
- osien kalibrointirutiinit
- robotisysteemin paikoitustarkkuuden määrittäminen
- hitsausparametrien hallinta.

Hitsausrobotin etäohjelmoinnissa tuodaan etäohjelmointiohjelmaan CAD-malli hitsattavasta tuotteesta. Tuotteelle luodaan hitsausradat ja tehdään törmäystarkastelut joko automaattisesti tai manuaalisesti. Automaattinen hitsausradan luonti ja törmäystarkastelu vaativat aina sääntöjä, johon ne perustuvat. Siksi niiden hallinta vaatii myös hitsausoperaattorilta paljon ymmärrystä ja osaamista. Luodut hitsausrobotin liikeradat ja toimintokäskyt täytyy kääntää robottiohjaimen kielelle. Tämä tapahtuu erityisellä kääntäjällä, joka muodostaa robottiohjaimelle ohjauskoodin. Usein kääntäjä ei ole riittävän tarkka, jolloin syntyy pieniä tilanteita, joissa ohjelmointiohjelma olettaa robotin tekevän muuta mitä robotti tekee koodin perusteella. (Holamo et al. 2006. s. 78)

Hitsausrobotti kalibroidaan seuraavaksi tuotteelle, jolloin sille syötetään jokin mittaustapa, jolla se tunnistaa tuotteen sijainnin ja orientaation työalueellaan. Sillä mittaustiedolla robottiohjain muuttaa tai säätää tarpeen mukaan ohjelmaa kappaleen hitsaamiseksi. Tuotteen kalibrointi voidaan tehdä ennen jokaisen eri tuotteen hitsausta. (Holamo et al. 2006. s. 78)

Kun haluttu työkalupisteen sijainti on luotu etäohjelmoinnissa, on koko robottiaseman paikoitustarkkuuden oltava todella hyvä. Sitä varten koko robottiasema on kalibroitava hyvin tarkasti. Robottiaseman kalibroinnissa kuvataan robotin kinemaattiset, toimilaitteelliset ja mekaaniset staattiset piirteet mallintamalla, mittaamalla ja identifioimalla. Identifioinnissa verrataan laitteen nimellismallin paikkatietoa mittatietoihin. Identifioinnin perusteella muodostetaan uusi kinemaattinen malli, jonka toteuttama paikka vastaa mahdollisimman hyvin mittaustietoa. Lisäksi usein tarvitaan kompensointia, jossa muutetaan identifioidun mallin avulla ulkoisella ohjelmalla robottiohjelman paikka- ja asentotiedot todellisuutta vastaaviksi. Mittaus voidaan suorittaa globaaliksi menetelmäksi kutsutulla mittausmenetelmällä, jossa mitataan yhdestä pisteestä koko hitsausrobottiaseman dimensiot. Tällaisia mittausmenetelmiä ovat lasertrackeri, teodoliitti ja kamerajärjestelmät. Pelkän robotin mittaamiseen riittää paikallinen menetelmä, jossa mittaus rajoittuu tiettyyn tehtävään tai pieneen alueeseen, kuten tietyssä työpisteessä tapahtuvaan ohjelmien korjaukseen. Paikallisen mittauksen menetelmiä ovat artifakti, jonka geometria tunnetaan ja erilaiset sauva- tai

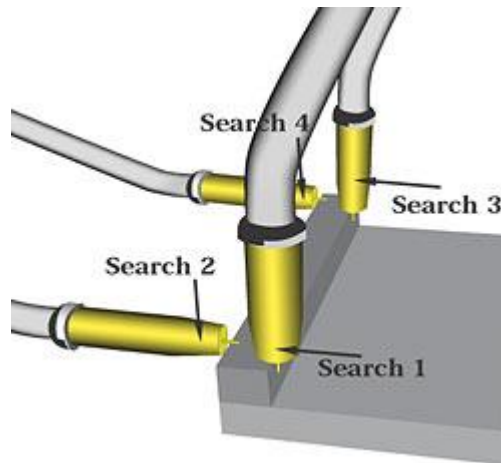
nauhapohjaiset mittalaitteet. (Holamo et al. 2006. s. 78, Tamminiemi et al. 1999. s. 15–17)

Kalibrintimittaukselle asetettava tarkkuusvaatimus on vähintään 1/5 tavoiteltavasta hitsausrobotiaseman tuotantotarkkuudesta. Esimerkiksi, jos halutaan 1 mm tuotantotarkkuus, on mittaustarkkuuden oltava 0,2 mm. (Tamminiemi et al. 1999. s. 17)

3.7 Railonhaku ja -seuranta sekä hitsausprosessin hallinta

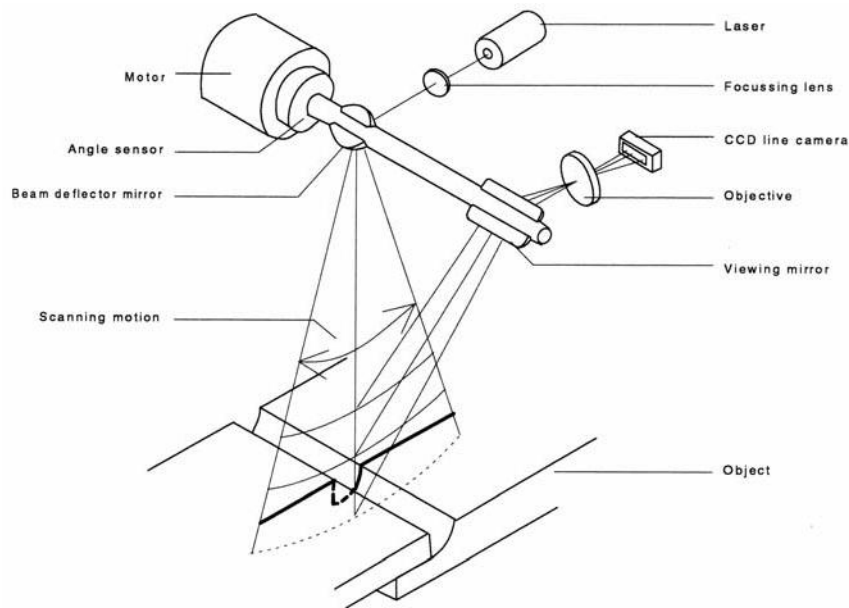
Hitsattavissa liitoksissa on aina poikkeamia niiden geometriassa ja sijainnissa. Ne ovat seurausta erilaisista osavalmistuksen epätarkkuuksista. Epätarkkuuksia kompensoidakseen täytyy suorittaa hitsausparametreille automaattista säätöä, jotta hitsaus olisi mahdollista miehittämättömässä tuotannossa. (Jernström 2002. s. 17)

Railonhaku on ohjelmistoperustainen ja edullinen anturointisysteemi hitsausrobottiin. Railonhaku perustuu lähes poikkeuksetta sähköiseen kontaktiin. Railonhakuun käytetään MIG/MAG- hitsauksessa joko lisäainelankaa, polttimen kaasuholkkia tai jotakin muuta teräväkärkistä sähköä johtavaa kontaktoria. Railonhaussa käytetään hyvin korkeaa jännitettä normaaliin hitsausjännitteeseen verrattuna. Jännitteen suuruus on yleensä noin 200 voltia, jolloin sähköinen kontakti syntyy ruosteisemmankin pinnan läpi (Motoman 2009). Sähköisen kontaktin saatuaan robotti tallentaa muistiin sen hetkisen sijaintinsa ja muokkaa hitsausohjelman radan kulkemaan anturoinnin antaman datan perusteella ennen hitsauksen alkamista. Railonhaun avulla tehtävät säädöt hitsausrataan voidaan tehdä 1-, 2- tai 3-ulotteisesti. Railonhaun huonona puolena on sen tuoma lisäaika työkiertoon. Railon löytämiseen menee yleensä noin 3-5 sekuntia aikaa. Railonhaun onnistumiseksi työkappaleessa täytyy olla määritettynä reunoja (kappaleen tai railon), johon haun voi suorittaa. Kuvassa 12 on mallikuva railonhausta pienahitsausta varten. (O'Shea 2009)

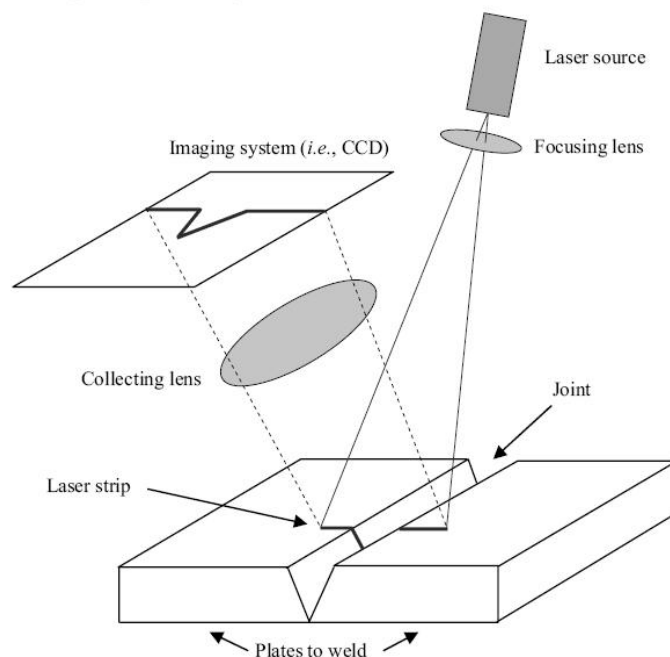


Kuva 12. Railonhaku, jossa käytetään lisäainelankaa sensorina. (Lipnevich 2008)

Optiset railonseurantamenetelmät jakautuvat lasersäteen pyyhkäisyyn perustuvan strukturoidun valon ja sulan tarkkailuun perustuviin menetelmiin. Kuvaa ohjelmallisesti analysoimalla voidaan tehdä reaaliaikaisesti muutoksia robotin liikeohjelmaan. Lasersäteen pyyhkäisyyn perustuvissa menetelmissä lasersädettä poikkeutetaan polttimen edellä railossa samalla mitaten 3D-CCD kameralla heijastuneen säteen ja lähetyskohdan etäisyyttä kolmiomittausperiaatteella. Jokaisella poikkeutuksella saadaan syvyysprofiili, jossa näkyvät railon geometria ja sijainti. Kuvassa 13 on lasersäteen pyyhkäisyyn perustuvan railonseurantamenetelmän malli. Kuvassa 14 on toinen esimerkki lasersäteestä heijastuneen viivan hyväksikäytöstä railonseurannassa. (Pires et al. 2006. s.110)



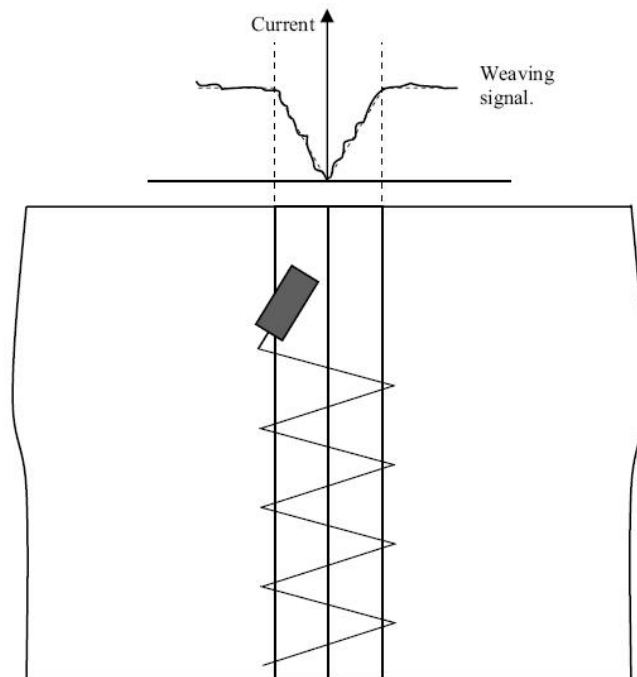
Kuva 13. Lasersäteen pyyhkäisyyn perustuva railonseurantamenetelmä ja kolmiomittausperiaate. (Pires et al. 2006. s.79)



Kuva 14. Lasersäteestä heijastuneen viivan käyttö railonseurannassa. (Pires et al. 2006. s.110)

Toinen railonseurannan menetelmä on valokaaren virran mittaukseen perustuva, yleisimmin käytössä oleva railonseurantamuoto MIG/MAG - hitsauksessa. Kyseiseen railonseurantaan tarvitaan virta-anturointi ja hitsausvirran

vertailusysteemi. Hitsauspoltinta vaaputetaan railossa, jolloin virta muuttuu kuvan 15 mukaisesti. Hitsauspolttimen rataa päivitetään reaaliaikaisesti linjalle, jossa vaaputuksen ääripäiden virran erotus on nolla. (Pires et al. 2006. s. 109)



Kuva 15. Valokaaren läpi tapahtuva railon seuranta poltinta vaaputtamalla ja virtaa mittaamalla. (Pires et al. 2006. s. 109)

4 TUOTANTOTALOUDELLISET SEIKAT

Tässä kappaleessa esitetään lyhyesti työtä koskevia tuotantotaloudellisia seikkoja. Niitä ovat läpimenoaika ja hitsaustuotannon kustannusvaikutukset.

4.1 Läpimenoaika

Läpimenoaika muodostuu kokonaisajasta, jonka toimintaketju vaatii. Läpimenoajalla käsitetään aikaa, joka menee tuotteen valmistamisen aloittamisesta sen valmistumiseen. Läpimenoaikaan kuuluu monia eri vaiheita eli se ei muodostu pelkästään valmistavasta työstä, vaan siihen kuuluu asetus aika, työvaihe aika, odotusaika ja kuljetusaika. Lyhyillä läpimenoajoilla on monia positiivisia vaikutuksia yrityksen toimintaan ja kilpailukykyyn. Toiminnan

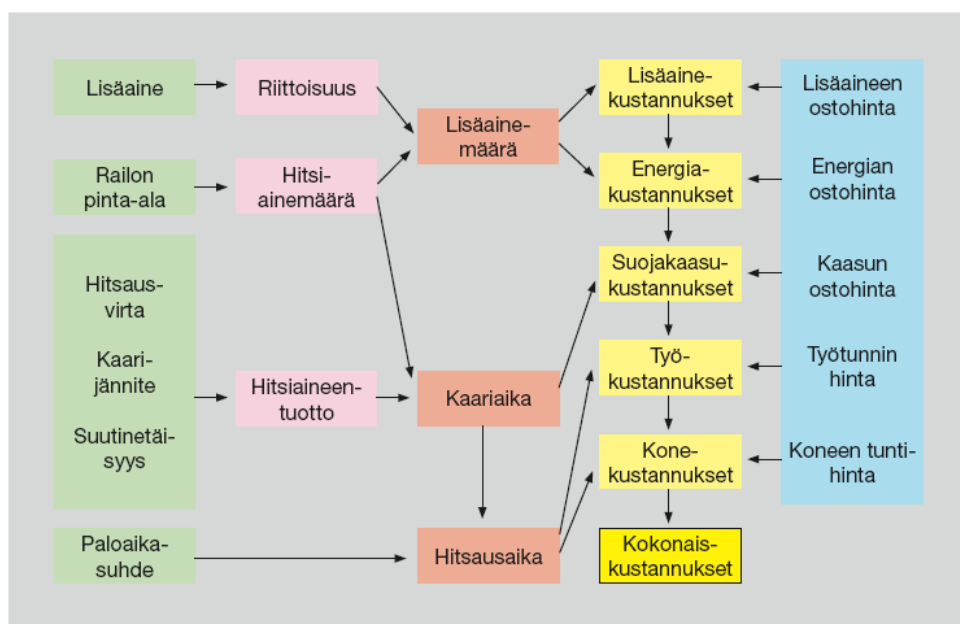
aikajänteiden lyhentäminen on yksi keskeisimmistä tuotannon kehittämisen tavoitteista. (Haverila et al. 2005. s. 401)

4.2 Kustannusvaikutukset

Hitsauskustannuksia seuraamalla voidaan tarjota ja myydä hitsattuja tuotteita kannattavasti, vertailla eri vaihtoehtoisia valmistusmenetelmiä keskenään, tarkastella eri suunnitteluvaihtoehtojen vaikutuksia valmistuskustannuksiin, vertailla eri hitsausmenetelmiä keskenään sekä voidaan selvittää tuotteen kustannusrakenne ja löytää kokonaisuuden kannalta oleelliset kustannukset. Hitsauskustannukset muodostuvat seuraavista tekijöistä (Lukkari. 2006. s. 8):

- Työkustannukset: hitsaajat
- Ainekustannukset: lisäaineet, suojakaasut ja hitsausjauheet
- Konekustannukset: hitsauskoneet ja niiden kunnossapito
- Energiakustannukset: Hitsauskoneen kuluttama sähköenergia

Lisäksi robottihitsauksessa tulee ottaa huomioon robottiaseman laitteistojen hankintakustannukset, kunnossapitokustannukset sekä robottiaseman energiakustannukset. Kuvassa 16 on esitetty hitsauskustannusten muodostuminen.



Kuva 16. Hitsauskustannusten muodostuminen. (Lukkari. 2006. s. 9)

Hitsauskustannuksiin ei yleensä oteta mukaan hitsaustyön tekemiseen liittyviä muita materiaaleja ja työvaiheita kuten raaka-aineita, levyjen leikkausta ja paloittelua, railojen tekemistä, mahdollista esikuumentusta ja jälkilämpökäsittelyä, tarkastuksia, korjauksia ja erilaisia muita jälkitöitä. Ne tulevat mukaan valmiin tuotteen kokonaiskustannuksiin. Käsinhitsaus on työvaltainen hitsausmenetelmä, jolloin siinä palkkakustannukset kattavat suuren osan kokonaiskustannuksista. (Lukkari. 2006. s. 8)

Seuraavassa esitetään laskentakaavoja kustannusten laskemiseksi (Lukkari. 2006. s. 8):

$$\text{Työkustannukset [€/m]} \quad K_T = \frac{M}{T} \cdot \frac{1}{e} \cdot H_T, \quad (1)$$

jossa M = hitsiainemäärä [kg/m], T = hitsiaineentuotto [kg/h], e = paloaikasuhte, H_T = työtunnin hinta [€/h]

$$\text{Hitsauslisäainekustannukset [€/m]} \quad K_L = M \cdot \frac{H_L}{N}, \quad (2)$$

jossa M = hitsiainemäärä [kg/m], H_L = lisäaineen ostohinta [€/kg], N = hyötyluku / riittoisuus

$$\text{Suojakaasukustannukset [€/m]} \quad K_S = \frac{M}{T} \cdot V \cdot H_S \cdot 0,12, \quad (3)$$

jossa M = hitsiainemäärä [kg/m], T = hitsiaineentuotto [kg/h], V = kaasun virtaus [l/min], H_S = suojakaasun ostohinta [€/m³]

$$\text{Energiakustannukset [€/m]} \quad K_E = M \cdot E \cdot H_E, \quad (4)$$

jossa M = hitsiainemäärä [kg/m], E = energian kulutus [kWh/kg], H_E = energian hinta [€/kg]

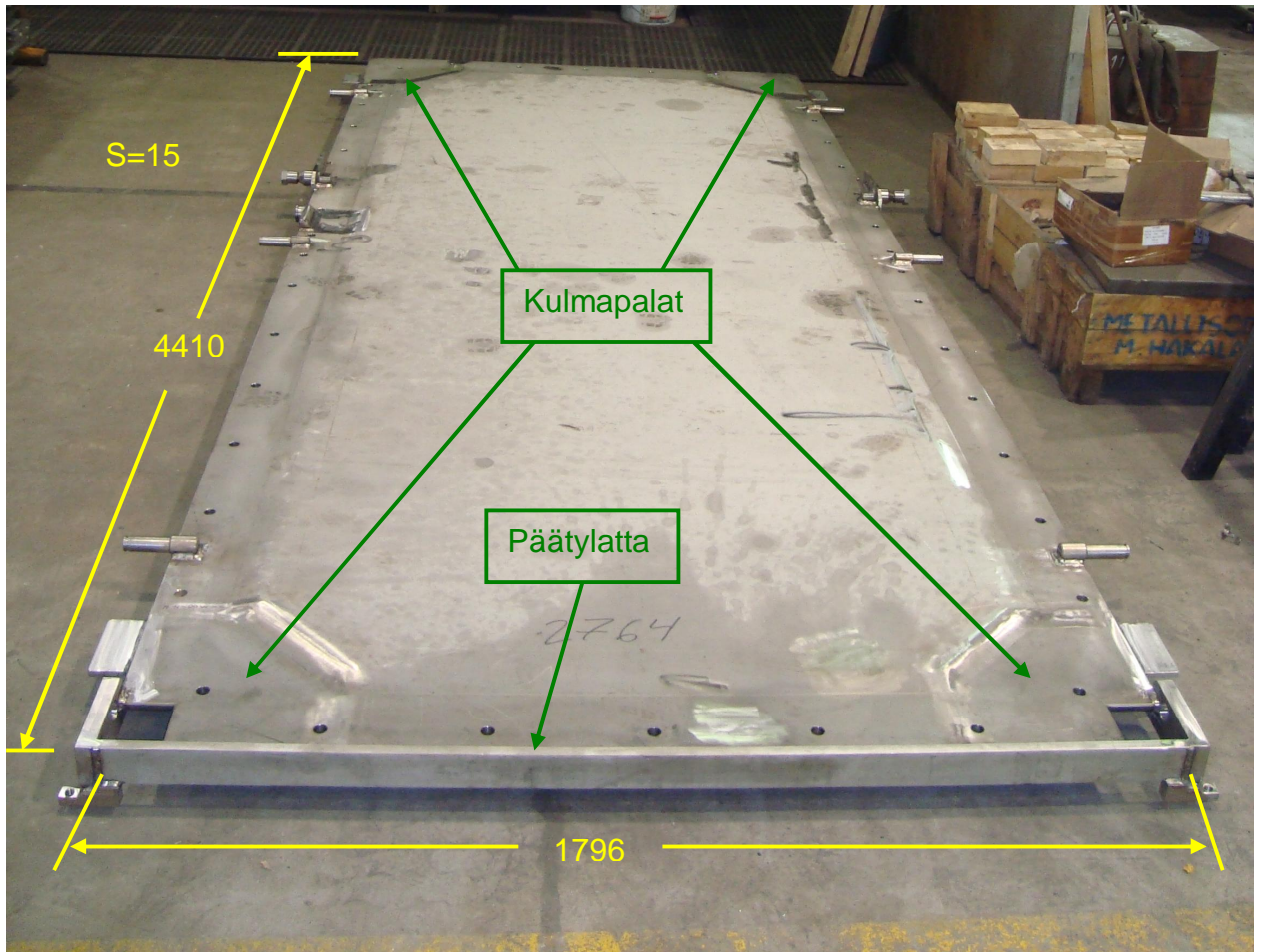
5 CASE: 6 M² SUODINLEVYN KULMAPALOJEN HITSAUSKIINNITTIMEN SUUNNITTELU

Tehtävänä tässä työssä on kehittää malli hitsauskiinnittimestä 6 m² suodinlevyjen kulmapalojen ja päätylatan hitsaamiseen hitsausrobotilla. Suunnittelutyö tehdään suurilta osin mallintamalla suodinlevyn ja kulmapalojen ympärille kiinnitinmalli, jota testataan simuloimalla hitsausaseman 3D-mallissa IGRIP – ohjelmistolla (Delfoi Oy).

5.1 Hitsattava tuote

Hitsattava tuote on teollisuussuodattimeen tuleva suodinlevy, joka toimii painekammiona. Suodinlevyn mitat ovat 4390 x 1796 x 15 mm ilman päätylattaa. Päätylatan kanssa mitat ovat 4410 x 1796 x 15 mm. Mittoja on havainnollistettu kuvassa 17. Suodinlevy painaa 975 kg. Suodinlevy tulee yritykseen alihankkijalta. Alihankkija muovaa kanttaamalla suodinlevyyn kuppimaisen muodon. Suodinlevyaihiosta puuttuvat kulmat, koska muuten sen muovaaminen kanttaamalla ei ole mahdollista. Siksi siihen liitetään jälkikäteen kulmapalat, jotka tulevat yritykseen alihankkijalta. Kulmapalojen lisäksi levyyn hitsataan kiinni päätylatta, yhteitä, ohjaintappeja, korvakkeita ja kannatintappeja. Päätylatta hitsataan tällä hetkellä eri työvaiheessa kuin kulmapalat suodinlevyyn. Suodinlevyjä tehdään vuodessa noin 800 kappaletta.

Hitsattavan tuotteen materiaaleina on useita korroosiota kestäviä eri vaihtoehtoja, kuten 304L, 316L, 2205 (EN 1.4462), SAF 2507 (EN 1.4410). Yleisimpänä käytetään 304L:ää ja 316L:ää. Kulmapaloissa hitsirailot ovat muodoltaan K-railoja. Päädyn latta hitsataan pienahitsinä. Hitsausprosessina on MIG/MAG -hitsaus joko umpilangalla tai täytelangalla. Kuvassa 17 on valmiiksi hitsattu ja hiottu suodinlevy odottamassa kuumilla oikaisua ja peittausta.



Kuva 17. Kuumilla oikaisua ja peittausta odottava valmiiksi hitsattu suodinlevy. Levyn päämitat ja edellä mainitut osat on osoitettu kuvassa.

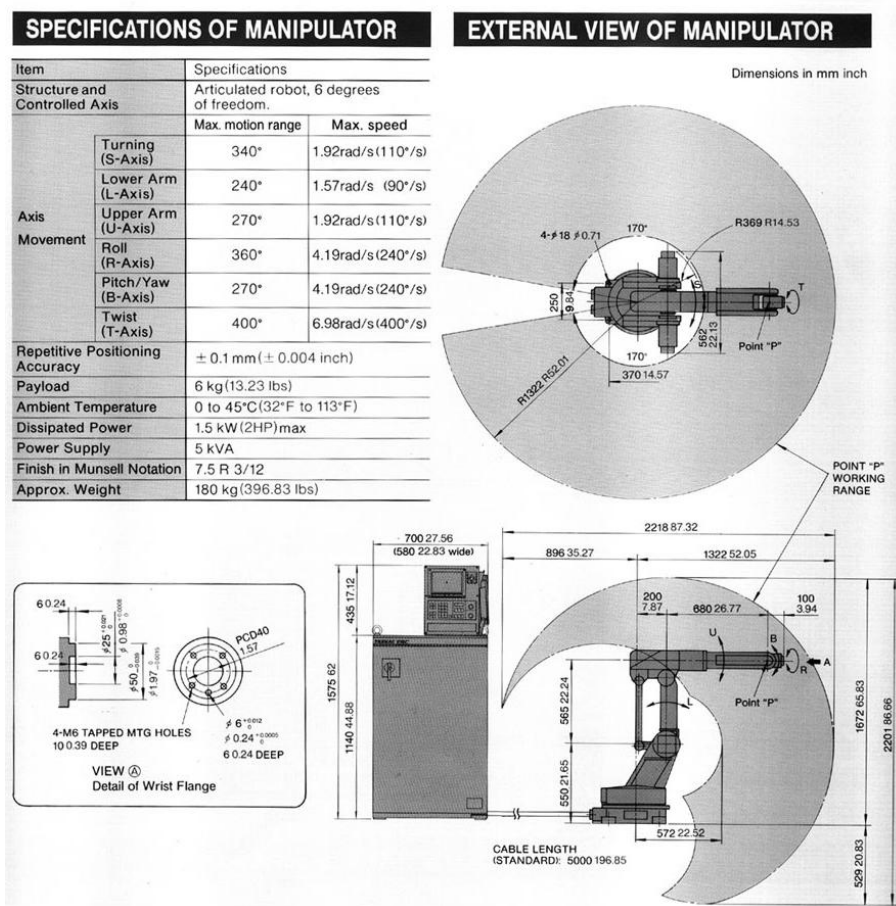
5.2 Hitsauskiinnittimen suunnittelun lähtökohdat

Hitsauskiinnittintä suunnitellaan Larox:lla tehdyn kokeilun perusteella. Larox:lla on kokemusta puusta tehdyn suodinlevyn ja kiinnittimen kokoluokkaisen kehän sijoittamista kappaleenkäsittelijään ja se on todettu mahtuneen siihen. Tavoitteena on saada hitsaus suoritettua hitsausaseman ”pienellä puolella”, jossa on pyörityspöytä ja vastapöytäpylkkä. Kappaleenkäsittelijän tekniset tiedot on käsitelty kappaleessa 5.2.1. Hitsauskiinnittimen mitoituksessa on otettava huomioon, että se mahtuu hyvin kappaleenkäsittelijään sekä robotti ulottuu hitsaamaan vaadittavat hitsit. Kiinnittimen on tarkoitus toimia suuntaa antavana mallina varsinaisesta kiinnittimestä, joten tässä työssä ei käsitellä vaadittavia

lujuuslaskelmia ja tarkkoja mittapiirustuksia. Hitsauskiinnittimen kiinnitinratkaisuksi rajattiin tähän työhön manuaalitoiminen mekaaninen kiinnittäminen.

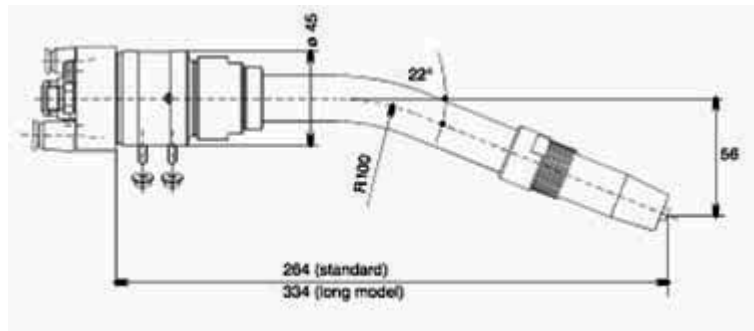
5.2.1 Robottihitsauslaitteisto Larox:lla

Larox:n hitsausrobottiasema koostuu kahdesta Motoman:n K6SB –robotista ERC-ohjauksella. Robotit kuuluvat Motoman Gantry TSG-15-XYZ –portaalijärjestelmään (kuva 20). Hitsausrobotin ominaisuuksia on esitetty kuvassa 18.



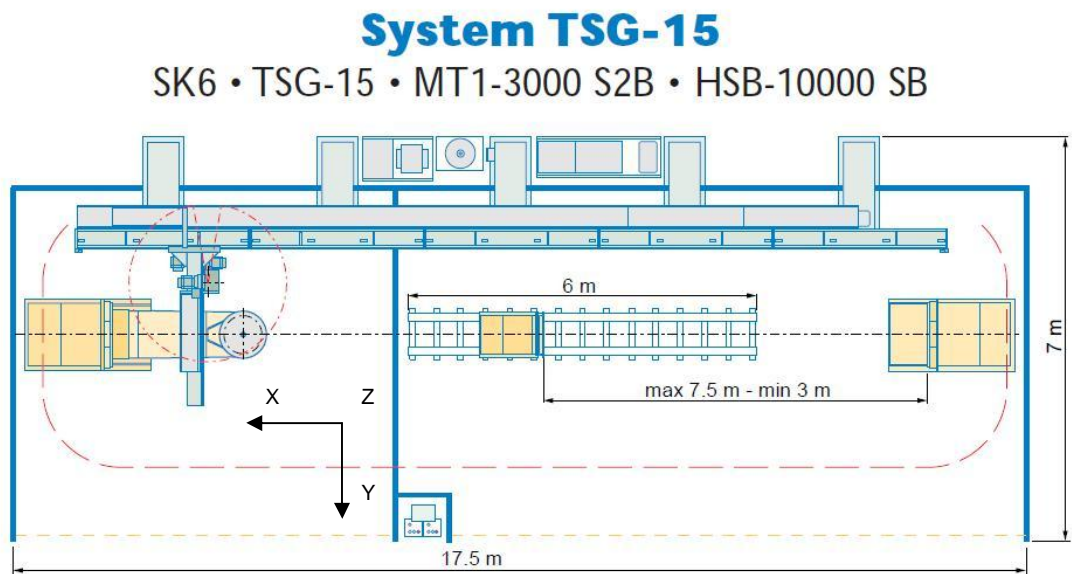
Kuva 18. Motoman K6SB –robotin tekniset tiedot ja työalueen profiili (New Age Robotics 2006)

Hitsauspolttimena järjestelmässä toimii Motoman CWK-400 vesijäähdytteinen MIG/MAG – polttin. Polttimen ulkomitat on esitetty kuvassa 19. Kyseessä on polttimen lyhyt malli. Polttimen vartta on taivutettu 22°. Robotti on varustettu vaihdettavilla hitsauspolttimilla. Vaihtopolttimet ovat telineessä robotin jalustan lähellä. (Rautio 2009)



Kuva 19. Motoman CWK-400 –MIG/MAG –hitsauspoltin (Teknodrom 2004).

Robotissa on käytössä kuusi sisäistä akselia ja lisäksi robotin ohjaimella ohjataan viittä ulkoista akselia. Ulkoiset akselit ovat lineaariliikkeet x, y ja z maailmankoordinaatistossa ja kaksi pyörityspöydän akselia. Portaalin lineaariratojen liikealueet eri suunnissa ovat $x=13900$ mm, $y = 1800$ mm ja $z = 1200$ mm. Kuvassa 20 on robottiasema kaaviokuvana ylhäältä päin. Erona kyseiseen kuvaan on Larox:lla käytössä oleva toinen robotti samassa portaalissa. (Rautio 2009)



Kuva 20. Motoman Gantry System TSG-15 kaaviokuva päältä (Motoman 1998). Kuvaan on myös merkitty aseman koordinaatisto, jossa z -suunta on katsojaan päin.

Kuvassa 21 on esitetty Gantry System TSG – mallisarjan portaalien toistotarkkuus, servomootoreiden tehot, lineaariakseleiden liikenopeudet ja liikepituudet, jotka riippuvat mallista (X-akseli) (Motoman 1998). Larox:lla on käytössä Motoman Gantry TSG-15-XYZ –portaalijärjestelmä.

Technical Specification		TSG-3...24
Number of servopowered axes		3
Positioning system		Integrated robot axes
Repetitive Accuracy		± 0.5 mm
AC Servomotors Yaskawa		3 x 1.3 kW
Travel	X-axis	1900 - 22900 mm*
Speed	X-axis	0-28.8 m/min
Travel	Y-axis	1800 mm
Speed	Y-axis	0-28.8 m/min
Travel	Z-axis	1200 mm
Speed	Z-axis	0-10 m/min

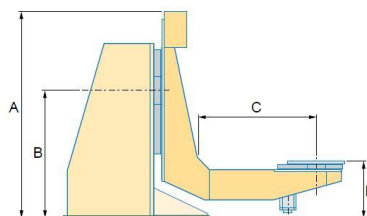
Travel X-axis

TSG-03	1900 mm	TSG-15	13900 mm
TSG-06	4900 mm	TSG-18	16900 mm
TSG-09	7900 mm	TSG-21	19900 mm
TSG-12	10900 mm	TSG-24	22900 mm

Kuva 21. Motoman Gantry System - portaalin teknisiä tietoja. (Motoman 1998)

Kappaleenkäsittelylaitteisto, jota aiotaan käyttää suodinlevyn hitsaukseen, koostuu 2-akselisesta pyörityspöydästä ja grillityyppistä kiinnitystä varten käytettävästä vapaasti pyörivästä, aksiaalisesti uivasta, vastapöytäparin pylkästä. Kappaleenkäsittelijä on malliltaan Motoman MT1-3000 ja sen kantavuus on 3000 kg. Edellä mainitun pyörityspöydän mittoja on esitetty kuvassa 22. (Rautio 2009)

MT1-1500/3000/5000 S2B



	MT1-1500 S2B	MT1-3000 S2B	MT1-5000 S2B
A (mm)	2100	3120	2905
B (mm)	1200	1830	1830
C (mm)	1100	1800	1300
D (mm)	550	786	950

Kuva 22. Motoman MT1 – sarjan pyörityspöydän mittoja. (Motoman 1998)

Kappaleet kuljetetaan hitsauspaikalle pukkien varassa trukilla. Hitsauspaikan yhteydessä on kantavuudeltaan 1600 kg:n nosturi, jota voidaan käyttää kappaleiden siirtämiseksi pyörityspöydälle ja hitsauskiinnittimeen. Lisäksi käytettävissä on kantavuudeltaan 12,5 - 20 tn:n hallinostureita. (Rautio 2009)

5.2.2 Hitsauskiinnittimen vaatimukset

Robotin on pystyttävä hitsaamaan levyn molemmilta puolilta jalkoasennossa tai alapiena-asennossa. Levy on asetettava portaalin pitkän akselin suuntaisesti pyörityspöytään. Tavoitteena on toteuttaa kiinnittimen kiinnitys pyörityspöytään yhdellä kiinnityspisteellä. Jos yhdellä kiinnityspisteellä kiinnittäminen pyörityspöytään ei ole mahdollista, on käytettävä apuna vapaan pään tukea, jolloin kiinnityksestä tulee grilli – tyyppinen. Hitsauskiinnittimessä pyritään hitsaamaan kulmapalojen lisäksi päätylatta.

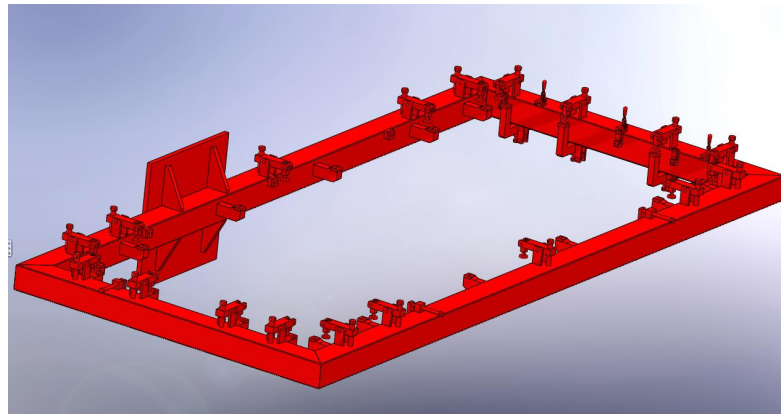
Tarkoituksena on suorittaa kulmapalojen hitsaus käyttäen hyväksi hitsausrobotin railonseurantaa. Railot joudutaan hakemaan joka kerta uudestaan kappaleen valmistustoleransseista johtuen. Lisäksi hitsausrillon sijainti saattaa hieman vaihdella, joten joudutaan käyttämään myös hitsauksen aikaista railon seurantaa ja suorittamaan railon suunnanmuutospisteissä välipistehaku. Larox:n hitsausrobotti käyttää hyväkseen hitsauslangalla tapahtuvaa korkeajännitehakua ja railonseuranta hitsauksen aikana tapahtuu valokaaren läpi tapahtuvalla virran seurannalla.

5.3 Kiinnitinratkaisuvaihtoehdot

Ratkaisuvaihtoehdoiksi saatiin 3 eri versiota kiinnittimen kiinnittämisestä kappaleenkäsittelylaitteistoon. Muilta osin kiinnitinratkaisu on samanlainen jokaisessa eri vaihtoehdossa.

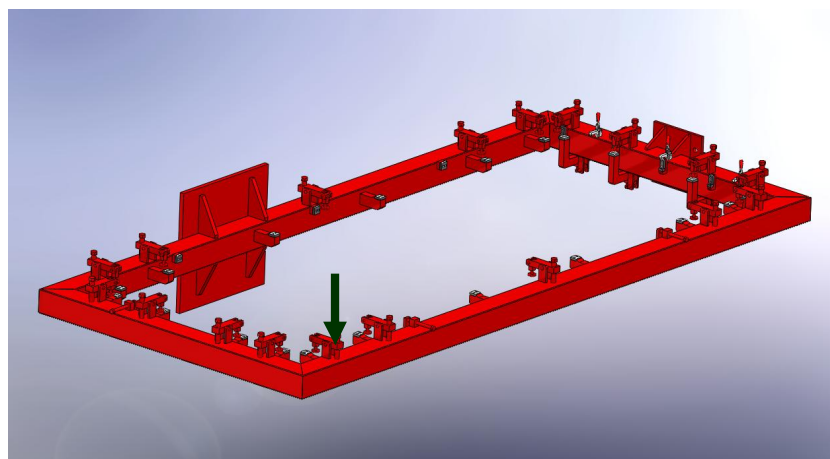
Ensimmäisessä vaihtoehdossa kiinnitys tapahtuisi ainoastaan pyörityspöytään. Ensimmäinen ratkaisu on jäykkyydeltään riittämätön kiinnittimen ja suodinlevyn

koosta ja yhteispainosta johtuen. Kuvassa 22 on esitetty ensimmäinen kiinnitinvaihtoehto.



Kuva 22. Kiinnitinvaihtoehto 1 pyörityspöytään tulevalla kiinnityksellä.

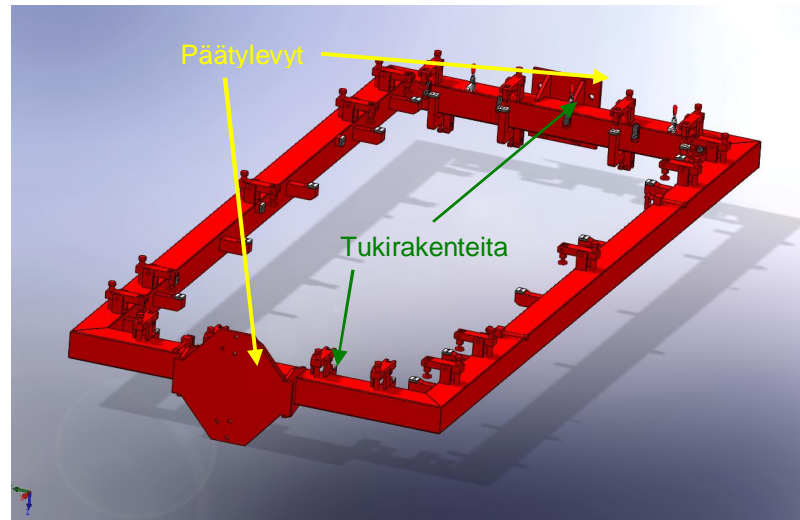
Vaihtoehto 2:ssa kiinnitys tapahtuisi pyörityspöytään ja vastapylkkään. Kiinnityksen luonteesta johtuen hitsauskiinnittimen pyörityspöydän puoleisen päädyn kulma, joka on vastapuolella kiinnitykseen nähden, on riittämättömästi tuettu ja se pääsee joustamaan aiheuttaen ongelmia hitsaukseen. Kuvassa 23 on toinen kiinnitinvaihtoehto, sekä siinä on nuolella osoitettu joustava kulma.



Kuva 23. Kiinnitinvaihtoehto 2, jossa on nuolella osoitettu joustavinta kulmaa.

Kolmannessa vaihtoehdossa hitsauskiinnitin kiinnitetään kappaleenkäsittelijään grillityyppisesti molemmista päistään. Kolmas kiinnitystyyppi on kaikista vaihtoehdoista vakain ja tukevin vaihtoehto. Kuvassa 24 on kolmas kiinnitinvaihtoehto, joka valittiin parhaaksi. Valinnan perusteena on tukevin

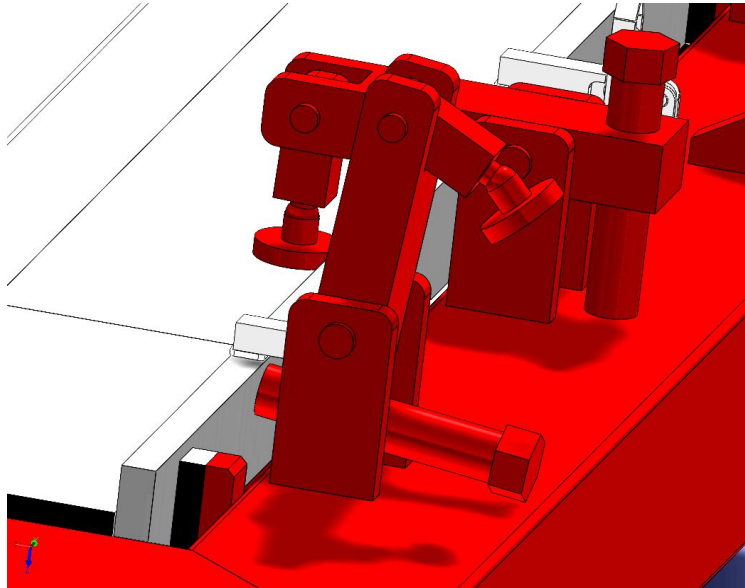
rakenne. Jokaisessa vaihtoehdossa pyörityspöytään liitetty Larox:n muille tuotteille käyttämä pöytälevy joudutaan irrottamaan, jotta hitsauskiinnitin mahtuu paikalleen.



Kuva 24. Kiinnitinvaihtoehto 3, jossa kiinnitys tapahtuu grillityyppisesti molemmista päistä. Kuvassa on osoitettu myös päätylevyt ja tukirakenteita.

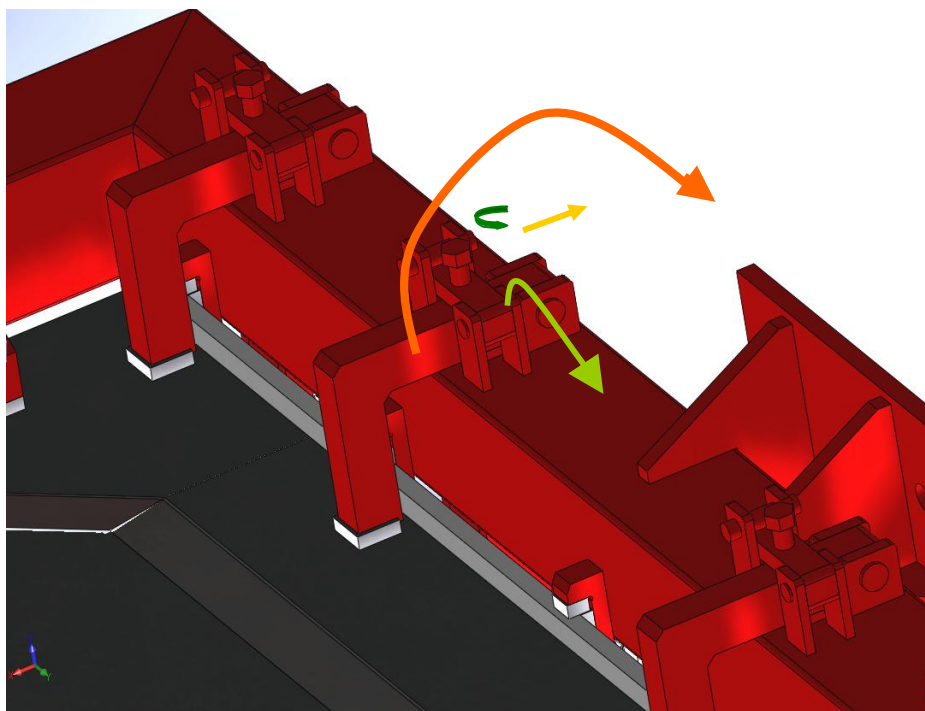
Kaikissa tapauksissa hitsauskiinnittimen runkomateriaalina on riittävän lujuuden takaamiseksi S355 rakenneteräs ja kyseessä on mitoiltaan 160 x 160 x 8 mm neliöputki. Kiinnittimen päätyjen kiinnityslevyt ovat paksuudeltaan 20 mm ja niiden tukirakenteet 15 mm. Kuvassa 24 on osoitettu päätylevyt ja tukirakenteita. Kaikissa levyyn koskettavissa pinnoissa, joita ovat paininpinnat ja vastinpinnat, käytetään lujaa ja kovaa martensiittistä ruostumatonta terästä rautakontaminaation estämiseksi. Maadoitusvirran johtaminen tapahtuu alavasteiden kautta.

Puristimet on ajateltu kiristettäviksi paineilmatoimisella vääntimellä, jolloin pitkienkin pulttien kiristäminen tai löysääminen käy nopeasti. Keinuvan rakenteen ansiosta puristimet saa käännettyä täysin auki, kun pultti on ruuvattu auki. Tällöin puristimet eivät ole suodinlevyn siirron tiellä. Levyn kiilaamiseen vasteitaan vasten käytetään myös ruuvitoimisia puristimia. Ruuvitoimisten puristimien huonona puolena on kierteen vaurioituminen hitsausroiskeista, joten ne täytyy suojata niiltä. Kuvassa 25 on esitetty sivuun käännetty puristin.



Kuva 25. Sivuuun käännetty puristin.

Latan puoleisen päädyn alavasteet on tehty sivuuun käännettäviksi, jotta latan hitsaaminen onnistuu molemmilta puolilta. Vasteet käännetään sivuuun, kun kulmapalat on ensin hitsattu. Kuvassa 26 on esitetty alavasteiden sivuuun kääntäminen löysämällä ensin kiristyspulttia (vihreä nuoli) ja ottamalla keltaisen nuolen osoittama tappi pois, jonka jälkeen voidaan kääntää sivuuun ensin kiristysmekanismi (vaalean vihreä nuoli) ja sitten itse alavaste (oranssi nuoli).

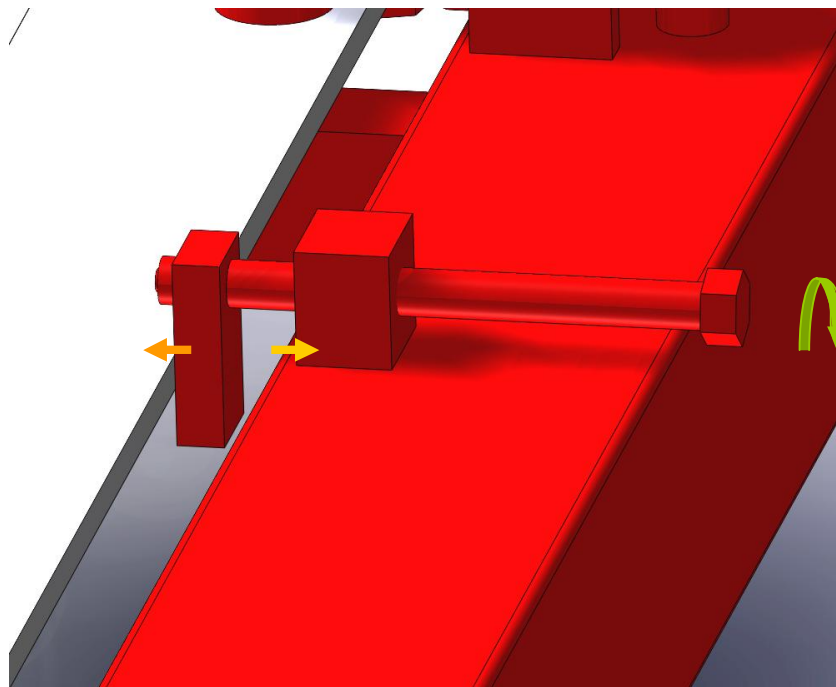


Kuva 26. Alavasteen kääntö päätylatan hitsauksen tieltä.

Kiinnittimestä löytyy työn liitteenä 3D –kuva (Liite I) ja mittapiirustukset (Liitteet II, III ja IV), jotka toimivat suuntaa antavana informaationa varsinaisen kiinnittimen tekoa varten. Mittoja voi käyttää sellaisenaan kiinnittimen valmistamiseen, mutta niitä tulee tarkastella varsinaisen kiinnittimen teon yhteydessä vielä tarkemmin esimerkiksi ainevahvuuksien osalta. Kiinnitin painaa noin 860 kg, joten sen ja levyn yhteispaino pysyy hyvin kappaleenkäsittelijän kapasiteetin rajoissa.

5.4 Hitsattavan tuotteen asento ja kiinnitys

Suodinlevy lasketaan kiinnittimeen hallinosturilla kammion kohouma ylöspäin. Levyn pinta on samalla tasolla kiinnittimen runkopalkin ylälaidan kanssa. Ennen suodinlevyn paikoittamista asetetaan pätylatta omalle kiinnityspaikalleen sille tarkoitetuilla kiinnittimillä. Sen jälkeen suodinlevy paikoitetaan kiinnittimen sivuvasteisiin kiilaajien avulla. Kiilaajat jätetään paikoilleen ja sitten kiristetään puristimien leuat paineilmatoimisella pultinvääntimellä tiukalle. Näin levy tuetaan aktiivisella paikoituksella kolmea eri vastetta vasten (latan pääty, sivu ja pohja). Kuvassa 27 on suodinlevyn kiilaamiseen käytetty rakenne.



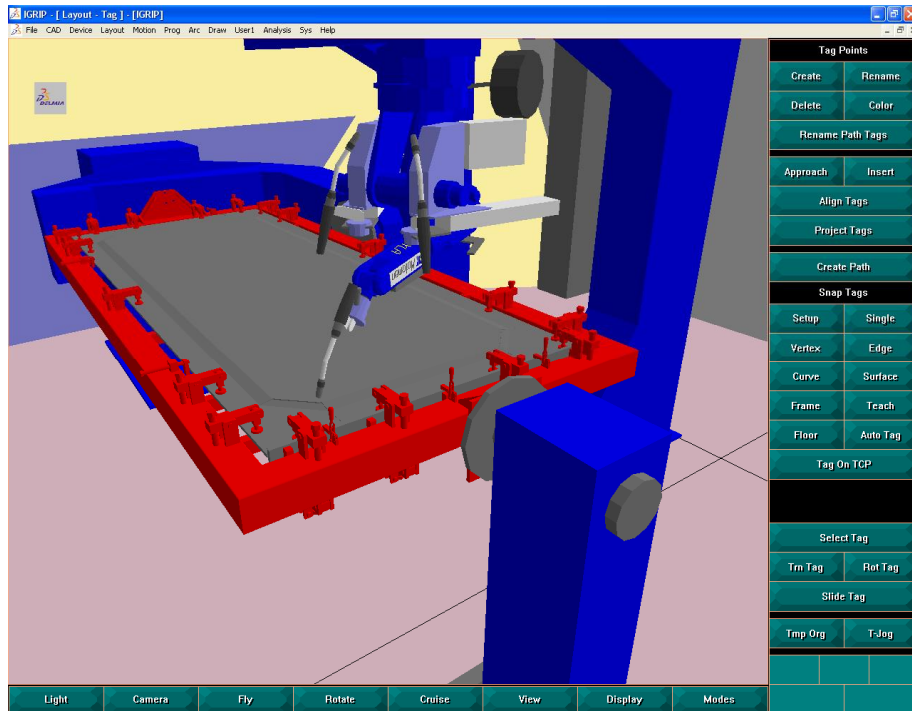
Kuva 27. Suodinlevyn kiilaaminen paikoilleen käyttämällä ruuvilla toimivaa kiilainta.

Kun suodinlevy on asetettu paikoilleen, asetetaan kulmapalat paikoilleen. Ne kiinnitetään asemaansa kiinnittimen puristimilla. Kulmapalat tulevat ainoastaan pohjan vasteita vasten, mutta sivut tarkastetaan yhdensuuntaisiksi suodinlevyn sivujen kanssa. Kulmapalat hitsataan puoli kerrallaan eli ensin kaikki railot täytetään suodinlevyn yhdeltä puolelta ja sen jälkeen ne täytetään toiselta puolelta. Kulmapalojen hitsauksen jälkeen vapautetaan päätylatan puoleisen päädyn suodinlevyn puristinkiinnittimet ja käännetään ne sivuun työalueelta (pystyyn). Samalla käännetään myös päädyn suodinlevyn vastimet sivuun työalueelta, jotta robotti pystyy hitsaamaan päätylatan hitsit molemmilta puolilta. Kulmapalat ja päätylatta hitsataan yhdellä palolla puoleltansa.

Suodinlevyn nostaminen paikalleen ja pois tapahtuu nostoapuvälineillä. Nostoihin käytetään levyn nostamiseen tarkoitettuja nostotarraimia. Vaakanostossa tarvitaan vähintään 2 tarrainta. Nostotarraimen tulee mahtua levyyn kiinni sivusta päin. Tarrainta varten kiinnittimeen tulee tehdä syvennykset, joista tarraimen mahtuu asettamaan levyyn. Kiinnittimeen ei mallinnettu tässä työssä nostoapuvälineille tarvittavia kohtia.

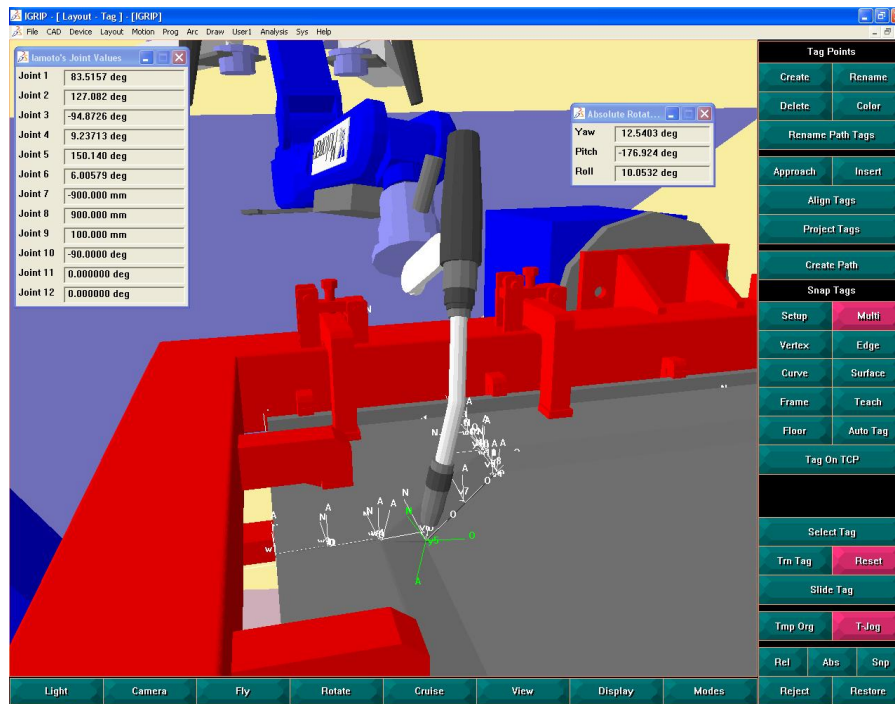
5.5 Hitsauksen simulointi

Hitsauksen simulointi on toteutettu IGRIP – ohjelmalla (Delfoi Oy) ja sillä varmennettiin kiinnittimen sopivuus robottiasemaan. Kiinnitinmalli tuotiin robottiasemaan ja siinä olevaan suodinlevyyn luotiin robotin työkalupisteen liikeradan pisteet, jotta pystyttiin selvittämään robottihitsauksessa kuluva likimääräinen aika. Lisäksi simuloinnissa selvitettiin aiheutuiko kiinnittimestä esteitä hitsaukselle. Kuvassa 28 on Larox:n hitsausaseman virtuaalimalli, johon on sijoitettu hitsauskiinnitin ja suodinlevy paikalleen.



Kuva 28. Hitsauskiinnitin ja suodinlevy tuotuna Larox:n robottihitsausaseman virtuaalimalliin.

Hitsaussimulaatiossa hitsauskiinnitin sopii kappaleenkäsittelijään ja robotti pystyy toimimaan levyn yläpuolella, vaikkakin tila vaikutti ennakolta hyvin ahtaalta. Kiinnittimen malli osoittautui simuloinnissa toimivaksi ja se ei aiheuta esteitä robotilla tapahtuvalle hitsaukselle. Robotille luotiin IGRIP:llä liikerata. Tässä tapauksessa se ei suoraan olisi soveltunut etäohjelmoinniksi robotille, koska siinä ei luotu hitsaukseen liittyviä toimintoja, vaan ainoastaan liikeradat ja nopeudet, jotka olisivat todenmukaisia oikeassa hitsauksessa. Liikeradan simuloinnista saatiin kokonaisaika, joka kuluu kulmapalojen ja päätylatan hitsaamiseen. Aikaa käytetään yhtenä laskelmien perustana nykytilanteen ja uuden tilanteen vertailussa. Kuvassa 29 luodaan liikeradan pisteitä simulointia varten.



Kuva 29. Liikeradan pisteiden luonti robotille. Kuvasta näkee, miten hitsausrata suhteutuu kiinnittimeen ja miten hitsauspoltin mahtuu kulkemaan sitä pitkin.

5.6 Valitun kiinnitinratkaisun jatkokehittely

Tuotantomäärien kasvaessa kiinnittimen puristimet voidaan korvata hydraulisilla puristimilla. Hydrauliset puristimet ovat voimakkaita kokoonsa nähden, mutta niiden kanssa saattaa syntyä vuoto-ongelmia ja äkillinen paineen lasku hydraulijärjestelmässä saattaa aiheuttaa vaaratilanteen puristimien hellittäessä otteensa. Siksi hydrauliseen puristamiseen tarvitsisi tehdä itselukittuva puristussysteemi.

Suodinlevyn keskittäminen kiinnittimeen on mahdollista toteuttaa eri tavalla, jolloin se keskitetään suodinlevyn omilla ohjaintapeilla. Ohjaintappien käyttö edellyttää, että suodinlevyyn tehdään reiät jo alihankkijalla kanttaamisen jälkeen, jolloin ne porataan esimerkiksi laserilla vaadittavan tarkkuuden saavuttamiseksi. Ohjaintapit asennetaan levyyn ennen kulmapalojen hitsausta. Ohjaintapit (2 kpl) sijaitsevat kumpikin levyn päissä.

Hitsaus suoritetaan tällä hetkellä K-railoon, jolloin robottihitsauksessa syntyy hyvin todennäköisesti ongelmia. Robottihitsaukselle paremmin sopiva railomuoto olisi X-railo, jolloin hitsausprosessin hallinta helpottuisi. Ylipäätensä päittäishitsit ovat haasteellisia robottihitsaukselle. X-railon käyttö edellyttäisi railon koneistamista myös suodinlevyyn, kun tällä hetkellä koneistus tehdään ainoastaan kulmapaloihin. Suodinlevyyn tapahtuvaa railonvalmistusta varten tarvitsisi hankkia esimerkiksi nakerruskone, jolla se saadaan koneistettua hyvin.

Kulmapalojen ja päätylatan hitsausvaiheeseen voisi myös liittää mahdollisesti levyyn tulevien kannatintappien hitsaus samalla kiinnittimellä. Tämä tarkoittaisi, että hitsausmuodonmuutokset tulisi hallita erittäin hyvin, koska kannatintappien toleranssivaatimukset ovat tarkat hitsaukselle (kohtisuoruus- ja samansuuntaisuusheitto saa olla maksimissaan 1 mm).

6 NYKYTILANTEEN JA UUDEN TILANTEEN VERTAILU

Tässä kappaleessa esitellään nykytilanne ja vertaillaan sitä tulevaan tilanteeseen. Lisäksi kappaleessa käsitellään läpimenoaikoja ja kustannuksia lyhyesti.

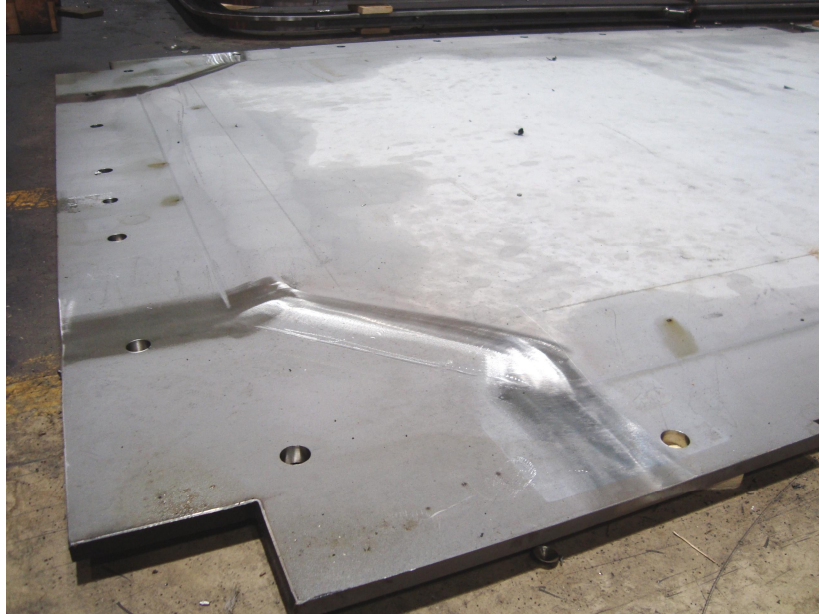
6.1 Tämänhetkinen tuotteen hitsausmenetelmä

Tällä hetkellä tuote hitsataan käsin erilaisissa vaiheissa. Ensin suoritetaan levyn kulmapalojen hitsaus, joka tapahtuu asettamalla levy kammipuoli ylöspäin hitsauspöydälle. Levy ja kulmapalat kiinnitetään pöytään hydraulisilla puristimilla. Kulmapaloihin koneistetaan ennalta railot koneistuskeskuksessa tai poikkeustilanteessa ne tehdään käsin. Kiinnittämisen jälkeen suoritetaan hitsaustyövaihe, jossa yleensä ei tarvita silloitusta tukevasta kiinnittämisestä johtuen. Kuvassa 30 on esitetty kiinnittäminen. (Tikka 2009)



Kuva 30. Käsinsitauksessa käytetty hydraulinen kulmapalan ja suodinlevyn kiinnittäminen. Kuvassa musta viiva kuvaa hitsatun railon sijaintia.

Kun kulmapalat on hitsattu, suoritetaan hitsien hionta. Hionnan jälkeen levy käännetään toisin päin. Käännön jälkeen suoritetaan tarvittaessa kulmapalojen esijännitys riippuen siitä, onko aiemmassa hitsausvaiheessa syntynyt vetelyitä, jotka edellyttävät sitä. Sitten hitsataan toisen puolen hitsit ja suoritetaan mahdollisia oikomistoimenpiteitä tarpeen vaatiessa. Tämän jälkeen hitsit hiotaan sileiksi. Kuvassa 31 on esitetty hiottu suodinlevy reikien poraamisen jälkeen. (Tikka 2009)



Kuva 31. Hitsauksen jälkeen hiottu kulmapalaliitos.

Kulmapalojen hitsauksen jälkeen suodinlevyyn porataan reiät omalla porauskiinnittimellään. Porauksen jälkeen suodinlevyyn hitsataan varusteita kuten ohjaustappeja, yhteitä ja päätylatta. Valmiiksi hitsattu suodinlevy oiotaan muodonmuutoksista kuumilla ja sen jälkeen levy menee peittaukseen. (Tikka 2009)

6.2 Läpimenoaika

Käsinhitsauksessa läpimenoaikaan kuuluu kulmapalojen liittäminen suodinlevyyn ja päätylattan hitsaaminen. Läpimenoaikaan lasketaan myös aika mikä kuluu käsin tapahtuvaan levyn kääntöön ja työkappaleiden siirtoon. Päätylatta hitsataan eri työvaiheessa käsinhitsauksessa.

Käsinhitsauksessa läpimenoaika muodostuu levyn siirtelystä ja asettelusta hitsauspöydälle, kulmapalojen railomuodon parantelusta, levyn ja kulmapalojen kiinnittämisestä, hitsaustyöstä, levyn käännöstä ja lämpöjännityksistä johtuvien muodonmuutosten oikomisesta.

Käsin tapahtuvassa hitsauksessa aikaa edellä mainittuihin työvaiheisiin menee taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Käsin suoritettavan kulmapalojen hitsaustyön kesto. (Tikka 2009)

Työvaihe	Aika [min]	Lisätietoja
Levyn siirto	10	
Railojen teko / parantelu	20	Tarvittaessa
Kiinnitys	10	
Hitsausaika	60	
Levyn kääntö	5	
Oikomistyö	10	Tarvittaessa
Yhteensä: 115		

Päätylatan hitsaamiseen kuluu aikaa taulukon 2 mukaisesti. Päätylatta tehdään muun varusteluhitsauksen yhteydessä, kuten aiemmin on mainittu.

Taulukko 2. Käsin suoritettava päätylatan hitsaaminen. (Tikka 2009)

Työvaihe	Aika [min]	Lisätietoja
Kiinnitys	5	
Hitsausaika	20	
Levyn kääntö	5	
Yhteensä: 30		

Robottihitsauksessa läpimenoaika muodostuu suodinlevyn, kulmapalojen ja päätylatan asettamisesta hitsauskiinnittimeen, mahdollisesta ohjelman tarkistuksesta, railojen hauista, hitsauksesta ja hitsatun tuotteen hitsauskiinnittimestä irrottamisesta. Robottiasemassa tapahtuvan valmistuksen läpimenoaikaa on arvioitu IGRIP –ohjelmalla (Delfoi Oy) saaduista simulointitiedoista sekä oheistoimintaan kuluvista arvioiduista ajoista, kuten siirroista ja kiinnittämisistä. Taulukossa 3 on esitetty robottihitsaukseen kuluva aika.

Taulukko 3. Robottihitsaukseen oheistöineen kuluva aika.

Työvaihe	Aika [min]	Lisätietoja
Kiinnitys	10	Sisältää siirron lastauspaikalta
Hitsaus	17	Kulmapalojen hitsaus
Kiinnittimien avaus	5	Päätylatan hitsausta varten
Hitsaus	8	Päätylatan hitsaus
Irroitus	10	Sisältää siirron lastauspaikalle
	Yhteensä: 50	

6.3 Kustannukset

Korroosionkestävien terästen hitsauksessa lisäaine – ja kaasukustannukset muodostavat merkittävän osan kustannuksista. Käsinhitsauksessa ja robottihitsauksessa kokonaiskustannukset ovat lähes yhtä suuret (käsin 47,25 €/m ja robotilla 44,80 €/m), joten hitsausmenetelmä itsessään ei tuo merkitsevää etua toiseen nähden, kun mitataan kustannuksia hitsimetriä kohden. Tulee kuitenkin huomioida, että robottihitsauksessa hitsaukseen kuluva aika on huomattavasti lyhyempi kuin käsin tapahtuvassa hitsauksessa. Robottihitsauksessa paloaikasuhte muodostuu selkeästi suuremmaksi kuin käsinhitsauksessa. Robottihitsauksessa päästään korkeaan 70 - 90 % paloaikasuhteeseen, kun taas se jää käsin tehdyssä MIG/MAG - hitsauksessa 10 - 30 % luokkaan. Hitsauslisäaineen ja suojakaasun kulutus hitsattua metriä kohden on yhtä suuri kummallakin menetelmällä. Käsinhitsauksessa käytetään kalliimpaa täytelankaa, jolloin hitsauslisäainekustannus on suurempi kuin robottihitsauksen umpilangalla. Suojakaasuna käsinhitsauksessa voidaan rutiilitäytelangan ansiosta käyttää edullista CO₂:a, kun robottihitsauksessa käytetään argonseosteista inerttiä suojakaasua. Robotti kuluttaa enemmän sähköä, mutta kustannuksesta ei kuitenkaan synny merkittävää, koska sähkön hinta on suhteellisen alhainen ja robotti kuluttaa maksimissaan 1 - 2 kWh enemmän kuin hitsauskone. Peukalosääntönä voidaan pitää hitsauskoneen sähkönkulutuksen suuruutena 3 kWh (Lukkari 2006, s.9). Taulukossa 4 on laskelmat kustannuksista kummallakin

menetelmällä. Hintalähteenä on käytetty lisäainetoimittajaa (Esab Oy), suojakaasuntoimittajaa (Aga Oy) sekä hitsausalan julkaisuja (Hitsaustekniikka – lehti).

Taulukko 4. Kustannusten vertailu käsin hitsauksen ja robottihitsauksen välillä. Alemmassa taulukon osassa on kustannusten laskennassa käytetyt muuttujat arvoineen.

Kustannukset:	Käsinhitsaus	Robottihitsaus
(1) Työkustannukset [€/m]	12,27	3,06
(2) Hitsauslisäainekustannukset [€/m]	21,76	15,79
(3) Suojakaasukustannukset [€/m]	13,09	25,71
(4) Energiakustannukset [€/m]	0,12	0,24
Yhteensä [€/m]	47,25	44,80

Muuttujat:	käsin	robotti
Hitsiaineenmäärä M [kg/m]	0,5	0,5
Hitsiaineentuotto T [kg/h] (100% paloaikasuhte)	5,5	7
Paloaikasuhte e	0,2	0,7
Työtunnin hinta Ht [€/h]	27	30
Hyötyluku N	0,85	0,95
Lisäaineen ostohinta HI [€/kg]	37	30
Kaasunvirtaus V [l/min]	18	18
Kaasun ostohinta Hk [€/m ³]	8	20
Energian kulutus E [kWh/kg]	3	6
Energian hinta He [€/kWh]	0,08	0,08

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suodinlevyn kulmapalojen ja päätylatan hitsaus on robotilla 66 % nopeampaa kuin käsinhitsaus. Robottihitsauksessa kulmapalojen ja päätylatan hitsaukseen kuluu aikaa 50 minuuttia yhtä suodinlevyä kohden, kun käsinhitsauksessa aikaa kuluu 2 h 25 min yhtä suodinlevyä kohden. Kustannuksiltaan robottihitsaus on samaa luokkaa käsinhitsauksen kanssa. Säästöä syntyy ennen kaikkea ajassa, joka kuluu kappaleen valmistukseen. Huomioitava on kuitenkin, että hitsattujen kulmapalojen hitsien hionta tehdään edelleen käsin ja se on samalla enemmän aikaa vievä työvaihe kuin kulmapalojen hitsaus (Tikka 2009).

Robottihitsauksessa on kuitenkin paljon muuttujia, jotka aiheuttavat tehokkaaseen valmistukseen epävarmuutta. Näitä ovat railonhaun ja sen seuraamisen onnistuminen, koska työkappaleiden koko vaihtelee toleranssien sisällä. Tällä hetkellä käytössä oleva puoli- K-railo saattaa aiheuttaa ongelmia robottihitsauksessa. Robottihitsauksessa vastaan tulevat ongelmat hidastavat kappaleiden valmistusta, joten ne tulee ennaltaehkäistä mahdollisimman hyvin. Railotyypin muuttaminen suotuisammaksi, kuten X-railoksi mahdollistaa häiriöttömämmän hitsauksen.

Simulaatioiden perusteella kiinnittimen on rakennemalliltaan toimiva. Päätylatan hitsauksen tieltä pois siirrettävien puristimien ja alavasteiden toimintaperiaatetta on vielä kehitettävä, jotta niiden avaaminen ja sulkeminen olisi mahdollisimman nopeaa ja että niistä hitsaustyölle syntyvä haitta olisi mahdollisimman pieni.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä pyrittiin löytämään toimiva ratkaisu teollisuussuodattimen suodinlevyn kulmapalojen ja päätylatan hitsaukseen hitsausrobotilla. Ratkaisun löytämiseen käytettiin apuna teoriaa hitsauskiinnittämisestä robottihitsauksesta, Larox:n kokemuksia ja virtuaalista mallia Larox:n hitsausasemasta, jossa pystyi simuloimaan kulmapalojen ja päätylatan hitsausta. Hitsauskiinnitinmalliksi seuloutui grillityyppinen kiinnitin tukevuutensa vuoksi. Laskelmien perusteella robottihitsaus on 66 % nopeampaa kuin käsinhitsaus. Kustannuksiltaan robottihitsaus on hitsimetriä kohden vastaava kuin käsinhitsaus, mutta säästää syntyy ennen kaikkea valmistusajassa.

Työn tuloksena syntynyt hitsauskiinnitin ei ole lopullinen rakenne kiinnittimelle, vaan tutkielma ja prototyyppi varsinaiselle kiinnittimelle. Varsinaisen kiinnittimen suunnittelussa tulee vielä suorittaa lisäksi lujuuslaskelmia ja tarkentaa vaadittavia ainevahvuuksia. Työ toimii apuna päätöksenteossa varsinaisen hitsauskiinnittimen valmistamiseksi.

LÄHTEET

Ahola, H. 1988. Automatisoidun kaarihitsauksen huomioonottaminen tuotteen suunnittelussa. Tekninen tiedotus 16/88. Helsinki. Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 45 s.

Cary, H. & Helzer S. 2005. Modern Welding Technology. 6th edition. New Jersey. Pearson Education Ltd. 715 s.

Haverila, M. Uusi-Rauva, E. Kouri, I. Miettinen, A. 2005. Teollisuustalous. 5. painos. Tampere. Tammer-Paino Oy. 509 s.

Holamo, O-P. 2002. Robottiaseman etäohjelmointi ja kalibrointi [verkkodokumentti]. Päivitetty 10.4.2002. [viitattu 6.4.2009]. Saatavissa: <http://www2.lut.fi/~hiltunen/virhholamo.pdf>

Jernström, P. 2002. Hitsin laadun reaaliaikainen hallinta automatisoidussa hitsauksessa. Hitsaustekniikka 2/2002. 13–18 s.

Kuivanen, R. (toim.) 1999. Robotiikka. Vantaa. Talentum Oyj / Metallitekniikka. 212 s.

Leino, K. Meuronen, I. 1987. Hitsauskiinnittimen suunnittelu. Tekninen tiedotus 15/87. Helsinki. Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 88 s.

Lipnevicius, G. 2008. Fixturing for Robotic Welding Productivity [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.lincolnelectric.com/knowledge/articles/content/fixturing_robotic_welding_productivity.asp

Lukkari, J. 2006. Hitsausuutiset 1/2006. Helsinki. Esab Oy. 32 s.

Motoman Gantry System -esite. Internetsivut [verkkodokumentti]. Päivitetty 17.11.2007. Viitattu 30.3.2009. Saatavissa: <http://www.profibus.lt/userfiles/file/files/Gantry-5B-02-04-98SEGB.pdf>

Motoman. 2009. Internetsivut [verkkodokumentti]. Päivitetty 06.04.2009. Viitattu 30.04.2009. Saatavissa: <http://www.motoman.com/products/welding/weldopt.php#touchsense>

Neuvonen, S. Korhonen, A. 1999. Kiinnittimien virtuaalisuunnittelu. Hitsaustekniikka 6/1999. 24-27 s.

New Age Robotics [verkkodokumentti]. päivitetty 7.7.2006. viitattu 6.4.2009. Saatavissa: <http://www.robotics.ca/motok6sb.htm>

O'Shea, Erin. 2009. Intelligent Robotic Arc Sensing – A Comparison of Available Technologies [Verkkodokumentti]. Päivitetty 10.3.2009. [viitattu 9.4.2009] Saatavilla: http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Feature-Article/Intelligent-Robotic-Arc-Sensing-%E2%80%93-A-Comparison-of-Available-Technologies/content_id/1345#

Pires, J.N. & Loureiro, A. & Bolmsjö, G. 2006. Welding Robots: Technology, System Issues And Application. Springer. 180 s.

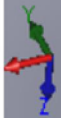
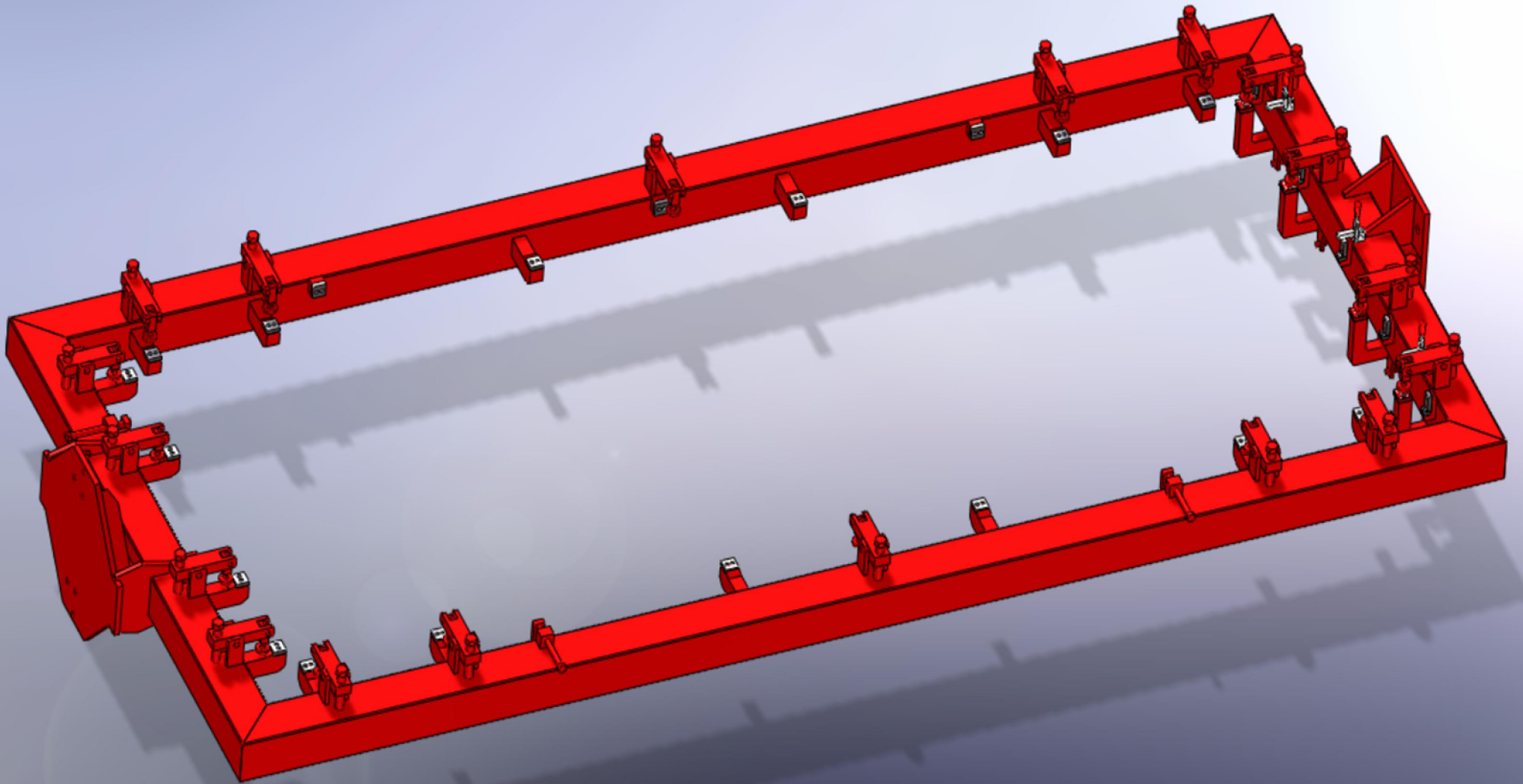
Pirttimäki, Erkki. Johdatus korkeakoulumatematiikkaan [Verkkodokumentti]. Päivitetty 16.5.2000. Viitattu 9.4.2009. Saatavissa: <http://matwww.ee.tut.fi/jkkm/vektorit/vekto05.htm>

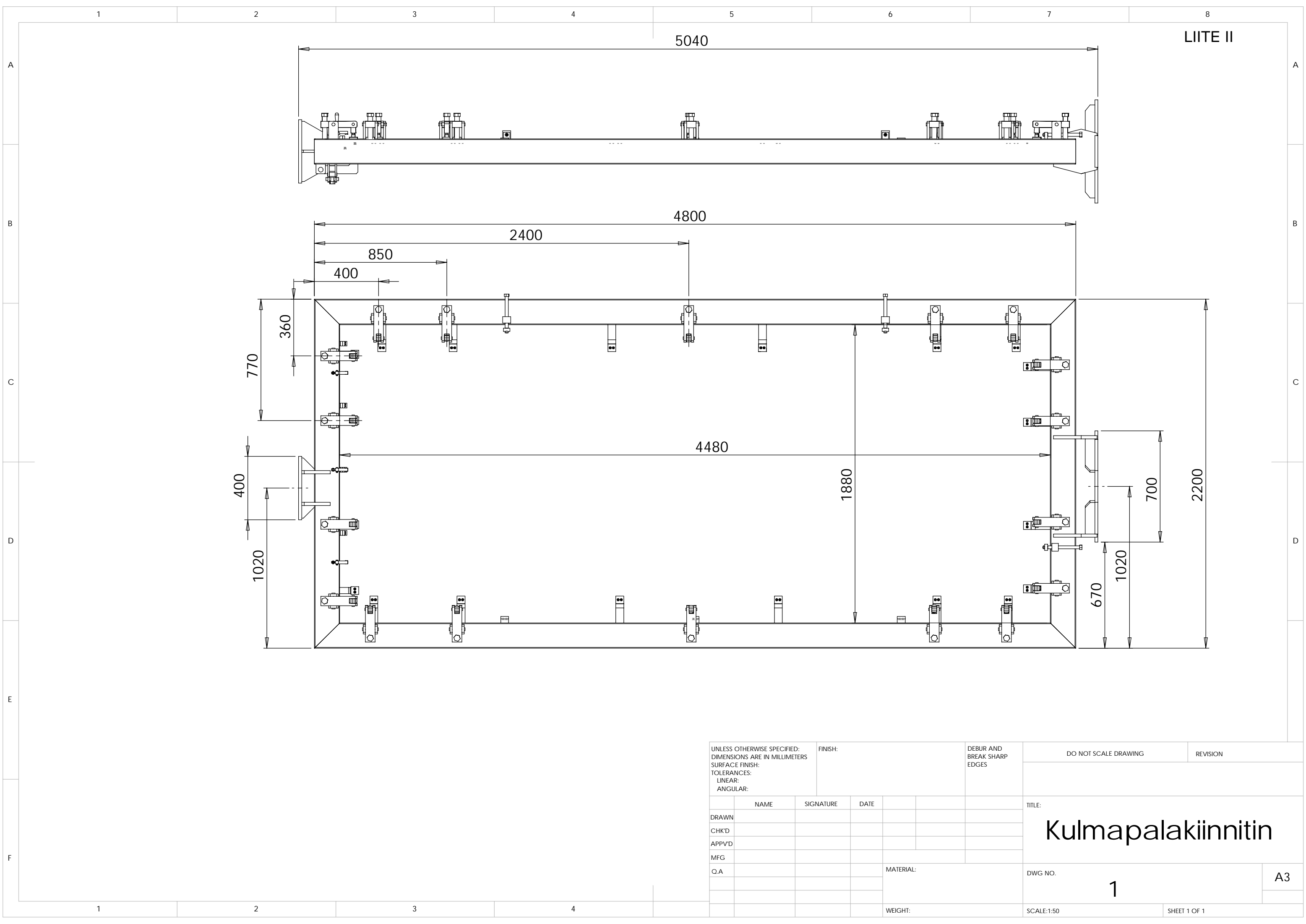
Rautio, Markus. Henkilökohtainen tiedonanto. Larox Oyj, Lappeenranta. 2/2009 – 5/2009.

Tamminiemi, P. Vihinen, J. 1999. Hitsausrobotiaseman tarkkuus ja sen kalibrointi. Hitsaustekniikka 6/1999. 15-18 s.

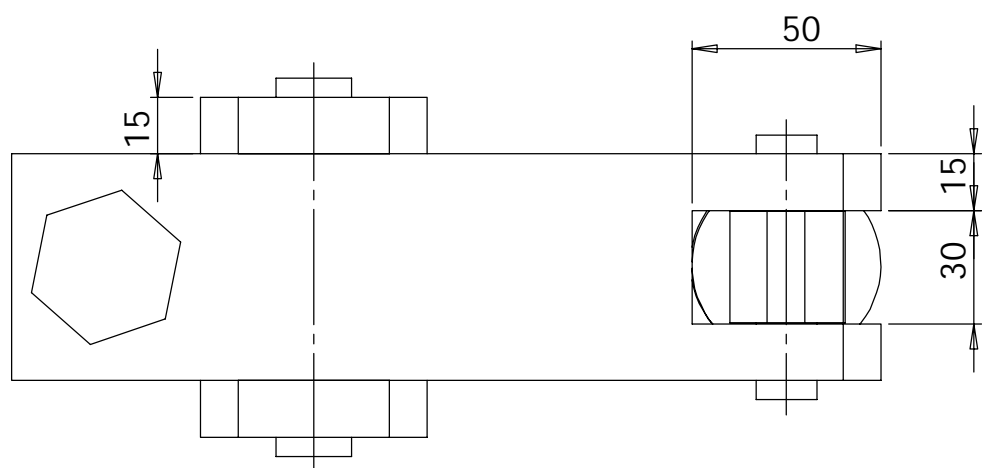
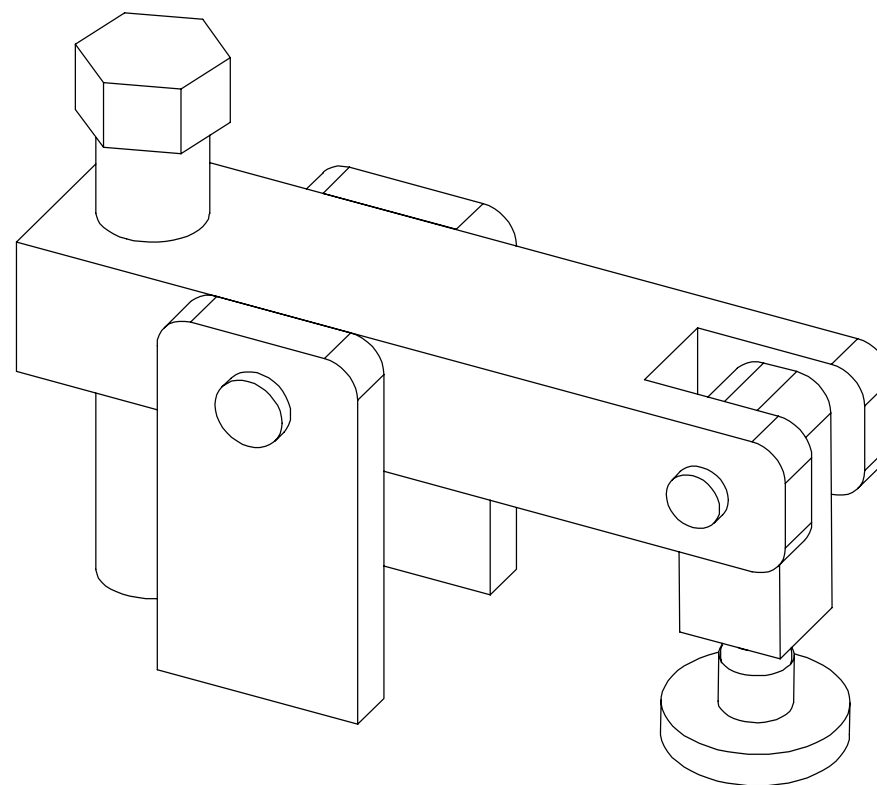
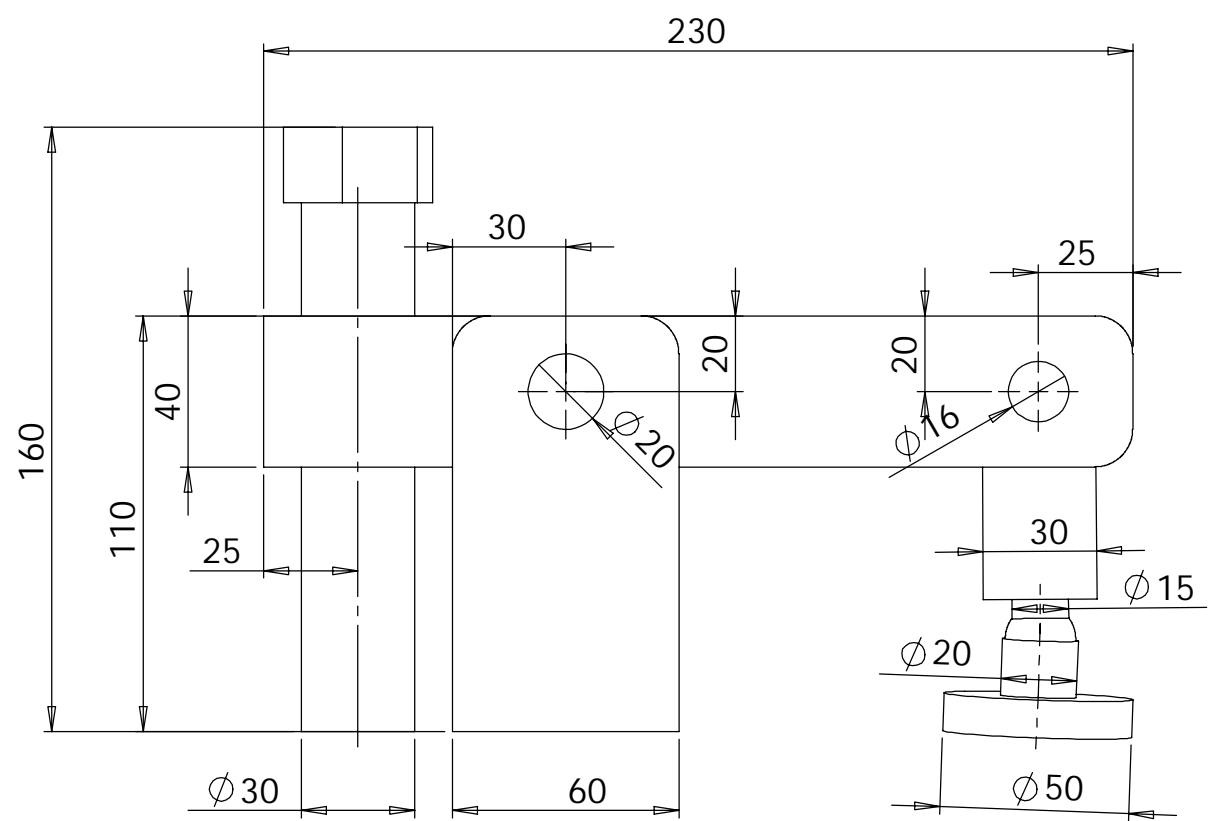
Teknodrom, Motoman CWK-400 -esite, [verkkodokumentti], päivitetty 9.12.2004, viitattu 6.4.2009, saatavilla: www.teknodrom.com/pdf/MRS53059.p

Tikka, Toni. Henkilökohtainen tiedonanto. Larox Oyj, Lappeenranta. 20.4.2009.

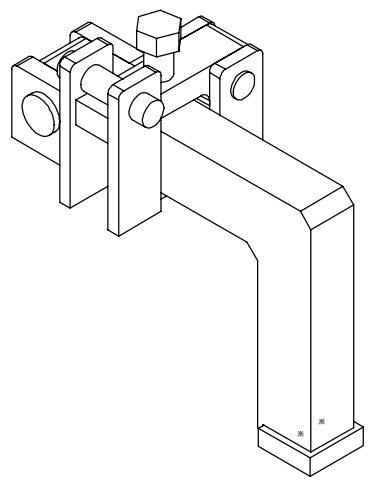
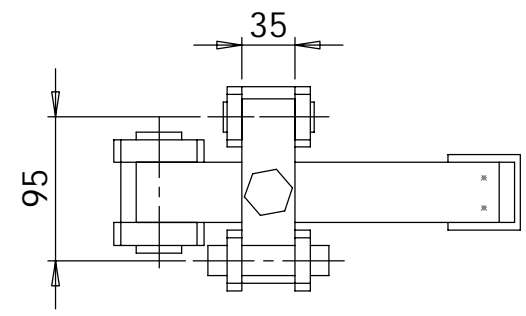
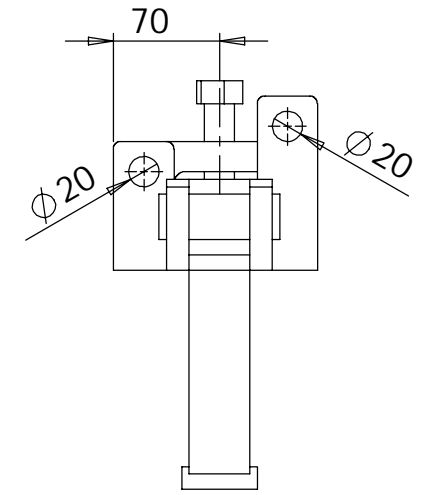
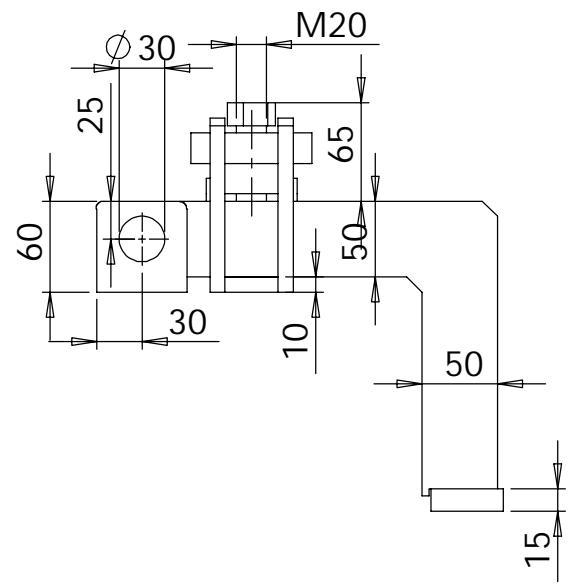
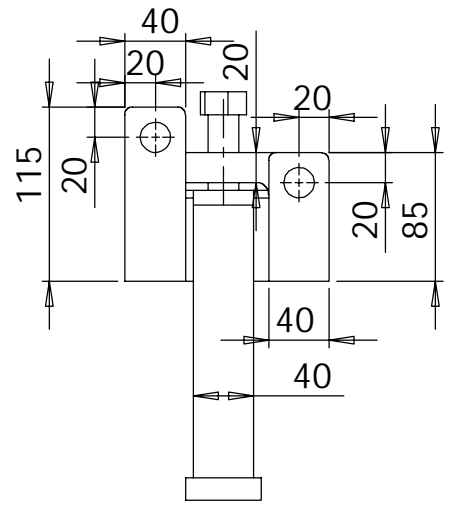
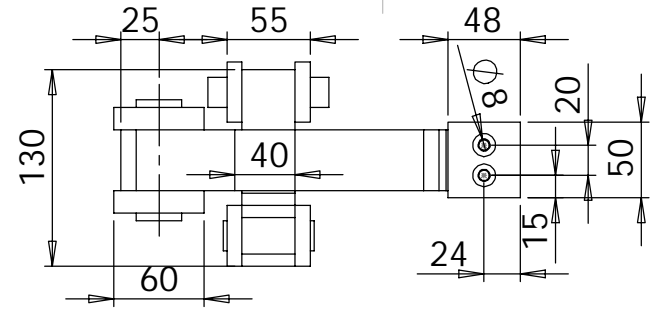




UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
DRAWN						Kulmapalakiinnitin			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A									
					MATERIAL:	DWG NO.		A3	
						1			
					WEIGHT:	SCALE:1:50		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN		NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:		
CHK'D							<h1>Painin</h1>		
APPVD									
MFG									
Q.A									
				MATERIAL:		DWG NO.		A3	
						2			
				WEIGHT:		SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN		NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:		
CHK'D							<h1>Alavaste</h1>		
APPV'D									
MFG									
Q.A									
				MATERIAL:		DWG NO.		3	
				WEIGHT:		SCALE:1:5		SHEET 1 OF 1	
								A3	