



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jari Nieminen

---

## **Esivalmistusprosessin optimointi**

Opinnäytetyö

Syksy 2023

Insinööri (ylempi AMK), Teknologiaosaamisen johtaminen



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (ylempi AMK), Teknologiaosaamisen johtaminen

Tekijä: Jari Nieminen

Työn nimi: Esivalmistusprosessin optimointi

Ohjaaja: Heikki Kokkonen

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 57

Liitteiden lukumäärä: 2

---

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Kurikassa sijaitsevan suomalaisen pörssiyrityksen, Viafin Process Piping Oy:n hitsaava konepaja. Opinnäytetyö tehtiin Kurikassa sijaitsevaan suomalaisen pörssiyrityksen hitsaavaan konepajaan. Yrityksessä hitsataan erilaisia putkisto-esivalmisteita, moottoriputkia ja valmistetaan poltinryhmiä asiakkaiden toivomuksien mukaan. Toiminta tapahtuu sisätiloissa hyvissä konepajaolosuhteissa. Opinnäytetyön aihe valikoitui jatkuvien samojen ongelmien esiintyessä hitsattavissa esivalmistusprojekteissa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, mitä jatkuvat ongelmat ja haasteet ovat, sekä löytää niiden ratkaisemiseksi keinoja tulevien esivalmistusprojektien laadun parantamiseksi.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään esivalmistukseen liittyvien osa-alueiden, kuten ostotoiminnan, laatuvaatimuksen ja -suunnitelman, hitsattavien materiaalien, hitsauksen ja dokumentoinnin merkitystä esivalmistuksen näkökulmasta. Jokaisen osa-alueen voidaan todeta olevan tärkeä onnistuneen esivalmistusprojektin kannalta. Teoriaosuudessa standardien kautta avataan myös esivalmishitsaukseen liittyvät laatusuunnitelmassa määritellyt laatuvaatimukset ja hitsausaumojen tarkastukset.

Esivalmistustyötä tutkivassa osassa käytiin läpi esivalmistuksen nykytila. Opinnäytetyössä selvitettiin, millaisia haasteita esivalmistuksen eri osa-alueet pitävät sisällään ja kuinka ongelmat voitaisiin tulevaisuudessa välttää. Työssä esitellään vaihtoehtoja esivalmistuksen kehittämiseen. Arvioidaan, miten esivalmistusprosessi voidaan toistaa laadukkaasti läpi projektista toiseen niin, että projektien tuottavuus paranee. Työssä analysoidaan opinnäytetyön tulokset ja pohditaan myös, miten toimintaa voitaisiin vielä tulevaisuudessa kehittää.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree programme: Master's Degree Programme in Technology Competence Management

Author: Jari Nieminen

Title of thesis: Optimization of the prefabrication process

Supervisor: Heikki Kokkonen

Year: 2023

Number of pages: 57

Number of appendices: 2

---

The client of the thesis was the welding workshop of Viafin Process Piping Oy, a Finnish listed company located in Kurikka. The company does welding a variety of prefabricated pipelines, welded motorpipes and manufacture burner groups according to customer wishes. The work duties take place indoors in a good workshop conditions. The topic of the thesis was selected due to the continuous occurrence of the same problems in prefabrication projects. The purpose of this thesis was to find out ways to solve them in order to improve the quality of the future prefabrication projects.

The theory part of the thesis discusses the importance of aspects related to prefabrication, such as purchasing, quality requirements and quality plans, welding materials, welding and documentation from the perspective of prefabrication. Each sub-area can be said to be important for a successful prefabrication project. In the theoretical part, through the standards, the quality requirements required in the quality plan related to prefabrication welding, and the inspections performed to the welded seams are also reviewed.

In the part examining the prefabrication welding, the current state of prefabrication was reviewed. The thesis investigated what kind of challenges are in the different areas of prefabrication welding and how the problems could be avoided in the future. The thesis presents options for developing the prefabrication process. The prefabrication process is evaluated to see how the process can be repeated with high quality from project to project so that the productivity of the projects improves. The work analyzes the results of the thesis, and the thesis also reviews how welding could be further developed in the future.

Keywords: prefabrication, welding, quality, productivity, documentation

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne .....	9
1.4 Tutkimuskysymykset .....	10
1.5 Yritysesittely .....	10
2 ESIVAMISTUKSEN OSA-ALUEET .....	12
2.1 Ostotoiminta .....	12
2.2 Laatuvaatimukset, laatusuunnitelma ja NDT-tarkastussuunnitelma .....	13
2.3 Putkien koko ja materiaali .....	15
2.4 Hitsaus esivalmistuksessa .....	17
2.5 Dokumentointi esivalmistuksessa.....	18
3 ESIVALMISTUS KÄYTÄNNÖSSÄ.....	21
3.1 Vaiheet ennen esivalmistusta.....	21
3.2 Hitsattavat putkikoot ja materiaalit esivalmistuksessa .....	24
3.3 Asennus esivalmistuksen jälkeen.....	26
4 ESIVALMISTUKSEN NYKYTILA.....	28
4.1 Ongelmat esivalmistuksessa ja työturvallisuus.....	28
4.2 Hitsaajien pätevyys ja puutteelliset hitsausohjeet.....	29
4.3 Isometrien saatavuus ja valmistusjärjestys .....	30
4.4 Materiaalien saatavuus ja materiaalien laatu .....	31
4.5 Ongelmat laadunseurannassa.....	32
4.6 Aikatauluongelmat esivalmistuksessa .....	32
5 ESIVALMISTUKSEN KEHITTÄMINEN.....	34

5.1	Toimintatapojen yhdistäminen.....	34
5.2	Prosessin toistettavuus .....	34
5.3	Laadun ja tuottavuuden parantaminen .....	35
5.4	Esivalmistuksen aloittamiseksi tarvittavat lähtötiedot .....	36
5.4.1	Projektin aloitus ja yhteyshenkilöt .....	36
5.4.2	Laatusuunnitelma ja laatuvaatimukset .....	37
5.4.3	Hitsausohjeet .....	37
5.4.4	Projektin esivalmistuksen aloitus ja esivalmisteiden toimitus .....	38
5.4.5	Esivalmistusjärjestys.....	39
5.4.6	Kuljetukset asennuskohteeseen .....	39
5.4.7	Isometrien valmistelevu tuotantoon.....	40
5.4.8	Esivalmisteista konepajalla puuttuvat osat.....	41
5.4.9	Hitsausloki.....	42
5.4.10	Esivalmistetut isometrit .....	43
6	YHTEENVETO .....	45
7	TULOKSET JA OMA POHDINTA.....	47
7.1	Henkilöstö projekteissa .....	47
7.2	Laatuvaatimukset ja hitsaus .....	48
7.3	Isometrit ja liputus .....	50
7.4	Esivalmistusjärjestyksen merkitys .....	51
7.5	Hitsauslokin täyttäminen .....	53
	LÄHTEET .....	55
	LIITTEET .....	57

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. TIG-lisäainelanka ja lisäainelangan tiedot .....	20
Kuva 2. Isometrikuva putkilinjasta.....	22
Kuva 3. Esivalmisteltuja osia .....	23
Kuva 4. Merkinnät esivalmisteessa.....	24
Kuva 5. Putki merkintöineen .....	25
Kuva 6. Käyrä merkintöineen.....	25
Kuva 7. Valmis esivalmiste .....	27
Kuva 8. Esivalmisteiden hitsausta .....	30
Taulukko 1. Konepajalla käytettävien aineiden kemiallisia koostumuksia.....	17
Taulukko 2. Esivalmistusprojektin henkilöstöresurssit .....	48
Taulukko 3. Esivalmistuksen kustannusvertailu.....	53

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Isometri</b>	Putkilinjasta tehty piirustus, johon on merkitty putkilinjaan kuuluvat komponentit, pituudet, materiaalit ja tiedot putkilinjasta
<b>Liputus</b>	Isometristä löytyvien putkilinjojen pienentäminen kuljetuksen tai asennuksen kannalta järkeväksi lippujen muodossa
<b>MAG-hitsaus</b>	Puoliautomaattinen hitsausmenetelmä. Lanka syötetään automaattisesti vakionopeudella, ja suojakaasuna käytetään aktiivista kaasua, kuten argonin ja hiilidioksidin sekoitusta.
<b>NDT</b>	Ainetta rikkoman tarkastusmenetelmä
<b>PED-luokka</b>	Painelaiteluokat I-IV, joiden täytyy täyttää olennaiset direktiivissä vaaditut turvallisuusvaatimukset
<b>PT</b>	Hitsaussaumalle suoritettava ainetta rikkoman tunkeumanestetarkastus
<b>RT</b>	Hitsaussaumalle suoritettava ainetta rikkoman radiografinen tarkastus
<b>SEP-luokka</b>	Hyvän konepajakäytännön alainen painelaiteluokka
<b>TIG-hitsaus</b>	Kaasukaarihitsausprosessi, missä hitsattavan kappaleen ja volframi-elektrodin välillä palaa valokaari. TIG-hitsauksessa hitsaus voidaan suorittaa ilman lisäainetta tai lisäaineen kanssa.
<b>VT</b>	Hitsaussaumalle suoritettava visuaalinen, eli silmämääräinen tarkastus
<b>TIG-hitsaus</b>	Kaasukaarihitsausprosessi, missä hitsattavan kappaleen ja volframi-elektrodin välillä palaa valokaari. TIG-hitsauksessa hitsaus voidaan suorittaa ilman lisäainetta tai lisäaineen kanssa.
<b>WPS</b>	Hitsausohje, jossa annetaan yksityiskohtaiset hitsauksessa tarvittavat tiedot

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Tämä opinnäytetyö tehtiin konepajalle esivalmistusprosessin optimointiin ja kehittämiseen. Pajalla suoritetaan esivalmistusta muiden yksiköiden projekteihin. Jokaisen putkistoprojektin katsotaan pitävän sisällään esivalmistusta. Esivalmistus tarkoittaa putkistolinjojen valmistusta hitsaamalla pieniksi osakokonaisuuksiksi, jotka on mahdollista kuljettaa pajalta järkevästi asennuskohteeseen. Esivalmistuksessa putket ja niihin liittyvät isometreissä vaaditut osat valmistellaan, hitsataan, tarkastetaan ja pakataan kuljetettavaksi asennuskohteeseen odottamaan jälkiasennusta. Esivalmisteiden koko määräytyy isometreissä liputettujen kokonaisuuksien mukaan. Liputuksella täysimittainen putkilinja pilkotaan kuljetuksen ja valmistuksen kannalta järkeviin kokoihin, jotka voidaan pajalla esivalmistaa.

Konepajalla tutkimusongelma ilmeni, kun jatkuvasti käynnissä olevissa erilaisissa ja erikokoisissa esivalmistusprojekteissa kohdattiin samoja ongelmia projektista toiseen. Esivalmistusprojektista puuttui laatusuunnitelma, materiaalit olivat väärinä tai hitsausohjeet puuttuivat. Ennen esivalmistuksen aloittamista pajalla tarvitaan esimerkiksi laatusuunnitelma, isometrit ja hitsattavat komponentit. Jonkin osa-alueen puuttuessa projektin aloitusta joudutaan siirtämään. Koska samoja puutteita ja ongelmia esiintyy projektista toiseen, projektit venyvät, työn laatu heikkenee ja esivalmistuksen kustannukset kasvavat.

## 1.2 Työn tavoite

Lopputyön tarkoituksena on analysoida esivalmistuksen vaiheet pajalla ja löytää vaiheiden läpiviintiin parhaat ratkaisut. Esivalmistuksen tarkoituksena on viedä prosessi läpi niin, että laatu ja tuottavuus saataisiin mahdollisimman korkeaksi. Esivalmistusprojektit ovat erikokoisia, materiaalit ja laatuvaatimukset vaihtelevat sekä aikataulut ovat projektikohtaisia. Esivalmistusprojekteissa työkuorma on erilainen niin toimihenkilöillä kuin tuotantohenkilöstölläkin. Tämä vaatii enemmän suunnittelua aikataulujen ja henkilöstökapasiteetin suhteen. Hyvin analysoitu esivalmistusprojektin runko auttaa löytämään oikeat menetelmät, joita voidaan käyttää suuntaviivoina ja ohjeina ennen esivalmistusprojektien aloittamista.



Tavoitteena on saada esivalmistusprosessista selkeä kokonaisuus, jonka läpivienti on helppoa, laadukasta ja kustannustehokasta. Toimintatavat pyritään tekemään toistettaviksi esivalmistusprosessissa vaiheesta toiseen, jotta tulevaisuudessa voitaisiin välttyä samoilta ja usein toistuvilta virheiltä. Virheet voivat esivalmistusprojektissa liittyä materiaaleihin, isometreihin, vääriin toimintatapoihin tai aikatauluihin.

Lopputyön tavoitteena on löytää ratkaisuja sujuvamman ja toistettavamman esivalmistusprosessin läpiviemiseksi. Tutkimusmenetelminä käytetään aiheeseen liittyvää kirjallisuutta teoriaosuudessa, havainnointia lopputyön aikana käynnissä olevista esivalmistusprojekteista pajalla ja aikaisempien projektien läpiviemisestä saadun datan analysointia niiltä osin, kuin se lopputyön kannalta on järkevää.

Esivalmistusprojektit tehdään pääsääntöisesti konsernin sisäisille yrityksille. Laatuvaatimukset, kuvausprosentit, tavarantoimitukset, isometrien saatavuus ja muut esivalmistukseen liittyvät parametrit kuitenkin vaihtelevat paljon. Haasteena on analysoida eri yksiköistä saadut impulssit esivalmistukseen liittyen niin, että eri kokoiset ja erilaiset projektit voidaan viedä laadukkaasti läpi samojen suuntaviivojen ja ohjeiden avulla.

### **1.3 Työn rakenne**

Lopputyö on jaettu seitsemään päälukuun. Ensimmäinen pääluku on johdanto, jota seuraa luvun 2 teoriaosuus, jossa pyritään avaamaan kaikki tärkeimmät asiat auki koskien lopputyön käytännön osuutta. Luku 3 käsittelee lopputyön aihetta käytännön ja teorian kautta. Luvussa kerrotaan, mitä esivalmistus on käytännössä ja miten se toteutetaan kohdeyrityksessä.

Pääluvussa 4 käydään läpi esivalmistuksen nykytila. Luvussa 4 myös kartoitetaan ongelmat esivalmistuksessa ja mietitään, miten ne vaikuttavat esivalmistukseen ja kuinka kaikki erilaiset ongelmat voitaisiin saada selville erilaisten työvaiheiden kautta. Luku 5 käsittelee kohdeyrityksen esivalmistuksen kehittämistä. Luvussa 5 ratkaistaan vastaan tulleita ongelmia ja mietitään kehitysehdotuksia ja sitä, miten parannusehdotukset voitaisiin implementoida käytännön työhön kohdeyrityksessä. Luku 6 on yhteenveto, jossa tarkastellaan työn tuloksia ja mietitään siitä saatuja hyötyjä ja kehitysehdotuksia kohdeyrityksen näkökulmasta. Työn tulokset käydään läpi luvussa 7. Luvussa 7 on myös omaa pohdintaa siitä, miten lopputyö voisi tulevaisuudessa auttaa esivalmistuksen kehittämistä entistä parempaan suuntaan pajalla.

## 1.4 Tutkimuskysymykset

Lopputyössä etsitään vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Kuinka esivalmistusprosessi saadaan vietyä läpi projektista toiseen laadukkaasti, kustannustehokkaasti ja toistettavasti?
2. Mitä vaiheita esivalmistusprosessiin kuuluu tilauksesta toimitukseen, ja kuinka eri vaiheet voidaan kattavasti analysoida huomioon ottaen erilaisten projektien tarpeet?

Esivalmistusprosessi halutaan pajalla viedä läpi laadukkaasti, kustannustehokkaasti ja toistettavasti huomioiden erilaisten projektien laatusuunnitelmat ja -vaatimukset. Esivalmistusprojekti täytyy pilkkoa pienempiin osiin, että esivalmistusprojektin analysointi on mahdollista. Lopputyössä etsitään tutkimuskysymysten muodossa vastauksia siihen, mitä eri vaiheet pitävät sisällään ja miten pieniksi osiksi esivalmistusprosessi kannattaa pilkkoa, että siitä saatavat hyödyt palvelevat toimintaa pajalla.

## 1.5 Yritysesittely

Viafin Service Oyj on suomalainen pörssi-yhtiö. Viafin Service Oyj:n juuret ovat Etelä-Pohjanmaalla Teuvalla, josta yhtiö on kasvanut merkittäväksi teollisuusputkistoliiketoiminnan osajaksiksi (Viafin Service, 2023). Lopputyö tehdään Viafin Process Piping Oy:lle Kurikan toimipisteeseen. Viafin Process Piping Oy on Viafin Service Oyj:n tytäryhtiö. Konsernissa on työntekijöitä keskimäärin 450, ja heistä Kurikan esivalmistuspajalla 13 henkilöä. Konsernin strategisenä tavoitteena on saavuttaa sadan miljoonan euron liikevaihto ja ylläpitää keskimäärin noin 5–7 prosentin liikevoittomarginaalia. Kasvua pyritään vauhdittamaan esimerkiksi yritysostoilla ja investoimalla jo olemassa oleviin yksiköihin, sekä tehostamalla toimintaa jokaisella osa-alueella.

Viafin Service Oyj:n toimenkuvaan kuuluvat teollisuuden putkistojen asennukset ja kunnossapito, mekaaninen kunnossapito, vuosihuoltoseisokit sekä laiteasennukset. Muita liiketoimintaan kuuluvia osa-alueita ovat kaasu- ja LNG-laitteiden sekä järjestelmien, tankkausasemien sekä biokaasulaitosten huolto ja kunnossapito sekä sähkö- ja automaatiohuolto ja kunnossapito (Viafin Service, 2023). Viafin Process Piping Oy on teollisuuden putkistojen markkinajohdaja Suomessa. Viafin Service Oyj:n toiminnassa laatu ja turvallisuus ovat tärkeitä seikkoja.

Konsernissa seurataan aktiivisesti tapaturmataajuuksia, sekä tutkitaan tarkasti kaikki poissa-oloihin johtaneet tapaturmat ja vakavat läheltä piti -tilanteet. Konsernin toiminta rakentuu vahvasti asiakkaiden, työntekijöiden, sertifioidujen järjestelmien ja hyvän hallintatavan ympärille. Yrityksen toiminnassa ympäristövaikutukset huomioidaan kaikessa toiminnassa. Perusasioita seuraamalla ja kehittämällä yrityksen toimintaa ohjataan laadukkaampaan suuntaan.

Kurikan konepaja tarjoaa teollisuusyrityksille putkistosivalmisteita sekä putkisto- ja koneikkovalmistusta. Kurikan konepaja toimittaa hitsattavia tuotteita paperi- ja selluteollisuudessa sekä energia-, laiva- ja terästeollisuudessa toimiville asiakkaille (Viafin Service, 2023). Hitsattavien putkien koot vaihtelevat välillä DN15 – DN1000. Kohdeyrityksessä voidaan hitsata niin kirkasta kuin mustaakin terästä sisätiloissa hyvissä halliolosuhteissa. Pajalla tehdään myös erikoismateriaalien hitsausta, kuten titaani- ja monel-hitsausta. Hitsausmenetelmiä pajalla ovat tig-, mag-, puikko- ja orbitaalihitsaus.

## 2 ESIVAMISTUKSEN OSA-ALUEET

Lopputyössä käsitellään esivalmistusta pajalla. Esivalmistukseen liittyy eri osa-alueita alkaen tilauksen vastaanotosta ja päättyen esivalmistettujen osien toimitukseen. Esivalmistus ei ole samanlainen ketju toimintoja projektista toiseen, mutta jokainen esivalmistusprojekti noudattaa yrityksen sisällä hyväksi havaittua toimintamallia niiltä osin, kuin se on mahdollista. Teoriaosuudessa avataan toimintamalliin kuuluvat osa-alueet niin, että niiden avulla voidaan ymmärtää, mitä esivalmistusprojekti vaatii, että se voidaan viedä onnistuneesti ja kustannustehokkaasti läpi.

### 2.1 Ostotoiminta

Esivalmistusprojektissa isometreihin vaaditut komponentit ja osat tilataan suoraan pajalle tilaajan toimesta. Haverilan ym. (2009, s. 243) mukaan ostoprosessi lähtee osien puuttuessa liikkeelle impulssista, joka voi olla:

- tarve
- ongelma
- viallinen komponentti.

Ostoprosessissa tarvittavat tiedot esimerkiksi puuttuvista osista kirjataan ylös ja toimitetaan ostoprosessista vastaavalle henkilölle (Haverila ym., 2009, s. 243). Ostoprosessista vastaava henkilö kartoittaa ratkaisuvaihtoehdot ongelmalle. Ratkaisu voi olla myös jokin muu kuin komponenttien ostaminen. Puuttuvia osia voidaan kysyä myös yrityksen muista toimipisteistä. Jos puuttuville komponenteille suoritetaan ostoprosessi, ostaja kartoittaa halvimmat tai projektiin sopivimmat toimittajat ja tilaa puuttuvat komponentit.

Ostotoiminnassa on tärkeää pysyä oston varattujen kustannusten sisällä. Kustannusten nousu tarkoittaa projektista saadun katteen pienenemistä. Järvenpää ym. (2020, s. 196) kuvaavat, miten suurin mahdollisuus vaikuttaa tuotteen valmistuskustannuksiin on siinä vaiheessa, kun tuotannon käynnistämistä vasta suunnitellaan. Pajalla paras mahdollinen tilanne on silloin, kun komponentit saadaan ajoissa tarkastettavaksi. Jos komponenteista on puutetta,

niin ostaja pystyy keskitetysti kilpailuttamaan isomman erän, kuin että komponentteja tilattaisiin yksittäin pitkin käynnissä olevaa projektia.

Projektien ostotoiminnassa voidaan puhua myös lyhyen tähtäimen päätöksenteosta (Pellinen, 2019, s. 102). Ostotoimintaa hyödynnetään projekteissa niiden oman vastualueen päätöksenteossa. Usein esivalmistusprojektit ovat kestoiltaan lyhyitä, mutta projektille saapuneissa materiaaleissa on paljon rahaa kiinni. Ostotoiminnan tarkoitus on omalta osaltaan pyrkiä kate-tuottojen maksimointiin. On tavanomaista, että lyhyellä aikavälillä tavoitteiden saavuttaminen ei aina ole mahdollista, mutta pitkän aikavälin tavoitteiden toteutuminen järkevällä ostotoimin-nalla on mahdollista.

## **2.2 Laatuvaatimukset, laatusuunnitelma ja NDT-tarkastussuunnitelma**

Kaikissa (sisäinen tietolähde, 15.2.2023) pajalla hitsattavissa projekteissa on laatuvaatimuk-sia. Laatuvaatimukset liittyvät esimerkiksi hitsauksen laatuun, RT-kuviin, hitsaajien pätevyysto-distukseen, asiakkaan vaatimukseen, materiaaliin, hitsausohjeisiin eli WPS-ohjeisiin tai lainsää-däntöön. Laatuvaatimukseen voidaan asiakkaan toiveen mukaan lisätä erilaisia vaatimuksia, mutta ennen projektin aloittamista on vaatimukset käytävä projektinjohdon toimesta läpi ja mie-tittävä millaisin vaatimuksin projekti pystytään toteuttamaan. Pahimmassa mahdollisessa ta-pauksessa yritys lupautuu tekemään laatuvaatimuksien mukaan jotain, mikä ei ole toteutetta-vissa.

Laatuvaatimukset korostuvat myös painelaitteen alaisia putkia hitsattaessa (Tukes, 2023). Pai-nelaitedirektiivissä löytyvät esimerkiksi luokat SEP ja PED. Laatusuunnitelma on usein jaettu seuraaviin alaotsikoihin, joissa on eritelty kunkin otsikon alle siihen kuuluvat vaatimukset pro-jektin toteuttamiseksi:

- suunnitteluohjeet
- materiaalit
- lisäaineet
- suunnittelu

- valmistus
- tuotanto
- tarkastukset.

Pienemmät (sisäinen tietolähde, 15.2.2023) projektit ovat vaatimuksien osalta vähäisempiä. Projektin taustalla on laatusuunnitelma, jossa vaatimuksia on vähemmän. Projekti on silloin helpommin toteutettavissa valmistuksen osalta. Projektien aloituspalaverissa käydään läpi laatuvaatimukset, ja niiden toteutumista seurataan viikoittain käytävissä projektipalaverissa. Poikkeamat laatusuunnitelmasta ilmoitetaan projektin vetäjälle, ja niihin reagoidaan kulloinkin tarvittavalla tavalla.

Laadunvarmistus ja laadunvalvonta tehdään laatusuunnitelmassa olevien ohjeiden mukaan (SFS-EN ISO 3834-1:2021, 2021, s. 9). Laaduntarkastussuunnitelma tehdään jo esivalmistustyön suunnitteluvaiheessa. Laaduntarkastussuunnitelmassa määritetään kaikki, mitä halutaan tarkastaa ja seurata esivalmistusprojektissa. Laaduntarkkailua voidaan tehdä materiaaleille, hitsaukselle, tarkastuksille, käytettäville hitsaus- ja valmistusprosesseille, hitsaajien työohjeille ja hitsaajien pätevyyksille. Hitsauksen laadunhallinta tulee NDT-tarkastussuunnitelmasta. Valmiin hitsin tarkastusmenetelmiä on kaksi, ainetta rikkova ja ainetta rikkomaton tarkastusmenetelmä. Kurikan pajalla yleisimmin käytössä olevat menetelmät ovat:

- VT, sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus
- RT, radiografinen tarkastus
- PT, tunkeumanestetarkastus.

Visuaalinen tarkastus (VT) on ainetta rikkomaton tarkastus, jossa hitsausseama tarkastetaan silmämääräisesti (Lepola & Ylikangas, 2016). Visuaalisessa tarkastuksessa voidaan etsiä hitsausseaman pinnassa olevia virheitä, sovitusrirheitä, pinnan virheellisiä muotoja ja tutkia pinnan tasalaatuisuutta, hitsauskuvun korkeutta, reunahaavoja, halkeamia, huokosia ja roiskeita. Standardissa SFS-EN ISO 17637:2016 todetaan, että mikäli hitsissä havaitaan virheitä tai puutteita, on ne raportoitava. Raportoinnin jälkeen voidaan hitsiin liittyvät parantavat toimenpiteet myös tehdä.

Radiografinen tarkastus (RT) on ainetta rikkomaton tarkastus (Witting., 2014, s. 41). Radiografisessa tarkastuksessa hitsausliitoksen läpi johdetaan säteilyä, joka tallentuu takana olevalle filmille. Kuvattavan kohteen rakenne ei saa olla kovinkaan monimutkainen onnistuneen säteilytyksen varmistamiseksi. Päittäishitsien kuvaaminen onnistuu usein helposti, mutta pienahitsien kuvaaminen vaatii onnistuakseen ammattitaitoa. Säteilylähteenä käytetään usein röntgensäteilylaitetta. Valotetulla filmillä hitsausvirhe näkyy tummempana pisteenä tai alueena. Koska röntgensäteily on ihmiselle vaarallista, täytyy kuvauspaikka olla vuorattu esimerkiksi lyijylevyillä tai kuvata hitsausliitos silloin, kun työntekijät eivät ole paikalla.

Tunkeumanestetarkastus (PT) voidaan suorittaa hitsausaumalle myös rikkomatta hitsiä (Leppola & Ylikangas, 2016, s. 263–264). Tunkeumanestetarkastus voidaan helposti suorittaa erilaisille ja erimuotoisille hitsatuille kappaleille. Tunkeumanestetarkastuksessa voidaan havaita halkeamia, huokosia ja liitosvikoja. PT-tarkastuksessa pinta puhdistetaan, levitetään väriaine, poistetaan kaikki ylimääräinen väriaine ja ruiskutetaan valkoinen kehite virheiden havaitsemiseksi. Kehitteen vaikutusaika on 5–30 minuuttia ja virheiden havaitsemiseksi voidaan apuna käyttää myös UV-valoa. Tunkeumanestetarkastuksessa virheet näyttäytyvät oikean muotoisina, mutta suurempina korostaen tarkastajalle virhettä paremmin.

### 2.3 Putkien koko ja materiaali

Konepajalla esivalmistuksen hitsattavat putkikoot vaihtelevat välillä DN15 ja DN1000, missä DN tarkoittaa nimellistä halkaisijaa millimetreissä (Taloon, 2023). Nimellismittajärjestelmä on luotu tuumiin perustuvan NPS-mittajärjestelmän rinnalle, ja se ilmoittaa putken fyysisen halkaisijan millimetreissä. Esimerkiksi kahden tuuman putken DN koko on DN50, ja millimetreinä halkaisija ilmoitetaan 60,3 mm. Nimellismitta ei näin ole siis suoraan yhteydessä ulkoisiin mittoihin. Hitsattavien putkien seinämävahvuudet vaihtelevat kahdesta millimetristä kahteentoista millimetriin.

Konepajalla esivalmistuksessa hitsauksessa yleisimmin käytettävät materiaalit ovat:

- 304 / 304L (1.4301 / 1.4307)
- 316 / 316L (1.4401 / 1.4404)
- 904L (1.4539).

Ruostumattomat teräkset voidaan jaotella käyttötarkoituksen mukaan ruostumattomiin, haponkestäviin ja kuumalujiin, tai seosaineiden mukaan kromiteräksiin, kromi-nikkeliteräksiin ja kromi-nikkeli-molybdeeniteräksiin (Witting, 2014, s. 171–175). Yleisesti ottaen kaikkien ruostumattomien teräksien tulee jaottelusta riippumatta kestää veden, happojen, suolojen ja emäsluoksien syövyttäviä vaikutuksia. Ruostumattomien teräksien pintaan muodostuu ohut passiivikalvo, joka rikkoontuessaan uudistuu ja suojelee terästä syöpymiseltä. Ruostumattoman haponkestävän teräksen ruostumattomasta teräksestä erottaa alkuaine molybdeeni, jota löytyy esimerkiksi haponkestävästä 1.4401 teräksestä 2,2 prosenttia. Molybdeenin tehtävänä on parantaa paikallista ja yleistä korroosionkestävyyttä. Molybdeenin osuus ruostumattomissa teräksissä voi parhaimmillaan olla jopa 7 prosenttia.

Ruostumattomien terästen kromipitoisuus on vähintään 10,5 prosenttia. Kromin ja molybdeenin lisäksi ruostumattomien terästen seosaineita ovat nikkeli ja typpi (Koivisto ym., 2014, s. 144–147). Pajalla esivalmistuksessa käytetyt yleisimmät putkiteräkset kuuluvat austeniittisiin ruostumattomiin teräksiin, joissa on vähintään 17 prosenttia kromia ja 7 prosenttia nikkeliä. Tavallisin austeniittinen ruostumaton teräs on 18/9-teräs, jossa on 18 prosenttia kromia ja 9 prosenttia nikkeliä. Hiilipitoisuus pyritään austeniittisissä teräksissä pitämään hyvän hitsattavuuden vuoksi alhaisena, alle 0,10 prosentissa. Koiviston ym. (2014, s. 179) mukaan matala hiilipitoisuus austeniittisessä ruostumattomassa teräksessä tarkoittaa paremman hitsattavuuden lisäksi myös puhtaampaa terästä, parempaa pinnanlaatua hitsauksen jälkeiseen kiillotukseen sekä parempaa kestävyyttä ympäristön ulkoisille vaikutuksille. Taulukossa 1 on esitetty muutamien pajalla käytettävien materiaalien alkuainepitoisuuksia. Austeniittisten ruostumattomien terästen hyviä ominaisuuksia ovat erittäin hyvä muokattavuus, matala lämmönjohtokyky ja hyvä hitsattavuus.



Taulukko 1. Konepajalla käytettävien aineiden kemiallisia koostumuksia (Witting, 2021, s. 175).

MAT / %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	Mo	Cu
304	0,07	1,0	2,0	0,045	0,015	19,5	10,5	0,1	0,0	0,0
304L	0,03	1,0	2,0	0,045	0,015	19,5	10,5	0,1	0,0	0,0
316	0,07	1,0	2,0	0,045	0,015	18,5	13,0	0,1	2,5	0,0
316L	0,03	1,0	2,0	0,045	0,015	18,5	13,0	0,1	2,5	0,0
904L	0,02	0,7	2,0	0,03	0,01	21,0	26,0	0,15	5,0	2,0

## 2.4 Hitsaus esivalmistuksessa

Metallituotteiden tärkein liittämismenetelmä on hitsaus. Esivalmistuksessa käytetyt hitsausmenetelmät ovat TIG-hitsaus, MAG-hitsaus tai niiden yhdistelmähitsaus. Yhdistelmähitsauksessa juurihitsi hitsataan TIG-hitsauksella ja täyttö suoritetaan MAG-hitsauksella. Hitsaus suoritetaan pajassa sisällä apuvälineiden avulla hyvissä hitsausolosuhteissa. Hyvät hitsausolosuhteet luodaan pitämällä työpisteet hyvässä kunnossa sekä investoimalla oikeat työvälineet työn laadukkaaseen hoitamiseen (Ruohomäki ym., 2011, s. 57–59).

Esivalmistusisometrejä hitsattaessa pyritään tekemään laadullisesti hyvää jälkeä sekä yrittään maksimoida hitsaustehokkuus valitsemalla oikea menetelmä, johon löytyvät menetelmäkoee ja hitsausohje (Ruohomäki ym., 2011, s. 57–59). Projektien hinnoittelun kiristyessä on myös hitsauksessa huomioitava kustannustehokkuuden parantaminen pajalla. Esivalmistusprosessia voidaan parantaa ja tehostaa suunnittelemalla esimerkiksi hitsausjärjestys paremmin. Hitsauksen kaariaikasuhte käsinhitsauksessa on 15–30 % ja esimerkiksi mekanisoidussa hitsauksessa noin 50 %. Isometreistä löytyvät hitsattavat osat ovat usein sellaisia, että niiden hitsaus joudutaan suorittamaan käsinhitsauksena TIG-hitsausmenetelmällä. Tuottavuutta on siis pyrittävä parantamaan mahdollisesti muilla saatavilla olevilla keinoilla, koska iso osa hitsauksesta suoritetaan TIG-hitsausmenetelmällä. Pajalla ei toistaiseksi ole mahdollisuutta tehdä isoja investointeja ilman muuta hitsausta.

Hitsausluokkia on kolme. Hitsausluokat perustuvat standardin SFS-EN ISO 5817:2023 mukaisesti hitsausvirheisiin:

- B, vaativa hitsausluokka
- C, hyvä hitsausluokka

- D, tyydyttävä hitsausluokka.

Hitsausluokkastandardeja on kaksi:

- teräkselle, nikkelille ja titaanille
- alumiinille (soveltuu myös kuparille ja magnesiumille).

Hitsausluokkia käytetään hitsaavassa konepajateollisuudessa laadunvarmistamiseksi (SFS-EN ISO 5817:2023). Hitsaajien pätevyyskokeet on osittain määritelty myös hitsiluokkastandardien pohjalta. Hitsausluokkaa D käytetään hitsatuille rakenteille, joissa vaurioitumismahdollisuus on pieni tai sitä ei ole ollenkaan. Hitsausluokka C sopii staattisesti kuormitetuille rakenteille sekä painelaitehitsauksen alaisille putkistoille. Kurikan pajalla tehdään pääsääntöisesti hitsaukset luokan C alla. Hitsausluokkaa B käytetään silloin, kun hitsattavat rakenteet tai putkistot ovat väsymiskuormituksen alaisia ja joissa on riski haurasmurtumiselle.

Hitsausluokan valinnan määrittää laatusuunnitelmassa vaadittu hitsausluokka (Metsta, 2020, s. 13). Jos vaatimuksia ei ole määritelty, niin Kurikan pajalla käytetään luokkaa C, joka vastaa hyvää konepajakäytäntöä ja on riittävän hyvä useimmille hitsattaville tuotteille. Hitsausluokka määritetään ennen hitsauksen aloittamista. Joissain tapauksissa voi olla tarve määrittää poikkeuksia hitsausluokkaan, mutta näistä on sovittava erikseen ennen hitsauksen aloittamista. Projektin hitsausluokkaa määritettäessä on syytä miettiä myös kustannuksia, jotka kasvavat esimerkiksi tarkastuskustannuksien muodossa paremman hitsausluokan myötä.

Pajalla hitsaus suoritetaan vakituksessa tulityöpaikassa. Tulityöpaikassa ei saa olla palavia tai syttyviä rakenteita, muita syttyviä esineitä, turhaa jätettä tai esimerkiksi pölyä. Hitsauspisteen siisteyden on kiinnitettävä erityistä huomiota onnettomuuksien välttämiseksi. Lepola ja Makkonen (2007, s. 58) toteavat, että ammattitaitoinen hitsaaja huolehtii työpisteen siisteydestä, tekee hitsaustyötä oikeilla ja tarkastetuilla välineillä turvallisesti huomioiden muut työntekijät ja mahdolliset vaaratekijät.

## 2.5 Dokumentointi esivalmistuksessa

Pajalla hitsauksen esivalmistukseen kuuluu olennaisena osana myös työn ja hitsauksen dokumentointi. Dokumentoinnin avulla varmistetaan jäljitettävyyden myöhemmässä vaiheessa,

seurataan hitsauksen edistymistä ja kehitetään toimintaa kohti toistettavia prosesseja myös tulevilla projekteilla (Lindewalt, 2013, s. 21). Dokumentoinnin laajuus ja vaatimukset tulevat asiakkaalta. Dokumentointi pitää sisällään kuvauksen toteutetusta projektista, projektin eri vaiheet eriteltynä, työ- ja hitsausohjeita, työntekijöiden ja ulkopuolisten toimijoiden sertifikaatteja, mitattujen ja tarkastettujen asioiden dokumentteja, riksienhallintadokumentin, suunnitelman aikatauluksesta ja resurssien käytöstä, sekä mahdollisesti kuvia ja videoita prosessien etenemisestä.

Pajalla esivalmistuksen dokumentoinnissa keskitytään hitsauksen dokumentointiin. Projektin toteuttaja liittyy pajalla tuotetun hitsausdokumentaation lopulliseen dokumentointiin. Hitsauksessa dokumentoidaan seuraavia asioita (Lindewalt, 2013, s. 21):

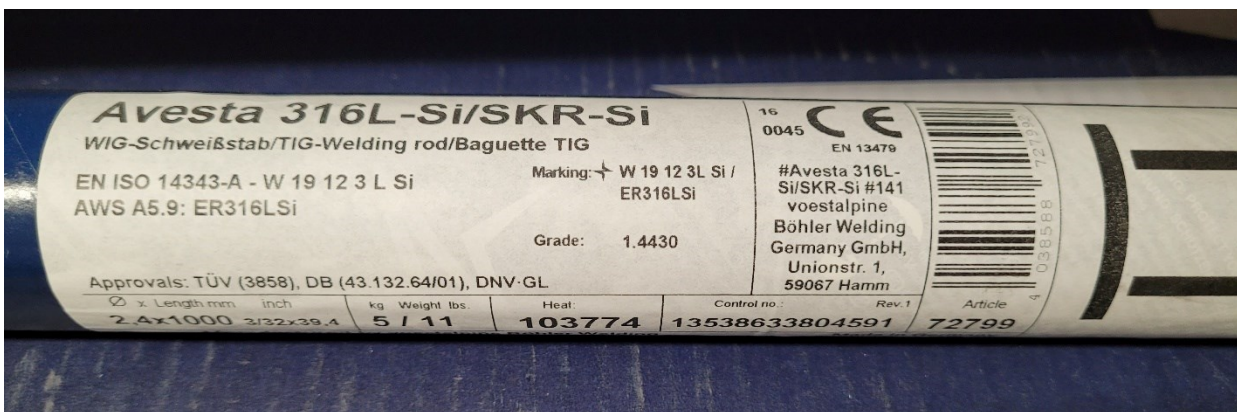
- hitsausohjeet
- hitsaajien tunnukset ja sertifikaatit
- tarkastuslaajuus ja tarkastajien sertifikaatit
- käytettävien materiaalien todistukset
- hitsauspäivämäärät.

Hitsauksen laadun ja suorittamisen onnistumiseksi ammattitaitoisen hitsaajan lisäksi tarvitaan hitsausohje, eli WPS. Lepolan ja Ylikankaan (2016, s. 239) mukaan hitsausohjeen käyttö antaa perustan sille, että hitsattavat saumat täyttävät standardeissa annetut vaatimukset, ja hitsaus suoritetaan materiaalista ja putkista riippumatta kulloinkin hitsausohjeessa annettujen parametrien ja ohjeiden mukaan. Ennen esivalmistushitsauksen aloittamista projektin tilaaja tai josakin tapauksissa paja kartoittaa vaadittavat hitsausohjeet. Jos vaadittavia hitsausohjeita ei ole saatavilla, silloin suoritetaan menetelmäkokeet, joiden avulla voidaan tarvittavaan hitsausprosessiin saada pätevyys.

Hitsauksen suorittamista voidaan tarkastella myös hitsauksen aikana (Lindewalt, 2013, s. 19). Tarkastuksen voi suorittaa siihen pätevyitynyt henkilö tai ulkopuolisen tarkastuslaitoksen edustaja, jolla on tarkastamiseen liittyvät sertifikaatit kunnossa ja voimassa. Hitsauksen aikana voidaan seurata hitsausohjeissa olevien parametrien noudattamista, hitsauspalkojen muotoja,

hitsauspalkojen puhdistamista ennen ja jälkeen hitsauksen, hitsausjärjestystä ja mahdollisia poikkeamia hitsauksessa. Poikkeamat voidaan kirjata ylös, ja ne voidaan myöhemmin kootusti käydä läpi esimerkiksi projektin loppupalaverissa. Liitteessä 1 olevaan hitsauspöytäkirjaan hit-saajat kirjoittavat hitsattavan isometrin hitsausseamien seurantatiedot, kuten hitsausseaman numeron, hitsaajan tunnuksen, käytettävän hitsausohjeen ja hitsauspäivämäärän. Tiedot vie-dään lopulliseen hitsauslokiin myöhemmin, jolloin tarkastetaan samalla, että kaikista kirjatui-sta tiedoista löytyvät tarvittavat dokumentit.

Esivalmistus ja putkien hitsaus perustuu laatuun ja jäljitettävyyteen. Kaikki esivalmistuksessa käytettävät komponentit, putket ja hitsauslisäaineet täytyy dokumentoida, ja niistä pitää löytyä materiaalin aineodistus. Kuvassa 1 näkyy TIG-hitsauslisäaineen tietoja, kuten sulatusnu-mero, langan paksuus, valmistenumero ja materiaali.



Kuva 1. TIG-lisäainelanka ja lisäainelangan tiedot

Esivalmisteen hitsauksen yhteydessä hitsaaja täyttää liitteestä 1 olevaa hitsauspöytäkirjaa, johon merkitään hitsauslisäaineen sulatusnumero. Sulatusnumeron avulla voidaan lisäaine-lanka yhdistää lisäainelangan dokumentointiin (Lindewalt, 2013, s. 21). Hitsauslisäainelangan dokumentissa löytyvät tiedot esimerkiksi lisäainelangan kauppanimestä, luokittelumerkinnästä ja sen kemiallisesta koostumuksesta. Lopullisen jäljitettävyyden seurannan laajuuden määrit-telee projektin tilaaja, mutta usein seurantaan aineodistuksien lisäksi kuuluu hitsausseamo-jen jäljitettävyys, hitsaajien todistukset, tarkastettavien seamojen seuranta ja jäljitettävyys, sekä muut mahdolliset laatuun ja laadunseurantaan liittyvät dokumentit.

### 3 ESIVALMISTUS KÄYTÄNNÖSSÄ

Esivalmistus pajalla tarkoittaa projektiin kuuluvien, isometreistä löytyvien putkilinjojen hitsaamista asennuskohteen ja kuljetuksen kannalta järkeviin kokoihin. Projektit ovat usein yhtiön sisäisiä. Pajalta esivalmistetut putkilinjat toimitetaan joko häkeissä tai irto-osina asennuskohteeseen, jossa ne asennetaan vaatimusten mukaan paikalleen.

Esivalmistuksen vaatimuksia ovat mittatarkkuus ja osien valmistaminen isometrin mukaisiksi. Mittapoikkeamat, muotopoikkeamat ja laadulliset virheet aiheuttavat asennuskohteessa ylimääräisiä kustannuksia sekä ylimääräistä työtä. Esivalmisteiden on tarkoitus saada projektin kustannukset laskemaan, mutta erilaiset virheet ja poikkeamat esivalmistuksessa vain vähentävät esivalmistuksen arvoa työlle.

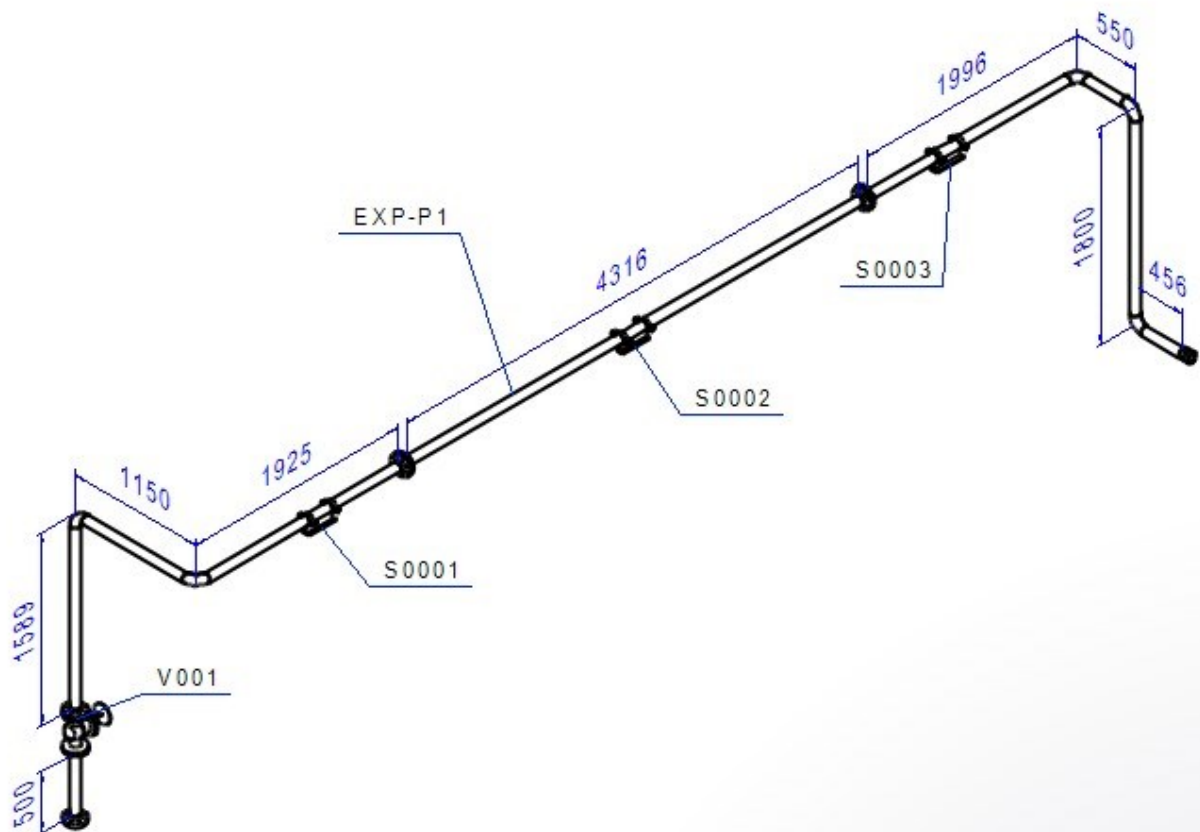
#### 3.1 Vaiheet ennen esivalmistusta

Esivalmistus pajalla koostuu useasta eri työvaiheesta. Ennen hitsaavan esivalmistyön aloittamista käydään läpi useampi valmisteleva vaihe, joiden avulla selvitetään mahdollisuuksia suorittaa hitsaus pajalla. Haastavia materiaaleja tai putkikokoja sisältävissä projekteissa tietyt vaiheet kartoitetaan tarkemmin, jolloin vältytään mahdollisilta lisäkustannuksilta esimerkiksi menetelmäkokeiden hitsauksen muodossa. Menetelmäkokeiden hitsaus hidastaa projektin aloitusta ja pahimmassa tapauksessa keskeyttää projektin kokonaan.

Esivalmistusprojekti aloitetaan, kun vastaanotetaan sisäinen työ toiselta yksiköltä. Työhön saadut isometrit tarkistetaan ja käydään läpi huolellisesti. Tarkastuksen yhteydessä selvitetään, mitä vaatimuksia projektin hitsaus pajalta vaatii. Tärkeimmät vaatimukset onnistuneelle hitsaukselle ovat riittävät hitsaajien pätevyudet ja hitsausohjeiden (WPS) löytyminen. Näiden avulla hitsaajat voivat suorittaa hitsauksen. Jos hitsaajien pätevyudet eivät ole riittäviä tai hitsausohjeet puuttuvat, järjestetään hitsauskokeet tai menetelmäkokeet. Kokeiden avulla saadaan hitsaajille puuttuvat luokat hitsauksen suorittamiseen. Yrityksellä on käytössä selainpohjainen ohjelma, johon on keskitetysti viety kaikkien hitsaajien pätevyudet ja hitsausohjeet.

Seuraavassa vaiheessa kohteena olevan työn kuvat tulostetaan. Kuvassa 2 esitetään, miltä esivalmistettava putkilinja isometrissä näyttää. Tulostettuihin isometreihin merkitään tarvittavat tiedot esivalmistuksen laadun varmistamiseksi. Joissain projekteissa isometrit sisältävät jo kaiken mahdollisen informaation, mutta tilanne on hyvin harvoin näin. Ensimmäisessä vaiheessa

isometrit liputetaan. Liputus tarkoittaa putkilinjan jakamista pienempiin osiin asennuksen ja kuljetuksen helpottamiseksi. Määritykset putkilinjojen pituudelle ja muodoille tulevat asennuskohteesta. Kuljetus toimipisteiden välillä aiheuttaa usein myös rajoituksia putkilinjojen pituudelle esivalmistuksessa, sillä liian pitkät putket vaativat erikoiskuljetusta, mikä on normaalia kuljetusta kalliimpi vaihtoehto. Putket täytyy voida myös asentaa asennuskohteessa. Isometrien liputuksessa täytyy ottaa huomioon putkien koko ja asennuskohteen hitsausolosuhteet. Pienempiä putkikokoja on helpompi käsitellä, ja ne voidaan myös asentaa ahtaammassa olosuhteissa, kun taas isompien putkikokojen liputuksessa täytyy ottaa huomioon niiden liikuttelu asennuskohteessa. Onko esimerkiksi asennuskohteessa käytettävissä nostoapuvälineitä ja kuinka korkealle hitsatut putket asennetaan? Liputuksessa huomioidaan myös asennuskohteen eri suuntiin tarvittavat työvarat. Työvaroilla saadaan putkilinjat paremmin mittatarkoiksi. Esivalmisteputkiin laitetaan pituudesta riippuen riittävä työvara, esimerkiksi 50 mm tai 100 mm. Asennuskohteessa työvara lyhennetään oikeaan mittaan.



Kuva 2. Isometrikuva putkilinjasta (Vertex, 2021.).

Liputetut osat merkitään isometrikohtaisesti jatkuvalla numeroinnilla alkaen numerosta yksi, esimerkiksi PART 1 tai OSA 1. Numeroinnilla helpotetaan asennuskohteeseen vietävien

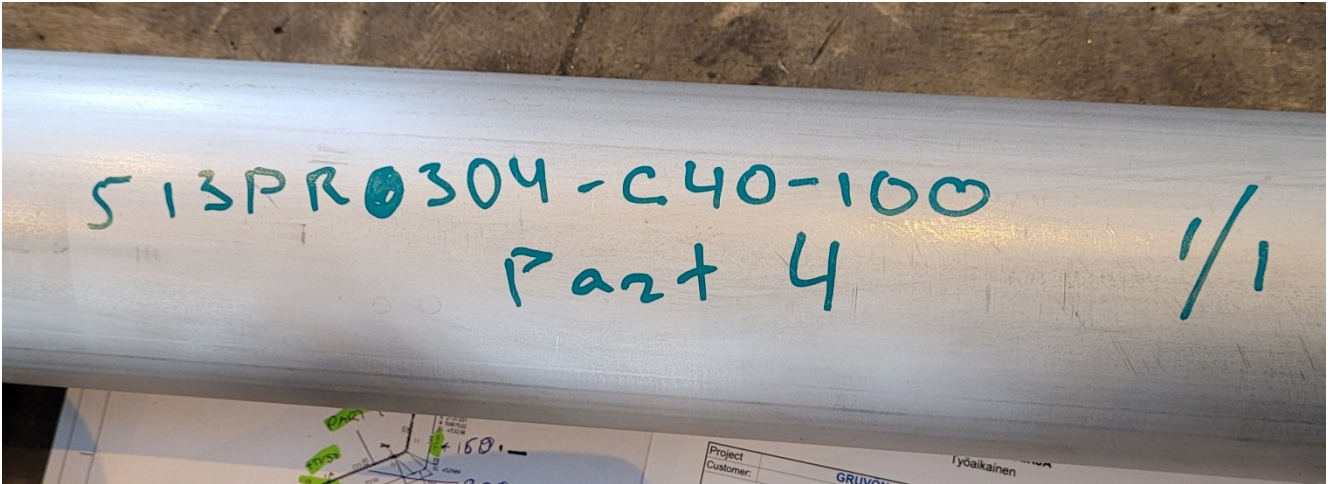
putkien asennusta. Osanumero merkitään isometrin tunnistenumeron kanssa myös hitsattaviin esivalmisteisiin. Kuvassa 3 esivalmisteeseen on kirjoitettu isometrin numero, osanumero ja hitsattavan osan katkaisumitta.



Kuva 3. Esivalmisteltuja osia

Hitsattavilla esivalmisteilla on erilaisia vaatimuksia, joiden mukaan tarkastukset suoritetaan. Kuvattavien saumojen vaatimukset tulevat joko PED-luokista tai projektin tilaajalta. Hitsatuille saumoille voidaan tehdä RT-, PT- ja VT-tarkastuksia. Tarkastusprosentit vaihtelevat kahdesta prosentista aina sataan prosenttiin asti.

Isometreihin voidaan tehdä vielä esivalmistusprosessin helpottamiseksi valinnaisia merkintöjä. Merkintöjen tarkoitus on varmistaa laatu ja oikeiden materiaalien käyttö osia esivalmistettaessa ennen hitsausta. Isometreistä voidaan korostaa esimerkiksi käytettävä materiaali, isometrin tunnistenumero ja isometrin sivunumero. Sivunumero kertoo kuinka monta isometriä kyseinen piirustusnumero sisältää. Kuvassa 4 näkyy esivalmistettu putki, mihin asentaja on merkinnyt piirustuksen numeron, piirustuksen sivunumeron ja osanumeron.



Kuva 4. Merkinnot esivalmistuksessa

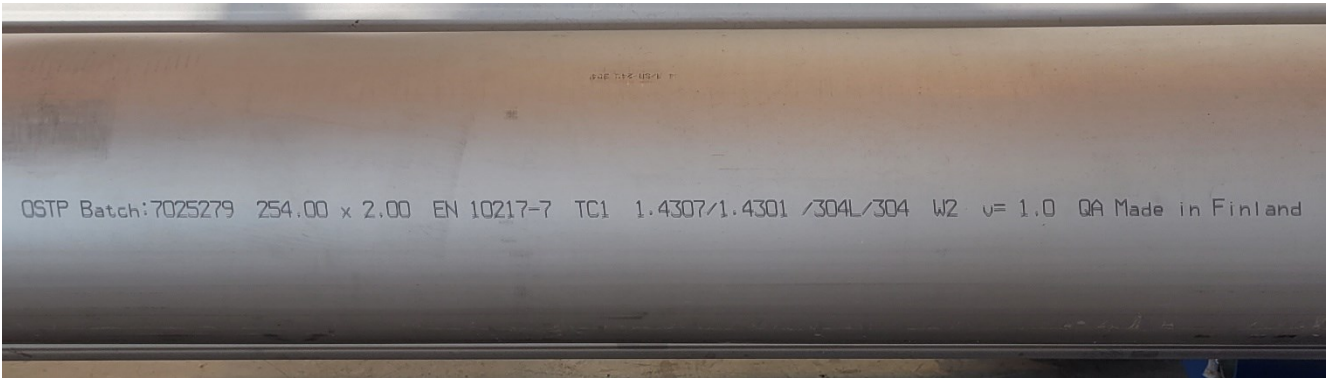
Lopuksi tarkistetut ja merkityt isometrit järjestetään kansioon, joka viedään tuotantoon. Toinen kansio tulostetaan tarkastajille, jotka seuraavat kuvattavien ja tarkastettavien putkien määrää sekä virheettömyyttä tarkastuspisteellä. Tarkastajien isometreihin lisätään vielä projektin numero ja tarkastettavan osan numero.

### 3.2 Hitsattavat putkikoot ja materiaalit esivalmistuksessa

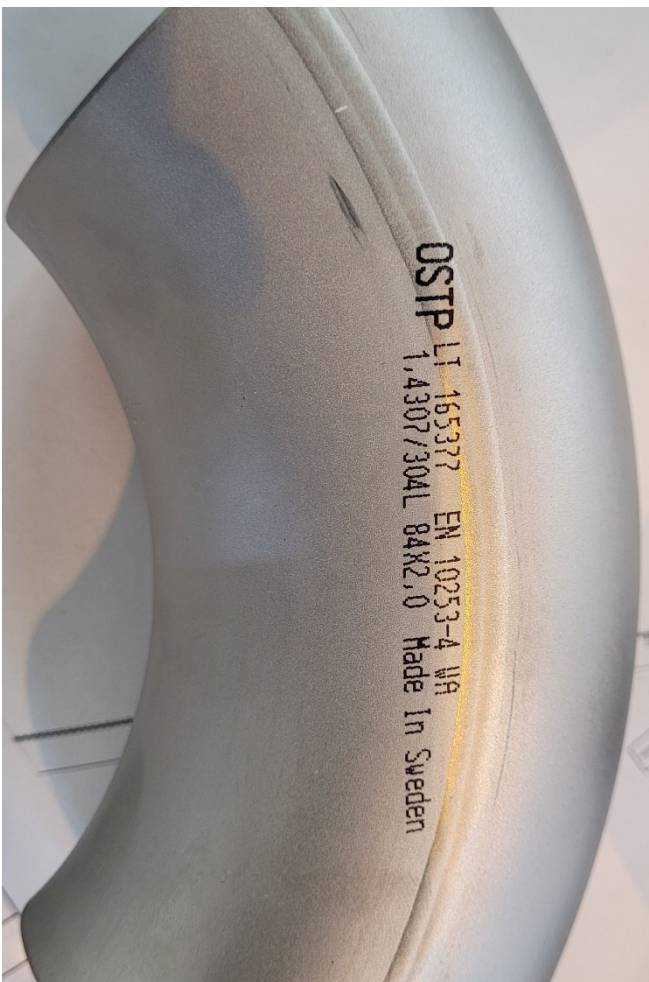
Esivalmistusprojekteissa hitsataan useita eri putkikokoja. Putkien materiaalit ja seinämävahvuudet voivat olla erilaisia projektista toiseen. Esivalmistuksessa isometrit valmistetaan ilmoitettujen materiaalien ja mittojen mukaan. Isometreissä on putkien lisäksi myös esimerkiksi t-haaroja, käyriä, supistajia ja venttiilejä.

Pajalla hitsataan pääsääntöisesti putkikokoja välillä DN15 – DN1000. Pienemmät putket ovat ohuempiseinäisiä, painavat vähemmän ja niiden hitsaaminen on pääsääntöisesti nopeampaa. Isommissa putkikoissa seinämävahvuudet kasvavat, jolloin niiden hitsaaminen hidastuu, ja kuljettaminen sekä siirtäminen tulevat vaikeammaksi. Putkien ja osien materiaalit määräytyvät isometrin komponenttilistan mukaan. Isometri on piirretty projektin tilaajan vaatimusten mukaan. Hitsattavat esivalmistusprojektit ovat pääsääntöisesti 304 / 304L- tai 316 / 316L -materiaalia. Pienissä määrin pajalla hitsataan myös 904L-materiaalista valmistettuja esivalmisteita. Kuvissa 5 ja 6 näkyy esivalmistukseen käytettäviä materiaaleja merkintöineen. Kuvan 5 putkeen on valmistaja merkinnyt putken sulatusnumeron (7025279), putken koon ja materiaalin paksuuden (254,00 x 2,00 mm) sekä putken materiaalin (1.4307/1.4301/304/304L). Edellä mainitut tiedot ovat asentajan kannalta tärkeimpiä tietoja esivalmistettaessa putkea hitsattavaksi.





Kuva 5. Putki merkintöineen



Kuva 6. Käyrä merkintöineen

Putkien koko vaikuttaa esivalmistuksessa hitsausnopeuteen, esivalmisteiden siirtämiseen ja kuljettamiseen, esivalmisteiden laadun valvontaan ja asennuskohteessa niiden asentamiseen. Isommat putket joudutaan siirtämään erilaisin nostoapuvälinein niin pajalla kuin asennuskohteessakin. Pienemmät putkikoot on helpompi pakata ja kuljettaa. Myös pienempien putkikokojen asennus asennuskohteessa on huomattavan paljon tehokkaampaa. Pajalla optimaaliset putkikoot esivalmistehitsaukseen ovat välillä DN65 – DN150. Optimaaliseen hitsaukseen

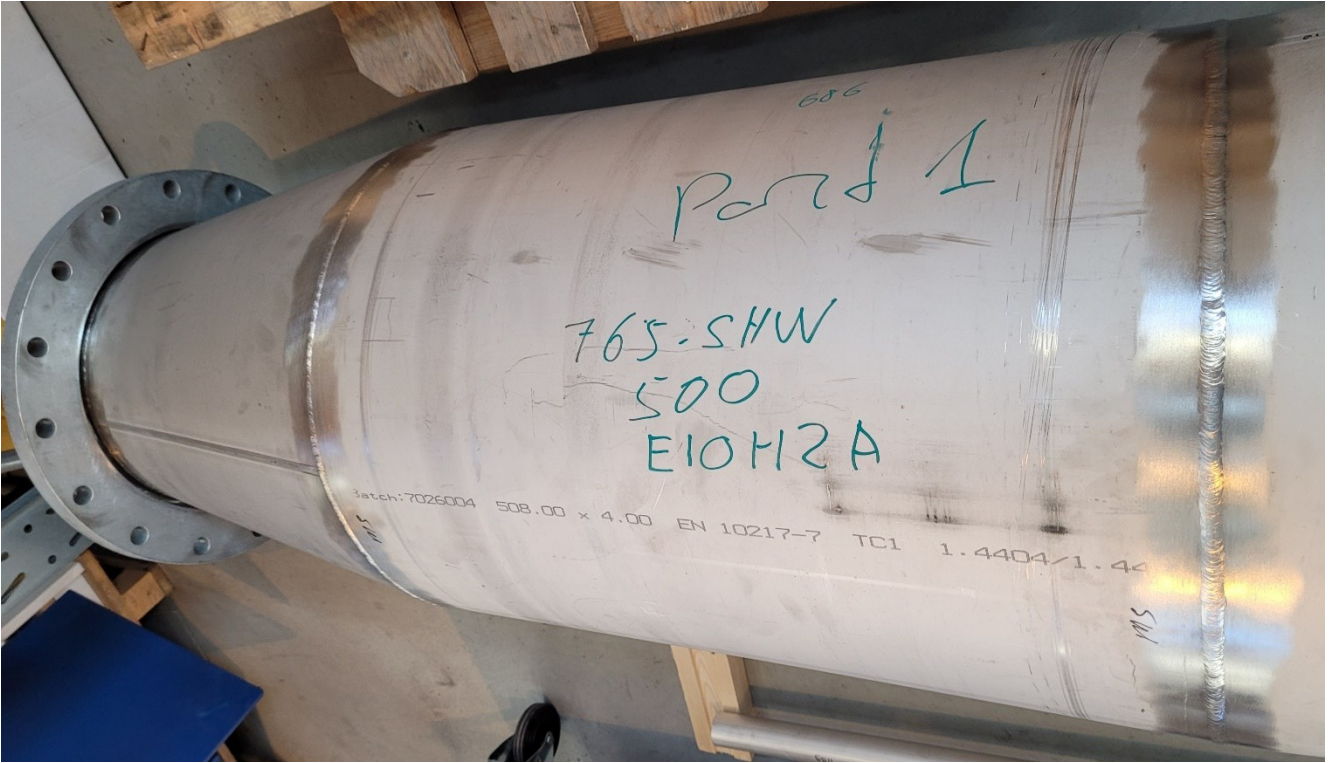
edellä mainittujen putkikokojen lisäksi vaikuttavat isometristä löytyvä putkilinjan muoto ja käytettävien erilaisten osien määrä.

### 3.3 Asennus esivalmistuksen jälkeen

Pajalla hitsatuille esivalmisteille tehdään laatusuunnitelmassa vaaditut tarkastukset ennen niiden kuljetusta asennuskohteeseen. Esivalmisteet puhdistetaan ja pakataan huolellisesti häkkiin ennen toimitusta. Esivalmistehäkkien toimituksen mukaan voidaan laittaa myös isommat esivalmisteet irt-osina ja projektista ylimääräiseksi jääneet putket sekä muut osat. Esivalmistehäkit merkitään juoksevalla numeroinnilla. Häkkien sisältö kirjataan tilaajan vaatimalla tavalla ylös ennen toimitusta vastaanottajalle. Näin vastaanottaja asennuskohteessa on tietoinen häkkien sisällöstä. Hyvin merkityt häkit ja esivalmisteet tekevät esivalmisteiden asentamisen huomattavasti helpommaksi.

Pajalta ei asennukseen osallistu työntekijöitä, kuin mahdollisesti erittäin kiireellisissä asennuksissa. Merkinnät esivalmisteissa ja isometreissä täytyy olla kunnossa, koska asennuksen suorittavat eri henkilöt kuin esivalmisteiden tekijät. Asennustyöntekijät jatkavat esivalmistajien työtä. Muotovirheet esivalmisteissa ja virheelliset merkinnät isometreissä tai esivalmisteputkissa hankaloittavat asentajien työtä. Myös esivalmisteiden etsiminen häkeistä tai väärin mittojen esiintyminen esivalmisteissa aiheuttaa lisätyötä, mikä luonnollisesti lisää läpimenoaikaa ja kustannuksia.

Asennuskohteessa pätevät samat säännöt kuin pajallakin, eli kaikki toiminta pyritään tekemään turvallisesti ja huolellisesti. Esivalmisteiden nostoissa käytetään ammattilaisia tai koulutettuja henkilöitä. Esivalmisteiden hitsaajat ja asentajat suorittavat työn annettujen isometrien ja ohjeiden mukaan. Merkinnät isometreihin ja hitsauslokiin tehdään samalla tavalla kuin pajalla aloitettiin. Näin esivalmistusprojekti ja kokonaisprojekti on helposti seurattavissa, ja tarvittaessa niitä voidaan verrata keskenään esimerkiksi kustannusten, laadun tai nopeuden suhteen. Kuvassa 7 on isometrin mukaan valmistettu esivalmiste, josta löytyvät tarvittavat merkinnät. Tarkastuksen ja paketoinnin jälkeen esivalmiste on valmis kuljetettavaksi asennuskohteeseen.



Kuva 7. Valmis esivalmiste

## 4 ESIVALMISTUKSEN NYKYTILA

Esivalmistus pajalla suoritetaan projektien laatuohjeiden mukaan. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kaikki esivalmistukseen kuuluvat vaiheet suoritettaisiin ongelmitta, vaan mukaan mahtuu erilaisia virheitä. Virheet voivat johtua monesta eri syystä, kuten inhimillisistä erehdyksistä, alihankkijoista tai virheistä materiaaleissa.

Tavoitteena on viedä esivalmistusprojekti virheettömästi ja laadukkaasti läpi projektista toiseen. Tähän pääsemiseksi pyritään kaikki mahdolliset ongelmat ja virheet ennakoimaan valmisteltaessa projektin aloitusta. Jokainen virhe tuo mukanaan projektille lisäkustannuksia vähentäen projektista saatavaa katetta. Pääsääntöisesti projektien hinnat on laskettu niin, että niissä ei ole suurta pelivaraa.

Eri vaiheet esivalmistusprojektissa vaativat hieman erilaista lähestymistapaa. Jokaisessa projektissa on omat laatuvaatimukset, jotka tulevat tilaajilta. Laatuvaatimuksien mukaan kartoitetaan hitsaajat ja asentajat sekä muut tarpeet ja kustannukset, jotka täytyy pajalla huomioida. Ylimääräiset kustannukset voivat johtua esimerkiksi kuljetuksista, osapuutteista tai lisämajoituspaikoista, jos käytetään alihankkijoita.

### 4.1 Ongelmat esivalmistuksessa ja työturvallisuus

Esivalmistusprojektissa pajalla voi vastaan tulla monenlaisia ennakoimattomiakin ongelmia. Yleisesti esivalmistusprojekti etenee tietyn hyväksi havaitun kaavan mukaan. Projektilla on alku ja loppu, mutta kaikki siinä välillä toteutetaan tilaajan laatuvaatimusten mukaan, ja ne vaihtelevat projektista toiseen. Laatusuunnitelma on esivalmistusprojektin yksittäinen tärkein asia. Virheellinen tai puutteellinen laatusuunnitelma aiheuttaa mahdollisuuden isoille virheille projektin alussa. Laatusuunnitelmassa kerrotaan kaikki oleellinen tieto, mitä projektin läpiviemiseksi tarvitaan, kuten materiaalit, tarkastukset ja turvallisuuskysymykset. Puutteellisilla tiedoilla voidaan tilata mahdollisesti väärää materiaaleja tai ottaa valmistetuista isometreistä liian vähän laatusuunnitelmassa määrättyjä tarkastuksia.

Esivalmistusprojektit pajalla eivät ole koskaan samankokoisia. Esivalmistusprojektit voivat kestää viikosta aina jopa vuoteen asti. Isommat esivalmistusprojektit vaativat huomattavasti isomman työpanoksen koko pajalta, ja mahdollisuuksia virheisiin on huomattavasti enemmän. Isoissa esivalmistusprojekteissa haasteena on pitää kokonaisuus kasassa. Tämä tarkoittaa

valmistettujen isometrien seuranta, hitsauslokin täyttämistä, kuljetuksia, laadunseuranta ja työntekijöiden kuormittamista. Pitkissä projekteissa täytyy huomioida esimerkiksi työntekijöiden mahdolliset lomat.

Työturvallisuus on jokaisen työntekijän perusoikeus, joten siihen kiinnitetään pajalla erityisesti huomiota. Työntekoa tarkastellaan kriittisesti, työpisteet pidetään siistinä ja työvälineet kunnossa. Erityistä huomiota kohdistetaan työskentelyyn silloin, kun hitsataan suurempia putkikokoja. Isommat putket painavat paljon, ja ne voivat pudotessaan aiheuttaa suurta vahinkoa niin henkilöille kuin työvälineillekin. Painavia esivalmisteita nostetaan turvallisesti oikeita nostoapuvälineitä käyttäen ja nosto-ohjeiden mukaan. Esivalmisteet voivat olla todella suuria ja monen muotoisia. Esivalmisteiden suunnittelussa täytyy ottaa huomioon niiden koko ja erilaiset muodot. Muuten esivalmisteiden siirtäminen ja nostaminen pajalla aiheuttaa turhia katkoksia työntekoon niiden siirtämisen ajaksi.

## **4.2 Hitsaajien pätevyys ja puutteelliset hitsausohjeet**

Esivalmistuksen kannalta tärkeimpiä huomioon otettavia asioita ovat hitsaajat ja hitsausohjeet (WPS). Hitsaajilla pitää olla tietyt luokat hitsattuna, että he pystyvät hitsaamaan vaadittuja putkikokoja. Luokkien puuttuessa järjestetään hitsauskokeita, joissa hitsaaja osoittaa pystyvänsä hitsaamaan esivalmistusprojektissa vaadittuja putkikokoja. Luokkien hitsaaminen on kallista ja hidastaa jonkin verran projektin aloitusta. Luokkien hitsaamista valvoo sertifioitu tarkastusyri-tyt.

Hitsausohjeiden avulla erikokoiset putket voidaan hitsata laadukkaasti yhteen. Hitsausohjeet sisältävät hitsausparametrejä ja arvoja siinä määrättyjen putkikokojen hitsaamiselle annetuilla materiaaleilla. Kuvassa 8 hitsaaja suorittaa esivalmisteen hitsaamista hitsausohjeessa annettujen parametrien mukaan. Esivalmistusprojektissa voidaan käyttää useita eri hitsausohjeita riippuen putkikoosta ja materiaaleista. Hitsausohjeiden puuttuessa järjestetään menetelmäko-keet, joilla pyritään luomaan hitsausohje puuttuvalle putkikoolle ja materiaalille.



Kuva 8. Esivalmisteiden hitsausta

Hitsaajien luokkien tai hitsausohjeiden puuttuessa kyseessä on aina laadullinen ongelma, joka on pyrittävä ratkaisemaan mahdollisimman nopeasti. Ongelmatilanteissa ylimääräisten kustannusten jakamisesta sovitaan tapauskohtaisesti. Joissakin tapauksissa tilaaja on valmis ottamaan itselleen osan ylimääräisistä kustannuksista tai jopa kaikki ongelmasta johtuvat kustannukset projektin nopeuttamiseksi.

### 4.3 Isometrien saatavuus ja valmistusjärjestys

Isometrit toimitetaan pajalle tilaajan toimesta. Pajalla toiveena on, että esivalmistusprojektiä ei aloiteta ennen kuin kaikki isometrit on toimitettu. Asennusryhmä asennuskohteessa voi vaatia, että tietyt isometrit valmistettaisiin ensin, eli valmistusjärjestyksellä on joissain tapauksissa merkitystä. Informaatio isometrien valmistusjärjestyksestä tarvitaan ajoissa myös pajalle. Isometrien valmistelu tuotantoon, oikeiden materiaalien etsiminen ja valmistelu, sekä osapuutteiden kartoitus vie aikaa ja resursseja. Myöhässä tulleet vaatimukset valmistusjärjestyksestä eivät aina ole toteutettavissa tai ne hidastavat projektia merkittävästi, jos pajalla joudutaan tekemään isoja materiaalsiirtoja vaatimusten takia.

Tilaaja ei aina kykene toimittamaan kaikkia isometrejä kerralla. Seuraavat syyt voivat johtaa isometrien saatavuuteen tilaajalta:

- suunnittelu ei ole saanut koko projektia suunniteltua
- suunnitelmat muuttuvat jatkuvasti
- projekti on kasvanut tilaajan toimesta suuremmaksi
- projektin laatusuunnitelmassa vaadittuja materiaaleja on huonosti saatavilla.

Puutteellisten isometrien takia esivalmistusprojektin aloitus pajalla saattaa siirtyä. Isometrejä voidaan toimittaa myös pienissä erissä, jolloin projektin uudelleen aloituksia tulee useita niin toimiston kuin tuotannon puolellakin. Uudelleen aloitus on aina hidasta ja vaatii suunnittelua ja resursseja normaalia enemmän. Pahimmassa tapauksessa esivalmistusprojekti keskeytyy pitkäksi aikaa, ja se vaikuttaa myös projektin lopetusaikaan asennuskohteessa. Tämä voi joissain tapauksissa johtaa jopa sakkoihin.

#### **4.4 Materiaalien saatavuus ja materiaalien laatu**

Materiaalien saatavuuteen pajalla ei voida vaikuttaa. Tähän vaikuttaa paljon ennen kaikkea yleinen tilanne maailmassa. Erilaiset rajoitteet ja valmistajien toimitusvaikeudet pyritään ennakkoimaan, mutta niihin ei voi aina vaikuttaa. Materiaalien hinta voi myös nousta tai laskea todella nopeasti. Tästä syystä projektissa tarvittavia materiaaleja tilaajankaan ei ole kannattavaa tilata liian aikaisin.

Pajalle tulevat materiaalit tarkastetaan ja virheistä ilmoitetaan toimittajalle. Luvussa 2.3 käydään läpi projekteissa yleisesti käytettävien materiaalien ominaisuuksia. Tavallisten ruostumattomien ja happoisten materiaalien ominaisuudet ovat lähellä toisiaan, mutta laatusuunnitelmassa vaadittuja materiaaleja on niiden ominaisuuksien vuoksi käytettävä. Jos materiaaleja tulee vääränkokoisia tai väärällä materiaaliryhmällä, niin pääsääntöisesti niitä ei voida projektissa käyttää. Tämä luonnollisesti hidastaa ja pahimmillaan keskeyttää koko projektin, sillä virheellinen materiaali voi jäädä tarkastuksesta huolimatta huomaamatta ennen esivalmisteen hitsaamista. Projektin tilaaja ja suunnittelijat pyrkivät suunnittelemaan projektin yleisesti saatavilla olevilla ja standardoiduilla putkilla sekä osilla. Näin pyritään minimoimaan mahdolliset osapuutteet ja materiaalivajeet myös esivalmistuksen osalta.

#### 4.5 Ongelmat laadunseurannassa

Laatusuunnitelmassa kerrotaan projektin laatuvaatimukset. Esivalmistuksessa seurataan ensisijaisesti hitsauksen laatua. Seuranta tehdään myös materiaaleille, ja isometrien mukaan valmistettujen esivalmisteiden mitoille ja muodoille.

Hitsauksen laatua seurataan tarkastamalla laatusuunnitelmassa pyydetyn prosentin mukaan hitsaussaumojen kuvaus tehdään sertifioidun laatuyrityksen toimesta siihen tarkoitettulla laitteistolla. Hitsaussaumasta otetaan röntgenkuva (RT-kuva), josta etsitään saumassa olevia virheitä. RT-kuvien ottaminen tuo projektille lisäkustannuksia etenkin, jos joudutaan hitsauksessa löytyneiden virheiden vuoksi ottamaan lisäkuvia. RT-kuvilla selvitetään kriittisiä virheitä saumassa, jotka voivat putkilinjan käytössä aiheuttaa ongelmia ja kalliita jatkokorjauksia. Putkille tehdään poikkeuksetta aina visuaalinen tarkastus (VT), jossa tarkastaja etsii hitsatuista saumoista ulkoisia pintavirheitä. Virheen löytyessä sauma joudutaan avaamaan ja hitsaamaan uudelleen, mikä aiheuttaa lisäkustannuksia. Esivalmistusputkistossa voi olla myös istutuksia, jossa toinen putki istutetaan toiseen hitsaamalla. Istutuksille tehdään tunkeumanestetarkastus (PT), jossa istutuksesta tai hitsaussaumasta etsitään mahdollisia virheitä.

Ongelmia laadunseurantaan aiheuttaa kiireellisissä projekteissa tarkastusyrityksen saaminen paikalle oikeaan aikaan. Tietyn kokoisia putkikokoja voidaan hitsata hyvinkin nopeaan tahtiin, mikä tarkoittaa, että niitä pitää pakata myös häkkeihin vähäisen säilytystilan takia. Esivalmisteita ei voida kuitenkaan pakata, ennen kuin tarkastajat ovat tehneet niille tarpeelliset tarkastukset. Pajalla on järjestetty tarkastusyritykselle tarvittavat tilat tarkastuksille. Tällä on ollut tarkoitus varmistaa sujuva ja nopea laadunseuranta.

#### 4.6 Aikatauluongelmat esivalmistuksessa

Aikataulut ja esivalmistusvaatimukset tulevat projekteissa tilaajalta. Paja pyrkii omalla toiminnallaan varmistamaan, että esivalmistusprojekti pysyy aikataulussa. Aikatauluihin voivat vaikuttaa negatiivisesti materiaalisatavuudet, isometrien saatavuusongelmat sekä kapasiteetti-ongelmat. Kapasiteetti-ongelmiin voivat olla syynä esimerkiksi sairastumiset, lomat tai päällekkäiset projektit. Suomessa on tiettyinä aikoina, kuten kesälomien yhteydessä, paljon seisakkeja, ja tästä syystä monet isot projektit ovat päällekkäin käynnissä.



Aikataulujen hallinnan yhtenä syynä voi olla myös puutteellinen projektiosaaminen, mikä johtaa myöhästymisiin ja joskus jopa sakkoihin tai sakkouhkaan projekteissa. Aikatauluja seurataan viikoittaisissa projektipalavereissa. Projektipalavereissa kartoitetaan aikataulu-, materiaali- ja kapasiteettiongelmat ja etsitään niihin vaihtoehtoisia ratkaisuja projektin onnistumiseksi.

## 5 ESIVALMISTUKSEN KEHITTÄMINEN

Konepajalla suoritettavan esivalmistuksen kehittäminen on edellytys koko konsernin kilpailukyvyyn parantamiseksi projekteissa, mihin hitsaavaa esivalmistusta voidaan suorittaa. Esivalmistuksessa on useita kehittämisen kohteita, kuten toimintatapojen kehittäminen, esivalmistusprosessin toistettavuuden kehittäminen ja laadun parantaminen. Projektien lähtötiedot muuttuvat usein. Projektin omistaja laatii voimassa olevien lähtötietojen pohjalta vaatimukset laatuun ja projektien seurantaan. Esivalmistuksessa näistä muutoksista huolimatta on useita samoja elementtejä, joita voidaan toistaa projektista toiseen. Haasteena on löytää nämä elementit ja kehittää niiden toistettavuutta siten, että hitsauksen tehokkuus paranee. Pienet muutokset prosessissa voivat aiheuttaa myös laadun heikkenemistä ja aikatauluongelmia.

### 5.1 Toimintatapojen yhdistäminen

Koko yrityksen, mukaan lukien konepajayksikön, toimintatapojen yhdistäminen on erittäin tärkeää laadun parantamisen ja tuottavuuden tehostamisen kannalta. Toimintatapojen yhdistäminen on iso haaste, mutta hallittavissa kehittämällä yhtenäisiä vaateita koko konsernin esivalmistusprojekteihin, kuten esimerkiksi liitteessä 2 esitetty Lähtötiedot esivalmistukseen -lomake. Yhteisten pelisääntöjen, lähtötietojen, työn suunnittelun ja laatusuunnitelmien noudattamisella on mahdollista toteuttaa sisäiset projektit kustannustehokkaasti. Kustannusten säästö saadaan aikaiseksi tilaamalla oikeat komponentit oikeaan paikkaan, resursoimalla oikeat henkilöt oikeisiin tehtäviin ja tunnistamalla esivalmistusprojektin yhteiset tavoitteet. Työntekijöiden sitouttaminen tavoitteisiin ja niiden noudattamiseen on haaste, koska työt tehdään usein vanhoilla totutuksi tulleilla tavoilla. Uusien käytäntöjen ja toimintatapojen implementoiminen vaatii aikaa ja kärsivällisyyttä.

### 5.2 Prosessin toistettavuus

Esivalmistusprosessin toistamisen työkaluja kehitetään ja parannetaan jokaisen uuden esivalmistusprosessin käynnistyessä. Prosessin toistettavuutta kehitetään muun muassa liitteestä 2 löytyvän Lähtötiedot esivalmistukseen -lomakkeen avulla. Lomakkeeseen on kerätty pajalla suoritettavan hitsaavan esivalmistusprojektin kannalta tärkeimmät lähtötiedot. Lähtötiedot ovat kerätty eri projektien laatusuunnitelmista, sekä onnistuneiden esivalmistusprojektien kokemusten pohjalta. Onnistuneet esivalmistusprojektit ovat olleet kustannustehokkaita, projektit ovat

pysyneet aikataulussa ja laadullinen palaute työstä on ollut hyvää. Esivalmistusprojektit käydään läpi projektin päätöspalaverissa, analysoidaan ja kirjataan mahdolliset muutosehdotukset seuraavien esivalmistusprojektien läpivientiin.

Prosessin toistettavuuteen vaikuttavat erilaiset työympäristöt, työkuultuuri, järjestelmät ja ihmiset, jotka projektin toteuttavat. Työympäristöä ja -kulttuuria voi olla vaikea muuttaa. Pitkällä aikavälillä tavoitteena on, että työn tehostamisella voidaan myös yritykselle saada enemmän työtä voitettujen projektien avulla. Toimintatapojen implementoiminen työkuultuuriin on pitkäjänteinen prosessi ja vaatii implementoinnin suorittajalta perusteltuja argumentteja uusien toimintatapojen käyttöönotossa. Projektien toistettavuuden haasteena voi olla myös järjestelmät ja projektin toimintaympäristöt. Myös ihmiset projekteissa vaihtuvat, mikä aiheuttaa haasteita varsinkin silloin, kun he tulevat erilaisista projektiympäristöistä esivalmistusprojekteihin mukaan. Pyydettyjen esivalmistukseen liittyvien lähtötietojen avulla voidaan ainakin osa mahdollisesti vaihtuvista tiedoista saada toteutettua, mikä lisää projektin onnistumisprosenttia.

### **5.3 Laadun ja tuottavuuden parantaminen**

Esivalmistuksessa laatuun ja tuottavuuteen on panostettava jatkuvasti, koska kilpailu alalla on kovaa ja tarjouksien konkretisoituminen voitetuiksi projekteiksi on vaikeampaa. Varsinkin erinomainen laatu, niin hitsaamisessa kuin dokumentoinnissakin, on hyvä valttikortti neuvotte- luissa. Miten laatu ja tuottavuus saadaan hyvälle tasolle? Luvussa 2 käsitellään projektin aloituspalaveria, missä käydään läpi tärkeimmät suuntaviivat ja vaatimukset projektin toteuttamiseksi. Aloituspalaverissa myös sovitaan, miten projektin edetessä seurataan projektin toteutumista ja laatua sekä miten mahdollisiin ongelmatilanteisiin voidaan ajoissa reagoida.

Laadunhallinnassa on ymmärrettävä, miten seurata ja mitata oikeita asioita. Seurannan on oltava täsmällistä ja järjestelmällistä. Väärien asioiden seuraaminen vie resursseja ja ylimääräistä aikaa sekä aiheuttaa ylimääräisiä kuluja projektille. Hitsaavassa esivalmistustyydyssä voidaan laatua seurata liitteestä 1 löytyvän työaikaisen hitsauspöytäkirjan avulla. Hitsauksen jälkeen hitsauspöytäkirja palautuu tuotantoinseinöörille, joka tarkastaa pöytäkirjasta hitsareiden merkinnät. Tärkeimpiä tarkistettavia asioita hitsauspöytäkirjasta ovat hitsauslisäaineet, hitsaajien pätevyyydet ja hitsausohjeet. Tarkistuksen jälkeen dokumentit voidaan viedä serverille ja kirjata tiedot hitsauslokiin.

Tuottavuuden parantaminen lisää projektin katetta. Tuottavuutta pyritään parantamaan ja kehittämään aikaisempien projektien analysoinnin kautta, sekä standardoimalla esivalmistuksessa hyväksi havaitut menetelmät. Standardoituja menetelmiä ovat merkinnät esivalmistuksessa, hitsausmenetelmät ja esivalmisteiden pakkaaminen. Tuottavuuden lisäämiseksi ja työn sujuvoittamiseksi esivalmisteiden hitsaaminen aloitetaan vasta, kun kaikki projektiin kuuluvat osat ja isometrit on toimitettu pajalle. Tällä tavalla pystytään vaikuttamaan hitsausjärjestykseen, isometrien liputukseen ja hitsausohjeiden sekä hitsaajien pätevyyksien seurantaan.

#### **5.4 Esivalmistuksen aloittamiseksi tarvittavat lähtötiedot**

Esivalmistuksen tehostamiseksi, sekä laadun ja tuottavuuden parantamiseksi pajalla tarvitaan hyvät lähtötiedot projektin toteuttamiseksi. Lähtötiedot projektille määritellään projektin laatusuunnitelmassa, mutta myös pajan omat vaatimukset pyritään ottamaan mahdollisuuksien mukaan huomioon. Lähtötietojen merkitys kasvaa, mitä isommasta esivalmistusprojektista on kysymys. Pienet, alle 200 yksikön esivalmistusprojektit, voidaan toteuttaa laadukkaasti myös ilman kaikkia saatavilla olevia tietoja. Tällöin kuitenkin on tärkeää, että valmistuksen kannalta tärkeät isometrit ja komponentit on toimitettu ajoissa pajalle.

##### **5.4.1 Projektin aloitus ja yhteyshenkilöt**

Esivalmistusprojekti alkaa siinä vaiheessa, kun projektiyksikkö on saanut kaupan varmistettua. Kaupan varmistumisen jälkeen määritellään lopullinen esivalmistuksen tarve. Esivalmistusprojektin aloittamiseksi tarvitaan seuraavat tiedot:

- projektin nimi
- projektin laatusuunnitelma
- projektin yhteyshenkilöt.

Esivalmistus voidaan toteuttaa ilman projektin omistajan yhteyshenkilöiden läsnäoloa pajalla. Projektin seurannan hoitaa yrityksen sisäinen yhteyshenkilö. Tietyissä tapauksissa on kuitenkin mahdollista, että pajalle tarvitaan myös projektin omistajan määräämät henkilöt pajalle. Silloin kyseessä on usein isompi projekti, jossa myös laatu- ja valmistusstandardit ovat korkeammat. Projektin omistajat seuraavat isoissa projekteissa laatua. Isoissa projekteissa projektin

omistajat myös suorittavat tarkastukset, laadunseurannan, hitsauslokin täytön ja projektin johtamisen.

#### **5.4.2 Laatusuunnitelma ja laatuvaatimukset**

Esivalmistusprojektin kannalta tärkein dokumentti on laatusuunnitelma. Laatusuunnitelmassa määritellään projektin kannalta tärkeimmät vaatimukset, kuten putkiluokka, materiaalit ja lisäaineet, standardit, tarkastukset, valmistukseen ja tuotantoon liittyvät vaatimukset sekä yleiset suunnitteluohjeet. Vaatimuksia projektin omistajan toimesta voi olla enemmänkin. Yleisesti ottaen vaatimusten lisääminen tarkoittaa lisäkustannuksia, joita kiristyvässä kilpailutilanteessa pyritään välttämään.

Putkiluokka määräytyy standardista löytyvien paineluokkien ja putkikoon mukaan. Putkiluokan myötä määräytyy myös esivalmistettaville osille suoritettavien tarkastusten laajuus. Tarkastushenkilöstöltä tarkistetaan ennen projektin aloittamista, että heillä on tarvittavat dokumentit ja luvat tarkastusten suorittamiseksi. Laatusuunnitelmasta löytyvät kuvausprosentit merkitään isometreihin ja lasketaan tarkastettavat RT- ja PT-saumot, sekä visuaalisesti (VT) tarkastettavat hitsausaumot. VT-tarkastus tehdään pääsääntöisesti aina kaikkiin hitsausaumoihin, vaikka laatuvaatimuksissa sitä ei olisi vaadittu. Visuaalisen tarkastuksen avulla voidaan seurata ja varmistua hitsaajien laadukkaasta työskentelystä projektien aikana ja puuttua mahdollisiin virheisiin ajoissa.

Laatusuunnitelmassa määritellään myös projektissa käytettävät materiaalit ja lisäaineet. Ostotoiminta tilaa ja hoitaa osien toimituksen pajalle. Pajalla tarkastetaan osien saapuessa, että osat vastaavat tilattuja ja ovat laatusuunnitelmassa olevien vaatimusten mukaisia. Hitsauslisäaineet otetaan omasta varastosta ja niiden sopivuus projektiin varmistetaan tarvittaessa projektin omistajalta.

#### **5.4.3 Hitsausohjeet**

Esivalmistusprojektin hitsausohjeet ovat hitsaajan tärkein työkalu hitsauslaitteiston kanssa. Hitsausohjeissa määritellään arvot, millä hitsaustyö voidaan toteuttaa. Kokenut hitsaaja ei kuitenkaan tarvitse ohjeita hitsauksen suorittamiseksi, vaan osaa laittaa oikeat arvot hitsauslaitteistoon hitsauksen onnistumiseksi. Laadunseurannan kannalta on kuitenkin tärkeää, että

hitsausohjeissa annettuja arvoja noudatetaan ja seurataan. Projektien laatuvaatimukset hitsauksen osalta määritellään laatusuunnitelmassa, kuten luvussa 2.4 todetaan. Hitsausluokka myös määrää miten hitsattavia saumoja seurataan ja tarkastetaan. Hitsaaja merkitsee liitteessä 1 löytyvään työaikaiseen hitsauspöytäkirjaan hitsattavaan saumanumeroon käytetyn hitsausohjeen. Hitsausohjeen toimittaa isommissa projekteissa pajalle esivalmistusprojektin omistaja, ja pienemmissä esivalmistusprojekteissa hitsausohje etsitään itse yrityksen tietokannasta.

Hitsausohje perustuu menetelmäkokeisiin, joiden avulla on varmistettu hitsausohjeen käytettävyys siinä annettujen materiaalien hitsaamiseen. Hitsausohjeen puuttuessa pajalla järjestetään menetelmäkokeet. Onnistuneen menetelmäkokeen jälkeen voidaan kirjoittaa alustava hitsausohje ja myöhemmässä vaiheessa lopullinen hitsausohje. Jos hitsaajien pätevyys komponenttien hitsaamiseen on mennyt vanhaksi, eikä sitä voida enää kokemuksen perusteella uusia, niin järjestetään hitsaajalle pätevyyskokeet. Pätevyyskokeen avulla hitsaaja todistaa osaamisensa tietylle putkikoolle ja putken paksuudelle.

#### **5.4.4 Projektin esivalmistuksen aloitus ja esivalmisteteiden toimitus**

Esivalmistushitsaaminen pyritään aloittamaan, kun kaikki esivalmistettavat isometrit ja niihin tilatut komponentit ovat saapuneet pajalle. Esivalmistuksen aloittamiselle täytyy kuitenkin saada lupa esivalmistusprojektin tilaajalta, koska projektissa voi olla esimerkiksi laadullisia vaatimuksia, joita ei ole saatu ajoissa sovittua projektin tilaajan toimesta.

Esivalmistusprojektin koko on määritelty ja laskettu, kun esivalmistusprojektista on tehty sisäinen työtilaus. Näin pystytään esivalmistusprojektin kesto määrittämään resursoinnin kannalta hyvinkin tarkasti. Esivalmistusprojektin keston voidaan vaikuttaa lisäämällä hitsaajia ja asentajia, sekä pyrkimällä tekemään hitsaus hieman lakennallista tehoa nopeammin. Esivalmistusprojektin aloitusajankohdalla on merkitystä siksi, että tiedetään, koska esivalmistetut osat voidaan toimittaa asennuskohteeseen. Asennuskohteessa täytyy ottaa huomioon kuorman purkamisen ja esivalmistettavien osien säilyttäminen siihen asti, kunnes niiden asentaminen aloitetaan.

### 5.4.5 Esivalmistusjärjestys

Esivalmistettujen osien toimitusjärjestyksellä asennuskohteeseen on usein merkitystä. Järjestyksen määräytymiselle voi olla useita syitä, kuten:

- lupa aloittaa työt tietyllä alueella kohteessa
- isommat esivalmisteet asennetaan ensin
- kohteessa ei ole tarvittavia nostureita, laitteita ja työkaluja
- henkilöstön osaaminen tai henkilöstöresurssit
- esivalmisteiden kuljetus määrää järjestyksen
- konepajalla rajallinen tila säilyttää esivalmisteita
- hitsataanko esivalmisteet maksimoiden hitsauksen tehokkuus.

Esivalmisteet jaetaan tarvittaessa liitteen 2 mukaisella lomakkeella kunkin projektin tarpeen mukaisiin työpaketteihin. Työpakettien koko ja hitsauksen kesto määräytyvät isometreistä löytyvien hitsaussaumojen mukaan. Työpakettien tekojärjestyksellä voidaan siis myös resursoida ja aikatauluttaa henkilöstöä paremmin.

### 5.4.6 Kuljetukset asennuskohteeseen

Valmiiden hitsattujen esivalmisteiden kuljetukseen vaikuttaa esivalmisteiden koko ja miten esivalmisteet on pakattu kuljetusta varten. Liian isot esivalmisteet on kalliita kuljettaa, joten esivalmisteet pyritään hitsaamaan myös kuljetuksen kannalta järkeviin kokoihin. Esivalmisteiden kuljetuksen asennuskohteeseen hoitaa projektin tilaaja, tai paja voi käyttää omia kontaktejaan kuljetuksen järjestämiseksi. Usein kuljetuksen hinta on määräävä tekijä kuljetusta järjestettäessä. Esivalmistehäkkeitä pyritään toimittamaan samalla kuljetuksella useita kerrallaan. Näin vältetään ylimääräisiltä kuljetuskerroilta ja -kustannuksilta. Esivalmisteet toimitetaan lähetysluvan jälkeen annettuun toimitusosoitteeseen. Toimitusosoitteessa esivalmisteiden saapumiseen on varauduttu tarpeellisten nostoapuvälineiden ja tarvittavan säilytystilan muodossa.

Esivalmistetut osat merkitään kuvan 3 osoittamalla tavalla. Esivalmisteet pakataan niiden kuljetukseen sopiviin puuhäkkeihin, joista ne on myös helppo purkaa. Joissakin tapauksissa kuljetushäkki on tarpeen hajottaa purkamisen helpottamiseksi. Purettujen häkkien osat kierrätetään kierrätysohjeiden mukaan. Häkit merkitään juoksevalla numeroinnilla ja joissakin erikoistapauksissa myös väreillä. Jokaisen häkin sisältö kirjataan lähetyslistaan, ja lähetyslista liitetään häkin kylkeen ilmoittamaan asennuskohteeseen häkin sisällön. Lähetyslista toimitetaan laatusuunnitelmassa oleville henkilöille sähköpostin välityksellä tai sisäisissä projekteissa lähetyslista tallennetaan projektikansioon yhteiselle serverille. Häkissä olevat esivalmisteet tai irto-osina toimitettavat isommat esivalmisteet suojataan kuljetusta varten muovikelmulla. Muovikelmulla suojataan myös muut kriittiset osat, kuten venttiilit ja erilaiset toimilaitteet. Suojamalla vältytään esivalmisteiden puhdistamiselta asennuskohteessa, ja työ voidaan tarvittaessa aloittaa heti esivalmisteiden saavuttua.

#### **5.4.7 Isometrien valmistelelu tuotantoon**

Isometrit ovat piirustuksia, mihin on piirretty suunnitteluohjelmalla putkilinjan malli. Isometrejä voi projektissa olla muutamista isometreistä aina satoihin isometreihin. Isometrit ovat suunnittelijasta ja projektin omistajasta riippuen aina hieman erilaisia, mutta isometreihin on merkitty aina vähintäänkin seuraavat tiedot:

- putkilinjan mitat
- osien materiaali
- osien koot
- standardit
- putkiluokka
- tarkastuslaajuus
- piirustuksen numero ja tiedot.



Isometrit tarvitaan esivalmistuksen tehokkaan aloittamisen kannalta hyvissä ajoin ennen hitsausprosessin aloittamista. Esivalmisteisiin tehdään hitsauksen sujuvoittamiseksi vielä omia merkintöjä ennen piirustuksien jalkauttamista tuotantoon. Isometreistä lasketaan myös ennen esivalmistushitsaamisen aloittamista yksiköt, eli arvio työhön käytettävistä tunneista. Yksikkölaskennan jälkeen tiedetään esivalmistusprojektin kesto ja aikataulu, sekä voidaan resursoida tarvittavat henkilöt projektille. Jos omat henkilöresurssit eivät riitä, voidaan rekrytoida uusia työntekijöitä, hankkia alihankintahitsaajia tai käyttää mahdollisesti yrityksen omaa resurssipankkia.

Ennen isometrien jalkauttamista tuotantoon tehdään isometreihin vielä tarvittavat merkinnät. Isometrit liputetaan, eli putkilinjat katkotaan lipuilla helposti ja järkevästi hitsattaviin kokoonpanoihin ottaen myös huomioon pakkaaminen häkkeihin, sekä kuljetukset asennuspaikalle. Liputuksen yhteydessä esivalmistettaviin osiin merkitään tarvittaessa työvarat putkien päihin, osat numeroidaan juoksevilla numeroinnilla ja merkitään tarkastettavat hitsausaumamat. Liputus voidaan tehdä pajalla toimihenkilöiden toimesta, tai isometrit tulevat valmiiksi liputettuina, jolloin pajalle jää liputuksien tarkistaminen.

Tarkastuslaajuus saadaan laatusuunnitelmasta. Tarkastuslaajuus voi olla esimerkiksi kymmenen prosenttia, mikä tarkoittaa, että hitsattavista saumoista kuvataan (RT) kymmenen prosenttia. Seurannan helpottamiseksi isometreihin merkitään valmiiksi kuvattavat hitsausaumamat. Näin myös hitsaaja osaa viedä oikeat esivalmisteet RT-kuvauspaikalle. Asentajalle ilmoitetaan, mitä merkintöjä esivalmistettaviin putkiin merkitään osien valmistelun yhteydessä. Nämä tiedot voidaan kirjata myös isometreihin, mistä asentajan on helppo siirtää ne hitsattaviin komponentteihin.

#### **5.4.8 Esivalmisteista konepajalla puuttuvat osat**

Esivalmisteiden hitsaaminen pyritään aloittamaan vasta sitten, kun pajalle ovat saapuneet kaikki esivalmistusprojektiin liittyvät komponentit, kuten putket, laipat, kartiot, hitsattavat venttiilit ja muut projektiin liittyvät osat. Komponentit tarkistetaan niiden saapuessa. Saapuneiden osien joukossa voi olla myös virheellisellä materiaalilla tulleita komponentteja, jolloin asiasta informoidaan projektin yhteyshenkilöä, sekä ostotoiminnasta vastaavia henkilöitä. Jos puuttuvia osia löytyy tai niitä joudutaan tilaamaan uudelleen virheellisten osien tilalle, aiheuttaa se usein lisäkustannuksia ja aikataulumuutoksia projektiin. Haverila ym. (2009, s. 243) käyvät läpi

ostoprosessin vaiheet seuraavasti. Kun osia joudutaan projektille tilaamaan jälkikäteen, niin tärkeintä on kartoittaa erilaiset ratkaisuvaihtoehdot ja valita niistä kulloinkin paras vaihtoehto projektin kannalta. Määräävänä tekijänä valinnalle voi olla esimerkiksi kiireellisyys tai hinta.

Kaikki komponentit eivät aina ole saapuneet ajoissa, vaikka komponentit olisi tilattu hyvissä ajoin. Mukana voi olla myös pitkän aikavälin toimituksia. Pitkän aikavälin toimitukset johtuvat usein erikoisista materiaaleista tai normaalista poikkeavista putkikoista. Pitkän aikavälin toimitukset vaikeuttavat myös esivalmistushitsaamista, koska isometrejä ei välttämättä pystytä hitsaamaan halutussa järjestyksessä.

Projektin omistaja voi jo projektin esivalmistusprojektin ollessa käynnissä tehdä muutoksia isometreissä oleviin putkilinjoihin. Tällöin puhutaan isometrin revisiomuutoksesta, joka pahimmassa tapauksessa aiheuttaa useiden isometrien komponenttien uudelleen tilaamisen. Osien uudelleen tilaaminen voi myös keskeyttää esivalmistushitsaamisen. Revisiomuutosten hallinta on siis tärkeässä roolissa koko projektin kustannuksienkin kannalta.

#### **5.4.9 Hitsausloki**

Hitsauksen laadun ja toteutumisen seurannan tärkein työkalu on hitsausloki. Hitsauslokin täyttäminen toteutetaan sen mukaan, kun isometrien hitsaaminen edistyy. Hitsauslokin avulla voidaan seurata toteutuneita saumoja ja niihin tehtyjä tarkastuksia. Luvussa 2.5 käsitellään seurattavuuden merkitystä esivalmistuksessa. Kaikki hitsauksessa käytettävät osat pitää pystyä jäljittämään myös hitsaamisen ja asennuksen jälkeen. Hitsauslokiin merkitään usein käytettävien materiaalien sulatusnumerot ja osien kokomerkinnot. Hitsausloki voi projektista riippuen olla paikallisesti pajalla tai sen täyttö voidaan suorittaa serverillä, mihin usealla eri henkilöllä on pääsy. Serveriltä löytyvään hitsauslokiin voidaan samanaikaisesti päivittää tietoja pajalla, asennuskohteessa, sekä myös hitsausaumojen tarkastajat voivat joissakin tapauksissa käydä täyttämässä tarkastusmerkinnät lokiin. Hitsauslokiin voidaan merkitä esimerkiksi seuraavia tietoja:

- hitsattavien komponenttien materiaali ja koko
- hitsatun sauman päivämäärä
- hitsatun sauman hitsaajan tunnus

- hitsauksessa käytetty hitsausohje (WPS)
- hitsauksessa käytetyn lisäaineen sulatusnumero
- hitsatun sauman tarkastusmerkinnät (RT, PT ja VT).

Hitsauslokiin täytetyt merkinnät tulee myös tarkastaa hitsauslokiä täytettäessä, koska hitsausloki toimitetaan projektin valmistuttua myös projektin tilaajalle. Virheiden ja esimerkiksi väärin aineodistuksien selvittäminen jälkikäteen on erittäin vaikeaa ja kallista.

Hitsauslokeja on erilaisia riippuen projektin omistajan ja laatusuunnitelman vaatimuksista. Pienemmissä projekteissa voi olla käytössä hyvinkin yksinkertainen hitsausloki, mihin merkitään ainoastaan hitsauspäivä, hitsaajan tunnus, lisäaine ja tarkastukset. Hitsauslokeihin tiedot kerätään liitteessä 1 olevasta työaikaisesta hitsauspöytäkirjasta, mitä hitsaaja täyttää hitsauspisteellä sen mukaan, miten esivalmistushitsaus edistyy. Työnjohtaja tai muu vastaava henkilö kerää listat päivittäin, tarkastaa ja vie tiedot yleensä manuaalisesti hitsauslokiin. Nykyään on saatavilla myös järjestelmiä, missä tieto hitsauslokiin siirtyy hitsauskoneen kautta automaattisesti. Näiden järjestelmien käyttö on vielä hyvin vähäistä, koska vanhojen toimivien hitsauslaitteiden vaihtaminen uusiin ja automaattisiin on kallista.

#### **5.4.10 Esivalmistetut isometrit**

Kun isometrillä kaikki hitsaukset on saatu tehtyä, voidaan isometrillä todeta olevan valmis. Isometrillä tarkistetaan vielä tämän jälkeen, että asentaja on merkinnyt isometriin tarvittavat merkinnät, kuten putkien, laippojen ja esimerkiksi kartioiden sulatusnumerot. Valmiit esivalmistetut isometrit toimitetaan laatusuunnitelmassa määritetyille henkilöille, tai tallennetaan serverille niille osoitettuun paikkaan. Laatusuunnitelmassa on usein myös määritetty, miten usein valmiit isometrit toimitetaan vastaanottajalle tai tallennetaan serverille. Vastaanottava henkilö voi olla projektin laatuinsinööri, projektipäällikkö, hitsausinsinööri tai työmaapäällikkö.

Esivalmistettuja valmiita isometrejä käytetään asennuskohteessa esivalmistettujen putkien asennuksessa. Isometreistä on luettavissa esivalmistetut osat ja minkä kokoisina osat on hitsattu. Isometreihin on merkittävä asennuksen helpottamiseksi valmistettujen isometriiden tiedot hyvin. Kuvassa 4 nähdään, miten asentaja on merkinnyt putkeen osanumeron, sekä piirustus-

ja sivunumeron. Pajalla tulostetut valmiit isometrit laitetaan kansioihin ja toimitetaan viimeisen esivalmistekuljetuksen mukana asennuskohteeseen ja projektin omistajalle.

## 6 YHTEENVETO

Hitsaavaan esivalmistukseen vaikuttaa useita eri tekijöitä, joiden vaikutusta onnistuneeseen esivalmistukseen lopputyössä kartoitettiin. Pajalla suoritetaan hitsaavaa esivalmistusta muiden yksiköiden voitetuille projekteille. Laatu- ja tarkastusvaatimukset projekteille tulevat projektin omistajalta. Lopputyössä oli tarkoitus purkaa esivalmistus pienempiin osiin ja etsiä eri osa-alueilta kehityskohteita. Kehitys- ja muutoskohteista luotiin Lähtötiedot esivalmistukseen -lomake, jonka avulla hitsaavan esivalmistuksen tunnistetut kriittiset pisteet saadaan vakioitua tulevia projekteja ajatellen.

Esivalmistukseen liittyviä osa-alueita projektissa ovat ostotoiminta, laatu- ja tarkastussuunnitelma, materiaalit projektissa, hitsaus ja dokumentointi. Projektin jokainen osa-alue on yhtä tärkeä esivalmistusprojektin onnistumisen kannalta. Jokainen osa-alue voidaan jakaa pienempiin kokonaisuuksiin ja tarkastella niiden vaikutusta projektille.

Esivalmistus käytännössä on putkien, laippojen, kartioiden, venttiilien ja muiden hitsattavien komponenttien liittämistä hitsaamalla toisiinsa isometrissä annettujen vaatimusten mukaan. Vaatimukset tulevat projektin omistajan laatimasta laatusuunnitelmasta, joka käydään läpi ennen esivalmistusprojektin aloittamista projektin aloituspalaverissa. Laatusuunnitelmassa määritellään projektissa käytettävät materiaalit ja lisäaineet, sekä millaisia tarkastuksia hitsattaville saumoille tehdään. Mukana voi olla vaatimuksia suunnittelulle, tuotannolle ja valmistukselle. Laatusuunnitelma on siis projektin tärkein yksittäinen dokumentti.

Esivalmistuksen tarkoitus on nopeuttaa projektien läpivientiä. Esivalmistus pajalla hyvissä halliolosuhteissa ja tarvittavin apuvälinein on nopeampaa kuin hitsaaminen asennuskohteessa mahdollisesti ulkona ilman oikeita työvälineitä. Esivalmistuksessa isometreissä olevat putkilinjat pilkotaan liputtamalla linjat asennuksen ja kuljetuksen kannalta pienempiin kokonaisuuksiin. Hitsatut esivalmisteet toimitetaan asennuskohteeseen ja hitsauksesta syntynyt dokumentaatio laatusuunnitelmassa määrättyyn paikkaan.

Käytettävät materiaalit ja lisäaineet vaihtelevat projektien mukaan. Materiaalien hitsaus suoritetaan hitsausohjeiden mukaan. Hitsausohjeista löytyvät parametrit, joiden avulla hitsaaja asettaa oikeat arvot hitsauslaitteeseen ja suorittaa hitsauksen. Hitsausohjeiden puuttuessa voidaan järjestää menetelmäkokeet. Menetelmäkokeen avulla selvitetään, onko hitsaaminen mahdollista ja millä arvoilla hitsaus tulee suorittaa. Menetelmäkokeiden hitsaaminen on

kuitenkin harvinaista ja materiaalit pyritään valitsemaan niin, että kalliita menetelmäkokeita ei tarvitse järjestää. Laadukkaalla ja tehokkaasti suoritetulla hitsaamisella on projektin kustannuksien kannalta iso merkitys. Hitsauksen laatuvirheiden korjaaminen on kallista, ja tehokkuuden puuttuminen hitsauksesta vie enemmän aikaa, mikä lisää suoria kustannuksia ja venyttää projektin valmistumisen aikataulua.

Esivalmistuksen nykytilaa tarkastelemalla voidaan esivalmistusta kehittää tulevaisuudessa. Esivalmistuksessa esille tulleita puutteita ja ongelmia ovat työturvallisuuteen liittyvät seikat, puutteelliset hitsausohjeet ja hitsaajien pätevyudet, materiaalien laatu ja saatavuus, laatuun liittyvät haasteet, sekä aikatauluihin liittyvät ongelmat. Projektien hyvällä suunnittelulla ja seurannalla voidaan ongelmista ja haasteista päästä nopeallakin aikataulla eroon. Projektien aloituspalaverit ovat tärkeitä, koska niissä päätetään projektin aikataulu, käydään läpi laatusuunnitelma ja annetaan lupa aloittaa esivalmistushitsaus.

Yhteenvetona voidaan todeta, että onnistuneen hitsaavan esivalmistuksen toteutumiseen täytyy monen yksittäisen osa-alueen olla kunnossa. Projektien läpivienti vaatii useiden siihen liittyvien henkilöiden, kuten toimihenkilöiden, hitsaajien ja asentajien, saumatonta yhteistyötä. Projektin virheitä ja laatuongelmia voidaan tulevaisuudessa välttää liitteestä 2 löytyvän Lähtötiedot esivalmistukseen -lomakkeen avulla. Lomakkeeseen voidaan ennen esivalmistusprojektin aloittamista pyytää esivalmistuksen kannalta tarpeellisia tietoja, joiden avulla eri osa-alueita voidaan yksinkertaistaa ja standardisoida tehokkaan esivalmistuksen tueksi.

## 7 TULOKSET JA OMA POHDINTA

Lopputyössä tutkittiin esivalmistusprojekteja ja etsittiin ratkaisuja prosessin toistettavuuden parantamiseksi. Esivalmistusprojektissa on useita eri osa-alueita. Lopputyössä osa-alueet pilkottiin pienempiin kokonaisuuksiin, tutkittiin eri näkökulmia ja etsittiin parhaita ratkaisuja, miten prosessien kehittämällä saataisiin toistettavuus, tuottavuus ja laatu esivalmistusprojekteissa paranemaan.

Esivalmistusprojektissa tarkasteltiin laatusuunnitelmaa, hitsausohjeita, hitsaavaa esivalmistusta, dokumentointia, isometrejä, ostotoimintaa ja projektin läpivientiä yleisellä tasolla. Tarkoituksena oli miettiä parhaat keinot ja muutokset, millä toimintatapoja voitaisiin yhdistää prosessin toistettavuutta parantaa laadun ja tuottavuuden kärsimättä. Jokaiseen osa-alueeseen ei ollut tarvetta tehdä muutoksia. Useiden kerralla tehtyjen muutosten arvioiminen on vaikeaa, ja esivalmistusta tullaankin tulevaisuudessa päivittämään askel kerrallaan käyttäen tässä opinäytetyössä liitteessä 2 esiintyvää Lähtötiedot esivalmistukseen -lomaketta.

### 7.1 Henkilöstö projekteissa

Projekteihin sitoutuu useita eri tehtävissä olevia henkilöitä. Jokaisella henkilöllä vastuualueet vaihtelevat. Projektin henkilöstön ja projektin sidosryhmien kannalta on tärkeää, että jokainen projektiin osallistuva henkilö tietää tärkeimmät yhteyshenkilöt projektissa. Taulukosta 2 löytyvät esivalmistuksen kannalta sidosryhmien tärkeimpien yhteyshenkilöiden tiedot. Näiden henkilöiden tehtävänä on toimia yhteyshenkilöinä projektin omistajan suuntaan, kun esivalmistuksessa ilmenee ongelmia tai kysymyksiä liittyen hitsaukseen, valmistukseen tai dokumentointiin. Projektin vastuhenkilö voi olla myös yrityksen sisällä toimiva projektipäällikkö.

Taulukko 2. Esivalmistusprojektin henkilöstöresurssit

Projekti		Esivalmistus konepaja		Tarkastukset	
Projektin yhteyshenkilö	Yritys XXX	Konepajan päällikkö	VPP Oy	Tarkastuspäällikkö	Laatuyritys XXX
Projektipäällikkö	Yritys XXX	Tuotantoinsinööri	VPP Oy	Tarkastaja	Laatuyritys XXX
Projektipäällikkö	VPP Oy	Varastomies	VPP Oy		
Tekninen johtaja	VPP Oy				
Työmaapäällikkö	VPP Oy				
Työnjohtaja	VPP Oy				
Laatuinsinööri	VPP Oy				
Projektisihteeri	VPP Oy				
Varastomies	VPP Oy				
Työn suunnittelija	VPP Oy				
Materiaalihankinnat	VPP Oy				

Pajalla hitsausta ja asennusta suorittavien henkilöiden lähin yhteyshenkilö on pajalla toimiva tuotantoinsinööri, joka toimii myös työntekijöiden lähiesihenkilönä. Tuotantoinsinööri resursoi työntekijät projektissa, hoitaa päivittäiset juoksevat asiat, ja on tarpeen vaatiessa yhteydessä projektipäällikköön. Tuotantoinsinöörin tehtävänä on löytää nopealla aikataululla ratkaisut isometrissä puuttuviin tietoihin, virheellisiin ja reklamoitaviin komponentteihin, sekä henkilöstömuutoksiin päivittäisessä työssä. Projektin aloituspalaverissa liitteeseen 2 täytettäviin tietoihin voidaan projektipäälliköltä pyytää esivalmistuksen kannalta oleelliset tiedot, joiden avulla tuotantoinsinöörin päivittäistä työtä voidaan helpottaa ja nopeuttaa.

Projekteihin sitoutuneiden henkilöiden tärkein tehtävä on yhteistyössä viedä projekti laadukkaasti ja kustannustehokkaasti läpi. Ongelmien esiintyessä on niihin reagoitava nopeasti, mutta päätösten täytyy olla projektin kannalta järkeviä. Esimerkiksi puuttuvien osien kohdalla ei ole järkevää tilata nopeasti ja kalliilla hinnalla osia, jos työjärjestystä muuttamalla voidaan odottaa halvempia osia hieman kauemmin. Esivalmistustyöhön kuuluu niin hitsaajien työ, kuin projektiin liittyvä dokumentaatiokin. Hitsausta seurataan erilaisten tarkastuksien muodossa. Hitsaukseen liittyvät tarkastukset suorittaa luvat tarkastuksiin omistava tarkastusyritys. Dokumentaatioon liittyvää tarkastusta suorittavat toimihenkilöt päivittäin tarkastamalla hitsaajien pätevyyksiä, hitsausohjeiden oikeellisuutta ja komponenttien ainestodistuksia.

## 7.2 Laatuvaatimukset ja hitsaus

Projekteissa laatuvaatimusten avulla määritellään hitsauksen laatukriteerit ja käydään läpi seurantamenetelmät hitsauksen laaduntarkkailulle. Laatuvaatimuksilla varmistetaan myös turvallinen työskentely esivalmistuksessa. Esivalmistuksessa ennen projektia järjestetään aloituspalaveri, missä laatuvaatimukset käydään läpi projektiin kuuluvan henkilöstön kanssa yhdessä.



Liian usein käy niin, että aloituspalaveria ei pidetä, jolloin isometrit ja osat tulevat pajalle, jonka jälkeen hitsaus aloitetaan projektien aikataulujen kiireellisyyden vuoksi. Tulevien uusien projektien järjestys on tarkoitus muuttaa niin, että aloituspalaveri vaaditaan pidettäväksi ennen projektin aloitusta.

Hitsauksen laatuun esivalmistuksessa vaikuttaa useita tekijöitä, kuten hitsausmenetelmät, olosuhteet, käytettävät välineet, materiaalit ja lisäaineet, sekä tarkastusmenetelmät. Hitsaus suoritetaan projekteissa määritettyjen hitsausohjeiden (WPS) mukaan noudattaen myös putkihitsauksessa käytettyjä standardeja ja suosituksia laatuvaatimusten täyttämiseksi. Esivalmistuksessa kartoitetaan tulevien projektien hitsausvaatimuksia yhdessä laatuhenkilöstön kanssa ennen hitsauksen aloittamista. Hitsauksen kannalta ainakin seuraavat hitsaukseen liittyvät asiat otetaan lähemmän tarkastelun alle:

- hitsauksen mekaaniset ominaisuudet
- hitsauksen tiiviys
- hitsauksen visuaalinen laatu
- hitsausparametrit
- hitsien tarkastusmenetelmät
- hitsauksen standardit ja ohjeet.

Laatuyrityksen vastuualueeseen kuuluvat hitsaussauman tarkastukseen liittyvät asiat, kuten visuaalisen laadun seuranta ja erilaiset tarkastusmenetelmät. Yrityksen vastuualueeseen projekteissa kuuluvat standardien, laatuohjeiden ja hitsausparametrien seuraaminen, sekä joissakin tapauksessa hitsauksen tiiveyden tarkastaminen. Tiiveyden tarkastamisen voi tarvittaessa hoitaa myös laatuyritys omilla tarkastusmenetelmillään. Pajalla tiiveys testataan koeponnistamalla putki vedellä tai muulla väliaineella.

Miten esivalmistuksessa voitaisiin parantaa hitsauksen laatua tulevaisuudessa? Liitteeseen 2 voidaan ennen esivalmistusta pyytää projektin omistajalta hitsauksen laadun parantamiseksi dokumentteja, joista käyvät ilmi käytettävät standardit ja hitsausohjeet. Hitsausohjeiden

noudattaminen ei yksin riitä, vaan hitsaajien pätevyys on myös varmistettava tarvittavilla hitsauskokeilla, joita päivitetään osaamisen puuttuessa tai hitsauspätevyyksien vanhentuessa. Hitsauspätevyyksien seurantajärjestelmää on päivitettävä, että ei tulisi tilanteita, missä hitsaaja tekee työtään ilman tarvittavia pätevyksiä. Luvussa 5.4.9 mietittiin hitsauskaluston päivittämistä uudempaan, jolloin hitsauksen seuranta voitaisiin automatisoida. Uusissa järjestelmissä automatiikka ilmoittaa hitsausta aloitettaessa, onko hitsaajalla pätevyyttä hitsata putkea ja löytyykö putken hitsaamiseen järjestelmästä tarvittavia hitsausohjeita. Kuten todettua, niin uusien koneiden hankkiminen on kallista, ja investointi vaatisi koko konsernin ajatusmaailman muuttamista siten, että siirryttäisiin vanhasta ja tutusta kohti automaattisempia järjestelmiä.

### 7.3 Isometrit ja liputus

Piirustukset putkilinjoista ovat dokumentteja, joiden avulla projektin hitsaukset suoritetaan. Projektissa isometrejä voi olla muutamista kappaleista satoihin kappaleisiin. Isometreissä voi olla erilaisia vaatimuksia riippuen siitä, mihin painelaitedirektiivin alaiseen luokkaan isometrin putket kuuluvat. Painelaitedirektiiviä käsiteltiin luvussa 2.2. Vaatimukset putken hitsaamiselle ja tarkastuksille muuttuvat putkiluokan muuttuessa.

Esivalmistus pyritään aloittamaan, kun kaikki isometrit on saatu pajalle, niihin on tehty tarvittavat merkinnät ja esivalmistusjärjestys on saatu sovittua. Jokaisessa projektissa kaikkia isometrejä ei ole saatavissa kerralla, vaan niitä toimitetaan pienissä osissa. Tällaisissa tilanteissa on haasteellista saada hitsaaminen suoritettua nopeasti ja tehokkaasti. Työn suunnittelijan tai tuotantoinsinöörin tehtäväksi jää jakaa saadut isometrit järkevästi tuotantoon siten, että työpisteille jaetut isometrit saataisiin hitsattua keskeytyksettä loppuun. Kesken jääneiden isometrin osien uudelleen hitsaaminen tai jatkaminen tarkoittaa uudelleen aloittamista, mikä vähentää myös tehokkuutta ja lisää kustannuksia.

Esivalmistukseen saadut isometrit tulevat pajalle liputettuina, tai pienemmissä projekteissa ne voidaan liputtaa myös itse. Liputuksella tarkoitetaan isometristä löytyvän putkilinjan pilkkomista lippujen avulla sopiviin kokoihin esivalmistushitsausta ja kuljetusta ajatellen. Onnistunut liputus näkyy positiivisesti projektin tuloksessa, koska oikean mittaiset esivalmisteet on helppo ja nopea asentaa asennuskohteessa järkevästi normaalein työkaluin. Esivalmistehäkkien kuljetuskustannukset pysyvät kohtuullisina, kun osat eivät ole liian suuria. Liian isojen esivalmisteiden

kuljettaminen vaatii erikoiskuljetuksen, ja niiden asentaminen vaatii erilaisia nostoapuvälineitä, joiden vuokraaminen asennuskohteeseen lisää projektin kustannuksia.

Laatusuunnitelmassa kerrotaan, millaisia tarkastuksia hitsattaville putkille tehdään. Tarkastukset tekee sertifioitu laatuyritys, ja tyypillisiä tarkastuksia ovat RT-, PT- ja VT-tarkastukset. Ennen jalkauttamista tuotantoon, isometreihin tehdään laatusuunnitelmassa vaaditut merkinnät. Merkinnät tekee tyypillisesti pajalla tuotantoinsinööri. Tuotantoinsinöörillä ei välttämättä ole kokemusta tai oikeaa näkökulmaa merkitä kustannuksien tai kuvattavien saumojen kannalta parhaita hitsejä. Tulevaisuudessa merkinnät isometreihin voisi tehdä tuotantoinsinööri yhdessä laatuyrityksen edustajan kanssa. Tästä tulisi lisää kustannuksia, mutta nämä kompensoituisivat isoissa projekteissa laatuvirheiden vähenemisenä ja kuvattavien hitsausseamojen kustannusten vähenemisenä. Isometreihin valmiiksi merkityt kuvattavat saumat helpottavat laatusuunnitelmassa annettujen tarkastusprosenttien toteutumisen seurantaa. Merkintöjen avulla myös hitsaajat ja kuvaushenkilöstö voivat valmistautua siihen, mitkä hitsausseamat kuvataan ja tarkastetaan. Hitsaajat tarkastavat alustavasti hitsatun sauman ja vievät esivalmisteen kuvauspaikalle. Tämä vähentää virheiden määrää kuvauksissa huomattavasti.

#### **7.4 Esivalmistusjärjestyksen merkitys**

Mikäli esivalmistuksessa on haasteita, niin aikataulussa ja budjetissa on vaikea pysyä. Haasteet liittyvät usein komponenttien ja isometrien saatavuuteen ennen projektin aloittamista. Esivalmistuksen avulla voidaan projekti hitsata kustannustehokkaammin, koska osa komponenteista hitsataan puolivalmisteiksi pajalla ja kuljetetaan asennettavaksi asennuskohteeseen. Esivalmistushitsaaminen on halvempaa ja nopeampaa, kuin kaikkien isometrien hitsaaminen kohteessa.

Jos isometrejä tai osia puuttuu projektin alkaessa, muuttuu tilanne täysin erilaiseksi. Eri isometreistä kerätään niitä hitsattavia linjoja, joihin löytyy hitsattavissa olevia osia. Tällöin isometrikohtaisia aloituksia tulee useita, ja työ keskeytyy usein. Keskeytykset ja uudelleen aloitukset tarkoittavat suoraan hitsaustehon alentumista ja kustannusten kasvamista. Tuotantoinsinöörin tehtävä on saatavilla olevien isometrien kustannustehokas jalkauttaminen tuotantoon. Tulevissa projekteissa vaatimustasoa isometrien saatavuuden suhteen täytyy pystyä nostamaan, tai saatavilla olevien isometrien toimittamista pajalle nopeuttaa. Näiden keinojen avulla

tuotantoinsinöörille jää enemmän aikaa tarkastaa, mihin isometreihin osia löytyy ja mikä olisi kustannustehokkain valmistusjärjestys.

Isoissa projekteissa esivalmistettavat osat voidaan järjestää työpaketteihin. Työpaketteihin jakamisen taustalla on asennuskohteen asennusjärjestys. Isoissa projekteissa kohteen jokaiseen paikkaan ei ole pääsyä, vaan tietyt alueet suljetaan ja avataan tietyssä järjestyksessä. Tällöin myös esivalmisteet hitsataan samassa järjestyksessä. Vaikka pienissä projekteissa ei työpakettikäytäntöä ole, niin esivalmistus tulevaisuudessa voitaisiin muuttaa niin, että siirrytään enemmän isometrikohtaisesta ajattelusta putkikokohtaiseen ajatteluun. Putkikokohtaisessa ajattelussa isometreistä kerätään tietyinkokoiset putket, jotka valmistetaan ensin, ja siirrytään vasta sitten seuraavaan putkikokoon. Ratkaisu vaatii tuotantoinsinööriltä hieman enemmän työtä isometrien jakamisessa, mutta toisaalta asentajan ja hitsaajan työ pajan puolella nopeutuu.

Tulevaisuudessa esivalmistusjärjestykseen ja sen toteutumiseen täytyy kiinnittää enemmän huomiota. Esivalmistus on jonkinlaisessa murroksessa, koska uusia menetelmiä keksitään ja niiden avulla pyritään nopeuttamaan esivalmistussuoritusta. Uusia menetelmiä ovat putken taivuttaminen ja jossain määrin myös robottihitsauksen käyttäminen. Miten esivalmistuksessa voidaan kohdeyrityksessä saavuttaa laadukas, kustannustehokas ja toistettava lopputulos? Esivalmistus voidaan suunnitella materiaalien koon ja paksuuden mukaan, tai asennustarpeiden mukaan. Hitsausjärjestykseen muita vaikuttavia tekijöitä ovat myös tarkastuslaajuudet ja hitsaajien osaaminen. Jokainen projekti on lähtökohtaisesti erilainen, laatuvaatimukset ja työntekijät projektissa vaihtuvat. Lopputyön yhtenä tarkoituksena oli luoda liitteestä 2 löytyvä pohja, mihin erilaisten projektiympäristöjen vaihtuessa voidaan kuitenkin kerätä hitsaavaan esivalmistukseen tarvittavat tärkeimmät tiedot. Näiden tietojen avulla voidaan esivalmistushitsaus tehdä projektista toiseen toistettavaksi samoin elementein.

Esivalmistusaste projekteissa vaihtelee 20–60 prosentin välillä. Parhaimmillaan pajalla päästään esivalmistuksessa tehokertoimeen 1,3. Tehokertoimen ollessa alle 1,0, hitsaaminen on ollut liian hidasta verrattaessa peruskertoimeen 1,0. Joidenkin projektien asennuskohteessa tehokerroin voi olosuhteista johtuen olla esimerkiksi 0,5. Taulukosta 3 voidaan tarkastella 700 yksikön työtä tehokertoimilla 1,3 ja 0,5.

Taulukko 3. Esivalmistuksen kustannusvertailu.

Paikka	Yksiköt		Tehokerroin		Yksikköhinta		Kokonaishinta
Konepaja	(700 tuntia	/	1,3)	x	60 €	=	32 308 €
Asennustyömaa	(700 tuntia	/	0,5)	x	60 €	=	84 000 €

Hyvissä pajaolosuhteissa yksikköhinnan ollessa 60 €, voidaan 700 tuntia tehdä parhaimmillaan 32 308 € kustannuksella. Asennuskohteessa 700 tuntia tehokertoimella 0,5 maksaa 84 000 €. Esivalmistushitsaaminen pajalla laskelmien mukaan tuo säästöä projektin kustannuksiin. Esivalmistushitsaamisen kehittämisellä voidaan tehokerrointa vielä parantaa, mikä vaikuttaa suoraan kokonaishintaan.

### 7.5 Hitsauslokin täyttäminen

Hitsauslokin täyttämällä varmistetaan osaltaan hitsauksen laadun toteutuminen. Hitsausloki täytetään päivittäin. Näin projektin etenemistä voidaan seurata reaaliajassa ja puuttua tarvittaessa nopealla reagoinnilla aikataulumuutoksiin projektin etenemisessä. Pajalla tuotantoinisnööri vastaa liitteessä 1 löytyvän työaikaisen hitsauslokin jakamisesta tuotantoon. Dokumentti kerätään hitsauksen jälkeen, tiedot tarkistetaan ja syötetään lopulliseen hitsauslokiin, joka löytyy projektikansiosta yrityksen serveriltä. Työ on siis pitkälle manuaalista ja vaatii tarkkuutta. Tarkistettavia asioita työaikaisessa hitsauslokissa hitsauksen jälkeen ovat lisääaine, lisääaineen sulatusnumero, hitsausohjeen numero ja hitsaaja.

Hitsauslokiin täytetään hitsauksen kannalta tärkeitä hitsaussuoritukseen liittyviä tietoja. Esivalmistusprojektissa hitsauksen, materiaalien ja lisääaineiden jäljitettävyys on tärkeässä roolissa, kuten myös standardien ja laatusuunnitelmassa määrättyjen hitsaukseen liittyvien muiden määräysten noudattamisen seuranta. Aikaisemmat, ja käynnissä olevat esivalmistusprojektit on tarkoitus dokumentoida tulevaisuudessa paremmin. Hyvin dokumentoidut projektit toimivat myös referenssinä tulevien projektien työn suunnittelussa ja laadun seurannassa. Dokumentoitavia asioita voisivat olla hitsauslokin täytön frekvenssi, hitsauslokin täyttöön käytetty työaika ja tarkastettavat tiedot. Dokumentoitavien tietojen avulla pystytään analysoimaan tuotantoinisnöörin työkuormaa projektissa. Hitsauslokin oikeanlainen täyttäminen vapauttaa tuotantoinisnöörin aikaa laadun seurantaan käynnissä olevissa projekteissa enemmän pajan puolelle. Näin pystyttäisiin varmistamaan laadukkaampien hitsaussaumojen tekeminen ja projekteissa ilmenevien ongelmien nopeampi ratkaiseminen lisäkustannuksien välttämiseksi.

Hitsaajat täyttävät tiedot työaikaiseen hitsauspöytäkirjaan työn edetessä. Virheiden välttämiseksi työaikaiset hitsauspöytäkirjat voitaisiin tuotantoiniin toimesta täyttää osittain valmiiksi, jolloin virheiden ja tarkastettavien asioiden määrä dokumentista vähenisi. Valmiiksi täytettäviä kohteita ovat hitsaussaumojen numerot isometristä ja hitsaussauman numeroon kohdistettava hitsausohje. Valmiiksi merkityllä hitsausohjeella myös hitsaaja osaa valita parametrit hitsauslaitteeseen isometrin hitsaussaumoja hitsattaessa. Positiivisia vaikutuksia ratkaisulla on suoraan myös saumojen tarkastuksiin. Oikeilla arvoilla hitsatut saumat menevät RT-, PT- ja VT-tarkastuksesta paremmin läpi, eikä ylimääräisiä kustannuksia tule uudelleen tarkastuksista.

## LÄHTEET

- Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I., & Miettinen, A. (2009). *Teollisuustalous* (6.p.). Infacs Oy.
- Järvenpää, M., Länsiluoto, A., Partanen, V., & Pellinen, J. (2020). *Talousohjaus ja kustannuslaskenta* (2.–5.p.). Sanoma Pro Oy.
- Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P., & Tuomikoski, J. (2014). *Konetekniikan materiaalioppi* (12.–14. p.). Bookwell Oy.
- Lepola, P. & Makkonen, M. (2007). *Hitsaustekniikka – Opiskelukirja* (3.uud.p.). WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Lepola, P. & Ylikangas, R. (2016). *Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet*. Sanoma Pro Oy.
- Lindewalt, C-G. (2013). *Hitsauksen laadun ja tehokkuuden parantaminen hyödyntäen standardia SFS-EN ISO 3834*. Teknologiainfo Teknova Oy.
- Metsta. (2020). *Hitsiluokat ja hyväksymisrajat*. [https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/10/METSTA\\_Hitsiluokatjahyvaksymisrajat\\_2020.pdf](https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/10/METSTA_Hitsiluokatjahyvaksymisrajat_2020.pdf)
- Pellinen, J. (2019). *Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu* (3.uud.p.). Alma Talent Oy.
- Ruohomäki, I., Anttila, J-P., Heikkilä, A., Hentula, M., Kansola, M., Leino, K., Paro, J., & Salmi, T. (2011). *Parempiin tuotantostrategisiin päätöksiin*. Teknologiateollisuus ry.
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2016). *Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus*. (SFS-EN ISO 17637:2016) (2.p.).
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2021). *Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osa 1:Laatuvaatimustason valintaperusteet*. (SFS-EN ISO 3834-1:2021) (2.p.).
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (2023). *Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat*. (SFS-EN ISO 5817:2023) (4.p.).
- Taloon. (2023). *Muuntotaulukko DN ja NPS mitoille*. <https://www.taloon.com/rakentajan-tietopankki/lvi-talotekniikka/muuntotaulukko-dn-ja-nps-mitoille>
- Tukes. (2023). *Painelaitteiden suunnittelu, valmistus, ja vaatimustenmukaisuuden arviointi*. <https://tukes.fi/tietoa-tukesista/materiaalit/painelaitteet/painelaitteiden-suunnittelu-valmistus-ja-vaatimustenmukaisuuden-arviointi>
- Vertex. (2021). *6. Isometripiirustukset*. <https://kb.vertex.fi/plant2021fi/kaeyttoevihjeitae/itseopiskelumateriaali/laitossuunnittelun-perusteet/6-isometripiirustukset>

Viafin Service. (2023). *Teollisuuden luotettu kunnossapitokumppani*. <https://viafinservice.fi/tietoa-meista/historia/>

Witting, L. (2014). *Hitsauksen materiaalioppi* (4.korj.p.). Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y.



## **LIITTEET**

Liite 1. Työaikainen hitsauspöytäkirja

Liite 2. Lähtötiedot esivalmistukseen



## Liite 2. Lähtötiedot esivalmistukseen

VIAFIN PROCESS PIPING OY KURIKAN KONEPAJA		LÄHTÖTIEDOT ESIVALMISTUKSEEN		Päiväys: 22.8.2023
				Versio: REV.0
<b>Projekti:</b>		<b>Projektinnumero:</b>		
<b>Projektin yhteyshenkilö</b>		<b>Esivalmisteiden toimitusosoite:</b>		
	+358			
<b>Projektipäällikkö</b>				
	+358			
<b>Projektipäällikkö</b>	VPP Oy			+358
<b>Tekninen johtaja</b>	VPP Oy			+358
<b>Työmaapäällikkö</b>	VPP Oy			+358
<b>Työnjohtaja</b>	VPP Oy			+358
<b>Laatuinsinööri</b>	VPP Oy			+358
<b>Projektsihteeri</b>	VPP Oy			+358
<b>Varastomies</b>	VPP Oy			+358
<b>Työn suunnittelija</b>	VPP Oy			+358
<b>Materiaalihankinnat</b>	VPP Oy			+358
<b>KONEPAJA</b>				
<b>Konepajan päällikkö</b>	Konepaja			+358
<b>Tuotantoinsinööri</b>	Konepaja			+358
<b>Varastomies</b>	Konepaja			+358
<b>TARKASTUKSET</b>				
<b>Tarkastuspäällikkö</b>				+358
<b>Tarkastaja</b>				+358
<b>1. Materiaalit</b>				
<b>Vaihtoehtoiset materiaalit</b>				
<b>2. Lisäaineet</b>				
<b>Vaihtoehtoiset lisäaineet</b>				
<b>3. Kuvausprosentit</b>				
RT		%	Huom:	
PT		%	Huom:	
VT		%	Huom:	
ISTUTUKSET		%	Huom:	
MUUT		%	Huom:	

4. Liitteet:				
<input type="checkbox"/>	Hitsausloki			
<input type="checkbox"/>	Liputetut isometrit			
<input type="checkbox"/>	3D-malli			
<input type="checkbox"/>	WPS			
<input type="checkbox"/>	Laatusuunnitelma / laatuvaatimukset			
<input type="checkbox"/>	Esivalmistuksen materiaalitilaukslistat			
<input type="checkbox"/>	Muu, mikä			
5. Merkinnät isometreihin (Merkinnät sovittava erikseen)				
6. Esivalmisteiden hitsausjärjestys (Esim. esivalmistuksen työpaketit)				
1.			5.	
2.			6.	
3.			7.	
4.			8.	
7. Merkinnät esivalmistettaviin osiin				
8. Istutukset				
Putkikoko	DN	—	Pintaistutus	Läpi-istutus
Putkikoko	DN	—	Pintaistutus	Läpi-istutus
Putkikoko	DN	—	Pintaistutus	Läpi-istutus
Putkikoko	DN	—	Pintaistutus	Läpi-istutus
9. Esivalmisteiden dokumentointi (Kuka tekee ja mihin toimitetaan)				
Laatinut:	Jesse Nuorala Jari Nieminen	Hyväksynyt:	Jari Nieminen	Tulostettu versio ei ole virallinen.