

SUUNNITTELUOHJEEN LAADINTA KAARIHITSAUSMENETELMIN VALMISTETTAVILLE OHUTLEVYKENNOILLE

Jari Eiskonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) EISKONEN, Jari	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 02.05.2012
	Sivumäärä 58	Julkaisun kieli suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi SUUNNITTELUOHJEEN LAADINTA KAARIHITSAUSMENETELMIN VALMISTETTAVILLE OHUTLEVYKEN- NOILLE		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) MATILAINEN, Jorma, yliopettaja PARVIAINEN, Miikka, lehtori Jyväskylän ammattikorkeakoulu		
Toimeksiantaja(t) NIEMI, Ari, suunnittelupäällikkö Metso Paper Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tilaajana toimi Metso Paper Oy:n Rautpohjan yksikön puristinsuunnittelun osasto. Työssä tutkittiin erilaisten liitosmenetelmien soveltuvuutta paperikoneen vesilevystöinä käytettävien ohutlevykennojen valmistukseen. Lähtökohtana työlle toimi laserhitsausresurssien puuttuminen kun levystöt valmistetaan Kiinassa.</p> <p>Työn keskeisenä tavoitteena oli selvittää vaihtoehtoisten valmistustapojen vaikutus levystöjen korroosionkestävyyteen. Korroosio-ominaisuuksien lisäksi selvitettäviä asioita olivat valmistustavan muutokset levystöjen valmistettavuuteen ja lujuuteen sekä Kiinassa käytettävissä olevien resurssien hyödyntämismahdollisuudet.</p> <p>Tutkimuksessa edettiin käsittelemällä ensin ohutlevyille soveltuvia liittämismenetelmiä, minkä jälkeen menetelmiä tutkittiin korroosionäkökulmasta. Menetelmien kartoituksen jälkeen rakennetta tutkittiin valmistuksen näkökulmasta, ja siinä otettiin huomioon aiemmin esille tulleet seikat. Lopuksi liitoksia tutkittiin lujuusopin kannalta.</p> <p>Työn tuloksena syntyi suunnitteluohje, joka sisältää suosituksia menettelytavoista vaihtoehtoisten liitosmenetelmien suhteen. Merkittävimpänä tuloksena saatiin alulle levystöratkaisujen yhtenäistämiseen tähtäävä prosessi, jonka myötä viira- ja puristinosan levystöissä siirrytään käyttämään yhteisiä rakenteita. Liitosten mitoituksen suhteen päädyttiin jatkamaan olemassa olevien ohjeiden mukaan.</p>		
Avainsanat (asiasanat) ohutlevy, kennorakenne, vesilevystö, liitosmenetelmät, hitsien korroosio		
Muut tiedot		



Author(s) EISKONEN, Jari	Type of publication Bachelor's thesis	Date 02.05.2012
	Pages 58	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title DESIGN GUIDELINES FOR ARC WELDED SHEET METAL SANDWICH PANELS		
Degree Programme Mechanical Engineering		
Tutor(s) MATILAINEN, Jorma, Principal Lecturer PARVIAINEN, Miiikka, Senior Lecturer JAMK University Of Applied Sciences		
Assigned by NIEMI, Ari, Manager Metso Paper Oy		
Abstract <p>The client of the thesis was Metso Paper's press section design department at Rautpohja. The applicability of different kinds of stainless steel sheet metal joining methods, as an alternative to laser welding was studied. The lack of laser welding resources in China served as a basis for the study.</p> <p>One of the most essential goals of the study was to find out the corrosion properties of the alternative joining methods of the sheet metal sandwich panels. The manufacturability and the effects on the strength of the structure were also to be examined along with the resources available in China.</p> <p>The research was carried out by first determining the suitable joining methods after which they were examined in terms of corrosion resistance. In the next phase the manufacturability issues of the found methods were studied. Lastly the mechanical properties of the joints were examined.</p> <p>A document describing the design guidelines for the alternative joining methods was made as the result of the study. In the light of the findings the dimensioning of the joints was decided to leave as it is. One significant achievement was the start of a further development process which aims to combine the design of the sandwich structures in the wet end of the paper machine. This uniform design makes the further development of the structures easier and removes the need for many different design instructions.</p>		
Keywords corrosion of weldments, joining methods, sheet metal, stainless steel, welding		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTO	4
1.1	Opinnäytetyön taustat	4
1.2	Työn tavoitteet.....	5
1.3	Metso Paper Oy.....	5
2	OHUTLEVYKENNOT	6
2.1	Rakenne	6
2.2	Puristinosan levystöt.....	7
3	RUOSTUMATTOMIEN OHUTLEVYTERÄSTEN HITSAUS	9
3.1	Yleistä.....	9
3.2	Liitokset.....	10
3.2.1	Liitostyytit	10
3.2.2	Liitosten jaottelu.....	13
3.3	Hitsausmuodonmuutokset.....	15
3.3.1	Hitsausmuodonmuutosten syyt	15
3.3.2	Hitsausjännitysten ja muodonmuutosten pienentäminen	16
3.4	Hitsausprosessit	17
3.4.1	Yleistä ruostumattomien terästen hitsauksesta	17
3.4.2	Laserhitsaus	17
3.4.3	TIG-hitsaus	19
3.4.4	MIG/MAG-hitsaus.....	21
3.4.5	MAG-täytelankahitsaus	22
3.4.6	MMA-hitsaus.....	23
3.4.7	Juotto	24
3.5	Ruostumattomien terästen hitsattavuus	25
3.5.1	Yleistä hitsattavuudesta	25
3.5.2	Austeniittisten ruostumattomien terästen hitsattavuus.....	26
3.5.3	Duplex-terästen hitsattavuus.....	27
3.6	Hitsauslisäaineet	30
3.7	Hitsien korroosio	31
3.7.1	Yleistä korroosiosta.....	31

3.7.2	Paperikoneen korroosio-olosuhteet.....	32
3.7.3	Piste ja rakokorroosio	32
3.7.4	Raerajakorroosio.....	33
3.7.5	Jännityskorroosio.....	34
3.8	Hitsien jälkikäsittely	34
4	MUITA LIITOSMENETELMIÄ	35
4.1	Niittaus.....	35
4.2	Hybridiliittäminen	36
5	TYÖN ETENEMINEN	38
6	RAKENNETARKASTELU	39
6.1	Kiinassa suoritettavan valmistuksen erityispiirteet.....	39
6.2	Vesilevystöjen profiilit.....	40
6.3	Toteutustapojen vertailu.....	42
6.4	Levystöjen kuormitukset	43
6.5	Leikkausjännitysten määrittäminen.....	44
6.6	Hitsien mitoitus	45
6.7	Levykentän lommahdus	48
7	TULOKSET	50
7.1	Tulokset yleisesti	50
7.2	Suunnitteluohje.....	51
7.3	Jatkotoimenpiteet ja kehitysehdotukset.....	52
7.3.1	Toteutettujen levystöjen kunnon kartoitus	52
7.3.2	Yhteisen levystörakenteen kehittäminen märkään päähän.....	52
8	POHDINTA	53
	LÄHTEET.....	56

KUVIOT

KUVIO 1. Kennojen ydinten geometrioita	7
KUVIO 2. Kaksinippinen Metso OptiPress-konseptin puristinosa	8
KUVIO 3. Tyypillisiä puristinosa kenno rakenteita	9
KUVIO 4. Saumakehitys	11
KUVIO 5. Pienahitsin a-mitan muodostuminen	11
KUVIO 6. Tulppahitsin suoritus	12
KUVIO 7. Pistehitsauksen toimintaperiaate	13
KUVIO 8. Ohutlevyrakenteen laserhitsaus	18
KUVIO 9. TIG-hitsauksen periaate	19
KUVIO 10. MIG-pistehitsin suoritus	22
KUVIO 11. Tyypillinen MIG-pistehitsi pehmeässä teräksessä	22
KUVIO 12. MAG-täytelankahitsauksen periaate	23
KUVIO 13. Kaarihitsaus päällystetyllä hitsauspuikolla	24
KUVIO 14. Eri korroosionmuotojen esiintyminen hitsausliitoksissa	31
KUVIO 15. Laserhitsattu rakenne (hitsit kuvattu punaisiin viivoihin)	40
KUVIO 16. Ote viiraosan ohjapiirustuksesta, jossa on käytetty piena- ja tulppahitsejä (muokattu, mittoja poistettu)	41
KUVIO 17. Puristinosaalla käytössä olevia liitosmuotoja, jaloissa joko piena- tai tulppahitsi (muokattu projektipiirustuksesta)	41

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Ohjearvoja seostamattoman ja ruostumattoman teräksen TIG - pistehitsaukseen.	20
TAULUKKO 2. Paperikoneessa käytettävien austeniittisten ruostumattomien terästen PRE - luvut ja seosaineiden vähimmäispitoisuudet massaprosentteina	27
TAULUKKO 3. Leveysluokan vaikutus profiilin korkeuteen	44

1 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTO

1.1 Opinnäytetyön taustat

Ohutlevytekniikka on yleistynyt viime aikoina raskaassa konepajateollisuudessa. Ohutlevyistä valmistetuilla kennorakenteilla saavutetaan hyvät lujuusominaisuudet suhteessa rakenteen painoon. Paperikone on hyvä esimerkki kohteesta, jossa ohutlevykennojen hyödyt tulevat hyvin esille, sillä rakenteiden tukivälit ovat usein hyvinkin pitkiä. Tämän opinnäytetyön tilaaja, Metso Paper Oy, hyödyntää ohutlevykennorakenteita useissa paperikoneen osissa, kuten esimerkiksi suojaseinissä, vedenkeruulevystöissä ja hoitosilloissa.

Metso Paperin paperikoneissaan käyttämät ohutlevyistä valmistetut vedenohjauslevystöt on suunniteltu suurelta osin lasertekniikalla hitsattaviksi. Levystöt valmistetaan pääosin Suomessa, jossa Metso Paperilla on useita laserhitsausvalmiuden omaavia alihankkijoita. Osa kennorakenteisista levystöistä valmistetaan kuitenkin Kiinassa, jossa lasertekniikkaa hyödyntävien alihankkijoiden löytäminen on haastavaa tai mahdotonta valtion sisäisen kysynnän suurten volyymien vuoksi.

Lasertoimittajien puuttuessa joudutaan Kiinassa valmistettavat levystöt toteuttamaan niin sanotusti perinteisin menetelmin eli kaarihitsauksella. Menetelmän muuttuessa joudutaan myös suunnittelussa tekemään muutoksia vakioituihin ratkaisuihin. Tämä on johtanut moniin erilaisiin toteutuksiin, koska vaihtoehtoiselle valmistustavalle ei ole ollut yhtenäistä ohjeistusta. Vaihteleva toteutustapa on ristiriidassa tuotemalliajattelutavan kanssa, jossa pyritään vakioimaan eri komponentit niin, että selvittää mahdollisimman pienillä muutoksilla eri toimitusten yhteydessä. Toimintatavan yhtenäistämiseksi tulisi vakioida myös vaihtoehtoisella tavalla toteutettavat ratkaisut, jotta toimintaa voidaan kehittää järjestelmällisesti parempaan suuntaan.

1.2 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia erilaisia liitosmenetelmiä, joilla voidaan korvata laserhitsaus ohutlevykennorakenteissa. Menetelmäkartoituksessa tuli ottaa huomioon yleisesti ruostumattomille ohutlevyille soveltuvat menetelmät sekä Kiinassa käytävissä olevat resurssit. Tutkimuksen pohjalta tuli luoda suunnitteluohjeistus, mikä sisältää menetelmäsuosituksen ja liitosten mitoitusperusteet. Suunnitteluohjeen tarkoituksena on yhtenäistää vaihtoehtoisilla menetelmillä valmistettavien ohutlevytuotteiden suunnittelua ja näin ollen helpottaa suunnittelijan työtä.

Suunnitteluohjeen tuli olla mahdollisimman selkeä ja tiivis, jotta se palvelisi tarkoitustaan parhaalla mahdollisella tavalla. Rakenteen ja käytettävän liitosmenetelmän vaikutukset levystöjen korroosionkestävyyteen kuuluivat olennaisena osana suunnitteluohjeen laadintaan. Korroosio-ominaisuuksien lisäksi huomio tuli kiinnittää valmistuksellisiin seikkoihin sekä liitosten mitoitukseen.

1.3 Metso Paper Oy

Metso Paper Oy kuuluu Metso-konsernin massa-, paperi- ja voimantuotantosegmenttiin, jonka yhteinen liikevaihto vuonna 2011 oli 2 703 miljoonaa euroa. Segmentin liikevaihto jakautui asiakasteollisuuksittain seuraavasti

- paperi ja kartonki 59 %
- voimantuotanto 26 %
- massa 15 %.

Rautpohjan yksikkö

Rautpohjan yksikkö Jyväskylässä on Metso Paperin suurin toimipiste, joka työllistää tällä hetkellä noin 1600 henkilöä. Rautpohjan yli 50 hehtaarin tehdasalueella sijaitse-

vat paperi- ja kartonkikonetehtäät, teknologiakeskus, paperikoneiden huoltokeskus ja rautavalimo. Keskimäärin Rautpohjassa viedään läpi 20–30 paperikone- ja uusinta-projektia vuosittain. (Rautpohjan perehdyttämisopas 2011.)

Kiinan yksiköt

Kiina ja Aasian maat ovat suuri markkina-alue Metso Paperille. Kiinassa Metsolla on suunnittelu- ja valmistusresursseja Xi’anissa ja Shanghaissa. Yksiköt ovat rakenteeltaan verrattavissa Rautpohjan yksikköön joskin pienemmässä mittakaavassa. Kiinassa valmistus pyritään hoitamaan pääosin omilla resursseilla. Nykyhetkeen asti Xi’an on toiminut puristinosan tuotteiden valmistuspaikkana ja Shanghaissa on tehty viiraosan tuotteita. Jatkossa myös monet puristinosan tuotteet tullaan valmistamaan suuremmissa Shanghain yksikössä. (Kauppinen 2012.)

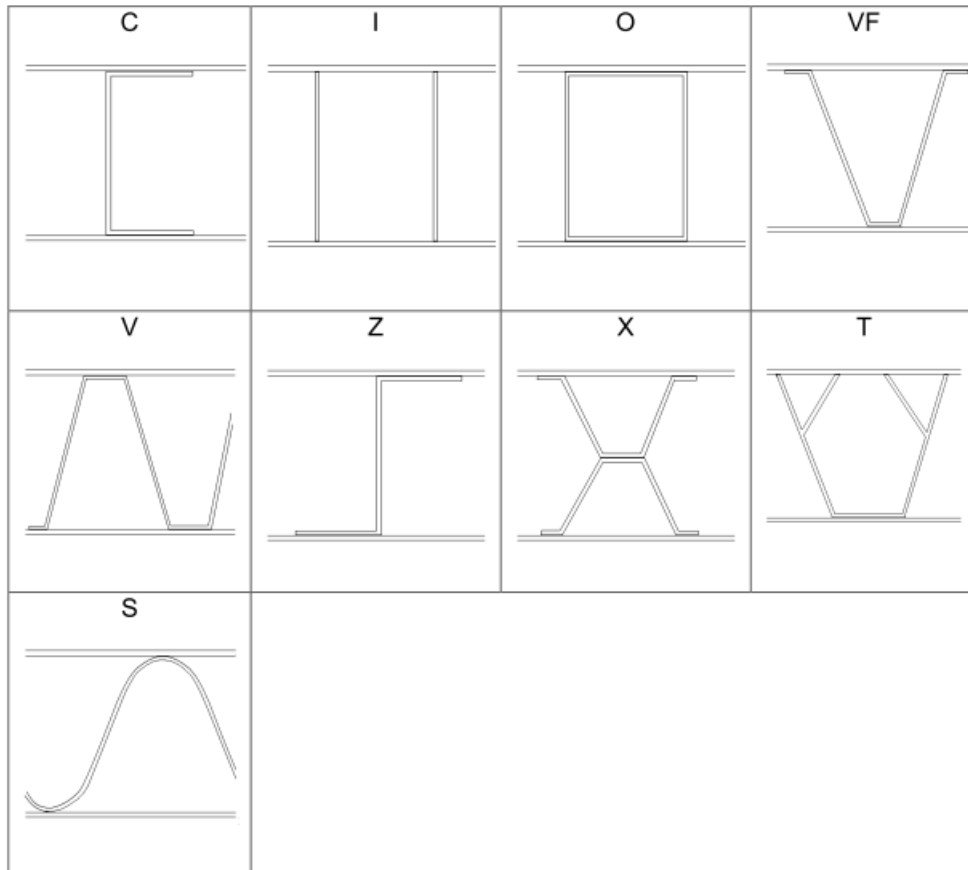
Kiinassa toimintaympäristö eroaa melko paljon Suomen olosuhteista. Valmistusresurssien ja alihankkijoiden hallinta on tietyissä tapauksissa osoittautunut hankalaksi, minkä vuoksi valmistuksen laadunvalvontaa on viime vuosina pyritty vahvasti kehittämään. (Leppänen 2012.)

2 OHUTLEVYKENNOT

2.1 Rakenne

Kennorakenne muodostuu kahdesta pintalevystä ja niiden välisestä ytimestä. Ytimen tehtävänä on aikaansaada kennorakenteelle tyypillinen taivutusjäykkyys. Kennorakenteen merkittävimpänä etuna voidaan pitää hyvää jäykkyys-painosuhdetta. Ytimen muoto vaikuttaa ratkaisevasti kennon jäykkyyteen ja lujuteen. Pintalevyillä sidotaan ydinosat yhteen ja luodaan rakenteelle tasainen ja siisti pinta. Kennorakenteen ydin voidaan muodostaa monella eri tavalla (ks. kuvio 1). Ydintyyppin valintaan vaikuttavat

esimerkiksi tuleva käyttökohde, kuormitukset ja valmistustekniset seikat. VF-ydintyyppi on yksi yleisimmistä kennorakenteiden ydintyypeistä, ja se on myös Metso Paperilla eniten käytetty muoto. (Mikä on kenno? n.d.)

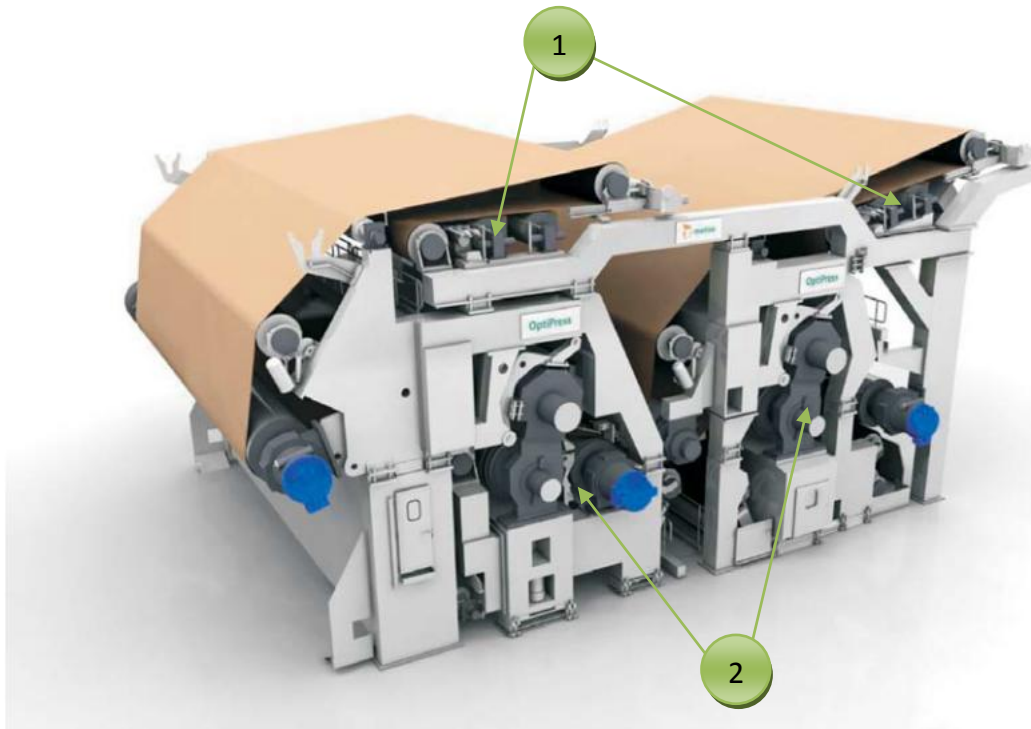


KUVIO 1. Kennojen ydinten geometrioita (Toivanen 2010)

2.2 Puristinosan levystöt

Puristinosa sijoittuu paperikoneessa viiraosan ja kuivatusosan väliin. Puristinosa tehtävänä on puristamalla poistaa maksimaalinen määrä vettä paperirainasta ja tuottaa mahdollisimman suuri märkäluku, jotta paperiraina voidaan viedä kuivatusosalle ilman katkoja. Puristuksessa kuidut painautuvat tiiviisti yhteen, joten kuivauksen aikana muodostuu lujia kuitujen välisiä sidoksia. (KnowPap 2011.)

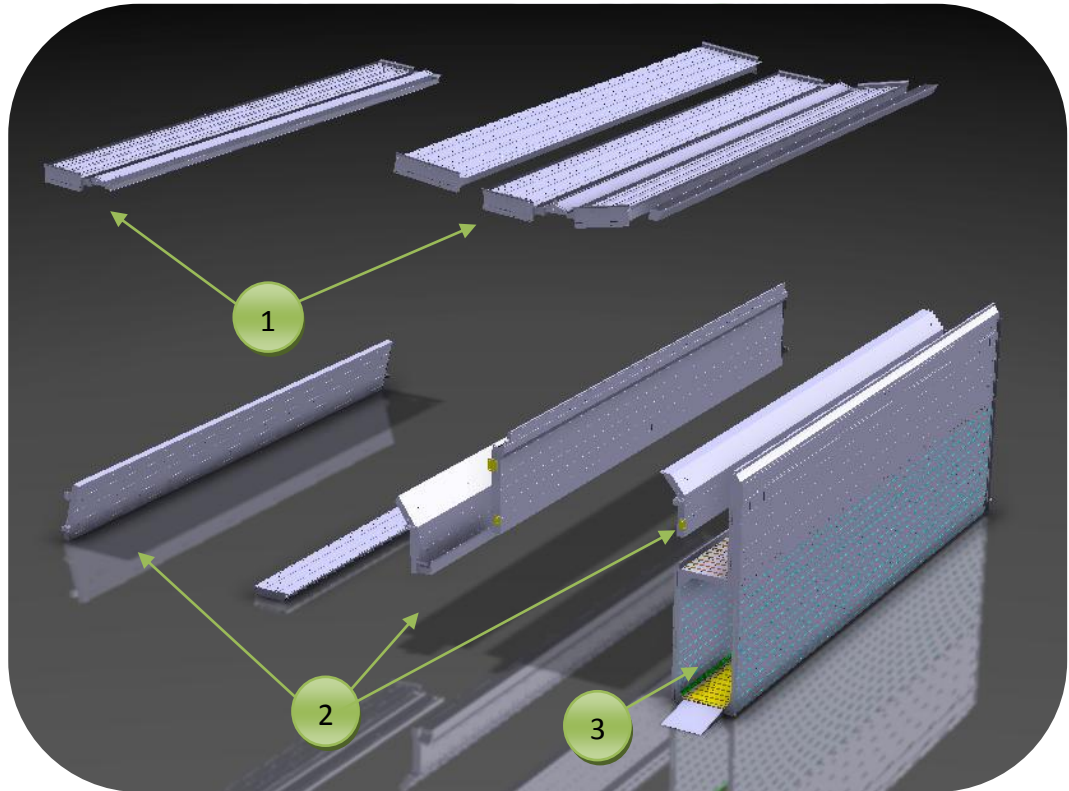
Puristinosa koostuu yleensä useammasta puristinnipistä (ks. kuvio 2, 2), joiden läpi paperiraina johdetaan. Puristus suoritetaan vaiheittaisena siten, että nippivoimia kasvatetaan hiljalleen paperin kulkusuunnassa. Puristusta ei kuitenkaan voida kasvat-
taa niin suureksi kuin laiteteknisesti olisi mahdollista. Liian korkeilla paineilla paperin paksuus, eli bulkki, jää liian pieneksi ja huopien kestoikä lyhenee. (KnowPap 2011.)



KUVIO 2. Kaksinippinen Metso OptiPress-konseptin puristinosa (KnowPap 2004, muokattu)

Opinnäytetyön aihe sai alkunsa puristinosaan telaryhmien levystöistä (ks. kuvio 3, 1). Telaryhmät (ks. kuvio 2, 1) sijoittuvat puristinnippien yläpuolelle ja niissä sijaitsevat muun muassa huopaimurit, huovan pesurit ja huovankiristimet. Levystöjen tehtävänä on estää veden valuminen alapuolisiin rakenteisiin ja kerätä vesi takaisin kiertoon. Levystöistä käytetään myös lämmitettyjä versioita silloin, kun paperirainan ja levystön välissä on suora yhteys. Lämmityksellä estetään vesihöyryn kondensoituminen levystön pohjaan, ettei paperirainalle pääse tippumaan haitallisia pisaroita.

Puristinosalla käytetään ohutlevytekniikkaa muissakin kohteissa kuin telaryhmien levystöissä. Tyypillisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi erilaiset suojaseinät (ks. kuvio 3, 2) ja huoltotunneli (ks. kuvio 3, 3). Lisäksi hoitosillat valmistetaan nykyään ohutlevytekniikalla.



KUVIO 3. Tyypillisiä puristinosan kennorakenteita

3 RUOSTUMATTOMIEN OHUTLEVYTERÄSTEN HITSAUS

3.1 Yleistä

Tässä luvussa käsitellään ruostumattomille ohutlevyrakenteille soveltuvia kaarihit-
sausmenetelmiä. Vertailun vuoksi esitellään myös laserhitsaus, jotta erot menetelmi-

en välillä kävisivät mahdollisimman hyvin ilmi. Suositukset ruostumattomien terästen kaarihitsaukselle esitetään hitsausstandardissa SFS-EN 1011-3.

Ruostumattomilla teräksillä on tavallisiin rakenneteräksiin verrattuna tiettyjä eroja hitsattavuuden ja hitsauksen jälkeisten ominaisuuksien suhteen. Hitsausta voidaan pitää hyvin rajuna paikallisena lämpökäsittelynä, mikä aiheuttaa ruostumattomilla teräksillä korroosionkeston vaikuttavia muutoksia hitsin alueella. Ohutlevyjen hitsauksessa ongelmiksi nousevat myös hitsausjännitysten aiheuttamat muodonmuutokset rakenteessa, mitkä ovat kaarihitsausmenetelmillä huomattavasti suurempia nykyaikaisiin laserhitsausmenetelmiin verrattuna.

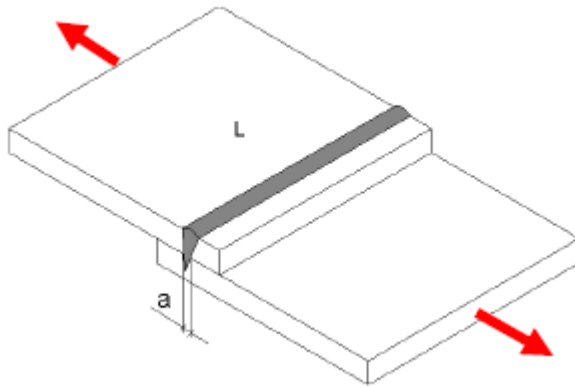
3.2 Liitokset

3.2.1 Liitostyypit

Suljettujen kennorakenteiden valmistuksessa joudutaan käyttämään monenlaisia liitosmuotoja. Pääosin liitettävät levyt sijoittuvat tasomaisesti toistensa päälle, jolloin joudutaan käyttämään joko toisen levyn läpi hitsattavia liitoksia tai limittäisliitoksia. Liitettäessä levyarkkeja yhteen suuremman levypinnan aikaansaamiseksi käytetään päittäishitsejä. Osa mahdollisista liitosmuodoista on sidoksissa käytettävissä oleviin hitsausprosesseihin. Esimerkiksi saumakehitys on mahdollista tehdä ainoastaan sädehitsausmenetelmin.

Saumakehitys

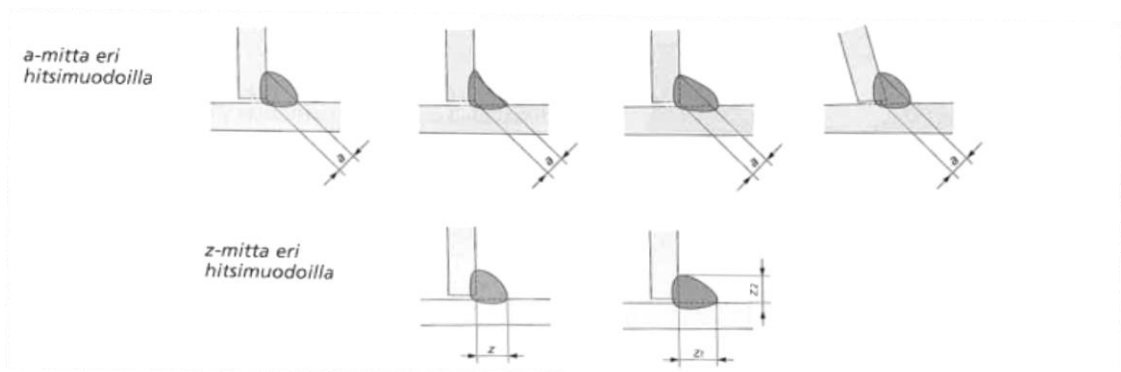
Saumakehitys on sädehitsausprosesseille tyypillinen liitostyyppi, jossa tiiviisti toisiaan vasten painetut levyt liitetään toisen tai molempien levyjen läpi sulattavalla säteellä (ks. kuvio 4). Lävistävästä hitsauksesta käytetään yleisesti termiä key-hole- eli avaimenreikähitsaus. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 387–388.)



KUVIO 4. Saumakehitys (Ohutlevyrakenteista 2008)

Pienahitsi

Pienahitsi on hyvin tyyppillinen liitosmuoto, jota käytetään lähes kaikilla hitsausmenetelmillä. Pienahitsin mitta määräytyy hitsin poikkileikkauksen geometrian mukaan ja sen merkintänä käytetään joko a- tai z-kirjainta (ks. kuvio 5). Laserhitsauksella tehtävä pienahitsi eroaa kaarihitsausmenetelmin suoritetuista pienahitseistä siten, että sille ei voida määrittää varsinaista a-mittaa. Muuttujina laserpienahitsissä käytetään hitsin tunkeumaa ja leveyttä.



KUVIO 5. Pienahitsin a-mitan muodostuminen (Lepola & Makkonen 2005)

Tulppahitsi

Kaarihitsausmenetelmillä hitsattaessa ei ole MIG/TIG-pistehitsiä lukuun ottamatta mahdollista käyttää saumakehitystyyppistä levyä läpi sulatettavaa päällekkäisliitosta. Tulppahitsiä varten läpihitsattavaksi tarkoitettuun levyosaan koneistetaan joko pyöreä tai venytetty reikä, jonka läpi hitsaus suoritetaan (ks. kuvio 6). Liitettävien osien tulee olla tiiviisti yhteen painettuja liitoksen laadun varmistamiseksi. Tulpparailo täytetään kokonaisuudessaan hitsauslisäaineella. Toinen tulppahitsauksen kaltainen liitosmuoto on kolopienahitsi, jossa päällekkäiset kappaleet liitetään pienahitsilla päällimmäiseen levyyn koneistetun suurehkon reiän reunoilta.

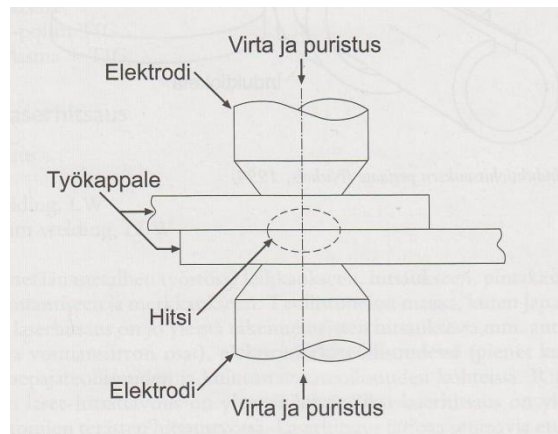


KUVIO 6. Tulppahitsin suoritus (Plug welding n.d.)

Pistehitsi

Pistehitsaus on normaalisti vastushitsausprosessi, poikkeuksia ovat MIG- ja TIG-menetelmin toteutetut pistehitsit. Tavanomaisessa pistehitsauksessa hitsauslämpö muodostuu yhteen liitettävien kappaleiden välissä vaikuttavan suuren sähkövirran ylimenovastuksen avulla. Liitos puristetaan yhteen vesijäähdytteisillä kupariseosteituilla elektrodeilla, joiden välillä kappaleen läpi kulkee matalajännitteinen suuri virta (ks. kuvio 7). Pistehitsaus on siis puhtaasti lisäaineeton hitsausmenetelmä, jossa kap-

paleet sulavat toisiinsa kiinni. Hitsausmenetelmän etuina ovat muun muassa nopeus, tehokkuus, luotettavuus, mittatarkkuus ja edullisuus. (Lepola & Makkonen 2005, 255–268.) Pistehitsaus soveltuu hyvin ruostumattomien ohutlevyterästen liitosmenetelmäksi (Kyröläinen & Lukkari 1999, 381). Vesilevystöjen kaltaisten suurten kotelorakenteiden hitsaukseen pistehitsaus soveltuu kuitenkin huonosti laitteiston asettamien rajoitteiden vuoksi.



KUVIO 7. Pistehitsauksen toimintaperiaate (Kyröläinen & Lukkari 1999, 381)

3.2.2 Liitosten jaottelu

Hitsausta voidaan soveltaa moniin eri tarkoituksiin. Yleensä hitsaamalla liitetään kappaleita toisiinsa, mutta hitsaamalla voidaan myös esimerkiksi pinnoittaa kappaleita tai täyttää kulumakohtia. Ohutlevykennorakenteiden kohdalla kyse on käytännössä aina liitoshitsaamisesta. Tyypillisesti hitsausliitokset jaetaan neljään luokkaan, jotka ovat

- voimaliitokset
- kiinnitysliitokset
- sideliitokset
- varusteluhitsit. (Airila, Ekman, Hautala, Kivioja, Kleimola, Martikka, Miettinen, Niemi, Ranta, Rinkinen, Salonen, Verho, Vilenius, Välimaa 1997, 248–249.)

Voimaliitokset

Voimaliitokset on tarkoitettu nimensä mukaisesti välittämään voimia. Esimerkiksi nostokorvakkeen kappaleeseen liittävä hitsi on yleensä voimaliitos, koska se välittää nostokorvakkeeseen kohdistetun voiman suoraan nostettavaan kappaleeseen. Voimaliitosten luonteen vuoksi hitsit mitoitetaan yleensä tasalujiksi liitettävien osien kanssa. (Airila ym. 1997, 249.)

Kiinnitysliitokset

Kiinnitysliitoksilla tarkoitetaan esimerkiksi I-palkin uuma- ja laippalevyjen välisiä liitoksia. Kiinnitysliitoksia käytetään siis erilaisten poikkileikkausprofiilien aikaansaamiseksi. Yleensä kiinnityshitsit ovat rakenneosan mittaisia eli esimerkiksi I-palkin tapauksessa ne jatkuvat palkin päästä päähän. Kiinnityshitsejä ei yleensä tarvitse suunnitella tasalujiksi liitettävien osien kanssa. Kiinnityshitsin primääriset jännitykset ovat hitsin pituussuuntaisia leikkausjännityksiä, jotka aiheutuvat liitettyjen osien pyrkimyksestä liukua toisiinsa nähden kuormituksen alaisina. Myös rakenneosassa vaikuttavat pitkittäisjännitykset vaikuttavat kiinnityshitsiin, mutta ne ovat hitsin toiminnan kannalta sekundäärisiä jännityksiä. (Airila ym. 1997, 249–250.) Ohutlevykennorakenteissa käytettävät ytimen ja pintalevyjen väliset liitokset voidaan siis lukea kuuluvaksi tähän luokkaan.

Sideliitokset

Sideliitoksiksi määritellään esimerkiksi kotelopalkin sisäpuolisten väliseinien hitsit. Tyypillisesti sideliitoksissa ei vaikuta ollenkaan rakenteen kuormituksesta johtuvia primäärisiä rasituksia. Sideliitoksia sisältävässä puristussauvassa voi kuitenkin esiintyä hitsejä rasittavia poikittaisia voimakomponentteja. Pienikin alkukäyryys puristussauvassa kasvattaa poikittaisten voimien suuruutta. Mitoituksessa sideliitosten hitseissä vaikuttavan poikittaisvoiman suuruudeksi valitaan yleensä tietty prosenttiosuus puristetussa osassa vaikuttavasta voimasta. (Airila ym. 1997, 252.)

Varusteluhitsit

Varusteluhitseiksi luetaan usein esimerkiksi erilaiset kaiteiden, kaapeleiden ja putkistojen kiinnikkeiden hitsit. Varusteluhitsit koetaan usein toisarvoisiksi, mutta suunnittelijan tulisi kiinnittää huomiota myös niiden mitoitukseen. Erityisesti lujia teräksiä hitsattaessa liian pienet varusteluhitsit voivat olla vaarallisia liian pienen lämmön- tuonnin mahdollisesti aiheuttamien halkeamien vuoksi. Mikäli yksityiskohtaisia suunnitelmia varusteluhitseille ei voida tehdä, tulisi työselvityksessä vähintäänkin määrittää niille yleiset vaatimukset. (Airila ym. 1997, 252.)

3.3 Hitsausmuodonmuutokset

3.3.1 Hitsausmuodonmuutosten syyt

Hitsauksessa syntyy aina hitsialueen epätasaisesta kuumenemisestä aiheutuvia jännityksiä. Kuuma hitsialue pyrkii laajenemaan ja sitä ympäröivät kylmät alueet pyrkivät estämään laajentumista. Suhteellisen pieneen kuumaan alueeseen kohdistuu puristusta ja se tyssääntyy helposti pienentyneen myötörajansa johdosta. Kylmät alueet säilyttävät kimmoisuutensa. Jäähtymisvaiheessa tyssääntyneet alueet pyrkivät kutistumaan alkuperäistä mittaansa pienemmiksi kimmoisina säilyneiden alueiden vastustaessa muutosta. Vaikutus on suuri erityisesti hitsin pituussuunnassa. Hitsin luona vallitsee jäähtymisvaiheessa pituussuuntainen myötölujuuden suuruinen vetojännitys, jota tasapainottaa ympäristössä esiintyvä puristusjännitys. Pitkittäisten hitsausjännitysten aikaansaamat muodonmuutokset vastaavat hitsaamattoman kappaleen tilannetta, jossa kappaletta kuormitetaan päistä ulkoisella esijännitysvoimalla. Erona hitsatussa tapauksessa on se, että hitsausjännitys ei saa kappaletta nurjahtamaan. (Niemi & Kemppi 1993, 167–168.)

3.3.2 Hitsausjännitysten ja muodonmuutosten pienentäminen

Hitsausjännityksiä ja hitsausmuodonmuutoksia voidaan pienentää monenlaisilla menetelytavoilla. Muodonmuutoksiin voidaan vaikuttaa pääasiassa hitsauksen suunnittelulla ja oikeanlaisella suoritustekniikalla. Hitsauksen jälkeinen rakenteen oikominen on kallista ja aikaa vievää, joten hitsauksen onnistumiseen tulisi kiinnittää erityistä huomiota. (Niemi & Kemppi 1993, 197.) Seuraavissa kappaleissa esitetään hitsaustapahtuman kannalta olennaiset asiat, joilla hitsausmuodonmuutoksia voidaan pienentää.

Yleisesti voidaan sanoa, että hitsiin syntyvät voimat ja muodonmuutokset ovat verrannollisia hitsiin tuotuun lämpömäärään pituusyksikköä kohti. Tästä johtuen hitsien poikkipinta-ala tulisi pitää mahdollisimman pienenä. Hitsin poikkipinta-alaan voidaan vaikuttaa hitsausmenetelmän valinnalla, railon mitoituksella ja valmistustarkkuudella. Katkohitsien käytöllä on käytännössä havaittu olevan muodonmuutoksia pienentävä vaikutus. (Niemi & Kemppi 1993, 180.)

Hitsausmuodonmuutoksia voidaan vähentää myös hitsattavien kappaleiden tukevalla kiinnityksellä. Kun rakenteen vapaa eläminen estetään hitsauksen aikana, joutuu hitsi myötäämään, kun se ei pysty siirtämään kiinnitettyjä osia. Kuitenkin jäähtymisen loppuvaiheessa hitsi on niin luja, ettei muodonmuutoksia voi estää kokonaan. Kun kiinnitykset avataan, hitsausjännitykset laukeavat osittain ja kappaleeseen syntyy kimmoisia muodonmuutoksia, jotka jäävät kuitenkin huomattavasti matalammiksi kuin ilman kiinnityksiä hitsattaessa. (Niemi & Kemppi 1993, 180.)

3.4 Hitsausprosessit

3.4.1 Yleistä ruostumattomien terästen hitsauksesta

Ruostumattomia teräksiä voidaan hitsata kaikilla tavanomaisilla kaarihitsausprosesseilla. Kaarihitsauksen lisäksi ruostumattomien terästen hitsauksessa on mahdollista käyttää esimerkiksi sädehitsaus- ja vastushitsausprosesseja. Perinteisesti ruostumattomia teräksiä on hitsattu pääasiassa puikkohitsauksella, mutta viime aikoina on siirrytty käyttämään kasvavassa määrin MIG/MAG-hitsausta umpilangalla tai täytelangalla. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 263.) Sädehitsausprosesseista laserhitsaus on kasvattanut suosiotaan erityisesti ohutlevyjen liitosmenetelmänä valmistustekniikan kehittyessä (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelä & Hultin 2011, 299).

3.4.2 Laserhitsaus

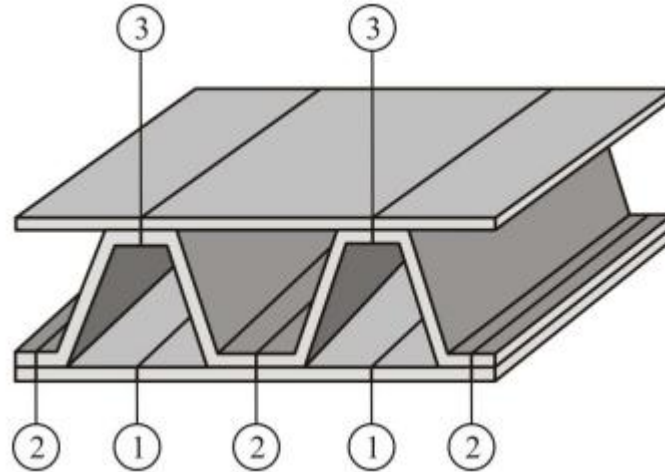
Laserhitsaus on nykyaikainen hitsausmenetelmä, jossa hitsaus suoritetaan vahvistetun valonsäteen muodostamalla energialla. Hitsaus voidaan suorittaa pulssitettuna, sulattavana tai avaimenreikähitsauksena. Yleisin laserhitsausprosessi konepajasoveluksissa on avaimenreikähitsaus. Prosessissa lasersäde fokusoidaan liitospintaan pinnan normaalin suuntaisena, jolloin säde sulattaa ja höyrystää materiaaliin avaimen reiän. Kun sädettä liikutetaan liitoksen suunnassa, reikä etenee säteen mukana ja reiän etuosassa syntyvä sula siirtyy reiän takaosaan, missä se jähmettyy. (Matilainen ym. 2011, 299–300.)

Laserhitsauksella saavutetaan useita hyötyjä perinteisiin hitsausmenetelmiin verrattuna. Hitsien lujuusominaisuudet ovat usein paremmat kaarihitsausmenetelmiä pienemmän lämmöntuonnin takia. Vähäinen lämmöntuonti, kapea lämpövyöhyke ja hitsauksen nopeus vähentävät myös kappaleen hitsausmuodonmuutoksia. (Juutinen 2011, 8.) Laserhitsaus mahdollistaa myös useiden eri liitostyyppien käytön, joista mainittakoon saumakehitys, jota ei pystytä toteuttamaan perinteisillä kaarihitsaus-

menetelmillä. Menetelmällä päästään suuriin hitsausnopeuksiin, jotka voivat olla jopa useita metrejä minuutissa. (Matilainen ym. 2011, 301–303.)

Laserhitsauksen vaatimat tarkat liitospintojen mittatoleranssit asettavat vaatimuksia railonvalmistukselle ja kappaleen asemoinnille. Liitettävien kappaleiden välisen ilma-
raon tulisi olla hyvin pieni tai mielellään olematon. Toleranssivaatimuksia voidaan väljittää lasersäteen poikkeutuksella eli edestakaisella liikkeellä, mikä toisaalta joh-
taa hitsausnopeuden ja hitsin tunkeuman pienenemiseen. (Juutinen 2011, 23.)

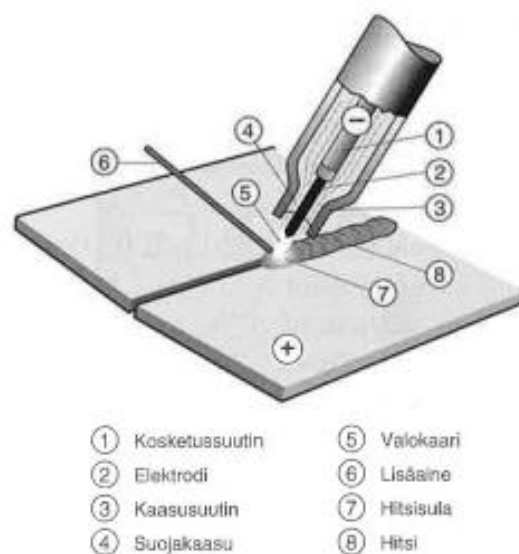
Ohutlevykennot pystytään periaatteessa valmistamaan lasermenetelmillä niin, että kappaletta ei tarvitse kääntää missään vaiheessa, vaan liitokset hitsataan saumake-
hitseinä aina yläpuolelta (ks. kuvio 8). Kuviossa numeroiduilla kohdilla tarkoitetaan hitsaus- ja kasausjärjestystä. (Matilainen ym. 2010.) Monesti kuitenkin esimerkiksi VF-kennot kasataan silloittamalla ensin ydin TIG-hitsein pohjalevyyn, minkä jälkeen kenno käännetään ja saumat hitsataan pohjalevyn puolelta (Laitinen 2012).



KUVIO 8. Ohutlevyrakenteen laserhitsaus (Matilainen ym. 2011, 308)

3.4.3 TIG-hitsaus

TIG-hitsaus on yleensä manuaalisesti suoritettava kaasukaarihitsausprosessi. Mene-
telmässä valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin ja työkappaleen välillä (ks.
kuvio 9). Hitsaimen suuttimen läpi johdetulla suojakaasulla suojataan hitsaustapah-
tumaa ja elektrodin kuumaa kärkeä ilman hapen vaikutuksilta. Suojakaasuina käyte-
tään argonia, heliumia ja näistä muodostettua seosta. (Lepola & Makkonen 2005,
159.)



KUVIO 9. TIG-hitsauksen periaate (Lepola & Makkonen 2005)

TIG-prosessia voidaan käyttää joko lisäaineen kanssa tai ilman. Lisäaineella hitsatta-
essa lisäaine tuodaan volframielektrodin ja työkappaleen välillä palavaan valokaa-
reen. Erillisellä lisäaineen tuonnilla pystytään varmistamaan hyvä sulan ja tunkeuman
hallinta, koska hitsausenergiaa ja lisäaineen tuontia pystytään säätämään toisistaan
riippumatta. TIG-hitsauksessa käytettävä virta voi olla pienimmillään vain muutamia
ampeereja, minkä vuoksi se soveltuu erityisen hyvin ohutlevytuotteille. Tyypillisesti
liitettävien kappaleiden ainevahvuudet ovat 0,5–6,0 mm TIG-prosessilla hitsattaessa.

TIG-hitsausta käytetään eniten ruostumattomien ja haponkestävien materiaalien hitsaukseen. (Lepola & Makkonen 2005, 159–160.)

TIG-pistehitsaus

TIG-pistehitsaus on niin sanottu sulattava pistehitsausmenetelmä. Menetelmällä voidaan tehdä päällekkäisliitoksia hankalissakin paikoissa, joihin tavallisella pistehitsauslaitteistolla ei päästä. Läpihitsattavan levyn paksuus saa olla korkeintaan 2 mm. TIG-pistehitsaus suoritetaan tavallisella TIG-laitteistolla käyttäen hitsaimessa pistehitsaukseen tarkoitettua kaasusuutinta. Hitsaus suoritetaan lyhyellä valokaarella, joka saavutetaan asentamalla volfrاميةlektrodin kärki 0,5–1,2 mm:n syvyydelle kaasusuuttimen päästä mitattuna. Hitsaustapahtumassa syntyvän hitsin kokoa ja tunkeumaa säädetään hitsausvirtaa ja valokaaren palamisaikaa muuttamalla. Hitsaus suoritetaan aina ohuemman levyn puolelta. Lopetuskraaterin syntyminen hitsin keskelle voidaan estää käyttämällä hitsausyksikön slope-toimintoa. Kuten laserhitsauksessa, myös TIG-pistehitsauksessa liitettävät levyt tulee painaa tiiviisti yhteen liitoksen laadun varmistamiseksi. (Lepola & Makkonen 1998, 239–240.) TIG-pistehitsaukselle suositeltuja ohjearvoja on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Ohjearvoja seostamattoman ja ruostumattoman teräksen TIG-pistehitsaukseen (Lepola & Makkonen 1998, muokattu)

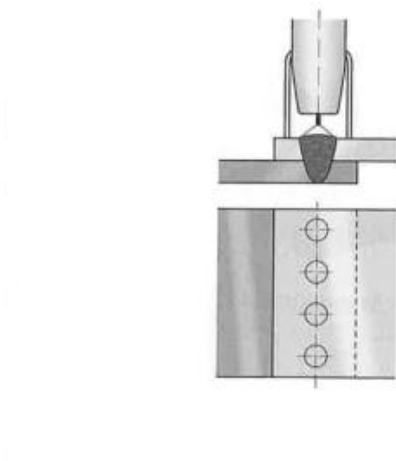
Perusaine t/mm	Elektrodin d/mm	Valokaaren pituus /mm	Hitsausvirta A	Valokaariaika sekuntia	Slope-aika sekuntia
0,5	1,6	0,5	50,0	0,3	0,7
0,8	1,6	0,7	65,0	0,3	1,3
1,0	1,6	1,0	85,0	0,5	1,3
1,3	2,4	1,0	130,0	1,0	1,3
1,5	2,4	1,2	160,0	1,0	1,5
Argon suojakaasun virtaus 3 - 4 l/min					

3.4.4 MIG/MAG-hitsaus

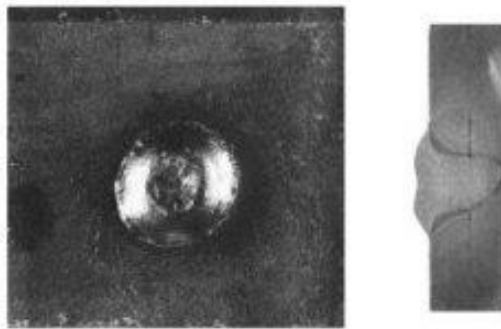
MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä automaattisesti syötettävän hitsauslangan ja työkappaleen välillä. MIG-hitsauksessa käytettävä suojakaasu on inertti eli reagoimaton, kun taas MAG-hitsauksessa käytetään aktiivista kaasua. Teräksiä hitsattaessa käytetään lähes yksinomaan aktiivisia suojakaasuja valokaaren vakauden ja tasaisen aineensiirtymisen varmistamiseksi. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 118, 283–284.) Hitsauslankana käytetään joko umpilankaa tai täytelankaa, jota käsitellään erikseen luvussa 3.4.5.

MIG- pistehitsaus

Kuten TIG-laitteistolla, myös MIG/MAG-laitteistolla on mahdollista liittää kaksi päällekkäistä levyä pistemäisillä hitseillä (ks. kuvio 10). Korkeaa hitsausvirtaa käyttämällä saadaan aikaan tunkeuma, joka sulattaa päällimmäisen levyn läpi myös alemmaa levyä. Menetelmää voidaan käyttää noin 6 mm:n ainevahvuuteen asti, ja se soveltuu hyvin ruostumattomille teräksille. MIG-pistehitsaus on helppo suorittaa, eikä hitsaajalle ole kovia pätevyysvaatimuksia. (Mig spot welding n.d., 1.) Valmis pistehitsi näkyy materiaalin pinnalla keskeltä hieman painuneena kohoumana (ks. kuvio 11).



KUVIO 10. MIG-pistehitsin suoritus (Lepola & Makkonen 2005, 137)



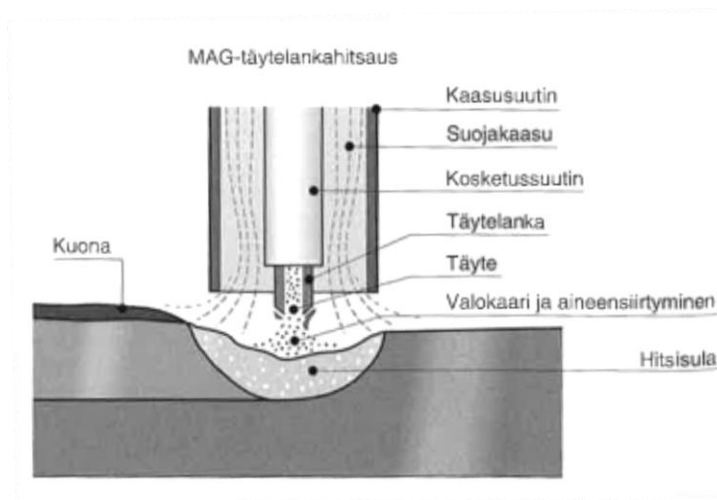
KUVIO 11. Tyypillinen MIG-pistehitsi pehmeässä teräksessä (Mig spot welding n.d., 1)

3.4.5 MAG-täytelankahitsaus

MAG-täytelankahitsaus ei eroa käytettävän laitteiston osalta umpilankahitsauksesta. Hitsattaessa ruostumattomia teräksiä käytetään menetelmänä lähes poikkeuksetta täytelankahitsausta. Ero tulee nimensä mukaisesti menetelmässä käytettävästä putkimaisesta lisäainelangasta, jossa täyteaine on putken sisällä (ks. kuvio 12). Täytelanka on verrattavissa puikkohitsauksessa käytettävään puikkoon. Hitsauksessa muodostuva kuona suojaa hitsisulaa ilman haitallisilta vaikutuksilta ja samalla myös tukee sitä parantaen asentohitsausominaisuuksia. Täytelangoista on olemassa suojakaasullisina hitsattavia ja ilman suojakaasua hitsattavia versioita. Näistä suojakaasulliset

ovat yleisempiä. (Lepola & Makkonen 1998, 168–169.) Suojakaasuton hitsaus ei ole enää määritelmällisesti MIG/MAG-hitsausprosessi (Kyröläinen & Lukkari 1999, 313).

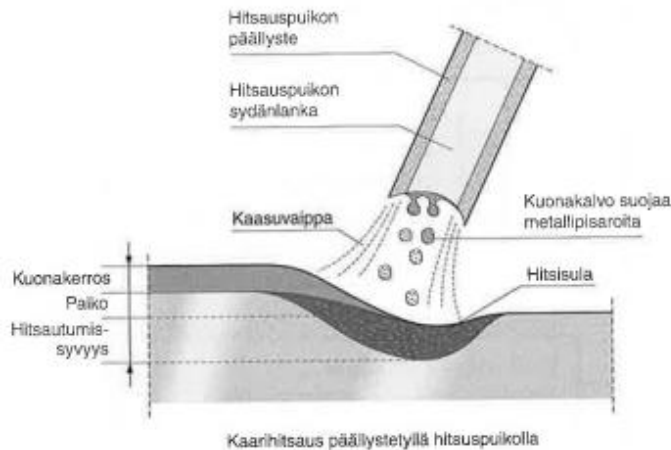
MAG-täytelankahitsauksella on monia etuja, joista suunnittelun kannalta merkittävimpinä mainittakoon hitsin hyvä tiiveys ja muoto sekä vähäinen liitosvirheriski. Haittoina menetelmässä ovat kallis lisäaine ja runsas hitsaussavujen tuotto. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 316–317.)



KUVIO 12. MAG-täytelankahitsauksen periaate (Lepola & Makkonen 2005)

3.4.6 MMA-hitsaus

MMA (Manual Metal Arc)-hitsaus on metallikaarihitsausprosessi, josta käytetään myös nimitystä puikkohitsaus. Hitsauspuikon ja työkappaleen välillä palava valokaari sulattaa puikon sydänlankaa, josta sula metalli siirtyy pieninä pisaroina hitsisulaan. Puikkoa ympäröi suoja-ainepäällyste, joka muodostaa hitsaustapahtumaa suojaavia kaasuja ja kuonaa (ks. kuvio 13). MMA on nimensä mukaisesti manuaalinen hitsausprosessi, jonka tuottavuus on melko pieni. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 267–268.)



KUVIO 13. Kaarihitsaus päällystetyllä hitsauspuikolla (Lepola & Makkonen 2005)

Lisäaineen kulutuksella mitattuna MMA-hitsaus on edelleen yleisin prosessi ruostumattomien terästen hitsauksessa. Menetelmän suosioon vaikuttavat hyvä hitsin laatu, runsas lisäainevalikoima ja soveltuvuus erilaisiin hitsauskohteisiin ja olosuhteisiin. MMA-hitsausta voidaan käyttää noin 1,5 mm:n aineenvahvuuksista alkaen. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 268–269.)

3.4.7 Juotto

Juottaminen on lisäaineellinen liitosmenetelmä, joka eroaa hitsauksesta alhaisemman lämmöntonnin osalta. Juotossa ainoastaan juote sulaa perusainetta alhaisemman sulamispisteensä johdosta. Juottaminen voidaan jaotella toteutustavan mukaan kolmeen ryhmään

- pehmeäjuotto
- kovajuotto
- railoitu.

Edellä mainituista kovajuotto soveltuu voimaa välittävien liitosten toteuttamiseen, jollaisina ohutlevykennojen uuma- ja pintalevyjen välisiä liitoksia voidaan osittain pitää. Kovajuotossa juotteen sulamislämpötila on 450–1000 °C. Juotteen valinnalla on suuri merkitys, sillä esimerkiksi kuparipohjaiset juotteet voivat heikentää ruostumattomien terästen ominaisuuksia. (Matilainen ym. 2011, 320–321.)

Juottamisen käytöstä ruostumattomien terästen liitosmenetelmänä löytyy melko vähän tietoa. Tämä johtunee siitä, että useissa lähteissä mainitaan ruostumattomille teräksille ominaisen oksidikalvon aiheuttavan huomattavia ongelmia juottamiselle. Ruostumattomien terästen juottaminen suositellaan tehtäväksi vakuumiuneissa, jotka ovat suuri investointikustannus ja joita ei levystöjen kaltaisten suurten rakenteiden kanssa voida käyttää. Ruostumattomien terästen juottamisen voidaan siis katsoa koskevan vain erityisrakenteita.

3.5 Ruostumattomien terästen hitsattavuus

3.5.1 Yleistä hitsattavuudesta

Hitsattavuus käsitteenä tarkoittaa materiaalin soveltuvuutta hitsaukselle. Hitsattavaksi soveltuva materiaali täyttää sille asetetut kemialliset, metallurgiset ja fysikaaliset vaatimukset myös hitsauksen jälkeen. Hitsattavuuteen vaikuttavat perusaineen hitsattavuuden lisäksi rakenteellinen ja valmistuksellinen hitsattavuus. Valmistuksellisen hitsattavuudella tarkoitetaan suunnitellun rakenteen soveltuvuutta hitsattavaksi tietyssä tuotantoympäristössä. Rakenteellista hitsattavuutta arvioidaan sen mukaan miten hyvin rakenneosaa pystyy täyttämään tehtävänsä sille suunnitellussa käyttöympäristössä. (Matilainen ym. 2011, 275.)

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään paperikoneen ohutlevyrakenteissa käytettyjen materiaalien hitsattavuutta. Paperikoneen korroosio-olosuhteista johtuen materiaa-

leina käytetään pääasiassa niin sanottuja haponkestäviä ruostumattomia teräksiä. Joissain toteutuksissa on käytetty myös tavallisia ruostumattomia teräksiä. Duplex-teräksiä käsitellään luvussa 3.5.3 niiden käytön yleistymisen takia.

3.5.2 Austeniittisten ruostumattomien terästen hitsattavuus

Kyröläinen ja Lukkari (1999, 157) jaottelevat austeniittiset ruostumattomat teräkset hitsattavuuden kannalta austeniittisiin vakioteräksiin, austeniittisiin erikoisteräksiin ja austeniittisiin tulenkestäviin teräksiin. Tässä alaluvussa keskitytään tarkastelemaan pääasiassa austeniittisiä vakioteräksiä.

Austeniittiset vakioteräket ovat tyypillisesti joko niin sanottuja 18/8- tai 18/12/3-teräksiä. Näiden lisäksi luokkaan kuuluvat vastaavat stabiloidut ja tyypiseosteiset laadut. 18/8-laadut ovat tavallisia kromilla ja nikkelillä seostettuja ruostumattomia teräksiä. 18/12/3-teräksissä on lisäksi molybdeenia seosaineena ja niitä kutsutaan tavallisiksi haponkestäviksi teräksiksi. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 157.)

Austeniittiset vakioteräket ovat hitsattavuudeltaan erittäin hyviä ja niiden hitsaus on helppoa, joskin suuri lämpölaajenemiskerroin aiheuttaa suurempia muodonmuutoksia kuin seostamattomilla teräksillä. Nykyaikaisissa teräksissä hiili- ja epäpuhtauspiitoisuudet ovat alhaisia, minkä ansiosta raerajakorroosio ja kuumahalkeilu ovat melko harvinaisia ongelmia. (Kyröläinen & Lukkari 1999.) Tyypilliset paperikoneen määrässäpäässä käytettävät teräslaadut Metso Paperilla ovat EN 1.4307 (AISI 304L) ja EN 1.4404 (AISI 316L). Näistä ensimmäinen on 18/8-luokan ruostumaton teräs ja jälkimmäinen 18/12/3-luokkaan kuuluva haponkestävä teräs. Materiaalien koostumukset on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Paperikoneessa käytettävien austeniittisten ruostumattomien terästen PRE-luvut ja seosaineiden vähimmäispitoisuudet massaprosenteina (Stainless steel grades for the desalination industry n.d., 1)

EN	AISI	Cr	Ni	Mo	N	PRE
1.4307	304L	18,1	8,3	-	0,02	18
1.4404	316L	17	11	2,2	0,05	25

Taulukossa 2 on esitetty myös terästen PRE-luku, Pitting Resistance Equivalence, mikä tarkoittaa materiaalin pistekorroosionkestävyyttä. Suurempi luku tarkoittaa parempaa pistekorroosionkestoa. PRE-luku vaikuttaa materiaalin CPT (Critical Pitting Temperature)-lämpötilaan eli lämpötilaan, jossa pistekorroosio alkaa 10 % FeCl₃ -liuoksessa. Toinen PRE-indeksiin liittyvä suure on CCT (Critical Crevice Temperature)-lämpötila eli kriittinen rakokorroosiolämpötila. Se mitataan samalla koejärjestelyllä kuin CPT-lämpötila. CCT-lämpötilalle on saatu huomattavasti matalampia kynnyslämpötila-arvoja, joten mikäli halutaan päästä tavoiteltua CPT-arvoa vastaavaan arvoon, tulee materiaaliksi valita noin 12 ekvivalenttiyksikköä seostetumpi teräs. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 47.)

3.5.3 Duplex-terästen hitsattavuus

Duplex-teräkset ovat austeniittis-ferriittisiä ruostumattomia teräksiä, joista ensimmäiset laadut kehitettiin jo 1930-luvulla. Ensimmäisten duplex-terästen hitsattavuus oli melko huono. Uudemmissa duplex-teräksillä on hiukan poikkeava koostumus verrattuna aikaisempiin. Kromipitoisuus on hieman laskenut ja vastaavasti nikkelpitoisuus on hieman kasvanut. Tyypilliset seosaineiden määrät ovat

- kromi 21–28 %
- nikkeli 4–8 %
- molybdeeni 0–4,5 %.

Lisäksi materiaalissa on myös typpeä seosaineena laadun mukaan 0,05–0,35 %. Austeniitin ja ferriitin osuudet mikrorakenteessa ovat liuotushehkutetussa tilassa suurin piirtein samansuuruiset. Duplex-teräkset ovat yleensä erittäin matalahiilisiä (alle 0,03 %). Koostumusten kehitys on johtanut hitsattavuuden nousuun hyvälle tasolle, minkä vuoksi duplex-terästen käyttö on lähtenyt nousuun. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 198.)

Duplex-terästen hitsattavuus on hyvä, vaikkakin hitsaus on vaativampaa kuin austeniittisten vakioterästen hitsaus. Hitsauksesta tekee vaativampaa se, että liitokseen on saatava oikeanlainen austeniittis-ferriittinen mikrorakenne ja samalla on pystyttävä estämään haitallisten yhdisteiden muodostuminen. Duplex-terästen hitsauksessa voidaan helposti tehdä virheitä, mikäli on totuttu hitsaamaan austeniittisiä vakioteräksiä. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 199.)

Hitseissä ei yleensä esiinny kuumahalkeilua, koska hitsin jähmettyessä ferriitin osuus lopullisessa mikrorakenteessa on riittävän korkea. Korkean ferriittipitoisuuden johdosta hitsissä voi puolestaan esiintyä vetyhalkeilua, mikäli vetypitoisuus ja jännitystila ovat korkeita. Käytettävien puikkojen, jauheiden ja täytelankojen kosteus kasvattavat hitsin vetypitoisuutta, kuten myös suojakaasussa käytettävä vety. Tämän vuoksi tulisikin välttää vetypitoisen suojakaasun käyttöä ja huolehtia erityisen hyvin käytettävien lisäaineiden säilytyksestä ja käsittelystä. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 200–201.)

Hitsiaineiden ominaisuudet määräytyvät suurelta osin hitsiaineen mikrorakenteesta. Hitsisula jähmettyy aluksi ferriitiksi, minkä jälkeen alkaa jähmeässä tilassa muodostua austeniittia jäähtymisen aikana. Ferriittipitoisuudelle hitsatussa tilassa olevalle hitsiaineelle on esitetty suosituksia ja vaatimuksia eri julkaisuissa. Alarajaksi ferriittipitoisuudelle on yleisesti esitetty 22 %, minkä alittamisesta seuraa jännityskorroosiovaara ja lujuuden heikkeneminen. Ylärajana käytetään standardista riippuen

50–70 %. Yleisesti hitsausliitosten mekaaniset ominaisuudet täyttävät perusaineiden vaatimukset menetelmäkokeiden perusteella. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 202.)

Duplex-teräksillä on yleisesti melko hyvä piste- ja jännityskorroosionkesto. Hitsien korroosionkestävyyteen vaikuttavat hitsin mikrorakenne, koostumus ja pinnan tila. Pistekorroosionkestävyys on usein hiukan pienempi kuin perusaineella. Hitsin pinnalle hitsauksen jälkeen jäävät oksidikalvot heikentävät pistekorroosionkestävyyttä. Paras pistekorroosion kesto saavutetaan silloin, kun austeniitin ja ferriitin pitoisuudet ovat likimain yhtä suuret. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 207–210.)

Hitsauksen aiheuttamat muodonmuutokset jäävät duplex-teräksillä vähäisemmiksi kuin austeniittisilla teräksillä. Tämä johtuu niiden pienemmästä lämpölaajenemiskertoimesta. Silloitukset suositellaan kuitenkin tekemään riittävän tiheästi, jotta ne kestäisivät duplex-terästen suuren lujuuden mahdollistamat korkeat jäännösännitykset. Hitseille tehtävät jälkikäsittelyt on suoritettava samaan tapaan kuin austeniittisilla teräksillä. Duplex-terästen peittäus on kuitenkin vaikeampaa, koska ne vaativat aggressiivisempia aineita ja korkeampia lämpötiloja. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 217.)

Lean duplex

Uusimpia tulokkaita duplex-terästen joukossa ovat niin sanotut lean duplex laadut. Niiden suosio on ollut vahvassa kasvussa eri seosaineiden, erityisesti nikkelin maailmanmarkkinahintojen nousun myötä. Näiden teräslaatujen tarkoituksena on kilpailla haponkestävien AISI 316-laatujen kanssa suuremman lujuuden ja vähintään yhtä hyvän korroosionkeston kanssa. Viimeisin kehitetty lean duplex-laatu on EN 1.4162 (AISI 2101). Hitsattavuuden kannalta lean duplexin sanotaan olevan jopa parempi kuin perinteisten duplex-laatujen. Lean duplexia voidaan hitsata lisäaineettomana, mitä kuuluisi välttää peruslaatuojen kanssa. Ongelmaksi hitsauksessa voi nousta hitsisulan erilainen viskositeetti, mikä vaatii hitsaajalta tarkkaavaisuutta. Ongelmaa voidaan lieventää käyttämällä yliseostettua lisäainetta. Lean duplexilla on erityisen hyvä

jännityskorroosionkesto, korkea myötöraja ($R_{0,2} = 530 \text{ MPa}$) ja parantunut korroosionkesto kloridipitoisessa ympäristössä. (New lean duplex steels and their weldability n.d., 1.)

3.6 Hitsauslisäaineet

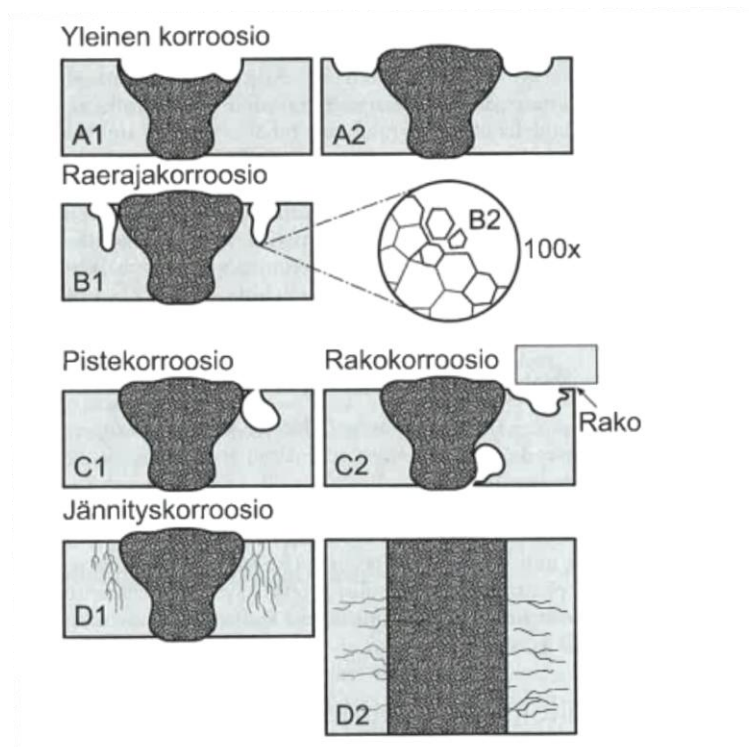
Kaarihitsausprosessit ovat yleensä lisäaineellisia hitsausmenetelmiä. TIG-hitsaus on tässä mielessä poikkeuksellinen, koska se voidaan suorittaa myös lisäaineettomasti. Hitsausstandardissa SFS-EN 1011-3 suositellaan ruostumattomien terästen hitsauksessa käyttämään kemialliselta koostumukseltaan hieman yliseostettua lisäainetta palohäviöiden, suotautumisen, sulkeumien ja pintavirheiden vaikutusten kompensoimiseksi. Lisäaineeton hitsaus puolestaan altistaa edellä mainituille ilmiöille. Lisäaineettoman hitsauksen etuna voidaan puolestaan pitää pienentyntä lämmöntuontia, joka johtaa pienempiin hitsausmuodonmuutoksiin.

Hitsauslisäaineet voivat olla joko niin sanottuja puhtaita lisäaineita kuten TIG-hitsauksessa tai kuonaa muodostavia, kuten puikkohitsauksessa. Kuonaa muodostavia lisäaineita käytettäessä kuona suojaa hitsiä kohtuullisesti myös juuren puolella, minkä ansiosta ilman happi ei pääse reagoimaan kuumien hitsialueiden kanssa. Kuonattomilla lisäaineilla hitsin juuren puoli jää paljaaksi ja hapettuminen voi olla voimakasta. Kuonan ongelma on toisaalta siinä, että se tulisi pystyä poistamaan hitsaustapah-tuman jälkeen, jotta ruostumattomille teräksille tyypillinen passivoituminen pääsee alkamaan. Kuona voi pahimmassa tapauksessa altistaa sen alla sijaitsevan passivoitumattoman pinnan piste- ja rakokorroosiolle. (Kyröläinen & Lukkari 1999.)

3.7 Hitsien korroosio

3.7.1 Yleistä korroosiosta

Korroosioilla tarkoitetaan sähkökemiallista tapahtumaketjua, jossa puhdas metalli pyrkii palautumaan hapettuneeseen ja vähän energiaa sisältävään tilaan jollaisena se esiintyy luonnossa. Korroosio voidaan karkeasti jakaa kahteen pääläjiin, jotka ovat yleinen korroosio ja paikallinen korroosio. Hitsatussa rakenteessa hitsi aiheuttaa aina rakenteellisen epäjatkuvuuskohdan, joka on liitostyyppistä riippuen altis erilaisille paikallisen korroosion mekanismeille. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 37–38, 145.) Korroosio on aihealueena valtavan laaja joten seuraavissa alaluvuissa rajoitutaan tarkastelemaan hitsien kannalta kriittisimpiä korroosimuotoja ja niiden etenemismekanismeja. Erilaisia korroosimuotoja on havainnollistettu kuviossa 14.



KUVIO 14. Eri korroosimuotojen esiintyminen hitsausliitoksissa (Kyröläinen & Lukkari 1999, 146)

3.7.2 Paperikoneen korroosio-olosuhteet

Paperikoneen viira- ja puristinosat tarjoavat otolliset olosuhteet korroosion esiintymiselle. Korroosion kannalta merkittävimmiksi tekijöiksi muodostuvat paperinvalmistuksessa käytettävät kemikaalit ja verraten korkea lämpötila. (Korroosiokäsikirja 2004, 314.)

Korroosiokäsikirjan (2004, 313) mukaan paperikoneen vesikierron sulkuasteella on merkittävä vaikutus korroosio-olosuhteisiin. Avoimessa kierrossa prosessiin tuodaan suuri määrä tuorevettä, jonka ansiosta haitallisten aineiden pitoisuudet jäävät melko pieniksi. On havaittu, että korkean vesikierron sulkuasteen omaavissa paperikoneissa on esiintynyt korroosioaurioita jopa hyvän piste- ja rakokorroosionkeston omaavalla EN 1.4404 teräslaadulla (Paper making n.d.).

Tarkkoja prosessien kemikaalipitoisuuksia on kuitenkin mahdotonta määrittää, sillä ne voivat vaihdella suurestikin paperinvalmistajasta riippuen. Käytettävä kemikaalikohtainen on paperinvalmistajien liikesalaisuus, jota ei haluta paljastaa kilpailijoille.

3.7.3 Piste ja rakokorroosio

Pistekorroosio on tyypillinen korroosionmuoto metalleilla joiden korroosionkesto perustuu materiaalin pinnalle muodostuvan passiivikerroksen tuomaan suojaan. Pistekorroosioilla tarkoitetaan pistemäistä syöpymää rakenneaineessa. Vaaralliseksi pistekorroosion tekee se, että sen syvyyden mittaaminen on vaikeaa ja se huomataan yleensä vasta kun syöpymä on edennyt rakenteen läpi. Useimmiten pistesyöpyminen syntyy kloridi-ionien vaikutuksesta runsaasti happea sisältävissä ympäristöissä. Kloridi-ioni pääsee tunkeutumaan metallin pinnalle heikentyneen passiivikerroksen omaavilla alueilla ja tuhoaa passiivikerroksen paikallisesti. Syöpymisen alettua kohtaan kerääntyy lisää kloridi-ioneja, jotka saavat aikaan pistemäisen anodin laajan passiivikerroksen keskelle. Epäedullinen anodi/katodi pinta-alasuhde nopeuttaa syöpymistä ja metalli-ionien välinen väkevyysero imee vettä syöpymiskohtaan. Veden

vaikutuksesta metallikloridit hajoavat metallihydroksideiksi, jotka nousevat reiän pinnalle hapettuen edelleen ruosteeksi. (Korroosiokäsikirja 2004, 182.)

Materiaalivalinnalla voidaan vaikuttaa pistekorroosionkestävyyteen. Esimerkiksi molybdeeniseostus parantaa ruostumattomien terästen pistekorroosiokestävyyttä. Hitsit ovat pistekorroosion kannalta kriittisimpiä alueita rakenteessa. Hitsauksen jäljiltä mahdollisesti jäänyt kuonakerros tulisi poistaa, koska se voi pieninäkin jäännöksinä johtaa pistesyöpymisen alkuun. Ainut luotettava keino hitsauksessa muodostuneen vähäkromisen alueen poistoon on peittaus. (Korroosiokäsikirja 2004, 182.)

Rakokorroosio

Rakokorroosio on paikallinen korroosimuoto, jolla tarkoitetaan metallin syöpymistä kahden pinnan välisessä raossa, johon ei hapenpuutteen vuoksi pääse muodostumaan suojaavaa passiivikerrosta. Suojautumaton pinta on usein pieni verrattuna raon ulkopuoliseen laajaan suojautuneeseen pintaan verrattuna, mikä johtaa epäedulliseen anodi-/katodi-suhteeseen. Kuten pistesyöpymisen tapauksessa, myös rakokorroosiossa kloridit vauhdittavat syöpymistä. Rakokorroosiota voidaan ehkäistä monessa tapauksessa oikeanlaisella suunnittelulla. Rakokohdat joita ei voida järkevillä toimenpiteillä välttää, tulisi joko tiivistää tai suunnitella rako riittävän suureksi hapen pääsyn varmistamiseksi. Austeniittisilla teräksillä tehdyissä kokeissa on havaittu rakokorroosion olevan pahimmillaan, kun raon leveys on 0,1–0,5 mm. (Korroosiokäsikirja 2004, 185–186.)

3.7.4 Raerajakorroosio

Raerajakorroosio aiheutuu joko jonkun aineosan rikastumisesta raerajoille tai jonkin seosaineosan vähenemisestä raerajoilla. Austeniittisillä teräksillä mahdollinen hitsauksen aiheuttama kromikato on esimerkki seosaineosan vähenemisestä. Tyypillisintä raerajakorroosio on runsaasti hiiltä sisältävillä austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä, kun ne ovat päässeet herkistymään. Herkistymisellä tarkoitetaan kromin erkau-

tumista karbideiksi 450...900 °C lämpötilassa, jolloin karbidien ympärille syntyy kromiköyhä alue. Herkistyminen voidaan estää valitsemalla materiaaliksi matalahiilinen ruostumaton teräslaatu tai käyttämällä stabiloituja teräslaatuja. Stabiloinnilla tarkoitetaan ruostumattoman teräksen seostamista niobilla ja titaanilla, jotka muodostavat karbideja ja vähentävät näin ollen hiilipitoisuutta. Ohuiden levyjen hitsauksessa on vaarana hitsin reunojen lämpötilaolosuhteiden muodostuminen sellaisiksi, etteivät Ti- ja Ni-karbidit ehdi muodostumaan. Hiilipitoisuus jää korkeaksi näillä kapeilla reuna-alueilla, mikä voi johtaa herkistymiseen. (Korroosiokäsikirja 2004, 184.)

3.7.5 Jännityskorroosio

Jännityskorroosio on pääasiassa austeniitisilla teräksillä esiintyvä korroosimuoto. Jännityskorroosiota voi esiintyä hitseissä yli 60 °C käyttölämpötilassa kloridien ja riittävän jännitystilan vaikutuksesta. Materiaalin muovauksessa syntyneet jännitykset tai lämpökäsittämätön hitsi ovat riittäviä aiheuttamaan jännityskorroosiota. Jännityskorroosiossa materiaaliin syntyvä erittäin hieno murtuma voi edetä dramaattisen nopeasti paksunkin materiaalin läpi. (Kyröläinen & Lukari 1999, 148.)

Ferriittisten tai austeniittis-ferriittisten terästen käytöllä voidaan estää jännityskorroosion esiintymistä. Lisäksi runsaasti nikkelillä seostettu teräs vastustaa hyvin jännityskorroosiota. Materiaalissa esiintyvä ferriitti on tehokkain jännityskorroosion estäjä ja ferriittinen teräs onkin lähes immuuni tälle korroosimuodolle. Rakenteiden suunnittelulla voidaan vaikuttaa hitsausjännitysten suuruuteen ja näin ollen myös jännityskorroosioalttiuteen. (Kyröläinen & Lukari 1999, 148.)

3.8 Hitsien jälkikäsittely

Parhaan mahdollisen korroosiokestävyyden saavuttamiseksi hitsit tulisivat aina jälkikäsitellä. Hitsin jähmettymisrakenteesta johtuen se on koostumukseltaan epähomogeeninen, minkä vaikutuksesta hitsin korroosionkestävyys on yleensä kauttaaltaan

perusainetta huonompi. Puhdas ja tasainen hitsi on edellytys liitoksen hyvälle korroosionkestävyydelle. Hitsien puutteellinen jälkikäsitely tai sen kokonaan tekemättä jättäminen on yksi tavallisimmista syistä hitsien korroosioaurioille. Hitsien jälkikäsitelymenetelmät voidaan jakaa mekaanisiin, termisiin ja kemiallisiin menetelmiin. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 419–421.)

Peittaus

Peittauksella pyritään poistamaan hitsauksessa syntynyt hilse ja sen alla oleva kromi-köyhä vyöhyke. Pinta palaa peittauksen johdosta passiivitilaan, joka on paras mahdollinen lopputulos korroosionkestävyyden kannalta. Peittaus voidaan suorittaa allaspeittauksena, sivelypeittauksena, ruiskupeittauksena tai pastapeittauksena. Käytettävä menetelmä määräytyy kohteen ja käytettävissä olevien resurssien mukaan. Peittausaineilla on yleensä teräksen pintaa passivoiva vaikutus, joten erilliselle passivoinnille ei ole tarvetta. Peittausjätteet on huuhdottava käsittelyn jälkeen huolellisesti pois, sillä ne syövyttävät teräspintaa. (Kyröläinen & Lukkari 1999, 424–425.)

4 MUITA LIITOSMENETELMIÄ

4.1 Niittaus

Niittausta käytetään usein liitosmenetelmänä kohteissa, joissa hitsauksen aiheuttamat muutokset materiaalissa eivät ole sallittuja. Se on myös tyypillinen liitosmuoto metallien ja epämetallien välillä. Niittiliitos voidaan toteuttaa joko työkaluin muovattavilla tai itsemuovautuvilla niitellä. Niittaus soveltuu parhaiten leikkauskuormitettuun liitokseen. (Nuutinen & Raunio 2000, 7.) Kennoelementit ovat kooltaan suuria ja sisältävät paikkoja joihin on hankala päästä, joten työkaluin muovattavat niitit soveltuvat niihin huonosti.

Sokkoniitit ovat tyypillisiä itsemuovautuvia niittejä, jotka pystytään asentamaan yhdeltä puolelta. Yhdeltä puolelta liittäminen on käytännössä ainut toteutustapa kenorakenteiden pintalevyjen ja ytimien välisissä liitoksissa. Tavallinen sokkoniitti vaatii liitettäviin osiin esiporatut reiät, mutta itseporautuvilla niiteillä tämä porausten teko voidaan välttää. Tavallinen sokkoniittiliitos muodostetaan siten, että niitti asetetaan porattuun reikään työkalun avulla ja työkalun leuat vetävät niitin karaa ylöspäin työkalun ulkoreunan painaessa niitin kantaa levyä vasten. Karan pää muodostaa kauluksen liitoksen alle ja katkeaa riittävän kiristyksen saavutettuaan, jolloin liitos on valmis. Itseporautuvissa niiteissä on poramainen kärki, jonka avulla liitettävät kappaleet lävistetään. Porauksen jälkeen karaa vedetään kuten tavallisen sokkoniitin tapauksessa ja poran kärki jää liitoksen sisälle muodostaen kohouman joka ei mahdu reiästä läpi. Sokkoniiteillä voidaan liittää yhteen 0,5–15 mm:n ainevahvuuksia ja alumiineilla jopa 40 mm paksuja kappaleita. (Matilainen ym. 2011, 336–337.)

Nykyään niittiliitoksia käytetään melko vähän teräsrakenteissa, mutta kevytmetallien liitosmuotona se on hyvin yleinen. Liitoksen etuja ovat keveys, lujuus ja hyvä korroosionkestävyys. Niittejä käytettäessä tulee suunnittelussa huomioida käytettävien niittien ja perusmateriaalien lujuudet. (Matilainen ym. 2011 339–340.) Vesitiiviin liitoksen aikaansaamiseksi, tulisi niiteinä käyttää paineenkestäviä tyyppisiä. Korroosion estämiseksi niittien kannan päälle voidaan asentaa erilaisia suoja. (Nuutinen & Raunio 2000, 8.) Niitit ovat aina selvästi liitettävistä pinnoista erotettavia, joten tuotteen visuaalinen ilme voi kärsiä niistä. Vesilevystöjen tapauksessa pinnasta halutaan mahdollisimman tasainen, minkä vuoksi niittäus ei ole paras mahdollinen ratkaisu.

4.2 Hybridiliittäminen

Hybridiliittämisellä tarkoitetaan liitosta, missä epäjatkuvan liitosmenetelmän yhteydessä käytetään liimausta. Hybridiliittämistä käsitellään seuraavissa kappaleissa lä-

hinnä liimaamisen kannalta. Epäjatkuvat tai pistemäiset liitokset kuten niittaus ovat jäykkyydeltään ja lujuudeltaan heikompia kuin jatkuvat liitokset. Yhdistämällä liimaus tällaisiin menetelmiin voidaan hyödyntää molempien liitosmenetelmien hyviä ominaisuuksia. Liimausta voidaan käyttää muun muassa seuraavien menetelmien yhteydessä

- pistehitsaus
- ruuvaus
- niittaus
- puristusliittäminen.

Hybridiliittämisessä liimauksen tehtävänä on toimia jatkuvana liitoksena lujuuden ja jäykkyyden aikaan saamiseksi. Täydentävä liitosmuoto parantaa liimaliitoksen heikkoa repimislujutta. Liimasaumoja hyväksikäyttäen voidaan rakenteesta tehdä neste- ja kaasutiivis. Hybridiliittämisellä voidaan parantaa liitoksen korroosiokestävyyttä ja lisätä liitoksen väsymiskestävyyttä.

Liimaliitos kestää huomattavasti heikommin tasoa vastaan kohtisuoraa kuormitusta, minkä vuoksi liimaliitokset tulisi suunnitella niin, että liitokseen kohdistuva kuormitus olisi tason suuntaista leikkauskuormitusta ja liitospinta olisi mahdollisimman suuri. Erityisiä vaaranpaikkoja ovat liitosten päät, joissa voi esiintyä repivää kuormitusta.

Nuutisen ja Raunion (2000, 36) mukaan suurin leikkauslujuus saavutetaan pistehitsauksen ja liimauksen yhdistämisellä. Pistehitsauksella saavutetaan myös suurin repäisylujuus ruostumattomilla teräksillä. Muilla materiaaleilla niittaus tuottaa parhaan repäisylujuuden. Hybridiliitoksilla saavutetaan suuremmat leikkauslujuudet ja samantasoiset tai hieman suuremmat repimisljuudet pistemäisiin liitoksiin verrattuna.

5 TYÖN ETENEMINEN

Työ toteutettiin tutkimusprojektina, joka aloitettiin tutustumalla erilaisiin paperikoneen määränpään levystöihin. Referensseinä käytettiin muutamia tekeillä olevia ja vasta valmistuneita projekteja. Työn aloitusvaiheessa tarjoutui myös mahdollisuus tutustua valmiisiin puristimen telaryhmän levystöihin Rautpohjan esikokoonpanohallissa. Valmiisiin tuotteisiin tutustuminen auttoi hahmottamaan paremmin käsillä olevaa ongelmaa.

Alkuselvityksen jälkeen aloitettiin tutkimusmateriaalien etsintä ja läpikäynti. Tutkittaviksi aihealueiksi valikoituivat kennorakenteiden konstruktio, materiaalitekniikka, liitosmenetelmät ja metallien korroosio. Toimeksiannon mukaan työssä ei ollut tarkoitus puuttua kennorakenteen mitoitukseen, ellei se muodostu välttämättömäksi käytettävissä olevien liitosmenetelmien johdosta. Tästä johtuen rakenteen lujuustekninen tarkastelu rajoitettiin hitsien mitoitukseen. Tutkimuksen teoriapohjana käytettiin sekä ulkomaisia että kotimaisia artikkeleita, kirjoja ja yritysten esittelymateriaaleja. Teoria-aineiston lisäksi arvokasta tietoa saatiin erään alihankkijan haastattelusta ja yrityksen sisäisiltä asiantuntijoilta.

Teoriapohjan muodostamisen jälkeen voitiin antaa suositukset menettelytavoista ja aloitettiin suunnitteluohjeen kirjoittaminen. Ennen suunnitteluohjeen puhtaaksikirjoitusta pidettiin vielä palaveri, jossa keskusteltiin ohjeen sisällöstä ja tuloksista. Palaverissa käsiteltiin myös jatkokehitysehdotukset ja prosessin aikana esille nousseet ongelmakohdat, joista kirjoitettiin lyhyt raportti. Raporttia ei esitetä liitteenä tässä opinnäytetyössä, koska se sisälsi pääosin toimeksiantajan sisäistä materiaalia.

6 RAKENNETARKASTELU

6.1 Kiinassa suoritettavan valmistuksen erityispiirteet

Kiinan toimintaympäristön ja resurssien kartoittamista varten haastateltiin Kiinassa valmistuksen laadun hallinasta vastaavaa Tapani Leppästä. Haastattelusta kävi ilmi, että Kiinaan valmistettaviksi menevissä tuotteissa on otettava huomioon useita asioita, joiden voitaisiin katsoa olevan itsestäänselvyksiä Suomessa toimittaessa. Kiinassa alihankkijoiden taso voi vaihdella rajusti ja käytettävissä olevat resurssit voivat olla melko niukkoja verrattuna Suomen tilanteeseen, mistä esimerkkinä toimii opinnäytetyön lähtökohta eli laserhitsausresurssien huono saatavuus.

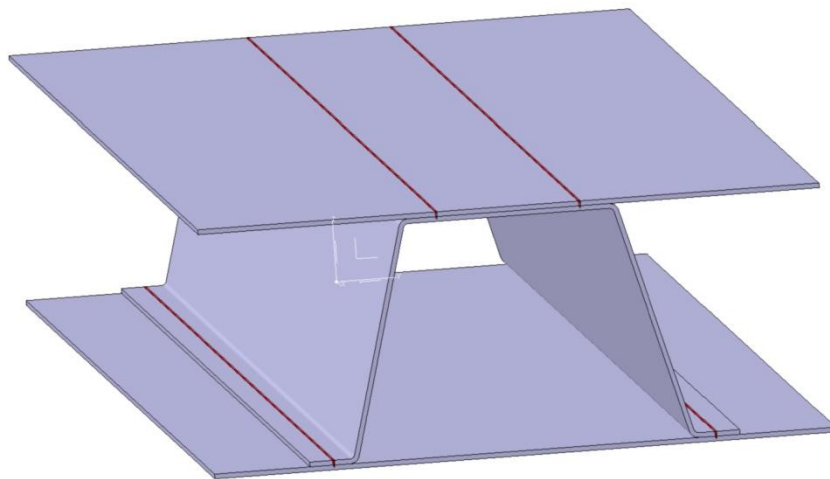
Kiinassa valmistettaviksi tarkoitettujen tuotteiden suunnittelussa on otettava huomioon myös kustannuskysymykset. Toistaiseksi Kiinassa valmistettavien tuotteiden volyymit ovat olleet suhteellisen pienet, minkä vuoksi erikoisresurssien kuten laserhitsauslaitteiden hyödyntäminen ei kustannusmielessä ole välttämättä järkevää. Tämän vuoksi ohutlevytuotteiden suunnittelussa on edelleen perusteltua pitäytyä perinteisiä menetelmiä hyödyntävissä ratkaisuisissa. Leppäsen (2012) mielipide oli, että valmistusmenetelmien käytön suhteen ei tulisi asettaa erityisiä rajoitteita valmistuksen joustavuuden ja kustannusten vuoksi. Rajoitteita toki tarvitaan mikäli tuotteen ominaisuudet asettavat ehdottomia vaatimuksia menetelmille.

Eräs suuri haaste Kiinassa toimimisessa on, että valmistuksen suhteen ei voida luottaa niin sanottuun hyvään Suomalaiseen valmistustapaan. Tästä syystä Kiinassa toimittaessa tarkkuus ja täsmällisyys piirustusten laadinnassa korostuvat entisestään. Piirustuksista mahdollisesti puuttuvat hitsimerkit voivat helposti johtaa siihen, että kyseiset liitokset jätetään yksinkertaisesti hitsaamatta, vaikka ne selvästi olisivat rakenteen kannalta kriittisiä.

6.2 Vesilevystöjen profiilit

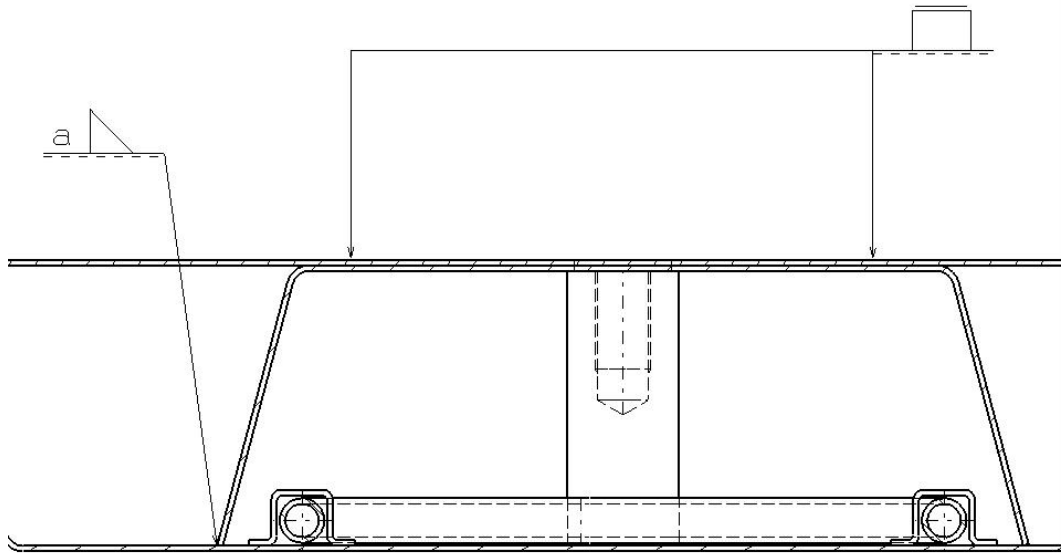
Ohutlevykennoina valmistettavien vesilevystöjen pintalevyjen ja ytimien väliset hitsit on alun perin suunniteltu hitsattavaksi laserilla jatkuvilla saumoilla (ks. kuvio 15).

Tulppa- tai katkopianahitseillä toteutetuissa levystöissä hitsit on pääasiassa mitoitettu siten, että hitsien yhteinen pinta-ala vastaa jatkuvan laserhitsin pinta-alaa.

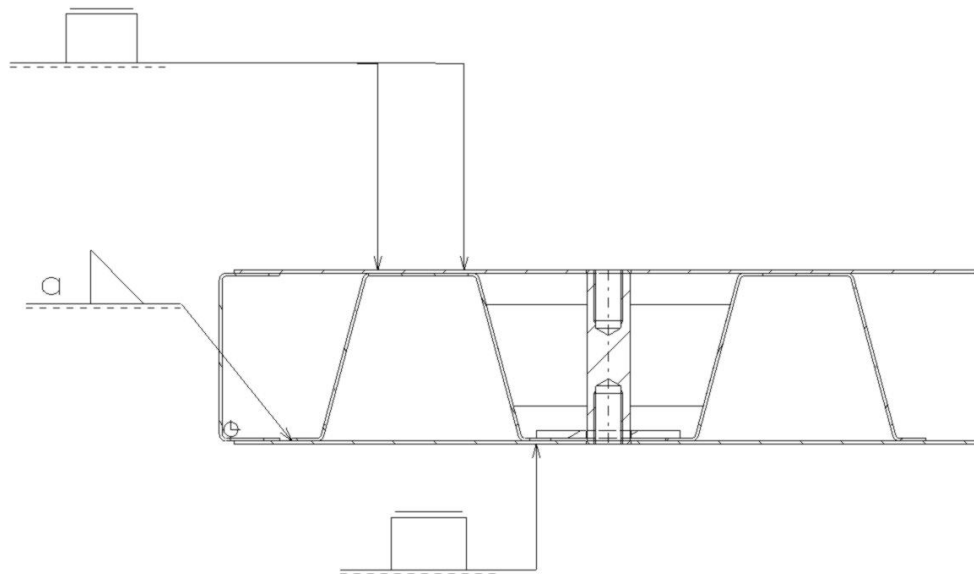


KUVIO 15. Laserhitsattu rakenne (hitsit kuvattu punaisin viivoin)

Kaarimenetelmin hitsattujen levystöjen toteutuksissa on ajan kuluessa esiintynyt vaihtelua. Puristinosalla ei ole ollut käytössä suunnitteluohjetta kaarihitsattavia rakenteita varten vaan toteutukset ovat vaihdelleet suunnittelijan mukaan. Viiraosalla on puolestaan ohjeistettu käyttämään hieman erilaista ydinprofiilia kaarihitsausmenetelmien yhteydessä. Kuvioissa 16 ja 17 on esitetty eri toteutustavat kaarihitsattujen levystöjen ytimen ja pintalevyjen välisille liitoksille.



KUVIO 16. Ote viiraosan ohjepiirustuksesta, jossa on käytetty piena- ja tulppahitsejä (muokattu, mittoja poistettu)



KUVIO 17. Puristinosalla käytössä olevia liitosmuotoja, jaloissa joko piena- tai tulppahitsi (muokattu projektipiirustuksesta)

Puristimen levystöissä on säilytetty ytimen profiili vastaavana kuin laserhitsattavassa mallissa. Ytimen ja ylemmän pintalevyn liitos on toteutettu aina tulppahitsaamalla, mutta pohjalevyn liitoksessa on käytetty joko tulppahitsejä tai pienahitsejä. Molemmat liitostavat on esitetty kuviossa 17.

6.3 Toteutustapojen vertailu

Viiraosan mallissa (ks. kuvio 16) on useita etuja verrattuna puristimella käytettävään profiiliin (ks. kuvio 17). Viiraosalla käytettävä profiili on valmistuksellisesti helpompi kahden ylimääräisen taivutuksen jäädessä pois. Laserhitsattavassa rakenteessa nämä taivutukset ovat välttämättömät käytettävän liitosmuodon vuoksi. Suunnitteluosastolla oli kuitenkin epäilty viiraosan profiilin olevan valmistuksellisesti haastava, mikäli ydinprofiilin reunassa esiintyy leikkauksen jäljiltä epätarkkuuksia. Valmistuksen laadunvalvonnan kommentti oli kuitenkin, että asia ei ole muodostunut ongelmaksi missään aikaisemmissa toteutuksissa (Laitinen 2012).

Puristinosalla käytettävän profiilin perusteluna pidetään sen mukautuvuutta eri projektien välillä. Käytettäessä samaa profiilia kaikille menetelmille jää suunnittelijan tehtäväksi ainoastaan muuttaa hitsausmerkinnät ja sisäprofiilin paksuus. Toisena perusteluna profiilin käytölle esitettiin aiemmin mainittu liitoskohdan rakenteellinen hitsattavuus.

Korroosionäkökulmasta puristimella käytetty levikkeellinen profiili on huonompi levikkeen alle muodostuvan suhteellisen tiiviin raon vuoksi. Mikäli kennon sisälle pääsee prosessivettä, se valuu kennon pohjaa pitkin ja voi altistaa liitoksen rakokorroosiolle. Viiraosan profiilissa liitoskohtaan ei periaatteessa muodostu vastaavanlaisia rakokorroosiolle alttiita lähes tiiviitä rakoja. Rakokorroosiovaaran minimoimiseksi liitokset tulisi suunnitella sellaisiksi, että rakoja ei synny tai vaihtoehtoisesti rakojen tulisi olla riittävän suuret veden poispääsyt varmistamiseksi. Levystöjä käsittelevissä

palaverissa päädyttiin kuitenkin siihen, että myös kaarihitsausmenetelmillä valmistavissa levystöissä tullaan jatkossa käyttämään samaa profiilimuotoa kuin laserhitsatuissakin.

Vesilevystöissä käytettävän ydinprofiilin liittäminen pohjalevyyn voidaan toteuttaa joko pienahitsein tai tulppahitsein. Tulppahitsejä käytettäessä liitokset voidaan katsoa samanarvoisiksi pintalevyn liitosten kanssa. Pienahitsejä ei voida suositella käytettäväksi liitosmuotona, sillä pieni levynvahvuus rajoittaa hitsin pinta-alan hyvin pieneksi. Liian pienten hitsien mikrorakenne saattaa tulla liian kovaksi ja sitkeydeltään riittämättömäksi liian nopean jäähtymisen johdosta (Airila ym. 1997, 256). Liitoksessa vaikuttavat jännitykset tulee olla hyvin selvillä, mikäli aiotaan käyttää pienahitsejä.

Kaarihitsausmenetelmin tehtävät pistehitsit voisivat olla vartenotettava vaihtoehto tulppahitseille. Pistehitsien suoritus on yksinkertaista ja nopeaa eikä se vaadi hitsaajalta erityisen korkeaa pätevyyttä. Pistehitsissä myös lämmöntuonti jää tulppahitsiä pienemmäksi, minkä vuoksi muodonmuutokset ovat paremmin hallittavissa. Levyjen tulisi olla kuitenkin hyvin tiiviisti kiinni toisissaan, minkä varmistaminen voi olla hankalaa kennorakenteita hitsattaessa.

6.4 Levystöjen kuormitukset

Puristimen telaryhmän levystöjen mitoituksen perusteena käytetään levystön oman massan lisäksi huoltotöiden aikana henkilökuormasta aiheutuvaa 300 kg:n pistemäistä kuormitusta levystön keskellä ja 50 mm:n vesimassaa koko levystön pinta-alalla. Levystön rakenne on vakioitu siten, että leveysluokan muuttuessa muutetaan ainoastaan kennoston korkeutta (ks. taulukko 3). Leveysluokalla tarkoitetaan tässä tapauksessa tukiväliä paperikoneen poikkisuunnassa.

TAULUKKO 3. Leveysluokan vaikutus profiilin korkeuteen

LEVEYSLUOKKA	PROFIILIN KORKEUS
< 7 300 mm	120 mm
7 300 - 9 300 mm	165 mm
> 9 300 mm	200 mm

6.5 Leikkausjännitysten määrittäminen

Tärkein asia hitsausliitosten mitoituksen kannalta on pintalevyjen ja kennoprofiilin välisten leikkausvoimien löytäminen. Kennorakenteet ovat poikkileikkaukseltaan monimutkaisia ortotrooppisia laattoja, joissa vallitsevien jännitysten tarkka selvittäminen analyttisesti on hyvin vaikeaa. Tässä työssä käytetään taivutusjännitysten laskentaan palkkiteoriaa ja palkin poikkileikkauksena käsitellään edellä esitetyn kuvion 15 mukaista rakenneosaa. Menetelmällä voidaan karkeasti tarkastella kuormituksen aiheuttamia momentteja ja leikkausvoimia. Tarkempiin tuloksiin päästään soveltamalla ortotrooppista levyteoriaa tai FE-menetelmiä.

Kun rakenneosaa tarkastellaan vapaasti tuettuna palkkina, voidaan momentit ja leikkausvoimat laskea taulukkokirjan perustapausten 1 ja 4 mukaan (Valtanen 2008, 383–384). Suurin leikkausvoima on pistekuorman ja jatkuvan kuorman tapauksissa sama kuin tuella vaikuttava tukivoima. Suurin momentti puolestaan esiintyy jännevälin puolella välissä.

Kennorakenne koostuu ytimestä ja pohja- ja pintalevyistä. Mikäli osia ei olisi liitetty yhteen, toimisivat ne taivutuksessa itsenäisesti ja osien välillä tapahtuisi liukumista. Jäykkyyden lisäämiseksi osat sidotaan toisiinsa esimerkiksi hitsaamalla, jolloin osien liukuminen estyy taivutuksessa ja niiden välille muodostuu pituussuuntainen leikkausjännitys. Palkkien taivutusteorian mukaan poikkileikkauksessa vallitseva, tasoa vas-

taan kohtisuora leikkausjännitys τ_{xy} voidaan laskea JOURAWSKin kaavasta (1). (Salmi & Pajunen 2010.)

$$\tau_{xy} = \frac{Q_y S_z(y)}{I_z b(y)} \quad (1)$$

missä

- Q_y on tasossa vaikuttava leikkausvoima
- S_z on tarkasteltavan taso-osan staattinen momentti z-akselin suhteen
- I_z on poikkileikkauksen jäyhyysmomentti z-akselin suhteen
- b on tarkasteltavan kohdan leveys (hitsin leveys)

Menetelmä soveltuu hyvin esimerkiksi I-palkkien laipan ja uuman välisten leikkausjännitysten tarkasteluun. Menetelmän heikkous on se, että se ei ota huomioon kenorakenteessa kuormituksen johdosta syntyviä taivutusmomentteja x-akselin ympäri. Menetelmää kokeiltiin, mutta tuloksia ei pidetty vertailukelpoisina joten ne jätettiin huomioimatta.

6.6 Hitsien mitoitus

Standardissa SFS-EN 1993-1-8 esitetään yleiset mitoitusperusteet hitsausliitosten suunnittelulle. Alle 4 mm:n ainevahvuuksille esitetään lisäksi täydentävät ohjeistukset standardissa SFS EN 1993-1-3. Molemmat edellä mainituista standardeista kuuluvat osina laajempaan Eurocode 3-standardiin, jossa määritellään teräsrakenteiden suunnittelulle asetetut vaatimukset. Kaikki jäljempänä esitettävät hitsejä koskevat

mitoituskriteerit ovat ilmoitettu näiden standardien mukaan. Kaavoissa esiintyvät muuttujat on selitetty siinä yhteydessä missä ne ensimmäisen kerran mainitaan.

Tässä luvussa keskitytään liitosmuotojen osalta katkopianahitseihin, pistehitseihin ja tulppahitseihin ohutlevykennorakenteessa hitsauksen aikana tapahtuvien muodonmuutosten hallitsemiseksi. Menettely on osaltaan ristiriidassa standardin SFS-EN 1993-1-8 kohdan 4.3.2.2 (1) kanssa, jonka mukaan ”Katkopianahitsejä ei saa käyttää syövyttävissä olosuhteissa.” Tämä epäkohta otettiin huomioon työtä aloitettaessa, ja sen vuoksi olosuhteisiin ja korroosionkestoon pyritään vaikuttamaan muilla meneteltyillä. Seuraavissa kohdissa esitetään mitoitusperusteet ainoastaan tulppa- ja pistehitseille, sillä standardissa ei määritellä mitoitusperusteita a-mitaltaan alle 3 mm:n pienahitseille. Käytettäessä katkopianahitsejä tulisi kuitenkin noudattaa hitsausstandardin SFS-EN 1993-1-8 antamia ohjeita hitsien sijoittelusta.

Katkopianahitsit

Käytettäessä katkopianahitsejä tulisi liitokset tehdä siten, että liitettävän osan päässä on aina hitsi. Pienahitsejä ei saa lopettaa liitettävien rakenneosien päissä tai sivulla. Katkopianahitsin tapauksessa liitoksen viimeiset hitsit tulisi hitsata jatkuvina ja täysikokoisina kulman ympäri kaksi kertaa hitsin kyljen pituisina. Lopetuskohdat tulisi merkitä piirustuksiin.

Tulppahitsi

Tulppahitsejä saa käyttää ainoastaan leikkausvoiman siirtämiseen. Tulpparailojen päät tulisi tehdä puolipyöreiksi. Tulppahitsien välinen keskiöetäisyys ei saa ylittää levyn paikallisen lommahtamisen estävää arvoa. Tulppahitsin kestävyden mitoitussarvo lasketaan kaavalla 2.

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} A_w \quad (2)$$

missä

A_w on tulppareian pinta-ala

$f_{vw,d}$ on leikkauslujuuden mitoitusarvo

Leikkauslujuuden mitoitusarvo lasketaan kaavalla 3.

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (3)$$

missä

f_u on heikomman liitettävän osan vetomurtolujuuden nimellisarvo

β_w on pienahitsien korrelaatiokerroin, käytetään arvoa 1,0 (SFS-EN 1993-1-4)

γ_{M2} on poikkileikkausten kestävyys vetomurtumisen suhteen, käytetään arvoa 1,25

Pistehitsit

Pistehitsien leikkauskestävyys voidaan laskea kaavasta 4.

$$F_{V,Rd} = \frac{\pi}{4} d_s^2 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (4)$$

missä

d_s on pistehitsin halkaisija levyjen liitospinnassa

Kaarimenetelmin suoritettavien pistehitsien halkaisijan d_s tulisi olla vähintään 10 mm. Kaarihitsattavan pistehitsin leikkauskestävyys $F_{w,Rd}$ lasketaan kaavasta 5.

$$F_{w,Rd} = \frac{\pi}{4} d_s^2 \frac{0,625 f_{uw}}{\gamma_{M2}} \quad (5)$$

missä

f_{uw} on käytettävän hitsauslisäaineen murtolujuus

6.7 Levykentän lommahdus

Lommahduksella tarkoitetaan levyn tai laatan stabiiliuden menetystä tason suuntaisten voimien johdosta. Ideaaliselle levyille kriittinen lommahdusjännitys σ_{cr} voidaan laskea kaavasta 6.

$$\sigma_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (6)$$

missä

- k on lommahduskerroin, joka voidaan perustapauksessa laskea kaavasta 7
- E on materiaalin kimmokerroin
- t on levyn paksuus
- b on levyn (levykentän) leveys
- ν on suppeumakerroin, eli POISSONin vakio, joka on teräkselle 0,3

$$k = \left(\frac{mb}{a}\right)^2 + 2 + \left(\frac{a}{mb}\right)^2 \quad (7)$$

missä

- a on levykentän pituus
- m on puolialtojen lukumäärä

Kaavasta 6 voidaan todeta, että nimittäjässä sijaitsevalla levykentän leveydellä on merkittävä vaikutus kriittisen lommahdusjännityksen arvoon. Jatkuvalle saumalle hitsatussa rakenteessa levykentän leveys rajoittuu jännitysten kannalta kriittisimmässä suunnassa kahden pitkittäissauman väliseen alueeseen. Katkositsein toteutetussa rakenteessa levykenttä voi muodostua hitsien sijoittelusta riippuen jopa koko kennoelementin levyiseksi. Kaavaa 6 sovellettaessa on kuitenkin huomioitava, että se soveltuu vain ideaalitapaukselle. Levyrakenteiden lommahdusta käsitellään tarkem-

min standardissa SFS-EN 1993-1-5, joka kuuluu osana Eurocode 3-standardiin ja käsittelee yleisesti levyrakenteita. Standardin mukaisessa tarkastelussa otetaan huomioon muun muassa levykentän pilarimainen käyttäytyminen, joka voi esiintyä sivusuhteen a/b ollessa pieni.

Kennorakenteessa lommahdukselle alttiita rakenneosia ovat pintalevy ja uuma. Pintalevyä kuormittaa taivutuksesta johtuva normaalivoima ja uumaa poikkileikkauksen tason suuntainen leikkausvoima. Käytettäessä katkohitsejä, rakenteeseen muodostuu uusia osakenttiä joilla on oma lommahdusmuoto. Ongelmaksi levykentän lommahdustarkastelussa nousi pintalevyssä vaikuttavien todellisten jännitysten epämääräisyys. Mitoituksessa päädyttiin jatkamaan aikaisempien tulosten perusteella 100 mm hitsien välisellä etäisyydellä.

7 TULOKSET

7.1 Tulokset yleisesti

Työssä tutkittiin erilaisten valmistusmenetelmien soveltuvuutta ohutlevykennorakenteille. Erityisenä mielenkiinnon kohteena oli rakenteen korroosiokestävyys. Korroosio-ominaisuuksiin pystytään vaikuttamaan hitsausmenetelmää valittaessa lähinnä ainoastaan käytettävän lisäaineen avulla. Kaarihitsausmenetelmiä käytettäessä hitsaustapahtuman aikainen lämmöntuonti on aina huomattavasti suurempi kuin laserilla hitsattaessa. Tämä johtaa hitsauksen aikana tapahtuvan mikrosuotautumisen takia melko suureen kromiköyhään alueeseen hitsin HAZ-vyöhykkeen rajalla. Köyhtyminen on runsainta hitsattaessa ilman lisäainetta esimerkiksi sulattavalla TIG-hitsauksella, minkä vuoksi lisäaineellista hitsausta voidaan pitää perusteltuna korroosio-olosuhteiden ollessa vaikeasti määriteltävissä.

Suurten ohutlevy tuotteiden hitsaus kaarihitsausmenetelmin on haastavaa suuren lämmöntonni aiheuttamien hitsausmuodonmuutosten vuoksi. Muodonmuutosten ja lisäainekustannusten hallitsemiseksi liitokset on toteutettava katkonaisilla hitseillä. Myös ohutlevykennoston suljettu kotelomainen rakenne vaikuttaa siihen, että jatkuvien hitsien käyttö on mahdotonta kaarihitsausmenetelmiä käytettäessä.

Hitsien epäjatkuvuudesta ja kennon ytimen profiilista johtuen rakenteeseen jää aina rakokorroosion kannalta epäsuotuisia paikkoja. Koska kennoprofiili haluttiin pitää samana liitosmenetelmästä riippumatta, jää ainoaksi rakenteelliseksi korroosio-ominaisuuksien parantamiskeinoksi kennon mahdollisimman hyvä tiivistäminen.

7.2 Suunnitteluohje

Opinnäytetyön tuloksena syntynyt suunnitteluohjeistus pidettiin tarkoituksellisesti mahdollisimman yksinkertaisena ja lyhyenä. Ohjeessa tuodaan esille soveltuvin osin standardien mukaiset vaatimukset hitsausliitoksille ja annetaan ohjeet materiaalien ja hitsauslisäaineiden suhteen. Laadunvalvonnan mielipiteet pyrittiin myös huomioidaan parhaalla mahdollisella tavalla. Tulppahitsien tasaamisesta luovuttiin, koska sillä katsottiin olevan jopa haitallinen vaikutus tuotteeseen, mikäli se suoritetaan huolimattomasti. Suunnitteluohjeesta jätettiin pois aikaisemmissa toteutuksissa käytetty ohjaus TIG-prosessiin, koska menetelmien välillä ei katsottu olevan tarpeeksi merkittäviä eroja korroosionkeston suhteen. Menetelmäsuosituksen pois jättäminen myös sallii valmistajan käyttää menetelmää, jonka se kokee parhaiten hallitsevansa.

Ohjeen kirjoitusasuun suhteen tultiin siihen tulokseen, että se kirjoitetaan suositusmuotoisena, koska esimerkiksi materiaalivalintoihin ei pystytä aina suunnitteluvaiheessa vaikuttamaan. Opinnäytetyö ja osa siihen liittyvästä tutkimusaineistosta sisällytettiin liitteenä suunnitteluohjeeseen. Suunnitteluohjeen lopullinen muoto tulee todennäköisesti vielä muuttumaan, sillä opinnäytetyön seurauksena päätettiin ryhtyä

jatkotoimenpiteisiin viiraosan ja puristinosan ohjeiden yhdistämiseksi. Varsinainen suunnitteluohje päätettiin jättää pois opinnäytetyön raportista.

7.3 Jatkotoimenpiteet ja kehitysehdotukset

7.3.1 Toteutettujen levystöjen kunnon kartoitus

Kennorakenne on monin tavoin haastava konstruktio paperikoneen olosuhteissa. Paperikoneen märänpään korroosio-olosuhteet vaihtelevat paperinvalmistajasta riippuen, minkä vuoksi korroosionkestolle on vaikea antaa tarkkoja suosituksia. Etenkin kennoelementin sisällä vallitsevista olosuhteista on hyvin vähän tietoa. Valmistusteknisistä syistä johtuen nykyisessä rakenteessa kennon sisälle jää rakokorroosiolle alttiita liitoksia, joita ei pystytä jälkikäsittelemään hitsauksen jälkeen.

Rakenteen jatkokehityksen kannalta olisi tärkeää selvittää millaisessa kunnossa ensimmäiset kennorakenteena toimitetut levystöt ovat. Mikäli itse liitosten tutkiminen on mahdotonta, olisi hyvä selvittää onko kennon sisälle päässyt prosessivettä ja millaisia kemikaalipitoisuuksia sieltä löytyy.

7.3.2 Yhteisen levystörakenteen kehittäminen märkään päähän

Alkuperäisten tavoitteiden mukaisia tuloksia jopa merkittävämpänä tuloksena syntyi ajatus koko paperikoneen märänpään yhteisestä levystöratkaisusta. Työn aikana havaittiin useita kehityskohteita kennorakenteen yksityiskohdissa ja suunnitteluohjeissa. Kehityskohteet havaittiin valmistuksen asiantuntijoiden ja alihankkijan haastattelujen yhteydessä. Esille tulleiden asioiden johdosta järjestettiin vielä yksi palaveri ennen työn lopullista esittelyä, jotta saatiin aikaiseksi keskustelua jatkotoimenpiteistä.

Palaverissa paikalla olleet puristin- ja viiraosan edustajat yhtyivät työn aikana syntyneeseen näkemykseen määrän pään levystöratkaisuiden yhdistämisestä. Jatkotoimenpiteenä ehdotettiin nykyisten kuuden eri profiilinkorkeuden supistamista kolmeen, joilla voitaisiin kattaa koko kuormitusalue. Vaikka vesimäärät ovat erilaiset puristinosalla ja viiraosalla ovat kuormitustapaukset silti samanlaiset. Levystön valintaan vaikuttavia muuttujia on käytännössä vain kaksi, kuormituksen suuruus ja levystön tukiväli. Näiden mukaan voidaan valituille profiileille luoda kuormituskäyrät, joita seuraamalla on helppo valita oikea profiilinkorkeus kulloiseenkin käyttötilanteeseen.

Profiilien yhtenäistämistarpeen lisäksi havaittiin olemassa olevissa suunnitteluohjeissa puutteita hitsausmerkinnöissä ja valmistusteknisissä asioissa. Valmistuksen kannalta tärkeä havainto oli tyyppillisen ohutlevyteräksen arkkikoon huomiointi rakenteen leveyttä mitoittaessa.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli monella tapaa mielenkiintoinen. Työn alussa oli kuitenkin pieni pelko, että aihealue voi muodostua vaikeasti hallittavaksi kokonaisuudeksi, johon on hyvin vaikeaa löytää yksiselitteistä vastausta. Tehtävänannossa painotettiin erityisesti korroosionäkökulmaa kennorakenteiden tarkastelussa, mitä pyrittiinkin selvittämään mahdollisimman tarkasti prosessin aikana. Kennorakenteiden kaarihitsaukseen liittyvän korroosiotarkastelun lisäksi oli tarpeen selvittää valmistuksen näkemykset kaarihitsausmenetelmien vaikutuksesta valmistettavuuteen. Työssä otettiin myös selvää Kiinan valmistusresursseista ja toimintatavoista.

Ohutlevytekniikka ja hitsauksen metallurgia eivät olleet minulle aihealueina kovin tuttuja työtä aloitettaessa, koska opintojen aikana niitä on käsitelty lähinnä pintapuolisesti. Tämän vuoksi työn alussa jouduttiin tekemään hyvin paljon selvitystyötä.

Jälkikäteen ajateltuna kirjallisuuteen tutustumiseen kulutettiin aivan liikaa aikaa pyrittäessä löytämään jonkinlainen yksiselitteinen ratkaisu käsiteltävään ongelmaan. Oman näkemykseni mukaan ruostumattomien terästen hitsaukseen liittyvät asiat pystyttiin kuitenkin tuomaan melko hyvin esille ja valmistukseen liittyvät asiatkin saatiin hyvin selvitettyä asiantuntijoiden avulla. Lisäaineenkäyttösuosituksella voidaan katsoa olevan vaikutusta, mikäli korroosio-olosuhteet kennoston sisällä oletetaan vaikeiksi. Poistamalla piirustuksista ohjaus tiettyyn hitsausmenetelmään, annetaan valmistukselle mahdollisuus käyttää menetelmää, jonka se parhaiten osaa.

Huomattavaa lisäarvoa opinnäytetyölle olisi tuonut liitosten tarkempi lujuusopillinen tarkastelu. Tarkkojen ja yksiselitteisten laskujen aikaansaaminen oli kuitenkin haastavaa ja loppujen lopuksi mahdotonta rajallisen aikataulun vuoksi. Laskenta kokonaisuutena aloitettiin liian myöhäisessä vaiheessa prosessia. Laskentaa varten tutustuttiin useisiin kerroslevyrakenteita ortotrooppisen levyteorian erilaisina sovelluksina käsitteleviin artikkeleihin. Aihealue ei kuitenkaan tuntunut millään avautuvan jäljellä olevan ajan rajoissa, joten se jätettiin kokonaan käsittelemättä raportissa. Lopuksi päädyttiin tekemään yksinkertaistettu tarkastelu palkkiteorian mukaan, minkä tulokset ei kuitenkaan pidetty vertailukelpoisina, joten ne esitettiin ainoastaan teorioina. Hitsien mitoituksessa päädyttiin säilyttämään vanhat toimiviksi todetut ratkaisut. Täydentävänä informaationa olemassa olevien mitoitusperusteiden tueksi esitettiin suunnitteluohjeessa standardin mukaiset vaatimukset eri liitostyypeille.

Tärkeimpänä asiana opinnäytetyöprosessin onnistumisen kannalta pidän aiheen tiimoilta herätettyä keskustelua eri sidosryhmien välillä. Organisaatiomuutosten myötä viira- ja puristinosat on yhdistetty yhteisen wet end-nimikkeen alle, minkä vuoksi oli luontevaa ehdottaa siirtymistä yhteiseen levystörakenteeseen. Tämän katsottiin olevan järkevä kehityssuunta myös osastojen edustajien mielestä. Toimeksiantajan puolesta oltiin tyytyväisiä järjestämäni välitarkastelmukseen, jossa tuotiin esille havaittuja ongelmia ja esitettiin kehitysehdotuksia ohutlevytuotteiden jatkokehityksen suhteen.

Kokonaisuutena opinnäytetyö herätti ristiriitaisia tunteita. Toisaalta koen onnistuneeni työssä siinä määrin kuin se on mahdollista, mutta koen myös epäonnistuneeni laskentaosuuden poisjäännin vuoksi. Prosessi opetti kuitenkin tunnistamaan omat resurssit ja jatkon kannalta kehitettävät ominaisuudet.

LÄHTEET

Juutinen, K. 2011. Laserhitsattujen liitosten mikrorakenne ja ominaisuudet ruostumattomissa teräksissä. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Materiaaliteknikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto.

Kauppinen, M. 2012. Haastattelu

KnowPap 2004. Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö 6.0. Viitattu 9.2.2012. Metso Oyj intranet.

KnowPap 2011. Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö 13.0. Viitattu 26.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto> ,Nelliportaali.

Korroosiokäsikirja. 2004. 2 p. Kunnossapitoyhdistys ry. Rajamäki: KP-media Oy.

Kyröläinen, A. & Lukkari, J. 1999. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.

Laitinen, A. 2012. Haastattelu.

Lepola, P. & Makkonen, M. 1998. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Helsinki: WSOY.

Leppänen, T. 2012. Haastattelu.

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Teknologainfo Teknova Oy.

Metso lyhyesti. n.d. Metso. Viitattu 17.4.2012. www.metso.com/fi, metso yrityksenä, metso lyhyesti

Metson yleisesitys. 2012. Metso. Viitattu 17.4.2012. www.metso.com/fi, metso yrityksenä, metso lyhyesti

Mig Spot Welding. n.d. Hitsausvälinevalmistaja ESABin Pohjois-Amerikan verkkosivut. Viitattu 17.2.2012.

http://www.esabna.com/EUWeb/MIG_handbook/592mig11_1.htm

Mikä on kenno? n.d. Ohutlevykennorakenteiden valmistaja Kennotech. Viitattu 2.2.2012. <http://www.kennotech.fi>, tuotteet ja palvelut, Mikä on kenno?.

New lean duplex steels and their weldability. n.d. Hitsausvälinevalmistaja ESABin verkkosivut. Viitattu 11.4.2012. <http://www.esab.com/global/en/>, knowledge, technical articles.

Niemi, E., Kemppe, J. 1993. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Helsinki: Opetushallitus

Nuutinen, J., Raunio, J. 2000. Ohutlevyjen hybridiliittäminen. Hämeenlinna: Hämeen Ammattikorkeakoulu. Ohutlevykeskus.

Paper making. n.d. Outokumpu. Viitattu 11.4.2012.

<http://www.outokumpu.com/en/>, customer industries, project and process industries, paper making.

Plug welding. n.d. Mig welding – the DIY guide. Viitattu 8.5.2012.

<http://www.mig-welding.co.uk/plug-weld.htm>

Rautapohjan perehdyttämisopas. 2011. Metso.

Salmi, T. & Pajunen, P. 2010. Lujuusoppi. Tampere: Pressus Oy.

SFS-EN 1011-3. 2011. Hitsaus. Hitsaussuositukset metallisille materiaaleille. Osa 3: Ruostumattomien terästen kaarihitsaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 21.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto> ,Nelliportaali, SFS Online.

SFS-EN 1993-1-3. 2006. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-3: Yleiset säännöt. Lisäsäännöt kylmämuovatuille sauvoille ja levyille. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 19.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto> ,Nelliportaali, SFS Online.

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 19.3.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto> ,Nelliportaali, SFS Online.

Stainless steel grades for the desalination industry. n.d. Outokumpu. Viitattu 11.4.2012. <http://www.outokumpu.com/en>, outokumpu, customer industries, project and process industries

Toivanen, J-M. 2010. Ultrakevyen rahtialuksen kansiluukkujen , sekä luukkujen siirto- ja varastointijärjestelmän suunnittelu hyödyntäen kevytrakennekonsepteja. Diplomityö. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Teknillinen tiedekunta, Konetekniikan koulutusohjelma. Viitattu 2.2.2012. www.doria.fi

Valtanen, E. 2008. Tekniikan taulukkokirja. 16 p. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy.