



## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Konetekniikan koulutusohjelma

Juho Höglund

### **Puristussylinterien valmistuksen kehittäminen**

Diplomityö

2013

115 sivua, 54 kuvaa, 8 taulukkoa ja 5 liitettä

Tarkastajat: Professori Jukka Martikainen  
Diplomi-insinööri Misa Tillaeus

Hakusanat: puristussylinteri, jauhekaarihitsaus, hitsaus juuritukea vasten, SAW, MIG/MAG-hitsaus, monipalkohitsaus, kuparinen juurituki

Tässä diplomityössä kehitettiin yksitoimisten puristussylinterien valmistusta Rautessa. Sylinterien valmistuksessa haastavin vaihe on sylinteriputken ja pohjan välinen hitsaus. Hitsauksen avuksi suunniteltiin sylinterin sisäpuolinen juuritukilaite. Hitsauskokeita suoritettiin hitsin pohjan jauhekaarihitsaukselle ja MAG-hitsaukselle. Juuritukilaitteen toimivuutta testattiin koehitsauksilla.

Puristussylinterien materiaali on S355J2-terästä, jonka ainevahvuus on 20 – 60 mm. Paksujen rakenneterästen hitsauksessa täytyy ottaa huomioon hitsausliitoksen mekaanisten ominaisuuksien muuttuminen sekä eri halkeamien synty. Hitsauksen laatuun ja laadunhallintaan voidaan vaikuttaa monien eri tekijöiden avulla. Hitsausohjeen avulla, ja muut laatutekijät huomioiden, voidaan hitseille asetetut laatuksiteerit täyttää.

Juurituen käyttö nopeuttaa puristussylinterien hitsausta vähintään 50 %. Jauhekaarihitsaus kuparista juuritukea vasten synnyttää vaikeasti poistettavan kuonan juuren puolelle. Perinteinen MAG-hitsaus kuparista juuritukea vasten sisältää liian monta muuttujaa, mikä tekee siitä epäluotettavan pohjapalon hitsaukseen. Työssä suunnitellun juuritukilaitteen käyttö tuotannossa vaatii lisää hitsauskokeita.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
Department of Mechanical Engineering

Juho Höglund

### **Developing manufacturing of pressing cylinders**

Master`s thesis

2013

115 pages, 54 figures, 8 tables and 5 appendixes

Examiners: Professor Jukka Martikainen  
M.Sc. (Tech.) Misa Tillaeus

**Keywords:** pressing cylinder, submerged arc welding, welding with root backing, SAW, MIG/MAG-welding, multi-pass welding, copper backing

In this master`s thesis manufacturing of single-acting pressing cylinders in Raute was developed. The most difficult phase of manufacturing the cylinders is welding of cylinder tube and bottom part. Root backing device for assistance the welding was designed. SA- and MAG-welding experiments were carried out for root pass. Function of root backing device was tested in welding experiments.

Material of pressing cylinders is S355J2-steel, and material thickness is 20 – 60 mm. The changing of mechanical properties of the weld and buildup of different cracks has to be taken into account when welding thick structural steels. Quality and quality management of welding can be affected by many different factors. With welding procedure specification, together with observing of other quality factors, can quality criteria set for welds be fulfilled.

The use of root backing will speed up the cylinder welding at least 50 %. SA-welding against copper backing generates hardly removable slag on root face. Traditional MAG-welding against copper backing includes too many variables, which makes it unreliable for welding root pass. Using the root backing device designed in this thesis in production requires more welding experiments.

## **ALKUSANAT**

Tämä diplomityö on tehty Raute Oyj:ssä Nastolassa yhdessä puristussylinterien suunnittelusta ja valmistuksesta vastaavan henkilökunnan kanssa. Haluan kiittää ohjaajiani Jori Sopasta ja Tomi Määttästä sekä muita työssäni auttaneita Rauten työntekijöitä. Erityiskiitokset tarkastajilleni Misa Tillaeukselle sekä professori Jukka Martikaiselle.

Vielä kaksi vuotta sitten painiskelin ensimmäisen vuosikurssin opintojeni kanssa. Kovan työn ja opiskelumotivaation tuloksena nyt opintoni alkavat olla kasassa. Tätä ei usko Erkkikään!

Nastolassa 12.11.2013

Juho Höglund

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### ALKUSANAT

### SISÄLLYSLUETTELO

### SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>10</b>
1.1 Työn tausta.....	10
1.2 Tavoitteet ja rajaus.....	11
1.3 Menetelmät .....	11
1.4 Raute Oyj .....	11
<b>2 PURISTUSSYLINTERIT</b> .....	<b>13</b>
2.1 Puristussylinterien valmistus .....	17
<b>3 PAKSUJEN RAKENNETERÄSTEN HITS AUS</b> .....	<b>21</b>
3.1 Kuumahalkeama .....	22
3.2 Kylmähalkeama .....	25
3.3 Iskusitkeys ja jäähtymisaika .....	27
3.4 Lamellirepeily.....	29
<b>4 JAUHEKAARIHITSAUS</b> .....	<b>31</b>
4.1 Prosessi .....	31
4.2 Prosessisovellutukset .....	33
4.3 Jauhekaarihitsauslaitteisto ja oheislaitteisto .....	39
4.4 Railo- ja liitosmuodot sekä hitsausasennot.....	41
4.5 Hitsausaineet.....	43

<b>5 MIG/MAG-HITSAUS .....</b>	<b>45</b>
5.1 Prosessi .....	45
5.1.1 Kaarityypit.....	47
5.2 Hitsauslaitteisto.....	48
5.3 Hitsausaineet.....	49
5.4 Hitsausparametrit .....	50
<b>6 HITSAUS JUURITUKEA VASTEN .....</b>	<b>52</b>
6.1 Sylinterimäisten kappaleiden juurituenta .....	53
<b>7 HITSAUKSEN LAATU JA LAADUNHALLINTA.....</b>	<b>57</b>
7.1 Jauhekaarhitsauksen laatu.....	58
7.2 MAG-hitsauksen laatu .....	59
7.3 Hitsiluokat.....	59
7.4 Hitsausohje .....	61
7.5 Hitsausohjeen hyväksyntä .....	61
7.5.1 Hitsausohjeen hyväksyntä menetelmäkokeella.....	62
7.5.2 Hitsausohjeen hyväksyntä muilla tavoilla.....	65
7.6 Hitsien rikkomaton aineenkoetus (NDT).....	66
7.6.1 Silmämääräinen tarkastus.....	67
7.6.2 Tunkeumanestetarkastus .....	67
7.6.3 Magneettijauhetarkastus.....	68
7.6.4 Ultraäänitarkastus.....	68
7.6.5 Radiografinen tarkastus.....	71
7.6.6 Pyörrevirtatarkastus.....	71
7.7 Hitsien rikkova aineenkoetus (DT).....	72
7.7.1 Vetokoe .....	72

7.7.2	Taivutuskoe .....	72
7.7.3	Iskukoe .....	73
7.7.4	Kovuuskoe.....	73
7.7.5	Murtokoe .....	74
7.7.6	Makrohietutkimus .....	74
<b>8</b>	<b>PURISTUSSYLINTERIEN HITSUKSEN KEHITTÄMINEN RAUTESSA .....</b>	<b>75</b>
8.1	Rauten jauhekaarihitsauslaitteisto .....	77
8.2	Juurituen suunnittelu.....	78
8.3	Koekappaleiden valmistus ja hitsaus .....	87
8.3.1	Koekappaleiden valmistus.....	88
8.3.2	Koekappaleiden hitsaus.....	91
<b>9</b>	<b>TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI.....</b>	<b>94</b>
9.1	Jauhekaarihitsauksen tulokset.....	94
9.2	MAG-hitsauksen tulokset .....	98
9.3	Tulosten analysointi.....	100
<b>10</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>102</b>
10.1	Jatkotutkimusaiheet .....	102
<b>11</b>	<b>YHTEENVETO .....</b>	<b>105</b>
	<b>LÄHTEET.....</b>	<b>108</b>
	<b>LIITTEET</b>	

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

A	Virran yksikkö, ampeeri
AC	Vaihtovirta (Alternating Current)
°C	Lämpötilan yksikkö, celsius
CE	Hiiliekvivalentti (IIW:n kehittämä)
CET	Hiiliekvivalentti (saksalaisten kehittämä)
Cu-OF	Happivapaa kupari
d	Putkimaisen kappaleen halkaisija [mm]
DC	Tasavirta (Direct Current)
EN	Eurooppalainen standardisoimisjärjestö
g	Massan yksikkö, gramma
HAZ	Muutosvyöhyke (Heat Affected Zone)
Hz	Taajuuden yksikkö, hertsi
HD	Hitsiaineen vetypitoisuus
HV10	Vickers-kovuus, punnuksen massa 10 kg
ISO	Kansainvälinen standardisoimisjärjestö (International Organization for Standardization)
J	Työn ja energian yksikkö, joule
kJ	Työn ja energian yksikkö, 10 <sup>3</sup> joulea
kg	Massan yksikkö, 10 <sup>3</sup> grammaa
LVL	Viilupalkki (Laminated Veneer Lumber)
m <sup>2</sup>	Pinta-alan yksikkö, neliometri
MAG	Metallikaasukaarihitsaus aktiivisella suojakaasulla (Metal-arc Active Gas welding)
MHz	Taajuuden yksikkö, 10 <sup>6</sup> hertsiä
MIG	Metallikaasukaarihitsaus inertillä suojakaasulla (Metal-arc Inert Gas welding)
ml	Tilavuuden yksikkö, 10 <sup>-3</sup> litraa
mm	Pituuden yksikkö, 10 <sup>-3</sup> metriä
MPa	Paineen yksikkö, 10 <sup>6</sup> Pascalia



N	Voiman yksikkö, Newton
PC	Hitsausasento, vaaka-asento
pWPS	Alustava hitsausohje (preliminary Welding Procedure Specification)
Q	Hitsauksen lämmöntuonti [kJ/mm]
Ra	Pinnankarheuden aritmeettinen keskiarvo
S355J2(H)	Yleinen rakenneteräs (H tarkoittaa putkimateriaalia), jonka vähimmäismuovitus on 355 MPa ja iskutkeysvaatimus 27 J lämpötilassa -20 °C
SAW	Jauhekaarihitsaus (Submerged Arc Welding)
SFS	Suomen standardisoimisliitto
STRA	Poikittainen murtokurouma (Short Transverse Reduction of Area)
t	Aineenpaksuus [mm]
$t_{8/5}$	Hitsin jäähtymisaika lämpötilavälillä 800 – 500 °C
$T_{tr}$	Transitiolämpötila
tanh	Hyperbolinen tangentti
TIG	Volframi-inerttikaasukaarihitsaus (Tungsten inert gas arc welding)
UCS	Kuumahalkeilun herkkyysluku (Unit of Crack Susceptibility)
V	Jännitteen yksikkö, voltti
VHT 1/2	Charpy-V iskukoesauva 2 mm kappaleen pinnasta, lovi 1 mm sularajalta perusaineeseen, kohtisuorassa kappaleen pintaan
VWT 0/2	Charpy-V iskukoesauva 2 mm kappaleen pinnasta, lovi hitsin keskilinjalla kohtisuorassa kappaleen pintaan
WPS	Hitsausohje (Welding Procedure Specification)
WPQR	Hitsausohjeen hyväksymispöytäkirja (Welding Procedure Qualification Record)

## 1 JOHDANTO

Hitsauksen tuottavuutta pyritään parantamaan yrityksissä jatkuvasti. Hitsauksen tuottavuutta parantamalla voidaan vähentää valmistuksen läpimenoaikaa ja parantaa tuotteesta saatavaa tuottoa. Perinteisiä keinoja hitsauksen tuottavuuden parantamiseksi ovat kaariaikasuhteen ja hitsiaineentuoton kasvattaminen. Hitsauksen luotettavuus ja toistettavuus ovat tärkeitä asioita, varsinkin kun hitseille asetetaan laadullisia vaatimuksia.

Puristussylinterien hitsauksella on suuri merkitys vaneri- ja LVL-puristimien (Laminated Veneer Lumber, viilupalkki) valmistuksessa. Puristimien sylinterit valmistetaan usein pitkistä, ainepaksuudeltaan jopa 60 millimetrisistä putkista, joiden hitsauksessa on tiettyjä erityispiirteitä. Puristussylinterien raaka-aine on hyvin hitsattavaa rakenneterästä, mutta suuri ainepaksuus, suhteellisen pieni halkaisija ja valmiiseen tuotteeseen kohdistuva dynaaminen kuormitus vaativat hitsaukselta suunnitelmallisuutta ja huolellisuutta. Paksussa teräksessä olevan hitsin virheiden avaaminen ja korjaaminen on kallista sekä aikaa vievää. Puristussylinterien tehtävä on tuottaa suuri voima puristimissa, minkä vuoksi sylintereiden vuotamisella ja rikkoutumisella voi olla vakavat seuraamukset.

### 1.1 Työn tausta

Raute valmistaa itse puristussylinterit vaneri- ja LVL-puristimiin, ja sylinterien hitsaus on tähän asti suoritettu käyttäen Rauten vanhaa jauhekaarihitsauslaitteistoa. Puristussylinterien hitsausta on haluttu kehittää, koska vanha jauhekaarihitsauslaitteisto on saavuttanut elinkaarensa pään, ja koska sylinterien hitseistä on löydetty ultraäänitarkastuksissa virheitä. Rautella on uudempi jauhekaarihitsauslaitteisto, jonka käyttöaste on jäänyt pieneksi, koska se on ollut tähän mennessä käytössä ainoastaan kuumapuristimien lämpölevyjen tulppahitsauksessa.

Sylinterien hitsaus on vaativa ja aikaa vievä vaihe vaneri- ja LVL-puristimien valmistuksessa. Haasteena on pitkien sylinterien pohjan hitsaus sylinteriputkeen. Hitsaus suoritetaan kolmella eri hitsausprosessilla, ja hitseissä on havaittu liitosvirheitä ja huokosia. Käytössä olevat hitsausohjeet ovat vuodelta 2001.

## 1.2 Tavoitteet ja rajaus

Tässä työssä kehitetään puristussynterien hitsausta ja suunnitellaan hitsauksen avuksi sylinterin sisäpuolinen juurituki. Juurituen avulla synterien hitsauksesta pyritään saamaan tuottavampaa ja luotettavampaa. Juurituen suunnittelu on haastavaa, koska synterien koot vaihtelevat, ja pohjan ja sylinteriputken välisen hitsin juuren puolta ei voida hitsauksen jälkeen työstää. Juurituen käytöllä pyritään vaikuttamaan hitsausaikaan ja hitsin laatuun.

Työn tarkoituksena on tutkia kirjallisen tutkimuksen ja hitsauskokeiden avulla, voidaanko puristussynterien valmistusta kehittää. Työ rajataan koskemaan synterien pohjan hitsausta sylinteriputkeen. Hitsattavat materiaalit ovat yleistä rakenneterästä S355J2. Työssä käsiteltävät hitsausmenetelmät ovat MIG/MAG-hitsaus ja jauhekaarihitsaus.

Työn tavoitteena on kehittää puristussynterien hitsausta. Lisäksi tavoitteena on parantaa synterien hitsauksen luotettavuutta, laatua ja kaariaikasuhdetta. Hitsauskokeet suoritetaan käyttäen Rauten uudempaa jauhekaarilaitteistoa. Vanhan jauhekaarilaitteiston toiminta on epäluotettavaa, minkä vuoksi synterit pyritään jatkossa hitsaamaan uudemmalla jauhekaarilaitteistolla.

## 1.3 Menetelmät

Työn teoriaosassa hyödynnetään kirjallisuutta, julkaistuja tutkimuksia sekä voimassaolevia standardeja. Lisäksi puristussynterien valmistukseen osallistuvia Rauten työntekijöitä haastatellaan. Työ koostuu teoriaosasta, juuritukilaitteen suunnittelusta ja koekappaleiden hitsauksesta. Koehitsaukset suoritetaan Rauten päätuotantolaitoksella Nastolassa.

## 1.4 Raute Oyj

Yhtiö on perustettu vuonna 1908. Aluksi Raute ryhtyi valmistamaan sisävesilaivoja, höyrykattiloita ja -koneita, huonekaluja ja vaakoja. Vanerikoneita Raute on valmistanut vuodesta 1930. Vuonna 1994 yhtiön A-osake listattiin Helsingin arvopaperipörssiin. Vuonna 2004 myytiin Raute Precisionin punnitus- ja annosteluliiketoiminta, ja siitä asti Raute on keskittynyt palvelemaan puutuotetoimialaa. (Mustakallio, 1998; Raute Oyj, 2013)

Rauten toimiala on vaneri- ja LVL-teollisuus. Asiakkaat valmistavat puusta viilua, vaneria ja viilupalkkia (LVL). Raute on markkinajohtaja vaneriteollisuudessa 15 – 20 prosentin markkinaosuudellaan. Rauten valmistamalla LVL-koneilla valmistetaan puolet maailman LVL:stä. Rauten liiketoiminta on projektityyppistä. Projektitoimitukset koostuvat kokonaisista tehtaista, tuotantolinjoista, koneista ja laitteista, automaatiosta, konenäkösovelluksista ja mittausteknologiasta. Näiden lisäksi Raute tarjoaa myös huollon ja kunnossapidon palveluja sekä modernisoinnin palveluja, konsultointi- ja liiketoiminnan tukipalveluja. Rauten liiketoimintaan vaikuttaa hyvin paljon rakennus-, huonekalu-, pakkaus- ja kuljetusteollisuus, jotka käyttävät Rauten asiakkaiden valmistamia tuotteita. (Raute Oyj, 2013)

Rauten liikevaihto on keskimäärin 100 miljoonaa euroa vuodessa. Päätoimipiste, päätuotantolaitos ja tuotekehitysyksikkö sijaitsevat Nastolassa. Nastolan yksikössä tehdaspinta-alaa on 18500 m<sup>2</sup> ja toimistopinta-alaa 3700 m<sup>2</sup>. Muita tuotantolaitoksia on Suomessa Kajaanissa, Kanadassa Vancouverissa ja Kiinassa Shanghaissa. Lisäksi Suomessa Jyväskylässä sijaitsee levynkäsittelyn teknologiakeskus. Myyntipisteitä on ympäri maailmaa, muun muassa Suomessa, Chilessä, Singaporessa, Venäjällä, Kiinassa ja USA:ssa. (Raute Oyj, 2013)

## 2 PURISTUSSYLINTERIT

Hydraulinen sylinteri muuttaa nestepaineen lineaariseksi voimaksi ja liikkeeksi. Hydraulisia sylintereitä käytetään teollisuuden koneissa ja laitteissa niiden tarkan säädettävyyden ja hyvän hyötysuhteen vuoksi. Suuria ja raskaita koneita voidaan liikutella tarkasti sähköisesti ohjattujen hydraulisten sylinterien ja – moottorien avulla. (Mobley, 2000; Blome, 3/2000)

Rauten valmistavat puristussylinterit ovat hydraulisia sylintereitä, joita käytetään erilaisissa vaneri- ja LVL-puristimissa. Puristimissa vaneri- tai LVL-tuotetta (ladelmaa) puristetaan lämpölevyjien välissä viilujen väliin levitetyn liiman aktivoimiseksi. Puristimet voivat olla yksi- tai monivälisiä, eli niillä voidaan puristaa yhtä tai useampaa tuotetta samanaikaisesti. Mitä useampi väli puristimessa on, sitä suurempi iskupituus vaaditaan puristussylintereiltä. Puristimissa käytetään enimmäkseen yksitoimisia sylintereitä, eli niillä aikaansaadaan voimaa vain yhteen suuntaan. Kuvassa 1 on esitetty Rauten valmistama vanerin esipuristin. (Määttänen, 2013)



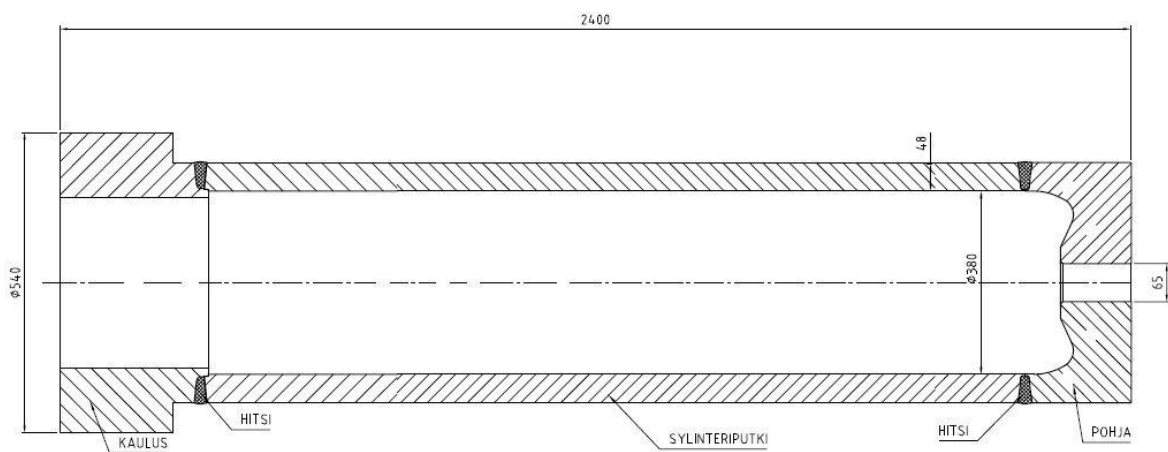
**Kuva 1.** Vanerin esipuristin, jossa on kaksi puristussylinteriä (Määttänen, 2013.)

Puristussyylinterien koot vaihtelevat suuresti. Sylinterien koot ilmoitetaan sylinterin männän halkaisijan ja iskupituuden avulla. Pienimmän Rautessa valmistetun puristussyylinterin männänhalkaisija on 160 mm ja lyhin iskupituus noin 200 mm. Suurimman sylinterin männänhalkaisija on 420 mm ja suurin iskupituus jopa 6 metriä. Ainepaksuus sylintereissä vaihtelee 20 – 60 mm, riippuen männän koosta. Tulevaisuudessa puristimien koon suurentuessa voi tarvittavien sylinterien koko myös suurentua, mikä on otettava huomioon sylinterien valmistusta suunniteltaessa. Puristimissa sylintereitä tarvitaan puristintyyppistä riippuen yhdestä useaan kymmeneen. Hitsattavia pitkiä sylintereitä käytetään monivälipuristimissa, ja esimerkiksi eräässä valmistetussa monivälisessä vanerin pinnoituspuristimessa on kahdeksan kappaletta 2,5 metriä pitkiä puristussylinterejä. LVL-puristimissa sylintereitä voi olla useita kymmeniä. Sylinterit on mitoitettu niin, että ne kestävät 28 – 30 MPa hydraulisen paineen. (Määttänen, 2013)

Rauten valmistamat hydrauliset sylinterit ovat yksitoimisia ja koostuvat pääosin kahdesta komponentista: männästä ja sylinteri-osasta. Lisäksi hydraulisyylinteriin kuuluu tiivisteitä, päätyrengas sekä pienosia. Tässä työssä käsitellään sylinteri-osan valmistusta (kuva 2), tarkemmin sen hitsausta. Sylinteri-osa tehdään joko yhdestä tai kolmesta materiaalihiosta. Valmistettaessa sylinteriosa yhdestä aihioista, sorvataan esiporattuun pyörötanko-aihioon männälle sopiva reikä sekä päätyrenkaalle kiinnitysreiät. Yhdestä materiaalihiosta valmistettaessa sylinteriä ei tarvitse hitsata. Ihannetilanne olisi, että sylinteri-osat voitaisiin valmistaa yhdestä materiaalihiosta aina, jolloin hitsausta ei tarvittaisi. Sylinterien pituus rajoittaa valmistusta yhdestä aihioista, koska sisäpuolinen sorvaus yli kaksi metriä pitkään kappaleeseen on lähes mahdotonta Rauten koneilla. Tämän vuoksi pitkät sylinterit valmistetaan kolmesta osasta: sylinteriputkesta, pohjasta ja kauluksesta. Nämä hitsataan toisiinsa kiinni siten, että ne yhdessä muodostavat sylinteri-osan. Leikkaus hitsattavasta sylinteri-osasta on kuvassa 3. Kuvasta nähdään, että pohjan ja sylinteriputken yhdistävän hitsin juurikupu on lähes mahdoton poistaa koneistamalla. (Määttänen, 2013)



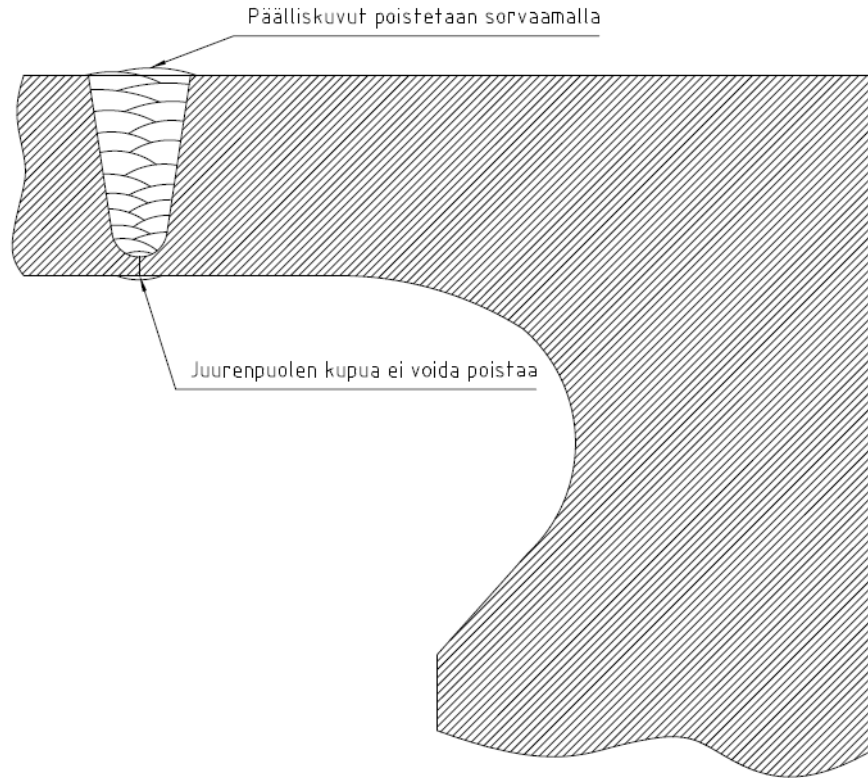
**Kuva 2.** Valmis puristussylinterin sylinteri-osa. Kuvassa sylinterin kaulus on ylhäällä ja sylinterin pohja alhaalla.



**Kuva 3.** Leikkaus hitsattavasta sylinteriosasta. Kuvan sylinteriputken seinämäpaksuus on 48 mm ja sisähalkaisija 380 mm. Pohja ja kaulus hitsataan pyörähdyssymmetrisillä monipalkkohitseillä sylinteriputkeen.

Sylinteriosan pohja on jouhevan muotoinen pyöristyksineen lujustechnisistä syistä. Pyöristykset pohjassa parantavat väsymiskestävyyttä, koska tällöin sinne ei synny epäjatkuvuuskohtaa. Pohjan ja sylinteriputken välinen hitsi on kuvassa 4 näkyvä päittäisliitos ja sijaitsee 60 – 75 mm sylinterin pohjasta. Tässä kohdassa hitsiin kohdistuvat jännitykset ovat pienimmillään. Parhaimman väsymiskestävyyden varmistamiseksi pohjan ja sylinteriputken sekä kauluksen ja sylinteriputken väliset liitokset täytyy olla läpihitsattuja ja hitsin kuvut tasattuja. Hitsien kuvut putken ulkopinnalta poistetaan sorvaamalla hitsauksen jälkeen (kuva 4). Sisäpinnalta pohjan ja putken välisen hitsin kupua ei voida poistaa huonon luoksepäästävyuden vuoksi, mutta kauluksen ja sylinteriputken välisen hitsin kupu voidaan. Tämän vuoksi sylinterin pohjan ja sylinteriputken välisen hitsin pohjapalko on hitsattu TIG-prosessilla; näin juuren puolelle syntyy mahdollisimman pieni ja jouheva kupu. Männän liike sylinterissä ei rajoita sisäpuolisen kuvun korkeutta, vaan tärkeintä on kuvun jouhevuus. Teoriassa kupu voi olla 4 mm korkea. Hitsausliitoksille vaaditaan hitsiluokka B (vaativa). Pohjan ja sylinteriputken sekä kauluksen ja sylinteriputken väliset hitsit tarkastetaan aina hitsauksen jälkeen ultraäänitarkastuksella. (Tillaeus, 2013)

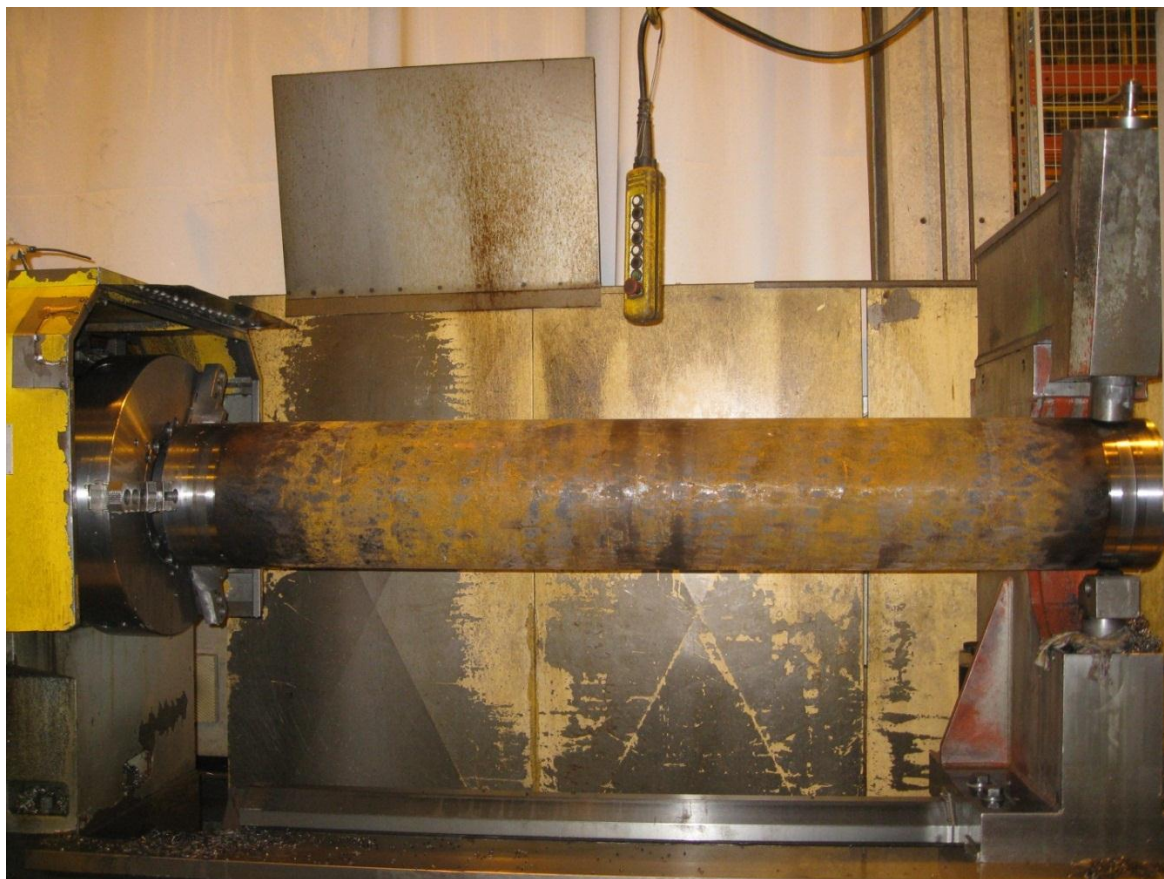




**Kuva 4.** Hitsin päälliskuvun poisto pohjan ja sylinteriputken välisestä hitsistä hitsauksen jälkeen.

## 2.1 Puristussylinterien valmistus

Puristussylinterit valmistetaan rakenneteräksestä S355J2. Sylinteriputki ja kaulus valmistetaan paksuseinämaisestä saumattomasta rakenneteräsputkesta S355J2H. Sylinterin pohja-osa valmistetaan pyörötangosta, materiaalina on S355J2. Kaikki kolme osaa sorvataan oikeisiin mittoihin, ja myös railopinnat ja -muodot koneistetaan sorvaamalla ennen hitsausta. Sylinteriputken sisäpuoli sorvataan pinnankarheuteen Ra 12  $\mu\text{m}$ , joka on myös sen lopullinen vaatimus. Osat sorvataan Safop Leonard HT 1250/CNC –sorvilla (kuva 5), jolla on mahdollista sorvata 8000 mm pitkää ja 1250 mm halkaisijaltaan olevaa kappaletta. Hitsauksen jälkeen sylinteriputken ulkokehällä sijaitsevat hitsikuvut poistetaan sorvaamalla, sekä päätyrengasta varten sorvataan kauluksen sisäkehälle olakkeet. Samalla poistetaan sylinteriputken ja kauluksen välisen hitsin juuri. Sylinteriputken ja pohjan välisen hitsin juuren puolta ei työstetä hitsauksen jälkeen.



**Kuva 5.** Sylinteriputken sorvaus Safop Leonard HT 1250/CNC –sorvilla.

Sylinterin pohja ja kaulus hitsataan pääosin jauhekaarihitsauksella kapeaan modifioituun U-railoon. Hitsaus suoritetaan yhdeltä puolelta monipalkohitsauksena. Hitsaus muistuttaa kapearailohitsausta, mutta se suoritetaan kuitenkin ilman varsinaisia kapearailohitsauslaitteita. Sylinterin pohjan hitsauksessa käytetään myös TIG-hitsausta silloitukseen ja pohjapalon hitsaukseen sekä MAG-hitsausta 3 - 9 seuraavan täyttöpalon hitsaukseen. TIG-hitsausta käytetään, jotta pohja saadaan luotettavasti läpihitsatuksi mahdollisimman pienellä juurikuvulla. MAG-hitsausta käytetään muutaman täyttöpalon hitsaukseen, koska railon pohja on vain 2 mm paksu, ja niin pienestä ainepaksuudesta jauhekaari palaa läpi. Railon pohjaa täytetään MAG-hitsaamalla, kunnes juuripinnan paksuus on vähintään 6 millimetriä. Sylinterin kaulus voidaan hitsata kokonaan jauhekaarella, koska liitos sisältää itsessään juurituennan. Juurituenta poistetaan sorvaamalla hitsauksen jälkeen.

Hitsauksessa käytetään apuna pyörityspöytää ja –rullastoa, jolloin pyörähdyssymmetriset hitsit voidaan hitsata mekanisoidusti jalko-asennosta. Pyörityspöytää suorittaa työliikkeen pyörittämällä sylinteriä ja sylinteri "lepää" rullaston päällä. Riippuen sylinteriputken ainepaksuudesta, esilämmitetään hitsausliitoksia 100 – 150 °C:een. Osat kiinnitetään toisiinsa TIG-prosessilla silloitushitsaamalla siten, että osat ovat tarkasti samankeskisiä.

Hitsauksen välipalkkolämpötilana pyritään käyttämään vähintään samaa lämpötilaa kuin esilämmityslämpötila (100 – 150 °C), kuitenkin korkeintaan 300 °C. Riippuen ainepaksuudesta, hitsaaja voi joutua pitämään taukoa palkokerroksien välissä, jottei suurin sallittu välipalkkolämpötila (300 °C) ylity huomattavasti. Välipalkkolämpötiloja ei hitsaaja ole mitannut, vaan lämpötilojen arviointi on tapahtunut värin perusteella. Jauhekaarella hitsattavat täyttöpaloit hitsataan "kaksi palkoa per kerros" –menetelmällä, mikä vähentää liitosvirheiden mahdollisuutta ja edesauttaa kuonan irtoamista. Hitsausohjeet on hyväksytty terästen kaarihitsaukselle hyväksytyjen hitsausaineiden avulla.

Suurin ongelma puristussylinterien valmistuksessa on sylinterin pohjan hitsauksen vaikeus ja hitaus. Hitsausta hidastaa TIG- sekä MAG-prosessien käyttö pohja- ja täyttöpalkojen hitsauksessa. Pohjapalkojen hitsaus on myös vaikein osa sylinterien hitsausta, koska pohjapalkko täytyy hitsautua läpi, mutta juuren puolelle ei saa tulla suurta juurikupua. Juurikupu on oltava jouheva. Juuren puolen silmämääräinen tarkastus on hyvin vaikeaa, koska luoksepäästävyys juurenpuolelle on rajoitettu. Juuren tarkastusta on suoritettu peilien ja ultraäänitarkastuksen avulla. Pohjan ja juuren ultraäänitarkastus on hyvin vaikeaa. Palkojen hitsaus MAG-prosessilla voi jättää liitosvirheitä railon kylkiin johtuen railon pohjan muodosta ja liian pienestä hitsausvirrasta. Liian suurta hitsausvirtaa käytettäessä vaarana on ohuen juuripinnan läpipalaminen. Hitsaaja joutuu hiomaan MAG-hitsejä huokosten ja sulkeumien syntymisen välttämiseksi jokaisen hitsipalon välissä. Hiominen tehdään käsin kulmahiomakoneella. TIG- ja MAG-hitsattujen palkojen jälkeen railon pohjalle suoritetaan ultraäänitarkastus, kuitenkin vasta kappaleen jäähdettyä alle 50 °C:een.

Kaiken kaikkiaan hitsaajalla kuluu sylinterin pohjan ja sylinteriputken välisen hitsin pohjapalkojen hitsaukseen (MAG- ja TIG-hitsatut hitsit) yhteensä 2 – 4 tuntia per sylinteri,

riippuen sylinterin aineenpaksuudesta, ulkohalkaisijasta ja kulmahiomakoneen käyttötarpeesta. Pohjapalkojen korjaamiseen voi kulua useita tunteja, riippuen virheen laadusta, koosta ja sijainnista. Pahimmassa tapauksessa hitsi joudutaan avaamaan sorvissa ja hitsaus joudutaan aloittamaan kokonaan alusta.

Täyttöpalkojen hitsaukseen jauhekaarella kuluu 0,5 – 2 tuntia riippuen sylinterin mitoista. Jauhekaarihitsauksessa ei ole esiintynyt huomattavia ongelmia, vaan suurimmat vaikeudet liittyvät juurikin sylinterin pohjan ja sylinteriputken välisen hitsin pohja- ja täyttöpalkojen hitsaukseen. Sylinteriputken ja kauluksen välisessä hitsissä ei ole esiintynyt ongelmia, koska se voidaan hitsata alusta loppuun jauhekaarella. Haasteita jauhekaarihitsaukseen on tuonut lähinnä vanha laitteiston toiminta. Hitsauspää ei oikaise hitsauslankaa riittävästi ja sytytyksessä ilmenee ajoittain ongelmia. Laitteistossa hitsausarvoja ei voida säätää tarkasti. Pyörityspöydän pyörimisliike on ajoittain takkuilevaa ja pyörimisnopeus joudutaan mittaamaan aina kellon avulla.

### 3 PAKSUJEN RAKENNETERÄSTEN HITSAUS

Rakenneteräksiä on kehitetty eri käyttökohteita varten ja siksi niitä on useita eri laatuja ja ljuuksia. Tässä kappaleessa käsitellään kuumavalssattujen ja seostamattomien yleisien rakenneteräksien hitsausta. Näiden terästen tekniset toimitusehdot on määritelty standardissa SFS-EN 10025-2. Tämän kappale käsittelee asioita, jotka liittyvät S355J2 rakenneteräksen hitsaukseen ja jotka tulee ottaa huomioon hitsausta suunniteltaessa. (SFS-EN 10025-2; Ruukki Oyj, 2013b)

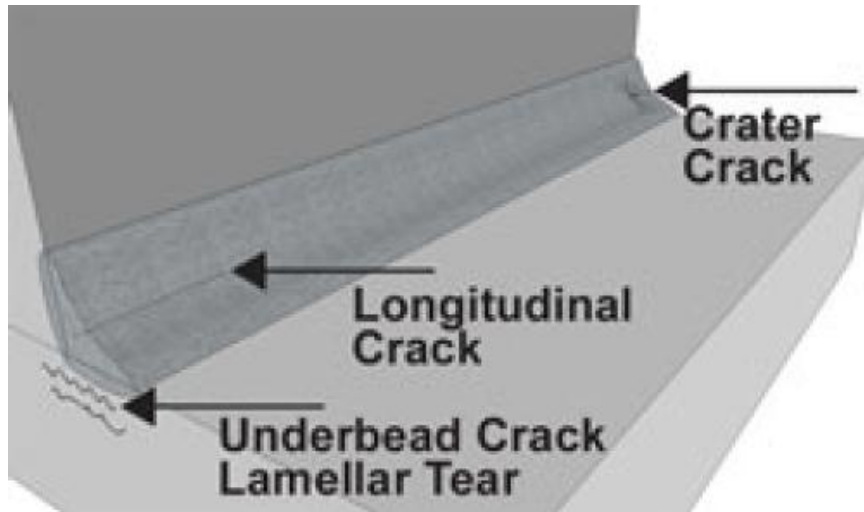
S355J2-teräkset ovat hitsattavia yleisiä rakenneteräksiä, joiden myötölujuus on 355 MPa. Niiden hiiliekvivalentin maksimiarvo tulee olla standardien SFS-EN 10025-2 ja SFS-EN 10210-1 mukaisesti 0,45 – 0,53 %, riippuen ainepaksuudesta ja tuotemuodosta. Vaarana niiden hitsauksessa voi olla kylmähalkeamat johtuen suuresta lämmönjohtumisesta, suuresta määrästä vetyä sekä hitsausliitokseen aiheutuvista suurista jännityksistä. S355J2-teräs asettaa iskutheydelle vähimmäisarvoksi 27 J -20 °C lämpötilassa, mikä taas rajoittaa hitsauksessa  $t_{8/5}$ -jäähtymisaikaa. Lisäksi hitsattaessa suuren sekoittumisasteen ja tunkeuman omaavilla hitsausmenetelmillä, kuten jauhekaarhitsauksella, on olemassa kuumahalkeiluvaara. Kuumavalssattujen terästen hitsauksessa voi esiintyä myös lamellirepeilyä, mutta putkien päittäisliitoksissa lamellirepeilyalttiutta ei ole. Hitsausta suunniteltaessa teräksen kylmähalkeilu- ja kuumahalkeilualttiutuuksien tarkastettava aineodistuksesta laskemalla. Paksumia rakenneteräksiä hitsattaessa on tärkeää huomioida liitoksen jäähtymisaika ja välipalkolämpötila, joihin erityisesti vaikuttaa hitsauksen lämmöntuonti. Ferriittisten terästen kaarihitsaukseen on laadittu ohjeita ja suosituksia sisältävä standardi SFS-EN 1011-2, jota voidaan käyttää hyödyksi hitsausta suunniteltaessa. (SFS-EN 1011-2; SFS-EN 10025-2; SFS-EN 10210-1; Ruukki Oyj, 2013a; Lukkari, 2/2000)

Paksujen terästen hitsaus voi olla aikaa vievää ja kallista, jos hitsaus joudutaan suorittamaan monipalkohitsauksena. Hitsattaessa päittäisliitoksia V- tai U-railoon railotilavuus ja hitsattava palkojen määrä kasvaa suureksi ainepaksuuden kasvaessa. Kapearailohitsauksella voidaan vähentää hitsiainemäärää ja siten parantaa tuottavuutta. Tehokkaita prosessisovellutuksia

paksujen rakenneterästen hitsaukseen ovat kaksois- ja monilankahitsausmenetelmät, tandemhitsausmenetelmät sekä hybridihitsausprosessit (esimerkiksi laser-hitsaus- ja kaarihitsausmenetelmä yhdistettynä). Paksujen terästen hitsauksessa, kuin myös ohuiden, on tärkeää huomioida mekanisoinnin ja automatisoinnin mahdollisuudet, koska käsinhitsaukseen verrattuna mekanisoinnilla ja automatisoinnilla voidaan vähentää hitsaukseen kuluvaa aikaa huomattavasti. (Stano & Matejec, 2010; Heston, 2010)

### 3.1 Kuumahalkeama

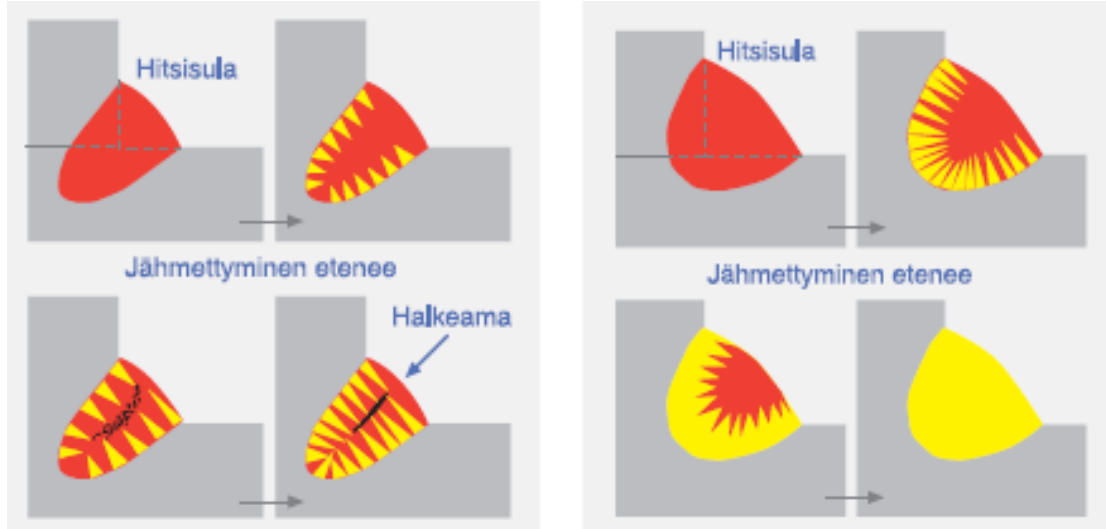
Kuumahalkeaman alalajeja ovat jähmettymishalkeama, sulamishalkeama ja kraatterihalkeama. Kuumahalkeama syntyy nimensä mukaisesti kuumassa lämpötilassa (yli 1100 C°) hitsin jähmettymisen viimevaiheessa. Yleisin kuumahalkeamatyyppi on jähmettymishalkeama, joka syntyy hitsin tai hitsipalon keskilinjalle hitsin pituussuuntaan. Sulamishalkeamasta puhutaan, kun halkeama syntyy sularajalle tai muutosvyöhykkeelle poikittain hitsin pituussuuntaan nähden. Kraatterihalkeamaksi kutsutaan hitsin lopetuskohtaan syntynyttä halkeamaa. Kuumahalkeama voi syntyä pintaan avautuvaksi tai jäädä pinnan alle piiloon. Pintaan avautuvan kuumahalkeaman murtopinta on reunoiltaan sinertävä hapettumisen vuoksi. Kuumahalkeaman mahdollisuus esiintyy yleensä jauhekaarihitsauksessa ja joskus myös MIG/MAG-hitsauksessa, harvoin puikkohitsauksessa. Halkeamia voi esiintyä useissa eri materiaaleissa, kuten niukkaseosteisissa ja seostamattomissa teräksissä. Kuumahalkeaman eri alalajit on esitetty kuvassa 6. (Lukkari, 2/2000; Lukkari, 1/2008; Witting, 2004)



**Kuva 6.** Kuumahalkeaman eri lajit pienahitsissä. Kuvassa Crater Crack = kraaterihalkeama, Longitudinal Crack = jähmettymishalkeama, Underbead Crack = sulamishalkeama, Lamellar Tear = lamellirepeily. (Evans, 2012)

Kuumahalkeama syntyy, kun hitsiaine jähmettyessään ja jäätyessään kutistuu ja matalassa lämpötilassa sulavat yhdisteet ja epäpuhtaudet suotautuvat hitsin keskilinjalle. Keskilinjalla jo vaikuttavat, hitsiaineen jähmettymisestä johtuvat jännitykset, aiheuttavat repeämän, koska keskilinjalla on suotautuneita ja vielä osittain sulia yhdisteitä. Kuumahalkeaman syntyminen ja palkomuodon vaikutus kuumahalkeamaan päittäisliitoksessa on esitetty kuvassa 7. Kuumahalkeamien syntyyn vaikuttaa kolme päätekijää. Nämä päätekijät ovat (Lukkari, 2/2000; Lukkari, 1/2008; Witting, 2004):

- metallurgiset tekijät
- geometriset tekijät
- jännitystekijä



**Kuva 7.** Palkomuodon vaikutus kuumahalkeamaan ja kuumahalkeaman synty pienahitsissä. Vasemmalla on kuumahalkeaman kannalta epäedullinen syvä ja kapea palko, johon muodostuu kuumahalkeama. (Lukkari, 2/2000)

Metallurgisella tekijällä tarkoitetaan hitsiaineen kemiallista koostumusta. Tietyt seosaineet lisäävät kuumahalkeilualttiutta hitsissä. Näitä aineita ovat hiili, rikki, fosfori ja niobi. Piin ja mangaanin tiedetään vähentävän kuumahalkeilualttiutta. Hitsin kuumahalkeilualttiutta voidaan arvioida laskemalla hitsin kuumahalkeilun herkkyysluku UCS (Unit of Crack Susceptibility) seuraavalla kaavalla (Lukkari, 1/2008):

$$UCS = 230 \times C + 190 \times S + 75 \times P + 45 \times Nb - 12,3 \times Si - 5,4 \times Mn - 1, (1)$$

missä C on hiilen, S rikin, P fosforin, Nb niobin, Si piin ja Mn mangaanin seospitoisuus hitsiaineessa prosentteina. (Lukkari, 1/2008)

UCS-kaava on kehitelty alun perin jauhekaarhitsaukseen. Herkkyyslukua laskettaessa seosainepitoisuudet täytyy mitata tai arvioida valmiista hitsiaineesta, koska hitsauslisäaine ja perusaine sekoittuvat hitsatessa. Jauhekaarhitsauksessa sekoittumisaste (=sulaneen perusaineen osuus) on korkea, yleensä välillä 50 – 85 %. Jos UCS-luku on alle 10, on hitsiaineella hyvä kestävyys kuumahalkeilua vastaan, kun taas luvun ollessa yli 30 on kestävyys huono. Luvun

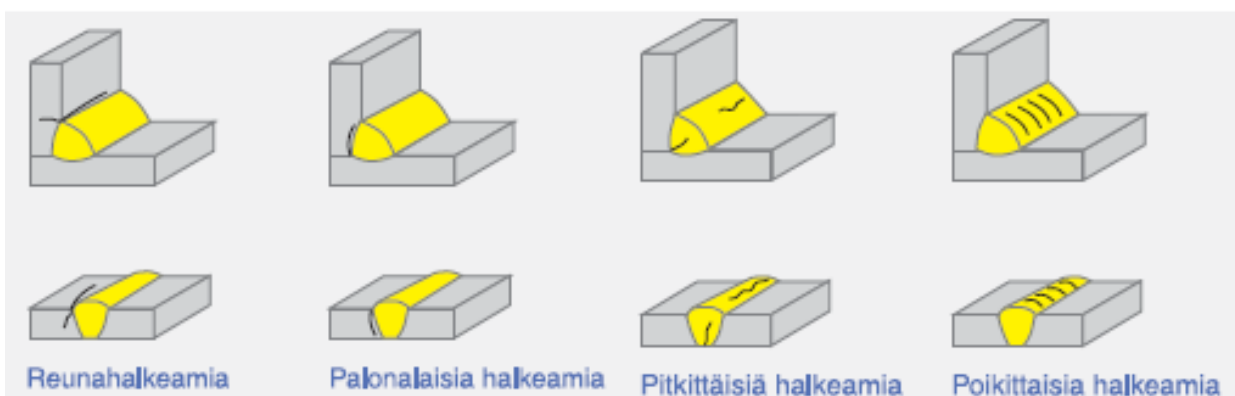


ollessa 10 ja 30:n välissä halkeilualttius kasvaa hitsin leveys/syvyys-suhteen pienentyessä. (Lukkari, 1/2008; Witting, 2004)

Geometrinen tekijä kuumahalkeaman synnyssä on hitsipalon muoto, jonka leveys/syvyys-suhde tulisi olla vähintään 1 seostamattomalla teräksellä ja 1,5 ruostumattomalla teräksellä. Liian kapeassa hitsissä jähmettymisrintamat etenevät kohti hitsin keskiviivaa, johon muun muassa epäpuhtaudet kerääntyvät. Liian matala ja leveä hitsi voi myös olla huono, koska hitsin keskelle voi aiheutua suuria kutistusjännityksiä. Jännitystekijänä voi olla hitsatun rakenteen muoto ja suuri aineenpaksuus, jotka aiheuttavat liitokseen vetojännityksiä. (Lukkari, 2/2000; Lukkari, 1/2008)

### 3.2 Kylmähalkeama

Kylmähalkeama eli vetyhalkeama syntyy hitsin jäähtyttyä yleensä alle  $150\text{ C}^\circ$ . Halkeama voi ilmetä joskus vasta vuorokauden, jopa kahden kuluttua. Kylmähalkeama voi syntyä karkeneviin teräksiin, esimerkiksi niukkaseosteisiin ja hienoraeteräksiin. Kylmähalkeamat esiintyvät usein sularajan suuntaisena sularajalla tai sen vieressä. Kylmähalkeama johtuu kolmesta tekijästä; hitsiaineeseen liuenneesta vedystä, sularajalle syntyneestä hauraasta mikrorakenteesta ja hitsiin kohdistuvista jännityksistä. Pääsyyllinen kylmähalkeamaan on usein kosteudesta, epäpuhtauksista ja vetypitoisista lisäaineista hitsiin liennut suuri vetymäärä. Erilaisia kylmähalkeamia piena- ja päittäisliitoksissa on esitetty kuvassa 8. (Lukkari, 3/2000; Ruukki Oyj, 2013a)



**Kuva 8.** Kylmähalkeamia päittäis- ja pienaliitoksissa (mukaiillen Lukkari, 3/2000.)

Eräs tapa arvioida liitoksen kylmähalkeilualttiutta on arvioida teräksen karkenevuutta hiilikvivalentin avulla. Hiilikvivalentti voidaan laskea useilla eri kaavoilla, joista ehkä käytetyimmät ovat IIW:n julkistama CE-kaava sekä saksalaisten kehittämä CET-kaava (Lukkari, 3/2000; Ruukki Oyj, 2013a):

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (2)$$

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40}, \quad (3)$$

joissa C on hiilen, Mn mangaanin, Cr kromin, Mo molybdeenin, V vanadiinin, Ni nikkelin ja Cu kuparin seospitoisuus perusaineissa prosentteina. (Lukkari, 3/2000; Ruukki Oyj, 2013a, p. 5)

Jos hiilikvivalentin CE arvo on alle 0,40 %, on perusaine hyvin hitsattavaa eikä kylmähalkeamia yleensä esiinny. Jos arvo on yli 0,50 %, joudutaan hitsauksessa käyttämään lisätoimenpiteitä kylmähalkeamien välttämiseksi. 0,40 – 0,50 % arvolla suurilla ainepaksuuksilla kylmähalkeilua voi esiintyä. Hiilikvivalentilla CET on hieman pienemmät arvot. Hiilikvivalentin lisäksi kylmähalkeilualttiutta voidaan arvioida hisausaineiden vetypitoisuuden perusteella. Mitä suurempi vetypitoisuus hitsausaineissa on, sitä helpommin kylmähalkeamia syntyy. (Lukkari, 3/2000)

Kylmähalkeamat voidaan välttää vähentämällä vetypitoisuutta, karkenemista tai jännityksiä hitsissä. Yksinkertainen keino kylmähalkeamia vastaan on esilämmitys. Se tulee suorittaa riittävän leveälle alueelle, vähintään 75 mm hitsin keskilinjalta. Esilämmityksen tarpeen arvioimiseen on olemassa kaavioita standardissa SFS-EN 1011-2. Teräsvalmistajat ovat myös tehneet omat taulukot esilämmityksen määrittämiseen. Esilämmityksen tarve ( $T_p$ ) voidaan myös laskea seuraavalla saksalaisten kehittämällä kaavalla (Lukkari, 3/2000; SFS-EN 1011-2; Ruukki Oyj, 2013a, pp. 10-11):

$$T_p = 697 \times CET + 160 \times \tanh \frac{t}{35} + 62 \times HD^{0,35} + (53 \times CET - 32) \times Q - 328, \quad (4)$$

missä CET on hiiliekvivalentti, t ainepaksuus (mm), HD hitsiaineen vetypitoisuus (ml/100g) ja Q lämmöntuonti (kJ/mm). (Lukkari, 3/2000; SFS-EN 1011-2)

### 3.3 Iskusitkeys ja jäähtymisaika

Hitsatun liitoksen mekaaniset ominaisuudet riippuvat hyvin paljon liitoksen jäähtymisnopeudesta. Jäähtymisaika ( $t_{8/5}$ ) tarkoittaa aikaa, joka kuluu, kun liitos jäähtyy lämpötilasta 800 °C lämpötilaan 500 °C. Tällä lämpötila-alueella tapahtuvat mikrorakennemuutokset, jotka ovat merkittävimmät muutosvyöhykkeen HAZ (heat-affected zone) ja hitsiaineen kannalta. Syntyvät mikrorakenteet vaikuttavat liitoksen kovuuteen ja iskusitkeyteen. Jäähtymisaikaan vaikuttaa seuraavat asiat (Lukkari & Vähäkainu, 1/2003; Ruukki Oyj, 2013a; SFS-EN 1011-2):

- lämmöntuonti
- aineenpaksuus
- liitosmuoto
- työlämpötila

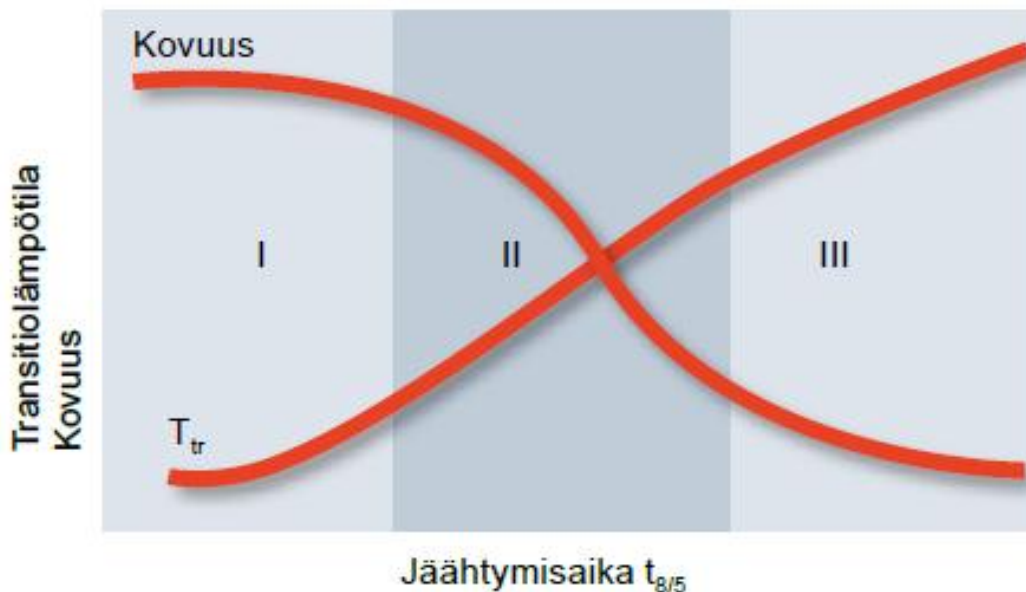
Kun liitoksen jäähtyminen tapahtuu hyvin nopeasti (lyhyt jäähtymisaika), syntyy muutosvyöhykkeelle voimakkaasti karkeneva vyöhyke. Vyöhykkeessä lisääntyy kovan bainiittisen ja martensiittisen mikrorakenteen määrä. Liitoksen transitiolämpötila on tällöin alhainen ja kovuus suuri. Kun taas liitos jäähtyy hitaasti ja jäähtymisaika on suuri, pienenee maksimikovuus ja iskusitkeysominaisuudet heikkenevät. Jäähtymisaika  $t_{8/5}$  voidaan laskea kaavalla 5 tai 6 riippuen siitä, tapahtuuko lämmönjohtuminen liitoksessa kaksi- vai kolmidimensionaalisesti. Kaavassa 5 lämmönjohtuminen tapahtuu kaksidimensionaalisesti ja kaavassa 6 kolmidimensionaalisesti. Lämmönjohtuminen on kolmidimensionaalista, kun aineenpaksuus on suuri. (Lukkari & Vähäkainu, 1/2003; Ruukki Oyj, 2013a; SFS-EN 1011-2)

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3 \times T_0) \times 10^5 \times \frac{Q^2}{a^2} \times \left[ \left( \frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left( \frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right] \times F_2 \quad (5)$$

$$t_{8/5} = (6700 - 5 \times T_0) \times Q \times \left[ \left( \frac{1}{500 - T_0} \right) - \left( \frac{1}{800 - T_0} \right) \right] \times F_3, \quad (6)$$

joissa  $T_0$  on työlämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $Q$  lämmöntuonti ( $\text{kJ}/\text{mm}$ ),  $d$  aineenpaksuus sekä  $F_2$  ja  $F_3$  liitosmuotokertoimia kaksi- ja kolmidimensionaalisessa lämmönjohtumisessa. (Ruukki Oyj, 2013a; SFS-EN 1011-2)

Liitokselle optimaalisin jäähtymisaika kuvan 9 mukaisessa kaaviossa on alueella II, jossa kovuus ja transitiolämpötila ovat optimaaliset. Transitiolämpötila voidaan määrittää iskukokeella. Transitiolämpötila on lämpötila, jossa iskuenergia on puolivälissä korkean ja matalan lämpötilan arvoja. Toisin sanoen transitiolämpötilassa materiaalin murtuma tapahtuu puoliksi hauraasti ja puoliksi sitkeästi. Niukkaseosteisille ja ferriittisille teräksille sopiva jäähtymisaika on standardin SFS-EN 1011-2 mukaan välillä 10 – 25 s. Teräsvalmistaja Ruukki suosittelee valmistamilleen S355J2-teräksille jäähtymisajaksi ( $t_{8/5}$ ) 5 – 30 s. (Ruukki Oyj, 2013a; SFS-EN 1011-2)



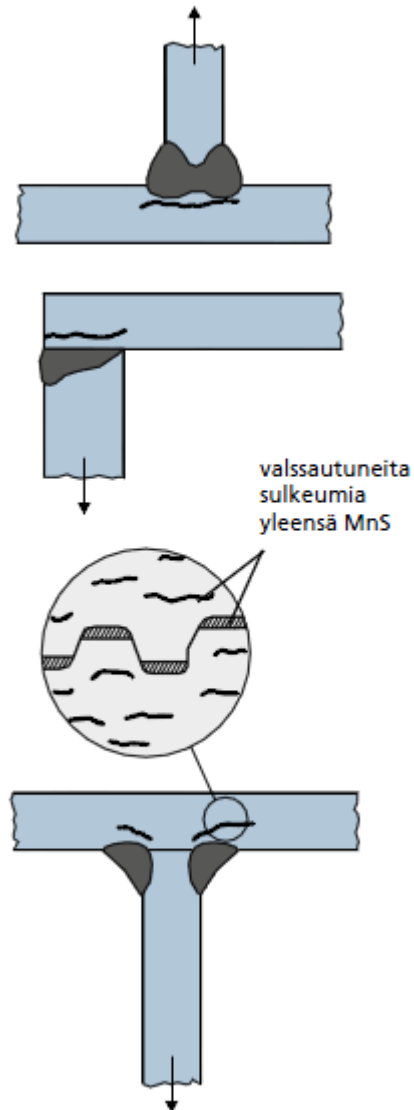
**Kuva 9.** Kaavio jäähtymisajan vaikutuksesta muutosvyöhykkeen kovuuteen ja transitiolämpötilaan ( $T_{tr}$ ). Optimaalinen jäähtymisaika on alueella II. (Ruukki Oyj, 2013a)

Standardi SFS-EN ISO 15614-1 + A1 + A2 sallii teräsryhmälle 1, johon S355J2 kuuluu, hitsausliitoksen suurimmaksi kovuusarvoksi 380 HV10. Tämä pätee hyväksyttäessä hitsausohjetta menetelmäkokeen avulla terästen kaarihitsauksessa. Kovuuden maksimiarvon voi määrittää myös sovellusstandardi tai vaatimus voi tulla vaikka asiakkaalta tai viranomaiselta. (SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2)

### 3.4 Lamellirepeily

Lamellirepeilyä voi esiintyä valssattujen terästen yhteydessä, yleensä levymateriaaleissa, kun teräksen paksuussuunnassa vaikuttaa vetojännitys. Lamellirepeämiä syntyy, kun nauhamaiset ei-metalliset sulkeumajonot, jotka ovat syntyneet valssauksen yhteydessä, repeävät hitsauksen aiheuttamien kutistusjännitysten vuoksi. Lamellirepeilyalttiuteen vaikuttaa perusaineen repeilyherkkyys ja liitoksen jännitykset. Pääasiallisesti repeämät syntyvät liitoksen valmistuksessa. Repeämät voivat syntyä myös käytössä, jos liitokseen vaikuttaa iskumaisia tai jaksottaisia kuormituksia. Perusaineen lamellirepeilyalttiutta voidaan arvioida poikittaisen murtokourouman (STRA) ja rikkiptoisuuden avulla. (Ovako Oy, 2012; SFS-EN 1011-2)

Lamellirepeilyalttiutta voidaan pienentää vähentämällä kutistumisjännityksiä liitoksessa, suurentamalla railopintojen pinta-aloja, määrittämällä palkojärjestys sopivaksi, tekemällä hitsi läpi koko perusaineen paksuuden ja vähentämällä paksuussuunnan jäykkyyttä liitoksessa. Eräs tapa välttää lamellirepeily on tehdä puskurointihitsaus sitkeällä ja alilujalla lisäaineella railopintaan. Lamellirepeilyn yleisimmät esiintymispaikat ja syntymismekanismi on esitetty kuvassa 10. (Ovako Oy, 2012; SFS-EN 1011-2)



**Kuva 10.** Lamellirepeilyn yleisiä esiintymiskohtia hitsausliitoksissa sekä repeämän syntymekanismi (Ovako Oy, 2012.)

## 4 JAUHEKAARIHITSAUS

Jauhekaarihitsaus on peräisin 1930-luvulta ja menetelmää on kehitetty paljon nykypäivään mennessä. Jauhekaarihitsausta käytetään paljon raskaassa ja keskiraskaassa hitsaavassa konepajateollisuudessa menetelmän tehokkuuden vuoksi. Esimerkiksi telakat, kattila-, säiliö- ja paineastiavalmistajat sekä teräsrakenneteollisuus käyttävät paljon jauhekaarihitsausta. Jauhekaarihitsauksesta on kehitetty monia prosessisovelluksia, joilla pystytään hitsamaan perinteistä menetelmää tehokkaammin. Myös käytettävät laitteet ja hitsausaineet ovat kehittyneet tähän päivään mennessä paljon. (Lukkari, 2002, pp. 126-127; Acoff, et al., 2011, pp. 335-336)

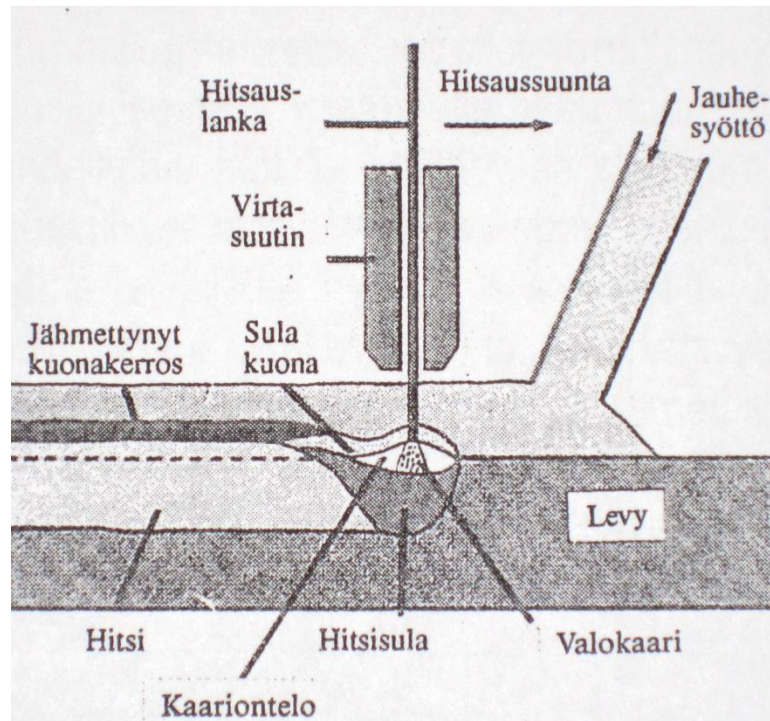
Raute Oyj käyttää jauhekaarihitsausta muun muassa vaneri- ja LVL-puristimien osien valmistuksessa. Esimerkiksi puristimien lämpölevyjä ja sylinterejä hitsataan jauhekaarihitsauksella. Tässä työssä keskitytään puristussylinterien pohjan ja kauluksen hitsaukseen jauhekaarihitsauksella. Jauhekaarihitsausta käytetään seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen suurten ainepaksuuksien ja pitkien hitsien hitsaamiseen. Menetelmälle on ominaista suuri hitsausenergia ja hitsiaineentuotto, minkä vuoksi hitsausnopeus ja tunkeuma ovat myös suuria. Jauhekaarihitsaus on mekanisoitua tai automatisoitua, ja hitsaus rajoittuu yleensä jalko- ja alapiena-asentoon. (Määttänen, 2013; Lukkari, 2002, pp. 121-131)

### 4.1 Prosessi

Jauhekaarihitsaus on metallikaarihitsausprosessi. Jauhekaarihitsauksesta käytetään lyhennettä SAW (submerged arc welding). Standardissa SFS-EN ISO 4063 jauhekaarihitsauksen numerotunnukseksi on määritetty nro 12, ja nro 121 käsittää jauhekaarihitsauksen umpilangalla. (SFS-EN ISO 4063; Lukkari, 2002, p. 121)

Jauhekaarihitsauksessa valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välillä, ja hitsaustapahtumaa suojaa hitsausjauhe. Valokaaren ympärille hitsaustapahtumassa muodostuu kaariontelo, joka on täynnä metallihöyryjä ja kaasuja. Kaariontelon alla on hitsisula. Hitsausjauhe, jota syötetään hitsauslangan edestä tai samankeskisesti hitsauslangan ympärille työkappaleen pintaan, sulaa osittain ja muodostaa sulan kuonakerroksen valokaaren päälle

jähmettymen myöhemmin hitsin päälle. Sulamaton irtonainen jauhe voidaan kerätä muodostuneen hitsin päältä ja käyttää uudelleen. Hitsaustapahtumaa voidaan verrata puikkohitsaukseen, jossa myös muodostuva kuonakerros suojaa sulaa ilman haitallisilta vaikutuksilta. Hitsaustapahtuma on esitetty kuvassa 11. (Lukkari, 2002, p. 121)



**Kuva 11.** Hitsaustapahtuman kuvaus jauhekaarihitsauksessa (Lukkari, 2002, p. 121.)

Jauhekaarihitsaus on työympäristöystävällinen hitsausprosessi valokaarta suojaavan hitsausjauheen vuoksi. Valokaaren palaessa jauheen alla ei työntekijään juurikaan kohdistu säteilyä ja roiskeita. Jauhe toimii myös hyvin lämmöneristeenä. (Lukkari, 2002, p. 122)

Jauhekaarihitsaus on miltei poikkeuksetta mekanisoitua tai automatisoitua. Työliike suoritetaan mekanisoidusti tai robotisoidusti joitain poikkeuksia lukuun ottamatta. Langansyöttö tapahtuu mekanisoidusti langansyöttölaitteen avulla. Työliikkeen voi suorittaa esimerkiksi robotti, hitsaustorni tai kulkuvaunu liikuttamalla hitsauspäättä työkappaleeseen nähden. Työliike voidaan suorittaa myös liikuttamalla työkappaletta, esimerkiksi pyörityspöydän tai pyöritysrullaston avulla. (Lukkari, 2002, p. 122)



Robotisoitua hitsausta rajoittaa jauheen käsittely. Erityisellä koaksiaalisella jauheensyötöllä on mahdollistettu kaarevien ja monimutkaisten pintojen robotisoitu jauhekaarihitsaus. Koaksiaalisessa jauheensyötössä jauhe syötetään samankeskisesti hitsauslangan ympärille (kuva 12). (Nadzam, 2013; Pemamek Oy, 2012)



**Kuva 12.** Robotisoitu jauhekaarihitsaus (Nadzam, 2013.)

Jauhekaarihitsausta käytetään enimmäkseen suurten ainepaksuuksien hitsaukseen. Hitsattavan ainepaksuuden ala-raja on 2 mm yhdeltä puolelta hitsattaessa, mutta näin ohuet ainepaksuudet ovat harvinaisia. Kaksipalkohitsauksessa (yksi palko levyn molemmin puolin) hitsattaessa I-railoon ainepaksuuden yläraja on noin 20 mm. Monipalkohitsauksessa ylärajaa ei käytännössä ole. (Lukkari, 2002, pp. 123-130)

#### 4.2 Prosessisovellutukset

Hitsattaessa jauhekaarella yhtä lisäainelankaa käyttäen on hitsiaineentuotto noin 13 g/Ah paloaikasuhteen ollessa 100 %. Tämä tarkoittaa, että yhdellä 4 mm umpilangalla hitsattaessa on hitsiaineentuotto välillä 5 – 10 kg/h, riippuen käytettävästä hitsausvirrasta. Tästä ”perinteisestä” jauhekaarihitsauksesta on kehitetty prosessisovellutuksia parantamaan hitsauksen tehokkuutta ja monipuolistamaan menetelmää. Sovellutuksia on monia ja niitä yhdistelemällä ja varioimalla on

saatu aikaan lisää eri variaatioita. Tärkeimmät prosessisovellutukset ja suurtehoprosessit ovat (Lukkari, 2002, pp. 132-140; Orsini & Gerbec, 2010; Reisgen, et al., 2011):

- hitsaus –navassa (DC)
- hitsaus käyttäen vaihtovirtaa (AC)
- AC/DC-jauhekaarihitsaus
- hitsaus pitkällä vapaalangalla
- kaksois- ja monilankahitsaus
- tandemhitsaus
- hitsaus käyttäen metallijauhesyöttöä
- kuumalankahitsaus
- kylmälankahitsaus
- täytelankahitsaus
- nauhahitsaus
- kapearailohitsaus
- hybridihitsausprosessit

Käyttämällä hitsattaessa –napaa hitsiaineentuotto kasvaa 20 – 40 % ja tunkeuma pienenee 20 – 30 %. Hitsaus –napaisella polttimella soveltuu hyvin esimerkiksi päällehitsaukseen. Vaihtovirtaa käytettäessä on hitsiaineentuotto ja tunkeuma –napahitsauksen ja +napahitsauksen välissä. Vaihtovirtahitsausta käytettäessä vältetään valokaaripuhallukselta, jota esiintyy tasavirralla hitsattaessa lähellä maadoitusta ja kulmia. (Lukkari, 2002, p. 132; Orsini & Gerbec, 2010.) AC/DC-jauhekaarihitsaus eli "kanttiaaltohitsaus" yhdistää AC- ja DC-hitsauksen etuja. Siinä käytetään invertterivirtalähdettä, jolla voidaan ohjata negatiivisen ja positiivisen amplitudin suhdetta ja kummankin puolitaallon aikaa. Näin saadaan hyödynnettyä DC+ hitsauksen suurta tunkeumaa ja DC- hitsauksen suurta hitsiaineentuottoa. Sitä voidaan käyttää yksi- ja monikaarisovelluksissa. (Lincoln Electric, 2011)

Hitsiaineentuottoa voidaan lisätä myös pidentämällä vapaalangan pituutta. Pitkä vapaalanka esikuumentuu vastuslämmön vuoksi ja myös sulaa nopeammin. Hitsiaineentuotto lisääntyy 20 – 50 % riippuen vapaalangan pituudesta. Tämä on edullinen tapa lisätä hitsiaineentuottoa, koska

tarvittava investointi on vain sähköisesti eristetty langanpidin, joka estää vapaalankaa heilumasta. (Lukkari, 2002, p. 132; Levi & Patel, 2009)

Kaksois-, tandem- ja monilankahitsaus käyttää hitsauksessa nimiensä mukaisesti kahta tai useampaa lisäainelankaa. Kaksoislankahitsauksessa käytetään kahdessa normaalia ohuemmassa lisäainelangassa samaa virtalähdettä, ja hyvin toisiaan lähellä olevat langat syötetään kaksireikäisen kosketussuuttimen läpi samaan hitsisulaan. Hitsauslangat voivat olla hitsaussuuntaan nähden vierekkäin, ristikkäin tai peräkkäin. Koska langat ovat suhteellisen ohuet (esimerkiksi 2.0 mm), on virtatiheys ja vastuskuumeneminen suurempaa, mikä nopeuttaa lankojen sulamista ja lisää hitsiaineentuottoa sekä mahdollistaa suuremmat hitsausnopeudet. Tandemhitsauksessa hitsauslangoilla on omat virtalähteensä, kosketussuuttimensa, langansyöttölaitteensa ja ohjausyksikkönsä. Langat voidaan suunnata samaan sulaan tai ne voivat olla erillään. Hitsauslankoina käytetään samoja lankoja kuin yksilankahitsauksessa, ja normaalisti niiden etäisyys toisistaan on 15 – 25 mm. Etäisyydellä ja lankojen asettelulla voidaan vaikuttaa hitsipalon muotoon ja tunkeumaan. Koska kahdella tasavirtaisella toisiaan lähellä olevalla hitsauslangalla hitsaaminen aiheuttaa magneettista puhallusta, käytetään tandemhitsauksessa ainakin toisessa hitsauslangassa yleensä vaihtovirtaa. Tällöin ensimmäinen lanka aikaansaa tunkeuman ja toinen muotoilee hitsipalon. Monilankahitsaus on hitsausta useammalla kuin kahdella langalla. Jos käytetään useampaa kuin yhtä virtalähdettä, puhutaan yleensä kuitenkin tandemhitsauksesta. Esimerkiksi 5-lanka-tandemprosessilla voidaan hitsata hyvin suuria aineenpaksuuksia yhdellä palolla perusaineen sen salliessa. Tandemhitsaus on esitetty kuvassa 13. (Lukkari, 2002, pp. 133-135; Orsini & Gerbec, 2010)



**Kuva 13.** Tandemhitsaus käyttäen kahta hitsauslankaa (Massey, 2013.)

Hitsiaineentuottoa voidaan kasvattaa huomattavasti syöttämällä metallijauhetta hitsausrailoon. Jauhekaarihitsauksen suuri kaarienergia sulattaa metallijauheen, jota voidaan syöttää lähes yhtä paljon kuin lisäainelankaa. Metallijauheen käyttö pienentää kuitenkin tunkeumaa, mikä täytyy ottaa huomioon hitsauksessa. Metallijauhetta voidaan käyttää niin yksilanka- kuin tandemhitsauksessakin. (Lukkari, 2002, pp. 135-136)

Kuumalankahitsauksessa hitsauspään etupuolelle hitsisulaan syötetään ohutta lisäainelankaa, jolla on oma virtalähteensä. Koska lisäainelanka on oikosulussa hitsisulan kanssa, lanka lämpenee punahehkuun. Kuumalankahitsauksen etuina on hitsiaineentuoton kasvu, mutta se on häiriöaltis ja tunkeumaa pienentävä prosessisovellutus. Kylmälankahitsauksessa myös syötetään hitsisulaan ylimääräistä lisäainelankaa; tässä lanka on virraton ja sitä syötetään noin 45° kulmassa kaarilankaan nähden hitsisulan etu- tai takapuolelta. Kylmälankahitsauksen etuina ovat lisääntyvä hitsiaineentuotto ja pienentyvä lämmötuonti. Kylmälangan käyttö pienentää tunkeumaa. (Lukkari, 2002, pp. 136-137)

Jauhekaarihitsaus voidaan suorittaa myös käyttämällä täytelankaa. Täytelangat muistuttavat MAG-täytelankahitsauksessa käytettäviä ja niitä valmistetaan metalli- ja emästäytteisinä. Niitä käytetään lisäämään hitsiaineentuottoa ja lisäämään hitsausnopeutta. (Lukkari, 2002, p. 137)

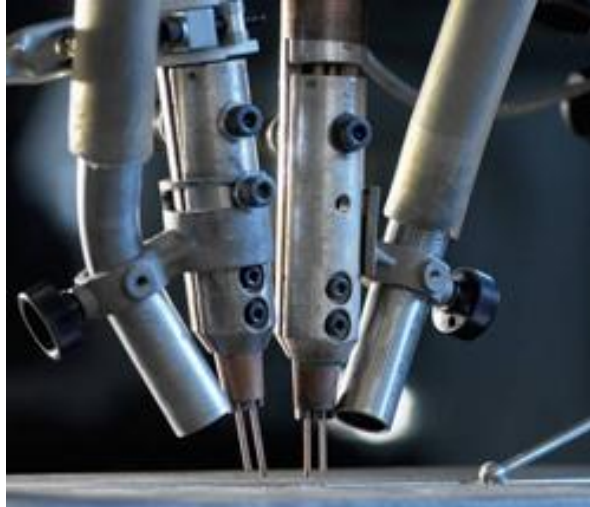
Nauhahitsaus eroaa muista jauhekaarihitsausprosesseista selvästi, koska siinä hitsauslanka on korvattu hitsausnauhalla. Hitsausnauhan paksuus on yleensä 0,5 mm ja leveys vaihtelee muutamasta kymmenestä millistä yli sataan milliin. Nauhahitsausta käytetään päällehitsauksessa. Sen tunkeuma ja sekoittumisaste on pienempi ja hitsiaineentuotto suurempi verrattuna perinteiseen lankahitsaukseen. (Lukkari, 2002, pp. 138-139)

Kapearailohitsaus suoritetaan ilmaraoltaan 10 – 30 mm leveään modifioituun I-railoon. Railon sivut ovat suorat tai vain vähän viistetyt. Kapearailohitsausta käytetään suurten ainepaksuuksien hitsaukseen yhdeltä puolelta, ja sillä pyritään parantamaan tuottavuutta vähentämällä hitsiainemäärää. Kapearailohitsaus suoritetaan monipalkohitsauksena yksi tai kaksi palkoa per kerros. Kapearailohitsaukseen on kehitetty erilaisia jauhekaarihitsauspäitä, jotka ovat kapeita ja eristettyjä. Kapearailohitsaus vaatii tarkkaa palkojen sijoittelua, ja tätä varten kapearailohitsauksessa käytetään usein railonseurantaa. Tandem-kapearailohitsauspäätä on esitetty kuvassa 14. (Lukkari, 2002, p. 138)



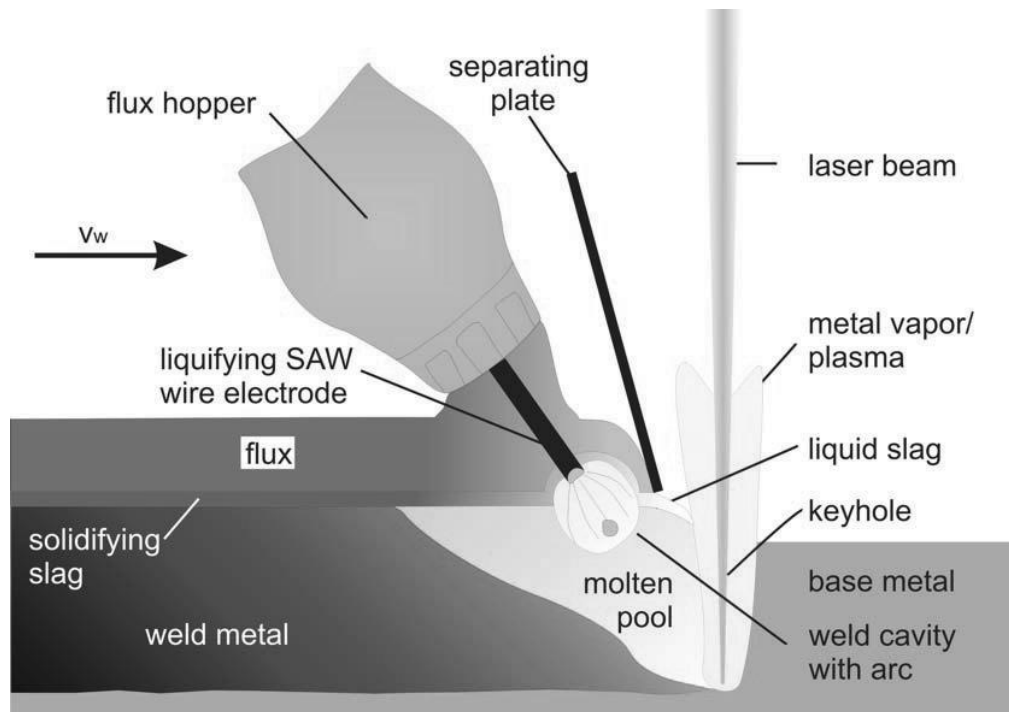
**Kuva 14.** Tandem-kapearailohitsauspäätä varustettuna optisella railonseurannalla (Heston, 2010.)

Näiden prosessisovellutuksien lisäksi on kehitetty erilaisia variaatioita, joissa yhdistetään edellä mainittuja prosesseja. Näitä on esimerkiksi tandem-kaksoislankahitsaus (kuva 15), jossa käytetään kahta kaksoislankahitsauspäättä, sekä kylmä- tai kuumalangan käyttö kaksoislanka- ja tandemhitsauksessa. (Lukkari, 2002, pp. 132-140; Orsini & Gerbec, 2010)



**Kuva 15.** Kaksoislanka-tandemhitsauspää (Orsini & Gerbec, 2010.)

Hybridihitsausprosesseissa yhdistetään kaksi eri hitsausprosessia samaan hitsaustapahtumaan. Yhdistämällä perinteisen jauhekaarhitsauksen ja laserhitsauksen on kehitetty jauhekaari-laserhybridihitsausprosessi. Prosessissa hyödynnetään jauhekaarhitsauksen suurta hitsiainetuottoa ja laserhitsauksen tunkeumaa. Menetelmässä haasteita asettaa jauhekaarhitsauksen jauhe, jonka vuoksi lasersäteen on kuljettava hitsaussuuntaan nähden jauhekaaren edellä. Jauheen valuminen lasersäteen hitsisulaan on yksi prosessin ongelmista, mikä on ratkaistu erityisellä välilevyllä jauhekaarhitsauspään ja lasersäteen välissä. Yhdistelmällä voidaan hitsata yhdellä palolla hyvin suuria aineenpaksuuksia (esimerkiksi 20 mm). Periaate jauhekaari-laser-hybridihitsausprosessista on esitetty kuvassa 16. (Reisgen, et al., 2011)



**Kuva 16.** Jauhekaari-laser-hybridihitsausprosessin periaate. Kuvassa flux hopper = jauheensyöttö, separating plate = erotuslevy, laser beam = lasersäde, metal vapor/plasma = metallihöyry/plasma, liquifying SAW wire electrode = sulava jauhekaarilisäainelanka, liquid slag = sula kuona, flux = jauhe, keyhole = avaimenreikä, solidifying slag = jähmettyvä kuona, molten pool = hitsisula, base metal = perusaine, weld metal = hitsiaine, weld cavity with arc = valokaaren ja sulan kavitaatio,  $V_w$  = hitsaussuunta. (Reisgen, et al., 2011)

#### 4.3 Jauhekaarihitsauslaitteisto ja oheislaitteisto

Jauhekaarihitsauslaitteisto koostuu hitsauslaitteesta, virtalähteestä ja työlaiteesta. Hitsauslaitteeseen kuuluu vähintään seuraavat osat: hitsauspää ja sen asetuslaitteet, langansyöttölaite, jauheen käsittelylaite ja ohjauksyksikkö. Jauheen käsittelylaite käsittää yleensä jauhesäiliön, jauheensyöttölaite ja -imurin. Hitsauslaitteita voi olla useita riippuen käytettävästä prosessisovelluksesta. Hitsauslaitteeseen voidaan integroida myös railonseurantalaite, jonka avulla hitsauslangan paikkaa railossa voidaan seurata ja ohjata. Railonseuranta voidaan toteuttaa mekaanisesti, sähkömekaanisesti tai optisesti. Oheislaitteena voidaan käyttää hitsauspäähän integroitua kuonavasaraa, joka poistaa hitsauksessa syntyvää kuonaa. (Lukkari, 2002, pp. 140-141; Tekninen tiedotus 10/86, pp. 11-15)

Hitsattaessa yhdellä hitsauslangalla hitsausvirtalähteenä käytetään tasavirtaisia tasasuuntaajia. Kuitenkin riippuen käytettävästä prosessista, virtalähteet voivat olla myös vaihtovirtalähteitä. Esimerkiksi tandemhitsauksessa käytetään vaihtovirtaa ainakin toisessa hitsauslangassa. Virtalähteiden koko vaihtelee 600 – 1600 A:n välillä. (Lukkari, 2002, p. 141)

Työlaitteella tarkoitetaan hitsausliikkeen tekevää tai sitä avustavaa laitetta, joita voivat olla esimerkiksi (Lukkari, 2002, pp. 140-141):

- erilaiset hitsaustornit
- pyöritysruillastot ja –pöydät
- hitsauskiinnittimet
- kulkuvaunut

Jauhekaarhitsaus voidaan suorittaa automatisoidusti, jolloin käytössä on useita työlaitteita, jotka toimivat yhdessä synkronoidusti. Esimerkki automatisoidusta jauhekaarhitsauksesta on Slovakialaisen SES a.s painelaittevalmistajan järeiden paineastioiden kapearailohitsaus (kuva 17). Hitsauspää on kiinnitetty hitsaustorniin, mikä on synkronoitu pyöritysruillaston kanssa ohjausyksikön avulla. Railon seurantalaitte on myös yhteydessä ohjausyksikköön. Pyöritysruillaston pyörittäessä hitsattavaa kappaletta railon seurantalaitte tunnistelee railon kylkiä ja pohjaa, ja hitsaustorni sekä säätölaitteet suuntaavat hitsauspään oikeaan kohtaan railossa. Hitsaus on monipalkohitsausta, ja laitteisto suorittaa hitsauksen alusta loppuun automaattisesti (kuva 18). (Stano & Matejec, 2010)





**Kuva 17.** Automatisoitu jauhekaarihitsauslaitteisto järeiden paineastioiden hitsauksessa (Stano & Matejec, 2010.)

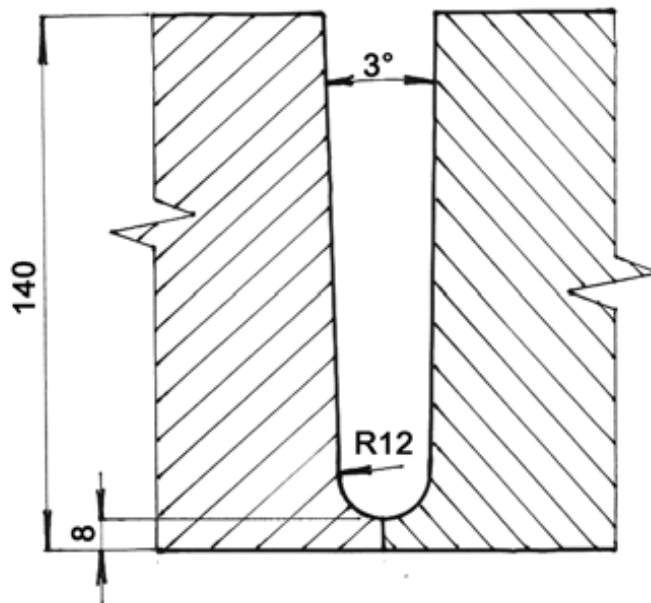


**Kuva 18.** Hitsauslaitteisto siirtyy automaattisesti toiselle reunalle railoa joka kierroksen jälkeen (Stano & Matejec, 2010.)

#### 4.4 Railo- ja liitosmuodot sekä hitsausasennot

Jauhekaarihitsauksella hitsataan tyypillisesti päittäis- ja pienahitsejä. Standardissa SFS-EN ISO 9692-2 on määritetty jauhekaarihitsaukseen yhdellä hitsauslangalla soveltuvat railomuodot.

Päätisliitokseen soveltuvat hitsausmuodot ovat erilaiset I-, V-, Y-, U- ja X-railot sekä kapearailohitsauksessa käytetty modifioitu I-railo (kuva 19). Pienahitsaukseen soveltuvat railomuodot ovat K-, J-, kaksois-J- sekä puoli-V-railot. (SFS-EN ISO 9692-2; Lukkari, 2002, p. 138)



**Kuva 19.** Esimerkki kapearailosta 140 mm paksussa materiaalissa (Stano & Matejec, 2010.)

Hitsisulan vaikea hallinta ja hitsausjauheen valuminen rajoittaa jauhekaarhitsauksen soveltumista asentohitsauksiin. Tavallisesti jauhekaarhitsaus suoritetaan jalko- tai alapienasennossa. Kuitenkin erityisjärjestelyin voidaan hitsaus suorittaa esimerkiksi vaaka-asennossa. Tällöin hitsausjauheelle järjestetään tuki hitsausjauheen valumisen välttämiseksi. Esimerkki jauhekaarhitsauksesta yhdellä hitsauslangalla vaaka-asennossa (PC) on esitetty kuvassa 20. (Lukkari, 2002, p. 123)



**Kuva 20.** Jauhekaarihitsausta PC-asennossa. Kuvassa näkyvä hihna estää hitsausjauheen valumisen sulasta (Altemühl, 1/2010.)

#### 4.5 Hitsausaineet

Jauhekaarihitsauksen hitsausaineita ovat hitsauslisäainelanka, hitsausjauhe sekä mahdollinen metallijauhe. Hitsauslanka ja hitsausjauhe valitaan aina toisilleen sopiviksi. Hitsauslangat ja lanka-jauheyhdistelmät seostamattomien ja hienoraeterästen jauhekaarihitsaukseen on määritetty standardissa SFS-EN ISO 14171 ja hitsausjauheet jauhekaari- ja kuonahitsaukseen on määritetty standardissa SFS-EN ISO 14174. (SFS-EN ISO 14171; SFS-EN ISO 14174)

Hitsauslangat ovat umpi- tai täytelankoja. Yleisimmät langanpaksuudet ovat 2,0, 2,5, 3,0 3,5, 4,0, 5,0 ja 6,0 mm. Yksilankahitsauksessa eniten käytetty langanpaksuus on 4,0 mm. Ohuita 2,0 ja 2,5 mm lankoja käytetään varsinkin kaksilankahitsauksessa. Hitsauslangat on luokiteltu standardissa SFS-EN ISO 14171 langan kemiallisen koostumuksen, puhtaan hitsin mekaanisten ominaisuuksien sekä soveltuvan jauhetypin perusteella. (Lukkari, 2002, pp. 141-143; SFS-EN ISO 14171)

Hitsausjauheella on tärkeä osa hitsaustapahtumassa. Hitsausjauhe on raemaista raekooltaan 0,2 – 1,6 mm mineraalista ja metallista alkuperää olevaa tuotetta. Hitsausjauheen tehtävät ovat (Lukkari, 2002, p. 144):

- kaaritilan ionisointi
- syttymisen parantaminen
- valokaaren vakauttaminen
- kuonan muodostaminen
- hitsisulan ja pisaroiden suojaaminen
- hitsipalon muotoilu
- hitsisulan deoksidointi
- hitsiaineen seostaminen
- hitsiaineeseen vaikuttaminen metallurgisesti

Standardissa SFS-EN ISO 14174 jauheiden luokittelu on jaettu seitsemään osaan (SFS-EN ISO 14174, 2012):

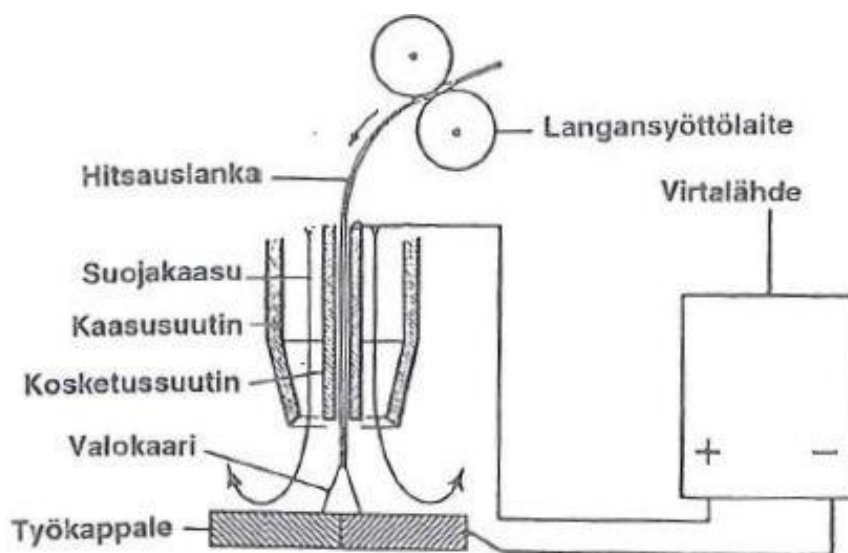
1. tuotteen/prosessin tunnus
2. valmistusmenetelmän tunnus
3. jauhetyypin (kemiallinen koostumus) tunnus
4. jauheluokan tunnus
5. metallurgisen käyttäytymisen tunnus
6. virtalajin tunnus
7. hitsiaineen vetypitoisuuden tunnus

## 5 MIG/MAG-HITSAUS

MIG/MAG-hitsausta (Metal-arc Inert Gas/Metal-arc Active Gas) käytetään paljon hitsaavassa teollisuudessa sen joustavuuden ja monipuolisuuden vuoksi. Lisäksi sen on useimmissa käyttökohteissa tuottavampi prosessi verrattuna puikko- tai TIG-hitsaukseen. MIG/MAG-hitsausta on kehitetty paljon vuosien saatossa, mikä näkyy kehittyneissä hitsauslaitteistoissa ja prosessisovellutuksissa. Eri kaarityyppien vuoksi MIG/MAG-hitsausta voidaan käyttää niin paksujen materiaalien hitsauksessa kuin ohutlevyjenkin. MIG/MAG-hitsaus soveltuu terästen ja useimpien ei-rautametallien hitsaukseen. Tämä kappale on rajattu käsittelemään seostamattoman teräksen MAG-hitsausta. (Lukkari, 2002, pp. 159-177; Suoranta, 2007)

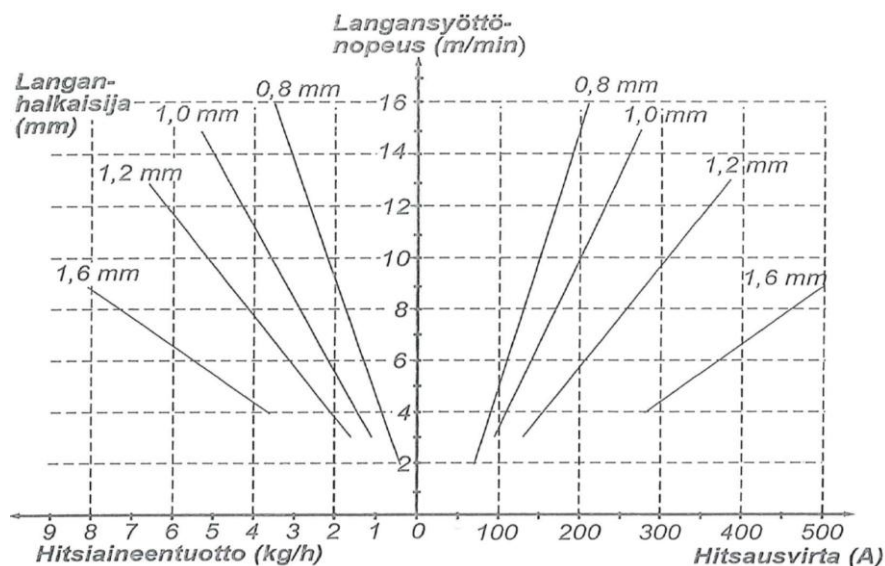
### 5.1 Prosessi

Metallikaasukaarihitsaus eli MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi. Sen numerotunnus on SFS-EN ISO 4063 mukaan 13. Usein kuitenkin puhutaan joko MIG-hitsauksesta (numero 131) tai MAG-hitsauksesta (numero 135), riippuen käytettävästä suojakaasusta. Pääasiassa terästen hitsaus on MAG-hitsausta. MIG/MAG-hitsauksessa valokaari palaa työkappaleen ja lisäainelangan välillä. Hitsaustapahtumaa suojaa suojakaasu, joka on inerttiä MIG-hitsauksessa ja aktiivista MAG-hitsauksessa. Suojakaasu ja lisäainelanka syötetään monitoimijohtoa pitkin, hitsauspolttimen kautta, hitsattavaan kohtaan. Virta johdetaan monitoimijohtoa pitkin hitsauspolttimen kosketussuuttimen kautta hitsauslankaan. Valokaaren syttyminen tapahtuu oikosulun avulla, kun hitsauslanka koskettaa hitsattavaa kappaletta. MIG/MAG-hitsauksen periaate on esitetty kuvassa 21. (Acoff, et al., 2011, pp. 309-317; Lukkari, 2002, pp. 159-162)



**Kuva 21.** MIG/MAG-hitsauksen periaate (Lukkari, 2002, p. 159.)


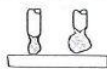



MIG/MAG-hitsauksen hitsiaineentuotto riippuu hitsausvirran lisäksi paljon myös lisäainelangan paksuudesta, suutinetäisyydestä ja lisäainelangan laadusta. 1.0 mm:n lisäainelangalla hitsattaessa hitsiaineentuotto on yleensä 1.5 – 5 kg/h. Kuvassa 22 on esitetty MIG/MAG-hitsauksen hitsiaineentuotto ja hitsausvirta eri langanhalkaisijoilla ja langansyöttönopeuksilla. (Lukkari, 2002, pp. 160-162)



**Kuva 22.** MIG/MAG-hitsauksen hitsiaineentuotto ja hitsausvirta eri langanhalkaisijoilla ja -syöttönopeuksilla (Lukkari, 2002, p. 206.)

### 5.1.1 Kaarityypit

MIG/MAG-hitsauksen kaarityyppejä ovat lyhytkaari, sekakaari, kuumakaari, pitkäkaari ja pulssikaari. Kaarityyppi määräytyy käytettävästä virrasta, jännitteestä ja suojakaasusta. Sula aine siirtyy lisäainelangasta hitsisulaan eri kaarityypeillä eri tavalla. Lyhytkaarella, sekakaarella ja pitkäkaarella hitsattaessa sula siirtyy oikosulkujen avulla. Kuumakaarella ja pulssikaarella hitsattaessa on aineensiirtyminen suihkumaista ilman oikosulkuja. Kuvassa 23 on esitetty eri aineensiirtymistavat eri kaarityypeillä hitsattaessa. (Lukkari, 2002, pp. 167-173)

Kaarityyppi (suoja-kaasu)	Pisarakoko	Pisarakoko ja langanhalkaisija	Aineensiirtyminen
Lyhytkaari (seoskaasu ja CO <sub>2</sub> )	hieno-pisarainen		oikosulkujen avulla
Sekakaari (seoskaasu ja CO <sub>2</sub> )	hieno→suuri-pisarainen		ajoittain oikosulkujen avulla
Kuumakaari (seoskaasu)	erittäin hienopisarainen		ilman oikosulkuja
Pitkäkaari (CO <sub>2</sub> )	suuri-pisarainen		ajoittain oikosulkujen avulla
Sykekaari (seoskaasu)	hieno-pisarainen		ilman oikosulkuja

**Kuva 23.** Aineensiirtymistavat eri kaarityypeillä (Lukkari, 2002, p. 167.)

Lyhytkaari esiintyy pienillä jännite- ja virta-arvoilla. Sitä käytetään lähinnä ohutlevyhitsauksissa ja asentohitsauksissa pienen lämmöntonnuin vuoksi. Lisäämällä virtaa ja jännitettä päästään sekakaarialueelle, joka on virta-alueella noin 120 – 250 A riippuen käytettävästä langanpaksuudesta ja suojakaasusta. Hiilidioksidia käytettäessä alue alkaa jo noin 100 A:sta. Sekakaarialueella hitsaamista yleensä vältetään roiskeisuuden vuoksi. Kuumakaarialue alkaa 1.0 millimetrin langalla noin 200 A:sta. Tällöin jännite on 25 – 30 V. Kuumakaarella hitsatulle hitsille tyypillistä on sileä pinta ja vähäiset roiskeet. Jos käytetään suojakaasuna hiilidioksidia ja hitsataan kuumakaaren virta-alueella, kutsutaan kaarityyppiä pitkäkaareksi. Tällöin aineensiirtyminen tapahtuu oikosulkujen avulla ja tuloksena syntyy karkeapintainen hitsi ja paljon roiskeita. (Lukkari, 2002, pp. 167-173)

Pulssikaarihitsauksessa suhteellisen alhaisen perusvirran päälle syötetään pulssitettua virtaa, jonka huippuvirta on perusvirtaa paljon korkeampi. Pulssitaajuus on yleensä välillä 20 – 400 Hz. Pulssikaarella aineensiirtyminen tapahtuu hallitusti ilman oikosulkuja korkean pulssivirran vuoksi. Pulssikaarta voidaan käyttää suurella virta-alueella, jolloin ohuita materiaaleja voidaan hitsata lyhytkarta suuremmalla hitsiaineentuotolla ja hitsausnopeudella. Pulssikaarella on kuumakaarta pienempi hitsausenergia ja paremmat asentohitsausmahdollisuudet. Pulssikaarella hitsatulle hitsille on ominaista hyvä hitsin ulkonäkö ja vähäiset roiskeet. (Lukkari, 2002, pp. 167-173)

Eri valmistajilla on paljon erilaisia MIG/MAG-prosessisovellutuksia, joilla helpotetaan esimerkiksi juuripalon hitsausta (Kempin FastROOT™), parannetaan hitsauksen laatua ja tuottavuutta (kaksoispulssi- ja yhdistelmäpulssisovellutukset) sekä yksinkertaistetaan hitsausparametrien säätämistä (synergiset säätötekniikat). Suurin osa näistä sovellutuksista perustuu virtalähteiden ohjaustekniikkaan, joka onkin kehittynyt huomasti viime vuosina. MIG/MAG-hitsauksesta on myös kehitetty prosessisovellutuksia, joissa käytetään useampaa lisäainelankaa. Kaksoislankahitsauksessa kahta lankaa syötetään kaksireikäisen kosketussuuttimen läpi samaan sulaan. Langat saavat virtansa samasta virtalähteestä. Tandemhitsauksessa kahdella langalla on omat virtalähteensä ja kosketussuuttimensa. Tandemhitsauksen hitsiaineentuotto voi olla jopa 20 kg/h. (Suoranta, 2007; Lukkari, 2002, pp. 191-192)

## 5.2 Hitsauslaitteisto

MIG/MAG-hitsauksen laitteisto koostuu virtalähteestä, langansyöttölaitteesta, suojakaasupullosta kaasuverkkoliitännästä, monitoimijohdosta, hitsauspolttimesta sekä mahdollisesta jäähdytysyksiköstä. MIG/MAG-hitsaus on helposti mekanisoitavissa tai robotisoitavissa. Hitsauspolttin on helppo asentaa erilaisiin kuljettimiin tai pitimiin kiinni tai kiinnittää robotin käsivarteen. (Acoff, et al., 2011, pp. 314-316; Lukkari, 2002, pp. 177-190)

Nykyaikaiset virtalähteet ovat tasasuuntaajia tai inverttereitä. Virtalähteen ominaiskäyrä on lievästi laskeva eli virtalähde on vakiojännitteinen. Tämä tekee mahdolliseksi valokaaren vakiona pysymisen eli itsestäänsäätymisen hitsauspolttimen ja työkappaleen etäisyyden vaihdellessa.



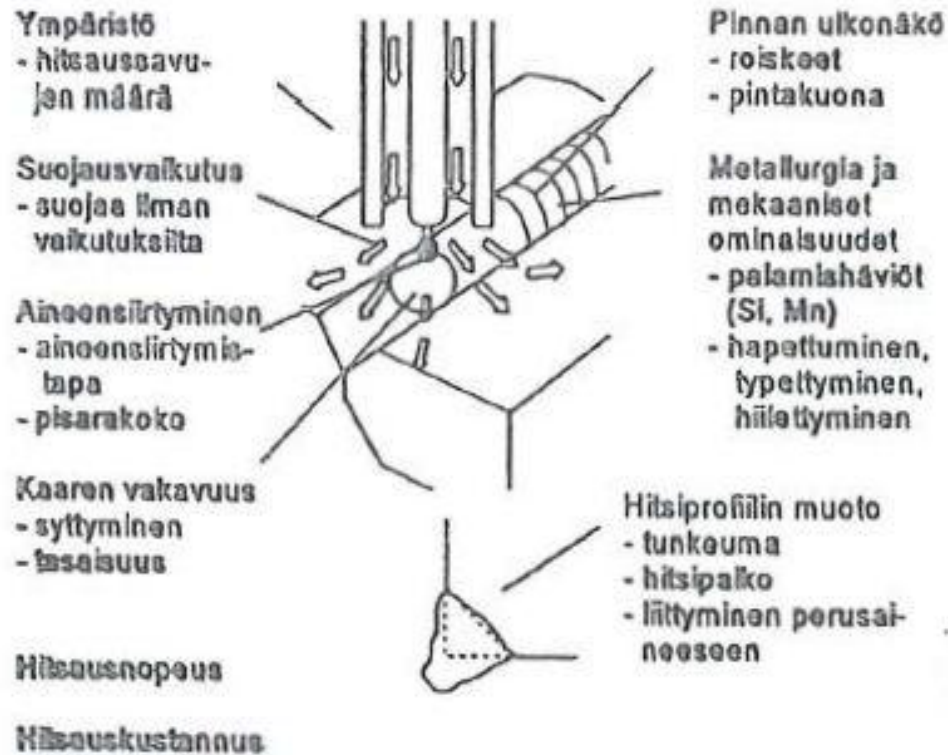
Langansyöttölaitteen tehtävä on syöttää lisäainelankaa monitoimijohdon kautta hitsauspolttimeen. Langansyöttönopeus perinteisessä MAG-hitsauksessa on 2 - 18 m/min, suurtehoprosesseissa se voi olla jopa 50 m/min. Hitsauspoltin on laite, jonka läpi hitsauslanka ja suojakaasu syötetään. Virta ohjataan hitsauspolttimen virtasuuttimen läpi hitsauslankaan ja suojakaasu ohjataan hitsauspolttimen kaasusuuttimen kautta hitsaustapahtumaan. Hitsauspolttimessa on painike, jolla hitsaaja käynnistää ja pysäyttää hitsauksen. Poltin on jäähdytetty joko suojakaasun tai erillisen jäähdytysjärjestelmän avulla. Hitsauspolttimia on saatavilla paljon erilaisia eri valmistajilla. Monitoimijohto toimii johtimena virtalähteen, langansyöttölaitteen, suojakaasulähteen ja hitsauspolttimen välillä. Valmistajilla on erilaisia hitsauslaitekokonaisuuksia, joissa virtalähde, langansyöttölaitteisto ja jäähdytys on integroitu yhteen yksikköön. Nämä voivat olla myös erillään. (Lukkari, 2002, pp. 177-190)

### 5.3 Hitsausaineet

MIG/MAG-hitsauksen lisäaineita ovat lisäainelanka ja suojakaasu. Käytetyimmät lisäainelankojen paksuudet ovat 0,8, 1,0 ja 1,2 mm. Langanpaksuus vaikuttaa käytettävään hitsausvirtaan ja saatavaan hitsiaineentuottoon. Seostamattoman ja niukkaseosteisen teräksen hitsaukseen käytettäviä lisäainelankoja valmistetaan kuparipäällysteisenä ja kuparitoimittomina, ja niitä toimitaan erikokoisissa keloissa (esimerkiksi 20 kg) tai suurpakkauksissa. (Lukkari, 2002, pp. 192-204)

Suojakaasun tehtävä on hitsauksessa suojata hitsisulaa ja kaaritilaa ilman hapettavalta vaikutukselta. Suojakaasun valinnalla ja virtauksella voidaan vaikuttaa hitsaustapahtumaan (kuva 24). Inerttejä eli kemiallisesti hitsisulan kanssa reagoimattomia kaasuja ovat argon ja helium, ja niitä käytetään MIG-hitsauksessa. Hapettavia, hitsisulan kanssa reagoivia kaasuja ovat hiilidioksidi ja happi. MAG-hitsauksen suojakaasuna käytetään hiilidioksidia tai seoskaasuja. Hiilidioksidi on seoskaasuja halvempaa, mutta hitsauksessa muodostuu enemmän roiskeita. Kuumakaari- tai pulssikaarihitsaus ei ole mahdollista pelkkää hiilidioksidia käytettäessä. Seoskaasuissa on argonin lisäksi joko hiilidioksidia, happea tai molempia. Seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen MAG-hitsauksessa käytetään paljon seoskaasuja, jotka sisältävät argonin lisäksi 5 – 25 % hiilidioksidia, lisäksi voi olla seostettuna 5 % happea. Hiilimonoksidia

voidaan käyttää suojaakaasuissa (noin 0.03 %) alentamaan hitsaussavujen otsonin määrää. (Lukkari, 2002, pp. 192-204)



**Kuva 24.** Suojaakaasun tehtävät ja vaikutukset MIG/MAG-hitsauksessa (Lukkari, 2002, p. 197.)

#### 5.4 Hitsausparametrit

Hitsausparametrit vaikuttavat hitsin muotoon ja tunkeumaan, hitsiaineentuottoon, lämmöntuontiin, syntyvien roiskeiden määrään ja hitsin ulkonäköön. MIG/MAG-hitsauksessa hitsausparametrit voidaan jakaa neljään osaan: (Acoff, et al., 2011, pp. 309-317; Lukkari, 2002, pp. 204-216)

- hitsausaineisiin liittyvät parametrit
- laitteiston asetuksiin liittyvät parametrit
- hitsauspolttimen käsittelyyn liittyvät parametrit
- muista asioista riippuvat parametrit

Hitsausaineisiin liittyviin parametreihin lukeutuvat suojakaasun koostumus sekä hitsauslangan tyyppi ja paksuus. Laitteiston asetusten parametreja ovat: suojakaasun virtausnopeus, langansyöttönopeus, käytettävä napaisuus, hitsausjännite sekä pulssivirta ja pulssitaajuus. Hitsauspistoolin käsittelyyn liittyvät parametrit ovat kosketinsuutinetäisyys, kuljetusnopeus, kuljetustapa ja hitsausasento. Hitsausvirta voidaan käsittää muista asioista riippuviin muuttujiin, koska se riippuu monesta tekijästä kuten langansyöttönopeudesta, langan paksuudesta ja kosketinsuutinetäisyydestä. Kaarityypit lukeutuvat myös muista asioista riippuviin hitsausparametreihin. (Acoff, et al., 2011, pp. 309-317; Lukkari, 2002, pp. 204-216)

## 6 HITS AUS JUURITUKEA VASTEN

Juuritukea käytetään, kun hitsaus suoritetaan läpihitsauksena yhdeltä puolelta. Juurituki tukee, suojaa ja muotoilee hitsisulaa juuren puolelta. Juurituen avulla varmistetaan juuren läpihitsautuminen ilman sulan valumista tai vajaata juurta. Suuritehoisissa mekanisoiduissa hitsausmenetelmissä, kuten jauhekaarhitsaus, juurituenta on välttämätöntä läpihitsattaessa päittäisliitoksia yhdeltä puolelta. Juuritukea käytettäessä voidaan hitsisula pitää suurena ja näin varmistaa liitoksen läpihitsautuminen. (Tekninen tiedotus 10/86, p. 65; Tekninen tiedotus 11/79, p. 1)

Juurituenta voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Ilman erillistä juuritukea juurituenta voidaan varmistaa riittävällä juuripinnalla hitsausrailossa. Jos esimerkiksi päittäishitsin läpihitsautuminen halutaan varmistaa yhdeltä puolelta hitsattaessa, voidaan juurituenta järjestää seuraavilla tavoilla (Tekninen tiedotus 11/79, p. 65):

- levy tai muu kiinteä juurituki, joka jää osaksi hitsausliitosta
- kuparinen kisko
- hitsausjauhe
- lasikuitunauhat ja folionauhat
- yhdistelmäjuurituki
- keraaminen juurituki

Kiinteä juurituki on levyn suikale tai lattatanko, joka sulaa hitsattaessa kiinni liitokseen. Kiinteä juurituki jätetään kiinni liitokseen, tai se voidaan koneistaa irti. Se on helppo asentaa, koska se voidaan kiinnittää hitsaamalla kiinni tiiviisti juuripintaa vasten. Kiinteän juurituen materiaalin tulee olla hitsattavaa perusaineen materiaalin kanssa, koska se sulaa osittain liitokseen. (Tekninen tiedotus 10/86, p. 66)

Kupari toimii juurituen materiaalina hyvin korkean sulamispisteen ja erittäin hyvän lämmönjohtavuuden vuoksi. Kuparista kiskoa painetaan juuripintaa vasten ja kiskoon voidaan

tehdä matala ura hitsin juurenpuolen muotoutumista helpottamaan. Kuparikiskon urassa voidaan käyttää myös hitsausjauhetta suojaamaan juurta. Kuparin sulamista ja seostumista hitsiin täytyy varoa; kuparikiskon täytyy olla riittävän paksu ja leveä ja kiskoa voidaan myös jäähdyttää vesikierrolla. Liian suuri jäähdytys voi kuitenkin myös jäähdyttää hitsiä ja muuttaa hitsin mekaanisia ominaisuuksia. Kupariset juurituot ovat perinteisesti kuparikiskoja, joita käytetään tasomaisten kappaleiden hitsauksessa (esimerkiksi levyjen päittäishitsauksessa). Putkien hitsauksessa voidaan myös käyttää kuparista juuritukea. Putkien hitsauksessa käytettävä juurituki voi toimia samalla putkien keskittäjänä ja kiinnittimenä, eikä silloitushitsausta tarvita. (Tekninen tiedotus 10/86, p. 67; Tekninen tiedotus 11/79, p. 3; Hahn, 2004)

Erilaisia lasikuitunauhoja, folionauhoja ja yhdistelmäjuuritukia voidaan käyttää juurituennassa. Nauhat ovat helppoja ja joustavia asentaa. Ne painetaan juuripintaa vasten esimerkiksi kupari- tai alumiinilevyn avulla. Erilaiset juuritukiteipit voidaan kiinnittää juuripintaa vasten niiden liimapinnan avulla. Yhdistelmäjuurituot koostuvat useasta osasta, joista yleensä juuripintaa vasten oleva sulaa osittain tai kokonaan suojaten hitsisulaa. (Tekninen tiedotus 10/86, p. 67; Tekninen tiedotus 11/79, pp. 4-9)

Keraamiset palat kestävät hyvin kuumuutta, minkä vuoksi ne toimivat hyvin juuritukena. Keraamisia juuritukia on paljon erilaisia ja ne voivat olla kiskomaisia tai putkimaisia. Ne asetetaan juurenpuolelle ja painetaan juuripintaa vasten samalla tavoin kuin kuparinen juurituki. Keraamiset palat voidaan kiinnittää hitsattaviin kappaleisiin esimerkiksi magneettien, ruuvien ja teippien avulla. (Tekninen tiedotus 10/86, pp. 67-68; Tekninen tiedotus 11/79, pp. 6-8)

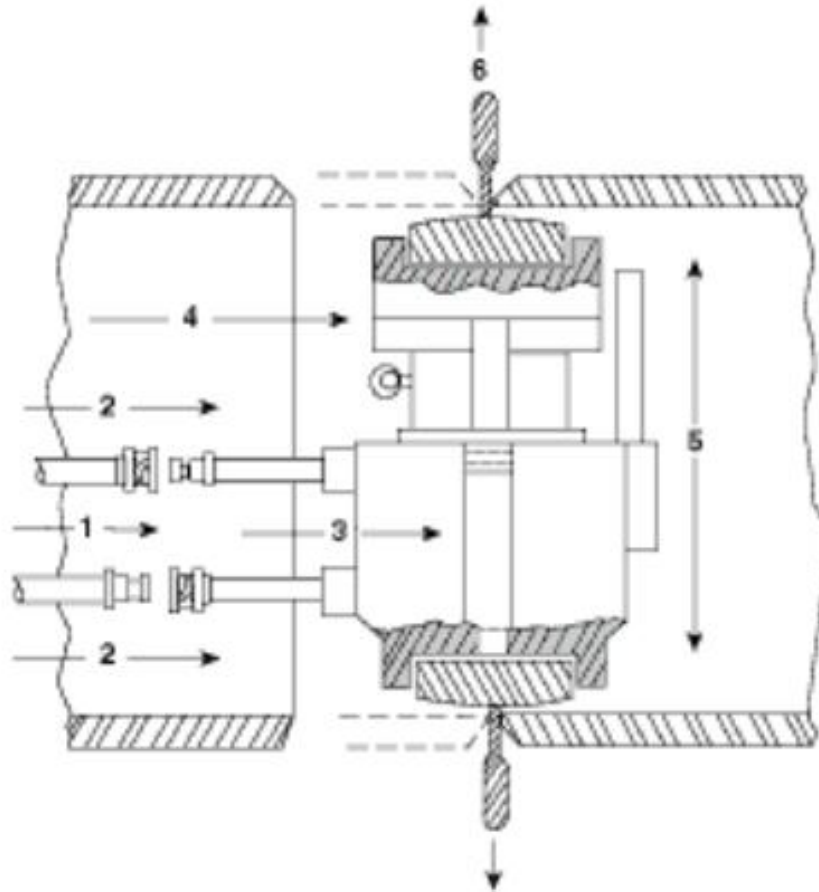
### 6.1 Sylinterimäisten kappaleiden juurituenta

Putkien päittäisliitoksen hitsauksen apuvälineenä voidaan käyttää putkien sisäpuolelle asennettavaa hydraulisesti tai pneumaattisesti toimivaa juuritikilaitetta. Laitteessa olevien kuparisten juuritukien ulkopuolinen halkaisija on hyvin lähelle hitsattavien putkien sisäpuolista halkaisijaa. Laite asetetaan ensin toisen putken sisään hitsausrillon kohdalle, jonka jälkeen toinen putki asetetaan kohdalleen. Kun putkien railopinnat ovat vastakkain, laitteen hydraulinen voima työntää kuparipaloja ja näin suurentaa niiden ulkohalkaisijaa. Kupariset juuritukipalat painuvat putken sisäseinämää vasten ja samalla keskittää putket toisiinsa nähden. Hydraulisesti toimiva

putkien päittäisliitoksen hitsauksen juuritukilaite on esitetty kuvassa 25. Laitteen toiminta on esitetty tarkemmin kuvassa 26. (Hahn, 2004)



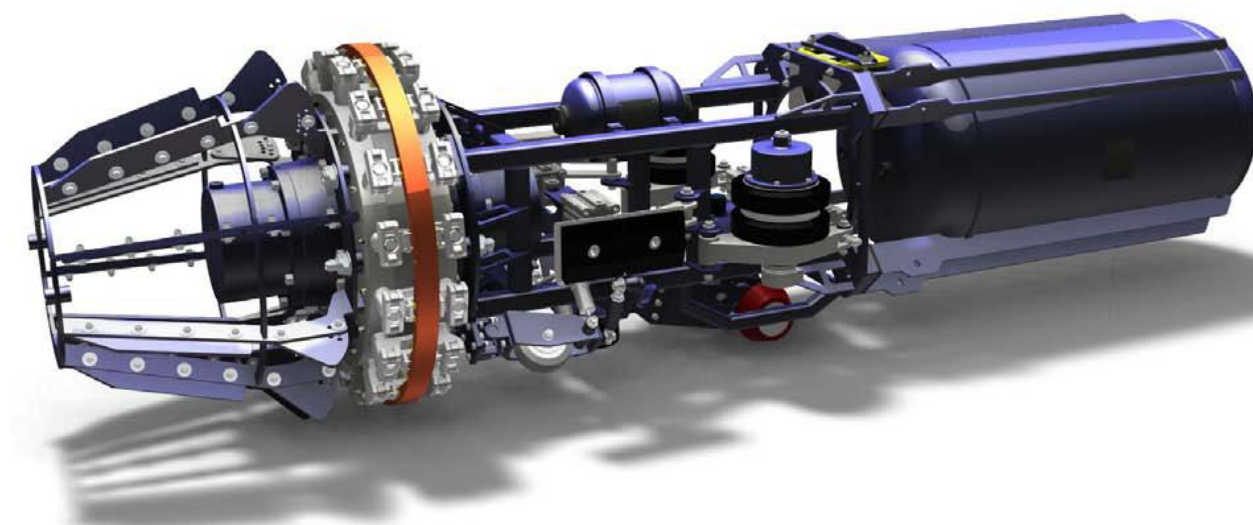
**Kuva 25.** Hydraulisesti toimiva putkien päittäisliitoksen hitsauksen juuritukilaite (Hahn, 2004.)



**Kuva 26.** Hydraulisen, putken päittäisliitoksen, juuritukilaitteen toimintaperiaate. Kuvassa kohdat 1 – 6: 1. hydrauliletkut työnnetään liitettävän putken sisälle, 2. hydrauliletkut liitetään juuritukilaitteeseen, 3. juuritukilaite paikoitetaan hitsausrailon kohdalle, 4. liitettävä putki asetetaan oikealle paikalleen liitoksen nähden, 5. hydraulisylinteri työntää kupariset palat kiinni putken sisäseinämää, 6. ulkopuolinen pidike poistetaan. (Hahn, 2004)

Kaasuputkien putkilinjojen rakennuksessa on käytetty hitsauksen apuna pneumaattisesti tai hydraulisesti toimivaa juuritukilaitetta, joka keskittää putket ja toimii putken sisäpuolisena juuritukena. Laitetta voidaan vetää putken sisässä tai se voi kulkea pyörien varassa, ja siten laite siirtyy hitsauksen jälkeen aina seuraavan liitoksen kohdalle. Laitteessa olevat kupariset palat työntyvät putkien sisäpintaa vasten hydraulisesti tai pneumaattisesti toimivien sylinterien avulla samalla periaatteella kuin kuvassa 25 on esitetty. Kuparipalat työntyessään keskittävät putket samankeskisiksi. Laite ohjataan tarkasti hitsausrailon kohdalle juuripintaa vasten, ja se toimii

samalla hitsauksessa juuritukena. RMS Welding Systems –yrityksen valmistama putkilinjan sisällä liikkuva juuritukilaite on esitetty kuvassa 27. (Lukkari, 2007; RMS Welding Systems, 2013)



**Kuva 27.** Putkilinjan sisällä liikkuva juuritukilaite (RMS Welding Systems, 2013.)



## 7 HITSUKSEN LAATU JA LAADUNHALLINTA

Hitsauksen laadulla vaikutetaan monella tapaa kustannuksiin. Huono laatu vähentää kannattavuutta ja yrityksen luotettavuutta, kun hitsejä korjailaan, toimitusajat viivästyvät ja asiakkaalle maksetaan sakkoja. Luonnollisesti huonolaatuisesta tuotteesta ei saada yhtä suurta hintaa kuin hyvälaatuisesta. Myöskään ylilaatuisia tuotteita ei kannata tehdä, koska silloin valmistuskustannukset nousevat ja vähentävät kannattavuutta. Kannattavuutta huomioitaessa tärkeää on määrittää hitseille tuotteen kannalta sopiva laatu, joka pyritään saavuttamaan sopivin laadunhallintakeinoin. (Savolainen, 2009)

Laadunhallinnan kannalta tärkeää on pitää henkilöstö ajan tasalla koulutuksilla ja pätevöinnillä. Laadunhallinta lähtee yrityksessä johtajatasolta, joka esimerkeillään ja päätöksillään asettaa oikean toimintamallin ja tavoitteet. Laadunhallintaa varten on kehitetty standardeja, joista hyvä esimerkki on laadunhallintastandardi SFS-EN ISO 9001. Sen yritys voi sertifioida osoittamaan laatuasioidensa olevan standardin mukaista. Hitsauksen laatuvaatimusten määrittämisessä hyvä työkalu on standardisarja SFS-EN ISO 3834. Sen avulla valmistaja voi osoittaa kykynsä valmistaa määritettyä laatua vastaavia tuotteita. Standardisarja on jaoteltu viiteen osaan (Toikka, 2008; SFS-EN ISO 3834-1; SFS-EN ISO 9001):

- tarkoituksenmukaisen laatuvaatimustason valintaperusteet (ISO 3834-1)
- kattavat laatuvaatimukset (ISO 3834-2)
- vakiolaatuvaatimukset (ISO 3834-3)
- peruslaatuvaatimukset (ISO 3834-4)
- asiakirjat, jotka tarvitaan standardien ISO 3834-2, ISO 3834-3 tai ISO 3834-4 mukaisten laatuvaatimusten osoittamiseksi (ISO 3834-5)

Hitsauksen laadunhallintaan liittyy monia asioita, jotka huomioonottamalla voidaan varmistua tavoitteellisen laadun saavuttamisesta. Näitä asioita ovat (SFS-EN ISO 3834-1; Toikka, 2008):

- vaatimusten katselmus ja tekninen katselmus
- alihankinta

- hitsaus- ja tarkastushenkilöstö
- tuotanto- ja testauslaitteet
- tuotantosuunnitelma
- hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä
- hitsausaineiden testaus, käsittely ja varastointi
- perusaineen varastointi
- hitsien lämpökäsittelyt
- tarkastus ja testaus
- poikkeamat ja korvaavat toimenpiteet
- mittaus- tarkastus ja testauslaitteiden kalibrointi ja kelpuus
- tunnistettavuus ja jäljitettävyys sekä laatuasiakirjat

### 7.1 Jauhekaarihitsauksen laatu

Jauhekaarihitsauksessa tärkeää laadun kannalta on lisäaineiden puhtaus, johon liittyy oleellisesti niiden varastointi ja käsittely. Lisäaineita ei tule käsitellä paljain käsin ja ne tulee varastoida kuivassa paikassa hyvin suojattuna. Oikeanlainen varastointi pätee myös jauheisiin. Jauheita ei tule käyttää montaa kertaa uudelleen. Myös hitsattavien pintojen puhtauteen tulee kiinnittää huomiota; lika ja kosteus on poistettava railopinnoilta. Liitosvirheitä voi syntyä väärän hitsauslangan kohdistuksen vuoksi. Hitsauslangan kohdistusta oikeaan kohtaan railossa vaikeuttaa hitsausjauhe. (Holmström, 2007a; Holmström, 2007b)

Kuparista juuritukea vasten hitsatessa täytyy varoa kuparin suotautumista hitsiin hitsattaessa liian suurilla virta-arvoilla. Kuonan poisto on tärkeää monipalkohitsauksessa jauhekaarella. Tähän liittyy oikeiden hitsausparametrien ja sopivan lisäainelanka-jauhe-yhdistelmän käyttö, millä edesautetaan kuonan irtoamista. Jauhekaarihitsauksessa on usein kuumahalkeamavaara, johon voidaan vaikuttaa perusaineen ja hitsausaineiden valinnan lisäksi palkomuodolla (kuumahalkeama on käsitelty erikseen kappaleessa 3.1). Oikeaoppisella hitsaustekniikalla vältetään hitsausvirheitä, jotka ovat lueteltu standardissa SFS-EN ISO 5817. (Holmström, 2007a; Holmström, 2007b; SFS-EN ISO 5817)

## 7.2 MAG-hitsauksen laatu

MAG-hitsauksessa suojakaasun virtauksella on erittäin suuri merkitys laatuun. Vetoisissa paikoissa, kuten ulkotiloissa ja ulko-ovien lähistöllä hitsaaminen voi aiheuttaa suojakaasun virtaamisen sulan ohi, jolloin hitsaustapahtuma ei saa tarvittavaa kaasusuoja. Huono kaasusuoja aiheuttaa huokosia ja hapettumia hitsiin. Liian suuri suojakaasun virtaus voi aiheuttaa myös kaasusuojan pettämisen. Huokosia syntyy myös vanhoista ja likaisista lisäaineista sekä epäpuhtaista railopinnoista. (Holmström, 2007a; Holmström, 2007b; Lukkari, 2002, pp. 210-221)

Kuparisulkeumia voi syntyä MAG-hitsauksessa, jos käytetään liian suuria hitsausvirtoja kuparista juuritukea vasten hitsattaessa. Myös kuparisen kosketinsuuttimen liian suuri lämpeneminen voi aiheuttaa kuparisulkeumia hitsiin. Väärä hitsauslangan kohdistus railoon nähden voi aiheuttaa liitosvirheitä railon kylkiin suurillakin virroilla hitsattaessa. (Holmström, 2007a; Holmström, 2007b)

MAG-hitsauksessa syntyy usein roiskeita, joiden poistaminen kappaleen pinnoilta on työlästä. Roiskeet voivat tukkia kaasusuutinta sekä tarttua virtasuuttimen ja kaasusuuttimen väliin aiheuttaen hitsaustapahtuman keskeytymisiä. Eniten roiskeita esiintyy hitsattaessa sekakaari- ja pitkäkaarialueella. Roiskeiden määrään voidaan myös vaikuttaa suojakaasun koostumuksella sekä railopintojen ja perusaineiden puhtaudella. (Lukkari, 2002, pp. 217-218)

## 7.3 Hitsiluokat

Hitsiluokka kuvaa tuotannossa valmistettavan hitsin laatua. Hitsiluokka valitaan ennen hitsauksen aloittamista. Hitsiluokka voidaan määritellä sovellusstandardissa, sen voi päättää viranomainen tai suunnittelija yhdessä valmistajan, asiakkaan tai muun osapuolen kanssa. Hitsiluokka valitaan sovelluskohtaisesti, ja sen valinnassa tulee ottaa huomioon liitokseen kohdistuvat kuormitukset, tuotteen käyttöolosuhteet sekä kustannukset. Standardi SFS-EN ISO 5817 määrittää kolme hitsiluokkaa, jotka kuvaavat hitsin laatua tiettyjen hitsausvirheiden koon, määrän ja tyyppien perusteella. Nämä hitsiluokat ovat B, C ja D. Vaativin luokista on B, seuraavaksi vaativin C ja vähiten vaativa D. Hitsiluokkaa C vastaa hyvää konepajatasoa. Standardissa ISO 5817 on määritetty hitsiluokkien hitsausvirheille asettamat raja-arvot. (SFS-EN ISO 5817; Holmström, 2007a)

Hitsausvirheet voidaan erotella liitoksen sisäisiksi virheiksi ja pinnassa oleviin virheisiin. Taulukossa 1 on esitetty sisäiset ja pinnassa olevat hitsausvirheet, joiden raja-arvoja eri hitsiluokille ISO 5817 määrittää. (Holmström, 2007a)

*Taulukko 1. Liitoksen sisäiset ja pinnassa olevat hitsausvirheet (Holmström, 2007a)*

<b>Liitoksen sisäiset virheet</b>	<b>Pinnassa olevat virheet</b>
Ontelomaiset virheet	Avohuokonen
Pallomaiset ja pitkänomaiset huokokset	Jäännöskuona
Kutistumisontelot	Liitosvirhe
Sulkeumat	Vajaa hitsautumissyvyys
Kuonasulkeumat	Halkeama
Metallisulkeumat	Reunahaava
Liittymävirheet	Muotovirheet
Liitosvirheet	Muut pintavirheet
Vajaa hitsautumissyvyys	
Halkeamat	

Vaaditun laadun toteutumisen varmistumiseksi hitseille tehdään tarpeelliset rikkomattomat testaukset. Testauksen laajuus vaihtelee ja sen määrää sovellusstandardi, viranomainen tai se sovitaan eri osapuolten kesken. Testauslaajuus voi olla esimerkiksi osalle hitseistä 100 % tai vaikka kaikille hitseille 50 %, riippuen kohteen vaativuudesta. Konepajoissa paljon hitsattavaa hitsiluokkaa C tarkastetaan usein tarkastuslaajuudella 10 % (esimerkiksi ultraäänitarkastuksella). Silmämääräinen tarkastus suoritetaan usein 100 % kaikille hitseille. (Lukkari, 1/2000)

Hitsiluokan valintaan vaikuttaa paljon liitokseen kohdistuvat kuormitukset. Liitokseen vaikuttaessa dynaaminen kuorma, on usein syytä valita B hitsiluokaksi. Staattisesti kuormitettujen liitosten hitseille valitaan C tai D hitsiluokaksi. Liitokselta voidaan hitsiluokan lisäksi asettaa erityisvaatimuksia, esimerkiksi erilaisia kosmeettisia vaatimuksia. (Lukkari, 1/2000)

#### 7.4 Hitsausohje

Hitsausohje WPS (Welding Procedure Specification) on asiakirja, joka sisältää kaikki tarvittavat tiedot tietyn hitsaussovellutuksen toistettavuuden varmistamiseksi. Hitsausohje luo perustan hitsauksen toteutukselle, hitsin vaatimuksille ja laadunvalvonnalle, mutta ei vielä takaa näiden täyttymistä. Hitsausohjeen käyttö auttaa paljon hitsin laadunvarmistuksessa ja takaa hitsaustiedon pysymisen yrityksessä. Standardissa SFS-EN ISO 15607 on annettu yleisohjeet hitsausohjeille ja niiden hyväksyntään metalleille. Standardi määrittelee menettelytavat hitsausohjeiden hyväksymiselle ja hyväksymistä koskevat vaiheet. Standardi ei määrittele, milloin hitsausohje on laadittava. Sen käyttö on aina suositeltavaa, ja viranomainen, tilaaja tai tuotestandardi voi sitä vaatia. (Lukkari, 2002, p. 55; SFS-EN ISO 15607)

#### 7.5 Hitsausohjeen hyväksyntä

Hitsausohje tulee hyväksyä ennen hitsauksen tuotannon aloitusta. Liitteessä 1 on esitetty kulkukaavio hitsausohjeiden laatimiselle ja hyväksymiselle. Hitsausohjeen hyväksymisprosessi aloitetaan alustavan hitsausohjeen pWPS laatimisella. Alustavan hitsausohjeen laatii valmistaja aikaisemman hitsauskokemuksen ja asiantuntemuksen pohjalta. Alustava hitsausohje toimii perustana hyväksymispöytäkirjan WPQR laatimiselle. WPQR laaditaan jollakin seuraavista hyväksymistavoista (SFS-EN ISO 15607):

- menetelmäkokeella
- testattujen hitsausaineiden avulla
- aikaisemman hitsauskokemuksen perusteella
- standardihitsausohjeella
- esituotannollisella kokeella

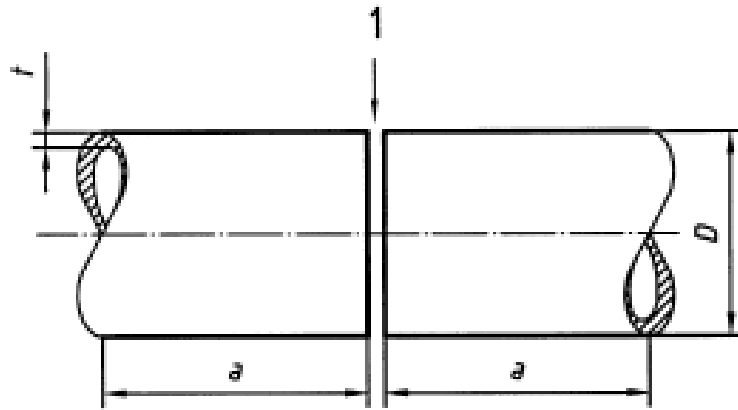
Tarvittavat koekappaleiden hitsaukset suoritetaan alustavan hitsausohjeen mukaisesti. Hyväksymispöytäkirjan avulla laaditaan tuotantohitsausta varten hitsausohje. Yksinkertaistettuna siis hitsausta varten laadittu hitsausohje on alustava niin kauan kunnes hyväksymispöytäkirjan avulla se voidaan hyväksyä tuotannon hitsausohjeeksi. (SFS-EN ISO 15607)

Standardi SFS-EN ISO 15609-1 määrittelee kaarihitsausprosessien hitsausohjeen sisältövaatimukset. Standardin mukaan hitsausohje tulee sisältää seuraavat asiat (SFS-EN ISO 15609-1):

- valmistajakohtaiset tiedot
- perusainekohtaiset tiedot
  - perusainetyyppi
  - mitat
- hitsausmenetelmiä koskevat tiedot
  - hitsausprosessi ja -asento
  - liitoksen rakenne ja railomuoto
  - hitsauksen suoritustekniikka
  - juuren avaus ja juurituki
  - hitsausaineet ja –arvot sekä suojakaasu
  - hitsauksen mekanisointi/automatisointi
  - esikuuminen, välipalko- ja ylläpitolämpötila
  - jälkikäsittelyt
  - lämmöntuontialue
- hitsausprosessiryhmää koskevat tiedot

#### 7.5.1 Hitsausohjeen hyväksyntä menetelmäkokeella

Hitsausohje voidaan hyväksyä menetelmäkokeen avulla teräksien kaasu- ja kaarihitsaukselle sekä nikkelin ja nikkeliseosten kaarihitsaukselle, kun hitsaus ja testaus suoritetaan standardin SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2 mukaisesti. Standardi määrittää koekappaleiden mitat ja vaadittavat rikkovat- ja rikkomattomat aineenkoetukset koekappaleille. Testauksen laajuus määräytyy käytettävän liitosmuodon sekä perusaineen paksuuden ja materiaaliryhmän perusteella. Standardi määrää myös hitsauksen pätevyysalueet. Läpihitsatun päittäisliitoksen putkikoekappale on esitetty kuvassa 28. Hitsaus ja railonvalmistus suoritetaan alustavan hitsausohjeen (pWPS) mukaan. (SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2)



**Kuva 28.** Läpihitsatun päittäisliitoksen putkikoeappale. Kuvassa  $a$  = vähintään 150 mm,  $D$  = putken halkaisija,  $t$  = putken ainepaksuus, 1 = railon valmistus ja sovitus pWPS:n mukaan (SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2.)

Hitsatuille koekappaleille suoritetaan testaukset, jotka käsittävät rikkovan ja rikkomattoman aineenkoetuksen. Suoritettavat testit vaihtelevat hitsausliitoksen mukaan. Tuotestandardi voi vaatia lisätestauksien tekoa. Testauksen laajuus läpihitsattujen päittäisliitosten putkikoeappaleille on esitetty taulukossa 2. Hitsauksessa käytettävien metallisten materiaalien perusaineryhmät ja -alaryhmät on määritetty standardissa SFS-EN ISO 15608. Tässä työssä käytettävän materiaalin S355J2 perusaineryhmä on standardin SFS-EN ISO 15608 mukaan 1, tarkemmin se on luokiteltu alaryhmään 1.2. (SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2; SFS-EN ISO 15608)

Taulukko 2. Lämpihitsattujen päittäisliitosten putkikoekappaleiden testauslaajuus (mukaillen SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2.)

Testaus	Testauksen laajuus	Alahuomautus
Silmämääräinen tarkastus	100 %	-
Radiografia tai ultraäänitarkastus	100 %	A
Pintahalkeamien tarkastus	100 %	B
Poikittainen vetokoe	2 koesauvaa	-
Poikittainen taivutuskoe	4 koesauvaa	C
Iskukoe	2 sarjaa	D
Kovuuskoe	Vaadittu	E
Makrohietutkimus	1 hie	-

A = Ultraäänitarkastusta ei suoriteta, kun  $t < 8$  mm eikä perusaineryhmille 8, 10, 41...48 (SFS-EN ISO 15608)

B = Tunkeumanestetarkastus tai magneettijauhetarkastus. Epämagneettisille materiaaleille tunkeumanestetarkastus.

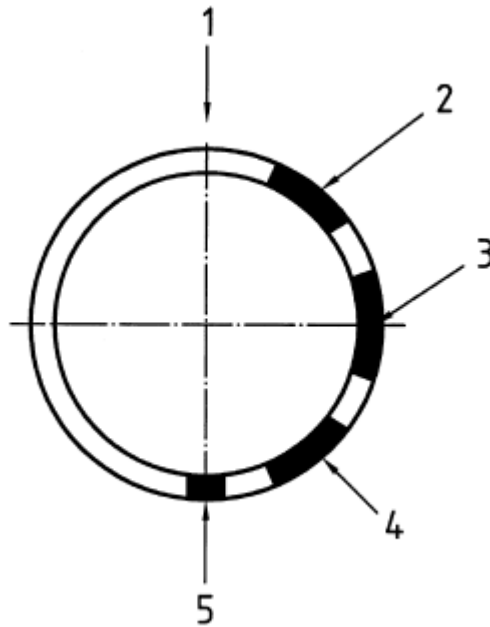
C = Standardissa SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2 on tarkemmat huomautukset.

D = 1 sarja hitsistä ja 1 sarja muutosvyöhykkeestä, kun  $t \geq 12$  mm. Testauslämpötilan valitsee valmistaja.

E = Ei vaadita perusainelaryhmälle 1.1 eikä ryhmille 8, 10, 41...48.

Ennen koesauvojen irrottamista rikkovaa aineenkoetusta varten tulee koekappaleille suorittaa kaikki vaaditut rikkomattomat aineenkoetukset. Lämpihitsatuille päittäisliitosten putkikoekappaleille suoritettavat rikkomattomat ja rikkovat aineenkoetusmenetelmät on esitetty myöhemmin tässä työssä. Koesauvat irrotetaan lämpihitsatun päittäisliitoksen putkikoekappaleesta kuvan 29 mukaisesti, kun putki on kiinteä ja hitsaus suoritetaan kaikista asennoista. Jos hitsaus suoritetaan vaaka-asennosta pyörivään putkeen, saadaan hyväksyntä vain kyseiseen hitsausasentoon. Tällöin koesauvat voidaan irrottaa mistä kohdasta putken hitsiä tahansa. (SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2)





**Kuva 29.** Koesauvojen irrotuskohdat päittäishitsauksen putkikoe-kappaleessa, kun putki on asennettu kiinteäksi. Kuvassa 1 = putken yläpinta, 2 = veto- ja taivutuskoesauvojen irrotuskohta, 3 = isku- ja lisäkoesauvan irrotuskohta, 4 = veto- ja taivutuskoesauvojen irrotuskohta, 5 = makrohieen ja kovuuskoesauvan irrotuskohta (SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2.)

#### 7.5.2 Hitsausohjeen hyväksyntä muilla tavoilla

Hitsausohje voidaan hyväksyttää käyttämällä hyväksytyjä lisäaineita. Tätä hyväksymistapaa voidaan käyttää perusaineille, joiden muutosvyöhykkeellä ei tapahdu merkittävää ominaisuuksien heikkenemistä. Tällaisia teräksiä ovat teräkset, joiden ylempi myötöraja  $\leq 275 \text{ N/mm}^2$ , sekä austeniittiset ruostumattomat teräkset, joissa  $\text{Cr} \leq 19 \%$ . Perusaineen paksuus täytyy olla  $3 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$  ja pienahitsin a-mitta  $\geq 3 \text{ mm}$ . Hitsattaessa putkea tulee putken ulkohalkaisijan olla  $> 25 \text{ mm}$ . (SFS-EN ISO 15610)

Hitsausohjeen hyväksyntää testattujen hitsausaineiden avulla voidaan käyttää, kun noudatetaan hitsausainevalmistajan ohjeita hitsauksessa. Hitsausaineiden käyttö rajataan hitsausainevalmistajan kaupanimeen, ja hitsauksessa käytetään hitsausainevalmistajan suosituksia hitsausasennoille ja -prosessille. Hyväksymispöytäkirjaa varten tarvitaan alustavan

hitsausohjeen olosuhteita tukeva kopio hitsausainevalmistajan luettelosta ja todistus, että lisäaine on testattu standardin mukaisesti. (SFS-EN ISO 15610)

Hitsausohje voidaan hyväksyä aikaisemman hitsauskokemuksen perusteella, jos valmistaja pystyy osoittamaan dokumentein, että on aikaisemmin hitsannut kyseisiä materiaaleja ja liitosmuotoja tyydyttävin tuloksin. Valmistajalla tulee olla dokumentit, josta selviää tuotteen ominaisuudet ja suoritettut hitsauskokeet. Lisäksi valmistajalla tulee olla yhteenveto hitsaavasta tuotannosta tietyinä ajanjaksona. (SFS-EN ISO 15611)

Hitsausohje voidaan hyväksyä standardihitsausohjeeksi, kun hitsausmenetelmälle on suoritettu standardin SFS-EN ISO 15614 mukainen testaus ja tarkastus. Tämä tarkoittaa tarvittavien rikkomattomien ja rikkovien aineenkoetusmenetelmien suoritusta koekappaleille. Hitsausohjeen hyväksymisen tulee suorittaa standardin SFS-EN ISO 15607 mukainen tarkastusorganisaatio tai kokeen valvoja. Hitsausohjeeseen määritetään pätevyysalue, jonka ulkopuolella toiminta vaatii uuden hyväksynnän. Standardihitsausohjetta voidaan käyttää jatkossa ilman lisätestejä. (SFS-EN ISO 15612)

Hitsausohjeen hyväksyntää esituotannollisella kokeella käytetään, kun standardissa SFS-EN ISO 15614 määritetyt koekappaleet eivät riittävästi edusta hitsattavaa liitosta. Tätä hyväksyntämenetelmää tulee käyttää, kun hitsattava tuote on monimutkainen ja hitsin ominaisuudet riippuvat suuresti esimerkiksi liitoksen jäykkyydestä, lämmönjohtumiseroista ja luoksepäästävydestä. Tällöin koekappale hitsataan tuotanto-olosuhteissa ja koekappale vastaa todellista tuotetta. Koekappaleille voidaan suorittaa standardin SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2 mukaiset testaukset, yleensä kuitenkin vähintään silmämääräinen tarkastus, pintahalkeamatarkastus, kovuuskokeet ja makrohietutkimus. (SFS-EN ISO 15613)

#### 7.6 Hitsien rikkomaton aineenkoetus (NDT)

Rikkomattomia aineenkoetusmenetelmiä ovat silmämääräinen tarkastus, tunkeumanestetarkastus, magneettijauhetaarkastus, ultraäänitarkastus, radiografinen tarkastus sekä pyörrevirtatarkastus. Rikkomaton aineenkoetus tulee suorittaa ennen rikkovaa aineenkoetusta, jotta voidaan tarkastella

koko hitsin aluetta. Eri hitsiluokkien hitsausvirheille asettamat raja-arvot on määritetty standardissa SFS-EN ISO 5817. Standardi määrittelee hitsiluokat B, C sekä D, ja eri hitsausvirheiden sallittavuuden kyseisissä hitsiluokissa. (SFS-EN ISO 5817; SFS-EN ISO 17635)

#### 7.6.1 Silmämääräinen tarkastus

Silmämääräinen tarkastus on yleisin hitsin tarkastusmenetelmä. Silmämääräinen tarkastus on halpa ja hyvä menetelmä hitsin pintavirheiden havaitsemiseen. Menetelmä vaatii tarkastajalta osaamista ja kokemusta. Tarkastuksessa voidaan käyttää apuvälineinä suurennuslasia, erilaisia mittavälineitä ja valaistuslaitteita. Tarkastus voidaan suorittaa ennen hitsausta, hitsauksen aikana ja hitsauksen jälkeen. Ennen hitsausta suoritettavassa tarkastuksessa keskitytään railoon ja liitosmuotoon. Hitsauksen aikana tapahtuva tarkastus koskee lähinnä monipalkohitsausta, missä tarkastetaan jokainen palkokerros ja juuren hitsaus. (SFS-EN ISO 17637; Lukkari, 2002, pp. 34-39; Witting, 2004, pp. 39-40)

Silmämääräisellä tarkastuksella voidaan havaita hitsin pinnassa esiintyvät virheet. Näitä virheitä ovat muun muassa halkeamat, pintahuokokset, epätasainen liittyminen, imuontelo, reunahaavat, epätasainen hitsikupu, sovitusrivirheet, sytytysjäljet ja roiskeet. Tarkastuksessa on huomioitava, että valaistus on riittävä virheiden havaitsemiseen ihmissilmällä. Ihmissilmä kykenee havaitsemaan viivamaisen virheen, jonka leveys on noin 0,05 mm, ja pyöreän virheen, jonka halkaisija on 0,1 mm. (Lukkari, 2002; SFS-EN ISO 17637; Witting, 2004, pp. 39-40)

#### 7.6.2 Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastuksessa koekappaleen pintaan levitetään tunkeumaneste, joka ”tunkeutuu” kappaleen pintaan avautuviin epäjatkuvuuskohtiin. Riittävän tunkeutumisaikaa kuluttua (5-10 min) tunkeumaneste poistetaan kappaleen pinnasta. Tämän jälkeen pinnalle levitetään kehite, joka imee epäjatkuvuuskohtiin jäänyttä tunkeumanestettä. Kehitteeseen imeytynyt tunkeumaneste näkyy selvästi kappaleen pinnassa ja paljastaa epäjatkuvuuskohdan oikeanmuotoisena, mutta suurennettuna. Normaalisti käytetään punaista tunkeumanestettä ja valkoista kehiteä. Tunkeumanestetarkastusta varten koekappaleen pinta tulee olla hyvin esipuhdistettu kemiallisesti tai mekaanisesti. (SFS-EN ISO 571-1)

Tunkeumanestetarkastus voidaan suorittaa käyttämällä vesipesuista, jälkiemulgoitavaa tai liuottimella poistettavaa tunkeumanestetä. Tunkeumanestetarkastuksella voidaan havaita pintaan avautuvia halkeamia, joiden leveys on vähintään 0,2 µm, pituus 1 mm ja syvyys 20 µm. Hitsien tunkeumanestetarkastuksen hyväksymisrajat on esitetty standardissa SFS-EN ISO 23277. Standardissa on esitetty hyväksymisrajat hienoa, sileää ja yleispintaa tutkittaessa. Tunkeumanestetarkastusta tehtäessä on huolehdittava riittävästä valaistuksesta. Vaatimukset valaistukselle ja katseluolosuhteet on määritetty standardissa SFS-EN ISO 3059. (SFS-EN ISO 571-1; SFS-EN ISO 23277; Lukkari, 2002, p. 39; SFS-EN ISO 3059)

### 7.6.3 Magneettijauhetarkastus

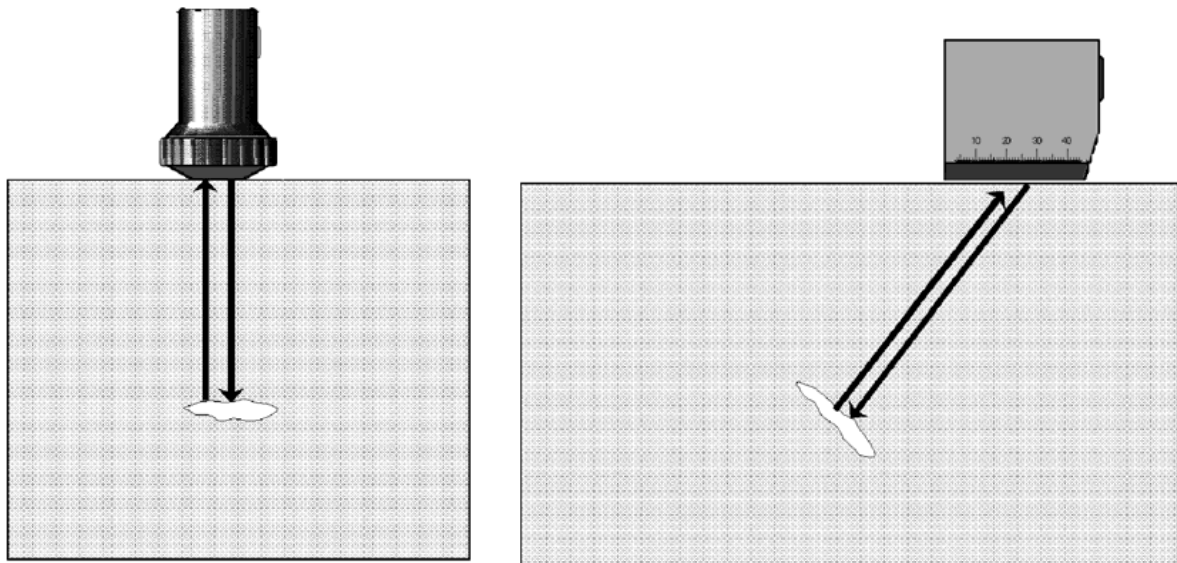
Magneettijauhetarkastus voidaan suorittaa ferromagneettisille materiaaleille. Menetelmässä koekappaleen pintaan levitetään kuiva magneettijauhe tai magneettisia partikkeleita sisältävää fluoresoivaa tai värillistä nestettä. Tarkasteltavaan kohtaan aiheutetaan magneetikenttä yleensä vaihtovirralla toimivalla sähkömagneettisella ikeellä tai virtamagnetointilaitteella. Koekappaleessa epäjatkuvuuskohta aiheuttaa magneettisen vuotokentän, jonka ympärille magneettijauhe tai neste kerääntyy. Epäjatkuvuuskohta tulee olla koekappaleen pinnassa tai pinnanläheisyydessä, jotta se voidaan havaita. Luotettavasti magneettijauhetarkastuksella voidaan havaita 1 µm levyinen, 25 µm syvyinen ja 2 mm pituinen halkeama. Hyväksymisrajat hitsien magneettijauhetarkastukselle on esitetty standardissa SFS-EN ISO 23278. (SFS-EN ISO 17638; SFS-EN ISO 23278)

### 7.6.4 Ultraäänitarkastus

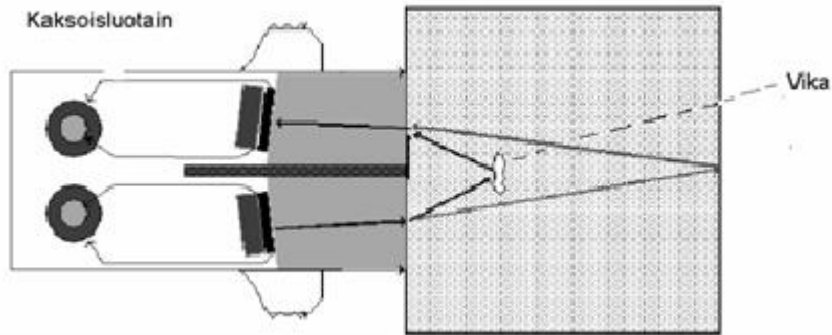
Ultraäänitarkastuksessa suunnataan luotaimella korkeataajuisia ääntä (2-5 MHz) koekappaleeseen, ja ääni heijastuu epäjatkuvuuksista tai kappaleen takaseinästä takaisin luotaimen. Laitteen näytöltä voidaan havaita kaiut takaseinästä ja hitsausvirheistä. Ultraäänitarkastuksella voidaan mitata kappaleiden paksuuksia sekä päätellä epäjatkuvuuksien kokoa, sijaintia ja tyyppi. Hitsausvirheiden paikantaminen ja löytäminen on helpompaa kuin virheen määrittäminen, joka vaatii kokemusta. Standardi SFS-EN ISO 23279 määrittelee ultraäänitarkastuksessa hitsausvirheiden luokittelun. Ultraäänitarkastusta varten tulee tutkittavan kappaleen pinta olla tasainen ja puhdas, tarvittaessa pinta on hiottava. Standardissa SFS-EN ISO 17640 on määritetty tarkemmin ultraäänitarkastuksen suoritus eri hitsausliitoksille.

Hyväksymisrajat hitsien ultraäänitarkastukselle on esitetty standardissa SFS-EN ISO 11666. (SFS-EN ISO 11666; SFS-EN ISO 27239; SFS-EN ISO 17640; Witting, 2004, pp. 42-43)

Ultraäänitarkastuksen työkalu on luotain, joka voi olla niin sanottu normaaliluotain tai kulmaluotain. Normaaliluotain lähettää ja vastaanottaa ultraääntä pintaan nähden kohtisuoraan ja kulmaluotain pintaan nähden vinosti. Lisäksi on kaksoisnormaaliluotain, joka hyödyntää kahta normaaliluotainta samassa rungossa. Normaaliluotaimet lähettävät yleensä pitkittäisaaltoa, joka värähtelee aallon etenemissuuntaan nähden ja kulmaluotaimet poikittäisaaltoa, joka värähtelee kohtisuoraan etenemissuuntaan nähden. Muita aaltotyyppejä ovat muun muassa levyaallot ja pinta-aallot. Aalto voi olla pulssitettua tai jatkuvaa. Luotaus voidaan suorittaa käyttäen yhtä luotainta tai useaa luotainta eri kohdissa kappaleen pintaa. Toisin sanoen ääntä voidaan vastaanottaa ja lähettää yhdellä luotaimella, tai lähettää yhdellä luotaimella ja vastaanottaa yhdellä tai useammalla. Normaali- ja kulmaluotain on esitetty kuvassa 30 ja kaksoisnormaaliluotain on esitetty kuvassa 31. Ultraäänitarkastuksella voidaan tutkia ohuita ja paksuja materiaaleja, riippuen käytettävästä luotaimesta ja taajuudesta. Lähellä pintaa olevat epäjatkuvuudet havaitaan parhaiten kulma- ja kaksoisnormaaliluotaimella. Normaaliluotaimella on niin sanottu kuollut alue, jonka vuoksi aivan pinnan lähellä olevat epäjatkuvuudet havaitaan huonosti. (Berke, 2011; SFS-EN 583-1)



**Kuva 30.** Normaaliluotain (vas.) ja kulmaluotain (Berke, 2011.)

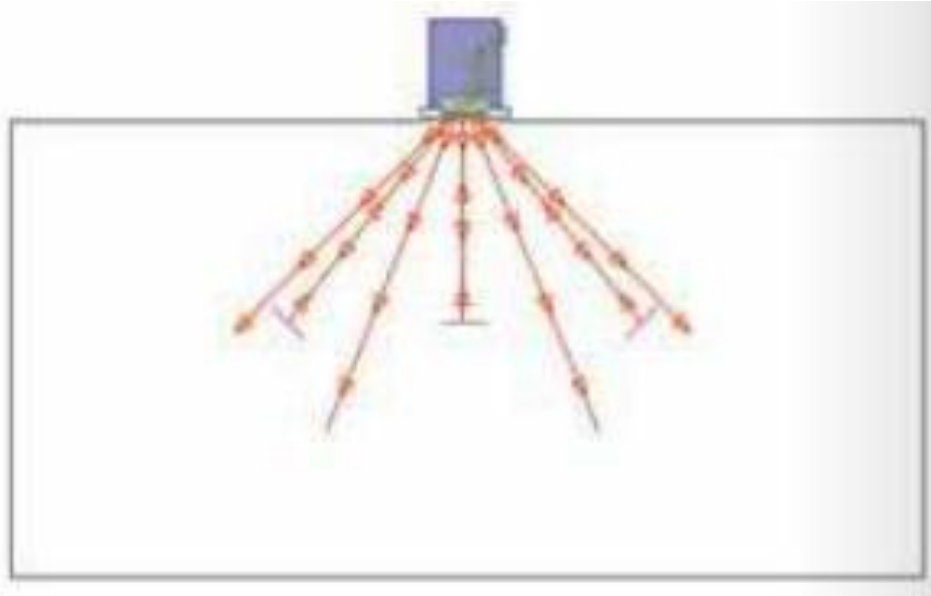


**Kuva 31.** Kaksoisnormaaliluotain (Berke, 2011.)

Luotaimen ja tutkittavan kappaleen pinnan välissä käytetään kytkentäainetta, joka on vettä, öljyä, tahnaa, rasvaa tai liisteriä. Kytkeäineella varmistetaan, että ääni tunkeutuu tutkittavaan kappaleeseen. Luotaus voidaan suorittaa myös niin sanotulla upotustekniikalla, jossa luotain ja kappale upotetaan veteen tai vesisuihkutekniikalla, jossa vettä suihkutetaan luotaimen ja kappaleen pinnan väliin. (Berke, 2011)

Tarkastustekniikoina käytetään yleensä joko läpäisytekniikkaa tai pulssikaikutekniikkaa. Läpäisytekniikka perustuu läpäisseen äänen amplitudin heikkenemiseen ja siihen voidaan käyttää jatkuvaa aaltoa tai pulssitettua aaltoa. Pulssikaikutekniikka perustuu pulssitetun aallon pulssin aineessa kulkemaan aikaan. Kaiku kuvataan amplitudi-aika-asteikolla, josta voidaan päätellä heijastuspinnan (epäjatkuvuus tai seinämä) etäisyys luotaimen. Luotaimen paikasta, äänen etenemissuunnasta ja heijastuspinnan etäisyydestä voidaan laskemalla päätellä heijastuman paikka tutkittavassa kappaleessa. (Berke, 2011; SFS-EN 583-1; SFS-EN 583-3)

Uusimpana tekniikkana ultraäänitarkastuksessa on vaiheistettu ultraäänitekniikka, jossa samaan luotaimen on laitettu useita värähtelijöitä, jotka värähtelevät samassa tai eri vaiheessa. Tällä tekniikalla voidaan muotoilla ultraäänikeilaa, jolloin virheiden havaitsemistodennäköisyys paranee. Vaiheistettu ultraäänitekniikka on esitetty kuvassa 32. (Hakkarainen, 2007)



**Kuva 32.** Vaiheistettu ultraäänitekniikka (Hakkarainen, 2007.)

#### 7.6.5 Radiografinen tarkastus

Radiografinen tarkastus perustuu koekappaleeseen suunnattuun ionisoivaan säteilyyn ja läpäisseen säteilyn voimakkuuden tallentamiseen. Yleisin radiografinen tarkastusmenetelmä on röntgenkuvaus. Siinä röntgensäteilyä suunnataan koekappaleen läpi, ja kappaleen vastakkaiselle puolelle sijoitetulle filmille tallentuu läpäissyt säteily. Radiografisella kuvauksella voidaan havaita miltei kaikki hitsausvirheet. Menetelmässä käytettävä röntgen- tai gammasäteily on vaarallista ihmisterveydelle. (SFS-EN ISO 17636-1; Lukkari, 2002, p. 41; Witting, 2004, pp. 41-42)

#### 7.6.6 Pyörrevirtatarkastus

Pyörrevirtatarkastuksella voidaan tutkia hitsausvirheitä kaikista sähköä johtavista materiaaleista. Pyörrevirtatarkastuksessa anturiin, jota liikutetaan koekappaleen pinnassa, syötetään vaihtovirtaa. Virta aiheuttaa vaihtuvan magneettikentän anturin ympärille, mikä taas aiheuttaa niin sanottuja pyörrevirtoja koekappaleeseen. Pyörrevirtojen kulku muuttuu epäjatkuvuuskohdissa ja tämä voidaan havaita pyörrevirtalaitteessa. Pyörrevirtatarkastuksella voidaan havaita pintaan aukeavat ja lähellä pintaa olevat tasomaiset virheet. (SFS-EN 1711; Witting, 2004, p. 44)

## 7.7 Hitsien rikkova aineenkoetus (DT)

Rikkovilla aineenkoetusmenetelmillä pyritään tutkimaan hitsin mekaanisia ominaisuuksia. Hitsatusta kappaleesta irrotetaan näyte, jolle tehdään fyysisiä kokeita vetämällä, puristamalla, iskemällä tai taivuttamalla näytettä. Rikkovassa aineenkoetusmenetelmässä tarkastuksen kohde rikotaan. Rikkovia aineenkoetusmenetelmiä ovat vetokoe, taivutuskoe, iskukoe, kovuuskoe, murtokoe, väsytyškoe sekä mikro- ja makrohietutkimus. Tässä työssä esitellään tarkemmin vain hitsien vetokoe, taivutuskoe, kovuuskoe, iskukoe ja makrohietutkimus. (Witting, 2004, p. 29)

### 7.7.1 Vetokoe

Hitsien vetokokeen avulla mitataan hitsin staattista lujuutta. Tuloksena vetokokeesta saadaan myötöraja, murtoraja, murtovenymä ja murtokurouma. Vetokokeessa koekappaleesta irrotettua vetosauvaa vedetään vetokoneessa tasaisesti kasvavalla voimalla, jolloin vetosauva aluksi venyy kimmoisasti. Kun myötöraja on saavutettu, venyy sauva plastisesti, kunnes lopulta murtuu. Vetokoe on poikittainen, kun tutkittava hitsi on poikittain vetosuuntaan nähden. Vetokokeen avulla määritetään, onko tarkasteltava hitsi riittävän luja perusaineeseen nähden, ja havaitaan, missä sijaitsee murtokohta. Yleensä koe suoritetaan 18 – 28 C° lämpötilassa. Standardi SFS-EN ISO 4136 määrittää vetosauvojen irrotustavan, mitat ja sijainnin hitsausliitosten poikittaisessa vetokokeessa ja standardi SFS-EN ISO 5178 pitkittäisessä vetokokeessa. (Witting, 2004, pp. 29-32; SFS-EN ISO 6892-1; SFS-EN ISO 4136; SFS-EN ISO 5178)

### 7.7.2 Taivutuskoe

Taivutuskokeen avulla arvioidaan hitsiaineen ja muutosvyöhykkeen muovattavuutta. Taivutuskokeella havaitaan hyvin pinnassa olevat hitsausvirheet. Taivutuskokeita voidaan tehdä hitsin pintaan, juureen ja poikkileikkaukseen. Lisäksi taivutuskoesauva voidaan irrottaa koekappaleesta niin, että hitsi on pitkittäin tai poikittain sauvassa. Taivutuskokeessa taivutussauva asetetaan taivutintelan ja tukitelojen väliin, ja sauvaa taivutetaan yleensä 180° tai kunnes se murtuu. Taivutuskoe voidaan myös tehdä käyttäen rullainta. Taivutussauvojen irrotustapa, mitat ja valmistus on määritetty standardissa SFS-EN ISO 5173+A1. (Witting, 2004, p. 35; SFS-EN ISO 5173+A1)



### 7.7.3 Iskukoe

Iskukokeen avulla mitataan hitsausliitoksen iskusitkeyttä. Iskukokeessa 55 mm pitkään ja poikkileikkaukseltaan 10x10 mm koesauvaan tehdään lovi, ja sauvaa isketään iskuheilurilla siten, että lovi on vedon puolella. Sauvan murtokohdasta voidaan päätellä, onko murtuma hauras vai sitkeä. Heilurin mitta-asteikolta nähdään, paljonko energiaa käytettiin iskuun. Iskukoe voidaan tehdä hyvinkin matalissa lämpötiloissa tuotteen sitä vaatiessa. Iskukokeesta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä Charpyn iskukoeetta, joka on määritelty standardissa SFS-EN ISO 148-1. Sitkeille materiaaleille käytetään V-muotoista lovea, hauraille U-muotoista. Hitsien iskukokeessa koesauvat irrotetaan ja nimetään standardin SFS-EN ISO 9016 mukaisesti. (Witting, 2004, pp. 32-34; SFS-EN ISO 148-1; SFS-EN ISO 9016)

### 7.7.4 Kovuuskoe

Kovuuskokeella mitataan nimensä mukaisesti materiaalin kovuutta. Koekappaleeseen painetaan sitä kovempaa materiaalia olevalla painimella, ja painauman koko mitataan koekappaleesta. Yleisesti käytössä olevat kovuuskokeet ovat Brinell, Rockwell ja Vickers – kokeet. Standardin SFS-EN ISO 9015-1 mukaan kaarihitsatuille liitoksille suoritetaan Vickers- tai Brinell -koe. Brinell-kokeessa pallomainen kuula painetaan koekappaleen pintaan, ja syntyneen pallokalotin muotoisen painauman halkaisija mitataan. Vickers-kokeessa timanttipyramidi painetaan koekappaleen pintaan, ja neliömäisen painauman lävistäjien keskiarvo mitataan ja lasketaan. Kovuuskokeet hitsausliitoksille tulee suorittaa standardien SFS-EN ISO 6506-1 tai SFS-EN ISO 6507-1 mukaisesti. Hitsatuista liitoksista kovuuksia mitataan perusaineesta, muutosvyöhykkeestä ja hitsiaineesta standardin SFS-EN 9015-1 mukaan. (Witting, 2004, pp. 40-41; SFS-EN ISO 9015-1; SFS-EN ISO 6506-1; SFS-EN ISO 6507-1)

### 7.7.5 Murtokoe

Murtokokeella tutkitaan hitsiaineen murtopintaa murtamalla hitsiliitos ensin staattisella tai dynaamisella kuormalla ja tutkimalla sitten murtopintaa silmämääräisesti. Silmämääräisellä tarkastuksella murtopinnasta etsitään hitsausvirheitä. Liitokseen kohdistetaan taivutus- tai vetokuormitus esimerkiksi vasaralla, puristimella tai taivutuskoneella. Murtumisen tapahtumista hitsiaineessa voidaan helpottaa valmistamalla hitsin pintaan pituussuuntaan neliön, ympyrän tai kolmion mallinen lovi. Koesauva irrotetaan koekappaleesta esimerkiksi sahaamalla. Standardi SFS-EN 1320 määrittää murtokokeen suoritustavan ja koesauvan mitat. Standardi soveltuu sulahitsausprosesseilla hitsattujen, materiaalipaksuudeltaan yli 2 mm valmistettujen liitosten tutkimiseen. (SFS-EN 1320)

### 7.7.6 Makrohietutkimus

Makrohietutkimuksessa tutkitaan syövytettyä tai syövyttämätöntä hitsin poikkileikkauspintaa silmämääräisesti tai vähäisen suurennuksen avulla. Makrohietutkimuksella tutkitaan yleensä palkorakennetta, sularajaa ja lämpövaikutusvyöhykettä. Makrotutkimalla syövytettyä pintaa voidaan havaita erilaiset halkeamat, sulkeumat, liitosvirheet, railo, suotautuminen ja erilaiset poikkeumat hitsissä. Makrohietutkimusta varten koesauva leikataan sopivasta kohdasta koekappaleelta, hiotaan ja kiillotetaan sekä tarvittaessa syövytetään. (Witting, 2004, p. 39; SFS-EN ISO 1321)

## 8 PURISTUSSYLINTERIEN HITSUKSEN KEHITTÄMINEN RAUTESSA

Puristussylinterien hitsausta on lähdetty kehittämään pyrkimällä vähentää hitsausaikaa ja parantaa hitsauksen luotettavuutta. Paljon aikaa vieviä vaiheita hitsauksessa ovat olleet pohjapalon hitsaus TIG-prosessilla sekä muutamien seuraavien täyttöpalkojen hitsaus MAG-prosessilla. Puristussylinteriessä hitsattava aineenpaksuus on melko suuri (noin 20 – 60 mm), minkä vuoksi lämmönjohtuminen on suurta ja jäähtyminen nopeaa.

Rauten jauhekaarihitsauslaitteistossa on kaksi hitsauspäättä, virtalähdettä ja langansyöttölaitetta, joilla tandemhitsaus voisi olla mahdollista. Molemmat virtalähteet ovat kuitenkin tasavirtalähteitä, minkä vuoksi tandemhitsauksessa valokaarien epävakaas magneettisesta puhalluksesta johtuen voi tulla ongelmaksi. Sylinterien hitsauksessa jauhekaarihitsausvaiheen hitsiaineentuotto on ollut riittävällä tasolla, minkä vuoksi tandemhitsausta ei otettu kehitysehdotukseksi. Hitsiaineentuottoa kasvatettaessa täytyy ottaa huomioon hitsisulan koko, jota ei voida pitää hyvin suurena sylinterin suhteellisen pienen halkaisijan (250 – 600 mm) vuoksi. Hyvin suuri hitsisula voi lähteä valumaan hitsausrailosta. Muut tehokkaat jauhekaarihitsausmenetelmät (esimerkiksi kaksoislankahitsaus) vaatisivat laiteinvestointia. Hitsauksen kehityksessä on keskitytty pohjapalon hitsauksen suorittamiseen jauhekaarihitsausprosessilla ja MAG-hitsausprosessilla juuritukea vasten.

Ilman juuritukea on päittäisliitosten pohjapalon hitsaaminen jauhekaarella todella vaikeaa. MAG-hitsaus ilman juuritukea on mahdollista, mutta sekin vaatii hyvää ammattitaitoa hitsaajalta. TIG- ja MAG-prosessien käyttö pohjapalkojen ja seuraavien täyttöpalkojen hitsauksessa hidastaa sylinterien valmistusta ja lisäksi vaatii paljon tarkkuutta hitsaajalta. Käyttämällä kuparista juuritukea ja etsimällä sopivat hitsausarvot koko hitsin jauhekaarihitsaukseen tai pohjapalon MAG-hitsaukseen, voidaan sylinterien valmistusta hitsauksen osalta nopeuttaa ja hitsauksen toistettavuutta parantaa. Toistettavuuden parantuessa voidaan välttyä toistuvilta hitsausvirheiltiltä ja parantaa laatua. Tarkoitus hitsauksen kehittämislillä ei ole nopeuttaa hitsausta laadun kärsiessä, vaan etsiä optimaalinen tilanne laadun ja nopeuden välillä. Suurten ainepaksuuksien korjaushitsaus on hidasta ja kallista.

Tutkimuksen ohella seurattiin erään projektin sylinterien hitsausta vanhojen hitsausohjeiden (liitteet 2 ja 3) mukaisesti ja tarkkailtiin hitsauksen laatua sekä hitsaukseen kuluvaan aikaa. Hitsattavana oli sylinteri, jonka ulkohalkaisija on 355 mm ja seinämävahvuus 30 mm. Sylinterin pohjan ja sylinteriputken välisen hitsin silloittamiseen, pohjapalon hitsaukseen TIG-prosessilla ja pohjan täyttöpalkojen MAG-hitsaukseen kului keskimäärin 3.5 – 5 tuntia yhtä sylinteriä kohden. Kulunut aika sylinteriä kohden vaihteli melko paljon, koska hitsaaja joutui hiomaan hitsiä MAG-hitsausten välissä. Lisäksi yksi TIG-hitsattu pohjapalkko jouduttiin hiomaan auki ja hitsaamaan uudelleen vajaan hitsautumissyvyyden vuoksi. Hitsausaika sisältää sylinterikappaleiden nostelut siltanosturilla. Nosteluihin kului yhteensä aikaa noin puoli tuntia sylinteriä kohden.

TIG- ja MAG-hitsausten jälkeen hitsien jäähtyttyä suoritettiin ultraäänitarkastus. Ultraäänitarkastuksessa havaittiin yhden sylinterin hitsissä aivan hitsin juuressa liitosvirhe, joka lopulta jouduttiin avaamaan sorvaamalla ja hitsaamaan uudelleen.

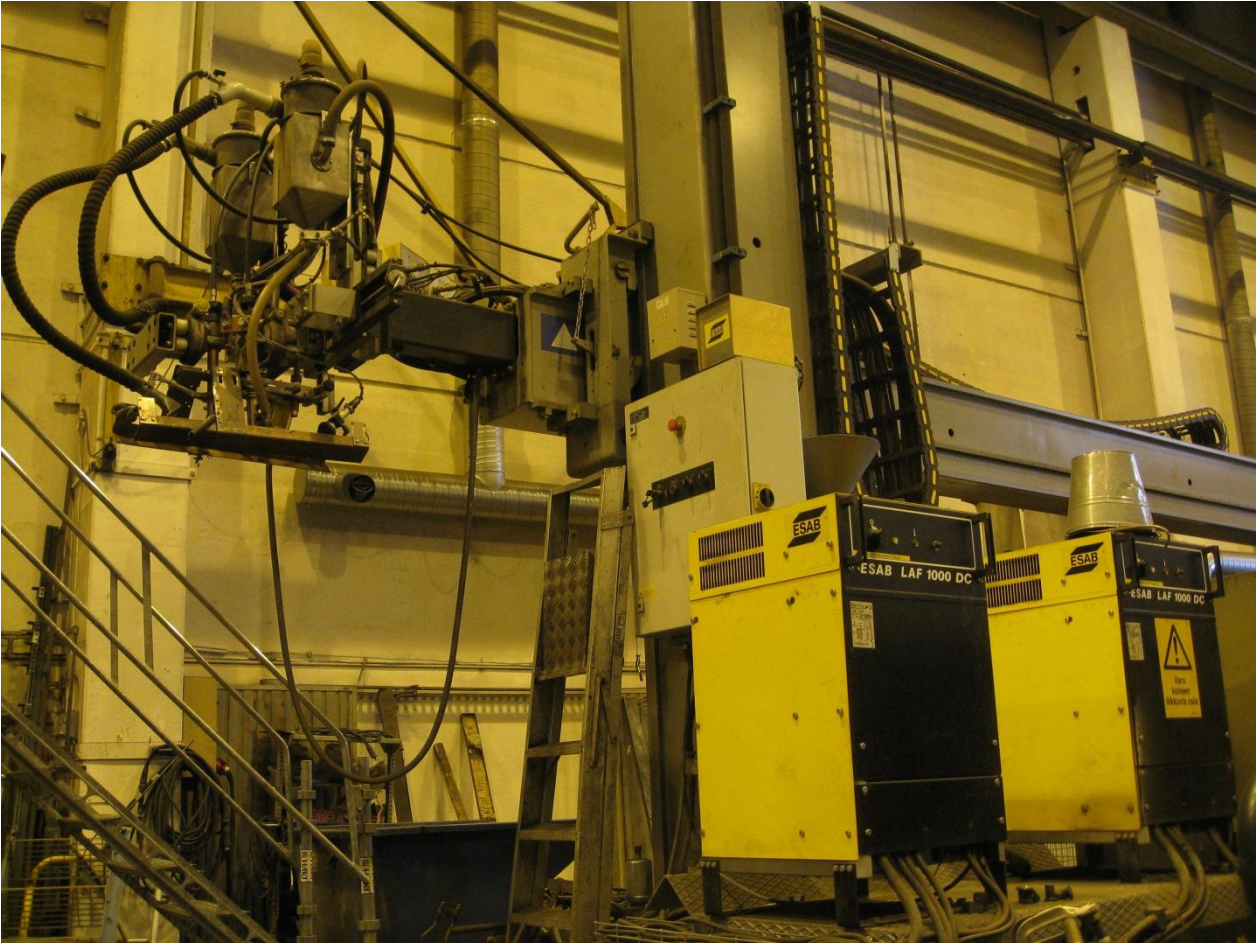
Sylinterien jauhekaarihitsaus suoritettiin vanhalla jauhekaarilaitteistolla. Pohjan ja sylinteriputken välisen hitsin täyttöpalkojen jauhekaarihitsaukseen kului keskimäärin 1.5 tuntia, koska hitsaus jouduttiin välillä keskeyttämään liiallisen hitsin lämpenemisen (yli 300 °C) vuoksi. Kaiken kaikkiaan yhden sylinterin sylinteriputken ja pohjan välisen hitsin hitsaamiseen vanhan hitsausohjeen mukaisesti laskettiin kuluvaan aikaa 7 – 8 tuntia, sisältäen nostelut, hitsaukset ja ultraäänitarkastukset. Tähän aikaan ei sisälly hitsausvirheiden korjaukset eikä sylinteriputken ja kauluksen välisen hitsin hitsaus.

Hitsausvirheiden korjaukset ovat aikaa vievä osa sylinterien hitsauksessa. Tutkimuksen ohella seuratun projektin kaikista neljästä sylinteristä löytyi ultraäänitarkastuksissa liitosvirheitä ja huokoisuuksia MAG-hitsatuista täyttöpaloista. Kolme sylinteriä jouduttiin sorvaamalla aukaisemaan siten, että MAG-hitseissä syntyneet virheet pystyttiin korjaamaan. Yhden sylinterin hitsi jouduttiin avaamaan kokonaan irti, ja hitsaus suoritamaan alusta asti. Korjauksien vuoksi sylinterien hitsauksiin kuluva aika kasvoi noin 100 %:a.

### 8.1 Rauten jauhekaarihitsauslaitteisto

Rauten uudempi jauhekaarilaitteisto koostuu ESAB Oy:n valmistamasta hitsaustornista, kahdesta hitsausvirtalähteestä ja hitsauspäästä, langansyöttölaitteesta, jauheenkäsittely-yksiköstä, ohjausyksiköstä sekä yhdestä railonseurantalaitteesta. Lisäksi käytössä on Pemamek Oy:n valmistama pyörityspöytä. Hitsaustornin vaakapuomiin kiinnitettyjä hitsauspäitä voidaan liikutella puomilla pystysuunnassa 5 m, vaakasuunnassa 6.5 m sekä lisäksi tornilla voidaan suorittaa pyörimisliike 360° pystypuomin ympäri.

Hitsausvirtalähteet ovat molemmat tasavirtalähteitä, joiden kuormitettavuus on 100%/800 A ja 60%/1000 A. Ohjausyksiköistä määritetään hitsauksen esiasetukset, esimerkiksi hitsausvirta, langansyöttönopeus sekä aloitus- ja lopetustyyli. Railonseurantalaitte on sähkömekaaninen, ja sen avulla ohjataan hitsauspäiden servotoimista luistia. Langansyöttölaitteet syöttävät 4.0 mm umpilankaa 100 kg lankakeloilta, jotka sijaitsevat hitsauspuomin päässä. Jauheenkäsittely-yksiköt käsittävät paineilmatomisen jauhesäiliön (75 litraa), kaksi 10 litran jauhesäiliötä, joista jauhe syötetään hitsausrailoon, kaksi jauheimuria ja jauhekierrätyslaitteiston. Käytössä olevaa pyörityspöytää ohjataan erillisestä kaukosäätimestä. Pöydän maksimikapasiteetti on 7000 kg, ja sylinterin kiinnittämiseksi pöytään on asennettu kolmileukainen istukka. Jauhekaarihitsauslaitteisto on esitetty kuvassa 33.



**Kuva 33.** Rauten uudempi jauhekaarihitsauslaitteisto.

## 8.2 Juurituen suunnittelu

Sylinterin pohjan hitsauksen avuksi suunniteltiin kuparinen juurituki ja juuritukilaite. Markkinoilta saatavia erilaisia keraamisia tai kuparisia juuritukia, juuritukiteippejä tai kiinteää juuritukea ei voida sylinterin pohjan hitsauksessa käyttää, koska niiden poistaminen valmiin hitsin juurenpuolelta on erittäin vaikeaa. Tämän vuoksi juurituella täytyy olla erityinen laite, joka asettaa juurituen paikalleen ja jonka avulla juurituki saadaan sylinterin sisältä pois.

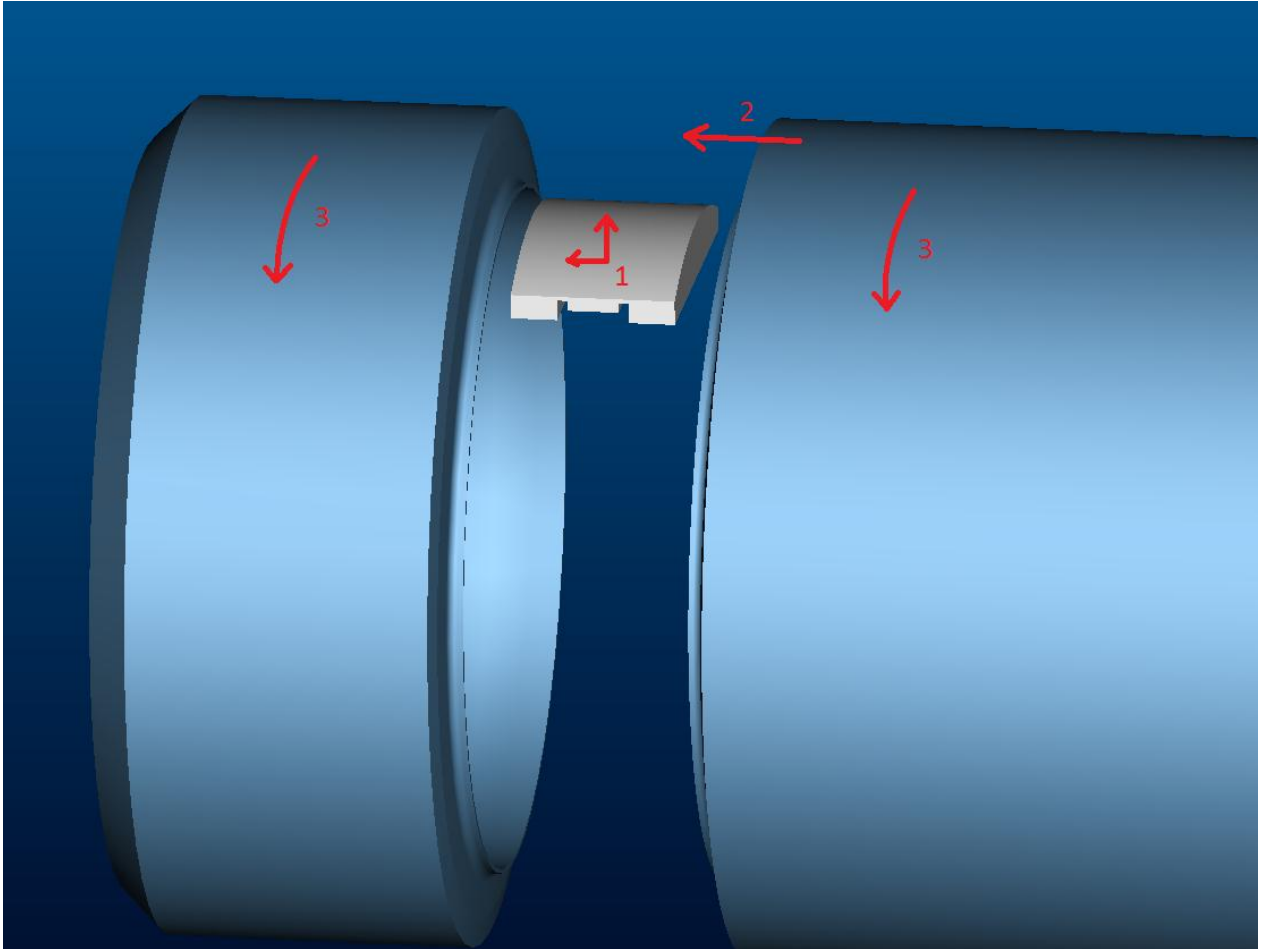
Sylinterin sisäpuolella oleva kuparinen juurituki mahdollistaa pohjapalon hitsauksen jauhekaarihitsauksella. Pohjan ja sylinteriputken välinen hitsi voidaan hitsata jauhekaarella alusta loppuun silloitusta lukuun ottamatta. Juurituen materiaaliksi päätettiin valita kupari, koska kuparilla on korkea sulamispiste ja hyvä lämmönjohtavuus, ja kuparinen tuki voidaan valmistaa

itse. Keraaminen juurituki voisi sopia tähän tapaukseen myös, koska sillä on hyvät liukuominaisuudet terästä vasten eikä juurituen tarttumisesta putkeen ole vaaraa. Keraaminen juurituki jouduttaisiin teettämään alihankintana ja sen hinta on huomattavasti suurempi. Juuritukilaitteen suunnittelussa lähdettiin liikkeelle laatimalla vaatimuslista. Vaatimuslista on esitetty taulukossa 3.

*Taulukko 3. Vaatimuslista juurituen suunnitteluun.*

<b>Tehtävä</b>	<b>Vaatimus/toive</b>
Tukea ja muotoilla sulaa juuren puolella	Vaatimus
Oltava irrotettavissa (ei kiinteä tuki)	Vaatimus
Sopiva erikokoisille sylintereille (sisähalkaisija 240 – 400 mm, pituus 1.5 – 6 m)	Vaatimus
Helposti paikoitettava railon juuripintaan sylinterin sisällä	Vaatimus
Kestettävä voimia, jotka pyörityspöytä aiheuttaa	Vaatimus
Kuparituen jäädytys	Toive
Voima, jolla juuritukea painetaan juuripintaa vasten, on oltava säädeltävissä	Toive
Keskittää sylinteriputken ja pohjan toisiinsa nähden (silloitusta ei tarvita)	Toive

Koska valmistettavien sylintereiden halkaisija vaihtelee paljon, ei juurituki voi olla tässä työssä aiemmin kappaleessa 6.1 esitellyn juurituen kaltainen. Tällainen juuritukilaite jouduttaisiin valmistamaan jokaiselle eri sylinterin sisähalkaisijalle erikseen ja tulisi siten kalliiksi. Tämän vuoksi päätettiin kokeilla niin sanottua liukuvaa juuritukea. Liukuva juurituki pysyy paikallaan sylinteriputken ja pohjan pyöriessä pyörityspöydän ja –rullaston avulla. Juurituki on kaareva, sylinterin sisähalkaisijan säteen muotoinen kuparinen kappale, ja eri sylinterihalkaisijoille valmistetaan oma kappaleensa. Kuparinen kappale kiinnitetään juuritukilaitteeseen, joka työnnetään sylinterin sisään ja joka painaa kuparikappaletta hitsausrailon juuripintaa vasten. Kuparikappale "liukuu" juuripintaa vasten sylinterin pyöriessä ja tukee ja muotoilee juuripalkoa. Nyt riittää, että valmistetaan yksi laite ja monta kuparikappaletta, jotka kattaisivat tarvittavat sylinterihalkaisijat. Kuvassa 34 on esitetty periaate, miten liukuva juurituki toimii.

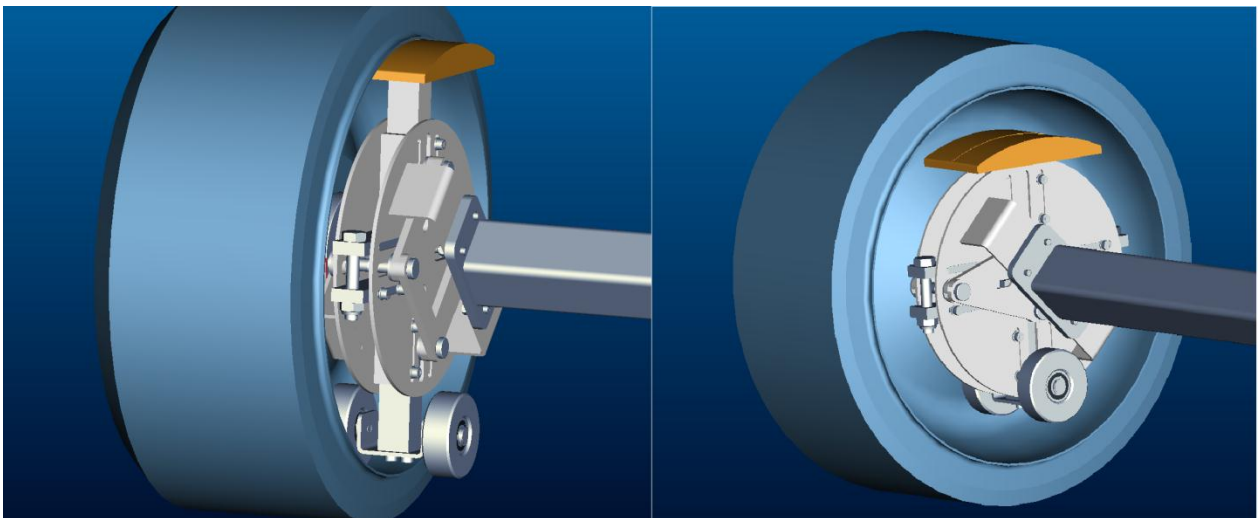


**Kuva 34.** Periaate liukuvasta juurituesta. Kuvassa 1 = Kuparinen kappale, jolla sama kaarevuussäde kuin sylinterin sisähalkaisijalla, asetetaan railon kohdalle. 2 = Railopinnat asetetaan vastakkain. 3 = Sylinteriä pyöritetään pyörituspöydän avulla.

Liukuvalla juurituella alettiin suunnitella laitetta, joka työnnetään sylinteriputken sisään ja joka painaisi kuparikappaletta sylinterin pohjan ja sylinteriputken välisen railon juuripintaa vasten. Koska sylinterin pohja-osassa on reikä, josta hydraulineeste työnny valmiissa sylinterissä sylinterin sisään, päätettiin reikää käyttää juuritukilaitteen paikoittamiseen sylinterin sisällä. Reiän suun ja hitsausrailon kohtisuora etäisyys on sylinteriputken halkaisijasta riippuen 60 – 75 mm. Reikä on myös pyörähdyssymmetrisesti keskellä sylinteriä, mikä helpottaa paikoitusta. Sylinterin pohjareikä näkyy kuvassa 3.

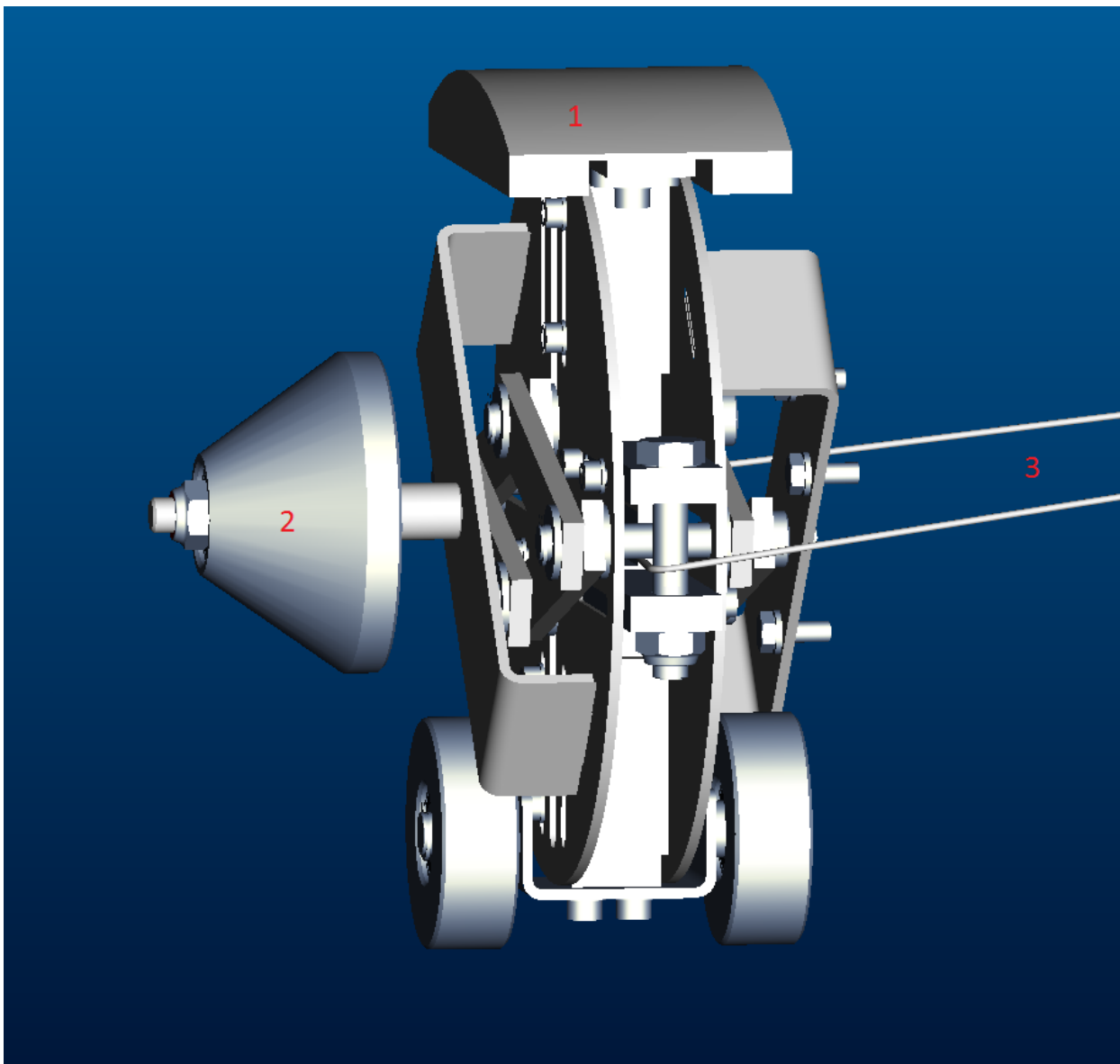


Juuritukilaitteessa tulee olla mekanismi, joka painaa kuparikappaletta railon juuripintaa vasten. Mekanismin tulee liikkua sylinterin sisällä sylinterin säteen suunnassa siten, että juuritukilaite sopii 250 mm halkaisijan sylinterin sisään ja siten, että laite laajenee myös 400 mm halkaisijan sylinterille sopivaksi. Toisin sanoen juuritukilaitteessa tulee olla mekanismi, joka työntää kuparikappaletta ylöspäin sylinterin ollessa vaaka-asennossa. Aluksi mekanismiksi mietittiin hydraulista tai paineilmalla toimivaa sylinteriä, joka työntää kuparikappaletta. Kuitenkin yksinkertaisuuden vuoksi mekanismiksi valittiin sateenvarjomekanismi, jota liikuteltaisiin vaijerin avulla. Suunnittelun tuloksena mallinnettiin ProEngineer-suunnitteluohjelmalla juuritukilaite (kuva 35). Kuvassa 35 oikealla puolella laite on ala-asennossa, jolloin se sopii 250 mm sisähalkaisijaltaan olevaan sylinteriin. Laite työnnetään ala-asennossa sylinterin pohjassa olevaa reikää vasten, jolloin laite on keskellä sylinterin pyörähdyssymmetristä akselia. Vaijereita vetämällä laitteessa oleva "sateenvarjomekanismi" liikkuu, ja työntää kuparikappaletta (kuvassa 35 keltainen "hattu") ylöspäin ja tukirenkaita alaspäin. Laajennettuna laite on kuvassa 35 vasemmalla. Laite laajenee niin suureksi, että sitä voidaan käyttää sisähalkaisijaltaan 390 mm sylinterille. Pienillä modifikaatioilla laite saadaan laajenemaan sisähalkaisijaltaan yli 400 mm sylinterille. Mitä suuremmalla voimalla vaijereita kiristetään, sitä suuremmalla voimalla kuparikappale työntyy putken sisäpintaa vasten.

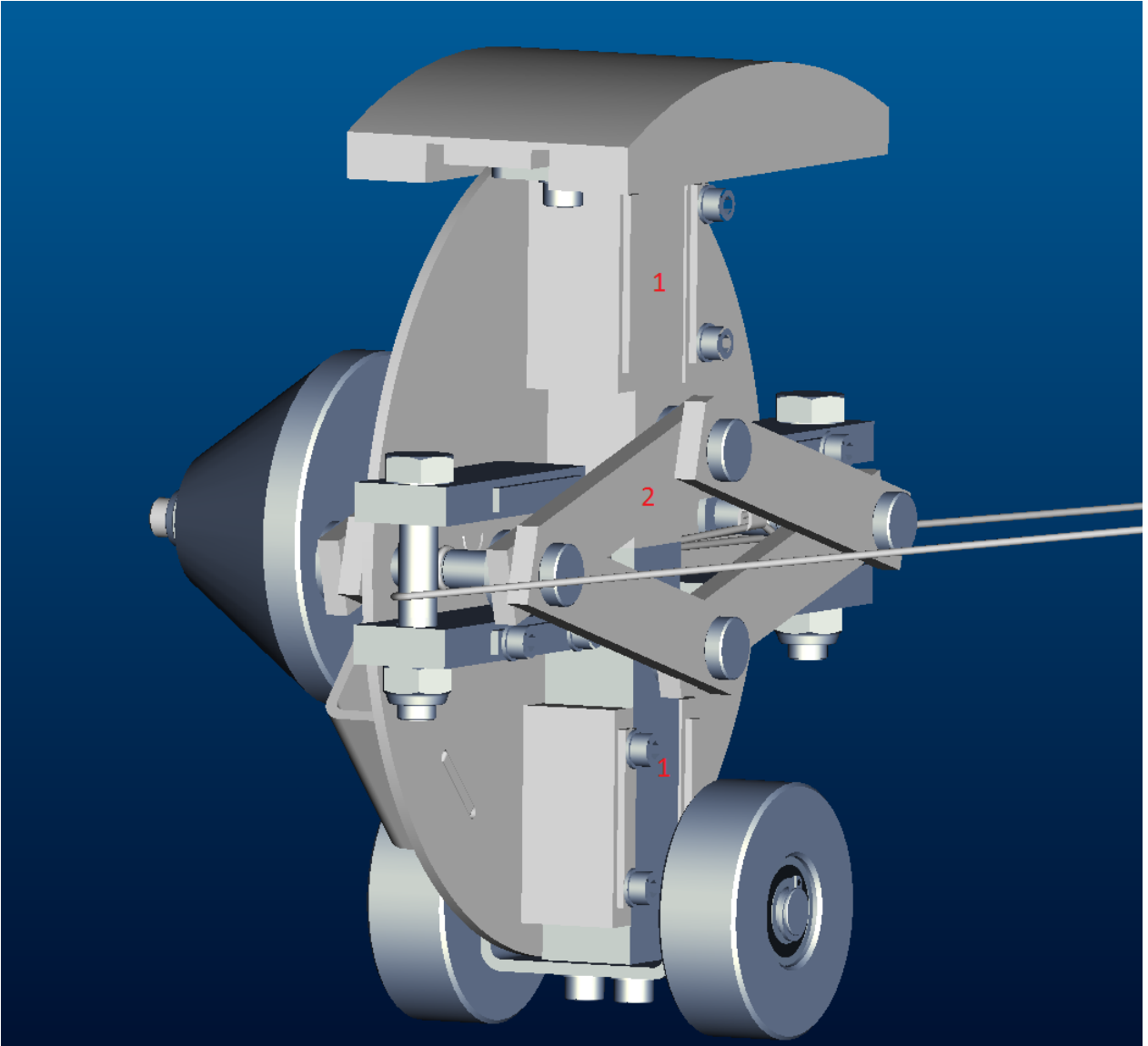


**Kuva 35.** Suunnittelun tuloksena mallinnettu juuritukilaite. Oikealla laite "supistettuna" ja vasemmalla työasennossa. Kuvassa myös sylinterin pohja-osa.

Laitteessa on laakeroitu teräksinen kartio, joka työnnetään sylinterin pohjassa olevaan reikään (kuva 36). Kartion avulla laite keskittyy sylinterissä. Kaksi vaijeria on kiinnitettyinä saksimekanismin niveliin, ja vaijereita vetämällä nivelet liikkuvat toisiaan kohti työntäen neliötangoista valmistettuja lineaarijohteita ylös- ja alaspäin (kuva 37). Lineaarijohteiden päissä on kiinnitettyinä laakeroidut renkaat ja kuparinen juurituki. Kuparinen juurituki valmistetaan 30 mm paksusta kuparilevystä jyrsimällä levyyn halutut muodot. Kuparilevy on happivapaata kuparia Cu-OF (EN CW008A), koska sillä on puhtautensa vuoksi korkea sulamispiste ja hyvä lämmönjohtavuus. Kupariseen juuritukeen ei lähtökohtaisesti suunniteltu erillistä jäähdytystä, mutta vesijäähdytys on mahdollista asentaa siihen tarvittaessa. Kuparikappaleeseen tarvitsee porata reiät vesikiertokanavia varten ja asentaa tarvittavat letkut.

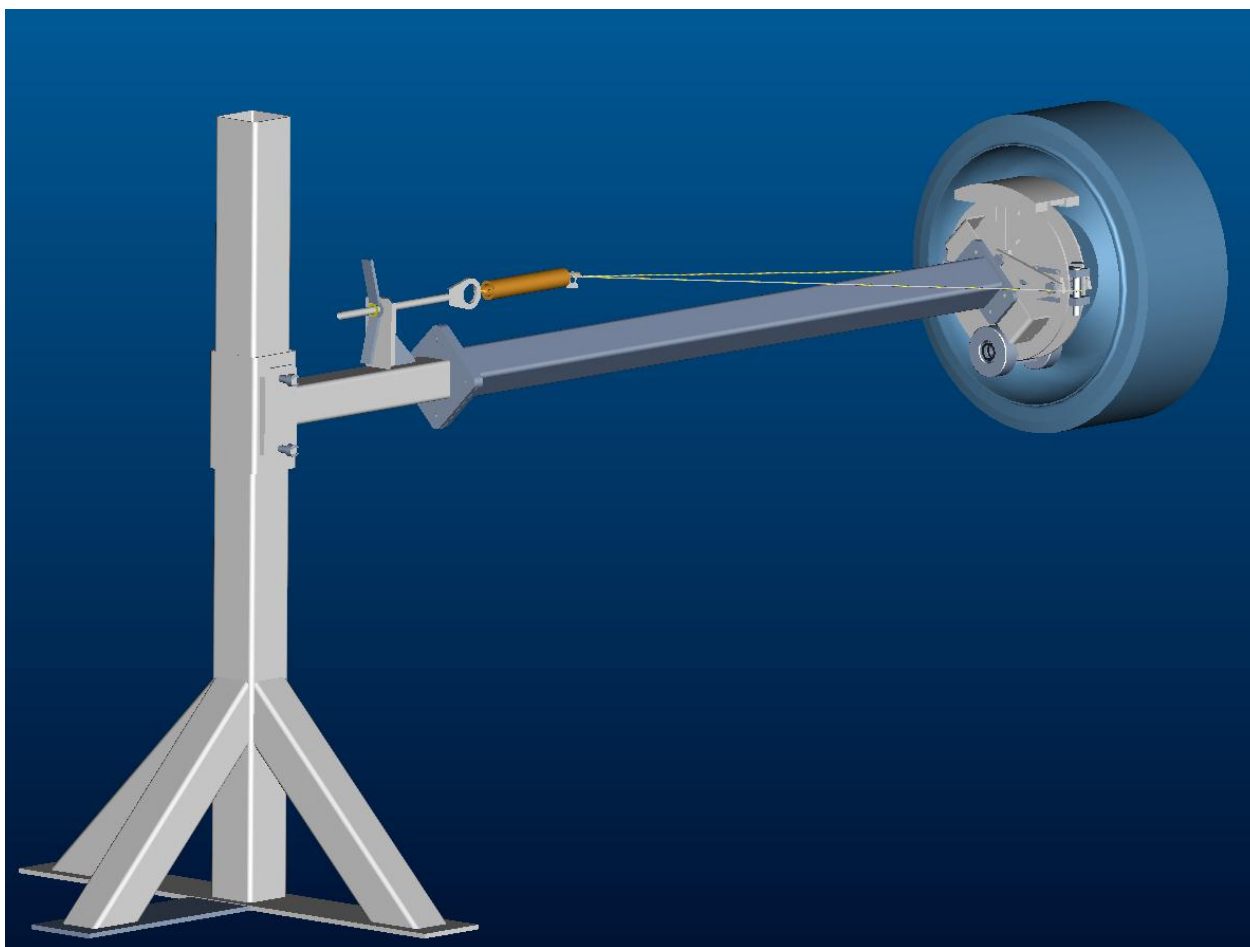


**Kuva 36.** Juuritukilaite. Kuvassa 1 = kuparinen kappale, juurituki. 2 = kartio, jonka avulla laite paikoittuu sylinterin pohjareikään. 3 = vaijerit.



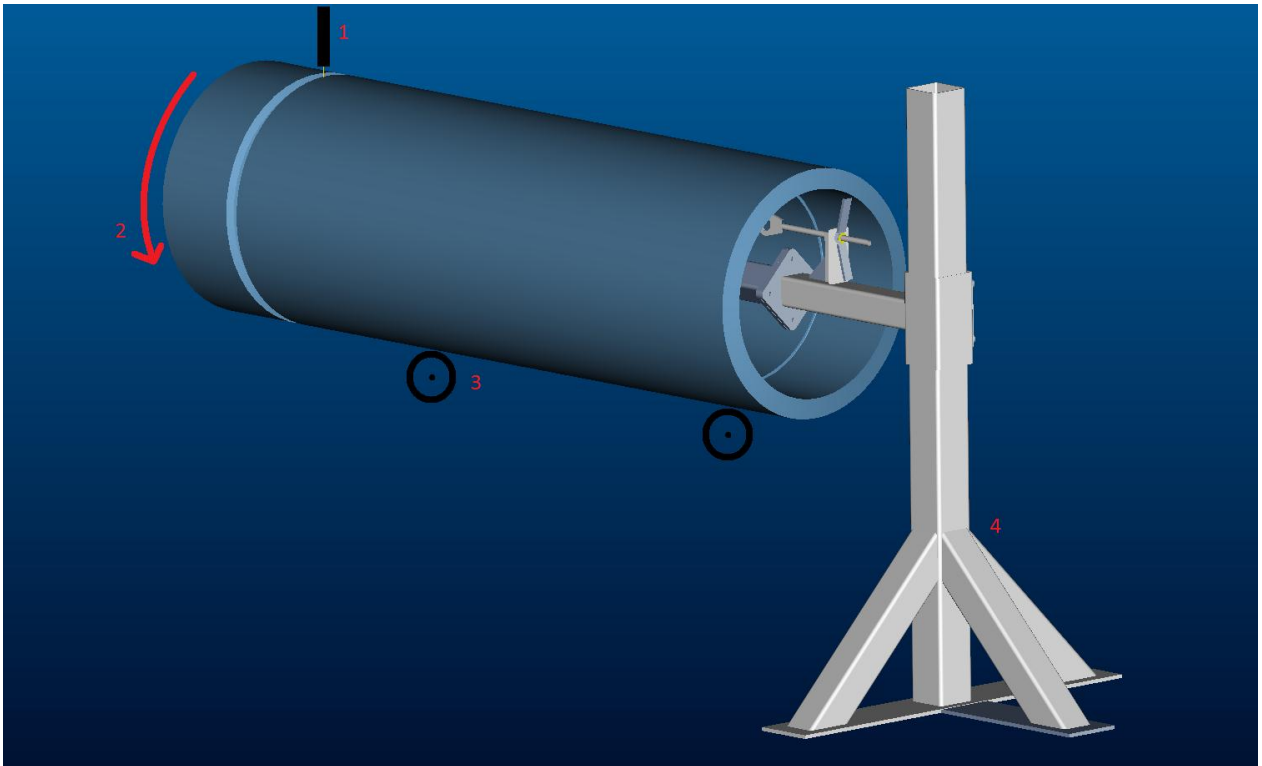
**Kuva 37.** Juuritukilaitteen saksimekanismi. Kuvassa laitteesta on poistettu toinen pyöreä runkolevy havainnollisuuden vuoksi. Kuvassa 1 = lineaarijohteet, 2 = saksimekanismi.

Laite kiinnitetään neljällä kuusioruuvilla neliöputkeen, jolla laite työnnetään sylinterin sisään (kuva 38). Neliöputki on kiinnitetty runko-osaan, joka on tuettuna lattiassa. Runko-osassa on vaijerien kiristysruuvi ja jousi, joilla säädetään vaijerien kireyttä. Hitsattavien sylinterien pituudesta riippuen neliöputken jatkeeksi voidaan lisätä jatkokappaleita, jotta juuritukilaite voidaan työntää "syvemmälle" sylinteriin.



**Kuva 38.** Juuritukilaite runko-osineen. Kuvassa juuritukilaite on painettuna sylinterin pohjan reikään. Kuvassa näkyy jousi sekä siipimutteri, jolla vaijereita kiristetään.

Juuritukilaitteen käyttö hitsauksen apuna on esitetty kuvassa 39. Sylinterin pohja on kiinnitettyä pyörityspöytään, ja sylinteriputki "lepää" tukirullien päällä. Työliikkeen suorittaa pyörityspöytä, joka pyörittää silloittamalla kiinnitettyjä sylinteriputkea ja pohjaa. Kolmihaarainen jalka estää juuritukilaitteen pyörimisen sylinterin mukana. Hitsaus suoritetaan jalkoasennossa. Juurituki valmistettiin osaksi alihankintana ja osaksi Rauten tuotannossa. Valmis juuritukilaite on esitetty kuvassa 40.



**Kuva 39.** Kuvassa 1 = jauhekaarihitsauspää, 2 = pyörityspöydän tekemä pyörimisliike, 3 = tukirullat, joiden päällä sylinteriputki lepää, 4 = juuritukilaitteen tukijalka.



**Kuva 40.** Valmis juuritukilaite. Kuvassa ylhäällä on kuparinen juurituki, joka painetaan juuripintaa vasten.

### 8.3 Koekappaleiden valmistus ja hitsaus

Koekappaleet on valmistettu saumattomasta teräsputkesta S355J2H. Koekappaleita on yhteensä 3 kpl: 1 kpl juuritukilaitteen testausta ja hitsauksen harjoittelua varten ja 2 kpl menetelmäkokeita varten. Yksi ohutseinäisempi ja halvempi koekappale on valmistettu, jotta juuritukilaitteen toimivuutta voidaan testata ja hitsausta juurituen kanssa harjoitella ennen varsinaisten

menetelmäkoekappaleiden hitsausta. Ohutseinämäiseen kappaleeseen koneistettiin hitsauksien välissä aina uudet railopinnat sorvaamalla.

### 8.3.1 Koekappaleiden valmistus

Koekappaleiden aihoiden mitat, hiiliekvivalenttien arvot ja kuumahalkeiluherkkyyshluvut on esitetty taulukossa 4. UCS-lukua laskettaessa on sekoittumisasteena käytetty 70 % (perusaineen osuus hitsissä). Arvot on laskettu valmistajan toimittamasta aineodistuksista (liitteet 2 ja 3) sekä lisäainevalmistajan luettelon avulla. Menetelmäkokeissa hitsattavien sylinterien ulkohalkaisijaksi valittiin 400 mm ja hitsattavaksi seinämäpaksuudeksi 40 mm. Juurituen testausta varten valmistettavan koekappaleen sisähalkaisija täytyy olla lähes sama kuin menetelmäkoekappaleen sisähalkaisija, jotta juurituki käy siihen. Koekappaleiden aihioissa on koneistusvarat.

*Taulukko 4. Koekappaleiden aihoiden mitat sekä CE- ja UCS-arvot.*

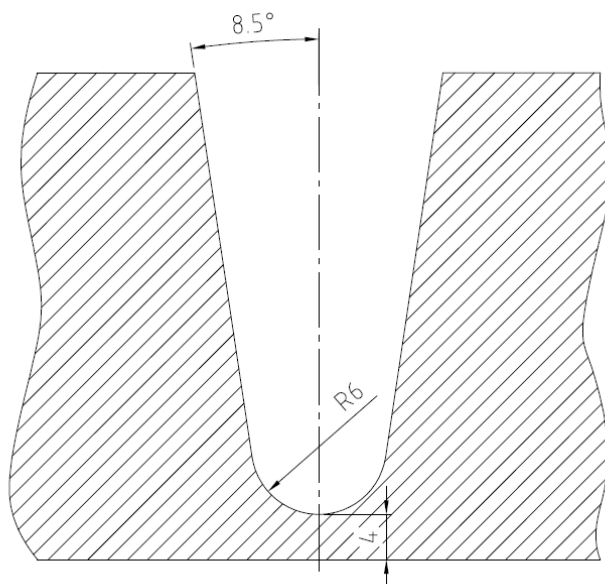
Koekappale	Kpl	Ulkohalkaisija (mm)	Seinämäpaksuus (mm)	Pituus (mm)	CE- arvo	UCS- luku
Juurituen testaus	1	343	10	520 (2x260)	0.411	19.694
Menetelmäkoe	2	406.4	45	520 (2x260)	0.421	22.152

Lopulliset mitat koekappaleisiin on työstetty sorvaamalla. Samalla on sorvattu railonmuodot hitsausta varten. Koekappaleiden puolikkaat on kiinnitetty toisiinsa silloittamalla TIG-prosessilla. Siltahitsit ovat 40 – 50 mm:n pituisia, ja niitä hitsattiin 5/koekappale. Lisäksi koekappaleisiin on kiinnitetty teräslevy, jossa on keskellä 65 mm reikä. Levy demonstroi sylinterin pohjan päätyä ja siinä olevaa reikää (kuva 41). Levyn avulla juuritukilaite saadaan paikoitettua oikealle paikalleen. Koekappaleiden railomuodot jauhekaarhitsaukseen on esitetty kuvissa 42 ja 43 ja MAG-hitsaukseen kuvissa 44 ja 45. Koekappaleiden valmistuspiirroksat jauhekaarhitsausta varten on esitetty liitteissä 4 ja 5. Koekappaleiden valmistuspiirroksat pohjan MAG-hitsaukseen ovat railomuotoa lukuun ottamatta samanlaiset kuin jauhekaarhitsaukseen.

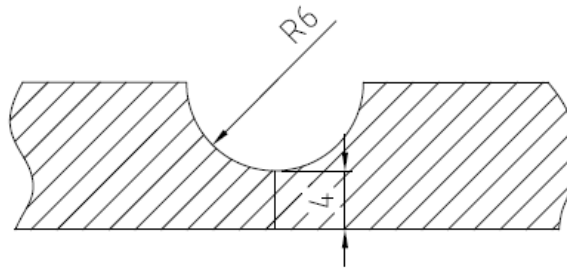




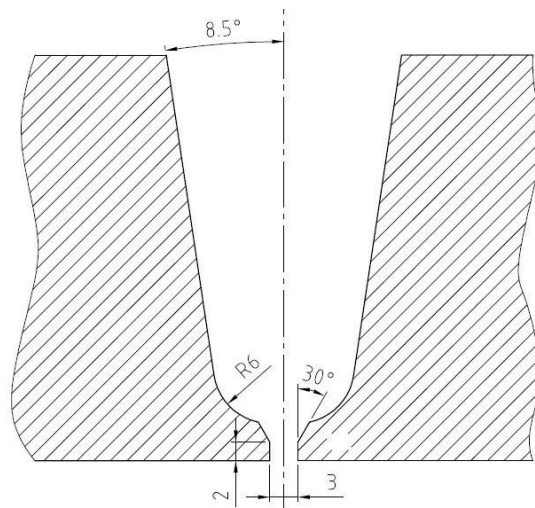
**Kuva 41.** Menetelmäkoekappaleet jauhekaarhitsaukseen koneistettuna. Kuvassa oikeanpuoleinen putki vastaa sylinterin pohjakappaletta ja vasemmanpuoleinen sylinteriputkea.



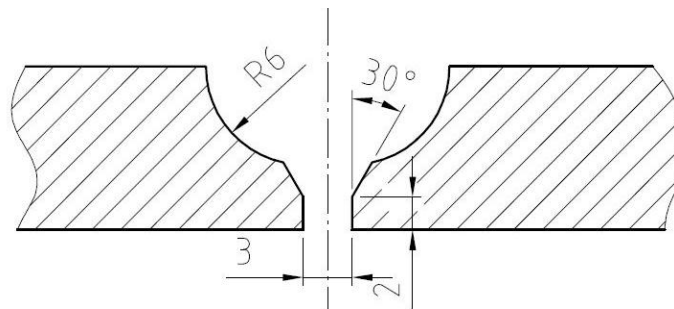
**Kuva 42.** Menetelmäkoekappaleiden railo pohjapalon jauhekaarhitsaukseen. Kuvassa mitat ovat millimetreissä.



**Kuva 43.** Juuritukitestikappaleen railo pohjapalon jauhekaarihitsaukseen. Kuvassa mitat ovat millimetreissä.



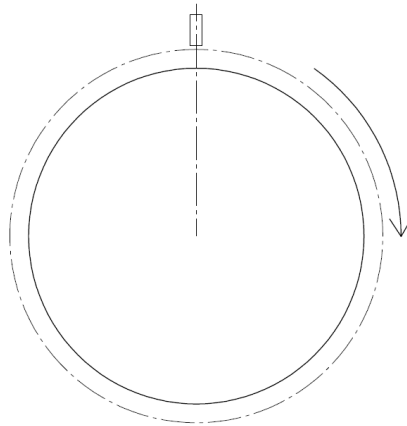
**Kuva 44.** Menetelmäkoekappaleen railo pohjapalon MAG-hitsaukseen. Kuvassa mitat ovat millimetreissä.



**Kuva 45.** Juuritukitestikoekappaleen railo pohjapalon MAG-hitsaukseen. Kuvassa mitat ovat millimetreissä.

### 8.3.2 Koekappaleiden hitsaus

Hitsattavat koekappaleet ovat hiiliekvivalenttien ja UCS-lukujen perusteella hyvin hitsattavia. Paksuille koekappaleille suositellaan esikuumennusta 75 – 125 °C:een, jotta kylmähalkeamilta vältytään. Monipalkohitsauksessa (kuten tämä Case) ei esikuumennusta välttämättä tarvita. UCS-lukujen perusteella kuumahalkeilualttiutta ei ole, jos palkomuoto on riittävän leveä. Hitsausaineina koekappaleiden jauhekaarihitsauksessa käytettiin ESAB Oy:n valmistamia OK Autrod 12.22 lisäainelankaa ja OK Flux 10.71 hitsausjauhetta. Lisäainelanka oli 4 mm paksua. Hitsattaessa, hitsauslangan napaisuus oli + ja vapaalangan pituus 32 – 35 mm. Hitsaus suoritettiin jalkoasennossa lakipisteessä sylinterin pyöriessä. Kuvassa 46 on esitetty jauhekaarihitsauksen hitsausasento.

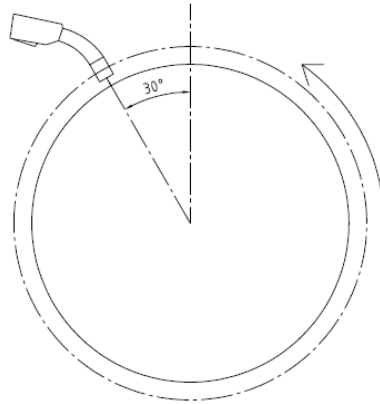


**Kuva 46.** Jauhekaarihitsauksen hitsausasento.

Jauhekaarihitsausta ja juurituen käyttöä harjoiteltiin ensin juuritukitestikoekappaleeseen. Näin voidaan etsiä sopivia hitsausparametreja tuhoamatta menetelmäkoekappaleita. Hitsausten välissä koekappaleeseen koneistettiin uudestaan railopinnat, jotta hitsaus voidaan aloittaa aina uusiin railopintoihin. Ensimmäisissä testeissä jauhekaarella hitsattaessa kuparisen juurituen pinta oli tasainen. Ensimmäisten testien jälkeen kupariseen juuritukeen jyrssiin 0.5 mm syvä ja 60 mm leveä ura.

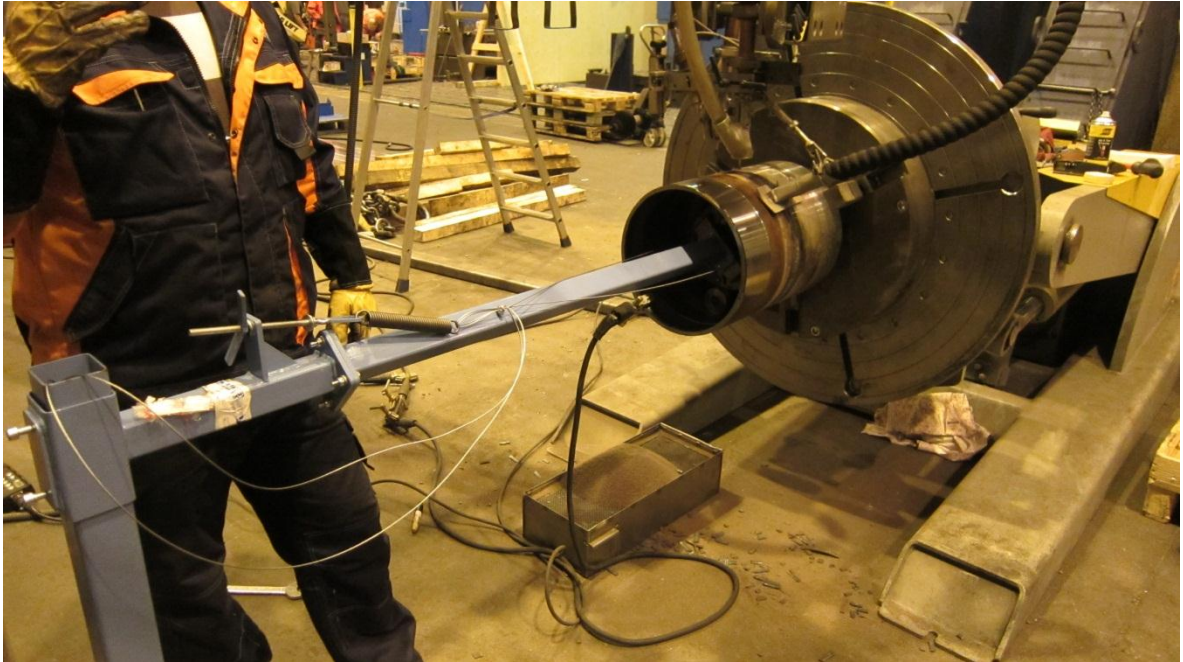
MAG-hitsausta harjoiteltiin myös ensin ohuempiseinäiseen koekappaleeseen. MAG-hitsauksessa käytettiin samaa urallista juuritukea kuin jauhekaarihitsauksessa. Hitsausaineet

MAG-hitsauksessa olivat hitsauslanka Autrod 12.50 (1.0 mm) ja suojakaasuna Ar+18%CO<sub>2</sub>-seoskaasu. Hitsaus pyrittiin suorittamaan kuumakaarialueella, mutta alhaisten hitsausvirtojen vuoksi aineensiirtyminen ei ollut täysin suihkumaista. Hitsauslanka oli + -navassa, vapaalangan pituus oli noin 20 mm ja suojakaasun virtausnopeus noin 18 l/min. Kuvassa 47 on esitetty MAG-hitsauksen hitsausasento. Hitsaus suoritettiin käsin pyörityspöydän pyörittämään putkeen.



**Kuva 47.** MAG-hitsauksen hitsausasento.

Koekappale kiinnitettiin pyörityspöytään asennettuun kolmileukaistukkaan. Pyörityspöydän ja hitsauslaitteiston välisessä maadoituksessa havaittiin ongelmia, minkä takia maadoitin jouduttiin kiinnittämään suoraan koekappaleeseen. Hitsausjärjestelyt on esitetty kuvassa 48. Hitsausten välissä kuparisen juurituen pinnalta hiottiin edellisessä hitsauksessa syntyneet epätasaisuudet käsin hiomanauhalla ja pintaan suihkutettiin ESAB:n valmistamaa roiskeenestoainetta (ESAB Jig & Tool Protector, keraaminen pinnoite). Aine vähentää sulan tarttumista juuritukeen kiinni. Juurituki asetettiin koekappaleen sisään ja laitteen jousi kiristettiin tiukalle (jousivoima noin 400 N), jotta juurituki painuu tiukasti juuripintaa vasten (kuva 49).



**Kuva 48.** Koekappaleiden hitsaus. Kuvassa pyörityspöytään on kiinnitetty juurituen testausta varten valmistettu koekappale, jonka seinämäpaksuus on 10 mm.



**Kuva 49.** Juuritukilaite koekappaleen sisällä.

## 9 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

Tässä kappaleessa esitetään hitsauskokeiden tulokset. Ensin esitetään jauhekaarihitsauksen tulokset ja sen jälkeen MAG-hitsauksen tulokset. Kappaleen lopussa analysoidaan saatuja tuloksia. Taulukossa 5 on esitetty mahdolliset hitsausajat eri menetelmillä toteutettuna. Taulukossa ei ole otettu huomioon ultraäänitarkastukseen kuluvaan aikaan. Taulukon arvot perustuvat hitsauskokeissa käytettyihin hitsausarvoihin ja sisältävät kappaleiden nostelut.

*Taulukko 5. Sylinterin pohjan ja sylinteriputken välisen hitsin mahdolliset hitsausajat eri menetelmillä toteutettuna.*

Hitsausmenetelmä	Silloitus	Pohjapalon hitsaus	Pohjan täyttöpälo	Loput täyttöpälo	Yhteensä
Alkuperäinen menetelmä	TIG 30 min	TIG 1 h	MAG 3 h	SAW 1.5 h	<b>6 h</b>
Jauhekaarella juuritukea vasten	TIG 30 min	SAW 5 min	-	SAW 1.5 h	<b>2 h 5 min</b>
MAG-pohja juuritukea vasten	TIG 1h	MAG 10 min	MAG 20 min	SAW 1.5 h	<b>3 h</b>

### 9.1 Jauhekaarihitsauksen tulokset

Koska kuparisen juurituen pinta oli tasainen, ei hitsin juurella ollut tilaa muotoutua ja juuren kupu jäi useasta kohdasta vajaaksi. Juuri muodostui 8 – 12 mm:ä leveäksi. Leveä ja vajaakupuinen juuri on esitetty kuvassa 50. Läpihitsautumiseen tarvittiin melko suuri hitsausvirta, mikä voi johtua kuparin jäähdyttävästä vaikutuksesta. Liian suurella hitsausvirralla (koenumero 3) juurituki tarttui hitsiin kiinni. Käytettyjä hitsausparametreja on esitetty taulukossa 6.



Taulukko 6. Jauhekaarhitsauksen hitsausparametreja, kun kuparisen juurituen pinta on tasainen.

Koe-nro	Virta [A]	Jännite [V]	Hits.nop. [mm/min]	Läm.tuonti [kJ/mm]	Tulos
1	450	28	500	1.512	Vajaa hitsautumissyvyys
2	520	28	485	1.801	Vajaa hitsautumissyvyys
3	530	28	440	2.024	Läpihitsautuminen, juurituki tarttui kiinni
4	510	29	440	2.017	Juuri aloitusta ja lopetusta lukuun ottamatta läpihitsautunut



**Kuva 50.** Tasaista juuritukea vasten jauhekaarhitsattu juuri. Juuri muodostui melko leveäksi ja kupu jäi useasta kohdasta vajaaksi. Kuvassa on koenumero 4.

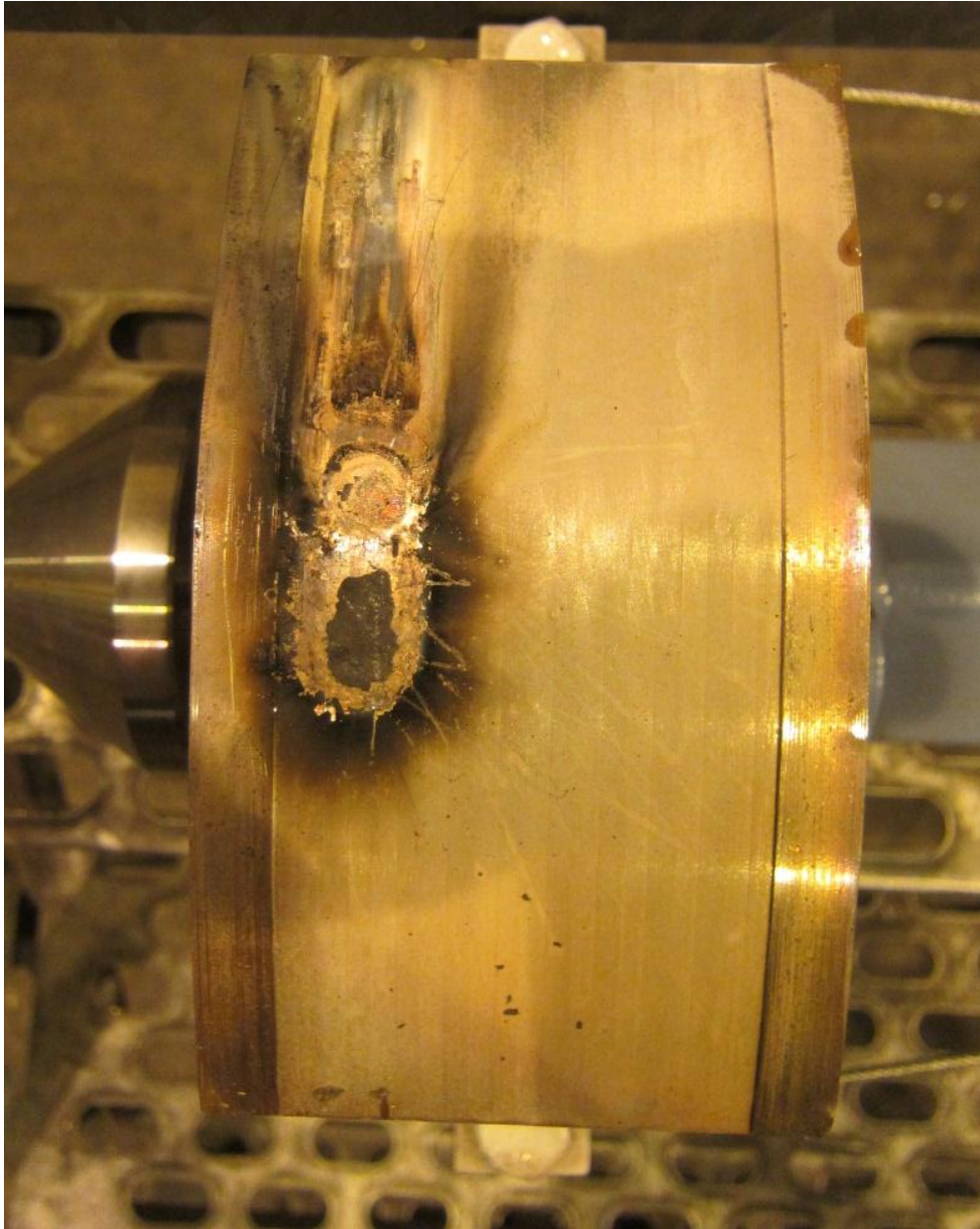
Kun juuritukeen jyrssiin 0.5 mm syvä ura, juuri läpihitsautui helposti ja muodostui hieman kapeammaksi. 500 A:n hitsausvirralla juuri hitsautui läpi, ja tunkeuma ja sula muodostui niin suureksi, että juurituki tarttui tiukasti sulaan kiinni (kuva 51). Vähentämällä hitsausvirtaa ja

nostamalla hitsausnopeutta juuri saatiin läpihitsautumaan siten, että vajaata juuren kupua ei syntynyt (koenumero 8) eikä juurituki tarttunut hitsiin. Juuren pintaan syntyi kuitenkin aina jauhekaarihitsauksessa lasittunut kuonakerros, joka täytyi irrottaa mekaanisesti. Kuvassa 52 on jauhekaarihitsatun koekappaleen juuri. Käytettyjä hitsausparametreja ja saatuja tuloksia on esitetty taulukossa 7.

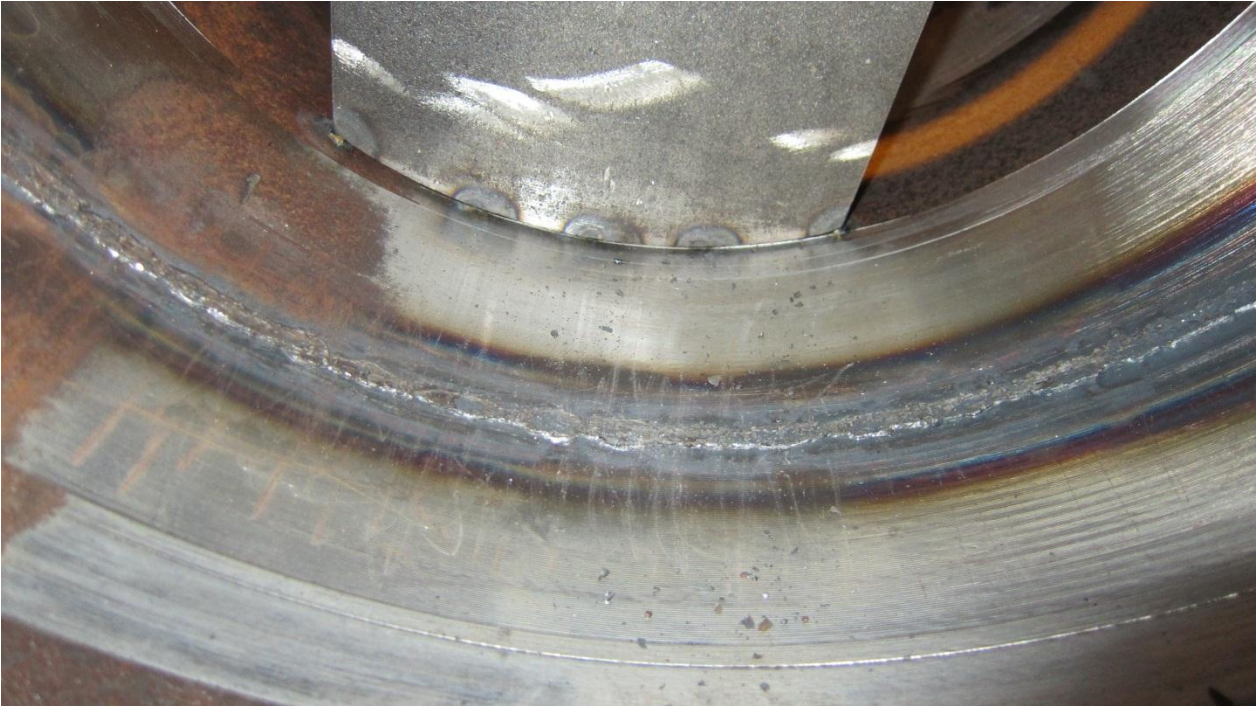
*Taulukko 7. Jauhekaarihitsauksen hitsausparametreja, kun kuparisessa juurituessa on ura.*

<b>Koe-nro</b>	<b>Virta [A]</b>	<b>Jännite [V]</b>	<b>Hits.nop [mm/min]</b>	<b>Läm.tuonti [kJ/mm]</b>	<b>Tulos</b>
5	500	28	440	1.909	Juurituki tarttui miltei heti kiinni
6	420	23	420	1.380	Juuri ei hitsautunut läpi
7	450	26	440	1.595	Aloituskohdasta lukuun ottamatta läpihitsautunut
8	460	26	470	1.527	Juuri koko matkalta läpihitsautunut





**Kuva 51.** 500 A:n hitsausvirralla juurituki tarttui kiinni juuripintaan. Juurituessa näkyy 0.5 mm syvä ja 60 mm leveä ura.



**Kuva 52.** Jauhekaarihitsatun koekappaleen juuri, kun kuparisessa juuritussa on 0.5 mm syvä ura. Kuvassa näkyy harmaa lasittunut kuona. Kuva on hitsauskoenumerosta 8.

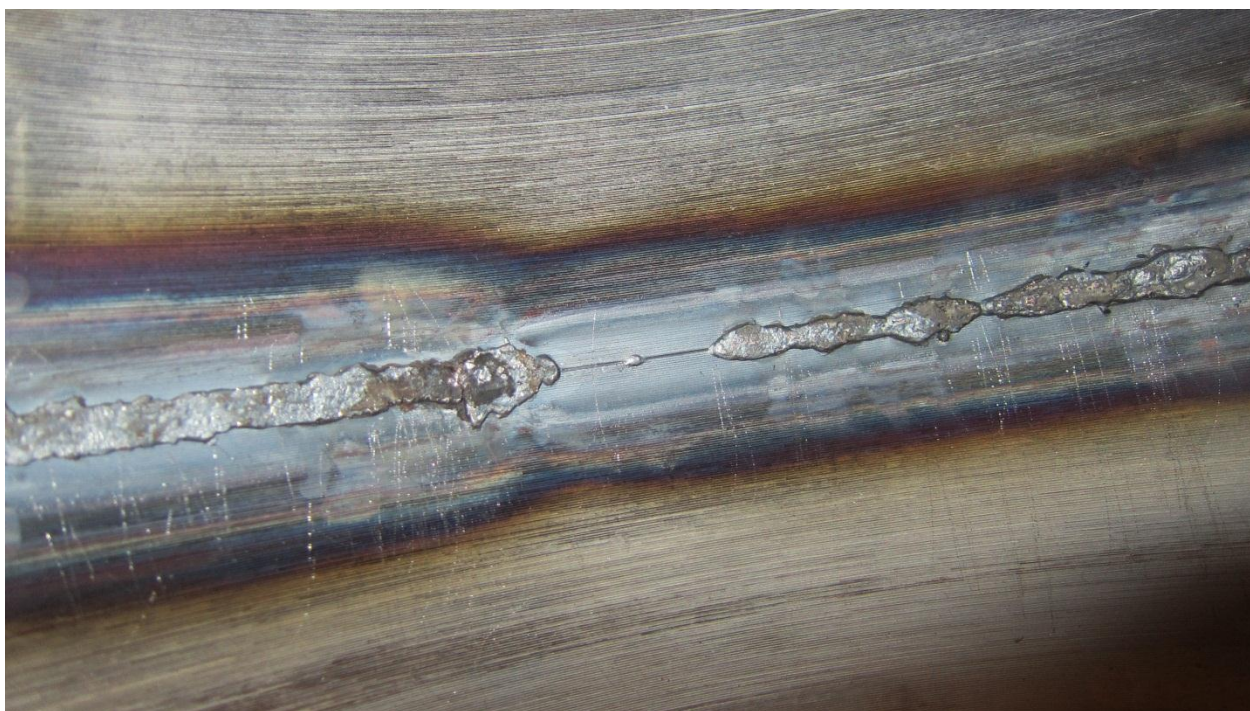
## 9.2 MAG-hitsauksen tulokset

MAG-hitsaus juuritukea vasten onnistui vaihtelevasti. Hitsauksen harjoittelu ja koenumerot 9 ja 11 suoritettiin ohutseinäisempään putkeen. Koenumerot 10, 12 ja 13 suoritettiin menetelmäkoekappaleisiin. Koenurossa 10 suoritettiin koekappaleelle esilämmitys 120 °C:een. Esilämmitys katsottiin kuitenkin vaikeuttavan hitsausta, minkä vuoksi sitä ei suoritettu koenumeron 12 ja 13 menetelmäkoekappaleisiin. Juuri muodostui MAG-hitsauksissa kapeammaksi kuin jauhekaarihitsauksissa. Kaksi ensimmäistä koehitsausta (koenumerot 9 ja 10) suoritettiin 2 mm:n ilmarakoon, koenumbero 11 suoritettiin 4 mm:n ilmarakoon ja kaksi jälkimmäistä (koenumerot 11 ja 12) 3 mm:n ilmarakoon. Koenueron 11 ilmarako oli liian suuri, mistä seurasi juurituen tarttuminen sulaan kiinni ja hitsauksen keskeytyminen. 2 mm:n ilmarakoon hitsatessa syntyi paikoitellen vajaata hitsaantumisyyvyyttä (kuva 53). MAG-hitsausten hitsausparametrit ja tulokset on esitetty taulukossa 8.



Taulukko 8. MAG-hitsausten hitsausparametrit ja tulokset.

Koe -nro	Ilma- rako [mm]	Virta [A]	Jännite [V]	Hits.nop [mm/min]	Läm.tuonti [kJ/mm]	Tulos
9	2	215	29	220	1.360	Paikoitellen vajaata hitsautumissyvyyttä
10	2	215	29	200	1.496	10 mm:n matkalta vajaa hitsautumissyvyys
11	4	205	28	240	1.148	Juurituki tarttui kiinni, ilmarako liian suuri
12	3	205	28	240	1.148	Juuri koko matkalta läpihitsautunut ja hyvä
13	3	190	27	240	1.026	Juurituki tarttui kiinni ja hitsi paloi läpi



**Kuva 53.** MAG-hitsatun koekappaleen juuri. Kuvassa koenumero 9. Kuvasta nähdään vajaa hitsautumissyvyys.

MAG-hitsausta vaikeutti kapea railomuoto. Kaasusuuttimen koon vuoksi levitysliikkeen tekeminen oli haastavaa. Koenumeron 12 hitsaus jouduttiin välillä keskeyttämään ja jatkamaan, mutta tämä ei kuitenkaan aiheuttanut ongelmaa hitsaukseen. Koenumeron 13 hitsauksen puolivälissä juurituki alkoi tarttumaan sulaan, ja lopulta hitsi paloi läpi aiheuttaen reiän railoon.

Koska MAG-hitsauksessa käytettiin ilmarakoa, kului silloitusvaiheeseen huomattavasti enemmän aikaa. Ilmaraottoman liitoksen kappaleet olivat helpommat asettaa paikoilleen. Silloittaessa täytyi ottaa huomioon hitsin kutistusjännitykset, jotka vetivät ilmarakoa kiinni hitsattaessa siltahitsejä.

### 9.3 Tulosten analysointi

Jauhekaarihitsauksissa huomattiin juurituen muodolla olevan vaikutusta tunkeumaan ja juuripinnan muotoon. Vajaa ja leveä juurikupu muodostui, kun juurituessa ei ollut uraa eikä juurituen ja koekappaleen pinnan välillä ollut ilmarakoa. Tällöin tarvittiin suurempi hitsausvirta läpihitsaantumisen saavuttamiseksi. Tulos voi johtua kuparisen juurituen suuresta jäähdyttävästä vaikutuksesta, koska kupari koski koekappaleen pintaa 80 millimetriä leveältä matkalta. Juurikupu jäi vajaaksi, koska sillä ei ollut tilaa muotoutua koekappaleen pinnan ja juurituen välissä. Kuparinen uraton juurituki myös tarttui urallista helpommin kiinni sulaan, koska jouduttiin käyttämään suurempaa hitsausvirtaa.

Urallista juuritukea käytettäessä jauhekaarihitsauksessa läpihitsaantuminen tapahtui noin 10 % pienemmällä hitsausvirralla verrattuna uratonta juuritukea käytettäessä. Uran vuoksi juurituen pinnan ja koekappaleen pinnan välissä oli 0.5 millimetrin ilmarako. Ilmaraon vuoksi juurituki jäähdytti koekappaleen pintaa uratonta juuritukea vähemmän. Lisäksi ilmaraon vuoksi juurikupu pääsi paremmin muotoutumaan kupumaiseksi, eikä jäänyt "vajaaksi".

MIG/MAG-hitsauksessa hitsausrilon ilmaraolla huomattiin olevan vaikutusta läpihitsaantumiseen ja juurituen tarttumiseen hitsisulaan kiinni. 2 millimetrin ilmarakoon hitsattaessa hitsissä esiintyi vajaata hitsaantumisvyvyttä. 4 millimetrin ilmarako havaittiin liian suureksi, koska hitsisulaa jouduttiin pitämään suurena ja juurituki tarttui sulaan kiinni. 3 millimetrin ilmarakoon saatiin hitsattua yksi koekappale hyväksyttävästi, mutta menetelmäkoekappaleeseen hitsattaessa samoilla hitsausparametreilla jouduttiin hitsaus

keskeyttämään juurituen tarttuessa sulaan. Koska MAG-hitsaus suoritettiin vain osittain mekanisoidusti (käsien hitsaten pyörivään kappaleeseen), vaikutti hitsauksen onnistumiseen paljon hitsaajan suoritus. Lisäksi hitsauksissa havaittiin, että juurituen tarttuessa sulaan kiinni, koekappaleen pyörimisliike väänsi juuritukea, kunnes juurituki irtosi jähmettyneestä hitsisulasta. Tämä juurituen tarttuminen ja irtoaminen aiheutti välystä juurituen ja koekappaleen välille, mikä uusien tarttumisten aiheuttamana kasvoi lopulta useaan millimetriin, aiheuttaen sulan "valahtamisen" juurituen ja juuripinnan väliin.

MAG-hitsauksessa ja juurituen käytössä havaittiin olevan hyvin monta eri muuttujaa, jotka vaikuttivat hitsauksen onnistumiseen. Yksi tärkeimmistä on hitsauspolttimen kuljetus, joka havaittiin ahtaassa railossa olevan vaikeaa. Lisäksi MAG-hitsauksessa hitsaajalla täytyi olla apumies, joka tarkkaili juurituen tarttumista, säätöi pyöritysliikkeen nopeutta tarvittaessa ja keskeytti pyöritysliikkeen virheen sattuessa.

Juuritukilaitteen lineaarijohteissa oli hieman liikaa välystä, mikä havaittiin kuparisen juurituen ja tukirenkaiden "lonksumisena". Tämä ei kuitenkaan haitannut juuritukilaitteen toimintaa hitsauksissa, koska vajereiden ja jousen avulla välitys kiristettiin pois. Lisäksi hitsaaja ei näe juuritukea hitsattaessa, mikä voi juurituen tarttuessa sulaan kiinni johtaa juuritukilaitteen rikkoutumiseen.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suoritettujen hitsauskokeiden perusteella voidaan todeta, että tässä työssä suunniteltua juuritukilaitetta ei voida ottaa tuotannossa käyttöön. Jos juuritukea käytetään hitsauksessa, täytyy hitsauksen tapahtua niin luotettavasti, että virheitä ja keskeytymisiä ei tapahdu. Jos sylintereitä hitsattaessa juurituki tarttuu sulaan kiinni, on juurituen irrottaminen pitkistä sylinteristä hankalaa. Vajaata hitsautumissyvyyttä esiintyessä hitsi joudutaan avaamaan sorvaamalla, mistä voi seurata sylinterin lyhentyminen.

Juurituen käyttö puristussylinterien hitsauksessa nopeuttaa hitsausta huomattavasti. Juurituen avulla pohjan täyttöpalkojen MAG-hitsaus voidaan teoriassa jättää pois, koska läpihitsautuminen voidaan saada aikaiseksi 4 millimetriä paksussa juuressa ja täyttöpalkojen hitsaus voidaan suorittaa tämän jälkeen suoraan jauhekaarella. Pohjapalon hitsauksessa juuritukea vasten, juuren puolelle muodostuva huonosti irtoava kuona karsii mahdollisuuden käyttää jauhekaarihitsausta. Kuonan poisto yli 2 metriä pitkän sylinterin sisältä on hankalaa. MAG-hitsauksen käyttöä ei voida täysin sulkea pois pohjapalon hitsauksesta, koska yksi onnistunut juuritukea vasten suoritettu hitsauskoe työssä tehtiin. MAG-hitsaus havaittiin kuitenkin vaikeammaksi kuin jauhekaarihitsaus, koska MAG-hitsaus suoritettiin vain osittain mekanisoidusti.

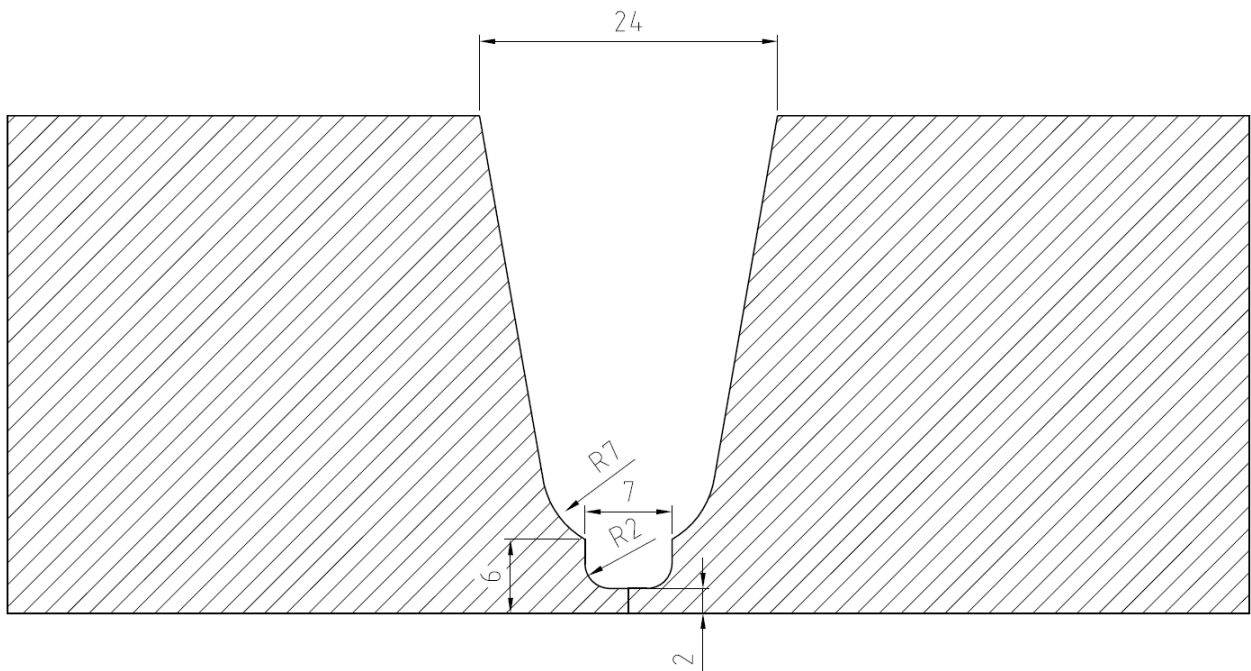
Puristussylinterien hitsauksessa on tärkeää, että hitsausvirheitä ei synny lähelle railon pohjaa ja juurta, koska niiden havaitseminen ultraäänitarkastuksessa ennen täyttöpalkojen hitsausta on hankalaa ja valmiin hitsin avaaminen ja uudestaan hitsaaminen on kallista ja aikaa vievää. Tässä työssä suunnitellun mekaanisen juuritukilaitteen käyttö saattaa kasvattaa mahdollisuuksia virheiden synnylle, koska sen toiminta havaittiin epävarmaksi.

### 10.1 Jatkotutkimusaiheet

Puristussylinterien hitsaus vaatii jatkotutkimuksia, jotta hitsauksesta saadaan riittävän luotettavaa. Tällä hetkellä Rautessa käytössä olevista hitsausprosesseista TIG-hitsaus on selvästi luotettavin prosessi sylinterien pohjapalon hitsaukseen. TIG-hitsauksella juuri saadaan hyvin

läpihitsaantumaan ja juuri jää jouhevan muotoiseksi. Jatkotutkimuskohteeksi voidaan ehdottaa hitsauksen suorittamista seuraavalla tavalla:

- Pohjapalon TIG-hitsaus modifioituun U-railoon (kuva 54)
- Pohjan täyttöhitsaus TIG-prosessilla, jotta railon pohjan paksuudeksi saadaan 6 millimetriä
- Täyttöpalkojen jauhekaarhitsaus 3 millimetrin paksuisella hitsauslangalla



**Kuva 54.** Ehdotus hitsausrailoksi. Mitat ovat millimetreissä.

3 millimetrin paksuisen lisäainelangan käyttö jauhekaarhitsauksessa tekee mahdolliseksi pienemmän hitsausvirran käytön, jolloin lämmöntuonti ja hitsin läpipalamisvaara pienenee. Tällöin välipalkolämpötila ei välttämättä ylittyisi hitsauksen aikana, ja täyttöpalkojen hitsaus voitaisiin suorittaa keskeytymättä.

Pohjapalon hitsaukseen vartenotettavia menetelmiä on eri valmistajien kehittämiä, pohjapalon läpihitsaukseen suunnitellut MAG-prosessit (esimerkiksi Kempin FastROOT) sekä erilaiset pulssi-MAG-prosessit. Näillä menetelmillä pohjapalkko voitaisiin saada läpihitsatuksi, sekä muutama täyttöpalkko hitsatuksi jauhekaarhitsausta varten.

Koska hitsattavien kappaleiden railopinnat valmistetaan koneistamalla, voisi pohjapalon hitsaus olla mahdollista myös plasmahitsausprosessilla. Plasmahitsauksessa voitaisiin mahdollisesti käyttää tässä työssä suunniteltua juuritukea. Läpihitsautuminen voidaan saavuttaa plasmahitsauksella 5 – 7 millimetrin paksuisessa pohjassa, jolloin täyttöpaloit voitaisiin hitsata jauhekaarella 3 millimetrin hitsauslangalla ilman läpipalamisen vaaraa. Plasmahitsauksen käyttöä rajoittaa polttimen koko, jonka vuoksi hitsausrilo voitaisiin joutua muuttamaan avarammaksi. Plasmahitsaus vaatisi kuitenkin laiteinvestoinnin. Plasmahitsaukselle ei ole tällä hetkellä tiedossa muita kohteita Rautessa, minkä vuoksi investointi ei ole järkevää.



## 11 YHTEENVETO

Yleinen rakenneteräs S355J2 on hyvin hitsattava teräs, mutta suuria ainepaksuuksia hitsattaessa täytyy ottaa huomioon mekaanisten ominaisuuksien muuttuminen ja eri halkeamien synty. Ainepaksuuden kasvaessa hitsin jäähtymisaika pienenee, mikä lisää hitsin ja muutosvyöhykkeen kovuutta ja pienentää transitiolämpötilaa. Hitsin nopea jäähtyminen ja suuri vedyn määrä voi aiheuttaa kylmähalkeamia. Jäähtymisaikaan ja kylmähalkeamien syntyyn voidaan vaikuttaa hitsauksen lämmöntuonnin lisäksi esilämmityksellä. Kuumahalkeamia voi esiintyä, kun palkomuoto on syvä ja kapea, hitsiin suotautuu paljon epäpuhtauksia ja liitokseen vaikuttaa suuria jännityksiä. Liian suuri lämmöntuonti voi johtaa liian suureen jäähtymisaikaan, jolloin iskusitkeysominaisuudet ja kovuus heikkenevät. Hitsauksen suunnittelun apuna voidaan käyttää erilaisia laskukaavoja, joilla arvioidaan halkeamien syntyherkkyyttä ja hitsin jäähtymisnopeutta.

Hitsaus on haastava ja tärkeä vaihe puristussylinterien valmistuksessa. Hitsaus on suoritettava yhdeltä puolen ja hitsattavat materiaalipaksuudet ovat 20 – 60 mm. Hitsiluokkavaatimus hitseille on B puristussylinterissä vaikuttavan dynaamisen kuormituksen vuoksi. Suurimmat haasteet ovat sylinterin pohjan ja sylinteriputken hitsauksessa, koska hitsiä ei voida hitsauksen jälkeen työstää sorvaamalla sylinterin sisäpuolelta.

Hitsin tavoitteellinen laatu voidaan saavuttaa ottamalla huomioon kaikki tärkeät laatutekijät. Hitsausohje luo perustan hitsauksen toteutukselle, laadunvarmistukselle ja vaatimuksille. Hitsausohjeen lisäksi tärkeitä laatutekijöitä ovat muun muassa koulutettu henkilökunta, tekniset katselmukset, oikeanlainen ja riittävä hitsien tarkastus ja testaus sekä lisäaineiden käsittely ja varastointi. Jauhekaarihitsauksen laatuun vaikuttaa oleellisesti lisäaineiden ja hitsattavien materiaalien puhtaus, johon liittyy hitsauksessa syntyvän kuonan poisto. MAG-hitsauksen laatuun vaikuttavia tärkeitä tekijöitä ovat lisäaineiden ja hitsattavien pintojen puhtauden lisäksi sopivien hitsausarvojen säätäminen, jotta roiskeiden määrä pysyy vähäisenä.

Juuritukea käytetään hitsauksessa läpihitsaantumisen varmistamiseksi hitsattaessa yhdeltä puolelta. Juurituki estää sulan valumisen juuren puolelta sekä suojaa ja muotoilee sulaa. Juurituki

voi olla kiinteä hitsattavasta materiaalista valmistettu tuki, kuparinen tai keraaminen kisko, jauhe, nauha tai yhdistelmäjuurituki. Sylinterimäisien kappaleiden hitsaukseen on olemassa erityisiä juuritukilaitteita, jotka painavat kuparista juuritukea kappaleen juuripintaa vasten. Nämä laitteet on kehitetty putkilinjojen hitsaukseen yhdeltä puolelta. Kuparista juuritukea käytettäessä täytyy varoa kuparin sulamista ja suotautumista hitsiaineeseen. Juurituen sulamista voidaan estää juuritukea jäädyttämällä, mutta liian suuri jäähdytys voi pienentää hitsin jäähtymisaikaa ja vaikuttaa liitoksen mekaanisiin ominaisuuksiin.

Tässä työssä kehitettiin yksitoimisten suurten puristussylinterien valmistusta Rautessa. Työssä keskityttiin sylinteripohjan ja sylinteriputken hitsauksen kehittämiseen. Sylinterit valmistetaan rakenneteräksestä S355J2. Hitsauksen avuksi suunniteltiin sylinterin sisäpuolelle asennettava juuritukilaite, joka painaa kuparista juuritukea juuripintaa vasten. Juuritukilaitteen avulla pyrittiin sylinterin hitsausta yksinkertaistamaan ja nopeuttamaan, sekä tekemään hitsauksesta luotettavampaa. Työssä suunniteltu juuritukilaite valmistettiin ja sen toimivuutta testattiin hitsaamalla koekappaleita.

Koehitsaukset suoritettiin hitsin pohjapalolle. Ensin hitsaukset suoritettiin juuritukea vasten jauhekaarella. Jauhekaarihitsaus aiheutti lasittuneen kuonan hitsin juuren puolelle, mikä havaittiin vaikeasti irrotettavaksi. Tällainen kuona voisi irrota sylinterin käytössä ja aiheuttaa ongelmia öljynkierrossa. Tämän vuoksi pohjapalon jauhekaarihitsausta ei voida ottaa käyttöön tuotannossa.

Pohjan hitsaus suoritettiin myös MAG-prosessilla juuritukea vasten. Hitsaus juuritukea vasten havaittiin hankalaksi, koska sulan ollessa liian suuri, tai valokaaren osuessa juuritukeen, tarttui sula kiinni kupariin aiheuttaen hitsauksen keskeytymisen. Yksi onnistunut MAG-hitsattu hitsi saatiin valmistettua, mutta juurituen käyttö MAG-hitsauksessa havaittiin liian hankalaksi tuotannossa käytettäväksi.

Hitsauskokeiden tuloksista voitiin todeta, että työssä suunnitellun juuritukilaitteen käyttö tuotannossa vaatii lisää hitsauskokeita. Hitsauskokeissa käytetyillä prosesseilla juuren hitsausta ei saatu riittävän luotettavalle tasolle. Tämän vuoksi uusia hitsausohjeita ei voitu puristussylinterien hitsaukselle hyväksyä. Työssä annettiin kehitysehdotus, jossa railon muoto muutettaisiin

sopivaksi pohjapalon ja pohjan täyttöpalkojen hitsaukseen TIG-prosessilla. TIG-hitsauksen jälkeen loput täyttöpäloset voitaisiin hitsata jauhekaarella käyttäen 3 mm:n hitsauslankaa, jolloin lämmöntuonti saadaan pysymään suhteellisen pienenä ja hitsiaineentuotto riittävän suurena.

## LÄHTEET

Acoff, V. L., Babu, S. S., Lienert, T. J. & Siewert, T. A., 2011. ASM Handbook, Volume 06A - Welding Fundamentals and Processes. ASM International.

Altemühl, B., 1/2010. LNG tank erection using the spiral method. Svetsaren, 1/2010.

Berke, M., 2011. Ainettarikkomaton ultraäänitarkastus. [Verkkodokumentti]  
Saatavissa: <http://www.sonar.fi/sites/default/files/ultraaanitarkastus.pdf>  
[Viitattu 28.8.2013].

Blome, K., 3/2000. Welding hydraulic cylinders using OK Tubrod 14.11 and the MAG and MAG-tandem process. Svetsaren.

Evans, P., 2012. Cracking down on weld cracks. The fabricator.

Hahn, H., 2004. Low-tech system mechanizes pipe welding: Backing device allows GMAW on open root. The Fabricator.

Hakkarainen, T., 2007. Vaiheistettu ultraäänitekniikka - luotettavuutta laadunvalvontaan. Hitsaustekniikka, 3/2007.

Heston, T., 2010. Welding the fast and narrow. The Fabricator.

Holmström, J.-E., 2007a. Hitsausvirheet ja niiden hyväksymisrajat, osat 1 ja 2. Hitsaustekniikka, 3/2007.

Holmström, J.-E., 2007b. Hitsausvirheet ja niiden hyväksymisrajat, osat 3 ja 4. Hitsaustekniikka, 4/2007.

Levi, E. & Patel, N. M., 2009. Submerged arc welding optimization. The Fabricator.

Lincoln Electric, 2011. AC/DC-jauhekaarihitsaus. [Verkkodokumentti]. Saatavissa:  
<http://pirkkahitsi.fi/documents/Lincoln%20esitteet/pw1000acdc.pdf> [Viitattu 2.9.2013]

Lukkari, J., 1/2000. Hitsien laatu ja hitsausvirheet, osa 1. Hitsausuutiset.

Lukkari, J., 2/2000. Hitsien laatu ja hitsausvirheet, osa 2. Hitsausuutiset.

Lukkari, J., 3/2000. Hitsien laatu ja hitsausvirheet, osa 3. Hitsausuutiset.

Lukkari, J., 2002. Hitsaustekniikka. Perusteet ja kaarihitsaus. 4. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Lukkari, J. & Vähäkainu, O., 1/2003. How much heat can various steels and filler metals withstand. Svetsaren.

Lukkari, J., 2007. Kansainvälinen hitsauskonferenssi Dubrovnikissa. Hitsaustekniikka, Osa 4.

Lukkari, J., 1/2008. Kuumahalkeilu hitseissä. Hitsausuutiset.

Massey, S., 2013. 3 ways to boost submerged arc welding performance. The Fabricator.

Mobley, R., 2000. Fluid power dynamics. Butterworth-Heinemann.

Mustakallio, S., 1998. Raute 1908-1998. Helsinki: Oy Edita Ab.

Määttänen, T., 2013. Chief design engineer, Raute Oyj. [Haastattelu]. 17.6.2013.

Nadzam, J., 2013. East End Welding, Inc., Implements Robotic Submerged Arc Welding For Power Generation Application. [Verkkodokumentti] Saatavissa:

<http://www.lincolnelectric.com/en-us/support/application-stories/Pages/east-end-welding-implements-robotic-submerged-arc-welding.aspx> [Viitattu 29.8.2013].

Orsini, T. & Gerbec, D., 2010. Improving productivity with submerged arc welding. The Fabricator.

Ovako Oy, 2012. Ovakon terästen hitsaus. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www.ovako.com/PageFiles/320/Ovakon\\_terasten\\_hitsaus\\_15724.pdf](http://www.ovako.com/PageFiles/320/Ovakon_terasten_hitsaus_15724.pdf) [Viitattu 27.8.2013].

Pemamek Oy, 2012. Robotised submerged arc welding. Pemanews.

Raute Oyj, 2013. Raute lyhyesti, Rauten esitysmateriaali. Saatavissa: <http://www.raute.fi/raute-lyhyesti>

Reisgen, U., Olschok, S., Mavany, M. & Jakobs, S., 2011. Laser beam submerged arc hybrid welding, Aachen: RWTH Aachen University, ISF Welding nad Joining Institute.

RSM Welding Systems, 2013. Internal welding. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.rmsweldingsystems.com/Equipment/InternalWelding/tabid/63/Default.aspx> [Viitattu 28.8.2013].

Ruukki Oyj, 2013a. Hitsaus. Yleistietoa. Helsinki: Ruukki Oyj.

Ruukki Oyj, 2013b. Materiaalivalinta ja hitsausaineet. Kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat. Helsinki: Ruukki Oyj.

Savolainen, P., 2009. Laatu ja kustannukset syntyvät tekemällä, ei tarkastamalla. Hitsaustekniikka, 3/2009.

Stano, D. & Matejec, J., 2010. ESAB narrow gap welding technology boosts production for Slovakian boiler fabricator. Svetsaren, Osa 65, p. 80.

Suoranta, R., 2007. MIG/MAG-hitsaus. Hitsaustekniikka. 2/2007.

Tekninen tiedotus 10/86, 1986. Jauhekaarihitsaus. Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto.

Tekninen tiedotus 11/79, 1979. Yhdeltäpuolen hitsaus juuritukea vasten. Helsinki: Suomen metalliteollisuuden keskusliitto.

Tillaeus, M., 2013. Specialist, product safety, Raute Oyj [Haastattelu]. 29.8.2013.

Toikka, P., 2008. Kokemuksia hitsauksen laadunvarmistuksesta ISO 3834 -aikakaudella. Hitsaustekniikka, 1/2008.

Witting, L., 2004. Hitsauksen materiaalioppi. 1. painos toim. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen yhdistys r.y..

## **STANDARDIT**

SFS-EN 10025-2, 2004. Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1011-2, 2001. Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset. Osa 2, ferriittisten materiaalien kaarihitsaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 10210-1, 2006. Kuumamuovatut seostamattomista teräksistä ja hienoraeteräksistä valmistetut rakenneputket. Osa 1: tekniset toimitusehdot. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 11666, 2011. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus. Hyväksymisrajat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1320, 1997. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Murtokoe. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 1321, 1997. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Hitsien makro- ja mikrohietutkimus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 14171, 2010. Hitsauslangat ja lanka-jauheyhdistelmät seostamattomien ja hienoraeterästen jauhekaarihitsaukseen. Luokittelu. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 14174, 2012. Hitsausaineet. Hitsausjauheet jauhekaari- ja kuonahitsaukseen. Luokittelu. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 148-1, 2010. Metallien Charpyn iskukoe. Osa 1: Menetelmä. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 15607, 2004. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Yleisohjeet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 15608, 2013. Ohjeet metallisten materiaalien ryhmittelylle. Hitsaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 15609-1, 2004. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Kaarihitsaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 15610, 2004. Hitsausohjeet niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntä testatuilla hitsausaineilla. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.



SFS-EN ISO 15611, 2004. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntä aikaisemmalla hitsauskokemuksella. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 15612, 2004. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Standardihitsausohjeet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 15613, 2004. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntä esituotannollisella kokeella. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 15614-1+A1+A2, 2012. Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntä menetelmäkokeella. Osa 1: terästen kaari- ja kaasuhitsaus sekä nikkelin ja nikkelseosten kaarihitsaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1711, 2000. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien pyörrevirtatarkastus kompleksitasoanalyysilla. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 17635, 2010. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Yleisohjeet metallisille materiaaleille. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 17636-1, 2013. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus. Osa 1: röntgen ja gammakuvaus filmitekniikalla.. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 17637, 2011. Hitsin rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 17638, 2010. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Magneettijauh tarkastus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 17640, 2011. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Tekniikat, tarkastustasot ja arviointi. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 23277, 2010. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 23278, 2010. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien magneettijauhetaarkastus. Hyväksymisrajat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 27239, 2010. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien ultraäänitarkastus. Hitsausvirheiden tyypin määrittäminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 3059, 2013. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumaneste- ja magneettijauhetaarkastus. Katseluolosuhteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 3834-1, 2006. Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 1: laatuvaatimuksen valintaperusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 4063, 2011. Hitsaus ja niiden lähiprosessit. Prosessien nimikkeet ja niiden numerotunnukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 4136, 2012. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Poikittainen vetokoe. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 5173+A1, 2011. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Taivutuskokeet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 5178, 2012. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Hitsiaineen pitkittäinen vetokoe sulahitsausliitoksissa. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 571-1, 1997. Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus. Osa 1: Yleisperiaatteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 5817, 2006. Hitsaus. Terästen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 583-1, 1999. Rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Osa 1: yleisperiaatteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 583-3, 1997. Rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Osa 3: läpäisytekniikka. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 6506-1, 2006. Metallien Brinellin kovuuskoe. Osa 1: Menetelmä. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 6507-1, 2006. Metallien Vickersin kovuuskoe. Osa 1: Menetelmä. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 6892-1, 2009. Metallien vetokoe. Osa 1: vetokoe huoneenlämpötilassa. Helsinki: Suomen standardiliitto SFS.

SFS-EN ISO 9001, 2008. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

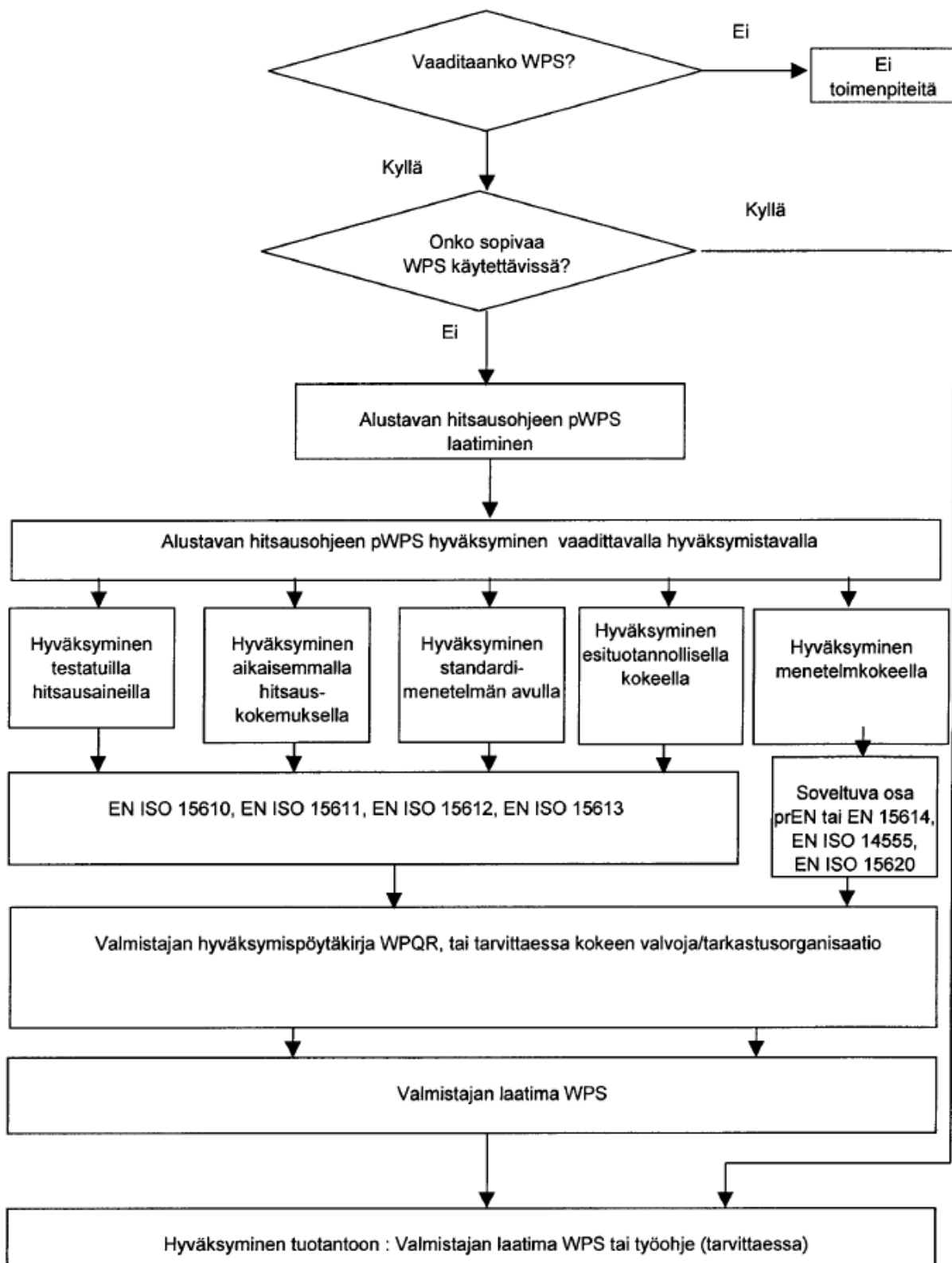
SFS-EN ISO 9015-1, 2011. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Kovuuskokeet. Osa 1: Kaarihitsausliitosten kovuuskoe. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.



SFS-EN ISO 9016, 2012. Hitsien rikkova aineenkoetus metalleille. Iskukoe. Koesauvan sijainti, loven suunta ja tarkastus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 9692-2, 1998. Railomuodot. Osa 2: Terästen jauhekaarihitsaus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Liite 1

Kulkukaavio hitsausohjeen laatimiselle ja hyväksymiselle (SFS-EN ISO 15607).



Železářny Veselí a.s.				divize Válcovny trub Chomutov									
		Libušina 4778, Chomutov 430 01, Czech Republic		www.vichomutov.cz		EN ISO 9001:2000 Certifikát č. 04 100 950284							
Příloha – Anlage – Annex – Annexe		Výsledky zkoušek - Ergebnis der Prüfungen - Test results – Résultats des tests											
2/2													
Attest č. - Attest Nr. - Certificate No - Certificat N°:		3959 /07		13.9.2007									
Mechanické zkoušky-Mechanische Prüfungen-Mechanical tests-Tests mécaniques				EN 10002-1		EN 10045-1							
Skupina Los Lot	Číslo zkoušky Probe Nr. Test No N° du test	Číslo tavby Schmelze Nr. Heat No N° coulé	Rozměry vzorku Probeabmessung Dim. of Specimen Dim. de l'échantillon		Odběr vzorku Probenentnahme Specimen Prélevement	Zkuš. teplota Prüftemperatur Test temperature Température du test	Mez kluzu Streck/Dehngrenze Yield point/Proof stress Limite d'élasticité	Pevnost v tahu Zugfestigkeit Tensile strength Résistance à la traction	Tahnost Bruchdehnung Elongation Allongement	Kontrakce Bruchschmüderung Reduction of area Contraction	Nárazová práce Schlagarbeit Energy of impact Energie de rupture	Vrub. Houževnatost Kerbschlagzähigkeit Impact strength Résilience	
			Toušťka Dicke Thickness Epaisseur	Šířka Breite Width Largeur									Směr Richtung Direction
	24114	71878	mm	mm		°C	MPa	MPa	%	%	J	J/cm <sup>2</sup>	
				Ø 10 10.00	L L	20 -20	354	517	35.7		137 127 119		
L = Podél – Längs – Along – En longueur; T = Příčně = Quer = Transverse = En travers													
Technologické zkoušky - Technologische Prüfungen – Technological test – Test technologiques:													
Chemické složení - Chemische Zusammensetzung - Chemical composition - Composition chimique (%)													
Tavba číslo Schmelze Nr. Heat No N° Coulée	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Nb	Ti	
71878	0.18	1.15	0.41	0.015	0.014	0.13	0.09	0.17	0.03	0.001 Ce 0.42	0.002 Al 0.042	0.012 B 0.0001	
Chomutov		P. 13. 09. 2007											
Dne – Datum – Date – Date												Zodpovědná osoba - Der Werkssachverständige - Inspector-le responsable	



Manufacturer: TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. /Průmyslová 1000 / 739 70 Třinec-Staré Město /Czech Republic  
 Production mill : VT – VÁLCOVNA TRUB / Výstavní 1132 / 706 02 Ostrava – Vítkovice / Czech Republic

1112133

Purchase Order No.: Liefers-Bestellung Nr.: VA10212	Shop Order No./ DS: Werksauftrags-Nr./DS: 9700205574	Benteler Distribution Deutschland GmbH & Co.KG Am Schlütershof 30 47059 Duisburg
4501281642/316	0041175279 / 319	
Bestellposition:80		Deutschland
Advice-Note No. - Aviso-Nr. : 11/07/004609/02 22.07.2011		

Inspection certificate 3.1- Abnahmeprüfzeugnis 3.1, EN 10204:2004

Products, Dimension, Specifications Produktart, Abmessungen, Spezifikation	Quantity Menge	Grade Qualitätsgrad	Norm Norme
Seamless steel tubes Nahtlose Stahrohre  343.00 x 10.00 mm	4 pcs/stck 49,510 mtrs/m 4293 kgs/kg	S355J2H E355+N P355N/TC1	EN 10210 04/2006 EN 10297-1 07/2004 EN 10216-3 03/2004 EN 10210

PED 97/23/EG(No.: 07 202 1413 ZW 0812 /10-TÜV NORD)  
 Manufacturer declares that is certified according to Article 4.3, Annex I of Directive 97/23 EC by the notified body TÜV NORD reg. No 0045. Certificate is valid until September 2013.  
 Der Hersteller erklärt, daß er nach Pkt.4.3 Anhang I, der Richtlinie 97/23 EG von der benannten Stelle TÜV NORD Reg.Nr. 0045 zertifiziert ist. Zertifikat ist bis September 2013 gültig.

Requirements(pipes) - Vorschrift (Rohre) :

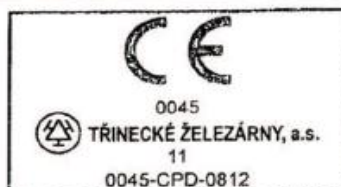
Heat No. Schmelze Nr.	Specimen No. Prüfung-Nr.	Yield Strength Streckgrenze ReH MPa	Tensile Strength Zugfestigkeit Rm MPa	Elongation Dehnung A5 %	Reduction of area Brucheseinschnürung Z %
		min 355	490-630	min 22	
Methods: Probenrichtung: L		Temperature(°C): Prüf temperatür(°C): 20			
T28702	34538	422,00	543,10	34,50	-
T29462	34539	417,00	543,60	34,90	-
Heat No. Schmelze Nr.	Specimen No. Prüfung-Nr.	Impact test Kerbschlagbiegeversuch J	Lateral expandit Laterale Breitung mm	Shear fracture area Zähbruchszone %	
		7,5x10 mm			
Methods: Probenrichtung: T		Temperature(°C): Prüf temperatür(°C): -20			
T28702	34538	124 95 130			
T29462	34539	113 153 152			

Heat chemical analysis in % (pipes) - Chemische Schmelze-Analyse % (Rohre) : Ceq max.: 0,45

Heat No. Schmelze Nr.	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Al	Nb	N	Ceq
T28702	0,16	1,17	0,19	0,012	0,007	0,03	0,03	0,19	0,005	0,034	0,001	0,023	0,003	0,0115	0,40
T29462	0,17	1,16	0,19	0,016	0,003	0,03	0,02	0,18	0,003	0,037	0,001	0,020	0,002	0,0117	0,41

ALL PRODUCTS MEET REQUIREMENTS OF ABOVE MENTIONED STANDARDS AND REQUIREMENTS SPECIFIED IN ORDER  
 THE DECLARATION IS ISSUED UNDER THE SOLE RESPONSIBILITY OF THE SUPPLIER  
 ALLE PRODUKTE ENTSPRECHEN DEN O.A. NORMEN UND FORDERUNGEN IN DER BESTELLUNG  
 DIE ERKLÄRUNG WURDE AUSSCHLIESSLICH AUF EIGENE VERANTWORTUNG DES LIEFERANTEN HERAUSGEGEBEN

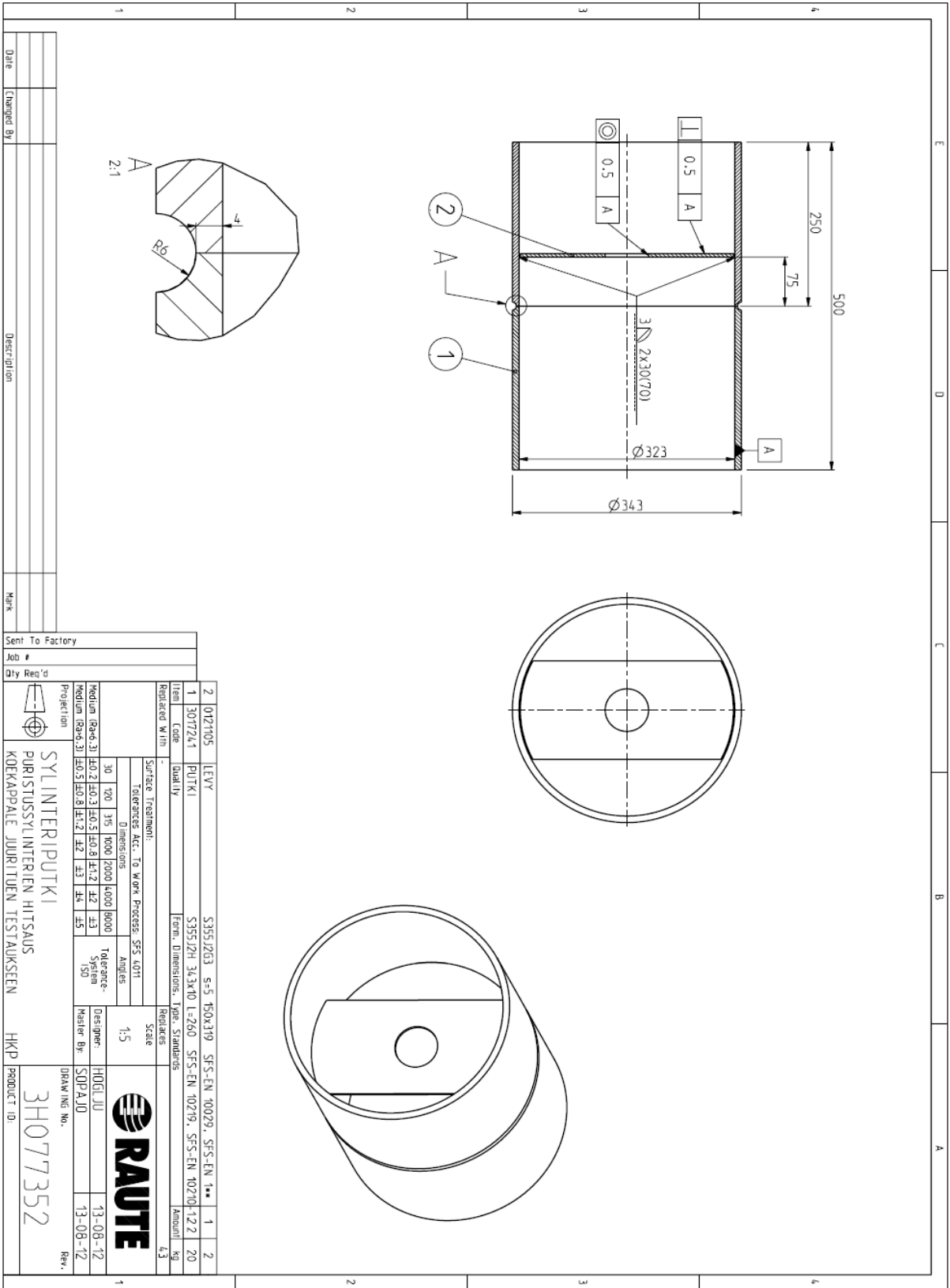
Ostrava-Vitkovice :  
25.07.2011  
tel.: 00420/59/595/2354  
fax: 00420/59/595/2158



Work's inspector  
Der Werkssachverständige

Liite 4

Valmistuspiirros koekappaleelle juurituen testausta varten

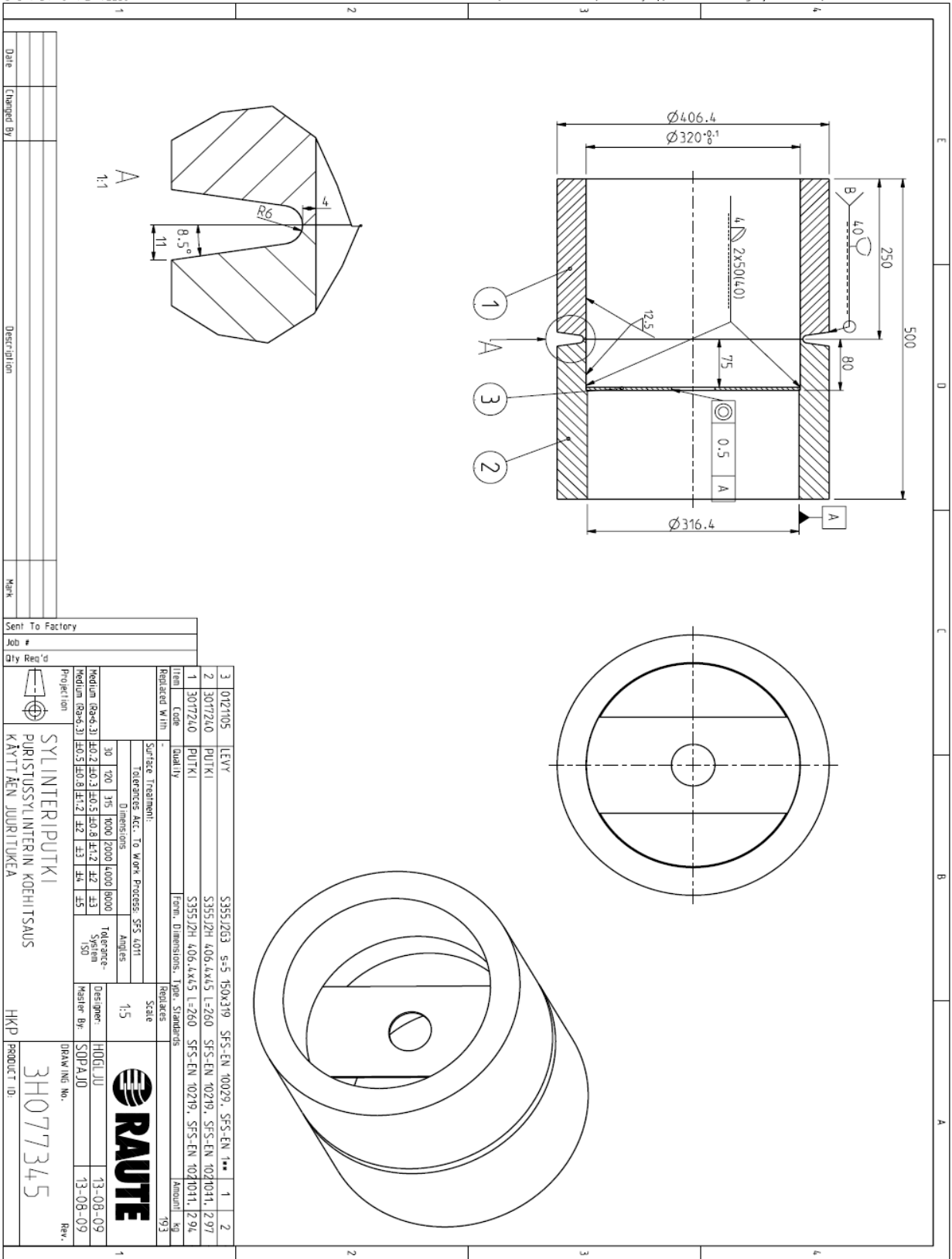


Date	Changed By	Description	Mark

Sent To Factory		Job #		Qty Req'd	
2	0127105	LEVY	S355J2G3	5-5	150x119
1	3077241	PUTKI	S355J2H	31.3x10	1-260
Referenced W/In		Form, Dimensions, Type, Standards		Replaces	
Surface Treatment:		Scale		Replaces	
Tolerances Acc. To Work Process: SFS 4011		1:5		Replaces	
Dimensions		Angles		Tolerance System	
30	120	15	1000	2000	4000
±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±5
Projection		Designer		Master By	
SYLINTERIPUTKI		HOGL JU		SOPAJU	
PURISTUSSYLINTERIEN HITAUS		HQP		PRODUCT ID	
KOEKAPPALE JUURITUEN TESTAUKSEEN		3H077352		Rev.	
RAUTE		13-08-12		13-08-12	
DRAWING No.		4.3		Amount	
1		2		2	

Liite 5

Menetelmäkoekappaleiden valmistuspiirros jauhekaarihitsaukseen.



Date	Changed By	Description	Mark

Sent To Factory		Job #		Qty Req'd	
3	0127105	LEVY	S355J2G3	S-5	150X319
2	3077240	PUIKKI	S355J2H	406,4x4x5	L=260
1	3077240	PUIKKI	S355J2H	406,4x4x5	L=260
Item		Code	Quality	Form.	Dimensions
Regulated With		-			
Surface Treatment:		Tolerance Acc. To Work Process: SFS 4011			
Dimensions		Angles			
30	240	315	1000	2000	4000
Medium (Ra=3)	40.2	40.3	40.5	40.8	41.2
Medium (Ra=3)	40.5	40.8	41.2	42	43
System	ISO	Tolerance System			
Master By	Designer				
Scale	1:5				
Replaces	HOGI JU				
Amount	SOPAJUO				
kg	13-08-09				
193	73-08-09				

SYLINTERIPUTKI  
 PURISTUSSYLINTERIN KOEHITSAUS  
 KÄYTTÄEN JUURITUKEA

HKP PRODUCT ID: 3H077345

RAUTE