



Mika Haataja

## **PUOMIHITSAUKSEN LAADUNVARMISTUSMENETELMÄT**

# **PUOMIHITSAUKSEN LAADUNVARMISTUSMENETELMÄT**

Mika Haataja  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotanto ja logistiikka

---

Tekijä: Mika Haataja  
Opinnäytetyön nimi: Puomihitsauksen laadunvarmistusmenetelmät  
Työn ohjaajat: Antti-Lassi Tikka, Jarmo Kortelainen, Mikko Ylimaula  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012 sivumäärä: 44 + 5 liitettä

---

Työssä suunniteltiin laadunvalvonnan toteuttaminen Ponsen puomihitsauksessa. Tarkoituksena yrityksellä on tulevaisuudessa sertifioida hitsauksen laatu järjestelmä standardin SFS-EN 3834-2 mukaiseksi. Työn tavoitteena oli luoda standardin vaatimukset täyttävä ja käyttökelpoinen laadunvalvontasuunnitelma tuotantoon tulevalle harvesterinosturin pääpuomille.

Työhön perehtyminen aloitettiin tutustumalla hitsaustekniikkaan ja hitsauksen laadunvarmistukseen yleisesti. Hitsausprosesseista käsiteltiin MIG/MAG-, TIG-, jauhekaari- sekä suurtaajuusinduktiohitsaus. Tämän lisäksi tutustuttiin yleisimpiin hitsausvirheisiin. NDT-menetelmistä käsiteltiin Ponsella käytettäviä menetelmiä, jotka ovat ultraääni-, tunkeumaneste- sekä silmämääräinen tarkastus. Näiden lisäksi tutustuttiin työ- ja tarkastusohjeisiin ja henkilöstön pätevyysiin liittyviin vaatimuksiin.

Työn tuloksena laadittiin työ- ja tarkastusohjeistus harvesterinosturin pääpuomin hitsausprosessiin. Työssä määriteltiin nosturin pääpuomin kriittisimmät tarkastuskohteet ja suoritettavat tarkastukset. Kriittisimmiksi kohteiksi määrytyivät jatkeen sylinterin korvakkeen hitsit, yläprofiilin ja sivulevyjen välinen hitsi, puominpään, välilevyn ja välisolkin hitsit sekä puomin profiilin muoto.

Tulevat systemaattiset tarkastukset tehdään hitsaajien toimesta silmämääräisenä tarkastuksena. Vakavat hitsausvirheet raportoidaan tuotantotaulun kautta, kun C-hitsausluokkavaatimuksen raja-arvot ylittyvät. Valvontasuunnitelmassa kuvataan selkeästi tarkastuskohteet, laajuudet sekä tarkastuksen suorittava henkilö. Tuotantoon laaditussa työohjeessa kuvataan 3D-mallien avulla tuotteen suoritettavat TIG-käsittelyt.

---

Asiasanat:  
hitsaus, laatu, laadunvarmistus

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
MERKKIEN SELITYKSET	6
1 JOHDANTO	7
2 HITSAUS KONEPAJASSA	8
2.1 Hitsaus valmistusmenetelmänä	8
2.2 Yleistä	8
2.2.1 Hitsin osat	8
2.2.2 Silloitushitsaus	10
2.3 Sulahitsausmenetelmät	10
2.3.1 MIG/MAG-hitsaus	12
2.3.2 TIG-hitsaus	13
2.3.3 Jauhekaarhitsaus	14
2.4 Suurtaajuusinduktiohitsaus	15
2.5 Erikoislujien- ja kulutusterästen hitsaus	16
3 HITSAUSVIRHEET	18
3.1 Pintavirheet	18
3.2 Sisäiset virheet	19
3.2.1 Halkeamat	19
3.2.2 Muut sisäiset virheet	21
3.3 Muoto- ja mittavirheet	22
3.4 Hitsauksen laatuluokat	23
4 HITSAUKSEN LAADUNVARMISTUS	24
4.1 Yleisimmät hitsien tarkastusmenetelmät	24
4.1.1 Silmämääräinen tarkastus	25
4.1.2 Tunkeumanestetarkastus	26
4.1.3 Ultraäänitarkastus	28
4.2 Hitsausohjeet	29
4.3 Tarkastussuunnitelmat ja ohjeet	29
4.4 Pätevöinti	30
4.4.1 Tarkastushenkilöstön pätevöinti	30

4.4.2 Hitsaus henkilöstön pätevyys	31
5 PUOMIHITSAUKSEN LAADUNVARMISTUS	32
5.1 Puomien valmistus	32
5.2 Laadunvarmistusmenetelmät	33
5.2.1 Työohjeet	33
5.2.2 Tarkastuskohteet ja menetelmät	34
5.2.3 Suoritettavat tarkastukset	39
5.2.4 Laadunvalvontasuunnitelma	42
5.2.5 Raportointi ja poikkeamat	42
6 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	45
LIITTEET	48

## **MERKKIEN SELITYKSET TAI SANASTO**

Lx = Luksi, SI-järjestelmän mukainen yksikkö valaistusvoimakkuudelle

NDT = Non-Destructive Testing, ainetta rikkomaton tarkastus

PT = Penetrant Testing, tunkeumanestetarkastus

UT = Ultrasonic Testing, ultraäänitarkastus

VT = Visual Testing, silmämääräinen tarkastus

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään hitsauksen laatua Ponssen puomihitsauksessa. Tavoitteena on luoda laadunhallintastandardiin SFS-EN 3834-2 pohjautuva laadunvalvontasuunnitelma.

Puomien valmistus Ponsella ollaan siirtämässä paikkahitsauksesta linjamaiseen tuotantoon. Laadunvalvontaa tullaan kehittämään siten, että laaduntarkastukset hitsaamossa tullaan suorittamaan systemaattisesti ja tarkastukset raportoidaan standardin vaatimusten mukaan. Työssä käsitellään erään tuotantoon tulevan harvesterinosturin laadunvalvonnan toteuttamista ja hitsauksen laadunvarmistusta yleisesti.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda laadunvalvontasuunnitelma tuotantoon tulevalle harvesterinosturin pääpuomille. Hitsauksen laadunvarmistukseen sisältyy olennaisena osana helppokäyttöiset ja ajan tasalla olevat ohjeet, jotka myös kuuluvat tämän työn tavoitteisiin.

Ponsse Oyj on vuonna 1970 perustettu metsäkoneiden myyntiin, tuotantoon, huoltoon ja teknologiaan erikoistunut yritys. Yrityksen keskeisimpiä toimintaperiaatteita ovat kiinnostus asiakasta ja tämän liiketoimintaa kohtaan. Yhtiön on perustanut Einari Vidgren, ja sen kotipaikka on Vieremällä. Ponsse kehittää ja valmistaa kestäväen kehityksen mukaisia metsätraktoreita asiakastarpeet huomioon ottaen. (1.)

## **2 HITS AUS KONEPAJASSA**

Hitsaus on valmistusmenetelmänä hyvin yleinen metallituotteita valmistettaessa. Hitsaus vaikuttaa merkittävästi tuotteen kustannuksiin ja laatuun, joten on erittäin tärkeää, että hitsausprosessi on mahdollisimman tehokas ja laatuvaatimukset täyttävä.

### **2.1 Hitsaus valmistusmenetelmänä**

Hitsaus on määritelmänä kappaleiden toisiinsa liittämistä ilman erillistä väliainetta niin, että metallien rakeet liittyvät toisiinsa muodostaen kiinteän liitoksen. Osat liitetään toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä tai puristusta. Lämmönlähteenä hitsauksessa käytetään esimerkiksi sähkövirtaa, kitkalämpöä tai liekkiä. Hitsauksessa voidaan myös käyttää lisäainetta, jonka sulamislämpötila on lähes sama kuin perusaineella. (2, s. 12.)

Hitsausmenetelmät jaetaan kahteen pääryhmään, jotka ovat sulahitsaus ja puristushitsaus. Sulahitsausmenetelmässä hitsattavien liitoskohtien pinnat kuumennetaan sulaan lämpötilaan, jolloin ne sulavat yhteen. Sulahitsauksessa voidaan käyttää apuna lisäainetta mutta se onnistuu myös ilman. Puristushitsausmenetelmässä ei käytetä lisäainetta vaan liitospinnat kuumennetaan ja puristetaan yhteen tarvittavalla voimalla, jolloin saadaan kiinteä liitos. (2, s. 12.)

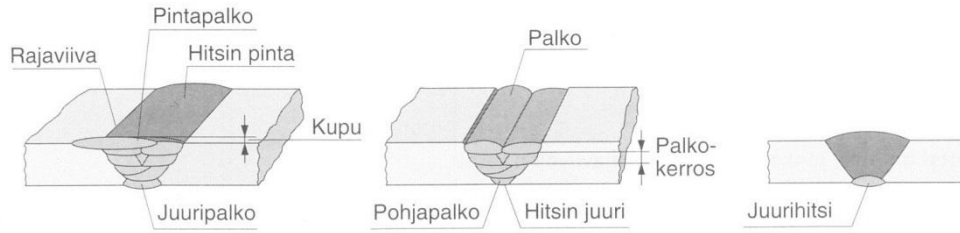
### **2.2 Yleistä**

Hitsaukseen ja hitseihin liittyy useita käsitteitä. Tässä luvussa käydään läpi muutamia olennaisimpia asioita.

#### **2.2.1 Hitsin osat**

Kun kaksi kappaletta liitetään yhteen hitsaamalla, tulee niiden väliin hitsi, jota kutsutaan hitsausliitokseksi. Mikäli hitsattavia kappaleita hitsataan usealla hitsillä päällekkäin, syntyy hitsiin palkoja, jotka on esitetty kuvassa 1. (2, s. 31)

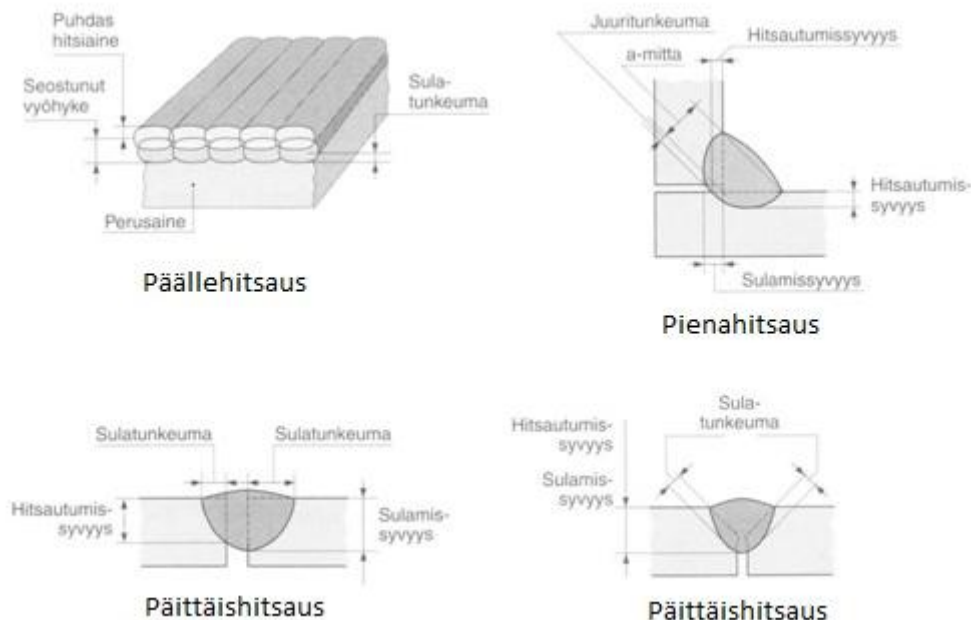




KUVA 1. Hitsin palkokerrokset (2, s. 31)

Ensimmäiseksi hitsattu hitsin osa on pohjapalkko, joka on liitoksen alin kerros. Hitsin pinnalle jäävää palkoa kutsutaan pintapaloksi. Järjestystä, jossa palot hitsataan, kutsutaan palkojärjestykseksi, ja se merkitään numeroin hitsausohjeisiin.

Tunkeuma on sulamisvyöhykkeen paksuus railon kyljestä tai perusaineen pinnasta mitattuna. Juuritunkeuma on mitta, jonka verran hitsin juuri on siirtynyt a-mitan suunnassa ideaalisen pienahitsiin verrattuna. Kuvassa 2 on esitetty hitsiin liittyviä tärkeimpiä käsitteitä päälle-, päittäis- ja pienahitsauksessa.



KUVA 2. Hitsin osat ja siihen liittyviä käsitteitä (2, s. 31)

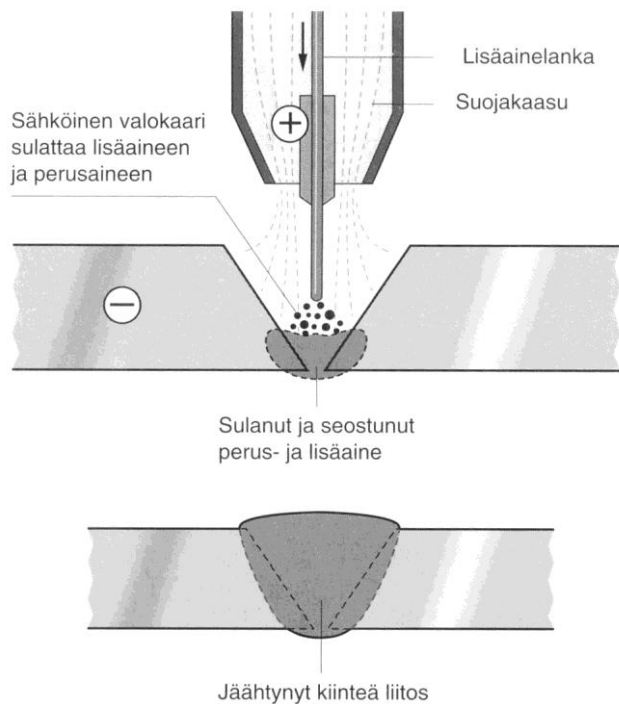
### **2.2.2 Silloitushitsaus**

Silloitushitsauksessa rakenteen osat hitsataan yhteen lyhyillä siltahitseillä ennen varsinaista hitsausta. Silloitushitsauksessa ennakoidaan varsinaisen hitsauksen aiheuttamia muodonmuutoksia. Oikein tehdyllä silloituksella voidaan minimoida hitsausjännitykset ja niiden aiheuttamat muodonmuutokset. Siltahitsit pitävät kappaleet keskenään oikeassa asennossa varsinaista hitsausta varten. Silloitusten on kestettävä kaikki hitsauksessa syntyvät jännitykset, joten silloitus on tehtävä huolellisesti ja siltojen tulee olla riittävän suuria. Etenkin pohjapalkojen hitsauksessa syntyvät jännitykset, viereisten hitsien hitsausjännitykset ja rakenteiden oikominen voivat murtaa heikot siltahitsit. (2, s.110.)

Siltahitsin lopetus tulee tehdä huolellisesti, ettei sillan lopetuspäähän jää kraatteria tai halkeamaa. Hitsausvirheitä käsitellään tarkemmin luvussa 3. Paksu perusaine jäähdyttää siltahitsin erittäin nopeasti, jolloin on olemassa karkenemisvaara, joka aiheuttaa teräksen haurastumista. Karkenemishalkeama voidaan estää käyttämällä emäspäällysteisiä puikkoja tai esikuumentamalla hitsattava kohta. Mahdollisesti haljennut siltahitsi on ehdottomasti poistettava asianmukaisella tavalla, eikä sitä saa yrittää paikata. (2, s. 110.)

### **2.3 Sulahitsausmenetelmät**

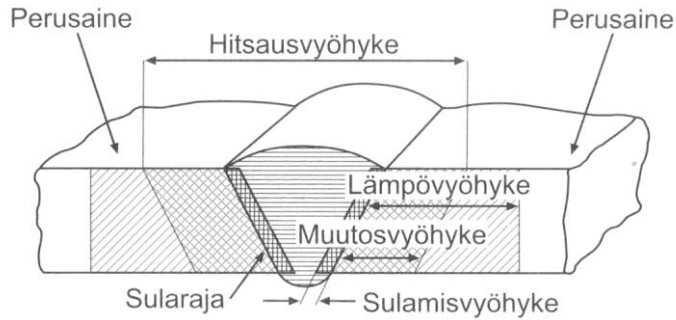
Sulahitsausmenetelmät perustuvat valokaarihitsaukseen (kuva 3). Valokaari tarkoittaa kaasussa tapahtuvaa sähköpurkausta, jonka avulla saadaan aikaan korkeita lämpötiloja ja suuria lämpöenergiaa. Valokaareen perustuvia hitsausprosesseja kutsutaan myös kaarihitsausprosesseiksi (3). Näitä prosesseja on paljon, ja ne eroavat toisistaan valokaaren muodostamistavan, näkyvyyden, suojaustavan ja lisäaineen tuontitavan perusteella (4, s. 50).



*KUVA 3. Sulahitsausmenetelmä (2, s. 12)*

Hitsaustapahtuma on suojattava ympäröivältä ilmakehältä, ja erityisesti sen tyveltä ja hapelta, jotka heikentävät hitsin ominaisuuksia. Eri hitsausprosesseissa tämä tapahtuu eri tavoin. MIG/MAG-, TIG- ja plasmahitsauksessa suojauksen hoitaa suojakaasu, puikko- ja jauhekaarihitsauksessa kuona ja MAG-hitsauksessa suojakaasu sekä kuona. (3.)

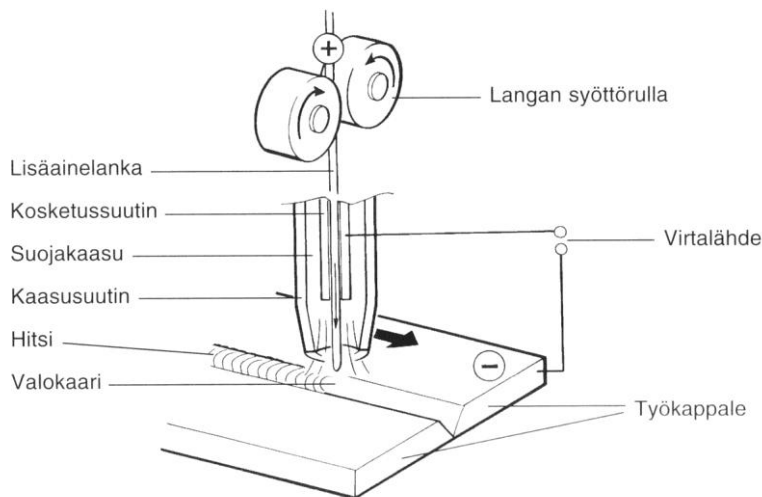
Kaarihitsausliitos muodostuu eri vyöhykkeistä, jotka on havainnollistettu kuvassa 4. Hitsiaineella tarkoitetaan hitsauksen yhteydessä sulassa tilassa ollutta ainetta. Sularaja on hitsiaineen ja sulamattoman perusaineen välillä oleva raja. Muutosvyöhykkeeksi kutsutaan sitä osaa perusaineesta, johon hitsaus on aiheuttanut mikrorakennemuutoksia. Hitsausvyöhyke on hitsin ja muutosvyöhykkeen muodostama yhteinen alue. Perusaineen osa, joka sulaa hitsauksen aikana, kuuluu sulamisvyöhykkeeseen. Perusainetta, jonka lämpötila on ollut muuta perusainetta korkeampi, kutsutaan lämpövyöhykkeeksi. (4, s. 51.)



KUVA 4. Hitsausliitoksen vyöhykkeet (4, s. 51)

### 2.3.1 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausmenetelmä, jossa sähkövirran avulla aikaansaattava valokaari palaa lisäainelangan ja hitsattavan kappaleen välissä suojakaasun ympäröimänä. Valokaari sulattaa perusaineen ja lisäaineen yhtenäiseksi sulaksi, joka jäähtyessään muodostaa kiinteän yhteyden kahden kappaleen välille. Lisäaine on ohutta metallilankaa, joka on yleensä samaa materiaalia kuin perusaine. Langan paksuus vaihtelee yleensä 0,6 mm:n ja 1,6 mm:n välillä. Langan syöttönopeus ja hitsausjännite säädetään hitsattavien kappaleiden mukaan. MIG/MAG-hitsaus on esitetty kuvassa 5.



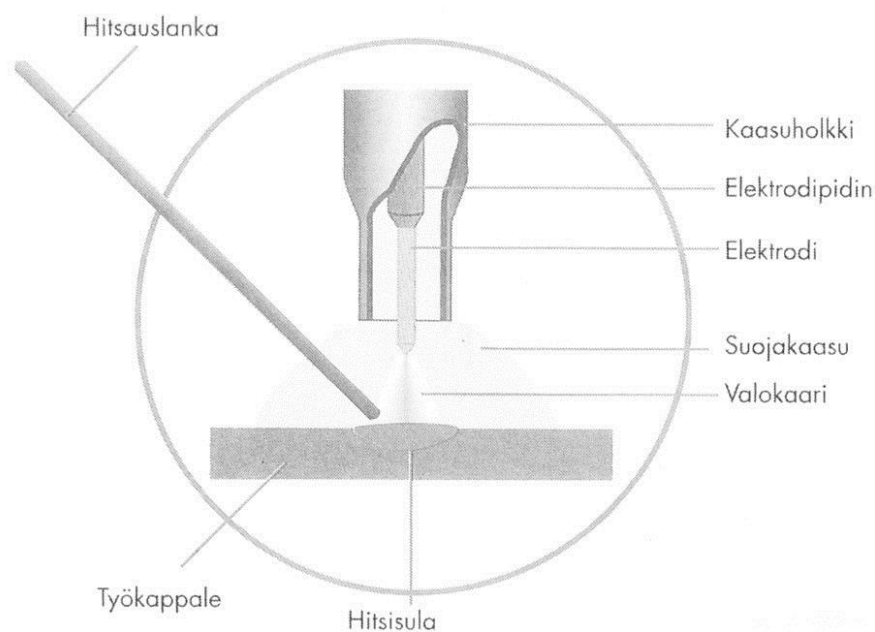
KUVA 5. MIG/MAG-hitsauksen periaatekuva (2, s. 16)

Suojakaasuna käytetään joko aktiivista tai inerttiä kaasua, josta menetelmän nimitys Metal-Arc Inert Gas Welding ja Metal-Arc Active Gas Welding tulee. Ak-

tiivinen kaasu reagoi sulassa metallissa olevien aineiden kanssa. Aktiivinen kaasu voi olla joko puhdas hiilidioksidi tai argonin ja hiilidioksidin muodostama seoskaasu, esimerkiksi 75 % Ar + 25 % CO<sub>2</sub>. Inerti suoja-kaasu on reagoimaton kaasu. Tällaisia kaasuja ovat mm. argon ja helium. (5.) Ponsen kokoonpanohitsaus on pääasiassa MAG-hitsausta.

### 2.3.2 TIG-hitsaus

TIG-hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suoja-kaasun ympäröimänä sulamattoman volframelektrodin ja työkappaleen välillä. TIG-hitsauksen toimintaperiaate on havainnollistettu kuvassa 6. Valokaaren lämpö sulattaa perusainetta, johon muodostuu hitsisula. TIG-hitsauksessa suoja-kaasuna käytetään argonia tai heliumia. Suoja-kaasu johdetaan kaasusuuttimen kautta hitsaustapahtumaan. (2, s. 197.)



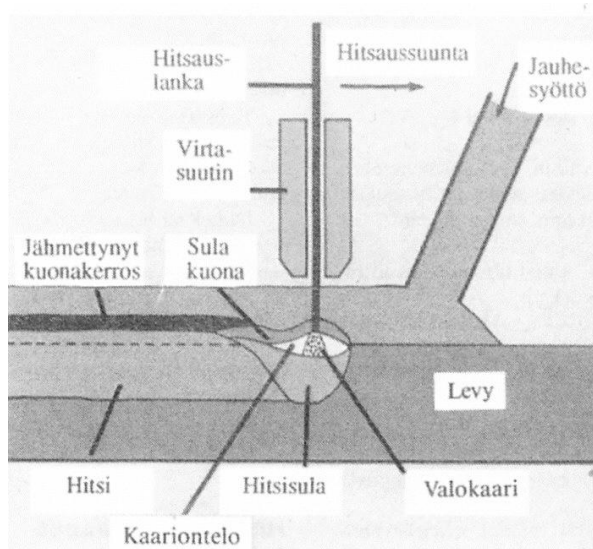
KUVA 6. TIG-hitsauksen toimintaperiaate (4, s. 350)

TIG-hitsausprosessin etuina ovat hyvä sulan ja tunkeuman hallinta, koska valo-kaari ja lisääineen tuonti ovat erillään toisistaan. Tämän ansiosta hitsausenergi-aa ja lisääineen syöttöä voidaan säädellä toisistaan riippumatta. Lisäksi hit-sausvirta voi olla pienimillään vain muutamia ampeereja. TIG-hitsaus on näiden ominaisuuksien ansiosta erittäin hyvä pohjapalkojen ja ohuiden ainepaksuuksi-en hitsauksissa. (2, s. 197.)

TIG-prosessilla voidaan hitsata lisääinetta käyttäen tai ilman lisääinetta. Mikäli TIG-hitsauksessa käytetään lisääinetta, tuodaan se käsihitsauksessa toisella kädellä hitsisulaan, johon se sulaa. Käsihitsauksessa käytetään yleensä 1 000 mm pitkää ja suoraa hitsauslankaa. Mekanisoituun TIG-hitsaukseen voidaan yhdistää myös koneellinen lisääinelangansyöttö, jossa langansyöttölaite syöttää ohutta lisääinelankaa kelalta hitsisulaan. (6.)

### 2.3.3 Jauhekaarhitsaus

Jauhekaarhitsaus on metallikaarihitsausprosessi, jossa valo-kaari palaa lisääi-nelangan ja perusaineen välillä hitsausjauheen alla, joka suojaa hitsaustapah-tuman ilmalta. Osa hitsausjauheesta sulaa kuonaksi hitsin päälle. Jauhekaari-hitsauksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 7.



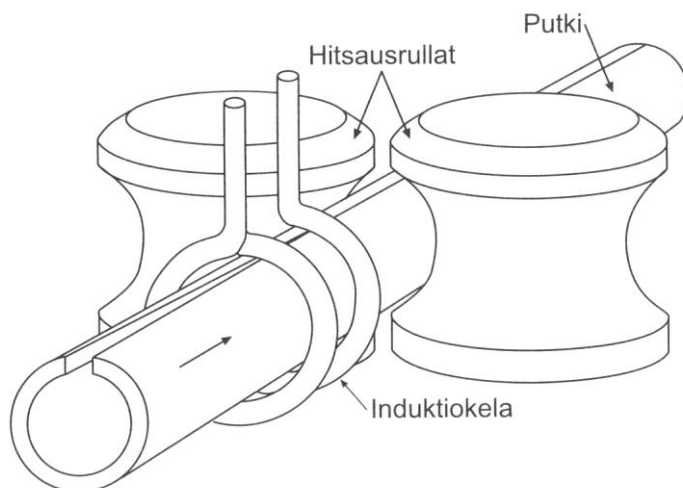
KUVA 7. Jauhekaarhitsauksen toimintaperiaate (4, s. 329)

Valokaari palaa jauhekaarihitsauksessa piilossa jauheen alla. Tämän ansiosta jauhekaarihitsauksessa ei synny lämpö- ja valosäteilyä eikä haitallisia hitsaus-savuja. Hitsausaineet ovat hitsauslanka sekä hitsausjauhe. Hitsausjauheina käytetään raemaisia, sulavia ja mineraalista ja metallista alkuperää olevia tuotteita. (2, s. 15.)

Jauhekaarihitsaukselle tunnusomaisen suuren hitsausvirran ansiosta saavutetaan suuri tunkeuma. Muita saavutettavia etuja ovat muun muassa hitsauksen nopeus ja hitsin tasainen laatu, joiden ansiosta jauhekaarihitsausta pyritään käyttämään mahdollisimman paljon. (2, s. 15.)

## 2.4 Suurtaajuusinduktiohitsaus

Suurtaajuusinduktiohitsauksessa, eli HF-hitsauksessa (High Frequency), putken muotoon taivutetun nauhan reunat kuumennetaan putkiaihiön ympärille sijoitetulla induktiokelalla lähelle sulamispistettä. HF-hitsauksen toimintaperiaate on havainnollistettu kuvassa 8. Nauhan reunat puristetaan hitsausrullilla yhteen jolloin reunoissa tapahtuu muokkausta ja lämpötila nousee jopa yli teräksen sulamispisteen. Hitsausliitokseen syntynyt purse poistetaan höylämällä.



*Kuva 8. HF-induktiohitsauksen periaate (4, s. 382)*

Induktiohitsauksella saadaan erittäin kapea hitsi sekä hyvä tuottavuus. Hitsausnopeudet voivat olla jopa 50 - 100 m/min. Induktiohitsaus tapahtuu aina ilman lisäainetta.

## 2.5 Erikoislujien- ja kulutusterästen hitsaus

Ponssen tuotteissa käytettävät erikoislujat teräkset luokitellaan kulutusteräksiin ja erikoisluihin rakenneteräksiin sekä rakenneteräkseen. Tehtaalla käytössä olevat kulutusteräket ja erikoislujat rakenneteräket kuuluvat W03- ja W02-ryhmän teräksiin, joiden hitsausvaatimukset ovat huomattavasti tavanomaisten terästen hitsausvaatimuksia korkeammat (7, s. 1). Liitteessä 1 on esitelty terästen perusaineryhmittely Rautaruukin valmistamista teräksistä.

Erikoislujat rakenneteräket jaotellaan valmistusmenetelmän mukaan QT-teräksiin sekä TM-teräksiin. QT-teräket (Quenched and Tempered) ovat nuorutettuja mikro- ja hienoraeteräksiä joiden lujuus saadaan aikaan perinteisten lämpökäsittelyjen ja seosaineiden avulla. Mikro-seostuksella ja normalisoinnilla saadaan aikaan hienojakoinen raekoko. Nuorutusterästen myötölujuus sijoittuu yleensä välille 400 - 900 Mpa. Perinteisten lujien rakenneterästen, kuten QT-terästen, hitsaukselle joudutaan asettamaan korkeammat hitsausvaatimukset, koska niiden hitsaukseen liittyy halkeilu- ja sitkeysongelmia joita ei kohdata pehmeämmillä teräksillä. Keskeinen lujien terästen hitsattavuutta rajoittava tekijä on niiden taipumus kylmähalkeiluun (8, s. 10). Jopa 90 % lujien terästen hitseissä havaituista halkeamista ovat kylmähalkeamia. (8, s. 18.)

TM-teräket (Thermo Mechanical) ovat termomekaanisella valmistusprosessilla valmistettuja teräksiä. Termomekaaninen valmistusprosessi tarkoittaa kontrolloitua valssausta ja sen jälkeistä nopeaa vesisuihkujäähdytystä. Kontrolloidussa valssauksessa säädetään kuumavalssaamisen vaiheita ja lämpötiloja. Termomekaaninen kontrolloitu valssaaminen suoritetaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen valssaaminen tapahtuu korkeassa, yli 1 000 °C lämpötilassa, ja toinen valssaaminen matalammassa noin 300 °C lämpötilassa (9, s. 127).

Termomekaaninen valmistusprosessi tarjoaa mahdollisuuden teräksen lujuuden ja sitkeyden lisäämiseen ilman teräksen seostuksen tai hiilipitoisuuden nostamista. Tämän prosessin avulla saadaan aikaan erittäin pieni raekoko, jolloin sitkeys- ja lujuusominaisuudet paranevat merkittävästi. Myös vetyhalkeiluherkyyden on todettu olevan TM-teräksillä pienempi, kuin perinteisillä teräksillä.



TM-teräksiä valmistetaan pääasiassa murtolujuusluokissa 355 - 600 MPa. (8, s. 10, 11.)

## **3 HITSAUSVIRHEET**

Virheettömässä hitsausliitoksessa hitsi liittyy perusaineeseen juohevasti, eikä sen alueella ole halkeamia tai muita hitsausvirheitä. Hitsin koostumus vastaa kemiallisilta ominaisuuksiltaan perusainetta, eli se on pinnalta sileä ja sisältä tiivis. (2, s. 111.)

Hitsaus on metallille kuitenkin varsin kova tapahtuma nopeiden lämpötilamuutosten sekä rakenteen ja liitosten jännitystilojen vuoksi. Tämä aiheuttaa rakenteeseen helposti muodonmuutoksia. Hitsatuissa rakenteissa vauriot lähtevätkin usein liikkeelle hitsien alueelta ja hitsausvirheet ovat yksi syy siihen. Muita syitä esiintyviin vaurioihin ovat esimerkiksi hitsausjännitykset, hitsausmuodonmuutokset, materiaalin muuttuvat ominaisuudet tai geometriset epäjatkuuskohdat. (10, s. 2.)

Hitsatun rakenteen tulee joka tapauksessa kestää siihen kohdistetut kuormitukset riittävällä luotettavuudella ja kaikissa tilanteissa. Hitsausvirheillä on suuri merkitys hitsausliitosten kestävyydelle. Hitsausvirheet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: pintaan avautuviin virheisiin, sisäisiin virheisiin sekä muotovirheisiin. Tässä luvussa käydään läpi muutamia yleisimpiä hitsausvirheitä näistä kolmesta ryhmästä. Liitteessä 2 on esitetty MIG/MAG-hitsauksessa ilmeneviä hitsausvirheitä kuvineen ja korjaustoiminpiteineen.

### **3.1 Pintavirheet**

#### **Sytytysjälki**

Tyypillinen suoritusvirhe on sytytysjälki, joka johtuu siitä, että valokaari sammutetaan tai sytytetään väärässä paikassa tai maadoitus on huono. Kun valokaari syttyy väärässä paikassa, perusaine sulaa pieneltä alueelta. Pienen alueen sulan nopea jäähtyminen ja kutistuminen aiheuttavat mikrohalkeamia materiaalin pintaan. Tämän tyyppinen halkeama voi olla vaarallinen vaihtokuormituksen alaisissa rakenteissa, eikä kyseessä ole pelkästään kosmeettinen virhe. (2, s. 111, 114; 10, s. 15.)

## **Roiskeet**

Roiskeilla tarkoitetaan lisäaineesta tai hitsiaineesta sinkoutuneita pieniä sula-pisaroita, jotka huonontavat hitsin tai rakenteen ulkonäköä. Roiskeita aiheuttavat muun muassa virheelliset hitsausarvot, kosteat puikot, väärä napaisuus tai magneettinen puhallus. (10, s. 15.)

## **Reunahaava**

Reunahaavaksi kutsutaan hitsin sularajalla hitsin pituussuunnassa sijaitsevaa pintavirhettä, joka näyttää siltä, kuin hitsisula olisi vajonnut paikallisesti hitsattavan materiaalin pintaa alemmaksi. Reunahaava heikentää aina hitsausliitoksen lujuutta, ja sen sallittavuudelle eri hitsausluokissa on omat raja-arvonsa. Reunahaava on seurasta tavallisesti liian suuresta virrasta tai jännitteestä, pitkästä valokaaresta tai väärästä kuljetustekniikasta.

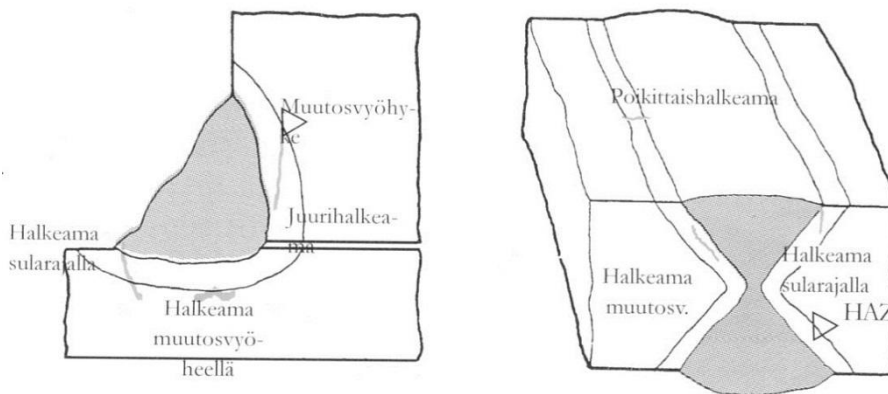
## **3.2 Sisäiset virheet**

### **3.2.1 Halkeamat**

Eräs pahimmista metallien kestävyyttä heikentävistä tekijöistä on taipumus erityyppisiin halkeamiin. Halkeamat voivat olla raemurtumia, raerajamurtumia tai molempia. Hitsausliitoksessa ei sallita minkäänlaisia halkeamia, koska ne ovat teräväkärkisinä virheinä erittäin vaarallisia aiheuttaen virheen alueelle jännitekeskittymän. Tästä syystä hitsien laatuluokat eivät salli halkeamia. Kaikki halkeamat tulisi poistaa rakenteesta sopivalla tavalla, esimerkiksi taltaamalla tai hiomalla.

### **Kylmähalkeamat**

Kylmähalkeamia kutsutaan myös vetyhalkeamiksi ja ne syntyvät yleensä muutosvyöhykkeessä palonalaisina, reuna- tai juurihalkeamina, useimmiten perusmateriaalin sularajojen vieressä tai niiden suuntaisina. Kuvassa 9 on esitetty vasemmalla vetyhalkeamia pienahitsissä ja oikealla päittäishitsissä. (9, s. 110.)



*KUVA 9. Kylmähalkeamia piena- ja päittäishitseissä (9, s. 111)*

Kylmähalkeamat syntyvät monesti vasta varsinaisen hitsaustapahtuman jälkeen, kun hitsin lämpötila on laskenut alle 150 °C. Tämä viive voi vaihdella muutamasta tunnista useisiin kymmeneen tunteihin. Vetyhalkeamien ilmenemiseen vaikuttaa useampi muuttuja. Näitä muuttujia ovat muutosvyöhykkeen mikrorakenteen maksimikovuus, hitsin jäähtymisaika, hitsiin liunneen vedyn määrä sekä hitsausliitoksen jäännösjännitykset. (9, s. 110.)

Vetyä kuitenkin pidetään kylmähalkeamien pääsyynä, josta nimitys vetyhalkeamakin tulee. Vetyä tulee mm. hitsauslisäaineesta jossa sitä voi olla kosteuden ansiosta. Lisäaine voi myös itsessään sisältää vety-yhdisteitä esimerkiksi puikon päällysteessä tai täytelangan täytteessä. Vetyä voi tulla hitsiin myös öljystä, rasvasta tai ruosteesta, joka pääsee eri tavoin sulan kanssa kosketukseen. (10, s. 8.)

Mikäli kappaleet ovat hitsauksen aikana erityisen jäykästi toisiinsa kiinnitettyinä, vedystä aiheutuva halkeamariski voi kasvaa. Erityisen alttiita halkeamille ovat paksujen levyjen pohjapalko sekä ensimmäinen hitsattu palko. Kun hitsataan halkaisijaltaan yli 15 mm paksua materiaalia, katsotaan pohjapalon sekä 3 - 4 ensimmäisen palon olevan jäykästi kiinnitettyjä. Paksuja materiaaleja onkin syytä esilämmittää kuumaksi halkeamisvaaran vähentämiseksi, jotta vety ehtii diffundoitua pois teräksestä. (9, s. 111, 113.)

## **Kuumahalkeamat**

Kuumahalkeamat syntyvät hitsin jähmettymisen loppuvaiheessa noin 1 200 °C lämpötilassa, ja ne ovat seurausta perusaineen epäpuhtauksista ja suuresta hiilimäärästä. Kuumahalkeama on usein hitsin keskilinjalla kulkeva pitkittäinen jähmettymishalkeama, mutta se voi myös ilmetä sularajalla tai poikittaisena halkeamana muutosvyöhykkeellä, jossa halkeamat ovat lyhyitä, noin 1 - 2 mm pitkiä. (9, s. 114.)

Kuumahalkeamat voivat avautua hitsin pintaan, jolloin ne ovat helposti havaittavissa. Pintaan avautuvissa kuumahalkeamissa murtopinta voi olla sinertävän hapettunut, koska se on muodostunut metallin ollessa kuuma. Monesti nämä halkeamat voivat kuitenkin jäädä hitsin sisään piiloon, jolloin niiden havaitseminen pintatarkastusmenetelmiä käyttäen ei ole helppoa. (10, s. 6.)

Kuumahalkeilualttius riippuu sekä metallurgisista että geometrisista tekijöistä. Kapeat ja syvät hitsit halkeavat helpoimmin. Hitsin leveyden suhde korkeuteen tulisi olla vähintään 1,2 - 1,5 kuumahalkeamariskin pienentämiseksi. (9, s. 115.)

## **Kraatterihalkeama ja kutistumisontelo**

Mikäli hitsausta lopettaessa kutistumisontelo jää liian syväksi, syntyy hitsauspallon päätekohtaan kraatterihalkeama. Mikäli hitsipalon pääte jää viimeiseksi sulaksi, niin sulan jäähtyessä se kutistuu ja viimeksi sulana olevaan pisteeseen muodostuu imuontelo.

### **3.2.2 Muut sisäiset virheet**

#### **Huokokset**

Huokokset ovat hitsiaineeseen jääneitä kaasujen muodostamia ja täyttämiä onteloita. Kaasua voi jäädä hitsiin esimerkiksi kosteudesta, ruosteesta, rasvasta tai muista epäpuhtauksista lisäaineessa ja perusaineessa. Huokokset voivat esiintyä joko yksittäisinä tai monia huokosia käsittävinä ryhminä. Huokokset ovat yleensä pyöreitä tai pitkänomaisia. Huokosten muodostumista voidaan estää esivalmistelemalla huolellisesti hitsausrailo ja sen ympäristö, hitsaamalla oikealla hitsausteholla ja lyhyellä valokaarella. Pitkänomaisia huokosia ei sallita C- ja B-hitsausluokissa (2, s. 116.)

## **Sulkeumat**

Hitsiaineeseen jäänyttä kiinteää kuonaa tai muuta vieraan aineen palasta kutsutaan sulkeumaksi. Sulkeumat ovat muodoltaan säännöttömiä ja poikkeavat näin ulkonäöltään huokosesta. Erilaisia sulkeumia ovat mm. volframi- ja kuparisulkeumat. TIG-hitsauksessa volframista voi muodostua sulkeuma hitsiaineeseen, jos elektrodi pääsee koskettamaan hitsisulaa. Kuparisulkeumat voivat syntyä MIG/MAG-hitsauksessa jos kuparinen kosketussuutin pääsee sulamaan hitsauksessa.

## **Lamellirepeämä**

Lamellirepeily ilmenee hitsin alla perusaineessa pinnan suuntaisina lamellimaisina murtumina, kun materiaalia kuormitetaan paksuussuunnassa. Taipumus lamellirepeilyyn liittyy teräksen paksuussuuntaisiin lujuusominaisuuksiin, joita voidaan parantaa niin kutsutulla Z-käsittelyllä. Z-käsittelyllä parannetaan teräksen paksuussuuntaisia ominaisuuksia teräksen valmistuksen yhteydessä. Terästen lamelliominaisuudet testataan euronormien mukaan ja niille tehdään paksuussuuntainen vetokoe, jossa määritetään kurouma-arvo. Korkea kurouma-arvo vähentää lamellirepeämien ilmenemistä. (8, s. 116.)

### **3.3 Muoto- ja mittavirheet**

Virheellisellä hitsin muodolla tarkoitetaan hitsin ulkopinnan virheellistä muotoa tai liitoksen epätäydellistä geometriaa.

#### **Liitosvirhe**

Liitosvirhe muodostuu, mikäli lämmöntuonti ei riitä perusaineen tai edellisen hitsauspalon sulattamiseen. Tässä tapauksessa sula lisäaine valuu kylmälle railopinnalle muodostaen lujuuden kannalta vaarallisen liitosvirheen. Liitosvirheen muodostuminen voidaan estää käyttämällä riittävää hitsaustehoa, suuntaamalla valokaari siten, että se sulattaa hitsauskohteen, huomioimalla, ettei hitsisula pääse vyörymään edelle ja välttämällä ylhäältä alaspäin hitsausta. Liitosvirheitä ei sallita C- tai B-hitsausluokissa. (2, s. 117.)

#### **Vajaa hitsautumissyvyys**

Vajaa hitsautumissyvyydellä tarkoitetaan todellisen ja nimellisen hitsautumissyvyiden välistä erotusta. Hitsi ei ole tunkeutunut riittävän syväälle railossa. Kun

vajaa hitsautumissyvyys esiintyy hitsin juuren puolella, jolloin toinen railon kylki tai molemmat kyljet eivät ole sulaneet hitsin juuressa, käytetään myös nimitystä vajaa hitsautumissyvyys juuressa. Vajaata hitsautumissyvyttä kutsutaan myös nimellä vajaa tunkeuma.

### **3.4 Hitsauksen laatuluokat**

Standardissa SFS-EN ISO 5817 ryhmitellään hitsausvirheet mitoituksellisten arvojen perusteella kolmeen hitsiluokkaan. Nämä laatuluokat ovat D, C ja B, joista B on vaativin hitsiluokka. Kaikki kolme laatuluokkaa perustuvat siis hitsausvirheisiin

B on hitsausluokka, jonka ammattitaitoinen hitsaaja saa aikaan hyvissä konepaja- ja asennusolosuhteissa ilman jälkikäsitteilyä. B-hitsausluokkavaatimusta käytetään esimerkiksi paineastia- ja siltarakennehitsauksissa. Hyvän konepajakäytännön mukaisella hitsiluokkavaatimuksella tarkoitetaan hitsiluokkaa C. Tämä on yleisin konepajatuotannossa käytössä oleva hitsauksen laatuvaatimusluokka, joka on myös Ponssella laatuvaatimuksena. C-luokka ei salli hitsiliitoksessa sisäisistä hitsausvirheistä halkeamaa, liitosvirhettä, vajaata hitsautumissyvyttä, kutistumisonteloa, imuonteloa tai kuparisulkeumaa. D-hitsausluokka on rakeneosia varten, joiden vaurioitumismahdollisuus on pieni ja vaurioista johtuva haitta on vähäinen. (2, s. 53.)

## 4 HITSUKSEN LAADUNVARMISTUS

Laadunvarmistuksella pyritään varmistamaan se, että valmistettu tuote on asiakkaan vaatimusten mukainen. Laadunvarmistus on kuitenkin vain osa sitä kokonaisuutta, joka vaikuttaa asiakkaalle toimitettavan tuotteen vaatimustenmukaisuuteen.

Laaduntarkastus tapahtuu hitsauksen aikana, ja sen tavoitteena on estää ja korjata hitsausvirheet mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Luotettavan tarkastajan on onnistuakseen työssään osattava arvioida millaisia mahdollisia virheitä tarkastettavissa hitseissä on. Tämä edellyttää tarkastajalta tarkastusmenetelmien tuntemuksen lisäksi myös tietoja eri hitsausprosesseista ja niille tyyppisistä virheistä. (10, s. 3.)

Tarkastuksia ei aina tehdä kaikille tuotteen hitseille, vaan niistä tarkastetaan vain tietty osuus. Tarkastuslaajuus vaihtelee kohteen vaativuuden, käyttötarkoituksen ja olosuhteiden mukaan. Kun vaatimuksena on ”hyvän konepajakäytännön mukainen” hitsausluokka C, tarkastuslaajuudeksi usein riittää 10 %. (10, s. 3.)

### 4.1 Yleisimmät hitsien tarkastusmenetelmät

Yleisimpiä hitsien rikkomattomia tarkastusmenetelmiä eli NDT-menetelmiä ovat pintamenetelmät magneettijauhe-, tunkeumaneste-, pyörrevirta- ja silmämääräinen tarkastus sekä tutkiessa hitsin sisäistä rakennetta ultraääni- ja radiograafinen tarkastus (11, s. 35). Taulukossa 1 on esitetty virheiden havaittavuus eri NDT-menetelmillä. Tässä luvussa käsitellään Ponsella käytettäviä NDT-tarkastusmenetelmiä.



TAULUKKO 1. Virheiden havaittavuus eri NDT-menetelmillä (11, s. 35)

	Vika	Tarkastusmenetelmät					
		Silmämääräinen tarkastus	Tunkeumanestetarkastus	Magneettijauhetarkastus	Radio-grafinen tarkastus	Ultra-ääni-tarkastus	Pyörrevirtatarkastus
Perusaine	Kerrostumat				1	2	1
	Paipit				1	2	
	Ylivalssautumat	2	2	3		2	2
	Muokkaus-repeämät	3	2	2		3	1
	Halkeamat, säröt	1	2	2	1	2	2
Hitsit	Sytytysjälki	2					
	Valumat	3					
	Halkeamat	1	1	2	1	3	1
	Imuontelot	2	1	2	1	1	
	Liitosvirhe		1	1	2	3	1
	Juurivirhe	2	2	2	3	3	2
	Huokokset				2	1	
	Kuonasulkeumat				2	1	
	Reunahaava	3			2	1	

1. Virheen olemassaolosta saadaan edullisissa olosuhteissa joitain tietoja
2. Melko useat ko. virhetyypit kuuluvat virheet havaitaan
3. Menetelmällä löydetään ko. virhetyypit kuuluvat virheet hyvin

#### 4.1.1 Silmämääräinen tarkastus

Silmämääräinen tarkastus perustuu ihmissilmän tekemiin havaintoihin erilaisia apulaitteita hyväksi käyttäen riittävän hyvässä valaistuksessa. Silmämääräinen tarkastus tulee tehdä hitsisaumoille aina ennen muita NDT-menetelmiä, ja usein tarkastuslaajuus tällä menetelmällä onkin 100 %. Suositeltu valaistus tarkastus-tilalle on 500 lx ja miniminä pidetään 350 lx. Tarkastusta suorittavan henkilön näön olisi syytä olla SFS-EN 473 -standardin mukainen (12, s. 4). Taulukossa 2 on esimerkkejä valonvoimakkuuksista eri olosuhteissa.

TAULUKKO 2. Valonvoimakkuuksia eri olosuhteissa (13)

Valonvoimakkuus (lx)	Kohde
100 000	Kirkas sää, keskipäivä
2 000	Pilvinen sää, juuri auringonnousun jälkeen
500	Toimistovalistus loisteputkivaloilla
300	Huonevalistus kahdella 30 W:n loisteputkella
10-15	Kynttilänvalo

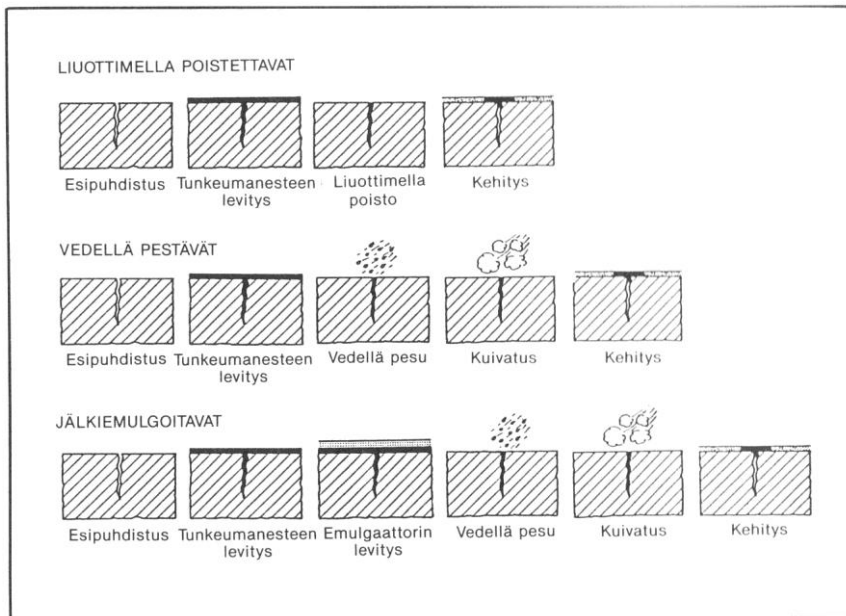
Suoran tarkastuksen suorittamiseksi tulee luoksepäästävyuden olla riittävä, joten tarkastusetäisyys saa olla korkeintaan 600 mm tarkastettavasta pinnasta, ja tarkastuskulma ei saa olla suurempi kuin 30°. (12, s. 4.) Tarkastettavaa pintaa ei saa katsoa liian läheltä, koska silmä ei tarkennu riittävästi alle 250 mm etäisyyksillä. Lisäksi tarkastushenkilöstön näkökyky tulisi testata 12 kuukauden välein. Näkökyky voidaan tarkistaa niin kutsutulla Jaeger 1 -näkötestillä, jossa tarkastettavan henkilön tulisi nähdä fontilla Times New Roman 4,5 kirjoitettu teksti 300 mm päästä (13.)

Menetelmäkohtainen silmämääräisen tarkastuksen standardi on ”SFS – EN ISO 17637. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. 2011-03-28.” (12.)

#### **4.1.2 Tunkeumanestetarkastus**

Tunkeumanestetarkastus on pintatarkastusmenetelmä, joka soveltuu hyvin useimmille materiaaleille. Kohteen pinnalle levitetty tunkeumaneste tunkeutuu pintaan avautuviin vikoihin, ja nämä kohdat saadaan näkyviin erilaisten kehitteiden avulla. Tunkeumanesteitä on olemassa periaatteeltaan kahta eri tyyppiä: värilliset ja fluoresoivat tunkeumanesteet. Lisäksi on olemassa näiden yhdistelmiä (11, s. 37).

Menetelmän työvaiheet sekä eniten käytetyt tunkeumanestetyypit on esitetty kuvassa 10. Tunkeumanestetarkastusmenetelmät voidaan jakaa sovelluskohteittain kolmeen ryhmään: liuottimella poistettavat, vedellä pestävät sekä jälkiemulgoitavat tunkeumanesteet. Liuottimella poistettavia nesteitä käytetään vaihtelevissa kenttäolosuhteissa, vedellä pestäviä kiinteissä tarkastuspaikoissa ja jälkiemulgoitavia kiinteissä, ennen kaikkea lentokoneteollisuuden tarkastuslinjoissa. (14, s. 27.)



KUVA 10. Tunkeumanestetyyppien työvaiheet (14, s. 28)

Tunkeumanestetarkastus on suhteellisen halpa tarkastusmenetelmä, eikä virheiden suunnalla tai orientaatiolla ole merkitystä niiden havaittavuuteen. Myöskään kappaleen koko tai muoto eivät rajoita menetelmän käyttöä. Menetelmän rajoituksena on se, että se soveltuu ainoastaan pintaan avautuvien vikojen tutkimiseen.

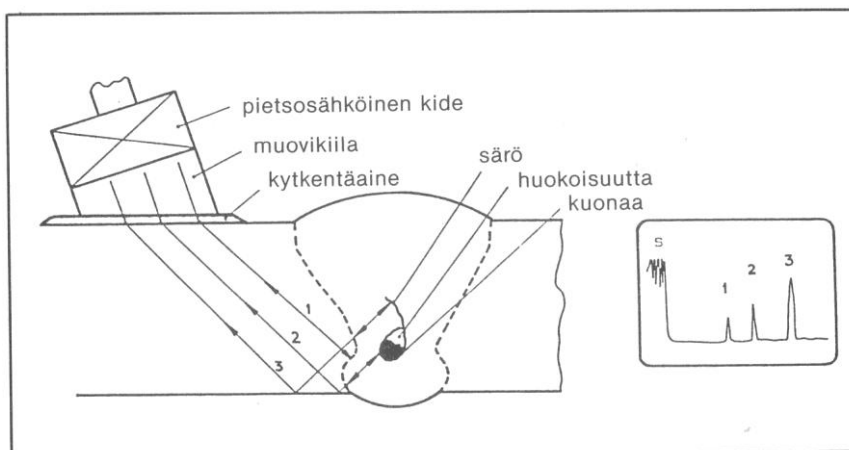
Menetelmän tehokkaan ja luotettavan käytön edellytyksenä on suhteellisen tasainen ja puhdas pinta, mikä vaatii useissa tapauksissa pinnan huolellista esikäsittelyä. Karhea pinta aiheuttaa helposti virhenäyttämää, samoin esimerkiksi hiekkapuhalluksessa virheisiin tunkeutuneet vieraat aineet vähentävät tuloksen luotettavuutta. (11, s. 37.)

Menetelmäkohtaiset standardit tunkeumanesteellä tarkastettaville hitsisaumoille ovat ”SFS-EN 571-1. Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus. Yleisperiaatteet. 1997-08-25.” (15) sekä ”SFS-EN ISO 23277. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat. 2010-08-23.” (16.)

### 4.1.3 Ultraäänitarkastus

Ultraääni on korkeataajuuksista ääntä, joka pystyy etenemään kiinteässä aineessa, mutta kohdatessaan rajapinnan ääniaalto heijastuu siitä takaisin. Ultraäänitarkastuksissa käytetään yleensä 2 - 4 MHz taajuuksia. Virheettömässä kohteessa ääni kulkee suoraan ja heijastuu kohteen pohjasta, mistä saadaan pohjakaiku. Kohtisuoraan mitattaessa äänipulssin kohdatessa jonkin virheen, se heijastuu ja palaa takaisin aiemmin kuin pohjakaiku. Näytön vaaka-asteikolta voidaan lukea kuinka kaukana virhe on. (9, s. 42.)

Mikäli käytetään kulmaluotainta (kuva 13), hitsit tarkastetaan siten, että luotainta liikutetaan hitsin vierestä kytöntäaineella kostutettua pintaa pitkin. Jotta luotaus onnistuu luotettavasti, pinnan on oltava tasainen. Kulmaluotaimella mitattaessa saadaan näytölle vain vikakaiut, eikä pohjakaikua, kuten kohtisuorassa mittauksessa. (9, s. 42.)



KUVA 13. Hitsin ultraääniluotaus (14, s. 39)

Menetelmäkohtaiset standardit ultraäänellä tarkastettaville hitsisaumoille ovat seuraavat:

- SFS-EN 583-1. Rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Yleisperiaatteet. (17.)
- SFS-EN ISO 11666. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus. Hyväksymisrajat. (18.)
- SFS-EN ISO 17640. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Tekniikat, tarkastustasot ja arviointi. (19.)

- *SFS-EN ISO 23279. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Hitsausvirheiden tyyppien määrittäminen. (20.)*

## **4.2 Hitsausohjeet**

Hitsausohje eli WPS on hitsausalan sanastostandardin SFS 3052 mukaan ”asiakirja, jossa esitetään yksityiskohtaisesti tiettyyn hitsaussovellukseen vaadittavat muuttujat toistettavuuden varmistamiseksi”. Siinä annetaan kaikki tiedot hitsaustyöstä sekä sen suorittamisesta.

Hitsausohje luo pohjan laadukkaalle hitsaustyölle, jotta hitseistä saadaan vaatimusten mukaisia. Hitsausohjeen tulee olla paperilla eikä pelkästään hitsaajien omassa tiedossa.

Hitsausohje on laadittava helppolukuiseksi, jotta jokainen ymmärtää sen sisällön. Hitsausohjeessa tulisi olla mm seuraavat tiedot: yrityksen nimi, ohjeen numero ja revisio, mahdollisen menetelmäkokeen pöytäkirjan numero ja hyväksymistapa, hitsausprosessi, perusaine, aineenpaksuus, railomuoto ja mitoitus, hitsausasento, hitsausaineet, hitsausparametrit, hitsausenergia/lämmöntuonti, esikuumennus, palkojen välinen lämpötila ja jälkilämpökäsittely.

Hitsausohjeet voidaan hyväksyä viidellä eri tavalla. Nämä hyväksymistavat ovat menetelmäkoe, käyttämällä hyväksytyjä hitsausaineita, aikaisemman hitsauskokemuksen perusteella, standardimenetelmää käyttämällä ja esituotannollisen kokeen perusteella. Tarvittavat ISO:n dokumentit eri hyväksymistavoille ovat standardissa 3834-5 taulukossa 5. (21, s. 16.)

## **4.3 Tarkastussuunnitelmat ja ohjeet**

Tarkastussuunnitelmissa esitetään jokaiselle työkohteella tehtävät tarkastukset, tarkastuksen suorittajat sekä valvojat. Tarkastussuunnitelma voidaan laatia jopa osa- ja hitsausliitoskohtaisesti. Tarkastussuunnitelmat sisältävät seuraavia tietoja:

- tarkastussuunnitelman numero
- työnnumero
- laitteet ja niiden luokitustiedot

- osa- tai hitsikohtainen numerointi piirustusten mukaisesti
- osan nimi ja lukumäärä
- perusaineen ja hitsauslisäaineen standardimerkintä
- hyväksymisrajat
- sarakekohtainen jaottelu tarkastusmenetelmien mukaan.
- laatija, tarkastaja, hyväksyjä.

Tarkastusohjeet laaditaan jokaiselle tarkastustoimipiteelle. Tarkastusohje jaetaan neljään osaan: menetelmä, laajuus, vaatimukset ja raportointi. Siinä tulee olla kaikki tarkastusta suorittaessa tarvittava tieto. Yksityiskohdissa voidaan viitata standardeihin tai muihin tarvittaviin ohjeisiin. Jos viitetiedot eivät ole tarkastajan tiedossa, tulee ne olla ohjeen liitteenä.

#### **4.4 Pätevöinti**

Hitsauksen laatuun merkittävästi vaikuttaa henkilöstön taidot. Hitsausta suorittavien henkilöiden kohdalla kyse on hitsaajien kyvystä seurata annettuja ohjeita sekä hitsaajan taidosta valmistaa tuote laadukkaasti. Tarkastusta suorittavien henkilöiden on taas tärkeää tuntea hitsausmenetelmien lisäksi käytettävät tarkastusmenetelmät ja osata analysoida tarkastustuloksia. Tässä luvussa käsitellään tarkastus- ja hitsaushenkilökuntaan liittyviä laatuvaatimuksia.

Standardin SFS-EN ISO 3834-2 mukaan valmistajalla tulee olla käytettävissä riittävä ja pätevä henkilöstö suunnittelemaan, suorittamaan ja valvomaan hitsaukseen liittyvää tarkastusta, testausta ja arvioimista eriteltyjen vaatimusten mukaisesti. (21, s. 10.)

##### **4.4.1 Tarkastushenkilöstön pätevänti**

SFS-EN ISO 3834-2 -standardi määrää, että NDT-tarkastajien tulee olla pätevoitettyjä. Mikäli päteväntiä ei vaadita, on valmistajan osoitettava, että tarkastajat ovat päteviä. Silmämääräiselle tarkastukselle ei vaadita erillistä pätevyttä, mutta sitä vaativimmille tarkastuksille pätevänti on suoritettava. (21, s. 10.)

Vaikka silmämääräinen tarkastus ei erikseen vaadi tarkastajalta sertifioitua pätevyystodistusta, tulee tarkastusta suorittavien työntekijöiden pätevyys todentaa

jollain tapaa. Pätevöinti voidaan suorittaa standardin ISO 9712 mukaisesti (21, s. 10.)

#### **4.4.2 Hitsaushenkilöstön pätevöinti**

Hitsaajien pätevyys tiettyyn tehtävään määrätyllä hitsausprosessilla, -aineilla ja -asennolla selvitetään hitsaajan pätevyyskokeella. Suoritettu koehitsaus antaa pätevyyden hitsata myös koeolosuhteita helpommiksi katsottuja hitsauksia. Kokeessa saavutetut pätevyysalueet löytyy standarditaulukoista.

Pätevyys on voimassa kaksi vuotta siitä, kun kaikki vaaditut koekappaleet on hyväksytysti hitsattu. Tämä edellyttää, että hitsaaja on hitsannut alkuperäisellä pätevyysalueella. Pätevyystodistus voi raueta, mikäli hitsaustyössä tapahtuu yli kuuden kuukauden keskeytyksiä. (22, s. 46.)

Pätevyyskokeen yhteydessä voidaan tarvittaessa hitsaajaa vaatia osoittamaan riittävää käytännön kokemusta ja teoreettista tietoa hitsausprosesseista ja hitsauslaitteista. Teoriakoe ei kuitenkaan ole pakollinen osa pätevyyskoetta. Mikäli teoreettinen koe on suoritettu, se merkitään hitsaajalle annettavaan pätevyyskoetodistukseen. (22, s. 60.)

## 5 PUOMIHITSAUKSEN LAADUNVARMISTUS

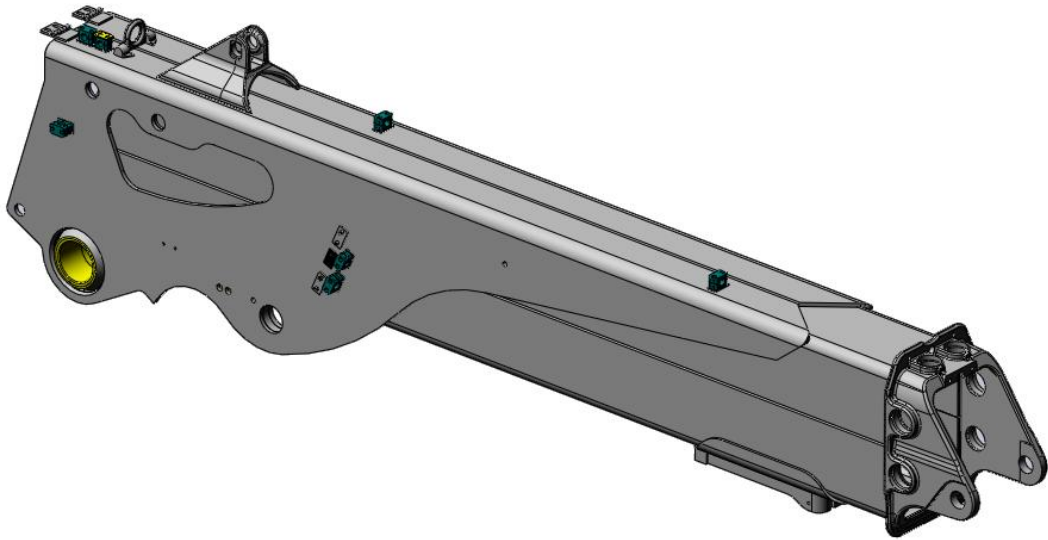
### 5.1 Puomien valmistus

Puomien hitsausprosessi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: silloitukseen, robottihitsaukseen ja viimeistelyhitsaukseen. Silloitusvaiheessa puomin eri osat kiinnitetään yhteen ennen varsinaista hitsausta pienillä siltahitseillä. Robottihitsausvaiheessa hitsausrobotti hitsaa puomin päähitsit niiltä osin, kuin se on robotille mahdollista. Viimeistelyhitsauksessa hitsataan loppuun hitsit, joihin hitsausrobotti ei pääse.

Viimeistelyhitsauksessa suoritetaan myös rasietuimmille kohdille TIG-viimeistely, jossa nurkkien ja muiden epäjatkuvuuskohtien alkuperäisen hitsin reuna sulatetaan ja TIG-käsitellään juohevaksi liittymäksi. Viimeistelyvaiheessa puomeihin hitsataan myös erilaisia komponentteja, kuten korvakoita, sylinteriholkkeja ja muita kiinnitysosia. Nämä komponentit hitsataan käsin MAG-hitsauksena.

Puomien valmistuksessa käytettävät kotelopalkit tulevat alihankintana joko jauhekaari- tai induktiohitsattuna. Palkkimateriaalit ovat W03-luokan erikoislujia teräksiä. Jauhekaarihitsauksessa valmistetut palkit ovat valmistettu kahdesta U-profiilista yhteen hitsaamalla ja induktiohitsatut palkit ovat rullamuovattua materiaalia. Kuvassa 15 on harvesterin pääpuomi, jonka valmistuksessa on käytetty jauhekaarihitsattua kotelopalkkia.





*KUVA 15. Ponsse C6 -harvesterinosturin pääpuomi*

Tähän työhön valittiin tarkasteltavaksi erään harvesterinosturin pääpuomi, joka on juuri tulossa tuotantoon. Tälle pääpuomille on tarkoitus luoda laadunvarmistussuunnitelma ennen varsinaisen sarjatutannon käynnistämistä. Kyseinen puomi eroaa hitsauksen kannalta muista tuotannossa olevista puomeista siinä, että sen valmistukseen ei käytetä valmista koteloprofiilia, vaan se koostuu yhdestä U-profiilista ja siihen hitsattavista sivulevyistä.

## **5.2 Laadunvarmistusmenetelmät**

Laadunvalvontasuunnitelmaan sisältyy silmämääräisen tarkastuksen tarkastuskohteiden ja laajuuden määrittämisen lisäksi tarkastuksessa käytettävien mittausapuvälineiden määrittely sekä tarkastustulosten raportointi. Laadua ei kuitenkaan luoda tarkastamalla, joten puomin valmistukseen on laadittava myös toimiva työohjeistus, jotta kaikki hitsaajat toimisivat yhtenäisen käytännön mukaan ja näin saadaan hajonta mahdollisimman pieneksi. Työohjeistus sisältää kuvineen silloitus-, käsi- ja TIG-hitsauksen sekä viimeistelyn tärkeimmät vaiheet.

### **5.2.1 Työohjeet**

Tarkastusohje (liite 3) sisältää olennaiset tiedot raportoitavista hitsausvirheistä. Tarkastusohje on luotu sulahitsausliitosten silmämääräisen tarkastuksen stan-

dardin SFS-EN 17637 pohjalta. Tarkastusohjeessa olevat raportointirajat hitsausvirheille on koottu hitsiluokkastandardin SFS-EN 5817-C mukaisesti. Ohjeen pohjana on käytetty AEL:n luentomateriaalia aiheesta ”Hitsipinnan laadun geometrinen arviointi”. (13). Pääpuomin tarkastuslomake on liitteessä 4.

TIG-käsiteltävät kohteet on merkitty piirustuksiin nuolella ja tekstillä. Valitun puomin piirustuksiin ei kuitenkaan ennen valmistuksen aloittamista ollut merkitty kaikkia kohtia, joihin TIG-käsittely olisi suotavaa tehdä. TIG-käsiteltävät alueet käytiin läpi yhdessä hitsauskoordinaattorin kanssa ja niistä luotiin SolidWorks-mallien avulla helppolukuinen työohje, jossa näkyvät TIG-käsiteltävät kohteet, hitsien pituudet sekä tarvittavat hionnat. Lopulliseen työohjeistukseen tulee myös valokuvat oikein suoritetusta TIG-käsittelystä. Muista työvaiheista laaditaan kuvalliset työohjeet, kun tarvittavat materiaalit saapuvat ja tuotanto aloitetaan.

### **5.2.2 Tarkastuskohteet ja menetelmät**

Uusille tuotteille, eli prototyypeille ja 0-sarjoille suoritettavat ultraääni- ja tunkeumanestetarkastukset suoritetaan pätevoitetyn henkilön toimesta sovitulla tavalla. Ennen UT/PT-tarkastusta täytyy tuotteen antaa jäähtyä kunnolla ennen tarkastuksen suorittamista kylmähalkeiluriskin vuoksi. Suositeltava jäähtymisaika on vähintään 24 tuntia. Mikäli UT/PT-tarkastuksessa havaitaan virheitä, esimerkiksi kylmähalkeilua, on tarkastustaaajuutta syytä kasvattaa. Nämä tarkastukset suoritetaan protovaiheessa kaikille niille hitseille, jotka voidaan kyseisillä menetelmillä tarkastaa. Näin varmistetaan prosessin kyky tuottaa laadukkaita hitsausliitoksia myös jatkossa. Tässä työssä käsitellään volyymituotannon aikana tehtäviä silmämääräisiä tarkastuksia.

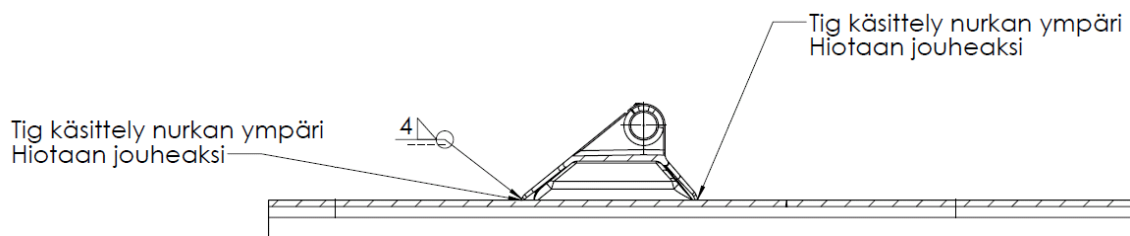
Työhön valitun puomin kriittisimmät kohteet määriteltiin yhdessä yrityksen hitsauskoordinaattorin ja suunnittelijoiden kanssa. Kriittisiksi tarkastuskohteiksi hitsien osalta määräytyivät yläprofiilin ja sivulevyjen välinen hitsi, puomin alapuolella oleva sivulevyjen tukilevy sekä kaikki TIG-käsiteltävät kohteet. Profiili-levyn ja sivulevyjen välinen kiinnitys onkin erittäin kriittinen kohde tuotteen valmistuksessa, koska vastaavaa rakennetta ei ole Ponssen osavalmistuksessa

ennen hitsattu. Tarkastettavat kriittiset kohteet on numeroitu yhdestä kuuteen ja listattu taulukkoon 3.

*TAULUKKO 3. Pääpuomin tarkastuslista*

Nro.	Tarkastuskohde	Huomioitavaa
1	Sylinterin korvakkeen hitsit	Hitsit silmämääräisesti korvakon ympäri $a = 4$ mm. TIG-käsittely nurkissa.
2	Yläprofiilin ja sivulevyjen välinen pitkä hitsi	Silmämääräinen tarkastus koko hitsin pituudelta.
3	Puominpään hitsit	A-mitta sisä- ja ulkopuolelta. Nurkkien ja reunakohtien TIG-käsittely tarkastettava.
4	Välilevyn hitsit	TIG-käsittely nurkissa ja taitoskohdissa.
5	Väliholkin hitsit	Väliholkin asento ja hitsit sisä- ja ulkopuolelta sekä kiinnitys välilevyyn.
6	Puomin profiilin sisämitat ja muoto	Profiilin muodon mittaus.

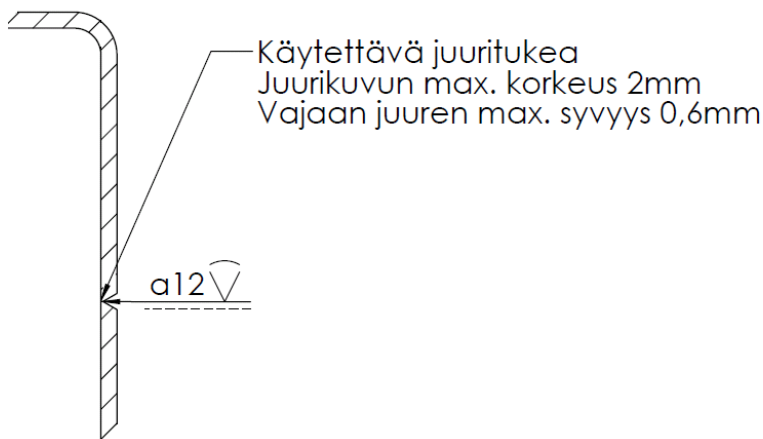
Puomin päälle hitsataan jatkeen sylinterin korvakko. Sylinterin korvakon terävät reunat käsitellään TIG-hitsillä 100 mm:n matkalta ja nurkka hiotaan juohevan liittymisen aikaansaamiseksi. Kuvassa 16 on esitetty sylinterin korvakon hitsausmerkinnät. Korvakon TIG-käsittelyn tulee mennä saumattomasti reunan ympäri molemmin puolin. Kohteesta tarkastetaan hitsausvirheiden lisäksi hitsin a-mitta sekä TIG-käsittelyn juohevuus ja ohjeenmukaisuus



*KUVA 16. Tarkastuskohde 1*

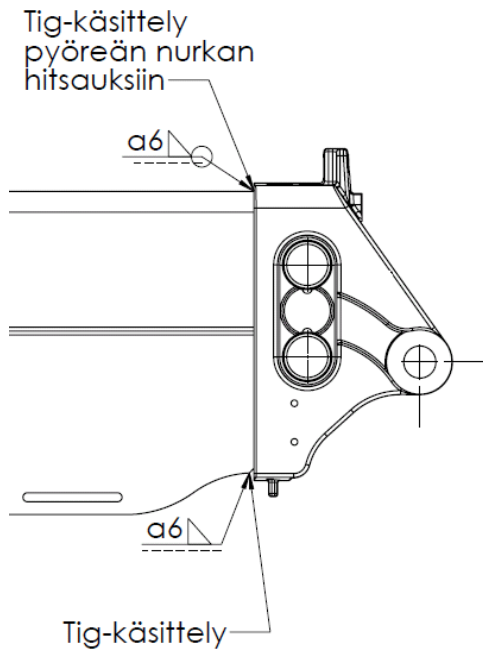
Yläprofiili ja sivulevyt silloitetaan TIG-hitsauksella. Silloitusvaiheessa on syytä tarkastaa, että sillat ovat suunnitelluilla paikoilla oikean mittaisina. Silloituksella ennakoidaan varsinaisen hitsin aiheuttamia muodonmuutoksia, ja kyseisen kohteen silloitus on erityisen tärkeä valmiin puomin profiilin kannalta.

U-profiili kiinnitetään sivulevyihin robotisoituna MAG-hitsauksena ja hitsauksen aikana käytetään juuritukea. Toleranssina tälle hitsaukselle on määritelty hitsin kuvun vajoaus ja korkeus juuren puolelta. Kohteesta tarkastetaan hitsi puomin ulkopuolelta ja mikäli suuria poikkeamia havaitaan, hitsin minimi- ja maksimikohdat mitatetaan.



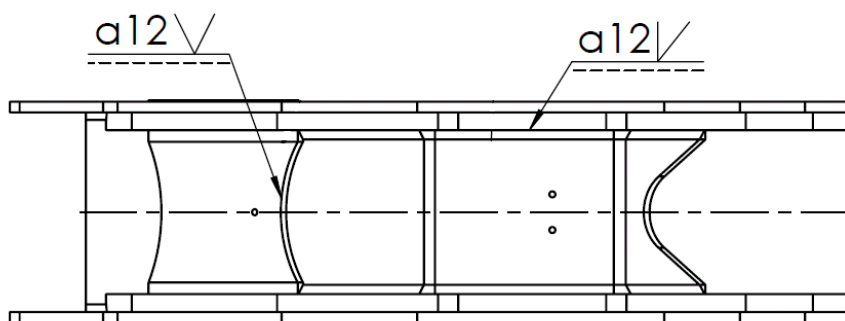
*KUVA 17. Tarkastuskohde 2*

Piirustuksissa on puominpään hitsaukselle määritelty a-mitaksi 6 mm. Puominpään kiinnityksestä on tarkastettava a-mitan minimi- ja maksimikohdat. TIG-käsittely suoritetaan yläpuolen pyöreisiin nurkkiin sekä alapuolelle puominpään, pohja- sekä sivulevyjen yhtymäkohtaan. TIG-käsittelyt tulee olla juoheviksi hiottuja ohjeen mukaisesti.



KUVA 18. Tarkastuskohde 3

Puomin alapuolelle korvake- ja sivulevyjen väliin hitsataan välilevy (kuva 19), joka on viides tarkastuskohde. Välilevyn loiviin taitoskohtiin ja teräviin kärkiin tulee TIG-käsittely luodun ohjeen mukaisesti. Välilevyn kiinnityksestä tarkastetaan hitsin a-mitta sekä TIG-käsittelyn ohjeenmukaisuus. Välilevyn takapäättyyn kiinnitettävän holkin kiinnityksestä tarkastetaan holkin asento sekä välilevyn ja holkin välinen a-mitta. Holkin päätyjen sisä- ja ulkopuolen hitsit tulee tarkastaa niiltä osin, kuin se on mahdollista.

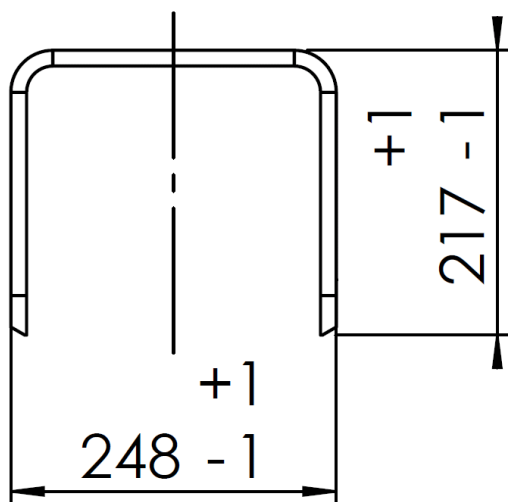


KUVA 19. Tarkastuskohde 4 ja 5

Kuudes tarkastuskohde on valmiin puomin sisäprofiilin mittaaminen (kuva 20). Puomin lopulliseen profiilin muotoon vaikuttaa useampi tekijä. Profiilin lopulliseen muotoon vaikuttaa kolme toleranssia: materiaalin paksuus-, leikkaus- ja

särmäystoleranssi. Profiili valmistetaan Rautaruukin Optim 700 MC Plus erikois-  
lujasta rakenneteräksestä. Paksuustoleranssi noudattaa standardia EN 10029  
ja on kyseisen puomin nimellispaksuudella  $-0,7$  mm ja  $+0,7$  mm (23, s. 4). Ylä-  
ja sivuprofiilien leikkaukselle on määrätty standardi ISO 9013-321, joka antaa  
tarkastuskohteen nimellismitta-alueelle sallitaksi eromitaksi  $\pm 1$  mm (24, s. 34).  
Särmäyksen toleranssiksi on piirustuksessa määritetty  $\pm 1$  mm. Jokainen val-  
mistus- ja käsittelyvaihe aiheuttaa lopputuotteeseen mittavaihtelua ja sisäisiä  
jännityksiä. Hitsaus on merkittävin jäännösjännitysten ja muotovirheiden aiheut-  
taja. Jo rakennetta suunniteltaessa ja sen valmistusvaihetta valittaessa on hyvä  
kiinnittää huomiota muodonmuutoksia ennalta ehkäiseviin toimiin. Muodonmuu-  
toksia voidaan minimoida sopivalla hitsausjärjestyksellä, joka tulee olla kaikilla  
tekijöillä tiedossa ja selvästi ohjeistettu. (25, s. 51.)

Valmiin kotelon tulisi olla muodoiltaan mahdollisimman symmetrinen ja suora.  
Pääpuomin piirustuksissa kotelon pysty- sekä vaakamitoille annetaan tolerans-  
siksi  $\pm 1$  mm (kuva 20). Puomin sisäprofiilin muodon mittaamiseen voidaan  
käyttää perinteisiä mittausapuvälineitä, kuten rulla- tai työntömittaa. Tarkastuk-  
sen nopeuttamiseksi voidaan tätä tarkastusta varten teettää laserleikattu levy,  
joka on leveydeltään nimellismitan kokoinen. Käyttämällä tulkki valmiin puomin  
sisällä saadaan nopeasti tarkastettua, onko puomi pysynyt muodossaan ja täyt-  
tääkö se leveys- ja korkeusmitoille asetetut toleranssit.



KUVA 20. Tarkastuskohde 6

### 5.2.3 Suoritettavat tarkastukset

Hitsien tarkastaminen tulisi suorittaa jokaisen valmistusvaiheen yhteydessä. Jokainen ammattitaitoinen hitsaaja tarkkailee jatkuvasti omaa työtään ja arvioi hitsauksen jälkeen hitsin laatua. Lisäksi tulee suorittaa hitsauksen jälkeen tarkastus, jossa todetaan, että hitsit ovat laadullisesti hyväksyttävissä ja kaikki tuotteeseen kuuluvat komponentit ovat varmasti oikeilla paikoillaan eikä kappaaleeseen ole tullut piirustuksen vaatimuksia ylittäviä muotovirheitä.

Ennen hitsauksen aloittamista on hitsattavat pinnat sekä liitospintojen lähialue tarkastettava. Hitsattavan kohteen railon muoto ja mitat vastaavat määritetyt vaatimuksia ja railon kyljet ja viereiset pinnat ovat puhtaita ja vaaditut pintakäsittelyt on suoritettu annetun ohjeen mukaisesti. Puomin silloitusvaiheessa on tärkeää noudattaa työohjeessa määrättyä silloitusjärjestystä ja hitsata sillat oikeille paikoille oikean mittaisina. Kaikki hitsausta edeltävät ja hitsauksen aikana suoritettavat tarkastukset suorittaa hitsaaja itse.

Lopputarkastus suoritetaan viimeistelyvaiheen jälkeen, kun kaikki hitsit ovat valmistuneet. Tarkastettavia kohteita ovat: rakenteen muoto, profiili, mitat sekä mahdolliset hitsausvirheet ja rakenteeseen kuuluvien komponenttien oikea määrä ja laatu.

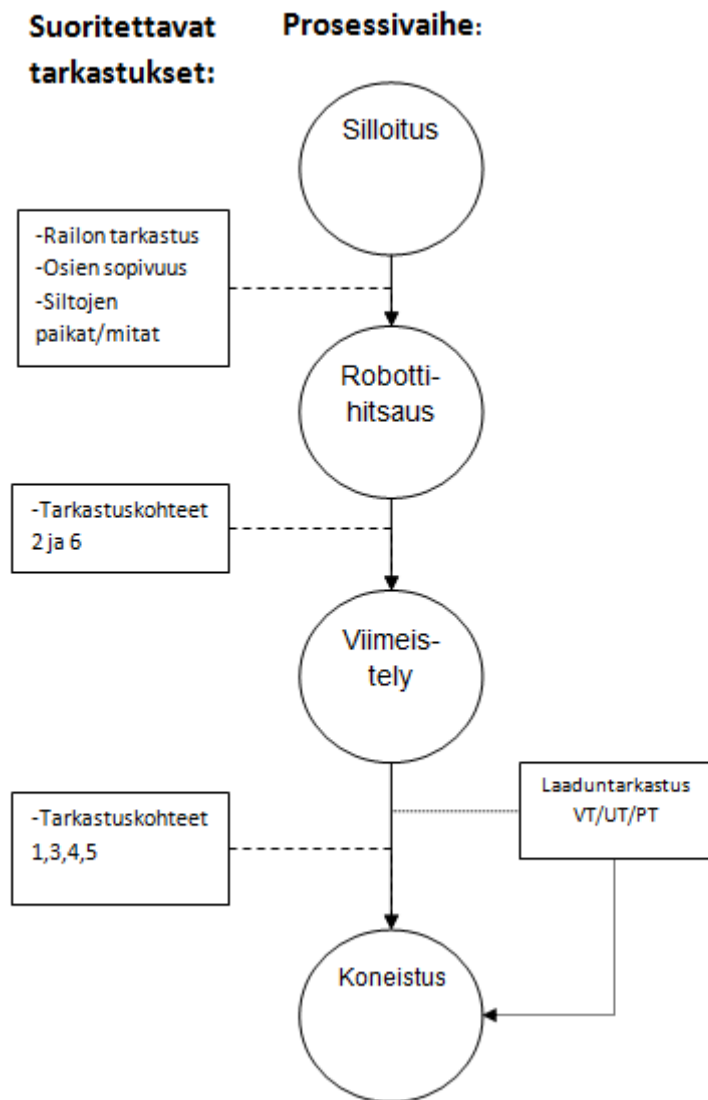
Ennen lopputarkastusta tarkastettavien hitsien tulee olla puhtaita rasvasta, liasta ja kuonasta. Pinnan tulee olla standardin SFS 8145-05 mukaan viimeistely. Laatuasteen 05 mukaisen pinnan tulee täyttää seuraavat vaatimukset (26, s. 3):

- hitsauskuonat poistetaan
- hitsauslangan pätkät poistetaan
- kaikki hitsausroiskeet poistetaan
- avojuokset korjataan
- reunahaavat korjataan
- kaikki terävät reunat pyöristetään R 2 mm, mikäli muuta ei ilmoiteta
- polttovirheet korjataan
- leikkauspinnat viimeistellään vaadittuun karheustasoon
- terävät pintaviat korjataan, kuten naarmut, tarraimen jäljet, pintasäröt ja kolhut.

Silmämääräistä tarkastusta suoritettaessa käydään läpi tarkastusohjeessa määrätyt hitsit ja niiden viereinen perusaine noin 10 mm hitsin molemmin puolin. Hitsit tulee tarkastaa molemmin puolin sekä pinnan että juuren puolelta, mikäli mahdollista. Tarkastuksessa on kiinnitettävä huomiota hitsin pinnan laadun arviointiin. Hitsin ja perusaineen välinen liittymä on oltava juoheva ja hitsin pinnan oltava säännöllinen. Hitsiluokkastandardi 5817-C asettaa päittäishitsin liittymiskulmalle raja-arvoksi  $\geq 110^\circ$  ja pienahitsille  $\geq 100^\circ$  (27, s. 24). Hitsin leveyden tulisi olla yhdenmukainen koko liitoksen alueella ja railon tulee olla kokonaan täyttynyt. Hitsien kuvun korkeus ja puomin profiilin muoto mitataan.

Pääpuomin valmistuksessa suoritettavat tarkastukset ja vaiheet on kuvattu prosessikaaviossa, joka on kuvassa 21. Tarkastustajuudet sekä vastuuhenkilöt on määrätty Control Planissa (liite 5) joka käydään läpi luvussa 5.2.4.





KUVA 21. Laaduntarkastusprosessi pääpuomin valmistuksessa

Normaalin tarkastuslomakkeen mukaisten tarkastusten lisäksi olisi hyvä suorittaa ylimääräinen laaduntarkastajan suorittama lopputarkastus. Näin tarkastuksiin saadaan objektiivista näkökulmaa, kun tarkastuksen suorittaa tuotannosta erillään oleva osapuoli. Tarkastus suoritetaan vähintään 100 %:n silmämääräisenä tarkastuksena, mutta tarkastusta voidaan tarpeen vaatiessa laajentaa ultraääni- tai tunkeumanestetarkastuksilla.

Tuotannonohjausjärjestelmään tulee lisätä tarkastettaville nimikkeille toiminto, joka ilmoittaa laaduntarkastajalle tai -tarkastajille milloin tuote on valmiina tarkastettavaksi. Laaduntarkastajan suorittamaa lopputarkastusta ei tehdä jokaiselle valmistetulle nimikkeelle vaan tarkastukset suoritetaan otantaperusteisesti.

Työssä käsitellylle puomille laatuosaston tarkastus suoritetaan joka kymmenennelle valmistetulle pääpuomille.

#### **5.2.4 Laadunvalvontasuunnitelma**

Laadunvalvontasuunnitelmalla eli Control Planilla kuvataan prosessin eri vaiheissa suoritettavia laadunvarmistustapoja. Tavoitteena on standardoida näitä menetelmiä ja näin vähentää prosessi- ja tuotevaihtelua. Pääpuomin hitsausprosessille laadittu valvontasuunnitelma on liitteessä 5. Control Plania tulee muokata prosessin mukaan aina kun prosessia kehitetään. Liitteenä olevaa Control Plania voidaan soveltaa myös muille valmistettaville tuotteille sekä toisille valmistusprosesseille.

#### **5.2.5 Raportointi ja poikkeamat**

Akuutteja laatupuutteita kutsutaan poikkeamiksi. Hitsauksessa laatupuutteita ovat esimerkiksi hitsausvirheet, joiden perusteella kohteen laatua ei voida hyväksyä.

Poikkeamat raportoidaan tuotantotauluun tulevan raportointilomakkeen kautta. Raportointilomakkeessa (liite 4) käydään läpi taulukossa 3 mainitut kohteet. Mikäli jossain kohteessa havaitaan poikkeama, ja kohde hylätään, avautuu tämän kohdan alle valintaruutu (liite 4/2), josta valitaan vian tyyppi ja vapaa tekstikenttä, johon kirjoitetaan tarkentavat tiedot virheestä ja mahdollisesta korjauksesta. Jokaiselle tarkastuskohteelle on valittavana alasetoalistasta päätökseksi joko hyväksyty, hylätty tai korjattu.

Tehtaalla on käytössä Modultekin Aton tuotetiedon hallintajärjestelmä, johon kaikki dokumentit tulisi laatukäsikirjan mukaan tallentaa. Työ- ja tarkastusohjeet säilytetään työvaihekohtaisen paperiversion lisäksi Atonissa.

Valmistuksen työohjeistuksia ei vielä Atonissa ole, joten näille tulee tehdä oma dokumenttiryhmä tietokantaan. Kuvassa 22 on ehdotukseni siitä, miten työohjeita tulisi dokumentoida Atoniin. Työohjeet tallennetaan TO-alkuisella koodilla ja numeroidaan luomisjärjestyksen mukaan. Esimerkiksi ensimmäinen työohjeistusdokumentaatio olisi TO0001 ja seuraava TO0002 ja niin edelleen. Kohtaan

Desc 1 merkitään työohjeen tarkenne. Kuvassa 22 Desc 1 -tarkenteena on tuote, nimikenumero sekä ohjeen sisältö. Desc 2 määrittelee minkä tuotannon osa-alueen työohjeistuksesta on kyse. Kuvassa 22 Desc 2 –tarkenteena on HITSAAAMO, koska kyseessä on hitsaukseen liittyvä työohjeistus. Muita Desc 2 -tarkenteita voi olla esimerkiksi kokoonpano, koneistamo tai toimitusvarustelu riippuen siitä, minkä tehtaan osa-alueen työvaiheeseen työohje kuuluu. Tällä on tarkoitus helpottaa työohjeiden hakua, kun työohjeiden kirjaaminen järjestelmään lisääntyy.

The screenshot shows the 'Aton - Document Main Information MIKAHAA/ATONPROD' window. The interface includes a menu bar (Database, Search, Document, Mail, Report, Help) and a toolbar with various icons. The main content area is divided into several sections:

- Document Information:** Fields for Code (TO1234), Created, Modified, Desc 1 (C5 P00000 TIG-OHJE), Desc 2 (HITSAAAMO), Desc 3, Desc 4, Desc 5, and Language.
- Classification:** Fields for Group, Type, Class, Owner Group, and Handler.
- Status Information:** A Status dropdown menu and checkboxes for Current Revision, Active Revision (checked), and Personal Document.

KUVA 22. Työohjeiden dokumentointi Aton-tietokantaan

## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli määritellä harvesterinosturin pääpuomin tarkastuskohteet, menetelmät ja vaiheet hitsausprosessissa. Pääpuomin tarkastussuunnitelman lisäksi tavoitteena oli luoda hitsausohjeistus puomin valmistukseen.

Työn teoriaosuudessa käytiin läpi hitsausta yleisesti valmistusmenetelmänä ja puomien valmistukseen liittyviä hitsausprosesseja. Lisäksi teoriaosiossa käsiteltiin hitsauksen laadunvarmistusta, yleisimpiä hitsausvirheitä sekä kolmea Ponsella käytössä olevia ainetta rikkomattomia tarkastusmenetelmiä.

Työn tuloksena saatiin valitun puomin kriittisimmät tarkastuskohteet ja kohteiden tarkastusvaiheet. Näiden tietojen pohjalta laadittiin puomin valmistukselle Control Plan eli laadunvalvontasuunnitelma. Lisäksi laadittiin ohjeistus puomin TIG-käsiteltäville kohteille ja tarkastusten raportointiin toimintaohje. Lisäksi laadittiin yleiskäyttöinen tarkastusohje, jota voidaan käyttää laajemminkin tehtaalla hitsien tarkastuksia suoritettaessa.

Työ oli haastava ja erittäin mielenkiintoinen. Työn aikana opin paljon uutta hitsauksesta ja siihen liittyvistä standardeista, prosesseista ja laatutoiminnasta. Tarkastuksien toteuttaminen käytännössä voi osoittautua hyvinkin haastavaksi, koska vastaavaa systemaattista hitsien tarkastusta ja dokumentointia ei ole aikaisemmin suoritettu. Tarkemmat kuvalliset työohjeet työssä käsitellyn puomin hitsaukseen tullaan tekemään heti kun puomin valmistus aloitetaan. Hitsauksen laadunvarmistusta voitaisiin jatkossa kehittää tutkimalla mahdollisuutta hitsien reaaliaikaiseen seurantaan esimerkiksi lämpöprofiiliskannerin tai muun kokenäköratkaisun avulla.

## LÄHTEET

1. Ponsse-konserni. 2012. Ponsse Oyj. Saatavissa:  
<http://www.ponsse.com/suomi/konserni/index.php>. Hakupäivä: 22.2.2012.
2. Lepola, Pertti – Makkonen, Matti 2001. Hitsaus ja teräsrakenteet. Porvoo: WSOY.
3. Hitsausmenetelmät. 2009. ESAB Oy. Saatavissa:  
<http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes.cfm>. Hakupäivä: 31.1.2012.
4. Kyröläinen, Antero – Lukkari, Juha 1999. Ruostumattomat teräkset ja niiden hitsaus. Jyväskylä: Gummerus Oy.
5. MIG/MAG-hitsaus. 2009. ESAB Oy. Saatavissa:  
<http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes-mig-gmaw.cfm>. Hakupäivä: 31.1.2012.
6. TIG-hitsaus 2009. ESAB Oy. Saatavissa:  
<http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes-gtaw-tig.cfm>. Hakupäivä: 31.1.2012.
7. Kortelainen, Jarmo 2012. Alihankintaverkoston hitsauksen laadunhallinta. Saatu käyttöön hitsauskoordinaattori Jarmo Kortelaiselta vuonna 2012.
8. Härkönen, Tapani – Tervola, Tapio 1993. Lujat hitsattavat teräkset. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
9. Hitsauksen materiaalioppi. 2004. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.
10. Lukkari, Juha 2000. Hitsausuutiset 1/2000: Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Helsinki: ESAB Oy.
11. Juva, Ari – Tiilikainen, Veijo 1984. Tekninen tiedotus 10/84: Laadunohjaus hitsaavassa teollisuudessa. Metalliteollisuuden keskusliitto, Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus.

12. SFS-EN ISO 17637. 2011. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
13. Hitsin pinnan laadun geometrinen arviointi 2012. Kurssimateriaali. AEL.
14. Åström, Thomas 1990. NDT-menetelmien kehitysnäkymät hitsausliitosten tarkastuksessa. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
15. SFS-EN 571-1. 1997. Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus. Yleisperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
16. SFS-EN ISO 23277. 2010. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
17. SFS-EN 583-1. 1999. Rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Yleisperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
18. SFS-EN ISO 11666. 2011. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus. Hyväksymisrajat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
19. SFS-EN ISO 17640. 2011. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Tekniikat, tarkastustasot ja arviointi. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
20. SFS-EN ISO 23279. 2010. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Hitsausvirheiden tyyppin määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
21. SFS-EN 3834-2. 2006. Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 2: Kattavat laatuvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
22. SFS-EN 287-1. 2011. Hitsaajan pätevyyskoe. Osa 1: Teräkset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
23. Kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat: Mitta- ja muototoleranssit. 2010. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Ruukki->

Kuumavalssatut-teräkset-Muotoleikatut%20levytuotteet.pdf. Hakupäivä  
27.4.2012.

24. SFS-EN ISO 9013. 2003. Terminen leikkaus. Termisesti leikattujen pintojen luokittelu. Geometriset tuotemäärittelyt ja laatutoleranssit. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
25. Hitsaajan opas. 2003. Raahe: Rautaruukki Oyj.
26. SFS 8145. 2001. Korroosionestomaalaus. Suihkupuhdistettujen tai suihku- puhdistettujen ja konepajapohjamaalilla käsiteltyjen teräspintojen mekaanisten esikäsittelyjen laatuasteet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS.
27. SFS-EN ISO 5817. 2006. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus. Hitsiluokat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
28. Kuumavalssatut teräkset: Hitsaus. 2010. Rautaruukki Oyj. Saatavissa:  
<http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Ruukki-Kuumavalssatut-ter%C3%A4kset-Hitsaus-ohjelehti.pdf>. Hakupäivä:  
27.4.2012.

## **LIITTEET**

Liite 1 Ruukin valmistamien terästen ryhmittely (28)

Liite 2 MIG/MAG-hitsausvirheet (2, s.166)

Liite 3 Silmämääräisen tarkastuksen ohje raportointirajoihin

Liite 4 Tuotantotauluun liitettävä tarkastusraportin käyttöliittymä

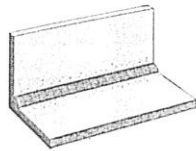

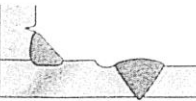
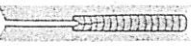
Liite 5 Laadunvalvontasuunnitelma


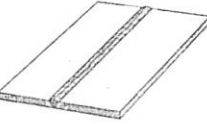
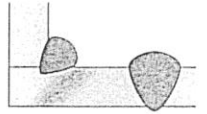
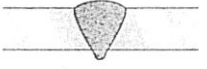






**Ruukin valmistamien terästen ryhmittely hitsaajan pätevyyskoetta (SFS-EN 287-1/A2:2006) ja hitsausliitoksen menetelmäkoetta (SFS-EN ISO 15614-1 + A1:2008) varten.**

Ryhmä	Teräslaji. CEN ISO/TR 15608:2005:fi ja CEN ISO/TR 20172:2009
1	Teräkset, joiden ohjeellinen myötöraja $R_{eH} \leq 460$ MPa ja analyysipitoisuudet ovat (%): C $\leq 0,25$ , Si $\leq 0,60$ , Mn $\leq 1,80$ , Mo $\leq 0,70$ , S $\leq 0,045$ , P $\leq 0,045$ , Cu $\leq 0,40$ , Ni $\leq 0,5$ %, Cr $\leq 0,3$ , Nb $\leq 0,06$ , V $\leq 0,1$ , Ti $\leq 0,05$
1.1	Teräkset, joiden ohjeellinen myötöraja $R_{eH} \leq 275$ MPa
	- Ruukki Ruukki Laser 250 C - EN 10025-2 S235JR, S235J0, S235J2, S275JR, S275J0, S275J2 - EN 10025-3 S275N, S275NL - EN 10025-4 S275M, S275ML - EN 10149-3 S260NC, P265NB - EN 10028-2 P235GH, P265GH, 16Mo3 - EN 10028-3 P275NH, P275NL1, P275NL2 - EN 10207 P235S, P265S, P275SL A-luokan laivanrakennusteräket
	- EN 10120 P245NB - EN 10208-1 L210GA, L235GA, L245GA
1.2	Teräkset, joiden ohjeellinen myötöraja $275 \text{ MPa} < R_{eH} \leq 360$ MPa
	- Ruukki Multisteel, Multisteel N - Ruukki Ruukki Laser 355 MC - EN 10025-2 S355JR, S355J0, S355J2, S355K2 - EN 10025-3 S355N, S355NL - EN 10025-4 S355M, S355ML - EN 10149-2 S315MC, S355MC - EN 10149-3 S315NC, S355NC - EN 10028-2 P295GH, P355GH - EN 10028-3 P355N, P355NH, P355NL1, P355NL2 - EN 10028-5 P355M, P355ML1, P355ML2 - EN 10225 S355G3N, S355G9N, S355G9M, S355G10N, S355G10M. Teräslajien S355G9N, S355G9M, S355G10N ja S355G10M nikkelpitoisuus (Ni) on EN 10225 mukaan $\leq 0,70$ % 32- ja 36-lujuusluokan laivanrakennusteräket 2W GR 50, 2H GR 50
	- EN10028-6 P355Q, -QH, -QL1, -QL2 - EN 10120 P310NB, P355NB
1.3	Normalisoidut hienoraeteräket, joiden ohjeellinen myötöraja $R_{eH} > 360$ MPa
	- EN 10025-3 S420N, S420NL, S460N, S460NL - EN 10028-3 P460NH, P460NL1, P460NL2 40-lujuusluokan laivanrakennusteräket
	- EN 10149-3 S420NC - EN 10208-2 L415NB
1.4	Säänkestävät teräket, joiden analyysipitoisuudet saattavat ylittää annetut pitoisuudet ryhmän 1 seosaineille
	- Ruukki COR-TEN® B, COR-TEN® B-D - EN 10025-5 S235J0W, S235J2W, S355J0W, S355J2W, S355K2W
2	Termomekaanisesti valssatut hienoraeteräket, joiden ohjeellinen myötöraja $R_{eH} > 360$ MPa
2.1	Termomekaanisesti valssatut hienoraeteräket, joiden ohjeellinen myötöraja $360 \text{ MPa} < R_{eH} \leq 460$ MPa
	- Ruukki Ruukki Laser 420 MC - EN 10025-4 S460M, S460ML - EN 10149-2 S420MC, S460MC - EN 10149-3 S420NC - EN 10028-5 P420M, P420ML1, P420ML2, P460M, P460ML1, P460ML2 - EN 10225 S420G1M, S420G2M, S460G1M, S460G2M 420 (43)-, 460 (47)-lujuusluokan laivanrakennusteräket 2W GR 60 L415MB, S450MB
2.2	Termomekaanisesti valssatut hienoraeteräket, joiden ohjeellinen myötöraja $R_{eH} > 460$ MPa
	- Ruukki Optim 500 MC, Optim 550 MC, Optim 600 MC, Optim 650 MC, Optim 700 MC, Optim 700 MC Plus, Optim 500 ML - EN 10149-2 S500MC, S550MC, S600MC, S650MC, S700MC 500-lujuusluokan laivanrakennusteräket - EN 10208-2 L485MB, L555MB
3	Nuorrutusteräket, joiden ohjeellinen myötöraja $R_{eH} \geq 360$ MPa
3.1	Nuorrutusteräket, joiden ohjeellinen myötöraja $360 \text{ MPa} < R_{eH} \leq 690$ MPa
	- Ruukki Optim 700 QL - EN 10028-6 P460Q, P460QH, P460QL1, P460QL2, P500Q, P500QH, P500QL1, P500QL2, P690Q, P500QH, P500QL1, P500QL2 - EN 10025-6:2004 + A1:2009 S460Q, S460QL, S460QL1, S500Q, S500QL, S500QL1, S550Q, S550QL, S550QL1, S620Q, S620QL, S620QL1, S690Q, S690QL1, S690QL2
3.2	Nuorrutusteräket, joiden ohjeellinen myötöraja $R_{eH} \geq 690$ MPa
	- Ruukki Optim 900 QC, Optim 960 QC, Optim 1100 QC ja Optim 960 W. Terästen toimitustila on karkaistu. - Ruukki Raex 400, Raex 450, Raex 500. Terästen toimitustila on karkaistu. - Ruukki B 13S, B 24 ja B 27. Toimitustila on kuumavalssattu. - EN 10025-6:2004 + A1:2009 S890Q, S890QL, S890QL1, S960Q, S960QL

### 3.9 Hitsausvirheet MIG/MAG-hitsauksessa

Hitsausvirhe	Mahdollinen syy	Korjaustoimenpiteet
<p><i>Roiskeet</i></p> 	<p>Epäpuhtaudet railopinnassa Pieni induktanssi Välikaari Suuri jännite Pitkä vapaalanka CO2 suojakaasu</p>	<p>Puhdista railopinnat. Säädä induktanssi suuremmaksi. Säädä lyhyt- tai kuumakaari-alueelle. Lisää langansyöttöä tai pienennä jännitettä. Hitsaa lyhyemmällä vapaalangalla. Käytä seoskaasua. Käytä seoskaasua.</p>
<p><i>Huokokset</i></p> 	<p>Epäpuhtaudet railopinnassa Suojakaasun vajoitus</p> <p>Liian suuri kaasuvirtaus Vetoinen hitsauspaikka</p> <p>Pistoolin asento</p>	<p>Puhdista railopinnat. Puhdista kaasusuutin. Mittaa rotamet-mittarilla kaasun virtausmäärä suuttimesta ja säädä virtaus oikeaksi. Korjaa mahdolliset kaasuvuodot monitoimijohdimesta ja pistoolista. Säädä kaasuvirtaus oikeaksi. Siirrä hitsauspaikka vedottomaan tilaan tai suojaa se muuten ilmavirroilta. Kohdista pistooli pystympään asentoon.</p>
<p><i>Reunahaava</i></p> 	<p>Suuri jännite</p> <p>Virheellinen kuljetus Suuri a-mitta</p>	<p>Säädä jännite pienemmäksi tai lisää langansyöttöä. Hitsaa lyhyellä vapaalangalla. Pysähdy railokyljillä riittävän pitkään. Käytä monipalkohitsausta yksipalkohitsauksen sijasta.</p>
<p><i>Kraaterihalkeama</i></p> 	<p>Väärä lopetustekniikka</p>	<p>Sammuta valokaari hitsatun palon ja railokyljen liittymässä noin 10 mm:n etäisyydellä hitsipalon päästä.</p>

Hitsausvirhe	Mahdollinen syy	Korjaustoimenpiteet
Sovitusvirhe 	Silloitushitsi nurjahtanut tai revennyt	Hitsaa paksummat ja pitemmät siltahitsit Hitsaa silloitukset tiheämpään varsinkin ohutlevyissä. Vasarra silloitukset suoriksi ennen varsinaisen hitsauksen aloittamista. Käytä apupaloja tarvittaessa.
Halkeamat 	Karkeaminen  Hitsausjännitykset	Tee lämpökäsittelyt hitsausohjeen mukaan Hitsaa paksumpi palko. Käytä leveämpää hitsausrailoa. Muuta hitsausjärjestystä.
Korkea hitsauskupu 	Suuri langansyöttö verrattuna kaarijännitteeseen Väärä kuljetustekniikka	Säädä jännite suuremmaksi tai pienennä langansyöttöä.  Nopeuta levitysliikkeen ylimenonopeutta ja pysähdy pitempään palon reunoilla. Käytä pystympää tai työntävää kuljetusta.
Korkea juurikupu 	Suuri ilmarako  Liian suuri virta  Väärä kuljetustekniikka	Käytä pienempää ilmarakoa tai käytä juuripintaa. Säädä langansyöttö pienemmäksi tai lisää kaarijännittä. Hienosäätöä voi tehdä vapaalangan pituutta muuttamalla. Kohdista lisäainelangan kärki enemmän palon päälle. Nopeuta ylimenonopeutta ja pidennä pysähtymistä railon kyljillä levitysliikkeellä hitsattaessa.
Vajaa kupu 	Suuri jännite Väärä kuljetustekniikka	Lisää langansyöttöä tai pienennä jännitettä. Hidasta levitysliikkeen kuljetusnopeutta. Kuljeta pistoolia pystymässä tai vetävässä asennossa.
Vajaa juuri 	Pieni ilmarako tai suuri juuripinta Liian pieni hitsausteho Väärä kuljetustekniikka	Käytä suurempaa ilmarakoa. Muista, että juuripinta vaatii suuremman ilmaraon. Lisää langansyöttöä. Kohdista lisäainelangan kärki enemmän palon eteen. Huolehdi, että palon edessä kulkee päärynän muotoinen aukko.
Liitosvirhe 	Väärä kuljetustekniikka  Jyrkkä liittymä pohja- ja välipalkojen rajapinnoissa railokylkeen	Kohdista lisäainelangan kärki/valokaari enemmän hitsisulan eteen perusaineeseen. Käytä suurempaa kuljetusnopeutta, ettei hitsisula pääse vyörymään valokaaren edelle. Pidempi pysähtymisaika levitysliikkeellä hitsattaessa railokyljillä. Hio välipalkojen jyrkät liittymät ja mahdolliset reunahaavat.
Sytytysjälki 	Väärä valokaaren sytytyspaikka	Sytytä valokaari kohdassa, jonka yli hitsaus tapahtuu.



## Tarkastusohje

Silmämääräinen tarkastus / Visual Testing SFS-EN 17637

Puomihitsaus

Tarkastusohje	SFS-EN ISO 17637	Laadittu	27.4.2012 M.Haataja
Hitsausluokkastandardi	SFS-EN ISO 5817	Hyväksytty	
Hyväksymisraja	C		

### Raportointirajat

Virhe	Raportoidaan
1.1 Halkeama	Kaikki
1.3 Avokuonon	$\phi$ yli 2 mm
1.7, 1.8 Reunahaava	h yli 0,5 mm
1.9 Korkea kupu päittäishitsissä	h yli 7 mm
1.10 Korkea kupu pienahitsissä	h yli 4 mm
1.11 Korkea juurikupu	h yli 5 mm
1.12 Jyrkkä liittyminen päittäishitsissä	kun $\alpha \geq 110^\circ$
1.12 Jyrkkä liittyminen pienahitsissä	kun $\alpha \geq 100^\circ$
1.13 Pinta- tai pohjapalon valuma	Kaikki
1.14 Vajaa kupu	Kun yli 1 mm
1.16 Kateettipoikkeama	Kun yli 2 mm
1.17 Vajaa juuri	Kun yli 1 mm
1.20 Liian pieni a-mitta	Kun yli 1 mm
1.21 Liian suuri a-mitta	Kun yli 4 mm
1.22 Sytytysjälki	$\phi$ yli 1,0 mm
1.23 Roiske	$\phi$ yli 1,0 mm
3.1 Tasomainen sovitusrivi	Kun yli 4 mm

Havaitut virheet raportoidaan tarkastuspöytäkirjaan kyseiselle hitsille varatulle paikalle. Tarkennus-riville merkataan virheen paikka, pituus, korkeus, syvyys, a-mitan minimi ja maksimi. Tarkastuspöytäkirjaan merkitään myös virheen hyväksyttävyyden ja hylättävyyden sekä merkintä suoritettua korjauksesta.



## TUOTANTOTAULU / OSAVALMISTUS / PUOMIHITSAAMO

### VIIMEISTELYHITSAUS / SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTUS

**Dokumentit:**[Tarkastusohje](#)[Silloitusohje](#)[TIG-käsittelyohje](#)**Tarkastaja:**Nimi: Muu: **Tarkastuskohde:****Päätös:**[Sylinterin korvakkeen saumat](#)[Yläprofiilin ja sivulevyjen välinen pitkä sauma](#)[Puominpään hitsisaumat](#)[Välilevyn hitsisaumat](#)[Välilohkin hitsisaumat](#)[Puomin profiilin sisämitat ja muoto](#)**Muut havaitut poikkeamat**

**Tarkastuskohde:****Päätös:**

Sylinterin korvakkeen saumat

Hylätty ▼

Valitse virhe ▼

Hylkäyksen syy, muut huomautukset

Yläprofiilin ja sivulevyjen välinen pitkä sauma

Hylätty ▼

Valitse virhe ▼

Hylkäyksen syy, muut huomautukset

Puominpään hitsisaumat

Hylätty ▼

Valitse virhe ▼

Hylkäyksen syy, muut huomautukset

Välelevyn hitsisaumat

Hylätty ▼

Valitse virhe ▼

Hylkäyksen syy, muut huomautukset

Väliholkin hitsisaumat

Hylätty ▼

Valitse virhe ▼

Hylkäyksen syy, muut huomautukset

Puomin profiilin sisämitat ja muoto

Hylätty ▼

Valitse virhe ▼

Hylkäyksen syy, muut huomautukset

<b>P O N S S E</b>									
Prosessin nimi:		Puomihitsaus			Luonti pvm.		30.3.2012		
Osan nimi:		CX Pääpuomi			Revisioitu:		20.4.2012		
Laatia:		Milka Haataja			Paikka:				
Hyväksyjä:					Sivu:		1/1		
Prosessi- vaihe	Käytetty työmenetelmä	Toleranssi/ spesi- fikaatio	Arviointi/ Mittaustekniikat	Näyte		Vastuu-henkilö	Kirjaustapa	Korjaus-toimintapiheet	
				Koko	Taajuus				
Silloritus	MAG-hitsaus	Railon tarkastus: juuripinta 1,5 mm (0 + 0,5 mm)	Tulkki		Aina	Hitsaaja	-	Reklamaatio / vaihto	
			Osat oikeilla paikoillaan	VT		Aina	Hitsaaja	-	
			Siltahitsien sijainti	Rullamitta		Aina	Hitsaaja	-	
			Tarkastuskohde 2: ulkopuolen sauma	VT		Aina	Hitsaus- operaattori	Tarkastuskortti	
Robotti-hitsaus	MAG-robotihitsaus	Tarkastuskohde 2: juuren tarkastus Profilin muoto ja mitat	VT		Aina	Hitsaus- operaattori	Tarkastuskortti		
			Työntömitta / tulkki		Aina	Hitsaus- operaattori	Tarkastuskortti		
			Tarkastuskohde 1	VT/Rullamitta		Aina	Hitsaaja	Tarkastuskortti	
			Tarkastuskohde 3	a-mitta		Aina	Hitsaaja	Tarkastuskortti	
Viimeistely- hitsaus	MAG-hitsaus / TIG- käsitteily	Tarkastuskohde 4	VT/rullamitta/a- mitta		Aina	Hitsaaja	Tarkastuskortti		
			VT/rullamitta/a- mitta		Aina	Hitsaaja	Tarkastuskortti		
			Tarkastuskohde 5	VT/rullamitta/a- mitta		Aina	Hitsaaja	Tarkastuskortti	
			Tarkastuskohde 5	VT/rullamitta/a- mitta		Aina	Hitsaaja	Tarkastuskortti	
Tarkastus	VT PT / UT	SFS-EN ISO 11666			100%	10%	Laaduntarkastaja	Tarkastus- raportti	Korjaushitsaus sekä ehkäisevä toimintapiide
		SFS-EN ISO 23277			-	-	Laaduntarkastaja	Tarkastus- raportti	Korjaushitsaus sekä ehkäisevä toimintapiide