



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

HENRY KOSSILA

# **Kaivinkoneen kauhan hitsauksen automatisointi**

KONETEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA  
2020

Tekijä Kossila, Henry	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä lokakuu 2020
	Sivumäärä 33	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Kaivinkoneen kauhan hitsauksen automatisointi</b>		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kaivinkoneen kauhan automaattinen hitsaus hitsausrobotiasemassa. Työn toimeksiantajana oli kauhavalmistaja Terästyö T. Salminen Oy.</p> <p>Hitsausohjelman ohjelmointiprosessia edelsi kauhamallien 3D-mallinnus. Osatuotannossa käytettävät CAD piirustukset tuotiin muokattuina SolidWorks 3D-mallinnusohjelmaan ja niiden perusteella luotiin kauhan osista 3D-mallit. Kauhan mallinnetut osat koottiin valmista kauhaa vastaavaksi osakokoonpanoksi, jota voitiin käyttää hitsausohjelman ohjelmoinnissa.</p> <p>Ohjelmointi toteutettiin etäohjelmointina tietokoneella käyttäen WeldControl 300-ohjelmaa. Alkuvalmistelut koostuivat kauhan 3D-mallin paikoituksesta ja hitsausenaikaisen kääntelyn suunnittelusta. Kun idea kauhan hitsausjärjestykseen oli selvillä, voitiin aloittaa hitsausratojen, mittavirheitä korjaavien hakujen sekä muiden ohjelman käskyjen määrittäminen.</p> <p>Valmis hitsausohjelma simuloitiin etäohjelmoinnissa tarkastaen mahdolliset virheet liikkeissä sekä törmäykset robotin ja työkappaleen välillä. Simuloinnin jälkeen kirjoitettiin ohjelmätiedosto ja siirryttiin käytäntöön testaamaan ohjelmaa ensin käsiajolla ohjaamalla hitaasti piste kerrallaan ja vasta tämän jälkeen täydellä nopeudella automaattitilassa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin toimiva hitsausohjelma ja kauhojen 3D-mallinnuksen ansiosta myös hyötyä osatuotantoon ja kauhojen kokoamiseen.</p>		
<p><u>Asiasanat</u> hitsaus, automaatio, robotiikka, 3D-mallinnus, kaivinkoneet</p>		

Author Kossila, Henry	Type of Publication Bachelor's thesis	Date October 2020
	Number of pages 33	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Automatization of excavator bucket welding</b>		
Degree program Mechanical Engineering		
<p>Abstract</p> <p>The objective of the thesis was to automate the welding of an excavator bucket in a robotic welding station. The work was commissioned by excavator bucket manufacturer Terästyö T. Salminen Oy.</p> <p>The programming process was preceded by the 3D modeling of the excavator buckets. CAD drawings used for part production were imported into SolidWorks 3D modeling software for creating 3D models of the bucket parts. Part models were arranged into a 3D model assembly that represented the assembled excavator bucket. 3D model assembly was used in the robots' offline programming.</p> <p>Programming was done using the WeldControl 300 offline programming software. Initial preparations consisted of the positioning of the 3D model and planning the buckets' rotation during welding. Once the plan for the buckets' welding order was clear, it was possible to begin defining the welding paths, dimensional error correcting searches and other commands.</p> <p>The finished welding program was simulated in the offline programming environment, checking for possible errors in movements as well as collisions between the robot and the workpiece. After the simulation, an executable robot program file was written and tested in practice. First run was done by manually controlling the robot and executing the program slowly line by line. After the successful manual run, the program was executed at full speed in automatic mode.</p> <p>The work resulted in a working robotic welding program and the 3D modeling of the excavator buckets also benefited part production and bucket assembling.</p>		
<p><u>Key words</u>  welding, automation, robotics, 3D modeling, excavators</p>		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 LÄHTÖKOHDAT .....	5
2.1 Terästyö T. Salminen Oy .....	5
2.2 Hitsausrobotiasema .....	6
2.3 Kauhat .....	9
3 PIIRUSTUKSET .....	12
3.1 Poltto-ohjelma .....	12
3.2 Piirustusten siirtäminen .....	12
4 3D-MALLI .....	13
4.1 Osien mallinnus .....	13
4.2 Osakokoonpano .....	14
4.3 Kokoonpanopiirustus .....	15
4.4 Hitsauskiinnike .....	16
5 HITSAUSOHJELMA .....	17
5.1 Robotin ohjelma .....	17
5.2 Pema WeldControl 300 .....	17
5.3 Alkuvalmistelut .....	18
5.4 Kierron suunnittelu .....	19
5.5 Hitsausradat .....	19
5.6 Levitysliike, railonseuranta ja monipalkohitsaus .....	21
5.7 Haku ja muuttajat .....	23
5.8 Muut käskyt .....	26
5.9 Siirtymäliikkeet .....	26
5.10 Ohjelmaesimerkki .....	27
5.11 Simulointi .....	29
5.12 Ohjelmatiedoston kirjoitus .....	30
6 OHJELMAN SUORITUS .....	31
6.1 Käsiäjotestaus .....	31
6.2 Automaattihitsaus .....	31
6.3 Ongelmat ja kehitys .....	31
7 LOPPUTULOKSET .....	33

LÄHTEET

LIITTEET

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on automatisoida kaivinkoneen kauhan hitsaus työn toimeksiantajan, Terästyö T. Salminen Oy:n, hitsausrobottiasemassa. Kaivinkoneen kauhan osien piirustukset saadaan valmiina osavalmistukseen käytettävästä polttoratojen suunniteluohjelmasta. Piirustuksia hyödyntäen mallinnetaan kauhan osista 3D-mallit ja kasaataan niistä osakokoonpano, joka vastaa valmista kaivinkoneen kauhaa. Kauhan osakokoonpanoa hyödynnetään hitsausohjelman ohjelmoinnissa. Ohjelmointi toteutetaan etäohjelmointina tietokoneella.

Pyrkimyksenä on nopeuttaa valmistusta hitsaamalla robottiasemassa kauhoja suuria sarjoja kerrallaan, sekä helpottaa ruumiillisen työn kuormaa paljon hitsausta vaativissa töissä.

## 2 LÄHTÖKOHDAT

### 2.1 Terästyö T. Salminen Oy

Vuonna 1983 yhden miehen korjaamoksi perustettu Terästyö T. Salminen Oy on Euroopassa sijaitseva metallialan yritys, jonka päätuotteita ovat kaivinkoneiden kauhat, kauhojen korjaukset ja tarvikkeiden myynti. (Terästyö T. Salminen [www-sivut](http://www.terasoy.fi) 2020.) Yritys työllistää yhteensä 16 henkilöä, joista tuotannossa työskentelee 12.

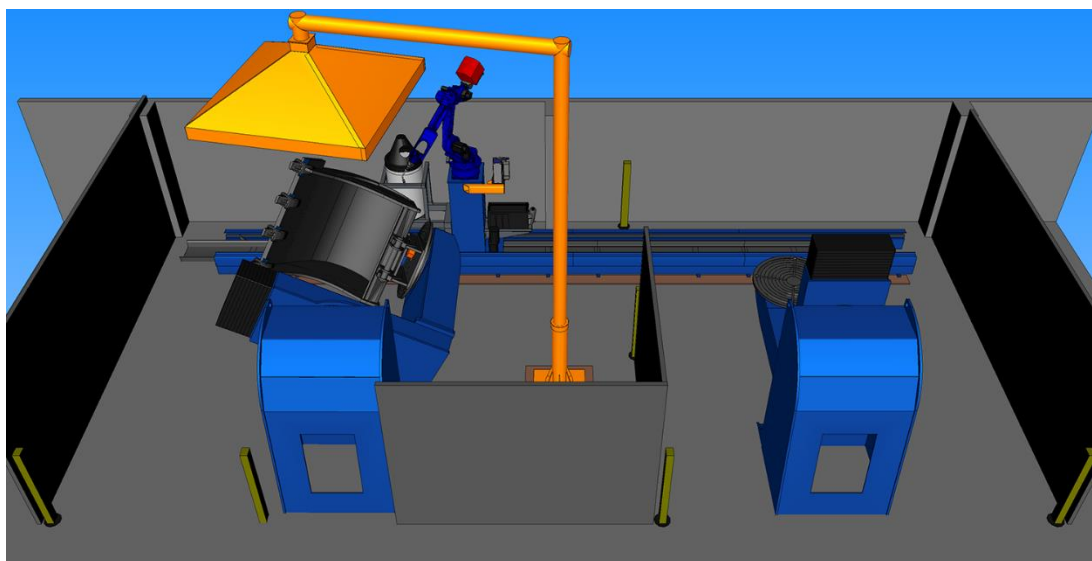
Kauhojen ja lisälaitteiden valmistuksen lisäksi yritys maahantuo useita eri vahvuuksia S355 teräslevyä sekä kovempia HB400, HB450 ja HB500 kulutusteräslevyjä. Suurin osa teräksestä menee omaan kauhatuotantoon, mutta osa myös myyntiin joko kokonaisina levyinä tai poltto-osina asiakkaan toimittamien mittojen tai piirustusten mukaan.

Kauhojen osatuotanto on ollut jo pitkään automatisoitua, mutta hitsaus tapahtuu pääosin käsin hitsaamalla.

## 2.2 Hitsausrobotiasema

Vuonna 2016 yrityksessä päätettiin hankkia hitsausrobotiasema. Toimittajaksi valikoitui Loimaalla sijaitseva Pemamek Oy. Asema oli asennettu ja käyttövalmis loppukesästä 2017.

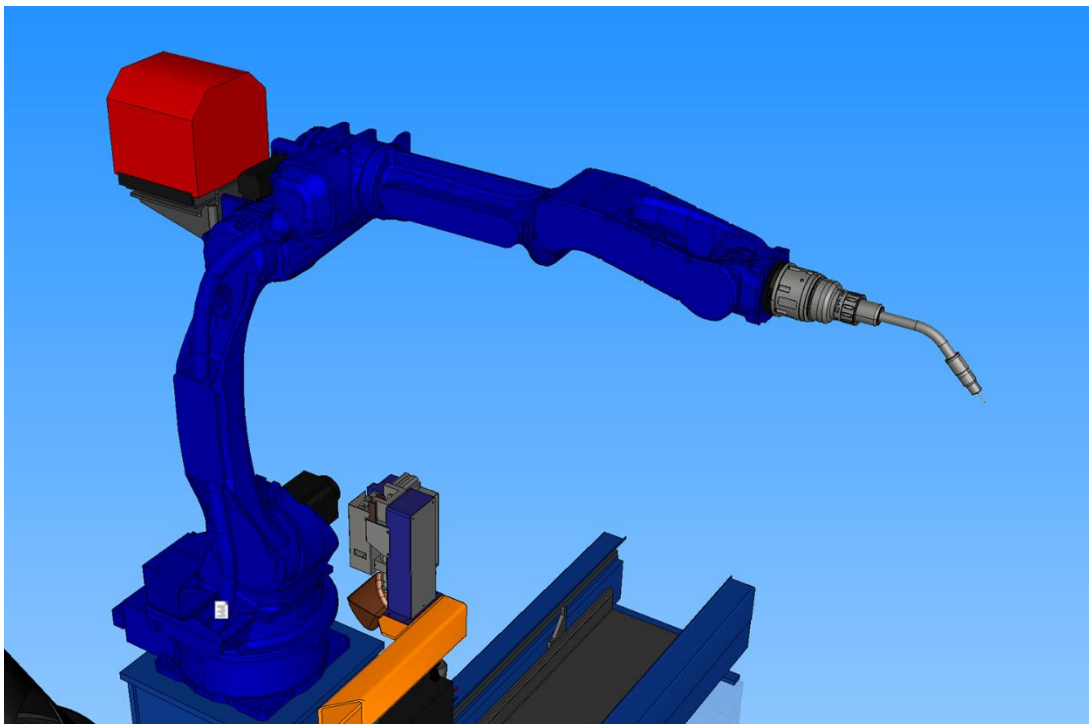
Pemamek Oy on vuonna 1970 perustettu perheyritys ja on toimittanut jo yli 15.000 erilaista hitsauslaiteratkaisua asiakkaille yli 50 eri maahan. Hitsaus- ja tuotantoautomaation edelläkävijänä, Pemamek on erikoistunut automatisoidun hitsaamisen ja tuotantojärjestelmien suunnitteluun sekä valmistamiseen. (Pemamek www-sivut 2020.)



Kuva 1. Hitsausrobotiasema etäohjelmointiympäristössä.

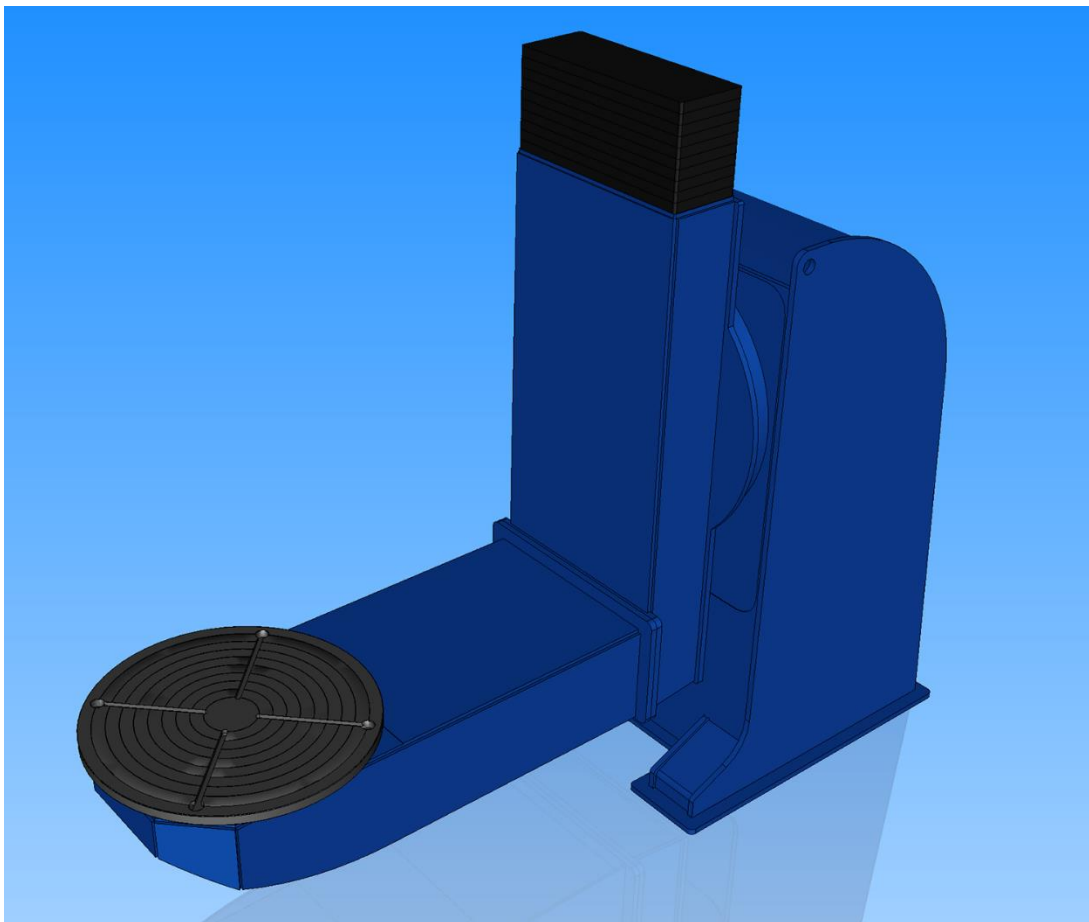
Hitsausrobotiasema (Kuva 1) koostuu kahdesta 2-akselisesta Pema SH2R-5000 käsittelypöydästä sekä 6-akselisesta Yaskawa Motoman MA2010 robottikäsivarresta, joka on sijoitettu omalle korotetulle sivuttaisradalla kulkevalle jalustalleen. Käsittelypöydät on rajattu seinillä ja valoverhoilla kahteen erilliseen työtilaan, joiden välillä robotti pääsee liikkumaan sivusuunnassa omalla radallaan. Seinät sekä kulkureittien edessä olevat valoverhot mahdollistavat turvallisen työskentelyn ja työkappaleen vaihdon

aseman toisessa työtilassa samalla kun robotti suorittaa ohjelmaa toisella puolella. Hitsauksessa syntyvän savun poisto tapahtuu ylhäältä poistoimuriin yhdistetyn huuvan kautta. Huuva käännetään työtilasta toiseen, kun hitsauspuoli vaihtuu.



Kuva 2. Motoman MA2010 robottikäsivarsi ja polttimen puhdistusasema.

Motoman MA2010 (Kuva 2) on Yaskawan valmistama robottikäsivarsi, jossa on käsivarren eri osissa kuusi kappaletta kääntyviä akseleita, joita kääntämällä käsivarren päähän kiinnitetty hitsauspoltin saadaan liikuteltua haluttuihin asentoihin. Ohjausyksikkönä toimii Yaskawa DX200. Robottikäsivarren ulottuvuus vaakatasossa on 2010 mm ja liikkeitä voidaan toistaa 0,08 mm tarkkuudella. Maksimityökuorma, eli suurin paino käsivarteen kiinnitettävälle hitsauslaitteistolle on 10 kg. Robottikäsivartta voidaan ohjata, ohjelmoida ja suoritettavaa ohjelmakoodia tarkastella ohjausyksikköön liitetyllä ohjaimella.



Kuva 3. Pema SH2R-5000 käsittelypöytä.

Pema SH2R-5000 käsittelypöytien (Kuva 3) maksimikuormitus on 5000 kg ja työtalassa mahtuu kääntymään työkappale vaakasuunnassa kolmen metrin halkaisijalla. Työkappaleet kiinnitetään kääntöpöydän pöytälevyssä oleviin t-urisiin pulteilla ja t-uramuttereilla. Käsittelypöydässä on kaksi kääntyvää akselia. Ensimmäinen akseli on käsittelypöydän jalustassa ja se pyörittää käsittelypöytää x-akselin ympäri. Käsittelypöytää voidaan kääntää keskiasennosta 225 astetta molempiin suuntiin. Toinen akseli pyörittää pöytälevyä, johon työkappaleet kiinnitetään. Pöytälevyä voidaan pyörittää keskiasennosta 450 astetta molempiin suuntiin. Työkappaleen maadoitus tapahtuu käsittelypöydän kautta.

Hitsausvirtalähteenä asemassa on Lincoln Electric Power Wave S500 CE ja langansyöttölaitteena robottikäsivarren takaosaan kiinnitetty Lincoln Electric Autodrive 4R220. Robotin käsivarren päähän on kiinnitetty Binzel Abirob W500 vesijäähdytetty hitsauspoltin, jonka jäähdyttimenä toimii Binzel CR 1250. Poltin on kiinni Binzel iCAT-polttimenpidikkeessä, joka mahdollisten polttimen törmäysten voimasta joustaa



hieman suojaten robotin käsivartta ja poltinta vahingoilta samalla antaen hälytyksen törmäyksestä. Lisäaineena käytetään Lincoln Electric SupraMig 1,2 mm paksua hitsauslankaa. 250 kg hitsauslankasäiliö on robotin jalustaan kiinnitetyssä telineessä. Suojakaasuna käytetään AirLiquide ARCAL Speed kaasua, joka sisältää argonia sekä kahdeksan prosenttia hiilidioksidia. Vaihdeettava 50 litran suojakaasupullo sijaitsee aseman seinien ulkopuolella. Hitsausmenetelmä robottiasemassa on MAG-hitsaus.

MIG/MAG-hitsauksessa virtalähteen avulla synnytetään valokaari hitsauspistoolin kautta syötettävän hitsauslangan ja työkappaleen väliin. Valokaari sulattaa hitsattavan materiaalin ja hitsauslangan yhteen muodostaen hitsisulan. Langansyöttölaite syöttää hitsauspistoolin läpi hitsauslankaa jatkuvasti hitsaustyön aikana. Samalla hitsauspistoolin kautta virtaa hitsiin myös suojakaasua. MIG/MAG-hitsausmenetelmät eroavat toisistaan siinä, että MIG-hitsauksessa (Metal Inert Gas welding) käytetään inerttiä suojakaasua, joka ei ota osaa hitsausprosessiin, kun MAG-hitsauksessa (Metal Active Gas welding) puolestaan käytetään hitsausprosessiin osallistuvaa aktiivista suojakaasua. Yleensä suojakaasun seassa on aktiivista hiilidioksidia tai happea, joten MAG-hitsaus on huomattavasti yleisempää kuin MIG-hitsaus. Usein puhutaankin MIG-hitsauksesta, vaikka itse asiassa tarkoitetaan MAG-hitsausta. (Kemppe www-sivut 2020.)

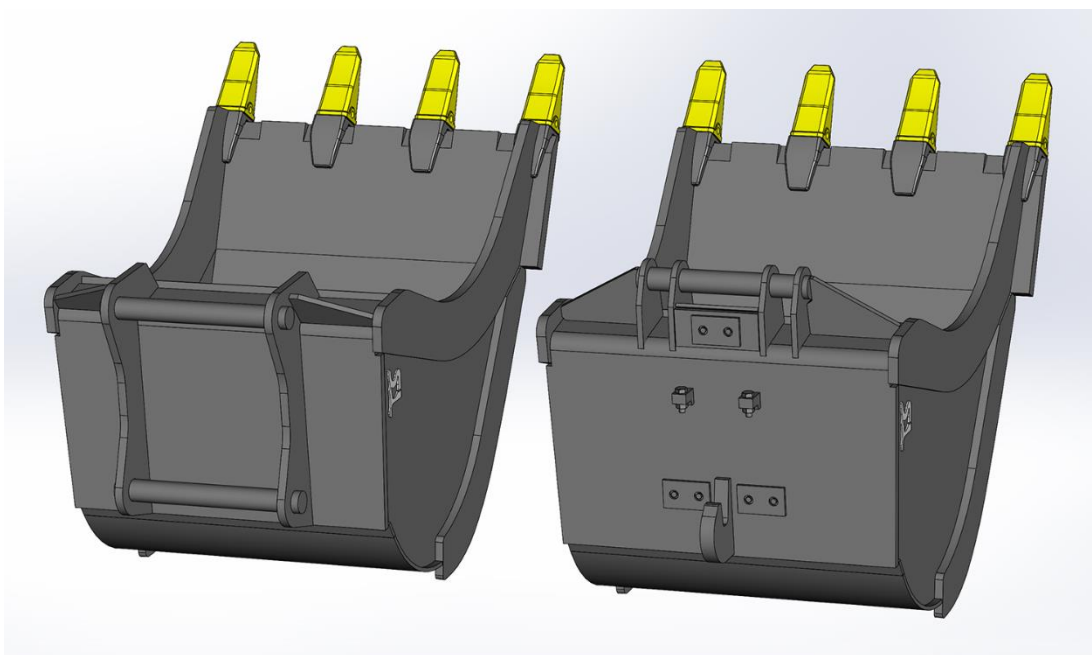
Hitsauksen aikana polttimeen kertyy roiskeita ja likaa. Ohjelman aikana poltinta käytetään robotin jalustaan kiinnitetyssä puhdistusasemassa, joka jyrsimällä puhdistaa kaasuholkin sisäosan roiskeista, katkaisee hitsauslangan haluttuun pituuteen ja suihkuttaa polttimeen roiskesuojaöljyä.

Ohjelmien suoritus on automaattista ja käyttäjä voi valita seuraavat suoritettavat ohjelmat, sekä valvoa suoritettavaa työtä kameroiden välityksellä aseman ulkopuolella olevan tietokoneen näytöltä. Mahdollisissa vikatilanteissa käyttäjä voi ohjata robottia sen omalla ohjausyksikköön liitetyllä ohjaimella.

### 2.3 Kauhat

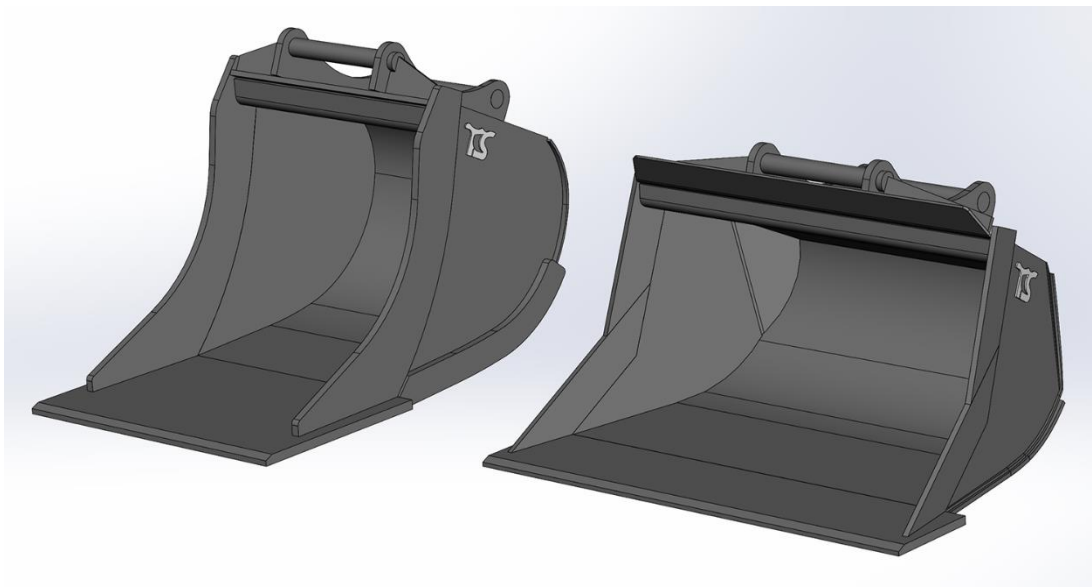
Terästyö T. Salminen Oy valmistaa kauhoja ja lisälaitteita useisiin erilaisiin maanrakennusalan käyttötarpeisiin. Malliston peruskokoisia kauhoja valmistetaan aina

pienistä minikaivureista suurempiin kymmenien tonnien kaivinkoneisiin. Suurin osa robottiasemalla hitsattavista kauhamalleista valmistetaan kahdella eri kiinniketyypillä; NTP- ja S-mallin kiinnikkeillä (Kuva 4). Molemmista kiinniketyypeistä on eri kokoja, jotka ilmaistaan numeroilla kiinnikkeen mallinimen yhteydessä. Koosta riippumatta kiinnityperiaate on kuitenkin sama.



Kuva 4. S80- (vasemmalla) ja NTP30-kiinnitysten erot 1500 kynsikuokassa.

Ennen kauhat kiinnitettiin suoraan kaivinkoneen puomiin, mutta nykyään pikakiinnikkeitä käytettäessä kaivinkoneen puomiin kiinnitetään pikaliitin, jossa on vastakappale kauhassa olevaan kiinnikkeeseen. Pikakiinnikkeellä kauhojen vaihtaminen nopeutuu ja helpottuu. Molemmista kiinniketyypeistä on omat etunsa: S-mallin kiinnike on säätövapaa ja vaivattomampi käytössä, mutta kuluessaan kiinnityksen väljyydelle on hyvin vähän tehtävissä ilman kauhassa olevan kiinnikkeen vaihtoa. NTP-kiinnitys on säädettävä ja pysyy säännöllisellä säädöllä pidempään käyttökelpoisena. Säätäminen tuo kuitenkin oman vaivansa koneen käyttöön. Sekä S- että NTP-kiinnikkeet ovat Suomessa käytettäviä yleisiä kiinnikkeitä, joita valmistaa useat eri valmistajat.



Kuva 5. Huulikuokka 1000 S70 (vasemmalla) ja luiskakauha 175 Tilt S70.

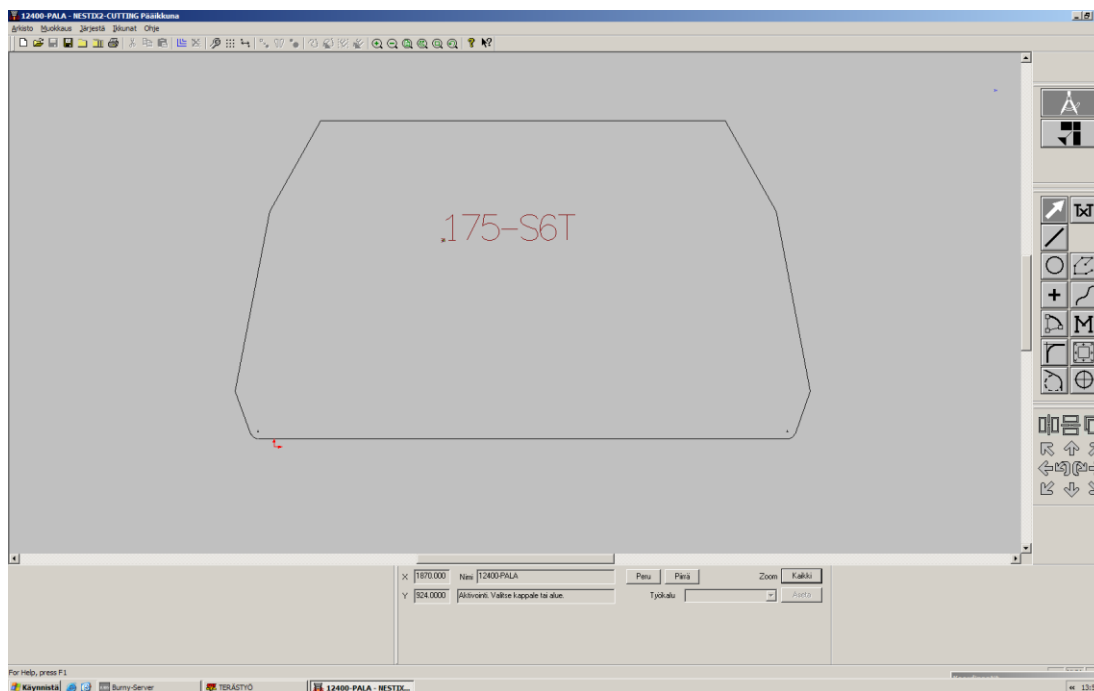
Luiskakauha on kaivinkoneen peruskauha, joka soveltuu monenlaisiin töihin. Leveä ja tilavuudeltaan suuri kauha, joka kapenee hieman pohjaa kohden. Luiskakauhaa käytetään usein erilaisten kallistavien tai pyörittävien pikaliittimien kanssa, joilla kauha voidaan käänellä liittimessä kaivinkoneen puomin päässä. Kallistavan pikaliittimen kanssa käytettäväksi suunnitellussa, eli tilt-mallisessa luiskakauhassa (Kuva 5) kauhan takakulmat on käännetty hieman sisäänpäin.

Kuokkakauha (Kuva 5) on se kauhamalli mikä useimmille tulee mieleen, kun puhutaan kaivinkoneen kauhoista. Kuokkakauhoja käytetään kaivu- sekä maansiirtotöissä. Yleensä raskaammissa koneissa käytettäviin suurempiin kuokkakauhoihin voidaan huulilevyyn asentaa adapterit, joihin kiinnitetään vaihdettavat kynnet. Kynsikuokkaa (Kuva 4) käytetään yleensä kovan maa- tai kiviaineksen siirtoa vaativissa töissä. Kynnet kuitenkin hajottavat herkästi esimerkiksi maassa olevia sähkö- ja vesijohtoja, eikä kauhalla kynsien takia saada tasaista jälkeä, joten kynnelistä kuokkakauhaa käytetään yleensä vain tarvittaessa.

## 3 PIIRUSTUKSET

### 3.1 Poltto-ohjelma

Kauhojen osat valmistetaan leikkaamalla teräslevystä automaattisilla plasma- ja polttoleikkuukoneilla. Polttoratojen suunnitteluun käytetään vuoden 2003 versiota NESTIX2-CUTTING-ohjelmasta (Kuva 6). CAD-piirustusten lisäksi ohjelmaan on tallennettu osien levyvahvuus ja materiaalitiedot.



Kuva 6. NESTIX2-CUTTING-ohjelma, jossa on avattuna 175 Tilt S60 luiskakauhan takaseinälevyn piirustus.

### 3.2 Piirustusten siirtäminen

Piirustukset eivät suoraan ole siirrettävissä käyttökelpoisessa tiedostomuodossa, vaan jokaisen osan piirustus täytyy erikseen tulostaa Nestix-ohjelmasta DXF-muotoiseen tiedostoon. Muodoltaan yksinkertaiset osat voidaan mitoittaa suoraan paperille.

Poltto-ohjelmasta DXF-muotoon tulostettuja piirustuksia muokataan hieman Autodeskin AutoCAD-ohjelmalla ennen niiden käyttöä 3D-mallinnuksessa. Piirustukset sisältävät joko Nestix-ohjelmasta tai vuosien aikana niihin tehdyistä muokkauksista

johtuen useita desimaaleja sisältäviä epämääräisiä mittoja tai pienistä pätkistä koostuvia kaaria. Mittoja pyöristetään korkeintaan 0,1 mm tarkkuudelle ja kaaria piirretään uudelleen siistimmiksi. Myöhemmin osien 3D-mallinnuksessa piirustuksiin määritellään vielä kaarien sulavat liitokset toisiinsa ja muihin viivoihin tangeeraamalla. Piirustusten pienellä epämääräisyydellä ei ole merkitystä osien poltossa ja hitsaamisvaiheessa, kunhan osan muoto on oikea. 3D-mallinnuksessa kuitenkin on hyödyllistä, jos osien mitat ja muodot ovat loogisesti määriteltä.

Kaikki piirustusten osat eivät välttämättä ole lopullisessa muodossaan, vaan niitä saatetaan muokata vielä kauhan kasausvaiheessa. 3D-mallinnuksen yhteydessä osat saadaan sovitettua ja muokattua valmiiksi kauhan osakokoonpanon avulla.

## 4 3D-MALLI

### 4.1 Osien mallinnus

Poltto-ohjelmasta haettujen piirustusten avulla mallinnetaan kauhan osat Dassault Systèmes:n SolidWorks-ohjelmalla. Monimutkaisemman muotoisiin osiin tuodaan muokatut DXF-piirustukset, joiden pohjalta saadaan suoraan muodot ja mitat SolidWorksiin. Malleihin tallennetaan myös materiaalitiedot osille. Suurin osa kauhan osista valmistetaan HB400 kulutuslevystä. Muutamat osat kuten kauhan takaseinät tai sisäpuolelle hitsattava jäykkäpalkki saatetaan tietyissä kauhamalleissa taivuttaa särmärillä. Jyrkempiä taivutuksia vaativat osat valmistetaan S355 teräslevystä, koska kovempi HB400 kulutusteräslevy saattaa murtua taivutuksessa. Taivutuksille on olemassa tarkat kulmat ja särmäystyökalun säde tiedetään, jolloin näiden perusteella saadaan mallinnettua osat oikeaan muotoon. Taivutettavat osat mallinnetaan käyttämällä SolidWorksin ohutlevy-lisäosaa, jossa on paremmat työkalut teräslevyjen taivutukseen ja mahdollisuus tarkastella myöhemmin myös taivuttamatonta levyä. Kauhan pohjat ovat kaarevia ja ne taivutetaan muotoonsa usealla pienellä särmäyksellä. Kauhan pohjan yksittäisiä särmäyksiä ei mallinneta, vaan pohja saadaan mallinnettua kaarevaksi 3D-mallin osakokoonpanovaiheessa koottavan kauhan muotojen perusteella.

Kauhoihin kuuluu myös paljon yleisiä osia, jotka ovat käytössä useammassa eri kauhamallissa. Yleiset osat mallinnetaan myös tarkasti ja esimerkiksi kiinnikkeistä voidaan tehdä kokonaan oma kokoonpano, jossa kiinnikkeen osat ovat valmiiksi paikoitettu toisiinsa nähden. Kokoonpanon avulla monesta osasta koostuva kiinnike on helposti liitettävissä toiseen samaa kiinnikettä käyttävään kauhaan.

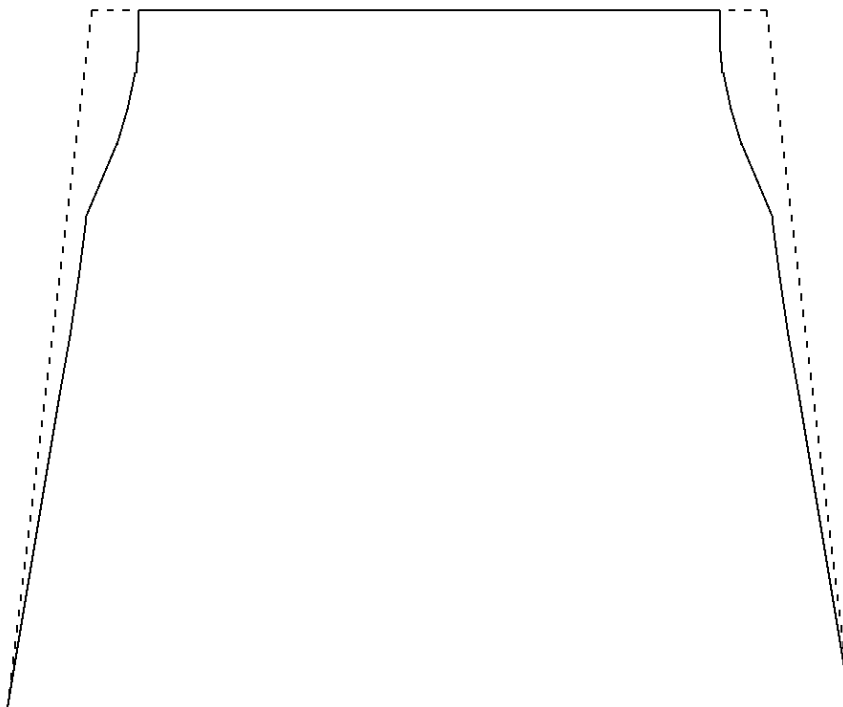
## 4.2 Osakokoonpano

Mallinnetut osat kootaan SolidWorksissä valmiiksi kauhan osakokoonpanoksi, jota voidaan käyttää hitsausohjelman etäohjelmointiympäristössä. Osien muodot ja yhteensopivuus määrittää suurimmaksi osaksi kauhan muodon ja mitat. Kaikki osat eivät kuitenkaan paikoitu pelkästään muotonsa perusteella vaan esimerkiksi kauhan sisälle hitsattava jäykkäpalkki, pohjaan asennettavat kulumislatat, kiinnikkeen sivuttaistukikulmat ja kuokkakauhoihin mahdollisesti hitsattavat adapterit täytyy mitoittaa paikalleen.

Samankokoiset, mutta eri kiinnikkeillä valmistettavat kauhat eroavat toisistaan yleensä takaseinän ja jäykkäpalkin osalta. Usein joudutaan tekemään kauhoista kokonaan erilliset osakokoonpanonsa molemmille kiinniketyypeille. Osa kauhamalleista on muuten samanlaisia, mutta vain hieman levennettyjä tilavuuden kasvattamiseksi. Tässä tapauksessa voidaan tehdä SolidWorksissä erillisen osakokoonpanon sijasta kauhamalleille omat konfiguraatiot, jossa samassa osakokoonpanossa vain tiettyjen osien leveys muuttuu.

Kokoonpanoon lisätään myös ominaisuustietoja kauhamallista, jolloin saadaan SolidWorksissä automaattisesti täydennettyä kokoonpanopiirustuksen tietokenttiin esimerkiksi kauhan mallinimi, koko ja kiinniketyppi.

Useiden kauhamallien pohjat ja takaseinälevyt poltettiin aikaisemmin lopulliseen muotoonsa käsin vasta kauhan kasausvaiheessa. 3D-mallinnuksen ja osakokoonpanon ansiosta nämä muodot saadaan määritettyä suoraan osiin ja uudet valmiiksi muodossaan olevien osien piirustukset siirrettyä takaisin poltto-ohjelmaan.



Kuva 7. Sovitettu 175 Tilt luiskakauhan pohjalevy.

Kuvassa 7 tarkastellaan esimerkkiä 175 Tilt luiskakauhan pohjalevystä. Katkoviivoilla on esitetty alkuperäisen Nestix poltto-ohjelmasta haetun pohjalevypiiirustuksen ulko-reunat. Yhtenäisellä viivalla rajattu alue on uuden 3D-osakokoonpanon avulla sovitetun pohjalevyn piirustus. Yhtenäisten viivojen ja katkoviivojen väliin jäävä alue on ennen poltettu irti vasta kauhan kokoamisvaiheessa.

#### 4.3 Kokoonpanopiirustus

Kauhat kasataan kokoon automaatiohitsausta varten. Työntekijöillä on hyvä tietotaito kauhan kasaamiseen, joten kokonaisvaltaisia ohjeita ei tarvita. Suurin osa kauhan osista paikoittuu aina suunnilleen samoihin kohtiin muotojensa perusteella. Jotkut osat voidaan asentaa vapaasti ja nämä osat täytyy paikoittaa mittojen avulla. Käsinihitsaustessa osien asettelu ei ole niin tarkkaa, mutta automaatiohitsauksessa osien paikat ja asennot on hyvä olla selvillä, jotta ne vastaavat mahdollisimman hyvin 3D-mallia.

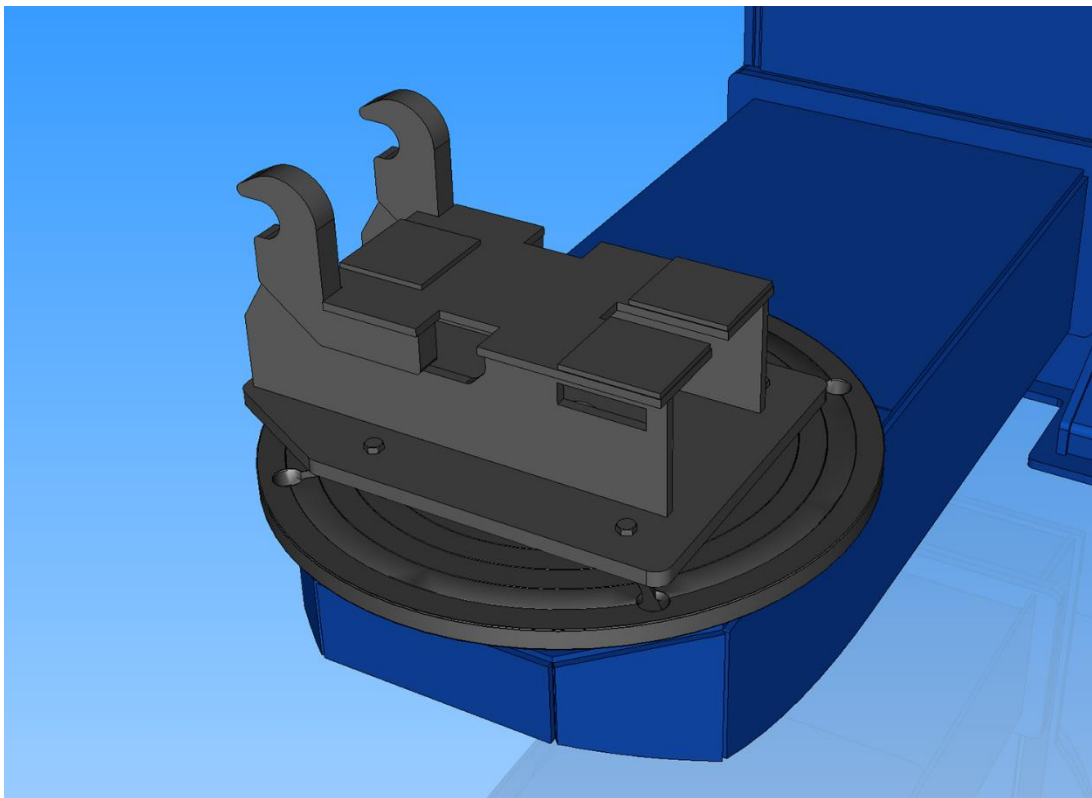
Mitoilla paikoitettavia osia varten laaditaan SolidWorksin avulla yksinkertainen kokoonpano-ohje, jossa osien halutut asennot ja tarvittavat mitat esitetään.

Liitteenä olevassa kokoonpanopiirustuksessa (Liite 1) nähdään esimerkit yhden kauhamallin mitoitettavista osista. Kiinnikettä sivusuunnassa tukeva kulmapala halutaan olevan 40 mm irti kiinnikkeen ylemmästä akselistä ja kulman alareuna 160 mm etäisyydellä takaseinän etureunasta. Jäykkäpalkki paikoitetaan tulemaan 25 mm yli takaseinän yläreunasta. Kokoonpanokuvassa näkyy myös pohjaan hitsattavien kulumislattojen mitoitus ja paikoitus. Kyseiseen kauhaan tulee yhteensä seitsemän kappaletta 100 mm leveitä lattoja. Ensimmäisen latan etäisyys kauhan huulilevyyn on 100 mm ja lattojen etäisyys toisistaan on 70 mm. Kynsikuokkiin hitsataan huulilevyyn kiinni adapterit, joihin voidaan kiinnittää vaihdettavat kynnet. Sisemmät adapterit paikoittuvat huulilevyyn polttoleikattujen viistekohtien avulla. Uloimmille adaptereille annetaan mitoituksena niiden etäisyys toisistaan.

#### 4.4 Hitsauskiinnike

Kauhat kiinnitetään useimmiten kaivinkoneisiin käyttämällä erityyppisiä pikakiinnikkeitä, joten kauhan kiinnitystä hitsausaseman käsittelypöytään mietittäessä oli loogista hyödyntää samaa kiinnikettä. Kiinnitys toteutettiin valmistamalla robottiaseman pöytään pultattava kiinnitin (Kuva 8), jossa on vastakappale kauhan pikakiinnikkeelle. Tämä kiinnitystapa vaatii hieman enemmän käsin hitsausta kauhan kokoamisvaiheessa, koska robotilla ei mahduta hitsamaan käsittelypöytää vasten olevaa pikakiinnikettä kokonaan. Kiinnitys on suunniteltu siten että työkappaleen painopiste on vaakasuunnassa lähellä pöytälevyn keskipistettä. Kiinnittimen 3D-malli liitetään osaksi hitsattavan kauhan osakokoonpanoa.





Kuva 8. NTP10 hitsauskiinnitin kiinnitettynä käsittelypöydän pöytälevyyn.

## 5 HITSAUSOHJELMA

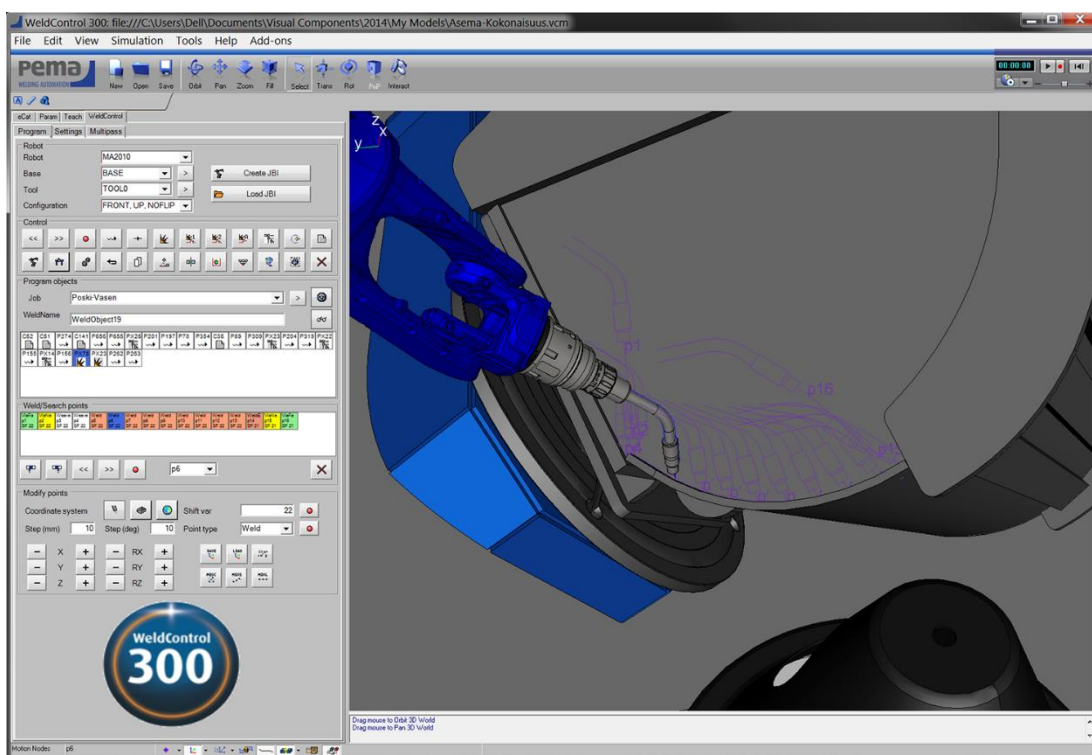
### 5.1 Robotin ohjelma

Robotin ohjelmalla tarkoitetaan JBI-muotoista tekstitiedostoa, joka voidaan suorittaa robotilla. Ohjelmatiedosto sisältää liikepisteiden paikkatiedot robotille ja käsittelypöydälle sekä käskyt, jotka ohjaavat robotin, hitsauslaitteiston ja muun aseman toimintoja. Kauhän hitsausohjelmassa suurin osa käskyistä on liikekäskyjä, joilla robottikäsi, kääntöpöytä ja robotin sivuttaisrata liikutetaan haluttuun asentoon.

### 5.2 Pema WeldControl 300

Robotilla suoritettavat ohjelmat tehdään etäohjelmointina tietokoneella. Etäohjelmointi varsinkin suuremmissa kokonaisuuksissa on nopeampaa ja helpompaa kuin manuaalisesti robotin vieressä ohjaimella ohjelmoiminen. Ohjelmointiympäristönä on

Pemamek Oy:n WeldControl 300 (Kuva 9), joka perustuu Visual Components-ohjelmaan. Hitsausrobottiaseman toimituksen yhteydessä saatiin myös 3D-malli koko asemasta WeldControl 300-etäohjelmointia varten. WeldControl 300 sisältää pikanäppäimet useimmin käytetyille robotin käskyille ja esimerkiksi hitsausradat voidaan luoda suoraan 3D-mallista muotoja näyttämällä, jolloin ohjelma osaa tehdä tarvittavat hitsaus- ja liikekäskyt koko hitsausauman matkalle. Ohjelmassa on myös mahdollisuus kirjoittaa käskyjä käsin, joten jokainen robotin käsky on hyödynnettävissä myös etäohjelmoinnissa. Yksi etäohjelmoinnin suurimmista hyödyistä on ohjelmoitujen objektien monipuoliset siirto, kopiointi ja uudelleenkäyttömahdollisuudet.



Kuva 9. Pema WeldControl 300.

### 5.3 Alkuvalmistelut

Kauhan osakokoonpano tallennetaan STEP AP214-tiedostomuotoon ja tuodaan WeldControl 300-etäohjelmointiympäristöön. SolidWorks-osakokoonpanon tiedostomuoto on tuettuna ohjelmassa, mutta mallin tuominen tässä tiedostomuodossa ei aina onnistu. Ohjelma tukee myös useita muitakin tiedostomuotoja 3D-mallien tuonnissa.

Tuotu kokoonpano paikoitetaan kääntöpöydän pöytälevyssä olevien t-urien avulla. Kauhakokoonpanossa olevan kiinnittimen pohjaan on mallinnettu koholle kääntöpöydän uriin sopiva ristikko paikoituksen helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi. Kun kauhakokoonpano on halutussa paikassa, se osoitetaan olevan kiinni kääntöpöydän pöytälevyssä, jolloin se kääntyy mukana, kun kääntöpöydän akseleita liikutetaan ohjelmointiympäristössä.

#### 5.4 Kierron suunnittelu

Kauhan hitsausohjelma on pitkä ja suorittaminen voi kestää useita tunteja. Etäohjelmoinnissa hitsausohjelma voidaan jakaa osiin ja sen jälkeen määrittää missä järjestyksessä osat kirjoitetaan lopulliseen suoritettavaan JBI-ohjelmatiedostoon. Hitsausohjelman jakaminen lyhyempiin pätkiin etäohjelmoinnissa on suositeltavaa sekä selkeyden että WeldControl 300-ohjelman vakauden takia.

Kauhaa täytyy hitsata monesta suunnasta ja tämä edellyttää, että kauhaa käännellään työn suorituksen aikana. Ennen hitsausratojen luomista on hyvä miettiä, missä järjestyksessä kauha kannattaa hitsata, jotta kääntöliikkeet pysyvät pieninä eikä kauhaa jouduta turhaan pyörittämään puolelta toiselle hitsauksien välillä. Tavoite on, että työn suorituksen aikana kauha käydään läpi järjestyksessä pienin käännöksin. Yksi määrittävä tekijä kierron suunnittelussa on käsittelypöydän vain 225 asteen kääntyvyys molempiin suuntiin.

Kauhan kierron suunnittelu alkaa pyörittelemällä kauhaa ohjelmointiympäristössä ja miettimällä mitä kannattaa hitsata ja missä asennossa. Työtä voidaan alkaa karkeasti jakamaan jo osiin suurempien kauhan asennon muutosten perusteella.

#### 5.5 Hitsausradat

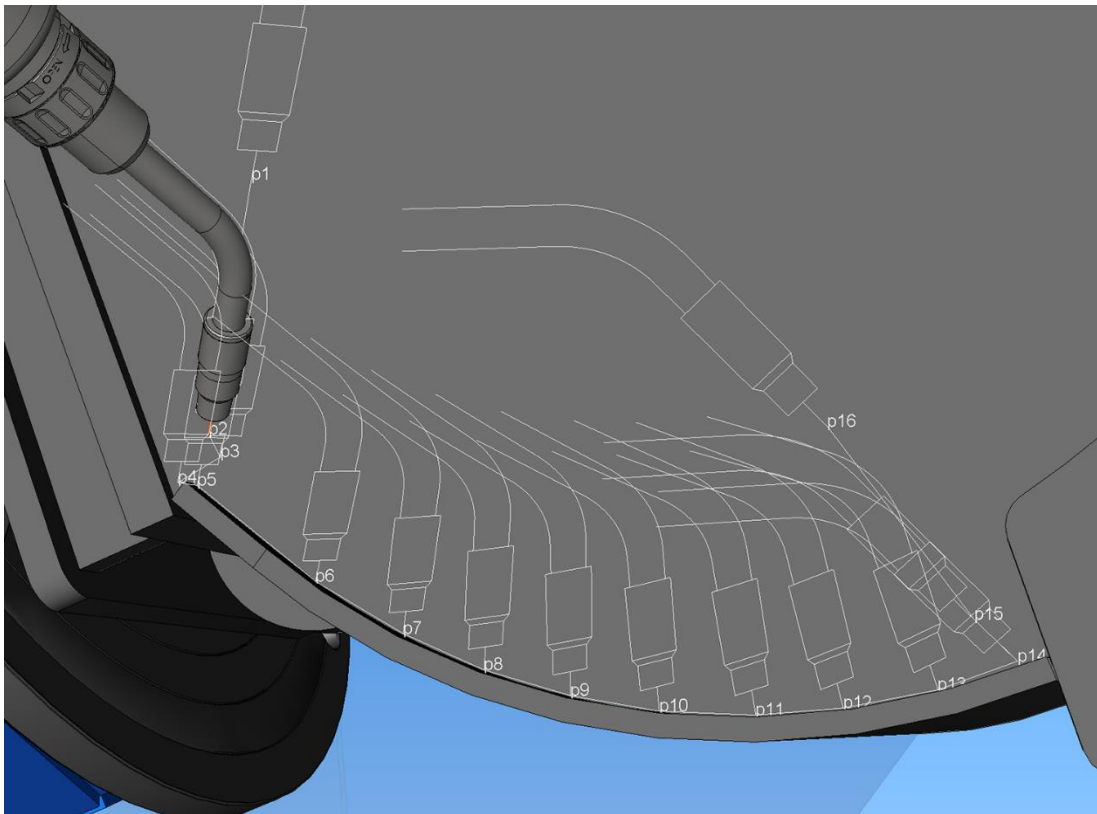
Kun kauhan asennot on karkeasti määritelty ja mietitty alustava hitsausjärjestys, voidaan alkaa suunnittelemaan hitsausratoja. Hitsausrata koostuu yksinkertaisimmillaan lähestymispisteistä, hitsauksen aloituskäskyistä, hitsauksen aikaisista liikepisteistä, hitsauksen lopetuskäskyistä, sekä lopuksi poistumispisteistä. Parhaimmillaan

hitsausradan luominen WeldControl 300:ssa tapahtuu osoittamalla työkappaleesta kaksi liitettävää pintaa, hitsauksen aloitus ja hitsauksen lopetus, jonka jälkeen ohjelma määrittää automaattisesti hitsausrataan tarvittavat käskyt ja liikepisteet. Ohjelmassa on mahdollisuus muotojen automaattiseen tunnistukseen, jolloin hitsausrata mukautuu työkappaleen muotoihin. Optimitalouksessa hitsausradan luomisen yhteydessä ohjelma määrittää automaattisesti myös robotin sivuttaisliikkeen radallaan, sekä kääntöpöydän liikkeitä kauhan pitämiseksi halutussa hitsausasennossa. Hitsausradalle löytyy myös kattava määrä asetuksia polttimen asennon, kulman tai etäisyyden määrittämiseen. Etäohjelmoinnin etuna on, että koko hitsausauma voidaan käsitellä ja säätää kokonaisuutena eikä käymällä läpi piste kerrallaan.

Käytännössä muotojen automaattinen tunnistus ei aina toimi vaan hitsausrata pitää määrittää tarkemmin osoittamalla liitettävät pinnat useampaan kertaan koko hitsin matkalta. Yleensä myös robotin paikkaa sivuttaisuunnassa radallaan tai kääntöpöydän asentoa tarvitsee korjailla jälkeinpäin halutunlaiseksi.

Lähestymis- ja poistumispisteet ovat tavallisia liikepisteitä, jotka ohjelma määrittää asetetuille etäisyyksille ennen tai jälkeen hitsauksen. WeldControl 300:ssa nämä pisteet luetaan osaksi hitsausrataa, mutta ohjelmaa suoritettaessa robotilla ne eivät erotu mitenkään tavallisista liikepisteistä. Pisteiden halutut etäisyydet määritetään asetuksiin hitsausradan luomisen yhteydessä. Ensimmäisen lähestymispisteen etäisyys on hieman kauempana työkappaleesta ja tähän pisteeseen robotti siirtyy suuremmalla nopeudella. Toinen lähestymispiste siirtää polttimen hieman hitaampaa nopeutta lähemmäs hitsauksen aloitusta. Poistumispisteet toimivat täysin kuten lähestymispisteet, mutta käänteisessä järjestyksessä.

Lähestymispisteiden jälkeen robotti siirtyy pisteeseen, josta aloitetaan hitsaus. Aloituspisteessä ennen liikettä hitsausradan seuraavaan liikepisteeseen robotti antaa hitsauksen aloituskäskyn, sekä esimerkiksi käskyn levitysliikkeen tai railon seurannan ja radan nauhoituksen aloitukseen. Hitsauksen aloituskäskyyn määritetään käytettävän hitsausarvotaulukon numero, josta saadaan tiedot halutuista hitsausarvoista. Hitsausarvotaulukoihin on määritelty hitsausarvot vastaamaan hitsausaumoja a-mitan mukaan neljästä millimetristä seitsemään millimetriin.



Kuva 10. Hitsausradan pisteet esitettynä.

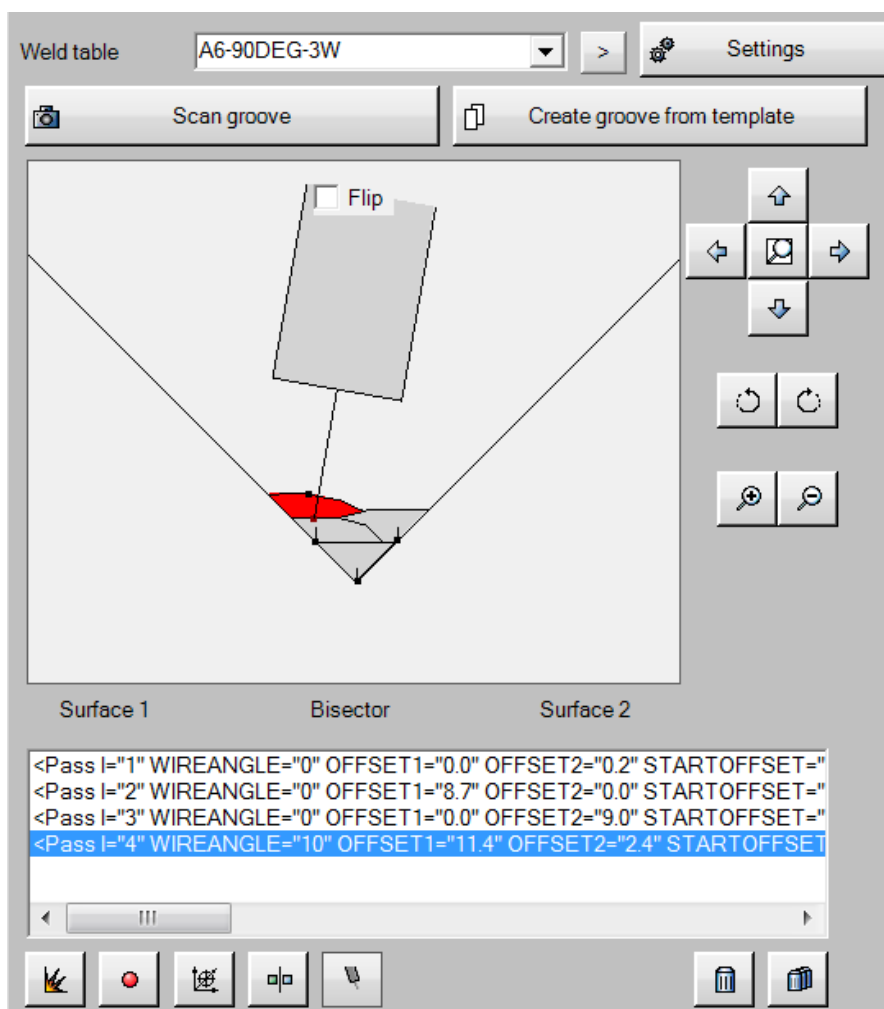
Määritetty hitsausrata esitetään visuaalisesti WeldControl 300 etäohjelmointiympäristössä. Kuvassa 10 on valkoisella esitetty kauhan poskilevyn ja pohjalevyn kaarevan hitsausradan kaikki pisteet numeroituna p1-p16. Hitsausrata alkaa ensimmäisestä lähestymispisteestä p1. Poltin on ajettuna toiseen lähestymispisteeseen p2. Pisteet p3 ja p4 ovat levityслиikkeen referenssipisteet ja p5 on liikepiste, josta aloitetaan hitsaus. Pisteet p6-p14 ovat liikepisteitä, joita pitkin hitsaus suoritetaan. Hitsaus lopetetaan radan lopussa pisteessä p14, jonka jälkeen poltin ajetaan poistumispisteiden p15 ja p16 kautta kauemmas työkappaleesta. Kauhaa käännetään hitsauksen aikana tasaisesti kaarevan hitsausradan mukaan, jolloin hitsausasento pysyy optimaalisena.

## 5.6 Levityслиike, railonseuranta ja monipalkohitsaus

Suurimmassa osassa hitsausaumoista käytetään levityслиikettä. Tähän on robotilla omat aloitus- ja lopetuskäskyt, jotka ajetaan heti hitsauksen aloituksen ja lopetuksen yhteydessä. Levityслиike vaatii kaksi referenssipistettä, yleensä hitsausradan ensimmäisen pisteen oikealle ja vasemmalle puolelle. Robotti liikuttaa poltinta hitsauksen

aikana näiden kahden pisteen osoittamaa suuntaa kohti levitysarvotaulukossa määritetty matkan, jolloin syntyy levityslieki. Levitykseen käytetään omia levitysarvotaulukoita, joihin on määritetty levitysliekin taajuus hertseinä, amplitudi millimetreinä sekä railon kulma.

Levitysliekiä käytetään myös hitsausrillon seurannassa. Seuranta korjaa automaattisesti hitsausrataa tarkastelemalla hitsausvirtaa levitysliekin aikana. Rillon seuranta siirtää poltinta rillon mukaisesti, kun hitsausvirta muuttuu hitsauslangan pituuden vaihdellessa levitysliekin aikana. Rillon seurannalla voidaan vähentää hakujen määrää ja minimoida 3D-mallin ja todellisen työkappaleen pienien erojen vaikutuksia hitsaukseen.



Kuva 11. Monipalkohitsauksen suunnittelutyökalu.

Vahvuudeltaan paksumpien osien liittämiseen tarvitaan järeämpi hitsausseama ja WeldControl 300 sisältää hyvät ominaisuudet monipalkohitsauksen ohjelmointiin. Monipalkohitsattava railo voidaan skannata suoraan työkappaleen mallista ja siihen suunnitellaan visuaalisen työkalun (Kuva 11) avulla monipalkohitsi. WeldControl 300 arvioi jokaisen sauman kokoa hitsausnopeuden, hitsauslangan paksuuden, sekä levityслиikkeen amplitudin perusteella laskettujen tietojen avulla ja näyttää tuloksen visuaalisesti esikatseluikkunassa. Palkojen määrää voi lisätä tarvittavan määrän ja jokaiselle palolle määrittää omat hitsauksen aloitus ja lopetuskäskyt. Suunnitellun monipalkohitsauksen voi tallentaa omaksi taulukoksi uudelleenkäyttöä varten. Olemassa oleva yksittäinen hitsausrata voidaan muuttaa monipalkohitsaukseksi käyttämällä tallennettua taulukkoa, jolloin ohjelma automaattisesti lisää taulukossa määritetyn määrän hitsausaumoja olemassa olevaa rataa käyttäen.

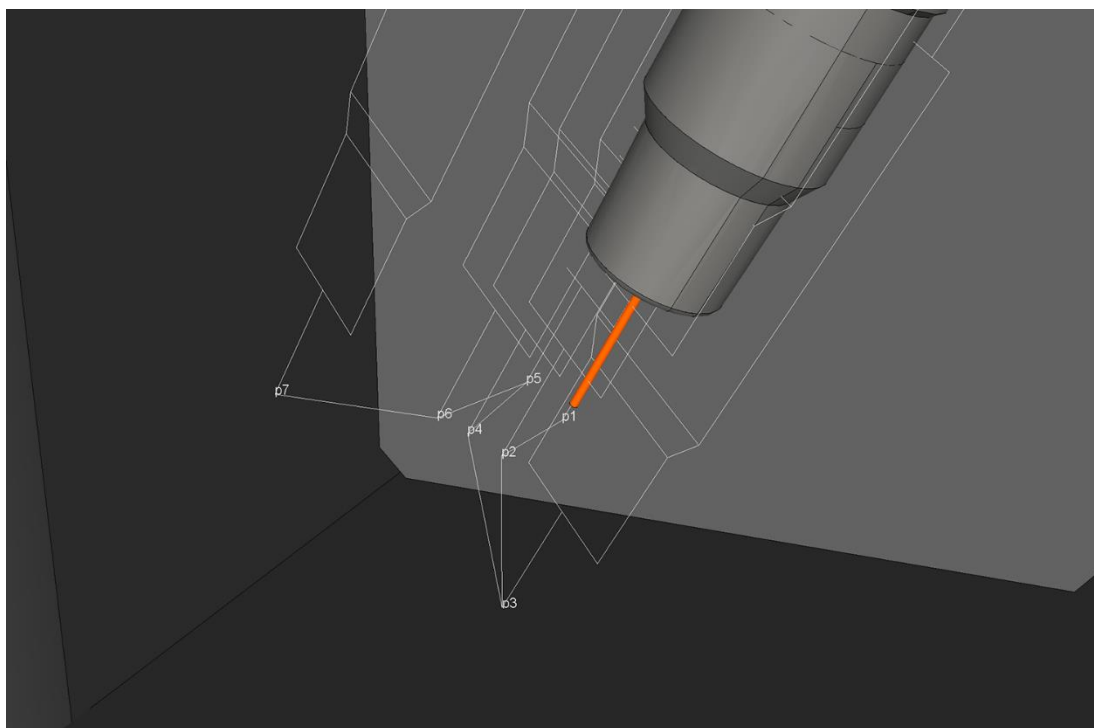
Monipalkohitsauksessa voidaan käyttää myös hitsausradan tallennusta. Tallennuksella saadaan hyödynnettyä monipalon ensimmäisen sauman railon seurannalla korjattua hitsausrataa myös muissa monipalon saumoissa. Ensimmäinen sauma ajetaan normaalisti railon seurannalla hitsausradan tallennus päällä ja loput monipalon saumat ajetaan tavallisella levityслиikkeellä toistaen tallennettua hitsausrataa. Näin jokainen sauma ajaa työkappaleen todellisiin muotoihin automaattisesti mukautunutta hitsausrataa pitkien.

### 5.7 Haku ja muuttajat

Koska kauhan kokoamisessa halutaan sallia pienet heitot mitoissa, täytyy kauhan muotojen vastaavuutta 3D-malliin tarkistaa hitsauksen aikana, ettei hitsausseamat ja saumojen aloitukset mene railon viereen. Tähän voidaan käyttää hakutoimintoa.

Hakutoiminnot ovat erillisiä robotin ohjelmia, joita kutsutaan suoritettavaksi kauhan hitsausohjelmasta. WeldControl 300 luo automaattisesti hakuohjelman kutsukäskyt, sekä referenssipisteet kun haku määritetään osoittamalla haettavat pinnat työkappaleesta etäohjelmointiympäristössä. Haku suoritetaan yleensä hitsauslangalla, mutta myös kaasuholkilla haun tekeminen on mahdollista, joskin yleensä epätarkempaa holkien mahdollisen kulumisen vuoksi. Hitsauslanka leikataan polttimeen putsauksen

aikana 20 mm pituuteen. Pinnan haun alussa robotti siirtyy ensin lähelle haettavaa pintaa. Polttimeen johdetaan pieni sähkövirta ja robotti alkaa lähestyä kohti haettavaa pintaa. Kun kontakti syntyy langan tai kaasuholkin osuessa työkappaleeseen, tallennetaan paikka määriteltyyn paikkamuuttujaan. Jokaisessa haussa on määritetty hakuetäisyys, jonka aikana haettavan pinnan pitäisi löytyä. Jos robotti ei havaitse kontaktia hakuetäisyyden aikana, se pysähtyy ja antaa ilmoituksen epäonnistuneesta hausta. Ruoste ja muut epäpuhtaudet työkappaleessa voivat myös estää kontaktin syntymisen, jolloin poltin saattaa törmätä työkappaleeseen pinnan haun aikana. Epäpuhtaaseen pintaan hakua suoritettaessa lanka voi myös osua pintaan, taittua ja tämän jälkeen saada kontaktin työkappaleeseen. Langan taittuminen vääristää nykyisen ja jokaisen seuraavan pinnan hakua.



Kuva 12. Kolmen pinnan sisäkulman haku.

Kuvassa 12 näkyy esimerkki kolmen pinnan hausta, jolla haetaan sisäkulma hitsauksen aloitukseen. Hakuun määritetyt referenssipisteet näkyvät numeroituina p1-p7. Piste p1 on alkupiste, josta robotti siirtyy jokaisen pinnan hakuun ja palaa samaan pisteeseen pinnan löytymisen jälkeen. Piste p2 on ensimmäisen pinnan haun aloituspiste, johon robotti siirtyy aloittaakseen pinnan haun. Pisteestä p2 robotti siirtyy hitaasti alaspäin kohti pistettä p3 ja tarvittaessa hieman ylikin, kunnes kontakti syntyy hitsauslangan osuessa työkappaleeseen ja pinta löytyy. Onnistuneen pinnan haun jälkeen robotti



siirtyy takaisin pisteeseen p1 ja sen jälkeen pisteeseen p4 aloittamaan toisen pinnan hakua. Kaikkien pintojen onnistuneen haun jälkeen paikka tallennetaan haun määrittämissä asetettuun paikkamuuttuun.

Hakuja lisätään yleensä vähintään jokaisen hitsausauaman aloitukseen ja lopetukseen. Tarvittaessa muotoja haetaan myös hitsauksen keskeltä esimerkiksi, jos sauman keskellä on kulma, josta käännetään hitsausta eri suuntaan. Ennen hakua poltin täytyy käyttää putsausasemassa, jotta lanka saadaan katkaistua 20 mm mittaan. Hakuja voidaan suorittaa monta peräkkäin, kunhan jokaisen haun tulos tallennetaan uuteen paikkamuuttuun. Mahdollisuus hitsauslangan taittumiseen haun aikana on hyvä ottaa huomioon ja suorittaa vain tarvittavat haut kerrallaan.

Paikkamuuttujiin tallennettuja hakujen tuloksia käytetään liikepisteiden siirtoon. Pisteet on ohjelmoitu määritettyyn kohtaan työkappaleessa ja hakujen avulla haetuilla paikkamuuttujilla voidaan varmistaa, että pisteet ovat samassa kohdassa, vaikka työkappaleen mitoissa olisikin pientä heittoa verrattuna etäohjelmoinnissa käytettyyn 3D-malliin. Hakujen avulla voidaan hakea vain ennalta määritettyjä pintoja. Yksinkertaisella pintojen haulla ei voida tunnistaa, onko asennettu osa väärä tai väärässä asennossa. Täysin väärä osa tai asento saattaa aiheuttaa törmäyksen keskellä hakua, jolloin virhe huomataan. Haku virheelliseen osaan voi myös tuurilla onnistua, koska robotti etsii vain sokkona kontakteja työkappaleeseen ennalta määritetyissä hakupisteissä. Näennäisesti onnistunut, mutta virheellinen haku saattaa aiheuttaa törmäyksiä tai muita ongelmia, jos haun paikkamuuttujaa käytetään myöhemmin pisteiden siirtämiseen.

Pisteiden siirto käynnistetään ohjelmassa siirron aloituskäskyllä ja määrittämällä käytettävä paikkamuuttuja. Siirron aikana käytetään liike- ja hitsauskäskyistä siirtoon tarkoitettuja vaihtoehtoja. Käytännössä huomattavin ero siirron kanssa käytettävän ja normaalin käskyn välillä on ylimääräinen S-kirjain käskyn edessä. Esimerkkinä railon seurannan aloituskäsky COMARCON muuttuu siirtoa käytettäessä muotoon SCOMARCON.

## 5.8 Muut käskyt

Suurin osa kauhan hitsausohjelmassa käytettävistä käskyistä on liikkeisiin, hakuihin ja hitsaukseen liittyviä käskyjä. Näiden lisäksi käytetään paljon kommentteja, joilla voidaan lisätä tietoa sisälle ohjelmakoodiin. Kommentti voi olla mitä tahansa tekstiä ohjelmakoodin seassa. Jokainen hitsaus- ja hakukäsky saa automaattisesti kommentin nimen, kun ne määritellään etäohjelmoinnissa. Kommenttien avulla on helpompi navigoida ohjelmakoodia robotin ohjaimella, jos täytyy tuhansien rivien keskeltä löytää tietty haku tai hitsaus. Työn alkuun lisätään kommentteilla myös tiedot hitsattavasta kauhamallista ja mahdollisia lisätietoja työkappaleen paikoituksesta robottiaseman käyttäjän avuksi.

Robottiohjelman keskeltä voidaan kutsua suoritettavaksi myös muita robotin ohjelmia. Kutsuttava ohjelma suoritetaan alusta loppuun, jonka jälkeen jatketaan alkuperäistä ohjelmaa samasta kohdasta, josta kutsu tehtiin. Esimerkiksi polttimen puhdistukseen käytettävä ohjelma kutsutaan suoritettavaksi kauhan hitsausohjelmasta joka kerta kun puhdistus tarvitaan. Hakuohjelmat ovat myös erillisiä kutsuttuja robotin ohjelmia, mutta WeldControl 300 määrittää nämä kutsukäskyt automaattisesti hakujen määrittämissä yhteydessä.

## 5.9 Siirtymäliikkeet

Kun hitsausradat ja haut on määritelty ohjelman osiin, täytyy varmistaa, että robotti pääsee liikkumaan niiden välillä törmäämättä. Apuna voidaan käyttää ylimääräisiä liikkeitä, joilla ajetaan robottia kauemmas työkappaleesta tai parempaan asentoon, jotta liike seuraavaan hakuun tai hitsaukseen onnistuu. Hitsausohjelmassa käytetään muutamia erilaisia robotin liiketyyppejä, jotka määrittävät millä tavalla robottikäsi varsi siirtyy seuraavaan pisteeseen.

Lineaariliike (MOVL) on robotin liike, jolla poltin pyritään liikuttamaan pisteestä toiseen suoraa linjaa pitkin. Lineaariliike on hyvä työkappaleen lähestymiseen ja robotin tarkempiin liikkeisiin. Lineaariliikkeen nopeus määritellään antamalla arvo millimetreinä sekunnissa.

Akseliliike (MOVJ) liikuttaa robottia seuraavaan pisteeseen liikuttamalla käsivarren akseleita välittämättä polttimen asennosta tai liikeradan suoruudesta. Akseliliikettä käytetään yleensä nopeisiin ja epätarkempiin siirtymäliikkeisiin sekä robottikäsivarren asennon muuttamiseen. Akseliliikkeen nopeus määritellään prosenttina akselien maksimaalisesta liikenopeudesta.

Ympyräliikettä (MOVC) käytetään jos robotin tarvitsee tehdä ympyrän tai kaaren mallinen liike. Kaaren liikkeiden ohjelmointi lineaariliikkeillä on vaivalloista ja vaatii useampia pisteitä tarkan kaaren aikaansaamiseksi. Ympyräliikkeellä voidaan kolmella pisteellä määrittää kaari, jonka ympäri robotti liikkuu. Kauhan hitsausohjelmassa ympyräliikettä käytetään harvoin.

Jokaiseen kauhan hitsausohjelman liikepisteeseen tallentuu paikka robotille, robotin sivuttaisradalle ja käsittelypöydälle. Liikepisteiden nopeuksille on määritetty oletusarvot WeldControl 300 asetuksissa, mutta nopeuksia voidaan tarvittaessa muokata pistekohtaisesti. Hitsauksen aikaisille liikepisteille on määritetty hitsausnopeus hitsausarvotaulukoissa.

Polttimen puhdistusohjelman alussa robottikäsivarsi kääntyy jalustaansa kohti vieämään poltinta puhdistusasemaan. Puhdistusohjelmia ei suoriteta etäohjelmoinnissa, vaan ne näkyvät WeldControl 300:ssa pelkkinä kutsukäskyinä. Ennen jokaista puhdistusohjelman kutsukäskyä lisätään liikepiste, jossa robottikäsivarsi on kääntyneenä puhdistusohjelman aloituspisteeseen. Näin voidaan varmistaa hitsausohjelman simuloinnin aikana robottikäsivarren ongelmaton liikkuvuus puhdistusasemalle.

### 5.10 Ohjelmaesimerkki

Kuvassa 13 näkyy robotin ohjaimen näytöltä kaapattu kuva tyypillisestä hitsauksen aloituskohdasta ohjelmakoodissa. Ohjelmaikkunassa vasemmalla reunalla on rivinumerot ja rivinumeroiden oikealla puolella liikepisteiden numerot. Ylhäällä näkyy ohjelmassa käytössä oleva akseliryhmä. Ohjelmakoodin rivien tarkoitus selitettynä:

- 0348 – Vihreällä tekstillä kommentoituna hitsauksen nimi.
- 0349 – Käynnistetään siirto käyttämällä paikkamuuttujaa 21.
- 0350 – Akseliliike ensimmäiseen hitsauksen lähestymispisteeseen. Nopeus 100%
- 0351 – Lineaariliike toiseen hitsauksen lähestymispisteeseen. Nopeus 500 mm/s.
- 0352 – Levitysliikkeen ensimmäinen referenssipiste.
- 0353 – Levitysliikkeen toinen referenssipiste.
- 0354 – Lineaariliike pisteeseen, josta aloitetaan hitsaus. Nopeus 500 mm/s.
- 0355 – Hitsauksen aloituskäsky aloitusarvotaulukolla 4.
- 0356 – Railon seurannan aloituskäsky levitysarvotaulukolla 4. Seurattava hitsausvirta 330 ampeeria. Offset vasen/oikea 0.0 mm.
- 0357 – Radan tallennuksen aloituskäsky. Tallennus paikkaan 20.
- 0358 – Lineaariliike hitsausradan toiseen pisteeseen hitsausnopeudella.
- 0359 – Lineaariliike hitsausradan kolmanteen pisteeseen hitsausnopeudella.



Kuva 13. Hitsauksen aloitus ohjelmakoodissa.

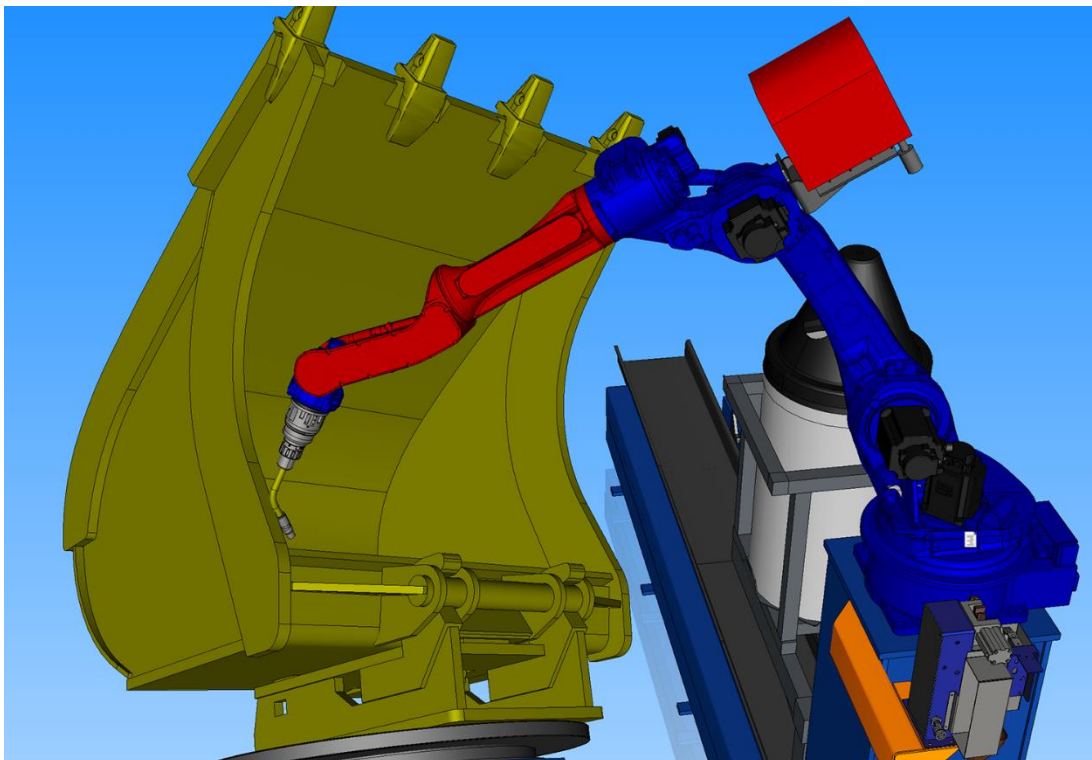
### 5.11 Simulointi

Yksi etäohjelmoinnin eduista on mahdollisuus hitsausohjelman simulointiin ja törmäystarkasteluun. Simuloinnissa ohjelma suoritetaan läpi virtuaalisesti ja samalla voidaan tarkastella törmäykö robotin työkappaleeseen suorituksen aikana tai ylittyykö liikepisteissä jokin robottikäsivarren akselin liikerata.

Törmäystarkastelussa määritetään ohjelmointiympäristön 3D-malleista kappaleet, jotka eivät saa osua toisiinsa. Esimerkkinä hitsauspoltin ja työkappale. Ohjelman suoritus virtuaalisesti aloitetaan ja jos kappaleet törmäivät toisiinsa, suoritus pysähtyy ja törmäyneet kappaleet korostetaan keltaisella värillä (Kuva 14). Tarkasteluun voidaan myös määrittää toleranssi, jolloin törmäys ilmoitetaan, jos kappaleet kulkevat toistensa läheltä törmäämättä, mutta lähempänä kuin määritetty toleranssi.

Robottikäsivarren akselin liikeradan ylittyessä ohjelman simulointi pysähtyy ja ylittyneen akselin liikuttama robotin osa korostetaan punaisella värillä (Kuva 14). Simuloinnissa tarkastetaan myös, onko ohjelmoitujen pisteiden suoritus mahdollista. Liikepisteet voidaan vahingossa ohjelmoida paikkaan, johon robottikäsivarsi ei ylety tai ei pysty kääntymään määritetyllä liiketyypillä. Myös liikepisteen mahdottoman suorituksen yhteydessä simulointi pysähtyy ja ohjelma antaa virheilmoituksen.

Simuloinnissa ohjelman suoritusnopeutta voidaan kasvattaa tai hidastaa. Hitaalla nopeudella voidaan tarkastella robotin liikkeitä, jotka normaalilla nopeudella suoritetaan niin nopeasti, että liikerataa on hankala havaita. Suuri simulointinopeus vaikuttaa myös törmäystarkastelun tarkkuuteen. Ohjelma ei ehdi tunnistaa kaikkia törmäyksiä, jos simulointia ajetaan liian suurella nopeudella. Törmäystarkastelusimulointi on hyvä ajaa lähellä normaalia nopeutta.



Kuva 14. Esimerkkitilanne robottikäsiarven akselin rajan ylityksestä ja polttimen kaulan törmäyksestä työkappaleeseen.

### 5.12 Ohjelmatiedoston kirjoitus

Kun kaikki hitsausradat, haut, siirtymät ja muut käskyt on määritelty ja ohjelman eri osat ovat halutussa järjestyksessä, voidaan kirjoittaa valmis robotilla suoritettava ohjelmatiedosto. Ohjelmatiedoston alussa on listattuna jokaisen liikepisteen pulssi-arvot erikseen robottikäsiarvelle, käsittelypöydälle ja robotin lineaariradalle. Pulssi-arvojen jälkeen tiedostossa on kirjoitettuna ohjelmakoodi, eli robotin käskyt, jotka näkyvät robotin oman ohjaimen näytöllä ohjelmaa suoritettaessa. Ennen ohjelmatiedoston kirjoitusta valitaan WeldControl 300 asetuksista oikea akseliryhmä, jolle ohjelmatiedosto halutaan kirjoittaa. Akseliryhmällä valitaan liikutettava käsittelypöytä ja samalla määritetään, kumpaa robottiaseman työtilaa käytetään. Akseliryhmäksi voidaan määrittellä myös pelkkä robotti, jolloin käsittelypöytiä ei ohjata lainkaan. Ohjelmatiedosto siirretään lähiverkkoyhteydellä hitsausrobottiaseman tietokoneelle, josta se siirretään robotin muistiin. Ohjelmatiedosto voidaan myös siirtää suoraan robotin muistiin FTP-yhteydellä, tai robotin ohjaimen liitettävältä USB-muistitikulta.

## 6 OHJELMAN SUORITUS

### 6.1 Käsiäjotestaus

Automaattitilassa ohjelmaa suoritettaessa robotin nopeudet voivat siirtymäliikkeissä olla niin suuret, että laiterikko on törmäyksen sattuessa mahdollinen. Ensimmäiset uudet ohjelmat on hyvä tarkastaa ajamalla ne käsin ohjaamalla piste kerrallaan läpi mahdollisten suurien törmäysten välttämiseksi. Samalla voidaan tarkistaa hakujen toimivuus ja havaita robotin liikepisteissä mahdollisia epäkohtia, jotka ovat etäohjelmoinnin simuloinnissa jääneet huomaamatta. Jos käsiäjolla halutaan suorittaa hitsausta, täytyy ottaa huomioon käsittelypöydän akselien rajoitettu nopeus käsiäjolla. Hitsatessa robottikäsi- ja käsittelypöydän liikkeitä suoritetaan yhtä aikaa. Rajoitetulla nopeudella käsittelypöydän akselit eivät välttämättä pääse kääntymään tarpeeksi nopeasti hitsauksen aikana, jolloin myös hitsausnopeus hidastuu ja hitsisaumaan saattaa muodostua valumia tai hitsi voi sulaa läpi työkappaleesta. Käsiäjolla testaaminen voidaan yleensä jättää välistä myöhemmin, jos samaa ohjelmaa kopioidaan toisen samankaltaisen kauhahan ohjelman pohjaksi.

### 6.2 Automaattihitsaus

Kun suoritettava ohjelma on todettu simuloinnin ja käsiäjotestauksen jälkeen hyväksi, voidaan aloittaa hitsaaminen automaattitilassa. Ensimmäisellä kerralla automaattitilassa ohjelmaa suoritettaessa tarkkaillaan hitsauksia ja katsotaan sauma kerrallaan hitsauksen lopputulos, sekä kirjataan muistiin mahdolliset tehtävät muutokset robotin ohjelmaan.

### 6.3 Ongelmat ja kehitys

Automaattihitsauksen aikana havaittiin muutamia ongelmia. Kahden levyn päittäin liitoksen hakujen tekeminen ja hitsaaminen on hieman ongelmallista, jos työkappaleessa on paikoitus- tai mitoitusvirheitä. Hakujen määritys on hankalaa, jos aloituskohdassa ei ole mitään haettavaa kulmaa. Vaihtoehtoina on yrittää yhden tai kahden pinnan hakua, tai hakea aloituksen läheisyydestä jokin kulma. Railonseurantaa ei voida käyttää,

jos ei ole mitään railon seinämiä, joita vasten hitsatessa hitsausvirta muuttuisi. Railon-seuranta toimii ja lähtee muuttamaan hitsauksen suuntaa, vaikka hitsattaisiin suoraa levyn pintaa, mutta tuloksena on vain johonkin suuntaan käyrä sauma. Toinen havaittu ongelma liittyy hitsausradan tallennukseen. Jos monipalkohitsin ensimmäisen sauman hitsaus keskeytyy ennen loppua, hitsausradan tallennus epäonnistuu eikä sitä voida enää jatkaa ilman hitsauksen alusta aloittamista. Epäonnistuneesta tallennuksesta seuraa virheilmoitus seuraavien tallennettua rataa käyttävien saumojen aloituksessa. Saumat voidaan edelleen hitsata, mutta ilman tallennettua rataa ja ilman railon seurantaa, ellei ohjelmaa muokata robotin ohjaimella.

Osassa hitsattavista kohdista liitettävä levy oli hieman kulmassa toiseen liitettävään levyyn nähden, jolloin railon pohjalla materiaalin paksuus oli ohut ja saumoihin muodostui reikiä, kun hitsi paloi läpi railon pohjasta. Näihin kohtiin ohjelmaan lisättiin varsinaista hitsisaumaa edeltävä pienellä hitsausvirralla hitsattava pohjasauma, jolla pyritään täyttämään railon pohjaa ja estämään lopullisen sauman sulamista läpi työkappaleesta.

Joihinkin hitsisaumoihin muodostui alkuun valumia, koska aloituskohta oli liian lähellä levyn reunaa ja hitsisulaa pääsi valumaan levyn reunan yli aloituksessa. Vastaa-vasti osassa saumoista hitsauksen virheellinen aloitus tai lopetus jätti hitsin pituuden hieman vajaaksi. Kaikki hienosäätöä vaativat kohdat kirjataan muistiin ja korjataan.

Hakuja tarkastellaan ohjelman suorituksen aikana ja yleensä epäonnistunut haku onkin ensimmäinen epäilty, jos hitsauksessa ilmenee ongelmia. Ongelmien ilmaantuessa hakuja muokataan paremmiksi, jotta aloitus- ja lopetuskohdat osuvat paremmin kohdilleen. Yksi kolmen pinnan haku vie aikaa noin minuutin, joten hakuja pyritään myös vähentämään mahdollisuuksien mukaan.



## 7 LOPPUTULOKSET

Työn tuloksena syntyi toimiva robottiohjelma kauhan hitsaamiseen hitsausrobottiase-  
massa (Kuva 15). Hienosäätöä ja korjauksia suoritetaan, kun kauhoja hitsataan lisää ja  
nähdään, miten ohjelma toimii kokonaisuudessaan pidemmällä aikavälillä. Ensimmäi-  
sen kauhamallin hitsausohjelman tekemiseen alusta loppuun kului aikaa arviolta noin  
kolme kuukautta. Mallinnus- ja etäohjelmointiprosessi oli samalla opettelua ja hyvää  
harjoitusta tietokoneohjelmien käyttöön. Kokemus ja rutiinit ohjelmien käyttöön no-  
peuttivat seuraavien kauhamallien hitsausohjelmien tekemistä ja myös 3D-malleja  
saatiin optimoituja. Valmiita hitsausohjelmia voidaan käyttää pohjana uusien kauha-  
mallien ohjelmille, jolloin aivan kaikkea ei tarvitse ohjelmoida uudelleen, vaan riittää  
että ohjelman osat muokataan etäohjelmoinnissa uuteen kauhaan sopiviksi.



Kuva 15. Kynsikuokka 1500 NTP30 hitsausohjelman suoritus.

Projektin eri vaiheista saatiin hyötyä myös muuhun tuotantoon. Kauhojen 3D-mallin-  
nuksen ansiosta osia saatiin paremmin sovitettua yhteen ja osista luotua tarkemmat  
piirustukset polttoleikkausta varten. 3D-mallien avulla voidaan myös luoda tuotannon  
avuksi kauhoista osaluetteloita, kokoonpanokuvia tai muita piirustuksia.

## LÄHTEET

Terästyö T. Salminen www-sivut. Viitattu 29.9.2020.

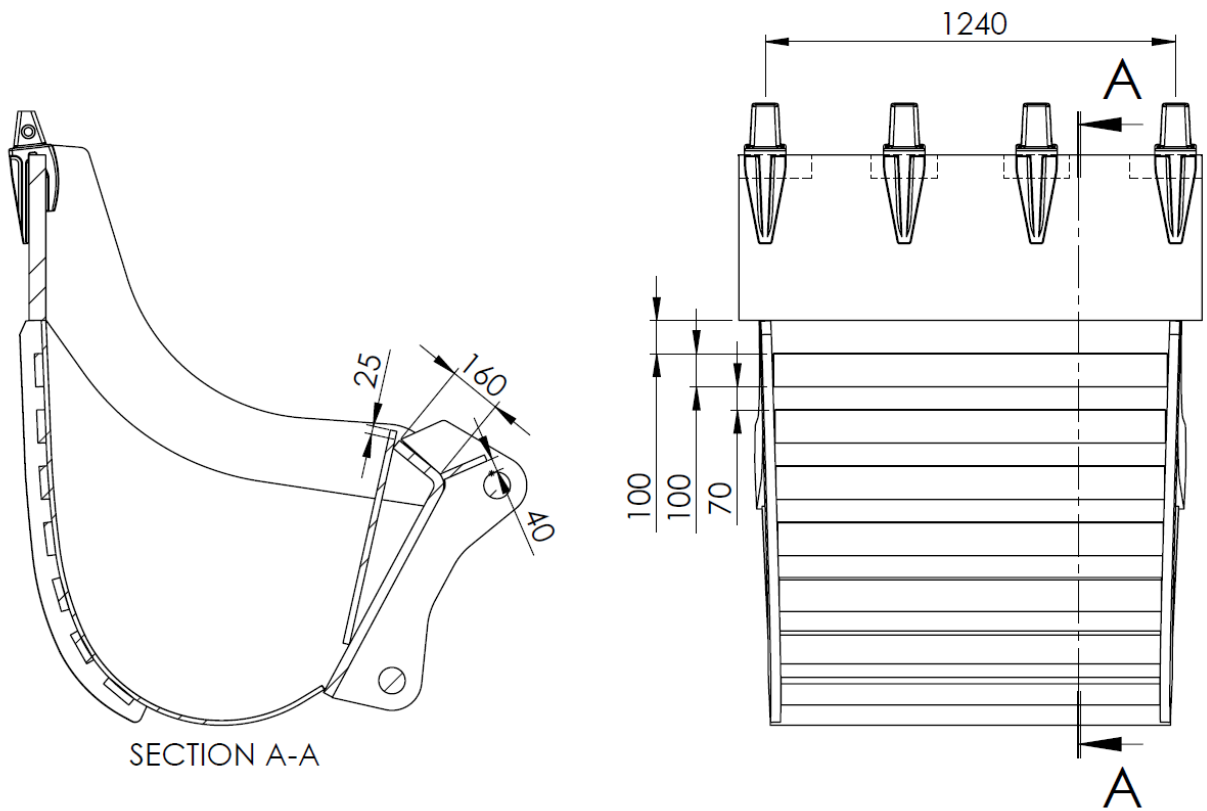
<https://www.terastyosalminen.fi>

Pemamek www-sivut. Viitattu 30.9.2020.

<https://www.pemamek.com>

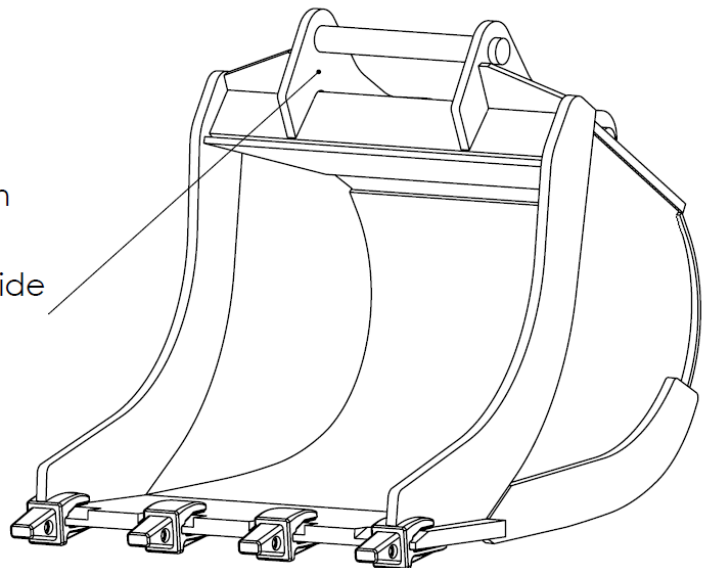
Kemppi www-sivut. Viitattu 26.10.2020.

<https://www.kemppi.com/>



Käsinhitsaus vain S80 kiinnikkeen sisäpuolelta.

Manual welding only on the inside of S80 hitch.



Käsinhitsaus vain merkityissä kohdissa. - Manual welding only where specified.

		MITTAKAAVA 1:20	KUVAUS Kokoonpano - Robotti	 <b>TERÄSTYÖ</b> <b>T. SALMINEN OY</b>	
SUUNNITTELIJA	HK		PUOLI S1		
PÄIVÄMÄÄRÄ	10.3.2020		PROJEKTI Kynsikuokka 1500		
			KIINNIKE S80		
			KOKO A4	REV 2	