

RUOSTUMATTOMASTA TERÄKSESTÄ VALMISTETUN SÄILIÖN HITSAUS ROBOTILLA

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Juho Salmi			
Työn nimi Ruostumattomasta teräksestä valmistetun säiliön hitsaus robotilla			
Päiväys	8.12.2014	Sivumäärä/Liitteet	42/1
Ohjaaja(t) Esa Jääskeläinen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Pivaset Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn tavoitteena oli suunnitella ferriittisestä ruostumattomasta teräksestä EN 1.4509 valmistetun säiliön hitsausprosessi. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli pohjoissavolainen yritys Pivaset Oy.</p> <p>Työssä tutkittiin ideatasolla erilaisia rakennevaihtoehtoja säiliön osien liitokseen. Lisäksi tutkittiin teoriatasolla ruostumattoman teräksen hitsausta ja ruostumattoman teräksen korroosiota hitsauksen jälkeen. Säiliöstä tehtiin myös tutkimus, jossa verrattiin sen ominaisuuksia ja käyttötarkoitusta paineastialain vaatimuksiin, jolloin pystyttiin määrittämään, onko säiliö määriteltävissä paineastiaksi lain ja asetusten näkökulmasta.</p> <p>Työn käytännön toteutus suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoulun hitsauslaboratoriossa koulun omaa Almega AX-V6 robottia ja muuta hitsauslaitteistoa käyttäen. Opinnäytetyön suoritus aloitettiin keväällä 2014 ja, se päättyi loppusyksystä 2014.</p> <p>Opinnäytetyössä suoritettun tutkimuksen ansiosta säiliön hitsattavuus parani toimeksiantajan muutettua säiliön rakennetta alkuperäisestä.</p>			
Avainsanat Hitsaus, Automaatio, Metallurgia			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Juho Salmi			
Title of Thesis Robotized Welding of a Stainless Steel Vessel			
Date	December 8, 2014	Pages/Appendices	42/1
Supervisor(s) Mr Esa Jääskeläinen, Research Director			
Client Organisation /Partners Pivaset Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this project was to create a welding process for a vessel that is made of ferritic EN 1.4509. The work was commissioned by a company called Pivaset Oy who specializes manufacturing fire equipment and water boilers.</p> <p>On a theoretical level different vessel structures were studied. The thesis work also included metallurgical studies concerning stainless steel and its corrosion. A research concerning pressure vessel laws in Finland was conducted in which this vessel and its physical properties and usage were compared to official regulations. Practical work on the project was carried out at the welding laboratory of Savonia University of Applied Sciences. Welding was carried out using a DAIHEN Almega AX-V6 -robot. The welding process also required a lot of preparation work like programming the robot, tack welding and mounting the vessel to the welding robot.</p> <p>As a result of this project Pivaset Oy was able to modify its product and make it easier to weld and manufacture.</p>			
Keywords welding, automation, metallurgy			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Yrityksen esittely.....	6
1.2	Taustatietoa	6
1.3	Tavoitteet.....	6
1.4	Toteutus	6
2	RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN HITSAUS	7
2.1	Hitsauslisäaineet	7
2.2	Juuren suojaus	8
3	HITSAUSPROSESSI.....	9
3.1	Menetelmäkuvaus	9
3.2	Vaihtoehtoisia liittämistapoja hitsaukseen	9
3.2.1	Vaihtoehto 1	9
3.2.2	Vaihtoehto 2	11
3.2.3	Vaihtoehto 3	13
3.3	Päädyn lopullinen liitostapa	14
4	PAINEASTIALAKI	16
4.1	Yleistä paineastialaista	16
4.2	Paineastia-asetus ja valvontaviranomaiset	16
4.3	Lain edellyttämät tarkastukset	17
4.4	Lain soveltaminen	18
5	HITSAUKSEEN LIITTYVÄ METALLURGIA.....	20
5.1	Materiaalin taustatiedot.....	21
5.2	Korroosio.....	22
5.2.1	Yleinen korroosio	22
5.2.2	Piste- ja rakokorroosio.....	22
5.2.3	Raerajakorroosio	23
5.2.4	Jännityskorroosio	23
5.3	Hitsausenergia.....	23
5.4	Rakenteessa esiintyvät jännitykset	25
6	TYÖN TOTEUTUS	26
6.1	Työhön käytetty laitteisto	26
6.2	Robotin ohjelmointi.....	27

6.3	Koehitsaukset	29
6.4	Säiliön kiinnitys käsittelylaitteeseen	31
6.5	Säiliön hitsaus.....	33
6.6	Tulokset	36
7	LOPPUPÄÄTELMÄT	39
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	41
	LIITE 1: SUOSITUKSIA HITSAUSLISÄAINEIDEN VALINTAAN [SÄHKÖPOSTIVIEСТИ]	42

1 JOHDANTO

1.1 Yrityksen esittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi leppävirtalainen Pivaset Oy. Pivaset Oy on perustettu vuonna 1990 ja se työllistää nykyisin noin 40 työntekijää useassa eri toimipisteessä Leppävirralla. Yritys on erikoistunut alkusammutuskaluston sekä käyttövesivaraajien valmistukseen, jonka lisäksi se tarjoaa sopimusvalmistuspalveluita. Vuonna 2009 Pivaset Oy:lle valmistui uusi päärakennus, jonka ohella investoitiin uusiin koneisiin ja laitteisiin, ja automaation osuutta lisättiin suurilla investoinneilla.

1.2 Taustatietoa

Työn kohteena toimi ruostumattomasta teräksestä valmistettu käyttövesivaraajan säiliö, jonka tuotanto on tarkoitus aloittaa toimeksiantajan tuontantotiloissa Leppävirralla. Vaikka yrityksellä oli jo ennestään kokemusta säiliöiden hitsaamisesta roboteilla, oli prosessi suunniteltava osittain uudelleen säiliön rakenteissa tapahtuneiden muutosten takia.

1.3 Tavoitteet

Työn tavoitteena oli suunnitella ruostumattomasta teräksestä valmistetun säiliön robotisoitu hitsausprosessi kokonaisvaltaisesti, millä tässä yhteydessä tarkoitetaan tutkimusprosessia, joka perehtyy säiliön valmistukseen niin suunnittelun, automaation kuin metallurgian näkökulmasta.

1.4 Toteutus

Työ toteutettiin Savonia-ammattikorkeakoulun tiloissa Kuopiossa. Hitsaus suoritettiin Savonian hitsauslaboratoriossa sijaitsevaa Almega AX-V6 -robottia käyttäen. Työ aloitettiin keväällä 2014 ja saatiin valmiiksi syksyllä 2014.

2 RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN HITSAUS

2.1 Hitsauslisäaineet

Ferriittisiin teräksiin olisi suositeltavaa valita hitsauslisäaineeksi austeniittinen lisäaine, sillä vaikka ferriittisiä hitsauslisäaineita on olemassa, niiden sitkeysominaisuudet eivät vastaa austeniittisten lisäaineiden sitkeysominaisuuksia. Austeniittinen lisäaine kestää paremmin hitsausjännityksiä sitkeytensä vuoksi ja näin ollen vastustaa paremmin halkeilua tai säröilyä. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

Teräslaatu	Valmistusprosessit	
	Hitsauslisäaineet	Lämpökäsittely °C
4003	13 (L) tai 19 9 L	730
4016	18L Nb, 19 9L tai 23 12 L	800
4509	18 8 Mn, 19 9 L tai 23 12L	900
4510	18L Ti tai 19 9L	800
4512	18L Nb tai 19 9L	800
4521	19 12 3L tai 23 12 2L	850

Taulukko 1 Suositellut hitsauslisäaineet (Outokumpu 2011)

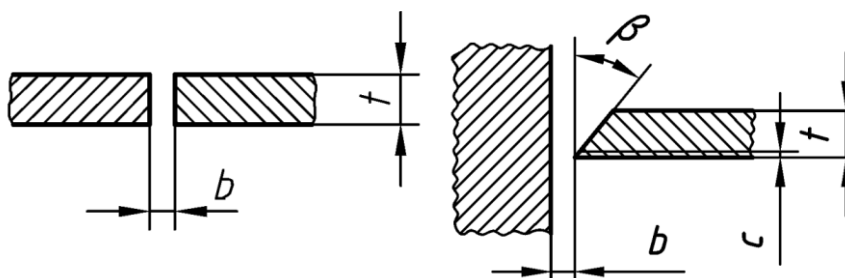
Tässä työssä hitsauslisäaineeksi valikoitui Elga Cromamig 308LSi. 308LSi on austeniittinen 19 9L lisäaine, jonka käyttötarkoitus on pääasiassa matalahiilisten austeniittisten terästen hitsauksessa. Se kuitenkin soveltuu myös käytettäväksi ferriittisten, titaanilla tai niobilla stabiloitujen, ruostumattomien terästen hitsaukseen. 308LSi on myös vastustuskykyinen yleistä korroosiota ja raerajakorroosiota vastaan. Lisäaineen sisältämä pii (Si) parantaa hitsisulan juoksevuuutta prosessin aikana. (Elga 2008.)

2.2 Juuren suojaus

Hitsaustapahtuman lämmittämä kuuma teräspinta reagoi ympäröivän hapen kanssa, joka aiheuttaa hitsiin ja sen lähialueille teräkseen hapettumista. Reaktioiden tuloksena teräkseen muodostuu paksu oksidikalvo yli 200 °C lämpötiloissa, joka on selvästi erotettavissa paljaalla silmällä. Tämän oksidikalvon takia teräkseen korroosionkesto pienenee huomattavasti. Hitsaustapahtuman yleislämpötilan ylittäessä reilusti tuon rajan oksidikalvon muodostuminen on lähes varmaa. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

Oksidikalvon laajuuteen ja sen muodostumisalttiuteen vaikuttavat monet tekijät. Ympäristötekijöistä hapettumisalttiuteen vaikuttavat ympäröivän ilman lämpötila ja sen happimolekyylit. Lisäksi hitsauksessa olennaiset asiat kuten hitsausparametrien oikeellisuus, juuren suojakaasun järjestelyt kuten suojauslaitteet, huuhtelut, kaasunvirtaus ja kaasun puhtaus vaikuttavat oksidikalvon muodostumisalttiuteen. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

Railomuodolla on myös merkitystä hapettumiseen. Tässä työssä käytettiin kahta eri railotyyppeä: puoli V-railoa päädyissä ja I-railoa säiliön vaipassa. Railomuodot ovat kuvattu kuvassa 1.



Kuva 1. Railomuodot (Hitsaus ja sen lähiprosessit 2013)

Tämänkaltaisen umpinaisen säiliön juuren suojaus kaasulla osoittautui kuitenkin liian vaikeaksi ja kalliiksi prosessiksi massatuotantoa ajatellen sekä säiliön tilavuus ja juureen käsiksi pääsemättömyys huomioiden. Tällöin päädyttiin hitsaamaan ilman juuren suojausta hitsausammattilaisten konsultation jälkeen. (Halonen 13-05-2014.)

3 HITSAUSPROSESSI

3.1 Menetelmäkuvaus

Säiliö hitsattiin molemmista päistään siten, että hitsejä tulee yksi yhtenäinen kumpaankin pätyyn. Hitsaus toteutettiin robotisoidusti MAG-hitsaamalla siten, että liike toteutetaan pyörittämällä säiliötä pituusakselinsa ympäri ja itse hitsausrobotti liikkuu sopivaan positioon ja on samaisessa positiossa koko hitsaustapahtuman ajan. Lisäksi säiliöön tuli yksi hitsi kylkeen, jolla vaippa liitettiin yhteen. Säiliön vaipan liitos toteutettiin kääntämällä säiliö siten, että itse liitos on koko hitsaustapahtuman ajan vaakatasossa säiliön sivun keskikohdassa. Itse hitsausliikkeen suorittaa robotti.

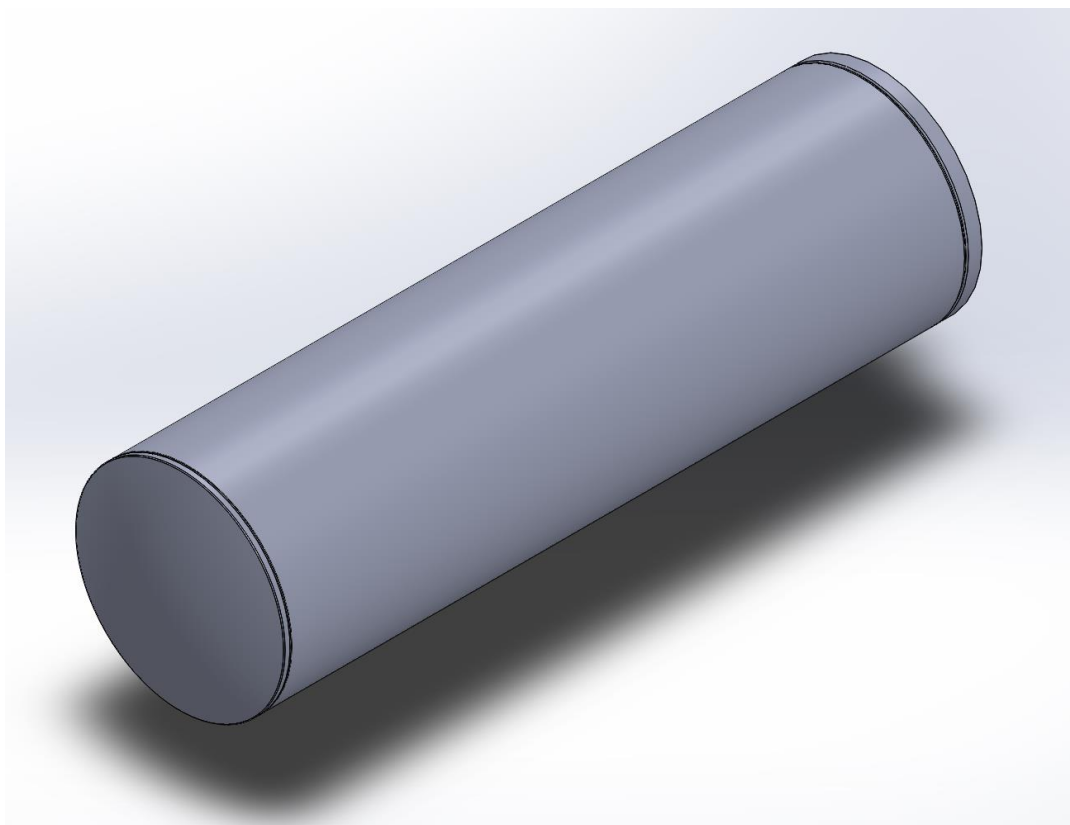
3.2 Vaihtoehtoisia liittämistapoja hitsaukseen

Opinnäytetyöhön kuului myös vaihtoehtoisten liittämistapojen ideoiminen, niin hitsaamalla kuin miettimällä tapoja, joilla säiliön voisi valmistaa ilman hitsaamista. Tässä luvussa on esitetty muutamia vaihtoehtoisia suunnitteluratkaisuja, joilla säiliön päädyn liitos voidaan toteuttaa robotilla hitsaten. Liitoksen toteuttamistavalla on suuri vaikutus säiliön valmistettavuuteen, kustannustehokkuuteen ja teknisiin ominaisuuksiin, kuten korroosionkestoon.

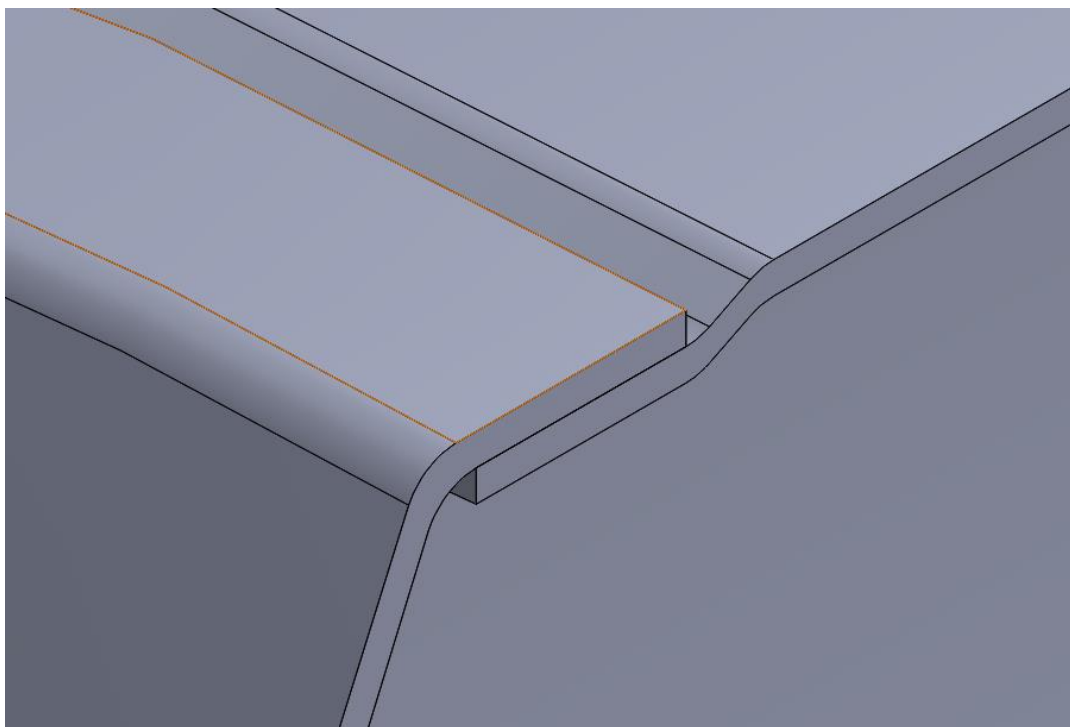
Valmistettavuudella tässä yhteydessä tarkoitetaan hitsattavuutta ja säiliön kokoonpanon helppoutta silloituksesta itse hitsaukseen.

3.2.1 Vaihtoehto 1

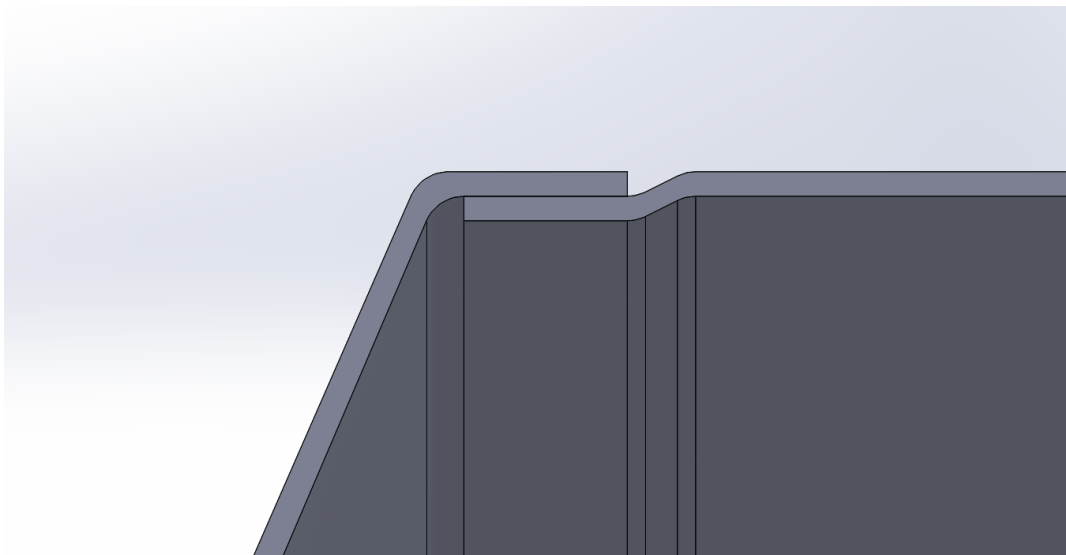
Tässä vaihtoehdossa säiliön rakenne lähdettiin toteuttamaan niin, että hitsiliitos tulisi säiliön ulkopintaan porrastetun päittäisliitoksen avulla. Tämä ratkaisu helpottaisi huomattavasti kiinnittimen suunnittelua, sillä säiliön kiinnitys voitaisiin toteuttaa ulkopinnasta kiinni pitäen. Edellämainittu kiinnitystapa mahdollistaisi säiliön osien tarkan ja nopean kiinnityksen, joka ei häiritse robottia tai hitsausprosessia. Lisäksi liitostavalla on muitakin etuja alkuperäiseen rakenteeseen nähden, näitä ovat esimerkiksi luonnollisempi hitsausasento robotille sekä siistimpi ja laadukkaamman oloinen ulkonäkö yhtenäisemmän rakenteen myötä (Kuva 1). Liitostapa muodostaisi säiliön ulkopinnalle puoli-v railon tai jopa pienahitsin, mikäli vaipan pokkaus toteutetaan huomattavasti kuvissa 2 ja 3 esitettyä vaihtoehtoa loivemmin.



Kuva 2. *Vaihtoehto 1 yleiskuva*



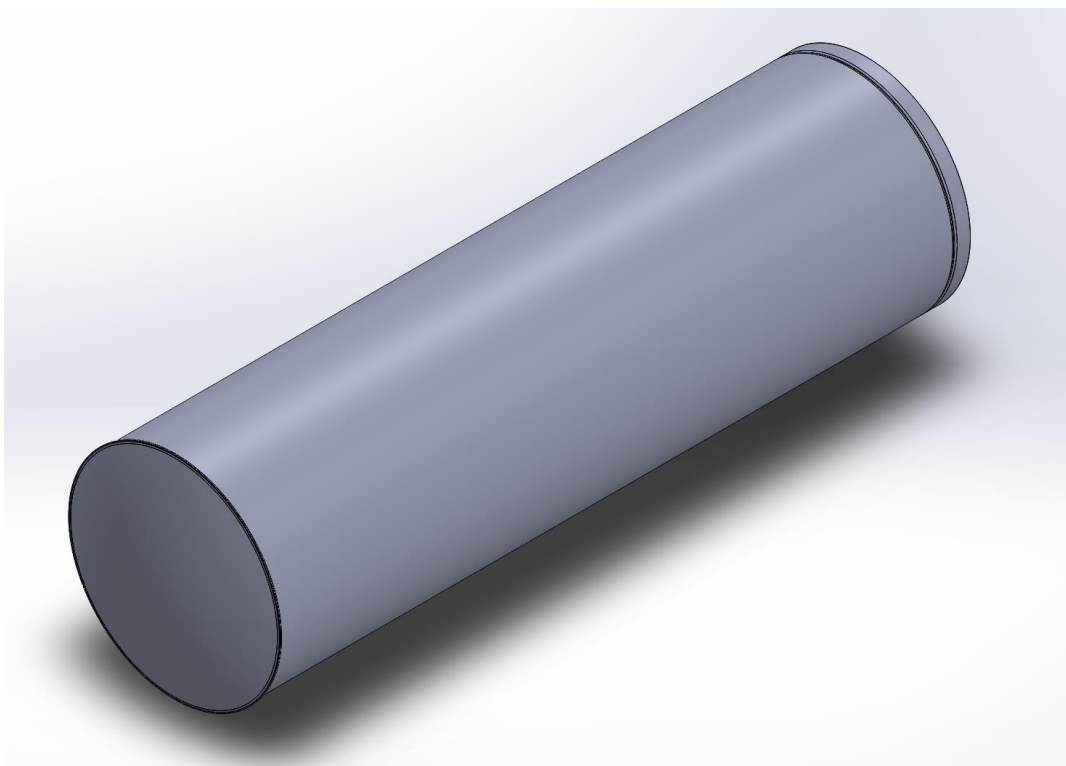
Kuva 3. *Liitos lähempää tarkasteltuna*



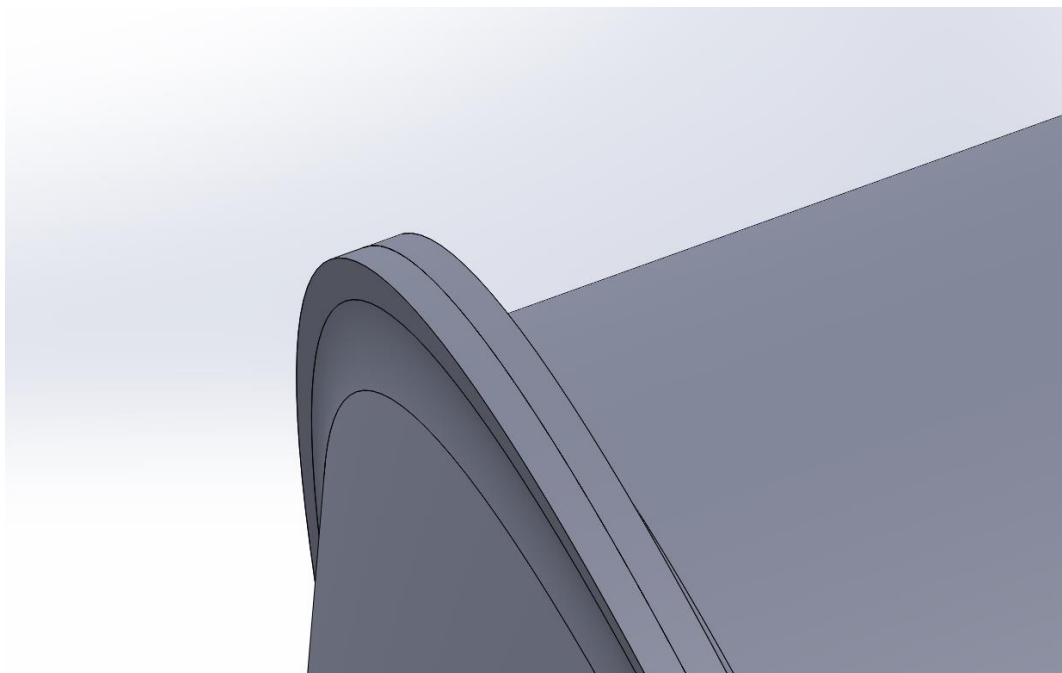
Kuva 4. Liitoksen poikkileikkaus.

3.2.2 Vaihtoehto 2

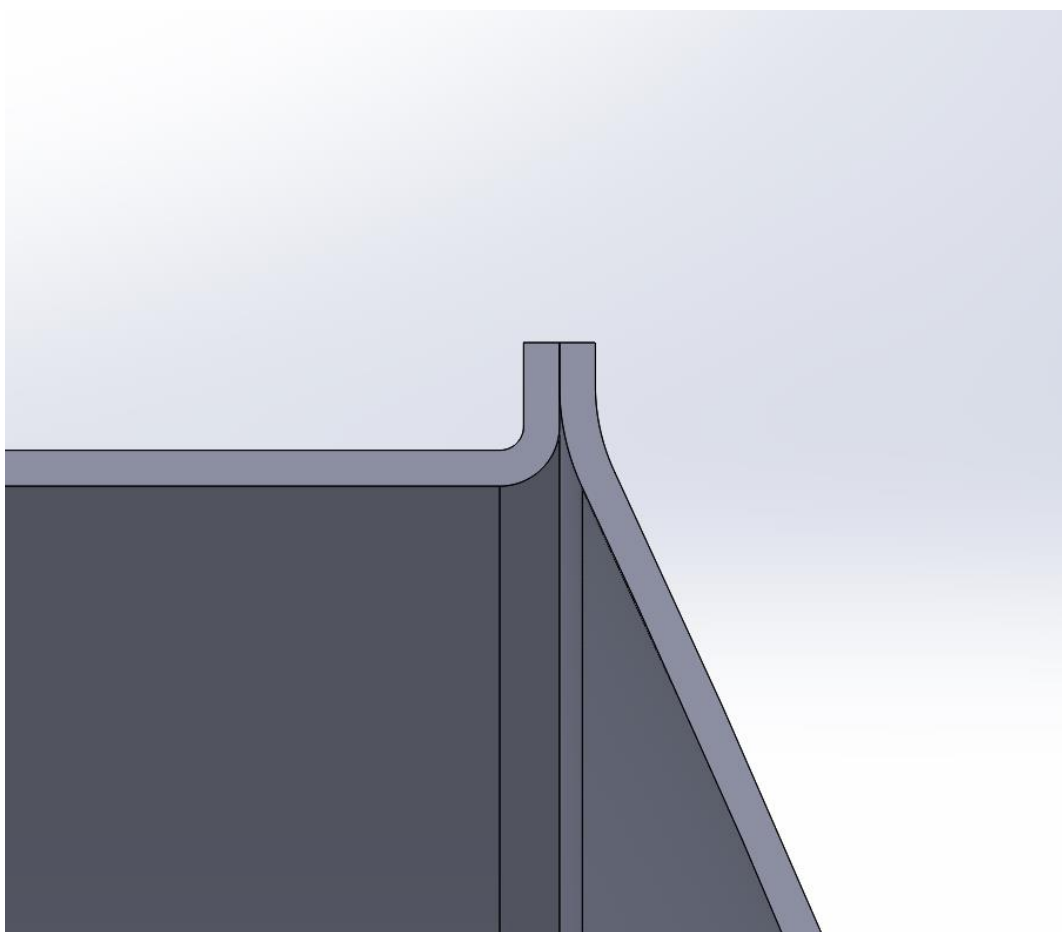
Tämän vaihtoehtoisen liitostavan idea sai alkunsa jo opinnäytetyön aloituspalaverissa yhdessä ohjaajan ja yrityksen edustajan kanssa. Säiliön rakenne poikkeaa myös alkuperäisestä (kuvat 4 ja 5). Rakenne on toteutettu niin, että säiliön vaippa on taivutettu päädystä 90° ulospäin. Myös säiliön päätykappale on taivutettu ulospäin vastaamaan vaipan rakennetta, kuten kuvasta 6 voidaan huomata. Koottuna vaippa ja päätykappale muodostavat liitoksen, johon voidaan toteuttaa reunahitsi, mikä mahdollistaa suuremman hitsausnopeuden ja helpomman hitsausasennon.



Kuva 5. Vaihtoehto 2 yleiskuva.



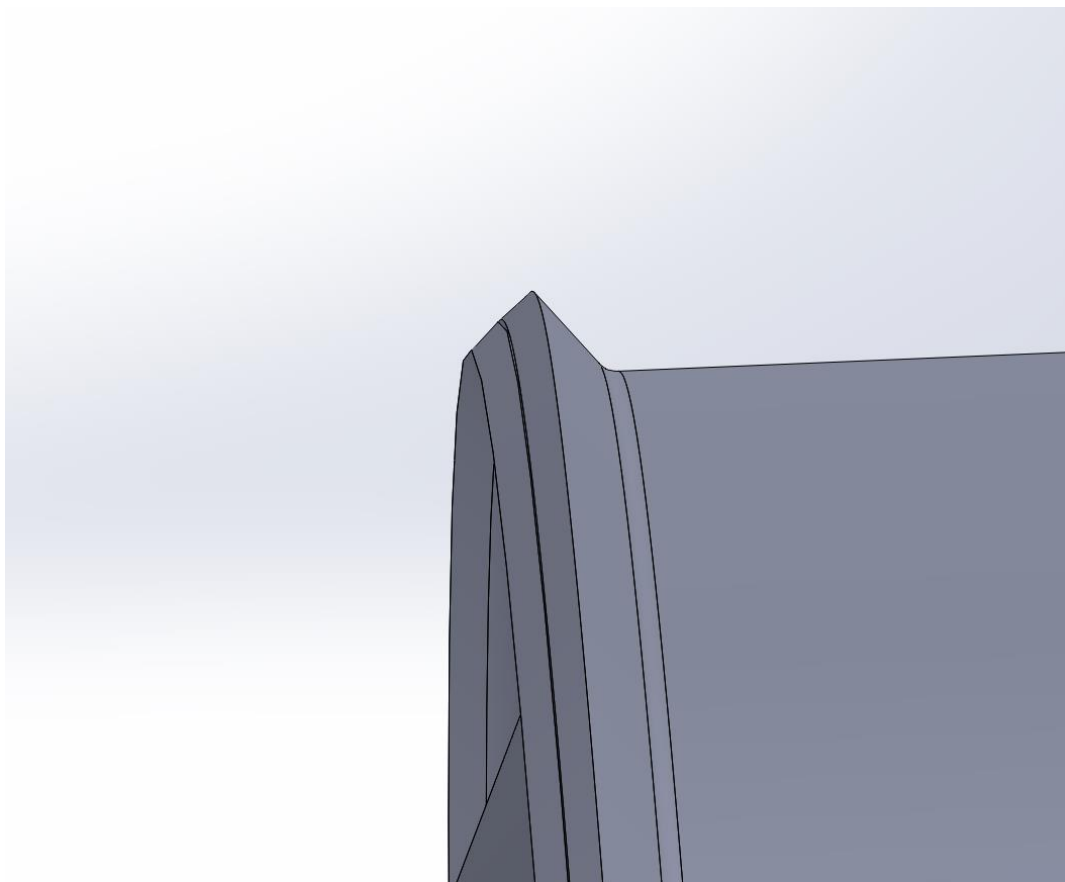
Kuva 6. Liitos lähempää tarkasteltuna



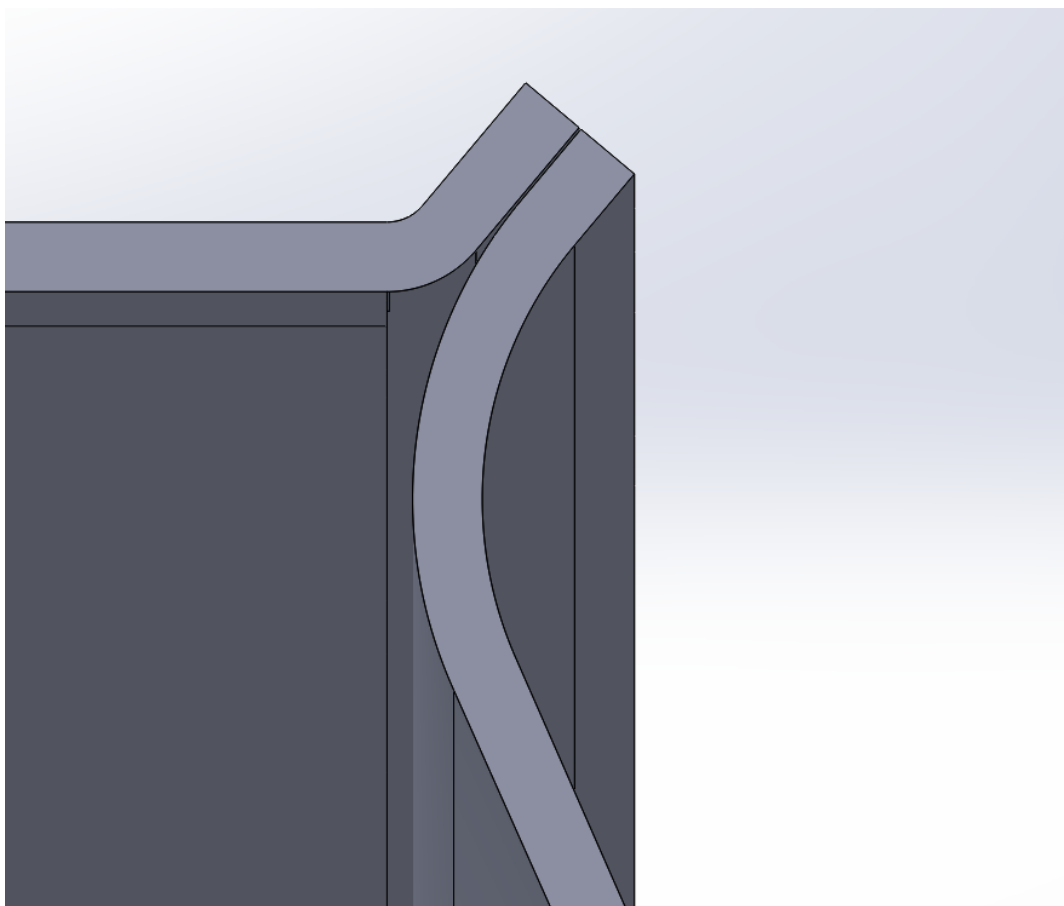
Kuva 7. Liitoksen poikkileikkaus.

3.2.3 Vaihtoehto 3

Kolmannessa vaihtoehdossa vaippa on taivutettu 135° kulmaan ja päädyn vastinkappale on vedetty mutkan kautta samansuuntaiseksi vaipan kautta. Tämän vaihtoehdon hitsaustekniset hyödyt ovat samat kuin vaihtoehdossa 2, mutta rakenteen muoto on ns. itsekeskittävä ja helpottaa huomattavasti säiliön silloitusta.



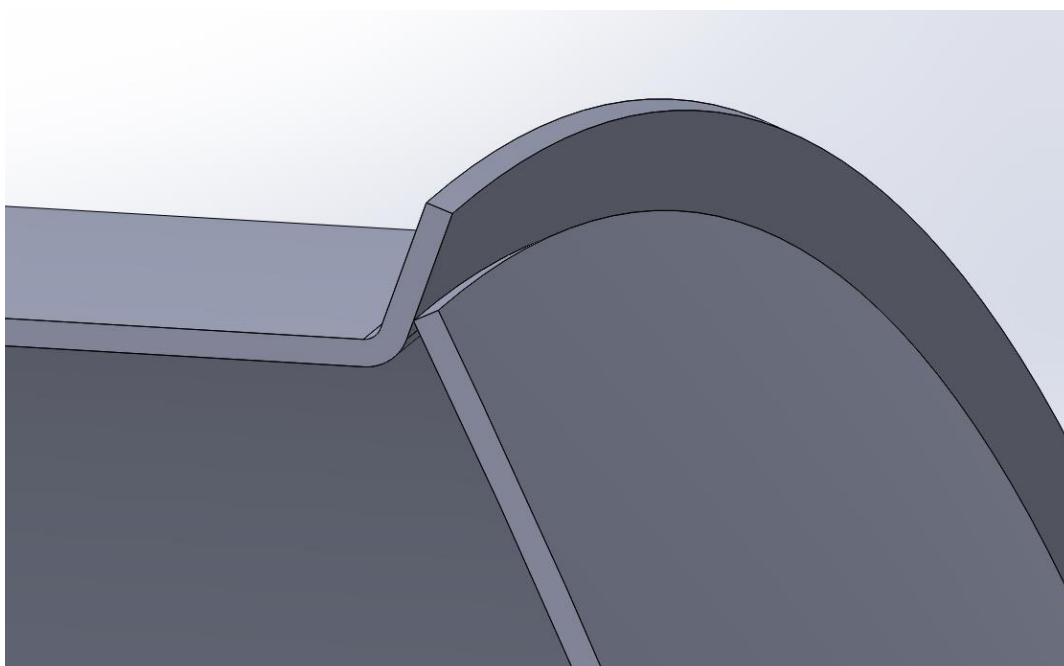
Kuva 8. Yleiskuva



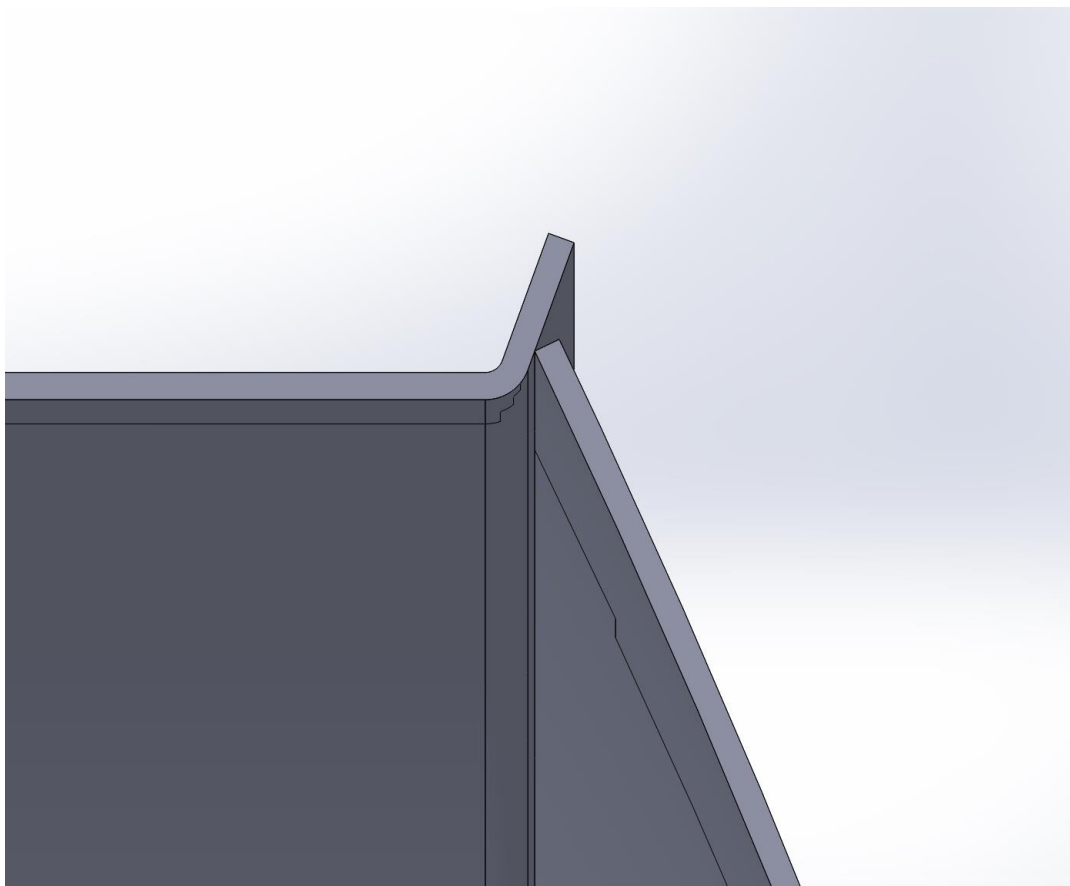
Kuva 9. *Poikkileikkaus*

3.3 Päädyn lopullinen liitostapa

Lopullinen liitostapa muistutti huomattavasti kolmatta vaihtoehtoa, mutta päätykappaleen taivutus on erilainen reunoilta. Liitostavan muutoksen avulla kappaleeseen muodostuvaa railoa saatiin avonaisemmaksi. Tällöin valokaari suuntautuu huomattavasti helpommin railon keskiosaan, eikä hitsi ole niin ehdottoman tarkka valituista hitsausarvoista.



Kuva 10. *Yleiskuva*

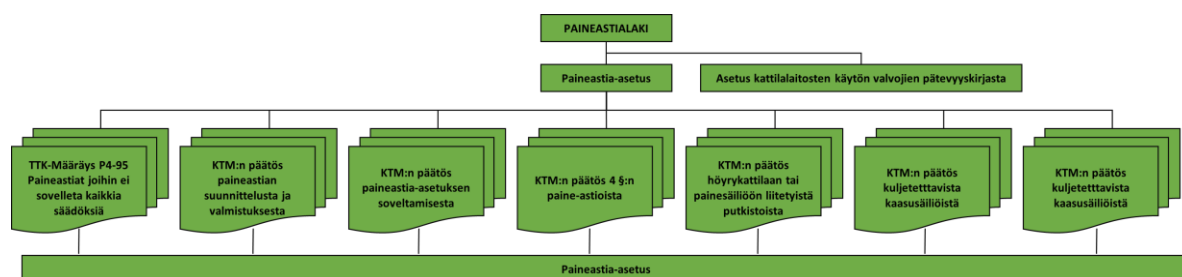


Kuva 11. *Liitoksen poikkileikkaus.*

4 PAINEASTIALAKI

4.1 Yleistä paineestialaista

Paineestialaissa (98/1973) määritellään yleiset käytännön veloitteet ja periaatteet niiden elinkaaren alusta loppuun, jolla tässä yhteydessä tarkoitetaan suunnittelua, valmistusta sekä valmiin paineestian sijoitusta ja käyttöä. Paineestialaki määrittelee myös säädökset astian tarkastuksista, valvonnasta ja rangaistuksista mikäli säädöksiä laiminlyödään. Laissa paineestiksi määritellään höyrykattila, painesäiliö, putkisto tai muu vastaava laite, johon kehittyä tai mahdollisesti kehittyä käytön aikana ilmakehää suurempi paine. Tällöin paineestiat voidaan lukea eräänlaisiksi energia-akuiksi, joiden vaurioituessa yllättäen, voi aiheutua ympäristölle suuriakin vahinkoja energian vapautuessa ja mahdollisen paineestian sisältämän haitallisen aineen yhteis- tai yksilövaikutuksesta. Mikäli astiassa käytetään ympäristölle, johon tässä tapauksessa luetaan kaikki astian lähiympäristössä olevat organismit, elottomat tai elolliset eliöt sekä muut rakenteet, haitallisia aineita, on sovellettava myös kemikaalilakia tai lakia räjähdysvaarallisista aineista. (Rautaruukki 1999.)



Kaavio 1. Paineestialain sisältö. (Rautaruukki 1999)

4.2 Paineestia-asetus ja valvontaviranomaiset

Paineestia-asetus määrittelee tarkemmin paineestialain soveltamisen. Asetuksessa määritellään paineestiat kolmeen kategoriaan: rekisteröitävät paineestiat, asetuksen 4§ mukainen yksinkertainen paineestia sekä paineestiat joihin ei sovelleta lain vaatimia periaatteita sen suunnittelussa, käytössä tai valmistuksessa. (Rautaruukki 1999.)

Paineestialain toteutumista valvoo Suomessa neljä viranomaistahoa:

- TUKES
- Ilmailulaitos
- Merenkulkuhallitus
- Säteilyturvakeskus

4.3 Lain edellyttämät tarkastukset

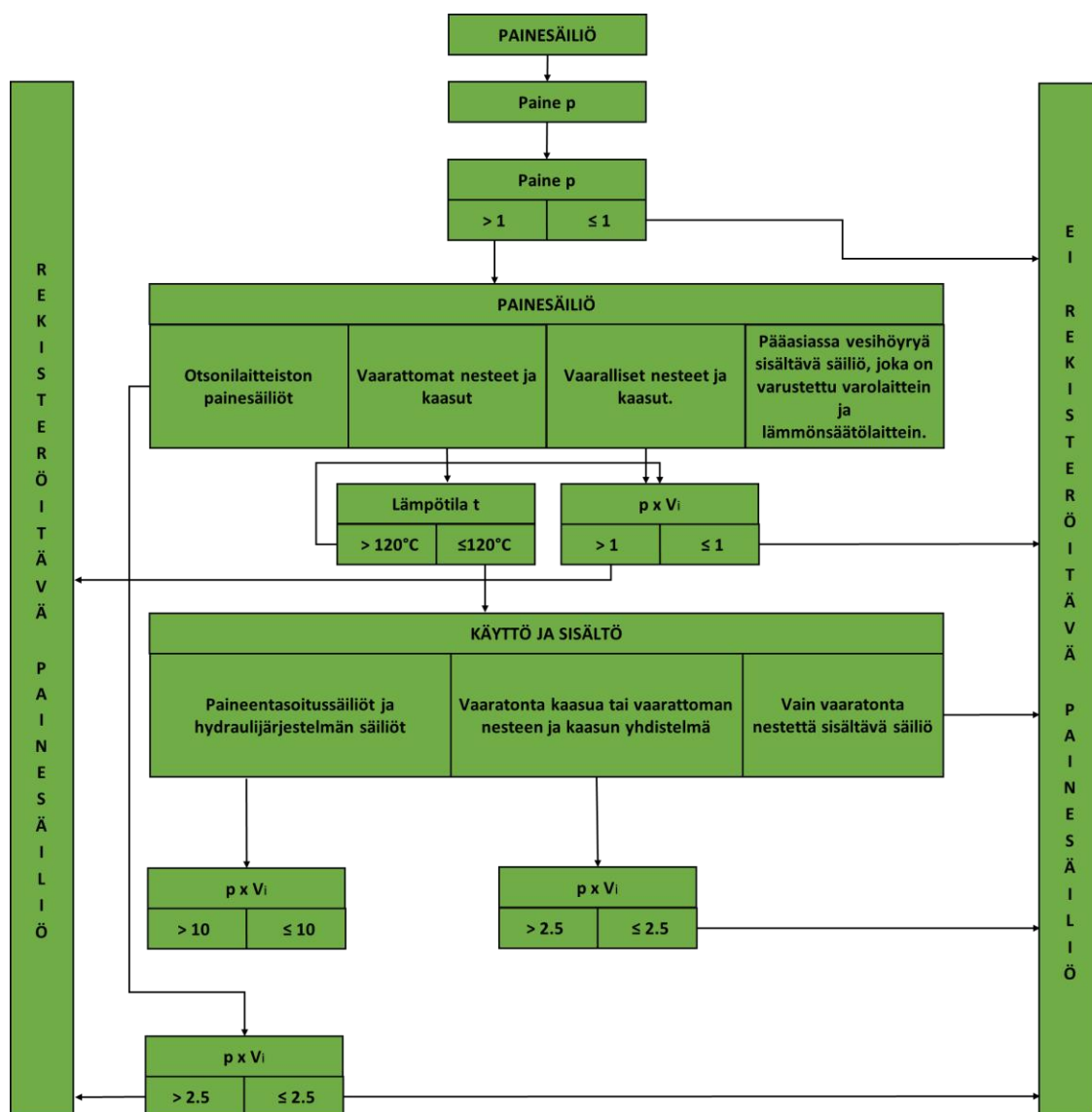
Asetuksen määäämät pakolliset tarkastukset paineastialle ovat

- Rakennesuunnitelman tarkastus
- Sijoitussuunnitelman tarkastus
- Rakennetarkastus
- Käyttöönottotarkastus
- Määräaikaistarkastukset
- Ylimääräiset tarkastukset

Paineastialaki edellyttää säännöllisiä tarkastuksia suunnittelu-, valmistus- ja käyttövaiheessa. Suunnitteluvaiheessa rakennesuunnitelman käy läpi ja hyväksyy ulkopuolinen tarkastuslaitos. Mikäli suunnitelma hyväksytään, on paineastian tuotanto mahdollista aloittaa. Valmistusvaiheessa tuotannon valvoja valvoo, että tuotannossa noudatetaan valmistussuunnitelmaa. Käyttöönottovaiheessa käydään läpi sijoitussuunnitelman toteutuminen, rakennetarkastus, laitteen varusteiden ja niiden toimivuuden tarkastuksen. Käyttöönottotarkistuksen suorittaa TUKES tai TUKESin hyväksymä ulkopuolinen tarkastaja tai tarkastuslaitos. Käytönaikaiset, säännölliset tarkastukset, suorittaa ulkopuolinen tarkastuslaitos. (Rautaruukki 1999.)

4.4 Lain soveltaminen

Käytännössä paineastialakia sovelletaan kaavion 2 mukaan. Tämän kaavion avulla voidaan havainnoida, täytyykö valmistettava säiliö rekisteröidä painelaitteeksi.



Kaavio 2. Paineastialain soveltaminen käytännössä. (Rautaruukki 1999)

Säiliö asennetaan käyttökohteeseen pystyasennossa, joten suurin rasitus säiliössä kohdistuu sen alapäätyyn. Laskemalla vesimassan pohjaan kohdistama rasitus, voidaan selvittää luokitellaanko lämminvesivaraajan säiliö painelaitteeksi. Laskemisprosessi aloitetaan määrittämällä kaavojen 1 ja 2 mukaisesti säiliön päädyn pinta-ala.

$$A_p = \pi \cdot 0.238^2 \quad (1)$$

$$A_p = 0.1779 \text{ m}^2$$

Pinta-alan jälkeen pystytään määrittämään säiliön tilavuus kaavan 2 avulla.

$$V = 0.1779 \text{ m}^2 \cdot 1.5 \text{ m} \quad (2)$$

$$V = 0.26685 \text{ m}^3$$

Tällöin pystytään saamaan veden massa kaavan 3 avulla sijoittamalla tilavuus ja veden tiheys kaavaan.

$$m = \rho \cdot V \quad (3)$$

$$m = 997.97 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.26685 \text{ m}^3$$

$$m = 266.4 \text{ kg}$$

Vesimassan pohjan muodostama paine saadaan sijoittamalla kaavaan 4 veden massa ja pohjan pinta-ala.

$$p = \frac{mg}{A} \quad (4)$$

$$p = \frac{266.4 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2}{0.1779 \text{ m}^2}$$

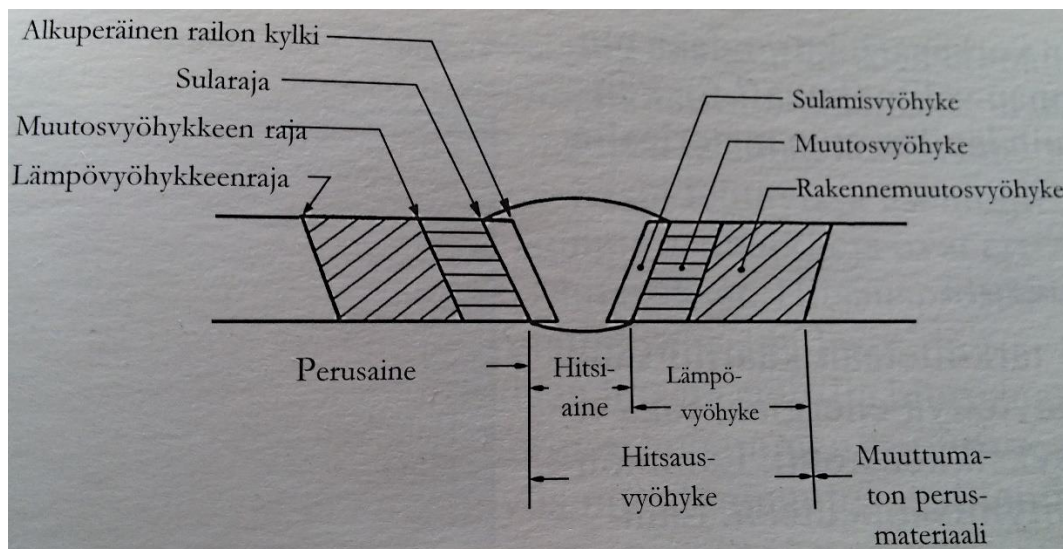
$$p = 14688 \text{ Pa}$$

$$p = 0.14 \text{ bar}$$

Tämän työn aiheena olevaa säiliötä ei tarvitse rekisteröidä paineastialain asetusten mukaisesti, sillä säiliöön ei muodostu yli 1 bar painetta. Paineastialaissa tästä 1 bar kynnyksestä on vähennetty ilma-kehän oma paine, mikä käytännössä merkitsee lain tarkoittavan 2 bar kynnystä rekisteröintiä varten. Lisäksi säiliön käyttölämpötila ei ylitä 120°C lämpötilaa ja se sisältää vaaratonta nestettä, vettä, jolloin sitä ei tarvitse rekisteröidä siinäkään tapauksessa, mikäli käyttöpaine ylittää kaksinkertaisen ilma-kehän paineen (1 bar). (Rautaruukki 1999.)

5 HITSAUKSEEN LIITTYVÄ METALLURGIA

Hitsaus on erittäin nopeakestoinen, sekunnin murto-osissa tapahtuva toiminta, jonka aikana materiaalissa tapahtuu useita eri muutoksia. Metalli lämpenee, sulaa ja hitsaustapahtuman loputtua jäähmettyy lopulliseen muotoonsa. Tapahtuman aikana hitsisula reagoi ympäristönsä kanssa sekä sulaa metalli mahdollisesti esiintyvän kuonan kanssa. Lisäksi sulamattomassa perusaineessa hitsin läheisyydessä tapahtuu muutoksia ja muodostuu jännityksiä hitsaustapahtumasta johtuneen lämmön takia. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys 2004.)



Kuva 12. Havainnekuva hitsiliitoksen rakenteesta ja sen eri vyöhykkeistä

Poikkileikkauskuvasta voidaan havaita valmiista hitsistä löytyvät eri vyöhykkeet. Hitsausvyöhyke käsittää yleisesti koko sen alueen mihin hitsi on aiheuttanut rakenteellisia ja fyysisiä muutoksia. Tämän vyöhykkeen uloin raja kulkee lämpövyöhykkeen rajalla, josta alkaa muuttumaton perusaine. Hitsausvyöhyke voidaan jakaa kahteen osaan, hitsiaineeseen ja lämpövyöhykkeeseen. Hitsiaine on koko liitoksen ydin ja se rajoittuu alkuperäisen railon reunoihin, tämä alue sisältää myös sulamisvyöhykkeen. Lämpövyöhyke on se perusaineen alue, jossa perusaineen kiderakenteen muutokset tapahtuvat. Lämpövyöhykkeeseen luetaan keskemällä hitsausvyöhykettä sijaitseva HAZ-alue, sekä rakennemuutosvyöhyke. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys 2004.)

Metallurgisesti kaikkein kiinnostavin osuus tapahtuukin hitsissä ja sen lähellä HAZ-alueella. Tämän alueen muutoksilla on vaikutusta hitsiliitoksen ja koko rakenteen mekaanisiin ominaisuuksiin, sen ulkonäköön ja korroosionkestoon.

5.1 Materiaalin taustatiedot

Säiliön perusmateriaaliksi yritys oli valinnut 1.4509 (EN) ferriittisen ruostumattoman teräksen. Kyseistä teräslaatua käytetään autoteollisuudessa putkistojen perusmateriaalina, elintarviketeollisuudessa sekä prosessiteollisuudessa. Laatua voidaan myös soveltaa arkkitehtonisiin installaatioihin. (Outokumpu 2009.)

EN	C	Cr	Mn	Ni	Ti+Nb	Fe
1.4509	0,02 %	18 %	-	-	0,60 %	~ %

Taulukko 2. Teräslaadun kemiallinen koostumus. (Outokumpu 2011)

1.4509 ominaisuuksiin kuuluvat matala hiili- ja typpipitoisuus, joka on nähtävissä taulukossa 2. 1.4509 on stabilisoitu titaanilla ja niobiumilla hitsattavuuden parantamiseksi. Titaanin ja niobiumin seostus teräkseen vähentää myös martensiitin muodostumista, jonka lisäksi titaani ja niobi estävät kromikarbidin muodostumista, jolla on heikko kyky vastustaa korroosiota. Kromikarbidit eivät pysty muodostamaan oksidikalvoa, joka suojaaa perusainetta korroosiolta raerajoilla. Tästä kromikarbidien ilmenemisestä raerajoilla käytetään nimitystä herkistyminen. (Outokumpu 2010.)

Stabilointi antaa teräkselle huomattavasti paremman hitsattavuuden kuin aikaisemman sukupolven ferriittisillä ruostumattomilla teräksillä. Ainoa hitsattavuutta fundamentaalisesti rajoittava tekijä onkin HAZ-alueella tapahtuva raekoon kasvu. Tällöin lämmöntuonnin on oltava mahdollisimman pientä. (Outokumpu 2010.)

Aikaisemmin lämminvesivaraajien säiliöt ovat valmistettu hiiliteräksestä, mutta vaihto ferriittiseen ruostumattomaan teräkseen tuo etuja niin korroosionkeston kuin pienemmän lämmönjohtavuutensa ansiosta. (Outokumpu 2011.)

Ominaisuudet	Hiiliteräkset	Ferriittinen RST	Austeniittinen RST
Magneettisuus	Kyllä	Kyllä	Ei
Lämpölaajeneminen [$10^{-4}/^{\circ}\text{C}$]	12	10-11	16
Lämmönjohtavuus	55	23-25	15
Alttius jännityskorroosiolle	Ei	Ei	Kyllä
Muokkauslujittuminen	Matala	Matala	Korkea
Takaisinjousto	Matala	Matala	Korkea
Syväveto-ominaisuudet	Erinomainen	Hyvä	Hyvä
Venytysmuovaus	Hyvä	Hyvä	Erinomainen
Leikkautuvuus	Hyvä	Hyvä	Keskiverto

Taulukko 3, Terästen ominaisuusvertailua (Outokumpu 2011)

5.2 Korroosio

Ruostumattomasta teräksestä valmistetuissa rakenteissa korroosion esiintymisen riski on suurin liitoskohdissa. Hitsiliitoksissa voi esiintyä erilaisia korroosimuotoja, joiden ilmenemismuoto riippuu hitsin ominaisuuksista (käytetyn lisäaineen sopivuus kohteeseen, hitsausvirheet) ja rakenteen käyttöympäristön olosuhteista. Hitsausliitoksessa voi esiintyä erilaisia korroosimuotoja, kuten yleistä korroosiota, pistekorroosiota, rakokorroosiota, raerajakorroosiota ja jännityskorroosiota. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

5.2.1 Yleinen korroosio

Yleinen korroosio hitsissä ja sen ympäristössä esiintyy yleisimmin silloin, kun perusaine ei ole tarpeeksi korroosionkestävä tai sen korroosionkesto riittää juuri ja juuri ympäristön asettamiin rasitukseen materiaalia kohtaan. Yleinen korroosio voi esiintyä niin hitsissä kuin perusaineessakin, mikäli seostus ei ole riittävä. Myös galvaaninen korroosio voi olla tämäntyyllisen korroosion aiheuttajana, mikäli perusaineen ja hitsin välille syntyy jalousero. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

Yleistä korroosiota pystytään parhaiten ehkäisemään perehtymällä perusteellisesti perusaineen ja hitsiaineen valintaan samalla huomioiden käyttöympäristön olosuhteiden rakenteelle aiheuttamat korroosiorasitukset. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

5.2.2 Piste- ja rakokorroosio

Piste- ja rakokorroosio ovat paikallisia korroosion muotoja, jotka ovat keskittyneet pienelle alueelle tai muutamaan kohtaan. Tässä korroosiolajissa oksidikerros on rikkoutunut paljastaen perusaineen. Syöpyminen tapahtuu pienessä pisteessä perusmateriaalin toimiessa anodina ja suuren passivoituneen pinnan toimiessa katodina. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys 2004.)

Ruostumattomissa teräksissä piste- ja rakokorroosion aiheuttajina toimivat lähinnä kloridi-ionit. Tämäntyyllisen korroosion riski kasvaa ympäröivän lämpötilan (käyttölämpötilan) kasvaessa. Lisäksi ruostumattoman teräksen hitseissä piste- ja rakokorroosioriskiä kasvattavat jälkikäsitteilyn puutteellisuus, hitsausvirheet ja rakenteelliset ongelmat. Rakenteelliseksi ongelmaksi tässä työssä voidaan luokitella säiliön sisäpuolelle jäävä rako, mikäli hitsin juuri epäonnistuu. Näiden lisäksi erkaumat hitsissä tai perusaineessa lisäävät korroosioriskiä. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

Piste- ja rakokorroosion ehkäisemiseksi oikealla materiaalinvalinnalla on suuri rooli. Ferriittisen teräksen korroosionkestävyyttä parantavat olennaisesti kromi, molybdeeni ja typpi. Näiden kolmen seosaineen pitoisuudesta voidaan päätellä PRE-luvun avulla teräksen vastustuskyky korroosiota vastaan. Suurempi PRE-luku tarkoittaa parempaa korroosionkestoa. PRE-luku lasketaan kaavan 5 mukaisesti. Tässä työssä perusmateriaalina käytetty 1.4509 ei sisällä molybdeeniä mutta sen korkea kromipitoisuus antaa jo yksistään korkean suojan piste- ja rakokorroosiota vastaan, mikäli hitsausprosessi onnistuu ilman syntyneitä hitsausvirheitä. Hitsin jälkikäsitteilyllä on myös suuri rooli korroo-

sion ehkäisyssä. Teoriassa hitsiliitos tulisi jälkikäsitellä mekaanisesti, mutta käytännössä ainoaksi käytännölliseksi vaihtoehdoksi jää säiliön peittäminen. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

$$PRE = 1 * \%Cr + 3.3 * \%Mo + 16 * \%N \quad (5)$$

5.2.3 Raerajakorroosio

Raerajakorroosio ilmenee nimensä mukaisesti raerajoilla, jonne on muodostunut liian suuren lämmöntuonnin takia kromikarbidien erkaumia, mikäli perusaineen hiilipitoisuus on korkea (>0,05%). Tätä ilmiötä kutsutaan herkistymiseksi, ja se ilmenee hitsin HAZ-alueella. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

Tässä työssä käytetyn teräksen hiilipitoisuus on hyvin matala, joten riski kromikarbidien muodostumiselle on hyvin pieni. Perusaineen ollessa kuitenkin ohutta on lämmöntuonti silti pidettävä alhaisena. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

5.2.4 Jännityskorroosio

Jännityskorroosio on hitsauksen aiheuttamien jännitysten ja ympäristöolosuhteiden aiheuttaman korrosiorasituksen kombinaatio. Rakenteessa olevat jännitykset voivat johtua sisäisistä tai ulkoisista voimista. Sisäisiä jännityksiä materiaaliin aiheutuu kylmämuovaamisen tai hitsauksen aikana. Ulkoiset jännitykset aiheutuvat esimerkiksi rakenteen kiinnityksistä tai paineesta. Jännityskorroosio ilmenee murtumina ja halkeiluna ja se huomataan yleensä vasta, kun on liian myöhäistä. Halkeamat etenevät nopeasti rakenteessa ja kulkevat rakenteen läpi raemurtumina. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys 2004.)

Jännityskorroosion paras ehkäisykeino on materiaalin oikea valinta. Jännityskorroosiota esiintyy lähinnä austeniittisillä ruostumattomilla teräksillä. Ferriittinen, tässäkin työssä käytetty, ruostumaton teräs on erittäin vastustuskykyinen rakororroosiota vastaan. Mikäli ferriittistä terästä ei ole mahdollista käyttää, voidaan jännityskorroosiota ehkäistä valitsemalla nikkelseosteinen tai austeniittis-ferriittinen duplex-teräs. Jännitystenpoistoehkutuksella voidaan myös pienentää jännityskorroosion riskiä. (Kyröläinen & Lukkari 2002.)

5.3 Hitsausenergia

Hitsaustapahtumassa käytettyä energiaa kutsutaan hitsausenergiaksi. Hitsausenergia voidaan laskea käyttäen kaavaa 6.

$$E = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000} \quad (6)$$

Kaavan muuttujat:

- U = Kaarijännite [v]

- I = Hitsausvirta [A]
- v = Hitsausnopeus [mm/min]

Hitsausenergian kaavasta saadaan tuloksena hitsin lämmöntuonti kertomalla se prosessikohtaisella hyötysuhteella (η):

$$Q = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000} \cdot \eta \quad (7)$$

Prosessi	η
MIG/MAG	0,8
Puikkohitsaus	0,8
Jauhekaari	1
TIG	0,6
Täytelanka	0,8

Taulukko 4, Esimerkkejä hitsausprosessien hyötysuhteista

Sijoittamalla päädyn koehitseissä käytetyt hitsausarvot kaavaan 7 saadaan käytetty hitsausenergia niille arvoille, joilla saimme parhaimman lopputuloksen koehitseissä. Hitsin lämmöntuonti saadaan seuraavasti:

$$E = \frac{23.6 V \cdot 170 A \cdot 60}{1100 \cdot 1000}$$

$$E = 0.21 \text{ kJ/mm}$$

$$Q = 0.21 \text{ kJ/mm} \cdot 0,8$$

$$Q = 0.175 \text{ kJ/mm}$$

Kyljen hitsissä lämmöntuonnin arvoksi saadaan samalla kaavalla 0,08 kJ/mm.

Laskettuja lämpöarvoja vertailemalla toiseen, Theseuksessa julkaistuun, opinnäytetyöhön (Anttila 2011) voidaan tehdä johtopäätöksiä siitä, miten tässä työssä käytetyt lämpöarvot skaalautuvat. Opinnäytetyössä (Anttila 2011) mainitaan kolme suuruusluokkaa laskennallisille lämmöntuonnin arvoille: pieni lämmöntuonti 0.15 kJ/mm, keskisuuri lämmöntuonti 0.23 kJ/mm sekä suuri lämmöntuonti 0.35 kJ/mm. Työn laskennallinen lämpöarvo on kyljen hitsin osalta erittäin pieni ja päätyjen osalta pienen ja keskisuuren lämmöntuonnin välissä.

5.4 Rakenteessa esiintyvät jännitykset

Materiaalin altistuessa nopeasti hitsaustapahtuman aiheuttamalle rajulle lämpötilan muutokselle ja jäähtymiselle, se laajenee ja kutistuu lämpölaajenemisen seurauksena. Tällöin, lähinnä jäähtymisvaiheessa, hitsiin ja sitä ympäröivään alueeseen voi syntyä jännitteitä, jotka voivat aiheuttaa muodonmuutoksia. Hitsausjännitysten suuruus ja esiintymisalttius riippuu materiaalista, sen paksuudesta, hitsausympäristön olosuhteista, hitsausjärjestyksestä, työlämpötilasta ja palkojen lukumäärästä. (Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys 2004.)

Koehitsauskappaleet olivat hyvin herkkiä jännitysten aiheuttamille muodonmuutoksille ohuen ainevahvuutensa ja koehitsauskappaleiden pienen fyysisen koon johdosta. Pienen kokonsa takia koekappaleet lämpenivät huomattavasti enemmän kuin itse säiliö. Itse säiliön kyljen hitsauksessa ei havaittu muodonmuutoksia, luultavimmin sen suuren pinta-alan ja rakenteellisen jäykkyytensä takia.

6 TYÖN TOTEUTUS

6.1 Työhön käytetty laitteisto

Hitsaus toteutettiin käyttäen OTC Daihen Almega AX-V6 -robottia. Kyseessä on kuusiakselinen niemenomaan hitsaukseen ja plasmaleikkaukseen suunniteltu nivelrobotti. Robotti on varustettu kääntöpöydällä, mikä mahdollistaa kappaleiden hitsaamisen käyttäen grillityyppistä jigä, jota tämän työn tekemiseen käytettiin.



Kuva 13. Hitsausrobotti ja kääntöpöytä. (Salmi 2010-06-13)

Robotti voidaan ohjelmoida etäohjelmointina tai opettaen. Tässä työssä ohjelmointi voitiin suorittaa opettamismetodilla, käyttäen käsiohjainta. Etäohjelmointia ja simulointia ei tarvittu yksinkertaisten liikeratojen takia.

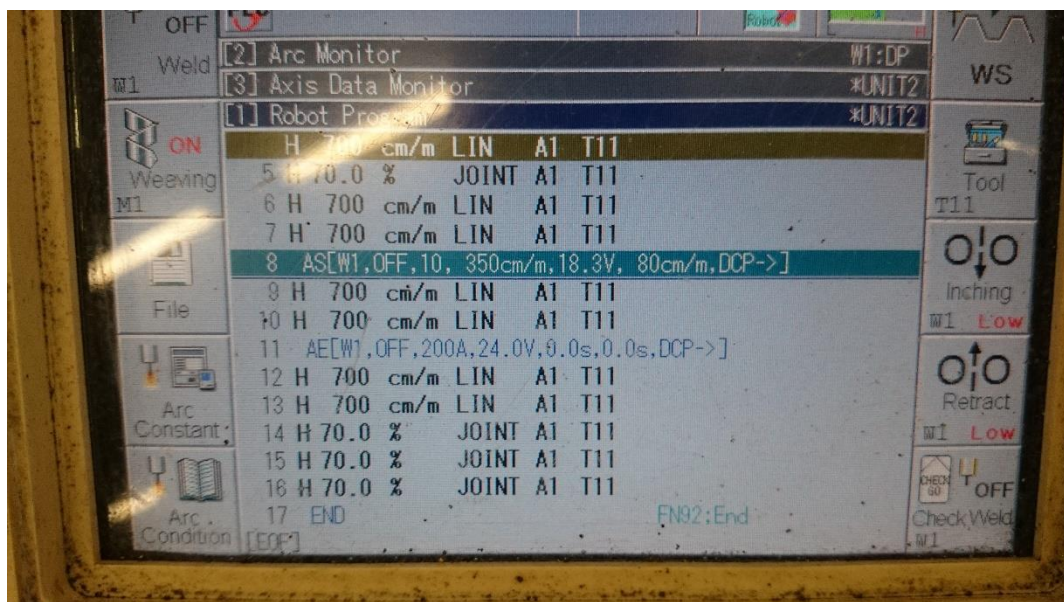
6.2 Robotin ohjelmointi

Robotin ohjelma voidaan luoda joko etäohjelmointina tietokoneella tai käsiohjelmointina. Etäohjelmoinnissa valmista ohjelmaa voidaan simuloida koneella ja tehdä törmäystarkastelut. Etäohjelmoinnin edut tulevat esiin monimutkaisempia ohjelmia ja liikeratoja luodessa ajansäästön muodossa.

Käsiohjelmoinnilla robotin ohjelma luodaan sen ohjauspendantissa paikan päällä. Ohjelman luominen tapahtuu yksinkertaisimmillaan siten, että robottia liikutellaan pendantin avulla pisteeseen, joka talletetaan ohjelmaan omaksi rivikseen ja toistetaan prosessi niin monta kertaa kuin tarvittavia pisteitä on.



Kuva 14. Ohjauspendantti. (Salmi 2010-06-13)

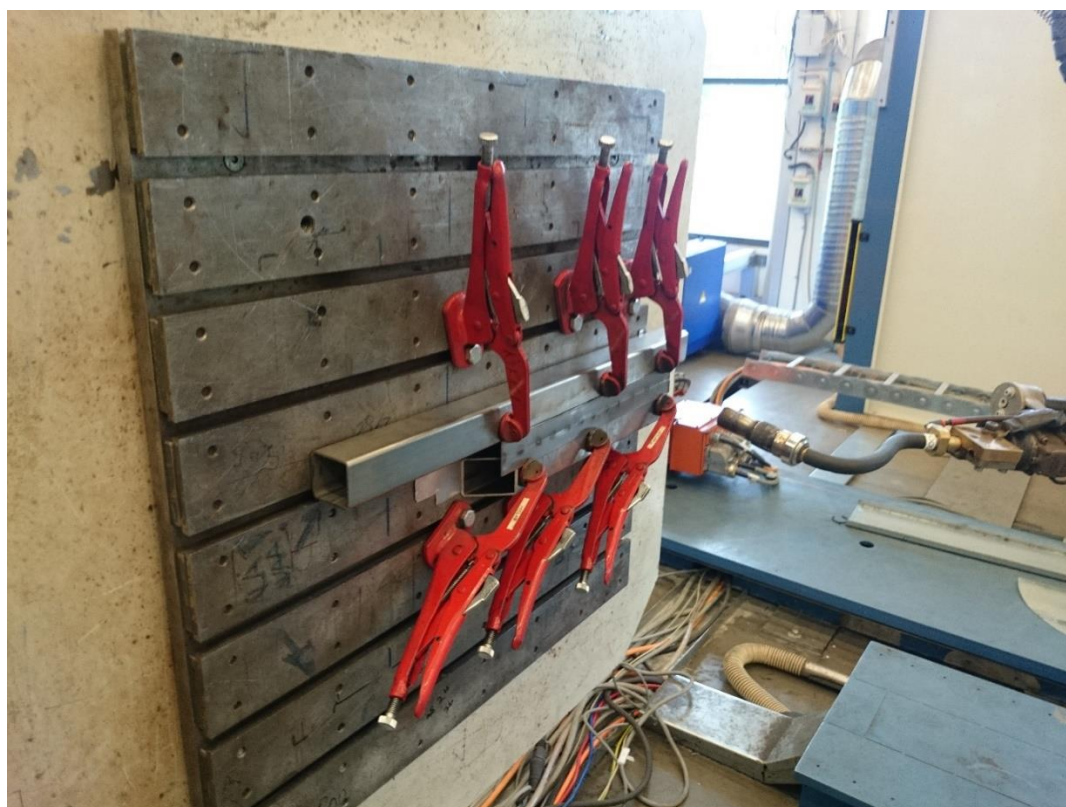


Kuva 15. Esimerkki ohjelmasta. (Salmi 2010-06-13)

Esimerkin kuvassa nähdään, miltä valmis ohjelma näyttää käsiohjaimen ruudulla. Kohdat 1-7, 9-10 ja 12-16 ovat tallennettuja liikeradan pisteitä. Näillä riveillä 70% ja 700 cm/min ilmaisevat nopeutta ja LIN ja JOINT liikkeen tyyppiä. Kohdassa 8 komennolla AS (Arc Start) aloitetaan hitsaus annetuilla parametreillä, joita esimerkin tapauksessa tärkeimmät ovat langansyöttö 350 cm/min, kaarijännite 18.3 V ja hitsausnopeus 80 cm/min.

6.3 Koehitsaukset

Koehitsauksilla lähdettiin hakemaan suurpiirteisiä arvoja, joilla säiliö hitsattaisiin. Koehitsit suoritettiin useampaan kappaleeseen, jotka koostuivat kahdesta yhteen silloitetusta luiskasta. Luonnollisesti koehitsauskappaleet olivat samaa materiaalia säiliön kanssa. Kaikissa hitseissä käytettiin 10 mm vaalankaa. Koehitsauskappaleita valmistettiin kahta eri mallia, joilla pyrittiin simuloimaan kyljen ja päädyn erilaisia hitsejä.



Kuva 16. Ensimmäinen koehitsaus. (Salmi 2010-06-13)

Ensimmäisissä koehitsauksissa lähdettiin hakemaan arvoja kyljen I-railolle, jonka hitsaus toteutettiin vaaka-asennossa. Ilmarako minimoitiin ja polttimen suunta asetettiin n. 15° kulmaan ylöspäin läpialamisen ehkäisemiseksi ja sulan paremman hallinnan takia.



Kuva 17. Päädyn hitsausta simuloiva kappale. (Salmi 2010-06-13)



Kuva 18. Päädyn koekappaleeseen tehtyjä hitsejä. Kappaleessa on hitsattuna monta eri hitsiä. (Salmi 2010-06-13)

Päädyn koehitseissä polttimen asento suunnattiin siten, että railon molemmille reunoille tulisi yhtä suuri kulma. Kansankielellä voidaan puhua puolivälistä. Lisäksi robotti ohjelmoitiin siten, että hitsaustapahtuman aikana hitsattava kohta olisi koko ajan 45 asteen kulmassa alaspäin.



Kuva 19. Vapaalanka. (Salmi 2010-06-13)

6.4 Säiliön kiinnitys käsittelylaitteeseen

Säiliö kiinnitettiin käsittelylaitteeseen molemmista päistään. Moottoroidussa ja voimaa välittävässä päässä säiliö kiinnitettiin kolmieleukaiseen työstökoneen karaan, johon oli rakennettu sopivat kiinnityspisteet kääntöpöytää varten.



Kuva 20. Kääntöpöydän kiinnityspisteet. (Salmi 2010-06-13)



Kuva 21. Sorvipakka kiinnitettynä kääntöpöytään. (Salmi 2010-06-13)

Säiliön toisen pään kiinnitys tuotti ongelmia, sillä käsittelylaitteen vastakappaletta ei saanut siirrettyä tarpeeksi lähelle, jotta samanlainen kiinnitysratkaisu voitaisiin toteuttaa.

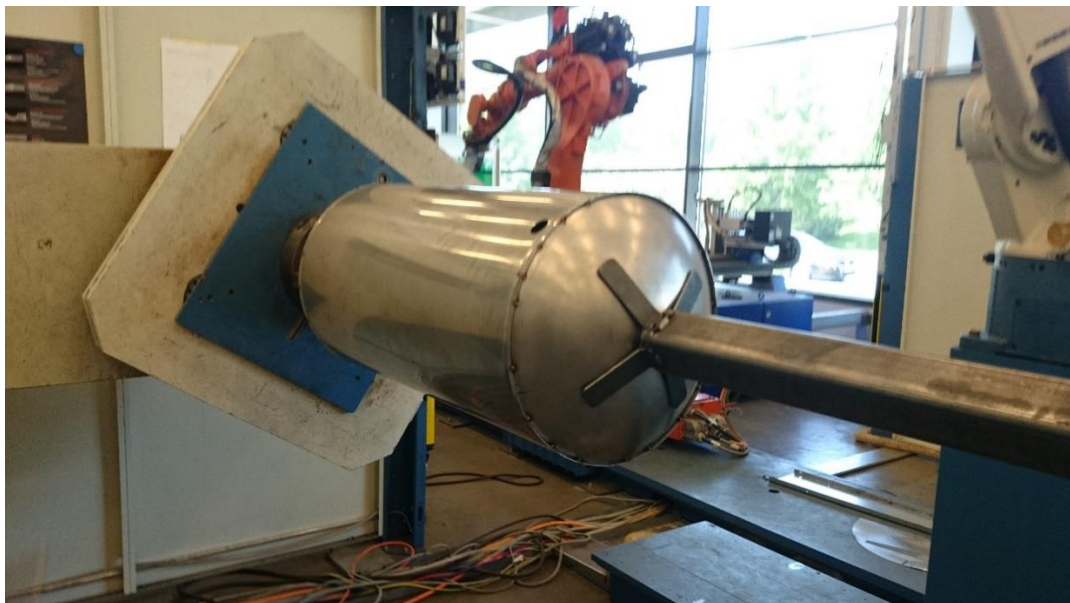


Kuva 22. Riittämätön säätövara. (Salmi 2010-06-13)

Säiliön kiinnitysratkaisua jouduttiin tällöin hieman improvisoimaan lisäämällä siihen 2 m pitkä 80x80 mm teräspalkki.



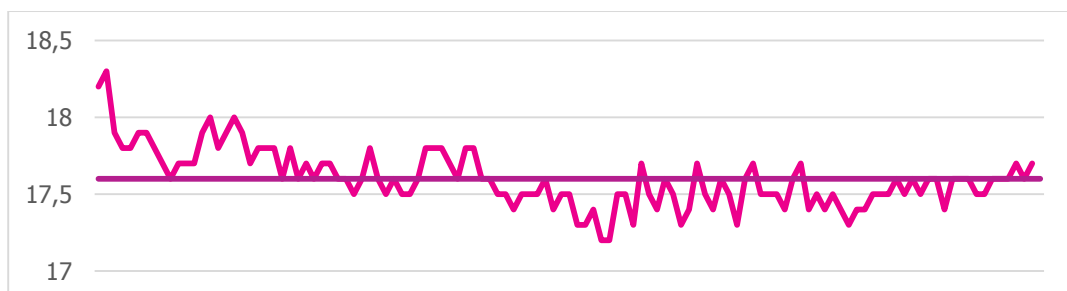
Kuva 23. Improvisoitu kiinnitin. (Salmi 2010-06-13)



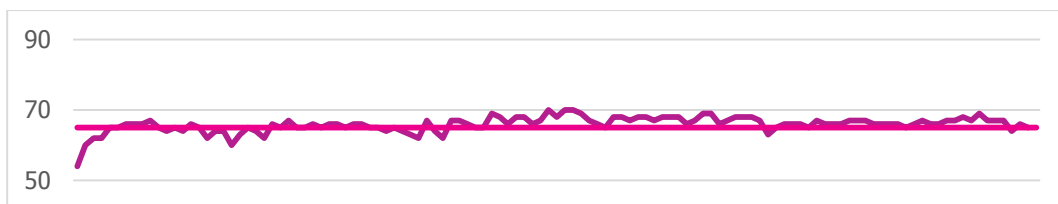
Kuva 24. Säiliö kiinnitettynä käsittelylaitteeseen. (Salmi 2010-06-13)

6.5 Säiliön hitsaus

Säiliön kaikki kolme hitsiä toteutettiin yhdellä ohjelmalla hitsausjärjestyksen alkaessa säiliön kyljestä jonka jälkeen hitsattiin molemmat päädyt.

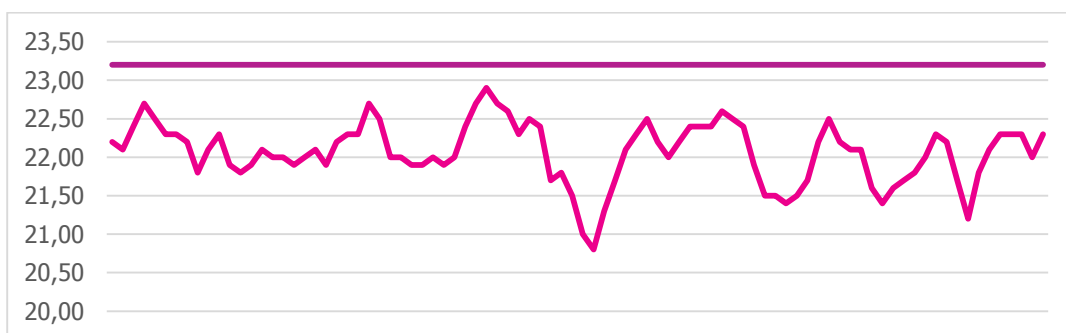


Kuva 25. Kyljen toteutunut ja pyydetty hitsausjännite



Kuva 26. Kyljen toteutunut ja pyydetty hitsausvirta.

Kyljen hitsissä arvot pysyivät hyvin vakaina hitsaustapahtuman alusta loppuun, mikä voidaan havaita kuvista 24 ja 25. Kyljen hitsissä käytetty hitsausnopeus oli 50 cm/min. Molemmissa kuvissa tummempi viiva kuvaa pyydettyjä arvoja ja vaaleampi mitattuja, todellisia arvoja.



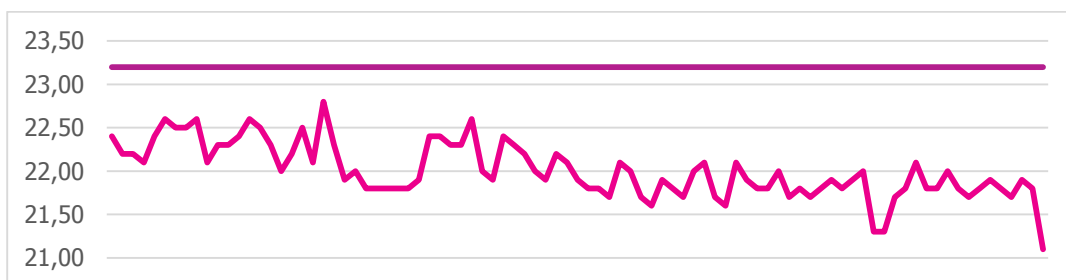
Kuva 27. Ensimmäisen päädyn hitsausjännite, pyydetty ja mitattu.

Ensimmäisen hitsatun päädyn hitsausjännitteet nähdään kuvasta 25. Tummempi, suora viiva kuvaa pyydettyä 23,2 V hitsausjännitettä ja vaaleampi toteutunutta, mitattua jännitettä.

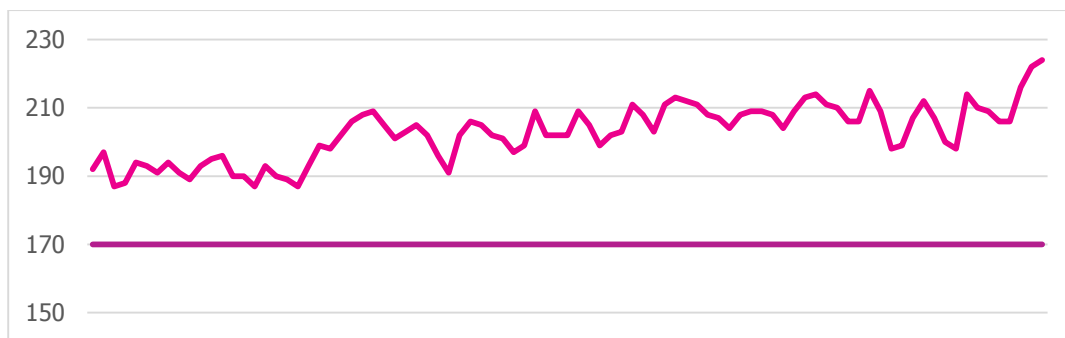


Kuva 28. Ensimmäisen päädyn hitsausvirta, pyydetty ja mitattu.

Kuvassa 26 on esitettyä puolestaan ensimmäisen päädyn hitsausvirta. Tummemmalla värillä piirretty esittää pyydettyä 170 A hitsausvirtaa ja vaaleampi toteutunutta, mitattua virtaa.

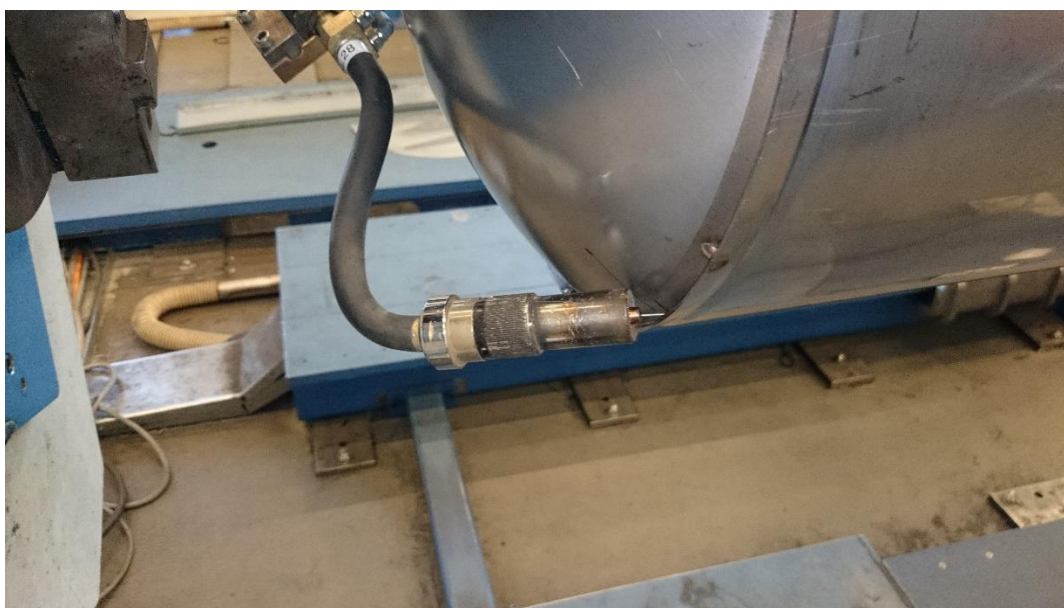


Kuva 29. Toisen päädyn hitsausjännite, pyydetty ja mitattu.



Kuva 30. Toisen päädyn hitsausvirta, pyydetty ja mitattu.

Myös toisen päädyn hitsausarvojen kuvaajista (kuvat 28 ja 29) voidaan huomata, etteivät pyydetyt arvot toteutuneet mitatuissa arvoissa. Pyydettyjen ja toteutuneiden arvojen suuri ero johtuu langan skaalauksen puutteesta yli 125 A arvoille. Langan skaalaamattomuuden takia toteutuneet hitsausarvot olivat yli 200 A, mikä johti hitsin läpipalamiseen ja katkonaisuuteen. Lisäksi railomuodon takia päädyissä valokaari pyrki hakeutumaan railon reunoille, ei keskelle. Kyljen hitsissä pyydetty arvo oli hyvin lähellä toteutunutta, sillä pyydetty hitsausvirta oli vain 65 A.



Kuva 31. Hitsauspolttimen asento. (Salmi 2010-06-13)

6.6 Tulokset

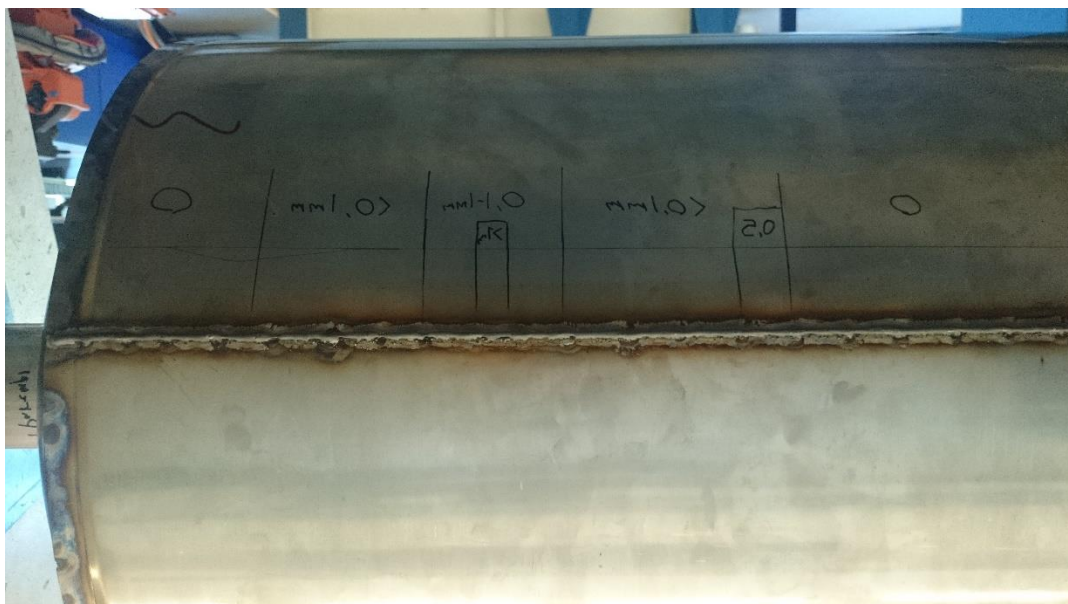
Tuloksina saatiin päädyistä epäonnistunut ja kyljistä melkein kelvollinen säiliö. Päädyn epäonnistumiseen vaikutti eniten liian suuri hitsausvirta, joka johtui langan skaalaamattomuudesta yli 125 A hitsausvirroille. Tällöin, pyydetessä robotilta 170 A hitsausvirtaa, todellinen, mitattu virta oli yli 200 A, joka aiheutti perusmateriaalin läpipalamisen ja epäonnistuneen hitsin.



Kuva 32. Päädyn hitsi. (Salmi 2010-06-13)



Kuva 33. Päädyn hitsi lähempää tarkasteltuna. (Salmi 2010-06-13)



Kuva 34. Kyljen hitsi. (Salmi 2010-06-13)

Kyljen hitsi oli suhteellisen onnistunut, mutta parannettavaa siinäkin oli. Kyljen hitsi oli yhtenäinen eikä läpipalamista ollut havaittavissa. Kyljen suurimmiksi hitsausvirheiksi muodostuivat roiskeet ja satunnaiset katkokset hitsipalossa. Kuvasta 30 ja 31 voidaan hyvin havaita hitsipalkojen katkonaisuus ja roiskeet. Hitsipalkojen katkonaisuutta esiintyi lähinnä alueilla, joissa railossa esiintyi ilmaraakoa, tällöin palkojen katkonaisuus tarkoittaa hitsisulan valumista syvemmälle railoon. Roiskeita voi ehkäistä muuttamalla hitsausparametrejä pienentämällä hitsausvirtaa.



Kuva 35. *Kyljen hitsi lähempää tarkasteltuna. (Salmi 2010-06-13)*

7 LOPPUPÄÄTELMÄT

Kokonaisvaltaisesti työ oli monimutkainen projekti, joka sisälsi hyvin paljon teorian tutkimista, uuden oppimista ja käytännön työskentelyä. Vaikeuksia kohdattiin matkan varrella hyvinkin paljon, mutta lopulta työ saatiin päätökseen.

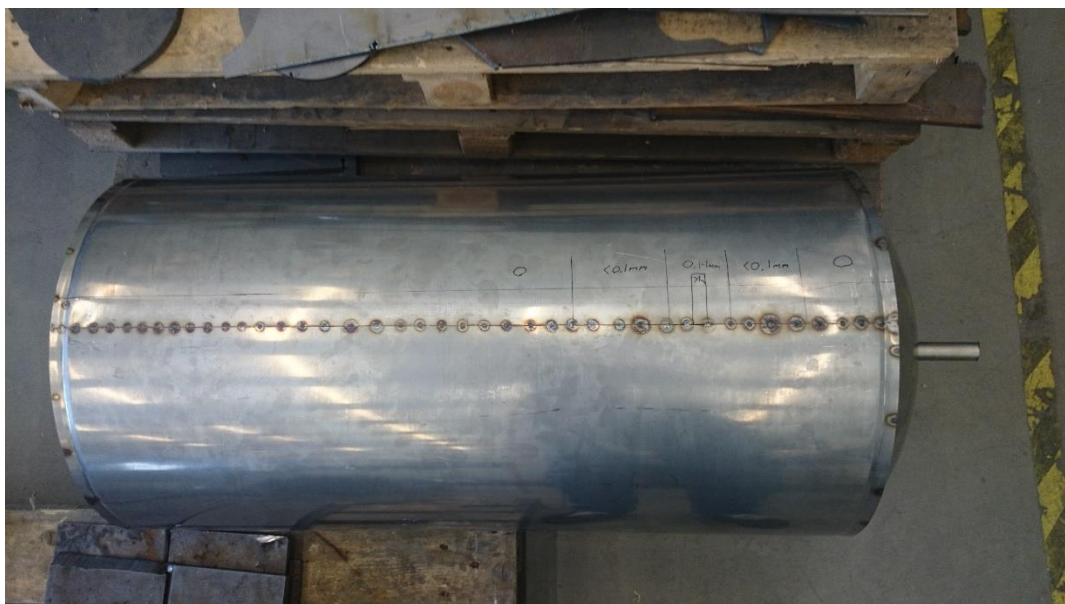
Säiliön valmistus aloitettiin silloituksella ja suorittamalla koehitsaukset. Jo koehitsauksissa tämän opinnäytetyön tekijä huomasi, ettei hitsaus ole kovin suoraviivaista ja yksinkertaista työtä. On monia asioita, jotka tulee ottaa huomioon ennen hitsausta, sen aikana ja sen jälkeen. Suurimpana kompastuskivenä oli säiliön kiinnitysratkaisun kehittäminen. Lopulta toimeksiantaja oli kehittänyt oman kiinnitysratkaisunsa ja Savonia-ammattikorkeakoulun tiloissa suoritetujen hitsausten kiinnitin jäi vain kertaluontoiseksi kiinnittimeksi.

Säiliön silloitus oli pitkäkestoinen prosessi, jossa ongelmat johtuivat lähinnä perusmateriaalin väärästä koosta. Aikaa kului sovittaessa kappaleita toisiinsa. Vaipan väärä koko ja päädyn epäkeskoisuus voidaan laskea esituotannollisiin ongelmiin, joista ei pitäisi tulla ongelmia kun varsinaiset tuotantokappaleet ovat valmistuksessa. Kuvassa 36 on esitetty säiliö kokonaisuudessaan silloitettuna.

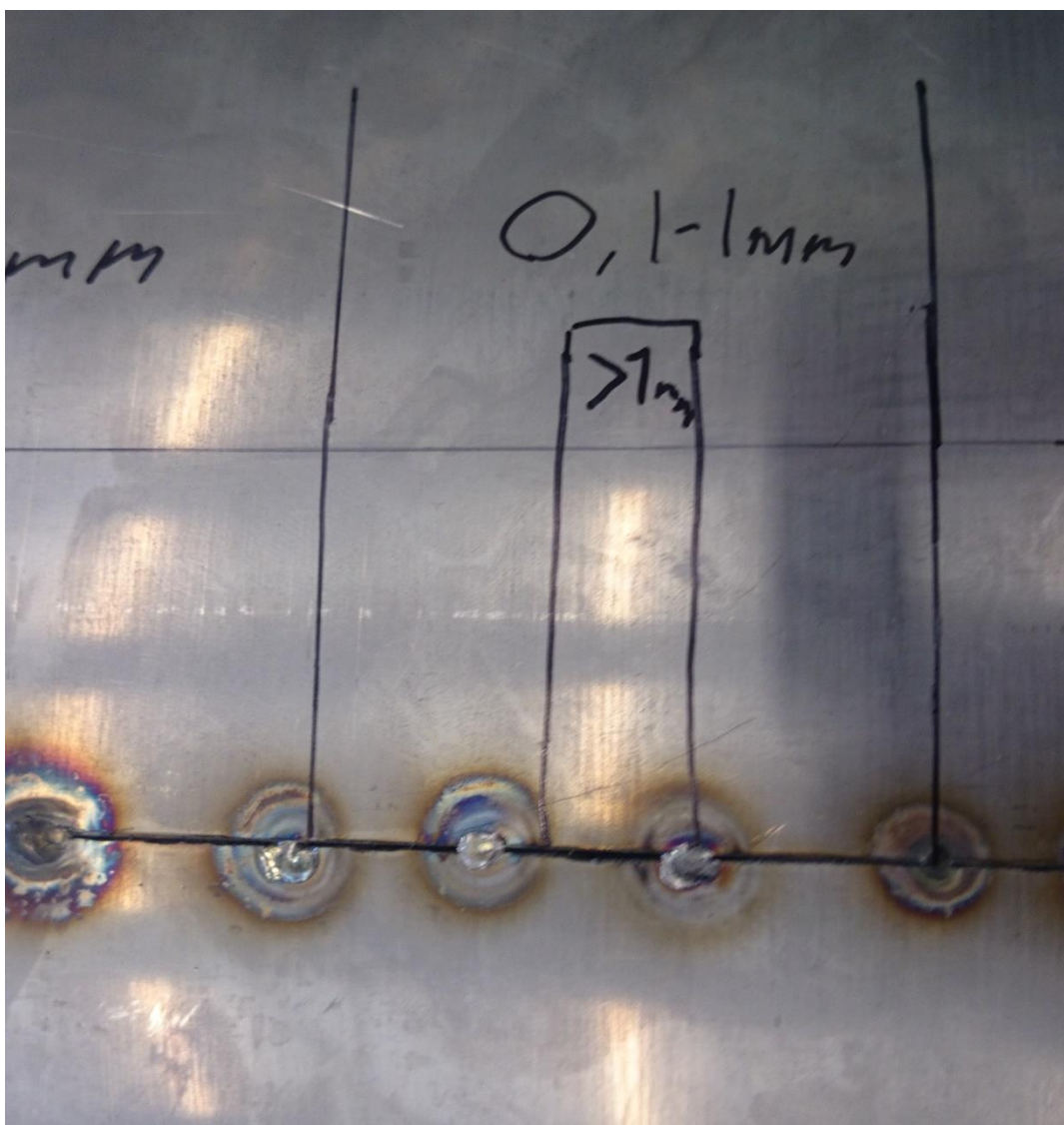
Säiliön vaippaa muokatessa vaipan hitsikohtaan muodostui pienelle matkalle ilmarakoa hitsin railoon, joka voidaan havaita kuvasta 37. Ilmaraon esiintyminen I-railo hitseissä on epätoivottavaa sillä se voi aiheuttaa hitsin läpipalamista. Esiintynyt railon ilmarako oli kuitenkin riittävän pieni yhdistettynä oikeisiin hitsausparametreihin. Läpipalamista ei siis kyljen osalta esiintynyt epäilyistä huolimatta.

Päädyn hitsauksessa ei vältytty ongelmilta. Vaikeuksia oli niin sulan hallinnassa kuin valokaaren pomppimisessa reunalta toiselle. Lisäksi hitsi paloi hyvin herkästi materiaalista läpi. Ratkaisuksi tähän ongelmaan päädyn ratkaisua on muutettu, jolloin railo muuttuu paljon avonaisemmaksi ja hitsaustapahtuma on hallitumpi. Lisäksi erilainen kiinnitysratkaisu päädyssä helpottaa säiliön silloittamista huomattavasti.

Säiliön hitsattavuutta parantaa huomattavasti päädyn hitsin railon muutos puoli-v railosta avonaisempaan. Tällöin hitsin valokaari käyttäytyy huomattavasti hallitummin. Lisäksi tässä opinnäytetyössä esitelty lopullinen kiinnitysratkaisu tuo silloitusvaiheeseen ajallista säästöä, mikä näkyy valmistuskustannuksissa pienempinä kuluina ja ajan säästönä.



Kuva 36. Säiliön kyljen silloitus ja ilmaraon esiintyvyys. (Salmi 2010-06-13)



Kuva 37. Rällon ilmarako laajimmillaan lähempää tarkasteltuna. (Salmi 2010-06-13)

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

KYRÖLÄINEN, Antero ja LUKKARI, Juha. 2002. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. MET.

SUOMEN HITSAUSTEKNILLINEN YHDISTYS. 2004. Hitsauksen materiaalioppi.

RAUTARUUKKI. 1999. Rautaruukin paineestiakäsikirja.

ELGA 2008. 308LSi Tuote-esite. Saatavissa:

<http://www.elga.se/consumables/product/search/?search=Cromamig%20308LSi>

OUTOKUMPU 2009. 1.4509 Tuote-esite. Saatavissa: <http://www.outokumpu.com/en/stainless-steel/grades/ferritic/14509/Pages/default.aspx>

HALONEN, Jussi 13-05-1014. Suosituksia hitsauslisäaineiden valintaan [sähköpostiviesti]. Liitteenä.

ANTTILA, Tuomas 2011. Ferriittisten ruostumattomien terästen hitsauksessa syntyvien mikrorakenteiden vaikutus lämpövyöhykkeen mekaanisiin ominaisuuksiin. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu.

Kone- ja Tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa:

<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201101201573>

SALMI, Juho 2010-06-13. Opinnäytetyön käytännön osuuden dokumentointi[digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.

HITSAUS JA SEN LÄHIPROSESSIT 2013. Railomuodot. Osa 1: terästen puikko-, metallikaasukaari-, kaasuhitsaus, tig- ja sädehitsaus. SFS-EN ISO 9692-1. Vahvistettu 2013. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys RY. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto.

LIITE 1: SUOSITUKSIA HITSAUSLISÄAINEIDEN VALINTAAN [SÄHKÖPOSTIVIESTI]

jussi.halonen@esab.fi

ti 13.5.2014 11:51

Vastaanottaja: Juho J Salmi <Juho.J.Salmi@edu.savonia.fi>;

Kopio: tuula.virta@esab.fi <tuula.virta@esab.fi>;

ä 1 liite

Marathon Pac esite -XA00098412.pdf;

Tähän voisi valita ruostumattoman stabiloidun MAG-hitsauslangan OK Autrod 430LNb.

- <http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=139772>

OK Autrod 430LNb



Kuvaus

Tekniset tiedot

OK Autrod 430LNb GMAW

OK Autrod 430LNb on Nb-stabiloitu 18%Cr-seosteinen ruostumaton hitsauslanka MAG-hitsaukseen. Se on tarkoitettu vastaavantyyppisten ferrittisten ruostumattomien terästen hitsaukseen. Tyypillinen käyttökohte on autojen pakokaasulaitteet, joissa vaaditaan hyvää kuumen- ja korroosionkestävyyttä.

Suojakaasu: seoskaasu M12 ja M13

Hitsausvirta
DC(+)

Normaalisti ei juurisuojaakaasua MAG-hitsauksessa käytetä, vaan lievä juurenpuolen hapettuma sallitaan. Se poistetaan mahdollisesti peittauksella.

Ja kun kyseessä on robottihitsaus, niin kannattaa harkita MarathonPac-tynnryipakkausten käyttöä, jolloin tuottavuus paranee.

Terveisin,
Jussi Halonen
Team Leader - Welding Consumables, ESAB Nordic Region
Direct tel. +358 500 319 280
E-mail: jussi.halonen@esab.fi
[www.esab.fi]www.esab.fi

OY ESAB, Konalantie 47 C, FIN-00390 HELSINKI, Finland
Reg.No: 0107758-7
Registered in Helsinki