

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

*Ilmari Viitaniemi*

**HITSAUSTUOTANNON KEHITTÄMINEN TUULIVOIMALAN TORNIN  
VALMISTUKSESSA**

Työn tarkastajat: Professori Jukka Martikainen

TkT Petteri Jernström

Työn ohjaaja: DI Petri Metsola

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Konetekniikan koulutusohjelma

Ilmari Viitaniemi

### **Hitsaustuotannon kehittäminen tuulivoimalan tornin valmistuksessa**

Diplomityö

2013

77 sivua, 42 kuvaa, 4 taulukkoa, 2 kaavaa ja 10 liitettä

Tarkastajat: Professori Jukka Martikainen  
Tkt Petteri Jernström

Hakusanat: Tuulivoima, tornin valmistus, jauhekaarihitsaus, tuotannonohjaus, layout  
Keywords: wind power, tower manufacturing, submerged arc welding, production planning and control, layout

Tuulivoima on Euroopassa nopeimmin kasvava energian tuotantomuoto. Tuulivoimateollisuuden arvioidaan kasvavan Suomessa huomattavasti lähivuosien aikana ennakoitun syöttötariffipäätöksen myötä, jolloin kilpailu alalla tulee kasvamaan.

Tavoitteena oli kehittää tuulivoimalan tornin valmistusta Levator Oy:ssä hitsaustuotantoa tehostamalla ja tuotannon ohjattavuutta parantamalla. Kehitystyöhön kuului toisen hitsauslinjan käyttöönoton suunnittelu ja ohjeiston laatiminen työnjohdolle.

Toisen hitsauslinjan käyttöönoton suunnittelun tarkoituksena oli suunnitella muutokset nykyiseen tuotantoon uuden linjan käyttöönoton mahdollistamiseksi. Suunnittelu aloitettiin valitsemalla hitsausprosessit, jonka jälkeen suunniteltiin laitetarpeet työvaihe-analyysien pohjalta. Tuotantolayout muutettiin nykyisestä funktionaalisesta tuotannosta tuotantosoluista koostuvaksi tuotantolinjaksi, jolloin materiaalien virtaus parani huomattavasti. Tuotannon ohjaustavaksi valittiin kapeikko-ohjaus.

Ohjeiston laatimisen tarkoituksena oli kerätä ja dokumentoida kaikki tuotannossa tarvittava tieto. Ohjeiston sisältää laadunohjaus, materiaalivirtojen ohjaus ja työohjaus osiot, joiden tarkoituksena on helpottaa työnjohtamista. Ohjeisto määrittelee yhtenäiset tuotannon toimintatavat, jolloin tuotannon ohjattavuus helpottuu.

Tavoitteet täyttyivät, kun toisen tuotantolinjan käyttöönoton vaatimat muutokset aloitettiin suunnitelmien mukaisesti syyskuussa 2009. Ohjeiston sisältö saatiin määriteltyä ja eri osioiden pilotit saatiin valmiiksi joulukuun aikana. Tuotannon ohjattavuus kehittyi huomattavasti ja samalla tuottavuus parani merkittävästi.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
Mechanical Engineering

Ilmari Viitaniemi

### **Welding production development at wind turbine tower manufacturing**

Master's thesis

2013

77 pages, 42 figures, 4 tables, 2 equations and 10 appendices

Examiners: Professor Jukka Martikainen  
Dr. (Tech.) Petteri Jernström

Keywords: wind power, tower manufacturing, submerged arc welding, production planning and control, layout

Wind power is fastest growing form of energy production technology in Europe. Finnish wind power industry is expected to grow significantly over the next years, when the estimated feed tariff decision, which will increase competition in the field.

The main objective was to develop welding production at wind turbine tower manufacturing in Levator Ltd by intensifying production and improving maneuverability. Development was planning second welding line commissioning and the introduction of planning guidance preparation work to management.

Second welding line of the introduction of the design was to design changes to current production, to enable the introduction of a new line. Planning began in selecting the welding process, after which the device was designed to work flow needs-assessments. Production layout changed from the current production of a functional production to cell comprising a production line in which the materials flowing improved significantly. Production management was chosen bottleneck system.

Instructions on the preparation were designed to collect and document all information needed for production. Instructions include quality control, material flow control and work control sections, designed to facilitate the work of leadership. Instruction set up uniform production practices, thus facilitating the production of maneuverability.

The objectives of this thesis fulfilled in September 2009, when the commissioning of a second production line changes required adapting the plans began. Instructions were defined and the content of the various components of pilots was completed in December. Maneuverability of production developed significantly and at the same time, productivity improved significantly.

## **ALKUSANAT**

Diplomityö on tehty Hangossa Levator Oy:n konepajalla vuoden 2009 toukokuun ja vuoden 2010 tammikuun välisenä aikana. Työn taustalla oli yrityksen tuotannonohjauksen kehitysprojekti ja investointipäätös uudesta tuulivoimaloiden tornilohkojen kokoonpanolinjasta.

Diplomityön tarkastajina ovat toimineet professori Jukka Martikainen ja TkT Petteri Jernström. Heille haluan esittää kiitokset erinomaisista kommentteista ja neuvoista, jotka avasivat uusia näkökulmia ongelmien ratkaisemiseksi.

Suuri kiitos kuuluu myös työn ohjaajalle DI Petri Metsolalle, joka mahdollisti työn tekemisen vapaasti ja antoi tarvittavan tuen työn etenemiselle. Haluan myös kiittää IWT Peter Seleniusta ja koko Levator Oy:n henkilökuntaa, jotka perehdyttivät minut tuulivoimalan tornien valmistukseen.

Erityinen kiitos Kaisalle ja muulle perheelle, jotka jaksoivat uskoa, tsemppata ja tukea opiskelujani.

Työn arvostelu ja opintojen loppuun saattaminen venyivät syksyyn 2013 rästissä roikkuneen ruotsin kurssin vuoksi. Työssä esitetyt kehitystoimenpiteet on toteutettu ja todettu onnistuneiksi, mutta tuulivoima-alan hiljeneminen alkoi keväällä 2010 johtuen syöttötariffipäätöksen viivästymisestä ja maailman laajuisesta taantumasta. Alan ongelmien vuoksi, uudella kokoonpanolinjalla tehtiin ainoastaan kaksi tuulivoimalan tornia, jonka jälkeen linjaa on hyödynnetty muiden vastaavien rakenteiden valmistuksessa. Kokoonpanolinja käy erinomaisesti myös säiliöiden ja muiden sylinterimäisten kappaleiden valmistukseen, joka on avannut uusia mahdollisuuksia mm. Norjan offshore-markkinoille. Uusille markkinoille pääsyn edellytyksenä oli uuden toiminnanohjausjärjestelmän rakentaminen ja sertifiointi, jonka toimeenpano oli jatkoa diplomityössä esitetyille ohjeistoille.

Espoossa 22.9.2013

Ilmari Viitaniemi

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn tavoitteet .....	1
1.2	Työn rajaukset .....	2
1.3	Yritysesittely .....	2
<b>I</b>	<b>TEORIAOSA</b> .....	<b>4</b>
2	TUULIVOIMALAN TORNIN VALMISTUS .....	4
2.1	Tuulivoimalan tornin rakenne .....	4
2.2	Valmistusvaiheet .....	7
2.2.1	Laippojen valmistus .....	7
2.2.2	Tornirenkaiden valmistus .....	8
2.2.3	Kokoonpano .....	9
2.2.4	Pintakäsittely .....	11
2.2.5	Varustelu .....	12
2.3	Hitsausprosessit .....	12
2.3.1	Jauhekaarihitsaus .....	13
2.3.2	MIG/MAG-hitsaus .....	19
2.4	Hitsauksen laadunvarmistus .....	20
2.4.1	Yleisiä laatuvaatimuksia .....	21
2.4.2	Erytispiirteet .....	22
2.4.3	Tyypilliset laadunvarmistusmenetelmät .....	22
3	TUOTANNONOHJAUS .....	26
3.1	Tuotannonohjauksen osa-alueet .....	27
3.1.1	Tuotannonsuunnittelu .....	27
3.1.2	Materiaaliohjaus .....	28
3.1.3	Valmistuksen ohjaus .....	29

3.1.4 Laadunohjaus .....	29
3.2 Tuotannonohjaukseen vaikuttavia tekijöitä .....	31
3.2.1 Tuotantomuoto .....	31
3.2.2 Layout .....	32
3.2.3 Ohjaustapa.....	34
<b>II HITSAUSTUOTANNON KEHITTÄMINEN .....</b>	<b>37</b>
<b>4 NYKYTILANTEEN KUVAUS JA ANALYSOINTI .....</b>	<b>37</b>
4.1 Tuulivoimalan tornien valmistus Levatorilla .....	37
4.2 Layout.....	39
4.3 Tuotatokapasiteetti .....	40
4.4 Tuotannon analysointi .....	42
<b>5 TOISEN HITSAUSLINJAN KÄYTTÖÖNOTON SUUNNITTELU .....</b>	<b>44</b>
5.1 Hitsausprosessien valinta .....	44
5.1.1 Liitos- ja railomuodot.....	45
5.1.2 Valitut hitsausprosessit ja niiden käyttökohteet.....	47
5.2 Laitetarpeiden määrittely .....	47
5.3 Uuden layoutin suunnittelu .....	49
5.3.1 Layoutin karkeasuunnittelu .....	50
5.3.2 Layoutin mallintaminen.....	52
5.4 Tuotannonohjaus .....	56
5.4.1 Ohjaustavan valinta.....	58
5.4.2 Puskurivarastojen koon määrittäminen .....	59
<b>6 OHJEISTON LAATIMINEN .....</b>	<b>60</b>
6.1 Materiaalivirtojen ohjaus .....	60
6.1.1 Puskurivarastot .....	61
6.1.2 Ajoitussäännöt .....	61
6.2 Laadunohjaus .....	63

6.2.1	Laatukäsikirja .....	63
6.2.2	Tarkastustoiminta .....	64
6.2.3	Luovutuskatselmukset.....	65
6.2.4	Poikkeamat .....	65
6.3	Työnohjaus .....	66
6.3.1	Työvaiheohjeet.....	66
6.3.2	Hitsausohjeet .....	67
6.3.3	Osaamismatriisi.....	68
7	KEHITYSTOIMENPITEIDEN ANALYSOINTI.....	69
7.1	Toisen hitsauslinjan suunnittelun analysointi .....	69
7.2	Ohjeiston analysointi.....	70
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	71
9	JATKOKEHITYSTOIMENPITEET .....	72
10	YHTEENVETO.....	73
	LÄHTEET .....	75

## KÄYTETYT LYHENTEET

2D	Two dimensional, kaksiulotteinen
3D	Three dimensional, kolmiulotteinen
AC	Alternating current, vaihtovirta
CAD	Computer-aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
DC	Direct current, tasavirta
EC	European Commission
EN	European Standards (ranska: norme, saksa: Norm)
EU	Euroopan unioni
EWTC	European Wind Turbine Certification
FIFO	First in, First out
IEC WT 01	International Electrotechnical Commission System for Conformity Testing and Certification of Wind Turbines-Rules and procedures
ISO	International Organisation for Standardization
IWS	International Welding Specialist, Kansainvälinen hitsausneuvoja
IWT	International Welding Technologist, Kansainvälinen hitsausteknikko
JOT	Just on time, juuri oikeaan tarpeeseen
MAG	Metal-arc active gas welding
MEUR	Miljoona euroa
MHZ	Megahertsi
MIG	Metal-arc inert gas welding
MW	Megawatti



NDT	Non-destructive testing, rikkomaton aineen- koetus
PA	Jalkoasento
PB	Alapiena-asento
SAW	Submerged arc welding
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threat
TIG	Tungsten Inert Gas Arc Welding
UV	Ultavioletti

# 1 JOHDANTO

Uusiutuvan energian käytön lisääminen on vallitseva trendi maailmalla. Euroopassa nopeimmin kasvava energian tuotantomuoto on tuulivoima, jonka osuus rakennetusta sähköntuotantokapasiteetista oli vuonna 2012 26 prosenttia. Tuulivoimateollisuus on sijoittunut Euroopassa alueille, joissa tuulienergian tuotanto-olosuhteet ovat suotuisat. Tuotanto-olosuhteisiin vaikuttaa maantieteellisten tuuliolosuhteiden lisäksi myös valtioiden myöntämät tukitoimet, kuten syöttötariffit. Suomessa työ- ja elinkeinoministeriö valmistele tällä hetkellä syöttötariffia ja vuonna 2009 julkaistu tuuliatlas paljasti Suomen tuuliolosuhteiden olevan samaa tasoa Espanjan kanssa, jonne on kuitenkin rakennettu 117 -kertainen määrä tuulivoimaa Suomeen verrattuna. Maamme pitkän aikavälin ilmastostrategian mukaan tuulivoimaa pitäisi olla rakennettu 2000 MW vuoteen 2020, kun nykyinen taso on noin 150 MW. Edellytyksen tuulivoimateollisuuden kasvulle Suomessa ovat siis merkittävät.

## 1.1 Työn tavoitteet

Diplomityön tavoitteena on tehostaa tuulivoimaloiden tornien valmistusta Levator Oy:ssä kehittämällä hitsaustuotantoa ja tuotannonohjausta. Tornien valmistusmäärän odotetaan kasvavan nopeasti lähivuosien aikana, jolloin tuotannon laajentues- sa myös tuotannonohjauksen on oltava tehokkaampi. Työn alkaessa kesäkuussa 2009 Levator teki investointipäätöksen toisesta tornilohkojen hitsauslinjasta.

Ensimmäinen päätavoite on suunnitella toisen hitsauslinjan käyttöönottoon liittyvät toimenpiteet. Tavoitteena on määritellä tuotannon alkupään laitetarpeet, sekä laatia uusi layout ja arvioida materiaalivirtojen muutokset.

Toinen päätavoite on luoda yritykselle ohjeisto tuotannonohjausta varten. Nykytilanteessa yhden tuotantolinjan ohjaus on onnistunut nykyisellä tuotannonohjausjärjestelmällä, mutta uusien tuotantolinjojen käyttöönotto edellyttää tuotannonohjausjärjestelmän kehittymistä. Useiden tuotantolinjojen ohjaus vaatii toimiakseen

selkeän ohjeiston työnjohdolle, joka auttaa myös perehdyttämään uudet työnjohtajat työhönsä.

Työn muut tavoitteet ovat: laadun kehittäminen, sekä tilankäytön tehostaminen ja läpäisyajan lyhentäminen tuotannonohjauksen avulla. Laadun kehittämisessä tavoitteena on saada ”kerralla valmiiksi” – periaate osaksi yrityskulttuuria. Tuotannonohjauksen avulla keskeneräisen tuotannon määrä voidaan optimoida, minkä ansiosta tuotantotiloja vapautuu välivarastoinnista tuotannon käyttöön. Oikean ajoituksen avulla on mahdollista myös lyhentää läpäisyaikaa.

## 1.2 Työn rajaukset

Tuulivoimaloiden tornien valmistuksen ja tuotannonohjauksen perusasiat käsitellään kirjallisuuskatsauksessa. Käytännön osuudessa esitellään Levator Oy:n nykyinen tuotanto ja tuotannonohjaustavat. Nykytilanteen kartoituksen jälkeen suunnitellaan ensin toisen hitsauslinjan käyttöönotto, jonka jälkeen laaditaan tuotannonohjausta varten ohjeisto.

Tuotanto rajataan tässä työssä seuraavasti:

- Valmistetaan tuulivoimalan tornilohkoja ja perustakappaleita.
- Tornit putkirakenteisia terästoreja
- Valmistus materiaalien vastaanotosta loppuvarusteluun, pääpaino teräsrakenteiden valmistuksessa.
- Käytössä nykyiset tuotantolaitteet ja –tilat, sekä mahdolliset projektin aikana tapahtuvat laajennukset.
- Tuotanto on projektituotantoa.

## 1.3 Yritysesittely

Levator Oy (kuva 1) on Hangossa toimiva raskaiden teräsrakenteiden valmistukseen erikoistunut konepaja. Yrityksellä on kolme liiketoiminta-aluetta: nostureiden valmistus, tuulivoimaloiden tornien valmistus sekä nostureiden siirrot. Päätuotteita

ovat raskaat nosturit, joita valmistetaan pääasiassa satamiin ja telakoille. Tuuli-voimalan torneja ja perustoja yritys on valmistanut vuodesta 2004 alkaen.



Kuva 1. Levatorin tehdasalue: käynnissä kahden konttinosturin lastaus

Levator Oy:n omistajina ovat yrityksen johto (80 %) ja Konecranes (20 %). Työntekijöitä Levatorilla on noin 115 ja teräsrakenteita valmistetaan noin 5000 t vuodessa. Liikevaihto on ollut keskimäärin noin 11 Meur.

Levatorin visiona on olla suosittu partneri omilla liiketoimintasektoreillaan itämeren alueella. Yrityksen strategian muodostavat kolme peruselementtiä kuvan 2 mukaisesti: Laadukkaat tuotteet ja palvelut, riittävät resurssit, sekä tuottavat ja joustavat prosessit.



Kuva 2. Levatorin strategian peruselementit

Yrityksellä on käytössään 9000 m<sup>2</sup> tuotantohalli ja 1200 m<sup>2</sup> maalaamo, sekä oma satama 8 m syvällä väylällä. Toimitilat sijaitsevat Konecranesin 20 ha tontilla. Nostokapasiteettia Levatorilla on 200 t pukkinosturilla, 100 t siltanostureilla ja poikkeusjärjestelyin pystytään nostamaan jopa 410 t. Hitsausprosesseista käytössä ovat SAW-, MIG/MAG-, TIG-, puikko-, CO<sub>2</sub>-laserhitsaus sekä laser-MIG/MAG-hybridihitsaus. Leikkausprosesseina käytössä ovat plasma-, poltto- ja laserleikkaus.

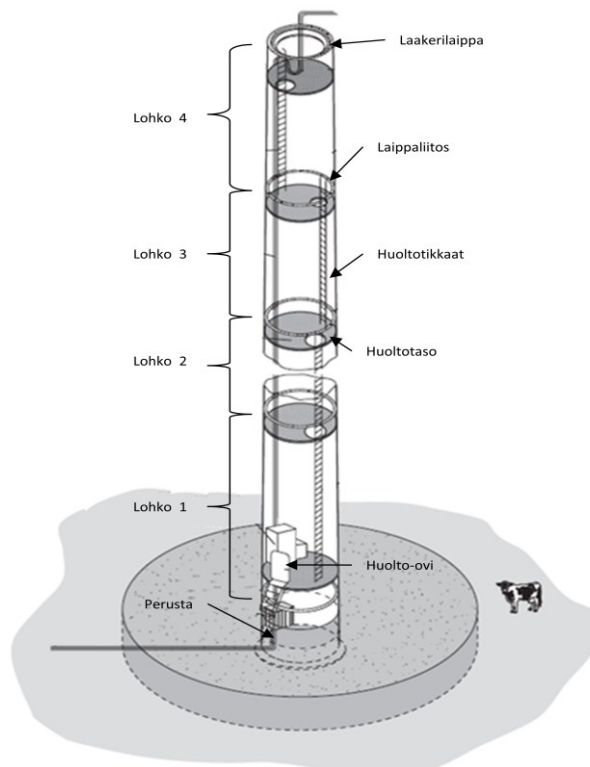
## **I TEORIAOSA**

### **2 TUULIVOIMALAN TORNIN VALMISTUS**

Tuulivoimalan tornin valmistuksesta käydään ensin läpi tornin rakenne, jonka jälkeen perehdytään tornin valmistusvaiheisiin ja hitsausprosesseihin. Lopuksi tutustutaan tornin valmistuksen laadunvarmistukseen hitsaustekniikan näkökulmasta.

#### **2.1 Tuulivoimalan tornin rakenne**

Tuulivoimalan tornin rakenne on esitetty kuvassa 3. Torni koostuu yleensä kahdesta tai useammasta tornilohkosta ja perustasta. Tornilohkon kokoa rajoittaa käytännössä kuljetuksen painolle ja halkaisijalle asettamat vaatimukset. Tornilohkot liitetään toisiinsa laippaliitoksilla ja torni varustellaan huoltotasoilla ja –tikkailla sekä lennonestovaloin. Torni liittyy konehuoneeseen laakeroinnin avulla, joka mahdollistaa konehuoneen kääntymisen tuulen suuntaan.



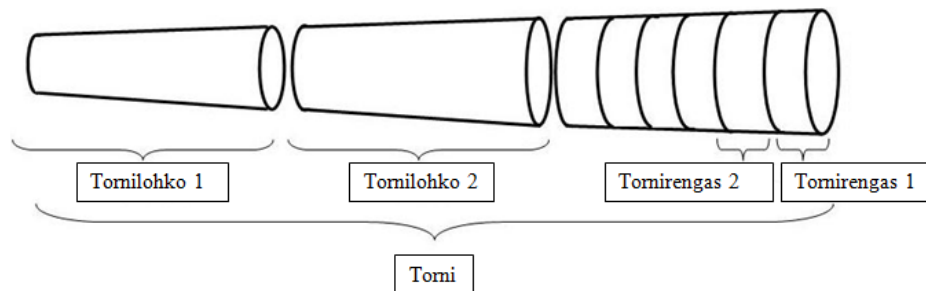
Kuva 3. Tuulivoimalan terästornin rakenne (mukaillen: Hau E. 2005, 433)

Putkirakenteiset tornit on valmistettu teräksestä, betonista tai niiden yhdistelmästä (hybridi). Euroopassa yleisin tornimateriaali on teräs. Terästornin tärkein etu on nopea pystytysaika asennuspaikalla. Torni on tuulivoimalan painavin komponentti, tyypillisesti 40-65 % koko voimalan painosta. Suuren painon vuoksi materiaalikustannusten osuus tornin valmistuskustannuksista on merkittävä. (Ancona D, McVeigh J. 2001, 1-3)

Terästorni-rakenne soveltuu nykyisin korkeintaan noin 100 m korkeisiin torneihin. Korkeammissa torneissa alimman tornilohkon paino ja halkaisija ovat niin suuria, että kuljetuskustannukset nousevat liian korkeiksi (Hau E. 2005, 425). Terästornit tulisi valmistaa mahdollisimman lähellä pystytyspaikkaa. Yli 1000 km kuljetusmatkoilla tornin valmistus paikanpäällä betonivaluna on usein kannattavampaa. (Danish Wind Industry Association 2003). Tornien korkeuksien kasvaessa ja kuljetusongelmien lisääntyessä on kehitetty ns. hybriditorneja, joiden alaosa on betonia ja yläosa terästorni. (Brughuis F.J. 2006, 1-3)

Tornilohko koostuu tornirenkaista, jotka liitetään toisiinsa hitsaamalla kuvan 4 mukaisesti. Tornilohkojen pätyihin hitsataan laipat, joiden avulla tornirenkaat liitetään

toisiinsa. Tornirenkaissa käytetään tyypillisesti S355-lujuusluokan rakenneteräksiä ja materiaalinpaksuudet tornirenkaissa vaihtelevat 10–50 mm välillä siten, että tornin seinämävahvuus ohenee huippua kohti. Ohennuksella ja kartiomaisella rakenteella pyritään painon säästöön ja rakenteen jäykistämiseen. (Hau 2005, 430.)



Kuva 4. Tornirengas→tornilohko→Torni (mukaillen: Ekenberg K. 2007, 48)

Tornin perustakappaleeseen kohdistuu tuulivoimalan suurimmat kuormitukset. Perustakappale koostuu kahdesta paksusta laipasta ja näitä yhdistävästä rengasmaisesta vaipasta. Suurten kuormitusten vuoksi perustakappaleissa käytetään paksuja aineenvahvuuksia. Suurissa voimaloissa perustakappaleen päätylaipat voivat olla yli 120 mm paksuja. Perustakappale liittyy alimpaan tornilohkoon ruuvi-liitoksella ja perustakappaleen alaosa valetaan tyypillisesti perustan betoniosan sisään. Kuvassa 5 on esitetty tuulivoimalan perustakappaleen asennus. (Hau E. 2005, 445).



Kuva 5. Perustakappale asennettuna ennen perustan valutöitä.(Hau E. 2005, 445).

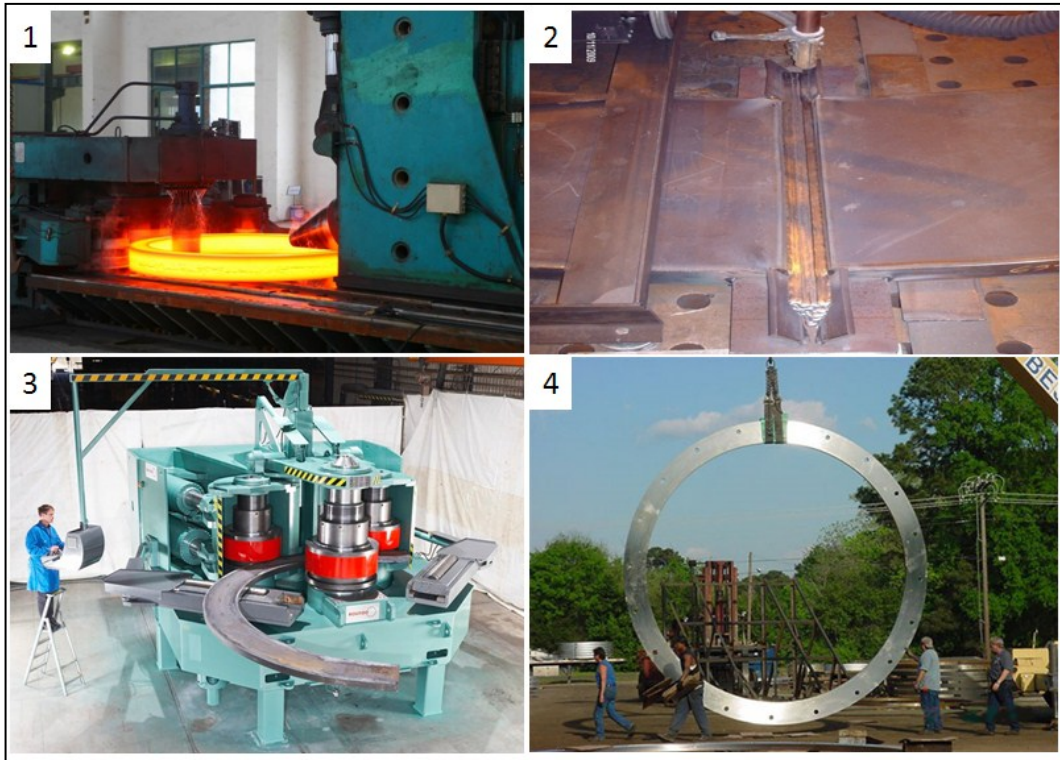
## 2.2 Valmistusvaiheet

Tornilohkot ja perustakappaleet ovat perusrakenteeltaan samanlaisia; ne koostuvat päätylaipoista ja yhdestä tai useammasta tornirenkaasta, jotka liitetään kokoonpanossa toisiinsa hitsaamalla. Kokoonpanon jälkeen tornilohkot ja perustakappaleet pintakäsitellään ja varustellaan. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi laipan valmistus, tornirenkaan valmistus ja kokoonpano, sekä esitellään vaihtoehtoisia työmenetelmiä valmistusvaiheiden suorittamiseen.

### 2.2.1 Laippojen valmistus

Laippojen päämitat ovat tyypillisesti seuraavat: ulkohalkaisija 3000–5000 mm, leveys 150–700 mm ja paksuus 40–150 mm. Laipat voidaan valmistaa yhdestä tai useammasta osasta. Jos laippa valmistetaan yhdestä osasta, valmistusmenetelminä voidaan käyttää taontaa, valamista tai muovaamista muotorautakoneilla. Laippa voidaan valmistaa myös useasta osasta, jolloin laipan sektorit polttoleikataan levystä ja hitsataan yhteen. Laipan pinnat ja reikäkehät koneistetaan tarpeen mukaan. Laipan mahdollisia valmistusvaiheita on esitetty kuvassa 6. (Hau E. 2005, 430-432) (Comeq. 2009)



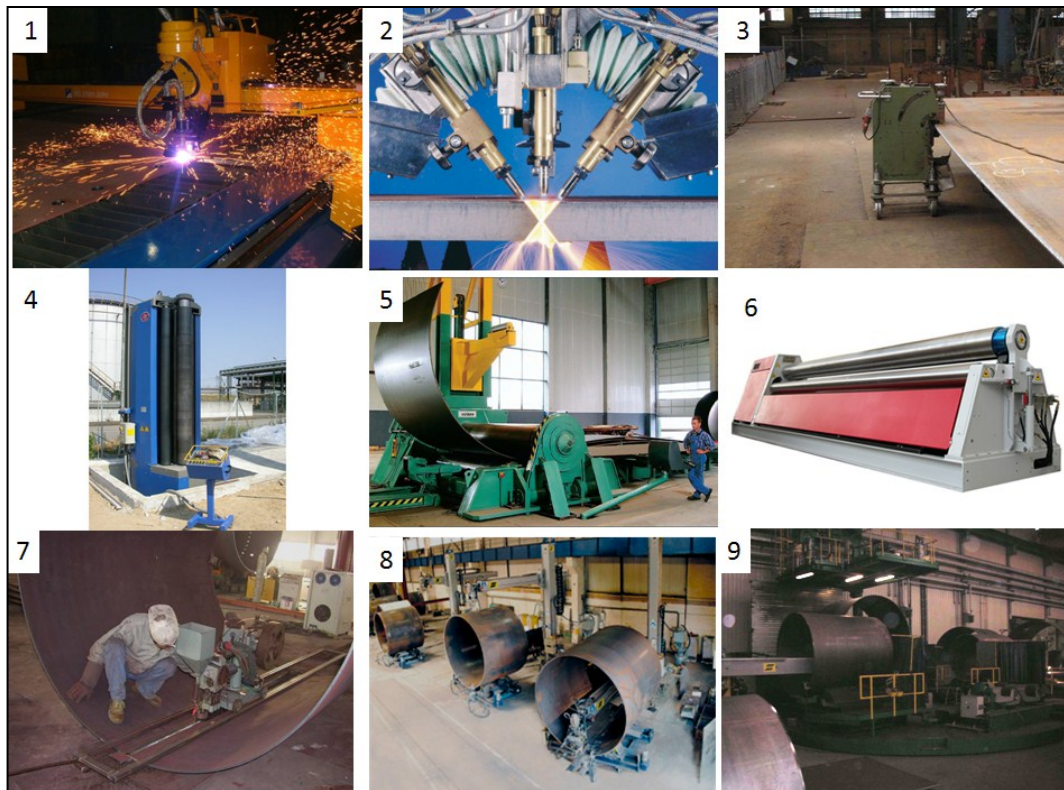


Kuva 6. Laipan valmistusvaiheita: 1. laippa-aihion taonta (Zenkung), 2 Laipan hitsaus sektoreista (Levator), 3. Laippa-aihion rullamuovaus (Comeq), 4 Valmiin koneistetun laipan siirto (Feuer Stahl).

### 2.2.2 Tornirenkaiden valmistus

Tornirenkaat valmistetaan muotoon leikatuista levyistä, jotka pyöristetään renkaiksi levynpyöristyskoneilla eli levymankeleilla. Pyöristetyn rengasaihion pituusliitos hitsataan, jolloin saadaan yhtenäinen tornirengas. Tornirenkaiden levyt leikataan ennen pyöristämistä poltto- tai plasmaleikkauskoneilla. Leikkauksen yhteydessä levyihin valmistetaan viisteet hitsausta varten termisillä leikkausmenetelmillä tai lastuamalla. Levyt pyöristetään 2-, 3- tai 4-telaisilla levynpyöristyskoneilla ja tornirenkaan pituushitsi silloitetaan. Euroopassa on alettu käyttää levyjen pyöristykseen myös leveitä levynpyöristyskoneita, jolloin levyt hitsataan ennen pyöristystä levylakanoiksi. Silloitetun tornirenkaan pituushitsi hitsataan yleensä mekanisoidusti jauhekaariprosessilla. Mekanisointi voidaan toteuttaa esimerkiksi hitsaustraktorilla tai -tornilla. Tornirenkaiden halkaisija on tyypillisesti 1500-4200 mm, pituus 1000-

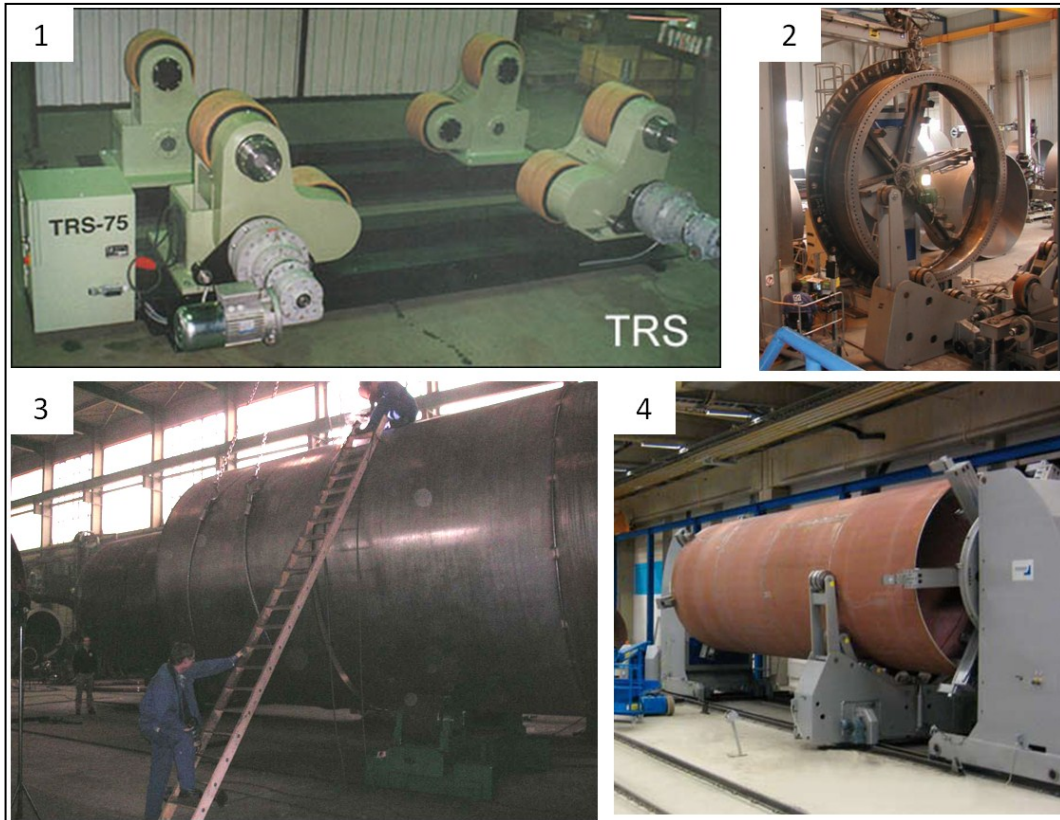
3000 mm ja seinämävahvuus 10-50 mm. Kuvassa 7 on esitelty kuvia tornirenkaiden valmistusvaiheista. (Hau E. 2005, 430-432)



Kuva 7. Tornirenkaan valmistusvaiheita: 1. Plasmaleikkaus (Sureweld), 2. Viisteen polttoleikkaus (Esab), 3. Viisteen valmistus lastuamalla (EWP) 4. 3-telainen pystylevynpyörityskone (Hellerson), 5. 3-telainen levynpyörityskone ylätuella (DS-SM), 6. 4-telainen 6 m leveä levynpyörityskone (Davi), 7. Pituushitsaus jauhekaaritraktorilla (SAM), 8. Pituushitsaus jauhekaaritornilla (Esab), 9. Pituushitsauskaruselli (SAM).

### 2.2.3 Kokoonpano

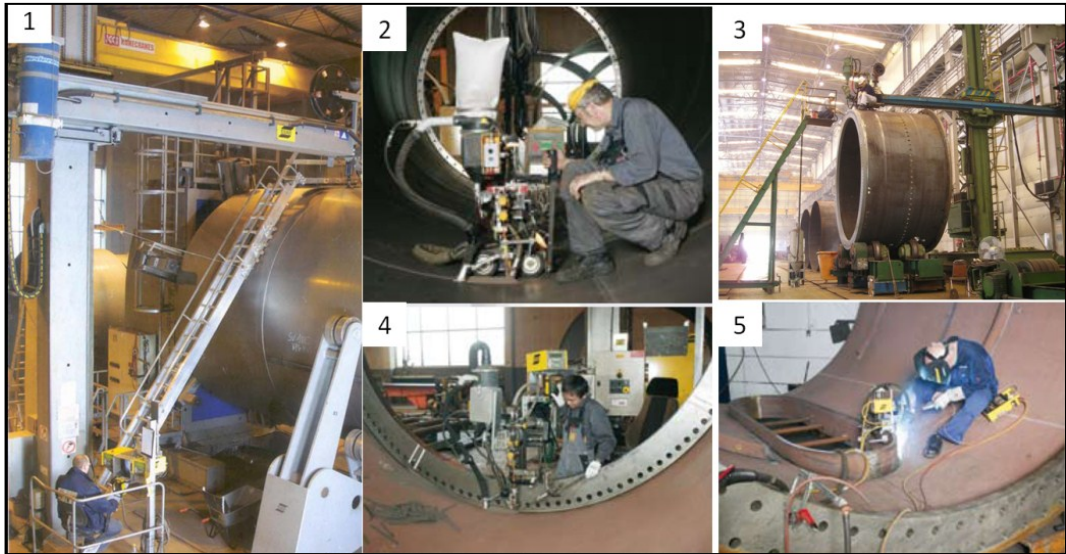
Kokoonpanossa tornirenkaista ja laipoista kootaan tornilohkoja ja perustakappaleita. Tornirenkaiden sovitustyö ja silloitus tehdään yleensä hydraulisen sovitus- tai pyöritysrullaston päällä. Laipat asennetaan tornirenkaisiin tavallisesti tasojen päällä tai pyörityspöytien avulla. Kokoonpanon sovitustyössä käytettäviä laitteita on esitetty kuvassa 8. (Ekenberg K. 2007, 70-72)



Kuva 8. Kokoonpanon sovitustyössä käytettäviä laitteita: 1. Pyöritysruullasto (Taltor), 2. Laipan sovitus pyörityspöydällä (DS-SM), 3 Tornirenkaan sovitus pyöritysruullaston ja nosturin avulla (SAM), 4 Tornirenkaan sovitus hydraulisen sovitusrullaston ja vastapöytäparin avulla (Pemamek).

Sovitus- ja silloitustyön jälkeen tornilohkojen ja perustakappaleiden kehähitsit hitsataan mekanisoidusti tai automatisoidusti. Hitsauksen aikana hitsauspää on tavallisesti paikallaan ja hitsattavaa kappaletta pyöritetään pyöritysruullaston avulla. Hitsauspää voi olla kiinnitettynä hitsauspuomiin, -traktoriin tai torniin. Hitsattuun tornilohkoon asennetaan varustelunastat, sekä tarpeen mukaan myös lennonestovalojen kaulukset ja oven karmi. Kokoonpanohitsaukseen käytettäviä laitteita on esitelty kuvassa 9. (Ekenberg K. 2007, 89-90)

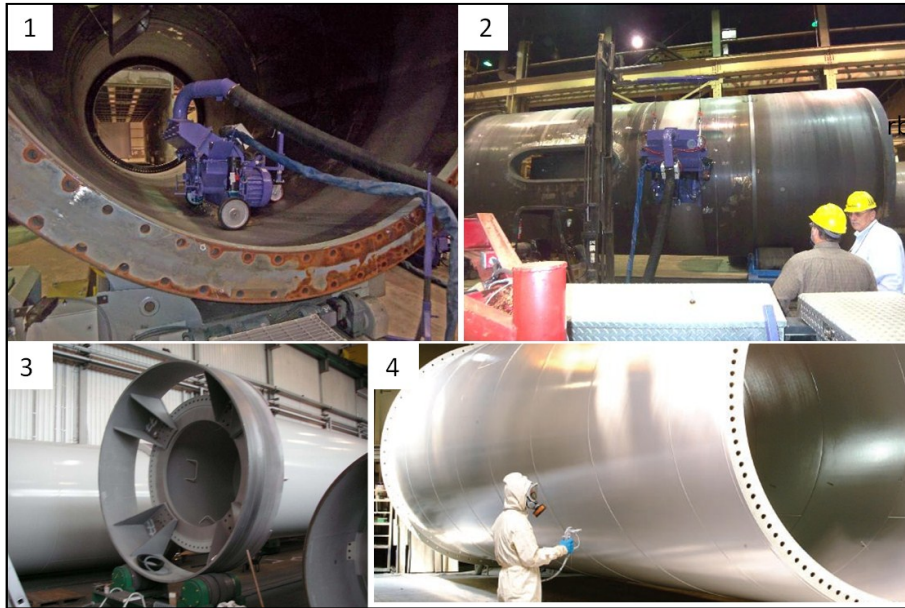




Kuva 9. Kokoonpanohitsauksissa käytettäviä laitteita: 1. Jauhekaarihitsaustorni kameravalvonnalla (Esab), 2. Sisäpuolinen kehähitsaus jauhekaaritraktorilla (Esab). 3. Ulkopuolinen kehähitsaus jauhekaarihitsaustornilla (Speco), 4. Laipan hitsaus jauhekaaritornilla (Esab), 5 Oven karmin mekanisoitu hitsaus (Esab).

#### 2.2.4 Pintakäsittely

Tornilohkot ja perustakappaleet puhdistetaan ennen pintakäsittelyä raekuulapuhaltamalla. Torneissa käytetään yleisesti sinkkipinnoitteita maalin alla, koska tornit on sijoitettu usein vaativiin korroosio-olosuhteisiin, kuten meri-ilmastoon. Tornin osiin maalataan tyypillisesti vähintään kaksi maalikerrosta. Tornilohkojen puhdistukseen ja pinnoittamiseen käytettyjä laitteita on esitetty kuvassa 10. (Hau E. 2005, 432)



Kuva 10. Tornin pintakäsittelylaitteita: 1. Raekuulapuhallustraktori (RBW), 2. Raekuulapuhalluksen mekanisointilaite (RBW), 3. Pintakäsittelyn pyörityslaite (SAM), 4. Tornilohkon ruiskumaalaus (SAM)

### 2.2.5 Varustelu

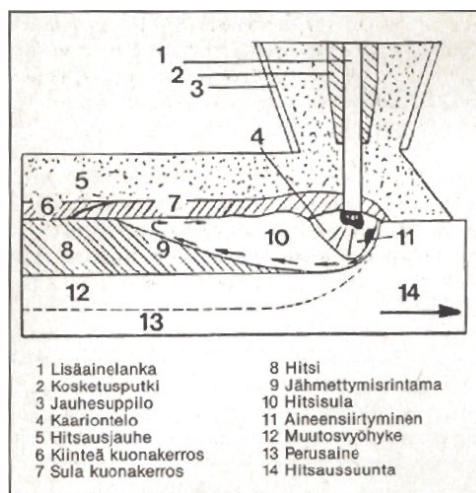
Pintakäsittelyn jälkeen tornilohkot ja perustakappaleet varustellaan. Varustelussa kiinnitetään hoitotasot, tikkaat, hissi, kaapeloinnit jne. Varustelussa käytetään apuna pyörityslaitteita ja henkilönostimia. Varustelun jälkeen perustakappaleisiin ja tornilohkoihin kiinnitetään kuljetusosat, kuten kiinnityskorvakkeet ja kuljetustuet. (Ekenberg K. 2007, 84)

### 2.3 Hitsausprosessit

Tornin valmistuksen päähitsausprosessi on jauhekaarihitsaus sovelluksineen. Jauhekaarihitsauksen käyttöä puoltavat helppo mekanoitavuus ja hyvä tuottavuus, sekä soveltuvuus paksuille materiaaleille. Jauhekaarihitsauksen sovellutuksilla pyritään lisäämään hitsiaineentuottoa lisäämättä lämmöntuontia, joka on yleensä rajoittava tekijä tornin hitsauksessa. Toinen tornin valmistuksessa yleisesti käytettävä hitsausprosessi on MIG/MAG-hitsaus, jota käytetään silloituksessa, pohjapalkojen hitsauksessa ja varustelussa.

### 2.3.1 Jauhekaarihitsaus

Jauhekaarihitsaus (SAW=Submerged Arc Welding=12) on kaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa kappaleen ja lisäaineen välissä hitsausjauheen ympäröimässä tilassa. Valokaari tuottaa hitsaamiseen tarvittavan lämmön sulattaen perus- ja lisäaineen. Hitsauksen aikana osa hitsausjauheesta sulaa muodostaen kuonakerroksen hitsin päälle. Hitsausjauhe suojaa hitsisulaa ympäröivältä atmosfääriltä, eristää lämpöä ja estää haitallisen uv-säteilyn leviämisen. Kuvassa 11 on esitetty jauhekaarihitsauksen periaate. (Lukkari J. 2002, 12)



kuva 11. Jauhekaarihitsauksen periaate (Lukkari J. 1986, 4)

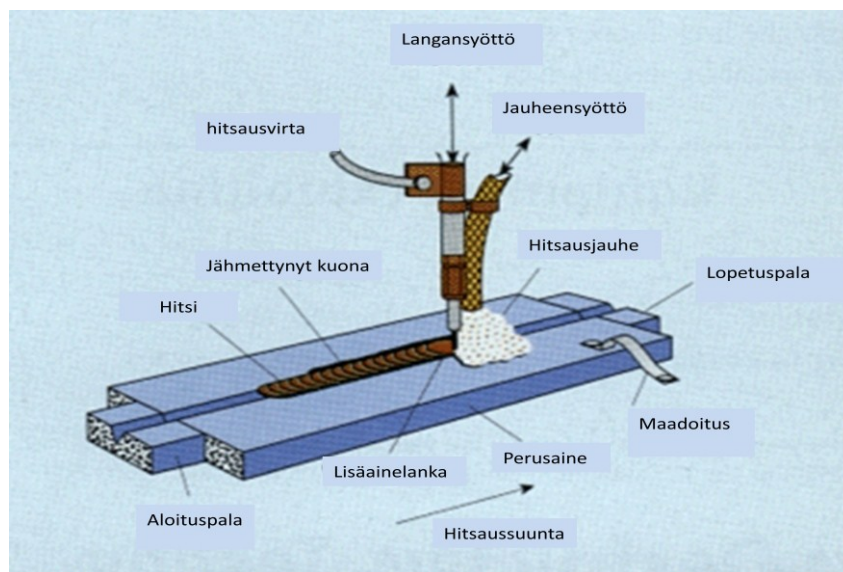
Jauhekaarihitsaus soveltuu hyvin lähes kaikille hitsattaville teräksille, lukuun ottamatta teräslaatuja, joiden hitsauksessa lämmöntuonti on rajattu alle 1 kJ/mm. Tyypillisiä hitsattavia materiaaleja ovat seostamattomat teräkset, hienoraeteräkset, kuumalujat teräkset, lujat teräkset ja ruostumattomat teräkset. Menetelmää käytetään yleisesti paksujen levyjen hitsaukseen. Tyypillisimmät aineenvahvuudet ovat 10-80 mm, mutta erikoissovelluksin on mahdollista hitsata jopa 800 mm aineenvahvuuksia. (Lukkari J. 1986, 8)

Yleisimmät liitosmuodot ovat päittäis- ja pienaliitos. Jauhekaarihitsaus soveltuu hyvin jalko(PA)- ja alapiena(PB)-asentoihin, joissa hitsisulan ja hitsausjauheen hallinta on helppoa. Erikoisjärjestelyin voidaan hitsata myös vaaka-asennossa, jolloin jauheen pysyvyys järjestetään tuennan avulla. Jauheen pysyvyysongelmien ja suuren hitsisulan vuoksi jauhekaarihitsaus ei sovellu asentohitsaukseen. Hitsien tulee olla suoraviivaisia ja vaakatasossa, mutta myös ympyrän kaarien hitsaus

onnistuu, jos käytössä on hitsauspään tai kappaleen liikuttamiseen soveltuva laitteisto. (Lukkari J. 2002, 31-32)

Jauhekaarhitsauksen etuja ovat suuri hitsiaineen tuotto, hyvä tunkeuma, suuri hitsausnopeus, hyvä laatu, laaja parametrien käyttöalue, hyvä hitsiainevalikoima, helppo mekanisoitavuus, laaja valikoima tehokkaita prosessisovelluksia, ei työterveydellisiä haittoja(savu, säteily, melu) ja vakaa valokaari vetoisissa olosuhteissa (valokaari jauheen alla). Jauhekaarhitsauksen rajoituksia ovat heikot asentohitsausominaisuudet, jauheen käsittely, suuri lämmöntuonti, kalliit hitsauslaitteinvestoinnit, tiukat railonvalmistustoleranssit, huono soveltuvuus monimuotoisille ja ahtaalle kohteille. (Lukkari J. 2002, 33)

Yksilankahitsaus on ylivoimaisesti yleisin jauhekaariprosessi ja sitä voidaankin pitää jauhekaarhitsauksen perusversiona. Yksilankahitsauksen periaate on esitetty kuvassa 12. Yksilankahitsauksessa käytetään lisäaineena umpilankaa, jonka halkaisija on tyypillisesti 1,2-6,0 mm. Hitsausvirtana käytetään tavallisesti tasavirtaa +navassa, koska sillä saavutetaan paras tunkeuma. Suutinetäisyys on tyypillisesti 20-40 mm. Yksilankahitsauksella hitsiaineentuotto on 2-15 kg/h.(Lukkari J. 2002, 35-36)



Kuva 12. Yksilankahitsauksen toimintaperiaate (mukaillen TWI Ltd. 2004)

## Jauhekaarihitsauksen tuottavuuden parantaminen

Hitsauksen tuottavuuden tunnuslukuina voidaan käyttää kaariaikaa (kaava 1) tai hitsausaikaa (kaava 2) seuraavien kaavojen mukaisesti:

$$\text{Kaariaika(h/m)} = \frac{\text{Hitsiainemäärä (kg/m)}}{\text{Hitsiaineentuotto (kg/h)}} \quad (1)$$

$$\text{Hitsausaika (h/m)} = \frac{\text{Hitsiainemäärä (kg/m)}}{\text{Hitsiaineentuotto (kg/h)} \times \text{Paloaikasuhte (%)}} \quad (2),$$

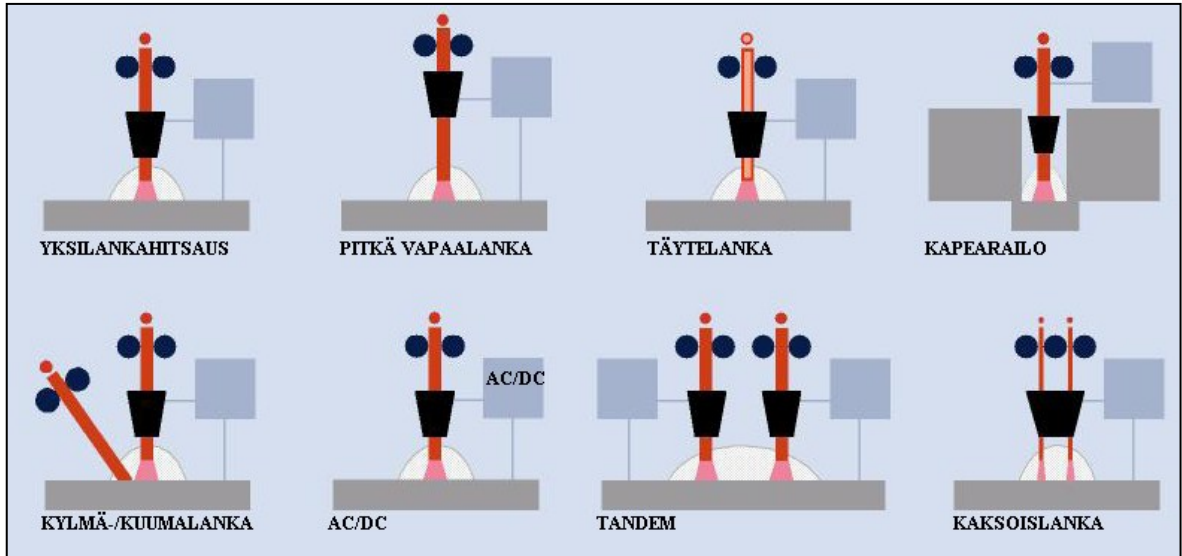
joissa *hitsiainemäärä* on railossa tarvittavan hitsiaineen määrä, *hitsiaineentuotto* on aikayksikössä hitsiin siirtyneen hitsiaineen määrä ja *paloaikasuhte* on kaariajan ja hitsaustyön suorittamiseen käytetyn ajan suhde. Hitsauksen tuottavuutta voidaan parantaa suurettamalla hitsiaineentuottoa, suurettamalla paloaikasuhdetta tai pienentämällä railossa tarvittavaa hitsiainemäärää. (Lukkari J. 2002, 34)

Hitsiaineentuottoa voidaan parantaa käyttämällä useita hitsauspäitä samanaikaisesti tai valitsemalla tehokkaampi jauhekaariprosessi. Paloaikasuhdetta voidaan tehostaa vähentämällä sivuaikoja tai pienentämällä hitsattavaa palkomäärää. Sivuaikoja voidaan lyhentää tehostamalla kaikkia hitsaukseen liittyviä aputoimintoja, kuten kappaleenkäsittelyä, hitsauspään paikoitusta tai hitsauksen jälkitöitä. Railossa tarvittavaa hitsiainemäärää voidaan pienentää hyödyntämällä tunkeumaa amittassa, optimoimalla railotilavuutta käyttämällä tilavuudeltaan edullista railomuotoa tai tarkkamittaisempia railoja, käyttämällä kapearailoprosessia tai vähentämällä hitsien määrää. (Lukkari J. 2002, 34)

## Tehokkaat jauhekaarihitsausprosessit

Jauhekaarihitsauksen perusversiosta yksilankahitsauksesta on kehitetty lukuisia erilaisia sovelluksia, joista osan periaate on esitetty kuvassa 13. Prosessisovellusten päätavoitteena on hitsauksen tehokkuuden kasvattaminen.



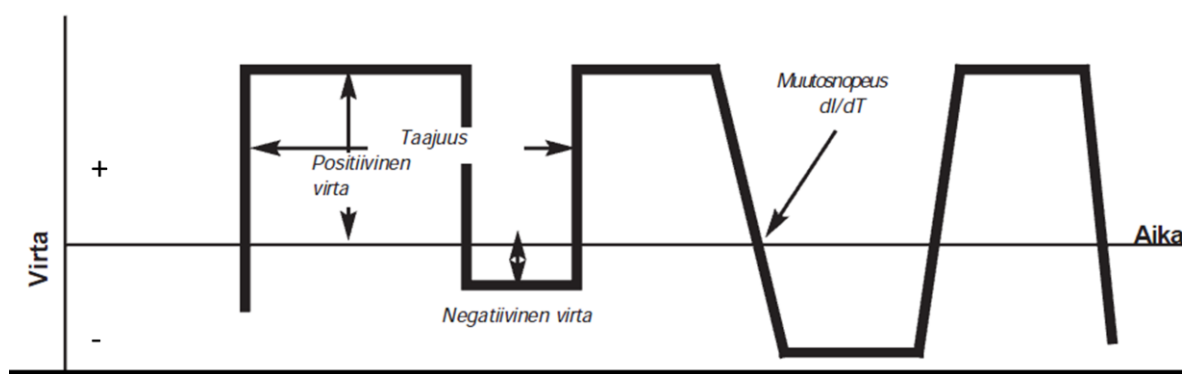


Kuva 13. Jauhekaarhitsauksen perusversio yksilankahitsaus ja sen tehokkaiden sovellusten toimintaperiaatteet.(mukaiillen: Lukkari J. 2009, 8.)

*Hitsaus pitkällä vapaalangalla* on tehokas ja yksinkertainen tapa lisätä jauhekaarhitsauksen tuottavuutta käyttämällä 50-150 mm vapaalangan pituutta. Vapaalangan pidentyessä langan vastuskuumeneminen tehostuu, jolloin langan sulamisnopeus kasvaa huomattavasti. Vapaalangan pituuden kasvattamisella hitsin tunkeuma pienenee hieman ja kuvun korkeus kasvaa. Hitsiaineentuotto kasvaa vapaalangan pituudesta ja langan halkaisijasta riippuen 20-50 %. Hitsaus pitkällä vapaalangalla edellyttää sähköisesti eristetyt langanohjaimen käyttöä, joka estää langan taipumisen ja vähentää virtasuuttimen kulumista.(Vilpas M, Vähäkainu O. 1990, 16-17)

*Täytelankahitsauksen* avulla voidaan jauhekaarhitsauksen hitsiaineentuottoa lisätä 20-30 % verrattuna umpilankahitsaukseen. Syynä on täytelangan putkimainen rakenne, jolloin virtatiheys kasvaa ja lisäainelanka sulaa nopeammin. Täytelangat ovat emäs- tai metallitäytteisiä ja ne eroavat MAG-täytelangoista täytteen koostumuksessa, koska täytelankojen käytössä jauhekaarhitsauksessa tulee huomioida myös hitsausjauheen seostava vaikutus. Täytelankojen tunkeuma on syvyysuunnassa pienempi ja sivusuunnassa leveämpi kuin umpilangoilla, jolloin kuumahalkeilun kannalta tärkeä leveys/syvyys-suhde on edullisempi. (Lukkari J. 2008, 13-15)

*AC/DC-jauhekaarihitsauksessa* käytetään hitsausvirtalähteen kehittyneitä ominaisuuksia hitsausvirran aaltomuodon säätämiseen, jolloin tunkeumaa ja hitsiaineentuottoa saadaan optimoitua vakiohitsausenergialla. Kuvassa 14 on esitetty AC/DC-hitsauksen virtalähteen aaltomuodon säädettävät ominaisuudet. Positiivisen virran kasvattaminen lisää tunkeumaa ja negatiivisen virran kasvattaminen lisää hitsiaineentuottoa. Taajuuden säätö vaikuttaa valokaaren vakauteen ja hitsiaineentuottoon. Positiivisen ja negatiivisen virran muutosnopeus vaikuttaa valokaaren ja tunkeuman vakauteen. (Verwaerde L, Flagg M. 2006)



Kuva 14. AC/DC-hitsauksen aaltoparametrien säätö: positiivinen virta tehostaa tunkeumaa, negatiivinen virta lisää hitsiaineentuottoa. Taajuus ja virran muutosnopeus vaikuttavat valokaaren vakauteen. (Lincoln Electric. 2006)

*Kuumalankahitsaus* on sovellus, jossa hitsisulaan syötetään ohutta (1,2-2,4 mm) vastusvirralla hehkuvaksi lämmitettyä lisäainelankaa mekaanisesti. Kuumalanka pidetään jatkuvassa oikosulussa apuvirtalähteen avulla, jonka jännite pidetään riittävän matalana, jolloin vältetään valokaaren syttyminen. Kuumalankahitsauksen tarvitaan tavallisen jauhekaarilaitteiston lisäksi kuumalangan virtalähde, ohjauksikkö ja langansyöttölaite. Kuumalangan käytöllä voidaan lisätä hitsiaineentuottoa merkittävästi pienellä hitsausenergian lisäyksellä. Kuumalangan syöttömäärä voi olla 0-100 % kaarilangan määrästä. Virrattoman lisäainelangan sulattamiseen tarvitaan osa kaarienergiasta, jolloin hitsin tunkeuma pienenee. (Lukkari J. 2008, 48)

*Kylmälankahitsaus* on jauhekaarihitsauksen sovellutus, jossa hitsisulaan syötetään virratonta lisäainelankaa synergisesti sulan etu- tai takapuolelta 45 asteen kulmassa. Kylmälankaa syötetään sulaan täsmälleen samalla nopeudella kuin

kaarilankaa, jolloin kylmälangan osuutta sulassa säädellään langan halkaisijalla. Kylmälangalla saavutetaan suuri tuottolisa lisäämättä lämmöntuontia. Tuoton lisääntyessä myös hitsausvirheet lisääntyvät ja tunkeuma pienenee. (Lukkari J. 2008, 46-47)

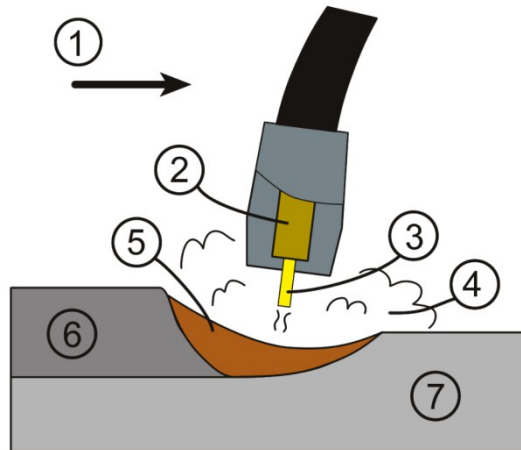
*Kaksoislankahitsauksessa* eli TWIN-hitsauksessa käytetään kahta lisäainelankaa, jotka syötetään hitsisulaan yhteisen virtasuuttimen läpi. Langat ovat yleisesti ohuempia (1,6-2,4 mm) kuin yksilankahitsauksessa ja niillä on yhteinen hitsausvirtalähde. Kaksoislankahitsauksen etu on 2-3 kertainen hitsauslankojen virtatiheys yksilankahitsaukseen nähden, jolloin hitsiaineentuotto on 30-50 % suurempi kuin yksilankahitsauksessa. Hitsauslangat voidaan asettaa peräkkäin, jolloin saavutetaan hyvä tunkeuma ja suuri hitsausnopeus tai vierekkäin, jolloin sovitustarkkuus vaatimukset ja tunkeuma pienenevät. Kaksoislankahitsauksen käyttö edellyttää kahdelle langalle soveltuvia langansyöttörullia ja kosketussuuttimen, sekä toisen lankakelan telineen ja langanoikaisulaitteen. Kaksoislankahitsaus sopii parhaiten pienahitsien hitsaamiseen. (Lukkari J. 2008, 55-57)

*Tandem-hitsauksessa* käytetään samanaikaisesti kahta peräkkäin kulkevaa hitsauslankaa, joilla on omat virtalähteet, langansyöttölaitteet ja ohjauslaitteet. Tandem-hitsauksessa valokaaret palavat saman jauhekerroksen alla ja niillä on joko yhteinen tai omat kaariontelot riippuen lankojen välisestä etäisyydestä. Yleisimmin on käytössä sovellus, jossa valokaaret palavat samassa kaariontelossa, jolloin hitsauslankojen välinen etäisyys on 12-25 mm. Jos käytetään suurempaa hitsauslankojen välistä etäisyyttä muodostuu kaksi kaarionteloa. Tandem-hitsauksessa käytetään tyypillisesti paksumpia lankoja kuin kaksoislankahitsauksessa. Yleisesti käytettäviä lankayhdistelmiä ovat saman paksuiset langat, joiden halkaisija on 3,0–6,0 mm, mutta langat voivat olla myös eripaksuisia esimerkiksi 4,0 + 3,0 mm. Menetelmässä molemmille langoille on omat tehtävänsä. Ensimmäisellä langalla tavoitellaan hyvää tunkeumaa, toisen langan tehtävä on täyttää railotilavuutta ja muotoilla hitsi. Tandem-hitsauksella saavutetaan lähes kaksinkertainen tuotto verrattuna yksilankahitsaukseen. Kahden virtalähteen käyttö kasvattaa hitsausenergiaa, joskin kasvanut hitsausnopeus kompensoi sitä. Tandem-hitsauksen laiteinvestoinnit ovat suuret, koska menetelmän käyttö vaatii kahdet virtalähteet, ohjainyksiköt ja hitsauslaitteet. (Lukkari J. 2008, 60-68)

*Kapearailohitsaus* on kehitetty paksujen levyjen ( $s > 35$  mm) päittäisliitosten hitsaukseen. Menetelmän tavoitteena on lisätä hitsauksen tuottavuutta pienentämällä railotilavuutta ja varmistaa hyvät mekaaniset ominaisuudet käyttämällä pientä hitsausenergiaa. Kapearailohitsauksen tuottavuus ilmenee lyhyempänä kaariaikana ja tyypillisesti hitsiaineentuotto on pienempi kuin yksilankahitsauksessa. Kapearailohitsauksessa käytetään tyypillisesti I-railoa, jonka kylkikulma on vain 1-2 astetta ja leveys 10-20 mm. Kapea railo vaatii tarkan valmistustarkkuuden ja railo valmistetaan tyypillisesti lastuamalla. Kapearailohitsauslaitteiston oleellisin ero yksilankahitsaukseen verrattuna on erikoisvalmisteinen hitsauspää, jolla yletetään syvälle kapeaan railoon. Kapearailohitsaus vaatii tarkan langan kohdistuksen, jolloin railon seurannan käyttö on välttämätöntä. Kapearailotekniikan käytössä tulee huomioida hitsausjauheen ominaisuudet, koska jauheen muodostaman kuonan poistaminen voi olla vaikeaa kapeasta railosta. Kapearailotekniikan käyttöä puoltavat hyvä tuottavuus, sekä pienen hitsausenergian ansiosta hyvät mekaaniset ominaisuudet ja pienet hitsausmuodonmuutokset. Käyttöä rajoittavat tarkat kohdistusvaatimukset ja korkeat laiteinvestoinnit. (Vilpas M, Vähäkainu O. 1990, 31-34)

### 2.3.2 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausmenetelmä, jossa lisäainelanka syötetään automatisoidusti vakionopeudella suojakaasulla suojattuun hitsauskohtaan, missä lisäainelangan kärjen ja perusaineen välissä palava valokaari sulattaa lisä- ja perusaineen kuvan 15 mukaisesti. Jos suojakaasuna käytetään inerttiä suojakaasua, hitsausprosessi on MIG-hitsaus (Metal Inert Gas=131) ja aktiivisella suojakaasulla hitsaus on MAG-hitsausta (Metal Active Gas=135). MIG/MAG-hitsaus soveltuu hyvin terästen hitsaukseen kaikissa asennoissa. (Lepola P, Makkonen M. 1999, 126–127)



Kuva 15. MIG/MAG-hitsauksen periaate: 1. hitsaussuunta, 2. virtasuutin, 3. lisäainelanka, 4. suojakaasu, 5. hitsisula, 6. hitsi, 7. perusaine (Nathaniel I, Sheetz C)

MIG/MAG hitsauksen etuja ovat: jatkuva lisäaineen syöttö, hyvä tuottavuus, lisäaine ei muodosta kuonaa, hitsaus kaikissa asennoissa, edullinen lisäaine ja laaja hitsausparametrien säätömahdollisuus. MIG/MAG-hitsausta rajoittaa: arkuus vedolle, rajoitettu ulottuvuus, laitteiston liikuteltavuus, monimutkainen laitteisto ja herkkyys epäpuhtauksille. (Dahlström T. 2003)

#### 2.4 Hitsauksen laadunvarmistus

Tuulivoimaloiden tornit ovat vaativia teräsrakenteita, joihin kohdistuu suuria kuormituksia käyttöiän aikana. Tornien on täytettävä korkeat laatuvaatimukset luotettavuuden ja turvallisuuden varmistamiseksi. Tuulivoimaloiden suunnittelua ja valmistusta ohjaavat IEC:n (International Electrotechnical Commission) ja Euroopan komission (EC) sertifiointistandardit, jotka määrittelevät yleiset toimintaohjeet tuulivoimaloiden laadunvarmistukseen. (Dombrowski A, Woebeking M. 2006)

IEC WT 01 määrittelee tuulivoimaloiden valmistuksen evaluoinnin laatujärjestelmän ja tarkastusten osalta. Standardin mukaan valmistajalla tulee olla ISO 9001 tai 9002 mukainen laatujärjestelmä. Valmistuksen laadunvarmistuskohteita ovat valmistusmenetelmät, pätevyydet, dokumentointi, materiaalit sekä tuotteiden ja valmistusvaiheiden tarkastukset. (IEC WT 01. 2001, 25)

Euroopan tuulivoimalasertifikaatin (EWTC) mukaan tuulivoimalan tornin tulee olla teräsrakenteiltaan Eurocode 3:n ja betonirakenteiltaan Eurocode 2:n mukainen.

Sertifikaatti perustuu IEC WT 01 standardiin ja sitä on täydennetty vastaamaan EU-lainsäädäntöä mm. turvallisuuden osalta.(EWTC. 2001, 5, 33.)

#### 2.4.1 Yleisiä laatuvaatimuksia

Tornin valmistuksessa on Euroopassa yleisesti käytössä EN ISO 3834 mukaiset sulahitsauksen laatuvaatimukset. Standardin ensimmäinen osa EN ISO 3834-1 määrittelee tarkoituksenmukaisen laatuvaatimustason valintaperusteet ja toinen osa EN ISO 3834-2 määrittelee kattavat laatuvaatimukset.

EN ISO 3834-2 määrittelee laatuvaatimukset seuraaville hitsaukseen liittyville toiminnoille:

- vaatimusten katselmus ja tekninen katselmus
- alihankinta
- hitsaushenkilöstö
- tarkastus- ja testaushenkilöstö
- laitteet
- hitsaustoiminnot
- hitsausaineet
- perusaineen varastointi
- hitsien jälkilämpökäsittely
- tarkastus ja testaus
- poikkeamat ja korjaavat toimenpiteet
- mittaus-, tarkastus- ja testauslaitteiden kalibrointi ja kelpuus
- tunnistettavuus ja jäljitettävyys
- laatuasiakirjat

Standardin mukaan vaatimusten katselmuksella ja teknisellä katselmuksella varmistetaan, että asiakkaan sopimuksessa esittämät vaatimukset pystytään täyttämään. Yrityksellä tulee olla hitsauksen koordinointiin tarvittava henkilöstö, jonka tehtävät ja vastuut tulee rajata selvästi. Hitsaajat ja hitsausoperaattorit ja NDT-tarkastajat on pätevoidettävä tehtäviinsä. Hitsaustoiminnot kattavat tuotantosuunnitelman, hitsausohjeet ja niiden hyväksymisen sekä työohjeet. Perus- ja hitsiainei-

den varastoinnissa on varmistettava tunnistettavuus ja huolehdittava etteivät materiaalit vahingoitu. Jälkilämpökäsittelyt tulee suorittaa ohjeiden mukaisesti ja niistä on laadittava pöytäkirjat. Tarkastukset ja testaus suoritetaan tarkoituksenmukaisesti hitsaustuotannossa, jotta varmistetaan yhdenmukaisuus sopimuksen vaatimusten kanssa. Havaitut poikkeamat tulee korjata ja estää niiden uusiutuminen. Kaikki laadunvalvontaan käytettävät laitteet tulee kalibroida säännöllisesti. Tunnistettavuus ja jäljitettävyyys on varmistettava jokaisessa valmistusvaiheessa. Laatuasiakirjojen tulee sisältää tuotantoon liittyvät asiakirjat, raportit, ohjeet ja todistukset. Laatuasiakirjoja säilytetään vähintään 5 vuotta. (SFS-ISO 3834-2. 2006, 6-22.)

#### 2.4.2 Erityispiirteet

Paksut materiaalit ja kylmät käyttöolosuhteet asettavat laadunvarmistukselle lisävaatimuksia. Hitsausohjeet tulee yleensä hyväksyä siten, että iskukokeet suoritetaan joko -40 tai -50 °C:een lämpötilassa. Iskusitkeysominaisuuksien varmistamiseksi on paksujen levyjen esilämmitys usein välttämätöntä. Myös tornin ominaisvärähtely asettaa erityisvaatimuksia dynaamisten kuormien hallintaan, jolloin kriittisten hitsien tulee olla korkealaatuisia. Tämän vuoksi esimerkiksi oviaukon karmi, lennonestovalojen kaulukset, laippaliitokset ja kaikki hitsien risteyskohdat tarkastetaan aina ultraääni- ja magneettijauhetarkastuksella. Muiden hitsien laatu varmistetaan satunnaisilla ultraääni- ja magneettijauhetarkastuksilla. Kaikki hitsit tarkastetaan myös silmämääräisesti. Kylmähalkeiluriskin vuoksi tarkastukset voidaan suorittaa tyypillisesti vasta 24–72 tuntia hitsauksen jälkeen. Tornien geometriset toleranssit ovat yleisesti tiukat, jolloin levytyöt tulee tehdä huolellisesti ja hitsausmuodonmuutokset on hallittava hitsauksen aikana. Esimerkiksi tornilohkojen päälaippojen tasomaisuus tulee tarkistaa hitsauksen jälkeen.

#### 2.4.3 Tyypilliset laadunvarmistusmenetelmät

Yleisimmin tuulivoimalan tornin valmistuksessa käytetään silmämääräistä, tunkeumaneste-, magneettijauhe- ja ultraäänitarkastusta. Menetelmäkokeiden tarkas-

tukseen käytetään myös radiograafista tarkastusta, mutta sen käyttö tuotannossa on harvinaista. NDT-menetelmillä havaittavien pienempien virheiden koot ja menetelmien käyttörajoitukset on kerätty taulukkoon 1.

*Taulukko 1. Tornin valmistuksessa käytettävien NDT-menetelmien soveltuvuus hitsausvirheiden etsintään. (Martikainen J, Niemi E. 1993, 29.)*

Menetelmä	Pienimmät havaittavat virheet	Rajoitukset
Silmämääräinen	Viivamainen virhe: n 0,05 mm leveä, pallomainen virhe: n 0,1 mm.	Virheen avauduttava selvästi pintaan.
Tunkeumaneste	Tasomainen virhe, jonka syvyys 10 µm, leveys 0,2 µm, pituus 0,5 mm.	Virheen avauduttava pintaan, ei sovellu huokoisille materiaaleille.
Magneettijauhe	Tasomainen virhe, jonka syvyys 10 µm, leveys 0,1 µm, pituus 1 mm.	Materiaalin oltava ferromagneettinen, virheen ulotuttava pintaan.
Ultraääni	Virheen koko ultraäänen aallonpituus/4, tavallisesti 0,2-0,4 mm	Materiaaliominaisuuksista johtuva vaimeneminen, vaatii paljon kokemusta

### Silmämääräinen tarkastus

Silmämääräistä tarkastusta voidaan pitää perustarkastusmenetelmänä, koska se on aina ensimmäinen hitsille suoritettava NDT-tarkastus. Jos hitsi läpäisee silmämääräisen tarkastuksen, niin sille suoritetaan muut vaatimusten mukaiset tarkastukset. Ihmissilmä pystyy havaitsemaan noin 0,05 mm leveän viivamaisen virheen tai 0,1 mm halkaisijalta olevan pallomaisen virheen. Virheiden havaittavuutta voidaan parantaa käyttämällä optisia apuvälineitä, kuten suurennuslasia tai mikroskooppia. (Martikainen J, Niemi E. 1993, 29–30.)

EN 970:n mukaan silmämääräinen tarkastus voidaan suorittaa ennen hitsausta, hitsauksen aikana ja hitsauksen jälkeen. Ennen hitsausta suoritettavalla tarkastuksella varmistetaan railopintojen vaatimusten mukaisuus ja puhtaus. Hitsauksen aikaisella tarkastuksella varmistetaan, että hitsauksen aikana mahdollisesti syntyneet virheet havaitaan välittömästi, jolloin ne on helppo korjata. Valmiin hitsin tarkastuksessa käytetään sovittua hyväksymisrajastandardia esimerkiksi EN 5817. Valmiista hitsistä tarkastetaan seuraavat yksityiskohdat:

- puhdistus ja viimeistely
- profiili ja mitat
- hitsin juuri ja pinnat

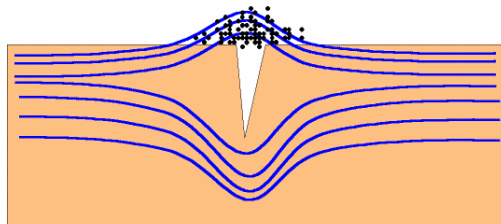


### Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastuksella havaitaan pintaan asti ulottuvia virheitä. Menetelmässä testattavan kappaleen pintaan levitetään ensin tunkeumaneste, joka tunkeutuu pintaan asti ulottuviin virheisiin, jonka jälkeen kappaleen pinta puhdistetaan ja pinnalle levitetään kehite, johon tunkeumaneste imeytyy näyttäen virheen sijainnin. Menetelmä soveltuu kaikkien ei-huokoisten materiaalien tarkastukseen. Tunkeumanesteen avulla havaitaan erinomaisesti pintaan avautuvat tilavuusviat, kuten huokokset. (Latvala K. 2004, 6-7.)

### Magneettijauhetarkastus

Magneettijauhetarkastus perustuu magnetoituvien hiukkasten kerääntymiseen magnetoidun kappaleen epäjatkuvuuskohtiin muodostuvaan vuokenttään kuvan 16 mukaisesti. Menetelmä soveltuu ferromagneettisille materiaaleille ja sen avulla havaitaan pintaan asti avautuvia vikoja. Virheistä havaitaan helpoiten pintaan avautuvat tasomaiset viat. Magneettijauhemenetelmän kyky paljastaa epäjatkuvuuskohta perustuu optiseen suurennokseen, joka on jopa 1000-kertainen: parhaimmillaan 0,1  $\mu\text{m}$  levyinen virhe aiheuttaa 0,1 mm leveän magneettisensillan. (Latvala K. 2004, 3-5.) (Martikainen J. Niemi E. 1993, 32.)



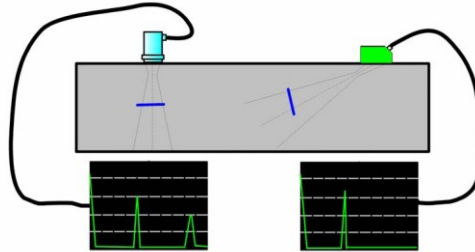
Kuva 16. Magneettijauhetarkastuksen toimintaperiaate: magneettiset partikkelit kerääntyvät epäjatkuvuuskohdan vuokenttään. (Latvala K. 2004, 3.)

Magneettijauhetarkastuslaitteisto koostuu tyypillisesti magnetointilaitteesta, uvalosta, magneettijauheesta tai -nesteestä ja tarvittaessa kontrastiväristä. Magnetointilaitteessa käytetään tyypillisesti napamagnetointitekniikkaa. Tarkastuksessa

voidaan käyttää joko värillistä magneettijauhetta/nestettä ja kontrastiväriä tai fluo-  
resoivaa magneettijauhetta/nestettä ja uv-valoa. (Latvala K. 2004. s. 3.)

### Ultraäänitarkastus

Menetelmä perustuu ultraäänen kulkeman matkan mittaamiseen tarkastettavassa  
aineessa, jolloin mahdollisen virheen sijainti voidaan määrittellä varsin luotettavasti.  
Ultraäänitarkastuksessa käytetään luotaimia, jotka lähettävät 1...10 MHz taajuisia  
äänivärähtelyä joko kohtisuoraan tai tietyssä kulmassa kuvan 17 mukaisesti. Luo-  
taimen lähettämä ääni heijastuu kaikuna takaisin epäjatkuvuuskohdasta tai kappaleen  
toiselta puolelta. (Latvala K. 2004, 8-10.)

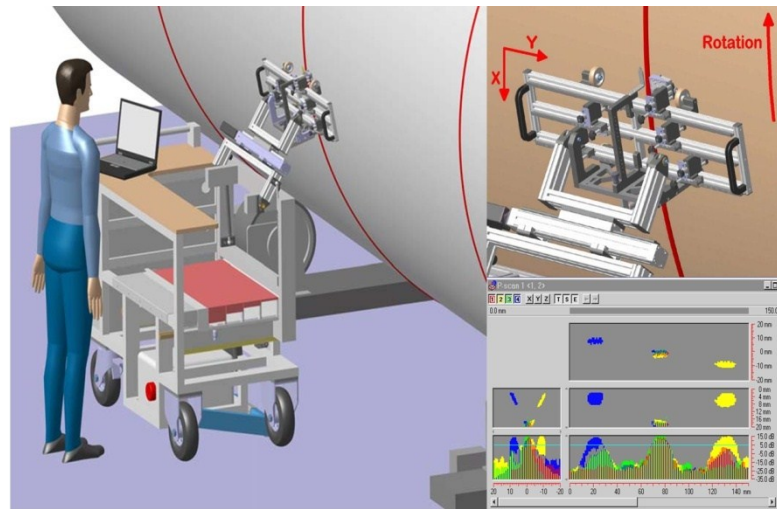


Kuva 17. Ultraäänitarkastuksen periaate: ääniaalto aiheuttaa kaiun osuessaan  
materiaalissa olevaan virheeseen. (Latvala K. 2004, 9.)

Menetelmässä käytetään tavallisesti pulssikaikutekniikkaan perustuvia laitteistoja.  
Laitteiston lähettämä sähköinen signaali muunnetaan luotaimessa pietsosähköi-  
sen kiteen avulla äänivärähtelyksi. Tarkastuskohteesta heijastuva värähtely muut-  
tuu kiteen pietsosähköisyyden vuoksi sähköiseksi pulssiksi, joka nähdään näytöllä  
kaikupiikkinä. Ultraäänitarkastuksella havaitaan hitsistä helposti äänikeilaa vasten  
olevat tasomaiset virheet, jonka vuoksi tarkastus suoritetaan yleensä useasta eri  
luotauskulmasta. Pyöreät ja epäsymmetriset virheet ovat usein vaikeasti tulkitta-  
via. (Latvala K. 2004, 9-11.)

Tuulivoimaloiden tornin laadunvarmistukseen on valmistettu erikoislaitteistoja, joil-  
la ultraäänitarkastus voidaan helposti mekanisoida. Esimerkiksi Force Technology  
on kehittänyt siirrettävän laitteiston, joka koostuu kuudesta ultraääniluotaimesta,  
hitsin seurantalaitteistosta ja keskusyksiköstä ohjelmistoineen (Kuva 18). Laitteis-  
ton ohjelmisto kykenee havainnollistamaan virheen kuvana useasta eri suunnasta.

Laitteiston tarkastusnopeus on tyypillisesti noin 1,5 m/min. (Force Technology. 2009)

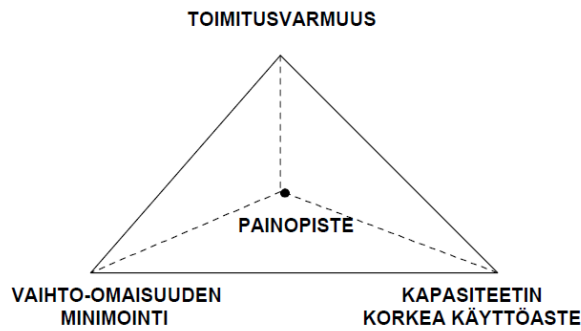


Kuva 18. Tuulivoimaloiden tornien kehähitsien tarkastukseen on kehitetty ultraäänilaitteisto.(Force Technology. 2009)

### 3 TUOTANNONOHJAUS

Tuotannonohjaus on tuotantoon liittyvien toimintojen koordinoimista yrityksen tuotantotavoitteiden saavuttamiseksi. Tuotannonohjaukseen on perinteisesti kuulunut tuotannon ajoitus, varastojen valvonta ja tuotantokapasiteetin tehokas hyödyntäminen. Nykyään tuotannonohjaukseen sisällytetään koko toimitusketjun kustannusten ja laadun hallinta, sekä materiaalivirtojen lisäksi myös informaatiovirrat. Tuotannonohjauksen tehtävänä on toteuttaa yrityksen valitsemaa tuotantostrategiaa pitämällä tuotanto jatkuvasti käynnissä.(Kilpeläinen. 2001)

Tuotannonohjauksen yleiset päätavoitteet ovat: hyvä toimitusvarmuus, korkea kapasiteetin käyttöaste ja sitoutuneen vaihto-omaisuuden minimointi. Kaikkia tavoitteita ei voida saavuttaa samanaikaisesti ja yrityksen onkin painotettava sille tärkeimpiä osa-alueita kuvan 19 mukaisesti.(Häkkinen K. 2003, 16-17.)



Kuva 19. Tuotannonohjauksen tavoitteet ja painopisteen valinta (Häkkinen K. 2003, 16.)

### 3.1 Tuotannonohjauksen osa-alueet

Terminä tuotannonohjaus on hyvin monikäsitteinen. Tuotannonohjauksen osa-alueiden laajuus ja sisältö vaihtelee suuresti sen mukaan, missä yhteydessä sitä käsitellään. Tässä työssä tuotannonohjaus jaetaan neljään osa-alueeseen: tuotannonsuunnitteluun, materiaalinohjaukseen, valmistuksenohjaukseen ja laadunohjaukseen.

#### 3.1.1 Tuotannonsuunnittelu

Tuotannonsuunnittelun tehtävä on laatia yrityksen liiketoimintastrategiaa noudattava tuotantosuunnitelma. Päätehtävä on aikatauluttaa valmistusprosessit ja varmistaa tuotantokapasiteetin riittävyys, jolloin voidaan taata asiakkaalle toimitusvarmuus. Tuotantosuunnittelu voidaan jakaa kolmeen tasoon: kokonaissuunnittelu, karkeasuunnittelu ja hienosuunnittelu. (Riikonen H, Parkkinen H. 2003.)

Kokonaissuunnittelulla yrityksen johto luo suuntaviivat tuotannolle. Sen tehtävä on määrittellä tuotannon kokonaisvolyymi ja taloudelliset perusteet, joiden avulla tuotanto voi noudattaa yrityksen strategian mukaista liiketoimintasuunnitelmaa. Kokonaissuunnittelun tärkeimmät työvälineet ovat budjetit, sekä liiketoiminnan, toimitusvarmuuden, laadun, kustannustehokkuuden ja tuottavuuden tunnusluvut. (Haverila M, et al. 2005, 397-399.)

Karkeasuunnittelun tärkeimmät tehtävät ovat resurssien käytön suunnittelu yleisellä tasolla sekä toimituskyvyn määrittely. Karkeasuunnittelu määrittelee yksityiskohtaisesti, kuinka monta lopputuotetta valmistetaan tietyssä ajanjaksona. Karkeasuunnittelussa luodaan yleisen tason kuormitussuunnitelma, jonka avulla pystytään hahmottamaan eri tuotantoerien tai vastaavasti tilauksen vaatima kapasiteetti tuotannosta. Toimitusaikojen määrittelyssä hyödynnetään sekä tuotanto- että kuormitussuunnitelmaa. Karkeasuunnittelu on linkki tuotannon ja myynnin välillä yrityksessä, jolloin henkilöiden, jotka ovat vastuussa karkeasuunnittelusta, tulee olla hyvin perillä markkinoilla vallitsevasta tilanteesta, yrityksen tuotantokyvystä, sekä pystyä hallitsemaan mahdolliset muutokset, joita tulee tapahtumaan niin pitkällä kuin lyhyelläkin aikavälillä. (Haverila et al. 2005, 415-417) (Riikonen H, Parkkinen H. 2003)

Hienosuunnittelun tehtävänä on valmistuksen yksityiskohtainen suunnittelu, jonka perusteella tuotteet valmistetaan. Hienosuunnittelun lähtökohtana on karkeasuunnittelussa luotu tuotantoerien karkea ajoitus. Käytännössä tämä tarkoittaa kaikkien niiden toimenpiteiden yksityiskohtaista ajoitusta, jotka mahdollistavat tuotteen valmistamisen sekä ajallisten että taloudellisten suunnitelmien mukaisesti. Ajoituksessa usein pyritään sekä kone- että henkilökapasiteetin tehokkaaseen hyväksikäyttöön. Samalla pyritään estämään ylikuormaa aiheuttavien päällekkäisyyksien syntyminen. (Riikonen H, Parkkinen H. 2003)

### 3.1.2 Materiaalinhjaus

Materiaalinhjaus on materiaalivirtojen ja niihin liittyvien tietovirtojen suunnittelua ja valvontaa. Materiaalinhjauksen tärkein tehtävä on varmistaa, että tuotannon tarvitsema oikea määrä, oikeanlaisia materiaaleja, on oikeassa paikassa, oikeaan aikaan. Materiaalinhjaus voidaan jakaa materiaalien hankintaan, varastointiin ja jakeluun. (Miettinen, 1993, 69)

Materiaalinhjauksen kaksi keskeistä tavoitetta on halutun palvelutason ylläpito ja materiaalinhallinnan kokonaiskustannusten minimointi. Korkealla palvelutasolla varmistetaan tuotannon jatkuvuus ja valmiiden tuotteiden oikea-aikainen toimitus

asiakkaalle. Materiaalinhallinnan kokonaiskustannukset muodostuvat seuraavista kustannuksista: (Haverila M, et al. 2005, 443-445.)

- materiaalit ja niiden osto
- kuljetus, vastaanotto, varastointi
- varastointi
- jakelu
- materiaalivirheiden aiheuttamat tuotantokustannukset
- puutekustannukset
- reklamaatiokustannukset

### 3.1.3 Valmistuksen ohjaus

Valmistuksen ohjauksen tehtäviä ovat tuotannon työtehtävien jakaminen, ohjaaminen, valvonta sekä raportointi, eli käytännössä hienosuunnitelman toteuttaminen. Valmistuksen ohjauksen haasteellisuuteen vaikuttaa suuresti yrityksen tuotantolayout ja työtehtävien toistuvuus. Esimerkiksi vakiotuotteiden sarjavalmistuksen ohjaaminen on yleensä helppoa, mutta yksittäin valmistettavien tilaustuotteiden valmistuksen ohjaus voi olla haasteellista. (Haverila M, et al. 2005, 425-426.)

Valmistuksen ohjaus perustuu useimmiten erilaisten työmääräinten käyttöön. Työmääräimet määrittelevät suoritettavat työvaiheet, tarvittavat materiaalit, materiaalien reititykset jne. Työmääräinten hallintaan käytetään tuotannonohjauksen tietojärjestelmiä, joiden avulla työmääräimet voidaan järjestää työjonoiksi. Työjonojen hallinnan avulla voidaan tuotannon ajoitusta muuttaa tarpeen mukaan. Tuotannonohjauksen tietojärjestelmän avulla voidaan myös seurata tuotannon karkea- ja hienosuunnitelman toteutumista, sekä kerätä tuotantotietoja tunnuslukuja varten. (Haverila M, et al. 2005, 425-426.)

### 3.1.4 Laadunohjaus

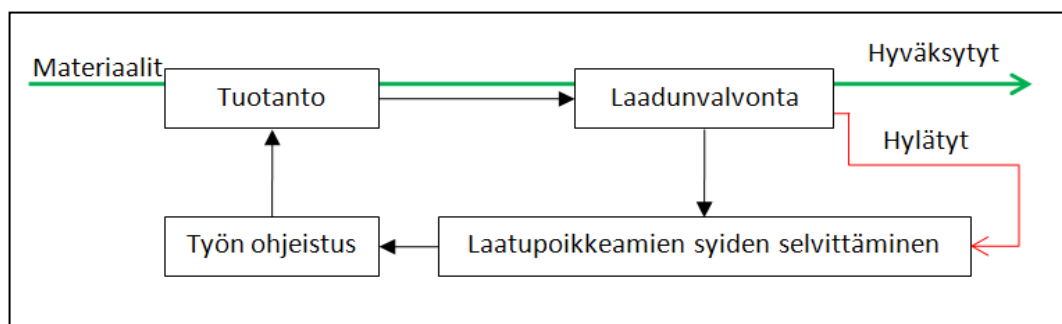
Laadunohjaus perustuu yrityksen laatu politiikkaan, joka määrittelee suuntaviivat yrityksen laatuun kohdistuvalle toiminnalla. Laatu politiikan tulee olla kirjoitettu ja

sen tulee olla yrityksen ja sen sidosryhmien tiedossa. Selkeän laatu politiikan puuttuminen vaikeuttaa laatu ongelmien ratkaisua ja voi aiheuttaa vakavia laatu ongelmia. (Veräjänkorva J. 1977, 27.)

Jokainen yrityksen työntekijä on vastuussa tekemänsä tuotteen laadusta. Laatu ei ole jonkin erikoisryhmän ongelma, vaan laatu vastuu tulee ulottaa organisaation kaikille tasoille. Usein onkin todettu ” laadun syntyvän tekemällä ei tarkastamalla”, jolloin laatu toiminta sitoutetaan yrityksen kaikkeen tekemiseen. (Haverila M, et al. 2005, 379.)

Laadunohjaus on tuotannonohjauksen osa-alue, jonka tarkoituksena on koordinoi da, ylläpitää ja parantaa laatua taloudelliset näkökulmat huomioiden. Laadunohjauksella käsitetään kaikki ne toimenpiteet, joilla varmistetaan tuotteiden ja palveluiden täyttävän asiakkaan niille asettamat vaatimukset. Sen päätehtäviksi voidaan lukea: suunnitelmien, hankintojen ja valmistuksen laadunvalvonta sekä tutkimukset laatu virheiden selvittämiseksi. Käytännössä laadunohjaus on suunnittelua, mitausta, analysointia, parannusehdotusten tekemistä ja toteutusten valvontaa. (Veräjänkorva J. 1977, 25-30.)

Yrityksen laadunvalvonnan tehtävä on varmistaa tuotteiden laatu tarkastustoiminnan avulla. Laadunvalvonnan tehtävä on siis todeta täyttääkö tuote tai palvelu sille asetetut vaatimukset ja tarpeen mukaan hylätä vialliset tuotteet. Laadunvalvonnan tehtävä on myös raportoida laatu poikkeamista, mutta laatu virheiden syihin valvonnalla ei puututa. Yhdessä laatu virheiden korjaamisen kanssa laadunvalvonta muodostaa suljetun systeemin kuvan 20 mukaisesti, jonka tavoitteena on laadun maksimointi. (Martikainen J., Niemi E. 1993, 4-5)



Kuva 20. Laadunohjauksen suljettu piiri: laadunohjaus korjaa tuotantoa havaittujen virheiden mukaisesti. (Martikainen J., Niemi E. 1993, 5)

Laadunohjauksella pyritään alentamaan laatukustannuksia, jotka muodostuvat virhekustannuksista sekä laadunvalvonta- ja ennaltaehkäisykustannuksista. Kokonaislaatukustannusten arviointi on haastavaa, koska valtaosa kustannuksista on vaikeasti havaittavia tai ne koetaan luonnollisena osana tuotantoa, jolloin laatukustannukset helposti aliarvioidaan. Pahimmillaan huono laatu johtaa asiakkaiden ja yrityksen maineen menettämiseen. Laatukustannukset voidaan jakaa ”hyviin, pahoihin ja rumiin”, jolloin kustannusten karkea suhdeluku on 1:10:100. Hyviksi laatukustannuksiksi lasketaan kaikki virheiden ennaltaehkäisyyn liittyvät kustannukset, kuten laatujärjestelmät ja laadun kehitysohjelmat. Pahoja kustannuksia ovat yrityksen sisällä havaitut virheet, jotka korjataan ennen toimitusta asiakkaalle. Rumat kustannukset syntyvät tuotteista, joiden viat huomaa vasta asiakas, jolloin seurauksena on reklamaatio ja maineen menetys. (Martikainen J. 2007, 13) (Haverila M, et al. 2005, 375-378.)

### 3.2 Tuotannonohjaukseen vaikuttavia tekijöitä

Tuotannonohjauksen onnistumiseen vaikuttavat useat tekijät. Keskeisiä tuotannonohjaukseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa tuotantomuoto, layout ja ohjaustapa.

#### 3.2.1 Tuotantomuoto

Tuotannon toteutustavan mukaan tuotanto voidaan luokitella kolmella eri tavalla:

1. tilaustavan mukaan
2. tuotteen mukaan
3. tuotantoprosessin mukaan

Tilaustapoja ovat asiakas- ja varastotuotanto. Asiakastuotannossa tuotteiden valmistus aloitetaan asiakkaalta lähteneen tilausimpulssin pohjalta. Asiakastuotannon tuotteet voivat olla standardituotteita tai asiakkaan vaatimusten mukaan erikseen räätälöityjä tuotteita. Varastotuotannossa tilausimpulssi saadaan markkinaennusteista tai varastomäärän alittaessa tilauspisteen. (Riikonen H, Parkkinen H. 2003)



Tuotteen mukaisessa luokituksessa tuotteet jaetaan vakiotuotantoon ja tilaustuotantoon. Vakiotuotannossa kaikille asiakkaille tehdään samanlaista tuotetta, esimerkiksi standardin mukaisia muttereita. Tilaustuotannossa tuote on asiakkaan yksilöllisten vaatimusten mukainen, esimerkiksi erikoiskierteellä varustettu mutteri.

Tuotantoprosessin mukaan tuotantomuoto voidaan jakaa: yksittäis-, sarja-, yhteinäis- ja sekatuotantoon. Yksittäistuotannossa tuotteet valmistetaan tuote kerrallaan asiakkaan tilauksen mukaisesti, esimerkiksi ydinvoimala. Sarjatuotannossa tuotteet valmistetaan määräväleihin toistuvissa sarjoissa, esimerkiksi JOT-tuotteet. Yhtenäistuotannossa tuotetta valmistetaan pitkän aikaa ja tuotanto kulkee virtana prosessin läpi, esimerkiksi terästuotanto. Sekatuotannossa yritys valmistaa tuotteita usealla tuotantoprosessilla. Esimerkiksi prosessipumpun osat voidaan valmistaa sarjatuotantona, mutta kokoonpano tapahtuu yksittäin asiakkaan tilauksen mukaisesti. (Riikonen H, Parkkinen H. 2003)

### 3.2.2 Layout

Tuotantokapasiteetin tehokas hyödyntäminen on yksi tuotannonohjauksen päätehtävistä. Tuotteiden ja niihin liittyvien materiaalien kulku tuotannossa onkin optimoitava mahdollisimman järkeväksi, jolloin tuotteelle lisäarvoa tuottamattomat turhat siirrot ja varastoinnit minimoidaan. Tuotannon koneet ja laitteet sekä niiden kautta kulkeva materiaalivirta muodostavat yrityksen tuotantojärjestelmän. Koneiden, laitteiden, varastojen ja kuljetusväylien sijoittelua kutsutaan nimellä layout. (Riikonen H, Parkkinen H. 2003)

Hyvän layoutin ominaisuuksia ovat Henryn mukaan:

- vähentää pullonkauloja
- minimoi siirroista aiheutuvat kustannukset
- vähentää työtapaturmia
- lisää työn tuottavuutta
- parantaa laatua
- lisää joustavuutta
- helpottaa johtamista

- lisää työmotivaatiota
- lyhentää läpäisyaikaa (Henry C. 2005)

Layout-vaihtoehdot voidaan jakaa neljään eri päätyyppiin laitteiden sijoittelun ja työnkulun kannalta: kiinteäasemainen layout, funktionaalinen layout, solu- ja tuotantolinjalayout. Yrityksen käyttämä layout on usein kuitenkin sekoitus eri päätyypeistä, jolloin kunkin päätyypin parhaat ominaisuudet voidaan hyödyntää. (Slack N., et al. 2007, 193-197.)

*Kiinteäasemaisessa layoutissa* valmistettava tuote ei liiku. Sen sijaan kaikki materiaalit ja jalostava työ liikkuu tuotteiden välillä. Kiinteäasemainen layout soveltuu sellaisten tuotteiden valmistamiseen, jonka liikuttelu on vaikeaa tai mahdotonta. Kiinteäasemaista layouttia käytetään esimerkiksi telakkoilla, joissa laiva rakennetaan yhdessä paikassa valmiiksi. (Slack N., et al. 2007, 187-188.)

*Funktionaalisessa layoutissa* samantyyppiset työvaiheet kootaan ryhmiksi. Esimerkiksi varasto, koneistamo, hitsaamo, maalaamo ja kokoonpano muodostavat funktionaalisen layoutin, jonka vahvuuksia ovat joustavuus ja pieni häiriöalttius. Funktionaalisen layoutin heikkouksia ovat materiaali- ja informaatiovirtojen monimutkaisuus, suuri keskeneräinen tuotanto ja tuotannon ohjattavuus. (Haverila M. et al. 2005, 476-477)

*Solulayout* muodostuu pienistä itsenäisistä tuotantoyksiköistä, eli soluista, jotka ovat erikoistuneet tiettyjen osien, työvaiheiden tai osakokoonpanojen valmistukseen alusta loppuun samalla alueella. Solulayoutin vahvuuksia ovat pienet välivarastot, selkeä materiaalin virtaus ja itsenäisyys. Solujen itsenäisyyden ansiosta valmistuksen ja laadun ohjaus on helppoa. Heikkouksia ovat koneiden matala kapasiteetin käyttöaste ja lattiapinta-alan tehoton käyttö. Kapasiteetin matala käyttöaste johtuu siitä, että jokaisella solulla on omat laitteet jolloin kuormitusta ei voida jakaa tasaisesti kaikkien samanlaisten koneiden kesken. (Slack N., et al. 2007, 191-193)

*Tuotantolinjalayoutissa* tuotantolaitteet ja työpisteet ovat työnkulun mukaisessa järjestyksessä, jolloin materiaalivirta ja tuotannonohjaus ovat helposti hallittavissa. Tuotantolinjan perustaminen vaatii suuret eräkoot, koska tuotantolinjan investointi-

kustannukset ovat suuret ja linjan joustavuus huono. (Haverila M. et al. 2005, 475-476)

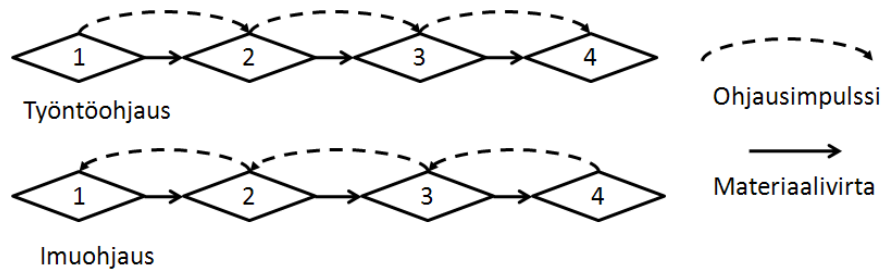
### 3.2.3 Ohjaustapa

Tuotanto on lähes aina virtaava prosessi. Prosessin aikana hallitaan materiaali- ja informaatiovirtoja. Informaatiovirran suunnasta riippuen tuotannon ohjaustapa on imu-, työntö- tai kapeikko-ohjaus.

*Työntöohjauksessa* työt tehdään valmistussuunnitelman mukaan, jolloin työn valmistumiselle ja kaikille työvaiheille asetetaan täsmällinen määräaika. Voidaankin sanoa, että työntöohjauksessa tuotantoerät työnnetään tuotannon läpi tehdyn suunnitelman mukaisesti. Työt ajoitetaan siten, että tuote saadaan valmiiksi määräaikaan mennessä. Työntöohjauksesta käytetään usein myös nimitystä varasto-ohjaus tai aikatauluohjaus. Useat työvaiheet ja valmistusprosessit vaikeuttavat valmistusketjua, jolloin sen ohjaaminen työntöohjauksella vaikeutuu, koska tuotantosuunnitelma ja valmistustilanne eivät kohtaa. Suunnittelulla ei voida luoda täysin todellisuutta vastaavaa tuotantosuunnitelmaa, koska tuotannon satunnaisvaihteluja on hyvin vaikea arvioida, jolloin tuotannon jatkuvuuden varmistamiseksi joudutaan muodostamaan välivarastoja. Työntöohjattuun tuotantoon muodostetut välivarastot pidentävät läpäisyäikää ja varastojen hallinta vaikeuttaa ohjausta. Työntöohjaus soveltuukin hyvin selkeään ja helposti hallittavaan tuotantoprosessiin, joka pystyy laadukkaaseen ja kurinalaiseen toimintaan, koska työntöohjaus ei pysty reagoimaan nopeasti tuotannon vaihteluihin. (Haverila M. et al. 2005, 422)

*Imuohjauksessa* materiaali- ja informaatiovirrat kulkevat eri suuntiin, kun ne työntöohjauksessa ovat samansuuntaiset (kuva 21). Imuohjauksen periaatteena on valmistaa tuotteita vain todellisen välittömän tarpeen mukaan, jolloin tuotantoketjun tarveimpulssit kulkevat tuotannon lopusta alkuun päin. Käytännössä imuohjaus toteutetaan usein pienten nopeasti kiertävien välivarastojen avulla, jolloin ohjausimpulssi välitetään, kun tuotteita käytetään puskurivarastosta. Imuohjaus soveltuu hyvin vakio-osille ja materiaaleille, joiden menekki on tasainen, koska puskurivarastojen rakentaminen on muuten hyvin vaikeaa. Imuohjauksen käyttö edellyttää

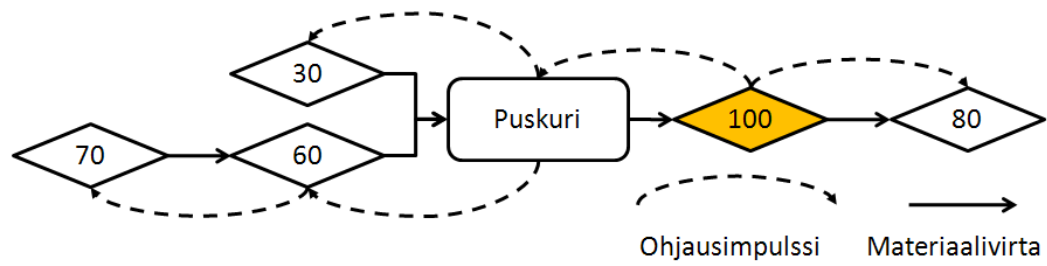
korkeaa laatua, koska yksi työvaihe voi helposti pysäyttää koko tuotantolinjan. (Haverila M. et al. 2005, 422-423)



Kuva 21. Työntö- ja imuohjauksen periaate

*Kapeikko-ohjaus* perustuu Goldrattin 1980-luvulla kirjassa *The Goal* (Tavoite) esittelemään kapeikkoteoriaan, jonka mukaan tuotannossa on aina yksi tai useampia pullonkauloja, joiden kapasiteetti rajoittaa koko tuotannon läpivirtausta. Tasapainotetussa tuotannossa esiintyvä pullonkaula kerää eteensä suuren puskurivaraston, koska pullonkaulatyövaihe on hitaampi kuin sitä edeltävät työvaiheet. Vastaavasti pullonkaulan jälkeiset työvaiheet ovat vajaa kuormitettuja, koska pullonkaula ei pysty tuottamaan tarpeeksi suoritteita sen jälkeisille työvaiheille. Jos tuotantokapeikkaa ei hallita, sen paikka voi vaihdella tuotannossa, jolloin syntyy paljon suuria välivarastoja.

Kapeikko-ohjauksessa hyväksytään se tosiasia, että tuotannossa on aina pullonkaula, joka rajoittaa tuotannon läpivirtausta. Pullonkaulan tunnistamisen ja hyväksymisen jälkeen pyritään sen kuormitus pitämään mahdollisimman suurena, jolloin pullonkaulaa edeltävät työvaiheet ajoitetaan siten, että pullonkaulaa edeltävä puskurivarasto ei pääse koskaan tyhjentymään tai paisumaan liian suureksi. Toisaalta pullonkaulatyövaihe rajoittaa sen jälkeisiä työvaiheita, jolloin pullonkaula muodostaa ”rumpu-puskuri-köysi”-systeemin kuvan 22 mukaisesti. Pullonkaulan puskurisiis määrää sitä edeltävien työvaiheiden suoritustahdin (rumpu) ja rajoittaa pullonkaulan jälkeisiä työvaiheita (köysi).



Kuva 22. Kapeikko-ohjauksen periaate: pullonkaulan maksimikapasiteetti rajoittaa muiden työvaiheiden kapasiteettia ja määrää läpivirtauksen.

Kapeikkoteorian mukaan tuotannon läpivirtausta voidaan parantaa seuraavan mallin mukaisesti (Goldratt E. 2007)

1. Tunnista tuotannon pullonkaula/pullonkaulat.
2. Tehosta pullonkaulojen käyttöä.
3. Alista kaikki muut toiminnot pullonkaulan tehostamiselle.
4. Avarra pullonkaulaa lisäämällä sen kapasiteettia.
5. Aloita jatkuva parantaminen palaamalla kohtaan 1.

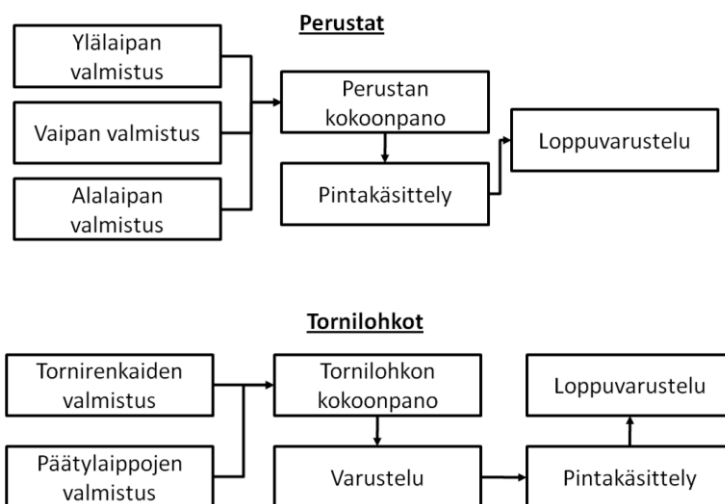
## II HITSAUSTUOTANNON KEHITTÄMINEN

### 4 NYKYTILANTEEN KUVAUS JA ANALYSOINTI

Tuulivoimalan tornien valmistus alkoi Levatorilla vuonna 2004 ja tuotanto on kehittynyt vuosien aikana yksittäistuotannosta kohti tuotantolinjaa. Tuulivoimaloiden tornilohkojen valmistuksen alkaessa tuotannon avainlaitteina toimivat muutamat pyöritysrullastot ja jauhekaaritraktorit. Vuosien saatossa tuulivoimalan tornien valmistuslaitteisiin on investoitu ja nykyisinä avainlaitteina toimivat kolme hitsaustornia, hydraulinen kokoonpanoasema ja useat pyöritysrullastot, jotka muodostavat yhden tuotantolinjan. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi tuulivoimalan tornilohkojen ja perustakappaleiden valmistusvaiheet, tuotannon analysointi, nykyinen tuotantokapasiteetti ja layout.

#### 4.1 Tuulivoimalan tornien valmistus Levatorilla

Perustojen ja tornilohkojen valmistuksen päävaiheet on esitetty kuvan 23 lohko-kaavioissa ja teräsrakenteiden valmistusprosessi on kuvattu tarkemmin liitteen 1 lohko-kaaviossa. Päätyövaiheita ovat osien valmistus (laipat, renkaat, vaipat), kokoonpano, varustelu, pintakäsittely ja loppuvarustelu.



Kuva 23. Tornin komponenttien valmistuksen päävaiheet Levatorilla.

Tornilohkojen ja perustojen laipat ostetaan valmiina tai valmistetaan itse laippatyypistä riippuen. Paksut perustakappaleiden alalaipat valmistetaan yleensä itse, jol-

loin laippa valmistetaan polttoleikatuista sektoreista hitsaamalla. Yleensä laippa kootaan sovitustason päällä neljästä sektorista ja hitsataan jauhekaaritraktorilla. Laipan hitsaukselle on tyypillistä paksut aineenpaksuudet (>50 mm), jolloin esilämmitys, lämmöntuonti ja muodonmuutokset asettavat hitsaukselle erityisiä haasteita. Hitsattu laippa tarkistetaan magneettijauhe- ja ultraäänitarkastuksella ja tarpeen mukaan oiotaan kuumilla. Lopuksi laippaan koneistetaan kiinnitysreiät säteisporakoneella ja valmis laippa siirretään kokoonpanoon.

Tornirenkaat ja perustakappaleiden vaipat valmistetaan yleensä valmiiksi polttoleikatuista ja viistetyistä teräslevyistä, jotka asiakas toimittaa. Levyt pyöristetään levynpyörityskoneella ja pyöristämisen jälkeen pituusliitokseen hitsataan pohjapalkko MAG-täytelankahitsauksella renkaan ollessa levynpyörityskoneella. Pyöristetty rengas nostetaan jauhekaarihitsausasemaan, jossa pituushitsi hitsataan pyöritysrullaston päällä yksilankahitsauksena jauhekaaritornilla.

Perustakappaleet kootaan sovitustason päällä ja silloitetaan, jonka jälkeen silloitetut perustakappaleet nostetaan pyöritysrullaston päälle ja hitsataan tandemjauhekaarihitsauksella. Myös tornilohkojen päätylaipat asennetaan ja hitsataan samalla tavalla kuin perustakappaleet. Tornin ylimmän lohkon ylärenkaaseen asennetaan myös betonointi; hitsaamalla renkaan sisälle teräksinen vaippa, jonka sisälle valetaan betoni ja laippa koneistetaan. Tornin ylimmässä laippapinnassa on tarkat mitta- ja muototoleranssit.

Tornilohkot kootaan tornirenkaista, jotka sovitetaan yhteen kokoonpanoaseman säätörullien ja työsyntereiden avulla. Sovitustyön aikana tornirenkaat liitetään yhteen hitsaamalla pohjapalkko MAG-täytelankahitsauksella ja tornilohko nostetaan seuraavaksi pyöritysrullaston päälle hitsausta varten. Tornilohkon kaikki kehähitsit hitsataan tornilohkon sisäpuolelta jauhekaaritraktorilla yksilankahitsauksena ja ulkopuolelta jauhekaaritornilla tandem-menetelmällä. Hitsauksen aikana hitsauspää pidetään paikallaan ja hitsausliike toteutetaan pyöritysrullastolla. Hitsatun tornilohkon kaikki hitsit tarkastetaan silmämääräisesti ja määrätty laajuus hitseistä tarkastetaan magneettijauhe-, tunkeumaneste- ja ultraäänitarkastuksella.

Tornilohkoon hitsataan kehähitsien jälkeen varustelunastat, jotka toimivat tasojen, tikkaiden ja kaapelointien kiinnityspisteinä. Varustelunastat kiinnitetään MAG-

täytelankahitsauksella. Tornilohkosta riippuen varustelun yhteydessä asennetaan myös tarpeen mukaan lennonestovalojen kaulukset sekä oviaukon karmi, jotka asennetaan polttoleikkaamalla aukotukset ja hitsaamalla käsin MAG-täytelankahitsauksella. Liitokset ovat satulapintoja, joten niiden hitsaaminen on haasteellista.

Teräsrakennetöiden jälkeen tornilohkot ja perustakappaleet siirretään pintakäsittelyyn. Pintakäsittelyssä kappaleet hiekkapuhalletaan ja maalataan. Yrityksen maalamossa on käytössä niukkaliuotteinen polyuretaanimaalausjärjestelmä. Pintakäsittelyn jälkeen kappaleet siirretään varusteluun. Varustelussa tornilohkoihin ja perustakappaleisiin kiinnitetään muun muassa huoltotasot, tikkaat, kaapeloinnit ja lopuksi kiinnitetään lastausosat.

## 4.2 Layout

Tuulivoimalan tornilohkojen ja perustakappaleiden valmistus on aloitettu hallissa, jossa valmistetaan myös nostureita. Nosturituotanto on muodostanut suurimman osan yrityksen tuotannosta, jolloin tornikomponenttien valmistus on täytynyt sovittaa tuotantohalliin nosturituotannon ehdoilla. Nykyisellään tärkeimmät tornikomponenttien valmistusvaiheet on pystytty sijoittamaan melko hyvin lähelle toisiaan, jolloin on muodostunut selkeä tuotantolinja, mutta muutamat työvaiheet on jouduttu sijoittamaan kauaksi toisistaan kuvan 24 mukaisesti. Kuvasta nähdään, että laipan sovitus- ja silloituspaikka on huonosti sijoitettu, koska laipoitetut tornirenkaat joudutaan nostamaan nosturien valmistuslinjan yli, jolloin häiritään nosturituotantoa. Betonointipaikka ja koneistus on sijoitettu kauaksi edeltävästä ja niitä seuraavista työvaiheista, jolloin siirtomatkat kasvavat pitkiksi ja siirtoihin joudutaan käyttämään useita siltanostureita. Lisäksi nykyisessä layoutissa välivarastoille ei ole varattu selvää tilaa, jolloin esimerkiksi valmiit tornirenkaat on varastoitu tilanteen mukaan paikkoihin joissa on ollut vapaata tilaa kuten kulkuväylille. Välivarastointipaikkojen puute on lisännyt selvästi apuaikoja, koska tavaroiden etsimiseen kuluu paljon turhaa aikaa.



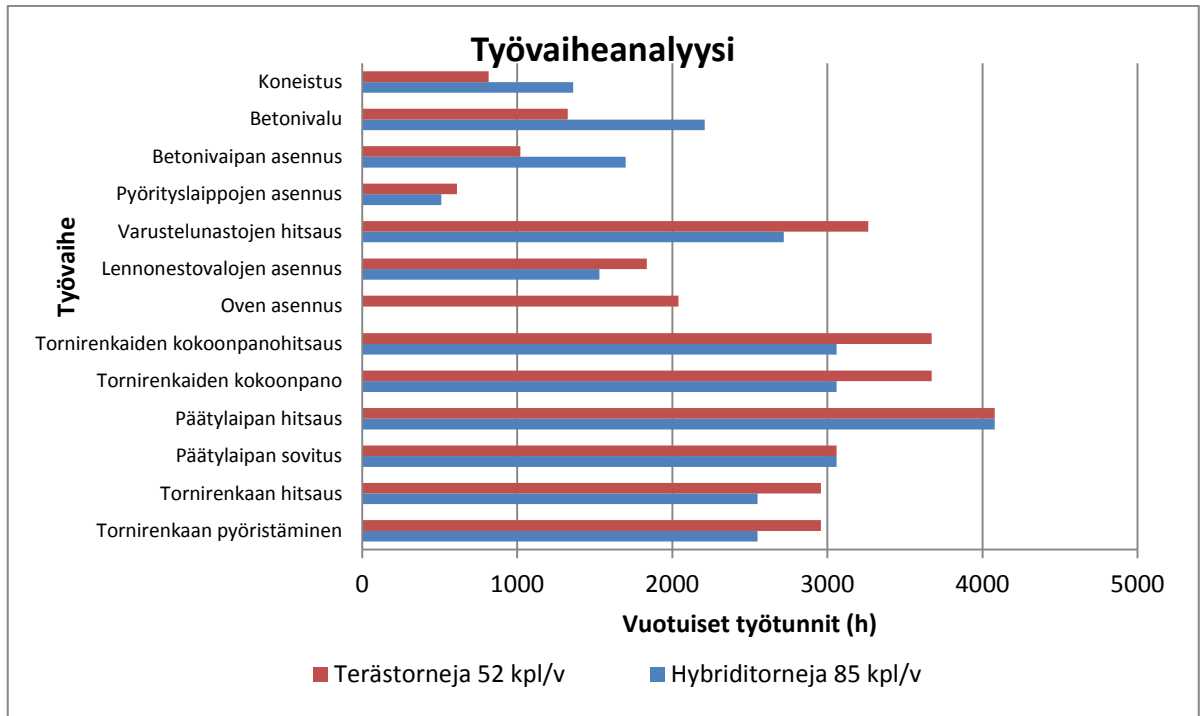


Kuva 24. Nykyinen tornikomponenttien valmistuksen layout ja reititys.

#### 4.3 Tuotatokapasiteetti

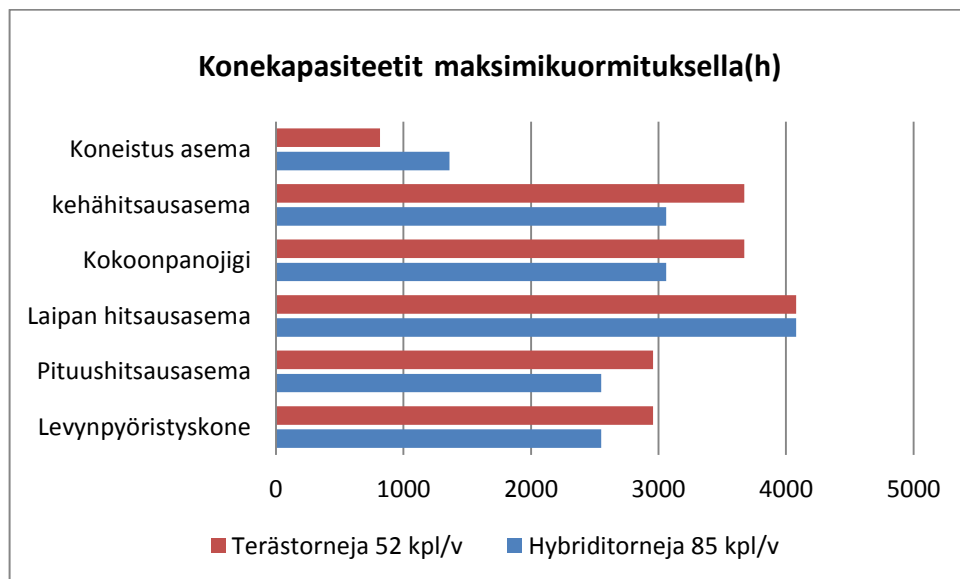
Tuotantokapasiteettia voidaan arvioida kahden tuotantoa rajoittavan tekijän perusteella. Kone- ja henkilöstökapasiteetti ovat selkeästi mitattavia suureita ja niiden pohjalta voidaan arvioida tuotannon kokonaiskapasiteetti ja etsiä mahdolliset pulonkaulat.

Yrityksen konekapasiteettien arvioinnin apuna käytettiin työvaiheanalyysijä, joissa laskettiin ensin kuinka monta teräs- tai hybriditornia voidaan valmistaa vuodessa jos tuotanto on kahdessa vuorossa. Tornityyppien maksimituotantomäärien laskennan jälkeen laskettiin maksimituotannolla työvaiheille kohdistuvat kuormitukset, jotka on esitetty kuvan 25 diagrammeissa. Työvaiheanalyysissä selvisi, että päätylaippon hitsaus on selvästi eniten aikaa vievä työvaihe. Työvaiheanalyysinlaskenta on esitetty tarkemmin liitteessä 2.



Kuva 25. Tornituotannon työvaiheanalyysit.

Työvaiheanalyysien pohjalta laskettiin avainkoneiden kapasiteetit maksimikuormituksella. Konekohtaiset kapasiteettivaraukset on esitetty kuvan 26 kaaviossa. Kaaviosta nähdään, että nykyisellä konekannalla laipan hitsausasema, kokoonpanoasema ja kehähitsausasema ovat kuormitetuimmat koneet.



Kuva 26. Konekapasiteetit maksimikuormituksella.

Henkilöstökapasiteettia on sopeutettu tornin valmistuksessa aina tilanteen mukaan. Normaalisti kuormituksella tornituotannon teräsrakennetöissä on ollut käytössä kaksivuorotyö ja vuorossa on ollut 6 työntekijää. Työvaiheanalyysissä laskevia maksimitornimääriä valmistettaessa vaatii terästornien valmistus 16,3 ja hybriditornien valmistus 15 henkilötyövuotta.

#### 4.4 Tuotannon analysointi

Tuulivoimalan tornien tuotantoa Levatorilla arvioitiin SWOT-analyysin avulla. SWOT-analyysi on nelikenttämenetelmä, jonka avulla voidaan arvioida yrityksen yksittäisiä toimintoja tai koko yrityksen toimintaa. Nelikenttämenetelmässä arvioidaan yrityksen sisäiset vahvuudet ja heikkoudet, sekä yritykseen ulkoisesti vaikuttavat mahdollisuudet ja uhat. Tehty SWOT-analyysi on esitetty kuvassa 27 ja siinä esitetyt asiat perustellaan seuraavissa kappaleissa ja lopuksi esitetään toimenpiteitä uhkien ja heikkouksien välttämiseksi.

<p><b>Vahvuudet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Hitsauksen asiantuntemus</li> <li>•Ketterä tuotanto</li> <li>•Tehokkaat hitsausprosessit</li> <li>•Kokemus suurien kappaleiden valmistuksesta</li> </ul>	<p><b>Heikkoudet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Materiaalien virtaus</li> <li>•Välikvarastointi tilat</li> <li>•Kapasiteetin rajoitteet</li> <li>•Hiljaisen tiedon siirtyminen</li> <li>•Työergonomia</li> </ul>
<p><b>Mahdollisuudet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Nopeasti kasvavat markkinat</li> <li>•Tuotannon kehitystyön yhteistyökumppanit</li> </ul>	<p><b>Uhat:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Työvoiman saatavuus</li> <li>•Tiukentuvat laatuvaatimukset</li> <li>•Toimitusajat kiristyvät</li> </ul>

Kuva 27. SWOT-analyysi tuulivoimalan tornien tuotannosta Levatorilla

Hitsauksen asiantuntemus on teräsosavalmistuksen vahvuus, koska työntekijöinä on kokeneita hitsaajia ja toimihenkilöinä on IWS- ja IWT-koulutettuja osaajia. Tuotantoa voidaan luonnehtia ketteräksi, koska tornin valmistuksen avainkoneet kuten

hitsaustornit ja pyörityslaitteet soveltuvat monipuolisesti erilaisiin hitsaustöihin. Koneet ovat myös helposti siirreltäviä, jolloin yksittäisiä projekteja varten voidaan tarpeen mukaan perustaa omat tuotantosolut. Tornivalmistuksen päähitsausmenetelmä on jauhekaarihitsaus, josta on käytössä 1-lanka- ja tandemsovellukset, jolloin hitsaus on erittäin tehokasta. Levatorin tiloissa on valmistettu raskaita teräsrakenteita jo vuodesta 1969 lähtien, joten raskaiden kappaleiden valmistuksesta on vankka kokemus. Yrityksestä riippumattomia mahdollisuuksia tarjoavat nopeasti kasvaviksi odotetut markkinat, sekä tuotannon kehitystyössä apuna olevat yhteistyökumppanit, jotka voivat toimittaa pitkälle räätälöityjä laitekokonaisuuksia.

Teräsosavalmistuksen heikkouksia ovat nykyiseen layoutiin liittyvät ongelmat materiaalien virtautuksessa, koska suurten kappaleiden siirrot vievät paljon aikaa ja nykyisellään osa siirroista joudutaan toteuttamaan usealla nosturilla. Myös välivarastoinnin tilanpuute sotkee tuotantoa ja lisää aikaa vievien siirtojen määrää. Muutamat vaativat työvaiheet kuten laipan hitsaus sekä oven karmin ja lennonestovalojen asennus vievät paljon aikaa ja rajoittavat kokonaistuotantokapasiteettia. Näissä työvaiheissa apuaikojen osuus on hyvin suuri jolloin työvaiheita tehostamalla ja mekanisoimalla voidaan säästää paljon aikaa. Paljon aikaa vievät työvaiheet ovat myös työergonomialtaan vaikeita. Levatorilla työntekijöiden vaihtuvuus on ollut melko vilkasta, jolloin hiljaisen tiedon siirtyminen on ollut ongelmallista, koska työvaiheissa tarvittavaa hiljaista tietoa ei ole dokumentoitu.

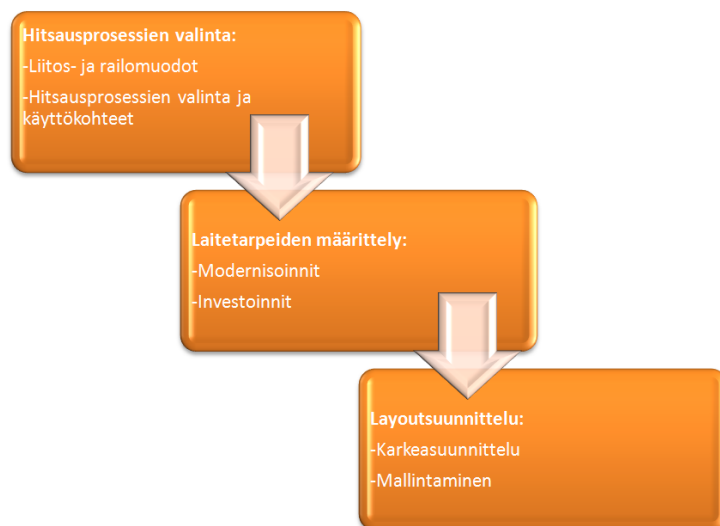
Tuotannolle uhkia ovat tiukkenevat toimitusajat ja laatuvaatimukset, sekä työvoiman saatavuus. Tilaajan vaatimat toimitusajat ovat lyhentyneet jatkuvasti ja samalla materiaalien toimitusajat ovat pidentyneet. Myös laatuvaatimukset ovat kiristymässä, jolloin esimerkiksi ultraäänitarkastus voidaan suorittaa vasta 48 h hitsauksen jälkeen kylmähalkeiluriskin vuoksi. Näin ollen tornikomponentteja joudutaan seisottamaan tuotannossa jos halutaan varmistaa mahdollisten virheiden korjaus ennen seuraavaa työvaihetta tai otetaan tietoinen riski siitä, että mahdollinen virhe korjataan vasta myöhemmässä vaiheessa.

Tuotannon heikkouksista materiaalin virtautukseen ja välivarastointiin pystytään vaikuttamaan suunnittelemalla uusi layout. Tuotantokapasiteettia pystytään nos-

tamaan huomattavasti investoimalla pullonkaulatyövaiheiden kehittämiseen, jolloin myös työolot paranevat. Hiljaisen tiedon siirtymistä voidaan parantaa laatimalla työohjeita yhdessä kokeneiden hitsaajien ja levyseppien kanssa.

## 5 TOISEN HITSAUSLINJAN KÄYTTÖÖNOTON SUUNNITTELU

Uuden hitsauslinjan käyttöönoton suunnittelu käsittää uuden hitsauslinjan hankintaan liittyvät muutokset nykyisessä tuotannossa. Suunnittelu aloitettiin hitsausprosessien valinnalla, jonka jälkeen määriteltiin laitetarpeet. Uusi layout laadittiin huomioiden laitetarpeiden lisäksi välivarastointiin ja tuotannon ohjaustapaan liittyvät seikat. Toisen hitsauslinjan käyttöönoton suunnitteluprosessi on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Toisen hitsauslinjan käyttöönoton suunnitteluprosessin vaiheet

### 5.1 Hitsausprosessien valinta

Hitsausprosessien valinnassa tarkasteltiin nykyisen tuotannon liitos- ja railomuotoja, jonka jälkeen valittiin hitsausprosessit. Hitsausprosessien valinnassa käytettiin apuna yrityksen hitsausohjeita ja asiakkaiden vaatimuksia. Lopulliseen hitsauspro-

sessien valintaan vaikutti vahvasti yrityksen aikaisemmat myönteiset kokemukset valituista hitsausprosesseista.

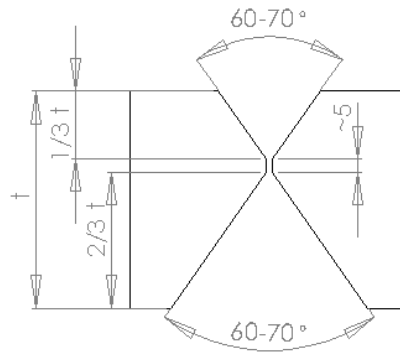
### 5.1.1 Liitos- ja railomuodot

Tornilohkojen ja perustakappaleiden hitsauksessa käytetään yleisimmin päittäis- ja T-liitoksia. Hitsattavien materiaalien aineenpaksuudet ovat tyypillisesti 12...80 mm. Railogeometrioista ovat yleisesti käytössä X-,K-, puoli V- ja V-railo. Tornin valmistuksessa yleisimmin käytetyt liitos- ja railomuodot on kerätty taulukkoon 2.

*Taulukko 2. Torninvalmistuksessa yleisemmin käytetyt liitos- ja railomuodot*

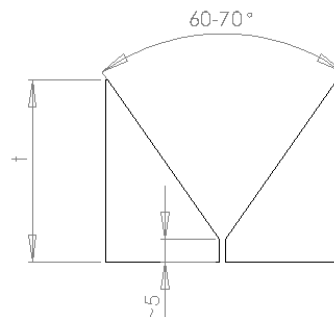
<b>Liitostyyppi</b>	<b>Aineenpaksuus / a-mitta</b>	<b>Railomuoto</b>	<b>Käyttökohde esimerkkejä</b>
<b>Päittäisliitos</b>	t=20-80 mm	X-railo	Tornirenkaiden pituus- ja kehähitsit, laippaliitos
<b>Päittäisliitos</b>	t=18 mm	K-railo	Lennonestovalon kaulus
<b>Päittäisliitos</b>	t=12-18 mm	V-railo	Tornirenkaiden pituushitsit
<b>T-liitos</b>	t=40-50 mm	K-railo	Oviaukon hitsaus, laippaliitos
<b>T-liitos</b>	a=3-5 mm	Puoli-V-railo	Varustelunastojen hitsaus

Yleisin hitsausliitos tornin valmistuksessa on päittäisliitos X-railoon, jota käytetään tornirenkaiden pituus- ja kehähitsien, sekä osan laippaliitoksista hitsaamiseen. Kuvassa 29 on esitetty tyypillinen X-railon geometria. X-railo on yleensä epäsymmetrinen muodonmuutosten hallinnan vuoksi, jolloin railon pinnan puoli voidaan hitsata täyteen monipalkohitsauksena ennen juuren puolen hitsausta. Tyypillisesti pinnan puoli on noin 1/3 ja juuren 2/3 hitsattavasta aineenpaksuudesta. Juuripinta on yleensä noin 5 mm korkea.



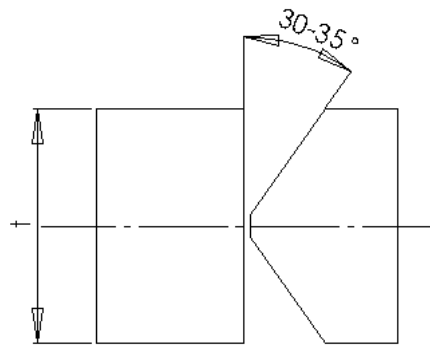
Kuva 29. Tornin valmistuksessa yleisimmin käytössä olevan X-railon tyypillinen mitoitus.

Ohuimmat (12-18 mm) tornirenkaat liitetään myös päittäisliitoksilla, mutta railomuotona käytetään X-railon sijasta V-railoa. Hitsaus tapahtuu monipalkohitsauksena ja railokulma on noin 60-70° kuvan 30 mukaisesti. Juuripinta on yleensä noin 5 mm ja juuri viimeistellään yhdellä pintapalolla.



Kuva 30. Ohuiden tornirenkaiden liittämiseen käytettävän V-railon profiili.

K-railoa käyteään laippojen ja oviaukon karmin T-liitoksissa, sekä lennonestovalon kauluksen päittäisliitoksissa. Oviaukon karmin ja lennonestovalon kauluksen railon valmistuksessa tulee kiinnittää huomiota riittävän suureen railokulmaan, koska liian pieni railokulma vaikeuttaa käsinhitsausta ja lisää liitosvirheen mahdollisuutta. K-railo on yleensä symmetrinen ja railokulma on noin 30-35° kuvan 31 mukaisesti.



Kuva 31. K-railon tyypillinen profiili.

### 5.1.2 Valitut hitsausprosessit ja niiden käyttökohteet

Aiemmin yritys on käyttänyt tornirenkaiden pituushitseissä 1-lankajauhekaarihitsausta ja tornirenkaiden kehähitseissä sekä laippaliitoksissa tandem-jauhekaarihitsausta. Tandem-hitsaus on osoittautunut tehokkaaksi hitsausprosessiksi ja myös hitsien laatu on parantunut prosessin käyttöönoton jälkeen. Yrityksessä on kokeiltu aiemmin myös kuumalanka- ja twin-jauhekaariprosesseja, mutta tandem-prosessi on osoittanut parhaaksi vaihtoehdoksi. Uuden hitsauslinjan käyttöönoton yhteydessä modernisoidaan hitsauslaitteistoja siten, että varusteluhitsejä lukuun ottamatta kaikki tornin hitsausliitokset hitsataan tandem-jauhekaariprosessilla. Varustelussa käytetään myös jatkossa MAG-täytelankahitsausta.

Tandem-jauhekaarihitsaus valittiin päähitsausprosessiksi, koska kahden langan käyttö parantaa hitsauksen tuottavuutta. Prosessilla saavutetaan myös parempi hitsin muoto, koska hitsauksessa voidaan käyttää ensimmäisessä langassa DC-virtaa ja toisessa AC-virtaa. DC+ -virralla saavutetaan hitsiin suuri tunkeuma ja AC-virralla saavutetaan leveä hitsi, jolloin liitosvirheen riski vähenee.

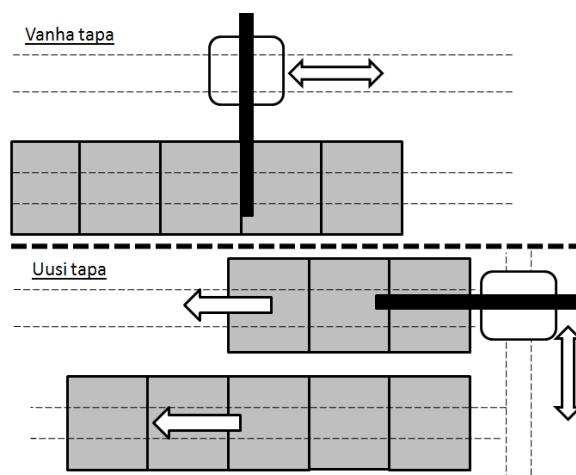
### 5.2 Laitetarpeiden määrittely

Levator tilasi kesäkuussa 2009 toisen hitsauslinjan, joka sisältää tornilohkon kokoonpanorullaston, pyöritysrullastoparin ja kokoonpanorullaston, jonka avulla voi-



daan tehdä kahden tornirenkaan osakoonteja, perustan kokoonpano, tornirenkaan pituushitsaus ja laipan hitsaus. Laitetarpeet määritellään kahden kokoonpanolinjan kapasiteetin perusteella.

Toisen linjan käyttöönoton yhteydessä muutetaan tornilohkon kokoonpanoa nykyisestä menetelmästä, jossa tornilohkon kaikki renkaat silloitetaan yhteen ennen kehien hitsausta. Uusi tapa on hitsata tornirenkaat heti silloituksen jälkeen yksitellen, jolloin voidaan käyttää yhtä hitsaustornia molemmilla linjoilla kuvan 32 mukaisesti. Uusi tapa parantaa työturvallisuutta, koska aiemmin silloitettujen tornilohkojen siirtoon liittyi selkeä turvallisuusriski. Uusi tapa hitsata tornirenkaat lohkon päästä yksitellen mahdollistaa myös hitsaustornin käytön sisäpuoliseen hitsaukseen, joka suoritettiin aiemmin hitsaustraktorilla. Kokoonpanolinjat toimivat vuorotahdissa, jolloin toisessa kokoonpanoasemassa hitsataan ja toisessa silloitetaan.



Kuva 32. Toisen kokoonpanolinjan käyttöönoton yhteydessä hitsaustapa muuttuu.

Toisen linjan käyttöönotto aiheuttaa modernisointitarvetta nykyisiin tuotantolaitteisiin, mutta ei vaadi uusien työpisteiden perustamista. Modernisoitavia kohteita ovat pituushitsausasema, laipanhitsausasema ja hitsaustorni, jolla kokoonpanohitsaus tapahtuu. Toisen hitsauslinjan käyttöönotto edellyttää myös kiskotuksen asentamisen uudelle linjalle.

Pituushitsausaseman pyöryslaitteisto korvataan uuden linjan toimitukseen kuuluneella kokoonpanorullastolla, jolloin pituushitsausasemassa voidaan hitsata pituushitsien lisäksi kahden tornirenkaan osakoonteja, laippaliitoksia sekä perustan

kokoonpanohitsauksia. Aseman hitsaustornin 1-lankajauhekaarihitsauspää modernisoidaan Tandem-hitsauspääksi lisäämällä nykyisen DC-laitteiston pariin AC-laitteisto. Päivityksen jälkeen ensimmäinen lanka toimii DC-virralla ja toinen lanka AC-virralla. Modernisointi vaatii uuden virtalähteen hankinnan, joka toteutetaan siirtämällä toinen laipanhitsausaseman AC/DC-virtalähde pituushitsausasemalle. Tandem-varustelun yhteydessä hitsauspään mekaniikka uusitaan, jolloin se kestää Tandem-varustelun massan.

Laipanhitsausaseman pyörityslaitteistoa modernisoidaan lisäämällä pyörityslaitteiston yhteyteen rullatuki, joka estää pyöritettävän kappaleen aksiaalisen liikkeen pyöryksen aikana. Aseman hitsaustornia päivitetään korvaamalla nykyinen AC/DC+AC/DC-hitsauspää DC+AC/DC-hitsauspäällä, koska toinen AC/DC-virtalähde siirretään pituushitsausasemaan ja uusi DC-virtalähde on huomattavasti edullisempi kuin AC/DC-virtalähde. Samalla hitsauspään mekaniikka uusitaan, koska aikaisempi mekaniikka on rakennettu alun perin 1-lankahitsauspäälle ja tandem-varustelun myötä hitsauspään mekaniikka on ollut liian heikko. Heikko mekaniikka on lisännyt hitsausvirheriskiä hitsauspään värähtelyn ja ristiluistien suurien välysten vuoksi.

Kokoonpanohitsausasemaan sijoitettava hitsaustorni on varustettu kahdella moottorikäyttöisellä ristiluistilla, joista kumpikaan ei ole ollut puomin suuntainen, jolloin sähkömekaanista railonseurantaa ei ole voitu käyttää tornilohkon päästä hitsatesa. Modernisoinnin yhteydessä torniin lisätään moottoriluisti, jolloin tornin kaikissa liikeakseleissa on mahdollisuus käyttää railonseurantaa. Railonseurannan ohjaus toteutetaan siten, että ohjausyksiköstä valitaan automaattisen railonseurannan kaksi liikeakselia ja kolmatta akselia ohjataan manuaalisesti.

### 5.3 Uuden layoutin suunnittelu

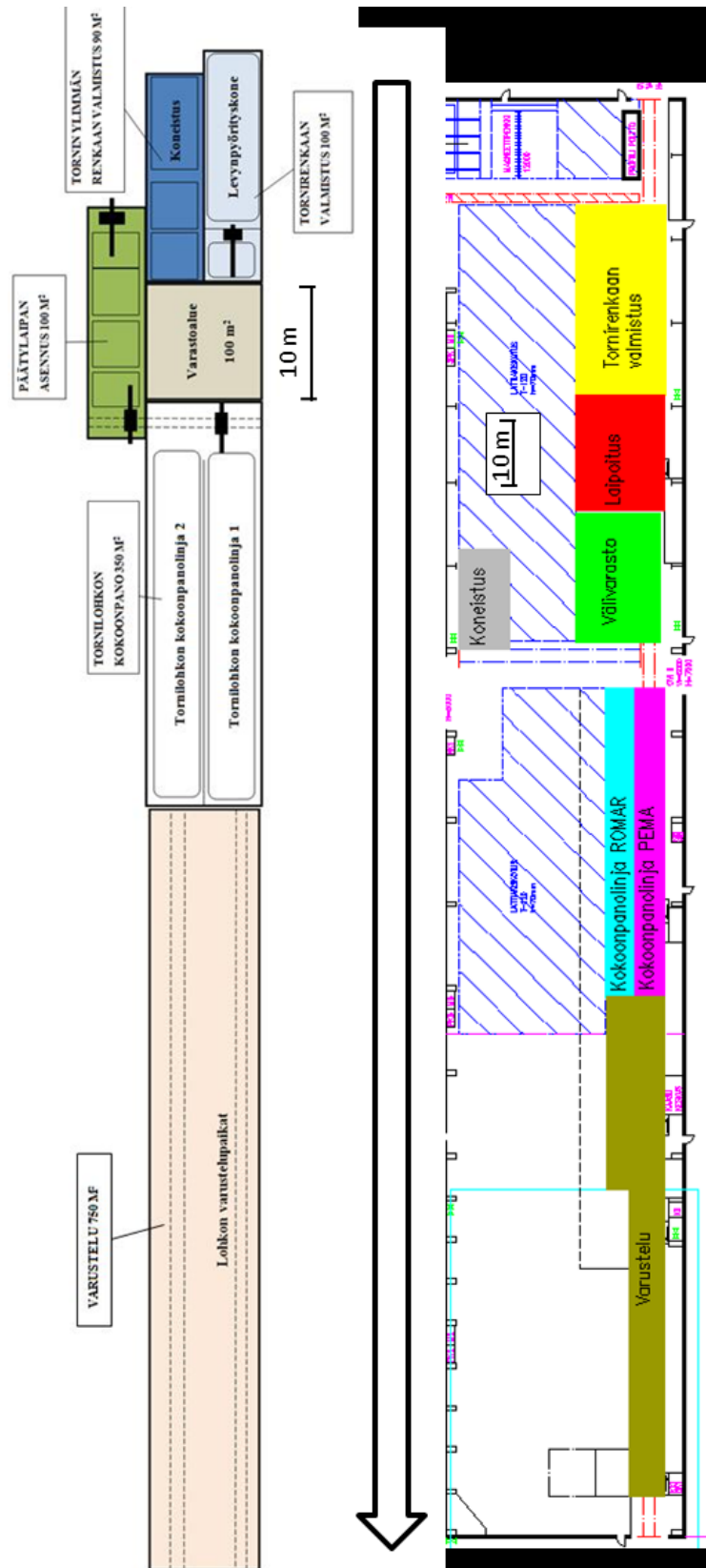
Nykyisen layoutin kehittäminen aloitettiin kandidaatintyön (Viitaniemi, 2009) aikana, jolloin tornien valmistus päätettiin muuttaa nykyisestä sekatuotannosta solutuotannoksi. Kandidaatintyön tuloksena syntyi solu-layoutista kuvan 33 mukainen luonnos, jossa tuotanto jaettiin viiteen soluun: tornirenkaan valmistus, päätylaipan asennus, tornilohkon kokoonpano, varustelu ja tornin ylimmän renkaan valmistus.

Layout-luonnoksessa tuotantosoluja ei sijoitettu olemassa oleviin tuotantotiloihin, vaan arvioitiin solujen tilantarve ja luotiin ideaalimalli.

Layout-suunnittelu jatkuu tässä työssä ensin karkeasuunnittelulla, jonka tarkoituksena on hahmotella tuotantosolujen sijoittelu ja tilantarve nykyisiin tuotantotiloihin. Karkeasuunnittelun jälkeen suoritetaan layoutin mallintaminen, jonka tavoitteena on luoda havainnollistava 3D-malli tuotannosta.

### 5.3.1 Layoutin karkeasuunnittelu

Layout-suunnitelman sovittaminen nykyiseen tuotantotilaan aloitettiin hahmottelemalla tuotantosolut ja välivarastot olemassa olevaan tuotantohalliin. Aluksi tuotantosolujen ja välivarastojen optimaaliset tilantarpeet arvioitiin, jonka jälkeen tuotantosolut sijoiteltiin tuotantotiloihin. Sijoittelussa pyrittiin minimoimaan siirtojen pituudet ja kappaleiden turhat siirrot. Tuotantosolut koottiin tuotantolinjaksi, joka on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33. Kandidaatintyössä suunniteltu layout vasemmalla (Viitaniemi, 2009) ja Soluista koostuvan tuotantolinjan karkea luonnos oikealla.

Tuotantolinja jakaantuu viiteen tuotantosoluun ja erilliseen välivarastoon. Tornirenkaan valmistussolussa levyt pyöristetään ja hitsataan yhtenäiseksi tornirenkaaksi. Tornirenkaan valmistussolu sijoitettiin linjan alkuun teräsvaraston läheisyyteen, jolloin levyniput voidaan tuoda kiskovaunuilla soluun. Valmiit tornirenkaat siirtyvät solusta välivarastoon tai laipoitussoluun.

Laipoitussolussa tornirenkaihin sovitetaan ja silloitetaan laipat, jonka jälkeen ne hitsataan. Tässä solussa tapahtuu myös perusta- ja adapterikappaleiden kokoonpano. Laipoitussolusta laipoitetut tornirenkaat siirtyvät välivarastoon tai koneistus-soluun.

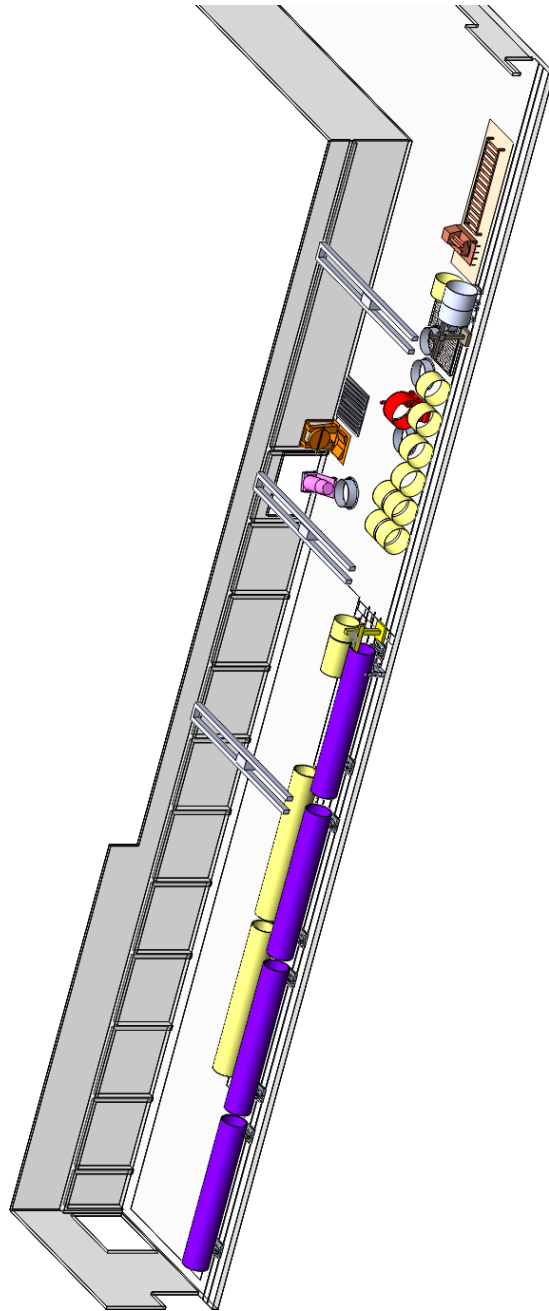
Koneistussolussa valmistetaan tornin ylin tornirengas, jossa on koneistettu laakeripinta ja betonointiosa, jonka tehtävänä on estää korkeataajuus värähtelyn siirtyminen torniin. Koneistussolussa koneistetaan tarpeen mukaan myös muut laippapinnat, jos hitsausmuodonmuutoksia ei saada korjattua kuumilla oikomalla. Valmiit komponentit siirretään solusta välivarastoon.

Välivarasto toimii kokoonpanolinjojen puskurivarastona, jonka tehtävä on varmistaa kokoonpanosoluille jatkuva materiaalivirtaus. Kokoonpanosolussa tornirenkaat kootaan, silloitetaan ja hitsataan valmiiksi tornilohkiksi. Valmis tornilohko siirretään varusteluun kiskovaunujen avulla. Varustelusolussa tornilohkoihin kiinnitetään varustelunastat ja lohkotyypistä riippuen valmistetaan tarpeen mukaan lennonestovalojen kaulukset ja oviaukon karmitus.

### 5.3.2 Layoutin mallintaminen

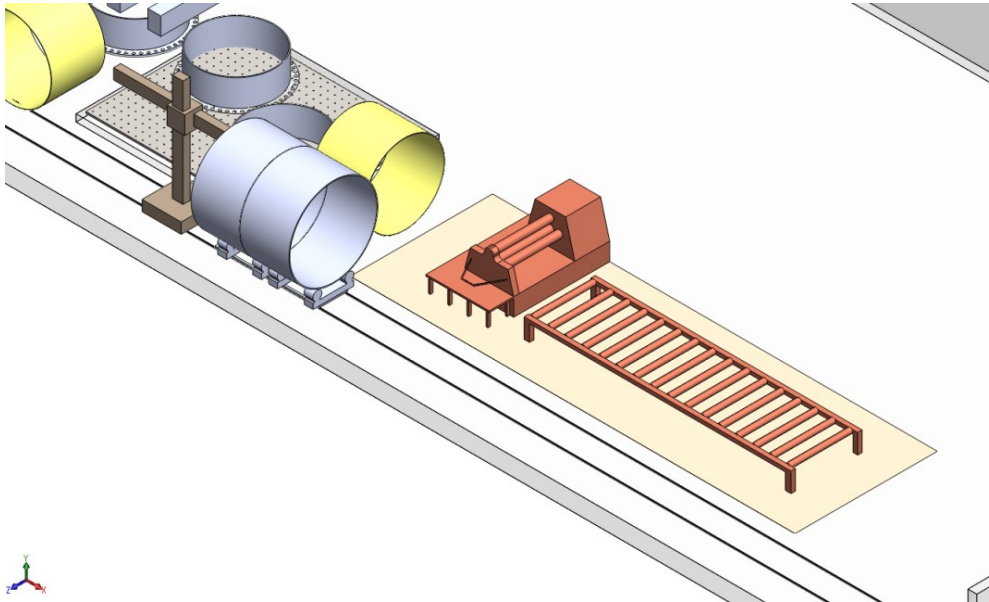
Karkeasuunnittelun jälkeen tuotantolayout mallinnettiin 3D-ympäristössä SolidWorks -ohjelmistolla. Kaikista tuotantolaitteista tehtiin karkeat 3D-mallit, joiden päämitat mallinnettiin tarkasti. Mallinnuksen tarkoituksena on selvittää tuotantolaitteiden ja välivarastointipaikkojen tarkat sijainnit. Mallinnus antaa myös tarkan kuvan tuotantolinjan virtautuksesta.

Layoutin 3D-malli on esitetty kuvassa 34. Halli mallinnettiin CAD-kuvan pohjalta ja mitat tarkistettiin hallissa suoritetuilla mittauksilla. Mittaukset tehtiin laseretäisyysmittarilla. Kaikki tuotantolaitteiden mitat saatiin laitteiden valmistajien toimittamista dokumenteista ja mitat varmennettiin tarkistusmittauksilla. Liitteessä 3 on esitetty lisää kuvia tuotantolinjasta eri kuvakulmista. Seuraavissa kappaleissa esitetään jokainen tuotantosolu erikseen.



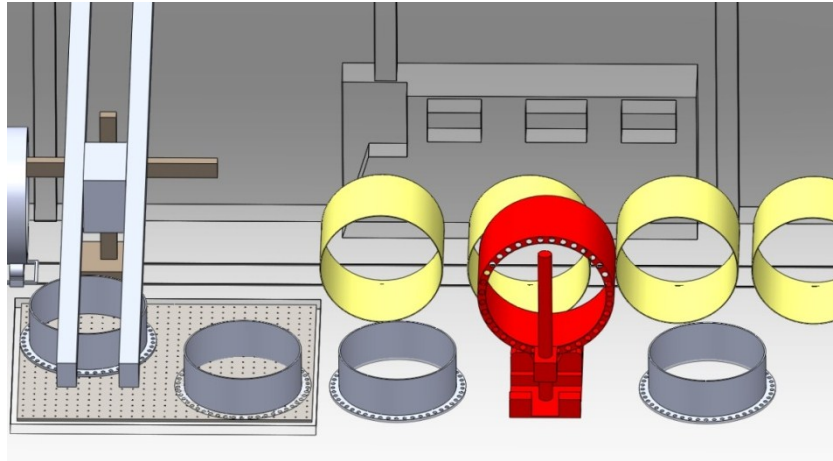
Kuva 34. Tuotantolinjan 3D-malli, tornilohkon pituus 30 m.

Tornirenkaan valmistussoluun (kuva 35) sijoitettiin Davin levyppyöristyskone, Boden hitsaustorni ja Romarin kokoonpanorullasto, jossa voidaan tehdä tornirenkaan pituushitsaukset, laipanhitsaukset ja ns. ”kakkosia” eli kahden tornirenkaan osakoonteja. Soluun tuodaan levyt kiskoja pitkin kiskovaunulla, solun sisäiset ja solusta eteenpäin tehtävät siirrot suoritetaan siltanosturilla. Soluun on mahdollista tuoda kaksi levynippua kiskovaunuilla samaan aikaan, jolloin molemmille kokoonpanolinjoille voidaan valmistaa tornirenkaita yhtä aikaa. Solussa on yksi puskurivarastopaikka hitsausta odottavalle tornirenkaalle. Solun perustaminen vaatii levyppyöristyskoneen siirron lähemmäksi teräsvarastoa, hitsaustornin siirron ja kokoonpanorullaston asentamisen sen toimituksen yhteydessä.



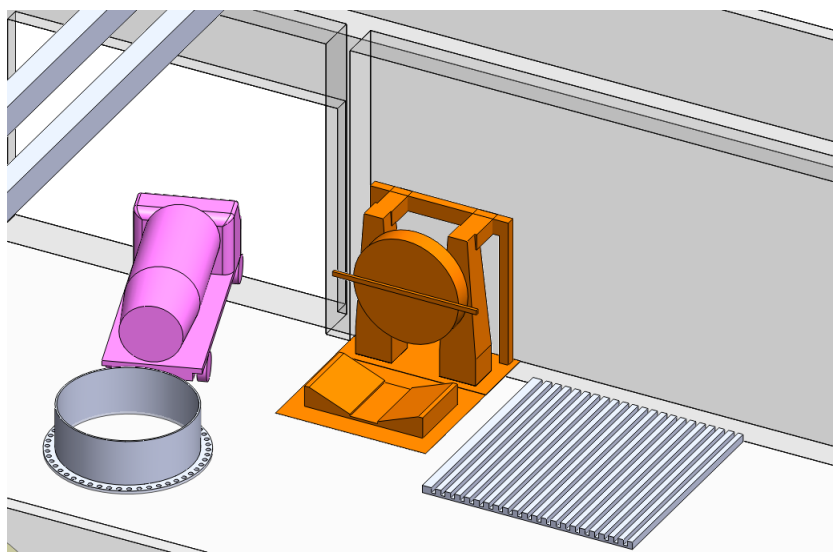
Kuva 35. Tornirenkaan valmistussolun 3D-malli, tornirenkaan pituus 3m.

Laipoitussolussa asennetaan ja hitsataan tornilohkojen ylä- ja alalaipat, sekä kootaan ja hitsataan perusta- ja adapterikappaleet. Laipat sovitetaan ja silloitetaan reikäta-son päällä, josta ne nostetaan siltanosturilla hitsausasemaan. Solussa on kaksi laipan asennuspaikkaa ja yksi hitsauspaikka kuvan 36 mukaisesti. Välivarastointitilaa solussa on kahdelle keskeneräiselle kappaleelle. Solun perustaminen vaatii reikäta-son siirron levyppyöristyskoneen vanhaan syvennykseen ja laipanhitsausaseman uudelleen sijoittamisen.



Kuva 36. Laipoitussolun 3D-malli, tornirenkaan halkaisija 3 m.

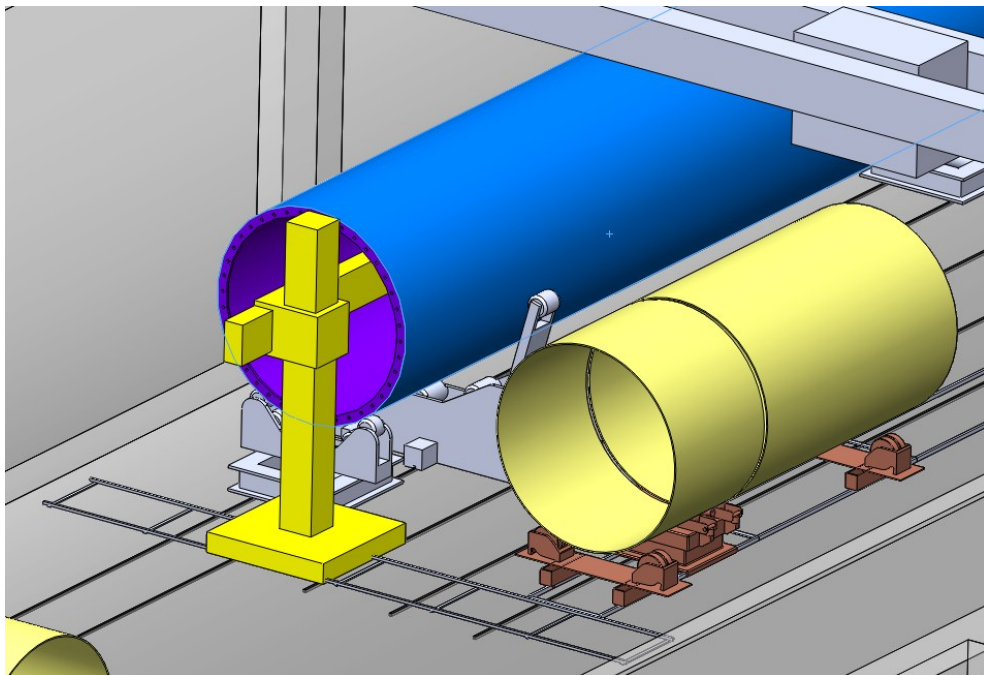
Koneistussolussa (kuva 37) koneistetaan laippapinnat tasosorvilla. Solussa asennetaan ja hitsataan tornin ylimmän tornirenkaan betonointivaippa. Koneistussolussa alihankkija suorittaa ylimmän tornirenkaan betonivalun. Solu on sijoitettu oven viereen, jolloin betoniauton on helppo suorittaa valu. Soluun ei ole varattu tilaa varsinaisille puskurivarastoille, mutta tarpeen mukaan tilaa on käytössä solun vieressä, joka on normaalisti nosturit tuotannon osakoontien kokoonpano-/varastointipaikka. Poikkeustilanteissa solun vieressä olevaa keskikäytävää voidaan käyttää tilapäisvarastona. Solussa on käytössä siltanostureiden lisäksi konsolinosturi, jonka nostokapasiteetti on kaksi tonnia. Solun perustaminen vaatii tasosorvin siirron.



Kuva 37. Koneistussolun 3D-malli, renkaan halkaisija 3 m.



Kokoonpanosolussa tornirenkaat kootaan ja hitsataan tornilohkoiksi. Kuvassa 38 on esitetty kokoonpanosolu. Solun muodostavat nykyinen Peman valmistama kokoonpanorullasto ja uusi Romarin valmistama kokoonpanorullasto, sekä Esabin hitsaustorni tandem-jauhekaarivarustuksella. Solun jatkuva kuormitus varmistetaan riittävän suurella puskurivarastolla, jossa on linjakohtaiset varastointipaikat. Valmiit tornilohkot siirretään solusta kiskovaunuilla varusteluun. Varustelussa tornilohkoja voidaan pyörittää kiskovaunujen päälle asennetuilla pyöritysrullastoilla.

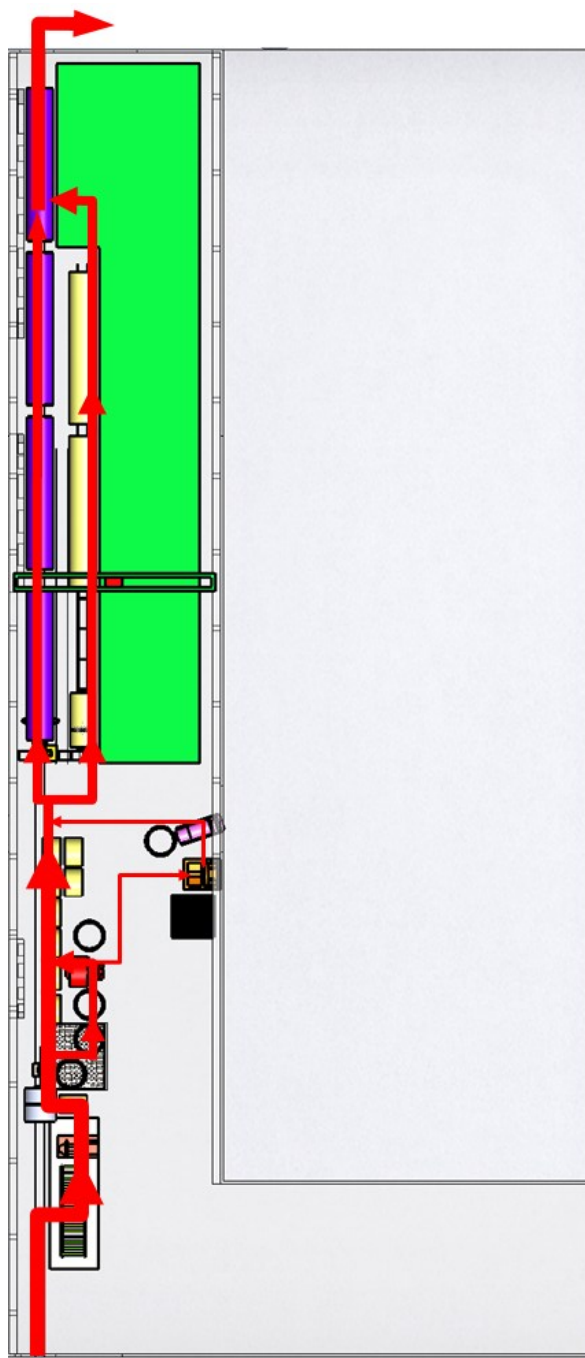


Kuva 38. Kokoonpanosolun 3D-malli.

#### 5.4 Tuotannonohjaus

Suunniteltujen layoutmuutosten tavoitteena on helpottaa tuotannonohjausta muuttamalla tuotantojärjestelmä soluista koostuvaksi tuotantolinjaksi. Tuotannon ohjattavuuden kannalta tärkeitä asioita ovat: tuotannon virtaus, ohjaustavan valinta ja puskurivarastojen kokojen määrittäminen. Suunnitellun mukainen layout selkeyttää tuotantoa huomattavasti, jolloin turhat siirtelyt vähenevät ja siirtomatkat vähenevät. Suunniteltujen uudelleenjärjestelyjen ja investointien jälkeen tuotantolinjan materiaalien virtaus on kuvan 39 mukainen. Kuvassa materiaalivirtoja kuvataan punaisella viivalla ja nuolet määrittelevät materiaalien kiertosuunnan. Punaisen viivan

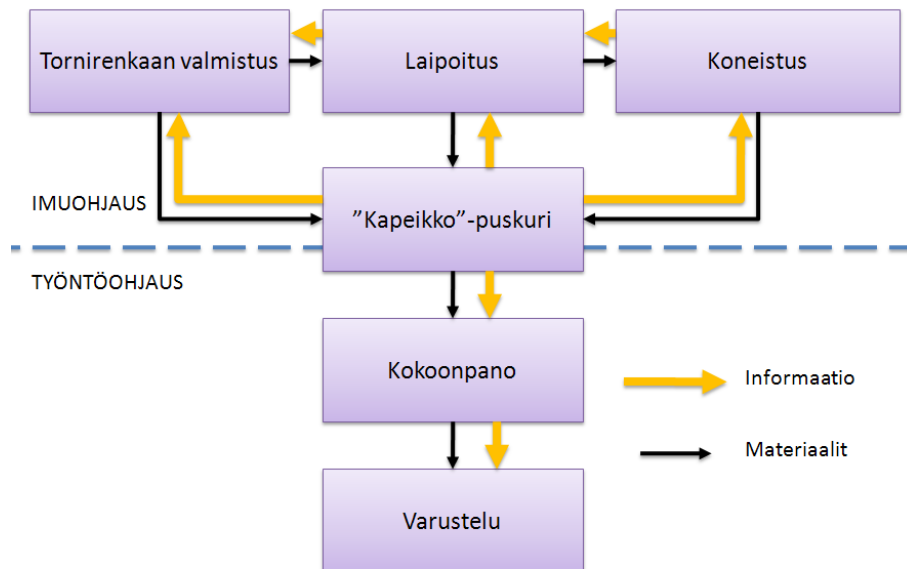
leveys määrittelee materiaalivirtauksen määrän: mitä leveämpi viiva sitä suurempi osa tuotannosta kulkee reittiä pitkin.



Kuva 39. Materiaalien virtaus uudessa layoutissa.

### 5.4.1 Ohjaustavan valinta

Tuotantolinjan ohjaustavaksi valittiin kapeikko-ohjaus. Tornien tuotannon todellinen pullonkaula on suunnitteluvaiheessa vasta arvio, mutta todennäköisesti pullonkaula syntyy tornilohkojen kokoonpanolinjojen alkuun. Tuotannon ajoitus tapahtuu tornilohkojen kokoonpanorullastojen kuormituksen mukaan muodostamalla niiden eteen puskurivarasto hitsatuille tornirenkaille ja laipoitetuille tornirenkaille. Välivarastoa täydennetään imuohjaamalla tuotannon alkupäätä. Hitsatut tornilohkot työntöohjataan varusteluun. Tuotannon ohjaustavan periaatteet on kuvattu kuvassa 40.



Kuva 40. Kapeikko-ohjaukseen perustuva tuotannon ohjaustapa.

Kapeikon eteen muodostettu puskuri määrää tuotantotahdin kapeikko-ohjausteorian mukaisesti. Kapeikon eteen muodostettua puskurivarastoa edeltävät solut saavat valmistusinformaation imuohjaamalla ja kapeikon jälkeiseen työvaiheeseen valmistusinformaatio siirtyy työntöohjaamalla. "Köysi-rumpu"-periaatteen mukaisesti kapeikkopuskuri vetää (köysi) materiaaleja aiemmista työvaiheista ja määrää seuraavien työvaiheiden tahdin (rumpu).

#### 5.4.2 Puskurivarastojen koon määrittäminen

Puskurivarastojen tehtävänä on varmistaa materiaalivirtojen riittävyys tuotantotah-  
tien normaalin vaihtelun aikana. Ne siis tasaavat tuotantoa ja estävät materiaali-  
puutteista johtuvat tuotantokatkokset. Tornien tuotantolinjalle varattiin puskuriva-  
rastopaikkoja taulukon 3 mukaisesti. Varastokoot määriteltiin yksinkertaisen Excel-  
pohjaisen tahtiaikasimuloinnin avulla ja huomioiden käytössä oleva varastointitila.

*Taulukko 3. Puskurivarastopaikkojen määrittely.*

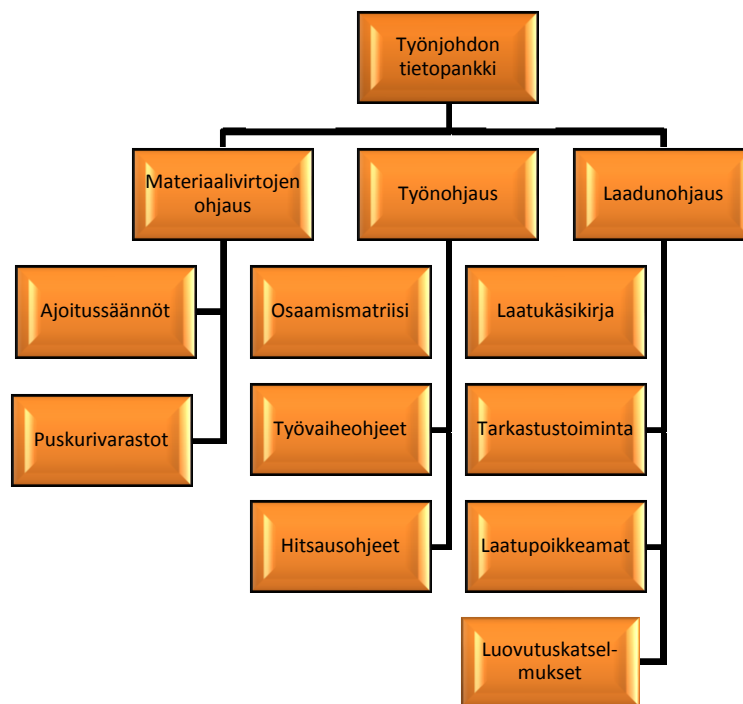
Varastopaikka	Varaston koko
Levynpyörästyskoneen levyvarasto	2 levynippuvaunua
Renkaan valmistussolu	1 tornirengas
Laipoitusosu	2 tornirengasta
Kokoonpanoa edeltävä välivarasto	8 tornirengasta

Tuotantolinjan alussa levynpyörästyskoneelle on varattu kaksi puskurivarastopaik-  
kaa, joihin voidaan tuoda levyniput kiskovaunujen avulla. Kaksi varastopaikkaa  
mahdollistaa tornilohkokokoisten levyjen lajittelun, jolloin yhden tornilohkon levyt  
pinotaan yhdeksi nipuksi. Näin toimittaessa voidaan levyjä pyörästää tornirenkaiksi  
vuorotellen molemmista nipuista, jolloin saadaan tasainen materiaalivirtaus mo-  
lemmille kokoonpanolinjoille. Tornirenkaalle on varattu solussa yksi puskurivaras-  
topaikka, johon pyörästetty tornirengas nostetaan, jos tornirenkaan pituusasemas-  
sa on vielä edellisen renkaan hitsaus kesken. Laipoitusosuun on varattu kaksi  
varastopaikkaa laipoitusta odottaville tornirenkaille.

Kokoonpanoa edeltävä välivarasto toimii linjojen pääpuskurivarastona, jossa mo-  
lemmille kokoonpanolinjoille on varattu neljä tornirenkaiden varastointipaikkaa.  
Neljä varastointipaikkaa jakautuu kahteen laipallisen tornirenkaan varastointipaik-  
kaan ja kahteen laipattoman tornirenkaan varastointipaikkaan. Varastointipaikat on  
numeroitu ja värikoodattu. Puskurivarastojen käyttö ja tuotannon ajoitus kuvataan  
ohjeiston kohdassa materiaalivirtojen ohjaus.

## 6 OHJEISTON LAATIMINEN

Ohjeiston tarkoituksena on koota kaikki tornin valmistuksessa tarvittava tieto yhdeksi kokonaisuudeksi, jonka avulla työjohto pystyy suoriutumaan tehtävistään. Samalla ohjeisto määrittelee yhtenäiset toimintatavat, joiden avulla tornien tuotantoa voidaan ohjata menestyksekkäästi. Ohjeisto laadittiin sähköiseen formaattiin ”työnjohtajan tietopankiksi” ja sen sisältö on esitetty kuvassa 41 kuvatussa lohko-kaaviossa, joka toimii ohjeiston tiedostopuuna. Seuraavissa kappaleissa esitellään ohjeiston kaikki osa-alueet ja esitetään esimerkkejä ohjeista.



Kuva 41. Ohjeiston runko lohko-kaaviona

### 6.1 Materiaalivirtojen ohjaus

Osio sisältää ohjeet materiaalien reititykseen, puskurivarastojen hallintaan sekä tuotannon ajoitukseen. Materiaalivirtojen ohjaukseen laadittujen ohjeiden ja johdon tekemän tuotantosuunnitelman asettamien vaatimusten perusteella työnjohtaja

kykenee laatimaan tuotannon hienosuunnitelman, joka sisältää muun muassa työjonot.

Tuotantolinjan ohjauksessa käytetään osittain visuaalista ohjausta, jossa tornirenkaiden tunnistamiseen ja ohjaukseen oikealle kokoonpanorullastolle käytetään merkkivärejä. Tornirenkasiin merkitään heti pyöristämisen jälkeen työnumero, lohkonumero, renkaan paikka tornilohkossa ja molempien päätyjen ulkohalkaisijat. Merkintään käytetään kokoonpanorullastokohtaisia värejä. Peman rullastolla koottavat tornirenkaat merkitään sinisellä värillä ja Romarin rullaston tornirenkaat keltaisella värillä.

#### 6.1.1 Puskurivarastot

Solujen sisäisiä puskurivarastoja käytetään tasaamaan solun kuormitusta ja niissä säilytetään seuraavaksi työstettävää kappaletta. Tornilohkon kokoonpanolinjoja edeltävä puskurivarasto on jaettu molemmille linjoille, jolloin toinen puoli puskurivarastoa on varattu Romarin ja toinen Peman kokoonpanolinjalle. Varastopaikat on värikoodattu kokoonpanolinjakohtaisilla väreillä ja tornirenkaille on varattu säilytystuet. Tuotanto pyritään pitämään yllä mahdollisimman pienillä puskurivarastoilla, koska tornirenkaiden varastointi vie paljon lattiatilaa.

Molemmille kokoonpanolinjoille on omat varastopuskurit kahdelle normaalille renkaalle ja kahdelle laipoitetulle renkaalle. Lisäksi jokaisessa solussa on mahdollista varastoida vähintään yksi odottava kappale.

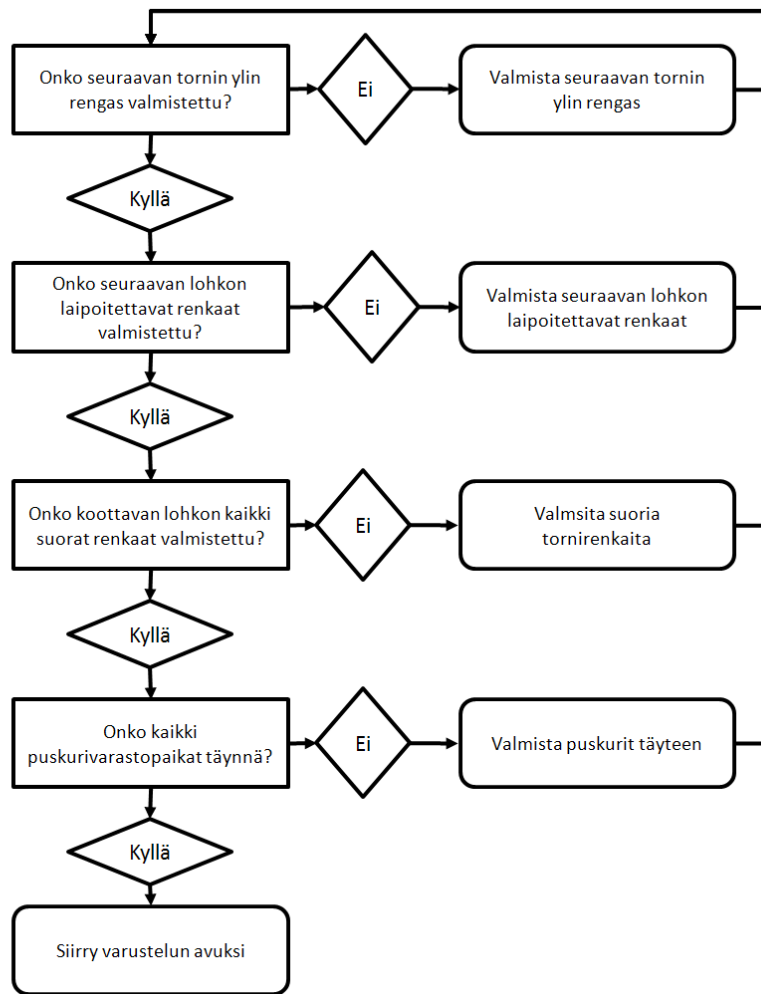
#### 6.1.2 Ajoitussäännöt

Ajoitussäännöt toimivat tuotannon liikennesääntöinä, jotka määräävät mitkä kappaleet ovat etusijalla tilanteissa, joissa kaksi kappaletta pitäisi saada työvaiheeseen yhtä aikaa. Säännöt pyrittiin luomaan mahdollisimman yksinkertaisiksi. Lähtökohtaisesti ajoitussääntöjä tarvitaan tuotannon alkupäässä ennen tornilohkon kokoonpanosolua, jolloin tornirenkaita joudutaan toimittamaan useaan eri työvaiheisiin.

Toimituspäivämäärät toimivat ajoituksen perustana. Solujen työjonot muodostetaan tornilohkon kokoonpanon mukaan siten, että tornirengas on juuri oikeaan aikaan kokoonpanon puskurivarastossa. Työjonojen muodostamisessa käytetään hyväksi keskimääräisiä tornirenkaiden toimitusaikoja kokoonpanoon: normaali rengas 4 h, laipoitettu tornirengas 20 h ja tornin ylin rengas 70 h.

Tornirenkaiden valmistus on ohjauksen kannalta kriittisin solu, koska se valmistaa tornirenkaita kolmelle eri solulle: laipoitukseen, koneistukseen ja kokoonpanoon. Jos tornirenkaiden valmistussolulle muodostetaan työjonot oikein, niin se määrää kaikkien muiden solujen työjonot FIFO-periaatteella ” ensimmäisenä soluun tullut tuote valmistetaan ensin”. Voidaankin todeta, että renkaan valmistussolu määrää koko tuotannon valmistusjärjestyksen ja kokoonpanosolun eteen muodostettu kaapeikko määrää oikean ajoituksen eli materiaalin virtausnopeuden.

Tornirenkaan valmistuksen ollessa kriittisin solu, laadittiin sen työjonojen muodostamisen avuksi kuvan 42 vuokaavio, jonka avulla tornirenkaiden työjonot muodostetaan. Vuokaavio on selkeyden vuoksi laadittu vain yhden linjan systeemiä varten, mutta se toimii myös kahdelle linjalle, kun tornirenkaita valmistetaan vuorotellen molemmille linjoille.



Kuva 42. Renkaan valmistussolun työjonon muodostaminen lohkokaavioina.

## 6.2 Laadunohjaus

Laadunohjaus-osion tehtävänä on varmistaa vaaditun laatutason ylläpito tuotannossa. Osion perustana toimii yrityksen olemassa oleva laatukäsikirja. Lisäksi osiossa käsitellään työn aikana kehitetyt toimenpiteet tarkastustoiminnan hallintaan, poikkeamien käsittelyyn, sekä uutena laadunvarmistuskäytäntönä luovutuskatselmukset.

### 6.2.1 Laatukäsikirja

Yrityksellä on käytössä SFS-EN ISO 9001 laatustandardiin ja SFS-EN ISO 3834-2 hitsauksen laadunvarmistusstandardiin pohjautuva sertifioitu laadunhallintajärjes-



telmä. Laatukäsikirja on kokonaisvaltaisesti dokumentoitu kuvaus yrityksen tavasta aikaansaada tuotteiden, palvelujen ja toiminnan laatu. Se on siis kuvaus toimintatavoista, joilla yritys täyttää laatustandardien vaatimukset. Laatukäsikirja on ollut yrityksellä käytössä vuodesta 1997 lähtien ja se pidetään ajantasaisena auditointien ja päivitysten avulla.

Laatukäsikirja määrittelee yrityksen laatupolitiikan ja laatuun liittyvät toimintatavat, jolloin jokaisen yrityksessä työskentelevän tulee olla tietoinen laatukäsikirjan sisällöstä. Se onkin sisällytetty osaksi työnjohtajan tietopankkia, jolloin laatukäsikirja on jokaisen työnjohtajan helposti saatavilla. Laatukäsikirjan avulla työnjohto voi myös vastata työntekijöiden laatuun liittyviin kysymyksiin. Laatukäsikirjan liitteinä on myös paljon jokapäiväisissä työtehtävissä tarvittavia laatudokumenttien pohjia, joiden on oltava helposti saatavilla. Laatukäsikirjan sisällysluettelo on esitetty liitteessä 4.

#### 6.2.2 Tarkastustoiminta

Tornin valmistuksen aikana tapahtuvaa laadun tarkastustoimintaa ohjaavat asiakkaiden vaatimukset. Viime vuosina asiakkaiden laatuvaatimukset ovat tiukentuneet ja uusien projektisopimusten vaatimuksena on erillisen tarkastussuunnitelman laatiminen. Tarkastussuunnitelma (eng. Inspection Plan) määrittelee tornin valmistuksen aikana tehtävät tarkastustoimenpiteet, sekä niiden laajuudet ja vastuut.

Työn aikana laadittiin asiakkaiden vaatimukset täyttävä tarkastussuunnitelma, joka on osa laajempaa laatusuunnitelmaa. Tarkastussuunnitelma laadittiin taulukkomuotoon ja siitä laadittu esimerkki on esitetty liitteessä 5. Suunnitelman ensimmäisellä sivulla on kuvattu kaikki komponenteille tehtävät laatutarkastukset ja niistä vastaavat ja niiden sisältö. Myös laatupoikkeamat ja niiden korjaus näkyvät ensimmäisellä sivulla. Tarkastussuunnitelman ensimmäinen sivun tehtävä on siis antaa yleiskuva tornikohtaisesta tarkastustoiminnasta ja toimia tarkastusten runkona.

Tarkastussuunnitelman toinen sivu on varattu materiaalien vastaanottotarkastukselle. Vastaanottotarkastus sisältää kaikkien tornirenkaiden levyaihoiden ja laip-

pojen valmistajien toimittamien materiaalitodistusten, mittapöytäkirjojen tarkastuksen, sekä levyjen visuaalisen tarkastuksen ja sulanumeroiden keräämisen levyistä.

Kolmannella sivulla käydään läpi teräsosavalmiiden tornikomponenttien tarkastus. Tarkastussuunnitelma pitää sisällään hitsien NDT-tarkastukset ja laajuudet, mittapöytäkirjojen tarkistamisen, luovutuskatselmuksen. Luovutuskatselmus on esitelty tarkemmin jäljempänä. Se sisältää hitsien tunnistetietojen keräämisen, visuaalisen tarkastuksen ja tarkastuslistan läpikäynnin.

### 6.2.3 Luovutuskatselmukset

Luovutuskatselmuksien tarkoituksena on varmistaa tornikomponenttien laatu ennen niiden siirtoa seuraavaan työvaiheeseen, jolloin mahdolliset laatupoikkeamat voidaan havaita ja korjata ennen seuraavaa työvaihetta. Luovutuskatselmukset suoritetaan tornikomponenteille teräsosavalmiina ja pintakäsittelyn jälkeen. Katselmuksiin osallistuvat tehdystä työvaiheesta vastaava työnjohtaja, seuraavan työvaiheen työnjohtaja ja laatuinsinööri, joka dokumentoi luovutuskatselmuksen. Esimerkiksi teräsosavalmiin tornilohkon luovutuskatselmukseen osallistuvat tornilohkolinjan työnjohtaja, laatuinsinööri ja maalaamon työnjohtaja, joka hyväksyy tornilohkon maalaukseen tai antaa korjauskehotuksen laatupoikkeamien poistamiseksi.

Katselmuksen aikana tornin komponentti tarkastetaan tarkastuslistan avulla. Esimerkki tornilohkon tarkastuksessa käytettävästä tarkastuslistasta on esitetty liitteessä 6. Tarkastuksessa pääpaino on visuaalisella tarkastuksella, mutta lisäksi katselmuksessa varmistetaan, että kaikki tarvittavat laatudokumentit on laadittu. Havaitut laatupoikkeamat kirjataan liitteessä 7 kuvatulle asiakirjapohjalle.

### 6.2.4 Poikkeamat

Kaikki laatupoikkeamat raportoidaan. Poikkeamien dokumentoinnin tarkoituksena on selvittää poikkeamien syyt, estää niiden toistuminen sekä seurata laatuksennuksia. Pienet laatupoikkeamat, jotka havaitaan työvaiheessa tai katselmuksessa

raportoidaan liitteen 7 mukaiselle asiakirjapohjalle. Pieniä laatupoikkeamia ovat alle 2 tunnin korjaukset, kuten roiskeet hitsissä tai terävät nurkat teräsrakenteissa. Kaikki muut laatupoikkeamat raportoidaan liitteen 8 mukaisella poikkeamaraportilla. Myös pienet laatupoikkeamat raportoidaan poikkeamaraporttikäytännöllä, jos ne havaitaan vasta myöhemmin tuotannosta. Poikkeamaraporttien käsittelystä vastaa laatuinsinööri, joka raportoi tuotannon laatupoikkeamista viikoittain tuotantopalaverissa, sekä tilastoi poikkeamat.

### 6.3 Työnohjaus

Työnohjausosion tehtävä on perehdyttää työnjohtaja ja työntekijä työhönsä, sekä helpottaa työn sujuvuutta. Osio sisältää työvaiheohjeet työnjohdolle ja työntekijöille, hitsausohjeet ja osaamismatriisin. Diplomityön aikana laadittiin työvaiheohjeista onnistuneet pilottiohjeet ja aloitettiin työhohjeiden kirjoitusprosessi. Olemassa olevat hitsausohjeet sijoitettiin ohjeiston sähköiseen versioon ja niiden saatavuutta tuotannossa helpotettiin. Osaamismatriisin tarkoituksena on kerätä työntekijöiden taidot ja tiedot yhteen taulukkoon, jonka avulla työnjohto voi ohjata työntekijöitä heille soveltuviin työtehtäviin.

#### 6.3.1 Työvaiheohjeet

Tornin valmistus sisältää paljon työvaiheita, joiden suorittamiseen tarvitaan piirustusten ja hitsausohjeiden lisäksi paljon kokemusperäistä tietoa kuten hitsausmuodonmuutosten hallinta. Työvaiheohjeiden tarkoitus on perehdyttää työntekijä ja työnjohto työtehtäviinsä. Samalla saadaan kerättyä kokeneilta työntekijöiltä hiljais-tietoa. Työvaiheohjeita noudattamalla työ tapahtuu systemaattisesti aina samalla tavalla, jolloin työturvallisuus ja työn laatu paranevat, sekä turhat tuotetta jalostamattomat apuajat saadaan minimoitua.

Työvaiheohjeet jaettiin työhohjeisiin ja työnjohtajan ohjeisiin. Työhohjeissa annetaan työntekijälle yksityiskohtaiset tiedot työn suorittamisen onnistumiseksi. Työnjohtajan ohje täydentää työhohjeita kooten usean työvaiheen työhohjeet kokonaisuudeksi,

joka sisältää työnjohdon tarvitsemat tiedot työvaiheiden kestosta ja resurssien tarpeesta.

Hyvän työohjeen tulee olla selkeä yksiselitteinen ohje työtehtävän suorittamiseksi.

Työohje määrittelee:

- tehtävän
- työkalut
- nostolaitteet ja –apuvälineet
- työsuorituksen kulun
- työssä tarvittavat numeeriset arvot
- erityishuomioita vaativat seikat
- toiminnan poikkeustilanteessa

Työohjeista laadittiin pilottiohjeet diplomityön aikana työnjohdon ja työntekijöiden kanssa yhteistyönä. Esimerkkinä työohjeesta toimii työohje laipan kokoamisesta ja hitsauksesta, joka on esitetty liitteenä 9. Työohjeen ensimmäisellä sivulla esitetään työtehtävän kuvaus, suorituspaikka, työn erityispiirteet, nostot, tarvittavat työkalut ja työvaiheet luettelona, sekä havainnollistava kuva työtehtävästä. Seuraavilla sivuilla käydään läpi työvaiheet yksitellen käyttäen apuna havainnollistavia kuvia ja taulukoita, joihin on kerätty kokemuksia aikaisemmin suoritetuista vastaavista työtehtävistä.

Esimerkkinä työnjohtajan ohjeesta on liitteessä 10 esitetty perustan valmistusohje. Ohje on yksisivuinen ja kokoaa yhteen kaikki perustan valmistukseen tarvittavat työohjeet. Ohje sisältää työn kuvauksen, arvion työn kestosta ja työn erityispiirteet. Lisäksi ohjeessa on taulukko, jossa on esitetty työvaiheet yksitellen sisältäen työvaiheen keston, sekä tarvittavat laite- ja henkilöstöresurssit.

### 6.3.2 Hitsausohjeet

Hitsausohjeet eli WPS:t ovat tärkeä osakokonaisuus ohjeistossa, koska ne määrittelevät kaikki hitsaussovelluksessa vaadittavat muuttajat. Hitsausohjeita noudattamalla varmistetaan hitsien toistettavuus sekä tasainen laatu.

Ohjeiston laatimisen yhteydessä havaittiin yrityksen käytössä olevassa hitsausohjerekisterissä puutteita. Yrityksen hitsausohjeet ovat hyviä, mutta niiden löytäminen sähköisestä järjestelmästä on koettu hankalaksi, koska niiden nimeämiseen ei ole ollut selkeää käytäntöä, jolloin eri henkilöt ovat nimenneet WPS-tiedostot eri tavoin. Lopputuloksena on ollut jokaiselle hitsausprosessille omat tiedostokansiot, joista oikean hitsausohjeen löytäminen on ollut vaikeaa. Yleinen käytäntö on ollut nimetä WPS-tiedostot muodossa: prosessin lyhenne-juokseva numerointi-revisio, esimerkiksi Smaw-08-revA. Koska hitsausohjeiden uudelleen nimeäminen on hyvin raskas prosessi, niin hitsausohjeiden löytämistä pyritään helpottamaan lisäämällä prosessikohtaisiin tiedostokansioihin railomuodoille omat alakansiot. Lisäksi hitsausohjeiden löytämistä helpotetaan lisäämällä sähköisiin työohjeisiin linkit oikeisiin WPS-tiedostoihin.


Tuotannossa hitsausohjeiden saatavuutta parannetaan nykyisestä tilanteesta. Nykytilanteessa hallissa on kaksi WPS-kansiota tornin valmistukseen käytettävässä tilassa. Uuden tuotantosoluihin perustuvan tuotantojärjestelmän käyttöönoton yhteydessä soluihin sijoitetaan ohjekansiot, joissa on solussa tarvittavat työohjeet ja WPS:t laminoituina, jolloin ne kestävät tuotannossa paremmin kuin paperiset versiot.

### 6.3.3 Osaamismatriisi

Osaamismatriisiin tehtävä on koota työntekijän tiedot ja taidot yhteen taulukkoon. Tietojen avulla työnjohto pystyy jakamaan työtehtävät oikeille henkilöille, joilla on pätevyys ja kokemus työtehtävän suorittamiseksi. Poikkeustilanteissa, kuten sairas poissaolojen aikana osaamismatriisiin avulla löydetään helposti sijaiset, joilla on jo työtehtävässä vaadittu kokemus. Sen avulla voidaan myös laatia koulutus-suunnitelmia työkokemuksen kartuttamiseksi. Osaamismatriisista on erityinen apu silloin kun työnjohdossa joudutaan käyttämään sijaisia ja sijainen ei tunne työntekijöiden aiempaa työkokemusta.

Osaamismatriisi kehitettiin työn aikana ja se on esitetty taulukossa 4. Se sisältää henkilön nimen ja henkilönumeron, tiedon hitsaajan pätevyyksistä ja niiden voimassaoloajasta, sekä tornin valmistuksen eri vaiheista hankitun työkokemuksen.

Taulukko 4. Esimerkki osaamismatriisista.

Osaamismatriisi		Pätevyys			Kokemus							
		111 Smaw	120 Saw	136 Mag	Mankeli	Pituushitsaus	Kehähitsaus	Laipan sovitus	lohkon sovitus	Laipan hitsaus	aukotukset	Varustelu
				13.10.2011 PF	x	x	x	x	x	x		x
			21.5.2010	4.6.2010 PF		x	x					x
			28.4.2011	15.6.2010 PE		x	x	x	x	x	x	x
		11.2.2011 PF	27.7.2011	28.4.2011 PE		x	x	x	x	x	x	x
			7.7.2011	12.10.2011 PF	x	x	x	x	x	x		x
				20.10.2011 PF								

## 7 KEHITYSTOIMENPITEIDEN ANALYSOINTI

Työn tarkoituksena oli kehittää hitsaustuotantoa kahden päätavoitteen mukaisesti. Ensimmäinen tavoite oli suunnitella toisen hitsauslinjan käyttöönotto ja toinen tavoite oli kehittää ohjeisto helpottamaan tuotannonohjausta ja työnjohtoa. Kehitystyön lähtökohtana oli tuotannon tehokkuuden kehittäminen parantamalla toiminnan tuottavuutta ja tehostamalla tuotantokapasiteettia.

Ennen kehitystoimenpiteitä nykyinen tuotanto analysoitiin. Konekapasiteettien ja työaika-analysien tuloksiin pitää suhteutua varauksellisesti, koska laskennassa käytetyt työvaiheiden kestot olivat arvioita. Lisäksi laskennoissa ei huomioitu työvaiheiden välisiä siirtoaikoja. Laskelmia voidaankin pitää suuntaa-antavina ja tarkempi läpimenoaikojen laskenta tulee suorittaa tuotannon jatkuessa muutosten jälkeen.

### 7.1 Toisen hitsauslinjan suunnittelun analysointi

Uuden hitsauslinjan käyttöönoton suunnittelu voidaan arvioida onnistuneeksi, koska suunnitellut muutokset päätettiin toteuttaa. Muutokset nykyiseen tuotantolinjaan aloitettiin syyskuussa 2009 ja ne olivat kesken työn päättyessä joulukuussa 2009.

Suunnittelutyö aloitettiin tarkastelemalla käytössä olevia hitsausprosesseja. Tuotannon tuottavuutta lisättiin valitsemalla päähitsausprosessiksi Tandem-

jauhekaarihitsaus. Tandem-prosessiin siirtymällä hitsauksen sulatusteho kasvaa, jolloin monipalkohitsaus voidaan suorittaa pienemmällä palkomäärällä. Palkojen määrän vähentäminen lyhentää samalla kaariaikaa, jolloin tuottavuus kasvaa. Tandem-prosessin käytössä on kuitenkin huomioitava suuren sulatustehon aiheuttama lämmöntuonnin kasvu, jolloin rakeenkasvun aiheuttaman iskutkeyden laskeamisen ehkäisemiseksi on hitsausnopeutta nostettava.

Toinen vaihe suunnittelussa oli laitetarpeiden määrittely. Tiukan taloustilanteen vuoksi uusia jauhekaarihitsaustorneja ei voitu hankkia. Vanhoihin laitteisiin tehtiin modernisointeja, joilla laitteiden käytettävyyttä parannettiin ja valitut hitsausprosessit otettiin käyttöön. Käytettävyyden parantamisella lyhennetään hitsauksen apuaikoja ja parannetaan laatua, jotka lisäävät tuotannon tuottavuutta. Rajalliset investoinnit rajoittavat kapasiteettia ja tulevaisuudessa pullonkaulaksi saattaa muodostua laipoitussolun hitsauskapasiteetti. Toisaalta laippoja voidaan hitsata myös pituushitsausasemassa ja kokoonpanosoluissa, mutta silloin tuotannon ohjattavuus vaikeutuu.

Suunnittelun viimeinen vaihe oli uuden layoutin suunnittelu. Uusi layout on soluista koottu tuotantolinja. Siirtymällä funktionaalisesta tuotannosta tuotantolinjaan parannettiin tuotannon ohjattavuutta. Tuotannon materiaalivirrat selkeytyivät huomattavasti, jolloin kappaleiden siirtomatkat lyhenivät merkittävästi ja turha kappaleiden siirtely jäi pois. Uudessa layoutsuunnitelmassa on huomioitava, etteivät tuotannon laskennalliset konekapasiteetit kasva. Sen sijaan tuotannon ohjattavuuden kehittäminen parantaa koneiden kapasiteetin käyttöastetta, koska ylimääräiset tuotteelle lisäarvoa tuottamattomat apuajat lyhenevät. Tuotanto siis tehostuu, koska olemassa olevaa konekapasiteettia voidaan käyttää tehokkaammin.

## 7.2 Ohjeiston analysointi

Ohjeiston laatiminen on pitkä ja raskas prosessi. Runko suunniteltiin työn aikana ja kaikkien osa-alueiden kirjoitusprosessi aloitettiin. Osa-alueiden pilotit esiteltiin työssä ja ne toimivat hyvinä esimerkkeinä jatkossa kun ohjeiston tekeminen jatkuu useamman työntekijän voimin. Ohjeiston suurin hyöty on uusien toimintatapojen käyttöönoton helpottuminen, koska uudet käytännöt kirjataan ylös, jolloin niitä

myös noudatetaan helpommin. Selkeä ohjeisto tehostaakin huomattavasti tuotantoa vähentämällä turhaa puuhastelua, kun asiat on valmiiksi mietitty ja kirjattu ylös.

Materiaalivirtojen sujuva reititys ja selkeys ovat tuotannon tehokkuuden kannalta erittäin tärkeitä. Niiden ohjauksen kannalta tärkein tehostamiskeino oli uuden layoutin suunnittelu. Ohjeistossa materiaalivirtojen reititykselle lisähaasteita aiheutti materiaalien ohjaus kahdelle kokoonpanolinjalle. Ongelma ratkaistiin käyttämällä komponenttien merkitsemiseen kokoonpanolinjakohtaisia merkkäusvärejä. Lisäksi selkeiden varastointipaikkojen rakentaminen selkeyttää materiaalien virtausta.

Ajoitussääntöjen laatiminen oli yksi työn haastavimpia vaiheita ja siinä onnistuttiin vain kohtuullisesti. Erityisiä ongelmia aiheuttaa näennäisesti yksinkertaisen tuotannon työvaiheaikojen suuret vaihtelut. Esimerkiksi tornirenkaiden aineenpaksuudet vaihtelevat 16..44 mm välillä, jolloin renkaan valmistusaikakin vaihtelee merkittävästi renkaan dimensioista riippuen. Myös kappaleiden suuri koko aiheuttaa ongelmia, koska siirrot vievät melko paljon aikaa ja sitovat rajallista nosturikapasiteettia.

Laadunohjaus-osion laatimisen yhteydessä otettiin käyttöön paljon uusia toimintatapoja, joilla parannetaan laatua ja sitä kautta lisätään tuottavuutta. Laadunvalvonta toimien lisäämisellä on tarkoitus saada ”kerralla valmiiksi”-periaate osaksi yrityskulttuuria ja saada laatu poikkeamat kiinni mahdollisimman varhain, jolloin poikkeamien korjauskustannukset pysyvät kohtuullisina. Laadunohjauksen avulla saadun tiedon avulla pystytään kehittämään tuotantoa ja tekemään ennakoivia toimenpiteitä poikkeamien estämiseksi.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuulivoimateollisuus tulee kasvamaan Suomessa merkittävästi lähivuosina, kun syöttötariffi otetaan käyttöön. Diplomityössä tehtyjen onnistuneiden kehitystoimenpiteiden jälkeen Levatorin asema tuulivoimalan tornin toimittajana vahvistui. Tuotannon tehostaminen ja tuottavuuden lisääminen on Suomessa välttämätöntä kannattavan liiketoiminnan varmistamiseksi.



Uusi kahden kokoonpanopaikan tuotantolinja mahdollistaa aiempaa huomattavasti suuremmat tuotantomäärät. Tuotannon investoinnit pysyivät melko pieninä, jolloin laskennalliset konekapasiteetit kasvoivat hyvin rajallisesti. Virtauttamalla tuotannosta saatiin huomattavasti aiempaa selkeämpi, jolloin koneiden käyttöaste kasvaa ja siirrot vähenevät. Läpivirtaus kasvoi olemassa olevan kapasiteetin tehokkaammalla käytöllä ja siirtoja minimoimalla.

Hitsaustuotannon tuottavuus kasvoi kehitystoimenpiteiden ansiosta monen tekijän avulla. Hitsausprosesseiksi valittiin tehokas tandem-jauhekaarihitsaus, joka lyhentää hitsauksen kaariaikaa. Tuotetta jalostamattomat apuajat lyhenivät huomattavasti tuotannon ohjattavuuden parantuessa ja pienin laitemodernisoinnein, jotka helpottavat hitsausta.

Ohjeiston laatiminen saatiin työn aikana käyntiin ja se on jatkuva prosessi. Ohjeiston avulla tehostetaan tornin valmistusta merkittävästi, koska toimintatavat ovat selkeät. Ohjeistossa asiat on valmiiksi mietitty, jolloin samoja asioita ei tarvitse aina keksiä uudelleen. Lisäksi uusien työntekijöiden perehdytys helpottuu ja hiljainen tieto saadaan dokumentoitua tuotannosta.

Kehitystoimenpiteet tukevat selvästi yrityksen strategiaa. Tuotteiden ja palveluiden laatu paranee. Tuotannon kehitystoimet parantavat tuottavuutta ja tuotannon virtaus lisää tuotantoresursseja valmistaa tuulivoimalan torneja entistä tehokkaammin.

## 9 JATKOKEHITYSTOIMENPITEET

Työnohjausosio on ehdottomasti työn tärkeimpiä kehityskohteita, koska tornin valmistuksessa tarvittavaa käytännön tietoa ei ole aiemmin dokumentoitu. Kokeemusperäinen tieto on erittäin tärkeää ja sen ylöskirjaamisella helpotetaan ja tehostetaan työntekoa. Esimerkiksi aina ei tarvitse miettiä mitä työkaluja työ vaatii, vaan voidaan katsoa tarvittavat työkalut työohjeista. Tuulivoima-alalle ennakoitu nopea kasvu lisää myös uuden työvoiman tarvetta, jonka koulutukseen työohjeet ovat myös erinomaista materiaalia.

Uuden tuotannon alkaessa on tuotantoa seurattava tarkasti ja analysoitava käytännön kokemukset. Tuotannon ohjattavuutta voidaan varmasti parantaa entisestään kun saadaan käyttökokemuksia uudesta soluihin koostuvasta tuotantolinjasta. Myös uuden sähköisen tuotannonohjausjärjestelmän hankintaa tulisi harkita, jolloin tuotannon ohjattavuus saattaisi parantua entisestään. Erityisesti tuotannon alun työjonojen laatimiseen tulisi kehittää hyvä työkalu.

Tuotteen valmistettavuus ja valmistuskustannukset määräytyvät usein jo suunnittelun yhteydessä, jolloin yhteistyötä suunnittelun ja valmistuksen välillä tulisi kehittää. Uusia tuulivoimaloita suunniteltaessa tornin valmistaja tuleekin ottaa mukaan entistä aikaisemmin, jolloin tornin valmistettavuus paranee huomattavasti ja valmistuskustannukset laskevat.

## 10 YHTEENVETO

Tuulivoima on Euroopassa nopeimmin kasvava energian tuotantomuoto. Tuulivoimateollisuuden arvioidaan kasvavan Suomessa huomattavasti lähivuosien aikana ennakoitun syöttötariffipäätöksen myötä, jolloin kilpailu alalla tulee kasvamaan.

Diplomityön tavoitteena oli kehittää tuulivoimalan tornin valmistusta Levator Oy:ssä hitsaustuotantoa tehostamalla ja tuotannon ohjattavuutta parantamalla. Kehitystyöhön kuului toisen hitsauslinjan käyttöönoton suunnittelu ja ohjeiston laatiminen työnjohdolle.

Toisen hitsauslinjan käyttöönoton suunnittelun tarkoituksena oli suunnitella muutokset nykyiseen tuotantoon uuden linjan käyttöönoton mahdollistamiseksi. Suunnittelu aloitettiin valitsemalla hitsausprosessit, jonka jälkeen suunniteltiin laitetarpeet työvaihe-analyysien pohjalta. Tuotantolayout muutettiin nykyisestä funktio-naalisesta tuotannosta tuotantosoluista koostuvaksi tuotantolinjaksi, jolloin materiaalien virtaus parani huomattavasti. Tuotannon ohjaustavaksi valittiin kapeikko-ohjaus.

Ohjeiston laatimisen tarkoituksena oli kerätä ja dokumentoida kaikki tuotannossa tarvittava tieto. Ohjeiston sisältää laadunohjaus-, materiaalivirtojen ohjaus- ja

työnohjausosiot, joiden tarkoituksena on helpottaa työnjohtamista. Ohjeisto määrittelee yhtenäiset tuotannon toimintatavat, jolloin tuotannon ohjattavuus helpottuu.

Diplomityön tavoitteet täyttyivät, kun toisen tuotantolinjan käyttöönoton vaatimat muutokset aloitettiin suunnitelmien mukaisesti syyskuussa 2009. Ohjeiston sisältö saatiin määriteltyä ja eri osioiden pilotit saatiin valmiiksi joulukuun aikana. Tuotannon ohjattavuus kehittyi huomattavasti ja samalla tuottavuus parani merkittävästi.

## LÄHTEET

Ancona, D. McVeigh, J. 2001. Wind Turbine-Materials and Manufacturing Fact Sheet [verkkodokumentti]. Princeton Energy Resources International. [viitattu 3.8.2009] Saatavissa: [http://www.perihq.com/documents/WindTurbine-MaterialsandManufacturing\\_FactSheet.pdf](http://www.perihq.com/documents/WindTurbine-MaterialsandManufacturing_FactSheet.pdf).

Brughuis, F.J. 2006. Large wind turbines: the higher the better [verkkodokumentti]. Advanced Tower System BV. [viitattu 3.8.2009]. Saatavissa: [http://www.ewec2006proceedings.info/allfiles2/0146\\_Ewec2006fullpaper.pdf](http://www.ewec2006proceedings.info/allfiles2/0146_Ewec2006fullpaper.pdf).

Comeq. 2009. ROUND0 Unveils World's Largest Section Bending Machine [Verkkodokumentti]. Comeq Inc. [viitattu 2.9.2009]. Saatavissa: [http://www.comeq.com/What\\_s\\_New/NewsArticle-ID11.htm](http://www.comeq.com/What_s_New/NewsArticle-ID11.htm)

Dahlström, T. 2003. MMIG/MAG-hitsaus, prosessin teoria, prosessin käytäntö. Kemppi Oy. IWE 15/IWT 16 kurssimateriaali. 24.9.2003.

Danish Wind Industry Association. 2003. Manufacturing Wind Turbine Towers [verkkodokumentti]. Danish Wind industry Association. [viitattu 3.8.2009]. päivitetty 19.9.2003. Saatavissa: <http://www.windpower.org/en/tour/manu/towerm.html>.

Dombrowski, A. Woebeking, M. 2006. Quality in the Manufacturing of Wind Turbines. Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH.

Ekenberg, K. 2007. Produktionsanalys och layoututformning åt EWP Wintower Production [verkkodokumentti]. Ekonomi Högskolan: Lund Universitet. [viitattu 18.3.2009]. Saatavissa: <http://www.uppsatser.se/uppsats/b5a76785a1/>

EN 5817. 2006. Welding. Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded). Quality levels for imperfections.

EWTC. 2001. European Wind Turbine Certification. Euroopan komissio.

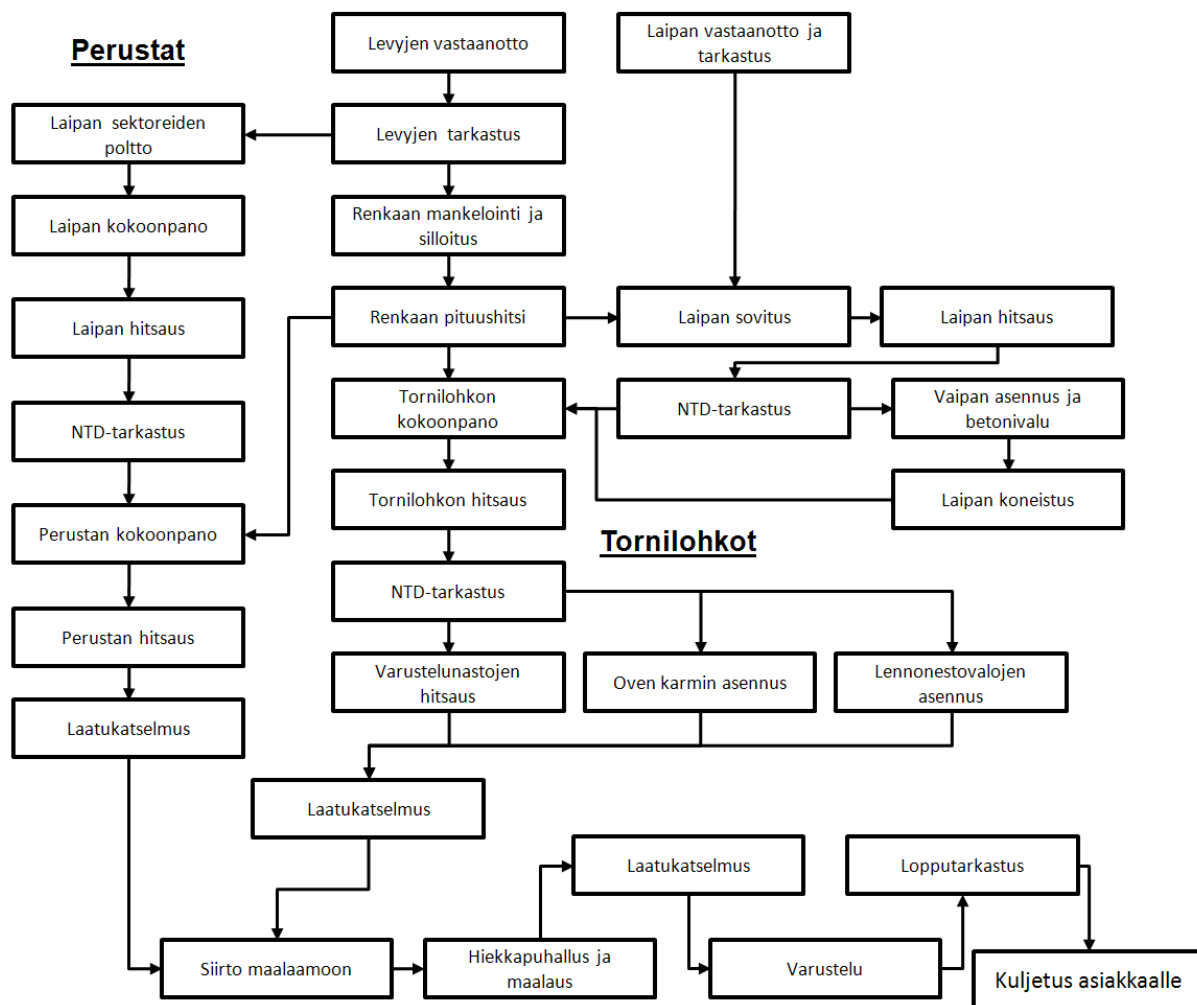
Force Technology. 2009. Automated ultrasonic inspection of welds on wind turbine towers. [Tuote-esite]. Denmark. Force Technology.

Goldratt, E. 2007. Tavoite (Alkuperäisteos: The Goal 1984). Espoo. Oy Innopartners Ab. 3. painos. ISBN 978-951-97607-3-5

- Hau, E. 2005. Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economy. Berlin: Springer-Verlag. ISBN 103-540-24240-6
- Haverila, M., et al. 2005. Teollisuustalous. Tampere: Infacts Oy. ISBN 951-96765-5-4
- Henry, C. 2005. Facility Design and Layout [verkkodokumentti]. Californian Polytechnic and State University. [Viitattu 10.7.2009] Saatavissa: [www.csupomona.edu/~hco/POM/05FaciltyDesignLayout.ppt](http://www.csupomona.edu/~hco/POM/05FaciltyDesignLayout.ppt).
- Häkkinen, K. 2003. Tuotannonohjaus Pk-konepajateollisuuden alihankintaprosessissa. VTT tiedotteita 225. Espoo. VTT. ISBN 951-38-6208-9
- IEC WT 01. 2001. IEC System for Conformity Testing and Certification of Wind Turbines. International Electrotechnical Commission.
- Kilpeläinen, T. 2001. Tuotantotalouden peruskäsitteet: 4. Luku: tuotannonohjaus [verkkodokumentti]. Vaasa. Vaasan yliopisto. [ viitattu 3.9,2009]. saatavissa: <http://lipas.uwasa.fi/itt/titu/tutaperus/osa4.pdf>
- Latvala, K. 2004. NDT-tarkastukset ja uudet tuotestandardit. EWQ-Klubi. Tampere. 19.3.2004.
- Lepola, P. Makkonen, M. 1999. Hitsaus ja teräsrakenteet . Porvoo: WSOY. ISBN 951-0-21573-2
- Lincoln Electric. 2006. AC/DC-jauhekaarihitsaus. Tuote-esite.
- Lukkari, J. 1986. Jauhekaarihitsaus. MET 10/86. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy. ISBN 951-817-296-X
- Lukkari, J. 2002. Jauhekaarihitsaus. ESAB.
- Lukkari, J. 2008. Mikset nostaisi jauhekaarihitsauksen tehoa 30 % ?. Hitsausuutiset nro 3 2008. ESAB.
- Lukkari, J. 2009. Jauhekaarihitsaus: Tuottavuuden nostaminen ja kapearailohitsaus. Jauhekaarihitsausseminaari, Laxå, 14.01.2009. Esab.

- Martikainen, J. 2007. Opintomoniste: Hitsauksen laadunvarmistus. Lappeenranta. Digipaino.
- Martikainen, J. Niemi, E. 1993. NDT-tarkastus käsikirja: yleinen osa. Helsinki. Suomen hitsausteknillinen yhdistys ry. NDT-komitea. ISBN 951-96954-0-0
- Miettinen, P. 1993. Tuotannonohjaus ja logistiikka. Helsinki. Painatuskeskus Oy. ISBN 951-37-1193-5.
- Riikonen, H. Parkkinen, H. 2003. Tuotannon suunnittelu ja ohjaus [verkkodokumentti]. Kuopion yliopisto & Savonia-ammattikorkeakoulu [viitattu:2.7.2009]. saatavissa: [http://www.uku.fi/avoin/tuta/j4\\_sisallys.htm](http://www.uku.fi/avoin/tuta/j4_sisallys.htm)
- SFS-EN ISO 3834-2. 2006. Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 2: Kattavat laatuvaatimukset. Teknologiateollisuus ry, standardisointi. Helsinki. Suomen standardisointiliitto.
- Slack, N. Chambers, S. Johnson, R. 2007, Operations Managment. Edinburg: Pearson Education Limited. 728 s. ISBN 978-0-273-70847-6
- TWI Ltd. 2004. Equipment for Submerged-arc Welding [verkkodokumentti]. TWI Ltd. [ Viitattu 11.08.2009] Saatavissa: <http://www.twi.co.uk/content/jk16.html>
- Verwaerde, L. Flagg, M. 2006. Aaltomuoto-ohjattu jauhekaarhitsaus.
- Viitaniemi, I. 2009. Tuulivoimalan tornin valmistuksen tehostaminen layout-suunnittelun keinoin. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kone-tekniikka.
- Vilpas, M. Vähäkainu, O. 1990, Hitsauksen tuottavuuden lisääminen tehokkailla jauhekaarimenetelmillä. MET 8/90. Helsinki: MET-Kustannus Oy. ISBN-13: 9789518174670
- Veräjänkorva J. 1977. Laatutekniikka. Helsinki. Insinööritieto Oy. ISBN 951-793-003-8

TUULIVOIMALAN TORNIN VALMISTUSVAIHEET



Työvaiheanalyysi

Työvaihe	kesto h/kpl	kpl/tuote		h/tuote		kpl/v		Torneja/v		h/rajoittava maksimi	
		Tornilohko	Perusta/Adapter	Tornilohko	Perusta/Adapter	Tornilohko	Perusta/Adapter	Teräs-	Hybridi-	51 teräsor	85 hybrid
Tornirenkaan pyöröstäminen	2	7	1	14	2	290	2032	70	135	2958	2550
Tornirenkaan hitsaus	2	7	1	14	2	290	2032	70	135	2958	2550
Päätylaipan sovitus	6	2	2	12	12	339	339	68	113	3060	3060
Päätylaipan hitsaus	8	2	2	16	16	254	254	51	85	4080	4080
Tornirenkaiden kokoonpano	3	6	0	18	0	226	0	56	113	3672	3060
Tornirenkaiden kokoonpanohitsaus	3	6	0	18	0	226	0	56	113	3672	3060
Oven asennus	40	0,25	0	10	0	406	0	0	0	2040	0
Lennonestovalojen asennus	36	0,25	0	9	0	452	0	113	226	1836	1530
Varustelunastojen hitsaus	16	1	0	16	0	254	0	64	127	3264	2720
Pyörityslaittojen asennus	3	1	0	3	0	1355	0	339	677	612	510
Betonivaipan asennus	20	0,25	0	5	0	813	0	203	406	1020	1700
Betonivalu	26	0,25	0	6,5	0	625	0	156	313	1326	2210
Koneistus	16	0,25	0	4	0	1016	0	254	508	816	1360
<b>Σ</b>				146	32	6545	4657		Σtunnit/v	31314	28390

henk vuotuiset tunnit

Työvoimantarve

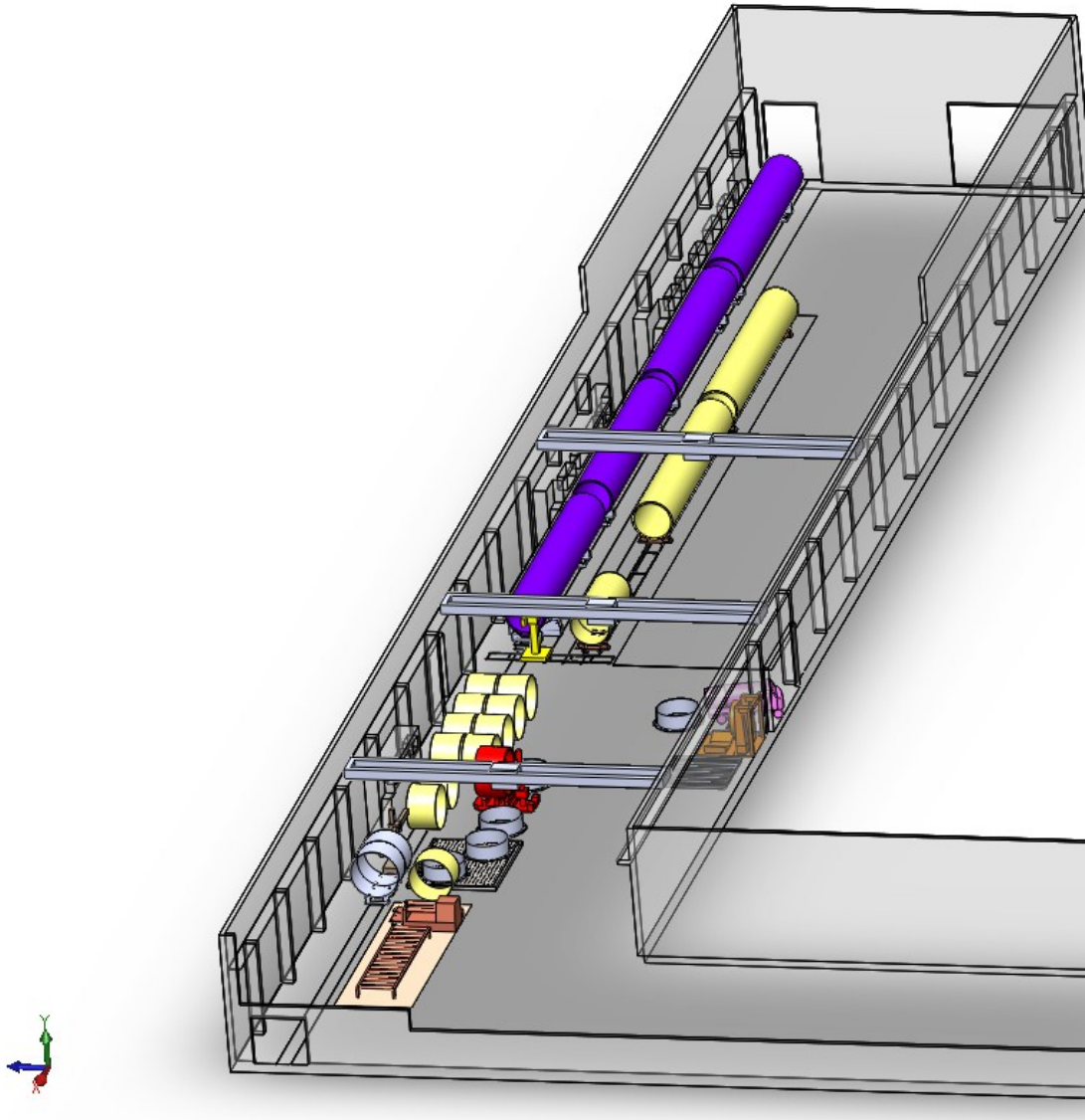
1920

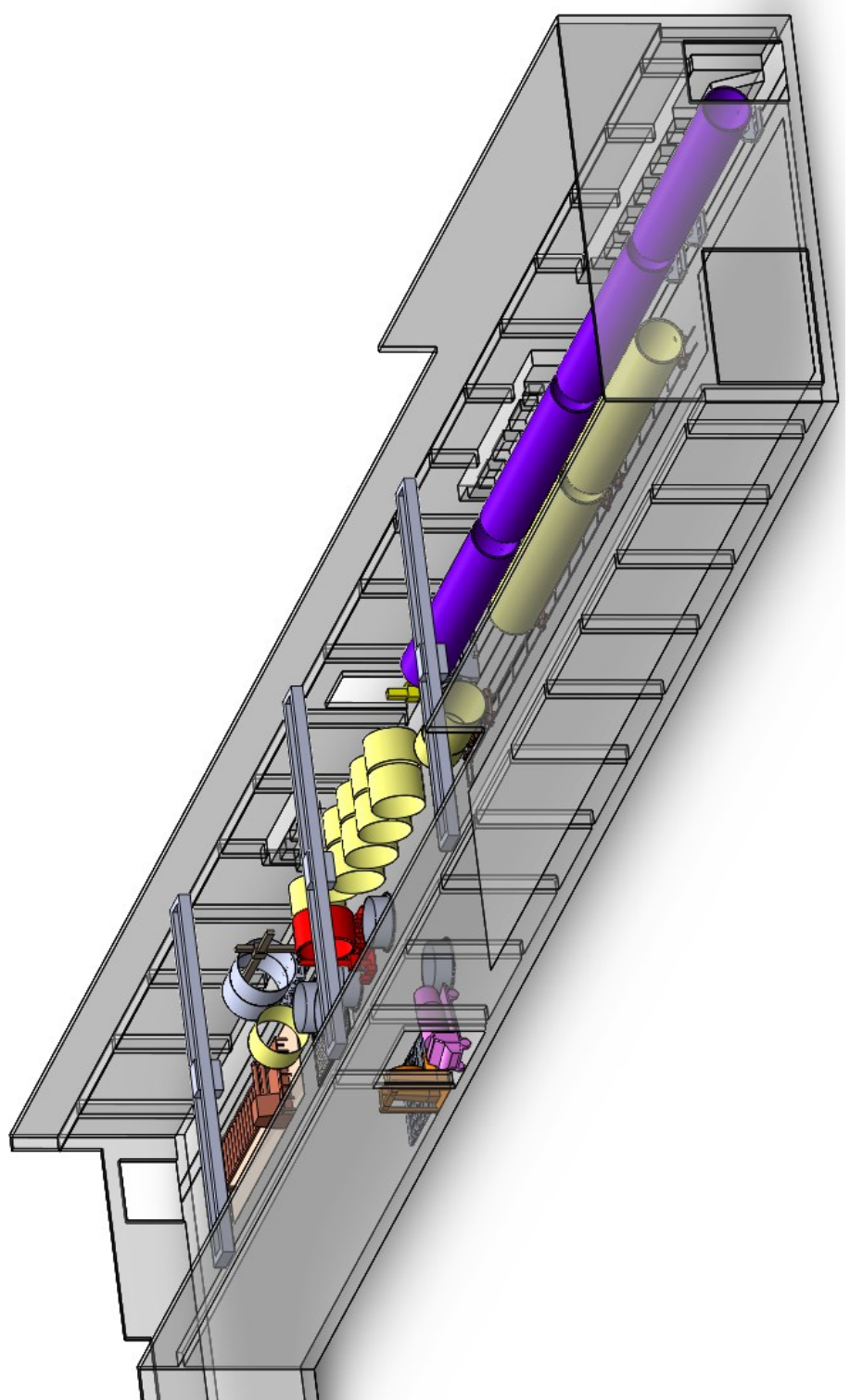
16

15



KUVIA LAYOUTIN 3D-MALLISTA





- 1. Soveltamisala**
  - 1.1. Laajuus ja sovellutus
- 2. Hallinto**
  - 2.1. Johdon vastuu
    - 2.1.1. Laatu politiikka
    - 2.1.2. Organisaatio
    - 2.1.3. Vastuut ja valtuudet
    - 2.1.4. Painelaitteet
    - 2.1.5. Käsikirjan ylläpito, hyväksyminen ja jakelu
    - 2.1.6. Johdon katselmus
- 3. Sopimus- ja suunnittelukatselmus**
  - 3.1. Yleistä
  - 3.2. Menettely
  - 3.3. Liitteet
- 4. Ostotoiminta**
  - 4.1. Yleistä
  - 4.2. Materiaalien hankinta
    - 4.2.1. Teräsmateriaalin hankinta
      - 4.2.1.1. Teräsrakennemateriaalien vastaanottotarkastus
    - 4.2.2. Muut materiaalit
    - 4.2.3. Viitteet
- 5. Alihankinta**
  - 5.1. Teräsrakenteiden alihankinta
    - 5.1.1. Vastuu
    - 5.1.2. Alihankkijan valinta
    - 5.1.3. Ohjeen viitteet
  - 5.2. NDT
    - 5.2.1. Vastuu
    - 5.2.2. NDT –tarkastus
    - 5.2.3. NDT –tarkastajan valinta
  - 5.3. Alihankinnan vastaanottotarkastus
    - 5.3.1. Visuaalinen tarkistus
    - 5.3.2. Mittatarkastus
    - 5.3.3. Poikkeamat
  - 5.4. Laatuasiakirjojen säilytys
- 6. Hitsaushenkilöstö**
  - 6.1. Hitsauskoordinoija
    - 6.1.1. Hitsauskoordinoijan nimeäminen
    - 6.1.2. Tehtävät
  - 6.2. Hitsaajat
    - 6.2.1. Hitsaajien päteväittäminen
    - 6.2.2. Hitsauskokeiden tarkastus
    - 6.2.3. Pätevyyden voimassaolo
    - 6.2.4. Pätevyystodistusten säilytys
    - 6.2.5. Viitteet

- 7. Hitsaustoiminnot**
  - 7.1. Vastuu
  - 7.2. Ohjeet tuotantosuunnitelmalle
  - 7.3. Hitsausviisteiden valmistus
  - 7.4. Hitsattavan liitoksen esivalmistus
  - 7.5. Korotettu työlämpötila eli esilämmitys
  - 7.6. Hitsauksen suoritus
  - 7.7. Viitteet
- 8. Hitsausohjeet (WPS)**
  - 8.1. Hitsausohjeen hyväksyminen
  - 8.2. Hitsausohjeen hyväksyminen aikaisemmalla kokemuksella
  - 8.3. Hitsausohjeen hyväksyminen menetelmäkokeella
    - 8.3.1. Menetelmäkoe MAG-täytelankahitsaukseen
    - 8.3.2. Menetelmäkoe jäykkääjän pienahitsaukseen
    - 8.3.3. Menetelmäkoe jauhekaarihitsaukseen
  - 8.4. Liitteet
  - 8.5. Viitteet
- 9. Raaka-aineiden ja hitsausaineiden käsittely**
  - 9.1. Teräsmateriaalit
    - 9.1.1. Vastuu
  - 9.2. Hitsauslisäaineet
    - 9.2.1. Vastuu
    - 9.2.2. Yleisimmät käytössä olevat lisäaineet
    - 9.2.3. Hitsauspuikkojen käsittely
    - 9.2.4. Hitsauspuikkojen kuivaus
    - 9.2.5. Suojakaasut
  - 9.3. Pintakäsittelymateriaalit
- 10. Laitteet**
  - 10.1. Yleistä
  - 10.2. Uuden laitteen käyttöönotto
  - 10.3. Hitsauskoneiden huolto
    - 10.3.1. Huoltotoimenpiteiden dokumentointi
  - 10.4. Polttokoneen liikegeometrian tarkastus
    - 10.4.1. Testiajot ja mittaukset
  - 10.5. Nostoapuvälineet
    - 10.5.1. Nostoapuvälineiden tarkastus
  - 10.6. Liitteet
- 11. Lämpökäsittely**
  - 11.1. Jännityksenpoistohehkutus eli myöstö
  - 11.2. Liitteet
- 12. Tarkastus**
  - 12.1. Visuaalinen tarkastus ennen ja jälkeen hitsauksen
    - 12.1.1. Vastuu
    - 12.1.2. Tarkastus ennen hitsausta
    - 12.1.3. Tarkastus hitsauksen jälkeen

- 12.2. Mittatarkastus
  - 12.2.1. Vastuu
  - 12.2.2. Mittatarkastuksen suorittaminen
  - 12.2.3. Viitteet
- 12.3. Vuotokokeet
  - 12.3.1. Vastuu
  - 12.3.2. Kaasupainekoe
  - 12.3.3. Vesipainekoe
- 13. **Pintakäsittely**
  - 13.1. Yleistä
  - 13.2. Vastuu
  - 13.3. Suoritus ja tarkastus
  - 13.4. Viitteet
- 14. **Poikkeamien käsittely**
  - 14.1. Poikkeamien määrittäminen
  - 14.2. Poikkeamien käsittely
  - 14.3. Parannusehdotus
  - 14.4. Ohjeen liitteet
- 15. **Mittalaitteiden kalibrointi**
  - 15.1. Vastuu
  - 15.2. Kalibroittavat mittauslaitteet
  - 15.3. Kalibroinnin suorittaminen
  - 15.4. Kalibrointiväli
  - 15.5. Liitteet
- 16. **Tunnistettavuus ja jäljitettävyys**
  - 16.1. Osien merkitseminen
    - 16.1.1. Merkitseminen paineastiatöissä
    - 16.1.2. Maalaukseen tai sinkitykseen menevien osien merkitseminen
- 17. **Laatuasiakirjojen laatiminen ja säilytys**
  - 17.1. Laatuasiakirjat
    - 17.1.1. Laadinta ja valmistuksenaikainen säilytys
    - 17.1.2. Valmistuksen jälkeinen säilytys
  - 17.2. Liitteet
- 18. **Audits**
- 19. **Laatukäsikirjan liiteluettelo**

(1/3)

INSPECTION PLAN -General-

Project:  
Tower No.

Doc.No  
Issue date



Component	MC	VT	NDT	WD	DC	CL	RP	NOTES
<b>Foundation Insert No</b>								
Purchase Inspection of steel sheets <sup>(1)</sup>	V	L			V			
Quality Check after assembly welding <sup>(2)</sup>		L	I	L	L	L		
Quality Check after painting		L			L	L		
Final Quality inspection						L		
<b>Tower section 1 No.</b>								
Purchase Inspection of steel sheets <sup>(1)</sup>	V	L			V			
Quality Check after assembly welding <sup>(2)</sup>		L	I	L	L	L		
Quality Check after painting		L			L	L		
Final Quality inspection						L		
<b>Tower section 2 No.</b>								
Purchase Inspection of steel sheets <sup>(1)</sup>	V	L			V			
Quality Check after assembly welding <sup>(2)</sup>		L	I	L	L	L		
Quality Check after painting		L			L	L		
Final Quality inspection						L		
<b>Tower section 3 No.</b>								
Purchase Inspection of steel sheets <sup>(1)</sup>	V	L			V			
Quality Check after assembly welding <sup>(2)</sup>		L	I	L	L	L		
Quality Check after painting		L			L	L		
Final Quality inspection						L		
<b>Tower section 4 No.</b>								
Purchase Inspection of steel sheets <sup>(1)</sup>	V	L			V			
Quality Check after assembly welding <sup>(2)</sup>		L	I	L	L	L		
Quality Check after painting		L			L	L		
Final Quality inspection						L		
<b>SYMBOL AND NOTES</b>	L= Inspection/report by Levator I=Inspection/report by Inspecta							
V= Inspection/report by Vendor	MC=material certificates VT=Visual test NDT=Non destructive testing							
WD=welding data	DC=Dimensional control CL= Check list RP=Repair procedur							
<sup>(1)</sup> See page 2	<sup>(2)</sup> See page 3							

Project:

Doc.No

Tower No.

Issue date

Tower type:

Component	MC	VT	DC	CN	RP	Component2	MC2	VT2	DC2	CN2	RP2
<b>Foundation Insert No</b>						<b>Tower section 3 No.</b>					
lower flange	V	L	V			lower flange	V	L	V		
Shell plate	V	L	V			1. shell plate	V	L	V		
Upper flange	V	L	V			2. shell plate	V	L	V		
<b>Tower section 1 No.</b>						3. shell plate	V	L	V		
lower flange	V	L	V			4. shell plate	V	L	V		
1. shell plate	V	L	V			5. shell plate	V	L	V		
2. shell plate	V	L	V			6. shell plate	V	L	V		
3. shell plate	V	L	V			7. shell plate	V	L	V		
4. shell plate	V	L	V			Upper flange	V	L	V		
5. shell plate	V	L	V			<b>Tower section 4 No.</b>					
6. shell plate	V	L	V			lower flange	V	L	V		
7. shell plate	V	L	V			1. shell plate	V	L	V		
Upper flange	V	L	V			2. shell plate	V	L	V		
<b>Tower section 2 No.</b>						3. shell plate	V	L	V		
lower flange	V	L	V			4. shell plate	V	L	V		
1. shell plate	V	L	V			5. shell plate	V	L	V		
2. shell plate	V	L	V			6. shell plate	V	L	V		
3. shell plate	V	L	V			7. shell plate	V	L	V		
4. shell plate	V	L	V			Upper flange	V	L	V		
5. shell plate	V	L	V			<b>NOTES:</b>					
6. shell plate	V	L	V								
7. shell plate	V	L	V								
Upper flange	V	L	V								

**SYMBOL AND NOTES**

L = Inspection/report by Levator

MC=material certificates

VT=Visual test

DC=Dimensional control

i=Inspection/report by Inspecta

V=Inspection/report by vendor

CN=Cast no.

RP=Repair procedur

Project:

Doc.No

Tower No.

Tower type:

Issue date

Component/weld	VT	MT	UT	WD	DC	RP	CL	Component/weld2	VT2	MT2	UT 2	WD2	DC2	RP2	CL2
<b>Foundation Insert No</b>								<b>Tower section 3 No.</b>							
T-Joints	L100%	I10%	I100%	L	L		L	T-Joints	L100%	I100%	I100%		L	L	L
Longitudinal	L100%	I10%	I10%					Longitudinal	L100%	I10%	I10%				
Transverse	L100%	I10%	I10%					Transverse	L100%	I10%	I10%				
Flanges to shell	L100%	I100%	I100%					Flanges to shell	L100%	I100%	I100%				
Manual welding	L100%	I100%	I100%					Manual welding	L100%	I100%	I100%				
<b>Tower section 1 No.</b>								<b>Tower section 4 No.</b>							
T-Joints	L100%	I100%	I100%	L	L		L	T-Joints	L100%	I100%	I100%		L	L	L
Longitudinal	L100%	I10%	I10%					Longitudinal	L100%	I10%	I10%				
Transverse	L100%	I10%	I10%					Transverse	L100%	I10%	I10%				
Flanges to shell	L100%	I100%	I100%					Flanges to shell	L100%	I100%	I100%				
Manual welding	L100%	I100%	I100%					Manual welding	L100%	I100%	I100%				
<b>Tower section 2 No.</b>								<b>SYMBOL AND NOTES</b>							
T-Joints	L100%	I100%	I100%	L	L		L	L= Inspection/report by Levator							
Longitudinal	L100%	I10%	I10%					I=Inspection/report by Inspecta							
Transverse	L100%	I10%	I10%					VT=Visual test							
Flanges to shell	L100%	I100%	I100%					UT=Ultrasonic test							
Manual welding	L100%	I100%	I100%					DC=dimensional control							
								CL=Check list							
								RP=Repair procedur							



TARKASTUSLISTA

TORNILOHKON LUOVUTUS

Projekti: \_\_\_\_\_ Torni: \_\_\_\_\_ Lohko: \_\_\_\_\_

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. Visuaalinen tarkastus                 | <input type="checkbox"/> |
| 2. Hitsien jäljitettävyystietojen keräys | <input type="checkbox"/> |
| 3. Laippojen tasomaisuuden tarkastus     | <input type="checkbox"/> |
| 4. Varustelunastojen tarkastus           | <input type="checkbox"/> |
| 5. Lohkon mittauspöytäkirjat             | <input type="checkbox"/> |
| 6. Mankelointipöytäkirjat                | <input type="checkbox"/> |
| 7. NDT-tarkastuspöytäkirjat              | <input type="checkbox"/> |
| 8. Materiaalitodistukset                 | <input type="checkbox"/> |

**Huomautukset/poikkeamat:**

---

---

---

---

---

---

---

Tarkastanut ja hyväksynyt:

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ 20\_\_\_\_ \_\_\_\_\_

Hyväksytty ja luovutettu maalaukseen:

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ 20\_\_\_\_ \_\_\_\_\_

## Teräsrakenteen luovutuskatselmus



Työnumero: \_\_\_\_\_

Tuote: \_\_\_\_\_

Asiakas: \_\_\_\_\_

- Teräsosavalmis  
 Pintakäsitelty

Virhe No.	Hitsausvirhe	Maalatusvirhe	Viimeistely virhe	Materiaalivirhe	Muu vika	Kuvattu	Kuvaus	Korjattu
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
Σ								

Muuta: \_\_\_\_\_

---



---



---

Tarkastettu: \_\_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_\_

Korjattu: \_\_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_\_

Hyväksytty seuraavaan työvaiheeseen: \_\_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_\_

Virhetiedot tilastoitu

Poikkeamaraportti   
Deviation statement

Työ no.  
Worknumber

Parannusehdotus   
Improvement proposal

Päivämäärä  
Date

Tuote no.  
Product number

Laatija  
Author

Piirustus  
Drawing

Nimitys  
Designation

Poikkeaman syy  piirustusvirhe  valmistusvirhe  muu   
Cause of the deviation defect in drawings a factory defect other

Poikkeaman kuvaus  
Description of the deviation

Liitteet  
Appendixes

Korjausehdotus  
Proposal for repairs

Korjausmenettely  
Repairing procedure

Liitteet  
Appendixes

Toteuttaja  Levator  muu   
Executer other

Kustannukset  Laskutustyö / Work to be invoiced  Tilaus no.  
Expenses  Kiinteä hinta / Fixed price  Order no.

Korjauksen hyväksyjä  Päivämäärä  
Repair accepted by Date

Project manager   
Suun. päällikkö   
Manager of design   
Valmistuksesta vastaava   
Person responsible for manufacturing

## Laipan kokoaminen ja hitsaus



**Työpiste:** Reikäpeti

**Työn kuvaus:** Asennetaan ja hitsataan alalaipan neljä päittäisliitosta jauhekaarella hitsausohjeen mukaisesti ja tarvittaessa oiotaan laippa..

**Erityispiirteet:** Paksut materiaalit, Tiukat lämmöntuontirajat, muodonmuutosten hallinta

**Nostot:** siltanosturi 10 t, nostokorvat + ketjut

### Työvälineet:

- lämmitysvirtalähde
- vastusmatto ja kaapelit 4 kpl
- infrapunalämpömittari
- jauhekaaritraktori
- traktorin ohjaukskaukalo 8 kpl
- kiinnitysraudat 10 kpl
- oikomisvarustus

### Työvaiheet:

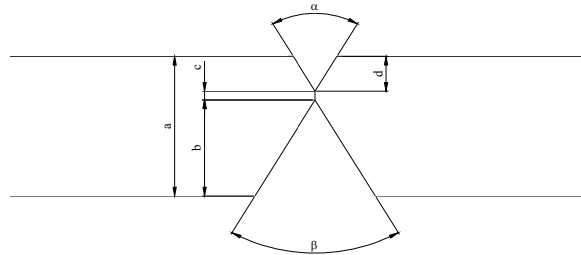
1. Railon valmistus
2. Laipan kokoaminen
3. Laipan esilämmitys
4. Laipan hitsaus
5. Aloituspalojen poisto
6. NDT tarkastus
7. Korjaukset
8. Laipan oikominen

PÄIVITYKSET			
pvm	sivu	muutos	tekijä

## 1. RAILON VALMISTUS

Railo valmistetaan polttoleikkaamalla WPS mukaisesti (karkea railomuoto).

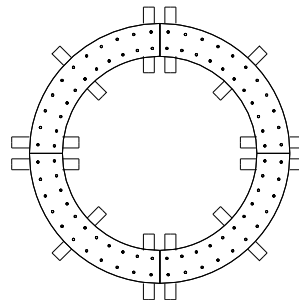
Ohessa tarkennettuja railomuotoja toteutuneista projekteista



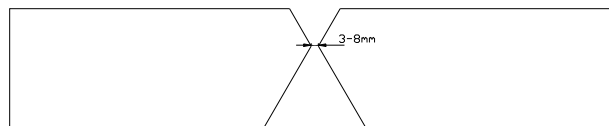
Työ	Projekti	a	b	c	d	$\alpha$	$\beta$
XXX	XXX	pl80	55	0	25	60°	60°

## 2. LAIPAN KOKOAMINEN

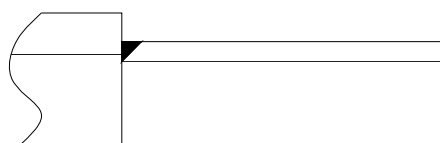
- Laipan segmentit asennetaan piirustusten mukaisesti tukilattojen päälle kuvan mukaisesti laipan tasomaisuuden varmistamiseksi.



- Tarkistetaan renkaan halkaisijat ja pyöreys
- Liitoksen ilmarako pyritään tasaamaan välille 3-8mm



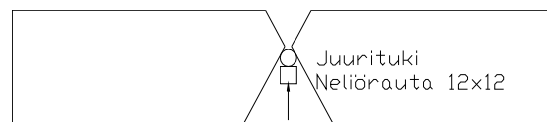
- Kun laipan mitat on tarkistettu ja todettu piirustusten mukaisiksi, asennetaan aloitus- ja lopetuspalat. Aloituspalojen minimimitat ovat PL20 200\*200
- Laippa lämmitetään +100°C, ennen kuin aloituspalat voidaan hitsata laippaan V hitsillä kuvan mukaisesti (Ei pienahitsejä)



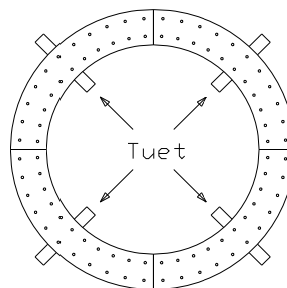
- Aloituspalan päälle heftataan tukipalat (pl12) railon reunojen muotoon



- Tarvittaessa asennetaan pyöreä keraaminen juurituki liitoksen alapuolelle apuraudan kanssa

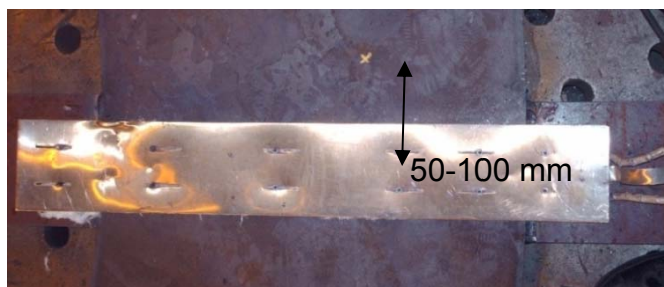


- Esilämmitetään liitos noin 80-100°C
- Hitsataan pohjapalat 2 kerrosta Esab OK 14.05
- poistetaan hitsausliitoksen alta tukilatat, jolloin kappale on tuettu vain kuvan olevisista paikoista ja hitsausliitos on vapaasti ilmassa



### 3. LAIPAN ESILÄMMITYS

Lämmitä liitokset vastusmatoilla + 100 °C. Lämpötila mitataan infrapunalämpömittarilla perusaineesta 50-100 mm päästä hitsausrailosta.



#### 4. LAIPAN HITSAUS

Käytettävät WPS:t

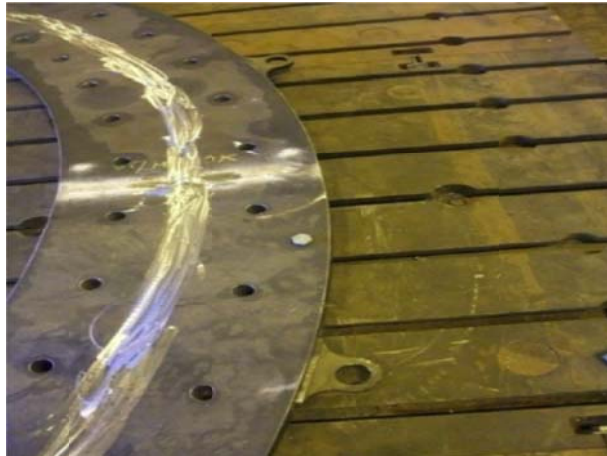
WPS	Materiaali	Liitosmuoto	Asento	Levyn paksuus	Iskukokeet	Lisäaineet
Saw 026	S355	päittäisliitos	jalko	40-80	-30°C	Ø4 Esab 12.22 + 10.71
Saw 027	S355	päittäisliitos	jalko	40-80	-40 °C	Ø4 Esab 12.22 + 10.72

Ennen hitsausta:

- jos teet tätä työtä ensimmäistä kertaa, käy läpi WPS hitsauskoordinaattorin/työnjohtajan kanssa, jos työ on entuudestaan sinulle tuttu kertaa WPS
- tarkista että sinulla on oikeat hitsauslisäaineet ja että ne ovat asianmukaisessa kunnossa
- tarkista hitsauslaitteisto, jos laitteistossa on vika / vikoja, tulee ne korjata ennen hitsauksen aloittamista
- tarkista langanoikaisulaitteen toimivuus
- tarkista langan/lankojen suuntaukset
- tarkista pohjapalot ja aloituspalojen kiinnitys.
- tarkista kappaleen tuenta pedillä

Hitsauksen suoritus ja hitsauksen aikana huomioitavat asiat:

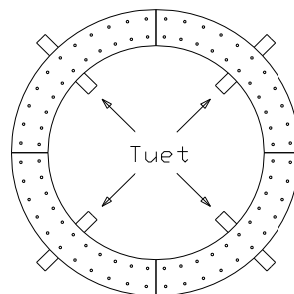
- käytä WPS:ssä annettuja hitsausparametrejä,
- mittaa railon vierestä lämpötila aina ennen uuden palon hitsausta ja vertaa sitä WPS:ssä annettuun palkojen välisen lämpötilan max arvoon, jos mitattu lämpötila on suurempi kuin raja-arvo, tulee odottaa kunnes ollaan sallituissa rajoissa
- tarkkaile liitoksen levyjen kulmamuutosta
- tarkista vesivaa'alla liitoksen kaltevuus aina ennen hitsausta, hitsaussuunta ylämäkeen
- kappaleen kääntöä varten hitsataan 2kpl 5 ton nostokorvia laippaan kuvan mukaisesti. Muista esilämmitys!



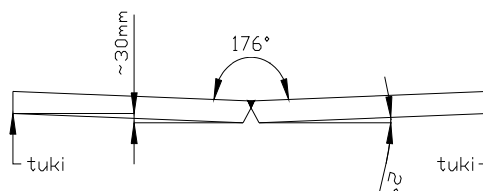
- käännön jälkeen juuren puoli avataan aina hiilikaaritaltaamalla mahdollisten muodonmuutosten aiheuttamien säröjen tai halkeamien poistamiseksi

Muodonmuutosten hallinta:

- Ensimmäinen puolen hitsauksessa kappale makaa ilman minkäänlaista lukitusta 4 tukipisteen varassa, hitsauksessa liitoksen annetaan painua vapaasti alaspäin niin paljon kuin liitoksen hitsaus sitä vetää.

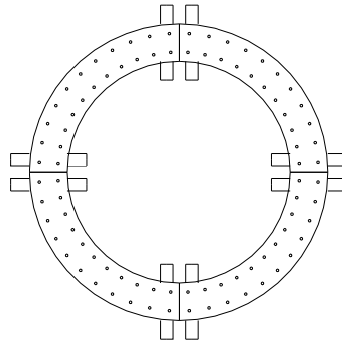


Esim. p180 hitsauksen muodonmuutoksesta ensimmäisen puolen hitsauksen jälkeen

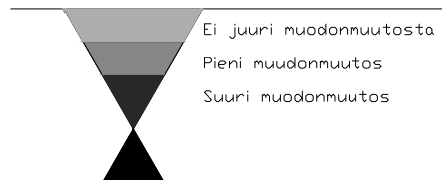


- Kappaleen käännön jälkeen tukipisteet asetetaan hitsausliitoksen kummallekin puolelle niin lähelle hitsiä kuin mahdollista. Tukien tulee olla niin korkeat että kappale makaa ainoastaan niiden päällä.





- Juuren puolta hitsattaessa railo voidaan karkeasti jakaa kolmeen osaan muodonmuutosten suuruuden mukaan



- Jos näyttää siltä, että juuren puoli vetää liikaa, voidaan kehä lukita muodonmuutoksen minimoimiseksi lukitusraudoilla reikäpetiin. Raudat asetetaan paikoilleen käsivaraisesti, niitä ei tarvitse lyödä tai kiristää mitenkään.



## 5. Aloituspalojen poisto

Aloituspalat poistetaan polttoleikkaamalla palat noin 5-10mm juuresta, kannat poistetaan hiilikaarella ja hiomalla tasan perusaineen kanssa.

## 6. NDT tarkastus

Liitokset tarkistetaan 100 % UT ja 100% MT, aikaisintaan hitsausta seuraavana päivänä.

## 7. Korjaukset

UT tarkastuksissa havaituista hitsausvirheistä ilmoitetaan aina hitsauksesta vastaavalle työnjohtajalle tai hitsauskoordinaattorille, hän tekee tapauskohtaisesti korjaussuunnitelman.

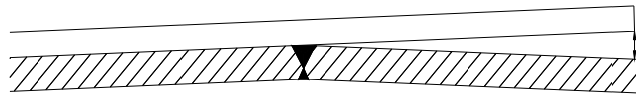
MT tarkastuksissa havaitut virheet:

- säröt avataan hiomakoneella, kuitenkin max 10mm, jos joudutaan avaamaan syvemmältä, hitsauksesta vastaavalle työnjohtaja tai hitsauskoordinaattori tekee tapauskohtaisen korjaussuunnitelman.
- uudelleen tarkastus MT
- jos MT on ok, esilämmitetään kohde +100°C (Materiaali S355) ja hitsataan joko:
  - Mag Esab OK14.04
  - Mag Esab OK15.17
  - Puikko OK48.08
- hitsien jäähtymisen jälkeen hitsien kuvut hiotaan perusaineen tasolle
- kappaleen jäähtyttyä tehdään uusinta MT

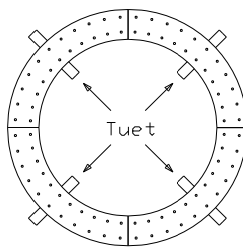
## 8. Laipan oikominen

Hitsauksen muodonmuutosten korjaus:

- tarkistetaan laipan kaikki hitsausliitokset linjarin kanssa kuvan mukaisella tavalla, laippaan merkitään mittauspaikat ja millimetrit. Tarkistuksessa käytetään n.1300 mm pitkää linjaria



- laippa asetetaan tukipalojen päälle, niin että tuet ovat hitsausliitosten keskellä



- tehdään oikaisusuunnitelma yhdessä työnjohtajan kanssa

- ”kuumat” annetaan aina liitoksen viereen 50-100mm päähän hitsistä, hitsin suuntaisesti
  - suunta” ylämäkeen”
  - pienillä kulmamuutoksilla voidaan antaa laippaan lyhyempi ”osakuuma”
- Kuumilla oikomisen suositellut enimmäislämpötilat N laadun teräkselle (Ruukki)
    - Lyhytkestoinen pinnallinen kuumennus <900°C
    - Lyhytkestoinen koko paksuusalueen kuumennus <700°C
    - Pitkäkestoinen koko paksuusalueen kuumennus <650°C
  - Tarpeettoman kuumen liekin käyttöä on varottava, liian kuuma oikaisu saattaa vaikuttaa teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin parantamatta kuitenkaan oikaisutehoa.
  - Kuumien antamisen jälkeen kappaleen tulee jäähtyä hitaasti normaaliin lämpötilaan, mitään jäähdytyskeinoja kuten esim. vesi tai paineilma ei saa käyttää!
  - Jäähdytymisen jälkeen kulma tarkistetaan ja tarvittaessa uusitaan käsittely
  - Karkea väritaulukko teräksen lämpötilalle

2000°F	Bright yellow	1093°C
1900°F	Dark yellow	1038°C
1800°F	Orange yellow	982°C
1700°F	Orange	927°C
1600°F	Orange red	871°C
1500°F	Bright red	816°C
1400°F	Red	760°C
1300°F	Medium red	704°C
1200°F	Dull red	649°C
1100°F	Slight red	593°C

**Tornin valmistus**

**PERUSTAN VALMISTUOHJE**



**Työn kuvaus:** Valmistaan tornin perustakappaleen vaippa ja alalaippa, jonka jälkeen perusta kootaan ja hitsataan. Työn kesto noin 110 h.

**Erytyspiirteet:** Paksut materiaalit, Tiukat lämmöntuontirajat, muodonmuutosten hallinta

Työvaihe	Kesto	Henkilötarve	Laitetarve
<b>Alalaipan valmistus</b>	<b>70 h</b>		
1. <a href="#">Laipan asennus ja hitsaus</a>	40-50 h	Hitsaaja	Reikätaso, jauhekaaritori
2. <a href="#">Laipan poraus</a>	15-20 h	Koneistaja	Porakone
<b>Vaipan valmistus</b>	<b>6 h</b>		
3. <a href="#">Vaipan mankelointi</a>	3 h	Mankelimies	Mankeli
4. <a href="#">Pituushitsaus</a>	3 h	Hitsaaja	Pituushitsausasema
<b>Perustan kokoonpano</b>	<b>30 h</b>		
5. <a href="#">Laippaliitoksen sovitus</a>	10 h	Levyseppä	Reikätaso
6. <a href="#">Laippaliitosten hitsaus</a>	20 h	Hitsaaja	Laipanhitsausasema

