

# **Robottihitsausaseman kannattavuuden laskeminen**

**Ferroplan Oy**

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

2023

Onni Rantti

## Tiivistelmä

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                     |                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Tekijä<br>Onni Rantti                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Julkaisun laji<br>Opinnäytetyö, AMK | Valmistumisaika<br>2023 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Sivumäärä<br>25                     |                         |
| Työn nimi<br><b>Robottihitsausaseman kannattavuuden laskeminen Ferroplanin tuotantoon</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                         |
| Tutkinto ja koulutusala<br>Insinööri (AMK), Konetekniikan koulutus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                     |                         |
| Toimeksiantajaorganisaatio<br>Ferroplan Oy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                     |                         |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää hitsausrobotti-investoinnin kannattavuutta Ferroplanin tuotantoon.</p> <p>Teoriaosuudessa käsitellään hitsausta, hitsausrobotteja ja ohjelmointia sekä siinä tutustutaan lukijaa opinnäytetyön aiheeseen.</p> <p>Käytännöosuudessa laskettiin hitsauskustannuksia ja sen perusteella investoinnin tuottoa. Laskelmien tarkoituksena oli selvittää paras investointivaihtoehto, tai onko investointi kannattava.</p> <p>Lopputuloksena opinnäytetyössä oli selvitettyinä mahdollisia hitsauskustannuksia robotisoidulla hitsauksella yrityksen tuotannossa. Kustannuslaskennan tarkoituksena on helpottaa yritystä investointi päätöksenteossa.</p> |                                     |                         |
| Asiasanat<br>Hitsausrobotti, Investointi, hitsauskustannukset                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                     |                         |

## Abstract

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                        |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|
| Author                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Type of Publication    | Published |
| Onni Rantti                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Bachelor's thesis, UAS | 2023      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Number of Pages        |           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 25                     |           |
| Title of Publication                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                        |           |
| <b>Calculation of the profitability of a robot welding cell for the ferroplan production</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                        |           |
| Degree, Field of Study                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                        |           |
| Bachelor of Engineering (UAS)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                        |           |
| Organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                        |           |
| Ferroplan Oy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                        |           |
| Abstract                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                        |           |
| <p>The purpose of the thesis was to determine the profitability of the welding robot investment in Ferroplan's production.</p> <p>The theoretical part of the thesis discusses welding, welding robots and programming and introduces the reader to the topic of the thesis.</p> <p>In the practical part, welding costs were calculated, and based on that, the return on investment. The purpose of the calculations is to determine the best investment option, or whether the investment is profitable.</p> <p>As a result of the thesis, possible welding costs with robotic welding in the company's production were investigated. The purpose of cost calculation is to facilitate investment decision-making for the company.</p> |                        |           |
| Keywords                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                        |           |
| Welding robot, Investment, welding costs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                        |           |

## Sisällys

|       |                                                    |    |
|-------|----------------------------------------------------|----|
| 1     | Johdanto.....                                      | 1  |
| 2     | Hitsaus .....                                      | 3  |
| 2.1   | Yleistä hitsauksesta .....                         | 3  |
| 2.2   | Valokaarihitsaus .....                             | 3  |
| 2.3   | MIG/MAG-hitsaus .....                              | 3  |
| 3     | Hitsausrobotti.....                                | 5  |
| 3.1   | Yleistä robottihitsauksesta .....                  | 5  |
| 3.2   | Hitsausrobottisolun komponentit.....               | 5  |
| 3.3   | Robottihitsauksen etuja .....                      | 7  |
| 3.4   | Robottihitsauksen haasteet.....                    | 8  |
| 4     | Ohjelmointi.....                                   | 9  |
| 4.1   | Online-ohjelmointi .....                           | 9  |
| 4.2   | Offline-ohjelmointi .....                          | 9  |
| 5     | Hitsauskustannusten laskenta ja vertailu .....     | 10 |
| 5.1   | Laskennan kuvaus.....                              | 10 |
| 5.1.1 | Hitsausrobottisolu .....                           | 10 |
| 5.1.2 | Hitsausrobottiasema .....                          | 11 |
| 5.2   | Laskennassa käytettävät kaavat .....               | 12 |
| 5.3   | Kustannusten laskenta hitsausrobottisolulle.....   | 13 |
| 5.3.1 | Investoinnin nykyarvo .....                        | 16 |
| 5.3.2 | Investoinnin sisäinen korko.....                   | 19 |
| 5.4   | Kustannusten laskenta hitsausrobottiasemalle ..... | 19 |
| 6     | Yhteenveto ja pohdinta .....                       | 22 |
|       | Lähteet .....                                      | 24 |

Liite 1. Käsinihitsauksen hitsiainemäärän arvo

Liite 2. Käsinihitsauksen hitsiaineen tuotto

## 1 Johdanto

Ferroplanin tuotannossa hitsataan tällä hetkellä vain käsin ja vuodessa siihen on käytetty noin 9000 työtuntia. Nyt yritys on kiinnostunut mahdollisuudesta investoida hitsausrobottiin, siksi heidän toimeksiantonsa on selvittää investoinnin kannattavuutta ja hitsausrobotin sopivuutta yrityksen tuotantoon. Yrityksen kuljettimet räätälöidään asiakaskohtaisesti tarpeeseen sopiviksi, siksi tuotannossa on paljon vaihtelua. Vaihteleva tuotanto ei ole ihanteellinen hitsausrobotille, mutta ohjelmoinnin kehittymisen myötä pientenkin sarjojen hitsaus on usein nopeampaa roboteilla kuin käsin. Robottia voidaan helpoiten hyödyntää yrityksessä vakio-osien hitsauksessa, koska niitä voidaan tuottaa sarjassa ja sarjatuotannossa robotit ovat tehokkaita. Robotti pystyy käsittelemään myös isokokoisia hitsauskokoönpanoja helposti käsittelypöytänsä ansiosta, ja siten se pystyy hitsaamaan saumoja haastavimmissa paikoissa ihmistä paremmin. Siksi esimerkiksi kuljettimien runkojen hitsaus helpottuisi hitsausrobotilla. Hitsausrobotti suoriutuu ihmistä nopeammin ja tarkemmin myös hitsattavista kokoönpanoista, joissa on pitkiä saumoja ja saumoja, joihin tarvitaan paljon lisäainetta. Tämänkaltaisia kokoönpanoja yrityksen tuotannossa ovat esimerkiksi raskaat kuljettimet. Yrityksessä käytetään pääasiassa laserleikattuja osia kokoönpanojen valmistuksessa, mikä on etu robotisoidussa hitsauksessa, koska osat on leikattu tarkasti.

Opinnäytetyössä tutkitaan hitsausrobotti investoinnin kannattavuutta Ferroplan Oy:n tuotantoon. Tutkimuksessa on tarkoitus selvittää käsin- ja robottihitsauksen kustannuksia, sekä investoinnilla mahdollisesti saavutettavia säästöjä ja vertailla hitsausmenetelmä vaihtoehtoja yrityksen tuotannossa. Tavoitteena on selvittää kannattaako Ferroplan Oy:n siirtyä robotisoituun hitsaukseen, ja onko kannattavampaa investoida suurempaan hitsaussoluun vai pienempään hitsausasemaan. Tutkimuksessa pyritään myös analysoimaan hitsausrobotti investoinnin muitakin hyötyjä ja käsittelemään niiden vaikutusta yrityksen tuotantoon. Hitsausrobotti investoinnin motiivina ei usein ole pelkästään kappaleiden tuotantokustannusten alentaminen, koska robotit tuovat tuotannossa paljon vaikeasti rahassa mitattavia hyötyjä.

Opinnäytetyö rajautuu niin, että siinä ei lasketa roboitisoidun hitsauksen ohjelmoinnista aiheutuvan työn kustannuksia. Ohjelmointi voi onnistua operaattorilta robottihitsauksen lomassa, tai vaatia toisenkin työntekijän työpanosta. Ohjelmoinnin työkuormaa on haastavaa arvioida ennen tuotantoajoja. Kustannuslaskelmissa ei ole laskettu robotisoidusta hitsauksesta aiheutuvia sähkökustannuksia, koska niillä ei ole kovin suurta vaikutusta hitsauskustannuksiin. Myöskään hitsausrobotin tuotantotilasta viemän pinta-alan arvoa tai vaikutusta tuotannon toimintaan ei arvioida.

Ferroplan Oy on vuonna 1983 perustettu yritys. Se suunnittelee ja valmistaa kuljetinratkaisuja kappale- ja massatavaran käsittelyyn. Yrityksellä on asiakkaita myös Suomen ulkopuolella. Yrityksellä on kuljettimien lisäksi ratkaisuja kiinteän jätteen käsittelyyn, ja se tarjoaa myös huolto- ja varaosapalvelua. Yritys toimii Orimattilassa, ja sillä on komponentteja valmistava yksikkö Latviassa. (Ferroplan Oy.)

## 2 Hitsaus

### 2.1 Yleistä hitsauksesta

Hitsaus on osien liittämistä toisiinsa siten, että osista tulee yksi kiinteä osa. Osien liittämiseen käytetään lämpöä ja/tai puristusta. Lämpö tuotetaan yleensä virtalähteen sähkön aikaansaamalla valokaarella. Valokaari hitsausta kutsutaan kaarihitsaukseksi. Pelkällä valokaarella voidaan liittää osia yhteen, kun niiden liitoskohtaa sulatetaan. (Kemppi Oy b.)

Yleensä hitsauksessa käytetään myös lisäainetta, jota sulatetaan hitsisaumaan. Lisäainetta syötetään langalla hitsauspistoolin läpin MIG/MAG-hitsauksessa tai hitsauspuikolla puikko-hitsauksessa. Lisäaineen sulamislämpötilan olisi hyvä olla mahdollisimman lähellä hitsattavan kappaleen sulamislämpötilaa. Ennen hitsausta hitsattavan osan reunaan on hyvä hioa viistettä, jotta hitsaus voidaan tehdä syvemmälle materiaaliin. Hitsatessa valokaari sulattaa lisäainetta ja hitsattavaa osaa siten, että niistä muodostuu hitsisula. (Kemppi Oy b.)

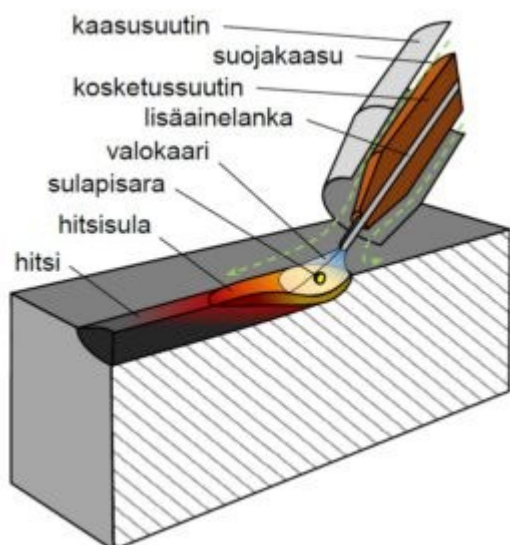
### 2.2 Valokaarihitsaus

Valokaarihitsauksessa tuotetaan sähkönpurkaus hitsauselektrodin ja hitsattavan osan välillä. Valokaari syttyy, kun hitsattavaan osaan tuotetaan tarpeeksi suuri jännitepulssi virtalähteellä tai kun osaa raapaistaan hitsauselektrodilla. Tällöin jännite purkautuu ja sähkö lähtee virtaamaan läpi ilmaaon tuottaen valokaaren, jonka lämpötila on tuhansia celsiusasteita. Hitsauskappale on maadoitettava hitsauslaitteen maadoituskaapelilla, koska hitsauksessa tuotetaan jatkuva sähkövirta virtalähteestä hitsattavaan osaan hitsauselektrodin kautta. (Kemppi Oy b.)

Kun käytetään hitsattavan kappaleen materiaalille ja sen paksuudelle sopivaa hitsausjännitettä ja langansyöttönopeutta, saadaan aikaan tasainen valokaari ja hyvä hitsaus sauma. Polttimen kuljetustapa ja sen pitäminen oikealla etäisyydellä railosta vaikuttavat myös sauman laatuun. (Kemppi Oy b.)

### 2.3 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on yleinen kaasukaarihitsaus menetelmä metallien hitsauksessa, jossa valokaari palaa täytelangan ja hitsattavan osan välissä. Laite syöttää lisäainelankaa vaki-nopeudella polttimen läpi kohti hitsaussaumaa, jolloin valokaaren kuumuus sulattaa metallista lisäainelankaa pisaroina hitsaussulaan. (Ionix Oy.) MIG/MAG-hitsausta esitetty kuvassa 1



Kuva 1. MIG/MAG-hitsaus (Ionix Oy)

MAG-hitsauksen nimitys tulee sanoista Metal Active Gas. Se on hitsausprosessi, jossa suojakaasu on aktiivinen. Aktiivinen suojakaasu on tyypillisesti argonin ja hapen, argonin ja hiilidioksidin tai argonin, hiilidioksidin ja hapen seos tai puhdas hiilidioksidi, ja se reagoi hitsisulan aineiden kanssa. Happi ja hiilidioksidi kaasut muodostavat valokaarta vakauttavan ohuen oksidikalvon metallisulan pinnalle. Oksidikerros laskee myös sulan viskositeettiä, jolloin suulasta metallista tulee juoksevampaa ja kostutuskykyisempää. Hiilidioksidilla on hitsaussulan huokoisuutta vähentävä vaikutus, jonka ansiosta terästen hitsauksessa seoskaasun osana on parempi käyttää hiilidioksidia kuin happea. Hitsaussulasta tulee kevyempi hiilidioksidimolekyylien muodostuttua hitsisulan pinnalla uudelleen, koska reaktio luovuttaa lämpöä. Tällöin myös kaasut pääsevät helpommin hitsaussulasta ja siten huokoisuus vähenee. MAG-hitsaus on yleinen rautapohjaisten metallien hitsauksessa. (Ionix Oy.)

MIG-hitsauksen nimitys tulee sanoista Metal Inert Gas. Se on hitsausprosessi, jossa suojakaasu on inertti, mikä tarkoittaa sitä, että suojakaasu ei reagoi hitsisulassa olevien materiaalien kanssa. Kaasuna käytetään argonia ja heliumia, tai niiden seosta. MIG-hitsaus sopii ei-rautapohjaisten metallien hitsaukseen. (Ionix Oy.)



### 3 Hitsausrobotti

#### 3.1 Yleistä robottihitsauksesta

Robottihitsauksessa robotit suorittavat hitsausprosessia niille annetun ohjelman mukaisesti. Hitsausohjelmaa voidaan muuttaa uudelleen erilaisiin käyttötarkoituksiin. Hitsausrobotiikka on kehittynyt versio automatisoidusta hitsauksesta, jossa operaattorit ohjaavat ja valvovat prosessia ja koneet suorittavat hitsauksen. Robottiteknologialla saadaan hitsausprosessista nopeampi ja tarkempi, myös jätteen määrä vähenee ja hitsauksesta tulee turvallisempaa. Roboteilla pystytään hitsaamaan haastavampia ja ahtaampia paikkoja paremmalla tarkkuudella ja nopeudella käsin hitsaamiseen verrattuna. Ne tuovat tuotantoon enemmän joustavuutta ja aikaa. (Kemppi Oy c.)

Hitsausrobotti on parhaillaan toistuvissa ja ennakoitavissa olevissa prosesseissa, joissa ei tule jatkuvia vaihtoja ja muutoksia. Robottihitsausta käytetään paljon massatuotannossa, koska tehokkuus ja tuotantomäärät ovat siellä olennaisia. Robotinohjelmaa voidaan kuitenkin nykyisin muuttaa niin nopeasti ja helposti, että siitä on tullut kustannustehokasta myös pienemmässä sarjatuotannossa ja yksittäisten kappaleiden valmistuksessa. (Kemppi Oy c.)

#### 3.2 Hitsausrobottisolun komponentit

Hitsausrobottiyksikköä kutsutaan myös hitsausrobottisoluksi, koska se koostuu useammasta komponentista, jotka työskentelevät yhdessä. Soluun kuuluu komponentteja, jotka osallistuvat hitsaukseen, sekä lisä- ja turvalaitteita, jotka parantavat robotin käytettävyyttä. Seuraavaksi listattuna yleiset robottihitsaus-solun komponentit, jotka ovat tärkeitä hitsausprosessissa. (Fairlawn tool INC.)

**Langansyöttölaite** syöttää lisälankaa robotilla sen ohjelman mukaisella nopeudella. Lisälankaa käytetään materiaalin lisäämiseksi liitospaikkaan, jotta liitoksesta tulee vahvempi. (Fairlawn tool INC.)

**Hitsausrobotti** on robotin ja sen työkalun yhdistelmä. Työkalu voidaan mukauttaa hitsausprosessiin sopivaksi. Robotteja on kahden tyyppisiä: Nivelrobotteja ja portaalirobotteja. Portaalirobotit pystyvät liikuttamaan X-, Y- ja Z-suunnassa sekä pyörittämään työkaluaan. Nivelrobotissa on kääntyviä niveliä, joiden ansiosta sillä on vapaampi liikkuvuus ja parempi ulottuvuus. (Fairlawn tool INC.)

**Hitsauspoltin** johtaa lisäainelankaa, suojakaasua ja hitsausvirtaa hitsauskohtaan. Polttimia voidaan jäähdyttää kaasulla tai vedellä. (Ihalainen ym. 1998, 298.)

**Hitsaustaso ja kiinnittimet** helpottavat kappaleiden hitsausta. Kappaletta tai laitetta, johon hitsattava osa kiinnitetään, kutsutaan hitsausjigiksi. Sen avulla hitsattavat osat saadaan kiinnitettyä samaan kohtaan robottihitsauksessa.

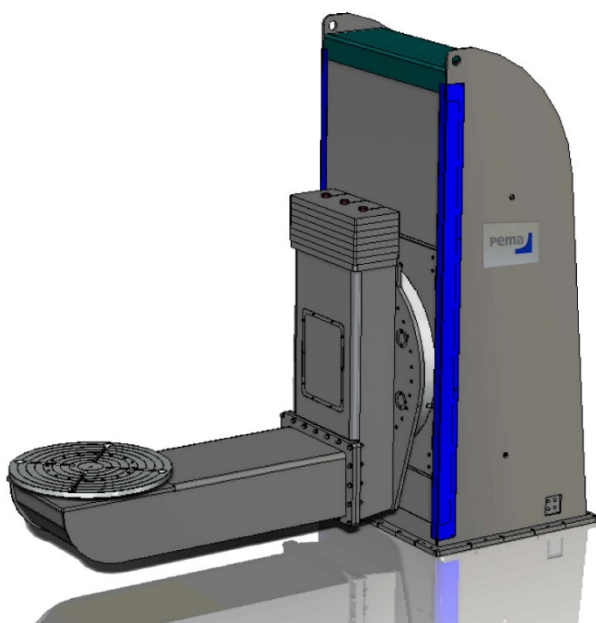
**Ohjausyksikkö** ohjaa toimilaitteita robotille tallennettujen ohjelmien mukaan (Fairlawn tool INC).

**Käsiohjain** on laite, jota operaattori käyttää ohjatakseen robottia ihmisen ja koneen välisen käyttöliittymän avulla. Robotti ohjataan haluttuihin pisteisiin, jotka tallennetaan sen ohjelmaan. (Kaatranen 2022.)

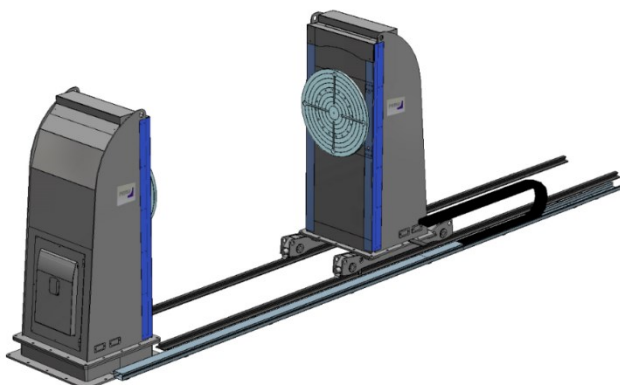
**Virtalähteen** avulla tuotetaan valokaari hitsauspolttimen syöttämän lisälangan ja hitsattavan osan väliin MIG/MAG-hitsauksessa (Kemppi Oy a).

**Lisälaitteita** käytetään hitsauslaadun ja operaattoreiden turvallisuuden parantamiseksi. Yleisesti käytettyjä lisälaitteita ovat prosessianturit, turva-aidat, kaarisuojat, kulkuovet, hitsauskaasujen poistojärjestelmä ja käsittelypöydät.

Käsittelypöydät toimivat yhteistyössä robotin kanssa, ne liikuttavat hitsattavaa osaa siten, että robotin on mahdollisimman helppo päästä hitsattavan sauman luokse. Yhdessä hitsausrobottisolussa voi olla useampi erilainen käsittelypöytä. Kun hitsausrobotti työstää hitsattavaa kappaletta yhdellä pöydällä, niin voidaan samalla toiselle pöydälle tuoda seuraavia hitsauskokoonpanoja. Siten voidaan vähentää valmisteluista aiheutuvia tuotantokatkoja robotilla. Kahdentyypisiä hitsauspöytiä esiteltynä kuvissa 2 ja 3.



Kuva 2. PEMA SPS 3500 hitsauskäsittelypöytä (Pemamek Oy)



Kuva 3. PEMA HPS 7000 & TPS 7000 (Pemamek Oy)

### 3.3 Robottihitsauksen etuja

Hitsausrobotti on selvästi nopeampi kuin ihminen, koska se ei tarvitse taukoja ja sen hitsausnopeus ja lisääaineensyöttö on nopeampaa. Nopeutensa ansiosta hitsausrobotti lyhentää hitsausaikoja ja siten lisää yrityksen tuotantokapasiteettiä. Se voi vaikuttaa myös yrityksen imagoon ja siten kasvattaa asiakasryhmää.

Hitsausrobottisoluissa on paljon turvallisuutta lisääviä lisälaitteita, jotka suojelevat ihmisiä kuumilta roiskeilta ja kirkkaalta valolta. Robotille on oma alue, joka on ympäröity turvaesteillä, jotta ihmiset pysyisivät turva-alueella robotin työskennellessä. Koska robottihitsaus lisää tuotannon turvallisuutta, se lisää myös työntekijöiden tuottavuutta ja terveyttä, kun hitsaajien ei tarvitse altistua hitsauskaasuille ja huonolle työergonomialle. (Summit steel & manufacturing INC 2022.)

Hitsausrobotti on tarkempi ja se tekee vähemmän virheitä. Sille ihanteellisessa työssä on paljon toistuvia liikkeitä, joita tehdään monen osan sarjassa. Robotin tarkkuuden ansiosta tuotteista tulee identtisiä ja halutun kaltaisia. (Summit steel & manufacturing INC 2022.)

Robotisoidussa hitsauksessa syntyy vähemmän hukkamateriaalia huonosti tehtyjen tai epäonnistuneiden liitosten takia. Hukkamateriaalia voi syntyä käsin-hitsauksessa, kun kokoonpanot hitsataan väärin piirustusten väärinymmärryksen takia, sekä huonon sauman vuoksi. (Summit steel & manufacturing INC 2022.)

### 3.4 Robottihitsauksen haasteet

Hitsausrobotti on kallis ja siksi siihen investoitaessa joudutaan ottamaan riski. Etenkin isojen hitsauskokoonpanojen hitsaukseen kykenevät robotit, sekä niihin tarvittavat käsittelypöydät ja jiggit ovat kalliita.

Jos hitsattava kokoonpano ei ole juuri sellainen kuin se on robotille ohjelmoitu, niin robotti ei pysty suorittamaan prosessia. Silloin robotti pysähtyy ja operaattorin on korjattava virhe hitsauskokoonpanosta tai ohjelmasta. Robotin kyvyttömyys toimia muuttuvissa tilanteissa voi aiheuttaa katkoja ja siten hidastaa hitsausta. (Summit steel & manufacturing INC 2022.)

Teknisistä ongelmista voi koitua robotille tuntien tai jopa päivien mittaisia tuotantokatkoja (marlin steel wire products LLC). Myös robotin huollot aiheuttavat tuotantokatkoja, mutta ne ovat suunniteltuja ja ennalta odotettuja

## 4 Ohjelmointi

### 4.1 Online-ohjelmointi

Johdattamalla- ja opettamalla-ohjelmointi on online-ohjelmointia. Ohjelmointi suoritetaan ohjaamalla robottia käsin tai käsiohjaimella kulkemaan haluttua rataa ja pisteitä pitkin, jotka tallentuvat ohjausyksikön muistiin. Robotin on oltava opetustilassa online-ohjelmoinnin aikana, jolloin operaattori pääsee robotin toiminta-alueelle ja pystyy liikuttamaan robottia. Online-ohjelmoinnin aikana robottia ei pystytä käyttämään tuotannossa ja sen haasteena on myös se, että suuria robotteja on vaikea liikuttaa käsin, sekä johdattaa ahtaita ja haastavia ratoja pitkin. Online-ohjelmoinnissa ei vaadita vahvaa teknistä osaamista, koska se on suhteellisen yksinkertaista, mutta se on myös hidasta ja puuduttavaa työtä. Tämä ohjelmointi menetelmä sopii parhaiten yksinkertaisiin hitsauskokoontamoihin ja tuotantoon, jossa on suuret tuotantoerät, koska ohjelmointi aiheuttaa katkoja tuotannossa. (Villani 2018, 67.)

### 4.2 Offline-ohjelmointi

Toinen ohjelmointimenetelmä on offline-ohjelmointi. Sitä kutsutaan myös etäohjelmoinniksi ja OLP-ohjelmoinniksi. Ohjelmoinnissa ei tarvitse pysäyttää tuotantoa robotilla, koska se tehdään PC:llä. Robotti voi työskennellä samalla, kun ohjelmoidaan tulevaa tuotesarjaa, jolloin ohjelmointi ei aiheuta robotille tuotantokatkoja. Siksi tämä menetelmä sopii parhaiten tuotantoon, jossa on paljon tuotevaihtelua, sekä haastavia hitsauskokoontamoihin. Offline-ohjelmoinnilla pystytään myös ohjelmiston mukaan tarkistamaan esimerkiksi törmäyksiä, joka auttaa ohjelman läpikäyntiä simulaatiossa. Operaattori pystyy suorittamaan ohjelmoinnin 3D ympäristössä kätevämmän, koska ohjelmistoilla pystytään tarkastelemaan tuotetta helposti ahtaista ja vaikeista paikoista, joihin käsinohjauksella olisi vaikea päästä. Ohjelmisto simuloi tuotteelle valmistus ajan, mikä helpottaa kustannusten laskemista ja vertaamista, sekä tuotannon suunnittelua. Hitsausrobotille kannattamattomien tuotteiden valmistus voidaan perua ennen niiden viemistä tuotantoon. Operaattori näyttää hitsattavat saumat, jonka avulla ohjelma luo robotille radan, jota sen tulee kulkea. Offline-ohjelmoinnin ansiosta hitsausradan generoiminen on mahdollista suorittaa nopeasti 3D-CAD-mallien muototietoa ja geometriaa hyödyntämällä, koska ohjelmisto pystyy laskemaan mallin mukaan oikeat hitsausradat robotille. Ohjelmisto generoi robotille ohjelmakoodin, joka viedään robotinjärjestelmään, jonka jälkeen voidaan aloittaa uuden ohjelman tuotanto. (Eurometalli Oy 2021.)

## 5 Hitsauskustannusten laskenta ja vertailu

### 5.1 Laskennan kuvaus

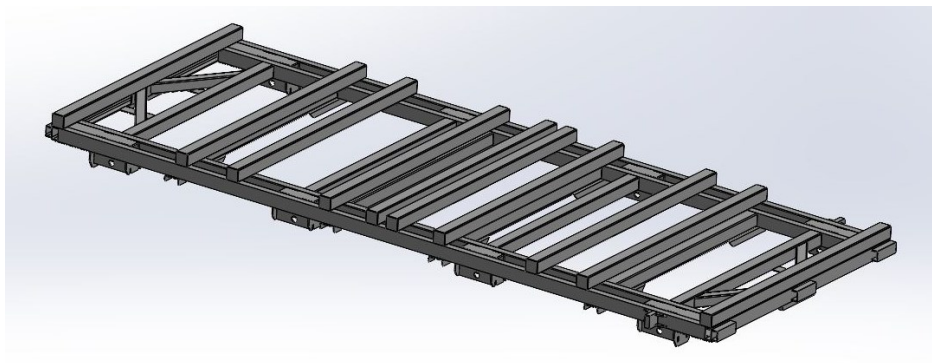
Investointivaihtoehtoina on suurempi hitsausrobottisolu ja pienempi hitsausrobottiasema. Laskennalla pyritään selvittämään, kumpi vaihtoehtoista on kannattavampi tai onko kumpikaan vaihtoehtoista kannattava.

Hitsausrobottisolussa on kaksi käsittelypöytää, joissa robotti voi hitsata kokoonpanoja. Yksiakselinen käsittelypöytä on yli seitsemän metriä pitkä. Sillä voidaan pyörittää pitkiä ja enintään kolme metriä leveitä kappaleita niin, että robotti voi hitsata sen eri puolilta. Toinen käsittelypöytä on kaksiakselinen ja siihen mahtuu noin kolme metriä leveä ja pitkä hitsausjigi. Solun käsittelypöydät on erotettu turvaseinillä, jotta robotti voi hitsata toisella käsittelypöydällä olevaa kokoonpanoa samalla, kun toiselle käsittelypöydälle asetetaan seuraavaa hitsauskokoonpanoa. Robotti kulkee lattiarataa pitkin sivusuunnassa käsittelypöydältä toiselle, kun se on saanut luvan siirtyä turvaverhon läpi. Hitsausrobottisolu vaatii 159 neliömetrin tilan tuotantotilasta.

Hitsausrobottiasemassa robotti ja käsittelypöytä on kiinteä yhdistelmä. Robotti hitsaa kokoonpanot vain yhdellä käsittelypöydällä, joka on kaksiakselinen. Asemalla voidaan hitsata puolitoista metriä leveällä ja pitkällä hitsausjigillä, ja hitsattavat osat voivat olla enintään puolitoista metriä korkeita. Tuotantotilasta asema vaatii 22,5 neliömetriä tilaa.

#### 5.1.1 Hitsausrobottisolu

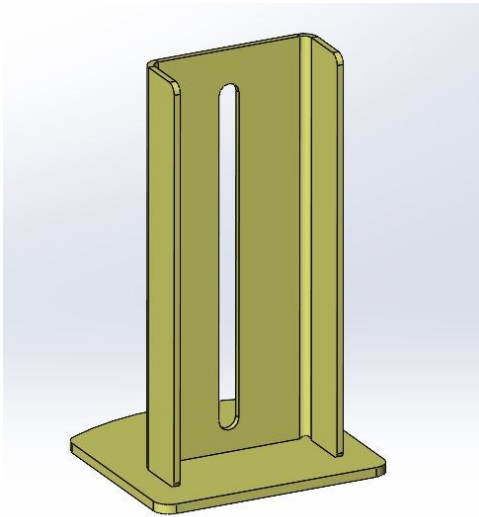
Hitsauskustannuksia lasketaan hitsausrobottisolun investoinnin kannattavuuslaskennassa yhden yrityksen valmistettavan rungon perusteella. Kyseistä runkoa tullaan valmistamaan määrältään suuri sarja yrityksen mittakaavassa. Se vastaa kooltaan myös yrityksen muita hitsattavia kokoonpanoja, kuten kuljettimien runkoja. Siksi sen avulla voi laskea hitsausrobottisolun kannattavuutta yrityksen tuotannossa. Runko esitetty kuvassa 4.



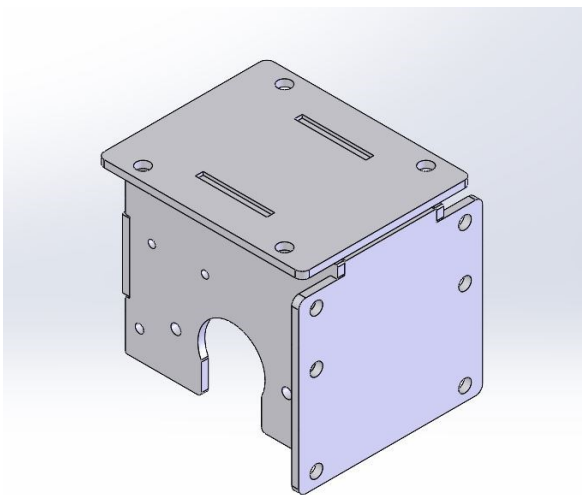
Kuva 4. Kustannuslaskennassa käytettävä runko

### 5.1.2 Hitsausrobottiasema

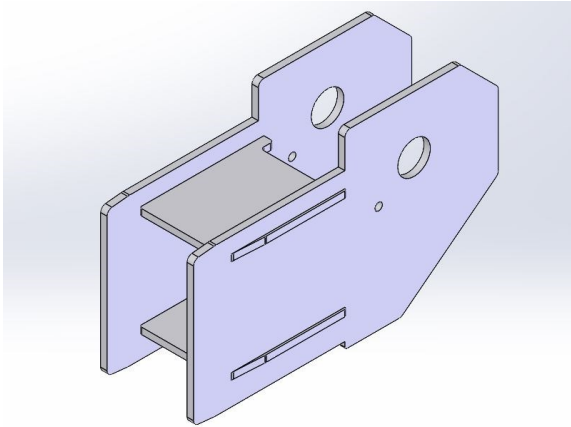
Vakiotuotteiden hitsaus sopisi hyvin hitsausrobottiasemalle, koska tuotteet ovat kooltaan asemalle sopivia ja niitä voitaisiin valmistaa sarjoissa. Vakio jalkoja yrityksellä on kolme eri kokoa, mutta niistä kahdella pienemmällä on saman pituinen hitsaussauma, joten hitsaus-aikaa lasketaan jalalle isommalla ja pienemmällä hitsaus saumalla. Investoinnin kannattavuuslaskennassa käytettäviä vakio-osia esitetty kuvissa 5–7.



Kuva 5. Vakio-osa jalka



Kuva 6. Vakio-osa kotelo



Kuva 7. Vakio-osa taittopää

## 5.2 Laskennassa käytettävät kaavat

Vertaillussa tutkitaan käsin-hitsauksen ja robottihitsauksen työkustannuksia, sekä laskeaan yrityksen vuosittaisen hitsausajan perusteella konekustannukset, siten voi vertailla kustannuksia hitsattuina metreinä. Laskennassa käytetään kaavoja 1–4.

Työkustannukset ( $K_T$ ) lasketaan kaavalla 1 (Valtanen 2019, 963):

$$K_T = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_T \quad (\text{€ / m}) \quad (1)$$

$M$  = hitsianemäärä (kg / m)

$T$  = hitsiaineentuotto (kg / h)

$e$  = paloaikasuhte (-)

$H_T$  = työtunnin hinta (€ / h)

Koneen tuntihinta ( $H_{KT}$ ) lasketaan kaavalla 2 (Valtanen 2019, 963):

$$H_{KT} = \left( H_H \times \left( \frac{1}{T_p} + \frac{p}{2 \times 100} \right) + Y \right) \times \frac{1}{T_K} \quad (\text{€ / h}) \quad (2)$$

$H_H$  = koneen ostohinta (€)

$T_p$  = koneen poistoaika (v)

$p$  = pääoman korkoprosentti (%)

$Y$  = vuosittaiset kunnossapitokustannukset (€)

$T_K$  = koneen vuosittainen käyttöaika (h)



Konekustannukset ( $K_K$ ) lasketaan kaavalla 3 (Valtanen 2019, 963):

$$K_K = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_{KT} \quad (\text{€ / m}) \quad (3)$$

$M$  = hitsianemäärä (kg / m)

$T$  = hitsiaineentuotto (kg / h)

$e$  = paloaikasuhte (-)

$H_{KT}$  = koneen tuntihinta (€ / h)

Takaisinmaksuajan menetelmällä lasketaan aikaa, joka kuluu siihen, että investoinnin tuotot kattavat investoinnista koituneet menot. Parhaalla investointi vaihtoehdolla on lyhyin takaisinmaksuaika ja investointi on kannattava silloin, kun takaisinmaksuaika on lyhyempi kuin investoidun koneen poistoaika. (Puolamäki & Ruusunen 2009, 236.)

Takaisinmaksuaika ( $n_x$ ) lasketaan kaavalla 4:

$$n_x = \frac{l_0}{S} \quad (\text{vuotta}) \quad (4)$$

$l_0$  = alkuinvestointi

$S$  = Kassavirta periodilla

### 5.3 Kustannusten laskenta hitsausrobottisolulle

Kustannuslaskennassa käytettäviä arvoja listattuna taulukossa 1. Hitsiainemäärän arvo tulee liitteestä 1, kun hitsaussauman a-mitta on 5 mm. Hitsausmetrit on laskettu kuvassa 3 esitetyn rungon hitsaussaumoista. Käsinshitsauksen lisäaineentuoton arvo tulee liitteestä 2. Hitsauksen robotisoinnin myötä voidaan lisäaineen tuottoa nostaa 1,6 kertaiseksi (Jääskeläinen ym. 2010. 76). Yrityksen arvio käsinshitsauksen kaariaikasuhteesta oli 5 % - 10 %, riippuen siitä, miten jigi ja raaka-aineet tuodaan hitsauspaikalle. Robotisoidussa hitsauksessa kaariaikasuhte voi olla yli 50 %, joskus jopa 80 %, mutta usein suhde ei ole niin hyvä (Jääskeläinen ym. 2010. 76). Työn hinta-arvio on 25 €/tunti (Jääskeläinen ym. 2010. 79).

|                                    |      |      |
|------------------------------------|------|------|
| Hitsiainemäärä                     | 0,25 | kg/m |
| Hitsausmetrit                      | 56,9 | m    |
| Käsihitsauksen lisääineentuotto    | 3,9  | kg/h |
| Robottihitsauksen lisääineentuotto | 6,24 | kg/h |
| Käsihitsauksen kaariaikasuhte      | 10   | %    |
| Robottihitsauksen kaariaikasuhte   | 40   | %    |
| Työtunninhinta käsin-hitsauksessa  | 25   | €/h  |
| Työtunninhinta robottihitsauksessa | 25   | €/h  |

Taulukko 1. Laskennassa käytettävät hitsausarvot

Taulukossa 2 on laskettu rungolle hitsausajat, sekä työ- ja konekustannukset käsin- ja robottihitsauksessa. Konekustannukset on laskettu myös käsin-hitsaukselle, koska 10 vuoden aikana myös käsin-hitsauslaitteita voi joutua uusimaan.

Hitsausaikojen ja kustannusten vertailua taulukossa 2.

|                                  | Käsihitsaus      | Robottihitsaus  |
|----------------------------------|------------------|-----------------|
| Rungon hitsausaika               | 36 tuntia 30 min | 5 tuntia 42 min |
| Työkustannukset $K_T$ (€/m)      | 16,0             | 2,5             |
| Koneen tuntihinta $H_{KT}$ (€/h) | 0,5              | 60,4            |
| Konekustannukset $K_K$ (€/m)     | 0,3              | 6,1             |
| Kustannukset yhteensä (€/m)      | 16,3             | 8,7             |

Taulukko 2. Käsin- ja robottihitsauksen vertailu

Vuosittainen säästö on laskettu kaavan 5 mukaan, jossa on laskettu yrityksen vuodessa hitsaukseen käytettyjen tuntien perusteella suuntaa antava vuosittainen hitsausmetrien määrä. Lisäaineentuotto on käsin-hitsauksen arvo taulukosta 1. Yrityksellä kuluu hitsaukseen vuodessa 9000 tuntia. Hitsiainemäärä tulee taulukosta 1, ja käsin-hitsauksen paloaika suhteena käytetään 10 %.

Vuosittaiset hitsausmetrit ( $H_m$ )

$$H_m = \left( \frac{T \times H_t}{M} \right) \times e \quad (\text{m}) \quad (5)$$

$T$  = lisääineentuohto (kg / h)

$H_t$  = yrityksen vuosittaiset hitsaustunnit (tuntia)

$M$  = hitsianemäärä (kg / m)

$e$  = paloaikasuhte (-)

Taulukossa 3 lasketaan mahdollisia vuosittaisia säästöjä robottihitsauksella. Vuosittainen hitsausmetrien määrä on kerrottu käsin- ja robottihitsaukselle taulukossa 2 laskettujen kokonaiskustannuksien luvulla, jonka yksikkö on (€/m). Siten selviää käsin- ja robottihitsauksen kustannukset. Käsin-hitsauksen ja robottihitsauksen kustannuksien erotuksesta selviää investoinnin vuosittaiset säästöt. Vuosittaisen säästön laskennassa on otettu huomioon myös hitsausrobotin ohjelmiston, sekä huollon ja ylläpidon vuosimaksut.

|                | Vuosittaiset hitsausmetrit (m) | Kustannukset yhteensä (€/m) | Vuosimaksut      | Kustannukset vuodessa |
|----------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------|
| Käsin hitsaus  | 14 040                         | 16,3                        | 0 €              | 229 520 €             |
| Robottihitsaus | 14 040                         | 8,7                         | 11 100 €         | 131 288 €             |
|                |                                |                             | Säästöt vuodessa | 98 232 €              |

Taulukko 3. Vuosittaisten säästöjen laskenta

Takaisinmaksuaikaa lasketaan taulukossa 4, jossa alkuinvestointi jaetaan edellisessä taulukossa lasketuilla vuosittaisilla säästöillä.

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| Alkuinvestointi (€)        | 661 000 |
| Vuosittainen säästö (€)    | 98 232  |
| Takaisinmaksuaika (vuotta) | 6,7     |

Taulukko 4. Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan menetelmä on yksinkertainen ja helppo, mutta sitä on tarvittaessa täydennettävä menetelmillä, jotka huomioivat rahan aika-arvon (Puolamäki & Ruusunen 2009, 239).

### 5.3.1 Investoinnin nykyarvo

Nettonykyarvomenetelmällä lasketaan investoinnin tuottoa tai tappiota. Menetelmässä ensiksi diskontataan ja summataan investoinnin kautta saatavat nettokassavirrat ja yhteissumasta vähennetään alkuinvestointi. Kun alkuinvestoinnin kassavirta jakautuu useammalle vuodelle, niin kaikki erät on myös diskontattava nykyhetkeen. Toisensa poissulkevia ja riippumattomia investointivaihtoehtoja vertaillessa paras vaihtoehto on se, jolla on suurin nettonykyarvo. (Puolamäki & Ruusunen 2009, 227.)

Yrityksien investointilaskelmissa laskentakorkona käytetään pääomalle asetettua tuottovaatimusta tai keskimääräistä pääomakustannusta (Puolamäki & Ruusunen 2009, 218).

Investoinnin nykyarvon laskemisessa käytettäviä arvoja listattuna taulukossa 5. Hitsausrobotin taloudelliseksi pitoajaksi on arvioitu 10 vuotta. Tuottovaatimuksena käytetään 10–12 % koneiden ja laitteiden uusimisessa, sekä peruskorjauksissa. Kun investoinnin avulla alennetaan kustannuksia, käytetään tuottovaatimuksena 12–15 %. (Oulun seudun yrityskeskus ry.) Vuotuinen kassavirta on laskettuna taulukkoon 3. Investoinnille ei huomioida jäännösarvoa, koska käytettyjä teollisuusrobotteja on hankala myydä ja ne aiheuttavat usein myös kustannuksia, kun niistä hankkiudutaan eroon.

|                        |             |                       |
|------------------------|-------------|-----------------------|
| Alkuinvestointi        | $I_0$       | 661 000 €             |
| Taloudellinen pitoaika | $n$         | 10 vuotta             |
| Tuottovaatimus         | $k$         | 10 %                  |
| Vuotuinen kassavirta   | $S_t$       | 98 232 €              |
| Jäännösarvo            | $J_n$       | 0 €                   |
| Nykyarvotekijä         | $D_{(t,k)}$ | $= \frac{1}{(1+k)^t}$ |
| Nykyarvo               | $NA$        | $= D_{(t,k)} S_t$     |

Taulukko 5. Laskennan tekijät

| Vuosi           | $S_t$    | $D_{(t,k)}$ | $NA$           |
|-----------------|----------|-------------|----------------|
| 1               | 98 232 € | 0,909       | 89 302         |
| 2               | 98 232 € | 0,826       | 81 183         |
| 3               | 98 232 € | 0,751       | 73 803         |
| 4               | 98 232 € | 0,683       | 67 094         |
| 5               | 98 232 € | 0,621       | 60 994         |
| 6               | 98 232 € | 0,564       | 55 449         |
| 7               | 98 232 € | 0,513       | 50 408         |
| 8               | 98 232 € | 0,467       | 45 826         |
| 9               | 98 232 € | 0,424       | 41 660         |
| 10              | 98 232 € | 0,386       | 37 873         |
| <b>Yhteensä</b> |          |             | <b>603 592</b> |

Taulukko 6. Kassavirtojen nykyarvo

Kun kassavirtojen nykyarvo  $NA$  on laskettu yksittäisten maksujen nykyarvotekijällä taulukossa 6, voidaan laskea investoinnin nettonykyarvo kaavalla 6.

Investoinnin Nettonykyarvo ( $NNA$ )

$$NNA = -I_0 + DS + D_{(t,k)}J_n \quad (6)$$

$I_0$  = alkuinvestointi

$DS$  = Yhteenlaskettu kassavirtojen nykyarvo

$D_{(t,k)}J_n$  = Jäännösarvon nykyarvo

$$NNA = -661\,000\text{€} + 603\,592 + 0 = -57\,408$$

Investoinnin nettonykyarvo on negatiivinen, se kertoo siitä, että investointi ei täytä sille asetettua 10 % tuottovaatimusta. Negatiivisen nettonykyarvon perusteella investointi on kannattamaton.

Investoinnin sisäisen koron selvittämiseksi on laskettava kassavirtojen nykyarvo tuottovaatimuksella, jolla nettonykyarvo on positiivinen. Taulukossa 7 laskettuna kassavirtojen nykyarvo 7 % tuottovaatimuksella.

| Vuosi           | $S_t$    | $D_{(t,k)}$ | $NA$           |
|-----------------|----------|-------------|----------------|
| 1               | 98 232 € | 0,935       | 91 805         |
| 2               | 98 232 € | 0,873       | 85 799         |
| 3               | 98 232 € | 0,816       | 80 186         |
| 4               | 98 232 € | 0,763       | 74 941         |
| 5               | 98 232 € | 0,713       | 70 038         |
| 6               | 98 232 € | 0,666       | 65 456         |
| 7               | 98 232 € | 0,623       | 61 174         |
| 8               | 98 232 € | 0,582       | 57 172         |
| 9               | 98 232 € | 0,544       | 53 432         |
| 10              | 98 232 € | 0,508       | 49 936         |
| <b>Yhteensä</b> |          |             | <b>689 939</b> |

Taulukko 7. Kassavirtojen nykyarvo

seuraavaksi laskettuna investoinnin nettonykyarvo kaavalla 6, jossa käytetään taulukossa 7 laskettua kassavirtojen nykyarvoa.

$$NNA = -661\,000\text{€} + 689\,939 + 0 = 28\,939$$

### 5.3.2 Investoinnin sisäinen korko

Sisäisen koron menetelmässä lasketaan investoinnin korkoa. Menetelmässä määritetään laskentakorkokantaa, jolla investoinnin nettonykyarvo on nolla. Laskentaprosessi on siis käänteinen nettonykyarvomenetelmään nähden. (Puolamäki & Ruusunen 2009, 232.)

Investoinnin sisäinen korko voidaan laskea kaavalla 7, kun edellisessä luvussa on laskettu investoinnin negatiivinen nettonykyarvo taulukossa 6 ja positiivinen nettonykyarvo taulukossa 7.

Investoinnin sisäinen korko ( $R$ )

$$R = \frac{NNA_P}{NNA_N + NNA_P} * (k_K - k_M) + k_M \quad (7)$$

$NNA_P$  = positiivinen nettonykyarvo

$NNA_N$  = negatiivinen nettonykyarvo

$k_K$  = korkeampi tuottovaatimus prosentti

$k_M$  = matalampi tuottovaatimus prosentti

$$R = \frac{28\,939 \text{ €}}{57\,408 \text{ €} + 28\,939 \text{ €}} * (10 \% - 7 \%) + 7 \% = 8,0 \%$$

Kaavan perusteella investoinnin sisäinen korko on noin 8 %.

### 5.4 Kustannusten laskenta hitsausrobottiasemalle

Taulukossa 8 on listattu laskennassa tarvittavia arvoja. Hitsiainemäärän arvo tulee liitteestä 1, kun hitsausmaun a-mitta on 5 mm. Vakio-osien hitsausmetrit on laskettu niiden 3D-malleista ja kerrottu ne vuodessa valmistettavilla kappale määrillä, joten taulukossa on osien hitsausmetrit vuodessa. Käsini- ja robottihitsauksen lisäaineentuoton arvot ovat samat kuin taulukossa 1. Yleinen käsin-hitsauksen kaariaikasuhte pienille ja helposti käsiteltäville hitsauskokoospanoille on noin 15–20 %. Robottihitsauksen kaariajaksi on arvioitu sama arvo kuin taulukossa 1. Laskennassa käytetään myös samaa työtunnin hintaa kuin hitsausrobottisolun laskelmissa.

|                                    |      |      |
|------------------------------------|------|------|
| Hitsiainemäärä                     | 0,25 | kg/m |
| Taittopään hitsausmetrit           | 160  | m    |
| Pienemmän jalan hitsausmetrit      | 150  | m    |
| Isomman jalan hitsausmetrit        | 240  | m    |
| Kotelon hitsausmetrit              | 260  | m    |
| Käsihitsauksen lisäaineentuotto    | 3,9  | kg/h |
| Robottihitsauksen lisäaineentuotto | 6,24 | kg/h |
| Käsihitsauksen kaariaikasuhte      | 15   | %    |
| Robottihitsauksen kaariaikasuhte   | 40   | %    |
| Työtunninhinta käsin-hitsauksessa  | 25   | €/h  |
| Työtunninhinta robottihitsauksessa | 25   | €/h  |

Taulukko 8. Laskennassa käytettävät hitsausarvot

Taulukossa 9 on laskettu vakio-osille hitsaus aikoja, sekä työ- ja konekustannuksia kaavoilla 1–3. Hitsaus ajat ovat arvioita siitä, kuinka paljon aikaa kuluu osien hitsaukseen vuodessa, koska hitsausmetrit olivat lueteltuna vuositasona myös taulukossa 8. Vakio-osien kohdalla ei lasketa konekustannuksia käsin-hitsaukselle, koska hitsaus ajat ovat niin lyhyitä, että niitä varten ei tarvitse ostaa uusia hitsauslaitteita.

|                                  | Käsihitsaus       | Robottihitsaus  |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|
| Taittopään hitsausaika           | 68 tuntia 23 min  | 16 tuntia       |
| Pienemmän jalan hitsausaika      | 64 tuntia 6 min   | 15 tuntia 2 min |
| Isomman jalan hitsausaika        | 102 tuntia 34 min | 24 tuntia 2 min |
| Kotelon hitsausaika              | 111 tuntia 7 min  | 26 tuntia 3min  |
| Työkustannukset $K_T$ (€/m)      | 10,7              | 2,5             |
| Koneen tuntihinta $H_{KT}$ (€/h) | 0                 | 523             |
| Konekustannukset $K_K$ (€/m)     | 0                 | 52              |
| Kustannukset yhteensä (€/m)      | 10,7              | 54,5            |

Taulukko 9. Käsin- ja robottihitsauksen vertailu



Vuoden hitsausmetrit vakio-osien osalta on esitetty taulukossa 8, niiden yhteissumma on vakio-osien suuntaa antavat hitsausmetrit vuodessa. Vuoden hitsausmetrien ja yhteensä laskettujen hitsauskustannuksien tulona selviää, että vuoden vakio-osien hitsauskustannukset käsin ovat noin 8 667 € ja robotilla 44 145 €. Laskennan perusteella investoinnin vuotuinen kassavirta on -35 478 €, joten investointi ei olisi kannattava, koska se kasvattaa hitsauskustannuksia.

## 6 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli laskea hitsausrobotti investoinnin kannattavuutta Ferroplanin tuotantoon. Kannattavuutta oli tarkoitus selvittää hitsauskustannuksissa mahdollisesti tulevien säästöjen kautta. Investoinnin tavoitteena on siis laskea valmistuskustannuksia yrityksen tuotteille. Työn lopputuloksena on laskelmat suuntaa antavista hitsauskustannuksista yrityksen tämänhetkisillä hitsaukseen käytetyillä työtunneilla ja hitsausmäärillä, sekä laskelma investoinnin tuotosta, kun on otettu huomioon vain hitsauskustannukset. Yritystä kiinnosti erityisesti vakio-osien robotisoituhitsaus, ja sen kannattavuuden selvittäminen.

Hitsausrobotisolun laskelmien perusteella suurempaan hitsausrobottiin investoiminen voisi olla yritykselle kannattavaa. Varsinkin jos hitsausrobotin taloudellinen pitoaika pystytään venyttämään 15 vuoteen, silloin investoinnin sisäinen korko olisi noin 12 %, kun 10 vuodella se oli laskujen mukaan noin 8 %. Investoinnin tuoton ennuste on jo melko hyvä, jos sen sisäinen korko on jopa 12 %. Investointien kannattavuuslaskelmissa usein kuitenkin valitaan koneiden poistoaika lyhyemmäksi kuin 10 vuotta. Uudet koneet tekevät vanhoista koneista epätaloudellisia tekniikan kehittymisen myötä usein jo alle 10 vuodessa, vaikka koneen fyysinen käyttöaika onkin selvästi pidempi. Hitsausrobottien poistoajat riippuvat niiden käyttötarkoituksesta, huollosta ja komponenttien päivittämisestä. Yleisesti ottaen Hitsausrobottien poistoaika on noin 10–15 vuotta. Investoinnin tuoton ennuste ei ole kovin hyvä, jos sen sisäinen korko on 8 %. Jos investointi ei täytä sille asetettua tuottovaatimusta, niin on mahdollista, että investointi on tappiollinen yritykselle, koska investointiin liittyvät riskit saattavat vielä heikentää sen tuottoa. Investoinnin riskeinä ovat muun muassa sen alkuinvestoinnin suuruus, sekä onnistuminen tehokkaassa ohjelmoinnissa ja hitsausrobotin tuotantokäytössä.

Hitsausrobotiaseman kannattavuuslaskelmien perusteella pienempään hitsausrobotiasemaan investoiminen ei olisi kannattavaa vakio-osien hitsaukseen niiden nykyisillä tuotantomäärillä. Pienemmälle hitsausrobotille tulisi varmasti muitakin siihen mahtuvia pienempiä hitsauskokoonpanoja yrityksen tuotannossa, mutta pienten yksittäisten hitsauskokoonpanojen hitsaaminen robotilla ei ole tehokasta tuotantoa. Niiden ohjelmointiin kuluu paljon aikaa suhteessa hitsaukseen, sekä kappaleiden asettelu hitsauspöydälle on haastavaa ja hidasta, kun jigijä ei ole suunniteltu niille.

Suurempaan hitsausrobotisoluun investoiminen voisi olla yrityksen tuotannossa kannattavaa, jos sille riittää työtä niin paljon, että hitsauskustannukset olisivat pienemmät kuin käsin hitsauksessa. Hitsausrobotisolulla hitsattavien runkojen täytyy olla kooltaan siihen sopivia, ja mielellään sarjoina hitsattavia. Hitsausrobotin myötä yrityksen tuotannon suunnittelu voisi helpottua, kun ohjelmoinnista saadaan tarkat hitsausajat, eikä hitsausrobotti ole yllättäen

poissa käytöstä esimerkiksi sairastumisten takia. Hitsausrobotin myötä yrityksen imago voisi parantua, ja siten voisi saavuttaa helpommin asiakkaita nykyisillä tuotteilla, sekä mahdollisesti tarjota hitsauspalvelua muille yrityksille. Investointi parantaisi myös tuotannon turvallisuutta, koska robotti kykenee hitsaukseen niin, että ihmisen ei tarvitse olla lähellä raskaita hitsauskokoontaloja. Hitsaajat joutuisivat olemaan myös vähemmän huonoissa työ-  
 asennoissa ja altistuisivat vähemmän hitsauskaasuille. Hitsausrobotilla voitaisiin lisätä yrityksen tuotanto kapasiteettiä, jos sen tehokas tuotantokäyttö onnistuu ja ohjelmointi sujuu yrityksen tuotteilla hyvin.

Robotin myötä hitsauksen laatu paranisi, mutta yrityksen tuotteissa käsin hitsauksen laatu riittää, koska tuotteet menevät teollisuuteen. Siellä on tärkeää, että saumat ovat kestäviä, mutta sauman ulkonäöllä ei ole suurta merkitystä. Hitsausrobotille pitäisi suunnitella jigi, johon sopisi mahdollisimman hyvin hitsattavat kokoonpanot. Koska kuljettimien rungot ovat erilaisia, niin modulaarisen jigin suunnittelu on erittäin haastavaa. Runkojen hitsauskokoontaloja pitäisi valmistella robottihitsaukseen käsin hitsaamalla niin, että osat pysyisivät kiinni ja olisi kiinnitetty juuri kuten ne on ohjelmoitu robotille. Se vaatii hitsaajalta erityistä tarkkuutta, koska hitsauskokoontaloja ovat isoja. Hitsauskokoontalojen esivalmisteluja, kuten niiden esihitsausta käsin ja kokoonpanojen siirtelyitä ei ole robotisoidun hitsauksen kustannuksissa arvioitu.

Investointipäätöstä tehdessä yritys voi punnita siitä tulevia hyötyjä ja haasteita, joita aiemmin lueteltiin. Myös ohjelmoinnin toteuttamista olisi hyvä testata yrityksen tuotteilla monipuolisesti, ja selvittää kuinka paljon aikaa siihen kuluu keskimäärin, koska ohjelmointia pitäisi yrityksen tuotannossa tehdä jokaiselle tuotteelle. Jos ohjelmointi on nopeaa ja kuljetin-  
 rungoille se pystytään suorittamaan vain alle muutamassa tunnissa, niin hitsausrobotin operaattori voi suorittaa sen työnsä ohella, jolloin ohjelmointiin ei tarvittaisi muiden työpanosta. Hitsausrobottisolu investoinnin kannattavuus paranee mitä enemmän työtä sillä on myös pienemmällä käsittelypöydällä, jolla se voi hitsata muita pienempiä tuotteita samalla, kun isommalle käsittelypöydälle tuodaan seuraavaa hitsauskokoontaloa. Jos pienemmällä käsittelypöydällä on hitsattavana vain nykyisiä vakio-osia, niin robotille ei riitä työtä pöydällä tarpeeksi koko vuodelle. Siksi pienemmälle käsittelypöydälle tulisi keksiä mahdollisimman paljon työtä, jotta robotille ei tulisi seisonta-aikaa.

## Lähteet

Eurometalli Oy. Digitaalisuus tuo robotiikan työtunteihin lisää tehoa. Viitattu 24.1.2023.

Saatavissa <https://eurometalli.com/digitaalisuus-tuo-robotiikan-tyotunteihin-lisaa-tehoa/#:~:text=Et%C3%A4ohjelmointi-%2C%20offline-ohjelmointi-%20tai%20OLP-ohjelmointi-termej%C3%A4%20k%C3%A4ytett%C3%A4ess%C3%A4%20tarkoitetaan%20robotin,liik eratojen%20ohjelmointia%20varsinaisen%20tuotannon%20ulkopuolella%20katkaisematta%20tuotantoa.>

Fairlawn tool INC. Complete guide to robotic welding. Viitattu 19.1.2023. Saatavissa

<https://www.fairlawntool.com/blog/complete-guide-robotic-welding/>

Ferroplan Oy. Yritys. Viitattu 16.1.2023. Saatavissa <https://www.ferroplan.fi/fi/yritys/>

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 1998. Valmistustekniikka. Tekijät ja Otatieto Oy.

Jääskeläinen, E., Solehmainen, K. & Tuunainen, A. 2010. Uudet innovaatiot

hitsausautomaatiossa. E-kirja. Savonia-ammattikorkeakoulu. Viitattu 7.2.2023. Saatavissa

<http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/hit2netversio.pdf>

Kaatranen, T. 2022. Hitsausrobotin ohjelmoinnin VR/AR/XR-Työkalut. Lappeenrannan-Lahden Teknillinen Yliopisto LUT. Viitattu 19.1.2023. Saatavissa

[https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/164018/Kandidaatintyo\\_Kaatranen\\_Thomas.pdf?sequence=1](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/164018/Kandidaatintyo_Kaatranen_Thomas.pdf?sequence=1)

Kemppi Oy. a. MIG/MAG-hitsaus. Viitattu 20.1.2023. [Saatavissa](#)

<https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/mig-maghitsaus/>

Kemppi Oy. b. Mitä on hitsaus. Viitattu 21.2.2023. Saatavissa <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/mita-hitsaus-on/>

Kemppi Oy. c. Robottihitsaus. Viitattu 19.1.2023. Saatavissa <https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/robottihitsaus/>

Marlin steel wire products LLC. Pros and cons of robotic welding. Viitattu 6.2.2023.

Saatavissa <https://www.marlinwire.com/blog/pros-and-cons-of-robotic-welding>

Oulun seudun yrityskeskus ry. Investoinnin kannattavuus. Viitattu 13.2.2023. Saatavissa

<https://www.yritystulkki.fi/fi/alue/oulu/aloittava-yrittaja/suunnittelu/taloussuunnitelmat/investoinninkannattavuus/>

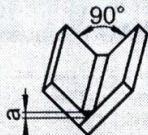
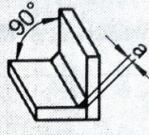
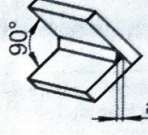
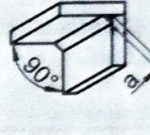
- Puolamäki, E & Ruusunen. P. 2009. Strategiset investoinnit. Helsinki: Tietosanoma Oy
- Summit steel & manufacturing INC. 2022. Robotic welding processes. Viitattu 6.2.2023. Saatavissa <https://www.summitsteelinc.com/resources/blog/robotic-welding-processes/>
- Valtanen, E. 2019. Tekniikan taulukkokirja. 22. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy
- Villani, V., Pini, F., Leali, F., Secchi, C. & Fantuzzi, C. 2018. Survey on Human-Robot Interaction for Robot Programming in Industrial Applications. Modena: University of Modena and Reggio Emilia. Viitattu 19.1.2023. Saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318313600>

Liite 1. Käsinihitsauksen hitsiainemäärän arvo (Valtanen 2019, 971)

pienahitsit seostamattomille ja niukkaseosteisille teräksille

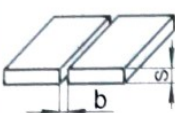
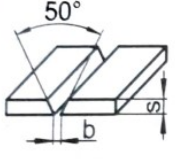
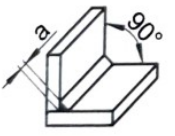
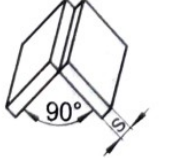
$v$  = liitostilavuus

$g$  = hitsiainemäärä

| a-<br>mitta | Poikki-<br>pinta-ala<br>(teor.) |  |  |  |  |                           |             |                           |             |
|-------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| mm          | mm <sup>2</sup>                 | $v$<br>cm <sup>3</sup> /m                                                         | $g$<br>kg/m                                                                       | $v$<br>cm <sup>3</sup> /m                                                         | $g$<br>kg/m                                                                         | $v$<br>cm <sup>3</sup> /m | $g$<br>kg/m | $v$<br>cm <sup>3</sup> /m | $g$<br>kg/m |
| 2           | 4                               | 5                                                                                 | 0,04                                                                              | 6                                                                                 | 0,05                                                                                | 5,5                       | 0,04        | 5,5                       | 0,04        |
| 2,5         | 6,5                             | 7,5                                                                               | 0,06                                                                              | 8,5                                                                               | 0,07                                                                                | 8                         | 0,06        | 8,5                       | 0,07        |
| 3           | 9                               | 10,5                                                                              | 0,08                                                                              | 12,5                                                                              | 0,10                                                                                | 11                        | 0,09        | 12                        | 0,09        |
| 3,5         | 12,5                            | 14                                                                                | 0,11                                                                              | 16                                                                                | 0,13                                                                                | 15                        | 0,12        | 16,5                      | 0,13        |
| 4           | 16                              | 18                                                                                | 0,14                                                                              | 21                                                                                | 0,16                                                                                | 19,5                      | 0,15        | 22                        | 0,17        |
| 4,5         | 20,5                            | 22,5                                                                              | 0,18                                                                              | 26                                                                                | 0,20                                                                                | 24,5                      | 0,19        | 26,5                      | 0,21        |
| 5           | 25                              | 27,5                                                                              | 0,22                                                                              | 31,5                                                                              | 0,25                                                                                | 30,5                      | 0,24        | 33                        | 0,26        |
| 5,5         | 30,5                            | 33,5                                                                              | 0,26                                                                              | 37                                                                                | 0,29                                                                                | 36                        | 0,28        | 40,5                      | 0,32        |
| 6           | 36                              | 40                                                                                | 0,31                                                                              | 42                                                                                | 0,33                                                                                | 43                        | 0,34        | 47,5                      | 0,37        |
| 6,5         | 42,5                            | 46,6                                                                              | 0,37                                                                              | 49,5                                                                              | 0,39                                                                                | 51                        | 0,40        | 56                        | 0,44        |
| 7           | 49                              | 54,5                                                                              | 0,43                                                                              | 57                                                                                | 0,45                                                                                | 56                        | 0,44        | 65                        | 0,51        |
| 7,5         | 56,5                            | 60,5                                                                              | 0,47                                                                              | 65                                                                                | 0,51                                                                                | 64                        | 0,50        | 73,5                      | 0,58        |
| 8           | 64                              | 70                                                                                | 0,55                                                                              | 73,5                                                                              | 0,58                                                                                | 76,5                      | 0,60        | 82,5                      | 0,65        |
| 9           | 81                              | 88                                                                                | 0,69                                                                              | 94                                                                                | 0,47                                                                                | 95                        | 0,75        | 109                       | 0,86        |
| 10          | 100                             | 108                                                                               | 0,85                                                                              | 114                                                                               | 0,89                                                                                | 116                       | 0,91        | 130                       | 1,02        |
| 11          | 121                             | 131                                                                               | 1,03                                                                              | 138                                                                               | 1,08                                                                                | 143                       | 1,12        | 157                       | 1,23        |
| 12          | 144                             | 154                                                                               | 1,21                                                                              | 163                                                                               | 1,28                                                                                | 168                       | 1,32        | 187                       | 1,42        |
| 13          | 169                             | 179                                                                               | 1,41                                                                              | 190                                                                               | 1,49                                                                                | 195                       | 1,53        | 220                       | 1,73        |
| 14          | 196                             | 207                                                                               | 1,62                                                                              | 224                                                                               | 1,76                                                                                | 227                       | 1,78        | 257                       | 2,02        |
| 15          | 225                             | 237                                                                               | 1,86                                                                              | 248                                                                               | 1,95                                                                                | 264                       | 2,07        | 294                       | 2,31        |

## 8. Hitsiaineen tuotto- ja kulutusarvoja

Seostamattomien ja niukkaseosteisten terästen MIG/MAG-hitsaus umpilangalla

|                                                                                     | Levyn paksuus | Ilmara-ko | Lisäai-<br>neen<br>kulutus | Langan<br>halk. | Hitsi-<br>aineen<br>tuotto | Langan<br>syöttö-<br>nopeus | Hitsaus-<br>virta | Kuljetusno-<br>peus |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|--------|
|                                                                                     | s<br>mm       | b<br>mm   | kg/m                       | Ø mm            | kg/h                       | m/min                       | A                 | m/h                 | cm/min |
|    | 1             | 0         | 0,02                       | 0,6             | 1,0                        | 7,0                         | 60                | 50                  | 83     |
|                                                                                     | 1,5           | 0,5       | 0,02                       | 0,8             | 1,2                        | 6,0                         | 90                | 48                  | 80     |
|                                                                                     | 2             | 1         | 0,03                       | 0,8             | 1,5                        | 6,8                         | 110               | 50                  | 83     |
|                                                                                     | 3             | 2         | 0,06                       | 0,8             | 1,8                        | 8,0                         | 125               | 33                  | 55     |
|                                                                                     | 3             | 2         | 0,06                       | 1,8             | 2,1                        | 6,0                         | 150               | 38                  | 63     |
|    | 4             | 1         | 0,09                       | 1,0             | 2,2                        | 6,4                         | 160               | 24                  | 40     |
|                                                                                     | 5             | 1         | 0,09                       | 1,0             | 2,2                        | 6,4                         | 160               | 17                  | 28     |
|                                                                                     | 6             | 1,5       | 0,17                       | 1,0/1,0         | 2,1/2,9                    | 6,0/8,5                     | 150/200           | 36/26               | 60/43  |
|                                                                                     | 8             | 1,5       | 0,30                       | 1,0/1,2         | 2,1/3,9                    | 6,0/7,6                     | 150/260           | 26/17               | 43/28  |
|                                                                                     | 10            | 2         | 0,50                       | 1,0/1,2         | 2,1/5,1                    | 6,0/10,0                    | 150/320           | 21/13               | 35/21  |
|  | a-mitta       |           |                            |                 |                            |                             |                   |                     |        |
|                                                                                     | 2             |           | 0,05                       | 0,6             | 1,2                        | 8,4                         | 70                | 24                  | 40     |
|                                                                                     | 2             |           | 0,05                       | 0,8             | 1,6                        | 6,8                         | 110               | 32                  | 53     |
|                                                                                     | 3             |           | 0,10                       | 0,8             | 1,9                        | 8,3                         | 130               | 19                  | 32     |
|                                                                                     | 3             |           | 0,10                       | 1,0             | 2,4                        | 7,0                         | 170               | 24                  | 40     |
|                                                                                     | 4             |           | 0,16                       | 1,0             | 2,7                        | 8,2                         | 190               | 17                  | 28     |
|                                                                                     | 5             |           | 0,25                       | 1,2             | 3,9                        | 7,8                         | 260               | 16                  | 26     |
|                                                                                     | 6             |           | 0,33                       | 1,2             | 3,9                        | 7,8                         | 260               | 12                  | 20     |
|                                                                                     | 6             |           | 0,33                       | 1,2             | 4,8                        | 9,5                         | 300               | 14                  | 22     |
|                                                                                     | 8             |           | 0,58                       | 1,2             | 4,8                        | 9,5                         | 300               | 8,5                 | 14     |
|  | 1,5           |           | 0,02                       | 0,6             | 1,0                        | 7,0                         | 60                | 50                  | 83     |
|                                                                                     | 2             |           | 0,03                       | 0,8             | 1,6                        | 6,8                         | 110               | 53                  | 88     |
|                                                                                     | 3             |           | 0,05                       | 0,8             | 1,9                        | 8,2                         | 130               | 38                  | 63     |
|                                                                                     | 4             |           | 0,07                       | 0,8             | 2,0                        | 9,0                         | 140               | 29                  | 48     |
|                                                                                     | 4             |           | 0,07                       | 1,0             | 2,6                        | 7,5                         | 180               | 37                  | 62     |
|                                                                                     | 5             |           | 0,10                       | 1,0             | 2,6                        | 7,5                         | 180               | 26                  | 43     |
|                                                                                     | 6             |           | 0,15                       | 1,2             | 3,5                        | 7,0                         | 240               | 23                  | 38     |
|                                                                                     | 8             |           | 0,26                       | 1,2             | 3,7                        | 7,5                         | 250               | 18                  | 30     |
|                                                                                     | 10            |           | 0,40                       | 1,2             | 5,0                        | 10,0                        | 320               | 12                  | 20     |
|                                                                                     | 12            |           | 0,58                       | 1,2             | 5,0                        | 10,0                        | 320               | 9                   | 15     |