

LUT-YLIOPISTO  
LUT School of Energy Systems  
LUT Kone

*Atte Sipari*

**HITSAUSVAATIMUSTEN TODENTAMINEN JA HITSAUSTUOTANNON KE-  
HITTÄMINEN ALIHANKINTAVERKOSTOSSA**

Tarkastajat: Professori Timo Björk  
DI, IWE Riku Neuvonen

## TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto  
LUT Energiajärjestelmät  
LUT Kone

Atte Sipari

### **Hitsausvaatimusten todentaminen ja hitsaustuotannon kehittäminen alihankintaverkostossa**

Diplomityö

2019

57 sivua, 20 kuvaa, 3 taulukkoa

Tarkastajat: Professori Timo Björk  
DI, IWE Riku Neuvonen

Avainsanat: Hitsaus, hitsauksen laatu, toiminnan laatu, teräksen hitsattavuus, laadunhallintajärjestelmä, vaatimus, alihankinta

Toimitusketju on juuri niin hyvä kuin sen heikoin lenkki on ja alihankinnan käyttö lisää muuttujia siihen. Kriteerit, jotka vaikuttavat alihankkijoiden valintaan ovat kustannussäästöjen lisäksi luotettavuus ja toimitusvarmuus. Toimitusketjun hallintaan ja kehittämiseen tarvitaan systemaattista laadunhallintajärjestelmää, jonka avulla toimintaa ohjataan tavoitteellisesti ja vaatimustenmukaisesti. Tässä diplomityössä tutkitaan sitä, kuinka erikoistuotteen hitsauslaatuvaatimukset määräytyvät ja kuinka ne vaikuttavat toimitusketjun toimintaan sekä miten toimittaja voi varmistua tuotteen vaatimustenmukaisuudesta. Toinen päämäärä on luoda toimittajan kokoonpanoeritmään uusia työohjeita ja katselmuspöytäkirja, johon on koottu toiminnalle tärkeät vaatimukset, joita toimittaja pystyy sitten käyttämään alihankkijoiden kilpailuttamisessa.

Tämä diplomityö on case-tutkimuksen osa, jossa esitellään laatuvaatimukseen vaikuttava teoria kirjallisuuslähteiden ja haastattelujen perusteella. Haastattelujen ja kirjallisuuslähteiden lisäksi omia havaintoja on tehty vierailujen aikana, jotka tehtiin alihankkijan toimitiloihin. Teorian avulla voidaan perustella dokumentteihin tehdyt valinnat.

Kirjallisuuskatsauksen lisäksi tutkimuksen aikana tuotteelle on tehty kattavat työohjeet ja katselmuspöytäkirjaan on koottu toiminnalle asetetut vaatimukset, joiden avulla toimittaja pystyy osoittamaan tuotteen ja toiminnan vaatimustenmukaisuuden, jos niitä noudatetaan.

## **ABSTRACT**

LUT University  
LUT School of Energy Systems  
LUT Mechanical Engineering

Atte Sipari

### **Verification of the welding quality requirements and development of the welding production in subcontracting network**

Masters's thesis

2019

57 pages, 20 figures, 3 tables

Examiners: Prof. D. Sc. (Tech.) Timo Björk  
M.Sc, (Tech.), IWE Riku Neuvonen

Keywords: Welding, welding quality, weldability, quality control, quality assurance, subcontracting, requirement

Supply chain is as good as its weakest link and the use of subcontracting adds variables to it. Criteria for the selection of subcontractors, in addition to cost savings, are influenced by reliability and security of supply. With the help of quality control and assurance system, the supply chain can be controlled by objectivity and conformance. This thesis examines how welding quality requirements of a special product are defined and how they affect to the operation of the supply chain, and how supplier can ensure that the product meets the requirements. Another goal of this thesis is to create new work instructions and record of conformance for the supplier. With the help of the mentioned documents subcontractors can be invited to tender by the supplier in order to get the best offer.

This thesis is a part of a case study. The theory which influences the quality requirements is presented in the literature review by literature references and interviews. In addition to interviews and literature findings, separate findings were made during the visits to subcontractor's premises. Selections that were made can be justified on the grounds of presented theory.

Comprehensive work instructions and record of conformance were made during the study to help the supplier to prove the conformance of the product and operations.

## **ALKUSANAT**

Kiitän kaikkia, jotka ovat olleet osallisina minun koulutaipaleella. Erityiskiitos kuuluu perheelleni, joka on tukenut ja kannustanut minua vaikeinakin hetkinä. Mahtavat ystävät ovat tuoneet vastapainoa opiskeluille ja he ovat pitäneet minut järjissäni. Haluan kiittää myös Riku Neuvosta työn ohjaamisesta.

Atte Sipari

Lappeenrannassa 6.6.2019

## SISÄLLYSLUETTELO

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### ALKUSANAT

<b>SISÄLLYSLUETTELO .....</b>	<b>5</b>
<b>SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO.....</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>8</b>
1.1 Työn rakenne .....	10
1.2 Tutkimusmenetelmät .....	10
1.3 Työn tavoitteet ja rajaukset.....	10
1.4 Toimittaja, Yritys A.....	11
1.5 Pääalihankkija, Yritys B .....	11
1.6 Tuote X .....	11
<b>2 TEKNISTEN LAATUVAATIMUSTEN MÄÄRITTÄMINEN.....</b>	<b>13</b>
2.1 Käytetyt teräkset ja rakenne.....	13
2.2 Terästen hitsattavuus.....	15
2.3 Rakenteellinen hitsattavuus .....	23
2.4 Hitsausprosessi.....	28
2.5 Hitsiluokka.....	29
2.6 Todentaminen .....	29
<b>3 TOIMINNAN LAATUVAATIMUSTEN MÄÄRITTÄMINEN .....</b>	<b>31</b>
3.1 SFS-EN ISO 9001 .....	31
3.2 SFS-EN ISO 1090.....	32
3.3 SFS-EN ISO 3834-2 .....	33
<b>4 LAADUNVALVONTA .....</b>	<b>36</b>
4.1 Tuottavuus .....	38
4.2 Mittari .....	39
<b>5 NYKYTILANTEEN KARTOITUS .....</b>	<b>41</b>
5.1 Kapasiteetti .....	41
5.2 Tuotantotilat ja varastointi .....	42
5.3 Jäljitettävyys .....	42

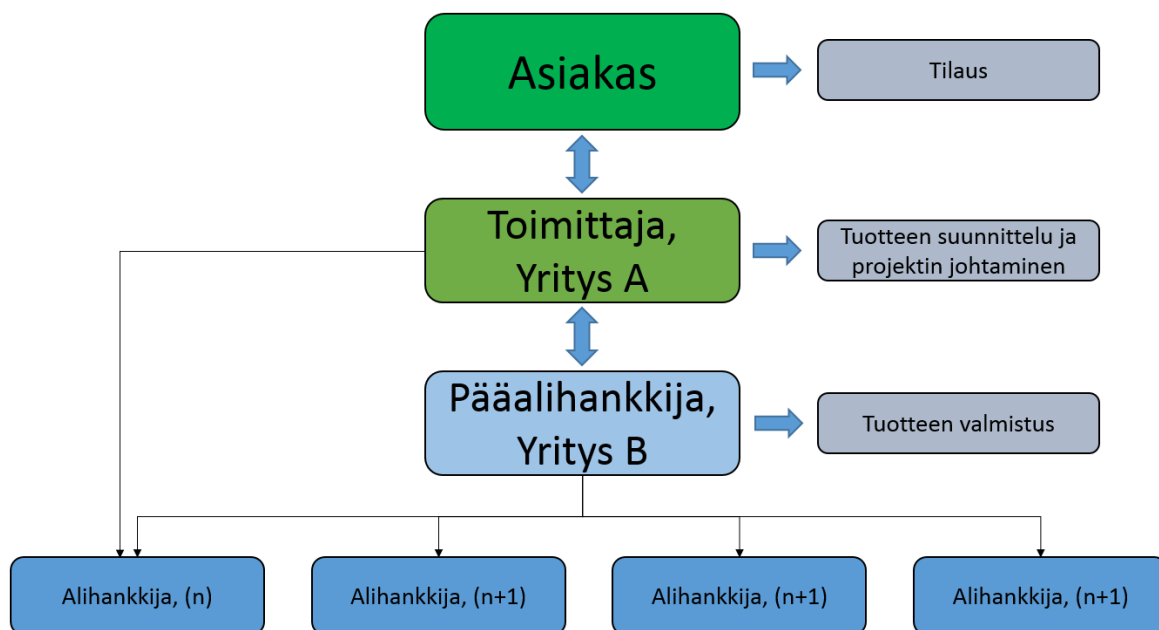
5.4	Ohjeet ja piirustukset .....	43
5.5	Kokoonpanotelineet ja kokoonpano .....	44
5.6	Hitsausongelmat.....	44
<b>6</b>	<b>KEHITYSKOhteet JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>46</b>
6.1	Välikatselmus.....	46
6.2	3D-malli .....	46
6.3	Mekanisointi .....	47
6.4	Esilämmitys .....	49
6.5	Tuotannonohjaus ja -valvonta.....	50
6.6	Kokoonpanotelineiden/hitsauskiinnittimien kehitys.....	51
<b>7</b>	<b>YHTEENVETO .....</b>	<b>53</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>54</b>

**SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO**

<i>t</i> <sub>8/5</sub>	Hitsin jäähtymisaika lämpötila välillä 800 °C–500 °C
CEV/CET	Carbon equivalent
EN	European Standard
HAZ	Heat Affected Zone
ISO	International Organization for Standardization
MAG	Metal-arc active gas welding
SFS	Suomen standardisoimisliitto
UHS	Ultra High Strength
WPS	Welding Procedure Specification

## 1 JOHDANTO

2010-luvun taitteesta lähtien alihankintaverkostojen käyttö teollisuudessa on yleistynyt. Siihen vaikuttaa muutos aineettomien tuotannontekijöiden käytössä, joita ovat muun muassa tieto ja taito. Hyvä esimerkki on erikoistuotteet ja asiakkaan tarpeiden mukaan räätälöidyt ratkaisut, joissa on tavanomaista suunnittelutoimiston ja valmistavien alihankkijoiden yhteistyö. Erikoisprojekteihin otetaan yleensä mukaan suunnittelutoimistot erikoisosaamisen ja suunnitteluresurssien takia. Suunnittelutoimisto vastaa yleensä myös projektin hallinnasta ja aikataulutuksesta. (Peltola 2008; Parkkola et. al. 2012, s. 10.) Tässä tutkimuksessa tarkasteltu toimitusketju koostui asiakkaasta, toimittajasta ja pääalihankkijasta sekä alihankkijoista. Tutkimus on tehty toimittajan näkökulmasta. Kuvassa 1 on havainnollistettu toimitusketjun roolit ja yritysten välinen yhteys.



**Kuva 1.** Tarkasteltava toimitusketju.

Hyvä alihankintaverkostojen käyttö parantaa yrityksen joustavuutta ja pienentää sidotun pääoman tarvetta. Verkostoituminen perustuu vuorovaikutukseen, jonka peruspilarina on luottamus ja kommunikointi. Alihankintaverkostojen hyödyntäminen tehokkaasti on ongelmallista, jos luottamus ei ole riittävän hyvä. Luottamus perustuu yhdessä sovittuihin peli-



sääntöihin ja tavoitteisiin. Sääntöjen noudattamiseen ja tuloksien mittaamiseen voidaan hyödyntää systemaattista laadunhallintajärjestelmää, jolla otetaan huomioon asiakkaan, tuotteen ja muut toiminnalle asetetut vaatimukset. Sen tarkoituksena on ohjata toimitusketjun toimintaa kohti parempaa toimitusvarmuutta ja teknistä laatua. Laadun parantamisen lisäksi laadunhallintajärjestelmällä parannetaan toimitusketjun uskottavuutta dokumentoimalla kriittisten ominaisuuksien vaatimustenmukaisuus. Toimitusketjun tehokkuus kasvaa, kun luottamus paranee yritysten välillä. Toisin sanoen verkoston jäsenten ei tarvitse käyttää resursseja toisten vahtimiseen. (Eisto 2016.)

Laadunhallintajärjestelmä voidaan sertifioida kolmannen osapuolen hyväksynnällä, mutta se ei ole pakollista. Sertifioinnilla tarkoitetaan arviointia siitä, että tuotteet, palvelut ja henkilöstö sekä käytetyt prosessit noudattavat niille asetettuja vaatimuksia ja lakeja sekä määräyksiä. Vaatimukset voivat määräytyä esimerkiksi tuotestandardista. Sertifiointi parantaa toiminnan uskottavuutta ja parantaa kilpailukykyä uusien asiakkaiden hankinnassa. (Kiwa 2019.)

Asiakkaan asettamat vaatimukset lopputuotteelle asettavat hitsaustuotannolle vaatimuksia, jotka määräytyvät tuotteen teknisten ratkaisujen ja laadunvalvontastandardien mukaan, jotka ohjaavat koko toimitusketjun toimintaa. Tässä tutkimuksessa toiminnan laatua ohjaavat standardisarjat ovat muun muassa: SFS-EN ISO 9001, SFS-EN ISO 1090 ja SFS-EN ISO 3834. Nämä standardit asettavat vaatimuksia: vastuualueisiin, suunnitteluun, hitsaustuotantoon ja -prosesseihin, henkilöstön pätevyyksiin, dokumentointiin, laadun parantamiseen ja mittamiseen. Kyseiset standardit esitellään myöhemmin.

Uusien alihankkijoiden valinta on haastava projekti, koska luottamuksen rakentaminen vie aikaa ja rahaa. Alihankkijoiden valinnassa toimittajan on punnittava raha-asioiden lisäksi alihankkijoiden kykyä suoriutua tuotannolle asetetuista vaatimuksista. Toimittajan ei siis kannata valita halvinta vaihtoehtoa, jos luotettavuus on heikko. Pääalihankkijan on pystyttävä esittämään vastaukset toimittajan asettamiin laatu- ja tuotantovaatimuksiin jo tarjousvaiheessa. Vastausten perusteella voi syntyä sopimus testierän valmistuksesta, jonka avulla pääalihankkijan toiminnan vastaavuutta verrataan tarjousvaiheessa dokumentein todisteltuun toimintaan. Kalliiden tuotteiden tapauksessa testierä voi olla riski, koska harvalla yrityksellä on käyttää resursseja kaikkien alihankkijoiden testaamiseen. Testi voidaan tehdä

ehkä kerran, jonka jälkeen tuotteen tuotantovaatimuksista ja kehityskohteista pitää olla selkeä kuva. Testierän aikana voidaan testata myös laadunhallintajärjestelmää, joka edellyttää laatutekijöiden mittausta. Mittaaminen on jatkuvan parantamisen edellytys, koska kehitystä pitää pystyä vertaamaan johonkin konkreettiseen. (Eisto 2016.)

### 1.1 Työn rakenne

Johdanto kappaleessa esitellään työnaihe ja yritykset, joiden kanssa on tehty tiiviisti yhteistyötä tämän projektin aikana. Tämän jälkeen työ etenee, kuten uusien projektien alussa tulisi toimia. Aluksi määritellään laatuun vaikuttavat yksityiskohdat, jotka asettavat laatuvaatimuksia. Seuraavaksi tehdään kartoitus nykytilanteesta, jossa pyritään löytämään puutteita ja ongelmakohtia. Kehityskohteisiin etsitään ratkaisuja työn lopussa. Työn kirjallinen osuus on tehty IMRAD-rakennetta soveltaen. Tämän kirjallisuuskatsauksen lisäksi on luotu työohjeita ja katselmuspöytäkirja, johon on kirjattu hitsaustuotannolle asetetut vaatimukset.

### 1.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa tutustutaan hitsauksen laadunhallintajärjestelmään alihankintaverkostossa, siihen liittyvien standardien, kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella. Työ on siis kirjallisuuskatsaus ja case-tutkimus. Kirjallisuuskatsaukseen on koottu teoria, jota on sovellettu tutkitun toimitusketjun toiminnan kehittämässä. Työn aikana on vierailtu useita kertoja pääalihankkijan konepajassa ja tutkittu hitsaustuotantoon liittyviä ongelmia dokumenttien ja haastattelujen sekä tutkimuksen aikana tehtyjen havaintojen perusteella.

### 1.3 Työn tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on luoda laatudokumentteja toimittajalle ja katselmoida hitsaustuotannolle asetetut vaatimukset yhdeksi kokonaisuudeksi, joiden avulla toimittaja pystyy kehittämään nykyisen alihankkijan toimintaa tai kilpailuttamaan uusia alihankkijoita. Työ on rajattu tuotteen kokonaisuuteen, joka on hitsattu teräsrakenne ja siihen liittyvään hitsaustuotannon ja laadunvalvonnan kehittämiseen. Tutkimuksessa pyritään vastaamaan kysymyksiin: Mitä asioita päähankkijan on tehtävä, jotta se pystyy osoittamaan asiakkaalleen tuotteen täyttävän sille asetetut vaatimukset ja mitä vaatimuksia hitsattava tuote asettaa alihankkijalle? Miten toimittaja pystyy jatkossa varmistumaan, että sovittu laatu on toistettavissa?

#### 1.4 Toimittaja, Yritys A

Yritys A on vuonna 2007 perustettu yritys, jonka päätoimialana on erittäin vaativiin olosuhteisiin suunniteltujen laitteiden kehittäminen, varustelu ja toimittaminen asiakkaille. Työntekijät koostuvat eri alojen huippuosaajista. Yritys A:n ydinosaamista ovat modernien materiaalien hyödyntäminen suunnittelussa ja tietotaito niiden valmistuksesta, jotka ovat liiketoiminnan kannalta tärkeässä roolissa. Yritys A toimii hankkeiden vetäjänä ja käyttää sopivaa alihankintaverkoston projektien ja tuotteiden toteuttamiseen. Alihankintaverkoston käyttö onkin Yritys A:n toiminnan keskeinen periaate, jonka avulla se pystyy toimimaan joustavasti.

Projektin aikana Yritys A on teettänyt esisarjan tuotetta X, jonka aikana se on laatinut toteutus- ja kokoonpanoeritelmät. Eritelmien tarkoituksena on mahdollistaa tuotteen valmistus missä tahansa alan yrityksessä. Dokumentit sisältävät muun muassa tarvittavat valmistuspiirustukset, työohjeet ja hitsausohjeet. Tällä menettelyllä Yritys A pystyy pitämään mahdollisimman paljon sen yritystoiminnalle tärkeää tietoa itsellään.

#### 1.5 Pääalihankkija, Yritys B

Yritys B on konepajateollisuuden yritys ja se työllistää noin 200 työntekijää. Yritys B:llä on pitkät perinteet konepajateollisuudessa, sillä sen historia ulottuu vuoteen 1960. Alkuperäinen liiketoiminta keskittyi raskaiden rakennus-, rauta- ja teräsrakenteiden valmistamiseen. Voidaan sanoa, että Yritys B:llä on pitkät perinteet yritysten välisestä yhteistyöstä, koska jo yrityksen perustamisen aikaan sen ympärille muodostui viiden yrityksen yritysryhmittymä. Vuosikymmenien aikana Yritys B:n liiketoiminta on kehittynyt lukuisten yrityskauppojen ja eriytymisten johdosta. Tänä päivänä Yritys B:n liiketoiminta on keskittynyt isojen työkoneiden valmistukseen. Yritys B:n vahvuuksia on käytettävän alihankintaverkoston laajuus ja hiljainen tieto, mitä on kerrytetty lukuisten projektien aikana.

#### 1.6 Tuote X

Toimitusketjun lopputuotetta kutsutaan tässä tutkimuksessa nimellä Tuote X ja sen teknisistä ratkaisuista puhutaan vain yleisellä tasolla. Tutkimuksessa ei mainita käytettyjä materiaaleja, mutta niihin viitataan hitsattavuudesta ja hitsauksen asettamien rajoitusten sekä vaatimusten määrittämisestä puhuttaessa. Kun tekstissä puhutaan tuotteesta, sillä tarkoitetaan Tuote X:ää.

Käyttöolosuhteissa tuotteeseen voi kohdistua suuria dynaamisia kuormia. Tuotteelle on tehty sarja käyttörajatilakokeita, joiden perusteella sen kriittisin osa on todettu vaatimusten mukaiseksi. Kriittisen osan tarkoituksena on suojata tuotetta merkittäviltä taloudellisilta vahingoilta ja ihmishengen menetyksiltä.

Tuote X:ssä on hitsattu teräsrakenne, joka kokoonpannaan silloitetuista alikokoonpanoista. Yritys A on suunnitellut tuotteen, mutta sen valmistus on ulkoistettu alihankintaverkoston. Pääalihankkijan rooli on tuote X:n kokoonpanohitsaus. Sen tuotantolinjassa on kaksi alikokoonpanolinjaa ja yksi kokoonpanolinja. Kokoonpanolinja sisältää kokoonpanon silloituksen ja kokoonpanohitsauksen. Tuote X valmistetaan levyleikkeistä, jotka toimitetaan pääalihankkijalle valmiiksi särmättyinä ja leikattuina.

Alikokoonpanolinjoilla tehdään osien silloitushitsaus, jonka jälkeen ne siirtyvät silloitusvaiheeseen kokoonpanolinjalle. Kokoonpanon silloitusvaiheessa apuna käytetään kokoonpanotelineitä ja hitsauskiinnittimiä, jotka paikoittavat alikokoonpanojen ja varusteluosien paikat. Alikokoonpanot silloitetaan yhtenäiseksi kokonaisuudeksi paikoitusten ja osien yhteensopiavuuden varmistuksen jälkeen. Kokoonpanohitsausvaiheessa tuote X siirretään pyörityslaitteeseen, jossa suoritetaan varsinainen hitsaus. Pyörityslaitteessa tuotteen X hitsit hitsataan jalko- tai alapiena-asennossa.

## 2 TEKNISTEN LAATUVAATIMUSTEN MÄÄRITTÄMINEN

Hitsauslaatu voidaan jakaa tekniseen laatuun ja toiminnalliseen laatuun. Teknisellä laadulla tarkoitetaan hitsausvirheitä, hitsin lujuutta, hitsin muutosvyöhykkeen lujuutta ja pehmenemistä. Toiminnallisella laadulla tarkoitetaan hitsauksen kaikkia tukitoimintoja, joilla ennaltaehkäistään hitsausvirheitä: teräksen puhdistus, raaka-aineiden varastointi, kosteuden eliminointi, hitsaajien koulutus ja pätevyöinti, työohjeet, hitsausohjeet, esilämmitys, hitsien jälkikäsitely ja tarkastus. (SFS-EN ISO 3834-1 2006, s. 6.) Hitsausvirheellä tarkoitetaan ei-sallittua vikaa, joka voi muodostua, kun toiminnallisessa laadussa on puutteita (SFS-EN ISO 6520-1 2008, s. 8).

Hitsauslaadusta sopiminen on tärkeää heti projektin alussa, jotta tuote voidaan valmistaa tarkoituksen mukaiseksi mahdollisimman kustannustehokkaasti. Liian korkeat laadun vaatimukset kasvattavat työkustannuksia, eivätkä ne tuo asiakkaalle lisäarvoa, josta se olisi valmis maksamaan. Heikompi laatu voi olla halvempaa, mutta riskinä on se, että heikko laatu aiheuttaa pitkällä aikavälillä ongelmia, kun tuote ei vastaa asiakkaan vaatimuksia. (Lukkari 2011, s. 8.) Hitsien laadun tarkoituksenmukaisuuden arvioinnissa pitää tietää tuotteeseen vaikuttavat kuormitustilat, joiden perusteella voidaan arvioida hitseiltä vaadittavia mekaanisia ominaisuuksia. Näin ollen hitsausprosessin ja käytettyjen materiaalien ominaisuuksien tuntemus on ensiarvoisen tärkeää, jotta hitsauksen toiminnalliselle laadulle voidaan valita tarkoituksenmukaiset laatuvaatimukset. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 361.) Seuraavissa kappaleissa on kerrottu tuotteen X rakenteesta sekä käytettyjen terästen toimitustilojen ja kemiallisen koostumuksen aiheuttamat rajoitukset. Teorian avulla on määritetty käytettävien teräksien hitsausvaatimukset.

### 2.1 Käytetyt teräkset ja rakenne

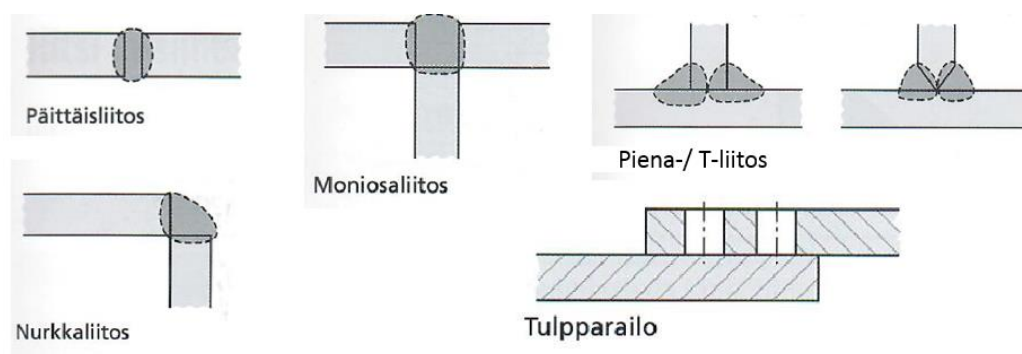
Käytetyt teräkset ja tuotteen geometria on valikoitu käyttötarkoituksen mukaan suojaamaan ihmisiä, samalla minimoiden tuotteen X vahingot. Vaatimusten täytyminen on osoitettu esituotannollisen kokeen avulla. (Neuvonen 2019.)

Tässä projektissa käytetään neljää eri teräslaatua. Terästen toimitustilan ja kemiallisen koostumuksen perusteella ne voidaan jakaa kahteen joukkoon: hyvin hitsattaviin ja heikommin

hitsattaviin. Hyvin hitsattavat teräkset ovat kuumavalssattuja ja hienoraekäsiteltyjä rakenne-teräksiä. (Neuvonen 2019.) Heikommin hitsattavat teräkset vaativat tarkempaa tarkastelua, koska ne ovat mikroseostettuja ja kuumavalssaamisen jälkeen suorakarkaistuja teräksiä. Näitä teräksiä voidaan kutsua UHS (Ultra High Strength)- teräksiksi, niiden lujuus- ja kovuusominaisuuksien takia. UHS- terästen hitsauksessa lämmöntuonnille pitää asettaa ala- ja ylärajat, etteivät sen ominaisuudet heikkene hitsauksen aikana. UHS- teräksille on tyypillistä korkea hiiliekvivalentti, joka kuvaa karkenemis- ja kylmähälkeilyalttiutta. Korkea hiiliekvivalentti asettaa lämmöntuonnille minimirajan, ettei liiallista karkenemistä pääse tapahtumaan. (Pettinen et. al. 2004, s. 127–129.) UHS-terästen hitsauksessa ja kylmähälkeämien ennalta ehkäisemisessä käytetään tarkkoja hitsausohjeita, joihin on merkitty käytettävät hitsausparametrit ja esilämmityslämpötila (Neuvonen 2019). Esilämmityksellä varmistetaan, ettei hitsin jäähtymisnopeus ole liian nopea ja ettei perusaineessa ole kosteutta, joka voisi altistaa halkeamille (Pettinen et. al. 2004, s. 109–110).

Vaatimukset näille neljälle teräkselle muodostuvat heikomman hitsattavuuden omaavan teräksen mukaan, kun niitä hitsataan toisiinsa. Tuotteen X rakenne koostuu useista alikokoonpanoista, jotka valmistetaan valmiiksi särmätyistä levyleikkeistä. Rakenne kokoonpannaan useammista erillisistä levykentistä, jolloin hitsaustarve lisääntyy. Tuotteen X valmistus on suunniteltu siten, että alikokoonpanot toimitetaan silloitettuna kokoonpanovaiheeseen, jossa alikokoonpanot silloitetaan isommaksi kokonaisuudeksi kokoonpanotelineiden avulla. Varsinainen hitsaus tehdään pyörityslaitteessa. (Neuvonen 2019.)

Tuotteen X hitsaukseen on valikoitu MAG (Metal Active Gas welding)-hitsausprosessi niukavetyisellä ja alilujalla lisäainelangalla. Silloitushitsausta tehdään monissa eri asennoissa käsin ja varsinainen hitsaus osittain rakenteen sisällä. MAG-hitsaus soveltuu tämän tyyppisten rakenteiden hitsaukseen. Valinta on tehty käytettävyyden, tuottavuuden ja jatkokehitysmahdollisuuksia ajatellen. Rakenteessa käytetyt liitostyypit ovat: päittäis-, piena-, nurkkaliitokset. Rakenteessa käytetään myös tulppahitsejä. Tulppaliitosten hitsaus vaatii hitsareilta erikoisammattitaitoa. Kuvassa 2 on esitetty liitostyypit. (Neuvonen 2019.)



**Kuva 2.** Liitostyypit (Lepola & Ylikangas 2016, s. 17).

Hitsaus ja rakenteen jäykkyys altistavat muodonmuutoksille ja kylmähalkeamille. Muodonmuutosten ja kylmähalkeamien ennaltaehkäisemiseksi tarvitaan ohjeita ja rajoituksia, joita pitää noudattaa tuotannossa. Hitsien jääminen rakenteen sisälle työn edetessä ja kylmähalkeilualttius vaikuttavat NDT-tarkastusten aikatauluttamiseen ja työn etenemiseen. Rakenteiden sisälle jäävät hitsit pitää tarkastaa ennen kuin niiden päälle voidaan asentaa uusia osia. (Neuvonen 2019.)

## 2.2 Terästen hitsattavuus

Teräksen hitsattavuutta pystytään arvioimaan sen kemiallisen koostumuksen ja toimitustilan perusteella. Materiaalin hitsattavuudella tarkoitetaan sitä, kuinka vapaasti hitsausparametrit ja -prosessi voidaan valita ilman rajoituksia tai erikoistoimenpiteitä. (Pettinen et. al. 2004, s. 103.) Kemiallisesta koostumuksesta voidaan laskennallisesti arvioida materiaalin karkenevuus- ja halkeilualttuutta. Yleisin laskennallinen menetelmä hitsattavuuden arvointiin on hiiliekvivalentin määrittäminen. Eniten karkenevuuteen vaikuttaa teräksen hiilipitoisuus. Karkenevuus kuvaa sitä, miten helposti teräkseen muodostuu kovaa ja haurasta martensiittia. Teräksiä, joiden hiilipitoisuus on alle 0.25%, pidetään hyvin hitsattavina. Korkeampi hiilipitoisuus ei kuitenkaan tarkoita, etteikö sellaisia teräksiä voitaisi hitsata. (Pettinen et. al. 2004, s. 104–105.)

Hiiliekvivalentin laskentaan on kehitetty monia kaavoja, mutta yleisin on CEV. Kaava 1 on kehitetty kokeiden perusteella ja se soveltuu hiili ja hiili-mangaani teräksille, joiden hiilipitoisuus on yli 0,16 %. Hyvin hitsattavina pidetään teräksiä, joiden hiiliekvivalentti on alle 0.40. (Pettinen et. al. 2004, s. 104.) Kyseinen kaava ei sovellu boorilla seostettujen terästen arvointiin. (SFS-EN 1011-2 2001, s. 24, 26). Toinen hiiliekvivalentin laskentaan kehitetty

kaava on CET eli kaava 2 (SFS-EN 1011-2 2001, s. 58). Kaavojen soveltuvuus kemiallisen koostumuksen perusteella eri teräksille on esitetty taulukossa 1.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr+Mo+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} (\%) \quad (1)$$

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} (\%) \quad (2)$$

Taulukko 1, CEV ja CET kaavan soveltuvuus (SFS-EN 1011-2 2001, s 24, 58).

	CEV	CET
C	0,05...0,25	0,05...0,32
Si	max. 0,8	max. 0,8
Mn	max. 1,7	0,5...1,9
Cr	max. 0,9	max. 1,5
Cu	max. 1,0	max. 0,7
Mo	max. 0,75	max. 0,75
Nb	-	max. 0,06
Ni	max. 2,5	max. 2,5
Ti	-	max. 0,12
V	max. 0,20	max. 0,18
B	-	max. 0,005

Teräksen toimitustila kertoo sen, kuinka ominaisuudet ovat saavutettu. Toimitustilat voidaan jakaa kolmeen joukkoon: pintakäsittelyihin, plastisesti muokattuihin ja lämpökäsittelyihin teräksiin. Näiden lisäksi teräs voi olla hienoraekäsittely. Pintakäsittelyllä pyritään parantamaan teräksen säänkestävyyttä ja kulutuskestävyyttä. Plastisella muokkauksella tarkoitetaan teräksen muotoilua, kuten särmäystä, takomista ja valssausta. Lämpökäsittelyillä vaikutetaan teräksen mikrorakenteeseen ja raekokoon. Teräksen mikrorakennetta voidaan manipuloida kontrolloidusti lämpötilan, pitoajan ja jäähtymisnopeuden avulla. (Pettinen et. al. 2004, s. 77.)

Pintakäsittelyillä parannetaan perusaineen ominaisuuksia tai siihen voidaan luoda uusia ominaisuuksia. Yleisimmät pintakäsittelymenetelmät ovat pintakarkaisu ja pinnoitus. Pinnoitteita on lukuisiin eri tarkoituksiin, mutta useimmiten pinnoitteilla parannetaan korroosionkestävyyttä. Pinnoitteilla pystytään vaikuttamaan myös perusaineen pinnan ulkonäköön tai

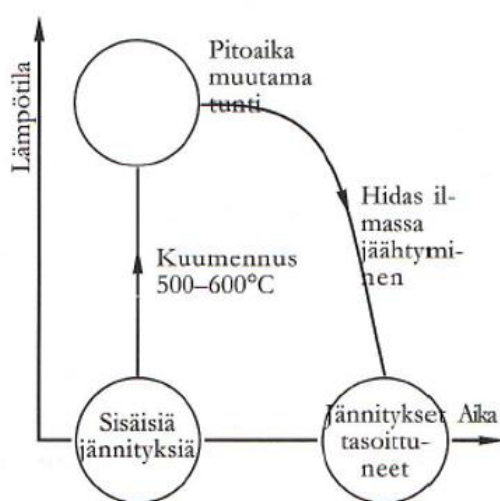


teräksen lämmönsietokykyä. Lämmönsietokykyä voidaan parantaa esimerkiksi nikkeli-, kromi- ja alumiinipinnoitteella. (Suomen Galvanotekninen Yhdistys 1997, s. 8–9.)

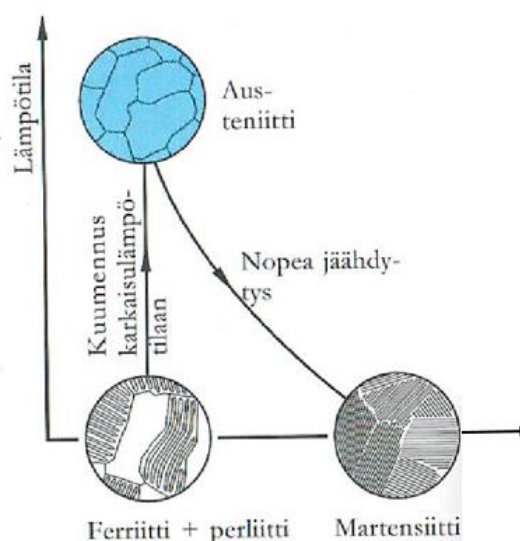
Plastinen muokkaus voidaan tehdä huoneenlämmössä tai korotetussa lämpötilassa. Huoneenlämmössä tehtävästä muokkauksesta käytetään termiä kylmämuokkaus. Teräksen kylmämuokkaus parantaa sen lujuutta, koska teräksessä tapahtuu plastisia muodonmuutoksia eli rakeiden uudelleen järjestäytymistä. Plastinen muodonmuutos perustuu atomitasolla tarkasteltaviin dislokaatioihin eli hilavikoihin. Ulkoinen voima aiheuttaa dislokaatioiden liikkeen hilassa, jolloin teräksessä syntyy pysyviä muodonmuutoksia ja uusien dislokaatioiden syntymistä. Mitä enemmän terästä muokataan, sitä enemmän tarvitaan voimaa dislokaatioiden liikuttamiseen eli teräs muokkauslujittuu. Kylmämuokatut teräkset ovat hyvin hitsattavia teräksiä. (Pettinen et. al. 2004, s. 51.)

Teräksen lujuutta, sitkeyttä ja kovuutta voidaan parantaa tai heikentää lämpökäsittelymenetelmillä. Erilaisia lämpökäsittelymenetelmiä ovat muun muassa karkaisu, nuorutus, päästö, pehmeäksi hehkutus, myöstö ja rekristalisaatiohehkutus. Lämpökäsittelyjen lämpötilat, pittoajat ja jäähtymisnopeudet määräytyvät teräslaadun, ainevahvuuden ja haluttujen ominaisuuksien mukaan. Lämpökäsittelyiden aikana terästen muovattavuus paranee, koska niiden myötölujuus pienenee kuumennettaessa. Näin ollen se nopeuttaa muun muassa valssauksella tehtävää muokkausta. Tällaista menetelmää kutsutaan kuumavalssaukseksi. (Pettinen et. al. 2001 s. 77.)

Lämpökäsittelyt voidaan jakaa kahteen ryhmään: hehkutukseen ja karkaisuun. Lisäksi niitä voidaan yhdistellä. Hehkutusmenetelmillä pyritään aina pehmentämään terästä ja laukaisemaan jännitystiloja sekä pienentämään raerakennetta. Hehkutuksessa terästä pidetään korotetussa lämpötilassa pitkään, jonka jälkeen teräksen annetaan jäähtyä hitaasti huoneenlämpöiseksi. Lämpötila määräytyy käytettävän hehkutusmenetelmän mukaan. Karkaisumenetelmillä parannetaan kovuutta ja lujuutta, jolloin syntyy uusia mikrorakenteita. Karkaisussa teräs kuumennetaan austenointilämpötilaan, jonka jälkeen se jäähdytetään nopeasti, joko veteen tai öljyyn. Kuvassa 3 on esitetty jännityksen poistohehkutuksen ja karkaisun periaatteet. (Pettinen et. al. 2001 s. 77–80.)



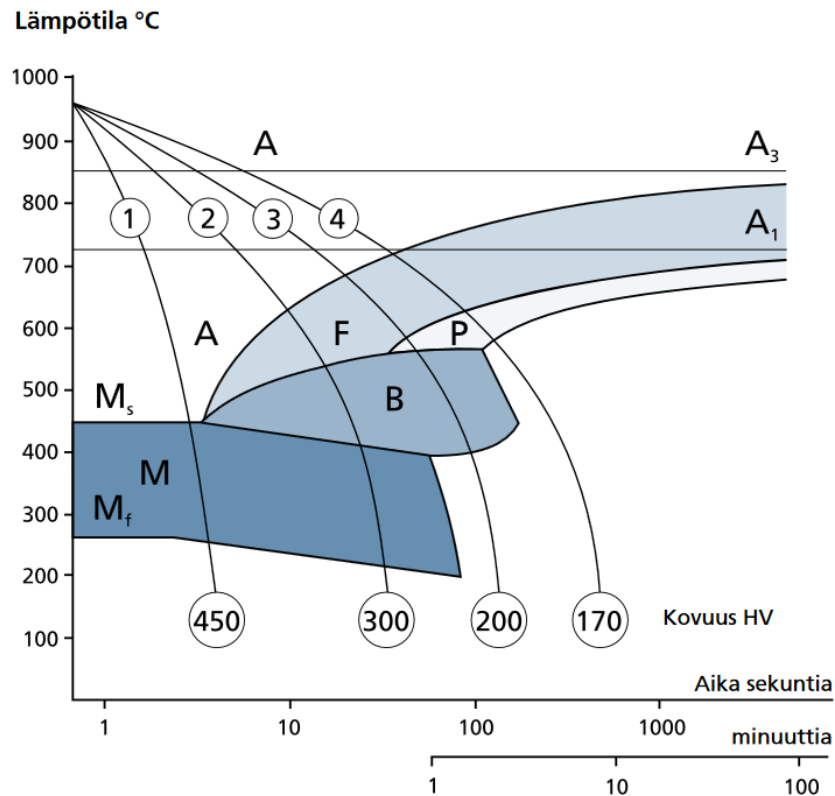
Kuva 6.6 Jännityksen poistohehky.



Kuva 6.7 Teräksen karkaisu.

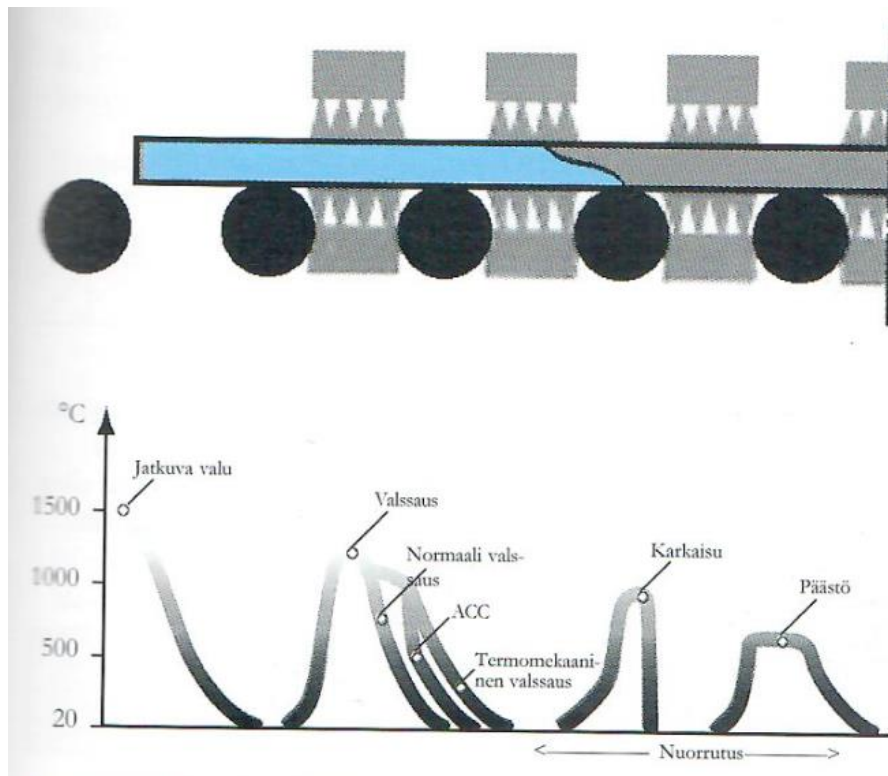
**Kuva 3.** Jännityksen poistohehkytuksen ja karkaisun periaate. (Pettinen et. al. 2001 s. 79–80).

Lämpökäsittelyn jälkeistä mikrorakennetta voidaan ennustaa jatkuvan jäähtymisen käyrän avulla. Kuvassa 4 on esitetty jatkuvan jäähtymisen S-käyrä, joka kuvaa teräksen mikrorakenteen muuttumista lämpötilan ja jäähtymisnopeuden suhteen. Nopean jäähtymisen seurauksena voi syntyä täysin martensiittinen mikrorakenne. Numeroidut käyrät kuvaavat eri jäähtymisnopeuksien vaikutusta kovuuteen ja saavutettuun mikrorakenteeseen: käyrällä 1 on täysin martensiittinen mikrorakenne, käyrällä 2 on osittain ferriittis-bainiittinen ja martensiittinen mikrorakenne, käyrällä 3 on ferriittis-bainiittinen ja hieman perliittinen mikrorakenne, käyrän 4 mikrorakenne on täysin ferriittis-perliittinen. Samalla periaatteella voidaan ennustaa hitsauksen jälkeistä mikrorakennetta. (Ovako 2012, s. 9.) Hitsauksen lämpövaikutusten arvioinnissa asiaa on yksinkertaistettu siten, että hitsin jäähtymisaikaa eli  $t_{8/5}$  -aikaa mitataan lämpötila välillä  $800\text{ C}^\circ - 500\text{ C}^\circ$ , jonka aikana tapahtuu merkittävimmät mikrorakenne muutokset (Lepola & Ylikangas 2016, s. 331–332).



**Kuva 4.** Kuvassa on lujan rakenneteräksen S-käyrä. (Ovako 2012, s. 9).

Kovien ja lujien UHS- terästen termomekaaninen käsittely voidaan tehdä muun muassa kuumavalssauksella ja kontrolloidusti jäädyttämällä. Kuumavalssauksessa teräs valssataan kahdessa vaiheessa: aluksi noin 1250 C°:ssa, jonka jälkeen noin 1000 C°:ssa. Viimeisen valssauskerran jälkeen teräs suorakarkaistaan. Suorakarkaisu tarkoittaa vesisuihkulla tehtävää nopeaa jäähdytystä, jonka lopputuloksena syntyy hienorakeinen, luja ja kova teräs. Näiden terästen myötöraja voi olla helposti yli 1000MPa ja kovuus yli 350HV. (Pettinen et. al. 2004, s. 127.) Kuvassa 5 on esitetty kuumavalssauksen ja suorakarkaisun periaate. Kuvajasssa kuumavalssausta ja suorakarkaisua kuvaa käyrä ACC (Accelerated cooling).



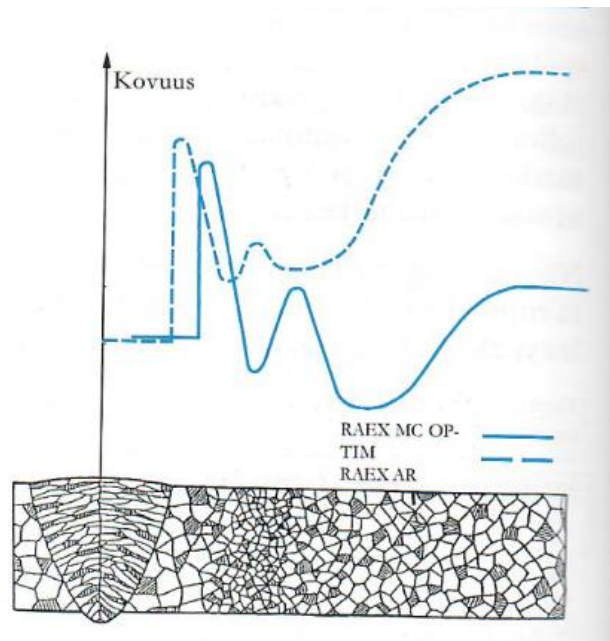
**Kuva 5.** Kuumavalssauksen ja suorakarkaisun periaate. (Pettinen et. al. 2004, s. 127).

Termomekaanisella käsittelyllä saatava kovuus ja lujuus perustuvat austeniitin nopeaan rekristallisoitumiseen korkeassa lämpötilassa, jonka aikana mikrorakenne järjestyy uudelleen hienorakeiseksi (Pettinen et. al. 2004, s. 51). Loppuvalssauksen aikana rekristallisaatio hidastuu mikrooseostuksen takia ja austeniitti litistyy, samalla kun samankokoista ferriittiä alkaa muodostua. Suorakarkaisussa austeniitti muuttuu martensiitiksi. Mitä suurempi teräksen hiilipitoisuus on, sitä kovempaa ja lujempaa syntyvä martensiitti on. (Pettinen et. al. 2004, s. 51, 126–128.)

Lämpökäsiteltyjen terästen hitsauksessa on otettava huomioon lämmöntuonti ja hitsin jäähtymisnopeus. Vaarana on liiallinen hitsin HAZ (Heat Affected Zone) vyöhykkeen iskutiheyden ja/tai lujuuden heikkeneminen, koska pehmenemistä alkaa tapahtua jo yli 200 C asteissa. Muutosten voimakkuus näillä teräksillä määräytyy jäähtymisnopeudesta, joka puolestaan määräytyy lämmöntuonnista ja hitsattavan liitoksen geometriasta. Liian pieni jäähtymisnopeus heikentää kovuutta ja lujuutta HAZ:ssa. Liian suuri jäähtymisnopeus kasvattaa kovuutta, jolloin sitkeys heikkenee ja haurasmurtuman riski kasvaa. Lämmöntuonnin suuruuteen vaikuttaa hitsausprosessi ja hitsausparametrit: jännite (U), virta (I) ja hitsausnopeus (v). Liitosmuoto ja käytetty ainevahvuus vaikuttavat lämmönjohtumiseen perusaineessa,

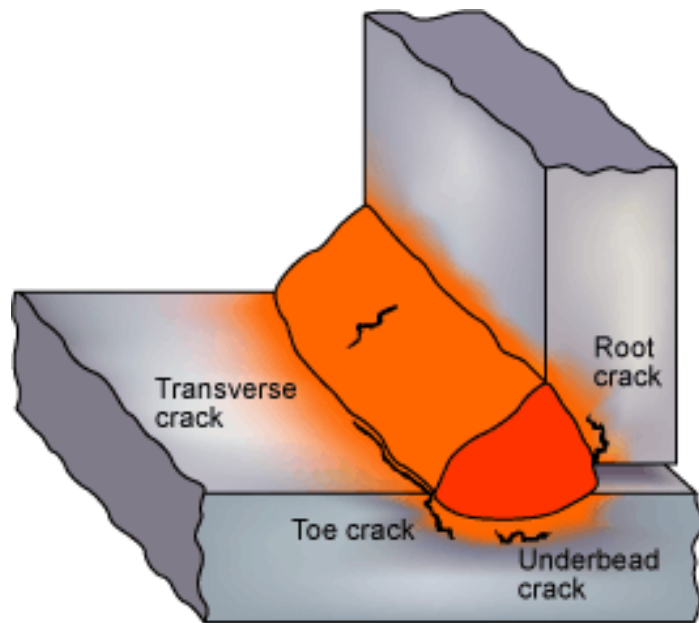
joka vaikuttaa jäähtymisnopeuteen. T-liitoksilla ja paksuilla levyillä lämpö johtuu nopeasti pois hitsistä, koska lämpö pääsee siirtymään moneen suuntaan. Päittäis- ja nurkkaliitoksissa poisjohtuminen on hitaampaa. (Pettinen et. al. 2004, s. 129–132; Lepola & Ylikangas 2016, s. 241, 331.)

Kuvassa 6 on havainnollistettu nuorrutetun ja suorakarkaistun teräksen hitsien kovuusjakaumat. Hitsien kovuusjakaumat poikkeavat toisistaan siten, että suorakarkaistun teräksen kovuus on pienempi hitsin rajaviivalla kuin perusaineen kovuus. Nuorrutetun teräksen kovuus sen sijaan on hitsin rajaviivalla suurempi, kuin perusaineen kovuus.



**Kuva 6.** Kovuus hitsin ympäristössä. (Pettinen et. al. 2004, s. 130).

Karkeneminen altistaa kylmähalkeamille, jotka esiintyvät hitsissä ja hitsin muutosvyöhykkeellä. Ne voivat syntyä vielä kahden vuorokauden kuluttua hitsauksesta, joka asettaa rajoitteita tarkastuksien ajankohdalle. Kylmähalkeaman syntymiseen vaikuttaa kuitenkin kolme päätekijää: vety, karkenevuus ja jäännösännitykset. Kylmähalkeaman estämiseen riittää yhden päätekijän pois sulkeminen. Kuvassa 7 on esitetty kylmähalkeaman esiintyminen. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 241.)



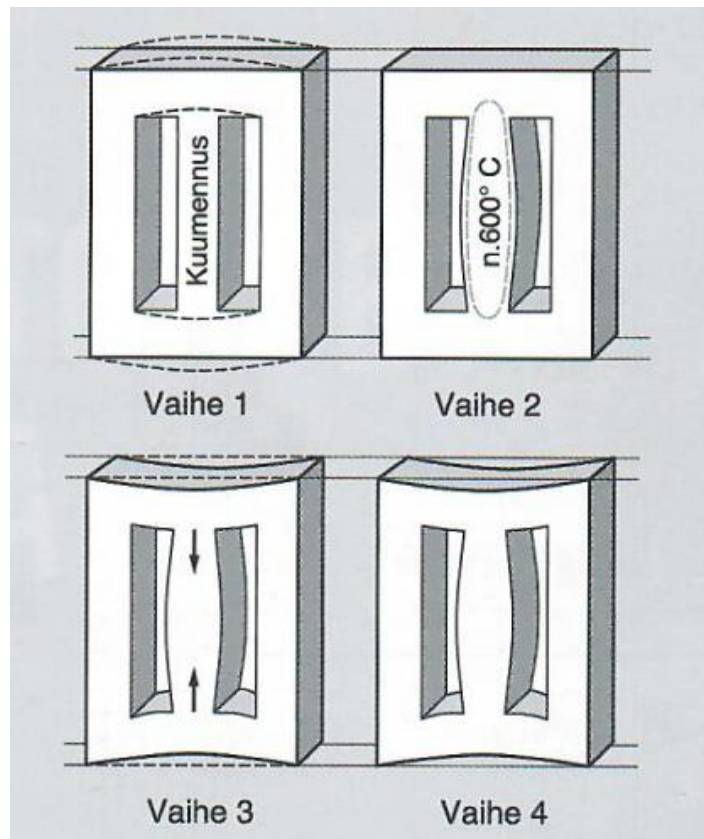
**Kuva 7.** Kylmähalkeaman esiintyminen, root crack eli halkeama juuressa, underbead crack eli halkeama hitsipalon alla, toe crack eli halkeama hitsin rajaviivalla, transverse crack eli poikittainen halkeama hitsissä (TWI 2000).

Vety voi kulkeutua hitsiin likaisen ja kostean railon lisäksi hitsauslisäaineista, esimerkiksi suojakaasusta ja lisäainelangasta. Haitallinen vety liukenee helposti austeniittiin, mutta huomattavasti huonommin muihin teräksen faaseihin, kuten ferriittiin ja martensiittiin. Välittömästi hitsauksen jälkeen, hitsiaine ja HAZ ovat austeniittia. Ferriittiä alkaa muodostua jo korkeammassa lämpötilassa hitsiaineeseen, koska lisäaineet ovat usein niukemmin seostettuja kuin perusaine. Näin ollen vielä austeniittinen HAZ kerää vetyä hitsiaineesta. HAZ:ssa tapahtuvan martensiittireaktion seurauksena vety jää HAZ:iin, koska ympärillä ei ole enää austeniittisia alueita. Vety hakeutuu HAZ:ssa oleviin mikrorakoihin, jotka ovat syntyneet jännityksistä. Paineen kasvaessa mikrorakot kasvavat, jolloin syntyy kylmähalkeama eli vetyhalkeama. (Pettinen et. al. 2004, s. 66, 84, 111–112.) Teräksen esilämmityksellä ennaltaehkäistään vetyhalkeamia, koska lämpöenergia poistaa vetyä hitsattavalta alueelta. Se myös hidastaa hitsin jäähtymistä, mikä voi estää hauraan martensiittisten mikrorakenteen muodostumista. Tehokkain tapa vetyhalkeamin estämiseen on eliminoida vedyn pääsy hitsiin, mikä tarkoittaa niukkavetyisten hitsauslisäaineiden käyttöä ja perusaineiden huolellista puhdistusta ja varastoimista kuivassa sekä lämpimässä varastossa. (Ovako 2012, s. 10.)

### 2.3 Rakenteellinen hitsattavuus

Tässä projektissa rakenteellisella hitsattavuudella tarkoitetaan tuotteen X tarkoituksenmukaista toimivuutta vaatimusten mukaisissa käyttöolosuhteissa, kun se valmistetaan tarkoituksen mukaisista terästuotteista (Pettinen et. al. 2004, s 103–104).

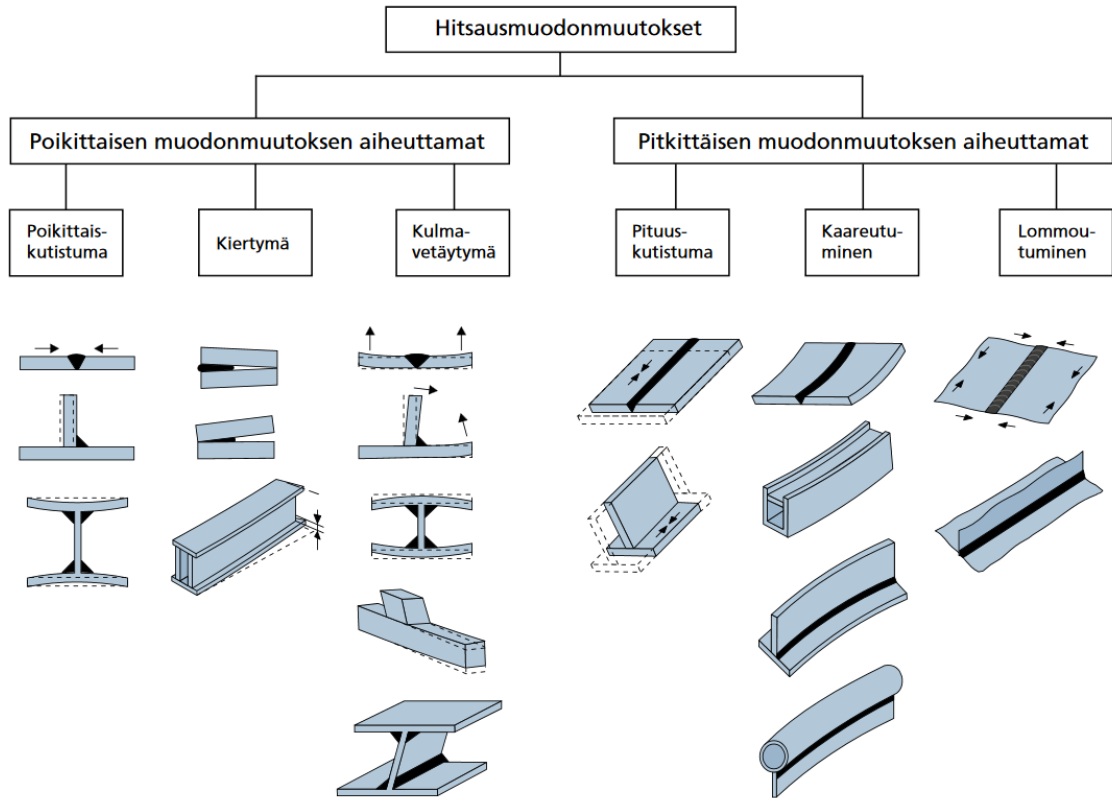
Mittatarkkuuden säilyttäminen ja osien yhteensopivuus ovat ongelmallista jäykissä ja monimutkaisissa rakenteissa, jotka valmistetaan hitsaamalla, koska hitsaus aiheuttaa muodonmuutoksia ja pahimmassa tapauksessa halkeamia. Hitsauksen lämpöenergia lämmittää perusainetta, joka aiheuttaa paikallisen lämpölaajenemisen. Lämpölaajenemista vastustaa kylmemmät ja lujemmat alueet. Lämpimien alueiden ja kylmien alueiden välille syntyy puristusjännitys, joka lopulta ylittää lämpimän alueen myötörajan. Lämpimät alueet tyssäytyvät kylmiin alueisiin. Hitsin jäähtyessä hitsisula ja tyssäytyneet alueet pyrkivät kutistumaan kimmoisesti, jota lujempi ja kylmempi perusaine pyrkii vastustamaan. Tyssäytymisen vastaan plastista virumista ei pääse jäähtymisen aikana enää tapahtumaan, koska kuumien alueiden myötölujuus kasvaa jäähtymisen aikana. Tyssäytymisen aiheuttama plastinen muodonmuutos ja kimmoisen kutistumisen seurauksena syntyy pysyvä muodonmuutos, jonka seurauksena hitsin välittömään läheisyyteen syntyy vetojännityksiä. Esilämmittämällä pystytään pienentämään tarvittavan lämmöntuonnin määrää, ilman karkenemisvaaraa, jolloin HAZ alueet pienenevät ja jäännösjännitysten yhteisvaikutus pienenee. Pienemmät muodonmuutokset parantavat osien ja kokoonpanojen yhteensopivuutta. (Pettinen et. al. 2004, s. 94; Ovako 2012, s. 16–17.) Kuvassa 8 on esitetty lämpölaajenemisen ja tyssäytymisen vaikutus jäykässä rakenteessa.



**Kuva 8.** Lämpölaajenemisen ja tyssäytymisen aiheuttama muodonmuutos (Lepola & Ylikangas 2016, s. 340).

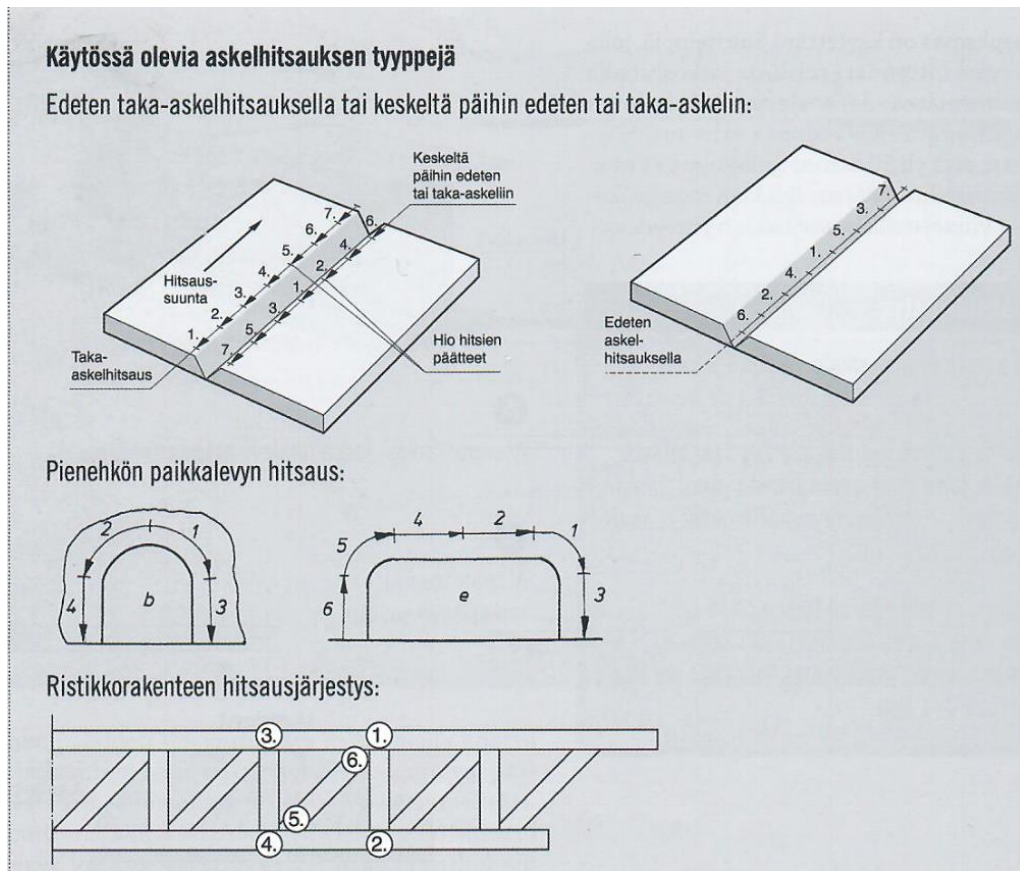
Hitsauksen aiheuttamat muodonmuutoslajit voidaan jakaa pitkittäisiin- ja poikittaisiinmuodonmuutoksiin. Muodonmuutosten suurus riippuu kutistuvan hitsiaineen tilavuudesta ja rai-  
 logeometriasta sekä lämmöntuonnin suuruudesta. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 342.) Ku-  
 vassa 9 on esitetty hitsausmuodonmuutosten lajittelu esimerkkeineen. Tuotteen X hitsauk-  
 sessa kulmavetäymää estetään hitsauskiinnittimien avulla ja pitkien päittäishitsien silloituk-  
 sella estetään kiertymistä. Kaareutumisen ennalta ehkäisemiseksi rakennetta on esijännitetty  
 muodonmuutoksen vastaisesti ennen hitsausta.





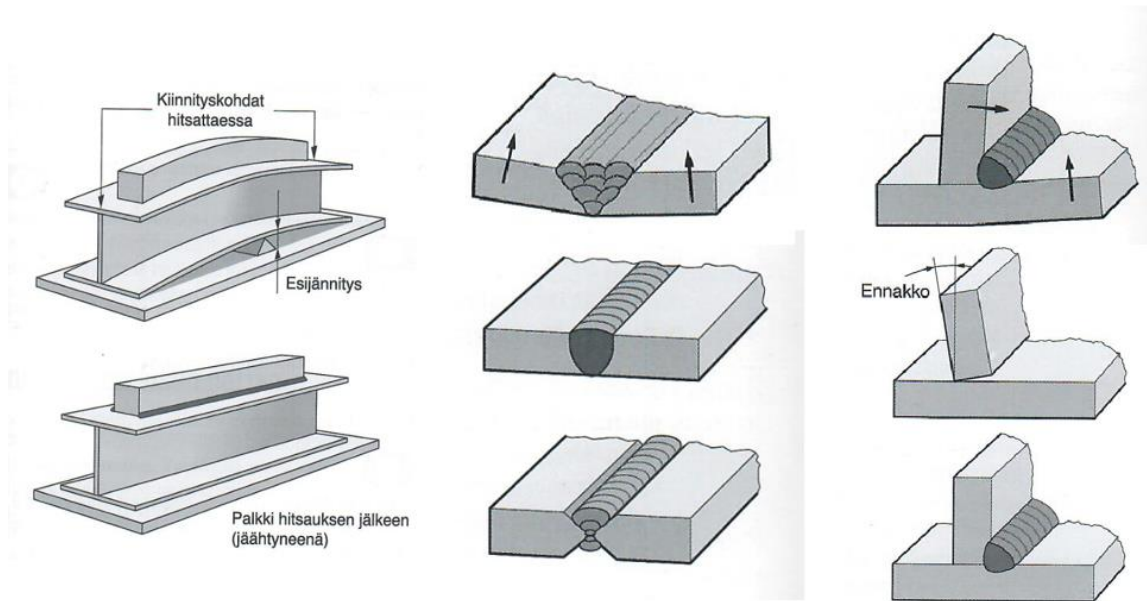
**Kuva 9.** Hitsausmuodonmuutosten lajittelu (Lepola & Ylikangas 2016, s. 339).

Sopivalla silloitushitsauksella ja hitsausjärjestyksellä sekä railovalinnalla pystytään minimoimaan muodonmuutosten syntymistä. Muodonmuutoksia on mahdollista myös ennakoida kappaleiden esiasetuksella siten, että hitsausmuodonmuutos suoristaa kappaleen haluttuun asentoon. Silloitushitsauksessa osa tai alikokoonpano paikoitetaan haluttuun asentoon, muodonmuutosten ennakot huomioiden, jonka jälkeen se silloitetaan paikalleen. Muodonmuutosten ennakointiin ei ole olemassa mitään standardia tai yleistä ohjetta. Hyvä nyrkkisääntö on hitsata neutraaliakselin ympäri symmetrisesti, jolloin lämpövaikutus pysyy mahdollisimman tasaisena. (Pettinen et. al. 2004, s. 94.) Toinen vaihtoehto on käyttää askelhitsausta. Kuvassa 10 on esimerkkejä askelhitsauksesta.



**Kuva 10.** Askelhitsaus esimerkit (Lepola & Ylikangas 2016, s. 352).

Hitsausjärjestystä suunniteltaessa pitää ottaa huomioon myös hitsattava railo ja sen tilavuus, joka on suoraan verrannollinen hitsin kutistumiseen. Eli mitä suurempi railotilavuus, sitä suurempi muodonmuutos. Paksujen levyjen hitsauksessa suositellaan molemmilta puolilta hitsattavaa X-railon käyttöä. Samat kriteerit pätevät pienahitsien sijoittelussa ja tarvittavan a-mitan suunnittelussa. Muodonmuutosennakoiden suuruus perustuu kokemusperäiseen tietoon. Esijännittämällä ja muodonmuutoksien vastaisesti paikoittamalla parannetaan osien yhteensopivuutta ja suoruutta. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 343.) Kuvassa 11 on esimerkkejä kaareutumisen ja kulmavetäymän ennakoitimenetelmistä.



**Kuva 11.** Esimerkki hitsausmuodon muutoksien ennakoinnista (Lepola & Ylikangas 2016, s. 342–343, 353).

Mittatarkkuutta ja osien paikoitusta voidaan parantaa ja helpottaa erilaisilla kiinnittimillä tai kokoonpanotelineillä, jotka paikoittavat alikokoonpanot itsestään. Kokoonpanotelineet parantavat myös toistettavuutta. Kokoonpanotelineiden käyttö edellyttää, että muodonmuutokset on saatu jossain määrin hallintaan, koska niiden avulla ei voida eliminoida kimmoista takaisinjoustoja. Kuvassa 12 on esitetty esimerkki kokoonpanotelineestä.

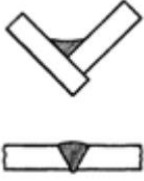


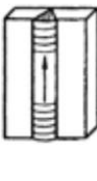
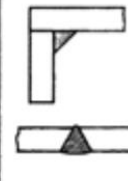


**Kuva 12.** Kokoonpanotelineet auttavat osien paikoituksessa. (Siegmund 2019).

## 2.4 Hitsausprosessi

Käytetyn teräksen ominaisuuksien ja hitsattavuuden lisäksi pitää tietää hitsausprosessin ja siihen tarvittavan laitteiston sekä lisäaineen ominaisuudet, kun tuotantoon valitaan tarkoituksenmukainen hitsausprosessi. Tarkoituksenmukaisuutta voidaan arvioida tarvittavan lämmöntuonnin, tuottavuuden, ainepaksuuden, hitsausasentojen ja tuotantotilojen avulla. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 208.)

MAG-hitsausprosessi valittiin tuottavuuden, käytettävyyden ja jatkokehitysmahdollisuuksia ajatellen. Se soveltuu erinomaisesti käsin hitsaukseen sen ketteryyden takia. MAG-hitsausprosessia voidaan käyttää kaikissa hitsausasennoissa. MAG-hitsauksen parametrien hallinta on helppoa ja hitsaustehon säätöalue on laaja. MAG-hitsausprosessi on myös helposti mekanisoitavissa siten, että hitsauspolttimen kuljetus tapahtuu mekanisointilaitteella. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 82–83.) Kuvassa 13 on esitetty hitsausasennon vaikutus hitsausnopeuteen.

				
<b>PA</b>	<b>PB</b>	<b>PC</b>	<b>PF</b>	<b>PD ja PE</b>
<b>100%</b>	<b>130%</b>	<b>180%</b>	<b>220%</b>	<b>220-250%</b>

**Kuva 13.** Hitsausasennon vaikutus hitsausnopeuteen. (Lukkari 2011, s. 5).

MAG-hitsausprosessissa valokaari palaa lisäainelangan ja työkappaleen välillä suojakaasun ympäröimänä. Suojakaasun tehtävä on suojata hitsaustapahtumaa ilman hapettavilta tekijöiltä. Työtilan vetoisuus pitää minimoida, ettei suojakaasun virtaus häiriinny. Tarvittava laitteisto koostuu hitsausvirtalähteestä, langansyöttö- ja suojakaasulaitteistosta sekä hitsauspistoolista. Onnistuneen hitsin hitsaus edellyttää, että laitteisto on kunnossa ja kalibroitu. Pitkät hitsauskaapelit aiheuttavat jännitehäviötä, joka pitää ottaa huomioon laitteiden asetuksissa. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 71, 77.)

## 2.5 Hitsiluokka

Hitsiluokat D, C ja B asettavat hitseille hyväksymisrajat sisäisille ja ulkoisille hitsausvirheille sekä hitsin muodolle. B-luokka on kaikkein vaativin ja D-luokka sallivin. Hitsiluokat ja hyväksymisrajat on määritelty standardissa SFS-EN ISO 5817. Kaikille hitsiluokille on yhteistä se, että missään niissä ei sallita halkeamia. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 235.) Hitsiluokka valitaan tuotestandardin mukaan tai vastuulliset osapuolet päättävät sen yhdessä ennen tuotannon aloittamista (SFS-EN ISO 5817 2014, s. 8).

Väsyttävästi kuormitetuille rakenteille suositellaan hitsiluokkaa B (SFS-EN 1090-2 2012, s. 100, 103, 104). Väsytyshalkeamat alkavat rakenteen pienistä epäjatkuvuuskohtista, joihin muodostuu jännityskeskittymä. Epäjatkuvuuskohtia ovat muun muassa hitsin terävät muodot ja hitsausvirheet. Hitsin muodot ja geometria ovat määräävät tekijät väsyttävässä kuormituksessa. Pienikin alkusärö voi aiheuttaa särönkasvun, joka lopulta johtaa väsymishalkeamaan. (Pettinen et. al. 2004, s. 36.)

## 2.6 Todentaminen

Yritys A on kerryttänyt pitkäjänteisesti tietoa erikoisterästen hitsauksesta ja niiden ominaisuuksista. Tietoa on kerrytetty tutkimuksilla, jotka on tehty osittain yhteistyössä Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa. Tutkimuksien perusteella on pystytty määrittämään sopivat hitsausparametrit ja sopiva hitsauslisäaine MAG-hitsaukselle.

Tässä projektissa teknisten hitsauslaatuvaatimusten täytyminen on todennettu esituotannollisen kokeen perusteella, jossa Tuote X on hyväksytty asiakkaan toimesta. Kokeen perusteella määräytyi minimilaatuvaatimukset ja työtavat sekä prosessit, joilla tuote täyttää sille asetetut tavoitteet Esituotannollisessa kokeessa tuotteelle tehtiin sarja käyttörajatilakokeita, joiden perusteella on hyväksytty WPS:t (Welding procedure specification) ja nykyisten hitsareiden pätevyudet.

Jatkossa teknisten hitsauslaatuvaatimusten täytyminen arvioidaan ennaltaehkäisevien toimintojen dokumentoinnilla ja NDT- (Non destructive testing)tarkastuksien perusteella, jotka suorittaa kolmas osapuoli. Yritys A on tehnyt NDT-suunnitelman, jossa käydään yksityis-

kohtaisesti läpi tuotteen X tarkastettavat alueet ja NDT-menetelmät, joilla alueet pitää tarkastaa. Käytettävät menetelmät ovat visuaalinen, magneettijauhe- ja ultraäänitarkastus. Kaikki hitsit tarkastetaan vähintään visuaalisesti. (Neuvonen 2019.)

### 3 TOIMINNAN LAATUVAATIMUSTEN MÄÄRITTÄMINEN

Suunnittelukeskeinen laatu lähtee asiakkaan näkökulmasta, jossa tuote suunnitellaan asiakkaan käyttötarpeet huomioon ottaen. Käyttötarpeet asettavat rakenteellisia ja sitä kautta toimintaa ohjaavia vaatimuksia. Hitsaustuotannon vaatimusten määrittäminen aloitetaan yleensä tuotestandardista, jos sellainen on olemassa. Esimerkiksi painelaitteille ja kiskokaluksille on omat tuotestandardit, kuten myös paikallaan pysyvillä teräsrakenteista valmistetuilla rakenteilla. Ilman tuotestandardia vastuu vaatimusten perusteluun jää toimittajan vastuulle. Tällä hetkellä toimitusketjun toiminnan laatuvaatimukset ovat monen standardin summa, jonka avulla perustellaan standardista SFS-EN ISO 3834-2 poimittuja vaatimuksia. Tarkoituksenmukaisesti valitut vaatimukset ohjaavat siis toimintaa ja dokumentointitarvetta, joiden avulla voidaan varmistua tuotteen teknisestä laadusta.

#### 3.1 SFS-EN ISO 9001

Laatustandardi SFS-EN ISO 9001 on yleinen laadunhallintajärjestelmien peruspilari, jonka perusteella yritykset alkavat rakentaa omaa toimintaa tukevaa laatukäsikirjaa. Laatukäsikirjassa on kuvattu systemaattisesti SFS-EN ISO 9001 mukaisesti toimintaympäristö, johdon vastualueet, tukitoiminnot, toiminta, suorituskyvyn parantaminen ja arviointi. Yritys A:n laatukäsikirjassa on kuvattu myös sidosryhmien eli asiakkaiden ja lakien asettamat vaatimukset. Tavoitteisiin pääsemiseksi on luotu toimintaohjeita, joita noudattamalla asetettuihin vaatimuksiin päästään.

Yleiset vaatimukset liittyvät dokumentointiin, jotka ohjaavat järjestelmällisempään ja systematisempaan dokumentointimalliin. Dokumentit säilytetään yritys A:n sähköisessä järjestelmässä ja yksittäiset dokumentit nimetään laatukäsikirjan ohjeiden mukaisesti projektikansioon. Yksittäisiin dokumentteihin lisätään yritys A:n tunnisteet ja revisio numerointi. Dokumentteja säilytetään vähintään viisi vuotta ja paperiset dokumentit pitää tuhota heti käyttötarpeen päätyttyä. (Yritys A 2018, s. 17–19.)

Standardi SFS-EN ISO 9001 ohjaa koko toiminnan laadunhallintaa. Toiminnan kannalta tärkeitä prosesseja, joiden tuotosta ei voida todentaa täydellisesti kutsutaan erikoisprosessiksi,

jotka pitää määrittää niille soveltuvien standardien mukaisesti. Hitsausvaatimusten täyttyminen osoittamiseksi pitää hyödyntää standardia SFS-EN ISO 3834. (ISO 9001 2015, s. 12; Lindewald 2013, s. 7.)

### 3.2 SFS-EN ISO 1090

Standardisarja SFS-EN ISO 1090 on teräs ja alumiinirakenteiden suunnitteluun ja valmistukseen suunnattu ohjeistus, jonka avulla arvioidaan teräs ja alumiinirakenteiden vaatimuksia. Standardi on tarkoitettu kantaville rakenteille, esimerkiksi silloille ja rakennuksille. (SFS-EN ISO 1090-1 2012, s. 8.)

Tuotteelle ei ole olemassa omaa tuotestandardia, mutta se valmistetaan teräsrakenteista hitsaamalla. SFS-EN ISO 1090 käsittelee teräs ja alumiini rakenteiden toteutuksessa huomioon otettavia vaatimuksia. Sitä ei voida, eikä tarvitse hyödyntää kokonaisuudessaan tuotteen X vaatimusten määrittämisessä. SFS-EN ISO 1090 auttaa tarvittavan vaatimustenmukaisuusreferenssin ja dokumentaatio tarpeen löytämisessä, jolla yritys A pystyy perustelemaan asiakkaalleen, että tuote täyttää vaatimukset. SFS-EN ISO 1090:n perusteella asetetaan myös pääalihankkijalle SFS-EN ISO 3834 mukaiset hitsausvaatimukset.

Keskeisimmät hitsaustuotantoon liittyvät asiat standardista SFS-EN ISO 1090 on toteutusluokka. Sen avulla pystytään määrittämään standardin SFS-EN ISO 3834 laatutaso, joka määrää hitsaustuotannon toimintaa ja dokumentaatio tarvetta. (SFS-EN ISO 1090-2 2012, s. 98–100.)

Toteutusluokka määritellään seuraamusluokan, käyttöluokan ja tuotantoluokan perusteella. Seuraamusluokka kuvaa mahdollisen vahinkotilanteen vakavuutta. Arvioinnissa pitää punnita esimerkiksi menetetyn pääoman suuruutta tai ihmishenkien menetystä. Standardin SFS-EN ISO 1090-2 mukaisesti seuraamusluokat ovat CC1–CC3. Käyttöluokat SC1 ja SC2 kuvaavat sitä, kuinka rakenne on mitoitettu kestäämään siihen vaikuttavat kuormitukset. Käyttöluokka SC1 on tarkoitettu vain staattisesti mitoitetuille rakenteille ja SC2 väsyttävästi mitoitetuille rakenteille. Tuotantoluokat PC1 ja PC2 määräytyvät tuotantotekijöiden perusteella, esimerkiksi käytetyn teräksen hitsattavuuden, rakenteellisen hitsattavuuden ja tarkastusmenetelmien perusteella. PC1 on tarkoitettu tuotteille, joissa ei ole hitsejä tai hitsatuille tuotteille joiden valmistuksessa käytetyn teräksen myötöraja on alhaisempi kuin 355 MPa.



PC2 valitaan, kun tuote on hitsattu rakenne ja teräksen myötöraja on yli 355 MPa, tai koonpanoille joissa käytetään kuumamuovattuja teräksiä. (SFS-EN ISO 1090-2 2012, s. 102–103.)

Toteutusluokan ei tarvitse olla koko rakenteelle sama. Tarkoituksenmukaista on valita kriittisille osille vaativa toteutusluokka. Toteutusluokkien EXC1–EXC4 valintamatriisi ja sen vaikutus standardin SFS-EN ISO 3834 hitsausvaatimukseen on taulukoitu taulukkoon 2. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 406.)

*Taulukko 2. Toteutusluokan valinta. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 406; SFS-EN ISO 1090-2 2012, s. 104)*

Seuraamusluokat		CC1		CC2		CC3	
Käyttöluokat		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Tuotantoluokat	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

EXC1: EN ISO 3834-4 Peruslaatuvaatimukset

EXC2: EN ISO 3834-3 Standardilaatuvaatimukset

EXC3: EN ISO 3834-2 Kattavat laatuvaatimukset

### 3.3 SFS-EN ISO 3834-2

Ennaltaehkäisevä toiminta on hitsaustuotannon peruspilari, jonka lopputuloksena syntyy vaatimusten mukainen hitsauslaatu. Standardisarja SFS-EN ISO 3834 on työkalu, jonka avulla on mahdollista kehittää hitsauslaatuvaatimukset täyttävä toimintamalli. Hitsausprosesseja käsitellään erikoisprosesseina standardin ISO 9000:2000 mukaisesti, koska niiden tuotosta ei voida todentaa jälkikäteen täydellisesti. (SFS-EN ISO 3834-1 2006, s. 6.) Tässä projektissa käsiteltävän toimitusketjun on siis luonnollista asettaa alihankkijoille SFS-EN ISO 3834 mukaisia vaatimuksia, koska yritys A:lla on käytössä ISO 9000 mukainen laatu-käsikirja.

Toimitusketjun toimintamalli edellyttää, että pääalihankkija pystyy toimimaan standardin SFS-EN 3834-2 vaatimusten mukaisesti ja toimittamaan kaikki vaadittavat dokumentit tuotteen X luovutuksen yhteydessä. Kattavat laatuvaatimukset on valikoitu toimintaympäristön, käyttörajatilan ja hitsausvaatimusten takia. Yrityksen A liiketoiminnalle tärkeä tieto halutaan pitää yrityksen sisällä, joten tuotteen X laadunohjauksen tasoksi on valikoitu menetelmäohje

vetoinen menettelytapa. Yritys A toimittaa siis kaikki tarvittavat dokumentit tuotteen X valmistukseen. Dokumentit ja ohjeet ovat vaatimuksia (Neuvonen 2019). Pääalihankkijan on pystyttävä osoittamaan, että heillä on tarvittavat resurssit tuotteen X valmistukseen. Tarvittavia resursseja ovat pätevä henkilöstö, laitteet, laadunvalvontajärjestelmä, varastointi ja kyky dokumentoida toiminnan oleelliset asiat. (Lindewald 2013, s. 10–11.)

Henkilöstön vaatimukset määräytyvät vastuualueen perusteella. Hitsareiden vastuualue on toimia työ- ja hitsausohjeiden sekä heitä koskevien menettelyohjeiden mukaan. Rakenteellinen hitsattavuus ja teräksen hitsattavuus määrittävät pätevyysalueet, jotka hitsareilla on oltava ennen hitsaustuotannon aloittamista. Pätevyyksistä on pidettävä rekisteriä ja niitä uusitaan, kun ne vanhenevat. Pätevöityä pitää tehdä ISO 9606 mukaisesti. Hitsareiden lisäksi tarvitaan hitsauskoordinaattori, joka valvoo ja ohjaa hitsaustuotantoa sekä pitää yllä hitsaustuotantoon liittyviä rekistereitä: esimerkiksi hitsareiden pätevyysrekisteri ja laitteiston huolto sekä kalibrointi rekisteri. Hän on vastuussa myös hitsaustuotannossa käytettävistä alihankkijoista. (Lindewald 2013, s. 15.)

Varastointi pitää suorittaa SFS-EN ISO 3834 mukaan siten, että käytettävien perusaineiden tunnistettavuus säilyy eikä varastoinnin aikana raaka-aineiden ominaisuudet pääse heikkenemään. Varastointiin liittyy vastaanottotarkastus, jossa lähetys tarkistetaan lähetysluetteloa vastaavaksi ja osien mukana tulee sulatusnumero. Lisäksi tilatut tuotteet pitää tarkastaa valmistuspiirustusten perusteella, joihin on merkitty tarkastettavat mitat. Tarkastuksen suorittaja tarkistaa myös, että osista löytyy osa- ja projektinumero, jonka jälkeen osat toimitetaan osanumeron perusteella varastoon. Vastaanottotarkastuksesta olisi hyvä laatia dokumentti. (Lindewald 2013, s. 18.) Tällä menettelyllä poikkeamiin pystytään reagoimaan nopeasti. Tuotteessa X käytetyt teräkset ovat kylmähalkeilualttiita, joten osat pitäisi varastoida vastaanottotarkastuksen jälkeen kuivaan ja lämmitettyyn varastoon. Varastointivaatimukset koskevat myös hitsauslisäaineita. Varastoiden lämpötilojen ja kosteuksien seurannalla pystytään todentamaan raaka-aineiden ominaisuuksien säilyvyys varastoinnin aikana.

Erikoisprosessien hallinnassa edellytetään kirjallista menettelytapaa (SFS-EN ISO 9001 2015, s. 18). Hitsausliitosten ominaisuuksien luotettavuuden ja toistettavuuden hallintaan tarvitaan hitsausohjeet. Hitsausohjeet pitää hyväksyä ennen kuin ne otetaan käyttöön. Hyväksyntään on viisi eri tapaa: menetelmäkoe, esituotannollinenkoe, standardimenetelmäkoe,

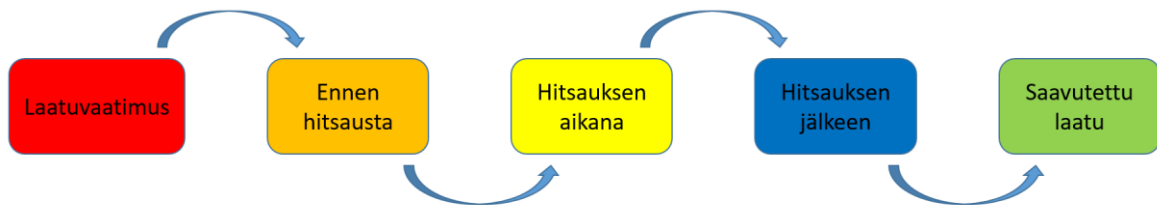
aikaisempi hitsauskokemus ja testatut hitsausaineet. Kattavien hitsausvaatimusten eli SFS-EN ISO 3834-2 täyttämiseksi hitsausohjeet voidaan hyväksyä vain menetelmäkokeella tai esituotannollisella kokeella. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 410.) Hitsausohjeet eli WPS:t ovat ohjeita ja muistilistoja hitsareille. Hitsausohjeiden pitää sisältää esimerkiksi: hitsausprosessi, lisääaine, hitsausparametrit, kuljetusnopeus, hitsausasento, perusaine ja aineenpaksuus, liitosmuoto ja muut hitsauksessa huomioon otettavat asiat. Hitsareiden on mahdotonta muistaa kaikkia edellisiä asioita, kun valmistettavan tuotteen hitsaukseen on useita kymmeniä erilaisia hitsausohjeita. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 239.)

Jäljitettävyyttä ja tunnistettavuutta ylläpidetään tarvittaessa läpi valmistusprosessin. Jäljitettävyys- ja tunnistettavuusvaatimuksia voidaan asettaa osille, jotka ovat kriittisiä rakenteelle. Jäljitettävyys tarkoittaa kriittisten osien seuranta tuotannon läpi siten, että jälkikäteen on mahdollista osoittaa: miten, millä ja kuka osat on valmistanut. Seurattavat tekijät ovat esimerkiksi: materiaalivirta, varastointi, valmistuksessa käytettävät prosessit ja lisääaineet, tekijät, tarkastukset ja korjaukset. (SFS-EN ISO 3834-2 2006, s. 20.) Teräsosien jäljitettävyyden osoittamiseksi tarvitaan muun muassa sulatenumero, vastaanottotarkastuspöytäkirja, varastointidokumentit, mittauspöytäkirja, hitsauspöytäkirjat ja NDT-tarkastuspöytäkirja.

## 4 LAADUNVALVONTA

Laadunhallintajärjestelmä on yrityksen johdon työkalu, jonka avulla pyritään laadun jatkuvaan kehittämiseen ja toimintamallien parantamiseen. Parhaimmillaan yritys saa laadunhallintajärjestelmän avulla tuotannosta reaaliaikaista tietoa ja pystyy ennaltaehkäisemään erilaisilla toimintamalleilla tuotannon pullonkauloja. Yritysten pitää itse luoda omat toimintamallit, joista muodostuu laadunvalvontajärjestelmä. Yleensä yritykset luovat laadunvalvontajärjestelmän, mikä perustuu standardiin ISO 9001, jolloin laadunvalvontajärjestelmä voidaan sertifioida. Sertifiointi lisää yrityksen validiteettia ja luo lisäarvoa yrityksen tuotteille. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 401–402.)

Kuvassa 14 on kuvattu yksinkertaistetusti hitsauslaatu järjestelmän rakenne, joka sisältää eri vastuuhenkilöiden laaduntuottotehtäviä. Karkeasti se voidaan jakaa viiteen vaiheeseen, joista kolmella ensimmäisellä ennaltaehkäisevällä vaiheella on suurin vaikutus saavutettavaan laatuun. Hitsauksen jälkeen hitsaustulos voidaan vain tarkistaa ja dokumentoida. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 258.)

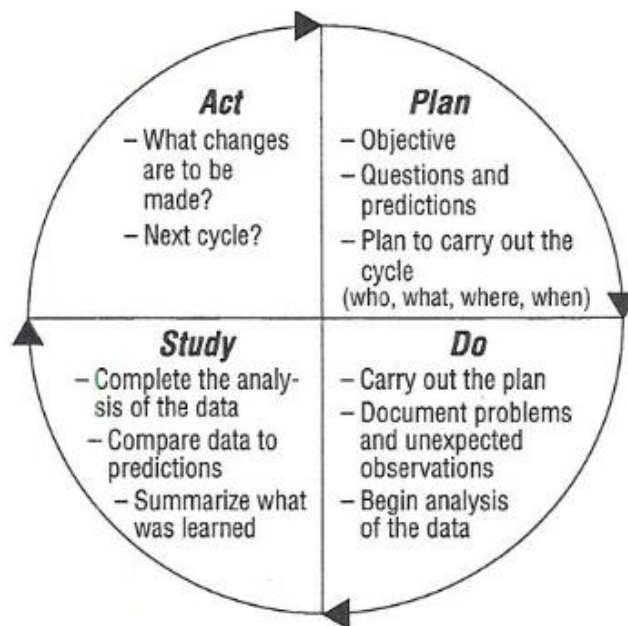


**Kuva 14.** Hitsauslaatu järjestelmän pääperiaate. (Lepola & Ylikangas 2016, s. 258)

Laatujärjestelmien käyttö perustuu jatkuvaan parantamiseen ja se edellyttää toiminnan laadun mittaamista ja arvioimista. Tarkoituksenmukaisten mittareiden määrittäminen tehdään valmistuksessa käytettävien prosessien perusteella ja se vaatii niiden hyvää tuntemusta. Hyvä laatumittari ei välttämättä ole yksinkertainen tai edes helposti tulkittava. Mittariin vaikuttaa mitattava kohde. Yksinkertaisten asioiden mittaaminen on helppoa, mutta se ei välttämättä ole tarkoituksenmukaista. Seppo Saarta lainaten (Saari 2006, s. 130): ”Halkometissä pärjätään hyvin metrimittalla.” Mittauskriteerit määrittää yritys, sen oman arvomaailman mukaan. Tarkoituksenmukaista ei ole kuitenkaan mitata ja valvoa kaikkea, koska se on työlästä ja kallista. Tuloksien tulkinta voi vaatia pitkiä ajatusketjuja, koska mitattava suure

voi muuttua monella eri tapaa. Näin ollen pitää ymmärtää esimerkiksi, kuinka tuottavuus voi muuttua. (Saari 2006, s. 40–43, 130.)

Hitsaustuotannosta saatavat tiedot koostuvat muun muassa NDT-raporteista, tuntikirjauksista, käytetyn raaka-aineen määrästä, raporteista ja pöytäkirjoista. Esimerkiksi NDT-raporteista saatava tieto auttaa hitsausvirheiden paikallistamisessa ja tieto virheiden syntymiseen vaikuttavista asioista auttaa syyn löytämisessä. Poikkeama tilanteisiin reagointi on molempien yritysten vastuulla, koska yritys B havaitsee virheet nopeasti tuotannon aikana. Yritys A:lla sen sijaan on kattavampi tieto ja ymmärrys koko tuotteessa käytetyistä raaka-aineista ja rakenteen kriittisistä osista. Lisäksi yritys A:n pitää hyväksyttää virheiden korjaamiseen tarvittava toiminta asiakkaan laadunvalvontahenkilön toimesta. Yritys B:n vastuulla on raportoida viipymättä poikkeamista ja tarvittaessa pyydettyjä tarkentavia ohjeita. Poikkeamiin pitää suhtautua systemaattisesti ja oivallinen tapa siihen on toimia PDSA (Plan Do Study Act)-kierron mukaan. Suunnittele-toteuta-tutki-toista menetelmä soveltuu hankkeisiin, joissa pyritään jatkuvaan parantamiseen. (Moen 2009, s. 8). Kuvassa 15 on esitetty PDSA-kierto.



**Kuva 15.** PDSA-kierto (Moen 2009, s. 8).

#### 4.1 Tuottavuus

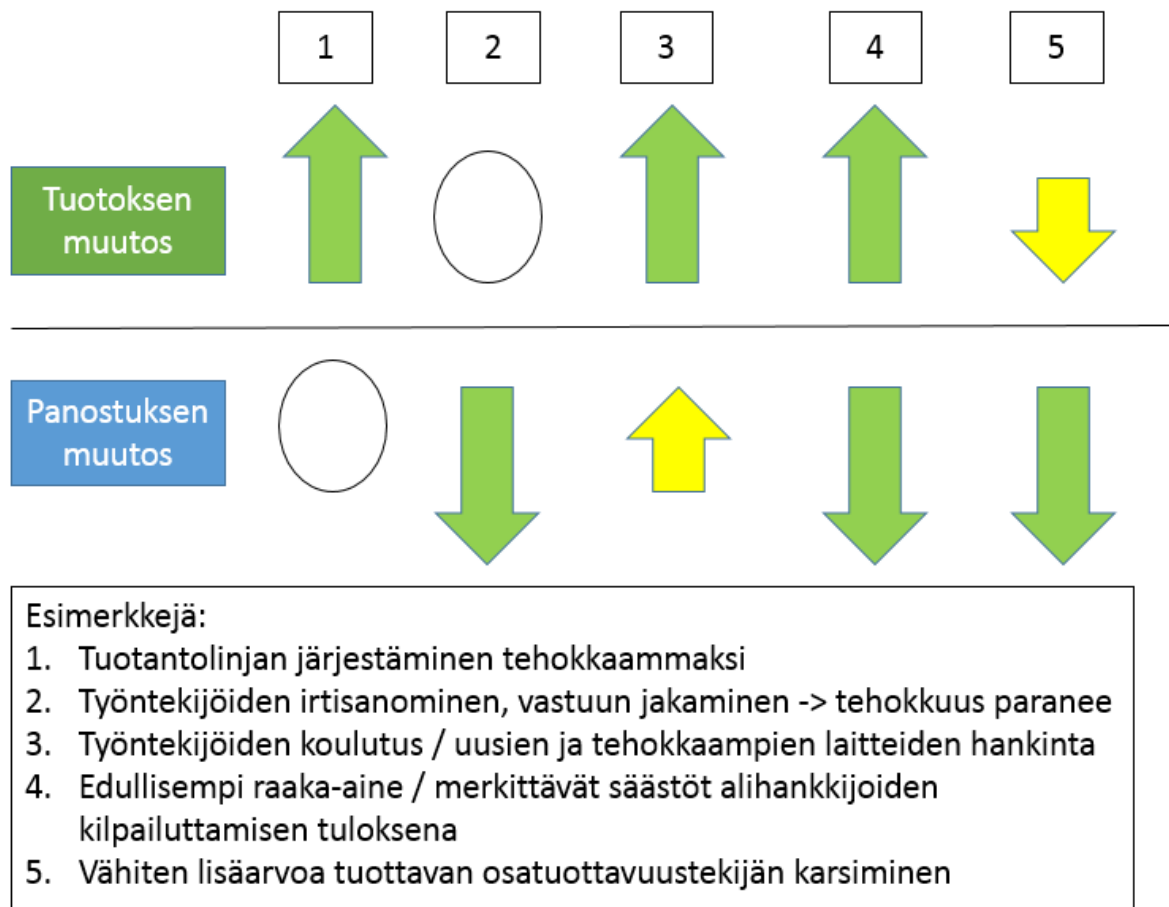
Liiketoiminnan tuottavuus suhteutetaan panosten ja tuotosten suhteeseen. Ylijäämäinen panos–tuotos suhde kuvaa liiketoiminnan kannattavuutta ja alijäämäinen suhde tappiollisuutta. (Saari 2006, s. 109–110.) Tuotos tarkoittaa lopputuotteen arvoa jonkun prosessin jälkeen, johon on panostettu resursseja. Hitsaustuotannon panoksia ovat muun muassa työ-, energia- ja raaka-ainekustannukset. Toisaalta hitsaustuotannon osuus on vain pieni osa koko tuotteen X tuotannosta, jolloin hitsaustuotantoa voidaan kutsua osatuottavuustekijäksi. Sillä kuvataan yhden panoksen suhdetta tuotokseen. Panoksen suhdetta voidaan myös verrata jalostusarvoon, jolloin mittaustuloksena syntyy jalostusarvotuottavuus. Jalostusarvotuottavuus kuvaa yrityksen omaa toimintakykyä muodostaa lisäarvoa. Osatuottavuuden käytetyin mittari on työn tuottavuus ja se voidaan laskennallisesti määrittää vertaamalla työkustannuksia kokonaistuotokseen, kaavan 3 mukaisesti. (Saari 2006, s. 158–160.)

$$\text{Osatuottavuus} = \frac{\text{Kokonaistuotos}}{\text{Yksittäinen panos}} \quad (3)$$

Jalostusarvoon perustuva tuottavuus on oivallinen tapa mitata tuottavuutta yrityksessä, kun tuotteen valmistuksessa käytetään alihankintaa. Jalostusarvo on tuotoksen arvo, josta vähennetään ulkoistettu osuus, jota suhteutetaan omien ja ulkoistettuihin panoksiin. Kaavassa 4 on esitetty jalostusarvotuottavuuden laskennallinen malli. (Saari 2006, s. 159–160.)

$$\text{Jalostusarvotuottavuus} = \frac{\text{Jalostusarvo}}{\text{Työ+Pääoma}} \quad (4)$$

Laatutekijät vaikuttavat molempiin tuottavuuden laskennassa käytettyihin tuottavuustekijöihin. Laatutekijöihin kuuluu aineeton pääoma, kuten hitsarit ja heidän ammattitaito. Ilman hyviä hitsareita laatu kärsii ja korjaustarve kasvaa ja tuottavuus pienenee. (Saari 2006, s. 213.) Ennen mittaamista on tiedettävä, miten tuottavuus voi muuttua. Tuottavuus voi kasvaa viidellä eri tavalla, jotka on esitetty kuvassa 16.



**Kuva 16.** Tuottavuuden viisi eri kasvutapaa. (Rantanen 2016, s. 3).

Tässä tapauksessa jalostusarvotuottavuutta voidaan soveltaa yritys B:n toimintaan, jonka avulla yritys A pystyisi arvioimaan sen toimintaa. Näin ollen jalostusarvon panokset syntyvät vain raaka-ainekustannusten ja läpimenoajan perusteella. Toimintaketjussa yrityksillä A ja B pitää olla yhteinen näkemys tuotteen X arvosta hitsaustuotannon jälkeen, jotta tuottavuutta pystytään mittaamaan. Tuotoksen arvo on sovittava asia ja se voi perustua laskutus hintaan tai kiinteähintaiseen arvioon, esimerkiksi kaikkien tuotteiden keskiarvohintaan (Saari 2006, s. 126–127).

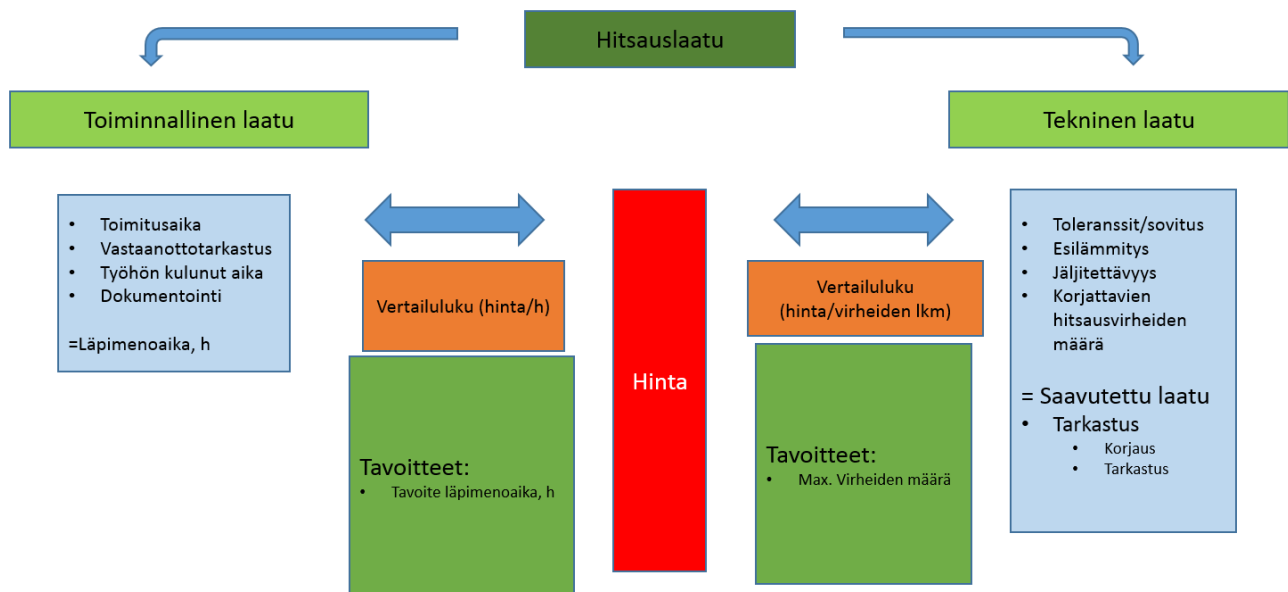
#### 4.2 Mittari

Kiinteähintainen mittari soveltuu laadun ja määrän muutosten mittaamiseen, tiedetyn ajanjakson sisällä. Mitattavat suuret ovat laatu ja määrä. Laatua voidaan ajatella tekniseksi hitsauslaaduksi ja määrä esimerkiksi läpimenoajaksi. Kuvassa 17 on esitetty havainnollistava laatumittari, jolla pystytään mittaamaan toiminnallista ja teknistä laatua. Mittari perustuu

yhteisesti asetettuihin tavoitteisiin, jotka voidaan määrittää läpimenoajalle ja korjausta vaativille hitsausvirheille. Vertailuluvulla voidaan laskea tuotteen X arvo hitsaustuotannon jälkeen, kaavan 5 mukaan. Korjattaville virheille voidaan asettaa kiinteähintainen sakko, joka pudottaa jalostusarvoa entisestään.

$$Jalostusarvo = kiinteähintainenarvo - \frac{kiinteähintainenarvo}{läpimenoaika - tavoite\ läpimenoaika} \quad (5)$$

Jalostusarvoa verrataan tämän jälkeen edellisen tai seuraavan tuotteen jalostusarvoon, josta voidaan laskea prosentuaalinen muutos. Seuraavaan tuotteeseen verrattaessa nähdään siis prosentuaalinen kehitystarve. Kyseinen mittari edellyttää, että arviot ja tavoitteet ovat perusteltuja sekä realistisia. Yritys B:n on pystyttävä mittaamaan läpimenoaikaa ja hitsausvirheiden määrää. Läpimenoaika voidaan vielä eritellä pienempiin osiin, jonka perusteella voidaan jälkikäteen tarkastella, mitkä tuotannon vaiheet ovat olleet pullonkauloja.



**Kuva 17.** Laatumittari



## 5 NYKYTILANTEEN KARTOITUS

Tuotteen X tuotannossa on nyt suoritettu testijakso, jonka perusteella arvioidaan pääalihankkijan vaatimustenmukaisuus ja kyky sarjatuotannon aloittamiseen. Testijakson aikana on valmistunut muutamia tuotteita, jonka aikana yritys A on luonut ja parantanut toiminta- ja kokoonpanoeritelmiään. Samanaikaisesti yritykset ovat kehittäneet parempia työtapoja. Yritys B on pitänyt kirjaa laskutettavista työtunneista, joiden perusteella yritys A voi arvioida sen kapasiteettia. Testijakson aikana on tehty sisäisiä auditointeja, joissa on käsitelty havainnot toimintatavoista. Tähän kappaleeseen on koottu havainnot, joita testijakson aikana on tehty.

### 5.1 Kapasiteetti

Sarjatuotannon aloittamiseksi yritys B:llä pitää olla valmiudet valmistaa kymmenkertainen määrä tuotteita testijaksoon verrattuna. Näin ollen yksi tuote pitäisi valmistua noin viikossa, kun kaikki tuotantovaiheet on käynnistetty kunnolla. Kapasiteetin arvioinnissa on syytä ottaa huomioon, että testijakson aikana tuotteen X valmistuksessa on opeteltu ja kehitetty uusia työtapoja. Tuntikirjausten perusteella voidaan yleisesti havaita, että valmistusajat ovat nopeutuneet, mutta kapasiteetti ei ole vielä riittävä kymmenkertaiseen tuotantoon. Taulukossa 3 on hitsauksen kokonaistuntimäärän prosentuaalinen muutos testijakson ajalta, jossa ensimmäinen tarkastelujakso toimii referenssinä. Muutoksesta voidaan todeta, että työtapoja on sisäistetty ja kehityssuunta on oikea.

*Taulukko 3, Hitsauksen kokonaistuntimäärän kehitys testijakson aikana.*

Tarkastelujakso	1.	2.	3.	4
Aika	1	0,84	0,76	0,65
Muutos		15,7 %	23,6 %	35,3 %

Tavoitteeseen pääsy edellyttää tarkastelujakson 4 tuottavuuden kolminkertaistamista. Yritys B:llä on tällä hetkellä 11 hitsaria töissä, joten sen pitäisi palkata 22 uutta hitsaria. Henkilöstötarve on laskettu siten, että tuotanto on jaettu kolmeen osaan: alikokoonpanoon, kokoonpanoon ja silloitukseen sekä pyörityslaitteissa tehtävään hitsaukseen. Alikokoonpano- ja hitsausvaihe vievät lähes yhtä paljon aikaa tuntieritelmän mukaan. Tuntieritelmästä on laskettu

alikokoonpanoon käytetty aika. Alikokoonpanon kokonaistuntimäärä kerrotaan tuotantotavoitteella, joka kertoo tarvittavan kokonaistuntimäärän kaikkien alikokoonpanojen valmistukseen. Alikokoonpanoihin tarvittava kokonaistuntimäärä jaetaan yhden hitsarin tuntimäärällä, jonka oletetaan olevan 7,5 tuntia päivässä, 258 työpäivää vuodessa. Näin tulokseksi saadaan 11 hitsaria, jotka pystyvät tekemään tarvittavat alikokoonpanot, jos he eivät tee muita työtehtäviä. Alikokoonpano on kuitenkin vasta kolmasosa koko tuotteen hitsaustyöstä, jolloin tuotantotavoitteisiin pääsemiseksi tarvittaisiin 33 hitsaria. Henkilöstötarvetta voidaan pienentää työtapoja, työvälineitä ja tuotantotiloja kehittämällä, joka on lähtökohtaisesti kannattavampaa kuin lisähenkilöstön palkkaus. Turhan työ minimointi jo tuotannon alkumetreillä nopeuttaa kehitystä ja ennaltaehkäisee huonojen työtapojen oppimista.

## 5.2 Tuotantotilat ja varastointi

Yrityksen B tuotantotilat riittävät toisen tuotantolinjan perustamiseen nykyisen rinnalle. Toinen tuotantolinja tarkoittaa tarvittavan laitteiston ja työkalujen määrän kaksinkertaistamista. Rajallisen tilan takia uusia tilaratkaisuja pitää tehdä, koska varastoinnin kanssa on jo testijakson aikana ollut vaikeuksia. Alikokoonpanoalue on toiminut varaston ja tuotantotilan sekoituksena. Levyleikkeet ovat olleet lattialla ja kulkuväylillä, jolloin levyt likaantuvat ja levyjen tunnistettavuus on ollut vaarassa heikentyä, koska merkinnät tehdään nyt liidulla. Osia on ollut myös hukassa, mikä on hidastanut tuotantoa. Varasto-ongelmaan yritys B on jo kehittämässä ratkaisua, mutta testijakson aikana se on ollut iso ongelma. Varastoon saapuneiden levyleikkeiden ja osien vastaanottotarkastuksissa on ollut puutteita, jonka seurauksena osissa on havaittu virheitä vasta tuotannon aikana.

Testijakson aikana yleinen siisteys työpisteillä on ollut heikkoa. Työkalut ovat lojuneet pitkien työpisteitä metallipölyn alla. Lisäksi työkaluja on jouduttu lainaamaan toisesta työpisteestä. Työkalujen hakeminen ja ennen kaikkea etsiminen on hidastanut tuotantoa.

## 5.3 Jäljitettävyys

Laatuvaatimuksissa määritellään rakenteen kriittisille osille täydellinen jäljitettävyys. Varastointi ongelmista huolimatta osien jäljitettävyys on pystytty täyttämään kohtuullisesti. Jäljitettävyys on tehty nyt siten, että suorakarkaistut teräkset ovat kulkeneet sarjassa tuotenumeron perusteella ja ne on tehty omalla alikokoonpanolinjalla. Jäljitettävyys perustuu tuotenumeroon. Sen perusteella tilataan muun muassa osat ja osiin merkitään tuotenumero johon

ne kuuluvat. Tuotteille tehdään tuotenumeron perusteella dokumenttiarkisto. Dokumentoituja tietoja on ollut mittapöytäkirja ja hitsauspöytäkirja sekä ainetodistus. Tuotannon edessä dokumenttiarkistoon on lisätty NDT-raportit ja tarvittaessa poikkeamaraportit sekä korjaukset. Jäljitettävyyden vastaa lähes toimintaeritelämään kuvattua toimintatapaa, jonka yritys A on luonut. Varastoinnista pitää saada selkeä täydellisen jäljitettävyyden saavuttamiseksi.

#### 5.4 Ohjeet ja piirustukset

Yrityksen A luomat toiminta- ja kokoonpanoeritelvät pitävät sisällään valmistuspiirustukset, hitsausohjeet, työohjeet, NDT-suunnitelman ja menetelmäohjeet. Virheiden minimoimiseksi dokumentit on pyritty luomaan siten, että tarvittava tieto olisi vain yhdessä dokumentissa. Valmistuspiirustuksissa on paikoitusten ja osien mitat, hitsausmerkinnät ja käytettävän hitsausohjeen numero sekä yleistoleranssit sekä pinnanlaatuvaatimukset. Hitsausohjeesta tarkastetaan käytettävät hitsausparametrit, palkojärjestys ja palkomäärä sekä esilämmitys tarve. Työohjeet on luotu valmistuspiirustusten lisäksi helpottamaan valmistuvan rakenteen hahmottamista sekä selkeyttämään kokoonpanojärjestystä. Niihin on myös merkitty siltahitsien ja esijännitettävien kohtien paikat. NDT-suunnitelmasta löytyy tiedot tarkastettavista kohdista ja ajankohdasta, milloin ne pitää tehdä. Menetelmäohjeita on tehty yleisten toimintojen ohjaamista varten. Esimerkiksi mittapöytäkirjan täyttämiseksi, perusaineiden varastoinnille ja esilämmitykselle on omat menetelmäohjeet, joista selviää, kuinka ne pitää tehdä.

Testijakson aikana ohjeistuksessa ja valmistuspiirustuksissa oli puutteita, mutta niihin pystyttiin reagoimaan nopealla aikataululla. Yritysten välinen yhteistyö on toiminut tältä osin hyvin. Yritys B on ilmoittanut yritykselle A ongelmista ja esittänyt mahdollisia ratkaisuja niihin. Yritys A on tarkistanut vaatimukset ja joko hyväksynyt ehdotetun tavan ongelman ratkaisemiseksi tai esittänyt vaihtoehdoisen ratkaisun. Iterointikierrosten määrä on ollut vaihteleva, mutta ongelmiin on löydetty tarkoituksenmukaiset ratkaisut kollektiivisten päätösten avulla. Työ- ja menetelmäohjeita on saatu luotua tämän tutkimuksen aikana merkittävä määrä lisää. Niiden lisäksi valmistuspiirustuksia on päivitetty. Hitsareiden ja työnjohdon palaute työohjeista on ollut positiivista, koska ohjeet ovat toimineet tarkoituksenmukaisesti.

Tuotannossa tarvitaan näitä kaikkia dokumentteja ja ne pitää olla hitsareiden saatavilla. Ohjeiden käyttö on hitsareiden vastuulla. Testijakson aikana ne ovat olleet yhdessä kansiossa tuotantotiloissa. Dokumenttien pitäminen ajan tasalla ja käytön valvonta on työnjohtajan vastuulla.

### 5.5 Kokoonpanotelineet ja kokoonpano

Kokoonpanotelineitä käytetään kokoonpano- ja silloitusvaiheessa. Testijakson aikana oli käytössä niin sanotut silloitustelineet tuotteen X ylä- ja alaosalle. Niiden toimivuudesta on tullut enimmäkseen positiivista palautetta. Muutamien alikokoonpanojen korkeuspaikoituksessa on ollut ongelmia. Alaosan silloitustelineessä on keskityspaikat alikokoonpanojen kiinnitystelineille. Ongelmia on tuottanut niin sanottu tunnelikokoonpano, joka koostuu useista pienistä osista ja on ollut siten hankala kokoonpanna. Tunnelikokoonpanolle on oma kokoonpanoteline, mutta se ei ole pysynyt mitoissaan, jonka seurauksena se on poistunut käytöstä ainakin osittain. Nyt tunnelikokoonpano on käytännössä käsityötä, joka on hidasta ja vaatii tarkkuutta. Testijakson aikana etukokoonpanoteline on pääasiassa toiminut moitteitta. Yhden tuotteen kohdalla etukokoonpano on pitänyt korjata, koska teline mahdollistaa sen asemoinnin väärään asentoon.

Varusteosien hitsaukselle ja niiden kokoonpanojärjestykselle ei ollut testijakson aikana työohjeita. Varusteluosia hitsattiin kokoonpanoon hitsareiden mieltymysten mukaan, joka ei ole toistettavuuden tai systemaattisuuden kannalta hyvä asia. Testijakson alussa osia puuttui tarkastuksissa. Nyt työohjeet on luotu ja valmistuspiirustukset päivitetty siten, että niistä voi tarkistaa varusteluosien kokoonpanojärjestyksen ja paikoitusohjeet.

### 5.6 Hitsausongelmat

Ensimmäisissä tuotteissa esiintyi systemaattisia hitsausvirheitä tulppahitsien hitsauksessa, jotka sijaitsevat tuotteen alaosassa. Testijakson aikana tulppien hitsaukseen on tehty ohje ja hitsausparametreja on parannettu sopivammiksi. Hitsareiden ammattitaito on myös parantunut huomattavasti testijakson aikana. Viimeisessä tuotteessa ei havaittu enää yhtään korjattavaa tulppahitsiä. Suurimmat ongelmat ovat olleet kuitenkin hitsausmuodonmuutosten hallinnassa. Kaareutumisen aiheuttamat muodonmuutokset olivat niin suuria, että tuotteen käytettävyys olisi heikentynyt ilman korjaavia toimenpiteitä. Muodonmuutokset ovat hankaloit-

taneet osien yhteensopivuutta varsinkin, kun ylä- ja alaosa on liitetty yhdeksi kokonaisuudeksi. Testijakson aikana muodonmuutoksia on pyritty hallitsemaan ennakkoinnilla. Erilaisien ennakointi- ja esijännitysmenetelmien hallintaan on käytetty paljon resursseja. Viimeisten tuotteiden valmistuksessa muodonmuutoksia on jo saatu hallintaan, mutta kehitettävää vielä riittää.

## 6 KEHITYSKOHEETEET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen johtopäätöksenä voidaan todeta, että toimitusketjun toiminta ei toistaiseksi vastaa tuotteen X tuotantoon vaadittavia vaatimuksia. Toisaalta testijakson aikana tapahtunut kehitys on ollut hyvää ja toiminnassa on potentiaalia. Motivoituneet ja ahkerat työntekijät ovat mahdollistaneet kehityksen. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty kehityskohteita, joiden avulla toimitusketju voisi parantaa laatua ja tuottavuutta.

### 6.1 Välikatselmus

Meyerin telakalla käytetään niin sanottua välikatselmusta. Välikatselmus tehdään, kun alihankintana ostettu työ saadaan valmiiksi ja osat siirtyvät seuraavaan työvaiheeseen. Välikatselmuksessa tapahtuu niin sanotusti vastuunsiirto. Välikatselmuksessa tarkastetaan tuotteen tekniset yksityiskohdat, laatu ja dokumentit. Sama periaate voisi toimia tuotteen X tuotannossa. Välikatselmus tehtäisiin hitsaustuotannon jälkeen ennen kuin tuote X siirtyisi seuraavaan työvaiheeseen. Tuotteen X välikatselmuksen yhteydessä voitaisiin soveltaa myös kappaleessa 4.2 esitettyä laatumittaria, jonka perusteella voidaan antaa sanktioita tai palkita hyvästä työstä.

Välikatselmukseen liittyvä vastuunsiirto on kuitenkin ongelma yritykselle A tulevaisuuden näkymiä ajatellen, koska sen resurssit eivät riitä kymmenkertaisen tuotantomäärän katselmointiin. Katselmoinnin vastuu jäisi siis joko kolmannen osapuolen tai yrityksen B vastuulle. Kolmatta osapuolta voidaan pitää puolueettomana, mutta se vaatii lisäresurssien käyttöä. Helpointa olisi, jos yritys B ottaisi vastuukseen välikatselmoinnin, jonka tuloksia käytäisiin läpi yhdessä yrityksen A kanssa. Asiaa puoltaa se, että yrityksellä B on jo käytössä tarvittavat dokumentit ja riittävä ymmärrys tuotteen X rakenteesta sekä tärkeistä tarkastettavista yksityiskohdista.

### 6.2 3D-malli

Työohjeiden teossa ja valmistuksen suunnittelussa on käytetty apuna tuotteen X 3D-mallia. Sen käytettävyydessä huomattiin puutteita työohjeiden päivittämisen ja luomisen yhteydessä. Käytettävyydestä teki ongelmallista ja hidasta yksittäiset suoraan pääkokoontaan lisätyt osat, jotka olivat kuitenkin osia joistain alikokoontainoista. Osien etsimiseen kului

paljon aikaa. 3D-mallissa saattoi olla myös useampi eri versio osista tai alikokoonpanoista. Työohjeiden teon yhteydessä valmistuspiirustuksia päivitettiin vastaamaan työohjeita, jolloin 3D-malli päivittyi samalla selkeämmäksi ja helppokäyttöisemmäksi. Käytettävyyden ja logiikan ylläpitämiseksi alikokoonpanot pitää lisätä jatkossa pääkokoonpanoon kokonaisuuksina.

### 6.3 Mekanisointi

Hitsaukseen käytettyä aikaa pitäisi saada pienemmäksi. Mekanisoinnilla tai automatisoinnilla voidaan pienentää hitsaukseen käytettyä aikaa, jolloin läpimenoaika pienenee. Sarjatuotannossa sillä saavutetaan myös toistettavuutta (Martiskin & Kumpulainen 2017, s. 1). Markkinoilla on monia erilaisia hitsauksen mekanisointiratkaisuja. Yleisimpiä niistä on hitsauskuljettimet, joiden avulla kuljetusnopeus ja vaaputus saadaan vakioksi. Kuljettimien käyttöä kannattaa harkita tuotteen X pitkien hitsien väli- ja pintapalkojen hitsauksessa. Kuljettimet vaativat yleensä kiskot, joiden päällä ne kulkevat. Kiskottomiakin kuljettimia on, mutta ne ovat herkempiä levyjen epätasaisuuksille, koska niiden liikkuminen perustuu veto- pyörien ja levyn kosketukseen. Laitteiston esiasettamisen tärkeys kasvaa, koska viisteitä ei ole koneistettu ja muodonmuutokset vaikuttavat ilmarakoihin. Juuripalkojen hitsauksessa kuljettimien avulla saattaa tulla ongelmia. Kuvassa 18 on esitelty erilaisia mekanisointilaitteita. Ne voidaan varustella myös esimerkiksi plasmaleikkauslaitteistolla.



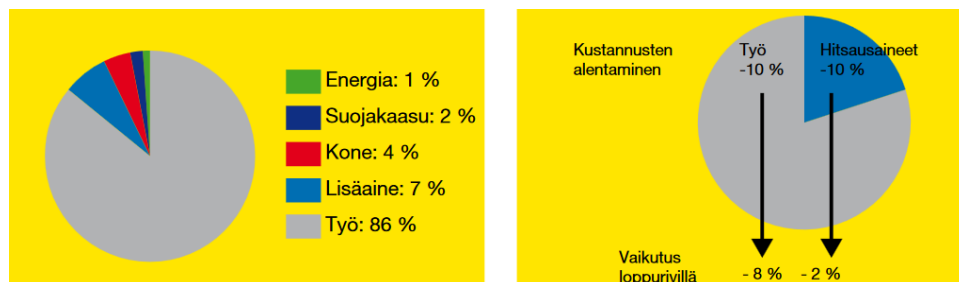
**Kuva 18.** Kiskoton ja kiskollinen mekanisointilaitteisto (Retco Oy 2019a; Retco Oy 2019b).

Optimitilanteessa mekanisointilaitteisto vapauttaisi hitsarin valmistelemaan jo seuraavaa hitsiä, esimerkiksi asettelemaan seuraavaa kuljetinkiskoa. Mekanisointilaitteilla päästään jopa yli 1000 mm/min kuljetusnopeuksiin (Retco Oy 2019c). Mekanisointi ei kuitenkaan vapauta

hitsaria täysin, koska hitsauksen aikana voi tapahtua jotain odottamatonta. Esimerkiksi suo-  
jakaasun virtaus voi estyä tai lisäainelanka ei kulje jouhevasti langansyöttölaitteistossa. Kis-  
kottomia kuljettimia voisi käyttää jäykistimien pienaliitosten hitsauksessa, koska jäykistimiä  
voisi hyödyntää kuljettimien ohjaukseen. Päittäishitsien hitsauksessa mekanisointilaitteessa  
pitäisi olla railonseurantavalmius, koska päittäisliitoksissa ilmarako ja railogeometria voi  
muuttua hitsauksen aikana. Tuotteessa X oleviin päittäishitseihin voisi soveltaa kiskokuljet-  
timia, joissa on railonseuranta.

Hitsausnopeuksien kasvaessa on vaarana, että jäähtymisnopeus muuttuu liian nopeaksi. Esi-  
lämmitystarve ja mahdollinen jälkilämmitystarve on otettava huomioon, jos hitsausnopeuk-  
sia kasvatetaan merkittävästi. On vaikea arvioida, kuinka paljon kuljettimien käyttö nopeut-  
tasi hitsaustuotantoa, koska esiasetusajan määrittäminen on haastavaa. Kemppi Oy:n mu-  
kaan mekanisointi voi parantaa tuottavuutta 50-300%. (Kemppi Oy 2016). Mekanisoinnin  
käyttöönotto edellyttää, että mekanisointilaitteille on todellinen tarve eikä niitä koeta rasit-  
teeksi. Tarkempi kustannusvertailu mekanisoinnin mahdollisista säästöistä pitää tehdä ennen  
kuin niiden käyttöä harkitaan. Teoriassa kustannussäästöjä kuitenkin syntyy, koska mekani-  
soinnilla voidaan kasvattaa hitsiaineentuottoa ja paloaikasuhdetta, jotka pienentävät työkus-  
tannuksia. Hitsiaineentuotto mittaa, kuinka paljon lisäainetta pystytään sulattamaan aikayk-  
sikössä. Paloaikasuhde mittaa varsinaisen hitsauksen osuutta kokonaistyömäärään eli kuinka  
kauan valokaari palaa kokonaistunteihin verrattuna. Kuvassa 19 on esitetty MAG-hitsauksen  
kustannukset pienahitsauksessa. Kaavassa 6 on esitetty työajan kaava, jonka avulla voidaan  
laskea työkustannukset, kun yhden työtunnin hinta tiedetään. (Lukkari 2011, s. 5–6.)

$$Työaika = \frac{\text{Hitsiainemäärä} \left(\frac{kg}{m}\right)}{\text{Hitsiaineentuotto} \left(\frac{kg}{h}\right)} * \frac{100}{\text{Paloaikasuhde} \%} \quad (6)$$



**Kuva 19.** MAG-hitsauksen kustannukset pienahitsauksessa ja työkustannusten pienentämi-  
sen vaikutus kokonaiskustannuksiin. (Lukkari 2011, s. 4).



Hitsauskuljettimien tai muiden mekanisointilaitteiden käyttöönotto edellyttää uusien hitsausohjeiden tekoa ja hyväksymistä, koska vanhat hitsausohjeet ovat hyväksytyt käsin hitsaukseen. Standardin SFS-EN ISO 3834-2 eli vaativien hitsausvaatimusten täyttämiseksi hitsausohjeet voidaan hyväksyä vain esituotannollisen tai menetelmäkokeen perusteella. Nyt käytössä olevat hitsausohjeet on hyväksytty esituotannollisella kokeella, mutta jatkossa ne pitää hyväksyä menetelmäkokeella, koska esituotannollista koetta ei kannata tehdä vain hitsausohjeiden takia. Tuotestandardin puuttumisen takia menetelmäkokeen hyväksymisrajat tulevat esituotannollisen kokeen perusteella eli hitsien mekaanisia ominaisuuksia verrataan keskenään. Menetelmäkokeessa pitää siis hitsata myös vertailukappale esituotannossa käytetyillä hitsausohjeilla. Yritys A voi tehdä hitsausohjeiden hyväksyntään sisäisen standardin, johon kootaan hyväksymisrajat ja toimintamalli uusien hitsausohjeiden hyväksymiseen, jotta vaatimustenmukaisuus säilyy.

#### 6.4 Esilämmitys

Hitsarit käyttävät tällä hetkellä happi-asetyleeni liekkiä hitsien esilämmittämiseen ja lämpötilan mittaamiseen optista lämpömittaria. Se on perusteltua ahtaissa paikoissa, joihin ei mahdu muita esilämmityslaitteita. Käsivarainen esilämmitys heikentää uskottavuutta, kun käytössä on UHS-teräkset, joiden käsittelylle on tehty tarkat ohjeet sisältäen tarkasti lasketut lämmöntuontirajat. Lisäksi käsivarainen esilämmitys happi-asetyleeni liekillä on pitkällä aikavälillä kallista verrattuna esimerkiksi tarkkoihin induktio- tai vastuslämmittimiin.

Vastuslämmittimiä saa mattoina, suikaleina ja pelkkiä vastuksiakin on saatavilla. On ymmärrettävää, että vastusmattojen tai vastusten levittäminen voi olla työläämpää kuin happi-asetyleeni liekin sytyttäminen. Toistettavuus on kuitenkin pystyttävä osoittamaan, jotta esilämmitys vaatimukset täyttyvät. Ajastimella ja termoelementillä varustetut rinnankytkettävät vastusmatot soveltuisivat tuotteen esilämmitykseen, koska hitsarit voisivat edellisenä iltana asetella matot seuraavana päivänä hitsattavien hitsien päälle. Vastusmatot ovat huolettomia, jolloin hitsarit voivat keskittyä heidän varsinaiseen työhön eli hitsaamiseen. Ajastin varmistaa, että turhaa sähköä ei kulu yöllä ja hitsarit voivat aloittaa heti aamusta hitsaamaan poistamalla mattoja rakenteiden päältä. Happi-asetyleeniä tarvitaan todennäköisesti jatkosakin, mikäli työkappaleet ehtivät jäähtymään paikallisesti esilämmitysrajan alapuolelle. Kuvassa 20 on esilämmitykseen tarkoitettu vastusmatto.



**Kuva 20.** Vastuslämmitin (Retco Oy 2019d).

### 6.5 Tuotannonohjaus ja -valvonta

Toimitusketjun jäsenten välinen vuorovaikutus on näyttänyt kolmannen osapuolen silmin toimivalta, mutta on osoittautunut, että yrityksellä B on heikommat resurssit tuotannonohjauksessa ja -valvonnassa. Eli huomautettaviin asioihin reagointi on kestänyt tai niihin ei ole reagoitu ollenkaan. Asiaan voi olla useita selityksiä, mutta kiire ja stressi ovat todennäköisimmät syyt. Yritys B:llä on vain yksi työnjohtaja, joka vastaa käytännössä kaikesta mitä, tuotantotiloissa tapahtuu. Lisää työvoimaa tarvitaan siis työnjohtoon ja tuotannonohjaukseen sekä valvontaan. Tuotannon kymmenkertaistaminen kasvattaa materiaalivirtaa, joka edellyttää lisähenkilöstön palkkausta varastonohjaukseen, tuotannonohjaukseen ja -valvomiseen.

Hyvä esimerkki yrityksen B tuotannonvalvonnasta ja reagoitokyvystä on se, että yritys A on useaan otteeseen pyytänyt varastotilan siivousta ja järjestämistä, etteivät osat häviä tai levyt ruostu, kun ne ovat olleet kulkuväylillä tallottavina. Lopulta yrityksen A hitsausinsinööri siivosi ja järjesteli varaston itse. Samoin vastaanottotarkastuksia on pyydetty tehtäväksi, mutta toistaiseksi sitä ei tehdä vastaanotettaville osille tai levyille. Tuotannonohjauksen ja -valvonnan perustavan laatuisten ongelmien kehittäminen ei saa olla yrityksen A vastuulla.

Testijakson perusteella yrityksen B pitää pystyä tekemään yksityiskohtainen tuotantosuunnitelma kymmenkertaiselle tuotantomäärälle. Toistaiseksi tuotantosuunnitelmasta ei ole tehty kirjallista dokumenttia. Tuotantosuunnitelmaan kirjataan tarvittavat työkalut ja lait-

teisto, henkilöstö ja pätevyydet, tuotannon materiaalivirta ja varastointijärjestelmä sekä vastualueet. Tutkimuksen aikana tuotantosuunnitelma käytiin läpi suullisesti, mutta sen perusteella voidaan sanoa, että tarkempi suunnitelma tarvitaan. Testijakson aikana molemmat yritykset ovat kuitenkin saaneet kokonaisvaltaisen käsityksen tarvittavista tuotantovaatimuksista.

#### 6.6 Kokoonpanotelineiden/hitsauskiinnittimien kehitys

Tuotannon nopeuttamiseen ja hitsareiden työn helpottamiseen sekä toistettavuuden säilyttämiseen kehitettyjä kokoonpanotelineitä on testattu testijakson aikana. Kaikkia käytössä olevia kokoonpanotelineitä yhdistää se, että paikoitusvasteita ei ole koneistettu. Paikoitusvasteiden avulla pyritään helpottamaan hitsareiden työtä alikokoonpanojen paikoituksessa. Koneistamattomuus aiheuttaa pitkällä aikavälillä systemaattisia mittavirheitä niiden paikoituksessa. Sarjatuotantoa ajatellen kokoonpanotelineiden vasteet pitää jatkossa olla koneistettu mittoihin. Alaosan silloitustelineessä huomattiin, että joidenkin alikokoonpanojen korkeussuunnan paikoitusvasteet puuttuivat kokonaan. Testijakson aikana niiden korkeuspaikoitus tehtiin käsityönä.

Kokoonpanotelineet ovat saaneet pääasiassa positiivista palautetta, mutta tunnelikokoonpanon kokoonpanokiinnittimessä on havaittu puutteita. Tunnelikiinnitin ei ole pysynyt mitoissaan ja sen takia poistunut osittain käytöstä. Lisäksi tunnelikiinnittimen käyttö on suunniteltu nyt siten, että se pitää keskittää rakenteen alaosan silloitustelineen kanssa, joka pakottaa osien asentamisen silloitusvaiheessa. Tunnelikokoonpanon osat hankaloittavat rakenteen sisätiloissa tehtävää hitsausta, koska osat menevät joidenkin päittäishitsien päälle. Nykyinen toimintamalli on edellyttänyt päittäishitsien hitsaamista osien alle jäävältä matkalta ennen osien asennusta. Tunnelikokoonpano hankaloittaa myös hitsareiden liikkumista rakenteen sisällä hitsauksen aikana. Testijakson lopussa hitsarit ovat viimeistelleet tunnelikokoonpanon käsityönä, kun koko rakenne on ollut pyörityslaitteessa.

Hitsauksen helpottamiseksi ja varustelun yhtenäistämiseksi hitsauksen jälkeen tehtäväksi työvaiheeksi, tunnelikokoonpanon kiinnitystelinettä pitänee muokata modulaarisemmaksi ja keskityspaikkaa pitää muuttaa. Nykyinen tunnelikokoonpano ei mahdu pyörityslaitteessa olevan rakenteen aukoista sisään tai ulos. Uuden tunnelikiinnittimen keskitys pitää onnistua pyörityslaitteessa, joten uuden kiinnityspaikan pitää olla rakennetta hyödyntävä ratkaisu.

Rakenteen alaosan varusteluosille ei ole testijakson aikana ollut kokoonpanoa helpottavaa kiinnitintä tai telinettä.

Yritys A on saanut testijakson aikana tärkeää palautetta telineiden ja kiinnittimien käytettävyydestä ja puutteista. Koneistuksen puute on tiedostettu ja tuotteen X kokoonpanotelineet koneistetaan ennen seuraavaa testijaksoa tai varsinaisen tuotannon aloittamista. Tunnelitelineen ongelmat ovat myös tiedossa ja uuden telineen suunnittelu on aloitettu. Rakenteen alaosan varusteluosien kokoonpanoteline on myös suunnitteilla. Kun edellä mainitut puutteet saadaan kuntoon, toistettavuus varmistuu täydellisesti ja hitsareiden työ helpottuu huomattavasti.

## 7 YHTEENVETO

Tarkoituksenmukaisten laatuvaatimusten määrittäminen on haastavaa ilman tuotestandardia, mutta se on mahdollista, kun ymmärretään tuotteen käyttötarkoitus ja tunnetaan tuotantoon tarvittavat valmistusprosessit sekä muut tuotantoon liittyvät vaatimukset. Lähtökohtaisesti kaikki tehdyt valinnat on pystyttävä perustelemaan. Asetetut vaatimukset ohjaavat koko toimitusketjun toimintaa. Tutkimus osoittaa, että uusien projektien alussa ja varsinkin erikoistuotteiden kohdalla, alihankkijoiden valinta voi olla erittäin haastavaa. Alihankkijan dokumentoitu toiminta voi näyttää hyvältä, mutta todellisuus ei loppujen lopuksi vastaa sitä. Näin ollen voi syntyä luottamuspula, joka pitää huomioida raha-asioiden lisäksi. Luottamus perustuu yhdessä sovittuihin ja kirjattuihin sääntöihin, joiden noudattaminen on erittäin tärkeää tässä projektissa, koska tuotteelle ei ole tuotestandardia. Vastuu laatuvaatimusten osoittamisesta ja täyttymisestä jää kuitenkin loppujen lopuksi toimittajalle. Alihankkijoita ei voida uusien tuotteiden kohdalla arvioida kunnolla ilman esituotannollista koetta, jonka perusteella alihankkijan toiminnasta ja tuotteen tuotanto ongelmista saadaan tärkeää tietoa. Tässä tapauksessa perusteellinen testaaminen on kuitenkin erittäin kallista, joten ongelmiin ja puutteisiin pitää pystyä reagoimaan nopeasti. Toimittaja päättää, onko valitun alihankkijan toiminta sillä tasolla, että sen kehittämistä kannattaa jatkaa.

Mikäli kehitystä jatketaan, kehitys pitää olla tavoitteellista ja sitä pitää pystyä mittaamaan. Systemaattisen laadunhallintajärjestelmän avulla se on mahdollista. Vastuualueet ja toimintamallit pitää olla organisaatioiden sisällä selvät. Toiminnan mittaaminen on alihankkijan vastuulla ja arviointi toimittajalla. Objektiivisiin mittareihin sokea luottaminen ei riitä toiminnan arviointiin, koska hitsauslaatu on monen asian summa, joka syntyy loppujen lopuksi vain ammattitaitoisten hitsareiden ansiosta. Mittaamisen lisäksi tarvitaan toiminnan arviointitaitoa, joka on kehittyneen organisaation tunnusmerkki.

Tutkimuksen aloitusvaiheessa työohjeita oli vain tuotteen X alaosalle, mutta tutkimuksen aikana työohjeita on kehitetty siten, että ne kattavat pääkokoonpanon ja siihen hitsaamalla kiinnitettävät alikokoonpanot. Tuntimäärän kehitys on ollut osittain ohjeiden ansiota. Työohjeiden lisäksi on tehty katselmuspöytäkirja, johon on koottu tuotteen X tekniset ja toiminnalliset vaatimukset.

## LÄHTEET

Eisto, S. 2016. Yrittäjä vinkkaa: Alihankinta tuo eväät kasvuun. [Yrittäjät www-sivuilla]. [Viitattu 22.5.2019]. Saatavilla: <https://www.yrittajat.fi/uutiset/542265-yrittaja-vinkkaa-ali-hankinta-tuo-eva-at-kasvuun>

Kemppi Oy. 2016. Hitsauksen mekanisointi ja automatisointi. [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.5.2019]. Saatavilla PDF-tiedostona: <https://www.shy-hitsaus.net/LinkClick.aspx?fileticket=E%2FgdWKeTX%2B8%3D&tabid=4849>

Kiwa. 2019. Kiwan sertifiointi ja arviointi: varmista kilpailukykyysi. [Kiwa:n www-sivut]. [Viitattu 29.4.2019]. Saatavilla: <https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelutyyppe/sertifiointi-ja-arviointi/>

Lepola, P. & Ylikangas, R. 2016. Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet. Helsinki: Sanoma Pro Oy. 415 s.

Lindewald, C.-G. 2013. Hitsauksen laadun ja tehokkuuden parantaminen hyödyntäen standardia SFS-EN ISO 3834. Tampere: Tammerprint Oy. Teknologiateollisuus ry. 32 s.

Lukkari, J. 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Hitsaustekniikka. Nro 3. 8 s. [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.5.2019]. Saatavilla PDF-tiedostona: <http://docplayer.fi/2271268-Hitsaustalous-ja-tuottavuus.html>

Martskin, J. & Kumpulainen, J. 2017. Automatisoinnin ja mekanisoinnin sovelluksia MIG/MAG- ja TIG-hitsauksessa. 25 s. [verkkodokumentti]. [Viitattu 23.5.2019]. Saatavilla PDF - tiedostona: [http://www.woikoski.fi/sites/default/files/hitsaustekniikka\\_2\\_2017\\_automatisoinnin\\_ja\\_mekanisoinnin\\_sovelluksia.pdf](http://www.woikoski.fi/sites/default/files/hitsaustekniikka_2_2017_automatisoinnin_ja_mekanisoinnin_sovelluksia.pdf)

Moen, R. 2009. Foundation and history of the PDSA cycle. USA. 9 s.

Neuvonen, R. 2019. Diplomityöpalaverit. Viikot: 1, 6, 7, 9, 11, 13, 14, 16

Ovako. 2012. Ovakon terästen hitsaus. 62 s. [verkkodokumentti]. [Viitattu 8.5.2019]. Saatavilla PDF-tiedostona: [https://www.ovako.com/PageFiles/49/Ovakon\\_terasten\\_hitsaus\\_15724.pdf](https://www.ovako.com/PageFiles/49/Ovakon_terasten_hitsaus_15724.pdf)

Parkkola, T., Sirkkilä, H., Alaranta, T., Iso-aho, J., Kurki, N., Luostarinen, N. 2012. Tilaa verkostoille! Luovan talouden verkostojen määritelmiä, toimijoita ja solmukohtia. Huomastinen ammattikorkeakoulu. 205 s.

Peltola, A. 2008. Yritystoiminta muutoksessa – tilasto sopeutuu. [Tilastokeskuksen www-sivustolla]. [Viitattu 22.5.2019]. Saatavilla: [https://www.stat.fi/artikkelit/2008/art\\_2008-07-10\\_004.html?s=1](https://www.stat.fi/artikkelit/2008/art_2008-07-10_004.html?s=1)

Pettinen, R., Witting, L., Pullinen, A., Lindewald, C-G., Kortelainen, O. 2004. Hitsauksen materiaalioppi. 4. Painos. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y. 304 s.

Rantanen, H. 2016. Mitä tuottavuus on? Tuottavuus teollisuus yrityksissä – luentomateriaali. 5 s.

Retco Oy. 2019a. Kuva kiskottomasta mekanisointilaitteesta. [Retco Oy:n www-sivut]. [Viitattu 23.5.2019]. Saatavilla: <http://www.retco.fi/e/files/custom/a1d6bf136f886395095a2dfbad95f169.jpg>

Retco Oy. 2019b. Kuva kiskollisesta mekanisointilaitteesta. [Retco Oy:n www-sivut]. [Viitattu 23.5.2019]. Saatavilla: <http://www.retco.fi/e/files/custom/e0373081c8bd92f7458e2d3a5ed6e2e7.jpg>

Retco Oy. 2019c. Gecko Battery. [Retco Oy:n www-sivut]. [Viitattu 23.5.2019]. Saatavilla: [http://www.retco.fi/tuote-64-gecko\\_battery.php](http://www.retco.fi/tuote-64-gecko_battery.php)

Retco Oy. 2019d. Kuva vastuslämmittimestä. [Retco Oy:n www-sivut]. [Viitattu 23.5.2019]. Saatavilla: <http://www.retco.fi/e/files/custom/ed77eab0b8ff85d0a6a8365df1846978.jpg>

Saari, S. 2006. Tuottavuus: Teoria ja mittaaminen liiketoiminnassa. Tuottavuuden käsikirja. Vantaa: Dark Oy. 273 s.

SFS-EN 1011-2. 2001. Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsaussuositukset. Osa 2: Ferriittisten terästen kaarihitsaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 113 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 1090-1. 2012. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 1: Vaatimukset rakenteellisten kokoonpanojen vaatimustenmukaisuuden arviointiin. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 72 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 1090-2. 2012. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 197 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 3834-1. 2006. Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 1: Laatuvaatimustason valintaperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 17 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 3834-2. 2006. Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 2: Kattavat laatuvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 23 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 5817. 2014. Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 60 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 6520-1. 2008. Hitsaus ja lähiproessit. Geometrinen hitsausvirheiden luokittelu metallisissa materiaaleissa. Osa 1: Sulahitsaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 52 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 9001. 2015. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 76 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.



Siegmund. 2019. Heavy duty welding tables. [Siegmund www-sivut]. [Viitattu 23.5.2019].  
Saatavilla: <http://siegmundtables.com/img/slides/4.gif>

Suomen Galvanotekninen Yhdistys. 1994. Metallipinta. Jyväskylä: Gummernus Kirjapaino Oy. 110 s.

TWI 2000. Defects – Hydrogen cracking in steels – Identification. [TWI:n www-sivustolla]. [Viitattu 7.5.2019]. Saatavilla: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/defects-hydrogen-cracks-in-steels-identification-045>

Yritys A. 2018. Laatukäsikirja. 37 s.