



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Iikka Laitalainen

RUOSTUMATTOMAN TERÄKSEN
EN 1.4301/1.4307 KORVAAMINEN
ILMAKUIVAIMESSA

Valmet oyj

Tekniikka ja liikenne
2016

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Iikka Laitalainen
Opinnäytetyön nimi	Tutkimus ilmakeivaimen materiaalin vaihdoksesta
Vuosi	2016
Kieli	suomi
Sivumäärä	84 + 1 liitettä
Ohjaaja	Matti Makkonen

Opinnäytetyö tehtiin Valmet Oyj:lle. Työn tavoitteena oli löytää korvaava materiaali High Intensity-kuivaimelle. Nykyinen austeniittinen ruostumaton teräs haluttiin korvata teräksellä, joka ei olisi laadultaan austeniittista terästä huonompaa. Materiaalin vaihdos käsitteli ilmakeivaimen, polttimelta kuumaa ilmaa tuovaa kanavistoa ja ilmakeivaimen suuttimia. Työn tavoitteena oli vähentää vaativien olosuhteiden tuomien kalliiden materiaalien kustannuksia. Samalla uusi nikkeliiton ruostumaton teräs toisi tuotteen kustannusten ennustamisesta helpompaa.

Työ alkoi tutustumalla nykyisen tuotteen materiaaleihin ja selvittämällä ilmakeivaimessa käytettävien materiaalien vaatimuksia. Tämän jälkeen lähdettiin kirjoittamaan yrityksen alihankkijoita ja materiaalin toimittajia. Heidän yhteistyönsä avulla pystyttiin etsimään korvaavia materiaaleja, joiden mahdollinen soveltuvuus mahdollistaisi materiaalin vaihdokset kohteisiin.

Materiaalia valitessa korostui kustannusten lisäksi mahdollisten uusien materiaalien hyvä saatavuus sekä tilattavien toimituserien koko. Huomattiin myös, että uusi materiaali toisi mahdollisesti etuja lämpölaajenemisen pienentyessä. Asiakasyrityksen Valmet Oyj:n ja alihankkijayrityksen Stairon Oy:n työväki oli antamassa kokemuksensa tämän työn tarkoitukselle ja sen avulla saatiin hyvä kokonaiskuvan projektin eri osa-alueilta.

Työssä päädyttiin tulokseen, jossa korvaavan materiaalin käyttö on mahdollista, kunhan sen käyttäytymisestä kuumissa ja kosteissa olosuhteissa on saatu kokeiden avulla lisää tietoa. Tällöin voidaan sovelluksessa varmasti käyttää toista laatua perinteisen austeniittisen ruostumattoman teräksen rinnalla tai tilalla. Huomattiin myös, että uusi materiaali ei poikkea suuresti valmistettavuudeltaan alkuperäisestä ja omaa paremman lujuuden sekä muokattavuuden, lisäksi uusi materiaali ei lämpölaajene kuumissa olosuhteissa yhtä paljon ja on hinnaltaan erinomainen, sekä saatavuudeltaan hyvä. Kasvanut lujuus voi alemman hinnan lisäksi nostaa materiaalikustannuksista saatavien säästöjen suuruutta.

ABSTRACT

Author	Iikka Laitalainen
Title	The study of the material change of the air dryer
Year	2016
Language	Finnish
Pages	84 + 1 Appendices
Name of Supervisor	Matti Makkonen

The thesis was made for Valmet Corporation. The goal was to find a replacement material to High Intensity dryers. Current austenitic stainless steel was to be replaced by steel that quality would not be weaker in quality than austenitic stainless steel. Change of materials, considered the air dryer of hot air from the burner, trough ducts and air dryer nozzles. The goal was to reduce the cost of expensive materials imported by demanding conditions. At the same time a new nickel-free stainless steel would forecasting cost of the product easier.

The work began by looking at the current product materials and finding out the requirements for materials used in the air-dryer. After that we went to explore the company's subcontractors and material suppliers. Their collaboration helped to look for alternative materials with the potential suitability of the material to enable the changes.

Selecting material costs was highlighted in addition to the potential of new materials high availability, on-demand, and batch size. It was also noted that the new material would potentially also have the advantages of thermal expansion reducing. The customer-company Valmet Corporation and subcontractor Stairon Oy was giving their workers experience to this work purposes and it helped us to draw a good overall picture from project and its different areas.

The work resulted in the conclusion, where the use of replacement materials is possible, as long as its behavior in hot and humid conditions have been tested firmly and more information is gathered. In this case, the application can certainly use another quality addition to traditional austenitic stainless steel or with it as a second choice. It was also noted that the new material does not differ greatly from the original material in manufacturability and is slightly better in strength and formability. In addition to the new material it doesn't alive so much when welded. The material price is excellent and the accessibility is good. The increased strength in addition to the lower price might give even bigger saving when the material is changed.

Keywords stainless steel, nozzles, channels, Valmet oyj, costs

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LYHENTEET JA KÄSITTEET

1	JOHDANTO	8
2	VALMET OYJ.....	10
3	RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET.....	11
	3.1 Austeniittiset ruostumattomat teräkset	12
	3.2 Ferriittiset ruostumattomat teräkset.....	14
	3.3 Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset	16
	3.4 Martensiittiset ruostumattomat teräkset	18
	3.5 Superseokset	19
4	MATERIAALITEKNISET PERUSTEET	20
	4.1 Korroosio	20
	4.1.1 Yleinen korroosio	21
	4.1.2 Paikallinen korroosio	22
	4.2 Korkeiden lämpötilojen korroosio	24
	4.2.1 Hilseily	24
	4.3 Korkeiden lämpötilojen aiheuttamat ongelmat.....	24
	4.3.1 475°C hauraus	25
	4.3.2 Sigmahauraus	25
	4.3.3 Grafitoituminen	25
	4.3.4 Viruminen.....	26
	4.4 Väsyminen	27
5	VALMISTUSTEKNISET PERUSTEET	28
	5.1 Terästen leikkaaminen.....	28
	5.1.1 Mekaaninen leikkaus	28
	5.1.2 Terminen leikkaus.....	30
	5.2 Lastuava työstö	32
	5.3 Teräksen taivuttaminen	33
	5.3.1 Särmäys	34

5.3.2	Mankelointi	35
5.4	Liitosmenetelminä hitsaus ja tox-liitokset	36
5.4.1	Puikkohitsaus.....	37
5.4.2	TIG-hitsaus	38
5.4.3	MIG/MAG hitsaus	39
5.4.4	Plasmahitsaus	40
5.4.5	Tox-liitokset	42
5.5	Hitsattavuus ja hitsauslisäaineet	42
5.5.1	Hitsattavuus	43
5.5.2	Hitsauslisäaineet	44
6	PINTAKÄSITTELY	46
6.1	Mekaaninen pintakäsittely	46
6.2	Kemiallinen pintakäsittely	47
6.3	Elektrolyttinen pintakäsittely	48
7	RUOSTUMATTOMIEN TERÄSTEN HINTA JA SAATAVUUS	49
7.1	Ruostumattomien teräslaatuojen saatavuus	49
7.2	Ruostumattomien terästen hinta	50
8	MATERIAALIEN SELVITYSTYÖ.....	53
8.1	Tutkimuksen ja kartoituksen toteutus	53
8.2	Tutkimusmenetelmät	55
8.3	Tehtyjä kokeita.....	56
9	MATERIAALIEN VALINTA.....	57
9.1	Vaatimuslista	58
9.2	Ennen tarkempaa vertailua karsitut materiaalit.....	59
9.2.1	Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräkset.....	59
9.2.2	Tulenkestävät ja kuumalujat teräkset.....	60
9.2.3	Nikkeliä sisältävät teräkset.....	60
9.2.4	Yli 15 % kromia sisältävät teräkset	61
9.2.5	Erikoisteräkset	61
9.3	Materiaalin valintataulukko	61
9.3.1	Karkea materiaalien valintataulukko	61
9.3.2	Ominaisuusprofiilit	64

9.3.3	Materiaalien lopullinen valinta painokertoimilla	64
10	ILMAKUIVAIMEN TARKASTELU.....	67
10.1	Suuttimet.....	68
10.2	Painekanavisto ja jakokanavisto	70
10.3	Imukanavisto.....	71
10.4	Ilmakuivaimen runkorakenne ja ulkovuoraus.....	72
11	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	73
11.1	Vertailun johtopäätökset.....	73
11.2	Materiaalinvaihdon hyödyt	74
11.3	Materiaalinvaihdon haitat	75
11.4	Valmistuskustannusten muutos.....	75
11.5	Kannattavuus ja hintahyöty	76
11.6	Jatkotoimenpiteet	78
11.7	Pohdinta	79

LÄHTEET

LIITTEET

LYHENTEET JA KÄSITTEET

%	=	prosentti
C	=	hiili
Cr	=	kromi
max	=	maksimiarvo
min	=	minimiarvo
Mn	=	mangaani
Mo	=	Molybdeeni
MPa	=	megapascal
N	=	typpi
Nb	=	Niobi
Ni	=	nikkeli
°C	=	celsius-aste
PRE	=	Pitting Resistance Equivalence, pistekorrosioekvivalentti
Rm	=	murtolujuus
rst	=	ruostumaton teräs
Si	=	pii
Ti	=	Titaani

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on kartoittaa Valmet Oyj:n OptiDry Coat – tuoteperheen, korkean lämpötilan omaavan tuotteen, High Intensityn, mahdollisia materiaalin vaihdoksia. Tuotteelle ja tälle opinnäytetyölle kriittisten osien materiaalivalinnat ovat haastavien olosuhteiden takia osuneet melkein aina austeniittiseen ruostumattomaan teräkseen, joka on laadultaan korkealuokkainen, mutta kallis.

Useat teollisuuden alat ovat jo siirtyneet ferriittisiin ruostumattomiin teräksiin, koska austeniittisen ruostumattoman teräksen seosaineen, nikkelin, korkea ja hyvin epävakaa hinta on luonut paineen etsiä vaihtoehtoisia teräs laatuja, jotka voisivat korvata nykyisen austeniittisen ruostumattoman teräksen ilman, että tuotteen laadusta tingitään.

Opinnäytetyö tulee olemaan salainen niiltä osin, joissa kuvaillaan Valmetin salaisiksi luokiteltuja valmistusmenetelmiä tai piirustuksia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, onko mahdollista korvata austeniittinen ruostumaton teräs En 1.4301/1.4307 sellaisella ruostumattomalla teräksellä, jonka hinta olisi stabiilimpi ja tällöin helpommin ennustettavissa. Vaihtoehtoisen materiaalin tulee silti täyttää edeltävän materiaalin saatavuus ja laadulliset vaatimukset ilman, että tuotteen valmistusprosessista tulee liian haastava toteuttaa.

High Intensityn-kuivaimen ympäristö on materiaaleille hyvin haastava, koska ilmakeivaimen käyttölämpötilat nousevat 401–500 °C:een, huippulämpötilojen yltäessä kanavistossa jopa 550 °C asteiseksi. Tuotteen rakenne ja olosuhteiden moninaiset vaatimukset tuovatkin tuotteen materiaalivalintoihin useita haasteita, jonka takia ensimmäiseksi päätettiin tehdä High Intensityn uudelle mahdolliselle materiaalille vaatimuslistan. Vaatimuslistan lisäksi työssä käydään läpi teräksiä, niiden ominaisuuksia ja niiden käyttäytymistä kuumissa olosuhteissa. Perehdytään myös valmistusmenetelmistä niihin menetelmiin, jotka ovat kyseisen tuotteen valmistuksen kannalta olennaisimpia. Liitoksista perehdytään hitsaukseen ja tox-

liitokseen. Tämän lisäksi käydään läpi teräksen leikkaamisen ja teräksen taivuttamisen. Lopuksi vertaillaan materiaalin vaihtamisen kannattavuutta ja mahdollisuutta. Lisäksi materiaalinvaihdoksen yhteydessä pyritään tuomaan yritykselle uutta tietoutta uusien ruostumattomien teräksien käytöstä teollisuudessa ja mahdollisesti luomaan hyvä pohja muille mahdollisille materiaalin vaihdoksille.

2 VALMET OYJ

Valmet Oyj on nykyisin kansainvälinen yritys, jonka takaa löytyy yli 200 vuotta historiaa. Valmet yhtiönä perustettiin vuonna 1944 ja nykyiseen yritykseen on pitkän historian aikana sulautettu monia historiallisia yrityksiä joiden juuret yltävät jopa 1700- ja 1800 luvuille. Valmetin nimi tulee sanoista ”Valtion Metallitehtaat”. Suomen valtio yhdisti kaikki Suomen aseteollisuuteen keskittyneet metallitehtaat koko Suomessa yhdeksi, ja yhtiöitti ne pelätessään Neuvostoliiton laskevan aseteollisuuden työväen mukaan asevoimien vahvuuteen. Tämä tehtiin varoitoimena, ettei ylitettäisi Moskovan välirauhansopimukseen merkittäviä tiukkoja säädöksiä. Muodostuman nimeksi päätettiin lopulta antaa Valmet.

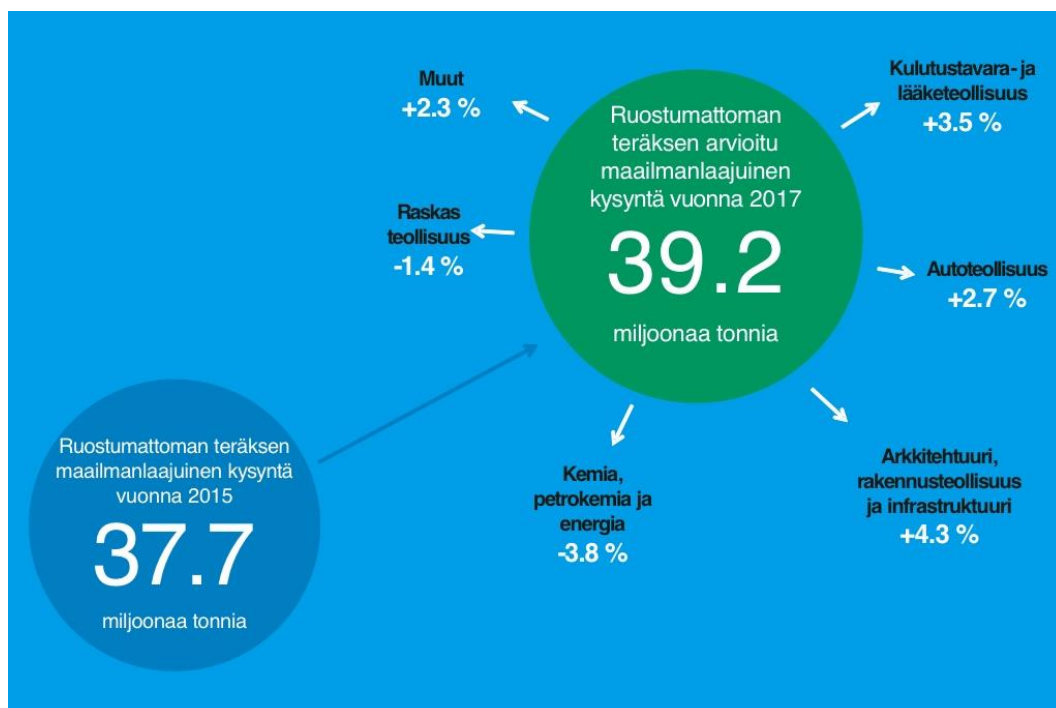
Nykyinen Valmet Oyj syntyi uudelleen 2013, kun sellu-, paperi- ja voimantuotantoliiketoimet erkautuivat Metso Oyj:stä. Valmet työllistää tällä hetkellä yli 12 000 henkilöä globaalisti, toimii lähes 30 maassa ja sen liikevaihto oli vuonna 2015 vajaa 3 miljardia euroa. Valmet on listautunut Helsingin pörssiin ja yrityksen toimitusjohtajana toimii tällä hetkellä Pasi Laine.

Valmet Oyj liiketoiminta on jaettu neljään pääsektoriin, jotka ovat paperi, auto- maatio, sellu/energia ja palvelut. Nämä sisältävät tehtaiden ja voimaloiden kunnostukset, ylläpidon sekä parannukset. Valmet tarjoaa myös automaatiopalveluita ja monia erilaisia linjastoja sekä tehdaskokonaisuuksia, joihin kuuluvat muun muassa bioenergialla toimivat voimalat ja paperia, sellua sekä kartonkia tuottavat linjastot. ”Valmetin visiona on tulla maailmanlaajuisesti parhaaksi toimijaksi asiakkaidensa palveluissa”. /1/ 2/

3 RUOSTUMATTOMAT TERÄKSET

Ruostumaton teräs, puhekielessä ”rosteri” tai ”kirkas teräs” on todella suosittu käyttömateriaali, esimerkiksi teollisuudessa, kotitalouksissa sekä taiteessa. Ruostumattoman teräksen suosiolle ei näy loppua ja sen suosio vain kasvaa kasvamisestaan. Ruostumattoman teräksen suosioon ovat syyllisinä sen suhteellisen edullinen hinta, korroosionkesto sekä ulkonäköseikat. Muita ruostumattoman teräksen hyviä ominaisuuksia ovat hyvä lujuus, ekologisuus/kierrätettävyys, hygieenisuus ja tälle opinnäytetyölle olennaisimpana korkea kuumuudenkestävyys. Kuvassa 1 on Outokummun arvio ruostumattoman teräksen maailmanlaajuisen kysynnän kasvusta.

Kuva 1. Outokummun arvio ruostumattoman teräksen maailmanlaajuisen kysynnän kasvusta.



nän kasvusta ja käyttökohteiden arvioidut prosenttimuutokset. /3/

Ruostumattomat teräkset kuuluvat raaka-ainestandardin SFS-EN 10088 alle. Sen mukaan ruostumattomiin teräksiin luetaan teräkset, joiden kromipitoisuus on vähintään 10,5 %. Nykypäivänä on kuitenkin jo kehitetty ruostumattomia teräksiä, joiden kromipitoisuus on mainittua alhaisempi. Kromin lisäksi ruostumattoman teräksen tulee sisältää vähemmän kuin 1,2 % hiiltä. Ruostumattomien teräksien

ominaisuuksia voidaan jatkojalostaa lisäämällä erilaisia seosaineita kromin lisäksi. Näistä yleisimpiä seosaineita ovat nikkeli(Ni), typpi(N), molybdeeni(Mo), niobi(Nb), Pii(Si) ja Titaani(Ti).

Kromi on ruostumattoman teräksen keskeisin seosaine, koska ruostumattoman teräksen korroosionkestävyys pohjautuu juuri kromin aiheuttamaan passiivikalvon syntymiseen eli passivoitumiseen. Oksidikalvoksikin kutsuttu passiivikalvo muodostuu, kun kromi reagoi hapen kanssa ja tällöin teräksen pinnalle muodostuu kalvo, joka suojelee terästä ulkoisilta korroosioilta. Kalvo on äärimmäisen ohut, mutta vahingoittuessaan se uusiutuu nopeasti. Korroosio voi kuitenkin saada alkunsa juuri ongelmallisista naarmuista tai hankaumista.

Teknologian ja jatkuvan kehitystyön tuloksena on ruostumattomien teräslaatuojen määrä kasvanut jatkuvasti ja nykyisten laatuojen määrä on jo valtava. Ne voidaan kuitenkin jakaa omiin mikrorakenteen mukaisiin pääluokkiinsa joita ovat: austeniittiset, ferriittiset, austeniittis-ferriittiset(duplex-teräkset) ja martensiittiset ruostumattomat teräkset. Nykyään löytyvät myös harvinaisemmat, niin sanotut ”superseokset” joiden ominaisuudet ovat omaa luokkaansa ja hinta myös sen mukainen.

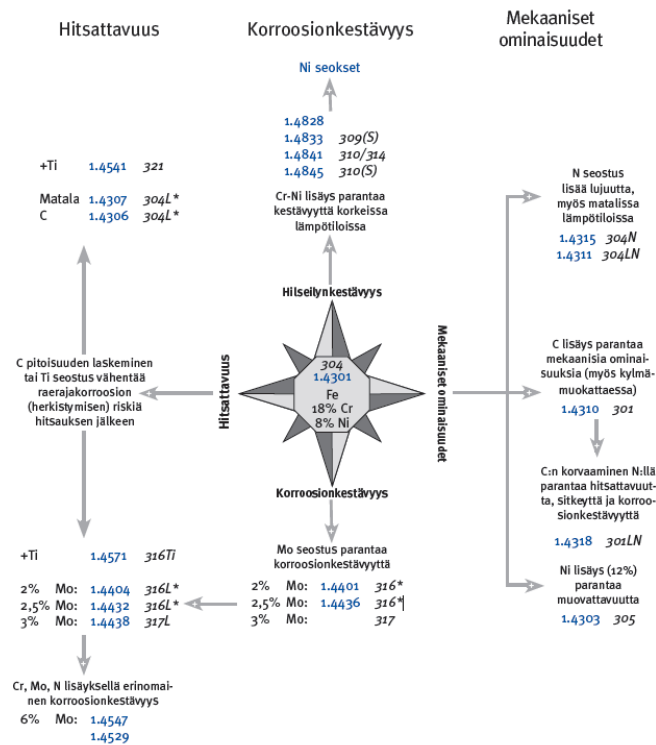
Ruostumattomista teräksistä on kehitetty myös niin sanottuja ”tulenkestäviä laatuja”, jotka kestävät yli 1000 °C:een käyttölämpötiloja, mutta mainittakoon, että tämän opinnäytetyön tarkoituksella riittävät perinteiset ruostumattomat laadut, jotka nekin kestävät helposti 600 °C:een käyttölämpötiloja.

3.1 Austeniittiset ruostumattomat teräkset

Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat saaneet nimensä kiderakenteestaan ja omaavat rakenteensa takia hyvän korroosion kestävyuden sekä hyvän virumiskestävyuden. Tällä hetkellä austeniittiset teräkset ovat maailman yleisimmin käytetty ruostumattoman teräksen lajike. Austeniittiset teräkset kattavat noin 65 % kaikesta käytetystä ruostumattomasta teräksestä maailmassa.

Austeniittinen ruostumaton teräs koostuu perusaineen, raudan, lisäksi yleisimmin nikkelistä ja korroosionkestoa parantavasta kromista. Austeniittisen teräslaadun hiilipitoisuus on todella matala, eikä se ylitä 0,1 % pitoisuutta. Jotta austeniittisen ruostumattoman teräksen ominaisuudet pysyisivät optimaalisina, suositetaan austeniittiselle rakenteelle noin 16–20% kromi- ja vähintään 6 % nikkelpitoisuuksia. Austeniitti ei ole magneettinen.

Austeniittisiä laatuja suositaan muun muassa niiden hyvän muovattavuuden, korroosionkeston, saatavuuden ja loistavien sitkeysominaisuuksien takia. Myös austeniittien pitkään jatkunut suosio on ajanut käyttäjiä pysymään ”turvallisessa” austeniitissa. Austeniittien ylivoimaisuus markkinoilla on kumminkin heikkenevässä ja varsinkin Amerikassa ja Aasiassa on siirrytty moderneimpiin vähän tai kokonaan nikkeltömiin laatuihin. Austeniittisen teräksen huonoja puolia ovat sen haastava lastaaminen, ferriittisiin laatuihin verrattuna voimakas lämpölaajenemiskerroin, hinta ja voimakas muokkauslujittuvuus.



Kuva 2. Austeniittisten ruostumattomien terästen ominaisuuksien kehityspuu. /4/

Kuvassa 2 on yleisimmin käytetty austeniittinen teräslaatu EN 1.4301 ja siihen liitettyä kehityspuu. Kehityspuusta näkee laatuja erottavat seikat ja miten seosaineet vaikuttavat austeniittisten ruostumattomien terästen ominaisuuksiin. EN 1.4301 tunnetaan myös kutsumanimellä, ”18/8”. Nimen alkuperä tulee sen seosainepitoisuuksista, kromi (18 %) ja nikkeli (8 %).

3.2 Ferriittiset ruostumattomat teräkset

Ferriittisten ruostumattomien teräksien käyttäminen ohutlevyteollisuudessa on kasvattanut suosiotaan vääjäämättä, vaikka Euroopassa ja Suomessa ferriittiset teräkset eivät ole vielä niin suosittuja kuin esimerkiksi Japanissa, jossa niiden osuus kaikesta käytetystä ruostumattomasta teräksestä on ylittänyt jo 50 %:in rajapyykin.

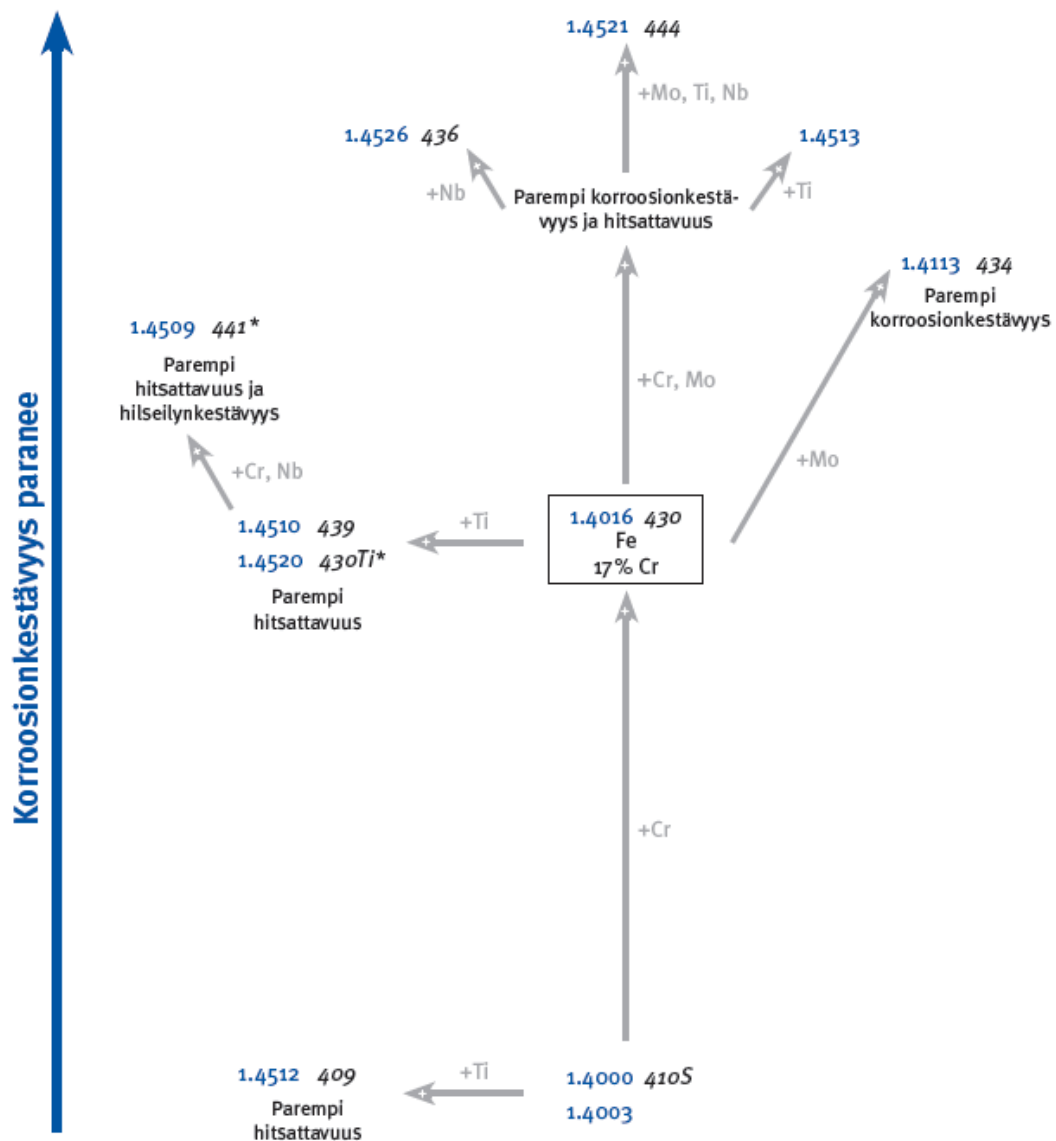
Ferriittinen ruostumaton teräs eroaa austeniittisestä siinä, ettei sen seoksessa käytetä juuri lainkaan nikkeliä. Se on magneettinen ja sisältää hyvin vähän hiiltä. Ferriittiseksi teräksiksi mielletään sellaiset ruostumattomat teräkset, joiden seosaineenä on kromi, joka mahdollistaa ferriittisen kiderakenteen. Jotta teräs täyttäisi ferriittisen materiaalin vaatimukset, tulisi kromia seostaa vähintään 10,5 % ja korkeimmillaan 30 %. Muita yleisesti käytettyjä seosaineita ferriittisille teräksille ovat titaani, molybdeeni, niobi, alumiini ja pii.

Sama uskomus, jonka takia monet pyrkivät pitäytymään austeniittissa, pitää monet teollisuuden yritykset kaukana ferriittisistä ruostumattomista teräksistä. Uskotaan, että ferriittiset teräkset ovat vaikeita käsitellä ja hitsata ja että ne häviäisivät suuresti austeniittisille laaduille. Tosiasia on, että nykyiset kehittyneemmät ferriittiset laadut ovat ominaisuuksiltaan hyvin lähellä austeniittisten metallien tasoa niin hitsattavuudeltaan kuin käsiteltävyydeltäänkin.

Ferriittiset laadut ovat silti ferriittisen faasinsa takia herkkiä haurauksille. Haurauksien riskiä voidaan kuitenkin vähentää stabiloimalla metalli. Lisäksi valmistavan yrityksen työntekijöiden huolellinen perehdytys ferriittisten terästen valmistusmenetelmiin, vähentää riskiä valmistusvirheisiin. Tässä mainittakoon, että

tämän työn myöhemmissä vaiheissa syvennyttään lisää kyseisiin valmistusmenetelmiin.

Ferriittisiin metalleihin siirrytään usein sen nikkelittömyyden sekä halvemman ja ennustettavamman hinnan takia. Ferriittisen teräksen ominaisuudet ovat lähempänä hiiliterästä kuin austeniittisiä laatuja. Tämä takaa ferriittisille laaduille hieman paremman muokattavuuden. Ferriittisiä teräksiä on silti vaikeampi hitsata. Yksi tärkeä seikka tämän työn kannalta on myös ferriittisten laatuojen hyvä kuumien olosuhteiden kesto ja austeniittisiin teräksiin verrattuna hyvä lämpölaajenemiskerroin.



Kuva 2. Kuvaus ferriittisten ruostumattomien terästen kehityspuusta /4/

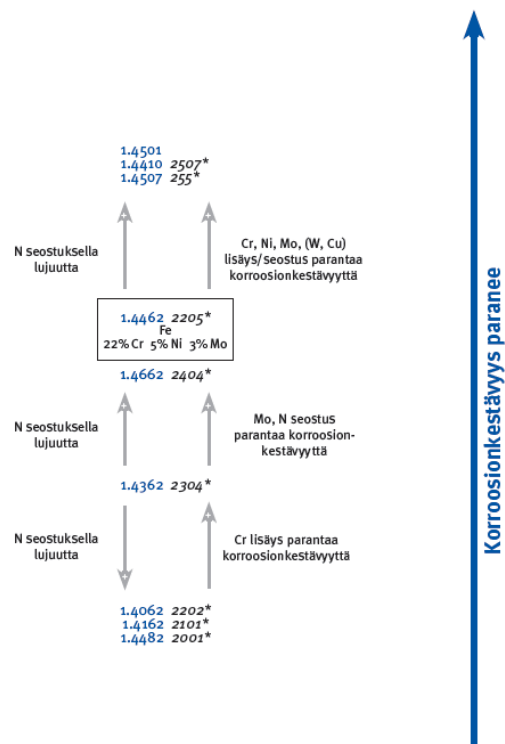
3.3 Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset

Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräkset omaavat molempien, austeniittisten ja ferriittisten terästen vahvuuksia ja ovatkin monesti hyvä välimuoto kahdelle edelliselle materiaalille. Austeniittis-ferriittisiä teräksiä kuullaan usein kutsuttavan duplex-teräksiksi ja ne ovatkin ruostumattomien teräslajien tuorein tulokas. Ensimmäiset duplex-teräkset on kehitetty jo 1930-luvun alkupuolella, kun keksittiin kaksifaasisen seokset, mutta tuon ajan teknologia ja menetelmät rajoittivat dup-

lex-terästen valmistusta. Moderni duplex kehittyi vasta 1950- ja 1960-luvun tienoilla, kun löydettiin uusia valmistusmenetelmiä. /5/

Duplex-terästen mikrorakenteet muodostuvat nimensä mukaan kahdesta faasista, austeniittisista ja ferriittisistä faaseista. Yleisesti molempia faaseja esiintyy noin 30–70% koostumuksesta. Duplex teräksen parhaita ominaisuuksia ovat hyvä hitsattavuus ja yleinen muovattavuus. Duplex on ferriittisen faasinsa takia lujempi sekä vähemmän vaikutusaltis lämpölaajenemiselle kuin austeniittiset laadut. Duplex-teräksellä on loistava yleinen korroosionkesto ja vastavuoroisesti sen sitkeys on austeniittisuuden takia parempi kuin ferriittisillä laaduilla. Tällä hetkellä yleisin käytetty duplex-teräslaatu on EN 1.4662. Duplex-teräksen magneettisuus riippuu sen seosaineiden kombinaatiosta.

Duplex-teräksen huonoina puolina voidaan mainita sen herkkyys sigma-faasille ja korkean kromipitoisuuden tuomille herkkyyksille. Yleisten duplex-teräksien pitkäaikaisemman käyttölämpötilan ylärajaksi suositellaankin korkeintaan 300 °C:tta, että vältettäisiin niin sanottu, 475 °C hauraus sekä sigma-faasi, joka ilmenee hieman korkeammissa lämpötiloissa. Kuvassa 3 on austeniittis-ferriittisten ruostumattomien teräksien kehityspuu



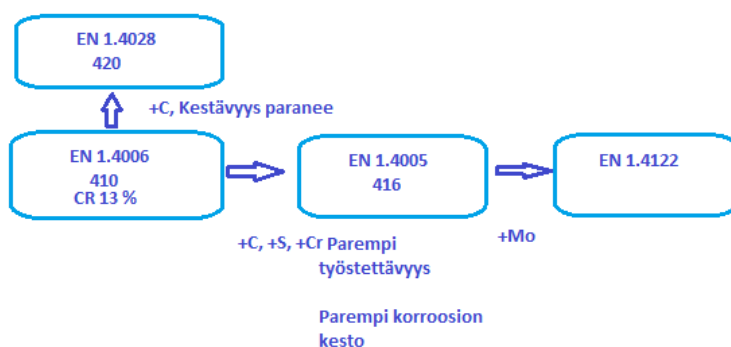
Kuva 3. Austeniittis-ferriittisten ruostumattomien teräksien kehityspuu. /4/

3.4 Martensiittiset ruostumattomat teräkset

Martensiittiset ruostumattomat teräkset ovat edellä mainituista niin kutsutuista tavallisista teräslajeista pienin ja usein muita teräslaatuja halvempi. Martensiittiset lajit ovat melko niukkaseosteisia. Niiden pääasiallinen seosaine on kromi, jota martensiittiset ruostumattomat teräkset sisältävät vähintään 12 %. Muihin ruostumattomiin teräksiin verrattuna martensiittiset teräkset sisältävät melko reilusti hiiltä, noin 0,2-1,2 %. Martensiittisten metallien korkea hiilipitoisuus tekee niistä myös karkenevia. Martensiittiset metallit ovat magneettisia.

Martensiittiset teräkset karkaistaan eli teräs kuumennetaan ensiksi ja tämän jälkeen kuumennettu teräs jäähdytetään nopeasti. Martensiittiset teräkset omaavatkin todella hyvän lujuuden, mutta se tekee niistä suhteellisen vaikeita muovata ja hauraampia kuin muista ruostumattomista teräksistä. Vaikka martensiittisten teräksien hitsaus ja muovaaminen on haastavaa, ovat ne tärkeä osa ruostumattomien teräksien laatuun. Jatkokehiteltyjä martensiittisiä laatuja käytetään yleisesti, muun

muassa korkeita lämpötiloja ja painetta sisältävissä turbiinin osissa, laivan akselleissa, korkealaatuisissa lääkärien instrumenteissa ja veitsien terissä. Yleisin käytetty martensiittinen teräslaatu on EN 1.4006. Kuvassa 4 on karkeasti kuvattu osia martensiittien kehityspuusta.



Kuva 4. Osia martensiittisten teräksien kehityspuusta. /6/7/

3.5 Superseokset

Teknologian kehittyessä, ovat myös materiaalien vaatimukset nousseet. Tähän tarpeeseen on kehitelty uusia materiaaleja, joita kutsutaan superseoksiksi. Hienon nimen takana on materiaaleja, joiden ominaisuudet tulevat hyvin korkeasta nikkelipitoisuudesta ja yli 15 % kromipitoisuudesta, joka tekee niistä ruostumattomia teräksiä. Ne muistuttavat näin ollen korkeampiluokkaisia austeniittisia ruostumattomia teräksiä. Tällaiset materiaalit on pääasiassa kehitetty erittäin korkeisiin lämpötiloihin joissa edes austeniittisen teräksen kuumankeston ominaisuudet eivät ole optimaalisia. Superseoksien ominaisuudet ovat aivan omassa luoksaan. Hyvät ominaisuudet eivät silti tule ilmaiseksi vaan ne vaativat korkealuokkaisia seosaineita ja paljon nikkeliä, joiden hinta nostaakin superseoksien kustannukset korkeiksi. Superseoksien suurin käyttökynnystä nostava seikka onkin niiden hinta.

4 MATERIAALITEKNISET PERUSTEET

Valmet Oyj on päätoimisesti vain suunnitteleva osapuoli ja yritys on ulkoistanut alihankkijoilleen itse tuotteen lopullisen valmistuksen. Tuotteen haastavat olosuhteet vaativat tuotteelta korkeaa laatua niin valmistuksen kuin materiaalien osalta. Seuraavassa opinnäytetyön osiossa käydään läpi ilmakeivaimen olosuhteille mahdollisten ilmiöiden teoriaa, esimerkiksi korkeissa lämpötiloissa ruostumattomille teräksille mahdollisia ilmiöitä, kuten korroosioita, virumista, väsymistä, kuumankestoa ja tästä seuraavia mahdollisia haurauksia.

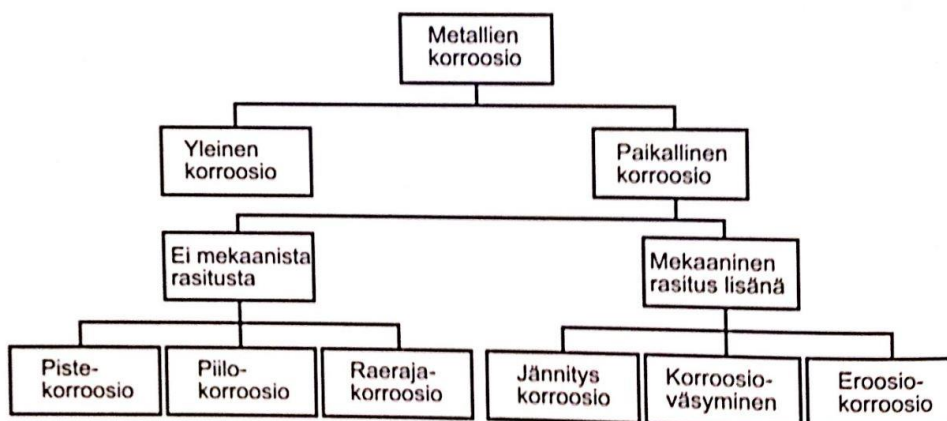
4.1 Korroosio

”Metallit esiintyvät luonnossa erilaisina yhdisteinä, kuten oksideina, silikaatteina ja sulfideina. Metallien valmistusprosessissa nämä yhdisteet hajotetaan käyttämällä runsaasti energiaa, jolloin saadaan puhdasta metallia. Metallit pyrkivät kuitenkin käytössä takaisin luonnonmukaiseen tilaansa termodynamiikan lakien mukaisesti, Tätä ilmiötä kutsutaan korroosioksi. Esimerkiksi rauta hapettuu takaisin ”malmikseen” hematitiksi eli Fe_2O_3 , mikä on tuntemamme ruskeaa ruostetta. Ruoste on niin huokoista ja huonosti kiinni raudan pinnassa, ettei se kykene suojaamaan sen alla olevaa metallia, vaan syöpyminen jatkuu, kunnes metalli on läpi tuhoutunut.” /8/

Lämpötilojen kohotessa ovat reaktiot periaatteeltaan samankaltaisia, mutta itse reaktionopeus kasvaa ja näin ollen myös mahdollinen korroosion eteneminen kiihtyy. Varsinkin erikoisemmissä olosuhteissa, kuten paperikoneissa, teräkset ovat riippuvaisia teräksen omasta ja niiden seosaineiden reaktiosta ympäristössä vallitseviin olosuhteisiin. /8/9/

Ruostumattomissa teräksissä korroosion ilmenemismuodot voidaan jakaa kahteen eri ryhmään helpommin ennustettavaan yleiseen korroosioon, joka usein levittyy tasaisesti koko pinnalle tai niin kutsuttuun paikalliseen korroosioon, johon voi vaikuttaa myös mekaaninen rasitus. /8/10/

Yleinen korroosio pystytään huomioimaan suunnittelussa syöpyemisvaralla ja ennakoita lisätyllä seinämäpaksuudella. Paikallinen korroosio on hankalampi ja vaarallisempi, koska sitä ei voida ennakoita ”lisätyllä seinämäpaksuudella”, se voi vaikuttaa vain tietyllä alueella, eikä sitä voi silmin nähdä. Myös mekaanisen rasituksen vaikutus on joko voimakas tai sitten se ei vaikuta ollenkaan. Paikallinen korroosion jaetaan usein kahteen ryhmään, ei mekaanista rasitusta oleviin ja mekaanisen rasituksen omaaviin korroosion lajeihin. Kuva 5 selventää ruostumattoman teräksen erilaisia korroosioita. /8/9/10/



Kuva 5. Kuvaus ruostumattomien teräksien korroosioista. /8/

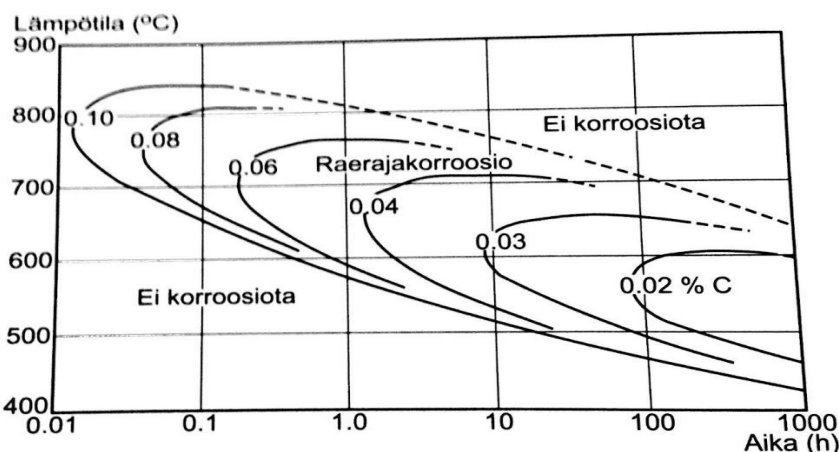
4.1.1 Yleinen korroosio

Aiemmin mainiten yleinen korroosio tapahtuu teräksen metallipinnalla tasaisesti ja koko pinta on aktiivisena samaan aikaan. Tämän takia korroosio etenee tasaisesti koko pinnalta. Korroosionopeus ilmoitetaan joko painohäviönä tai teräksen mittamuutoksena. Yleisesti ajatellaan, että teräs on korroosionkestoltaan soveltuva, jos sen korroosionopeus on alle 0,1mm vuodessa. Ruostumattomat teräkset kestävät hyvin hapettavia happoja, mutta eivät sovi käytettäväksi happojen kanssa, jotka ovat ei-hapettavia, esimerkiksi suolahapon kanssa. /8/11/

4.1.2 Paikallinen korrosio

Paikallisen korroosion, ei mekaaniset korroosion lajit, ovat pistekorrosio, piilokorroosio ja raerajakorroosio. Pistekorrosio kulkee käsi kädessä piilokorroosion kanssa, jota kutsutaan myös rakokorroosioksi. Pistekorrosio esiintyy ruostumattomilla teräksillä silloin, kun teräksen pinta on vaurioitunut paikallisesti ja passiivikalvo on rikkoutunut paikallisesti. Rakokorroosio esiintyi yleisimmin ahtaissa paikoissa, kuten tiivisteiden, pulttiliitosten alla, myös hitsausliitosten ja juurivirheet voivat olla otollisia paikkoja rakokorroosiolle. Pistekorrosio voi levitä rakokorroosion ilmiöllä, jos se ei leviä teräksen pinnalla vaan syventää korroosion syövyttämää kuoppaa ja etenee pinnan läpi syvemmälle materiaaliin. /8/10/11/

Rakokorroosiota esiintyy pienissä 0,025-0,1 millimetrin raoissa.



Kuva 6. Raerajakorroosio. EN 1.4301 teräkselle tehty Straussin koe /8/9/10/

Raerajakorroosiolla tarkoitetaan myös herkistymistä. Teräs herkistyessään altistuu raerajakorroosiolle. Tyypillisin herkistymiseen johtava tilanne aiheutuu, kun teräksessä on riittävästi hiiltä ja lämpötila pysyy tarpeeksi kauan 450–900 °C:een välillä. Tämän seurauksena raerajoille alkaa syntyä kromikarbideja ja karsinien viereen muodostuu ilmiön seurauksena niin sanottuja anodisia alueita eli kromiköyhiä alueita, jotka eivät pysty enää muodostamaan tarpeeksi voimakasta oksidikalvoa suojelemaan pintaa korroosiolta. Raerajakorroosiota ilmenee korkean hiilipitoisuuden teräksissä, kun hiilipitoisuus laskee alle 0,05 % voidaan sanoa,

että teräs on turvassa raerajakorroosiolta, myös stabilointi titaanilla(Ti) ja niobilla(Nb) estävät raerajakorroosiolta. Kuvasta 6 voidaan nähdä, että Straussin kokeeksi kutsutulla kokeella pystytään toteamaan hiilipitoisuuden vaikutus raerajakorroosioon, kohdemateriaalina on, EN 1.4301 austeniittinen ruostumaton teräs. /8/10/11/

Paikallisen korroosion lajit, joissa on mukana mekaanista rasitusta, ovat jännityskorroosio, korroosioväsyminen ja eroosikorroosio. Jännityskorroosio liitetään usein pelkästään austeniittisiin ruostumattomiin teräksiin ja sen korroosion muotoa kuvaillaan ohueksi murtumaksi, joka etenee koko rakenteen yli. Jännityskorroosio ilmenee ympäristön ja vetojännityksen yhteisvaikutuksesta. Vetojännitykselle on mahdotonta määritellä rajaa, mutta arvioidaan, että puolet 0,2 % venymärajasta voi olla jo riittävä. Lämpötilan ja paineen vaihtelu tai valmistusteknisistä vaiheista jääneet jännitteet voivat synnyttää jo riittävät jännitystilat jännityskorroosion mahdollisuuksiin. /8/10/11/

Korroosioväsymyksessä materiaalin särön ydintyminen ja kasvu kuuluvat ilmiöön. Olosuhteiden vaikutus väsymissäröön ja sen kasvamiseen ovat monimutkainen tapahtuma, johon vaikuttavat väsyttävä kuorma, ajan vaikutus ja korroosioolosuhteet. Korroosioväsymyksellä tarkoitetaan sitä, kun materiaalin väsymiskestävyys laskee verrattuna puhtaaseen mekaaniseen väsymiseen. Korroosioväsymys voi kiihtyä lievienkin ympäristötekijöiden vaikutuksesta ja sen arviointi on hankalaa ja ennakoiminen vaatii lähes aina perusteellisia materiaalin käyttöolosuhteisiin liitettyjä kokeita. /8/10/11/

Eroosikorroosio on erilaisten virtausten, esimerkiksi veden aiheuttamaa mekaanista rasitusta. Lisäksi on olemassa galvaaninen korroosio jolle altistutaan, kun kaksi jaloudeltaan erilaista metallia joutuu kosketuksiin toisten kanssa johtavassa vesiliuoksessa. Näistä epäjalompi metalli syöpyy, mutta ruostumattomille teräksille galvaanisen korroosion ja eroosikorroosion riskit ovat suhteellisen pieniä. Tässä työssä ei käydä näitä kahta tarkemmin läpi. /8/10/11/

4.2 Korkeiden lämpötilojen korrosio

Korrosiota tapahtuu kaikissa lämpötiloissa, mutta käyttöolosuhteiden takia keskitytään työssä lähinnä korkeiden lämpötilojen korrosioon.

4.2.1 Hilseily

Hilseily ei olennaisesti ole osa korrosioita, mutta se on korrosiota muistuttava ilmiö, joka on yleisempää tavallisille eli niukkaseosteisille teräksille, kuin ruostumattomille teräksille. Hilseilyä tapahtuu silloin kun teräksen kuumankeston sietokyky ylitetään. Tavallinen niukkaseosteinen teräs alkaa hilseillä noin 540 °C:ssa, kun taas esimerkiksi austeniittiset ruostumattomat teräkset kestävät hilseilemättä jopa 800 °C. Hilseilyä ei tapahdu silloin, kun terässeokseen on lisätty kromia, myös alumiinia tai piitä voidaan lisätä seokseen, että saadaan estettyä teräksen hilseily. Tällöin puhutaan myös teräksen kuumankestävien ominaisuuksien parantamisesta. /11/

4.3 Korkeiden lämpötilojen aiheuttamat ongelmat

Tuotteen korkeat käyttölämpötilat tuovat mukanaan myös kuumien olosuhteiden hauraudet, joiden ilmenemiseen vaikuttavat myös kohdeteräksen seosaineet ja niiden suuruus teräksen seosainemassassa. Työ ja sen tuotteet kohdistuvat korkeisiin lämpötiloihin, joten myös teorian osuudella keskitytään korkeiden lämpötilojen haurauksiin. Korkean lämpötilan lisäksi haurauksien ja haurasmurtumien syntymiseen vaikuttavat kiderakenne, kuormitusnopeus ja lovet. Murtumia on kahdenlaisia: sitkeitä ja hauraita, ja niiden ilmeneminen riippuu olosuhteista. Haurasmurtumat ovat yleisempiä alhaisissa lämpötiloissa. Murtumiskäyttäytymistä sanotaan myös iskusitkeydeksi, joka voidaan määritellä iskusitkeyskokeella eri metalleille.

4.3.1 475°C hauraus

On havaittu, että kun metalleja, joiden kromipitoisuus on yli 15 % käytetään 300–500°C lämpötiloissa, syntyy rakenteeseen kovia ja hauraita faaseja. Tätä ilmiötä kutsutaan 475 °C haurauksi siksi, että kyseisen ilmiön on havaittu olevan voimakkaimmillaan juuri 475 °C lämpötilassa. Nämä ovat varsinkin tavallisten ferriittisten ruostumattomien terästen ja duplex-terästen yleisimpiä haurausongelmia. Usein duplex-teräksiä tai tavallisia ferriittisiä ruostumattomia teräksiä ei suositellaan käytettäväksi jatkuvakestoisesti yli 300 °C asteen käyttölämpötiloissa. Nykyään on kuitenkin valmistettu korkeitakin lämpötiloja kestäviä kromiteräksiä, joiden ruostumattomuudesta on yritetty tinkiä mahdollisimman vähän, ja sen kyky kestää korroosiota on saatu säilymään alle 15 % kromipitoisuuksillakin. /5/6/11/

4.3.2 Sigmahauraus

Sigmahaurauksi kutsutaan ilmiötä, kun kromia sisältävää terästä pidetään tarpeeksi kauan 600–800°C lämpötilassa. Mitä pidempi hehkutus/käyttöaika on ja mitä enemmän ferriittinen seos on, sitä suurempi on haurauden mahdollisuus. Seosaineessa oleva kromi alkaa tällöin muodostamaan kovia ja hauraita metallin välisiä faaseja. Tämä haurastuttaa teräksen. Muodostumisen mahdollisuutta voidaan vähentää, jos seosaineksi lisätään molybdeeniä, piitä, alumiinia, mangaania, niobia tai titaania.

4.3.3 Grafitoituminen

Korkeissa lämpötiloissa tulee ottaa huomioon myös grafitoituminen, joka tarkoittaa sementiittiin sitoutuneen hiilen muuttumista grafitiksi. Grafiitin ytimien kasvaessa tulee varsinkin hitsauksien saumakohtien lähialueille heikkoja kohtia jotka voivat aiheuttaa murtuman samalla tavalla kuin viruminen. Grafitoituminen on tyypillistä etenkin niukkaseosteisille tavallisille teräksille, kuten ruostumattomille teräksille ja sen syntymistä voidaan ennaltaehkäistä kylmämuokkaamalla tai lisäämällä alumiinia./19/

4.3.4 Viruminen

Viruminen on korkeissa lämpötiloissa tapahtuvaa muodonmuutosta, joka on plastista, toisin sanoen pysyvää. Virumiselle altistunut materiaali ei siis palaudu enää muotoonsa. Virumisen muodonmuutos on vakiojännityksen tai mekaanisen kuormituksen alaisena tapahtuva muodonmuutos. Mainittakoon, että virumista tapahtuu myös muissakin kiinteissä aineissa kuin metalleissa. Tämän työn aiheen takia muut kuin metallit eivät ole oleellisia.

Virumisen muodonmuutoksen mekanismit on jaettu kolmeen ryhmään, dislokaatio- ja diffuusiovirumiseen sekä raerajaliukumiseen. Näistä alhaisemmissa toimiva mekanismi on dislokaatioviruminen, mutta lämpötilojen kohotessa siirtyy virumisen mekanismi diffuusiovirumiseen, jolloin kappaleen muoto muuttuu nopeutuneen diffuusion vaikutuksesta. Jos lämpötilat nousevat tästä, alkavat raerajat liukua suhteessa toisiinsa, ilmiötä kutsutaan raerajaliukumiseksi. /12/

Virumiseen vaikuttavat lämpötila, vallitseva jännitys, materiaalin rakenne ja sen raekoko. Yleisesti voidaan ajatella, että mitä suurempi raekoko niin sitä paremmin kohdemateriaali kestää virumista. Viruminen voidaan jakaa alueisiin. Vaikutusalueet ovat primäärinen, sekundäärinen ja tertiäärinen viruminen. Yleisimmin keskitytään sekundääriselle virumisalueelle, koska sekundäärisellä virumisalueella on virumisnopeus aina vakio ja tällöin myös ennustettavissa. Suunnittelussa pyritäänkin asettamaan materiaalikuormituksen ja materiaalin laadun avulla viruminen sekundäärisen virumisen alueelle. Tertiäärissä virumisessa on virumisen nopeus kasvamassa nopeasti ja viruminen johtaa ennen pitkään murtumiseen. Sannottakoon, että primäärinen viruminen on kapea ja nopea virumisen alue, jota ei huomioida niin paljon kuin kahta aiemmin mainittua virumisen muotoa. Virumisen kesto tai lujuus ilmoitetaan usein jännityksen tai murtumisen ajalla. Eri lämpötiloissa se voidaan ilmoittaa myös aikaan sidotulla jännityksen lämpötilafunktiolla. /12/

4.4 Väsyminen

Väsymistä tapahtuu teräksissä kun lämpötilassa tapahtuu vaihteluita, tällöin teräksissä olevien jännitteiden määrä kasvaa ja niiden välille syntyy jännitystiloja. Jännityksestä aiheutuneet kuormitustilat voivat lopulta väsyttää ja aiheuttaa teräkseen jännitysmurtuman. Väsyminen kohdentuu usein materiaalien liitoskohtiin. Väsyminen tulee ottaa huomioon myös tämän työn materiaaleja suunniteltaessa. Ilmankuivaimen korkea ja vaihteleva käyttölämpötila voi aiheuttaa myös väsymistä, varsinkin jos korkeassa lämpötilassa toisiinsa liitettyjen materiaalien lämpölaajenemiskertoimet eriävät toisistaan.

5 VALMISTUSTEKNISET PERUSTEET

Tässä työn osiossa käydään läpi ilmakeivaimelle tärkeitä valmistusteknisiä teorioita, esimerkiksi hitsausta, teräksen leikkaamista ja taivuttamista. Kattavan teoreettisen kokonaiskuvan vuoksi sivutaan myös muita mahdollisia valmistustekniikoita, jotka eivät ehkä ole tämän työn kohteelle olennaisimpia valmistusteknisiä keinoja, mutta antavat lukijalle hyvän yleisen ymmärryksen valmistustekniikoista.

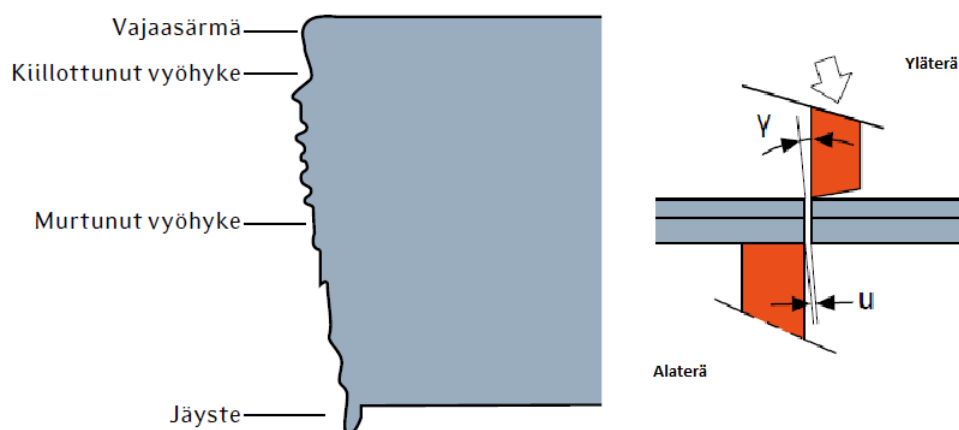
5.1 Terästen leikkaaminen

Ekologisuus, taloudellisuus ja paremmat hyötysuhteet ovat nykypäivänä isossa arvossa ja niin suunnittelun kuin valmistuksen tulee ottaa nämä huomioon suunnitellussaan tuotetta. Kun aloitetaan tuotteen valmistus, aloitetaan usein valitsemalla raaka-aine ja tämän jälkeen tuotteen ensimmäisiä käsittelytapoja ovat tuotteen raaka-aineiden saaminen haluttuun kokoon. Raaka-aineen ominaisuudet ja sille mahdollisimman taloudellinen käsittelyn valinta ovat tärkeitä. Tässä teoriaosuudessa käydään läpi tämän työn tuotteelle mahdollisia ja tärkeitä leikkaustapoja ja tietoisesti jätettiin mainitsemasta tiettyjä osioita, kuten käsin, sahaleikkurilla tai koneellisilla saksileikkureilla leikkaamisen ja keskitytään tarkemmin teolliseen mekaaniseen leikkaamiseen sekä termisestä leikkaamisesta, plasmaleikkaamisen teoriaan. /14/15/

5.1.1 Mekaaninen leikkaus

Mekaaninen leikkaus kuuluu saksimaisilla terillä leikkaamiseen, sitä kutsutaan paloittelumenetelmäksi. Sen lisäksi on olemassa myös hydraulista leikkaamista, kummassakin sekä mekaanisessa että hydraulisessa leikkaamisessa ovat periaatteet samankaltaisia. Mekaanisessa leikkauksessa on leikkuri, jossa on yläteräs ja alateräs. Leikattava kappale asetetaan alaterää vasten, yläterän tehdessä leikkauksen. Levy tuetaan paikalleen lukoilla tai levynpitimillä, jotka ovat joko kiristettäviä tai hydraulisia.

Leikkaamistapahtumassa leikkaus alkaa leikkausterän koskettaessa kohdemateriaalia. Kohdemateriaali myötää kimmoisesti aluksi, mutta kun levyn myötölujuus ylittyy, siirrytään pysyvään eli plastiseen muodonmuutokseen, joka on kuvassa 7 kiillottunut vyöhyke. Kun leikkausterä jatkaa työntymistä kohdemateriaaliin, on tuloksena lopulta murtuma, jonka pinta on karhea. Kuvasta voi nähdä myös vajaasärmän, joka on terästä aiheutunut pyöriste ja jäysteen, joka syntyy, kun leikattaessa terät synnyttävät suurimman puristusjännityksen kohdistuessaan toisiensa leikkaavia särmiä kohti ja tämä aiheuttaa suuren poikittaisjännityksen leikkausvyöhykkeeseen. Levy ei siis leikkaudu aivan leikkaavan särmän kohdalta vaan se repeää hieman sivusta, jossa muokkauslujittuminen ei ole niin suurta. Murtuminen tapahtuu vasta, kun levy on liukunut leikkaavan särmän ohi ja tämän seurauksena syntyy jäyste. /14/20/



Kuva 7. Mekaanisen leikkauksen terät ja leikkauspinnan muutokset. /20/

Mekaanisen leikkaamisen yleisin sovellutus on suuntaisleikkaaminen. Suuntaisleikkaus jaetaan kolmeen eri kategoriaan joista kaksi ensimmäistä ovat viistoleikkaus ja heilurileikkaus. Nämä kaksi tapaa ovat nykypäivänä korvanneet kolmannen tavan, yhdensuuntaisleikkaamisen lähes täysin. Suuntaisleikkaamisen parhaimpina puolina ovat hyvä leikkausnopeus ja edulliset leikkauskustannukset verrattuna termisiin leikkausmenetelmiin, mutta se sopii mekaanisena leikkaamisen muotona paremmin ohutlevytyöskentelyyn kuin raskaaseen teollisuuteen. /14/15/20/

Mekaanisen leikkaamisen seurauksena voi ilmaantua kolmenlaisia leikkausvirheitä, jotka ovat tasokaareutuminen, taipuminen ja kiertyminen. Taipuminen ja kiertyminen aiheutuvat liian suuresta leikkauskulmasta ja tasokaareutuminen leikattavan kohdemateriaalin omista jännityksistä. Taipuminen voidaan neutralisoida taivuttamalla, mutta kahta muuta virhettä on vaikea kontrolloida. /20/

Melko kauan on jo kuitenkin käytetty täysin automatisoituja järjestelmiä, joissa kaikki on numeerisesti ohjattua ja automatisoitua. Monesti näihin NC-suuntaisuusleikkureihin on yhdistetty lisäksi myös jokin terminen leikkaamisen muoto, esimerkiksi kotimaisen Primapower Oy:n laserleikkurit joihin kuuluu myös mekaaninen leikkaus lävistämällä. Kyseinen toimintatapa säästää todella tehokkaasti raaka-aineen kustannuksia, kun osat voidaan sijoitella sekä suunnitella hyvin tarkasti ennen leikkaamista. Tätä kutsutaan nestaamiseksi. /21/

5.1.2 Terminen leikkaus

Termisistä leikkausmenetelmistä keskitytään muiden leikkausmenetelmien sijaan plasmaleikkaukseen ja laserleikkaukseen. Mainittakoon työn aihe-alueen rajoitusten vuoksi vain lyhyesti myös kaasu- ja polttoleikkaus. Kaikkien näiden leikkausmenetelmien yhteisnimitys on terminen leikkaaminen, joka tarkoittaa sitä, että niissä tapahtuva leikkaaminen saadaan aikaan korkealla lämpötilalla. Leikkautumisessa tapahtuvat mekanismit ovat palaminen, sulaminen ja kaasuuntuminen.

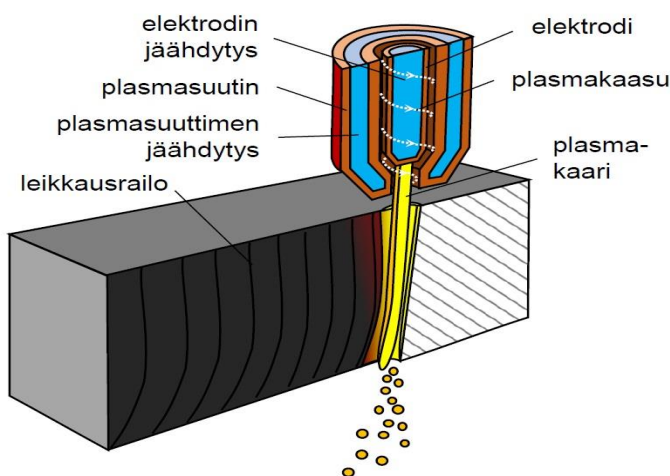
Kaasuleikkaus ja polttoleikkaus on menetelmänä yksinkertainen, metalli kuumentetaan kaasuliekin avulla syttymispisteeseen. Happi ja palokaasu muodostavat leikkaavan kaasuliekin. Verrattuna muihin termisiin leikkausmenetelmiin, polttoleikkaus vapauttaa paljon lämpöä ja tämä aiheuttaa paljon muutoksia ja vääristymiä herkemmissä materiaaleissa.

Laserleikkaus perustuu menetelmänä lasersäteeseen, jonka korkea lämpötila saa aikaan, riippuen menetelmästä joko sulattavan tai polttoleikkaavan vaikutuksen. Laserleikkauksella ei voida leikata hyvin esimerkiksi kuparia, messinkiä tai alu-

miinia, koska ne absorboivat laservaloa hyvin. Laserleikkauksesta ei jää metallioksidia, koska se poistetaan kaasupuhalluksella, myös leikkausjälki on tarkkaa ja hyvän laatuista. Laserleikkauksen huonoja puolia ovatkin lähinnä laitteiston hinta ja rajoittuvuus leikkaamisessa tiettyjen materiaalien kanssa.

Plasmaleikkaus on leikkausmenetelmä, jossa kineettisen ja termisen energian omaavaa plasmakaasua kuumennetaan niin korkeaksi, että se muuttuu plasmaksi. Kuumennettu plasmakaasu ohjataan suuttimeen, jonka keskityksen ansiosta saadaan korkealämpötilainen leikkauspiste. Jotta plasman lämpötila saataisiin korkeammaksi teräksien leikkauksiin, voidaan lämpötilaa kohottaa valokaaren avulla. Plasmaleikkauksen eri muunnoksia ovat muun muassa happiplasmaleikkaus, vesistabiloitu leikkaus ja hienoplasmaleikkaus. Ruostumattoman teräksen yksi käytetyistä leikkausmenetelmistä on *hienoplasmaleikkaus* ja myös High Intensity-ilmakuivaimessa käytetty, joten tässä työssä keskitytään näistä kolmesta plasman leikkausmenetelmästä hienoplasmaleikkaukseen tarkemmin. /22/

Hienoplasmaleikkauksessa plasmakaasua ohjataan vielä tarkemmaksi kaasuvirtauksella, joka nostaa energiatiheyttä. Energiatiheyden kasvaessa, nousee myös lämpötila ja plasmaleikkauksen tarkkuus. Kuva 8 näyttää plasmaleikkauksen toimintaperiaatteet ja käsitteitä.

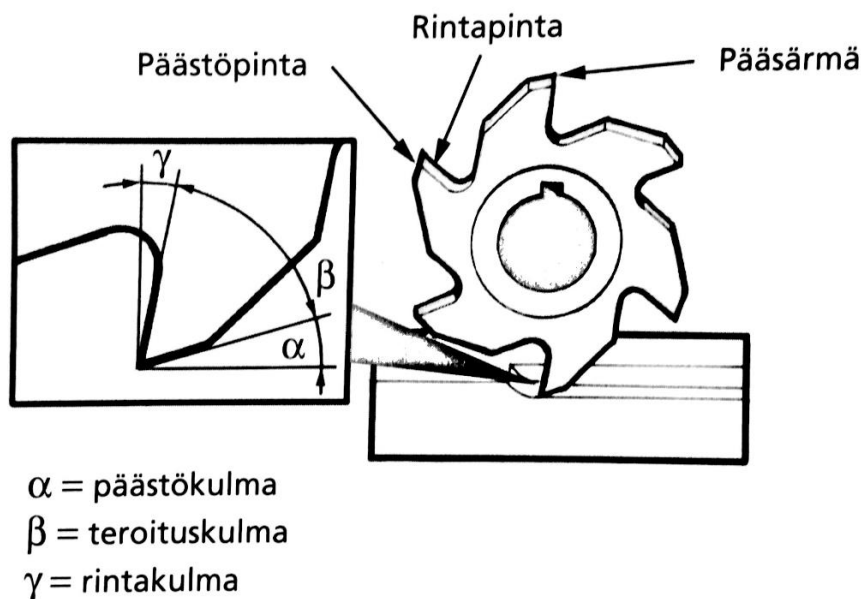


Kuva 8. Plasmaleikkauksen toimintaperiaatteet ja nimikkeet. /18/

Plasmaleikkaus sopii hyvin ruostumattomille teräksille, koska sen lämmöntuonti on polttoleikkausta pienempää. Muita materiaaleja, joihin sovelletaan plasmaleikkausta, ovat laserleikkaamisen vaikeuksien takia alumiini ja kupari. Plasmaleikkauksessa käytetään yleisimmin kaasuseoksia Argon(Ar) + Vety(H₂), Argon(Ar) + (typpi)N₂ tai paineilmaa. *Argon* antaa hyvän syttyvyyden, mutta heikon kaarijännitteen ja lämmönjohtokyvyn jolloin pelkällä argonilla leikkaustulos on huono. *Vety* nostaa tehoa ja kaarijännitettä, mutta ei pysty yksinään toimimaan plasma-kaasuna, koska se ei pysty itsenäisesti sytyttämään kaarta. *Typeä* voidaan käyttää yksinään, mutta sen suuri kaarijännite tekee siitä ongelmallista. Paineilmaa käytetään sellaisenaan muun muassa ohuen ruostumattoman teräksen leikkaamiseen. /15/22/23/

5.2 Lastuava työstö

Lastuavalla työstöllä tarkoitetaan työstömenetelmiä, joissa työstettävää materiaalia kovempi terä irrottaa ainetta tai lastuja. Vaikutusta kutsutaan lastuamiseksi ja sen vaikutus työstettävään materiaaliin on plastinen eli pysyvä. Yleisesti ruostumattoman teräksen työstämistä lastuavilla työstömenetelmillä pidetään haastavana. Lastuavia työstömenetelmiä voidaan jakaa terän muodon mukaan, lastuamiseen geometrisesti määrämuotoisella terällä ja lastuamiseen geometrisesti epämääräisellä terällä. *Geometrisesti määrämuotoinen terä* työstömenetelmänä sisältää sorvaamisen ja jyrsinän ja *geometrisesti epämääräinen terä* sisältää hiontaa ja hienotyöstömenetelmiä. /14/15/



Kuva 9. Lastuavan työstön peruseriaate ja nimikkeet. /14/

Lastuava työstöllä saadaan aikaiseksi hyvä pinnanlaatu ja mittatarkkuus, mutta ongelmana on lastuamisen korkea hinta työstömenetelmänä ja sitä on yritetty korvata, mutta esimerkiksi korvaavassa aihionvalmistusmenetelmissä ei riitä mittatarkkuus nykypäivän tuotesuunnittelun asettamille vaatimuksille. Lastuamisen haastavuus riippuu suuresti työstettävästä materiaalista ja sen ominaisuuksista, jotka voivat pahimmassa tapauksessa tehdä lastuamisesta todella vaikean ja kalliin työstömenetelmän. /15/

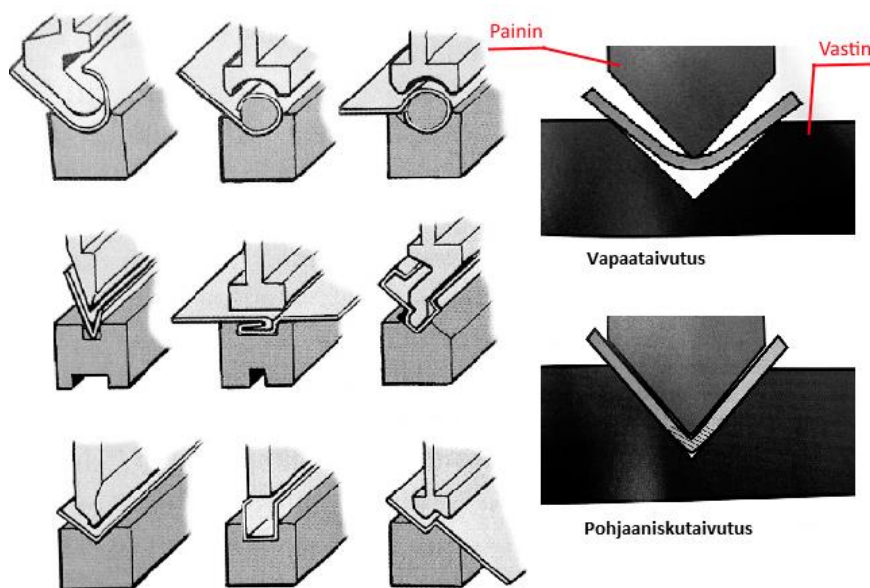
5.3 Teräksen taivuttaminen

Liitosten ja lastuamisen lisäksi, kun tiettyyn aineeseen, kappaleeseen tai materiaaliin halutaan saada jokin muoto ja, että se pysyy muodossaan, täytyy siihen vaikuttavan voiman olla niin suuri, että kohdemateriaalin myötöraja ylittyy. Kun aineen myötöraja on ylitetty, jää kappale kyseiseen muotoon, eikä enää palaudu alkuperäiseen muotoonsa. Kun terästä taivutetaan, puristuu aine sisäreunalta ja venyy ulkoreunalta, eli toisin sanoen tyssäntyy ja venyy. Taivutetussa osassa on siten taso, jossa ei tapahdu venymistä eikä puristumista. Sitä kutsutaan neutraalitasoksi. Taivutusjännityksen ylittäessä myötörajaa, neutraalitaso alkaa siirtyä kohti sisäreunaa. Mitä suurempi on taivutuksen astekulma, sitä lähemmäksi sisäreunaa neutraalitaso siirtyy. Ammattitaitoisen taivuttajan tulee osata tarkan kappalemitan saamiseksi laskea oikaistu pituus ja sitä vastaavat taivutuskohdat. /14/15/

5.3.1 Särmäys

Särmäys on yksi yleisimmistä ja monipuolisimmista taivutustavoista, särmäys tehdään särmäyspuristimella. Särmäyspuristimia löytyy käsikäyttöisiä, koneellisia ja automaattisia NC-ohjattuja. Särmäyspuristimet ovat suosittuja niiden suhteellisen joustavan ja laajan työvälinekategorian takia. Ohutlevytuotannossa särmäyspuristimet ovat suosiossa, koska suhteellisen ohuen ainepaksuuden särmäminen on helppoa ja puristimilla saadaan tehokkaasti aikaan halutunlaisia muotoja, profiileja sekä kulmia, lisäksi särmäyspuristimia saa todella monipuolisesti myös eri työleveyksillä ja käyttötarkoituksilla. /11/14/15/

Särmäys suoritetaan kahdella eri tavalla pohjaaniskutaivutuksena tai vapaataivutuksena, lisäksi joskus käytetään elastista vastinta. Näistä kahdesta taivutustavasta vapaataivutus on selkeästi enemmän käytetty. Vapaataivutuksessa levy taivutetaan kolmepistetaivutuksella, mutta ylätökalun käyttö lopetetaan ennen kuin levy osuu alatyökalun pohjaan saakka. Kolmepistetaivutuksella tarkoitetaan alatyökalun, v-aukon kulmien ja ylätökalun suhdetta. Pohjaaniskutaivutuksessa annetaan vapaataivutuksen sijaan, ylätökalun iskeä pohjaan saakka. Tällöin ylätökalu ja alatyökalu iskevät vastakkain niin, että taivutettava levy on niiden välissä. Tällöin myös levyn taivutettu muoto on tarkalleen työkalujen muodon mukainen. Pohjaanisku taivutus vaatii 3-5 kertaa enemmän voimaa ja on parhaimmillaan tarkoissa ja vaativissa taivutuksissa. /11/14/



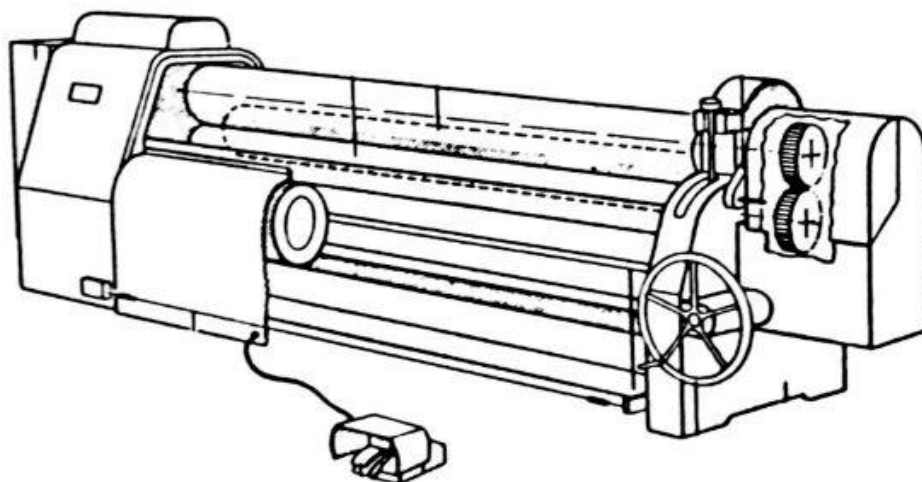
Kuva 10. Kuvassa erilaisia painin-vastinpareja ja vapaataivutuksen sekä pohjaan iskutaivutuksen periaatteet. /11/14/

Särmäyksessä huomioon otettavia seikkoja ovat taivutusvoima, aihion mittamuutokset sekä takaisinjousto, joka aiheuttaa usein mittavirheitä kappaleisiin, takaisinjouston hallitseminen on todella haastavaa. *Taivutusvoima* voidaan kontrolloida valitsemalla oikeanlaiset työkalut, tarkka särmä ja taivutuskulma. *Takaisinjoustolla* tarkoitetaan ilmiötä kun taivuttaessa pienellä vyöhykkeellä tapahtuu vain elastista muutosta ja sisäinen voimatasapaino järkkyy kun ulkoiset voimat katoavat. Tästä syntyneet jännitykset pyrkivät tasaantumaan ja tuloksena on takaisinjousto. /11/14/15/22/

5.3.2 Mankelointi

Ohutlevytuotannossa pyöristystä eli mankelointia tehdään pyöristyskoneilla. Mankeloinnissa käytetään pyöristyskoneita muotoilemaan ja jäykistämään kyseisen kappaleiden rakennetta. Pyöristämällä saadaan aikaan haluttu muoto ja samalla lujitetaan kappaleen lujuusominaisuuksia ilman, että kappaleen paino kasvaisi. Tavallisesti pyöristyskoneessa on kolme pyörivää telaa, joiden sijoittelulla saadaan aikaiseksi erilaisia pyöristyssäteitä ja tätä kautta haluttu profiili. On olemassa

myös koneita, joissa on kolmen telan sijasta neljä telaa, näillä koneilla on mahdollista pyöristää helpommin myös alku- ja loppureunoja. Alla oleva kuva 6, näyttää klassisen kolmitelaisen pyöristyskoneen peruseriaatteen.



Kuva 6. Pyöristyskoneen toimintaperiaatteet. /14/15/

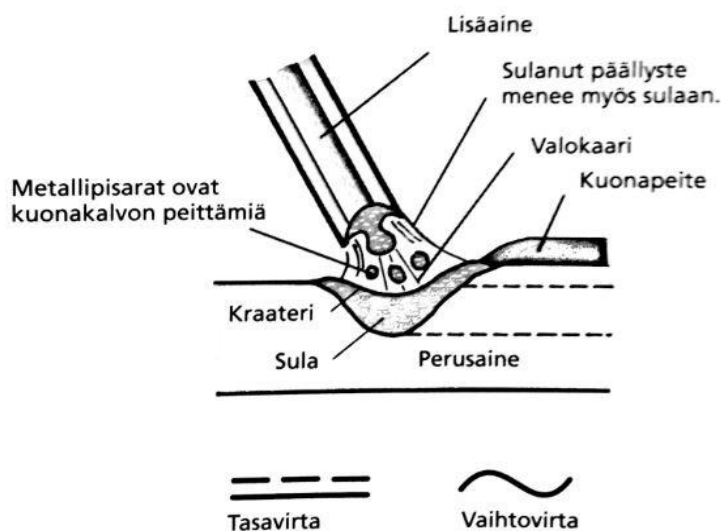
5.4 Liitosmenetelminä hitsaus ja tox-liitokset

Valmet Oyj ja sen alihankkijat käyttävät lähes jokaisessa tuotteessaan jompaa-kumpaa näistä liitosmenetelmistä joko hitsausta tai tox-liitosta. Näitä liitosmenetelmiä voidaan käyttää myös yhdessä. Niin kuin monessa muussakin nykyaikaisessa metallialan yrityksessä, on plasmahitsaus ja MIG/MAG – hitsaus hitsaamiskäytännöistä yleisintä ja ohutlevytuotteissa on tox-liittämisestä tullut yleinen ja hyödyllinen liittämistapa. Tässä teoriaosuudessa käydään läpi muitakin mahdollisia hitsauksen menetelmiä. Plasmahitsauksen ja tox-liitosten lisäksi käydään läpi hitsauksista puikkohitsauksen, TIG-hitsauksen ja MIG/MAG-hitsauksen ja kevyesti niissä käytettyjen lisä-aineiden teoriaa.

5.4.1 Puikkohitsaus

Puikkohitsaus kuuluu osaksi kaarihitsausmenetelmiä ja se yksi vanhimmista ja yleisimmistä hitsausmenetelmistä. Puikkohitsauksen menetelmä on yksinkertainen, kun hitsataan puikkohitsausmenetelmällä, tarvitaan virtalähde, joka johdetaan hitsauspuikkoon ja kohdekappale maadutetaan. Käytetty virta voi olla vaihto- tai tasavirtaa. Nykyaikaisemmissa hitsauslaitteissa, on invertterin avulla mahdollista käyttää kumpaakin virtavaihtoehtoa. Puikkohitsausmenetelmässä syntyy valokaari, kun maadutettu kohteena oleva kappale ja hitsauspuikko koskettavat toisiaan. Tällöin virtapiiri sulkeutuu. Valokaari kuumentaa ionisoituvan ilman, jonka seurauksena kuumentuneeseen ilmaan sekoittuu puikosta sulavaa ainetta, joka alkaa myös johtaa sähköä. Nyt sulana oleva puikon sydänlanka ja kuona kulkeutuvat valokaarta pitkin pisaroiden kohteeseen, jota kutsutaan myös hitsiksi. Alla oleva kuva 7 näyttää puikkohitsaus tapahtuman tarkemmin. /14/17/

Puikkohitsaustapahtuma.



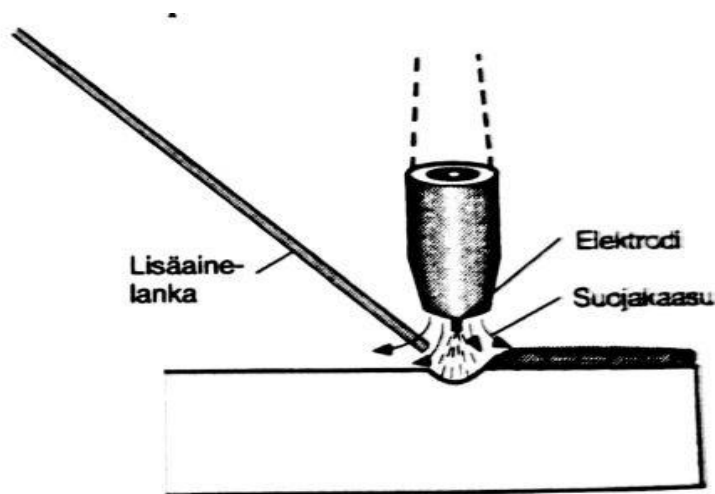
Kuva 7. Puikkohitsaustapahtuma ja nimikkeet. /17/

Puikkohitsauksen tärkein osa on itse hitsauspuikko, joka on samalla hitsauksen lisäaine. Se on yksinkertaisimmillaan suora metallilanka, joka on päällystetty lisäaineella. Lisäaineelle on puikossa monia tehtäviä sen lisäksi, että hitsauspuikko

seostaisi vain hitsiainetta seosaineilla, se myös muun muassa tukee hitsisulaa ja suojaa hitsitapahtumaa kaasulta ja kuonalta. Lisäksi puikon päällysteellä voidaan vaikuttaa hitsausnopeuteen ja vakauttaa itse valokaarta. Hitsauspuikot voidaan jakaa monella tavalla, mutta yleisimmin käytössä on jaottelu puikon päällysteiden mukaan, hapanpäällysteisiin, emäspäällysteisiin sekä rutiilipäällysteisiin. Mainitakoon vain, että eri luokan päällysteet ovat tarkoitettu erilaisiin työtapoihin ja erilaisiin metalleihin sekä rakenteisiin.

5.4.2 TIG-hitsaus

TIG-hitsaus kuuluu kaasukaarihitsausmenetelmiin ja toisin kuin puikkohitsauksessa, TIG-hitsauksessa ei sulateta elektrodia hitsisulaan. Itse hitsauksessa valo-kaari suojataan passiivisella suojakaasulla, yleisimmin käytössä on Argon-kaasu. TIG-hitsauksessa ei myöskään tarvitse välttämättä käyttää lisäainelankaa ja jos käytetään, se on vastaavaa kuin hitsattava kohdemateriaalikin. TIG-hitsaus soveltuu erikoisemmillekin metalleille ja se onkin saanut TIG-hitsauksen yleistymään teollisuudessa. Tätä hitsausmenettelytapaa voidaan käyttää, kun hitsataan ruostumattomia terässeoksia, alumiinia tai erilaisia titaania, nikkeliä tai kuparia sisältäviä seoksia. Kuva 8, näyttää TIG-hitsauksen hitsaustapahtuman. /14/17/8/

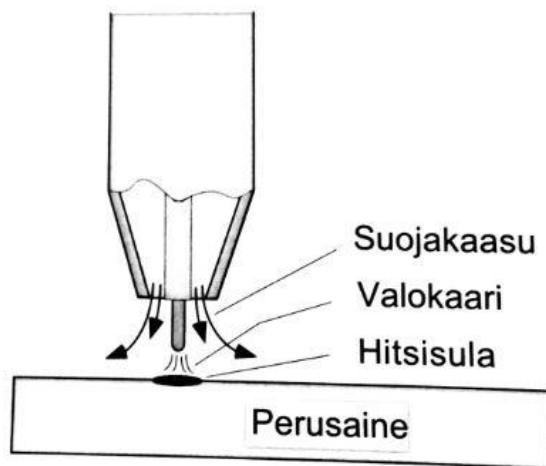


Kuva 8. TIG-hitsauksen hitsaustapahtuma. /14/

5.4.3 MIG/MAG hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarimaisista hitsausmenetelmistä yksi yleisimmin käytetyistä. Samankaltaisesti kuin TIG-hitsauksessa, sähkövirran avulla tuotettu valokaari palaa lisäainelangan ja hitsattavan kappaleen välissä. Valokaarta suojelee vastaavanlaisesti suojakaasu. Se on kova kilpailija puikkohitsaukselle ja onkin paremman laadun takia korvannut puikkohitsausmenetelmää monin paikoin. Hitsauksesta puhutaan MAG-hitsauksena silloin, kun suojakaasu on aktiivista eli kaasu on niin kutsutusti osallistuvaa. MIG-hitsauksesta puhutaan silloin kun suojakaasu on passiivista ja ei hitsaukseen osallistuvaa. Kummassakin hitsausmenetelmässä käytetään kuitenkin lisäainelankaa, lisäainelanka syötetään langansyöttölaitteen läpi.

MIG/MAG-hitsaaminen jaetaan usein kahteen eri menetelmäryhmään. Lyhytkaarihitsaukseen, jolloin kaarijännite on pienempi, noin 15–25 voltin väliltä. Lyhytkaarihitsauksessa valokaari ei pala jatkuvasti vaan jaksoittain, jakson määrittelee sulan metallin pisarointi ja oikosulun synty virtapiirissä. Toinen menetelmä on kuumakaarihitsaus jonka kaarijännite on 25–50 voltin väliltä. Kuumakaarimenetelmällä hitsatessa on valokaari jatkuvasti päällä. Kuumakaarihitsausta on enemmän käytetty paksujen materiaalien hitsauksessa, kun taas lyhytkaarihitsaus soveltuu paremmin ohutlevytyöpuolelle puolelle. Kuva 9 selvittää MIG/MAG-hitsauksen hitsaustapahtumaa. /14/17/



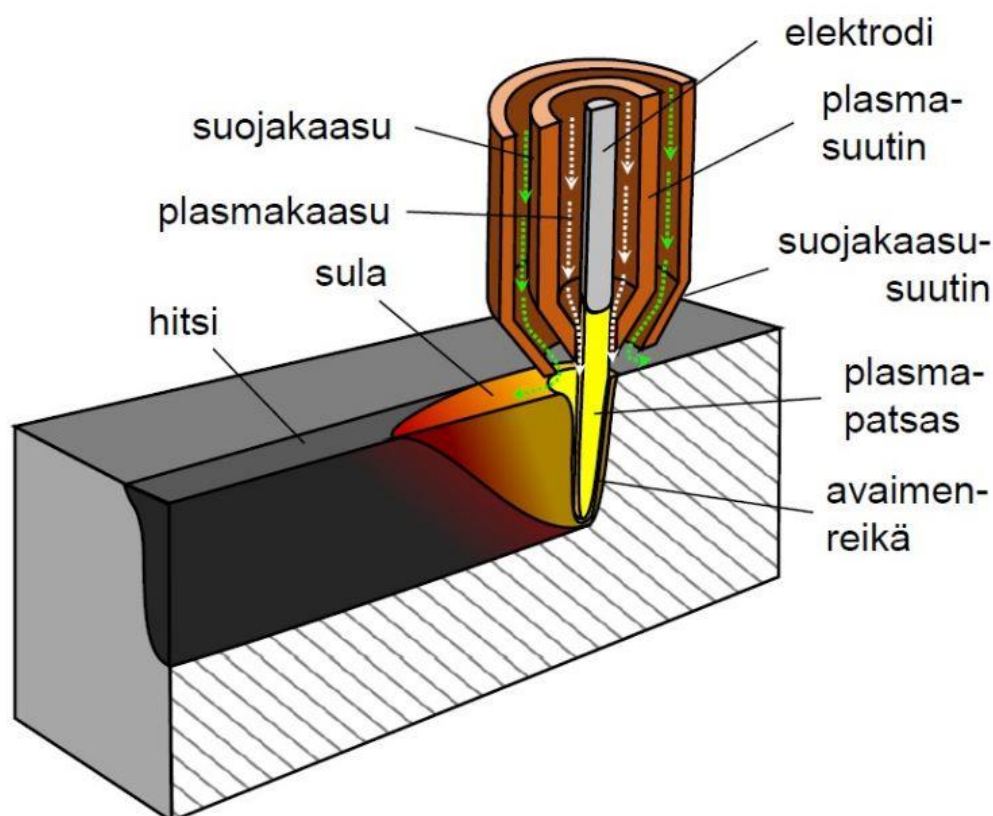
Kuva 9. MIG/MAG-hitsauksen hitsaustapahtuma. /14/

5.4.4 Plasmahitsaus

Plasmahitsaus on myös kaasukaarihitsausta ja sitä pidetään vielä erikoishitsaus-tekniikkana, vaikka senkin käyttö on yleistynyt, koska plasmahitsaus sopii varsinkin ruostumattomien terästen yhteenliittämiseen. Plasmahitsaus on hyvin yleisesti käytössä myös Valmet Oyj:n alihankkijoilla ja toimintaperiaatteeltaan se muistuttaa paljon TIG-hitsausta. Plasmahitsauksessa käytetään suojakaasun lisäksi plasmakaasua, joka usein on vastaavaa kuin suojakaasu. /15/17/

Plasmahitsaus voidaan jakaa toimintaperiaatteeltaan kahteen osioon ja hitsaus virran perusteella kolmeen luokkaan. Toimintaperiaateluokat ovat sulattavalla valokaarella hitsaus, joka vastaa TIG-hitsausta sekä lävistävällä valokaarella hitsaus, joka saa nimensä siitä, että lävistävä valokaari muodostaa hitsattavaan railoon niin sanotun lävistysreiän. Kolme virtaluokkaa ovat mikroplasmahitsaus (0,1-15 A), väliplasmahitsaus (15–100 A) ja lävistävä plasmahitsaus (100–500 A). Kuvassa 10 näytetään plasmahitsauksen läpileikkaavaa valokaarta hitsatessa. /14/15/17/22/

Kuva 10. Plasmahitsauksen toimintakuva. /18/

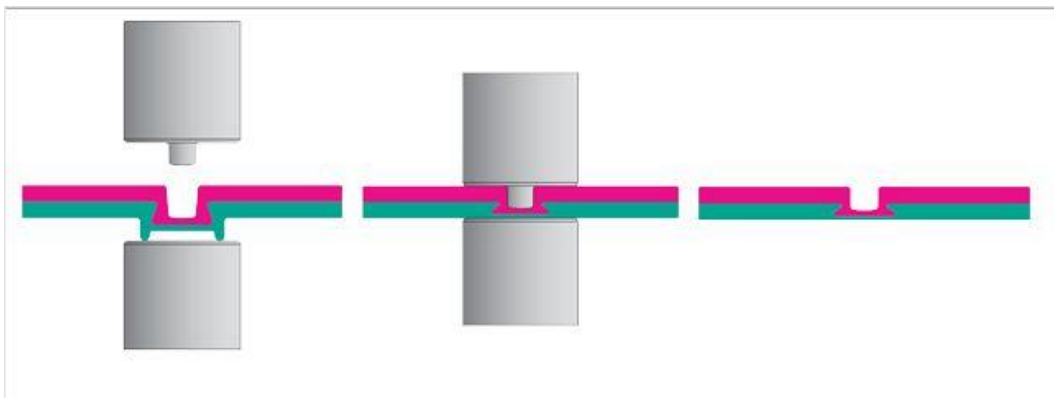


Plasmahitsauksen hyviä puolia ovat sen nopea hitsausnopeus, soveltuvuus kaikille materiaaleille, hyvä keskittyneisyys, joka laskee lämmöntuontia. Myös plasmahitsauksen laatu on korkea ja esimerkiksi osalla NC-plasmahitsauskoneilla voidaan saada liitosjälkeä, joka ei tarvitse jälkikäsittelyä. Huonoina puolina plasmahitsauksessa voidaan pitää sen kallista hankintahintaa sekä heikkoa lian sietokykyä, jo pieni määrä likaa voi aiheuttaa reikiintymistä hitsissä. Plasmahitsausta voidaan

tehdä käsin tai mekanisoidusti, myös lisälangan käyttö on mahdollista, mutta se tarvitsee langansyöttäjän, yleisesti käytetään vastaavaa lisäainelankaa kuin MIG/MAG-hitsauksessa. /14/15/17/22/

5.4.5 Tox-liitokset

Tox-liitokset ovat tärkeä osa High Intensity-ilmakuivaimen valmistusta. Kyseisillä liitoksilla on monia hyviä puolia; tox-liitos on esimerkiksi lisäaineeton puristusliitos, joka sopii hyvin ohutlevytyöhön. Sen toimintaperiaate on yksinkertainen; liitos puristetaan tyynyillä vastapinnoille, joko muotoilulla päällä tai tasapinnalla, jonka seurauksena syntyy pitävä liitos. Kuvassa 11 näytetään kuinka tox-liitoksen tekeminen tapahtuu. Kuva 11 näyttää kuinka ylä- ja alatyyny puristuvat toisiaan kohti metallilevyt välissään ja kuinka levyt liittyvät toisiinsa.



Kuva 11. Tox-liitoksen peruseriaate. /29/

Tox-liitokset eivät muun muassa riko tai lävistä liitoskohtaa, lisäksi ne eivät tee vahinkoa päällysteelle. Molemmat seikat parantavat liitoksen korroosionkestävyyttä. Negatiivisena puolena voidaan mainita, että tox-liitoksen purkaminen joudutaan tekemään rikkomalla liitos.

5.5 Hitsattavuus ja hitsauslisäaineet

Tässä osiossa käydään läpi työssä käsiteltyjen materiaalien hitsattavuutta ja mahdollisesti käytettäviä hitsauslisäaineita. Molemmat ovat materiaalin korvaamista

harkittaessa huomioon otettavia seikkoja, jotka tulee olla selvillä suunnittelijasta valmistajaan saakka.

5.5.1 Hitsattavuus

Hitsattavuudella tarkoitetaan sitä, kuinka helppoa on hitsata kyseistä materiaalia. Hitsattavuus on määritelty erilaisilla standardeilla, joista tunnetuimpia on kansainvälinen ISO 581–1967 ja saksalainen standardi DIN 8528.

Materiaalia valitessa hitsattavuudessa on tärkeää huomioida muillakin tavoin, kuin pelkällä materiaalin tarkastelulla. Suunniteltaessa liitoksia tulee miettiä perusaineen hitsattavuus, hitsausmahdollisuudet eli valmistuksellinen hitsattavuus sekä hitsattavuus eli rakenteellinen hitsausvarmuus. /8/

Perusaineen hitsattavuuteen vaikuttavat ne tavalliset asia eli perusaineen omat ominaisuudet, kuten kemiallinen koostumus ja metallurgiset ominaisuudet. /8/

valmistukselliseen hitsaukseen vaikuttaa eniten viimeinen seikka eli tuotteen rakenteellinen hitsattavuus ja kuinka monimutkainen sen rakenteellinen hitsattavuus on. Ihanteellisessa tapauksessa kaikki suunnitellut hitsit voidaan tehdä tuotannossa, kun rakenteen suunnitteluun liittyviä tekijöitä on mahdollisimman vähän ja jokainen hitsi voidaan toteuttaa asianmukaisesti, rakenteesta riippumatta. /8/

Rakenteelliseen hitsattavuuteen vaikuttavat tavallisesti kaikki rakenteen ominaisuudet ja perusaineen hitsattavuus. Hitsausvarmuuteen vaikuttavat ainakin seuraavat tekijät: /8/

- voimien vaikutussuunnat
- hitsausliitosten muodot ja sijainnit
- aineen paksuudet
- jäykkyyserot rakenteessa
- lämpötila ja korroosio.

Kaikki materiaalit ovat periaatteessa hitsattavia, jotkut ovat haastavia ja jotkut ovat helpompia. Jos edessä on haastava materiaali hitsattavaksi, on syytä seurata materiaalille tehtyjä erityisohjeita, jotta liitoksen luominen onnistuisi mahdollisimman onnistuneesti. /8/

Austeniittiset ruostumattomat teräkset ovat usein helpoimpia hitsattavia ja niiden hitsattavuusongelmia ovat lähinnä lämpölaajenemiskerroin, herkistyminen, kuumahalkeilu ja korroosionkestävyydet. /8/

Ferriittisten ruostumattomien teräksien hitsaaminen on austeniittisiä teräksiä, aina hieman hankalampaa, mutta hyvällä perehdytyksellä ei ole mahdotonta. Ferriittisten ruostumattomien terästen hitsattavuuteen tuo ongelmia, niiden haurausongelmat, joita voi syntyä hitsauksen aiheuttaman lämmöntonin seurauksena. Haurausongelmat vähenevät kun ferriittisen teräksen kromipitoisuudet laskevat, mutta tästä voi seurata ongelmia niiden korroosionkeston kanssa. /8/

Austeniittis-ferriittisten, duplex-terästen ongelmia on niin ikään ongelmat haurauksien sekä korroosionkeston kanssa. /8/

Martensiittiset teräkset ovat hitsattavuudeltaan todella huonoja, niiden suuren hiiliipitoisuuden ja tästä johtuvan karkenevuutensa takia. Muita mahdollisesti syntyviä ongelmia, ovat vetyhalkeamat ja karkenemishalkeama. /8/

5.5.2 Hitsauslisäaineet

Koska käytettyjen hitsauslisäaineiden seosteiden määrä on yhtä suuri tai suurempi kuin tässä työssä käytettyjen perusaineiden, eli ruostumattomien terästen määrä, on työn mielekkyyden kannalta pyritty keskittymään yleispiirteisesti eri perusaineille käytetyistä hitsauslisäaineista.

Mahdollisimman hyvän hitsausliitoksen onnistumiseksi on yleensä pyrittävä saamaan hitsin ja perusaineen ominaisuudet mahdollisimman samankaltaisiksi. Tämän onnistumiseksi on otettava huomioon hitsattavan aihion rakenne sekä niin

perusaineen kuin hitsauslisäaineen kemialliset koostumukset, metallurgiset ja fyysikaaliset ominaisuudet. Karkeasti ottaen, hitsauslisäaineet ovat vastaavanlaisia kuin perusaineetkin, tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi austeniittisella perusaineella ja vastaavalla lisäaineella on samankaltaiset ominaisuudet, muiden terästen kohdalla useimmiten pyritään käyttämään austeniittista perusainetta tai samankaltaista lisäainetta. /8/

Ferriittiset ruostumattomat teräkset ovat usein poikkeavuus liitosten hitsauslisäainetta suunniteltaessa, koska niiden hitsaamiseen suositellaan usein käytettäväksi austeniittista hitsauslisäainetta, ferriittisen lisäaineen sijasta (ylempänä olettaen, että perusaineen ja lisäaineen tulisi olla mahdollisimman yhtenevät). Tämä johtuu paljolti siitä, että ferriittiset hitsauslisäaineet ovat ominaisuuksiltaan lähes samankaltaisia kuin ferriittiset perusaineet, eli ongelmia syntyy helposti haurauksien kanssa ja austeniittinen lisäaine antaa liitokselle paremman sitkeyden ja tätä kautta paremman yleisen kestävyuden, ilman haurauksia. Yhtenevyyttä parannetaan muun muassa ohjeistamalla, ettei lisäaineen kromipitoisuus saa olla alle perusaineen kromipitoisuuden. On silti huomioitava, että pyritään välttämään austeniittista lisäainetta jos liitos altistuu kuumille rikki- ja kromipitoisille kaasuille, koska noin 700 °C:ssa voi muodostua sulavaa nikkelisulfidia. /8/

Muut perusaineet, kuten duplex-teräkset ja martensiittiset hitsataan lähes aina perusainetta vastaavilla lisäaineilla tai vastaavasti austeniittisilla lisäaineilla. /8/

6 PINTAKÄSITTELY

Pintakäsittely kuuluu usein viimeisteleviin työvaiheisiin, se voidaan tehdä joko puhdistamalla tai pinnoittamalla, käsiteltävän materiaalin pintaa. Materiaaleille tehdään erilaisia pintakäsittelyitä, että saadaan käytetylle materiaalille joitakin uusia ominaisuuksia, mutta usein yleisempää on, että pintakäsittelyllä pyritään palauttamaan materiaalille takaisin sen aiempia ominaisuuksia. Esimerkiksi ruostumattomille teräksille voidaan tehdä pintakäsittely, jotta saadaan valmistusvaiheissa mahdollisesti heikentynyt korroosionkesto takaisin. Ruostumaton teräs voi menettää korroosionkeston ominaisuuksiaan korkeita lämpötiloja vaativissa työstövaiheissa, kuten hitsauksessa, termisissä leikkausvaiheissa tai lämpökäsittelyissä. /11/

Pintaa käsitteleviä menetelmiä on useita ja tässä kappaleessa mainitaan tälle työlle tärkeimpiä pintakäsittelymenetelmiä, joita ovat mekaaniset käsittelymenetelmät, ja kemiallisista pintakäsittelyt sekä elektrolyyttinen pintakäsittely. /11/

6.1 Mekaaninen pintakäsittely

Mekaanisella pintakäsittelyllä tarkoitetaan puhdistusmenetelmiä, kuten teräsharjausta, jolla pyritään puhdistamaan ylimääräiset kerrostumat ja epäpuhtaudet, kuten hitsauskuonat, ruosteet tai vanhat maalipinnoitteet. Ennen mekaanista pintakäsittelyä suositellaan, että käsiteltävä pinta on puhdistettu rasvasta, liasta ja öljymäisistä aineista. /11/

Hionta tai kaavinta voidaan suorittaa joko käsin tai vaativimmissa kohteissa koneellisesti. Mekaaninen pintakäsittely voidaan tässä tapauksessa suorittaa muun muassa hitsausaumoille, joista pyritään joko käsin tai koneellisella hiomakoneella harjaamaan hitsauksen aikana syntyneet kuonat pois saumasta. Kuonasta puhdistettu hitsausliitos säilyttää ominaisuutensa ja oksidoitumisen kykynsä paljon paremmin kun likainen ja epäpuhtas liitos. Tällä tavalla voidaan varmistaa, että koko kappaleen korroosionkeston tasaisuus säilyy liitoksiaan myöten. /11/

6.2 Kemiallinen pintakäsittely

Kemiallisessa pintakäsittelyssä materiaalin - tässä tapauksessa teräksen - pinta voidaan käsitellä vesipohjaisilla tai liuotinpohjaisilla käsittelyaineilla, joita käytetään lähinnä öljyn, rasvan ja lian poistamiseen pinnoilta. Tämän työn kannalta oleellisin on kolmas käsittelytapa, jota kutsutaan peittaukseksi tai happopeittaukseksi. /11/

Peittaus on usein viimeinen työvaihe ennen kuin tuote lähetetään eteenpäin valmistuksesta ja se tulisi aina tehdä huolella ja niin, ettei ympäristön, turvallisuuden tai terveyden riskit kasva liian suuriksi. Peittaus on hyvin yleisesti käytössä ruostumattomille teräksille, kun halutaan poistaa hitsauksen aikana syntynyt vähäkrominen oksidikerros, jotta ruostumattoman teräksen tavanomaiset ominaisuudet palautuisivat. Tuotteessa tapahtuvan peittauksen mahdollisuus kannattaa ottaa huomioon jo suunniteltaessa tuotetta ja sen rakenteita. Suunnittelijan tulisi huomioida ainakin peittaus happojen poisvaluminen rakenteista. Ongelmia voi syntyä myös jos tuote on vaikea puhdistaa peittauksen jälkeen happoliuoksesta. /11/23/28/

Peittausta tehdessä tulee miettiä tarkasti miten kauan ja millaisella liuoksella peitataan. Uutta materiaalia valitessa tulee tutustua huolellisesti siihen, kuinka uusi materiaali tulisi peitata, että välttyttäisiin suuremmilta ongelmilta, jotka voisivat pilata tuotteen viimeistelyn tai aiheuttaa viivästyksiä toimituksessa peittauksen epäonnistuessa, lisäksi virheellinen peittaus voi aiheuttaa tuotteelle ja sen valmistukselle suuria lisäkustannuksia. /11/23/28/

Peittaus voidaan tehdä upottamalla kappale kokonaisuudessaan peittaushappoon, jos kappale on suurempi, voidaan kappale ruiskuttaa peittausaineella, eli ruisku-peitata. Pienempien kappaleiden kohdalla tai tuotteiden, jotka sisältävät vain vähän liitoskohtia, voidaan peittaus tehdä siveltimellä tai vastaavalla työkalulla, tätä kutsutaan tahnapeittaukseksi. /11/23/28/

Peittauksessa käytettyjä happoja voivat olla rikkihapot, suolahapot tai fosforihapot, lisäksi peittausliuokseen lisätään usein kostutinaaineita, jotta happo vaikuttaisi paremmin pintaan. Kuvassa 12 on Valmetin alihankkijan Jet Steel Oy:n kotisivuilta heidän blogikirjoittajan Sami Korhosen esimerkit tämän työaiheen merkityksellisten materiaalien peittausohjeista ja liuoksista. /11/28/

laatu:	1.4003 (4003)	1.4301 (304)	1.4547 (254 SMO)
peittausaine:	5 % + 20 %*	5 % + 20 %	5 % + 20 %**
peittausaika:	2 - 4min	20 - 30min	8 - 12 h
huuhtelu:	vesi-fosforihappo	vesi	vesi
pesu:	ionisoitu vesi, 80°C		
passivointi:	~3vrk, ulkoilma***		

*optimi fluorivetyhappomäärä 1 - 2 %

**optimi fuorivetyhappomäärä 7 - 8%

***laatua 1.4003 ei saa altistaa epäpuhtauksille 48h sisällä peittauksesta, esim. vesisade

Kuva 12. Kuvassa peittausarvoja työssä käytetyille materiaaleille. /28/

6.3 Elektrolyyttinen pintakäsittely

Elektrolyyttinen pinnoitus voidaan tehdä niin suurille kuin pienillekin kappaleille. Elektrolyyttisessä pintakäsittelyssä kappale upotetaan vesipohjaiseen liuokseen, johon on lisätty haluttuja happoja, metallisuoloja ja erilaisia kompleksimuodostajia. Elektrolyyttisellä pintakäsittelyllä voidaan käsitellä erilaisia metalliperäisiä kappaleita.

Elektrolyyttistä pintakäsittelyä eli sähkösaostusta tehdessä tulee huomioida tarkasti käsiteltävän kappaleen pinnanlaatu ja rakenne, koska materiaalin pinnanlaatu, murtumat ja halkeamat vaikeuttavat vahvasti kappaleen pintakäsittelävyyttä. Niin kuin muissakin pintakäsittelymenetelmissä on oltava huolellinen käsiteltävän pinnan puhtaudesta. /11/

7 RUOSTUMATTOMIEN TERÄSTEN HINTA JA SAATAVUUS

7.1 Ruostumattomien teräslaatuojen saatavuus

Yksi tämän työn tärkeimmistä seikoista, jotta materiaalin vaihdosta tulisi mahdollista, oli varmistaa tulevan vaihdettavan ruostumattoman teräksen hyvä saatavuus, joka turvaisi tuotteen valmistamisen ilman, että jouduttaisiin muuttamaan logistisia, varastollisia tai hankintaerällisiä suuruuksia. Ruostumattomien terästen saatavuuteen vaikuttaa suuresti myös missä saatavuuskartoitusta suoritetaan; tässä työssä teräslaatuojen saatavuutta lähdettiin kartoittamaan eri valmistajilta lähinnä Suomessa. Kuvassa 13 on teräksien saatavuuslista Suomesta, joka on alkuperäisesti vuodelta 2010 ja tarkistettu suurimmilta eri teräksen toimittajilta oikeaksi vuonna 2016. Kuvasta voidaan havainnoida, että Suomessa austeniittisten laatuojen saatavuus on todella hyvä ja muiden hieman rajallisempi.

	1.4301	1.4307	1.4305	1.4404	1.4401	1.4435	1.4571	1.4835	1.4828	1.4529	1.4547	1.4003	1.4016	1.4512	1.4509	1.4521	1.4162	1.4462	1.4460	1.4362	1.4410	1.4021	
Levy 1,0	x			x					x			x	x	x	x								
Levy 1,25	x			x								x	x										
Levy 1,50	x			x								x	x	x	x								
Levy 2,0	x			x				x			x	x	x	x	x		x	x		x	x		
Levy 3,0	x			x				x	x		x	x		x			x	x		x	x		
Levy 4,0	x			x				x			x	x					x	x		x	x		
Levy 5,0	x			x				x			x	x					x	x		x	x		
Levy 6,0	x			x				x			x	x					x	x		x	x		
Levy 8,0	x			x				x			x	x					x	x		x	x		
Levy 10,0	x			x				x			x						x	x		x	x		
Levy >10,0	x			x				x		x							x	x		x	x		
Suorakaideputki	x			x			x					x											
Neliöputki	x			x			x					x											
Pyöreä putki	x			x		x						x					x	x					
Pyörötanko	x	x		x															x				x
Kulmatanko	x			x																			
Lattatanko	x			x																			

= Austeniittinen laatu
 = Ferriittinen laatu
 = Duplex-teräs
 = Martensiittinen laatu

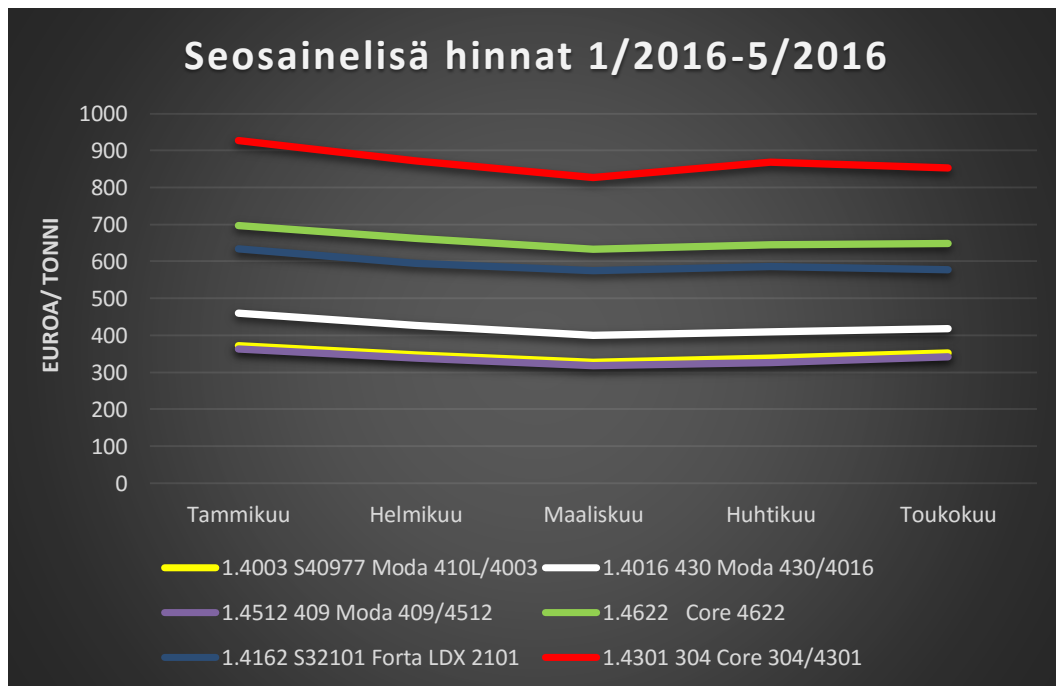
Kuva 13. Teräksen saatavuus suurimmilta toimittajilta Suomessa /23/

7.2 Ruostumattomien terästen hinta

Ruostumattoman teräksen hinta koostuu kolmesta eri osiosta. Ruostumattoman teräksen hinnan pohjana on aina perushinta, joka koostuu perusaineesta eli raudasta. Toisena vaikuttavana tekijänä ovat teräksen seosainelisät ja kolmantena niin kutsutut extrat eli tuoteominaisuudet, jotka poikkeavat tavanomaisista. Tällaisia ominaisuuksia ovat materiaalin pinta käsittely ja pakkaus.

Jos katsannosta jätetään tavanomaisesta poikkeavat muutokset pois, on seosainelien vaikutus suurin hintoihin ja saattaa pahimmassa tapauksessa jopa moninkertaistaa ruostumattoman teräslaadun hinnan verrattuna muihin ruostumattomiin teräslaatuihin. Jos tarkastellaan ruostumattomien teräksien seosaineiden hintoja huomataan, että näistä epävakain ja eniten hintaa nostava seosainelisiä on nikkeli. Nikkeliä käytetään varsinkin perinteisten ruostumattomien terästen EN 1.4301/1.4307 valmistuksessa ja onkin syy miksi näiden laatujuen hinta voi nousta suhteettomankin suureksi epävakautensa puolesta.

Kuva 14 on katsanto seosainelien hinnoista vuodelta 2016 ja se näyttää selvästi EN 1.4301 hinnan olevan todella korkea verrattuna vaihtoehtoisiiin ferriittisiin laatuuihin, esimerkiksi EN 1.4003 laatuun. Vaikka nikkelin hinta on ollut hetken aikaa laskussa, minkä voi todeta kuvasta 15, voi sen hinta nousta hetkenä minä hyvänsä ja kuvan 14 vertailussa nähdään jo isoja muutoksia vaikka otos onkin vain viideltä kuukaudelta. Vertailussa käytettyjen muiden laatujuen, kuten ferriittisten ja esimerkiksi duplex teräslaadun EN 1.4162 hyvät muokkausominaisuudet sekä korroosionkesto onkin jo kasvattanut niiden suosiota käytössä. Lisäksi mainittakoon ferriittinen laatu EN 1.4622, jonka ominaisuudet vastaavat todella hyvin perinteisen austeniittisen laadun EN 1.4301 ominaisuuksia, silti seosainelien hinta on lähes 30 % matalampi ja todella paljon stabiilimpi. /24/



Kuva 14. Seosainelisien hinnat kuluvalta vuodelta 2016. /24/

Kuvassa 15 on Taloussanomien pörssistä nikkelin hintakehitys kolmen vuoden ajalta. Nikkelin hinta on romahtanut 9000 \$/tonnilta ja on ennätysmatalassa luke-massa, myös sen hinnannousun ennustetta vuoteen 2020 mennessä on laskettu paikoin jopa 15 %. Silti maailmanpankin ennuste on se, että nikkelin hinta tulee nousemaan vuonna 2020 noin 13 600 dollariin tonnilta. Alhainen hinta ei silti estä hinnanvaihteluita. Jos tarkastellaan kuvassa 14 näkyvää lähiaikojen hintakehitystä huomataan, että juuri nytkin on käynnissä suuria nikkelin hinnan muutoksia kal-liimpaan suuntaan. /25/

Nikkeli (LME spot), USD/t

Päivän hinnat		Tuotto	
Kurssi	9.050,00	1 viikko	+1,12%
12 kk alin/ylin	7710,00 / 9555,00	1 kuukausi	+4,87%
Muutos	+3,02% [+265,00]	3 kuukautta	+4,68%
Viim. kaupan aika	2016-06-17T00:00:00	6 kuukautta	+5,17%
		1 vuosi	-29,57%
		2 vuotta	-52,19%
		5 vuotta	-58,69%



Kuva 15. Nikkelin hintakehitys vuosien 2013–2016 välillä. /25/

Kuvassa 15 nähdään, että nikkelin hinta on noussut yhdessä viikossa 1,12 % ja puolen vuoden sisällä yli 5 %.

Taulukossa 5 on merkitty ruostumattoman teräksen tämänhetkiset hinnat. Taulukon materiaalien hinnat on selvitetty materiaalin toimittajilta ja tarjouspyynnöillä. Hinnat on selvitetty kesäkuussa 2016 ja jos samaisesta materiaalista on saatu kaksi toisistaan poikkeavaa hintaa, on materiaalin hinnoista otettu keskiarvo.

Taulukko 5. Materiaalien hinnat selvitetty kesäkuussa 2016.

Materiaalien Hinnat		(kylmävalssatut levyt)
Materiaalin Laatu	Hinta EUR/Kg	
Corten A	1,03 € / Kg	
Rakenneteräs	0,73 € / Kg	
EN 1.4301	2,20 € / Kg	
EN 1.4003	1,79 € / Kg	
EN 1.4512	1,45 € / Kg	

8 MATERIAALIEN SELVITYSTYÖ

Tämän opinnäytetyön tutkimus- ja kartoitusosuudessa käydään läpi tässä käytetyt tutkimusmenetelmät ja se kuinka eri menetelmiä on käytetty tämän tutkimustyön edistyessä. Opinnäytetyössä tarkoitus oli tehdä selvitys, jossa kartoitetaan Valmet Oyj:n OptiDry Coat – tuoteperheen, High Intensity mallin suuttimissa sekä kanavistossa vallitsevia olosuhteita. Millaisia materiaaleja on nyt käytössä kyseisissä osissa ja millaisia mahdollisesti edullisempia materiaaleja löytyisi korvaamaan näitä nykyisin käytettyjä materiaaleja.

Käytännön tutkimuksessa etsittiin vastauksia, muun muassa seuraaviin kysymyksiin:

- Millaiset ovat nykyisin käytetyn materiaalin vaatimukset?
- Millaisia ovat vaatimukset korvaaville uusille materiaaleille ja millaisia vaatimuksia uudet materiaalit vaativat käytetyiltä valmistusmenetelmiltä?
- Kuinka korvaavat materiaalit pärjäävät nykyisin käytetylle ja mitä hyödyttään materiaalin vaihdoksella?

8.1 Tutkimuksen ja kartoituksen toteutus

Opinnäytetyön tutkimus tehtiin pääosin Valmet Oyj:n tiloissa ja tavoitteena oli suurimmaksi osaksi käyttää yrityksen jo olemassa olevaa empiiristä kokemusta ja niin sanottua hiljaista tietoa. Kartoituksen aikana käytiin avoimia haastatteluita sekä käytettiin yrityksen tietokantoja. Lisäksi käytettiin hyväksi yrityksen laajaa alihankkijaverkostoa sekä myyjäpuolen erikoisosaamista. Viestinnässä käytettiin sähköpostia, haastatteluita, puhelinta sekä sisäisiä viestintäohjelmistoja, kuten Skype Prota ja intranettiä.

Työ aloitettiin selvittämällä, millainen kyseinen tuote on ja millaiset ovat tuotteen olosuhteet. Tämän jälkeen otettiin selvää, millainen on nykyinen materiaali ja miksi yrityksellä oli tarve korvata nykyisin käytetty materiaali, tässä tapauksessa ruostumaton teräs, toisella teräksellä. Tuotteen valmistuksen ja olosuhteiden selvi-

tyksen jälkeen aloitettiin avoimet haastattelut koskien kaikkia, jotka vaikuttavat jotenkin kyseiseen tuotteeseen ja sen valmistukseen. Tämä ryhmä sisälsi muun muassa myyjät, suunnittelijat, ostajat, tukkurit, valmistavan alihankkijan sekä projektihenkilöstöä.

Valmetin henkilökunnan haastattelun lisäksi tehtiin yrityskäyntejä Valmetin tuotetta valmistavan alihankkijan luokse. Haastatteluiden lisäksi tutustuttiin yrityksen valmistusmenetelmiin ja tuotantotiloihin, joissa keskityttiin seuraamaan kyseisen tuotteen valmistusmenetelmiä. Myös tuotteen valmistuksen elinkaari seurattiin kronologisesti alkaen raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi.

Kun oli selvillä millainen tuote on, miten ja mistä se valmistetaan, selvitettiin millaisia parannuksia materiaaliin tai tuotteen ominaisuuksiin haluttiin. Aloitettiin kartoittamaan kotisivujen, sähköpostin ja puhelimen välityksellä metallintoimittajilta mahdollisia korvaavia materiaaleja, jotka kestäisivät olosuhteet ja valmistustavat.

Selvitystyön jälkeen mahdolliset materiaalit asetettiin vertailtaviksi, materiaalit taulukoitiin ja niiden ominaisuuksille annettiin tietty arvo. Vertailutaulukosta voidaan nähdä, mikä materiaali soveltuu käytettäväksi ja mikä ei ja minkä takia. Mahdollisten uusien materiaalien kemiallisia sekä mekaanisia ominaisuuksia vertailtiin ja lisäksi referoitiin uusille mahdollisille materiaaleille teetettyjen kokeiden tuloksia.

Vertailusta selvinneistä materiaaleista tehtiin ominaisuusprofiilit ja tarkasteltiin niiden sopivuutta vielä tarkemmin. Tarkoituksena oli, jos aikaa jäisi, tehdä koekappaleet, joihin lisättiin alkuperäisessäkin tuotteessa käytettyjä työstömenetelmiä ja liitosmenetelmiä. Koekappaleet altistettaisiin tuotteen käyttölämpötilaa vastaavaan lämpötilaan. Materiaaleista löytyi jo valtavasti tietoa ja tehtyjä kokeita. Tehtäväksi jäi vielä koe, jonka tarkoituksena olisi tutkia, kuinka uusi materiaali todellisuudessa pärjää vastaavissa olosuhteissa.

Kaiken tämän lisäksi pyrkimyksenä oli paneutua monipuolisesti laajaan olemassa olevaan lähdekirjallisuuteen ja yrittää katsoa vaihtamisen hyviä ja huonoja puolia jokaisesta mahdollisesta suunnasta.

8.2 Tutkimusmenetelmät

Koska tutkimuksessa on selkeä kohde ja tarkka haluttu lopputulos, voidaan tutkimuksen lopputulosta perustella tilastoilla, rinnakkain asettelevalla vertailulla sekä antaa näille tukea teorialla ja empiirisellä tutkimuksella. *Laboratiivisella kokeellisella tutkimuksella* eli toisin sanoen kokeella, jossa kohdemateriaaleja testataan hyvin säädellyissä olosuhteissa. Havainnoista on mahdollista selvittää syy – seuraus – suhdetta ja kokeiden lopputuloksista päästään vieläkin tarkempiin tuloksiin.

Työssä käytettiin aluksi vapaamuotoisia haastatteluita, joita ei kirjattu ylös. Vapaamuotoisten haastatteluiden hyötynä oli jouhevampi ja vapaamuotoisempi keskustelu aiheesta, jonka avulla päästiin aiheeseen paljon syvemmälle ja tarkoituksena oli lähinnä perehdyttää opinnäytetyöntekijä aiheeseen paremmin, lisäksi selvisi ongelmakohtia, joihin etsittiin aineistosta, kirjallisuudesta tietoa.

Vapaamuotoisten haastatteluiden lisäksi perehdyttiin aineistoon ja lähdekirjallisuuden, intranetin ja internetin avulla tuotteen valmistusteknisiin asioihin sekä terästen ominaisuuksiin. Tekijän teoreettista pohjaa syvennettiin yrityskäynneillä, jossa nähtiin käytännössä valmistustekninen toiminta ja kuinka materiaalit mahdollisesti käyttäytyisivät valmistuksessa.

Tarkoituksena oli tehdä myös mahdollisia kenttäkokeita uudelle materiaalille jos aikaa tähän jäisi, mutta opinnäytetyötä tehtiin kesällä ja halutut kenttäkokeet jäivät tekemättä resurssipulan vuoksi. Työn tarkentamiseksi jouduttiin tyytymään jo olemassa oleviin kokeisiin, joita muun muassa Valmetin alihankkijayritys Jet Steel Oy oli tehnyt kyseiselle materiaalille.

8.3 Tehtyjä kokeita

Seuraavaan työn osioon on kerätty kokeita, joita on tehty materiaalille, joka työn myöhäisemmässä vaiheessa valikoituu tarkempaan tarkasteluun, mahdolliseksi korvaavaksi materiaaliksi perinteisen austeniittisen ruostumattoman teräksen tilalle. Mahdolliselle korvaavalle teräkselle, ferriittiselle teräkselle EN 1.4003 on kyselyiden avulla paljastunut, että alihankkijayritys ab Jet-Steel oy on tehnyt kyseistä materiaalista vastaavaan High Intensity-ilmakuivaimeen, polttimelta kuivaimelle kuumaa ilmaa kuljettavan putkiston, jossa käyttöolosuhteet vastaavat osittain tämän työn materiaalinvaihdoksen alaisuuteen kuuluvia sovellutuksia.

Kyselyiden lomassa paljastui, että teräksestä EN 1.4003 tehtyjä putkia ei ole peittattu, vaan niiden liitoskohdat on vain teräsharjattu kiiltäviksi. Tämän lisäksi Jet-Steel oy on istuttanut erinäisiä koekappaleita ulkoilmakorroosion testausta varten. Yksi kappale on haudattuna maahan ja toinen on maanpinnan yläpuolella. Paljastui, että kumpikaan kappaleista ei ole kärsinyt korroosiosta, vaikka ne ovat altistuneet ulkoilmakorroosiolle jo kolmen vuoden ajan. Liitoskohtien korroosionkesto on ilmeisesti saatu pidettyä yllä valmiissa putkistoissa jo pelkällä kiillotuksella.

Tästä voidaan päätellä, että teräslaatu kestää ulkoilmakorroosiota melko hyvin, mutta jos soveltamista kovempiin olosuhteisiin, harkitaan liitoksien kohdat vaativat luultavammin jonkinlaista pintakäsittelyä, että korroosionkestävyys saadaan pidettyä laadultaan tasaisena. Kiillotuksen lisäksi hyvä keino voisi olla peittäminen. Ferriittisen teräksen vaikeamman peittämisen takia, peittäminen tulisi tehdä melko miedolla peittäusliuoksella tai tahnulla.

9 MATERIAALIEN VALINTA

Opinnäytetyön aikana on jo huomattu, että erilaisia ruostumattomia teräksiä on lukemattomia ja ruostumattomat teräkset ovat vain osa suurempaa teräs perhettä. Uuden materiaalin valinta tästä valtavasta tarjonnasta on todella haastavaa. Lisäksi eri materiaalit, erilaiset seosaineet, mekaaniset ominaisuudet sekä kemialliset ominaisuudet monimutkaistavat materiaalin muokkaavaa työstöä ja käsittelytapoja.

Monimutkaisen ja vaikean prosessin takia materiaalin valintaa helpottamaan on luotu useita eri malleja ja jopa ohjelmistoja. Uutta materiaalia valitessa luodaan vaatimusprofiili. Vaatimusprofiiliin sopivan metallin löytyessä, kutsutaan metallin ominaisuuksia ominaisuusprofiiliksi. Jotta löydettäisiin Valmet Oyj:n tarpeisiin soveltuva oikea ominaisuusprofiili, pitää luoda tuotteen kyseiselle osalle tarkka vaatimusprofiili. Vaatimusprofiilin lisäksi materiaalia valitessa tulee huomioida materiaalille ja tuotteelle luodut reunaehdot eli työn alussa mainittu vaatimuslista (**LIITE 1**). Yksinkertaistettuna materiaalia valittaessa pyritään valitsemaan, vaatimuslistan ehtojen rajoissa, vaatimusprofiilia vastaavan materiaalin ominaisuusprofiilin.

Valinnassa on käytetty apuna materiaalin valintaa helpottavaa karkeaa taulukkoa (**Taulukko 1**), johon on lisätty materiaalin vaatimusprofiilin ominaisuudet sekä jossa karsitaan materiaalit jotka eivät täytä vaatimuslistan mukaisia reunaehtoja. Karkeasta vertailusta selvinneistä materiaaleista luodaan materiaalien ominaisuusprofiilit (**Taulukko 2**), jotka viedään tarkempaan tarkasteluun, jotta löydetään järkeviä vaihtoehtoja ja jottei taulukosta (**Taulukko 3**) tulisi liian lavea, on reunaehtojen puitteissa karsittu sellaiset materiaalit pois, joiden ominaisuuksien tai rajoitusten nähdään jo ilman taulukon vertailua olevan soveltumattomia korvaaviksi materiaaleiksi.

9.1 Vaatimuslista

Työn kohteen haastavien olosuhteiden sekä ruostumattomien teräksien laajan tarjonnan takia, tehtiin työlle ensimmäisenä vaatimuslistan(LIITE 1), jonka jokaisen osuuden tulisi täyttyä, ennen kuin uutta materiaalia harkitaan käytettäväksi.

Materiaalin tulisi olla hinnaltaan edullisempi ja se ei saisi sisältää suurissa määrin nikkeliä. Hinnan lisäksi materiaalilla tulisi olla hyvä saatavuus, myös pienissä erissä ja levyä tulisi mahdollisesti löytyä varastosta. Haluttu levynpaksuus tulisi olla 1-4 mm välillä. Laadullisesti ja muokattavuudellaan uuden materiaalin tulisi olla lähelle aiempaa materiaalia. Sen pitäisi olla helposti muokattavissa ja kestää korkeita lämpötiloja virumatta, haurastumatta eikä se saa menettää ominaisuuksiinsa korroosion vaikutuksesta. Uusi valittu ruostumaton teräs ei saisi myöskään menettää ajan kuluessa lujuuttaan enempää kuin austeniittinenkaan teräs. Lisäksi materiaalinvaihdoksessa pyritään parhaassa mahdollisessa tapauksessa löytämään sellainen teräs, jonka lämpölaajenemiskerroin olisi pienempi kuin austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä. Tämä vakauttaisi ilmakeivaimen kokonaislämpölaajenemista ja helpottaisi suunnittelijoiden työtä sekä pienentäisi muun muassa lämpölaajenemisen vuoksi tarvittavia varoetäisyyksiä suuttimen ja rungon välillä.

9.2 Ennen tarkempaa vertailua karsitut materiaalit

Alla käydään lyhyesti läpi ne teräkset, jotka karsittiin jo ennen todellista materiaalin valintaa. Todellinen materiaalin valinta tehtiin taulukoimalla, missä taulukoon valittiin reunaehdot ja materiaalien ominaisuudet. Ominaisuuksille annettiin omat painoarvot, jotka saatiin vertailemalla arvoja toisiinsa ja katsomalla mikä reunaehdoista eli vaatimuslistan kohdista oli arvokkain suhteessa toisiinsa.

9.2.1 Seostamattomat ja niukkaseosteiset teräkset

OptiDry Coat on ilmakeivaintuoteperhe, jonka tehokkain ja vaativimpiin olosuhteisiin suunniteltu tuote on tämän opinnäytetyön High Intensity-ilmakeivain. Tuoteperheeseen kuuluu myös vähemmän vaativampiin olosuhteisiin soveltuvia tuotteita, joiden materiaalivaatimukset eivät ole niin suuret. Rakenne pysyy samankaltaisena, mutta materiaalit vaihtuvat. Näissä tuotteissa käytetään Valmetin suunnitteluohjeen mukaisia materiaaleja, jotka kuuluvat seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen luokkiin. Käyttölämpötilojen laskiessa 351 °C ja 450 °C välille, käytetään suunnitteluohjeen mukaan säänkestävää CorTen A-terästä vastaavaa S355J0WP-terästä. Jos käyttölämpötilat laskevat tästä vielä alle 350 °C:een, voidaan lämpötilan puolesta siirtyä kaikissa ilmakeivaimen osissa tavalliseen rakenneteräkseen S235JRG2, mutta tämä on tapauskohtaista ja usein rakenneteräksen ja CorTen A teräksen pienten hintaeroavaisuuksien takia pyritään monesti kaikki osat valmistamaan samasta materiaalista.

Rakenneteräs S235JRG2 ja säänkestävä teräs S355J0WP ovat hyviä ja varmoja valintoja silloin kun käyttöolosuhteiden vaatimukset eivät ylitä näiden ja muiden tavallisten rakenne- tai säänkestävien teräksien ominaisuuksia. On kuitenkin selvää, että kun lämpötilat alkavat nousta yli 500 °C:een, eivät näiden terästen kuumankeston ominaisuudet suoriudu enää olosuhteista. Valmet on myös, kokeilujen ja teräksen valmistajan toimesta todennut, että rakenneteräkset sekä säänkestävät teräkset alkoivat High Intensity tuotteen vaatimissa olosuhteissa hilseillä voimakkaasti ja saattoivat jopa palaa puhki ja todettakoon, että nämä eivät ole sallittuja

olomuotomuutoksia tuotteen materiaaleille. Yllämainitut rakenne- ja säänkestävät teräkset ovat kuitenkin tuoteperheen käyttöhistoriansa takia oivia verrokkimateriaaleja ja voivat olla antamassa tulevassa vertailutaulukossa oikeaa suuntaa mahdollisille uusille materiaaleille sekä korvattavalle nykyiselle materiaalille EN 1.4301:lle.

Muita ”mustia” teräksiä, joita työstä on jätetty pois, olivat paineastiateräkset, laivanrakennusteräkset, lujat rakenneteräkset, ultralujat teräkset, kulutusteräkset, nuorrutusteräkset, hiiletysteräkset, jousiteräkset, koneteräkset ja monta muuta käyttötarkoitukseltaan muualle sovellettavaa terästä, jotka eivät kuitenkaan sopineet tämän työn sovellutuksiin tai reunaehtoihin. /26/

9.2.2 Tulenkestävät ja kuumalujat teräkset

Tulenkestävät ja kuumalujat teräkset ovat erikoisteräksiä ja tämän työn kannalta ne olisivat voineet olla soveltuvia ominaisuuksiensa vuoksi, mutta kartoittaessa niiden saatavuutta ja hintaa saatiin selville, etteivät ne kohdanneet työn vaatimuksia, lisäksi opinnäytetyön perimmäisenä tarkoituksena on löytää uusi materiaali, joka toimii selvitystyön jälkeen yrityksen muissakin sovelluksissa ja tällöin korroosionkesto voi olla tärkeämpi ominaisuus, virumisen ja kuumankeston lisäksi.

9.2.3 Nikkeliä sisältävät teräkset

Opinnäytetyön yksi perimmäisistä tarkoituksista oli päästä eroon teräksistä, joissa nikkeliä käytetään seosaineena, on siksi luonnollista olettaa, että austeniittisia teräksiä ei alkuperäistä EN 1.4301 lukuun ottamatta, oteta mukaan vertailuun, vaan ne karsitaan työstä jo ennen vertailua. Nikkeliä seosaineenaan sisältävään ryhmään kuuluvat myös duplex-teräkset. Vaikka duplex-teräksiä on saatavilla matalammalla nikkeliipitoisuudella, ovat ne korkean kromipitoisuutensa takia alttiita 475 hauraudelle, lukuun ottamatta muutamia tulenkestäviä laatuja, joiden saatavuus on vielä melko rajattu. Duplex-teräksien hinta on usein vielä korkeampi kuin austeniittisten terästen ja säästöt duplex-teräksen käytössä ovat tulleet duplex-teräksen kovuuden myötä, kun tarvittavaa materiaalin paksuutta voidaan ohentaa.

9.2.4 Yli 15 % kromia sisältävät teräkset

Kuten aiemmin työssä on tullut ilmi, on High Intensityn käyttölämpötilat haurauksien kannalta otolliset ja työssä on jo havaittu, että kaikki teräkset, jotka sisältävät seosaineenaan yli 15 % kromia, ovat käyttökelvottomia korvaaviksi materiaaleiksi, siksi myös suurin osa suuri kromisista eli ferriittisistä teräksistä on karsittu pois jo ennen vertailua.

9.2.5 Erikoisteräkset

Vaikka erilaiset erikoisteräkset, superteräkset ja näiden sovellukset olisivat ominaisuuksiltaan täysin päteviä korvaaviksi materiaaleiksi, on päätetty jättää kyseiset teräkset pois työn vertailusta, koska reunaehdot eivät täyty niiden korkean hinnan ja osittain vaikean saatavuuden takia. Tässä mainittakoon, että vertailusta karsittiin myös komposiitit, muovit, keraamiset materiaalit sekä alumiini, kupari ja muut vastaavat metallit, joiden katsottiin olevan suoralta kädeltä sopimattomia korvaaviksi materiaaleiksi.

9.3 Materiaalin valintataulukko

Tässä työn osiossa käydään läpi materiaalin valintaa käyttämällä apuna materiaalin valintataulukointia. Materiaalin valintojen vertaileminen niiden ominaisuuksien, työstömahdollisuuksien, saatavuuden sekä hinnan antaa taulukkomuodossa nopeasti käsityksen siitä, millainen materiaali on kyseessä ja kuinka se mahdollisesti soveltuu käyttökohteeseen.

9.3.1 Karkea materiaalien valintataulukko

Taulukko 1 on karkeaan vertailuun perustuva taulukko, johon on otettu vertailuun uudet mahdolliset ferriittiset materiaalit, lisäksi punaisella pohjalla on nykyinen austeniittinen ruostumaton teräs EN 1.4301. Mukaan on otettu myös musta, rakenneteräs S235JRG2 ja säänkestävä CorTen A teräs S355J0WP, jotka ovat käytössä alemman lämpötilan ilmakuivaimissa.

Taulukossa arvostelu tehdään metallin ominaisuuksien, muokattavuuden, saataavuuden ja hinnan mukaan. Arvostelu tapahtuu asteikolla 0-5, jos vertailtava materiaali saa jostakin vertailukohdasta arvon 0, on sen soveltaminen käyttökohteeseen joko mahdoton tai sen käyttäminen tuo mukanaan todella vakavia ongelmia, joiden negatiivinen odotusarvo on usein suurempi kuin positiiviset puolet.

Taulukko 1. Karkea materiaalien valintataulukko.

Ominaisuus	Tarkennus	Austeniittinen	Ferriittinen				Musta & niukkaseosteinen		
		EN 1.4301*	EN 1.4016	EN 1.4724	EN 1.4003	EN 1.4512	EN 1.4622	S235JRG2*	S355J0WP(CorTen A)*
Lujuus		2	4	2	4	3	5	2	5
Käyttölämpötilat	Korkein mahdollinen käyttölämpötila	4	3	5	4	5	4	2	3
Lämpölaajeneminen	Lämpölaajeneminen	2	4	4	4	4	4	4	4
Liittäminen	Hitsattavuus, Tox-liitokset	5	3	4	4	2	4	5	5
Korroosio	Korroosionkestävyys	4	3	4	2	2	5	1	3
Muokattavuus	Taivutettavuus	3	4	4	4	4	4	5	5
Kuumankesto	Hauraudet/Hilseily/Viruminen	4	0	5	5	5	0	0	0
Saatavuus	Erän suuruus, oikeat mitat, toimitusaika	5	5	0	5	3	3	5	4
Hinta	Materiaalin hinta	1	5	3	4	5	2	5	5
Kokonaiskerroin	Pisteet yhteensä	30	0	0	36	33	0	0	0

Katsottaessa taulukon tuloksia nähdään, että jatkoon ei selvinnyt kumpikaan mustista tai niukkaseosteisista, koska niiden kuumankestolliset ominaisuudet eivät riitä käyttö kohteessa. Lisäksi ferriittisistä ruostumattomista pois jatkosta tippui EN 1.4016, jonka suuri kromipitoisuus lisää sen haurastumisen riskejä kohtuuttoman suuriksi. Jatkosta tippui pois myös ferriittinen tulenkestävä lajike EN 1.4724, joka muilta ominaisuuksiltaan oli todella hyvä, mutta selvitettyä sen saatavuutta, huomattiin, että sen saatavuus on erittäin rajoitettu, eikä se näin ollen pääse jatkoon.

Jatkovertailuun menevistä paras materiaali näyttää olevan ferriittinen ruostumaton teräs EN 1.4003, jonka ominaisuudet ovat sen hinnan ja saatavuuden kanssa hyvässä hyötysuhteessa. Toisena jatkoon pääsi titaanistabiloitu ferriittinen ruostumaton teräs EN 1.4512, joka pärjäsi myös hyvin, vaikka sen saatavuus on hieman

rajoitetumpi kuin EN 1.4003 ja saatavuuden rajallisuus tiputti sen toiseksi. Kolmantena jatkoon menevä materiaali on luonnollisesti ruostumaton teräs EN 1.4301, jonka ominaisuudet, työstettävyyttä lukuun ottamatta, ovat ylivoimaiset. Sen heikot kohdat ovatkin lähinnä sen hinta ja työstettävyys.

Seuraavaksi jatkoon meneville tuotteille on annettu ominaisuusprofiilit, joista nähdään materiaalin tarkemmat tiedot. Tulevien materiaalin lisäksi vertailun havainnointia helpottamaan on annettu myös ominaisuusprofiilit mustalle rakenneteräkselle ja säänkestävälle teräkselle CorTen A:lle.

Taulukko 2. Ominaisuusprofiilit tarkempaan vertailuun menevistä materiaaleista.

PRE = % Cr + 3,3x % MO + 16x % N (Suuntaa antava arvio korroosionkestolle).

* = Alueella 20–100 °C

** = Nämä arvot on määritelty vain ruostumattomille teräksille

Ominaisuus	Materiaalivaihtoehdot				
	Ferriittinen EN 1.4003	Ferriittinen EN 1.4512	Rakenneteräs S235JRG2	Säänkestävä Corten A S355J0WP	Austeniittinen EN 1.4301
Lujuus	320MPa	250MPa	235MPa	355MPa	220MPa
Murtovenymä	~21-27%	~30%	~24%	~20%	~45%
Lämpölaajeneminen*	10,4	11	11	11	16
Hitsattavuus	Hyvä	Kohtalainen	Erinomainen	Erinomainen	Erinomainen
Työstettävyys	Erinomainen	Hyvä	Erinomainen	Erinomainen	Heikko
Korroosionkesto PRE	10.5-11.5	12	**	**	17.5-20.8
Korkein suositeltu käyttölämpötila	~600°C	~800°C	~400°C	~500°C	~600°C
Ulkonäkö/pinta	2B, 2E, 1D	2B, 2E	**	**	2B
Saatavuus	Hyvä	Rajoitettu	Hyvä	Hyvä	Hyvä
Hinta €/Kg	1,79 €/Kg	1,41 €/Kg	0,75 €/Kg	1,03 €/Kg	2,20 €/Kg

9.3.2 Ominaisuusprofiilit

Ominaisuusprofiiliin on koottu tiedot mahdollisista uusista materiaaleista, ominaisuusprofiilin tarkoituksena on antaa realistinen ja lukijaa helpottava kuva materiaaleista ja niiden ominaisuuksista. Ominaisuusprofiili on räätälöity tätä työtä ja sen reunaehtoja mukailevaksi. Tämän työn ominaisuusprofiili (**Taulukko 2**) käsittelee EN 1.4003-, EN 1.4512-, S235JRG2-, S355J0WP- ja EN 1.4301-materiaalit ja mainittujen materiaalien lujuuden, murtovenymän, lämpölaajenemiskertoimen, hitsattavuuden, työstettävyyden, korroosionkeston, korkeimman suositellun käyttölämpötilan, pinnanlaadun, saatavuuden ja tämän hetkisen kilohinnan.

Taulukosta voidaan huomioda, jo karkeassa vertailussa ilmi tulleet seikat ja tarkoituksena on antaa lukijalle sekä mahdolliselle suunnittelijalle realistinen, suuntaa antava kuva taulukossa vertailuista materiaaleista. Mainittakoon, että korkeimmat suositellut käyttölämpötilat sisältävät varovaisen arvion ja ovat suuntaa antavia sekä arvioitu alakanttiin. Hinnat on koottu Valmetin sopimushinnoista ja alihankkijoiden antamista arvioista ja eivät ole kiinteitä, vaan arvio toukokuun 2016 markkinahinnoista, joten niiden mahdollisia muutoksia ei ole otettu huomioon.

9.3.3 Materiaalien lopullinen valinta painokerroimilla

Kun vertailuista selvinneille materiaaleille on luotu ominaisuusprofiilit, on valinnassa päästy vaiheeseen, jossa materiaalin eri ominaisuuksille annetaan oma painokerroin. Painokerroimella tarkoitetaan kyseisen ominaisuuden tärkeyttä verrattuna muihin vertailussa käytettyihin ominaisuuksiin. Painokerrointa valittaessa, vertaillaan siis ominaisuuksia toisiinsa, jotta nähdään mitkä ominaisuudet ovat juuri tämän tuotteen materiaalille tärkeimpiä. Taulukon ominaisuudet ovat myös materiaalin vaatimuksia, kun tarkastellaan kokonaiskuvaa.

Taulukko 3. Ominaisuuksien arvottaminen ja painokertoimien selvittäminen.

Ominaisuudet/vaatimukset		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Lujuus	A	■	B	C	D	E	AF	G	H	I
Käyttölämpötilat	B		■	B	DB	B	B	GB	HB	IB
Lämpölaajeneminen	C			■	D	C	CF	G	H	I
Liittäminen	D				■	ED	DF	G	H	I
Korroosio	E					■	F	G	H	I
Muokattavuus	F						■	G	H	I
Kuumankesto	G							■	HG	IG
Saatavuus	H								■	IH
Hinta	I									■
Painokerroin:		1	8	3	2	1	4	8	8	8

Taulukkoon 3 on aluksi vasemmalle liitetty tuotteen materiaalille olennaiset ominaisuudet, kussakin taulukon ruudussa arvioidaan, kumpi ominaisuudesta on tärkeämpi pystyrivin ja vaakarivin suhteen. Ruutuun on merkitty kyseisen ominaisuuden kirjain, kun sen on arvioitu olevan tärkeämpi. Jos ominaisuudet on arvioitu materiaalille yhtä tärkeiksi, on merkitty kummatkin kirjaimet ruutuun. Lopuksi painokerroinruutuun taulukon alaosiioon on laskettu kunkin kirjaimen esiintymismäärä, mikä on samalla tuleva painokerroin lopullisessa materiaalin valinnassa.

Alla olevassa taulukossa 4, on suoritettu lopullinen materiaalien vertailu, jonka oikeassa sarakkeessa sijaitseva vertailuluku toimii arvoasteikolla 1-5 ja jossa korkeimman vertailuluvun saava materiaali on voittava materiaali. Vertailuluku saadaan ominaisuuden arvon ja painokertoimen summalla jaettuna valmistuskustannuksilla. Taulukoinnin valmistuskustannukset päätettiin pitää kaikille vakiona, koska valmistuskustannusten suuruuserojen näiden materiaalin valmistuksessa ei pitäisi nousta ratkaisevan suuriksi, vaikkakin valmistuskustannusten oletetaan olevan hieman suuremmat ferriittisillä metalleilla. Tarkan luvun saaminen tämän työn puitteissa osoittautui mahdottomaksi, lisäksi vertailuluvun tulokset antavat

tarpeeksi selvän ratkaisun vakioiduilla valmistuskustannuksillakin. Taulukosta 4 on jätetty pois myös materiaalit, jotka eivät päässeet läpi karkeasta valinnasta ja ja eivät olisi kelvanneet korvaavaksi materiaaliksi(katso Taulukko 1).

Taulukko 4. Vertailussa EN 1.4301, EN 1.4003 ja EN 1.4512 painokertoimella.

Materiaali											Vertailuluku
	Valm.kust.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
EN 1.4301	50	2	4	1	5	4	3	4	5	1	2,86
EN 1.4003	50	4	4	4	4	2	4	5	5	4	3,72
EN 1.4512	50	3	5	4	2	2	4	5	2	5	3,46

Taulukon 4 vertailussa selväksi voittajaksi osoittautui uusi mahdollisuus, ferriittinen ruostumaton teräs EN 1.4003. Myös EN 1.4512 voitti vertailussa aikaisemmin käytetyn austeniittisen ruostumattoman teräksen EN.14301. Tähän vaikutti suuresti painokertoimen voimakas painottuminen hintaan ja saatavuuteen, jotka ovat austeniittista paremmat.

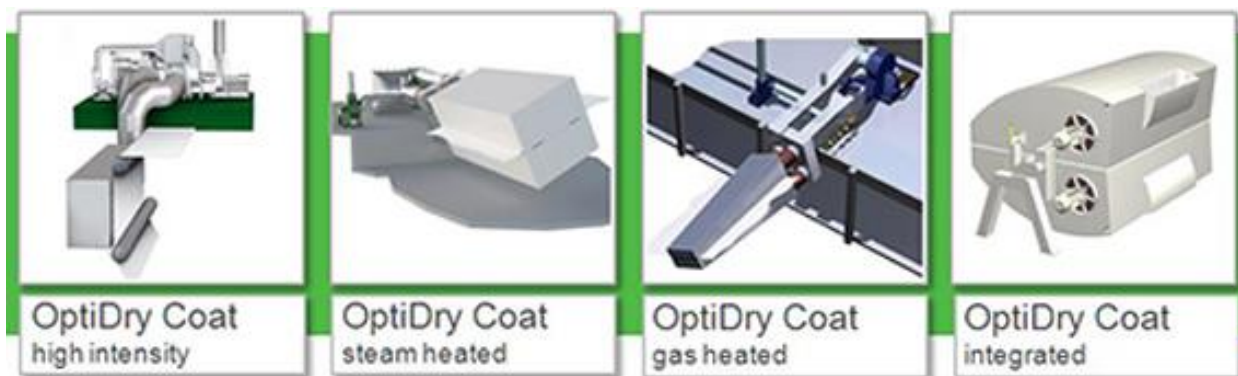
Tulosten varmistamiseksi taulukon 4 avulla kokeiltiin myös vaihtoehtoisia painoituksia esimerkiksi korottamalla lämpölaajenemisen merkitystä ja vähentämällä hinnan merkitystä. Huomattiin, että jokaisella kerralla laatu EN 1.4003 voitti vertailun, vaikka kertoimia muutettiin.

10 ILMAKUIVAIMEN TARKASTELU

OptiDry Coat High Intensity on ilmakeivaintuoteperhe, joka on Valmetin niin sanottu keihäänkärkituote. Tuoteperhe on tarkoitettu korvaamaan perinteisesti paperikoneissa käytettyjä infrapunakuivaimia. Optidryssa kuivaus tapahtuu ilmalla, joka voidaan lämmittää kaasulla, sähköllä tai höyryllä ja sen suurimpia vahvuuksia verrattuna vanhanaikaisiin infrapuna kuivaimiin on:

- korkea kuivauskapasiteetti
- matala energiankulutus
- huoltovapaus
- matalat huoltokustannukset
- parempi työturvallisuus.

Vaikka OptiDryn hankintahinta on suurempi kuin tavallisin infrapunakuivaimen, on se investointina edullisempi pidemmällä aikavälillä, koska infrapuna kuivaimen verrattuna OptiDryn huoltokustannukset ja käyttökustannukset ovat matalammat. OptiDryn suuttimien teknologia on patentoitu Valmetin nimiin ja ne ovat energiatehokkuudeltaan huippuluokkaa. OptiDry-tuoteperheen suuttimet, edustavat paperinkuivaimien uusinta teknologiaa. /27/



Kuva 16. OptiDry Coat tuoteperheen profiileista. /27/

Tässä osiossa käydään päällisin puolin läpi High Intensity-ilmakuivaimen tämän työn kannalta olennaiset osat ja kokonaisuudet. Lisäksi pyritään antamaan kuva-

elma tuotteen valmistusprosessissa käytetyistä työstövaiheista. Tarkoituksena on selvittää mihin uutta materiaalia pyritään soveltamaan ja miten se siihen soveltuisi. Työn järjestyksen ja eri osakokoonpanojen erimuotoisuuden takia, on ilmeisesti jaettu kolmeen eri osioon, jotka käydään tapauskohtaisesti läpi. Osiot on jaettu suuttimeen, paine- sekä imukanavistoon ja runkorakenteeseen eristyksineen.

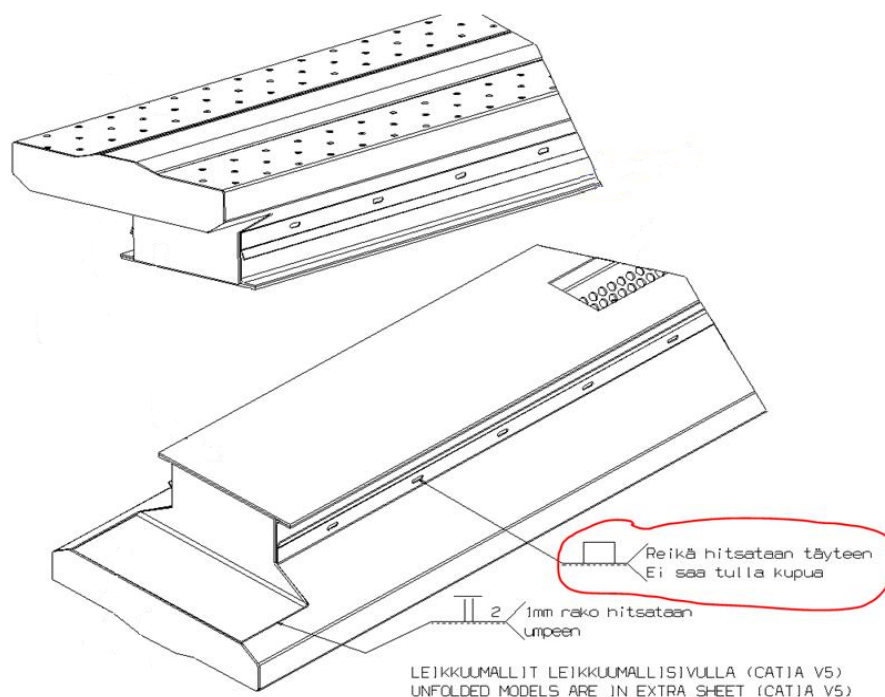
Aluksi työn tarkoituksena oli tarkastella materiaalin vaihdosta vain suuttimien osalta, mutta työn edetessä on tullut selville, että mahdollinen materiaalin korvaaminen myös muissakin osakokoonpanoissa, kannattaisi ottaa harkintaan sen tuomien etujen puitteissa.

Tarkasteluvaiheessa käydään myös läpi, miten uusi materiaali sopisi kuhunkin osioon ja mitä tulisi ottaa huomioon jos näin tehdään. Tarkoituksena on, että pyritään myös ennakoimaan mahdollisesti syntyviä ongelmia, joiden syntyyn materiaalin vaihdos voisi olla kontaktissa.

10.1 Suuttimet

Suuttimen kuvainnot ovat yrityssalaisuuden alaisuudessa, joten kuvat ja piirroukset ovat vain suuntaa antavia. Suuttimien ainevahvuudet koostuvat 1...2 mm väliltä ja kuuluvat tavalliseen ohutlevytuotantoon. Suuttimet valmistetaan levytavarasta ja niiden valmistus aloitetaan nesteamalla ja leikkaamalla oikean kokoiset kappaleet laserleikkurilla. Leikkaamisen jälkeen aihiot muovataan särmäämällä ne oikeaan muotoon. Osa kokoonpanon osista voidaan tarpeen tullen leikata myös mekaanisilla suuntaisleikkureilla. Suuttimen eri osat liitetään toisiinsa käyttämällä tox-liitoksia ja tulppahitsausta. Tox-liittäminen on ainakin vielä verrattain harvinainen liittämistapa ja se voidaan korvata myös pienahitsauksella.

Kokoonpanon jälkeen valmis suutin asetetaan sivuun odottamaan liittämistä itse kanavistoon ja lopulliseen kokoonpanoon. Suuttimille ei usein ole tehty jälkikäsittelyä vaan ne ovat menneet eteenpäin sellaisinaan, mutta poikkeuksiakin on. Suuttimille on mahdollisuus tehdä kevyt jälkikäsittely, esimerkiksi peittaamalla, mutta myös elektrolyyttistä pintakäsittelyä voidaan harkita, jos siihen ilmenee tarvetta.



Kuva 17. Karkea kuvaus suuttimen rakenteesta ja liitoksista.

Suuttimen valmistusmenetelmissä on jo käytössä lämmöntuotoltaan valmistustavoista vähiten lämmöntuottoa aiheuttavat menetelmät, niin leikkauksessa kuin liittämisesäkin. Lämmöntuotto ja liittämistavat voivat kuitenkin vaihtua riippuen alihankkijoiden mahdollisesta valmistusmenetelmien laajuudesta, lisäksi suuttimien muoto käsittää useita säteeltään erisuuruisia taivutuksia. Siksi kannattaa huomioida valmistusmenetelmät ja vaihtoa ferriittisiin vaihtoehtoihin ajatellessa, myös lämmöntuoton minimaallisuus on hyvä asia. Suuttimet on suunniteltu olemaan toiminnassa lähes jatkuvasti ja on huomattu, että suuttimien ollessa käytössä, on tavalliset korroosion mahdollisuudet melko pieniä tuotteen käyttölämpötilojen ollessa 451–550 celsiusasteen välillä. Tuotteen alimmat sovellutukset on kuitenkin valmistettu tavallisesta mustasta teräksestä, vastaava sovellus mustana pärjää ilman käsittelyä korroosion asettamista vaatimuksista.

Ongelmia voi syntyä silloin kun ilmakeivain ei ole linjastossa käytössä ja kosteus pääsee kosketuksiin suuttimien pinnalle. Hyvä korroosionkestävyys on siis myös vahvuus työn materiaaliominaisuutena.

Vertailussa alkuperäiseen (taulukot 1...4) materiaaliin EN 1.4301, uudet EN 1.4003 ja EN 1.4512, huomattiin, että uudet materiaalit voisivat olla mahdollisia korvaavia materiaaleja. Kummankin ferriittisen ruostumattoman laadun muokattavuus on parempi kuin austeniittisen, myös vähäinen hitsauksen määrä suuttimien valmistuksessa nähdään etuna ferriittiselle materiaaleille, koska niiden hitsaaminen on hiukan haastavampaa kuin austeniittisten laatujen.

EN 1.4512 hitsaaminen ja korroosionkesto ovat hieman parempia kuin EN 1.4003 laadun, mutta sen käytön esteeksi muodostui sen heikompi saatavuus Suomessa. EN 1.4003 laadun saatavuus on parempi, mutta myös sen ominaisuudet ovat hieman heikompia, silti sen ominaisuudet ovat vertailussa käytettyjen vaatimusten rajoissa ja on siksi vertailun pohjalta mahdollinen korvaava vaihtoehto.

Valmistuksessa ja suunnittelussa tulisi silti ottaa huomioon uusien korvaavien materiaalien heikompi korroosionkesto. Liitoskohtien korroosionkeston varmistamiseksi voitaisiin harkita, esimerkiksi lievää liitosten tahnapeittausta tai suuttimien jatkopalojen hitsausaumaliitosten kiillottamista mekaanisella jälkikäsitteilyllä. Näissä menetelmissä kannattaa kuitenkin huomioida se, että harjaus tai tahnapeittaus voidaan tehdä vain toiselle puolelle liitosta, jolloin liitoskohdan laatu ei ole kummaltakin puolelta samankaltainen ja siitä saattaa syntyä pitkällä aikavälillä ongelmia.

10.2 Painekanavisto ja jakokanavisto

Ilmakuivaimen kanavisto koostuu painekanavasta, jakokanavasta ja imukanavistosta, joiden tehtävät yksinkertaistettuna ovat kuuman ilman tuonti suuttimiin ja jäähtyneen ilman poistaminen imupuolen kanavistolla. Painepuolen kanavistossa ja jakokanavistossa valmistusvaiheet ovat joiltakin osin samankaltaiset suuttimien valmistuksen kanssa. Valmistus aloitetaan osien leikkaamisella ja työstöä jatketaan särmäämällä ja liittämällä painekanaviston osia toisiinsa. Painekanaviston rakenne ei ole suuttimien rakennetta monimutkaisempi, mutta se on joiltakin osin

valmistusta työläämpi. Lisäksi painekanaviston rakenne käsittää useita erilaisia tukirautoja, eivätkä sen työstövaiheet tapahdu niin kronologisesti kuin suuttimissa.

Tämä tarkoittaa sitä, että taivutusta tapahtuu myös hitsaamisen jälkeen, mikä asettaa liitoksille enemmän vaatimuksia, myöskään tox-liitosten käyttö ei ole enää mahdollista ja liittäminen tapahtuu pääosin pienahitsaamalla, pulsittamalla MAG-hitsillä. Lisäksi käytettyjen materiaalien vahvuudet nousevat suuremmiksi. Radan poikittaissuuntaisen jakokanavan materiaalin vahvuus on 3 millimetriä. Pitkittäiset painekanavat ovat vahvuudeltaan 3 millimetriä ja sen pohjalevyn vahvuus nousee 4 millimetriin. Materiaalin lujuuden merkitys kasvaa, kun käytettyjen materiaalien ainevahvuudet kasvavat.

Uusien terästen suuremmalla materiaalin lujuudella voidaan joissakin paikoissa, ohentaa kappaleessa käytettyä materiaalinpaksuutta ja saada materiaalikustannuksista vieläkin suurempia säästöjä, halvemmän kilohinnan lisäksi. Kevyempi rakenne voi myös helpottaa mahdollisten tukien ja ilmakeivaimen korkeutta radan suhteen liikuttavia hydraulisia tai pneumaattisten nostimien suunnittelua.

10.3 Imukanavisto

Imukanaviston valmistaminen vastaa rakenteeltaan hyvin paljon painekanavistoa ja käsittää valmistuksessaan samat työvaiheet ja monimutkaisuuden valmistusteknisissä seikoissa kuin painekanavistokin. Imukanavisto eroaa silti olosuhteiltaan jonkin verran painekanavistosta, kun kuumennettu ilma on jo kiertänyt painekanaviston ja suuttimien läpi. Tällöin ei imukanaviston käyttölämpötila nouse samalle tasolle painekanaviston ja suuttimien kanssa.

Vaikka olosuhteet ovat hieman helpommat, se ei vaikuta valmistusteknisiin seikoihin, lisäksi imukanaviston olosuhteet ovat yhtä vaativia ja kanaviston materiaalille on yhtä tärkeää kuin muillekin osille, että lämpölaajeneminen pysyy mahdollisimman stabiilina, koska rakennelman lämpeneminen tapahtuu eri vaiheissa eri tahtiin, joten mitä parempi on lämpölaajenemisen kerroin, sitä vakaampi ilma-kuivain on.

10.4 Ilmakuivaimen runkorakenne ja ulkovuoraus

Päädyt, kansilevy, eristävä ulkovuoraus ja verhouspellitys ilmakuivaimelle eivät varsinaisesti kuulu opinnäytetyön materiaalin vaihtoon ja ovat rakenteeltaan hyvin erilaisia verrattuna muihin ilmakuivaimien sovellutuksiin. Rakenne käydään läpi karkeasti, että ilmakuivaimen koko rakenne tulisi lukijalle selkeämmäksi tässä työnkuvauksessa.

Ilmakuivaimen päädyt on suunniteltu tukemaan runkorakennetta ja ovat austeniittisen teräksen suurien lämpövetelyiden takia vahvat, jotta ne kestävät ilmakuivaimessa käytön aikana tapahtuvat suuret vetelyt. Päädyt käyvät läpi vastaavat valmistustekniset vaiheet kuin muutkin ilmakuivaimen osat, mutta materiaalina käytetään 60x60x4 mm ja 30x30x2 mm vahvoja teräsprofiileja. Päädyt ovat latta-profiililla vahvistettuja levyrakenteita, jotka pitävät ilmakuivaimen rakenteen ”kelluvana”. Päädyissä tulee olla myös lämpölaajenemisen takia kummassakin päädyssä tilaa, johon lämpölaajenevalla materiaalilla on varaa laajentua ilman, että laajeneminen aiheuttaa ongelmia rakenteessa.

Kansilevyrakenteessa käytetään 60x60x4 ja 30x30x2 teräsprofiileja sekä sisäverhouslevyä, jonka paksuus on 2 mm.

Lopuksi ilmakuivaimen painekanaavistot vuorataan 250–300 mm eristyksellä, muu kiertoilmakanavisto 150 mm ja poistoilmakanavat 150 mm eristyksellä. Eristyksessä käytetään muun muassa pehmeää eristysvillaa, verkkomattoa ja kovaa villaa. Eristämisen jälkeen ilmakuivain viimeistellään vuorauspeleillä.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

11.1 Vertailun johtopäätökset

Ruostumattomat teräkset ja niiden suosio jatkavat kasvuaan teollisuuden eri aloilla ja varsinkin austeniittinen ruostumaton teräs tulee olemaan Suomessa vielä pitkään suosituin teräs, etenkin konepajateollisuudessa. Silti erilaisten laatuojen käyttöönotta kannattaa harkita ja olla valppaana uusien mahdollisten laatuojen markkinoille tulosta, koska se voi tuoda huomattavia säästöjä ja markkinaetua muihin kilpaileviin valmistajiin verrattuna.

Uuden materiaalin käyttöönotto voi silti olla pitkä prosessi ja materiaalien vertailua kannattaakin harkita säännöllisin väliajoin. Vertailussa käytettyjen ferriittisten ruostumattomien terästen soveltuvuus ilmauivaimen ohutlevyutuotannossa tehtäviin sovellutuksiin on osoittautunut hyväksi. Ferriittisten terästen EN 1.4003 ja EN 1.4512 hitsattavuus tai liitosten kestävyys ei ehkä yllä austeniittisten laatuojen tasolle. Sen ei pitäisi olla suuri menetys ottaen huomioon, etteivät ilmauivaimen liitokset kärsi mahdottoman suurista mekaanisista rasituksista.

Muilta valmistusteknisiltä osiltaan ferriittinen ruostumaton teräs voittaakin austeniittisen ruostumattoman teräksen. Ferriittistä ruostumatonta terästä on helpompi työstää lastuavilla menetelmillä, lisäksi ferriittinen teräs omaa pienemmän muokauslujittumisen sekä takaisinjouston, joka tekee siitä helpommin taivuteltavan ja särmättävän.

Vertailun ja kyselyiden perusteella jäljelle jäi kaksi varteenotettavaa teräslaatua ferriittiset laadut EN 1.4512 ja EN 1.4003. Saatavuuden rajoittuminen Suomessa huononsi EN 1.4512 käyttöönotta ja sen harkitseminen vaihtoehtoiseksi materiaaliksi kaatuikin saatavuuteen. Saatavuus ei silti ollut esteenä EN 1.4003 käytölle ja se pärjäsiikin kaikissa muissakin materiaalin vertailukohdissa kohtuullisen hyvin. Ferriittisestä ruostumattomasta teräksestä, laadusta EN 1.4003 muodostuikin

ainoa tällä hetkellä varteenotettava materiaali, perinteisen austeniittisen ruostumattoman teräksen EN 1.4301 rinnalle.

EN 1.4003 korvaavana metallina on kuitenkin monin tavoin erilainen laatu kuin perinteinen EN 1.4301. Korvaamisessa tulee ottaa huomioon EN 1.4003 laadun hieman suurempi lujuus, sen heikko korroosionkesto ja hieman vaikeampi hitsattavuus. Minkään näistä seikoista ei kuitenkaan tee korvaamisesta mahdotonta tai ylitsepääsemättömän vaikeaa. Uuden materiaalin EN 1.4003 kanssa työskenteleviä, kuten hitsaajaa ja särmääjää tulee valistaa uudesta materiaalista ja sen ominaisuuksista. Myös suunnittelijoiden ja muiden projektiin osallistuvien tietoutta uudesta korvaavasta laadusta tulee parantaa.

11.2 Materiaalinvaihdon hyödyt

Materiaalin vaihto ferriittiseen EN 1.4003:een toisi toteen käydessään positiivisia muutoksia materiaalinkustannuksien lisäksi myös suunnittelijoiden puolelle. ferriittinen teräs omaa huomattavasti paremman lämmönjohtokyvyn, joka vakauttaa ilmakehän käytössä tapahtuvia lämpövetelyitä. Ferriittisen teräksen suurempi lujuus voi mahdollistaa myös nykyisin sovelluksessa käytettyjen materiaalien paksuuksien ohentamista. Tämä voisi pienentää materiaalikustannusten määrää merkittävästi. Paremman särmättävyyden lisäksi voidaan myös laskea vahvuudeksi ferriittisten terästen paremman saatavuuden ulkomailta ja varsinkin Aasiassa, jos tuotteen valmistusta harkitaan siirrettäväksi pois Suomesta. Lyhyesti ottaen alla on merkitty materiaalinvaihdoksesta seuraavat mahdolliset hyödyt.

- halvempi kilohinta
- paremmin taivutettavissa
- suurempi lujuus
 - Mahdollisesti ohuempi materiaalin paksuus
- parempi lämpölaajenemiskerroin
- EN 1.4003 ominaisuudet lähempänä hiiliterästä kuin ruostumatonta

11.3 Materiaalinvaihdon haitat

Ferriittisen teräksen hitsaus tuo mukanaan aina hieman vaikeuksia, mutta kuten työssä on aiemmin mainittu, voidaan hitsaus tehdä lähes vastaavilla hitsausaineilla kuin austeniittisissa teräksissä. Ja kun hitsaaja on hyvin perehdytetty ja kun käytössä on mahdollisimman vähän ylimääräistä lämpöä tuottavia liitosmenetelmiä, niin ei pitäisi syntyä ongelmia valmistuksessa. Toinen haitta voi mahdollisesti olla EN 1.4003 heikko korroosionkesto austeniittisiin laatuihin nähden, mutta liitosten harjaus ja ulkoilmatestit ovat ainakin antaneet suuntaa-antavaa tietoa siitä, ettei korroosionkestosta pitäisi syntyä käytön estäviä rajoitteita. Suurempi materiaalin lujuus ei ole ongelma, mutta se tulee huomioida valmistuksessa. Saatavuus on kuitenkin rajoitetumpi kuin austeniittisissa laaduissa, varsinkin jos tilauserät tulevat olemaan hyvin pieniä. Saatavuuskaan ei silti ole niin huono, että siitä tulisi käyttöä estävä rajoite. Lyhyesti alla haitat ja ongelmat

- haastavampi hitsattavuus
- heikompi korroosionkesto
- rajoittuneempi saatavuus.

11.4 Valmistuskustannusten muutos

Materiaalin vaihto hieman erilaisempaan materiaaliin aiheuttaa varmasti jonkinlaisia muutoksia. Muutoksia valmistuskustannusten osalta voi syntyä, esimerkiksi hitsauksessa ja siinä käytettyjen metodien sekä hitsauslisäaineiden muodossa. Työssä on kuitenkin käynyt ilmi, että käytössä olevat hitsausmenetelmät ovat lämmön tuotoltaan jo optimaalisia. Myös hitsauslisäaineiden kustannukset ovat isommassa konepajassa ja ohutlevytuotannossa melko marginaalisia.

Ilmakuivaimen valmistuksessa ei myöskään käytetä merkittävästi lastuavia työmenetelmiä, kuten höyläystä, porausta tai sorvaamista. Lastuavat työstömenetel-

mät ovat ne, jotka pääasiallisesti ovat terästeollisuudessa tehtyjen tuotteiden hintaa eniten nostavia seikkoja, materiaalikustannusten lisäksi.

Valmistuskustannuksien suuruuteen voi myös vaikuttaa viimeistelevä pintakäsittely, jota ei ole kyseiselle tuotteelle usein tehty. Pintakäsittelyn valmistuskustannuksia nostavat seikat ovat kuitenkin hyvin tapauskohtaisia: jos pintakäsittelyä ei päätetä tehdä tai se tehdään pelkästään kiillottamalla RST-harjalla liitoskohtia, ovat kustannukset hyvin marginaalisia. Liitoskohtien kevyt siveltimellä tehty tahnapeittauskaan ei kustannuksillaan tule mitätöimään materiaalikustannuksista saatuja säästöjä.

11.5 Kannattavuus ja hintahyöty

Työssä on jo aiemmin mainittu materiaalin vaihdoksesta syntyvät hyödyt, tässä kappaleessa pyritään arvioimaan materiaalin vaihdoksesta syntyvien positiivisten muutosten hintahyötyä. Materiaalinvaihdoksesta syntyy paljon hyötyjä, joiden rahallista arvoa on vaikea tai lähes mahdotonta arvioida, ainakaan tässä vaiheessa. Työstä syntyviä hyötyjä voi konkretisoida vielä pitkänkin ajan kuluttua vaihdoksesta. Hyötyjä tulnaisiin saavuttamaan esimerkiksi suunnittelun puolella parempana lämpölaajenemisena.

High Intensity on myös tuote, joka rakennetaan lähes aina hieman erilaiseksi, se on niin sanotusti kustomoitava tuote, joka räätälöidään asiakkaan toiveiden ja tarpeiden mukaiseksi ja siksi tuotteesta ei ole löytynyt vakiomallisia tuotteita, joille olisi ollut mahdollista laskea kokonaissäästöä. Tuotteen koko, paino, suuttimien määrä ja käyttöolosuhteet vaihtelevat, mutta käytetyn materiaalin pitäisi pysyä samankaltaisena ja materiaalinvaihdoksesta syntyvät säästöt kasvavat mitä suuremmasta ilmakeivaimesta on kyse.

Taulukossa 6 on kerätty aikaisemmin käytetyn austeniittisen ruostumattoman teräksen EN 1.4301 nykyistä hintaa ja sitä on verrattu kumpaankin mahdolliseen korvaavaan materiaaliin EN 1.4003 ja EN 1.4512. Taulukossa 6 on käytetty, Taulukko 5:ssä sivulta 52, annettuja materiaalien hintoja.

Taulukko 6. Hinnat ja materiaalikustannukset vertailussa alkuperäisen ja korvaavien materiaalien välillä

Materiaalikustannukset				Vertailumateriaali EN 1.4301		
Materiaali	Hinta/Kg	Mahdollinen säästö € / Kg	Säästö prosentteina	Hinta/Kg		
EN 1.4003	1,79 €	0,41 €	22,90502793	2,20 €		
EN 1.4512	1,45 €	0,75 €	51,72413793	2,20 €		

Taulukosta 6 nähdään, että suuttimien kohdalla, joissa ei voida ohentaa käytettyä materiaalia, voivat materiaalisäästöt olla melkein 23 % luokkaa. Tästä voitaisiin ottaa muutama prosentti pois jos halutaan antaa jonkinlainen varmistuskerroin EN 1.4003 heikomman hitsattavuuden ja jatkoliitosten peittauksen mahdollisuuden takia.

Kanavistoja rakennettaessa tulee kustannuslaskentaan ottaa huomioon myös mahdollisuuksien salliessa materiaalien ohentaminen, uuden materiaalin suuremman lujuuden takia. Jos esimerkiksi 3 mm paksuudesta pystyttäisiin ohentamaan 0,5 mm, lisäisi se materiaalisäästöjä noin 16 %. Tämä voisi parantaa materiaalikustannuksista saatavien säästöjen määrää kanavistoissa yhteensä jopa 30–40%:iin. Kanavistossa tulee silti muistaa, että vaikeampi materiaali tulee mahdollisesti nostamaan valmistuskustannuksia jolloin materiaalisäästöjen olennainen osuus tulee tippumaan hieman.

Työn kustannuslaskennassa tulee myös huomioida, että nikkelin hinnan nousu nostaa nopeasti austeniittisen ruostumattoman teräksen EN 1.4301 hintaa ja nostaa materiaalinkustannusten suuruutta ennestään. Nikkelin kohoava hinta ei vaikuta EN 1.4003 tai EN 1.4512 hintaan, joten nikkelin hinnan kohotessa, kasvaa myös materiaalikustannuksista saatavien säästöjen määrä.

11.6 Jatkotoimenpiteet

Materiaalinvaihto vaikuttaa koko tuotteeseen, aina suunnittelusta, materiaalien varastoinnista ja valmistuksesta siihen, kun tuotteen elinkaari joskus päättyy. Vaikka uudesta materiaalista on paljon teoreettista tietoa ja pienempiä tehtyjä kokeita on tärkeää, että ennen uuden materiaalin käyttöönottoa tehtäisiin vielä tarkentavat kokeet tuotteen korroosionkestosta niin tavallisen materiaalin kuin liitostenkin kohdalla.

On myös tärkeää päivittää suunnittelijoiden, hankkijoiden sekä alihankkijoiden tietoja ja taitoja uusista materiaaleista. Uudesta materiaalista olisi suositeltavaa tehdä suunnittelijoille materiaaliprofiili yrityksen tietokantoihin sekä mahdollisesti ferriittisille ruostumattomille teräksille yleispätevät hitsausohjeet, joiden avulla hitsaajat välttyisivät hitsausvirheiltä, kun kyseessä on lämmöntuotolle herkkä materiaali.

Varastoinnissa kannattaa huomioida, että paljaalla silmällä on vaikeaa tai mahdotonta erottaa austeniittista ja ferriittistä ruostumatonta terästä toisistaan. Suuremmissa konepajoissa tullaan kuitenkin käyttämään myös muita ruostumattomia teräksiä ja varastointi tapahtuu usein samassa tilassa. Hyvin merkitty ja inventoitu varasto myös helpottaa ja nopeuttaa valmistusta. Austeniittisen ja ferriittisen ruostumattoman teräksen erottaa toisistaan myös, esimerkiksi magneetilla, ferriittinen teräs reagoi magneettiin, toisin kuin austeniittinen ruostumaton teräs.

11.7 Pohdinta

Vaikka ruostumattomia teräksiä on todella laaja kirjo erilaisia laatuja, keskitytään varsinkin Suomessa monesti vain perinteisiin austeniittisiin laatuihin. Syitä tähän ovat muiden teräslaatuojen hieman rajoitetumpi saatavuus ja vastaavan teräksen valinnan vaikeus. Austeniittinen ruostumaton teräksen vahvuus tekee siitä laatuksa puolesta sopivan todella moniin käyttötarkoituksiin. Lisäksi se tuntuu monesti turvalliselta ja tutulta vaihtoehdolta valittaessa materiaalia käyttötarkoituksiin.

Austeniittiset laadut ovat kuitenkin nikkelpitoisia ja tämä tekee niiden hinnasta korkeamman ja epävakaamman kuin monen muun teräksen. Teollisuudessa ympäri maailman on herätty tähän ongelmaan ja esimerkiksi Aasiassa ja Yhdysvalloissa on monesti siirrytty käyttämään korvaavia materiaaleja, esimerkiksi duplex-teräksiä tai ferriittisiä laatuja, jotka eivät aina laadultaan tai saatavuudeltaan yllä perinteisten austeniittisten laatuojen tasolle, mutta huolellisesti käyttötarkoitukseen valittuna voivat säästää suuresti materiaalinkustannuksissa.

Tämän työn käyttötarkoitukseen sopivan materiaalin valinta oli sikäli helppo, että kyseisen tuotteen vaativat reunaehdot karsivat suurimman osan mahdollisista ruostumattomista teräksistä. Haastavaa työssä oli löytää materiaali, joka olisi ominaisuuksiltaan sopiva, mutta samalla edullisempi kuin alkuperäinen austeniittinen laatu. Työssä huomattiin, että haastavien olosuhteiden lisäksi, saatavuuden rajallisuus oli suuri ongelma. Tämän vuoksi valinta keskittyi ruostumattomista teräksistä ferriittisiin lajeihin, joiden saatavuus on austeniittisten laatuojen jälkeen paras. Tarkemmin sanottuna: valinta kohdistui ferriittisiin teräksiin, joiden kromipitoisuus on alle 15 %, koska tällöin välttyttäisiin suurimmalta osin haurauksilta. Kartoituksen perusteella vaihtoehtoisiksi laaduksi valikoitui ferriittinen ruostumaton teräs EN 1.4003. Huomattiin myös, että saatavuuden mahdollistaessa voitaisiin tutkia myös laadun EN 1.4512 mahdollista sopimista tuotteen valmistukseen.

Vaikka uusien materiaalien sopivuus vertailussa näyttääkin sopivalta ja kohdemateriaalista löytyi kokemuksia sekä pieniä tehtyjä kenttäkokeita ulkoilman korroosiossa, tulisi materiaalille tehdä tuotteen oikeisiin olosuhteisiin vastaavia kokeita, joissa varmistettaisiin kuumankesto ja korroosionkesto paperikonetta vastaavissa olosuhteissa, jotka ovat ulkoilmaa rankempia. Lisäksi suositellaan kokeiltavaksi laadun liitoksien soveltuvuus hitsaamalla ja kokeilemalla tox-liittämistä. Myös ilmakeivaimessa käytettyjen särmäyskulmien taivutukset kannattaa tehdä korvattavalle materiaalille ja tarkistaa, että ne ovat mahdollisia.

Koska ilmakeivaimen valmistuksessa ei suuresti käytetä hintaa nostavia lastuavia työstömenetelmiä, pitäisi kustannusten pysyä vaihdoksesta huolimatta kurissa. Ferriittinen terästen suuremman lujuuden ja hieman vaikeamman hitsattavuuden ei pitäisi aiheuttaa suurempia lisäkuluja, mutta tämä kannattaa ottaa huomioon valmistuksessa ja varsinkin jos valmistustekniikat ovat muilla mahdollisilla alihankkijoilla rajallisemmat, myös liittämiskohtien käsittelyä kannattaa harkita tilannekohtaisesti.

LÄHTEET

- /1/ Valmet Oyj kotisivut. Viitattu 19.5.2016. [Www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/strategia/](http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/strategia/).
- /2/ Valmet's Financial Statements Review, January 1 – December 31, 2015.
- /3/ Outokumpu Oy:n kotisivuilta. *Toimintaympäristö, kapasiteetti ja kysyntä*. Viitattu 24.5.2016. [Http://www.outokumpu.com/fi/sijoittajat/outokumpu-sijoituksena/toimintaymparisto/Sivut/default.aspx](http://www.outokumpu.com/fi/sijoittajat/outokumpu-sijoituksena/toimintaymparisto/Sivut/default.aspx)
- /3/ Euro-inox. The European Stainless Steel Development Association. *Mikä on ruostumaton teräs?*
- /4/ Outokumpu Oyj. *Stainless steel handbook. 2010*
- /5/ Outokumpu Oyj, kotisivuilta. *Outokumpu steel grades properties global standards*.
- /6/ Euro-inox. The European Stainless Steel Development Association. *Mikä on ruostumaton teräs?*
- /7/ Kyröläinen, A & Lukkari, J. *Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus*. Toinen Painos. Tampere: Metalliteollisuuden keskusliitto MET, 2002.
- /8/ Kauppi, T. *Korkeiden lämpötilojen teräkset*. Sarja b. Raportit ja selvitykset, 2013.
- /9/ Outokumpu OY. *Outokumpu Corrosion Handbook –korroosiokäsikirja*.

/10/ Matilainen, J. Parviainen, M. Havas, T. Hiitelä, E & Hultin, S. *Ohutlevy-tuotteiden suunnittelijan käsikirja*. Teknologiainfo Teknova Oy, Teknologia-teollisuuden julkaisu, 2010.

/11/ Metroes Oy. *Hilseily*. Viitattu 1.6.2016.
[Http://www.metroes.com/tulenkestava-teras](http://www.metroes.com/tulenkestava-teras).

/12/ Tampereen teknillinen yliopisto Materiaaliopin laitos 2001, 2002, 2003, 2004, 2005.

/13/ Keinänen, T & Kärkkäinen, P. *Konetekniikan perusteet*. WSOYpro Oy, 2009.

/14/ Ihalainen. E, Aaltonen. K, Aromäki. M & Sihvonen. P. *Valmistustekniikka*. Otatieto Oy, 11 muuttumaton painos, 2005. Viitattu 2.6.2016 ja 3.6.2016.

/15/ Impomet Oy. *Hitsaajien käsikirja*. Viitattu 2.6.2016.
[Www.Impomet.com](http://www.Impomet.com).

/16/ Esab Oy. *Puikkohitsaus ja sen historia*. Viitattu 3.6.2016.
[Http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/puikkohitsaus.cfm](http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/puikkohitsaus.cfm).

/17 / Ionix. *Plasmahitsaus*. Viitattu 3.6.2016. [Http://www.ionix.fi/en/](http://www.ionix.fi/en/).

/18/ Huhdankoski, E. *Rautaruukin teräkset ääriolosuhteissa*, 2000. Rautaruukki.

/19/ Ruukki Oy. *Leikkaus menetelmät*. Viitattu 6.6.2016. [Www.Ruukki.fi/](http://www.Ruukki.fi/).

/20/ Primapower Oy. *Kotisivut/Ratkaisut*. Viitattu 6.6.2016.
[Www.primapower.com/fi](http://www.primapower.com/fi).

/21/ Metalliteollisuuden keskusliitto. *Tekninen tiedotus 9/85, Teräslevyjen terminen leikkaus*. Helsinki : Metalliteollisuuden keskusliitto MET, 1985.

/22/ Korhonen, S. *Ruostumattomat teräkset ja niiden soveltuvuus konepajan ohutlevytuotantoon*. Opinnäytetyö Valkeala, 2010.

/23/ Outokumpu Oyj. *Seosainelisät ja niiden hintaraportit Tammikuu/2016-Toukokuu/2016*. Viitattu 20.6.2016.
[Http://www.outokumpu.com/fi/hinnoitteluaaf/seosainelisa/Sivut/default.aspx](http://www.outokumpu.com/fi/hinnoitteluaaf/seosainelisa/Sivut/default.aspx).

/24/ Taloussanomien ja Pörssi. *Nikkelin hintakehitys vuosien 2013-2016 välillä*. Viitattu 20.6.2016.
[Http://porssi.taloussanomien.fi/commodities/startel_factsheet_overview.html?&STARTEL_SYM=RNIKKELI.XXX&START=1](http://porssi.taloussanomien.fi/commodities/startel_factsheet_overview.html?&STARTEL_SYM=RNIKKELI.XXX&START=1).

/25/ Hitsausmetallurgia_2014, Niukkaseosteiset ja säänkestävät teräkset.pdf. Julkaisija tuntematon.

/26/ Valmet Oyj kotisivut. *Tuotteet ja tuoteperheet*. Viitattu 29.6.2016.
[Http://www.valmet.com/products/board-and-paper-mills/coating-drying/profiling-air-dryers/](http://www.valmet.com/products/board-and-paper-mills/coating-drying/profiling-air-dryers/).

/27/ Ab Jet-Steel Oy, kotisivut, Korhonen, S. Blogikirjoitus. Peittäus. Viitattu 14.7.2016. [Http://jetsteeloy.blogspot.fi/2016/03/peittaus.html](http://jetsteeloy.blogspot.fi/2016/03/peittaus.html).

/29/ TOX® PRESSOTECHNIK L.L.C. *Tox-liitoksia valmistavan yrityksen kotisivuilta*. Viitattu 9.8.2016.
[Http://www.toxus.com/applications/clinching/clinching-point-shapes/tox-flat-joint/](http://www.toxus.com/applications/clinching/clinching-point-shapes/tox-flat-joint/).

LIITE 1

ILMAKUIVAIMEN MATERIAALIN VAATIMUSLISTA

- Lujuus vähintään 220 MPA
- Lämpölaajeneminen parempi kuin EN 1.4301 (20 °C 100 °C): $\sim 16 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- Tulee olla hitsattavissa ja Tox-liitettävissä
- Tulee olla särnäyttävissä yksisivuisellakin taivutuksella
- Korroosionkestävyyden tulisi olla PRE luokiteltu (ruostumaton)
- Korvaavan materiaalin tulee kestää käyttöolosuhteissa;
 - Hauraudet
 - Hilseilyn
 - Virumisen
- Hinta tulee olla alhaisempi kuin nykyisen materiaalin EN 1.4301
 - Materiaalikustannuksista syntyvän säästön pitää olla vähintään 20 %
- Saatavuus → Korvaavaa materiaalia tulee löytyä tukkurien varastoista, myös pieninä erinä.