



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)

# Hitsaavan tuotannon tehostaminen mekanisoinnilla

Joni Kräkin

Opinnäytetyö, lokakuu 2023

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Lokakuu 2023**  
**Konetekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)  
Joni Kräkin

Nimeke  
Hitsaavan tuotannon tehostaminen mekanisoinnilla

Toimeksiantaja  
Sumitomo SHI FW Energia Oy

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Sumitomo SHI Varkauden Service-yksikön hitsaavan tuotannon tehostamisesta mekanisoinnilla. Opinnäytetyössä tutkittiin TIG-orbitaalien sekä hitsausautomaatin ominaisuuksia, kustannuksia sekä vuotuisia nettosäästöjä.

Opinnäytetyössä vertailtiin kahta erilaista hitsauksen mekanisointivaihtoehtoa. Molemmat vaihtoehdot on tarkoitettu putkien päittäisliitoksien mekanisoituun hitsaukseen. Mekanisoituja putken hitsauslaitteita verrataan tuotannossa tehtäviin käsihitsauksiin.

Opinnäytetyön tarkoituksena on esittää tehokkain hitsauksen mekanisointivaihtoehto. Työstä Sumitomo SHI FW saa tietoa hitsauksen mekanisoinnista sekä siitä, kuinka säästöt vuositasolla kertyvät investoinnista. Lisäksi työssä on laskettu, kuinka paljon tehokkain mekanisointivaihtoehto olisi kerryttänyt nettosäästöjä vuoden 2022 aikana.

Kieli  
Suomi

Sivuja 49  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 2

Asiasanat  
mekanisointi, TIG-hitsaus, investointi



**THESIS**  
**October 2023**  
**Degree Programme in Mechanical Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author (s)  
Joni Kräkin

Title  
Enhancing welding production with mechanization

Commissioned by  
Sumitomo SHI FW Energia Oy

**Abstract**

The purpose of this thesis is to find out about the options for enhancing the welding production of the Sumitomo SHI FW Varkaus service unit with mechanization. The thesis examines the properties, cost and annual net savings of the TIG-orbital and automated welding system.

The thesis compared two different welding mechanization options. Both options are intended for mechanized welding of tube butt weld joints. Mechanized tube welding equipment's is compared to manual welding production.

The purpose of the thesis is to present the most efficient welding mechanization option. From the thesis, Sumitomo SHI FW gets information about the mechanization of welding and how annual savings accrue from the investment. In addition, in this thesis is calculated how much the most efficient mechanization option would have accumulated net savings during 2022.

Language  
Finnish

Pages 49  
Appendices 2  
Pages of Appendices 2

Keywords  
Mechanization, TIG-welding, investment

## Sisältö

1	Johdanto .....	6
1.1	Sumitomo SHI ja Sumitomo SHI FW .....	6
1.2	Opinnäytetyön toimeksianto.....	8
1.3	Opinnäytetyön rajaus sekä tavoitteet.....	8
2	Kaarihitsaus .....	9
2.1	WPQR sekä WPS .....	9
2.2	MIG/MAG-hitsaus .....	11
2.3	Puikkohitsaus.....	15
2.4	Hitsauspuikot .....	17
2.5	TIG-hitsaus .....	17
3	Hitsauksen automatisointi sekä mekanisointi.....	19
3.1	Hitsauksen mekanisointi .....	20
3.2	Jauhekaarihitsaus .....	21
3.3	Hitsausautomaatti .....	22
3.4	TIG-hitsauksen orbitaalitekniikka .....	24
3.5	Orbitaalihitsauspäät .....	27
4	Investoinnin luokitukset sekä takaisinmaksu.....	29
4.1	Investointi.....	29
4.2	Takaisinmaksu ja investointilaskelma menetelmät .....	30
5	Hitsaus ja tarkastus.....	31
5.1	Magnatechin laitteisto .....	33
5.2	TIG-Orbitaalin käyttörajoitukset tuotannossa .....	34
5.3	TIG-orbitaalin käyttökohde ja sijoitus tuotannossa.....	35
5.4	TIG-orbitaalin takaisinmaksu .....	37
6	Hitsausautomaatti .....	38
7	Opinnäytetyön tulokset .....	39
7.1	TIG-orbitaalin ja käsi hitsauksen testi .....	39
7.2	Hitsausautomaatin tahtiaika.....	41
7.3	Hitsausautomaatin tahtiajan vertaus käsihitsaukseen .....	41
7.4	Hitsausautomaatin takaisinmaksuaika .....	43
8	Yhteenveto.....	44
9	Pohdinta.....	45
	Lähteet.....	46

## Liitteet

- Liite 1      Materiaalihukan nettosäästöt
- Liite 2      Mekanisoidun hitsauksen nettosäästöt

## Lyhenteet

TIG-hitsaus	Kaarihitsausprosessi, jonka lyhenne tulee englannin kielen sanoista tungsten inert gas. (Kemppi 2023)
MIG-hitsaus	Kaarihitsausprosessi, jonka lyhenne tulee englannin kielen sanoista metal iner gas. (Kemppi 2023)
MAG-hitsaus	Kaarihitsausprosessi, jonka lyhenne tulee englannin kielen sanoista metal active gas. (Kemppi 2023)
WPQR	Hitsauksen menetelmäkoe, joka suoritetaan standardi koekappaleella. Lyhenne tulee englannin kielen sanoista welding procedure qualification record. (Lukkari 1997,55)
WPS	Hitsausohje, joka tehdään WPQR:n tuloksista. Lyhenne tulee englannin kielen sanoista welding procedure specification record. (Lukkari 1997, 55)

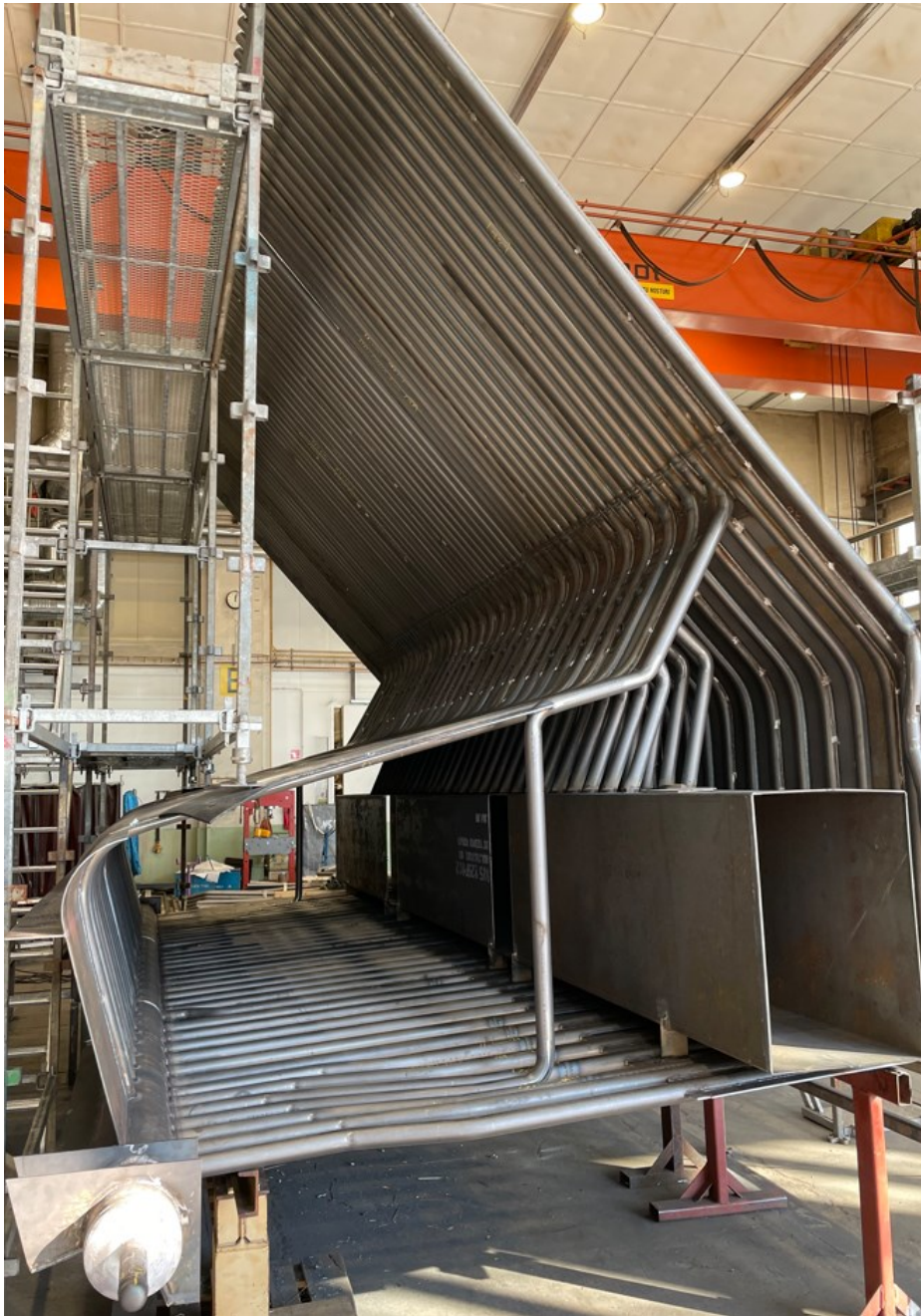
# 1 Johdanto

## 1.1 Sumitomo SHI ja Sumitomo SHI FW

Sumitomo Heavy industries on perustettu vuonna 1888. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Japanin pääkaupungissa Tokiossa. Sumitomo Heavy industries työllistää globaalisti noin 24 500 työntekijää.

Sumitomo Heavy Industries päätuotteita ovat uudet voimalaitokset ruiskuvaluyksiköt, koneistuskeskukset, teollisuuden pumput ja niiden kokonaisuudet sekä voimalaitoksien varaosien valmistus ja asennus. (Sumitomo SHI FW 2023.)

Sumitomo SHI FW on osa kansainvälistä Sumitomo organisaatiota. Sumitomo Varkauden Service-yksikkö on erikoistunut erilaisten voimalaitoksien kattilan osien sekä niiden kokonaisuuksien valmistukseen ja asennukseen. Varkauden yksikön vuosittainen tuotantokapasiteetti on n. 100 000 henkilötyötuntia ja yksikössä on tuotantotilaa n. 7000 m<sup>2</sup>. Suomessa Sumitomolla työskentelee 384 työntekijää, joista 326 työntekijää on Varkauden yksikössä. Varkauden Service-yksiköllä ei ole yksittäistä päävientituotetta. Service yksikkö keskittyy korjaamaan vanhempia voimalaitoskattiloita esimerkiksi näiden seiniä (kuva1), tulistimia ja putkistoja. (Sumitomo SHI FW 2023.)



Kuva 1. Voimalaitoskattilan osa valmistuksessa Varkaudessa (Kuva: Joni Kräkin)

Sumitomo Varkauden Service osaston historia ulottuu 1850-luvulle asti, jolloin Varkauden Pirtinniemessä aloitettiin valmistamaan laivoja sekä höyryturbiinien osia Wahl-konepajan nimissä. Wahl-konepaja yritystoiminnan osti vuonna 1909 osakeyhtiö A. Ahlström ja 1950-luvulla Varkauden Pirtinniemessä alkoi leijukerroskattilan osien valmistus. Vuonna 1995 yritystoiminnan osti Foster Wheeler Energia Oy, joka on yksi johtavista CFB-kiertopetikattiloiden toimittajista maailmassa. Vuonna 2014 yrityksen toiminnan omisti Foster

Wheeler energia Oy, sekä Amec-yhtiö. Vuonna 2017 Sumitomo Heavy Industries osti kattilaliiketoiminnan ja Varkauden yksikön nimi on nykypäivänä Sumitomo SHI FW Energia Oy. (Sumitomo SHI FW 2023.)

## **1.2 Opinnäytetyön toimeksianto**

Toimeksiantajayrityksessä on herännyt kysymyksiä mekanisoidun hitsauslaitteiston tarpeesta. Mekanisoidut hitsauslaitteet pystyvät nopeuttamaan putkien päittäisliitoksien hitsausprosessia huomattavasti johtuen niiden korkeasta kaariajasta. Mekanisoidut putkien päittäisliitoksien laitteistot eivät vaadi ilmarakoa päittäisliitoksissa, jolloin railotilavuus pienenee.

## **1.3 Opinnäytetyön rajaus sekä tavoitteet**

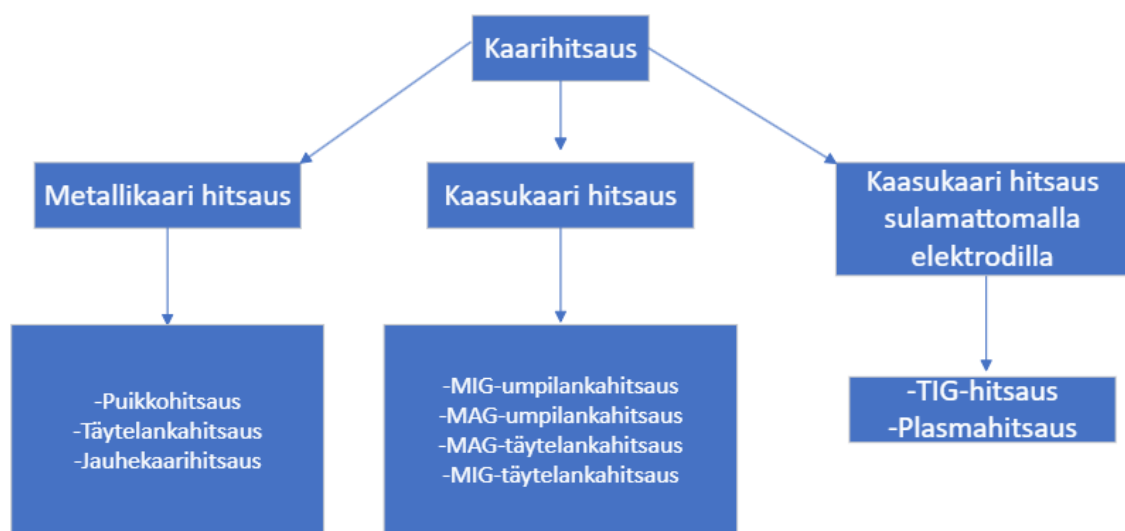
Tämän opinnäytetyön tavoite on antaa mahdollisimman tarkka selvitys toimeksiantajayrityksen todellisesta tarpeesta mekanisoidulle hitsauslaitteistolle. Opinnäytetyön lopputuloksesta toimeksiantaja saa tietoa päätöksen tueksi, onko laitteiston investointi kannattava. Työssä selvitetään kahden erilaisen mekanisoidun hitsauslaitteiston ominaisuuksia sekä niiden eroja.

Mikäli investointi ei ole kannattava opinnäytetyön valmistuttua, tulee lopputuloksesta käydä ilmi, kuinka paljon kapasiteettia laitteisto pystyisi nostamaan.

Opinnäytetyö pitää sisällään vain sen tuloksen, josta toimeksiantaja voi päätellä investoinnin kannattavuuden. Opinnäytetyöhön ei sisälly itse laitteiston hankinta.

## 2 Kaarihitsaus

Kaarihitsauksella tarkoitetaan kahden metallisen kappaleen liitospintojen sulattamista toisiinsa. Kaarihitsausprosesseja on useita erilaisia ja ne eroavat toisistaan esimerkiksi valokaaren muodostamistavan sekä lisäaineen tuontitavan perusteella. Yleisimmät kaarihitsausprosessit (kuva 2) ovat MIG/MAG-hitsaus, TIG-hitsaus ja puikkohitsaus. (Lukkari 1997, 23.)



Kuva 2. Sulahitsauksen kaarilajit ja niiden prosessit (Kuva: Joni Kräkin.)

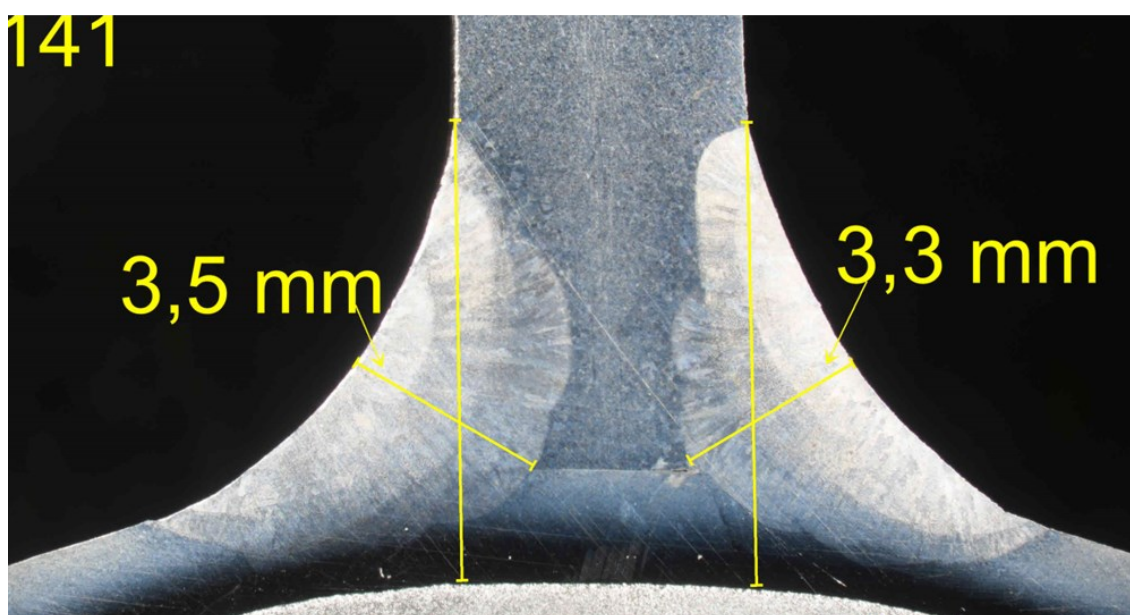
Jotta valokaari saadaan aikaiseksi elektrodin ja hitsattavan kappaleen välille kaarihitsauksessa, tarvitsee valokaari virtalähteen. Kaarihitsaus vaatii yleensä aina hitsauslisäainetta, joka syötetään sulaan metalliin, joko lisäainelankana tai hitsauspuikosta sydänlangan sulaessa. MIG/MAG- ja TIG-hitsausprosessit voivat olla automatisoituja, puoliautomaattisia, mekanisoituja tai manuaalisia. (Kempfi 2023.)

### 2.1 WPQR sekä WPS

Teollisuudenaloilla, jossa hitsataan, tulee olla hitsausohjeet eli WPS:t. Ennen WPS:n laatimista yrityksen tulee tehdä hitsauksen menetelmäkoe eli WPQR. Menetelmäkokeessa yritys valmistaa sekä testaa hitsausmenetelmän toimivuuden tuotannossa standardi koekappaleella. (Lukkari 1997, 55.)

Menetelmäkokeen suorittaminen ei ole pelkästään kappaleen hitsausta. Menetelmäkoe dokumentoidaan tarkasti ja se pitää sisällään Lukkarin (1997, 55.) mukaan:

- materiaalin ainestodistuksen
- koekappaleen muodot, mitat sekä jäljitettävyyden
- kokeen valvomisen
- hitsausparametrit ja niiden dokumentoinnin
- hitsin tarkastuksen sekä testauksen (kuva 3)
- menetelmäkoepöytäkirjan.



Kuva 3. Makrohietutkimus putki/levy TIG-hitsistä, jossa näkyy hitsin tunkeuma perusaineeseen (Kuva: Joni Kräkin)

Onnistuneen menetelmäkokeen jälkeen yrityksen hitsauskoordinaattori voi laatia WPS:n ja se pitää sisällään seuraavia tietoja:

- hitsattavan materiaalin
- liitostyyppin
- hitsausasennon
- hitsin A-mitan
- hitsattavan materiaalin aine vahvuuden
- hitsausprosessin numeron
- hitsattavan lisäaineen tuotenimen

- käytettävän suojakaasun
- railonvalmistus tavan
- esikuumennus lämpötilan
- hitsauspalkojen lukumäärän ja palkojärjestyksen
- hitsauspalkojen hitsausparametrit
- hitsaimen kuljetusnopeuden.

Hitsausohje tehdään yrityksen hitsaajille. Hitsausohjeen valmistuksen jälkeen yrityksen hitsaajat voivat suorittaa hitsausohjeen mukaisesti hitsaajan pätevyyden. Hitsaajan pätevyys on voimassa kolme vuotta. Kolmen vuoden jälkeen hitsaajan tulee hitsata pätevyys uudestaan. (Verho 2014, 1–14.)

## 2.2 MIG/MAG-hitsaus

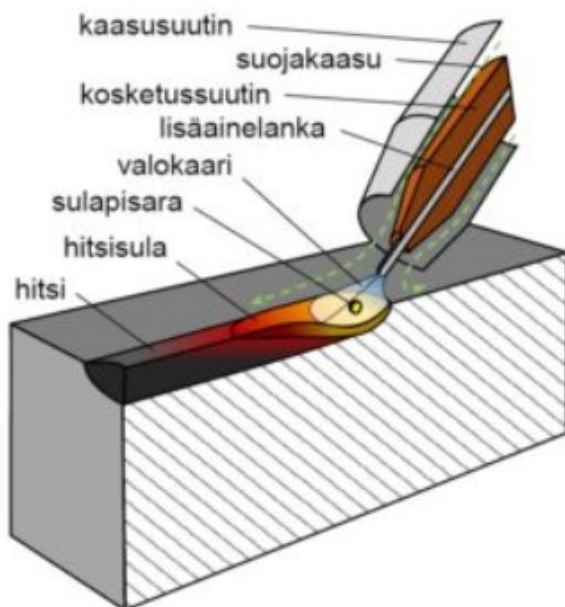
MIG-hitsausprosessin nimitys tulee sanoista metal inert gas.

MIG-hitsausprosessissa suojakaasuna käytetään inerttiä suojakaasua, joka ei osallistu hitsaustapahtumaan. MAG-hitsausprosessin nimitys tulee sanoista metal active gas. MAG-hitsausprosessissa suojakaasuna toimii aktiivinen kaasu, joka osallistuu hitsaustapahtumaan. MIG-hitsausprosessilla voidaan hitsata esimerkiksi alumiinia ja suojakaasuna käytetään argonia. MAG-hitsausprosessilla voidaan hitsata esimerkiksi S235-rakenneterästä ja suojakaasuna käytetään argonin ja hiilidioksidin sekoitusta. (Kemppi 2023.)

MIG/MAG-hitsausprosessia käytetään lähes kaikkialla hitsaavassa teollisuudessa. Käyttökohteina on raskaat- ja keskiraskaat teollisuuden sektorit, esimerkiksi laiva-, painelaite-, putkistoteollisuus. Hitsausprosessi on myös yleinen ohutlevyteollisuudessa ja hyvin suosittu autoteollisuudessa sekä autokorjaamoissa. MIG-hitsausprosessin prosessinumero on 131 ja MAG-hitsausprosessin prosessinumero on 135. (Kemppi 2023.)

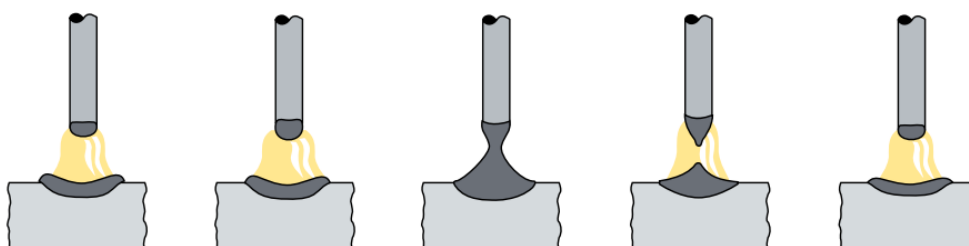
MIG/MAG-hitsausprosessissa valokaari saadaan sytytettyä hitsattavan kappaleen ja hitsaus lisäainelangan välille painamalla hitsauspistoolin liipaisimesta. Valokaaren sulattaessa hitsattavaa perusainetta,

langansyöttölaitteisto syöttää lisäainelankaa jatkuvasti sulaan perusaineeseen muodostaen hitsisulan. Hitsauspistoolissa oleva kaasusuutin syöttää samanaikaisesti happea syrjäyttävää kaasua hitsin alueelle varmistuen hitsin hyvän laadun (kuva 4). (Kemppi 2023.)



Kuva 4. MIG/MAG hitsausprosessin komponentit esitettynä (Ionix 2023)

MIG/MAG-hitsausprosessissa sulanut lisäainelanka siirtyy sulaan perusmetalliin joko oikosulkusiirtymällä tai suihkumaisena siirtymänä. Oikosulkusiirtymässä sulanut lisäaine muodostaa hetkellisesti pieniä oikosulkuja 30–200 kertaa sekunnissa. Lisäaine siirtyy oikosulun aikana perusaineeseen (kuva 5). Suihkumainen siirtymä muodostaa myös pisaroita, mutta pienempiä verrattuna oikosulkusiirtymään. (Ionix 2023.)

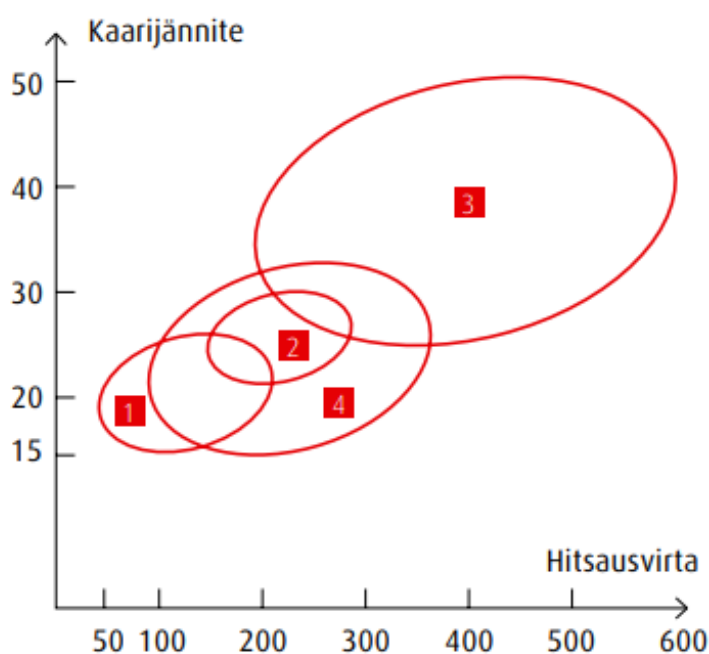


Kuva 5. lisäaineen siirtyminen oikosulkumaisessa lisäaineen siirtymisessä (Linde-gas 2023)

MIG/MAG-hitsauksessa on neljä erilaista hitsauskaarityyppiä: lyhytkaari, sekakaari, kuumakaari sekä pulssikaarihitsaus (kuva 6). Lyhytkaarihitsauksessa lisäaine siirtyy perusaineeseen oikosiirtymällä. Lyhytkaarihitsauksessa hitsausvirta on tyypillisimmin 65–175 ampeerin välillä ja kaarijännite 15–20 voltia. Lyhytkaarihitsaus tapahtumana on suhteellisen kylmä, koska valokaari palaa vain osan ajasta. (Ionix 2023.)

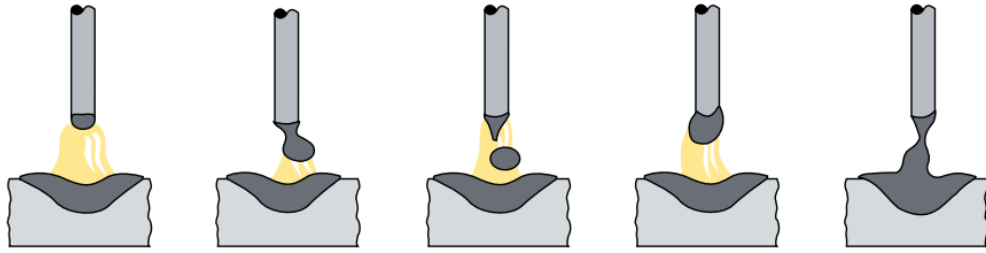
### Kaarialueet

1 Lyhytkaari 2 Välikaari 3 Kuumakaari 4 Pulssikaari (sykekaari)



Kuva 6. MIG/MAG hitsauksen kaarialueet (Linde-gas 2023)

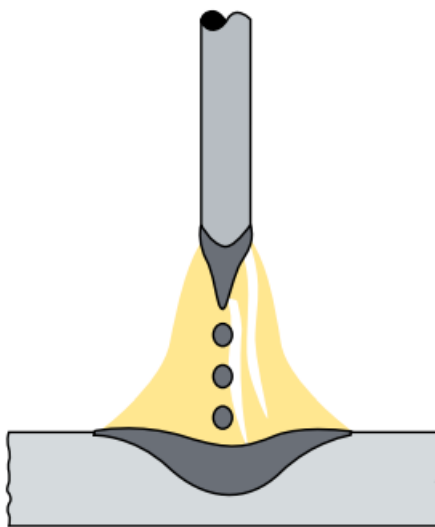
Sekakaarihitsauksessa toiselta nimeltään välikaarihitsaus lisäaineen siirtyminen sulaan perusaineeseen on suihkumaisen siirtymän ja oikosulkumaisen siirtymän yhdistelmä (kuva 7). Hitsausvirta tyypillisemmin on 180–260 ampeerin välillä ja kaarijännite 20–25 voltin välillä. Sekakaarihitsausta pyritään yleensä aina välttämään, koska se synnyttää paljon hitsausroiskeita. (Ionix 2023.)



Kuva 7. Sulan lisäaine pisaran siirtyminen perusaineeseen sekakaarihitsauksessa (Linde-gas 2023)

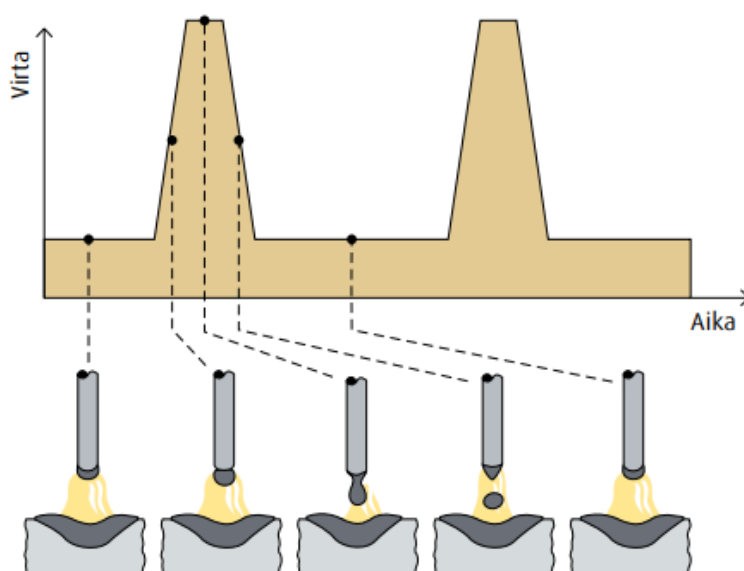
Kuumakaarihitsauksessa sulanut lisäaine siirtyy perusaineeseen pieninä suihkumaisina pisaroina ilman oikosulkua (kuva 8). Kuumakaarihitsaus voidaan suorittaa vain argon pohjaisella suojakaasulla, koska hiilidioksidilla ei päästä oikosuluttomaan kuumakaarihitsaukseen millään jännite- tai virta-arvoilla. (Linde-gas 2023.)

Kuumakaarihitsauksessa kaarijännite on 25–38 voltia ja hitsausvirta 250–350 ampeeria. Oikein säädettynä kuumakaarihitsauksessa hitsin pinta on jouheva ja perusaine lähes roiskeeton. Kuumakaarihitsauksessa perusaineeseen tuodaan hyvin paljon lämpöä, joka aiheuttaa kappaleeseen muita kaarialueita enemmän jännityksiä. (Lonix 2023.)



Kuva 8. Sulan lisäaineen siirtyminen perusaineeseen pisarana (Linde-gas 2023)

Pulssikaarihitsauksessa sulanutta lisäainetta ohjataan sulaan perusaineeseen hitsausvirran pulssituksella. Hitsausvirran pulssituksessa lisäaineen siirtyminen on melkein suihkumaista, pieni pisaraista siirtymää (kuva 9). Siirtyminen saadaan kuitenkin aikaseksi huomattavasti alhaisemmillä hitsausparametreillä kuin kuumakaarihitsauksessa. Pulssikaarihitsauksessa pulssitaajuus on yleisesti 20-400 hertzin välillä ja hitsausvirran huippu voi olla jopa kaksi kertaa korkeampi kuin kuumakaarihitsauksessa. (Ionix 2023.)



Kuva 9. Pulssikaarihitsauksen pisaramainen siirtymä (Linde-gas 2023)

Pulssittamalla hitsausvirtaa saadaan aikaseksi tasainen lisäaineen siirtyminen perusaineeseen, vakaa valokaari sekä alhainen lämmöntuonti.

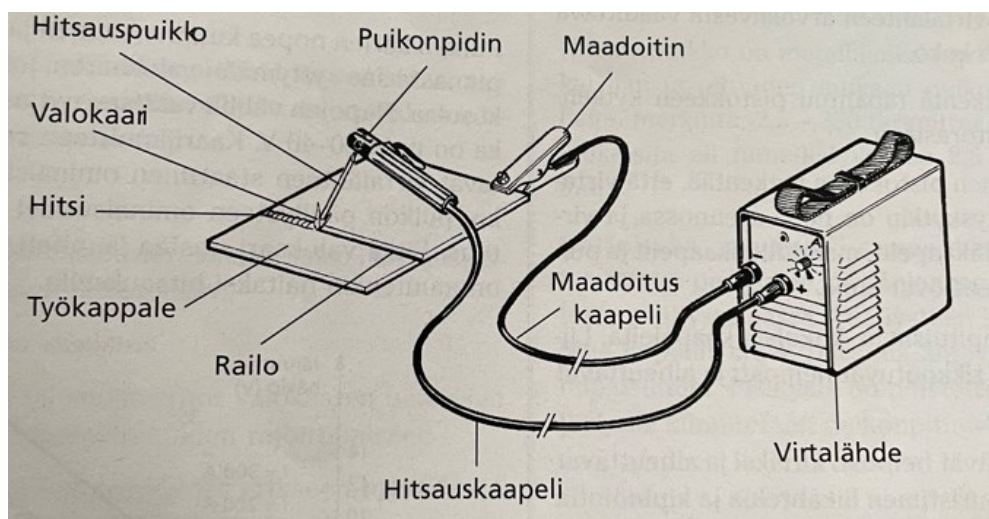
Pulssikaarihitsaus mahdollistaa paksujen lisäainelankojen käytön, kuitenkin mahdollistaen suhteellisen alhaiset hitsausparametrit. (Linde-gas 2023.)

### 2.3 Puikkohitsaus

Puikkohitsaus on yksi metallikaarihitsauksen prosesseista, jossa perusaineen sulattava valokaari palaa päällystetyn sulavan elektrodin ja perusaineen välillä. Puikkohitsauksessa elektrodi ja sen pinnoitus sulaa muodostaen hitsisulan ja samanaikaisesti muodostaa hapelta suojaavia kaasuja. (Lepola&Makkonen 2005, 81.)

Hitsauspuikko koostuu kahdesta osasta: sydänlangasta ja sen päällysteestä. Puikkohitsaustapahtumassa sydänlanka sulaa hieman nopeammin kuin päällyste, muodostaen hitsauspuikon päähän kuopan eli kraatterin. Päällysteen sulaessa hitsin ympärille muodostuu hapelta suojaavia kaasuja sekä sula kuona, joka jähmettyy hitsin päälle kuonakerrokseksi. Kuonakerros poistetaan hitsin jäähtyttyä. Puikkohitsauksessa valokaaren lämpötila on 5000–6000 C°. (Lukkari 1997, 88.)

Puikkohitsausta käytetään tänäkin päivänä lähes kaikkialla hitsaavassa teollisuudessa. Vuonna 1960 puikkohitsien osuus teollisuudessa oli 80 % tänä päivänä se on noin 20–25 %. Tyypillisimpiä puikkohitsauksen teollisuus kohteita ovat: laivanrakennus, paineastiat, suuret ja monimuotoiset rakenteet, sekä paine- ja prosessiputkistot. Puikkohitsauksen etuja ovat: toimivuus kaikissa olosuhteissa, laaja lisäainevalikoima, kuvassa 10 näkyvä yksinkertainen laitteisto, pitkä ulottuvuus ja hyvä hitsauslaatu. (Lukkari 1997, 90–91.)



Kuva 10. Puikkohitsauslaitteisto (Lepola&Makkonen 2005, 81)

Puikkohitsauksen haittoja ovat huono tuottavuus, mekanisoinnin mahdottomuus sekä runsas hitsaussavu. Näiden lisäksi elektrodin määrämittaisuuden vuoksi hitsissä on paljon aloituksia ja lopetuksia. (Lukkari 1997, 90–91.)

Puikkohitsauksessa lisäaineena toimii hitsauspuikko. Hitsauspitimeen kiinnitettävää päätä kutsutaan kiinnitys pääksi ja päätä, jossa valokaari palaa kutsutaan sytytyspääksi. Kiinnitettävässä päässä on päällysteeseen merkitty

kauppanimi sekä myös AWS-luokitusmerkintä. Hitsauspuikon hitsattavuuden ominaisuuksilla tarkoitetaan: hitsauspuikon syttyvyyttä, uudelleen syttyvyyttä, valokaaren vakautta, hitsisulan hallintaa, pohjapalon läpihitsautuvuutta sekä virrankestävyyttä. (Lukkari 1997, 95.)

## 2.4 Hitsauspuikot

Suomessa yleisimmät hitsauspuikkojen sydänlangan halkaisijat ovat: 1,6 mm-2,0 mm-2,5 mm-3,2 mm sekä 4 mm. Hitsauspuikkojen pituudet vaihtelevat 250–450 millimetrin välillä.

Hitsauspuikkoja voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- käyttö: liitos- ja päällehitsauspuikot
- päällysteentyppi: rutiili-, hapan-, emäs- ja selluloosapuikot
- hitsattavaperusaine määrittävänä tekijänä esimerkiksi: kuumalujat, seostamattomat ja ruostumattomat teräkset
- hitsiaineen vetypitoisuus: erittäin niukkavetyiset, niukkavetyiset, keskivetyiset sekä runsasvetyiset puikot
- virtalaji: tasavirta- ja yleisvirta puikot
- hitsausasento: asentohitsaus sekä ala- ja jalkoasentopuikot. (Lukkari 1997, 96–97.)

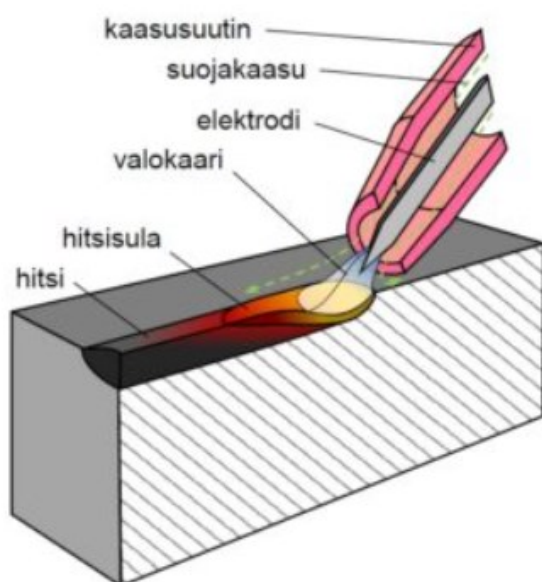
## 2.5 TIG-hitsaus

TIG-hitsausprosessissa valokaari sytytetään sulamattoman volframielektrodin ja perusaineen välille ja valokaari sulattaa perusaineen muodostaen hitsisulan. Hitsaus tapahtumaa suojaa hapelta hitsaussuuttimen kautta johdettu suojavaasu. Yleisimmät suojavaasut ovat: argon, helium-argon seoskaasu tai helium. (Lepola&Makkonen 2005, 159.)

TIG-hitsausprosessi eroaa muista kaarihitsausprosesseista sulamattomalla elektrodilla. Prosessissa hitsaaja kuljettaa poltinta toisella kädellä ja syöttää lisäainetta toisella kädellä hitsisulaan. TIG-hitsausta voidaan suorittaa myös ilman lisäainetta. Prosessi pystytään mekanisoimaan asentamalla hitsain

kuljetuslaitteeseen ja langansyöttölaitteesta syötetään lisäainetta hitsisulaan. (Lepola&Makkonen 2005, 159.)

TIG-hitsauspolttimen pääkomponentit ovat kaasulinssi, elektrodi ja kaasusuutin (kuva 11). Tässä hitsausprosessissa sulan ja lämpötilan hallinta on erinomaista, koska valokaari ja lisäainelanka ovat erillään toisistaan. TIG-hitsauksen lyhenne tulee sanoista tungsten inert gas ja suojakaasuna käytetään lähes aina puhdasta argonia. Lisäainelankana TIG-hitsauksessa käytetään umpilankaa, ja se on halkaisijaltaan 1,6 mm-3 mm. (Ionix 2023.)



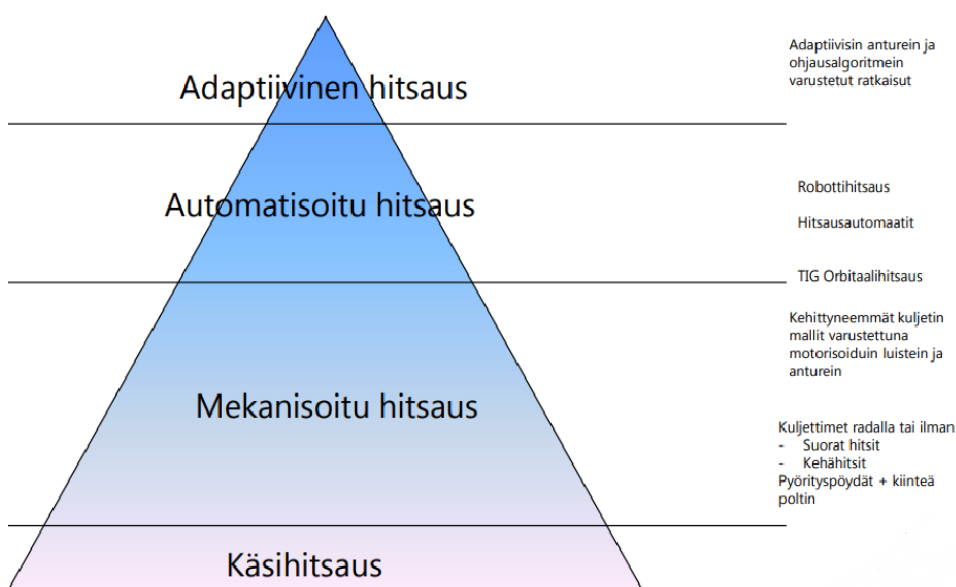
Kuva 11. TIG-hitsaimen komponentteja (Ionix 2023)

TIG-hitsauksessa virta on 20–300 ampeeria tämän vuoksi TIG-hitsausprosessilla pystytään hitsaamaan helposti ohuita sekä paksuja perusaineita. Prosessille sopivia materiaaleja ovat mm. runsasseosteiset, niukkaseosteiset, seostamattomat teräkset sekä alumiini-, titaani-, kupari ja magnesiumseokset. (Ionix 2023.)

### 3 Hitsauksen automatisointi sekä mekanisointi

Hitsauksen automatisaatio vaatii robotiikkaa, jossa robotti tekee hitsaavan työn hitsausohjelman avulla. Hitsauksen robotiteknologia on pitkälle kehitettyä hitsauksen automatisointia (kuva 12), jossa operaattorit ohjaavat ja valvovat prosessia. Robotit kykenevät suorittamaan monimutkaisia ja tarkkoja hitsauslinjoja huomattavasti nopeammin kuin käsin hitsatessa.

Robottihitsauksen prosessi valikoima on erittäin laaja ja robotit on mahdollista mukauttaa työhön sopivimmalla hitsausprosessilla kuten: MIG-, TIG-, laser-, plasma sekä vastus hitsausprosessilla. (Kemppi 2023.)



Kuva 12. Hitsauksen eritasoja esitettynä (Holamo 2016, 10)

Robottihitsauslaitteistossa yhdistyy robotiikka, anturiteknologia, hitsaus, ohjausjärjestelmät sekä tekoäly. Hitsauksen aikana robotin anturit mittaavat hitsausprosessin parametrejä sekä hitsin geometriaa. Robottihitsauksen kustannusrakenne painottuu laitekustannuksiin, robotintestaukseen sekä käyttäjien koulutuksiin. Tämän vuoksi hitsattavan tuotannon robotisointi on suunniteltava tarkasti. (Kemppi 2023.)

Tämän opinnäytetyön pääpaino on hitsauksen mekanisoinnissa.

### 3.1 Hitsauksen mekanisointi

Hitsauksen mekanisoinnilla tarkoitetaan sitä, että hitsainta tai hitsattavaa kappaletta kuljetaan koneellisesti. Hitsauksen mekanisointi voidaan jakaa karkeasti kahteen eri ryhmään kevytmekanisointi sekä keski- ja raskaanteollisuuden hitsauksen mekanisointi. Hitsauksen kevyt mekanisoinnissa joutuu operaattori säätämään itse hitsausparametrit sekä tekemään railoseurantaa. (Lehtimäki 2020, 11–14.)

Hitsauksen mekanisoinnilta vaaditaan tuotannon toistuvuutta tai tuoteperheeseen kuuluvia piensarjoja. Oikeanlainen hitsauksen mekanisointi on ratkaisevassa asemassa investoinnin onnistumisen kannalta sekä vaikuttavana tekijänä takaisinmaksuaikaan. Kaariaikasuhteella tarkoitetaan aikaa, jolloin valokaari palaa hitsauksessa ja kaariaikasuhte on suoraan yhteydessä hitsauksen tuottavuuteen. Tehokkain tapa nostaa kaariaikasuhdetta on hitsauksen mekanisointi tai automatisointi. Käsin hitsauksessa kaariaikasuhte on n. 15–30 %, hitsauksen mekanisoinnilla voidaan kaariaikasuhte saada jopa 50 %. (Lehtimäki 2020, 11–14.)

Hitsauksen kevytmekanisoinnilla tarkoitetaan laitteita, jotka vievät hitsattavan kappaleen luokse. Kevytmekanisointi laitteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- Pyörillä kulkevat hitsauskuljettimet eli traktorit (Kuva 13)
- Kiskoilla kulkevat kuljettimet
- Työkappaleeseen kiinnitettävät kuljettimet



Kuva 13. Binzelin valmistama hitsauskuljetin eli traktori (Binzel-abicor 2023)

Pyörillä kulkevat hitsauskuljettimet ovat yleensä akkukäyttöisiä, sähkömoottorilla kulkevia kuljettimia. Traktorit kulkevat hitsattavaa kappaletta tai rataa pitkin. Hitsaustraktorit ovat varustettuja vahvalla magneetilla, joka sijaitsee laitteen pohjassa varmistaen vahvan tuennan kappaleeseen. Hitsaustraktorin lineaarinen kulkusuunta toteutetaan traktorin edessä olevilla ohjauspyörillä. Hitsaustraktorit ovat mahdollista varustaa polttimen levityслиikkeen toteuttavalla lineaarioskiloinnilla, jolloin traktorilla pystytään hitsaamaan piena- ja päittäisliitoksia. (Haula 2008, 5.)

Kiskokiinnitteisissä kuljettimissa kiskot ovat, joko magneetti- tai imukuppi kiinnitteisiä. Kiskot kiinnitetään suoraan työkappaleeseen tai työpöytään. Portaalityyppinen kuljetin ratkaisu on helposti toteutettavissa kiskokuljettimista. Kiskot voivat olla jäykkiä, jolloin käyttökohteena on levyjen tai palkkien hitsaukset. Taipuvat kiskot ovat tarkoitettu putkien ja säiliöiden hitsaukseen. Työkappaleeseen kiinnitettävässä kuljettimessa itse työkappale toimii kuljettimena. Tällaisia työkappaleita voivat olla esimerkiksi palkit, joiden uumaan saadaan kuljetin kiinni. (Haula 2008, 5.)

### **3.2 Jauhekaarihitsaus**

Jauhekaarihitsauksessa valokaari palaa työkappaleen ja hitsaus lisäainelangan välillä hitsausjauheen sisällä. Hitsausjauhe suojaa hitsin ympäröivältä hapelta. Osa hitsausjauheesta sulaa hitsin päälle muodostaen kuonakerroksen ja osa jää irtonaiseksi jauheeksi, joka voidaan taltioida ja käyttää uudelleen. Jauhekaarihitsauksessa lisäaine siirtyy perusaineeseen pieninä tai suurina pisaroina ilman oikosulkua. Hitsaustapahtuman aikana jauhetta syötetään jauhesäiliöstä hitsaus lisäainelangan eteen tai tasaisesti sen ympärille. (Lukkari 1997, 121–122.)

Jauhekaarihitsausta monesti erehdytään kutsumaan automatisoiduksi hitsaukseksi, koska hitsaus etenee automaattisesti. Kuitenkin jauhekaarihitsaus on mekanisoitua koneellista hitsausta. Jauhekaarihitsauksessa työliike on aina koneellinen ja sen voi suorittaa joko hitsauslaite tai työkappale. Hitsauslaitteen

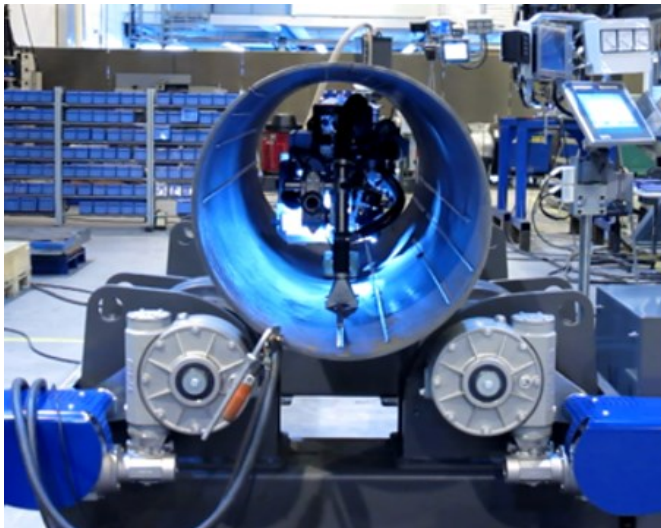
ollessa paikallaan saadaan työliike tehtyä esimerkiksi: pyörityspöydällä, pyöritysrullastolla tai vastapöytäparilla. (Lukkari 1997, 121.)

### 3.3 Hitsausautomaatti

Kun hitsausta raskas mekanisoidaan, laitteistoon liittyy aina automatiikkaa. Hitsausautomaatit ovat suuria kokonaisuuksia ja vievät paljon tilaa tuotantotiloista. Automatiikan avulla hitsauksen raskaassa mekanisoinnissa saadaan hitsauksen laatu erittäin korkealle. Automaatikan avulla putkistojen hitsaukseen kuluva tahtiaikaa pystytään alentamaan, joka puolestaan mahdollistaa tuotantokapasiteetin noston. Hitsausautomaateilla pystytään hitsaamaan putkistoja ja niiden osia eri käyttötarkoituksiin, kuten:

- Rakenteelliset putkistot
- Nesteiden-, höyryjen ja painelaitteiden putkistot
- Laippa- ja supistusliitokset.

Rakenteellisten putkistojen (kuva 14) valmistuksessa yleensä hitsaussuunta on pitkittäinen ja hitsauspituudet voivat olla useita metrejä. Tällainen rakenne voi olla esimerkiksi levystä taivutettu putken muoto, jonka pinnat täytyy liittää hitsaamalla. (Pemamek 2016.)



Kuva 14. Rakenteellisen putken sisäpinnan hitsausta (Pemamek 2016)

Painelaitteita käytetään useilla teollisuudensektoreilla, kotitalouksissa sekä työpaikoilla. Painelaitteita ovat esimerkiksi: kuumavesi- ja höyrykattilat, painesäiliöt sekä putkistot (kuva 15). Suomessa painelaitteiden valmistusta,

suunnittelua ja tarkastusta säädetään painelaitelilla. Tavoite tällä lailla on taata turvallinen painelaite sen koko elinkaaren ajaksi. (Tukes 2023.)



Kuva 15. Painelaiteosan hitsi valmistettu TIG- ja MAG yhdistelmä hitsauksella (Kuva: Joni Kräkin)

Laippa- ja supistusliitokset ovat helposti toteutettavissa hitsausautomaatilla. Teollisuudensektoreilla laippa- ja supistusliitokset putkistoihin voivat olla suuria, jopa 530 millimetriä halkaisijaltaan sekä putkisto pituudeltaan yli 24 metriä. (Pemamek 2016.)



Kuva 16. Sumitomon konepajalla valmistettu painelaiteosan supistajan hitsi (Kuva: Joni Kräkin)

Hitsausautomaatilla on mahdollista hitsata useita eri putkikokoja, materiaaleja, pituuksia ja painoja. Hitsausprosessit automaateissa on TIG-prosessi (kuva 17), MIG/MAG-prosessi tai jauhekaariprosessi. Hitsausprosessin valintaan vaikuttaa tuotteiden ainevahvuudet, hitsattavat materiaalit sekä tuotteen geometria. Hitsausautomaateissa yleensä hitsauspoltin pysyy paikallaan ja hitsattava putki pyörii kehänsä ympäri. Putken pyöriessä hitsausasento pysyy samana koko hitsaustapahtuman ajan. (Pemamek 2016.)



Kuva 17. Pemamekin hitsausautomaatin TIG-hitsauspoltin (Pemamek 2016)

Automaatteihin sisältyy muutakin, kuin itse hitsauspoltin. Automaatit ovat monesti varusteltuja putkiradoilla, sahoilla, putken viisteytyskoneilla, sekä erilaisilla hionta pisteillä. Nämä kaikki toiminnot ovat automatisoitavissa, jolloin hitsausautomaatti onkin sekoitus raskaasti mekanisoitua hitsausta, sekä automaatiota. (Pemamek 2016.)

### 3.4 TIG-hitsauksen orbitaalitekniikka

Mekanisoitaessa TIG-hitsausta puhutaan orbitaalihitsaustekniikasta, jolla saadaan hitsauksen aikana tehtävä kuljetusliike mahdollisemman tasaiseksi. Tässä tekniikassa putki pysyy paikallaan ja TIG-hitsauspoltin kulkee putken kehää ympäri. Käyttökohteita orbitaalihitsaustekniikalle on: putkien

päittäisliitokset, ohuiden materiaalien liitokset, paksumpi seinämäisten putkien pohjapalot sekä putki- ja levyliitokset. (Lepola&Makkonen 2005, 193.)

Orbitaalihitsaustekniikassa hitsin pintapalko saadaan liittymään perusaineeseen erittäin juoheasti ja putken sisälle jäävä juuripalko saadaan melkein huomaamattomaksi. Virtauksen alaisissa putkistoissa tästä on huomattavaa hyötyä, jolloin juuripalko ei aiheuta suuria pyörteitä putken sisällä. (Lepola&Makkonen 2005, 193.)

TIG-hitsauksen orbitaalitekniikassa avainasemassa hitsin onnistumiselle on railon valmistaminen. Orbitaalitekniikka vaatii koneellisen viisteytyksen, koska hitsauksen railotoleranssit ovat huomattavasti tarkempia kuin käsihitsauksessa. Orbitaalihitsauksen railotoleranssien tarkkuudet ovat  $\pm 0,2$  millimetriä. (Polysoude 2009.)

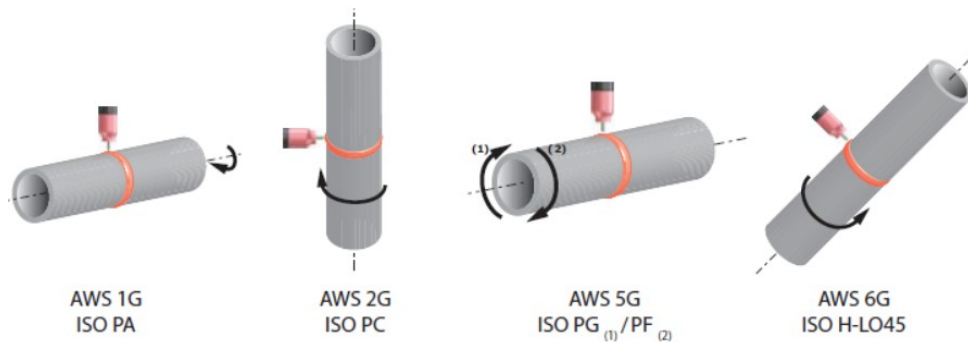
Putken seinämän kasvaessa siirrytään yleensä kapearailohitsaukseen (kuva 18). Kapearailotekniikassa viistekulmat voivat olla 2–6 astetta. Kapearailotekniikan etuja ovatkin, pienirailotilavuus, jolloin lisäaineen kulutus ja hitsaus aika pienenee sekä lämmöntuonti alentuu. (Lepola&Makkonen 2005, 194.)



Kuva 18. Kuvassa vasemmalla perinteisellä railokulmalla oleva viiste ja oikealla kapearailotekniikassa käytettävä viiste (Polysoude 2009)

Orbitaalihitsaustekniikassa poltinpään kulkiessa putken kehän ympäri muuttuu samalla hitsausasento pois lukien hitsausasennot PC sekä PA (kuva 19). Hitsausasennon muuttumisen sekä hitsisulan hallitsemisen vuoksi TIG-hitsausorbitaalitekniikassa hitsausvirran pulssittaminen on suositeltavaa.

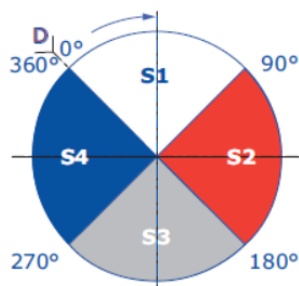
Hitsausvirran pulssittamiseksi tarvitsee TIG-orbitaalitekniikka virtalähteen, joka on ohjelmoitavissa. (Polysoude 2009)



Kuva 19. Putkien päittäisliitoksien hitsausasennot (Fronius 2010, 14)

Jotta putkien päittäisliitokset saadaan hitsattua onnistuneesti, tulee putki jakaa sektoreihin virtalähteen ohjelmointia varten. Kuvassa 20 esitetyt sektorit kuvaavat kaikki hitsausasennot, jotka orbitaalihitsauspää kulkee läpi hitsauksen aikana (Hitsausasentona PG tai PF). Sektori S1 kuvaa asentoa PA, sektori S2 kuvaa asentoa PG, sektori S3 kuvaa asentoa PE sekä sektori S4 kuvaa asentoa PF. (Fronius 2010, 15.)

- PA=Jalkoasento
- PG=Pystyasento ylhäältä alaspäin
- PE=Lakiasento
- PF=Pystyasento ylöspäin



Kuva 20. Putkien sektorit orbitaalihitsauksessa (Fronius 2010, 15)

Virtalähdettä ohjelmoitaessa otetaan sektorit huomioon yksilöinä, joille asetetaan omat hitsausparametrit. Ohjelma muuttaa hitsausparametrejä hitsauksen aikana, kun orbitaalihitsauspää kiertää putken kehää ympäri ja siirtyy sektorilta toiselle. Ohjelmointi sekä sektorointi on välttämätöntä

onnistuneelle hitsille. Ohjelmoinnilla hallitaan hitsisulaa ja pyritään kumoamaan painonvoiman aiheuttamia ongelmia hitsauksen aikana. (Fronius 2010, 14–15.)

### 3.5 Orbitaalihitsauspäät

TIG-orbitaalihitsauspäitä kutsutaan pihdeiksi (Lepola, Makkonen 2005, 194) ja hitsauspäät voidaan jakaa kahteen ryhmään: avonaiset ja umpinaiset hitsauspäät. Umpinaisessa orbitaalihitsauksessa voidaan hitsata vain yksi palkokerros, koska umpinaiseen hitsauspäähän (kuva 21) ei ole hitsauslisäainelanka mahdollisuutta. Hitsauslisäainelangan puutteen vuoksi umpinaiset hitsauspäät soveltuvat ainoastaan ohutseinämäisten putkien hitsaukseen. (Ami 2023.)



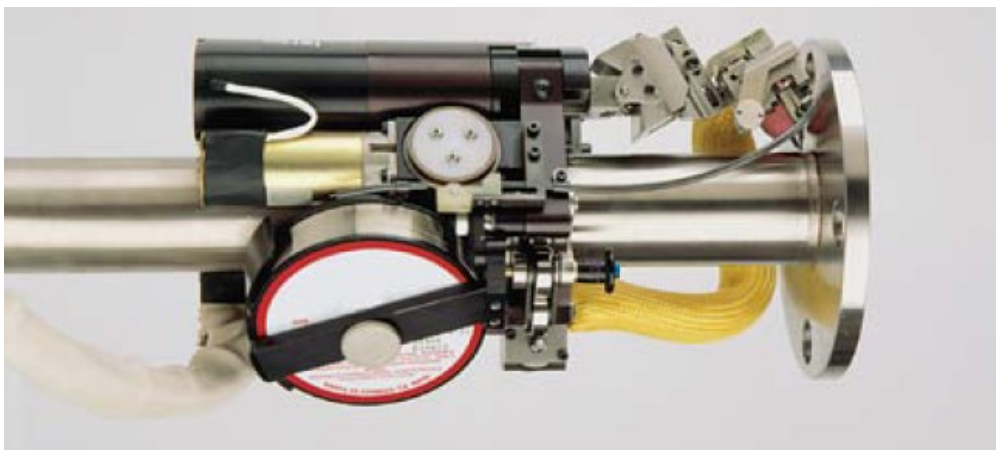
Kuva 21. Froniuksen valmistamia umpinaisia orbitaalihitsauspäitä (Fronius 2023)

TIG-orbitaalihitsauksessa, jossa käytetään umpinaista hitsauspäätä valokaari palaa suljetussa tilassa. Umpinaisen hitsauspään käyttämisen tuloksena saadaan erittäin puhdas ja hapettumaton hitsi. Umpinaisella pihdillä pystytään hitsaamaan putkikokoja 6 millimetristä aina 168 millimetriin seinämävahvuuksien ollessa 0,5 mm–3 mm. (Polysoude 2009.)

Umpinaisia pihtejä käytetään hyvin paljon ruoka-, lääke ja kemianteollisuudessa puhtautensa vuoksi. Valokaari sekä hitsi ovat hapelta suljetussa tilassa koko

hitsausprosessin ajan, jolloin hitsin epäpuhtauteen vaikuttavia tekijöitä pystytään eliminoimaan pois. (Ami 2023.)

Avonaisia orbitaalihitsauspäitä on kahdenlaisia: kiskoilla kulkevia (kuva 22) sekä pihtimallisia. Pihti, sekä kiskoilla kulkevassa hitsauspäässä, hitsaustapahtuma suojataan hapelta kaasusuuttimen avulla, joka on hyvin samanlainen perinteiseen TIG-hitsaus kaasusuuttimeen verrattuna. Kuitenkin avonaisessa orbitaalihitsauksessa valmistettu hitsi altistuu hapelle, kun hitsauspää ylittää kaasusuuttimen tuoman argonsuojan prosessin aikana. (polysoude 2009.)



Kuva 22. Magnatechin valmistama kiskolla ja lisäainelangan syötöllä varustettu orbitaalihitsauspää (D-HEAD 2023)

Etuna avonaisessa orbitaalihitsauspäässä on operaattorin mahdollisuus tarkkailla valokaarta sekä hitsisulaa. Lisäainelanka syötöllä varustetut orbitaalihitsauspäät on monesti mahdollista ohjelmoida tekemään sivuttaissuuntaista liikettä hitsausprosessin aikana. Sivuttaissuuntaisessa liikkeessä valokaari levittää hitsi sulaa putken viisteeltä toiselle tätä liikettä kutsutaan vaaputukseksi. (Polysoude 2009)

## 4 Investoinnin luokitukset sekä takaisinmaksu

### 4.1 Investointi

Yrityksen investointeja kuvataan rahankäytöllä, jolla on aikaulottuvuutta. Aikaulottuvuudella odotetaan tuloja pidemmällä aikavälillä. Reaali-investoinnissa yritys sijoittaa rahaa esimerkiksi tehtaan rakennukseen, toimipaikan laajennukseen, koneen/laitteen ostamiseen tai tutkimustyöhön uuden tuotteen kehittämiseen. (Havu 2023.)

Reaali-investoinnissa yritys sijoittaa rahaa menona tuotannontekijöihin saadakseen tuloja. Investoinnissa yritys luo puitteita toiminnalle pitkällä aikavälillä, kasvattaa kapasiteettia, korvaa tai lisää reaali-pääomaa. Investoinnilla on myös vaikutusta kansantalouteen, sillä investointi kasvattaa taloudellista kasvua, säilyttää vanhoja työpaikkoja sekä nostaa yrityksen tuottavuutta.

Investointipäätöksen tekeminen on yritykselle toiminnan kannalta strategisesti erittäin merkittävä. Investoinnissa yrityksen tulee selvittää kattavasti investoinnin kannattavuus sekä rahoitus. (Havu 2023.)

Investointeja voidaan luokitella yrityksessä niiden tuotto- ja kiireellisyyksivaatimusten perusteella kuten:

- strategiset investoinnit
- tuottavuusinvestoinnit
- pakolliset investoinnit
- välttämättömyys investoinnit
- laajennus investoinnit

Strategiset investoinnit ovat pitkän ajanjakson toimintalinjoja esimerkiksi tuotekehitystä. Tuottavuusinvestoinnissa yritys voi sijoittaa rahaa kilpailukykyä parantaviin koneisiin ja laitteisiin, jotka lisäävät tuottavuutta ja vähentävät kustannuksia.

Pakollisissa investoinneissa yritys joutuu sijoittamaan rahaa johonkin kohteeseen lakien, asetusten tai viranomais määräyksiensä vuoksi. Välttämättömyys investoinnit ovat esimerkiksi koneiden korjauksia ja ylläpidon kannalta välttämättömiä investointeja. Laajennus investoinnit ovat yrityksen toiminnan merkittävä laajentamiseen liittyvä investointi, kuten yritysosto. (Havu 2023.)

#### **4.2 Takaisinmaksu ja investointilaskelma menetelmät**

Takaisinmaksuajan menetelmässä lasketaan, missä ajassa investointi on kattanut nettotuotoillaan perushankintakustannukset. Mikäli tässä menetelmässä ei oteta huomioon laskentakorkoa ja vuotuinen nettotuotto olisi vakio takaisinmaksuaika lasketaan seuraavasti: hankintameno jaettuna vuotuisella nettotuotolla. Mikäli vuotuinen nettotuotto ei ole vakio, tulee yrityksen selvittää, kuinka monen vuoden nettotuotot tulisi laskea yhteen, jotta perushankintamenon suuruinen summa olisi kerrytetty. Investoinnit, jossa pääoma kertyy takaisin nopeasti, on takaisinmaksuajan menetelmällä edullisinta suorittaa. (Neilimo&Uusi-rauva 2022, 223.)

Tässä opinnäytetyössä investoinnin kannattavuutta tarkastellaan tällä menetelmällä.

Nykyarvomenetelmässä kaikki investointiin liittyvät tuotot sekä kustannukset diskontataan valitulla laskentakorkokannalla silloiseen nykyhetkeen. Investointi voidaan katsoa kannattavaksi, jos nykyarvojen laskennallinen tulos on positiivinen. Tässä tilanteessa, investoinnissa syntyvät perushankinta kustannukset ovat alhaisemmat, kuin investoinnissa syntyvien nettotuottojen nykyarvo. (Neilimo&Uusi-rauva 2022, 218.)

Annuiteettimenetelmässä laskenta on käänteinen nykyarvomenetelmään verrattuna. Annuiteetilaskelmassa investoinnin hankintameno on jaettu pitoaikaa vastaavaksi vuosiksi, pääomakustannuksiksi eli annuiteeteiksi. Annuiteetit koostuvat laskentakorkokannan korkokustannuksista sekä poistoista. Investointi on taloudellisesti kannattava, kun pääomakustannukset eli

annuiteetit ovat pienempiä tai yhtä suuria, kuin vuotuiset nettotuotot.  
(Neilimo&Uusi-rauva 2022, 220.)

Sisäisen korkonannan menetelmässä sisäinen korkokanta on laskettuna investoinnin nykyarvon ollessa nolla. Tässä menetelmässä, laskentakorkokantaa käyttäessä investoinnista kertyvien nettotuottojen nykyarvo on yhtä suuri kuin investoinnin perushankintameno. Tässä menetelmässä investointia voidaan pitää kannattavana, kun sisäinen korkokanta on tavoitteeksi asetetun pääoma tuotto-prosentin suuruinen.  
(Neilimo&Uusi-rauva 2022, 221.)

## **5 Hitsaus ja tarkastus**

Toimeksiantajalla on lähes jokaisessa tuotteessa hitsattavaa kokoonpano työtä. Hitsaaminen painelaitetuotannossa on yksi kriittisimmistä kokoonpano vaiheista. Kokoonpanotyössä hitsaajan ammatillinen pätevyys nousee suureen rooliin hitsin vaativuuden ja onnistumisen kannalta. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan putkien päittäisliitoksia, niiden valmistusta ja hitsausta. Opinnäytetyössä käsitellään TIG-orbitaalien sekä hitsausautomaatin mahdollisia käyttökohteita tuotannossa.

Tällä hetkellä kaikki putkien päittäisliitokset suoritetaan kokonaan käsi hitsauksella TIG-prosessilla tai yhdistelmä TIG- ja puikko hitsauksella. Käsin hitsauksessa kaariajat ovat alhaisia, mutta hitsaaja pystyy koko ajan tekemään railoseurantaa ja kontrolloimaan sulaa sekä hitsauslisäaineen tuottoa. Toimeksiantaja yrityksessä yleisimmät putkien seinämä vahvuudet alkavat 3 millimetristä ja kasvavat aina 30 millimetriin saakka.

Toimeksiantaja yrityksessä hitsauksen laatua tarkkaillaan jatkuvasti. Hitsauksen laatua tarkkaillaan mm. hitsaajien pätevyyskokeilla, menetelmäkokeilla, hitsausohjeilla, NDT-tarkastuksilla sekä toimihenkilöiden puolesta silmämääräisesti. Hitsauksen laatuun vaikuttavia tekijöitä useita, mutta suurin laatuun vaikuttava tekijä on itse hitsaaja. Toimeksiantajan tuotteissa on

määrätyt NDT-tarkastusmenetelmät ja niiden prosentuaalinen osuus hitsistä. NDT-tarkastuksia, joita suoritetaan toimeksiantajalla:

- MT: magneettijauhetarkastus
- PT: tunkeumanestetarkastus
- UT: ultraäänitarkastus
- RT: radiograafinentarkastus
- VT: visuaalinentarkastus.

Putkien päittäisliitoksille voidaan suorittaa jokainen tarkastusmenetelmä, mutta yleensä päittäishitsin tarkastetaan radiograafisesti tai ultraäänitarkastuksella sekä magneettijauhetarkastuksella. Toimeksiantajan tuotteille laaditaan hitsaus- ja tarkastussuunnitelma. Hitsaus- ja tarkastussuunnitelmassa on määriteltä hitsin tarkastusprosentit. Yleensä tarkastusprosentti on 10 %, 20 % tai 100 %.

Käsi hitsauksessa viisteiden koneistaminen suoritetaan käsi viistekoneella, jolla päästään tarpeeksi tarkkoihin railotoleransseihin. Toimeksiantajan paineilma toimisilla viistekoneilla (kuva 23) pysytään koneistamaan monen tyyppisiä viisteitä. Oikean viistetyypin valmistamiseen vaikuttavia tekijöitä: putken materiaali, putken seinämän vahvuus sekä putken hitsausliitokseen valittu hitsausprosessi. Yleisin viistetyyppi, johon toimeksiantaja yrityksessä hitsataan putkien päittäisliitokset, on perinteinen V-viistetyyppi (kuva 19).



Kuva 23. Paineilma käyttöisen käsi viistekoneen koneistama V-viiste 37,5° railokulmalla (Kuva: Joni Kräkin)

Kuitenkaan toimeksiantajan paineilmatoimisilla käsi viistekoneilla ei päästä tarpeeksi tarkkoihin railotoleransseihin, jotta niitä voitaisiin hyödyntää orbitaalihitsauksen vaatimassa railotyypissä. Tämä johtuu käsiviisteytys koneen kiinnitys tavasta, jossa kiinnityspakka pääsee liikkumaan ja joustamaan koneistuksen aikana. TIG-orbitaalihitsauksessa railotoleranssit ovat  $\pm 0,2$  millimetriä. Investointia laskiessa tulee siis ottaa huomioon, että toimeksiantajan tulee myös investoida TIG-orbitaalihitsaukseen tarkoitettuun putken viisteytys koneeseen sekä tarkkuus putkisahaan.

## 5.1 Magnatechin laitteisto

Opinnäytetyön aikana yksi TIG-orbitaalin ja siihen kuuluvan laitteiston valmistaja on noussut parhaaksi vaihtoehdoksi. Magnatechin D-HEAD TIG-orbitaali laitteisto omaa markkinoiden alhaisimman radiaalisen tilatarpeen. Magnatechin TIG-laitteiston radiaalinen tilatarve on vakio varustuksella 64 millimetriä (kuva 27). Magnatechin TIG-orbitaali laitteistoon on asennettavissa matalaprofiilinen lisäainelangan kelasarja, jolloin radiaalinen tilatarve alentuu 50 millimetriin.

Dimensions/weights	
<b>Weight</b>	3.6 kg (8 lbs.)
<b>Axial Clearance</b>	Torch C/L to Rear Extremity: 220 mm (8.51")
	Torch C/L to Front Extremity: 10 mm (0.41")
<b>"A" Radial Clearance Requirement for Pipe</b>	64 mm (2.5") with Standard Spool*
	51 mm (2.0") with Low Profile Spool*
	<b>44.45mm (1.75") and larger</b>

Kuva 27. Magnatechin valmistaman D-HEAD TIG-orbitaali laitteiston mittoja (D-HEAD 2023)

Magnatechin D-HEAD TIG-orbitaali laitteisto on suunniteltu voimalaitoksien putkistojen sekä osien hitsaukseen. Magnatechin toimittama Pipemaster

virtalähde tarjoaisi tarvittavat ominaisuudet toimeksiantajan tuotannolliseen hitsaukseen. Toimeksiantajan virtalähteen vaatimuksia on:

- Hitsausvirran pulssitus
- Putken sektorikohtaisten hitsausparametrien hienosäätö
- Tarpeeksi korkea hitsausvirran huippu
- Hitsausparametrien dokumentointi.

Laitetoimittajan antamista tiedoista käy ilmi, että TIG-orbitaali lisäainelangan paksuudet ovat huomattavasti pienempiä, kuin TIG-hitsausprosessin käsi hitsatessa käytettävät lisäainelangat. Lisäainelangan halkaisija voi olla 0,8–1 millimetriä. Käsin hitsatessa TIG-prosessi lisäainelangan halkaisija on 2,4–3 millimetriä. Lisäainelangan halkaisijan vuoksi TIG-orbitaali hitsausprosessissa lisäainelangan tuotto on alhaisempaa, kuin käsin hitsatessa. Tämän takia TIG-orbitaali hitsausprosessi vaatii tietyn ainevahvuuden ylittyessä useamman hitsauspalko kerroksen, kuin käsin hitsatessa.

## **5.2 TIG-Orbitaalin käyttörajoitukset tuotannossa**

Heti toimeksiannon alettua TIG-orbitaalin käyttökohteita aloitettiin kartoittamaan. Toimeksiantajalla on useasti valmistuksessa ja kokoonpanossa useampia projekteja samanaikaisesti. Toimeksiantajalla ei ole yksittäistä tuotetta, jota se valmistaa. Vaikka yrityksellä ei ole omaa yksittäistä tuotetta, hyödynnetään tuotannossa aina samoja valmistusprosesseja.

Valmistusprosessin sekä tuotteiden geometrioiden tuomien haasteiden vuoksi, TIG-orbitaalille oli mietittävä heti toimeksiannon alussa tuotannollisesti järkevin sijoituskohde. Sumitomo SHI FW valmistaa monentyypisiä voimalaitoksen osia, joissa on useasti paljonkin putkien päittäisliitos hitsejä. Putkien päittäisliitokset ovat yksi yleisimpiä TIG-orbitaalihitsauksen käyttökohteita. Kuvassa 24 esitetty voimalaitoskattilan osasta, jossa TIG-orbitaalin käyttö putkien päittäisliitoksien hitsauksessa on mahdotonta orbitaalin vaatiman tilatarpeen vuoksi.



Kuva 24. Voimalaitoskattilan osa, jossa putkien päittäisliitokset valmistettu käsin hitsaamalla (Kuva: Joni Kräkin)

Toimeksiannon alussa oli jo selvää, ettei TIG-orbitaalia pystyttäisi hyödyntämään, kuin tietyssä valmistusprosessin vaiheessa. TIG-orbitaalin vaatiman tilatarpeen vuoksi sen käyttö valmistuksessa painottuisi tietyn valmistusprosessin alkupäähän sekä tietyn voimalaitoskattilan osan valmistukseen.

### 5.3 TIG-orbitaalin käyttökohte ja sijoitus tuotannossa

Toimeksiannon alussa TIG-orbitaalin sijoitus ja käyttökohteelle oli monia ideoita. Kuitenkin TIG-orbitaalin vaatiman tilatarpeen vuoksi vain yksi sijoitus kohde tuotannossa olisi järkevä ja mahdollisesti toteutettavissa. Ainoa mahdollinen sijoituskohte tulisi olemaan CNC-putkentaivutus koneella (kuva 25).

Orbitaalia voitaisiin hyödyntää putkien jatkohitsauksessa ennen putken taivutuksia, jolloin kokoonpano työstä jäisi putkien päittäisliitoksia pois. Hyötynä tästä olisi myös mahdollisuus valmistaa pidempiä taivutussarjoja, joka mahdollisesti nopeuttaisi taivutettavien osien tahtiaikaa.



Kuva 25. Toimeksiantajan CNC-putkentaivutus kone (Kuva: Joni Kräkin)

Orbitaalin toinen mahdollinen käyttökohde olisi taivutussarjojen jatkohitsauksessa kokoonpano työssä. Markkinoilla olevan Magnatechin valmistama TIG-orbitaali laitteisto on suunniteltu painelaitteiden hitsaukseen. Tässä versiossa radiaalinen tilatarve on minimissään 50 millimetriä, ja sillä pystyisi hitsaamaan jo taivutetut putkisarjat. Kuvassa 26 esitetty CNC-putkentaivutus koneella valmistettu putkisarja, jossa olisi mahdollista hyödyntää TIG-orbitaalihitsausta Magnatechin laitteistolla.



Kuva 26. CNC-taivutuskoneella valmistettu putkisarja (Kuva: Joni Kräkin)

Toimeksiantaja yrityksen olisi mahdollista hyödyntää TIG-orbitaalilaitteistoa, jokaisessa taivutetussa putkisarjassa, jossa putkien kiertojen väliin jäävä tila on vähintään 50 millimetriä. Putkisarjan väliin jäävä tila lasketaan kaavan 1 mukaisesti:

$$\text{kierronjako} - \text{putkenhalkaisija} = x \quad (1)$$

Putkisarjan kierronjaolla tarkoitetaan taivutetun putken keskiakselista mitattavaa matkaa viereisen putken keskiakseliin. Toimeksiantajan valmistavissa putkisarjoissa ei ole vakiojakoa ja se voi vaihdella hyvinkin paljon.

Putkisarjoissa on myös mahdollista olla useampia jakoja, riippuen asiakkaan tilaamista tuotteista. Kuitenkin monissa eri projekteissa, joissa on taivutettavia putkisarjoja, olisi mahdollista hyödyntää TIG-orbitaalia.

#### 5.4 TIG-orbitaalin takaisinmaksu

Investointiin lähtiessä tulee toimeksiantajan arvioida investoinnin kannattavuutta ja takaisinmaksua. Investoinnin kannattavuudessa arvioidaan investoitavan tuotteen ominaisuuksia ja tämän kautta tulevia hyötyjä. Hyötyjä listataan Excel-  
taulukkaan ja niille lasketaan tai arvioidaan rahallinen arvo. Hyötyjen listaamisen kautta toimeksiantaja saa selville onko investoinnilla tuotannollista parannusta yritykselle. Tuotannollisista parannuksista toimeksiantaja saa säästöjä tai parantaa tuottavuutta, jolloin tuotteilla on korkeampi kate tai kapasiteetti tuotannossa kasvaa.

Takaisinmaksussa otetaan huomioon investoinnin kustannukset. Investoinnin kustannukset listataan samaan Excel-taulukkaan, jossa tuotteen ominaisuudet ovat listattu. Investoinnin kustannuksien ollessa selvillä niitä verrataan ominaisuuksien kautta tuleviin rahallisiin hyötyihin. Vertauksen tuloksena saadaan investoinnin takaisinmaksuaika.

Takaisinsinmaksuaikaa laskiessa TIG-orbitaalin tuoma tuotannollinen parannus on sen hitsausnopeus. Toimeksiantaja yrityksellä ei ole laadullista ongelmaa putkien päittäisliitoksissa. Koska toimeksiantajalla ei ole laadullista ongelmaa

päittäisliitoksien osalta, TIG-orbitaalien hitsaus nopeus on ainoa mahdollinen etu käsihitsaukseen verrattuna. TIG-orbitaalien hitsaus nopeus on laitetoimittajan ilmoittama ja tätä nopeutta verrataan käsihitsaukseen.

## 6 Hitsausautomaatti

Yksi hitsaavaa tuotantoa tehostava laitteisto on hitsausautomaatti.

Hitsausautomaatissa on mukana automatiikkaa, mutta itse hitsaus tapahtuma on raskaasti mekanisoitua hitsausta.

Hitsausautomaatin etuja:

- putkiradat
- putkien viisteiden koneistus
- raskaasti mekanisoitu hitsauspiste
- hitsin hiontapiste
- alhainen materiaalin hukkaprosentti
- nopea tahtiaika.

Automaatikan ansiosta putkiradalle voidaan asettaa eri pituisia putkia ja kertoa koneelle minkä pituisia putkia hitsaamalla halutaan valmistaa. Automaatti osaa mitoittaa putken oikean mittaiseksi ja hitsata sen. Hitsaus tapahtuman jälkeen automaatti ottaa uudet putket, katkaisee seuraavasta putkesta oikean mittaisen aihion ja hitsaus tapahtuma alkaa uudestaan. Tämän kiertokulun ansiosta materiaalin hukka prosentit saadaan erittäin alhaiseksi. Tällaiseen hitsausautomaatin ratkaisuja löytyy useita ja monelta eri valmistajalta. Yhden laitetoimittajan ilmoittama hitsausautomaatin tahtiaika on noin 15 minuuttia.

Tahtiaika sisältää:

- putken sahaus
- putkien viisteiden koneistus
- putkien puhdistus hitsausta varten
- putkien päittäisliitoksen hitsaus
- päittäisliitoksen hitsin hionta.

Hitsausautomaatin haittoina on suuri tilatarve- ja investointi kustannukset. Toimeksiantajalle suuri tilatarve ei ole ongelma, suuren tuotantotilan ansiosta. Investointi on, kuitenkin kustannuksiltaan erittäin suuri. Investoinnin kustannuksien ollessa suuret tulee investoinnista saatavien hyötyjenkin olla suuret.

Suurimmat hyödyt hitsausautomaatista saadaan toimeksiantajalle materiaalin hukkaprosentin alentumisesta ja tahtiajasta. Toimeksiantajalla on tällä hetkellä hukkaprosentti noin 10–15 %. Hukkaprosentin ollessa näin korkea on hukasta koituvat kustannukset suuret. Toimeksiantajan tuotteita valmistetaan useista eri materiaaleista ja yleisin käytetty materiaali on kattilaputki. Kattilaputkien materiaali kustannukset vaihtelevat materiaaleittain. Toinen suuri hyöty, joka hitsausautomaatista voidaan saada, on tahtiajan nopeutuminen.

## **7 Opinnäytetyön tulokset**

### **7.1 TIG-orbitaalin ja käsi hitsauksen testi**

Käsi hitsauksen testi suoritettiin konepajaympäristössä ja hitsaajana toimi kokenut hitsari. Kokenut hitsaaja valittiin testiin, jotta testin tulos kuvaa mahdollisimman tarkasti putkikoon todellista hitsausaikaa. Testissä hitsattiin yksi putken päittäisliitos. Putken päittäisliitos hitsattiin TIG-prosessilla ja putkikoko testissä oli 31 millimetriä x 4 millimetriä. Testi hitsattiin PG asennossa.

Testistä saatuja kaariaikoja verrataan laitetoimittajan antamiin hitsausnopeuksiin, josta saa laskettua kaariajan ennalta määrätulle putkikoolle. Tuloksena tästä saadaan vertailu kelpoiset arvot siitä, olisiko TIG-orbitaali tuotannossa nopeampi ja tehokkaampi verrattuna käsihitsaukseen. Käsihitsauksen tulokset ja hitsausparametrit:

- Hitsaus virta 120 ampeeria
- Kaasunvirtaus 10 l/min
- 1. Palkokerroksen kaariaika: 122 sekuntia

- 2. Palkokerroksen kaariaika: 143 sekuntia
- Kaariaika yhteensä: 265 sekuntia.

Magnatech D-HEAD laitetoimittajan mukaan TIG-orbitaalien hitsausnopeus on 60 millimetriä minuutissa. Putken halkaisijan ollessa 31 millimetriä tulee kehän pituudeksi kaavan 2 mukaan 97,3 millimetriä. Testissä hitsatun putken seinämän vahvuus oli 4 millimetriä. Laitetoimittajan mukaan D-HEAD pystyy hitsaamaan ensimmäisellä palkokerroksella 1,6 millimetriä ja sen jälkeen maksimi palko kerroksen korkeus on 2 millimetriä. Tälle putkikoolle D-HEAD vaatisi kolme hitsaus palkokerrosta, jotta hitsausraio olisi täysi. Kaariajan TIG-orbitaalille voi laskea kaavan 3 mukaan.

$$\pi * D = C \quad (2)$$

Jossa

D: Putken halkaisija

C: Kehän pituus

$$\frac{\text{hitsausnopeus}}{\text{putkenkehä}} = \text{kaariaika} \quad (3)$$

Yhden palkokerroksen kaariaika D-HEAD:lla olisi tälle putkikoolle 97 sekuntia.

Putken hitsaamisen laskennallinen kokonais- kaariaika olisi:

- 1. Palkokerros: 97sekuntia
- 2. Palkokerros: 97 sekuntia
- 3. Palkokerros: 97 sekuntia
- Kaariaika yhteensä: 291 sekuntia

Kaariajan laskennan jälkeen on selvää, että D-HEAD on hitaampi, kuin käsihitsaus. Laitetoimittajan ilmoittama hitsausnopeus on kuitenkin nopeampi, kuin käsihitsauksessa. TIG-orbitaalien kaariaika on korkeampi, koska orbitaali vaatii yhden hitsaus palkokerroksen enemmän.

Tässä vaiheessa investointilaskelmia ei kannata viedä loppuun, koska TIG-orbitaalista ei saada tuotannollista hyötyä hitsaavaan kokoonpano työhön. Investointi voidaan todeta kannattamattomaksi.

## **7.2 Hitsausautomaatin tahtiaika**

Yhden laitetoimittajan ilmoittama hitsausautomaatin tahti aika on noin 15 minuuttia. Laitetoimittaja on ilmoittanut tämän tahtiajan 16Mo3 44,5 mm x 5 mm putkelle. Tahtiaika sisältää putken sahauksen, hitsaus viisteiden koneistuksen, putken puhdistus hitsausta varten, putken päittäisliitoksen hitsauksen sekä hitsin hionnan. Toimeksiantajayrityksessä putkien päittäisliitokset, jotka olisivat valmistettavissa hitsausautomaatissa, hitsataan käsi hitsauksella putken pyörittäjässä.

## **7.3 Hitsausautomaatin tahtiajan vertaus käsihitsaukseen**

Opinnäytetyöntekijä suoritti testin, joka sisälsi jokaisen valmistuksellisen vaiheen, jotka kuuluvat hitsausautomaatin tahtiaikaan. Testin tulos on käsihitsauksen ja putken valmistukseen kuluva tahtiaika.

Hitsaus- ja valmistustesti suoritettiin konepajaympäristössä putken pyörittäjässä (kuva 28). Tahtiaikaa mitattiin sekuntikellolla ja lopputulos on aika, joka kului kokonaisuudessaan työn suorittamiseen. Alla listattu työkaluja, joita testissä käytettiin.

- Paineilma kulmahiomakone putken katkaisuun
- Paineilma viisteityskone
- Paineilma hiomakone
- TIG-hitsauslaitteisto
- PEMA putkenpyörittäjä.



Kuva 28. Pema putken pyörittäjä, jossa testi hitsattiin (Kuva: Joni Kräkin)

Testin hitsausosuus suoritettiin noudattamalla hitsausohjetta. Testissä otettiin huomioon, että valmistunut hitsi tulee vastata tuotannossa hitsattavia putkenpäittäisliitoksia. Testissä valmistunut hitsi täytyy olla radiograafisesti tarkastettavissa sekä tuloksen tulisi olla hyväksyttävissä. Tahtiajaksi testissä tuli 30 minuuttia ja ajanotto loppui, kun putkenpäittäisliitoksen viimeisen palkokerroksen hitsaus oli valmis (kuva 29). Testissä käytetty putki oli 16Mo3 44,5 mm x 5 mm.



Kuva 29. Valmis putkien päittäisliitos hitsi (Kuva: Joni Kräkin)

Seuraavaksi tahtiaikoja vertaillaan investoinnin takaisinmaksussa, jossa saadaan laskettua hitsausautomaatin tuoma ajallinen sekä rahallinen nettotuotto. Toinen nettosäästö on materiaalin hukan alentuminen, joka vaikuttaa merkittävästi investoinnin takaisinmaksuaikaan.

#### **7.4 Hitsausautomaatin takaisinmaksuaika**

Hitsausautomaatin takaisinmaksuaika määräytyy laitteen tuomista nettotuotoista ja säästöistä. Hitsausautomaatti kykenee alentamaan materiaalin hukkaprosentin realistisesti noin 2 %. Tällä hetkellä toimeksiantajan hukkaprosentti on noin 10 %. Opinnäytetyöntekijä laski vuoden 2022 isoimpien projektien putkimäärät, joissa olisi pystynyt hyödyntämään hitsausautomaattia. Vuoden 2022 suurimmista projekteista, kahdeksassa, olisi pystytty hyödyntämään hitsausautomaattia materiaalihukan alentumisessa. Tämän jälkeen laskettiin hitsausautomaatin tuoma nettosäästö hukkaprosentin alentuessa.

Toimeksiantaja osti vuonna 2022 noin 669 000 eurolla putkea tarkastelun kohteina oleviin projekteihin. Tästä summasta 10 % on 66 900 euroa. Hitsausautomaatilla materiaalin hukkaprosentti saataisiin pudotettua 2 %, jolloin automaatin tuoma nettosäästö vuonna 2022 olisi ollut materiaalihukassa 49 541 euroa (liite 1).

Hitsausautomaatti pystyy alentamaan putkien päittäisliitoksien hitsauksen tahtiaikaa noin 50 %. Tästä syntyy nettosäästöjä toimeksiantajalle hitsausajan alentumisella. Jokaisessa projektissa hinnoitellaan hitsauksesta koituvat kustannukset tuntikohtaisesti. Tuntikohtainen luku pitää sisällään hitsauksesta, palkoista ja huolloista koituvia kuluja. Tätä kautta opinnäytetyöntekijä pääsi laskemaan hitsausautomaatin tuoman nettosäästön hitsausajan alentumisella.

Vuoden 2022 projekteista neljässä olisi ollut mahdollisuus tehokkaasti hyödyntää hitsausautomaattia tuotannollisessa hitsauksessa. Näistä neljästä

projektista, olisi toimeksiantajalle olisi syntynyt nettosäästöjä hitsausajan alentumisesta, yhteensä 29 220 euroa (liite 2).

Yhteenvedona hitsausautomaatti olisi vuoden 2022 aika synnyttänyt toimeksiantajalle nettosäästöjä 2 % materiaalihukalla 49 541 euroa, sekä tahtiajan alentumisesta 29 220 euroa. Yhteensä hitsausautomaatti olisi tuonut toimeksiantajalle vuoden 2022 aikana nettosäästöjä 78 761 euroa.

Takaisinmaksuaika saadaan laskettua kaavan 3 mukaan.

$$\frac{\text{Investoinnin kustannukset}}{\text{nettosäästöt}} = \text{takaisinmaksuaika} \quad (3)$$

Kaavan 3 mukaan hitsausautomaatin, jonka hinta olisi 500 000 euroa, tulisi takaisinmaksuajaksi 6,3 vuotta 78 761 euron nettosäästöillä. Tähän opinnäytetyöhön ei kuitenkaan sisälly itse laitteistonhankinta tai tarjouskyselyt, joten investoinnin hinta voi olla korkeampikin.

## 8 Yhteenvedo

Opinnäytetyöstä toimeksiantaja sai tietoa, minkälainen hitsauksen mekanisointi sopisi parhaiten yritykseen. Työn aikana selvisi, että hitsausautomaatti on paras vaihtoehto. Hitsausautomaatteja on markkinoilla erilaisia ja yleensä ne ovat räätälöityjä yrityksen tarpeisiin. Hitsausautomaatti pitää sisällään automatiikkaa putkien siirtoa, sahausta sekä hitsausviisteiden valmistuksen osalta, mutta itse hitsaus tapahtuma on raskaasti mekanisoitua hitsausta.

Opinnäytetyön lopputuloksesta käy ilmi, että hitsausautomaatti pystyisi tuomaan vuositasolla toimeksiantajalle nettosäästöjä kohtuullisesti. Investointipäätös vaatii vielä lisäselvitystä hitsausautomaatin toimintoihin liittyen, koska automaattit ovat räätälöityjä yrityksen tarpeisiin. Konsepti suunnittelun pohjalta investoinnin todelliset kustannukset alkavat selviämään, jotka vaikuttavat merkittävästi investoinnin takaisinmaksu-aikaan.

## 9 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä tutkimusta hitsaavan tuotannon tehostamisesta mekanisoinnilla. Tässä työssä käytiin läpi kaksi mekanisointivaihtoehtoa.

Opinnäytetyön aikana tutustuin muihinkin hitsausprosessien mekanisointi mahdollisuuksiin. Työnaikana selvisi, että toimeksiantajalle sopisi vain kaksi mekanisointivaihtoehtoa, koska tuotteet eivät ole vakioita. Työntuloksesta on toimeksiantajalle hyötyä tietoperustan ja tuloksien osalta. Tämän opinnäytetyön tuloksesta toimeksiantaja voi tehdä alustavan investointi päätöksen.

Tämä opinnäytetyön tekeminen on ollut erittäin opettavaista ja motivoivaa. Henkilökohtaisesti olen erittäin kiinnostunut hitsausprosesseista, hitsauslaitteistoista sekä hitsaustekniikasta. Opinnäytetyön aikana kohtasin useitakin ongelmia, mutta niiden selvittäminen on vain lisännyt omaa tietotaitoa hitsauksen mekanisointiin sekä investointeihin liittyvissä asioissa. Opinnäytetyön prosessin aikana sain hyvää ohjausta Karelia Ammattikorkeakoulun puolelta Marko Tiaiselta ja Sumitomo SHI FW:n puolesta Jukka Asikaiselta, heille erittäin suuret kiitokset.

## Lähteet

Ami. MIG vs TIG vs Flux core: Choosing orbital welding processes. 2023.

<https://resources.arcmachines.com/mig-vs-tig-vs-flux-core-which-welding-process-should-you-choose-ami/> 15.08.2023.

Binzel-abicor.2023. Abicar: Tehokas pituussuuntainen sauman hitsaus ilman laadun heikkenemistä. 27.08.2023.

<https://www.binzel-abicor.com/FI/fin/tuotteet/hard-automation/abicar-welding-tractors/>

Fronius. 2023. Mechanized orbital welding.

<https://urly.fi/3qbX>18.08.2023.

Fronius International Gmhb. 2010. Orbital welding facts. PDF-asiakirja. 03.8.2023.

Haula, J 2008. Hitsauksen kevyt mekanisoinnilla tehoa tuotantoon  
Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys r.y

Havu, M. 2023. Investointilaskelmat Word-asiakirja.

Karelia ammattikorkeakoulun yritystalouden moodle opiskelumateriaalit. 05.09.2023.

Holamo, O. Päivitetty15.3.2016. Hitsauksen mekanisointi ja automatisointi.  
Kemppi.

[https://shy.fi/LinkClick.aspx?fileticket=E%2FgdWKeTX%2B8%3D&t\\_abid=4849](https://shy.fi/LinkClick.aspx?fileticket=E%2FgdWKeTX%2B8%3D&t_abid=4849). 15.09.2023

Ionix. 2023. Kaarihitsaus.

<https://www.ionix.fi/teknologia/kaarihitsaus/> 05.07.2023.

Kemppi. Päivitetty 2023.Hitsausaapinen.

<https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/20.06.2023>  
20.6.2023

Kemppi. Päivitetty 2023.Robottihitsaus.

<https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/robottihitsaus/>  
21.08.2023.

Lehtimäki, A. 2020. Hitsauksen mekanisointi laitteet. PDF-asiakirja.

Tampere: Omakustannepainos. <https://tuotantovaline-kirjasarja.vmv-palvelut.com/04-hitsauksen-mekanisointilaitteet.html>  
20.07.2023.

Lepola, P Makkonen, M 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet.

Helsinki: WSOY

Linde-gas. Päivitetty 2014. Käytännön ohjeita MIG/MAG-hitsaukseen.

[https://www.linde-gas.fi/fi/images/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20FI\\_tcm634-122347.pdf](https://www.linde-gas.fi/fi/images/AGA%20MIG%20MAG%20Welding%20Brochure%202014%20FI_tcm634-122347.pdf) 09.08.2023.

Luhtio, J. 2016. Tube&Pipe Welding Products. PowerPoint-diat. Pemamek Oy

09.10.2023.

Lukkari, J. 1997. Hitsaus tekniikka perusteet ja kaarihitsaus.

Helsinki: Edita

Magnatech. 2023. D HEAD 420.

[https://www.magnatechllc.com/Brochures/d\\_head-4pg.pdf](https://www.magnatechllc.com/Brochures/d_head-4pg.pdf)

06.08.2023

Neilimo, K, Uusi-rauva, E 2022. Johdon laskentatoimi

Helsinki: Edita

Polysoude. Päivitetty 2009. Orbital welding handbook.

[https://static1.squarespace.com/static/54becf2ae4b09fae314e6e56/t/57a89018c534a5bcfbe978da/1470664738648/Orbital\\_Welding\\_Handbook\\_EN\\_LR.PDF](https://static1.squarespace.com/static/54becf2ae4b09fae314e6e56/t/57a89018c534a5bcfbe978da/1470664738648/Orbital_Welding_Handbook_EN_LR.PDF) 21.08.2023

Sumitomo SHI FW Energia Oy. 2023. Sumitomo SHI FW-intranet.

Vain sisäiseen käyttöön. 12.06.2023

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2023. Painelaitteet.

<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/painelaitteet#9453e0b9>

12.10.2023.

Verho, R. Päivitetty 10.4.2014. Hitsauksen menetelmäkokeet. Kemppi.

<https://shy.fi/LinkClick.aspx?fileticket=blilyeqYIHl%3D&tabid=4782>

02.10.2023.

**Materiaalihukan nettosäästöt**

Vuoden 2022 projektit				
<b>Projekti 1</b>	Materiaali kustannus	10% hukka	2% hukka	Nettosäästö
Projektin 1 materiaali 1	49 465 €	4 946,46 €	989 €	3 957 €
Projektin 1 materiaali 2	13 166 €	1 316,59 €	263 €	1 053 €
<b>Projekti 2</b>				
Projektin 2 materiaali 1	227 258 €	22 726	4 545 €	18 181 €
<b>Projekti 3</b>				
Projektin 3 materiaali 1	28 919 €	2 891,89 €	578,38 €	2 314 €
<b>Projekti 4</b>				
Projektin 4 materiaali 1	77 479 €	7 747,87 €	1 550 €	6 198 €
<b>Projekti 5</b>				
Projektin 5 materiaali 1	35 275 €	3 527,45 €	705 €	2 822 €
<b>Projekti 6</b>				
Projektin 6 materiaali 1	21 890 €	2 189,04 €	438 €	1 751 €
Projektin 6 materiaali 2	29 903 €	2 990,31 €	598 €	2 392 €
Projektin 6 materiaali 3	29 894 €	2 989,36 €	598 €	2 391 €
Projektin 6 materiaali 4	29 894 €	2 989,36 €	598 €	2 391 €
<b>Projekti 7</b>				
Projektin 7 materiaali 1	44 528 €	4 452,80 €	891 €	3 562 €
<b>Projekti 8</b>				
Projektin 8 materiaali 1	6 831 €	683,10 €	137 €	546 €
Projektin 8 materiaali 2	11 385 €	1 138,50 €	228 €	911 €
Projektin 8 materiaali 3	13 378 €	1 337,78 €	268 €	1 070 €
<b>Yhteensä</b>	619 263 €	61 926 €	12 385 €	49 541 €

**Mekanisoidun hitsauksen nettosäästöt**

Vuoden 2022 projektit	
<b>Projekti 1</b>	
Käsin hitsattavat	336
Mekanisoidusti hitsattavat	672
Hitsejä yhteensä	1008
<b>Säästö mekanoisoidulla hitsauksella</b>	<b>15 198 €</b>
<b>Projekti 2</b>	
Käsin hitsattavat	550
Mekanisoidusti hitsattavat	110
Hitsejä yhteensä	660
<b>Säästö mekanoisoidulla hitsauksella</b>	<b>2 714 €</b>
<b>Projekti 3</b>	
Käsin hitsattavat	120
Mekanisoidusti hitsattavat	120
Hitsejä yhteensä	240
<b>Säästö mekanoisoidulla hitsauksella</b>	<b>2 714 €</b>
<b>Projekti 4</b>	
Käsin hitsattavat	380
Mekanisoidusti hitsattavat	380
Hitsejä yhteensä	760
<b>Säästö mekanoisoidulla hitsauksella</b>	<b>8 594 €</b>
<b>Nettosäästöt yhteensä</b>	<b>29 220 €</b>