



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# SEKOITTAJAN VALMISTUKSEN KUSTAN- NUSRAKENTEEN PARANTAMINEN

TEKIJÄ

Marko Holopainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Marko Holopainen	
Työn nimi Sekoittajan valmistuksen kustannusrakenteen parantaminen	
Päiväys	18.6.2017
Sivumäärä	45
Ohjaaja(t) yliopettaja Esa Hietikko, lehtori Pertti Varis	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Outotec Turula Oy / Outotec Finland	
Tiivistelmä	
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Outotec Turulan sekoittimen toimitus- ja valmistusprosessin aikana syntyviä kustannuksia sekä esittää taloudellisesti kannattavia kehityskohteita. Työssä oli myös tarkoitus esittää vaihtoehtoisia valmistusmenetelmiä, joilla kyseisen tuotteen valmistuskustannuksia pystyttäisiin jatkossa alentamaan.</p> <p>Opinnäytetyössä on perehdytty sekoittimen rakenteeseen ja sen toimintaan osana prosessia. Työssä on arvioitu kustannusten muodostumismekanismia, tutustumalla Outotec Turulan toiminnanohjausjärjestelmästä saatuihin lähdeaineistoihin. Teoriaosuudessa tarkastellaan kustannusrakenteen perusteita ja valmistettavuuden merkitystä tuotantokustannuksien alentamisessa. Työn työmenetelmät perustuvat DFMA-menetelmään jonka peruseriaatteena on keskittyä niihin asioihin, joiden avulla tuotteesta saadaan mahdollisimman yksinkertainen ja helposti valmistettava.</p> <p>Työn tuloksista voidaan havaita, kuinka paljon valmistettavuuteen panostamalla voidaan vaikuttaa työn läpimeno-aikoihin sekä kustannuksiin. Työssä on tarkasteltu kolmen teräs- ja levyrakenteisen osan valmistusmenetelmiä vertaamalla niitä vaihtoehtoiseen tapaan valmistaa tuote. Näissä kolmessa esimerkissä valuteräs korvasi aiemman materiaalivaihtoehdon ja muutti oleellisesti tuotteiden valmistustapaa. Esimerkkituotteiden valmistuskustannukset olivat laskennallisesti kannattavia jo ensimmäisestä valmistuserästä alkaen.</p>	
Avainsanat DFMA, DFM, sekoitin, SAP, transaktio	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Marko Holopainen			
Title of Thesis Improvement of the Cost Structure of a Mixer			
Date	June 18, 2017	Pages	45
Supervisor(s) Mr. Esa Hietikko, Principal Lecturer and Mr. Pertti Varis Senior Lecturer			
Client Organization /Partners Outotec Turula Oy / Outotec Finland			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The purpose of this final project was to find out the costs of delivery and manufacturing process of a mixer and to introduce alternative manufacturing methods, which could enable reducing costs in the future.</p> <p>First the structure and functions of the mixer were studied and how it works in the process. Then the cost-generating mechanism was evaluated based on the source data, which was gained from the Outotec Turula ERP-system (Enterprise Resource Planning). In the theoretical part, the basis for the cost structure and the importance of the manufacturability were surveyed. The methods that were used in this project are based on DFM- process, whose main idea is to focus on such things, that make the product simple and easy to manufacture.</p> <p>The results show that the lead time and costs reduce, if the product is made more productive. The thesis studies the manufacturing methods of three steel plate structured parts by comparing them to alternative manufacturing methods. In these three examples cast steel replaced the previous materials and significantly changed the manufacturing process of the products.</p> <p>The manufacturing costs significantly decreased compared to the original costs and were profitable since the manufacturing of the first batch.</p>			
<p><b>Keywords</b> DFMA, DFM, mixer, SAP, transaction</p>			

## ESIPUHE

Haluan kiittää työn ohjaajaa, yliopettaja Esa Hietikkoa sekä Turulan Projektinhoidon esimiestä Hannu Savolaista hienosta ohjaustyöstä. Lisäksi kiitän Outotec Espoo, johtava insinööri Aki Laanista sekä kaikkia muita Outotecin ja yhteistyöyritysten työntekijöitä, jotka ovat osaltaan mahdollistaneet työn valmistumisen.

Suurin kiitos kuuluu perheelleni, joka jaksoi tukea ja kannustaa eteenpäin työn suorittamiseen vaikeinakin aikoina.

Outokummussa 18.6.2017

Marko Holopainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	OUTOTEC TURULA OY .....	8
3	KUSTANNUSRAKENTEEN MÄÄRITELMÄ .....	9
3.1	Kulut ja kustannuslaskenta .....	9
3.2	Kustannuslaskennan avoimuus .....	9
3.3	Valmistettavuus ja kustannustehokkuus kustannuslaskennan perusteena .....	11
4	PROSESSI .....	14
4.1	Prosessin historiaa .....	14
4.2	Sekoittimen toimintaperiaate .....	15
4.3	Sekoitin .....	16
4.4	Uuni .....	17
4.4.1	Kuilu .....	17
4.4.2	Alauuni .....	17
4.4.3	Nousukuilu .....	17
5	KUSTANNUSTEN JAKAANTUMISEN SELVITTÄMINEN .....	18
5.1	Pohjakartio .....	21
5.1.1	Pohjakartio levyleikkeistä .....	21
5.1.2	Pohjakartioiden valmistettavuus .....	24
5.2	Kiintoaineohjain .....	29
5.2.1	Ohjaimen valmistus pyöröteräsaihiosta .....	29
5.2.2	Ohjaimen valmistus valuaihiosta .....	30
5.2.3	Kartioiden raaka-aineiden hinnat .....	31
5.2.4	Kartioiden pinnoitus .....	34
5.3	Pohjajäähdytin .....	35
5.3.1	Pohjajäähdyttimen kustannusvertailua .....	37
6	HINNOITTELU .....	40
6.1	Hinnoittelun riskit .....	42
6.2	Sekoittimen hinnoittelu .....	42
7	YHTEENVETO .....	43
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	44

LIITE 1. KUVA- JA KUVIOLUETTELO..... 45

## 1 JOHDANTO

Sekoitin on yksi Outotec Turulan vakiotuotteista, jonka valmistuksella on yrityksessä pitkä historia. Tuotteen rakenteessa on paljon ns. vakiokomponentteja ja kokoonpanoja, jotka toistuvat lähes samanlaisena jokaisessa laitetoimituksessa. Vakiintuneisiin tuotteisiin ja käytäntöihin liittyy riski, että kun niiden valmistus rutinoituu liikaa, tuotekustannukset alkavat pikkuhiljaa nousta. Outotec Turula on ollut pitkään mukana kyseisen laitteen tuotekehityksessä, ja monet valmistettavuuteen liittyvät ratkaisut ovat tulleet Turulan konepajan tuotannon työntekijöiltä. Sekoitin on prosessin keskeisimpiä toimilaitteita ja siksi Outotecille hyvin merkittävä asiakkaalle markkinoitava kokonaisuus.

Työn tavoitteena on selvittää Outotec Turulan sekoittimen toimitus- ja valmistusketjun aikana syntyviä kustannuksia sekä tuoda esille taloudellisesti kannattavia kehityskohteita. Työn tavoitteena on kehittää ja optimoida sekoittimen valmistettavuutta sekä helpottaa myös sen hinnoittelua. Lisäksi työssä on pyritty etsimään tuotteen rakenteesta sellaisia kohteita, joiden hinta on vuosien aikana noussut liian korkeaksi. Työssä esiintyvien tuotteiden valmistettavuuteen on pyritty kiinnittämään erityistä huomiota esimerkiksi materiaalivalinnoilla sekä työvaiheketjujen lyhentämisellä.

Työn aikana esille tulleet kehityskohteet ja ideat on esitetty opinnäytetyössä. Työn pohjalta voidaan laatia erillinen toimenpidesuunnitelma, jonka mukaisesti löytyneitä kehityskohteita ryhdytään toteuttamaan. Toimenpidesuunnitelmalla on tarkoitus yksilöidä kehityskohteet sekä esittää niille toteutus-aikataulu, jollei niitä ole voitu toteuttaa opinnäytetyön aikana.

Tutkimusaineistosta suurin osa on kerätty Outotec Turulan tuotannonohjausjärjestelmästä aikaisemmin toteutuneista projekteista. Kustannusvertailujen perustana ovat aikaisemmat toteutuneet projektit, joita on käytetty esimerkkinä suunniteltaessa vaihtoehtoisia valmistusmenetelmiä ja korvaavia materiaaleja. Opinnäytetyöstä saatujen tulosten on tarkoitus palvella varaosa- ja kokonaisten toimitusprojektien hinnoittelua ja valmistusta.

Opinnäytetyön tulosten pohjalta on tarkoitus laatia uudet hintalistat yleisimmille sekoitinmalleille. Hintalistan tarkoitus on vakioida komponenttien ja vakiokokoonpanojen hinnat.

Kiinteä listahinta auttaa myyntiä ja markkinointia sekä helpottaa ilmoittamaan asiakkaalle tuotteiden kiinteään myyntihinnan ilman tarjouslaskentaa. Kiinteä hintalista auttaa varaosa- sekä projektimyyntiä räätälöimään kulloinkin tarvittava projektikohtainen hinta. Hintalista tulee olla sekoittimen tuoterakenteen mukainen. Listalla on peruskokoonpanojen sekä valmistettavien osien hinnat. Listaa voidaan käyttää apuna, kun pyritään räätälöimään nopeasti asiakaskohtainen myyntihinta.

Tämä opinnäytetyö on julkinen versio salatusta työstä. Työssä on poistettu tai muuteltu työn tilaajan ohjeiden mukaisesti kuvamateriaalia, tuotteiden nimiä sekä luottamuksellisia tietoja jotka voisivat aiheuttaa julkisena tuoteturvariskin.

## 2 OUTOTEC TURULA OY

Turulan konepaja on perustettu vuonna 1978 silloisen Outokumpu Oy:n kaivos- ja rikastustoiminnan tueksi. Nykyisin sama yritys toimii nimellä Outotec Turula Oy. Outotec Turula kuuluu yhtenä osana Outotec Oyj:n teknologiakonserniin. Outotec Oyj toimii tällä hetkellä 27:ssä eri maassa, kuudella eri mantereella ja sen palveluksessa työskentelee yli 4 500 henkilöä. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Espoossa. (Outotec, 2017) Turulan konepajasta on kasvanut vuosikymmenten saatossa merkittävä konepajatoimija, joka tunnetaan korkeasta laadusta, toimitusvarmuudesta ja joustavista kokonaistoitumuksista. Yhtiössä on investoitu tasaisesti vuosien saatossa uusimpaan tuotanto- ja tiedonsiirtovälineistöön sekä hankittu monipuolinen kokemus mittavien laitteistojen ja tuotantolinjojen kokonaistoitumuksista.

Outotec Turula Oy on asiakastilaukonepaja, joka valmistaa koneita, komponentteja, laitteita ja tuotantolinjoja erityisesti kaivos- ja metalliteollisuuden tarpeisiin. Outotec Turula on erikoistunut projektitoimituksiin ja jokaiselle työlle nimetään projektipäällikkö, joka toimii asiakkaan yhteyshenkilönä. Konepajan hitsausosasto työskentelee asiantuntevien ja pätevien hitsaus (IWE)-insinöörien ja IWS-hitsausneuvokoulutuksen saaneiden osaajien johdolla. Käytössä on kaikki yleisimmät hitsausprosessit, kuten TIG-, MIG-, plasma-, laser-, jauhekaari- sekä robottihitsausmenetelmät.

Koneistukseen on mittava kapasiteetti CNC-ohjattuja sorvaus-, jyrsintä- ja aarporausyksiköitä. Kappaleiden pintakäsittely tapahtuu samalla tontilla sijaitsevan FSP:n Outokummun toimitiloissa. FSP Outokumpu on oma pintakäsittely-yksikkö, josta kaikki pintakäsittelyt ostetaan alihankintana.

Konepajalla on lämmintä ja katettua tuotantotilaa noin 20 000 neliometriä Outokummun teollisuuskylässä. Tuotantotilat on suunniteltu suurien laitekokonaisuuksien valmistukseen ja kokoonpanoon. Sisäisiin kuljetuksiin on 2 kpl 60 tn kantavaa vetomestaria, ja hitsaus- ja kokoonpanohallien suurimmat siltanosturit on suunniteltu 30 tn painavien kappaleiden nostoihin ja käsittelyyn.

Toiminnanohjausjärjestelmänä toimii SAP, joka otettiin käyttöön Outotec Turulassa vuonna 2014. Yritys työllistää tällä hetkellä noin 120 henkilöä, ja sen liikevaihto on noin 25 milj. euroa (2015) (Outotec, 2017).



### 3 KUSTANNUSRAKENTEEN MÄÄRITELMÄ

Kustannusrakenteeseen sisältyvät menot, jotka yrityksen on otettava huomioon suunnitellessaan tuotteen valmistusta tai palvelun tarjoamista. Eri kustannusrakennetyyppejä ovat liiketoimintakustannukset, uponneet kustannukset, rajakustannukset ja kiinteät kustannukset. Yrityksen kustannusrakenne on kiinteiden kustannusten ja muuttuvien kustannusten välinen suhde. (Strategy-Train, 2017)

#### 3.1 Kulut ja kustannuslaskenta

Laskentatoimen tehtävänä on selvittää yrityksen, sen osastojen tai työpisteiden todelliset tulot ja menot. Kirjanpidon kulueristä saadaan tarkasteltua suoraan tai arvioimalla syntyneet kustannukset. Olennaista on tiedostaa, missä kohtaa kustannusrakennetta yritys voi säästää ja samalla tehdä liikevoittoa. Nykyisin lisäarvoa jahdataan koko arvoketjusta, sen jokaisesta kohdasta. Arvoa ja siis voittoa lisääviä asioita ovat edulliset yrityksen ulkopuoliset hankinnat, jotka voivat olla joskus yli puolet liikevaihdosta. (Opetushallitus, 2017) Läpimenoajan pienentäminen ja sitä myötä hukkien poistaminen kuuluu myös olennaisesti arvoa tuottavan toiminnan kulmakiviin Lean-tyylisen ajattelutavan mukaisesti.

#### 3.2 Kustannuslaskennan avoimuus

Kustannuslaskennan tavoitteena on määritellä valmistettavalle tuotteelle sellainen hinta, että se kattaa tuotteen tai palvelun tuottamisesta aiheutuvat kustannukset ja huomioi kannattavuuteen ja kilpailukykyyn liittyvät tavoitteet (Tilisanomat, 2013). Perinteisessä kustannuslaskennassa laskentatoimi on yrityksen sisäisiä toimintoja tukeva ”liiketoimintasalaisuus”, jota ei asiakkaalle helposti julkaista. Kustannustieto käsitetään luottamukselliseksi tiedoksi, jonka avoin näyttäminen voi heikentää yrityksen kilpailuasemaa. Perinteisessä markkinaympäristössä edellä mainittu väittämä pitäne paikansa. Kilpailijan kustannustieto voi auttaa esimerkiksi tarjousvaiheessa löytämään sellaisia tuotteita, joiden valmistuksessa oma yritys on poikkeuksellisen kilpailukyinen. Harvojen toimittajien markkinoilla tämä mahdollistaisi kustannustehokkaalle toimijalle suurempien katelisien käyttämisen hinnoittelussa. Lisäksi kilpailijan kustannustieto voi mahdollistaa oman toiminnan kehityskohteiden löytämisen helpommin. Juuri nämä ominaisuudet tekevät avointen kirjojen (open-book accounting) käyttämisestä hyödyllisen yritysverkostoissa.

Lyhyesti määriteltynä avoimet kirjat- kustannuslaskennalla viitataan siihen, että yhteistyötä harjoittavat yritykset avaavat kustannuksensa joko osittain tai kokonaan. Joissakin tilanteissa kummatkin osapuolet esittävät toisilleen kustannuksensa, joissakin tapauksissa vain toinen osapuoli usein pienempi toimittajayritys esittää omat kustannuksensa.

Ei ole kuitenkaan välttämätöntä rajoittaa pelkästään kustannusten avoimeen esittämiseen, vaan sama periaate voidaan laajentaa esimerkiksi tuottavuus- tai tehokkuustietoihin, läpimenoaikoihin, varastotasoihin, toimitusvarmuuteen yms. Tällöin voidaan puhua lähinnä avoimet kirjat-ajattelusta, joka kattaa kustannustietojen lisäksi suuren määrän informaatiota.

Avoimet kirjat-ajattelutapa soveltuu hyvin tuotekehitystilanteeseen, jossa sekä tilaaja että toimittaja hakevat tuotteeseen kustannussäästöjä tai muutoin kehitetään tuotetta.

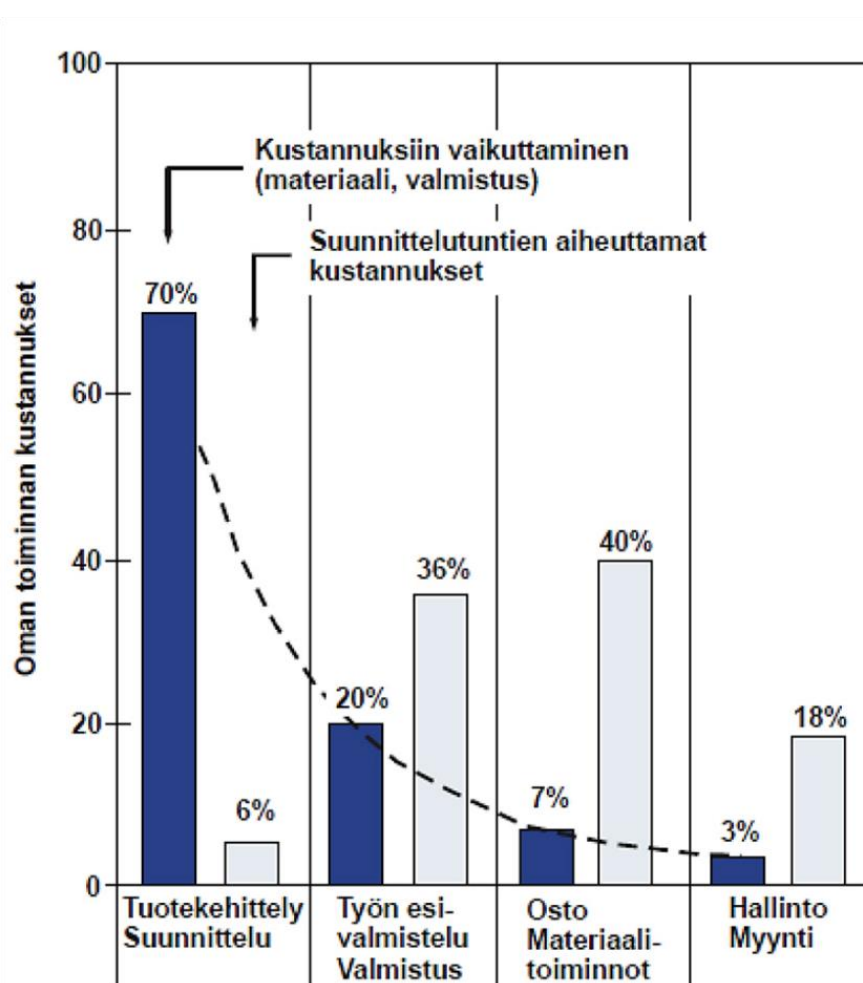
Kirjallisuudessa avoimet kirjat-järjestelmän kehittämisen yhteydessä pohditaan usein luottamuksen merkitystä, joskin asioiden syy-seuraussuhde ei ole itsestään selvä. On kuitenkin selvää, että luottamuksen saavuttaminen on ehdoton edellytys, jotta avoimet kirjat- laskentaa on mahdollista käyttää. Aivan ilmeisesti luottamus ja avoimet kirjat-laskenta tai laajemmin laskentatoimi ovat tiivisti linkitettyjä yritysten välisissä laskentajärjestelmissä. Avointen kirjojen käyttämisellä voidaan nähdä olevan joka tapauksessa hieman laajempaa merkitystä, kuin pelkästään kustannusten alentaminen toimitusketjussa. (Tenhunen, 2006)

### 3.3 Valmistettavuus ja kustannustehokkuus kustannuslaskennan perusteena

Valmistettavuuteen liittyvissä teoksissa mainitaan usein että, valmistuskustannuksista 70-80% määräytyy jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. Laadukkaalla suunnittelulla voidaan siis helposti vaikuttaa suoraan valmistushintaan, läpimenoaikaan, toimitusvarmuuteen sekä laatuun.

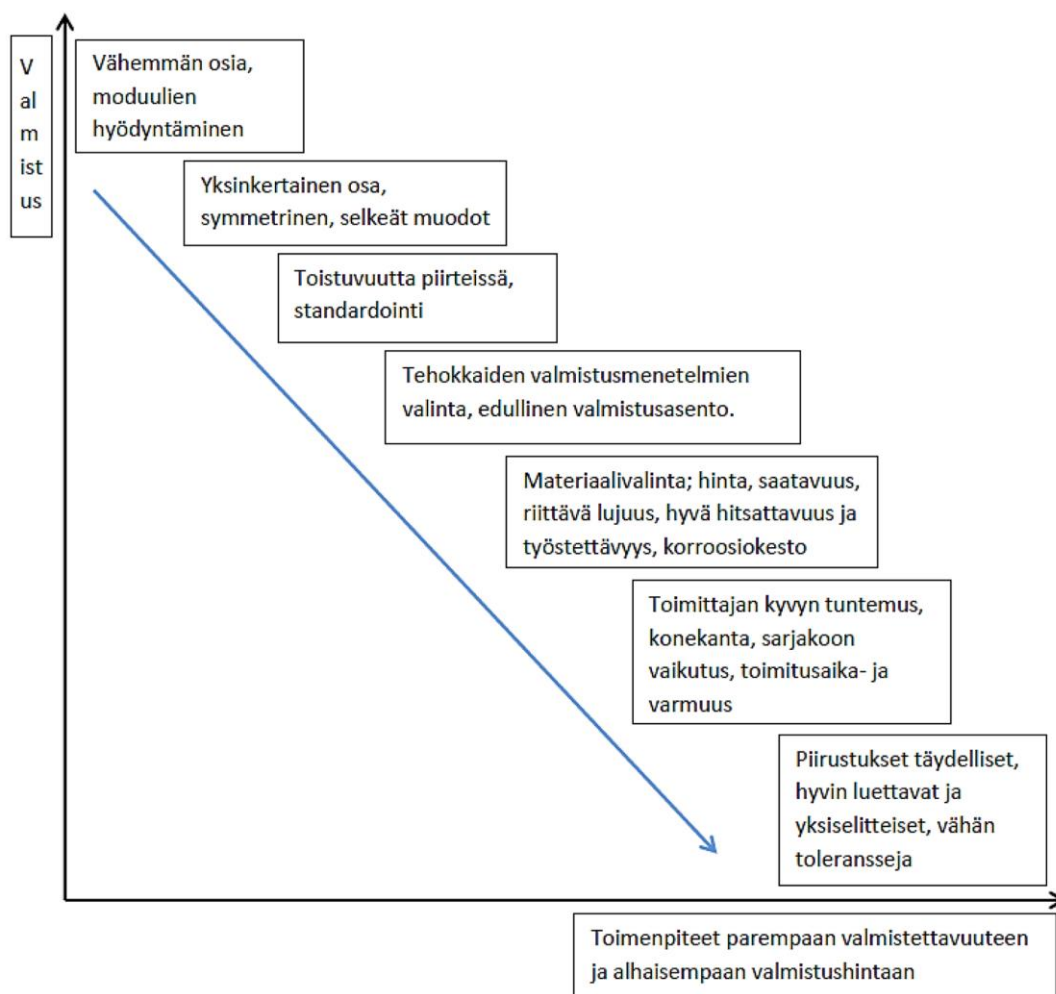
Hyvän ja tuotantotehokkaan suunnittelun edellytys on, että suunnittelija tuntee tuotannossa olevien valmistusmenetelmien ja laitteiden mahdollisuudet ja rajoitukset. Suunnittelijan on otettava selvää, mitä mahdollisuuksia tuotteen valmistuksessa on. Lyhyesti ilmaistuna suunnittelijan työ on suunnitella tuote niin, että sen valmistaminen kuluttaa mahdollisimman vähän aikaa ja panoksia raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi. (Piironen, 2013)

Kuviossa 1 kustannusten määräytyminen valmistuksen eri vaiheissa.



KUVIO 1. Kustannuksiin vaikuttaminen ja kustannusten muodostuminen konepajan eri osastoilla (Kempfi 2008, s 2)

Kannattavan liiketoiminnan yksi merkittävistä edellytyksistä on riittävä myyntikate. Sen tärkein tekijä on myyntihinnan ja omakustannushinnan erotus. Yritykseen jää sitä suurempi voiton mahdollisuus, jos myyntihinta on korkea ja omakustannushinta on matala. Tämä mahdollistaa yrityksen paremman kilpailukyvyn, jotta se pärjää markkinoilla ja kilpailussa. Kuviossa 2 on esitetty toimenpiteet valmistuskustannusten pienentämiseksi.



KUVIO 2. Valmistuskustannusten alentamiseen tarvittavat toimenpiteet suunnittelun avulla. (Piironen 2013)

Valmistuskustannukset muodostuvat pääosin työstä, materiaalista, pintakäsittelystä ja kuljetuksesta. Yksinkertaisissa teräsrakenteissa materiaalin osuus valmistuskustannuksista voi olla puolet ja monimutkaisissa rakenteissa materiaalin osuus pieni ja työn osuus on suuri. Kun tarkastelemme tuotteen valmistuskustannuksia, on tärkeää laskea, mistä valmistuskustannukset muodostuvat. Tällä varmistetaan se, että panos valmistuskustannusten alentamiseen kohdistuu oikeisiin asioihin. Suunnittelija voi vaikuttaa suoraan osien ja työn määrään. Konekannan tuntemus voi poistaa myös mahdolliset turhat siirrot ja työvaiheiden vaihtelut alihankinnasta. Kaikki työ, joka voidaan siirtää käsitöistä koneelliseksi, kannattaa tehdä.

Materiaaliksi valitaan lähtökohtaisesti edullisin vaihtoehto. Valinnassa kuitenkin huomioidaan myös sen saatavuus, erä koko, lujuusominaisuudet, korroosiokesto, hitsattavuus, muovattavuus, työstettävyys, ulkonäkö, varastointi, pintakäsittelyominaisuudet ja mahdollisesti tilaajan erityisvaatimukset. Työmenetelmä suunnitellaan sen mukaan, mikä on tehokkain ja taloudellisin menetelmä toteuttaa osan valmistus. Juuri suunnittelija vaikuttaa siihen, mitä valmistusmenetelmiä tuotteen valmistuksessa käytetään, jotta laatuvaatimukset täytetään mahdollisimman pienin kustannuksin. Valmistusvaiheessa tulee välttää käsityön osuutta, koska se on hidasta, epälaadukasta ja kallista. Suuri käsityön osuus huonontaa toimitusvarmuutta ja valmistuksen laatua. Tuote suunnitellaan lähtökohtaisesti mahdollisimman kevyeksi, mikäli ylipainovaatimuksia ei ole. Jokainen ylimääräinen massa kasvattaa tuotteen elinkaaren aikana siirto- ja kuljetuskustannuksia. Valmistusvaiheessa mahdollisimman vähäinen materiaalin käyttö tulee halvemmaksi ja ympäristökuormitukset pienenevät. Kuitenkin turhien kevennysreikien käyttöä tulisi välttää, koska niistäkin muodostuu kustannuksia. On harkittava, milloin kevennysreikien käyttö lisää asiakkaalle tulevaa arvoa ja laskeeko se valmistuskustannuksia. (Piironen, 2013)

Opinnäytetyössä on keskitytty sekoittimen kolmeen levyrakenteiseen osaan, joissa jokaisessa toistuvat samat perusongelmat. Materiaalit ovat suhteellisen kalliita, läpimenoaika on pitkä, työvaiheita on paljon, valmistukseen käytettävä konekanta ei sovellu parhaalla mahdollisella tavalla tekemiseen ja käsityöaste on korkea.

Materiaalien korkea hinta voi johtua esimerkiksi erikoislaaduista, saatavuudesta, monimutkaisista muodoista tai korkeasta jalostusasteesta (paksut särmätyt muodot). Läpimenoaikaan vaikuttaa työvaiheiden lukumäärä, odotusajat, osien lukumäärä, toleranssit, ulkoisen työn osuus, materiaalien saatavuus ja käytettävä konekanta. Korkeaan käsityöasteeseen ja käytettävään konekantaan vaikuttaa osien lukumäärä, rakenteen yksinkertaisuus ja osavalmisteiden osuus rakenteessa. Hyvää valmistettavuutta ja kustannussäästöjä haettaessa voidaan edellä mainittuihin ongelmiin etsiä ratkaisua esimerkiksi DFMA-menetelmällä.

Lyhenne DFMA-tulee sanoista Design for Manufacturing and Assembly. Termi tarkoittaa lyhyesti tuotteen suunnittelua siten, että jo suunnitteluvaiheessa huomioidaan lopputuotteen mahdollisimman helppo valmistettavuus ja kokoonpantavuus. (Hiekkänen, 2014) DFMA-menetelmä on hyvin laaja kokonaisuus, jota hyödynnetään yleisesti tuotekehitys- ja suunnittelutyössä. Tässä työssä esiintyvien ongelmakohtien ratkaisuun on haettu ratkaisua valmistettavuuden näkökulmasta ja keskitytty niihin asioihin ja tekijöihin, joiden avulla tuotteesta pyritään saamaan mahdollisimman yksinkertainen ja helposti valmistettava.

## 4 PROSESSI

### 4.1 Prosessin historiaa

Prosessi on Outokummun kehittämä kuparin ja nikkelin sulatusmenetelmä. Menetelmä kehitettiin vuosina 1945–1949 Harjavallan tehtailla ja se otettiin virallisesti käyttöön vuonna 1949. Nykyisen prosessin kehittämisen pääsyy oli sotien jälkeinen energiapula sekä prosessin taloudellisuus. Jatkosodan jälkeen sähköenergian saatavuus heikkeni ja hinta vastaavasti nousi voimakkaasti, mikä teki sähkösulatuksen kannattamattomaksi. Tuon ajan yleisintä sulatusmenetelmää lieskauunia (reverberatory smelting) harkittiin korvaavaksi prosessiksi, mutta se olisi tehnyt kuparinsulatuksen riippuvaiseksi fossiilisista tuontipolttoaineista. Tavoitteena oli kehittää prosessi, joka olisi olennaisesti riippumattomampi sekä sähköstä että fossiilisista polttoaineista. (Kojo, 2010)

Liekkisulatus tarkoittaa malmin tai rikasteen oman palamislämmön käyttämistä prosessin energiana. Ulkopuolelta tarvitaan vain happirikastettua ilmaa, jota puhalletaan liekkisulatusuuniin (Kuparinvalmistuksen historia Suomessa, 2017).

Prosessi on lähes autogeeninen menetelmä, joka perustuu sulfidisen rikasteen (rikin ja raudan hapettuminen) hapetusreaktiossa syntyvän lämpöenergian käyttöön sulatuksessa. Pyrometallurgisessa prosessissa raaka-aineena käytetään kupari- tai nikkelikastetta, jossa materiaalit ovat ns. sulfidissa muodossa eli rikasteessa olevat yhdisteet ovat pääsääntöisesti rikkiyhdisteitä.

Sulatuksessa käytetään kuparin tai nikkelin lisäksi myös hiekkaa sekä kaasumaisia raaka-aineita, kuten happea ja ilmaa. (Sahlman-Nyqvist, 2015) Prosessissa tarvitaan hyvin vähän ulkoista energiaa. Yleisemmin ulkoisen energian lähteenä on öljy tai maakaasu. Sulatuksessa syntyvää ylimääräistä lämpöenergiaa hyödynnetään myös muissa tuotantoprosesseissa sekä paikallisesti esimerkiksi kaukolämmön tuotannossa.

Sekoittimen kautta kuiluun syötetään kuivattu rikaste, uunista kierrätetty lentopöly, hiekka ja esilämmitetty kaasu. Sulfidiset rikastepartikkelit kuumentuvat konvektion ja lämpösäteilyn avulla syttymislämpötilaansa. Reaktio on eksotermien ja partikkelit sulavat osittain reaktiokuilussa.

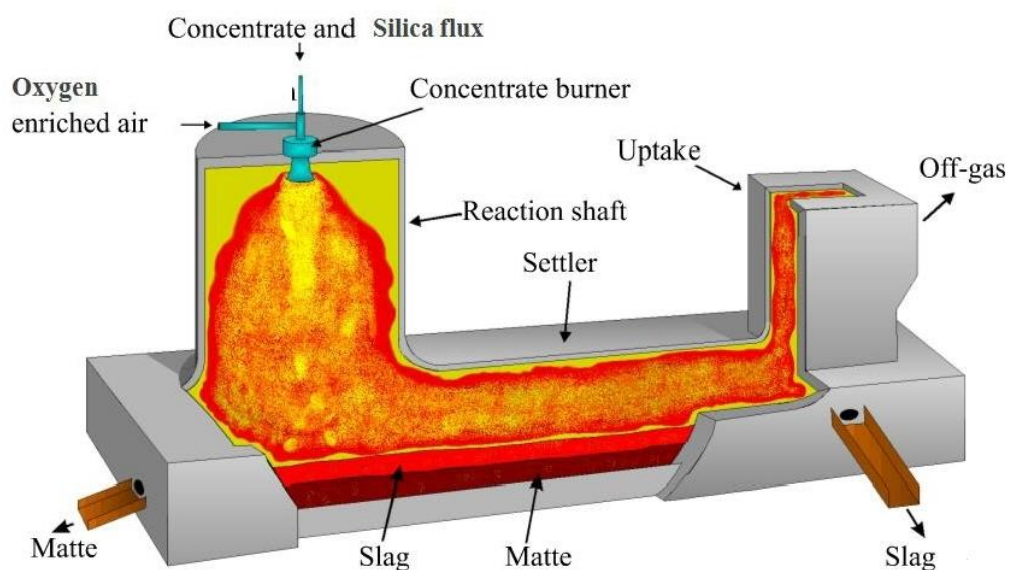
Raudan ja rikin palamisreaktiosta saadaan riittävästi lämpöä syöttöseoksen sulatukseen.

Reaktio jatkuu aluunissa, pohjalle muodostuu kuparikivi ( $\text{Cu} - \text{Fe} - \text{S}$ ). Kaasumainen rikkidioksidi johdetaan pois uunista nousukuilun kautta prosessilämpökattilaan ja sähkösuodattimeen. Kiintoainepöly otetaan talteen sähkösuodattimella ja lämpökattilan suppilolla. Pöly palautetaan takaisin uunin syöttöön. Kaasuista valmistetaan rikkihappoa ja nestemäistä rikkidioksidia rikkihappotehtailla.

(Sahlman-Nyqvist, 2015)

## 4.2 Sekoittimen toimintaperiaate

Sekoitin on tarkoitettu jauhemaisen syötteen ja reaktiokaasun syöttämiseen uunin kuiluun. Prosessissa syöttöseos koostuu sulfidisista rikasteista, kuonan muodostajista ja muista jauhemaisista komponenteista, syöttöseos sekoitetaan sekoittimen avulla reaktiokaasuun reaktiokuilun yläosassa. Reaktiokaasu voi olla ilmaa ja teknistä happea jotka syötetään omista syöttölinjoistaan, sekoitettuna näistä tulee happirikastettua ilmaa. Sekoittimessa on joukko saman keskeisiä kanavia, joiden kautta reaktiokaasu ja syöte syötetään ja sekoitetaan uuniin. Uunin korkeissa lämpötiloissa hapen avulla saadaan rauta hapettumaan ja kupari pysymään sulfidisena eli rikin yhdisteenä. Sekoittimen päätarkoituksena on saada aikaan kiintoainepartikkeleiden ja reaktiokaasun optimaalinen suspensio kuilussa. Prosessissa yksittäiset partikkelit kuumenevat ja syttymisen jälkeen ne alkavat palaa reaktiokaasussa olevan hapen kanssa. Palamisreaktio hienojen sulfidien kanssa on hyvin nopeaa ja vapauttaa siten runsaasti lämpöä, joka johtaa syöttöseoksessa olevien kiintoaineiden täydelliseen sulamiseen. Sulat partikkelit virtaavat alaspäin ja kerääntyvät alauuniin, jossa kuona ja sulfidinen metallikivi kerrostuvat erillisiksi kerroksiksi. Prosessissa syntyvät palokaasut virtaavat nousukuilun kautta lämpökattilaan jossa lämpö otetaan talteen. (Suomi Patenttinvirasto FI 120101B, 2009)



KUVA 1. Uuni (Outotec)

### 4.3 Sekoitin

Sekoitin on menetelmän keskeisin prosessilaitte, ja myös hyvin merkittävä tuote Outotec Turulan tuotannossa. Sekoitinta käytetään ympäri maailmaa erilaisissa prosesseissa kupari- ja nikkelisulatoilla. Sekoitinta valmistetaan ainoastaan Outokummussa Outotec Turulan konepajalla.

Sekoittimen rakenteella on hyvin tärkeä rooli siinä, kuinka hyvin prosessi toimii. Prosessin hyvä ja oikea toiminta perustuu syöttöseoksen tasaiseen hapetukseen. Sekoittimen tulee johtaa suspendoimansa (seostunut) syöttöseos ja prosessikaasu oikeassa suhteessa, ajallisesti koko ajan samalla tavoin reaktiokuiluun ja jakaa sen tasaisesti yli koko kuilun poikkipinnan.

Outotec Turulassa valmistettavia sekoittimia on pääasiassa kolmea erilaista mallia.

Sekoittimen koko määrittelee sen, paljonko syöttöseosta saadaan syötettyä sekoittimen läpi tunnissa, mitä suurempi syöttöaukon halkaisija sen suurempi kapasiteetti.



## 4.4 Uuni

Sekoitin sijaitsee uunin kuilun laipiossa. Seuraavassa luvussa on lyhyesti selostettuna prosessin kanalta merkittävimmät uunin pääosat.

### 4.4.1 Kuilu

Kuilussa syöttöseos hapettuu ja sulaa. Kiintoaineen putoamisaika on n. 1-3 sekuntia, jona aikana rikasteen sisältämät partikkelit lämpenevät, reagoivat ja pääosin sulavat ennen kuin ne sekoittuvat alauunissa olevaan sulaan. (Kettunen, 2013)

### 4.4.2 Alauuni

Kuilun palamisprosessissa sulat ja puolisolat reaktiotuotteet erottuvat kaasusta ja putoavat kuonasulaan kuilun alle. Tälle alueelle muodostuu kuonasulan pinnalle noin parin millimetrin vahvuinen viskoosi (jäykähkö) reaktiovyöhyke, jossa reaktiokuilusta purkautuvat sulat ja osin jähmeät tuotteet jatkavat keskinäisiä reaktioitaan.

Uunin pohjalle laskeutuu alimmaiseksi sulaa sulfidia eli kuparikiveä ja sen päälle tiheydeltään kevyempää ja kivisulaan liukenematonta sulaa kuonaa. Kivi- ja kuonakerrosten paksuudet ovat tyypillisesti muutamia kymmeniä senttimetrejä. Kuonan lämpötila (1 250-1 350 °C) on alla olevaa kivisulaa n. 50 °C korkeampi. (Kettunen, 2013)

### 4.4.3 Nousukuilu

Uunin nousukuilu liittää uunin kaasulinjaan, jossa on ensin lämmöntalteenotto. Nousukuilun tarkoitus on pudottaa kaasun nopeutta pinta-alaa kasvattamalla, jotta osa lentopölystä jäisi uuniin eikä menisi kaasuvirran mukana kattilaan. Rikasteen palamisessa syntyvät, rikkidioksidipitoiset prosessi-kaasut johdetaan nousukuilun kautta kattilaan. Nousukuilun jälkeinen niin sanottu kattilan kurkku yhdistää fyysisesti uunin kattilaan.

Yhtenä haittapuolena on suurehko pölyn muodostuminen ja siitä johtuva lentopölyjen kierrätys. Pölyä muodostuu 5-10 % syötteestä. Lentopöly sisältää n. 30 % kuparia, eli tyypillisesti enemmän kuin itse syöttöseos. Kuparilinjan uunissa pölyä muodostuu n 8 - 12t/h. (Kettunen, 2013)

Suuri osa sulatuksen aikana muodostuneesta lentopölystä pyritään ottamaan talteen ja kierrättämään uudestaan prosessissa. Pölyä kierrätetään takaisin prosessiin syöttörännin kautta, jossa se sekoittuu syöttörikasteeseen ja putoaa takaisin kuiluun.

## 5 KUSTANNUSTEN JAKAANTUMISEN SELVITTÄMINEN

Selvitettäessä tuotteen kustannuksia ja potentiaalisia säästökohteita, on hyvä tutkia aluksi, kuinka kustannukset jakaantuvat laitteen eri kokoonpanojen välillä. Potentiaalisia säästökohteita ovat laitteen osat joiden hankintahinta on merkittävä tai sen valmistamiseen kuluu huomattava määrä työtunteja, työvaiheita tai materiaaleja. Kustannusten jakaantumista voi seurata usealla eri tavalla, voidaan seurata kustannuksia hankintaryhmittäin, laitteen kokoonpanojen mukaan, tai esimerkiksi ABC-analyysin avulla lajiteltaessa tuotteet hinnan ja tilaustaaajuuden mukaiseen järjestykseen.

Tässä tapauksessa, kun tuotteen tilausrytmi on alhainen, on kustannusjakautumaa hyvä tarkastella kokoonpanossa esiintyvien kustannusylitysten tai hankintaryhmien perusteella.

Kun kustannusten muodostumista tarkastellaan hankintaryhmittäin niin kustannukset jakaantuvat silloin materiaalien, komponenttien, alihankittavien kokonaisuuksien ja kiinnitystarvikkeiden mukaisesti. Hankintaryhmien perusteella seurattavaa kustannusten toteutumista voidaan siis käyttää vain hankittaville kokonaisuuksille, joten siinä ei voida ottaa huomioon oman työn osuutta. Hankintaryhmätarkastelu paljastaa kuitenkin sen, mikä ryhmä aiheuttaa suurimmat kustannukset. Jos kustannukset ovat selvästi esimerkiksi alihankintapainotteiset niin on syytä keskittyä hakemaan säästökohteita sieltä. Lyhyesti sanottuna, säästökohteita on parasta hakea sieltä missä on eniten kustannusten ja työpanosten aiheuttamaa säästöpotentiaalia.

Kokoonpanojen perusteella tapahtuva tarkastelu tarkoittaa sitä, että tuotannonohjausjärjestelmästä etsitään syntyneet kustannukset tuoterakenteen mukaisesti kustannusryhmittäin. Tämän tarkastelutavan lähtökohta on, että kustannusryhmät rakentuvat työsuunnittelussa täsmällisesti tuoterakenteen mukaisesti. Kustannuspoikkeamia verrataan suunniteltuun budjettiin, karkeasti jaoteltuna vertailussa seurataan materiaalien sekä työtuntien kustannusten toteutumista suunniteltuun.

Kun rakenteesta on selvitetty kustannuksiltaan merkittävimmät kokonaisuudet jotka poikkeavat budjetista, voidaan seuraavaksi etsiä yksittäiset suurimmat kustannusten aiheuttajat. SAP-toiminnanohjausjärjestelmän eri hakutoiminnoilla (transaktiot) voidaan jäljittää suhteellisen helposti tuotteen kaikki kustannukset kustannusryhmittäin. SAP:n transaktiolla CN47N voidaan vertailla suunniteltujen ja toteutuneiden työtuntien suhdetta toisiinsa.

Work center	Σ	Work	Σ	Actual work
3020ALIP		2,5		1,500
3020APO		16,0		21,000
3020ASE		8,0		13,000
3020HIK		370,0		445,000
3020IWO		32,0		30,000
3020MAN		73,0		63,000
3020NDT		2,0		1,500
3020NEST		0,0		23,500
3020PAK		26,0		12,000
3020PICK		2,0		0,250
3020PIN		11,0		14,500
3020TOS		72,0		185,250
3020WRD3		16,0		20,500
		<b>630,5</b>		<b>831,000</b>

KUVIO 3. Esimerkki suunniteltujen ja toteutuneiden työtuntien vertailusta (2017 Holopainen)

Projektien kateseuranta työkalun avulla (SAP:n transaktio S\_ALR\_87013542) saadaan projektin etenemästä hyvä yleiskuva. Tätä transaktiota voidaan käyttää projektien kateseurannassa, taloudellisen tuloksen ennustuksissa sekä projektien jälkilaskennassa. Kuvion 3 taulukosta näkyy esimerkki kustannusten jakaantumisesta eri kustannuspaikkojen kesken. Cost Elements- sarake esittää kustannuspaikan nimen, Actual- sarake näyttää toteutuneet kustannukset, Commitments- sarake esittää sitoutuneet kustannukset, Total- sarake laskee toteutuneet ja sitoutuneet yhteen ja Plan- sarake esittää suunnitellut kustannukset. Taulukon alin rivi laskee yhteen kunkin sarakkeen toteutuman. Silloin kun Total- sarakkeen alimman rivin summa on miinus- merkkinen, niin projektin talous on plussan puolella ja jos ko. summa on plus merkkinen, niin silloin kulut ovat ylittäneet suunnitellut kustannukset.

Cost Elements	Actual	Commitments	Total	Plan
20072100 Technology sales	349 122,00-		349 122,00-	349 122,00-
30069510 Purchase to projects	148 665,57		148 665,57	234 985,76
30233200 Machinery & equipment	6 152,98		6 152,98	1 503,00
33026000 Purchases of natural gas	356,10		356,10	
34501000 Freight costs	5 998,89		5 998,89	
34505000 Custom duties and fees	37,05		37,05	
36020230 Maint ser, buildings	241,94		241,94	
36029900 Other services	2 586,02		2 586,02	500,00
38012170 Consumption of supplies	701,35		701,35	119,64
96310100 SCE Act, F.worker int	146 430,25		146 430,25	87 336,75
96310200 SCE Act, F.worker EXT	13 275,00		13 275,00	
* All Cost Elements	24 676,85-		24 676,85-	24 676,85-

KUVIO 4. Esimerkki projektien kateseurannasta (2017 Holopainen)

Edellä kuvatulla kateseuranta työkalulla voidaan tarkastella kulurakennetta myös tarkemmin, avaamalla kustannuspaikan nimen, voidaan kyseinen kustannuspaikan tapahtumat tarkastaa rivi riviltä. Kolmas hyödyllinen työkalu kustannusten seurantaan on SAP:n transaktio CN41N jolla voidaan tarkastella myös projektin etenemää ja kustannuksia. Tämän transaktion avulla voidaan hakea kustannukset koko projektille tai tarvittaessa vaikka yksittäiselle osalle. Transaktion etu on, että se on täysin projektille luodun rakenteen mukainen, tämä helpottaa isoissa ja monimutkaisissa projektirakenteissa yksittäisille osille tai työvaiheille syntyneiden kustannusten hakua.

Käyttäjistä ja käyttötarpeesta riippuen, eri toiminnanohjausjärjestelmistä saadaan yleensä riittävästi eri vaihtoehtoja kustannusten seurantaan. Selkeät budjettiylitykset tulisi aina selvittää ja etsiä niille perustelut. Kun säästökohteita haetaan niin säästökohteesta tulisi olla mahdollisimman paljon historiatietoa, jotta voidaan olla varmoja siitä, ettei budjettipoikkeama ole yksittäinen tapahtuma. Yksittäisten poikkeamien taustalla voi olla muuta kuin esimerkiksi valmistettavuuteen tai tuoterakenteeseen liittyvät ongelmat. Esimerkiksi työntekijöiden vaihtuvuus, tietokatkokset, hankintavirheet tai väärin kirjatut tunnit voivat aiheuttaa suurenkin yksittäisen piikin tuotteen hintaan.

## 5.1 Pohjakartio

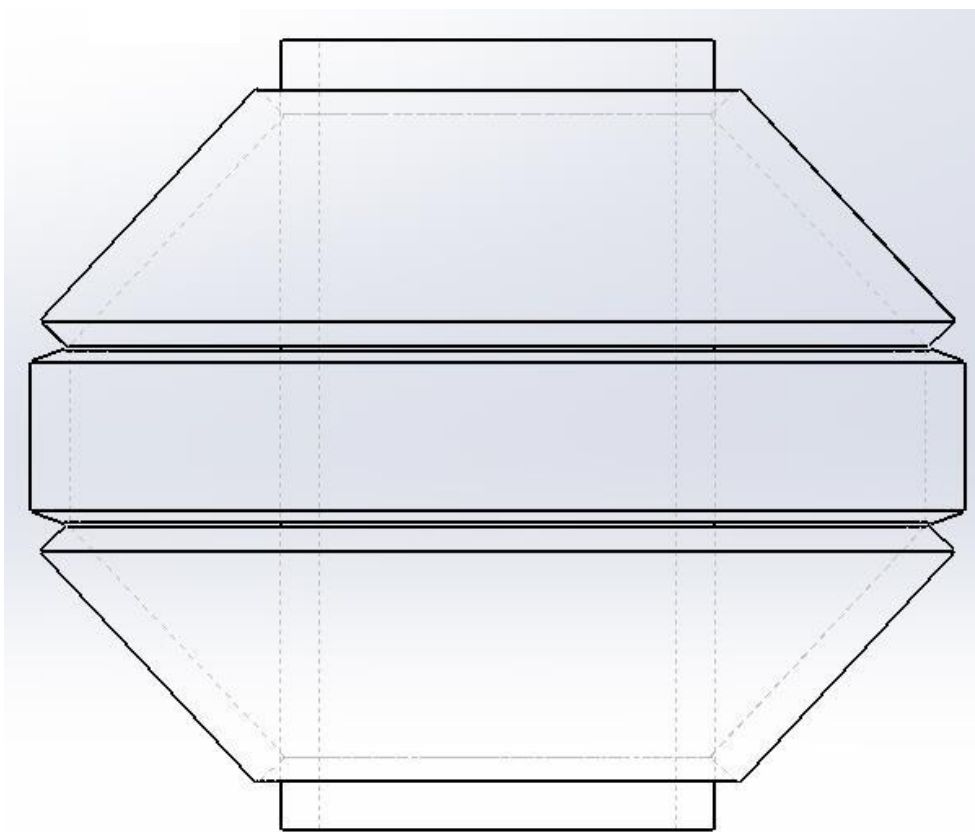
Pohjakartion tehtävänä on säätää suppilon läpi tulevan prosessi-ilman virtausnopeutta. Pohjakartio liikkuu lieriön alaosan päällä. Kartiota liikutetaan kahden säätötangon avulla, jotka on yhdistetty sekoittajan yläosassa sijaitsevaan kulmavaihteeseen. Ohjelmoitavalla kulmavaihteella ilmavirtaa saadaan säädettyä prosessin vaatimalla tavalla. Prosessi-ilmaseos johdetaan ilmayhteiden kautta suppiloon ja siitä edelleen kuiluun.

### 5.1.1 Pohjakartio levyleikkeistä

Pohjakartion rakenne koostuu mankeloiduista lieriömäisistä ja kartiomaisista levykappaleista. Pohjakartio valmistetaan hitsaamalla särmätyt, mankeloidut ja esikoneistetut levykappaleet toisiinsa, jonka jälkeen kartiot koneistetaan. Koneistus vaatii kaksi eri koneistusvaihetta (sorvi ja aarpora). Koneistuksen jälkeen tuotteet happopeitataan ja siirretään asennukseen tai lähetetään suoraan asiakkaalle (varaosat).

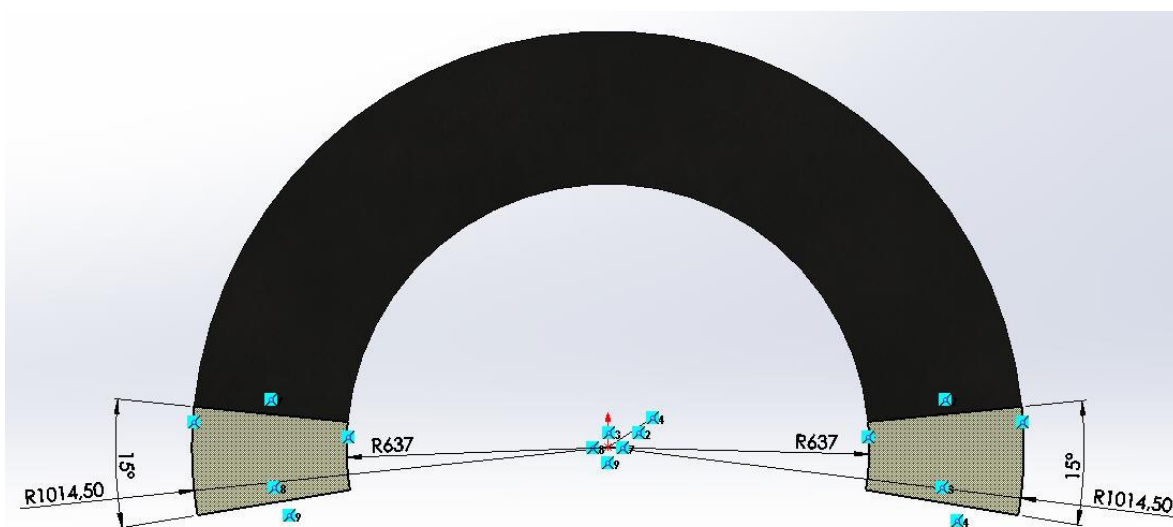
Pohjakartion valmistuksessa käytetään kahta erilaista materiaalia, kartion alimpien osien materiaali kestää paremmin kulumista kuin ylempien. Materiaali on valittu kartioon tarkkojen kuormitus laskelmien perusteella.

Kartion hitsaukseen tai hitsattavuuteen ei kahden eri materiaalin eripariliitoksessa ole juurikaan merkitystä, ja koko hitsausprosessi voidaan suorittaa yhtä lisäainetta käyttämällä. Päähitsausprosessina säätökartioiden hitsauksessa käytetään jauhekaarimenetelmää. Osien silloitus- sekä juuripalkojen hitsaukset suoritetaan mag-prosessilla. Kartion kustannuksia tarkasteltaessa käy ilmi, että hitsaus on koko työvaihetun aikaa vievin osuus. Hitsaustyö suoritetaan kolmessa vaiheessa: ensimmäisenä silloitus ja juuripalkojen hitsaus, toisena jauhekaarihitsaus ja viimeisenä yläkartion koneistuksen jälkeen nostokorvakoiden hitsaus. Hitsaustyön onnistumisen kannalta oleellisinta on, että osavalmistuksesta tulevat kartiot ovat pyörähdyssymmetrisiä ja mittatarkkoja ja että hitsausviisteet sattuvat hyvin kohdakkain. Osavalmistuksessa tehtyjä virheitä ei voi enää juurikaan korjata myöhemmissä työvaiheissa. Kuvassa 5 on nähtävissä, että kartion osien sijoittelu ja railomuodot.

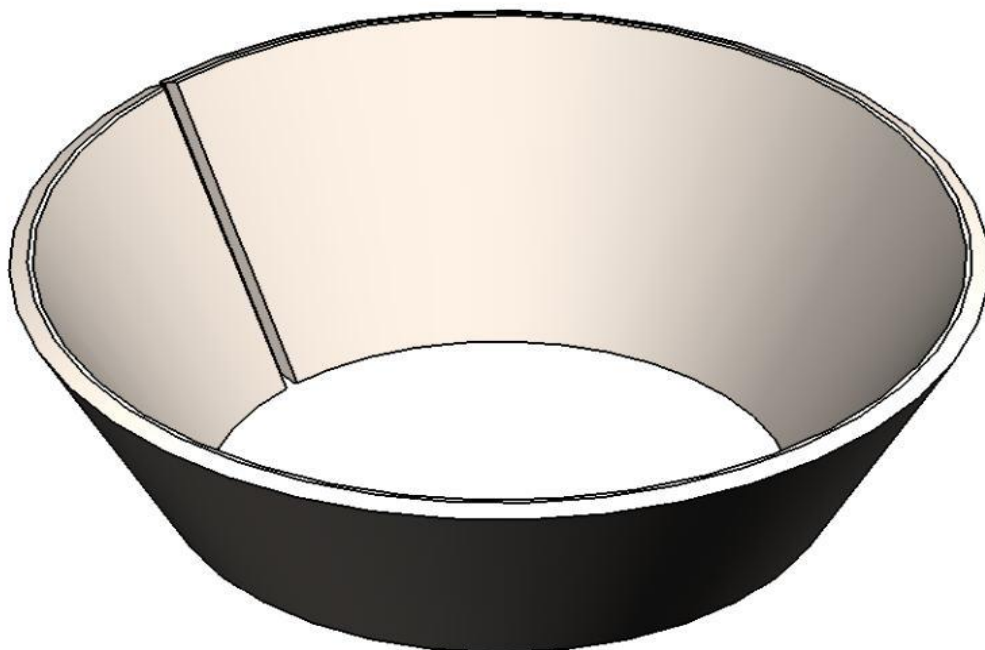


KUVA 2. Pohjakartion lankamalli (Holopainen 2017)

Jauhekaarihitsauksen jälkeen kappale koneistetaan. Koneistusvaihe on työvaiheketjussa toiseksi piisin ja lähes yhtä suuri kustannusten aiheuttaja kuin hitsaus. Pohjakartioille tulee yhteensä kaksi koneistusvaihetta, sorvaus ja aarporaus. Sorvausvaihe tehdään kahdella eri kiinnityksellä: Ensimmäisessä vaiheessa sorvataan kartion yläpuolen otsapinta, yläpuolen sisäreikä sekä yläkartion ulkopinta. Kappaleen käännön jälkeen sorvataan alakartion vastaavat pinnat. Aarporausvaihe käsittää säätötankojen korvakoiden koneistuksen ja kyseinen työvaihe voidaan suorittaa yhdellä kiinnityksellä. Koneistuksen kannalta kappaleesta tekee haastavan se, että kappale on suhteellisen kookas, hankalan muotoinen kiinnittää ja työvarat kauttaaltaan ovat melko vähäiset. Riittävien koneistustyövarojen edellytyksenä on, että osavalmistuksen jälkeen osien geometria on täysin kuvien mukainen ja että hitsaustyössä kappaleiden sovitus onnistuu ilman paikoitusvirheitä. Osavalmistuksen suurimmat ongelmat ovat kartiolevyjen särmäys- ja mankelointityövaiheissa. Otetaan esimerkiksi alakartiolevy, jonka paksuus on 10 mm. Levyn saaminen geometrialtaan riittävän pyöreäksi vaatii riittävän tehokkaan särmäyspuristimen, jolla särmätään levykappaleen molempiin päihin oikean suuruinen taivutus säde. Särmäyksen jälkeen kartiolevy mankeloidaan oikeaan muotoonsa. Toinen tapa valmistaa kyseinen levy on, että polttoleikkaustyövaiheessa aihio poltetaan reilusti ylipitkäksi, minkä jälkeen mankeloinnissa kartion molemmat päät esitaivutetaan oikealle pyöristyssäteelle. Esitaivutuksen jälkeen levyjen ylimääräinen suoraksi jäänyt osuus leikataan pois, kartio mankeloidaan mittaansa ja liitossauma hitsataan kiinni. (kuvat 6 ja 7)



KUVA 3. Alakartiolevy lisätyillä työvaroilla (Holopainen 2017)



KUVA 4. Alakartiolevy mankeloituna (Outotec 2017)

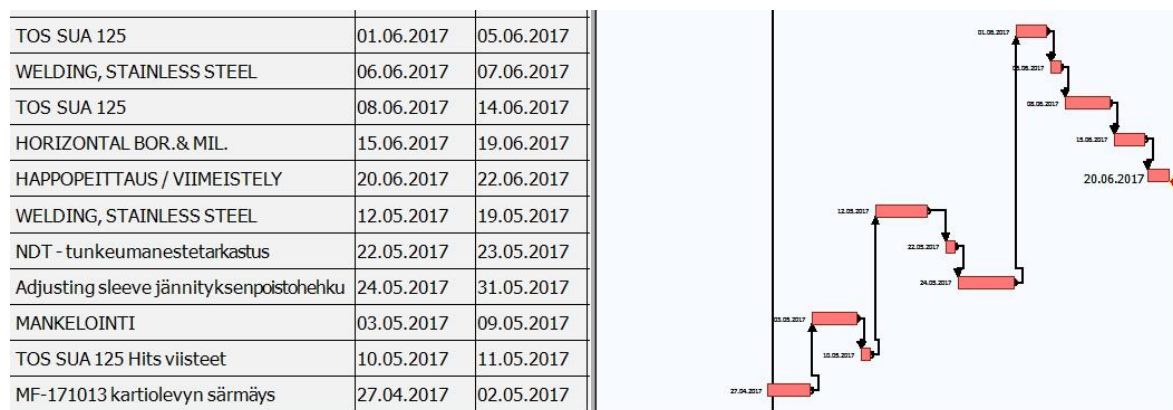
### 5.1.2 Pohjakartioiden valmistettavuus

Valmistettavuuden yhteydessä käytetään usein lyhenteitä DFM (Design For Manufacturing) ja DFA (Design For Assembly) tai niiden yhdistelmää DFMA. DFM yhdistetään yleensä osavalmistukseen, jolloin sen yhteydessä pyritään kokoonpanossa olevan yksittäisen osan materiaalin ja muodon valintaan siten, että sen valmistus on mahdollisimman helppoa ja halpaa. (Hietikko, 2015)

Valmistettavuuden näkökulmasta katsottuna suunnittelussa tulisi pyrkiä vähentämään tuotteen osien määrää mahdollisimman vähäiseksi. Jokainen erillisen osa sitoo työtunteja sekä kustannuksia useassa eri työvaiheessa. Jokainen erillinen osa sitoo itseensä myös kiinteitä hallintokustannuksia, kuten työsuunnittelua, projektinhoitoa ja hankintaa. Myös tuotannon häiriöiden riskitekijät kasvavat huomattavasti mitä enemmän valmistettavassa tuotteessa on eri osia. Jos rakenteesta puuttuu yksi osa, tai se on syystä tai toisesta viallinen, niin koko tuotteen valmistus voi pysähtyä. Tällaiset yksittäiset pienetkin häiriöt voivat aiheuttaa tarkkaan suunnitellussa valmistusketjussa suuriakin viivästyksiä. Toinen tärkeä kehityskohde on kiinnittää huomiota eri työvaiheiden määrään ja sitä kautta valmistusketjun pituuteen. Osien määrän vähentäminen auttaa lyhentämään myös työvaiheketjua, mutta myös valmistusmenetelmiin, työjärjestyksiin ja sitä kautta työvaiheiden määrään tulee kiinnittää suurta huomiota.



Seuraavassa kaaviossa on esitetty kahden pohjakartion työvaiheketju, kun valmistus tehdään levyosista.

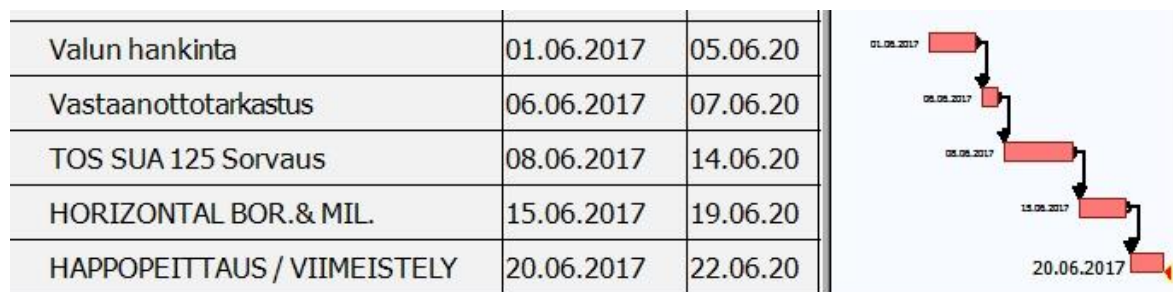


KUVIO 5. Pohjakartioiden gant- kaavio levyosista (Holopainen 2017)

Kuviossa 5 esitetty työvaiheketju sisältää yhteensä 11 eri työvaihetta, alkaen kartiolevyjen osavalmistuksesta päättyen valmiiden kartioiden pintakäsittelyyn. Pintakäsittelyn jälkeen kartiot voidaan varastoida, lähettää suoraan asiakkaalle tai siirtää asennukseen kokoonpantavaksi.

Työvaiheketjun pituus 27.4-22.6 kestää yhteensä 56 kalenteripäivää eli 8 työviikkoa.

Seuraavassa kaaviossa on esitetty pohjakartioiden työvaiheketju, kun kartiot valmistetaan valuteräksestä.

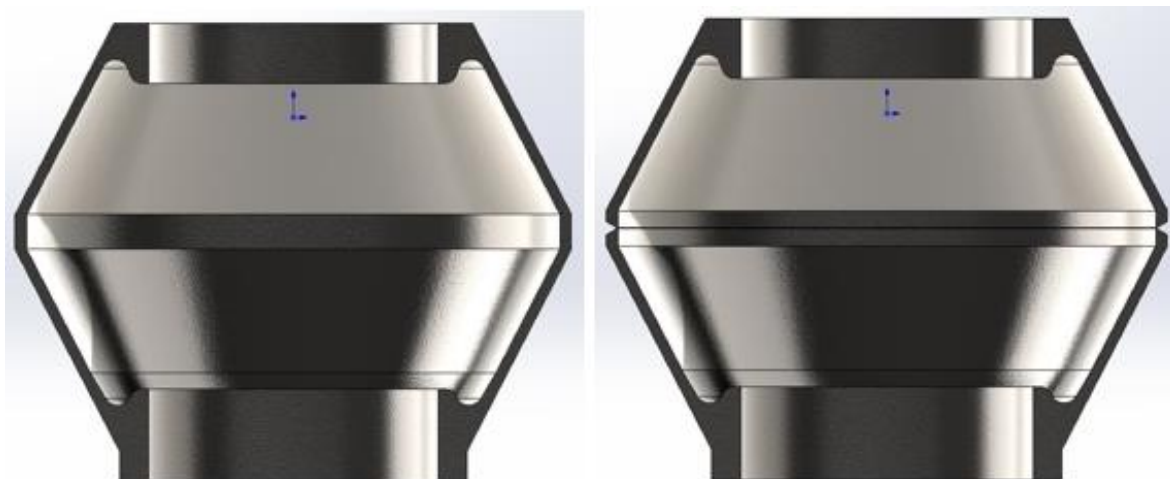


KUVIO 6. Pohjakartioiden gant- kaavio valuteräksestä (Holopainen 2017)

Kuviossa 6 pohjakartiot on suunniteltu valmistettavaksi valuteräksestä. Valuteknisesti kyseinen muoto on mahdollista valaa joko kokonaan valmiiksi tai kahdesta osasta (kuva 9), jolloin jakotaso määritellään ylä- ja alakartion puoliväliin kartion suoran vaippalevyn keskelle. Verrattaessa kuvioiden 5 ja 6 työvaiheketjuja voidaan huomata, että työvaiheiden määrä sekä valmistukseen läpimenoaika pienenee merkittävästi käytettäessä valuterästä.

Kuviossa 6 työvaiheita on suunniteltu 5 kpl. ja läpimenoaika on 21 kalenteripäivää eli 3 työviikkoa.

Kun verrataan vielä työvaiheketjujen tehollisia työvaiheita, niin valuaihiosta valmistettu kartio valmistuu kolmella työvaiheella kahdessa viikossa.

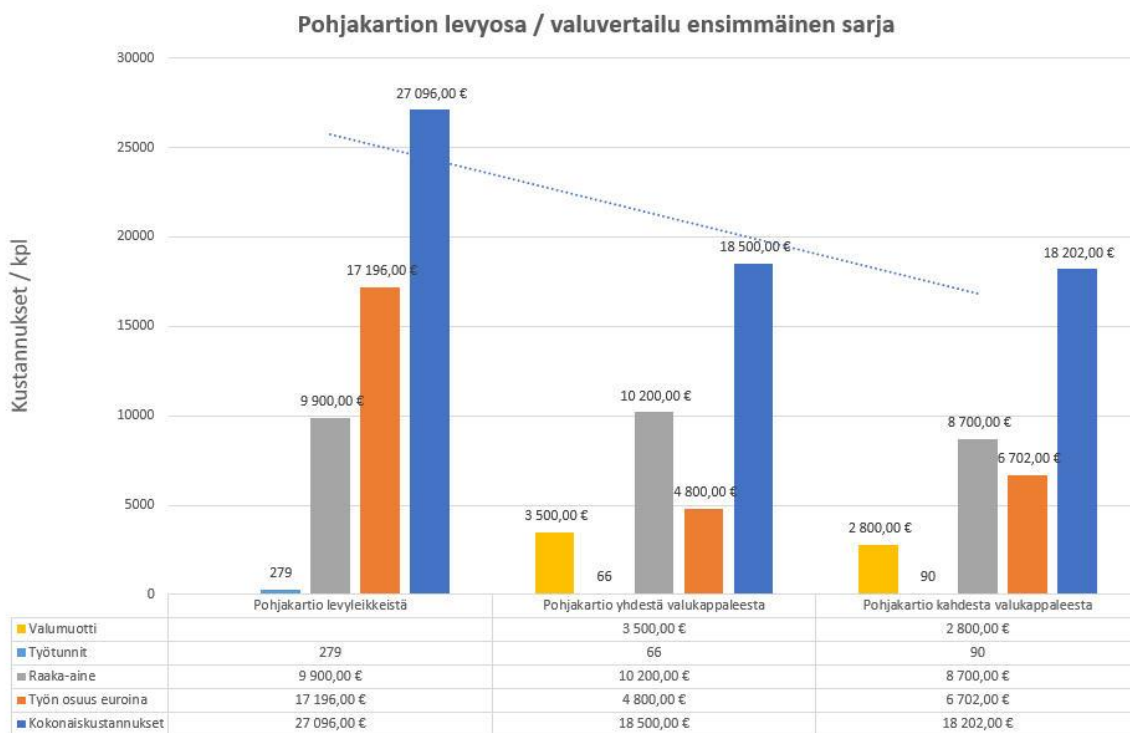


KUVA 5. Solidworks mallit valettavista pohjakartioista (Holopainen 2017)

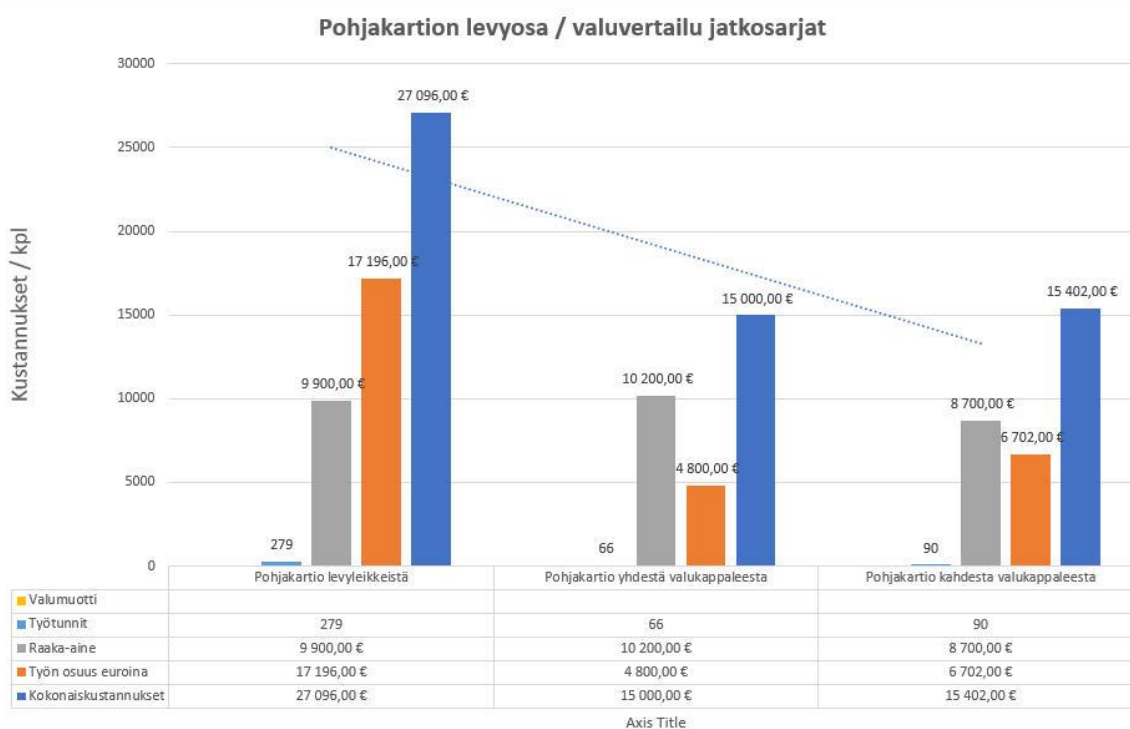
Kuvassa 9 on mallinnettu pohjakartio valmistettavaksi valamalla. Vaihtoehtoja on kaksi, valu voidaan tehdä kerralla valmiiksi (vasen kuva) tai kahdesta osasta (oikea kuva) jolloin jakotason liitossauma on hitsattava ennen koneistusvaihetta. Jos valu tehdään kerralla valmiiksi niin silloin valumuottikustannukset ovat suuremmat ja työmäärä vähenee. Jos valu tehdään kahdesta osasta niin muottikustannukset ovat vastaavasti pienemmät ja työkustannukset kasvavat.

Tuotteistamisen ja tuotesuunnittelun kautta säästöä valmistukseen voisi saada suunnittelemalla kartion ylä- ja alaosista samanlaiset, jolloin yksi ja sama valumuotti kävisi molempien lohkojen valamiiseen. Kuviossa 7 on pohjakartion hintavertailu, johon on laskettu mukaan valumuottien kertaluontoiset valmistuskustannukset. Kaksiosainen valu on kyseisessä taulukossa suunniteltu valmistettavaksi yhdellä muotilla.

Seuraavissa kuvioissa (7 ja 8) on esitetty kustannusvertailu yhden pohjakartion valmistuksesta levytyönä ja kahdella eri tavalla valuteräksestä valmistettuna.



KUVIO 7. Säätokartion hintavertailu ensimmäinen sarja (Holopainen 2017)



KUVIO 8. Pohjakartion hintavertailu jatkosarjat (Holopainen 2017)

Vertailtaessa kustannuksia huomataan että, tuotteen valmistuksen kokonaiskustannukset putoavat siirryttäessä valuun ensimmäisessä sarjassa n. 30 % ja seuraavissa sarjoissa yli 40 % / kpl.

Kustannusero levytyönä valmistettavan ja valusta valmistettavan kartion välillä on niin suuri että, valusta valmistettava kartio on halvempi jo ensimmäisestä kappaleesta alkaen.

Vertailtaessa valujen välistä eroa huomataan että, kokonaiskustannukset ovat lähes identtiset ensimmäisen sarjan jälkeen. Valmistettavuuden kannalta ajateltuna on kuitenkin selvää että, kyseisessä tuotteessa tulisi pyrkiä yhteen yhtenäiseen valuun jolloin työvaiheiden lukumäärä voidaan minimoida.

Vertailtaessa työtuntien muutosta, siirryttäessä valujen käyttöön käytettävät tunnit putoavat jopa 75 % levytyönä valmistettavaan kartioon verrattuna. Työn suhteellinen osuus kokonaiskustannuksista putoaisi parhaassa tapauksessa jopa kolmannekseen alkuperäisestä.

Materiaalien osuus kustannuksista on kaikilla malleilla samaa tasoa. Syy levyosien korkeaan hintaan selittyy erikoismateriaalista, joita joudutaan käyttämään kartion alapinnoilla, sekä kartiolevyjen leikkausgeometriasta, joka vie paljon leikattavan levyn pinta-alaa jonka mukaan leiketoimittaja hinnoittelee tuotteen.

## 5.2 Kiintoaineohjain

Kiintoaineohjain tehtävänä on hajottaa hajoitinputken läpi virtaava hienojakoinen syöttöseos kuiluun tasaisesti koko kuilun poikkipinta-alalle. Syöttöseos sekoittuu suppilon läpi virtaavaan prosessi-ilmaan samalla kun se putoaa kuiluun.

Kiintoaineohjaimen tulee kestää ulkopinnaltaan kovaa abrassiivista kulumista sekä korkeita lämpötiloja. Kartion perusmateriaalina käytetään rakenneterästä tai vaihtoehtoisesti valuterästä, molempien perusaineiden tekniset ominaisuudet ovat samanlaisia. Ohjain pinnoitetaan kovahitsaamalla, jolla saavutetaan kova ja kulutusta kestävä pinta. Kartion pinta sorvataan puhtaaksi hitsauksen jälkeen ja pinnoitteen paksuus valmiin kartion pinnassa on noin 1 mm.



KUVA 6. Kiintoaineohjaimen pyöröteräsaihiota (Holopainen 2017)

### 5.2.1 Ohjaimen valmistus pyöröteräsaihiosta

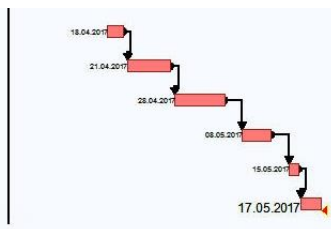
Kiintoaineohjaimet on valmistettu perinteisesti umpiteräksisestä pyörötankoaihiosta sorvaamalla. Kyseisellä menetelmällä ongelmaksi on muodostunut aihion esikoneistukseen kuluva aika sekä merkittävä hukkamateriaalin syntyminen lastujen muodossa. Kappaleesta poistetaan aarporaamalla ja sorvaamalla esikoneistusvaiheessa n. 85-90 % sen ahiopainosta. Esimerkkinä D-400 mm:n ohjain jonka pyöröteräsaihiopaino painaa n. 437 kg ja esikoneistuksen jälkeen paino on 47 kg. Jäljelle jäävä paino prosentteina:  $(47 \text{ kg} \times 100 \% / 437 \text{ kg}) = 10,76 \%$ .

Ohjainta valmistetaan normaalisti 5 kappaleen tuotantoerissä, joten edellä mainittujen kappaleiden esikoneistuksessa lastua muodostuu yhteensä 1 950 kg. Esikoneistukseen kuluva työaika on noin 10-14 tuntia/kpl (aarporaus ja esisorvaus). Yhden kappaleen kaikkien työvaiheiden yhteenlaskettu valmistusaika on n. 30 tuntia joten, esikoneistuksien osuus koko valmistusajasta on 33-45 %. Kun esikoneistuksien keskimääräinen työaika on noin 12 tuntia/kpl ja konetuntihinta on 75 €/tunti, niin pelkästään ohjaimien esikoneistukset maksavat 900 €/kpl.

Pyöröteräksestä valmistettavien ohjaimien työvaiheketju sisältää yhteensä 5-6 eri työvaihetta. Työvaiheet: aarporaus, esisorvaus, kovahitsaus, loppusorvaus, varastointi ja pakkaus / toimitus. Vaiheketjun pituus ensimmäisen työvaiheen aloituksesta viimeisen loppuun on normaalisti noin 4-5 viikkoa.

Seuraavassa työsuunnittelu D-360 kartion 5 kappaleen varastosarjasta (pyöröteräsaiho).

6192171 / 0010	HORIZONTAL BOR. & MIL.	18.04.2017	20.04.2017	10,0 H
6192171 / 0020	HEYNEMAT	21.04.2017	27.04.2017	60,0 H
6192172 / 0010	WELDING ROBOT	28.04.2017	05.05.2017	30,0 H
6192172 / 0020	PUMA	08.05.2017	12.05.2017	30,0 H
6192172 / 0030	WAREHOUSE	15.05.2017	16.05.2017	0,5 H
6192172 / 0040	PACKING & SHIPMENT	17.05.2017	19.05.2017	3,0 H



KUVIO 9. D-360 vaiheketju pyöröteräs (Holopainen 2017)

### 5.2.2 Ohjaimen valmistus valuaihiosta

Turhien työvaiheiden ja hukkamateriaalin poistamiseksi yhtenä vaihtoehtona on valmistaa aihiot valamalla. Valamalla valmistettavista kartioista on yrityksessä yksi referenssiprojekti vuodelta 2015, jolloin D-400-mallin valuaihioita valettiin 5 kpl:n erä. Testierän tarkoituksena oli selvittää, käyttäytykö valuteräs samalla tavoin kuin pyöröteräs, kun se pinnoitetaan kovahitsaamalla sekä kestääkö hitsattu pinnoite valussa kiinni, kun sitä lämpökuormitetaan. Testi oli projektiluontoinen, ja sen aikana testattiin myös ohjaimen alapuolelle kiinnitettävän jäähdyttimen materiaaleja ja lämmönkestominaisuuksia. Testauksen suoritti projektiryhmä, johon kuului neljä henkilöä Outotec Espoosta sekä neljä henkilöä Outotec Turulasta.

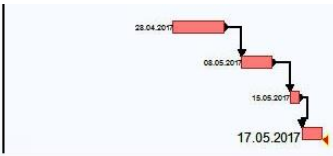
Testiprojektin tuloksena voitiin todeta, että valuteräs toimii perusmateriaalina samalla tavalla kuin pyöröteräs. Valuaihiossa todettiin kuitenkin puutteita työvaroissa ja ulkomitoissa. Testiprojektia varten tilatut valuaihiot jouduttiin esikoneistamaan ennen kovahitsausta. Tuotteen valmistettavuuden kannalta edullisinta kuitenkin olisi, että valut ovat ulkomitoiltaan suoraan sellaisia, että kovahitsaus voidaan suorittaa suoraan valupinnalle.

Valuaihioiden mitoituksessa ja uudelleen mallinnuksessa oli otettava huomioon koneistuksen, hitsauksen sekä valettavuuden tarpeet. Kiintoainehjain mallinnettiin uudelleen ja 3-D mallit hyväksyttiin aluksi valimolla ja tämän jälkeen suunnittelulla. Uudelleen mallinnuksen jälkeen valuaihioiden mitat ovat sellaiset, että esikoneistuksia ei enää tarvita. Ensimmäinen työvaihe kun valut saapuvat on robotisoitu kovahitsaus.

Kun materiaali vaihdetaan pyöröteräksestä valuun, työvaiheketjusta voidaan poistaa kaksi ensimmäistä työvaihetta kokonaan. Esimerkkisarjan läpimenoaika lyhenee noin viidestä viikosta kolmeen viikkoon ja työtunnit vähenevät 133,5 tunnista 63,5 tuntiin.

Seuraavassa työsuunnittelu D-360-kartion viiden kappaleen varastosarjasta (valuaihio).

6192172 / 0010	WELDING ROBOT	28.04.2017	05.05.2017	30,0 H
6192172 / 0020	PUMA	08.05.2017	12.05.2017	30,0 H
6192172 / 0030	WAREHOUSE	15.05.2017	16.05.2017	0,5 H
6192172 / 0040	PACKING & SHIPMENT	17.05.2017	19.05.2017	3,0 H

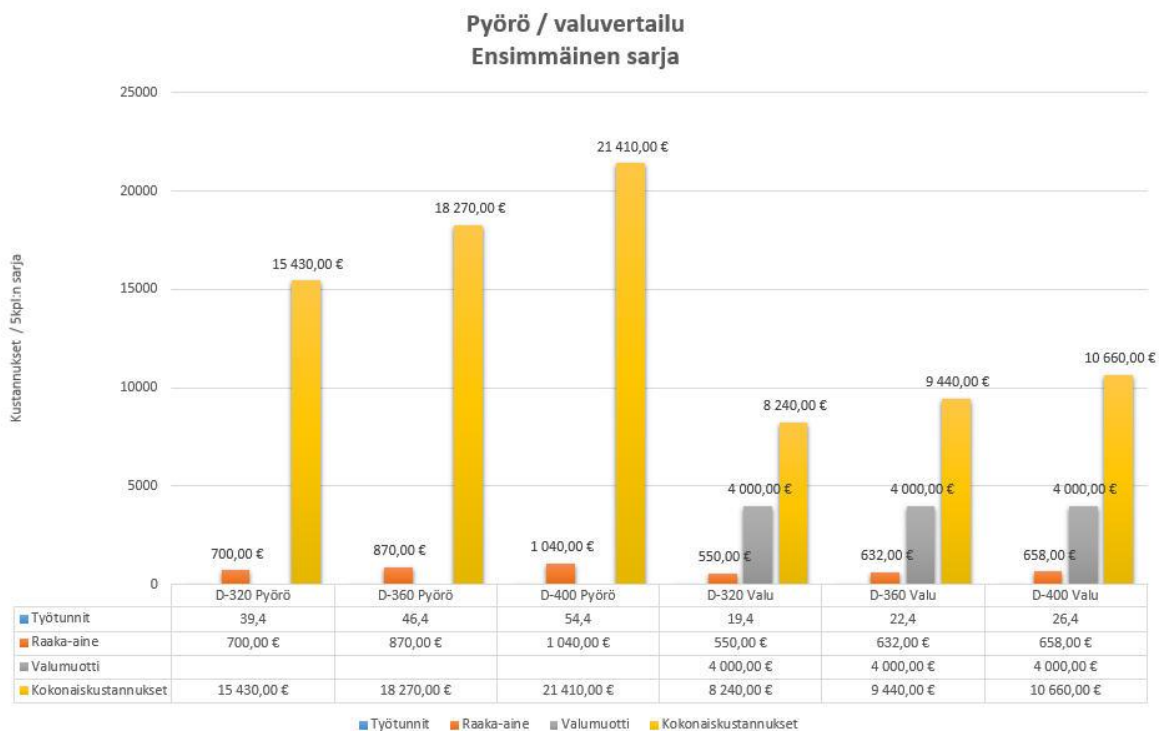


KUVIO 10. D-360 vaiheketju valuaihio (Holopainen 2017)

Edellä esitettyssä vaiheistuksessa työtunnit vähenevät pyöröteräsaihioon nähden jopa 70 tuntia. Kun valuaihiot ovat laadultaan sellaisia, että ne voidaan ottaa suoraan hitsaukseen, voidaan parhaimmillaan säästää työtunneista jopa puolet verrattuna pyöröteräksisiin aihioihin.

### 5.2.3 Kartioiden raaka-aineiden hinnat

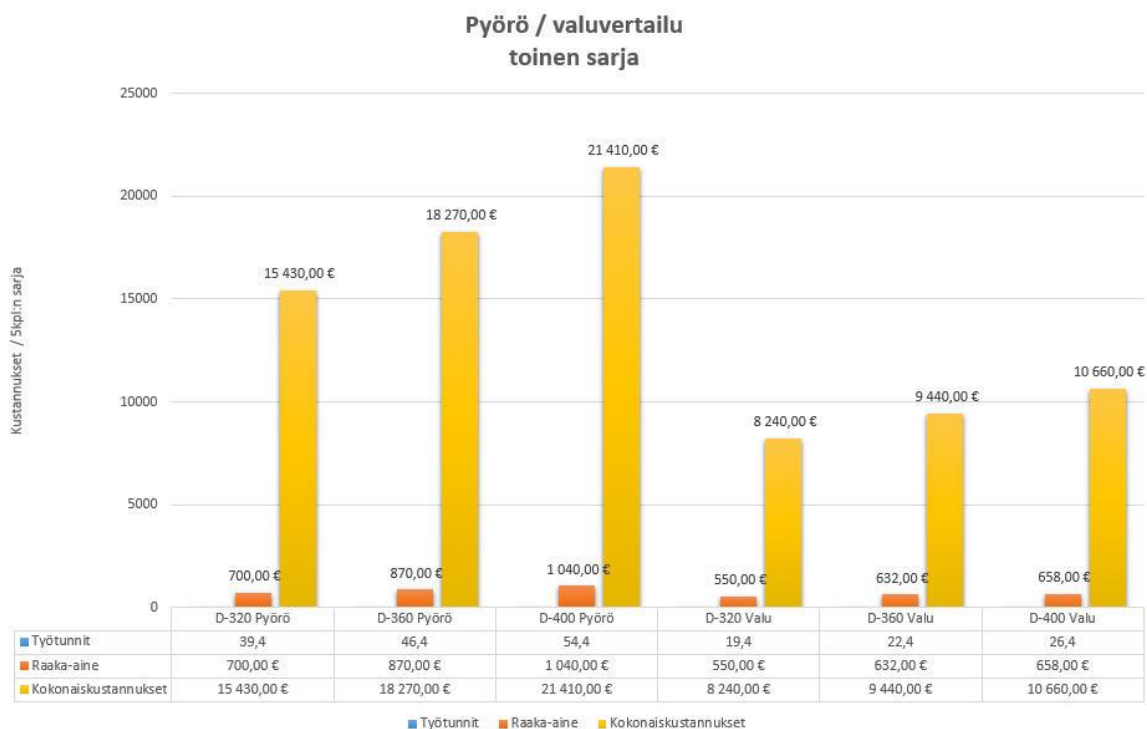
Jotta kustannusvertailun kannalta saataisiin oikea tulos, on hinnoittelussa otettava huomioon myös molempien materiaalien hinnat. Pyöröterästen hinnat saadaan historiatietona SAP-tuotannonohjausjärjestelmästä ja valujen vastaavat mallikohtaiset hinnat tarjouskyselyn pohjalta. Valujen tarjouskyselyssä oli alkuvaiheessa mukana vain yksi valimo. Vertailtaessa saatuja valujen hintoja pyöröteräsaihioihin huomataan, että kaikki mallit ovat valuna edullisempia kuin pyörönä. Hintaero selittyy osaltaan aihioiden painoerosta koska pyöröteräsaihioiden paino on valuihin verrattuna noin kahdeksankertainen. Keskiarvona valut maksavat noin 75 % vastaavan pyörön hinnasta. Valujen hintaan tulee laskea vielä jokaista mallia kohden kertaluontoinen muottikustannus.



KUVIO 11. Pyöröteräs/valuaihioiden vertailutaulukko 1 (Holopainen 2017)

Edellisessä kuviossa on esitetty vertailu kiintoainehajaimen valmistuksesta pyöröteräs- ja valuaihioidista. Jokaisen mallin sarjakoko on 5 kpl. Oranssi pylväs kuvaa kunkin valmistussarjan kokonaiskustannusta, punainen pylväs raaka-aineen hankintahintaa ja harmaa pylväs, valumuottien kertaluontoista valmistuskustannusta. Kokonaiskustannuksia vertailtaessa voidaan huomata, että jo ensimmäisessä valusarjassa kustannukset ovat malleittain n. 20-30 % edullisemmat kuin pyöröteräsaihioidista valmistetut.





KUVIO 12. Pyöröteräksien ja valuaihioiden vertailutaulukko 2 (Holopainen 2017)

Kuviossa 12 on esitetty vertailu kiintoainehjainten valmistuksesta ilman valumuottien kertaluontoista kustannuserää. Kuviosta käy ilmi, että ensimmäisen valusarjan jälkeen ohjainsarjan valmistuskustannukset laskevat noin puoleen pyöröteräksisten hinnasta.

#### 5.2.4 Kartioiden pinnoitus

Jos kiintoaineohjainten työvaiheketjua halutaan edelleen kehittää ja lyhentää, tulisi seuraavaksi keskittyä kartion kulutusta kestävä pinnoituksen vaihtoehtoisiin valmistusmenetelmiin. Kartion pinnan tulee kestää kuumuutta, mekaanista sekä iskukulumista. Nykyinen pinnoitusmenetelmä on valittu tuotteeseen edellä mainittujen kulumismuotojen hyvän keston vuoksi. Nykyisen pinnoitusmenetelmän haasteena on hitsaukseen kuluva aika, lisäaineen korkea hinta sekä hitsauksen jälkeen suoritettava kartiopinnan koneistus tai hionta. Kartion ulkomitat eivät mitoituksen puolesta vaadi koneistusta, mutta kuiluun vaadittavan syötteen jouhevan leviämisen vuoksi tulee kartion pinnanlaatu olla riittävän sileä. Kartion hitsattu pinta on lisäaineen pintakovuuden ja epätasaisuuden vuoksi hyvin haastava koneistettava. Käytettävät teräpalat joutuvat kestävään yhtäaikaaisesti kovaa kuumuutta sekä iskumaista rasitusta.

Kulutusta kestävä pinnoitteen valintaan vaikuttaa myös pinnoitteelta vaadittava vähimmäispaksuus, joka on kartion kulutuspinnoilla minimissään 1 mm. Hitsaamalla suoritettu pinnoittaminen on pinnoitusvahvuuden kontrolloimisen kannalta helppo menetelmä, ja paksuutta on suhteellisen helppo säätää hitsausparametrejä muuttamalla. Vaihtoehtoisia pinnoitteita valittaessa vaatimuksena tulee siis olla riittävä pinnoitteen vahvuus, kovuus, kulutuksen- sekä kuumankesto. Työvaiheita minimoitaessa pinnoitusprosessin tulisi olla myös sellainen, että pintaa ei tarvitsisi enää koneistaa.

Lankahitsauksen korvaavia prosesseja voisi mahdollisesti olla erilaiset termiset pinnoitteet sekä mahdollisesti laserhitsaamalla tehtävä pinnoite. Edut nykyiseen kartioiden valmistusmenetelmään verrattuna ovat, että kartio olisi valamisen ja pinnoituksen jälkeen suoraan valmis kokoonpanoon tai toimittavaksi asiakkaalle.

Esimerkkinä kuviossa (10) esitetty viiden kappaleen valuohjain työvaiheet. Jos ohjaimet pystytään valmistamaan valusta ja pinnoittamaan termisesti ruiskuttamalla alihankinnassa, jäljelle jäävät enää pakkauksen ja varaston tunnit. Laskentatavan mukaan edellä mainitulle sarjalle saatava säästö tulee vapautuvan henkilö- ja konekapasiteetin myötä, joka voidaan myydä muuhun käyttöön.

Yhteenvedona kiintoaineohjainten valmistuksesta voidaan todeta, että materiaalien osuus kyseisen tuotteen kustannuksesta on noin puolet. Materiaalin vaihto pyöröteräksestä valuun lyhensi työvaiheketjua noin 2 viikkoa ja poisti kokonaan kaksi esikäsitteilyn työvaihetta. Laskennallisesti työvaiheiden määrä väheni 33 %. Valmistettavuuden kannalta työvaiheiden määrää voisi olla mahdollista vähentää vielä jatkossakin, jos terminen monikerrospinnoittaminen sekä ruiskupinnoittaminen onnistuisi kyseisessä tuotteessa.

### 5.3 Pohjajäähdytin

Kolmantena työn tutkimuskohteena on sekoittimen alapuolella sijaitseva pohjajäähdytin. Jäähdyttimen tehtävänä on suojata sekoittimen hajoitinyksikön keskiosaa ylikuumenemiselta. Pohjajäähdyttimen tulee kestää hyvin kuumia lämpötiloja koska se sijaitsee kuilun yläosassa sekoittimen alimpana komponenttina. Pohjajäähdyttimen materiaalin täytyy kestää hyvin kuumuutta koska lämpötila voi nousta prosessissa kuilun yläosassa arviolta jopa yli 400 asteen.

Kuumasta lämpötilasta johtuen jäähdyttimen tulee olla hyvin jäähdytetty, jäähdytykseen käytetään vettä, joka johdetaan pohjalevyn jäähdytyskanaviin ohjainyksikön keskiosan läpi. Jos pohjajäähdytintä ei jäähdytetä on olemassa riski, että ruostumattomat materiaalit menettävät ruostumattomuuden. Kun austeniittinen ruostumaton teräs joutuu lämpötila alueelle 450-900°C, saavuttaa rakenteessa olevat kromi ja hiili sellaisen liikkuvuuden, että ne voivat muodostaa kromikarbideja. Kromikarbidit kerääntyvät raerajoille, jolloin raerajojen ympärille muodostuu kromiköyhiä alueita ja ne menettävät ruostumattomuuden. Tämä ns. raerajakorroosio tuhoaa austeniittisen rakenteen hyvin nopeasti. (Impomet, 2017)

Rakenteeltaan jäähdytin on teräslevykokoonpano, joka koostuu alalevystä ja kahdesta jäähdytysuranmuotoisesta kansilevystä, jotka hitsataan toisiinsa. Jäähdytyskanavat sijaitsevat pohjalevyssä ja ne on valmistettu jyrsimällä.



KUVA 7. Pohjajäähdyttimen jäähdytyskanavat periaatekuva (Outotec)

Jäähdytyskokoonpanon ylä- ja alaosat liitetään toisiinsa hitsaamalla. Yläosan kansilevyihin porataan reiät jäähdytyskanavien syöttö- ja poistoputkia varten, tämän jälkeen jäähdytin loppuhitsataan, koneistetaan, koeponnistetaan ja hapotetaan.

Viimeistelykoneistuksessa kappale koneistetaan ulkopinnoiltaan vaadittaviin mittoihin, ja oikaistaan mahdollisesti syntyneet muodonmuutokset. Koneistuksen jälkeen pohjajähdyttimeen hitsataan kiinni putkiyhteet, joihin kokoonpanovaiheessa yhdistetään jäähdytysvesiputket. Koeponnistuksessa varmistetaan kappaleen vesitiiveys. Viimeisenä työvaiheena ennen varastointia tai asennusta on happopeitus.

MILLING	22.05.2017	29.05.2017		45,0 H
Pohjalevyjen liuotusheikuun lähtö	05.06.2017	06.06.2017		2,0 H
Pohjalevyyn liuotusheikutus kuv	07.06.2017	13.06.2017		
WELDING, STAINLESS STEEL	30.05.2017	02.06.2017		45,0 H
TURNING	14.06.2017	16.06.2017		15,0 H
MILLING	19.06.2017	21.06.2017		8,0 H
WELDING, STAINLESS STEEL	22.06.2017	28.06.2017		20,0 H
SURFACE TREATMENT (FSP)Hapotus	29.06.2017	30.06.2017		2,0 H
Bottom plate D320 varastoon	03.07.2017	04.07.2017		0,5 H

KUVIO 13. Pohjajähdytyn työvaiheet hitsattu rakenne (2017 Holopainen)

HITSAUS JA PAINETESTAUS	26.06.2017	28.06.2017		5,0 H
SURFACE TREATMENT (FSP)Hapotus	29.06.2017	30.06.2017		2,0 H
Bottom plate D320 varastoon	03.07.2017	04.07.2017		0,5 H


KUVIO 14. Pohjajähdytyn työvaiheet yksiosaisesta valusta valmistettu (2017 Holopainen)

Pohjajähdyttimen valmistuksessa suurin osa kustannuksista syntyy työtunneista sekä hyvin pitkistä työvaiheketjusta. Pitkän työvaiheketjun ongelma on, että kappale pysähtyy tuotannon eri vaiheissa, ja joutuu odottamaan esimerkiksi edellisten vaiheiden valmistumista. Läpimenoajasta tulee pitkä, mahdollisten virheiden määrä kertaantuu ja keskeneräisen tuotannon määrä kasvaa. Suurin säästö-potentiaali on siis työvaiheiden vähennyksessä. Jos pohjajähdyttimen valmistusta jatketaan levytyönä, tulee kappaleen läpimenoa yksinkertaistaa ja mahdollisesti yhdistää työvaiheita. Yksittäisten kappaleiden valmistamista tulee myös välttää, jos mahdollista.

### 5.3.1 Pohjajäähdyttimen kustannusvertailua

Pohjajäähdyttimen rakenne ja siinä käytettävä materiaali soveltuu myös valettavaksi kuten kiintoainehojain ja pohjakartio. Valu voidaan valmistaa kahdella eri tavalla, joko yhtenä valukappaleena tai kahdesta puolikkaasta, jotka yhdistetään hitsaamalla joko toimittajan tai tilaajan toimesta. Jäähdytyskanaviston koko ja muoto tekevät valamisen yhdestä kappaleesta erittäin haastavan. On mahdollista, että valuhiekasta tehty keerna palaa osittain monimutkaisien kanavien seiniin kiinni, ja hiekan poistaminen valun jälkeen on mahdotonta. Varmin tapa valmistaa kyseinen kappale, on valaa se kahdesta osasta ja liitoshitsata osat toisiinsa.

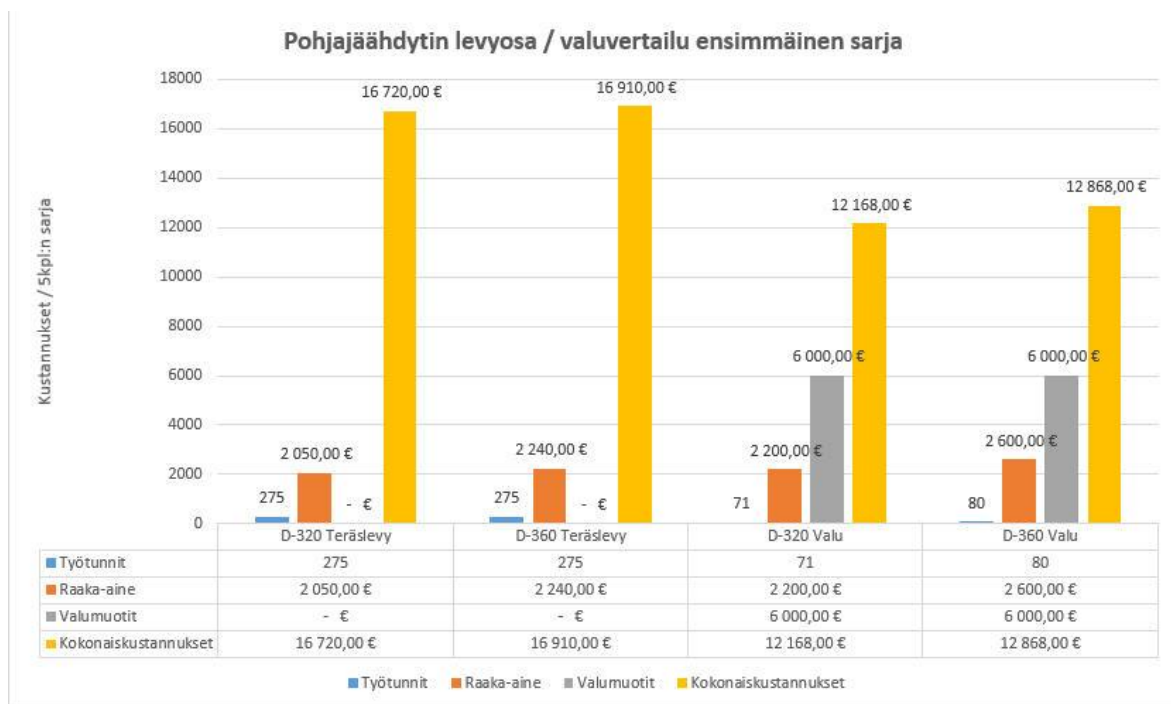
PUOLIKKAIDEN LIITOSHITSAUS	14.06.2017	19.06.20	20,0 H
TURNING	20.06.2017	22.06.20	8,0 H
HITSAUS JA PAINETESTAUS	26.06.2017	28.06.20	5,0 H
SURFACE TREATMENT (FSP) Hapotus	29.06.2017	30.06.20	2,0 H
Bottom plate D320 varastoon	03.07.2017	04.07.20	0,5 H



KUVIO 15. Pohjajäähdyttimen työvaiheet kaksiosaisesta valusta valmistettu (2017 Holopainen)

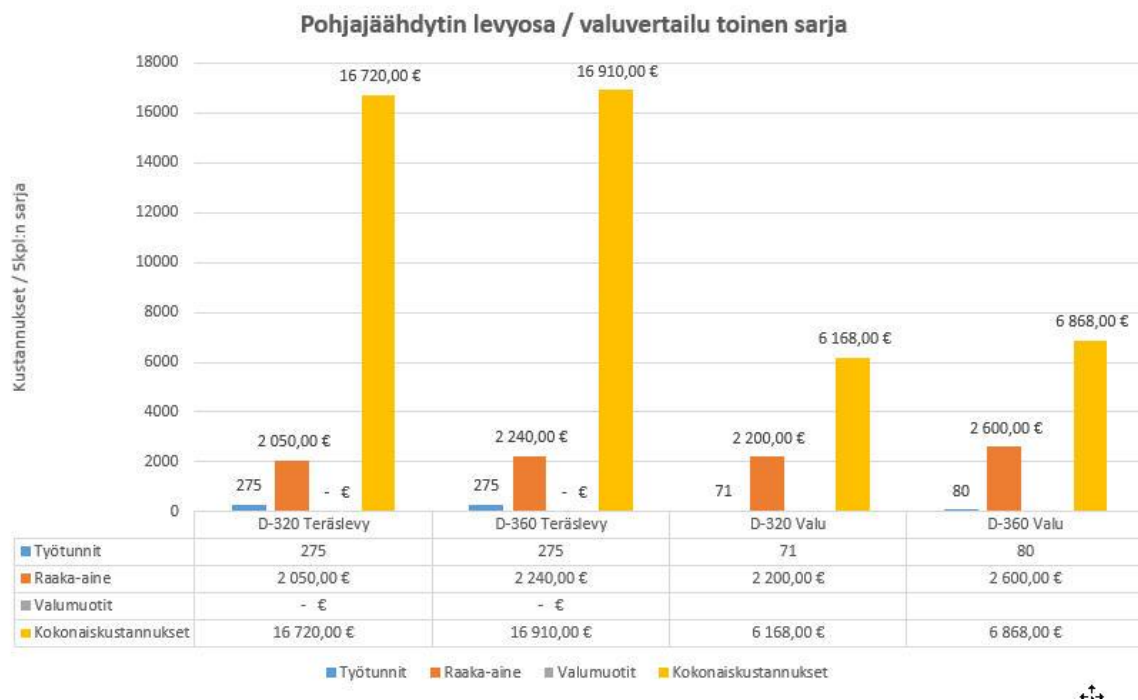
Kaksiosaisen valun huono puoli on se, että muotteja tarvitaan kaksi ja valamisen jälkeisiä työvaiheita syntyy enemmän. Kahden valupuolikkaan yhdistäminen toisiinsa vaatii valamisen jälkeen vastakkain tulevien pintojen ja mahdollisten sovitteiden koneistuksen. Edellä mainitut työvaiheet ja muottikustannukset tulevat nostamaan valun hankintahintaa.

Valmistettavuuden kannalta tulisi pyrkiä siihen, että työvaiheketju on kuvion 15 mukainen. Pohjalevyjen puolikkaat tulisi tilata toimittajalta puolivalmisteena (valu + koneistukset) jolloin mahdolliset riskit valujen mittapoikkeamista jäisi toimittajalle ja omavalmistuksen työvaiheketju sekä läpimenoaika voidaan pitää mahdollisimman lyhyenä.



KUVIO 16. Pohjajäähdyttimen kustannusvertailu ensimmäinen sarja (2017 Holopainen)

Kuviossa 16 on esitetty vertailu jäähdyttimen valmistuksesta teräslevy- ja valuaihioista. Jokaisen mallin sarjakoko on 5 kpl. Oranssi pylväs kuvaa kunkin valmistussarjan kokonaiskustannusta, punainen pylväs raaka-aineen hankintahintaa ja harmaa, valumuottien kertaluontoista valmistuskustannusta. Kun kustannuksia vertaillaan, huomataan että D-320 valumalli on noin 28 % edullisempi ja D-360 valumalli noin 23 % edullisempi kuin teräslevystä valmistetut vastaavat.



KUVIO 17. Pohjajäähdyttimen kustannusvertailu toinen sarja (2017 Holopainen)

Kuvion 17 valmistussarjassa ei ole enää mukana valumuottikustannuksia, viiden kappaleen valmistus-sarjaa kohden tuleva säästö on yli puolet verrattuna levyosista valmistettuun. Prosentteina esitettyä vastaavat säästöluvut sarjaa kohden ovat, D-320 sarjassa 64 % ja D-360 sarjassa 59 %. Pohjajäähdyttimien valmistettavuutta vertailtaessa kenties suurin yksittäinen kustannuksiin vaikuttava tekijä on työvaiheiden määrä. Jos teräslevyaihioista valmistettavat jäähdyttimet saadaan kulkemaan lyhyemmän vaiheketjun läpi ja aikaa vieviä tuotantoprosesseja nopeutettua voisi kustannusten lasku olla saman suuntainen kuin valuteräksisestä esitetystä. Tuotannon toimenpiteinä voisi olla esimerkiksi miehittämätön ajo tai hitsauksen automatisointi jolloin työlle kirjattuja tunteja saataisiin pienennettyä. Vaiheketjun lyhentäminen vaikuttaa myös keskeneräisen tuotannon määrään, läpimenoaikaan sekä virheiden määrään.

Valuaihioille suunnitellut työtunnit ovat arviotunteja ja perustuvat teräslevyaihiosta valmistettavien jäähdyttimien vastaaviin työvaiheisiin. On kuitenkin huomattavaa että, vaikka arvioidut tunnit olisivat 100 % liian pienet niin silti kyseinen valmistusmenetelmä näyttää olevan huomattavasti edullisempi. Valumuottien hinnassa on myös epävarmuutta, mutta silti suunnitellut kustannukset kestävät useamman kymmenen prosenttiyksikön nousun ennen kuin ensimmäinen valmistussarja jää tappiolliseksi. Valumuottien kustannukset ovat kuitenkin kertaluontoisia ja uusiutuvat vain, jos mallia muutetaan tai muotti vaurioituu käyttökelvottomaksi.

## 6 HINNOITTELU

Outotec Turulan tuotteiden hinnoittelu perustuu ns. kustannuksiin perustuvaan katetuottohinnoitteluun. Katetuottohinnoittelun perustana on, että tuotteen tai palvelun hinnan tulee kattaa kaikki sen hankinta- ja valmistuskustannukset eli muuttuvat kustannukset. Jäljelle jäävällä katetuotolla on pystyttävä kattamaan riittävä osa yrityksen kiinteistä kustannuksista, kuten palkat, vuokrat, lämmitys jne. Yritykselle jää voittoa, jos kaikkien tuotteiden yhteenlaskettu katetuotto eli myyntikate ylittää kiinteät kustannukset. (Yritys Suomi, 2017)

Tuotteiden hinnoitteluun yrityksellä on käytössä Excel- taulukkolaskentapohjainen hinnoittelutaulukko. Lähtökohta hinnoittelulle on että, taulukkoon syötetään hinnoiteltavan tuotteen osat mahdollisimman tarkasti tuoterakenteen mukaan. Tuotteesta syötetään taulukkoon sen nimike- tai piirustusnumero ja paino, lisäksi taulukossa on omat sarakkeet materiaaleille, alihankintatyölle sekä kaikille yrityksen sisäisille työvaiheille (aktiiviteeteille). Edellä mainittuihin sarakkeisiin syötetään kaikki tuotteen tekemiseen vaadittavat materiaalit sekä työvaiheet. Materiaalientään syötetään materiaalien hinta euroina ja työvaihekenttiin työn tekemiseen arvioitu aika tunteina.

Taulukon oikeassa laidassa on rivikohtaiset yhteenvetosarakkeet, joihin taulukko laskee yhteen kaikki suunnitellut tunnit ja tunneista koostuvat kustannukset euroina. Lisäksi taulukossa on yhteenvetosarakkeet kaikille kustannuksille (materiaalit + työt), sekä kustannukset lisättynä katetuottokerroimella ja euroa / kilo sarake.

Taulukon työvaihesarakkeille on annettu jokaista työvaihetta kohden sen oma työvaihe tai konetuntihinta, taulukko laskee suunnitellut tunnit kerrottuna kyseisen työvaiheen tuntihinta.

Katuottokerroin lisätään saatuihin kustannuksiin, josta koostuu tuotteelle sen myyntihinta.

Euroa / kilo sarake laskee tunnuslukuarvoa tuotteen kustannukset jaettuna sen painolla. Edellä mainitulla tavalla taulukkoon syötetyistä tiedoista saadaan laskettua helposti myös tunnuslukuarvoja kuten euroa / tunti tai läpimenoaikaan viittaavaa arvoa kg / tunti.





## 6.1 Hinnoittelun riskit

Kustannuksiin perustuvan hinnoittelun yhtenä riskinä on, että kustannukset lasketaan yksinkertaisesti väärin. Mikäli kustannukset on laskettu liian alhaisiksi tuotteen myyminen voi olla tappiollista ja mikäli kustannukset puolestaan on laskettu liian korkeiksi, tuote voi jäädä myymättä, koska asiakas ostaa vastaavan tuotteen muualta edullisemmin. Toinen riski liittyy siihen, että tuotteesta olisi saatavissa laskelman osoittamaa hintaa korkeampikin hinta, jolloin tuotto jää pienemmäksi mitä olisi mahdollista saada. Tämän vuoksi kustannusperusteinen hinnoittelu edellyttää hyvää kustannustietoutta ja kustannuslaskentaa. Hinnoittelussa on selvítettävä se millä hinnalla tuotetta voidaan myydä kannattavasti sekä toisaalta myös se mitä asiakas on valmis siitä maksamaan. Tuotetta ei kannata myydä kustannusperusteisesti lasketulla hinnalla, vaikka se riittäisikin kattamaan kustannukset ja tuottaisi voittoa, jos asiakas on valmis maksamaan tuotteesta enemmänkin. Toisaalta jos asiakkaat eivät ole valmiita maksamaan tuotteesta edes kustannusperusteisesti laskettua hintaa, tuotteen myyminen ei ole kannattavaa. Kenties suurimpia yksittäinen hinnoittelun riskitekijöitä ovat puutteelliset lähtötiedot, epätarkka toimituslaajuus tai muuten puutteellinen tarjousaineisto. (Yritystoiminta, 2017)

## 6.2 Sekoittimen hinnoittelu

Sekoittimen rakenne koostuu kuudesta selkeästä pääkoonpanosta, joiden alla on rakenteen mukaisesti vaihteleva määrä alikokoonpanoja. Rakenne koostuu sadoista riveistä kokoonpanoja, komponentteja ja materiaaleja. Tuotteen hinnoittelua helpottaa, että tuotetta on valmistettu pitkään ja siitä on paljon historiatietoa jälkilaskennan kautta.

Vaikka kyseessä on ns. vakiotuote niin silti myynnin ja tuloksenteon kannalta on tärkeää, että markkinoita seurataan aktiivisesti. Markkinoiden seuraaminen tarkoittaa koko ajan tehtävää vertailua kilpailijoiden, materiaalien, korvaavien palveluiden ja tuotteiden osalta. Hintatasoa on oman kustannusrakenteen seurannan lisäksi haettava markkinoilta ja muutettava tarvittaessa markkinahintatasoa vastaavaksi.

Materiaalien hinta pyritään päivittämään joka kerta kun tarjouslaskentaa tehdään, materiaalivoitossissa töissä markkinahintojen vaihtelut voivat olla hyvinkin suuria, ja siitä syystä toteutuneiden projektien materiaaliosuuksia ei pidä käyttää sellaisenaan hinnoittelussa. Materiaalitarjoukset pyydetään asiakkaan osaluettelon pohjalta, ja saadut hinnat siirretään tarjouslaskentapohjaan. Kun materiaalien hinnat ja painot on saatu syötettyä, niin tarkastetaan, että kokonaispaino täsmää osaluettelossa ilmoitettuun. Valmistusarvon määrittämiseksi laskentapohjaan lisätään tuotteen valmistukseen arvioidut työtunnit työvaihekohtaisesti. Kokonaishinta= valmistusarvo + kate.

## 7 YHTEENVETO

Sekoittimen tuoterakenteen kehittäminen tarjosi hyvin laajan ja mielenkiintoisen opinnäytetyökokoaisuuden. Työ perustui työpaikalta saatuun ongelmanratkaisutehtävään, jonka tarkoituksena oli etsiä Sekoittimen rakenteesta kehityskohteita, joilla tuotteen kustannustehokkuutta voitaisiin parantaa. Työssä tutkittiin pääasiassa kolmea yksittäistä tuotetta ja niiden valmistettavuutta. Tutkimuksien perusteella voidaan todeta, että jokaisessa tutkimuskohteena olleessa kappaleessa on hyvin paljon säästöpotentiaalia. Merkittävimmät kustannusten aiheuttajat löytyivät pitkistä työvaihekejuista, vääristä materiaalivalinnoista ja vaikeasti toteutettavista muodoista. Tutkimustyössä keskityttiin tuotteiden valmistettavuuteen ja osien lukumäärän minimoimiseen. Työssä käsiteltävien esimerkituotteiden materiaalivaihtoehdoksi esitetään valuterästä. Edellä mainituissa tapauksissa tuotteiden malli ja muoto mahdollistivat hyvän valettavuuden ja oli siitä syystä paras korvaava vaihtoehto levyrakenteille ja pyöröteräksille. Materiaali- ja valmistettavuusmuutosten johdosta työtunnit vähenivät, riskit olivat helpommin hallittavia, virhemahdollisuudet vähenivät, raaka-ainekustannukset laskivat ja keskeneräinen tuotanto ja läpimenoaika laskivat.

Vaikka työssä valittiin vanhojen materiaalien korvaajaksi valuteräksiset, valutuotteet eivät ole valmistettavuusongelmien ratkaisu eivätkä vastaus. Kysymyksessä on pikemminkin ajattelutavan muutos tuotesuunnittelussa ja valmistuksen ja suunnittelun yhteistyössä. DFM-ajattelutavan mukaisesti valmistettavuuteen päästään tehokkaasti vaikuttamaan, kun työvaiheita yhdistetään, osia yksinkertaistetaan ja osien määrää vähennetään. Hyvään alkuun päästään jo varsin pienillä muutoksilla. Jos kymmenestä työvaiheesta saadaan poistettua kaksi, esimerkiksi yhdistelemällä työvaiheita, vaikutus läpimenoaikaan voi olla jo huomattava. Hyvään valmistettavuuden suunnitteluun kuuluvat mm. yksinkertaiset osat, standardiosien käyttö, tuotteistaminen, osien vakiointi sekä oikeat materiaalivalinnat. Suunnittelulla tulee olla riittävä tuntemus valmistustekniikoista sekä koneista ja laitteista, joilla osia tehdään. Tiivis yhteistyö tuotannon henkilöstön kanssa auttaa tuotesuunnittelussa, jotta käytettävistä koneista ja laitteista saadaan irti paras hyöty. Tuotannon suunnittelussa valmistettavuuteen voidaan vaikuttaa mm. yhdistelemällä työvaiheita, suunnittelemalla oikean kokoiset sarjakoot, virtauttamalla tuotantoa sekä minimoimalla hukkaa. Parhaaseen tulokseen DFM:ssä päästään, kun tuotanto ja tuotesuunnittelu työskentelevät yhdessä. Tällöin molempien näkemykset tuotteen suunnittelussa voidaan ottaa samanaikaisesti huomioon ja haluttuun lopputulokseen päästään nopeasti. Tuotannosta on tärkeää antaa suunnitteluun riittävästi tietoa mm. valmistusmenetelmistä, työvaihekejuista, keskeneräisestä tuotannosta ja siitä, mistä hinnat oikeasti muodostuvat.

Opinnäytetyössä esitetyt parannukset ovat esimerkkejä siitä, mihin hyvällä valmistettavuuden suunnittelulla voidaan parhaimmillaan päästä. Sekoittimen tuoterakenteeseen kuuluu lukuisia erilaisia osia, joiden kustannusten alentamiseen työssä esitettyjä periaatteita voi hyvin soveltaa.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Hiekkanen, J. (2014). *VAIHTEIDEN SUUNNITTELUPROSESSIN KEHITTÄMINEN*. Noudettu osoitteesta <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22899/Hiekkanen.pdf?sequence=1>
- Hietikko, E. (2015). *Valmistettavuus*. Kuopio.
- Impomet. (2017). *Impomet Oy valmistushitsaus*. Noudettu osoitteesta Herkistyminen ja raerajakorroosio: [http://www.impomet.com/media/downloadable\\_files/hitsaajan\\_kasikirja/osio-a\\_valmistushitsaus.pdf](http://www.impomet.com/media/downloadable_files/hitsaajan_kasikirja/osio-a_valmistushitsaus.pdf)
- Kettunen, J. (2013). Opinnäytetyö Kylmät materiaalit kuparisulatolla.
- Kojo, I. V. (2010). Globaalisti kestävä kehitystä liekkisulatuksella.
- Kuparinvalmistuksen historia Suomessa. (2017). *Scandinavian Copper Development Association*. Haettu 17. Toukokuu 2017 osoitteesta <http://copperalliance.eu/fi/yleistietoa-kuparista/historia/kuparinvalmistuksen-kehitys-suomessa>
- Niemi, P. (2010). *Valuatlas*. Noudettu osoitteesta Lämpökäsittely: [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN\\_jalkikasittely\\_I.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_jalkikasittely_I.pdf)
- Opetushallitus. (2017). *Kannattava yritys*. Haettu 14. Huhtikuu 2017 osoitteesta [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/yrittaminen/liiketoimintaprosessi/kannattava\\_yritys.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/yrittaminen/liiketoimintaprosessi/kannattava_yritys.html)
- Outotec. (2017). *Outotec raportit ja presentaatiot*. Noudettu osoitteesta <http://www.outotec.fi/yhtio/sijoittajille/raportit-ja-presentaatiot/>
- Outotec. (2017). *Outotec.com*. Noudettu osoitteesta <http://new.outotec.com/contacts/contact-information/locations/>
- Outotec. (2017). Rikastesekoittimen alakartiolevy.
- Piironen, T. (2013). *Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen: Onnistuneen suunnittelun periaatteita DFMA*.
- Sahlman-Nyqvist, A. (2015). Opinnäytetyö PRIMÄÄRIKENNO 3:N KOEAJO VAAHTOKAMERALLA.
- Sipilä Jussi, P. K. (30. Kesäkuu 2009). *Suomi Patenttinro FI 120101B*.
- Strategy-Train. (2017). *Strategy Train*. Haettu 14. Huhtikuu 2017 osoitteesta [http://st.merig.eu/?id=67&L=2&tx\\_a21glossaryadvancedoutput\\_pi1\[char\]=k&cHash=c0a26bb8fb](http://st.merig.eu/?id=67&L=2&tx_a21glossaryadvancedoutput_pi1[char]=k&cHash=c0a26bb8fb)
- Tenhunen, J. (2006). *Johdon laskentatoimi kärkiyritysverkostoissa*. Haettu 14. Huhtikuu 2017 osoitteesta <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/31137/TMP.objres.301.pdf>
- Tilisanomat. (2013). *Tilisanomat / johdon- ja laskentatoimen perusteet*. Haettu 14. Huhtikuu 2017 osoitteesta <http://tilisanomat.fi/content/johdon-laskentatoimen-perusk%C3%A4sitteet-menetelm%C3%A4t-ja-teknikat-jatkuu>
- Yritys Suomi. (2017). *Yritys Suomi*. Noudettu osoitteesta <https://yrityssuomi.fi/hinnoittelu>
- Yritystoiminta, h. (2017). *Yritystoiminta*. Noudettu osoitteesta <http://www.tieto.osaavayrittaja.fi/hinnoittelulaskelmat>

## LIITE 1. KUVA- JA KUVIOLUETTELO

KUVA 1. UUNI (OUTOTEC) .....	15
KUVA 5. POHJAKARTION LANKAMALLI (HOLOPAINEN 2017) .....	22
KUVA 6. ALAKARTIOLEVY LISÄTYILLÄ TYÖVAROILLA (HOLOPAINEN 2017).....	23
KUVA 7. ALAKARTIOLEVY MANKELOITUNA (OUTOTEC 2017) .....	24
KUVA 9. SOLIDWORKS MALLIT VALETTAVISTA POHJAKARTIOISTA (HOLOPAINEN 2017).....	26
KUVA 10. KIINTOAINEOHJAIMEN PYÖRÖTERÄSAIHIOITA (HOLOPAINEN 2017) .....	29
KUVA 13. POHJAJÄÄHDYTTIMEN JÄÄHDYTYSKANAVAT PERIAATEKUVA (OUTOTEC) .....	35
KUVIO 1. KUSTANNUKSIIN VAIKUTTAMINEN JA KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN KONEPAJAN ERI OSASTOILLA (KEMPPI 2008, S 2) .....	11
KUVIO 2. VALMISTUSKUSTANNUSTEN ALENTAMISEEN TARVITTAVAT TOIMENPITEET SUUNNITTELUN AVULLA. (PIIRONEN 2013) .....	12
KUVIO 3. ESIMERKKI SUUNNITELTUIEN JA TOTEUTUNEIDEN TYÖTUNTIEN VERTAILUSTA (2017 HOLOPAINEN)	19
KUVIO 4. ESIMERKKI PROJEKTIN KATESEURANNASTA (2017 HOLOPAINEN).....	19
KUVIO 5. POHJAKARTIOIDEN GANT- KAAVIO LEVYOSISTA (HOLOPAINEN 2017) .....	25
KUVIO 6. POHJAKARTIOIDEN GANT- KAAVIO VALUTERÄKSESTÄ (HOLOPAINEN 2017).....	25
KUVIO 7. SÄÄTÖKARTION HINTAVERTAILU ENSIMMÄINEN SARJA (HOLOPAINEN 2017) .....	27
KUVIO 8. POHJAKARTION HINTAVERTAILU JATKOSARJAT (HOLOPAINEN 2017).....	27
KUVIO 9. D-360 VAIHEKETJU PYÖRÖTERÄS (HOLOPAINEN 2017) .....	30
KUVIO 10. D-360 VAIHEKETJU VALUAIHIO (HOLOPAINEN 2017).....	31
KUVIO 11. PYÖRÖTERÄS/VALUAIHIOIDEN VERTAILUTAULUKKO 1 (HOLOPAINEN 2017) .....	32
KUVIO 12. PYÖRÖTERÄKSIEN JA VALUAIHIOIDEN VERTAILUTAULUKKO 2 (HOLOPAINEN 2017).....	33
KUVIO 13. POHJAJÄÄHDYTTIMEN TYÖVAIHEET HITSATTU RAKENNE (2017 HOLOPAINEN) .....	36
KUVIO 14. POHJAJÄÄHDYTTIMEN TYÖVAIHEET YKSIOSAISESTA VALUSTA VALMISTETTU (2017 HOLOPAINEN).....	36
KUVIO 15. POHJAJÄÄHDYTTIMEN TYÖVAIHEET KAKSIOSAISESTA VALUSTA VALMISTETTU (2017 HOLOPAINEN)	37
KUVIO 16. POHJAJÄÄHDYTTIMEN KUSTANNUSVERTAILU ENSIMMÄINEN SARJA (2017 HOLOPAINEN) .....	38
KUVIO 17. POHJAJÄÄHDYTTIMEN KUSTANNUSVERTAILU TOINEN SARJA (2017 HOLOPAINEN) .....	39
KUVIO 18. HINNOITTELUTAULUKKOMALLI (HOLOPAINEN 2017).....	41