

Robottihionnan kehittäminen

Mikko Pälvimaa

Opinnäytetyö

Toukokuu 2020

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

Tuotantotekniikka

Tekijä(t) Pälvimaa Mikko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2020
	Sivumäärä 52	Julkaisun kieli Suomi
	-	Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Robottihionnan kehittäminen		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Miikka Parviainen Hannu Kivistö		
Toimeksiantaja(t) Meconet Oy, Äänekoski		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Meconet Oy Äänekosken tehdas. Työn tavoitteena oli kehittää robottihiontaa työntutkimuksen keinoin, löytää uusia kehitysideoita ja luoda kevyt, keskitason ja raskas modernisointimalli robottihiontaan, sekä arvioida modernisointi-investointien kannattavuutta. Meconetin tavoitteena on kehittää prosessia siten, että tuote tulee kerralla valmiiksi, prosessi on tasalaatuinen sekä nopeampi kuin käsin tehtynä.</p> <p>Työ toteutettiin kvalitatiivisena tutkimuksena käyttäen henkilöiden avoimia haastatteluita ja osallistavaa havainnointia tutkimuksen aineiston luomisessa. Työssä käytettiin myös rinnakkain kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä työntutkimuksessa ja niiden tuloksia analysoitiin graafisesti. Investointien kannattavuuksia analysoitiin sekä kvantitatiivisin, että kvalitatiivisin menetelmin vertailemalla investointeja ja niiden takaisinmaksulaskelmia keskenään.</p> <p>Tuloksena syntyi kehitysehdotukset tuottavuuden ja työturvallisuuden parantamiseksi robottihionnan soluun, keskitason ja raskas modernisointimalli tehokkuuden parantamiseksi sekä niiden kannattavuuslaskelmat saadun tarjouksen perusteella.</p> <p>Tutkimusta voitaisiin jatkaa panostamalla vielä kattavammin työntutkimukseen sekä ratkaisuvaihtoehtojen testaamisella kokeellisin menetelmin. Lopputuloksena työstä syntyi kattava selvitys robottihionnasta, jota voidaan käyttää perehdytysmateriaalina aiheeseen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Robottihionta, tehokkuus, työntutkimus, investointi, modernisointi		
<p>Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)</p> <p>Liite 3 ja luku 9 (investointiehdotukset) ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 17: yrityksen liike- tai ammattisalaisuus.</p>		

Description

Author(s) Pälvimaa Mikko	Type of publication Bachelor's thesis Number of pages 52	Date May 2020 Language of publication: Finnish Permission for web publication: x
Title of publication Robot grinding development		
Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Parviainen, Miikka Kivistö, Hannu		
Assigned by Meconet Ltd, Äänekoski		
Abstract <p>The client of the thesis was Meconet Ltd Äänekoski factory. The aim of the work was to develop robot grinding by work analysis, find new development ideas and create a light, medium and heavy modernization model for robot grinding tooling and evaluate the profitability of modernization investments. Meconet's goal is to develop the process so that the product is completed in one phase, the process quality is homogeneous and it's faster than when made by hand.</p> <p>The work was carried out as a qualitative study using open interviews with professionals and participatory observation in the creation of the research material. Quantitative research methods were also used in parallel in the work analysis and their results were analyzed graphically. The profitability of investments was analyzed using both quantitative and qualitative methods by comparing investments and their repayment calculations.</p> <p>The result was development proposals to improve productivity and occupational safety in the robot grinding cell, a medium and heavy modernization model to improve efficiency, and their profitability calculations based on the bid received.</p> <p>The research could be continued by investing even more comprehensively in work analysis and by testing solution alternatives with experimental methods. The result of the work was a comprehensive study of robot grinding which can be used as an introductory material on the subject.</p>		
Keywords/tags (subjects) Robot grinding, profitability, work analysis, investment, modernization		
Miscellaneous (Confidential information) Following parts has been set confidential: part 9 and attachment 3. Based on law of publicity section 17. Confidentiality period 10 years.		

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Työn tavoite ja sisältö	5
1.2	Toimeksiantajan esittely	6
2	Tutkimusasetelma	7
2.1	Tutkimusongelma	7
2.2	Tutkimuskysymys.....	7
2.3	Tutkimusote.....	8
3	Robottihionnan prosessi	10
3.1	Hionta	10
3.2	Robottihionta.....	13
3.3	Työajan jakautuminen robottihionnan solussa	18
4	Investointilaskelmat	21
4.1	Investointi yleisesti	21
4.2	Rahoitus ja tuottovaatimukset	21
4.3	Investoinnin perustiedot ja laskentamenetelmät	23
5	Tuottavuuden parantamisen menetelmät	26
5.1	Työntutkimus.....	26
5.2	Strukturoimaton haastattelu.....	28
5.3	Syy-seuraus -diagrammi	29
6	Työn toteutus	30
6.1	Lähtötiedot	30
6.2	Nykytilan kuvaus.....	30
7	Tutkimustulokset	31
7.1	Menetelmätutkimus	31
7.2	Työnmittaus.....	32

8	Työntutkimuksen kehitysehdotukset	33
8.1	Ensisijaiset kehitysehdotukset.....	33
8.2	Toissijaiset kehitysehdotukset.....	34
9	Investointiehdotukset.....	35
9.1	Keskitason- ja raskas ehdotus	
9.2	Investoinnin kannattavuus	
10	Johtopäätökset ja pohdinta	42
	Lähteet	45
	Liitteet	47
	Liite 1. Syy-seuraus -analyysi	47
	Liite 2. Diskonttaustekijä- taulukko	48
	Liite 3. Karamoottoripaketin erittely ja tarjous.....	49

Kuviot

Kuvio 1. Hiomalaikkatyypit ja esimerkit käyttökohteista.....	11
Kuvio 2. Esimerkki hiomalaikan laatumerkinnästä	12
Kuvio 3. Nivelvarsirobotti suorahiomakoneella	15
Kuvio 4. Nivelvarsirobotti karamoottorilla	15
Kuvio 5. Robotin hiomatyökalut HSK-istukalla	16
Kuvio 6. Nivelvarsirobotti nauhahiomakoneella	16
Kuvio 7. Pushcorp RBS372 Series nauhahiomakone.....	17
Kuvio 8. Kiinteällä nauhahiomakoneella varustettu robotti	18
Kuvio 9. Työajan jakautuminen	19
Kuvio 10. Investoinnin rahoitusvaihtoehdot	22
Kuvio 11. Yhden tuotteen kappaleaika eriteltynä	32
Kuvio 12. Esimerkkikuva karamoottoripäivityksestä.	

Taulukot

Taulukko 1. Modernisoinnin vertailu	
Taulukko 2. Investoinnin kustannukset eriteltynä.....	
Taulukko 3. Raskaan vaihtoehdon investointilaskelma 15% korkokannalla nykyarvomenetelmällä.....	
Taulukko 4. Raskaan vaihtoehdon investointilaskelma takaisinmaksuajan menetelmällä.....	
Taulukko 5. Keskitason vaihtoehdon investointilaskelma 15% korkokannalla nykyarvomenetelmällä.....	
Taulukko 6. Keskitason vaihtoehdon investointilaskelma takaisinmaksuajan menetelmällä.....	
Taulukko 7. Vertailutaulukko vaihtoehdoista.....	

1 Johdanto

1.1 Työn tavoite ja sisältö

Robottihionta on tuotteiden valmistuksessa viimeinen vaihe ennen maalausta. Hiotut tuotteet ovat syvävedettyjä, 3D-laserilla leikattuja ja hitsattuja osia, joiden on täytettävä asiakkaiden korkeat laatuvaatimukset. Ohutlevyihin on hitsattu kiinnikkeitä ja vahvikkeita niiden toiselle puolelle, jonka myötä hitsauksessa tapahtuvan sulamisilmiön takia hitsipalko näkyy tuotteiden julkisivussa. Hitsauksesta johtuneet kuvut on poistettava ja viimeisteltävä hiomalla ennen maalausta, jonka jälkeen tuotteet ovat valmiita lähetettäväksi maalaukseen. Maalauksen onnistumisen edellytyksenä on naarmuton, sekä peilaamaton pinta, joka saadaan aikaan robottihionnan prosessilla.

Robottihiontaa hyödyntämällä voidaan pienentää raskaiden ja epäyhtenäisten käsityöiden osuutta ohutlevytuotteiden valmistuksessa. Teknologian kehityksen myötä robotisoinnilla saavutetaan tilanne, jossa robotti voi työskennellä pitkiäkin aikoja miehittämättömänä samalla mahdollistaen työvoiman resursointia muihin samanaikaisiin tehtäviin. Automaatio ja robotisaatio eivät vie työpaikkoja, vaan ne muuttavat henkilöstön työnkuvaa. Edelleen robotit täytyy ohjelmoida, niiden kunnossapidosta tulee huolehtia ja haluttu toiminta-aste saavuttaa liiketoiminnan kannattavuuden saavuttamiseksi. Robotisoinnilla voidaan saavuttaa merkittävä kilpailuetu kilpailun jatkuvasti koventuessa ja jos jatkuvaan kilpailukyvyyn kehittämiseen ei panosteta riittävästi, on vaarana pudota kehityksestä.

Työn tavoitteena on kehittää robottihionnan prosessista tuottavampi ja laadukkaampi. Prosessien kehittämistyöllä voidaan parantaa henkilöstön työhyvinvointia ja viihtyvyyttä. Samalla se lisää henkilöstön motivaatiota työtehtävää kohtaan, joka on koko yrityksen toiminnan kannalta suuri etu. Työympäristön kehittämällä voidaan vähentää merkittävästi hukkaa vähentämällä tavaroiden ja työkalujen etsimiseen kuluva aika. Säästynyt aika voidaan käyttää järkevämmiin jalostavan työajan lisäämiseen ja käyttäjäkunnossapitoon. Toimeksiantajan tavoitteena on kehittää robottihio-

onnan prosessia siten, että tuote tulisi kerralla valmiiksi, laatu olisi tasainen ja prosessi olisi nopeampi kuin käsin tehtynä. Yrityksen tavoitteena on lisätä automaatioastetta ja poistaa raskaita käsin tehtäviä työvaiheita tuotannosta.

Työ sisältää robottihionnan modernisoinnin kehitysehdotukset tarjouksineen, joiden kannattavuutta on arvioitu laadullisesti ja määrällisesti. Lisäksi työssä on tehty työntutkimusta ja prosessin nykytilan kartoittamista syy-seuraus -diagrammia sekä työntekijöiden haastatteluita hyödyntäen, joiden pohjalta on kirjattu ensisijaisia- ja toissijaisia kehityskohteita prosessin tehokkuuden parantamiseksi.

1.2 Toimeksiantajan esittely

Meconet Oy on Pohjois-Euroopassa toimiva jousien, lanka-, meisto- ja syvävetotuotteiden valmistaja. Meconet suunnittelee ja valmistaa yksityiskohtaisia metallikomponentteja ja tekee haastavia kokoonpanoja asiakkaiden tarpeiden mukaan. Yrityksellä on jo yli sadan vuoden kokemus valmistavan teollisuuden alalta. Meconetin asiakkaat toimivat sähkötuote-, tietoliikenne-, elektroniikka-, rakennus-, terveys- ja kulukuvälineteollisuudessa. Meconetin valmistamia tuotteita käytetään pistorasioissa, kytkimissä, matkapuhelimissa, lukituslaitteissa, lääkeannostelijoissa sekä autoissa ja työkoneissa. Yritys on jaettu kuuteen eri toimipisteeseen, jotka ovat Vantaa, Äänekoski, Pihtipudas, Tallinna, Tukholma ja Pietari. (Meconet 2020)

Äänekosken valmistusyksikössä tehdään pääosin syvävetotuotteita erätuotantona. Tuotteiden levymateriaali leikataan arkeista haluttuun muotoon tai ne tulee valmiina arkkeina syvävedettäväksi. Syvävedettyjä tuotteita voidaan leikata 3D-lasereita käyttäen ja niihin voidaan hitsata tarvittavia osia. Toimitukset tehdään pääosin osakoonpanoina asiakkaille.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tutkimusongelma

Robottihionta on toimeksiantajalle tärkeä prosessi saada toimimaan tehokkaammin. Tutkimusongelma on robottihionnan nykytilan heikko tehokkuus. Robottihionnan prosessia on mahdollista kehittää monin eri opinnäytetyössä esitetyin tavoin, mutta tutkimus rajataan koskemaan erityisesti prosessia, unohtamatta robottihiontasolussa tapahtuvaa henkilötason toimintaa. Aiheesta tutkimisen arvoisen tekee erityisesti se, että robottihionnan tuottavuudessa on konkreettisesti kehitettävää sen nykytilaan verrattuna ja työn tuloksia viedään käytäntöön kehittämistutkimuksen tavoin.

2.2 Tutkimuskysymys

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksillä ja aineistolla muodostetaan vastaus tutkimusongelmaan. Tutkimuskysymykset ovat luonteeltaan sellaisia, että niitä ei voida esittää suoraan tutkittaville. Ne toimivat tutkijan työkaluina ja niihin tarvitaan tarkentavia apukysymyksiä, joilla muodostetaan tutkimuksen aineisto. (Kananen 2015, 57.)

Tutkimuskysymykset ovat muodostettu työn aloitustapaamisen pohjalta ja ne ovat keskeisiä kysymyksiä aineiston ja työn toteutuksen kannalta.

- Miten prosessin tehokkuus on parannettavissa ilman suurempia kuluja?
- Olisiko robottihiontasolun toiminnan tehostamisella mahdollista lisätä tuotteita ja volyyymia robotille?
- Olisiko modernisointi kannattavaa, jos sillä saisi merkittävästi lisättyä robotin tehokkuutta?
- Kasvaako prosessin kehittämisen myötä tuottavuuden lisäksi hionnan laatu?

2.3 Tutkimusote

Laadullista eli kvalitatiivista tutkimusta hyödyntämällä voidaan ymmärtää mistä tutkittavassa ilmiössä on kyse. Se sopii parhaiten sellaisiin tilanteisiin missä ilmiötä ei tunneta. Sen avulla tutkittavasta asiasta saadaan syvällisempi näkemys ja hyvä kokonaiskuva, joten laadullinen kuvaus on siten edellytys erilaisten prosessien perusteelliseen ymmärtämiseen. (Kananen 2015, 71.) Laadullisen tutkimuksen tyypillisiä aineistonkeruumenetelmiä ovat henkilökohtaiset haastattelut, ryhmähaastattelut, syvähaastattelut, osallistuva havainnointi, eläytymismenetelmä sekä valmiit aineistot ja dokumentit. (Heikkilä 2014, 6.) Laadullisella tutkimuksella voidaan täydentää kvantitatiivista tutkimusta. Molempia tutkimusmenetelmiä voidaan käyttää tutkimuksessa rinnakkain tai peräkkäin. Laadullisen tutkimuksen jälkeen voidaan hyödyntää määrällistä eli kvantitatiivista tutkimusta, jolla mitataan ilmiötä. Laadullinen tutkimus on aikaa vievää, koska haastattelut ja havainnointi, sekä saadun aineiston analysointi ja puhtaaksikirjoittaminen vaatii paljon aikaa. (Kananen 2015, 71-72.)

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa kerätään aineistoa käyttämällä kyselyitä, tietokantoja ja rekistereitä. Kvantitatiivisen tutkimuksen käyttäminen edellyttää tutkittavan kontekstin ymmärtämistä eli taustalla pitää olla tuntemus ilmiöstä. Kattava ilmiön ymmärtäminen auttaa tutkijaa muodostamaan tutkimuskysymyksiä, joihin haetaan vastauksia muodostamalla apukysymyksiä. (Kananen 2015, 73-74.) Kvantitatiivista tutkimusta pidetään yleensä kyselytutkimuksina, mutta myös sellainen tutkimus, jossa käsitellään lukuja ja tehdään laskelmia, katsotaan määrälliseksi tutkimukseksi (Kananen 2015, 201). Heikkilän (2014, 6.) mukaan sen aineistonkeruumenetelmiä voivat olla lomakekyselyt, internet-kyselyt, strukturoidut haastattelut, puhelinhaastattelut, systemaattinen havainnointi ja kokeelliset tutkimukset. (Heikkilä 2014, 6.)

Opinnäytetyö toteutetaan kehittämistutkimuksena, koska työn aikaansaannoksista valitut kehityskohteet viedään tuotantoon. Kehittämistutkimuksessa kehitetään robotihionnan prosessia kvalitatiivisia- ja kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä rinnakkain käyttäen. Kvalitatiivisista menetelmistä työhön valitaan avoimet henkilökohtai-

set haastattelut ja prosessin osallistava havainnointi ja se tulee olemaan suurem-
massa roolissa tutkimusmenetelmien suhteen. Alan asiantuntijoita ja ammattilaisia
haastatteleamalla aiheesta saadaan kokonaisvaltainen ymmärrys, joka auttaa sub-
stanssin ymmärtämisessä. Henkilökohtaisten haastatteluiden osuus sijoittuu tuotan-
toverstaan johdolle, robottihionnan prosessin operaattoreille ja muille valmistavan
teollisuuden ammattilaisille. Strukturoimattomilla haastatteluilla yritetään saada asi-
antuntijoiden näkemyksiä mm. robottihionnan modernisointiin. Substanssin ymmär-
täminen on avainsana työn onnistumiseen, koska kehityskohteita haetaan itse pro-
sessiin, sekä sen ympärillä tapahtuvaan työskentelyyn, joten haastatteluita on senkin-
takia syytä toteuttaa. Kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä tutkimuksessa ovat työajan
jakautumisen mittaaminen. Työajan jakautumisessa mitataan solun työskentelyn ja
prosessin eri vaiheisiin kuluvia aikoja.

Kvalitatiivinen aineisto analysoidaan ja kirjoitetaan raporttiin puhtaaksi. Kvantitatiivi-
sesti kerätyt aineistot esitetään graafisesti ja taulukkoja hyödyntäen, jota analysoi-
daan tekemällä niistä johtopäätöksiä. Tutkimustulosten ja aineiston luotettavuus py-
ritään varmistamaan pysymällä tiukasti itse substanssissa ja työn läpinäkyvyydellä yh-
dessä ohjaajien kanssa. Aineiston luotettavuutta tukee yhteistyö yrityksen henkilös-
tön kanssa robottihionnan solun tutkimisessa.

3 Robottihionnan prosessi

3.1 Hionta










Hionta on yksi lastuavan työstön menetelmä, jossa poistetaan ainetta työstettävän kappaleen pinnasta. Monesti hionnan työkaluna käytetään pyörivää hiomalaikkaa. Hiomalaikka on tehty pienistä hiomarakeista, jotka ovat liimattu yhteen sideaineella. Pyörivän laikan osuessa paikallaan olevaan kappaleeseen syöttöliikkeen vaikutuksesta alkaa kappaleesta hioutua pieniä lastuja. (Maaranen 2012, 87.)

Erona muihin lastuaviin työstömenetelmiin hionnassa on se, että työkalussa on hiomajyvsiä, kun taas lastuavassa työstössä teräosat tekevät lastuamisen. Tämän lisäksi hiomalaikan hiomajyvissä on useita leikkaavia särmiä, jotka irrottavat lastuja työstettävästä kappaleesta. Hiomajyvien leikkaavien särmien muotoa ei ole määritetty, joka aiheuttaa sen, että hiomajyvät muodostavat työstettävään materiaaliin nähden erisuuruisia rinta- ja päästökulmia. Useimmiten rintakulma on negatiivinen, jonka takia lastuaminen usein tapahtuu kaapimalla. Hiontaa käytetään esimerkiksi koneistettujen osien pinnanlaadun parantamiseen, lastuavan työstön työkalujen teroitukseen, terävien särmien ja purseiden poistoon sekä levy- ja teräsrakenteiden rouhinta-, sovitus- ja puhdistushiontaan. (Maaranen 2012, 88.)

Hiomalaikat

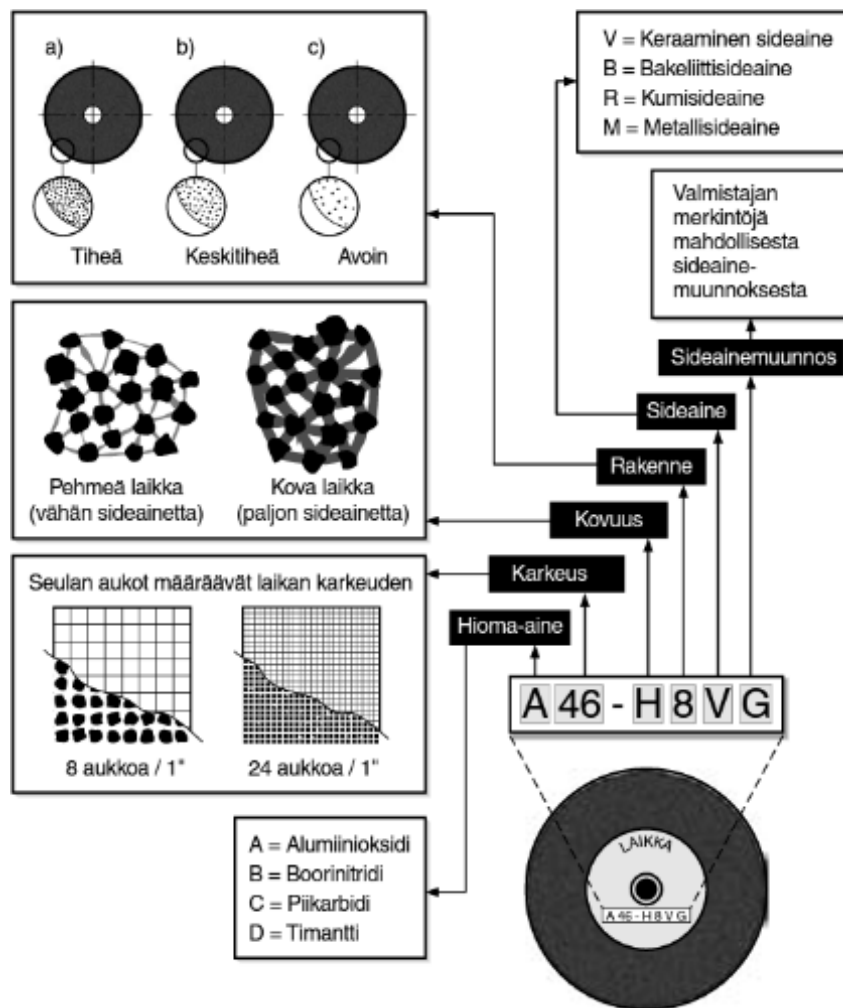
Hionnassa lastua irrottavaa terää kutsutaan hiomalaikaksi. Se koostuu hiomajyvistä, sideaineesta ja hiomajyvien väliin muodostuvista huokosista. Hiomalaikat voivat olla reunamuodoltaan, tyypiltään ja ominaisuuksiltaan erilaisia (ks. kuvio 1). Hiontatyöllä määritetään hiomalaikalle vaatimukset. Hiomalaikoille on olemassa oma laikkojen standardoitu merkintäjärjestelmä. (Maaranen 2012, 94.)

Kuviossa 1 on havainnollistettu erilaiset hiomalaikkatyypit ja esimerkit niiden käyttökohteista.

Laikkatyyppi	Esimerkkejä käyttökohteista	
 Suora laikka	Penkkihiomakoneet Suorat käsihiomakoneet	Työkaluhiomakoneet Tasohiomakoneet
 Syvennetty suora laikka	Penkkihiomakoneet Työkaluhiomakoneet	
 Suora kuppilaikka	Penkkihiomakoneet Työkaluhiomakoneet	Tasohiomakoneet
 Kartiomainen kuppilaikka	Työkaluhiomakoneet Tasohiomakoneet	Kulmahiomakoneet
 Lautaslaikka	Työkaluhiomakoneet	
 Katkaisu-laikka	Kulmahiomakoneet	
 Napalaikka	Kulmahiomakoneet	
 Karalaikka	Karahiomakoneet	
 Nauha-hiomapää	Karahiomakoneet	

Kuvio 1. Hiomalaikkatyyppit ja esimerkit käyttökohteista
(Maaranen 2012, 95.)

Kuviossa 2 on hiomalaikkojen laatumerkinnät, joista selviää hiomalaikan ominaisuudet. Laikkojen standardissa on määritetty hioma-aine, joka on yleensä alumiinioksidi, boorinitridi, piikarbidi tai timantti. Seuraava merkintä on laikan karkeus. Sen ilmaisee numero, joka kertoo jyvästen lajitteluun käytettävien seulojen lukumäärän pituustuumaa kohden. Lajitteluluokat ovat karkea, keskikarkea, hieno ja erittäin hieno. Seuraava kohta on kovuus, joka riippuu laikan sideaineen määrästä. Kun sideainetta on paljon, niin laikka kestää paremmin hiomapainetta. (Maaranen 2012, 96-97.)



Kuvio 2. Esimerkki hiomalaikan laatumerkinnästä

(Maaranen 2012, 96.)

Työn laatu on määrittävä tekijä laikan kovuuden valinnassa. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että laikka on oikea kovuudeltaan, kun tylsynyt hiomajyvä irtoaa siitä itsestään. Tällöin hiomalaikka pysyy jatkuvasti terävänä kulumatta liian nopeasti. Useimmiten kova laikka on tarkoitettu pehmeille aineille ja pehmeä koville aineille. Kovuuden jälkeen merkinnässä tulee hiomalaikan rakenne, jolla tarkoitetaan sen huokoisuutta eli sideaineen, hiomajyvien ja välitilojen keskinäistä jakaumista hiomalaikassa. Tiheä laikan välitilan rakenne valitaan, kun halutaan parempaa pinnan laatua tai hiottava aine on kovaa. Rakenteeltaan avoin laikka sopii paremmin sitkeään ja pehmeään materiaaliin, jossa tarvitaan suurta hiomatehoa. Viimeisenä standardin merkintänä on sideaine. Sideaineet ovat jaettu neljään eri luokkaan, jotka ovat keraaminen sideaine (V),

bakeliittisideaine (B), kumisideaine (R) ja metallisideaine (M). Keraaminen sideaine on yleisin. Sitä käytetään, kun kehänopeudet ovat pieniä. Bakeliittisideainetta käytetään rouhintahionnassa. Bakeliittisideaineelle ominaista on sen joustavuus ja lujuus. Kumisideainetta käytetään, kun tavoitellaan hyvää pinnan laatua ja metallisideainetta käytetään timantti- ja boorinitridilaikkoihin. Sideainemerkinnässä voi olla muitakin kirjaimia ja numeroita, jotka ilmaisevat sideainemuunnokset. (Maaranen 2012, 98-99.)

3.2 Robottihionta

Robottihionta ja robotisoidut materiaalinpoistoprosessit ovat yleistyneet laajalti ympäri maailmaa niiden tuottavuushyötyjen takia. Manuaaliseen työskentelyyn verrattuna robottihionta on monipuolinen tapa kehittää toimintaa. Robottihionta ja viimeistely ovat keskeinen osa monia valmistusprosesseja ja valmistajat pyrkivät jatkuvasti parantamaan tuottavuutta ja osien laatua. (The Benefits of Robotic Grinding and Material Removal, 2018.)

Yksi suurimmista haasteista, joita valmistajat kohtaavat manuaalisessa hionnassa ja viimeistelyssä on tuotteiden tasalaatuisuus. Manuaalisesti hiomalla pystytään tekemään osia, joilla on sama laatu kuin robotilla, mutta inhimillisten virheiden mahdollisuus on aina läsnä. Ne taas voivat heikentää valmistajan asemaa kilpailussa. Toinen haaste manuaalisissa prosesseissa on pystyä pitämään nopea ja yhtenäinen läpimenoaika. Manuaaliset prosessit voivat olla arvaamattomia ja hitaita verrattuna siihen mitä automatisoinnilla voidaan saavuttaa. (The Benefits of Robotic Grinding and Material Removal, 2018.)

Hionnan ja viimeistelyn automatisoinnilla on monia etuja. Robottien työn toistettavuuden, joka lisää tuotteen tasalaatuisuutta ja läpimenoaikaa lisäksi robotit voivat työskennellä paljon pidempiä aikoja, mikä mahdollistaa suuremmat tuotevolyymit.

Em. seikkojen lisäksi robottihionta- ja viimeistelyprosessit mahdollistavat lyhytaikaisen sijoitetun pääoman tuoton ja vähentävät pitkällä aikavälillä käyttökustannuksia. (The Benefits of Robotic Grinding and Material Removal, 2018.)

Robottihionnalla on myös huonoja puoli verrattuna käsin hiontaan. Suurimmat haittapuolet ovat viimeisteltävien osien geometrian vaihtelu. Robotin jatkuva uudelleenohjelmointi ei ole kannattavaa, koska se vie paljon aikaa. Robotit voivat olla myös hyvin kalliita laitteita, joten ne eivät välttämättä sovi pienille valmistajille. (Schneider, S. 2019.)

Viimeistelyrobotteja käytetään raskaisiin purseiden poistoihin ja hitsausseamien viimeistelyyn, mutta myös kevyempiin tarkoituksiin kuten kiillotukseen ja läppäykseen. Niitä käytetään nykyisin suurien volyymien tuotteisiin, joiden pinnanlaatu on kriittinen kuten auton osiin, turbiinien siipiin, lääketieteellisiin implantteihin, takeisiin ja valuihin, mutta myös ei-rautametalleihin, keramiikkaan ja betoniin. (Bogue, R. 2009.)

Erilaiset robottihionnan ratkaisut

Useimmat robottijärjestelmät perustuvat tavanomaisen 6-akselisen varren ympärille, joka voidaan varustaa materiaalien poistolaitteilla, kuten hiomatyökaluilla tai hiomakivellä, hihnoilla ja hiomakiekoilla. Hiomalaite voi olla myös kiinteästi asennettu lattiaan, jolloin robottitarrain siirtelee kappaletta hiottavan pinnan mukaan. (Bogue, R. 2009.)

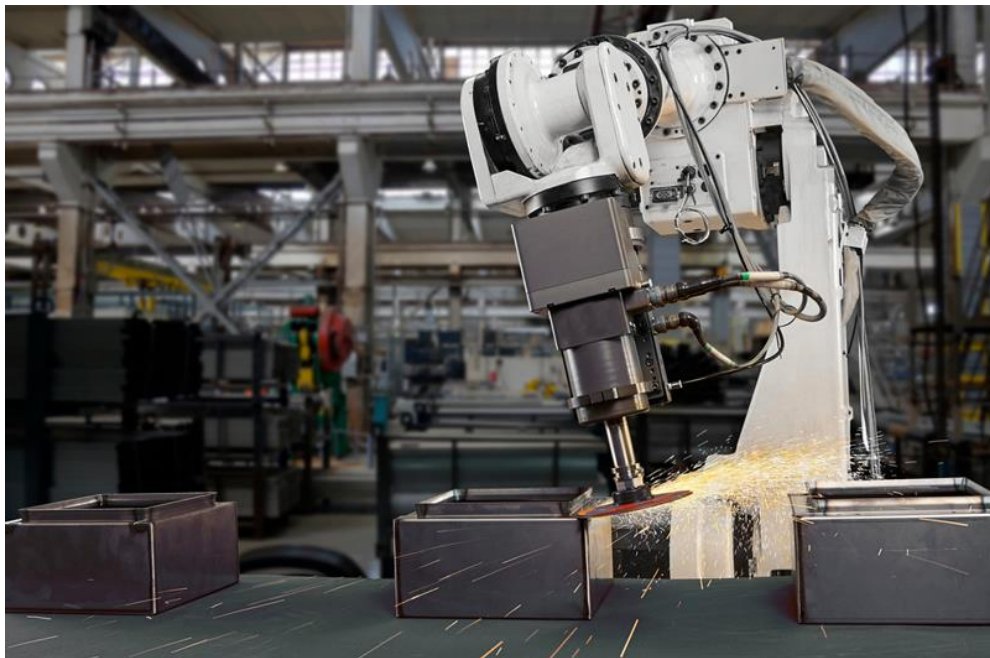
Nivelvarsirobotit ovat yleisesti varusteltavissa monilla erilaisilla hionnan vaihtoehdoilla. Kuviossa 3 on suorahiomakoneella varustettu 6-akselinen nivelvarsirobotti.



Kuvio 3. Nivelvarsirobotti suorahiomakoneella

(Eriksson, A. 2014)

Suorahiomakoneen etuina voidaan pitää sen edullista hintaa ja pientä kokoa, jolla päästään hiomaan ahtaampiinkin väleihin. Kuviossa 4 on esitetty karamoottorilla varustettu robotti. Se on huomattavasti tehokkaampi kuin kuviossa 3 esitetty kevyt vaihtoehto. Lisäksi karamoottorilla varustettuun robottiin on saatavilla automaattinen työkalun vaihto, joka monipuolistaa prosessia. Tehokkuuden kasvattamisen myötä karamoottorilla varustettu robotti on kalliimpi ratkaisu.



Kuvio 4. Nivelvarsirobotti karamoottorilla

(Can fabricators really automate grinding 2019)

Alla olevassa kuviossa 5 on esitetty karamoottoriin vaihdettavia hiomatyökaluja HSK-istukalla. Erilaiset työkalut monipuolistavat robottihionnan käyttökohteita.



Kuvio 5. Robotin hiomatyökalut HSK-istukalla
(Mesh robotic grinding and buffing 2020)

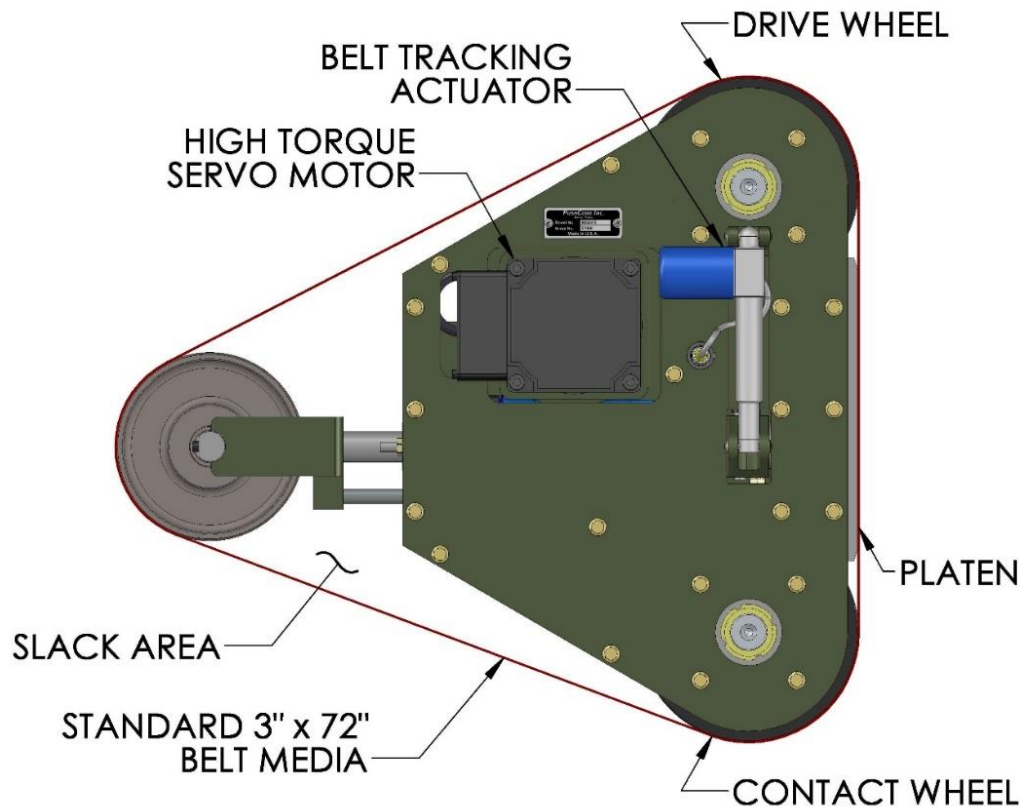
Hiontarobottisoluja voidaan varustaa myös erilaisilla nauhahiomakoneilla. Ne voivat olla kiinteitä lattiaan pultattuja tai ne voi olla robottiin asennettuja. Alla olevassa kuviossa 6 on esitetty Pushcorp Oy:n yksi ratkaisu nauhahiontaan.



Kuvio 6. Nivelvarsirobotti nauhahiomakoneella
(Pushcorp n.d.)

Se on sähkökäyttöinen servomootoreilla toteutettu ratkaisu, jolla voidaan hioa kolmella eri pinnalla, joita ovat sen pitkä sivu (steel platen), 178 mm kosketuspyörällä (contact wheel) ja hihnan löysällä sivulla (slack area). (Pushcorp, n.d.)

Kuviossa 7 on esitetty tarkemmin Pushcorpin nauhahiomakoneen toimintaa.

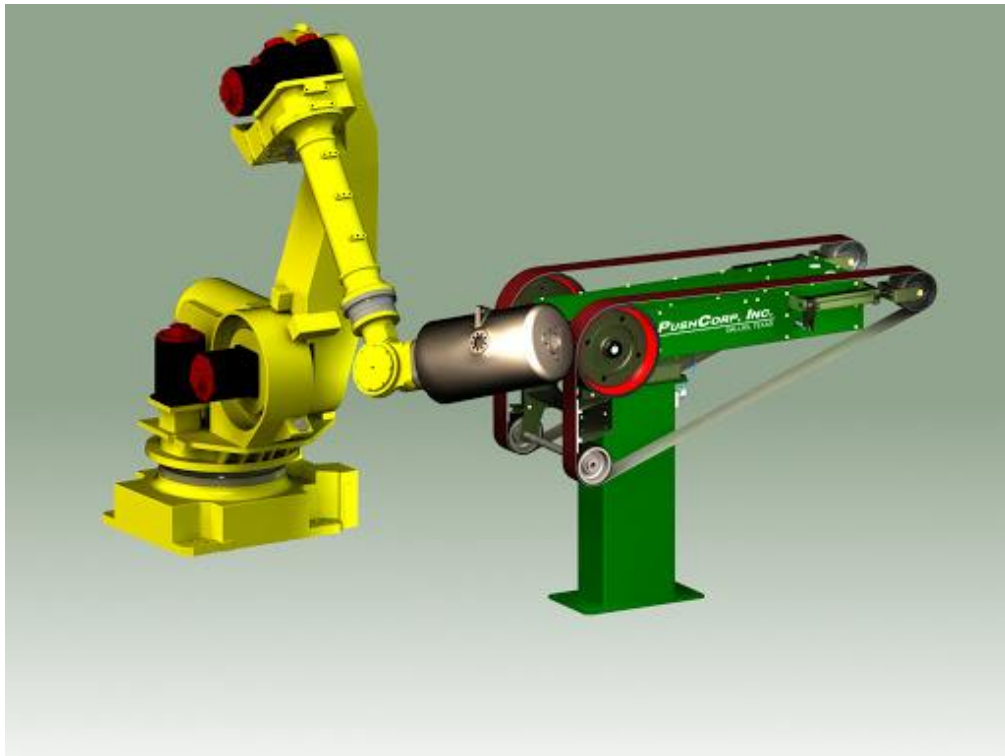


Kuvio 7. Pushcorp RBS372 Series nauhahiomakone

(Pushcorp n.d.)

Nauhahiomakone voidaan kiinnittää myös kiinteästi lattiaan (ks. kuvio 8). Tässä tapauksessa robotti on varustettu tarraimella, jolla se poimii hiottavan osan, hioo ja viimeistelee sen riippuen hiomalaitteista ja siirtää sen valmiiden osien lavalle. Sen etuina voidaan pitää sitä, että se pystyy tekemään tuotteen erän kerralla valmiiksi, eikä operaattorin tarvitse nostella painavia kappaleita lainkaan. Huonoja puolia em. ratkaisussa ovat kappaleiden painon ja geometrian rajoitteet. Painavia kappaleita

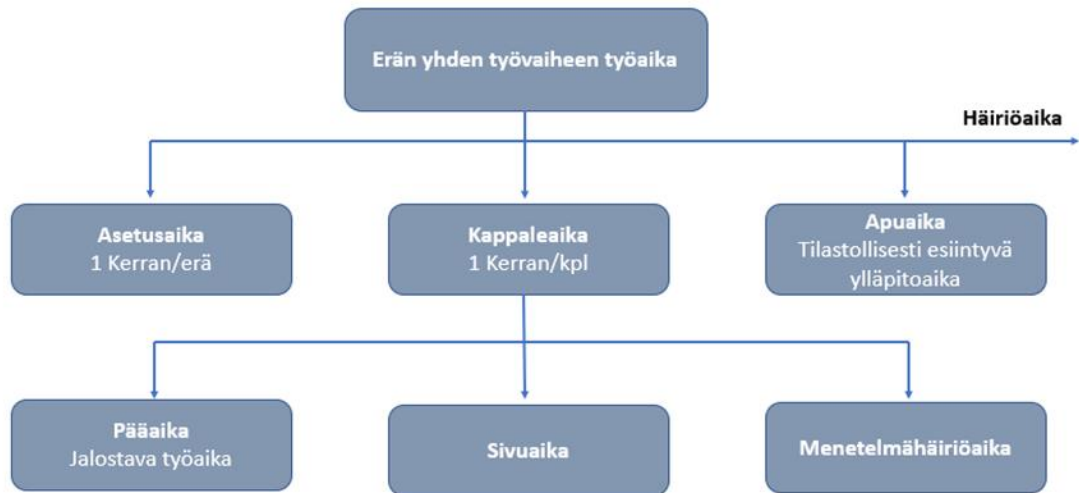
saadaan nostettua, mutta robotin tulee olla silloin iso, joka lisää järjestelmän hintaa. Geometrisia rajoitteita voivat olla mm. reikien, taskujen ja ahtaiden välien hionta.



Kuvio 8. Kiinteällä nauhahiomakoneella varustettu robotti
(Pushcorp n.d.)

3.3 Työajan jakautuminen robottihionnan solussa

Erätuotannossa yksittäisen työvaiheen työaika voidaan jakaa kappaleaikaan, asetus- aikaan, apuaikaan. Näiden lisäksi on häiriöajat. Ne ovat ennalta arvaamattomia esimerkiksi konerikkoja tai sähkökatkoksien aiheuttamia pysähdyksiä ja lakkoja. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 49.) Alla oleva kuvio 9 havainnollistaa työajan jakautumista Lapinleimun mukaisesti.



Kuvio 9. Työajan jakautuminen

(Lapinleimu ym. 1997, 49, muokattu)

Asetusaika muodostuu kappaleen vaihtoon liittyvistä toimenpiteistä ja se tehdään yhden kerran erää kohden. Kappaleaika koostuu pääajasta, sivuajasta ja menetelmähäiriöajasta. (Lapinleimu ym. 1997, 49-50.)

Pääaikana tapahtuu tuotteen arvoa lisäävä eli jalostava työ. Sivuaikaan lasketaan koneen käytön mahdollistamiseen liittyvät toimenpiteet. Robottihionnan pääaikaan lasketaan robotin toiminnan lisäksi viimeistelyhionta. Sivuaikoina voidaan pitää mm. työkappaleen asettaminen hiontajigiin, robotin paikoitusliikkeet, robotin hiontapään hiomapaperin vaihto ja työkappaleiden pinoaminen.

Menetelmähäiriöaika pidetään kappaleesta ja menetelmästä riippuvana tilastollisena suureena. Se on eri asia kuin häiriöaika, jonka esiintyminen on niin satunnaista, että sen tilastollinen käsittely on mahdollista korkeintaan vuositasolla. (Lapinleimu. ym. 1997, 51.) Menetelmähäiriöaika robottihionnassa tarkoittaa robotin vikaantumista esim. törmäyksen sattuessa tai hiontapään vikaantumista.

Apu aika tarkoittaa tuotantoedellytysten ylläpitämiseen kuluva aiaa (Lapinleimu 1997, 51). Robottihionnan prosessissa näitä ovat esim. koneen puhdistukset, voitelut ja muut ylläpidolliset toimenpiteet.

4 Investointilaskelmat

4.1 Investointi yleisesti

Investoinnit kohdistuvat aina tulevaisuuteen. Investoinneilla voidaan lisätä yrityksen tuotantokapasiteettia tai ne voivat olla esimerkiksi uusia tuotantotiloja tai tuotantomenetelmiä. Investointien tarkoituksena on joko luoda kustannussäästöjä tai tuottaa lisää myyntituloja. Investointilaskelmilla voidaan selvittää investoinnin kannattavuus. Perussääntö on, että investoinnin on tuotettava enemmän tuloja kuin menoja sen käyttöaikana, jotta se on kannattava. (Eklund & Kekkonen 2014, 131.)

Investoinnit voivat olla reaali- tai rahoitusinvestointeja. Reaali-investoinnissa raha investoidaan tuotannontekijöiden hankkimiseen tuottojen saamiseksi. Tällaisia investointeja voivat olla esimerkiksi toimitilojen, laitteiden ja koneiden osto, tuotekehitykseen panostaminen sekä markkinointikanavien käyttöönotto ja kampanjoiden toteutus. Rahoitusinvestoinneissa raha sijoitetaan esimerkiksi obligaatioihin ja debentureihin. Uusininvestoinneissa kasvatetaan yrityksen reaali-pääomaa ja korvaus- tai uusininvestoinneissa korvataan aikansa elänyt tai kulunut reaali-pääoma. (Uusi-Rauva 2009, 195.)

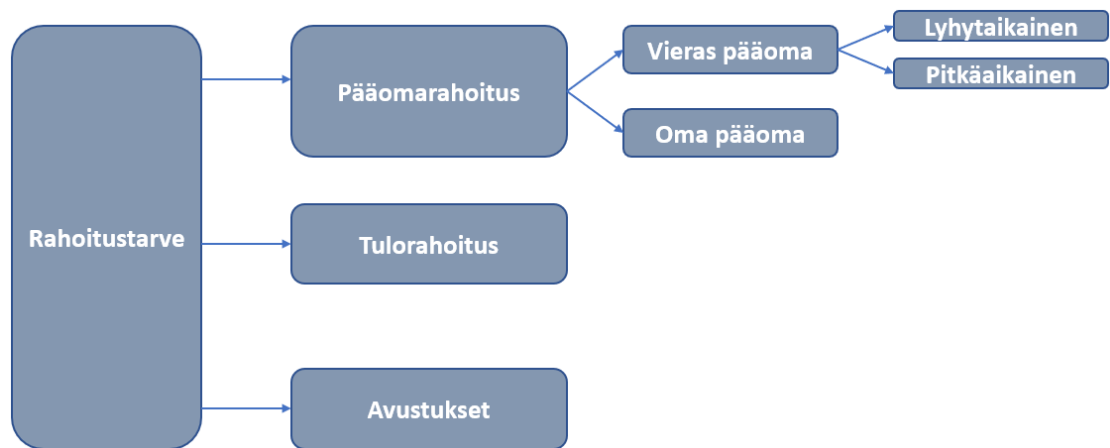
Kansantalouden kannalta investoinneilla on tärkeä merkitys. Investoinneilla luodaan uusia työpaikkoja, ylläpidetään vanhoja työpaikkoja, parannetaan tuottavuutta, järkeistetään toimintaa ja muutetaan käsin tehtäviä, vaarallisia ja epämiellyttäviä töitä koneille. Lisäksi investoinnit luovat kasvumahdollisuuksia ja ne edistävät yhteiskunnan kehitystä. Heikot investoinnit voivat sitoa jo ennestään niukkoja pääomia tuottamattomiin kohteisiin, joka hidastaa pääomien kiertoa ja taloudellista kehitystä. (Uusi-Rauva 2009, 195.)

4.2 Rahoitus ja tuottovaatimukset

Ennen investointipäätöstä on oltava selvillä kokonaisrahoitustarpeesta ja siitä, miten se hoidetaan. On olemassa nyrkkisääntö, jossa rahan lähteen ja käytön tulee vastata

toisiaan. Pitkävaikutteisissa hankkeissa rahoitus tulee järjestää pitkävaikutteisella omalla- tai vieraalla pääomalla. (Uusi-Rauva 2009, 209.) Pitkäaikaisilla rahoitusvälineillä tarkoitetaan omaa pääomaa, joka voi olla esimerkiksi osakepääoman korottamista ja pääomalainaa omistajilta tai pitkäaikaista lainaa (Investoinnin kannattavuus n.d.)

Alla oleva kuvio 10 osoittaa investointien rahoitusmallit Uusi-Rauvan (2009) mukaan. Näiden lisäksi vieraalle ja omalle pääomalle on olemassa välimuotoja optiolainoista vaihtovelkakirjalainoihin (Uusi-Rauva 2009, 209).



Kuvio 10. Investoinnin rahoitusvaihtoehdot

(Uusi-Rauva 2009, 209, muokattu)

Investointien arviointi ei ole aina vain tuottoarvoon katsomista, koska investointi usein madaltaa kustannuksia toisessa kohteessa. Investoinnin tuottovaatimuksen pitää olla aina suurempi kuin rahoituksen hinnan. (Investoinnin kannattavuus n.d.)

Uusi-Rauvan (2009) mukaan tuottovaatimusta ei aseteta pakollisiin investointeihin kuten lakien, asetusten ja viranomais määräyksien takia tehtyihin investointeihin. Matala 6 % tuottoaste voidaan asettaa markkina-aseman turvaamiseksi investoinneilla. Uusintainvestointien tuottovaatimus tulisi olla 12 %. Uusintainvestointeja ovat peruskorjaukset ja koneiden ja laitteiden uusinta. Jos kustannuksia pystytään laskemaan

investoinneilla niin silloin tuottovaatimus tulisi olla 15 %. Tuottojen lisäämiseen investoinneilla voidaan asettaa 20 % tuottovaatimus ja huomattaviin riskinalaisiin sijoituksiin kuten uusien tuotteiden valmistuksen aikaansaamiseen tuottovaatimus olisi 25 %. Numeroarvot ovat silti aina harkittava tapauskohtaisesti. (Uusi-Rauva 2009, 210.)

4.3 Investoinnin perustiedot ja laskentamenetelmät

Investointilaskelma on investoinnin pitoajalle tehty laskelma, jolla selvitetään, onko investointi kannattava ja järkevä. Laskelmien tarpeellisuus korostuu silloin, kun investointivaihtoehtoja on useita, jolloin laskelmia käyttäen ne voidaan järjestää paremmuusjärjestykseen. Laskelmat koostuvat markkinoista, investoinnista johtuvista kustannuksista ja tuotoista, sekä rahoitustarpeesta hankittuihin ja arvioituihin tietoihin. Laskelmien tiedonkeruuseen on panostettava sitä enemmän mitä suuremmasta hankkeesta on kyse. Yksi investoinnin tiedonkeruun keino on kysyä kokemuksia muilta Suomessa toimivilta alan yrityksiltä. (Investoinnin kannattavuus n.d.; Uusi-Rauva 2009, 213.)

Käytössä olevia investointilaskentamenetelmiä ovat nykyarvomenetelmä, annuiteettimenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä, pääoman tuottoastemenetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä. Investointilaskelmia ennen on syytä tutustua lähtöarvoihin, joita ovat perusinvestointi, juoksevasti syntyvät tuotot ja kustannukset, laskentakorkokanta, investoinnin pitoaika ja investoinnin jäännösarvo. (Uusi-Rauva 2009, 214.)

Perusinvestointi

Perusinvestointi eli perushankintakustannus ajoittuu lähimmäksi investointipäätöstä. Sen määrittelyyn ei liity niin suurta epävarmuutta kuin esimerkiksi investoinnin tuottoihin tai kustannuksiin. Investoinnilla on tapana johtaa toimintaan sitoutuneen käyttöpääoman kasvamiseen. On kaksi eri tapaa, jolla käyttöpääoman lisätarvetta voidaan käsitellä. Käyttöpääoman lisätarve lasketaan investointilaskelmissa perusinvestointiin sen kasvun suuruisena ja pitoajan lopussa käyttöpääoma lisätään viimeisen

vuoden nettotuloon. Menetelmää kutsutaan maksuperusteiseksi lähestymistavaksi. Toinen vaihtoehto on kustannusperusteinen lähestymistapa, jossa jokaisen vuoden nettotuloista vähennetään laskentakoron mukainen korkokustannus. Tässä tapauksessa käyttö pääoman muutoksia ei oteta huomioon laskelmissa. (Uusi-Rauva 2009, 200; Investoinnin kannattavuus n.d.)

Juoksevat tuotot ja kustannukset

Juoksevasti syntyviä tuottoja ja kustannuksia on järkeenkäypää ajatella vuositasolla yhdessä. Vuotuisen tuoton ja siitä johtuvan vuotuisen kustannuksen erotusta kutsutaan nettotuotoksi. Nettotuoton sijaan voi syntyä myös kustannussäästöä, mutta silloinkin on pidettävä mielessä investoinnin kannattavuus ja tuottovaatimus. Tuottojen arvioimiseksi voidaan joutua turvautumaan kysynnän ennusteisiin ja ehkä markkina-tutkimuksiin. Vuosittaisten kustannusten arvioinnissa on arvioitava ensin tuotot, joista johdetaan kustannukset. (Investoinnin kannattavuus n.d.; Uusi-Rauva 2009, 201.)

Laskentakorkokanta

Korko tarkoittaa korvausta rahan käyttöön saamisesta. Investointien rahoitus koostuu osaksi vieraasta pääomasta ja osaksi omasta pääomasta kuten tulorahoituksesta tai osakepääoman korotuksesta. Laskentakorkokantaa käytetään investointivaihtoehtojen välisen kannattavuuden vertailemiseksi. Sen voidaan ajatella olevan hankkeen minimituottovaatimus. (Uusi-Rauva 2009, 216.)

Investoinnin pitoaika

Investoinnin pitoaikana pidetään taloudellista hyötyaikaa, joka investoinnilla yrityksessä on. Se voi tarkoittaa koneen fyysistä käyttöikää, mutta fyysistä käyttöikää voidaan periaatteessa jatkaa modernisoinneilla ja korjauksilla. Pitoajan tarkastelussa on siis syytä miettiä koneen teknistaloudellista käyttöikää. Teknistaloudellinen käyttöikä tarkoittaa sitä aikaa, jonka kuluttua on odotettavissa, että markkinoilla on uusi parempi kone, joka tekee investoidun koneen käyttämisen epätaloudelliseksi. (Uusi-Rauva 2009, 217.)

Jäännösarvo

Jäännösarvolla tarkoitetaan investoinnista saatavaa myyntituloa pitoajan päätyttyessä. Monesti sen arvona pidetään nollaa, koska on vaikea ennustaa tulevaisuudessa saatavaa investoinnin jälleenmyyntiarvoa. Lisäksi jäännösarvon osuus diskontattuna on usein vähäinen investoinnin edullisuuteen ja sen vaikutus on sitä pienempi, mitä pidempi pitoaika investoinnilla on. (Uusi-Rauva 2009, 218.)

Nykyarvomenetelmä

Investoinnin nykyarvomenetelmällä kaikki investoinnin tuotot ja kustannukset diskontataan valitun laskentakorkokannan mukaan nykyhetkeen. Investointi on silloin kannattava, kun nettotulojen nykyarvon summa ylittää perushankintakustannuksen. Nettotulojen nykyarvon summaan otetaan mukaan myös investoinnin jäännösarvo. Jos laskennassa ei huomioitaisi laskentakorkokantaa, niin silloin investointi olisi kannattava, jos nettotuottojen summa ylittäisi perushankintakustannukset, mutta silloin yritys ei saisi tuottoa sijoittamalleen pääomalle. (Uusi-Rauva 2009, 218.)

Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmässä investoinnin perushankintakustannus jaetaan pitoajalle vuosittain yhtä suuriksi vuosieriksi eli annuiteeteiksi. Vuosierät koostuvat poistoista ja laskentakorkokannan mukaisista korkokustannuksista. Investointi on numeroiden valossa kannattavaa silloin kun vuotuiset nettotuotot ovat suuremmat kuin pääomakustannukset. (Uusi-Rauva 2009, 220.)

Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäisellä korkokannalla näytetään se korkokanta, jolla investoinnin netto nykyarvo on nolla eli nettotuotoista kertyvä nykyarvo on samansuuruinen kuin investoinnin peruskustannukset. Sisäinen korkokanta tulee olla vähintään investoinnin pääoman tuottoprosentin suuruinen, jotta investointi on kannattava. Kustannuksiltaan paras vaihtoehto on se, jonka sisäinen korkokanta on suurin. (Uusi-Rauva 2009, 204.)

Pääoman tuottoasteen menetelmä

Pääoman tuottoasteen menetelmässä haetaan pääoman tuottoastetta niin kuin sisäisen korkokannan menetelmässä. Se saadaan jakamalla vuotuinen nettotuotto poistojen jälkeen keskimääräisellä investoinnilla. Suoritusten eriaikaisuus voidaan jättää laskelmissa pois, jos se korvataan vuotuisilla poistoilla. Menetelmä on yksinkertainen, mutta se antaa riittävän tarkat tulokset, koska lähtöarvoissakin on usein epävarmuuksia. (Uusi-Rauva 2009, 222.)

Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmässä investoinnin perushankintameno jaetaan vuotuisilla nettotuotoilla. Se on erittäin yksinkertainen ja se sopii käytettäväksi silloin kun tuottoja on vaikea arvioida pitkällä aikavälillä. Menetelmän mukaan ne investoinnit, joista pääoma kertyy nopeasti takaisin, on kannattavia. Menetelmässä ei oteta huomioon investoinnin vaikutuksia takaisinmaksuajan jälkeen. (Uusi-Rauva 2009, 206.)

5 Tuottavuuden parantamisen menetelmät

5.1 Työntutkimus

Tuottavuuden parantamiseen tarkoitettuja johdonmukaisia menetelmiä ja tekniikoita kutsutaan yleisesti työntutkimukseksi. Sen ylempänä tavoitteena on parantaa yrityksen tuottavuutta, työhyvinvointia ja kannattavuutta. Käytännössä sen tavoitteena on kehittää työmenetelmistä taloudellisempia, tehokkaampia ja turvallisempia, vakioita ja opastaa tämä työmenetelmä työntekijöille ja selvittää työn suorittamiseen tarvittava aika. Työntutkimuksessa tarkastellaan kriittisesti työn suorittamiseen vaikuttavia tekijöitä työn nykytilassa. Sitä tarvitaan yrityksen tuotannon suunnitteluun ja kuormitukseen, resurssitarpeen selvittämiseen ja tavoitteiden asettamiseen. (Ahokas, Tiho-
nen, Neuvonen & Suikki 2011, 4-5.)

Työntutkimuksessa on hyvä lähteä liikkeelle tutkittavan työkokonaisuuden havainnoinnilla ja hahmottamisella. Työtä tarkastellaan taloudellisesta-, teknologisesta- ja

työntekijän näkökulmasta. Taloudellisella näkökulmalla huomioidaan kustannuksia lisääviä töitä, pullonkauloja, toistuvia töitä ja materiaalin siirtoa vaativia töitä. Teknologinen näkökulma käsittää mm. uusien teknologioiden hyödyntämismahdollisuudet ja työntekijän näkökulmasta otetaan selville, onko työssä saman toistoa, työturvallisuusriskejä, puuduttavia ja ei-tarkoituksenmukaisia työvaiheita. (Ahokas ym. 2011, 6.)

Ahonen ym. (2011) mukaan työntutkimus voidaan jakaa neljään osa-alueeseen:

1. Menetelmätutkimus
2. Työn vakiinnuttaminen
3. Työnopastus
4. Työnmittaus

Työntutkimuksessa menetelmätutkimusta ja työnmittausta on pidetty tärkeimpinä osa-alueina (Ahokas ym. 2011, 6.) Tätä väitettä tukee myös Kourin kirjoittama työntutkimus kirjassa Teollisuustalous, jossa samoista asioista puhutaan eri nimillä.

Menetelmätutkimuksessa paneudutaan turvalliseen, tehokkaaseen ja taloudelliseen työntekemiseen systemaattisesti. Tutkimus sisällyttää yleisesti työn tekemisen, materiaalit, laitteet ja koneet sekä niiden yhteistoiminnan. Menetelmätutkimuksen tavoitteita ovat työturvallisuuden ja tuottavuuden parantaminen, tuotantokustannusten alentaminen ja ergonomian parantaminen. Siihen kuuluu myös käytössä olevien toimintatapojen kehittäminen jatkuvan parantamisen keinoin. Työmenetelmien kehittämisen toteutuksessa on pyrittävä ottamaan huomioon ergonomian parantaminen unohtamatta turvallisuus- ja terveysvaatimuksia. Haitalliset fyysiset ja henkiset kuormitukset tulisi eliminoida. Lisäksi riittävä vaihtelu on tärkeää työn mielekkyyden kannalta. (Ahokas ym. 2011, 6.)

Vasta työn standardisoinnilla eli vakiinnuttamisella voidaan mahdollistaa toiminnan järjestelmällinen kehittäminen. Sen avulla tehokas työn tekeminen saadaan kaikkien työntekijöiden toimintatavoiksi. Menetelmätutkimuksen hyödyt saadaan vasta käy-

täntöön, kun ne vakioidaan. Sillä ei haeta työntekijöiden oma-aloitteisuuden ja luovuuden käyttämättä jättämistä, vaan menetelmäkehitystä haetaan esimerkiksi jatkuvan parantamisen keinoin. Työn vakiinnuttamisella haetaan samankaltaisia työsuorituksia työntekijöiltä ja siinä voidaan käyttää hyödyksi mm. työhöjeita, työpaikkakuvauksia sekä menetelmien vakiointia. Vakioinnin seurauksena voidaan parantaa laaduntuottokykyä ja laadun hallintaa. (Ahokas ym. 2011, 6.)

Työn opastuksella työntutkimuksessa pidetään huoli, että turvalliset ja tehokkaat työmenetelmät tulevat tavaksi. Tämä hoituu huolellisella perehdyttämisellä, työhön-, työvaiheisiin- ja työmenetelmiin opastamisella sekä ammattitaidon kehittämisellä. (Ahokas ym. 2011, 7.)

Työnmittauksella tutkitaan ennalta määritetyn työtehtävän suorittamiseen kuluva aikaa tietyllä työmenetelmällä. Työnmittausta ennen tulisi tehdä menetelmätutkimusta. Näin varmistutaan mitattavan toiminnan taloudellisuudesta, tehokkuudesta ja turvallisuudesta. Työnmittauksessa käytetään normaaliaikatutkimusta ja ajankäytön tutkimusta, havainnointitutkimusta, liikeaikatutkimusta ja aikalaskelmia. Tutkimusten perusteella tehtävää standardiaikajärjestelmää voidaan myös hyödyntää työnmittaustekniikkana. (Ahokas ym. 2011, 7.)

Lisäksi Kourin (2009) mukaan työnmittauksessa voidaan käyttää haastatteluja, joista saadaan arvioita työtehtäviin kuluvista ajoista. Voidaan myös käyttää vertailua toiseen samankaltaiseen työhön, josta on kokemuseräistä tietoa sekä laskelmia, joissa työt on jaettu pieniin työnosiin, joilla on yleispäteviä suoritusajoja. (Kouri 2009, 493.)

5.2 Strukturoimaton haastattelu

Strukturoimattoman eli avoimen haastattelun päätavoite on ymmärtää haastateltavien kokemuksia haastateltavien näkökulmasta. Avoimen haastattelun ideaalitilanteessa haastattelija seuraa haastateltavan kerrontaa ja keksii kysymyksiä spontaanisti perustuen haastateltavan kertomukseen. (Zhang & Wildemuth 2017, 223-225).

Strukturoimattomat haastattelut ovat hyödyllisimpiä, kun halutaan saada perusteellinen ymmärrys tietystä ilmiöstä tietyssä kontekstissa. Lisäksi ne ovat käyttökelpoisimpia tutkimuksessa, jossa voidaan olettaa, että osallistujat ovat jaettu heidän kiinnostuksensa kohteisiin. Oletuksen perusteella tutkijan on haluttava ymmärtää tutkittava ilmiö yksilöiden näkökulmasta. Tutkimuksen tavoitteista riippuen on hyödyllistä antaa haastattelujen muotoutua itsestään haastattelijan ja haastateltavan välillä. Jos tutkittavan ilmiön ymmärrys on jo hallussa ja tutkimuksen tavoitteet ovat hyvin määriteltäviä, niin silloin voidaan käyttää puolistrukturoituja haastatteluja halutun tiedon keräämiseksi tehokkaammin. (Zhang ym. 2017, 230.)

5.3 Syy-seuraus -diagrammi

Syy-seuraus -kaavio on prosessin kehittämisen ja laatujohtamisen työkalu, jota käytetään juurisyiden tunnistamiseen ja esittämiseen graafisesti. Sitä voidaan käyttää ongelmanratkaisussa tai asioiden luokittelussa. Sen on kehittänyt Kaoru Ishikawa ja sitä käytettiin Japanissa ensimmäisen kerran 1960 -luvulla. Kaavioon sijoitetaan perusongelma, jota lähdetään purkamaan yleensä 4-6 eri tekijäryhmän avulla. Tekijäryhmiä ovat yleensä henkilöstö, materiaalit, mittausysteemi, ympäristö, menetelmät sekä koneet ja laitteet. Mahdolliset ongelman syyt kirjataan omiin kategorioihin. Syyitä voidaan lähteä miettimään hyödyntämällä aivoriiheä tai kysymyksellä: Miksi tämä ongelma syntyy ja ketkä siihen vaikuttavat? (Karjalainen 2007.) Syy-seuraus -kaavio robotihionnan kehittämisen ongelmien ratkaisussa on esitetty liitteessä 1.

6 Työn toteutus

6.1 Lähtötiedot

Meconetin robottihiontasolu on ABB:n toimittama kokonaisuus. Sen maksimi ulottuvuus on 1,55 m ja hyötykuorma on 16 kg. Robotin aseman toistotarkkuus on 0,03 mm ja liikeradan toistotarkkuus 0,15 mm. (ABB n.d.) Robotti on varustettu paineilmatoisella Deprag RPV120-085BV suorahiomakoneella sekä hiontapään voimaohjauksella.

Hiottavat tuotteet ovat syvävedettyjä ohutlevyjä, joiden sisäpuolelle on hitsattu kiinnikkeitä ja vahvikkeita. Syvävedetyt tuotteet ovat sen verran ohuita, että niihin jää toisen puolen hitsauksesta kupuja tuotteen näkyvälle pinnalle. Kuvut on hiottava taiseksi, jonka jälkeen hiotut pinnat on viimeisteltävä epäkeskohiomakoneella käsin ennen maalausta. Viimeistelyvaihe on kriittinen lopputuotteen kannalta, koska jos pinnassa on naarmuja tai se heijastaa liikaa, niin virheet näkyvät lopputuotteessa maalauksesta huolimatta.

6.2 Nykytilan kuvaus

Robottihionnan sarjatuotannon prosessissa operaattori ensin kiinnittää ohutlevytuotteen robotin kääntöpöydän hiontajigiin. Kappaleen kiinnityksen jälkeen kuitataan valoverho lastausaseman sisäpuolelta ja alueen ulkopuolelta vielä toiseen kertaan 10 sekunnin aikaikkunan sisällä. Robotti kääntää paletin ja alkaa hiomaan tuotetta, kun operaattori antaa komennon laitteen ohjauspaneelista. Robotin karkeahionnan aikana operaattori käy kiinnittämässä uuden kappaleen kääntöpöydän toiseen jigiin ja siirtyy valoverhojen kiittauksien jälkeen odottamaan robotin hiomapaperin vaihtoa. Hiomapaperin vaihdon jälkeen robotti suorittaa karkeahionnan valmiiksi ja kääntää automaattisesti valmiin tuotteen lastausasemalle. Karkeahionnan jälkeen operaattori vaihtaa jälleen hiomapaperin ja painaa cycle start -komentoa ohjauspaneelista, jolloin robotti alkaa hiomaan uutta tuotetta. Tämän jälkeen operaattori viimeistelee

karkeahiotun tuotteen lastausasemalla epäkeskohiomakonetta käyttäen ja lastaa valmiin tuotteen kuljetuslaatikkoon. Samalla kertaa operaattori asettaa uuden hiottavan tuotteen jigiin, kuittaa valoverhot ja siirtyy odottamaan jälleen puolella välissä olevan tuotteen hiomapaperin vaihtoa. Prosessissa toistetaan edellä mainittuja vaiheita, kunnes saman tuotteen valmistuserä on valmis.

Robotti pyytää lähes jokaisessa tuotteessa hiomapaperin vaihton, koska on havaittu, että yhdellä paperilla hiontaprosessin teho heikentyy merkittävästi. Lähes jokaisessa hiottavassa tuotteessa tulee kaksi hiomapaperin vaihtoa mikä lisää merkittävästi kappaleaika. Hiomapaperin vaihto katkaisee robotin valvontapiirin, koska paperi vaihdetaan robotin hiomatyökaluun suljetussa tilassa. Hiomapaperin vaihtoon kuluu aikaa operaattorin mukaan noin 15-30 sekuntia.

7 Tutkimustulokset

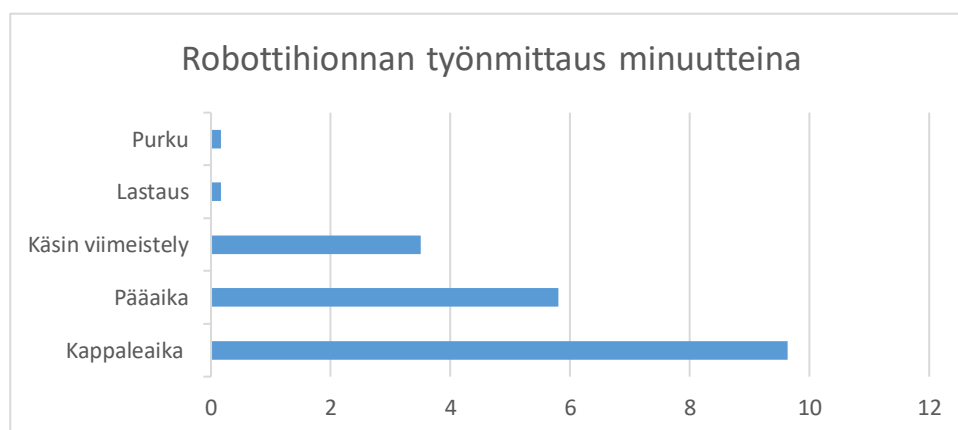
7.1 Menetelmätutkimus

Menetelmätutkimuksen tavoitteena oli parantaa työturvallisuutta ja työn tuottavuutta. Robottihionnan prosessin tutkimisessa löytyi paljon erilaisia kehitysehdotuksia turvallisuuden ja teknologian näkökulmista, jotka ovat esitetty kappaleessa Työntutkimuksen kehityskohteet. Työntutkimus toteutettiin yhdessä solun operaattorin kanssa. Tutkimus alkoi avoimella haastattelulla, jotta prosessin nykytilasta saatiin hyvä kokonaiskuva. Työn tavanomaisesta suorittamisesta löytyi kehityskohteita, joita pyritään ottamaan yrityksessä käytäntöön, varsinkin kun uusi tehdas valmistuu ja vanha tuotantolaitos siirtää tuotantonsa uusiin tiloihin. Kehityskohteita on esitetty tarkemmin seuraavassa työntutkimuksen kehitysehdotukset kappaleessa.

7.2 Työnmittaus

Työnmittaus tehtiin operaattorin toimesta, koska koronavirus -pandemian takia toimeksiantaja halusi välttää ylimääräisiä ihmiskontakteja. Operaattori otti tuotteiden valmistusaikojat ylös sekuntikelloa käyttäen samalla tehden tuotteita normaaliin tapaan. Luvut ovat riittävän luotettavia prosessin kappaleajan osalta ja niitä pystytään käyttämään modernisoinnin kannattavuuslaskemissa.

Yhden tuotteen valmistamisen kappaleaika oli 9 minuuttia 38 sekuntia. Kappaleaikaan sisältyy tuotteen lastaus, robottihionta, viimeistely ja pakkaus. Käsien viimeistelyn osa ajasta oli keskimäärin 3 minuuttia 30 sekuntia. Lastaamiseen ja pakkaamiseen kului arviolta noin 20 sekuntia yhteensä. Keskimääräinen kappaleaika robottihionnassa voidaan laskennan osalta pyöristää kymmeneen minuuttiin menetelmän häiriöajat ja henkilökohtaiset apuajat sisällytettynä. Alla on havainnollistava kuvio 11, jossa on eritelty yhden tuotteen valmistusajat pylväiksi. Kappaleaika -pylväs kuvastaa yhden tuotteen valmistukseen kuluva kokonaisaika, josta pääajan osuus on suurin. Pääajan osuus suhteessa käsin viimeistelyyn kuvastaa automaation astetta robottihionnan solussa. Lastaus ja purku ovat nopeimpia toimia ja niiden osuus kappaleajassa oli yhteensä noin 3%.



Kuvio 11. Yhden tuotteen kappaleaika eriteltynä

8 Työntutkimuksen kehitysehdotukset

Työntutkimuksen aikana esiin nousi ensisijaisia ja toissijaisia kehityskohteita. Ensisijaisia kehityskohteita ovat ne, jotka parantavat prosessin tehokkuutta ja työturvallisuutta. Toissijaisia kehityskohteita ovat ne, joilla parannetaan prosessin käytettävyyttä ja operaattorin työn mielekkyyttä. Ne ovat osittain ennakoivia kunnossapito-toimenpiteitä ja ne on voitu havaita vasta kun robotti on ollut pidemmän aikaa tuotannollisessa käytössä. Esimerkiksi toimilaitteiden likaantumisen estämisellä välteettään turhia koneen pysähdyksiä, jotka voivat tulla yritykselle kalliiksi prosessin pysähtymisen takia.

8.1 Ensisijaiset kehitysehdotukset

Tehokkuusnäkökulma

Prosessin kappaleaikaa saisi pienennettyä huomattavasti, jos tuotteiden hionnan aikana ei tulisi keskeytyksiä. Tällä hetkellä prosessin valvontapiiri katkeaa joka kerta, kun operaattori vaihtaa hiomapaperin hiomakoneeseen hionnan alkaessa ja kappaleajan puolella välissä. Hiomapaperin vaihtoon kuluva sivuaikaa saataisiin lyhennettyä tekemällä hiontakopin seinään luukku, josta saisi vaihdettua hiomapaperin katkaisematta valvontapiiriä. Testasimme yhdessä operaattorin kanssa, että liikeratojen puolesta se onnistuu. Toimenpide lyhentäisi kappaleaikaa noin 15-30 sekuntia. Hiomapaperin vaihtoon kulumien poistamiseen on esitetty ratkaisu investointiehdotukset kappaleessa, mutta kallis robotin modernisointi varsinkin tämänhetkisessä talouden tilassa voi olla yritykselle riskialtista.

Jokaisen tuote-erän kohdalla voidaan lyhentää asetusaikaa jigien kiinnityspisteiden merkkäamisella. Operaattorilla kuluu ylimääräistä aikaa jigien asettamisen kokeilemiseen, joka olisi helposti poistettavissa merkkäamalla jigien kiinnityspisteet esimerkiksi tehtaassa olevalla 3D-laserilla. Lisäksi jigejä muokkaamalla ainakin yhden tuotteen osalta voitaisiin hioa kaksi tuotetta samalla kiinnityksellä, joka tekisi prosessista konkreettisesti tehokkaamman.

Työturvallisuusnäkökulma

Robottihionnan prosessin työturvallisuuden kehityskohteeksi valikoitui hiontapölyn poistoon liittyvä imurin tehottomuus. Imurin tehottomuudesta johtuen hiontapöly kulkeutuu operaattorien silmiin ja hengitysteihin robotin hiomapaperin vaihdon yhteydessä. Kunnollisella ilmanvaihdolla ehkäistään työn aiheuttamia pitkän aikavälin ongelmia sairauspoissaoloissa, parannetaan työturvallisuutta ja mielekkyyttä, joka on tärkeä tekijä kokonaiskuvassa. Lisäksi hionnasta syntyvä pöly kulkeutuu tällä hetkellä materiaalin, vaatteiden ja kenkien mukana pois solusta, joka lisää ympäristön siivoamiseen kuluvaa aikaa.

Toinen havaittu työturvallisuuden kehityskohde on paineilmasuihku robottiin asennettuna kiinteästi. Robotin voi ohjelmoida tekemään työkierron ja päästämään paineilmaa kappaleen puhdistamiseksi hionnan jälkeen. Näin välttään materiaalin kuljettamaa hiontapölyä lastaus- ja purkuasemalle, joka sotkee solun ympäristöä ja lisää sivuajan määrää erän valmistuksessa. Tällä hetkellä operaattori käyttää joka tuotteen osalta aikaa sen puhdistamiseen ennen epäkeskoviimeistelyä. Paineilmapuhdistuksen toteuttaminen ei maksaisi yritykselle paljoa ja se lisäisi merkittävästi siisteyttä solussa. Yhdessä tehokkaan pölynpoistoimurin kanssa operaattorin hengittämä pölyn määrä vähentyisi konkreettisesti. Toimenpiteellä voidaan välttyä ylimääräisiltä silmä- ja hengitystiesairauksilta.

8.2 Toissijaiset kehitysehdotukset

Toissijaisilla kehitysehdotuksilla varmistetaan prosessin toimintavarmuus ja työn tehokas suorittaminen. Alla on listattu lyhyesti yhdessä operaattorin kanssa havaitut parannuskeinot:

- Valomajakka robotin tilan katolle, josta näkee prosessin tilan
- Kiinteä kipinäsuojaus robotin niveleen ja kääntöpöydän alareunaan johtojen ja letkujen sulamisen estämiseksi
- Imurin paikka katossa muutettava
- Lastausaseman tilan ahtauden vuoksi puominosturin ja pölynimurin voisi siirtää verkon toiselle puolelle
- Sähkökaapin voisi nostaa ylöspäin sen likaantumisen vuoksi

- Lastausaseman valaistusta parannettava

9 Investointiehdotukset

10 Johtopäätökset ja pohdinta

Robottihionnan prosessissa on paljon kehittämispotentiaalia sen heikon tehokkuuden vuoksi. Kehittäminen voidaan jakaa edullisiin ja kalliisiin toimenpiteisiin. Verrattuen edullisia kehittämistoimia, joilla parannetaan tuottavuutta ovat projektissa esitetyt robottihionnan tehokkuuden ja työturvallisuuden parantamiseen keskittyvät toimet. Käyttötarpeeseen suunniteltu luokku robottihionnan kopin seinään hiomapaerin vaihtoa varten ja hiontajigien merkkäminen asetusajan lyhentämiseksi sekä robotin hiomakopin pölynpoistoon kunnollinen imuri ja robottiin ohjelmoitu kappaaleen paineilmapuhdistus ennen käsin viimeistelyä. Toimenpiteillä voidaan lyhentää prosessin läpimenoaika ja parantaa työturvallisuutta ilman suurempia kulueriä. Yritykselle rahallisesti mittavammat toimenpiteet ovat kaksi eri robotin modernisointivaihtoehtoa, joilla prosessin tuottavuutta nostettaisiin huipputeknologiaa hyödyntäen. Teknologisilla investoinneilla pystyttäisiin lisäämään robottihionnan valmistusvolyymin uusien tuotteiden valmistamiseksi sen monipuolisuuden ja tehokkuuden parantamisen myötä. Lisäksi investoimalla modernisointiin varmistettaisiin tuotteiden tasalaatuisuus poistamalla käsitöiden osuus hionnasta kokonaan.

Työ eteni asetettujen tavoitteiden mukaisesti lukuun ottamatta 5S-projektia, joka oli alun perin mukana opinnäytetyössä. Siitä päätettiin kuitenkin luopua yhteiskunnassa vallitsevan koronaviruspandemian aiheuttaman epävarmuustilan vuoksi. Tutkimuksessa käytettiin alan ammattilaisten haastatteluita aihepiirin ymmärtämiseksi. Aikataulun noudattaminen onnistui hyvin toteutus- vaiheeseen asti, jonka aikana koronaviruspandemia alkoi Suomessa. Sen vaikutus työn tuloksiin oli merkittävä, sillä käytännön työ estyi yrityksen vierailukiellon vuoksi ja samaan aikaan toimeksiantajan henkilöstöllä oli muita asioita hoidettavanaan. Työn merkityksellisyys alkoi rakoilla työn loppuvaiheessa motivaation heikkenemisen ja vallitsevan epävarmuuden seurauksena, mutta olen kuitenkin hyvin tyytyväinen projektin lopputulokseen kokonaisuudessaan.

Opinnäytetyön aloitustapaamisen pohjalta suunnitellut tavoitteet olivat suurilta osin omassa käsissäni. Robottihionnasta oli jo aiemmin tehty esiselvitys, joka helpotti projektin tavoitteiden asettamisessa. Tavoitteena oli kehittää robottihionnan prosessia syventymällä sen modernisointi-investointeihin ja tekemällä niistä takaisinmaksusuunnitelmat. Lisäksi opinnäytetyön tavoitteissa oli mukana 5S-projekti robottihionnan soluun, mutta sen toteutus päätettiin jättää tekemättä toistaiseksi. Modernisointien selvittäminen onnistui tavoitteiden mukaan ja tuloksena on kattava selvitys kahdesta eri modernisointivaihtoehdosta ja niiden kustannuksista. Niiden tehokkuutta olisi voitu selvittää kokeellisin menetelmin, mutta kuten aiemmin jo ilmi tullut koronaviruspandemia esti kokeellisten menetelmien toteuttamisen työn loppupuolella. Työnmittaus-tulokset kärsivät myös tilanteen vuoksi, koska ne ovat toteutettu nopeutetulla aikataululla robottihionnan operaattorin toimesta. Operaattorin motivoiminen ja työn merkityksellisyyden kuvaaminen työntekijälle oli tutkimuksen osalta haastavaa, koska operaattori ei hyötynyt tutkimuksesta ainakaan suoranaisesti. Mitauksen luotettavuutta tukee se, että robottihionnan kappaleaikoja on jo aiemmin mitattu ja tulokset olivat hyvinkin vertailukelpoisia.

Menetelmätutkimuksen aikana löytyi hyvin toteuttamiskelpoisia ja innovatiivisia kehittämiskohteita robottihiontaan. Toivottavasti yrityksessä toteutuu ainakin osa kehittämiskohteista, koska pienelläkin rahan ja ajan sijoittamisella prosessia saataisiin kehitettyä. Impulssin robottihionnan prosessin kehittämiseksi loi alun perin se, että tuotteita on hiottu aiemmin käsin, jopa puolet nopeammin kuin nykyisellä robottihionnan prosessilla. Tutkimuksella osoitettiin prosessin kehittämispotentiaali ja valmiilla investointimalleilla sen modernisointi olisi helpommin toteutettavissa. On vain yrityksestä ja sen toiminnan kehittämisestä kiinni, mihin on kannattavinta sijoittaa tulevaisuudessa. Toisaalta robottihionta on vasta noin vuoden vanha investointi yritykseen ja sen kehittämistoimet ovat jääneet taka-alalle muiden kiireiden vuoksi, joten tämän työn ylempänä tarkoituksena oli selvittää prosessin kehittämistarpeet ja luoda suunnitelmat toteutukselle.

Työtä voidaan jatkaa robottihionnan ratkaisuvaihtoehtojen testaamisella kokeellisin menetelmin. ABB:llä on osaamiskeskus Italian Milanossa, jossa modernisointivaihtoehtoja ja niiden ominaisuuksia pääsee testaamaan ennen ostopäätöksen tekemistä.

Myös Suomesta löytyy yrityksiä, joissa robottihionta on osa tuotteiden valmistusta. Niistä voisi saada paljon uutta tietoa eri sovellutuksista ja niiden kustannustehokkuuksista. Perehtymällä robottihiontaan perusteellisesti voitaisiin välttää kalliita virheitä investointiprojekteissa ja käyttöönotto saataisiin aloitettua ajallaan. Usein investoinneissa teollisuuden alasta ja investoinnista riippuen tärkeimpiä asioita on prosessin tuotannollistaminen ajallaan kalliiden kustannusten vuoksi. Ennen robottihionnan kehittämistä jatkossa olisi prosessiin syytä määrittää vastuuhenkilöt toimihenkilö- ja työntekijäpuolelta. Kehitysideat jäävät helposti tekemättä, jos se ei kuulu kenenkään työnkuvaan eikä siitä palkita. Työn merkityksellisyydellä, varsinkin tulevalle sukupolvelle on suuri merkitys työn imun luomisessa. Henkilökohtaisesti koen kehittämistyön erittäin kiinnostavana ja inspiroivana, mikäli siihen osallisena olevat kokevat työn merkityksellisyyttä.

Robottihionnan prosessin työnmittaus-tutkimukseen olisi myös syytä panostaa jatkossa, jos robottihionnan kehittämiseen panostetaan yrityksessä. Kattavammalla työnmittaus-projektilla tuloksia saadaan määrällisesti enemmän, joka lisää niiden luotettavuutta. Tutkimustulokset ovat helpommin perusteltavissa tuotannon kehitysprojekteista päättävälle yrityksen henkilöille, joka lisää ymmärrystä prosessin nykytilasta ja sitä kautta lisää painetta tehdä kehittämistoimia prosessiin.

Robottien etuina niiden tasalaatuisuuden ja nopeuden vuoksi on myös se, että ne tekevät miehittämättöminä töitä pidempiä aikoja, luoden tasaisen valmistusvirran prosessiin. Samalla työntekijöiden toimenkuva muuttuu ja resursseja voidaan keskittää muihin tehtäviin saman aikaisesti. Työn kuvat muuttuvat mieleisemmäksi teknologian kehittyessä ja raskaiden käsitöiden vähentyessä. Itselle ainakin tämänkaltainen skenaario lisää motivaatiota valmistavaa teollisuutta kohtaan ja luo uskoa tulevaan. Euroopassa ja varsinkin Suomessa työn kustannukset ovat tällä hetkellä maailman kärkeiluokkaa, joten on syytä miettiä tehokkuuden parantamista lisäämällä automaation osuutta teollisuudessa. Samalla varmistetaan tuotteiden hintojen kilpailukyky globaaleilla markkinoilla, kun työn kustannuksia saadaan laskettua tehokkuuden parantamisen kautta.

Lähteet

Ahokas, P. Tiihonen, J. Neuvonen, J. Suikki, M. 2011. Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. Helsinki: Teknologiateollisuus Ry. Viitattu 2.3.2020.

https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/tyomarkkinat_kanustava_palkkaus_palkkaustapoja_tyontutkimuksen_menettelytavat.pdf

Bogue, R. 2009. Finishing robots: a review of technologies and applications. Nettijulkaisu. Viitattu 8.2.2020. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/01439910910924611/full/pdf?title=finishing-robots-a-review-of-technologies-and-applications>

Can fabricators really automate grinding? 2019. Artikkelit [thefabricator.com](http://www.thefabricator.com) www-sivuilla. Viitattu 9.4.2020. <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/finishing/can-fabricators-really-automate-grinding>.

Eklund, I. Kekkonen, H. 2014. Kannattavuuslaskenta ja hinnoittelu. 1.p. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Eriksson, A. 2014. Making the world of automation easier, one sense at a time. Artikkelit [abb-conversations.com](http://www.abb-conversations.com) www-sivuilla. Viitattu 9.4.2020. <https://www.abb-conversations.com/2014/05/making-the-world-of-automation-easier-one-sense-at-a-time/>

Haverila, M. Uusi-Rauva, E. Kouri, I. Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. 6.p. Tampere: Hämeen Kirjapaino Oy.

Heikkilä, T. 2014. Kvantitatiivinen tutkimus. Edita Publishing Oy. Viitattu 5.2.2020. <http://www.tilastollinentutkimus.fi/1.TUTKIMUSTUKI/KvantitatiivinenTutkimus.pdf>

Investoinnin kannattavuus. N.d. Artikkelit [yritystulkki.fi](http://www.yritystulkki.fi) www-sivuilla. Jadelcons Oy. Viitattu 25.2.2020. <https://www.yritystulkki.fi/fi/alue/oulu/aloittava-yrittaja/suunnitelu/taloussuunnitelmat/investoinninkannattavuus/>

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas: näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Karjalainen, T. 2007. Yhdistä ideointityökaluilla luovan ajattelun eri ulottuvuudet – Aivoriihi, ryhmittelykaavio sekä kalanruotokaavio. Artikkelit [qk-karjalainen.fi](http://www.qk-karjalainen.fi) nettisivuilla. Viitattu 10.3.2020. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/luova-ajattelu/>

Laihonen, M. 2008. Investoinnin kannattavuuden arviointi case-yrityksessä. Opinnäytetyö, AMK. Satakunnan Ammattikorkeakoulu, liiketalouden koulutusohjelma. Viitattu 9.4.2020. <https://core.ac.uk/download/pdf/37983129.pdf>

Maaranen, K. 2012. Koneistus. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Meconet. 2019. Yleisesite. Yrityksen www-sivut. Viitattu 3.2.2020. https://www.meconet.net/wp-content/uploads/2019/04/Meconet_esite_170x230_FIN_netti.pdf

Meconet. 2019. Yrityksen www-sivut. Viitattu 3.2.2020. <https://www.meconet.net/yritys>

Mesh robotic grinding and buffing. 2020. Artikkel meshautomationinc.com www-sivuilla. Viitattu 9.4.2020. <https://meshautomationinc.com/robotic-machining-finish/robotic-grinding-and-buffing/>

Neilimo, K. Uusi-Rauva, E. 2009. Johdon laskentatoimi. 6.-9.p. Helsinki: Edita Prima Oy.

Pushcorp. N.d. Yrityksen internet-sivusto. Viitattu 11.2.2020. <http://www.pushcorp.com/rbs372.html>.

Schneider, S. 2019. Robotic vs. Manual Deburring Process. Artikkel Kramer Industries inc. www-sivuilla. 19.8.2019. Viitattu 7.2.2020. <https://www.kramerindustries-online.com/robotics-vs-manual-deburring-process/>

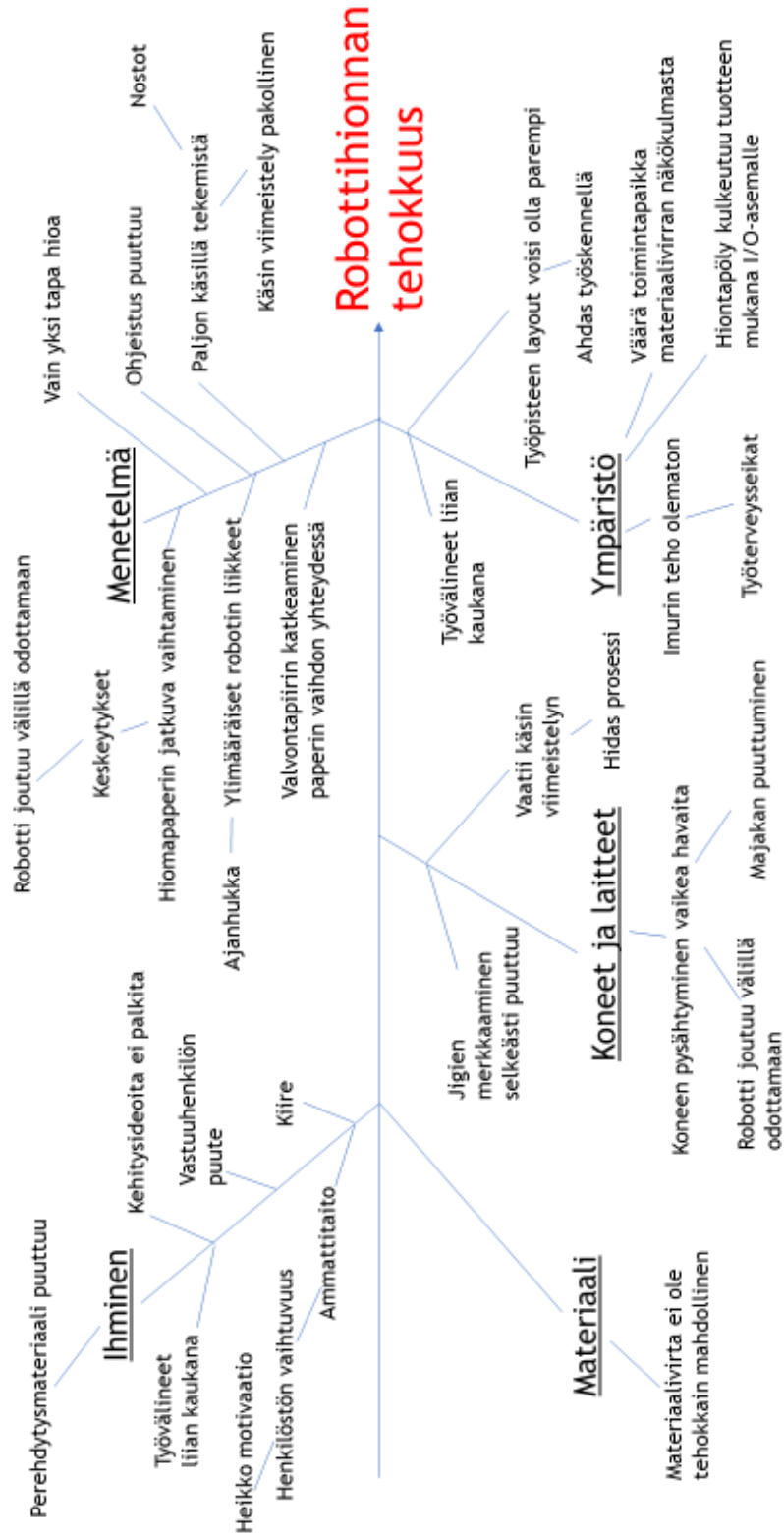
Technical data for the IRB 2400 industrial robot. 2020. Tekniset tiedot. Viitattu 16.3.2020. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2400/irb-2400-data>

The Benefits of Robotic Grinding and Material Removal. 2018. Artikkel Robotic Industries Association www-sivuilla. 9.10.2018. Viitattu 7.2.2020. <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/The-Benefits-of-Robotic-Grinding-and-Material-Removal/122>

Wildemuth, B. 2009. Applications of social research methods to questions in information and library science. Westport, Connecticut: Libraries Unlimited. Viitattu 9.3.2020. http://103.55.108.22:8080/get/PDF/Barbara%20M.%20Wildemuth-Applications%20of%20Social%20Research%20Methods%20to%20Questions%20in%20Information%20and%20Library%20Science_2486.pdf#page=234

Liitteet

Liite 1. Syy-seuraus -analyysi



Liite 2. Diskonttaustekijä-taulukko

DISKONTTAUSTEKIJÄ $1/(1+i)^n$

n/i	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %	20 %
1	0,9524	0,9434	0,9346	0,9259	0,9174	0,9091	0,9009	0,8929	0,8850	0,8772	0,8696	0,8333
2	0,9070	0,8900	0,8734	0,8573	0,8417	0,8264	0,8116	0,7972	0,7831	0,7695	0,7561	0,6944
3	0,8638	0,8396	0,8163	0,7938	0,7722	0,7513	0,7312	0,7118	0,6931	0,6750	0,6575	0,5787
4	0,8227	0,7921	0,7629	0,7350	0,7084	0,6830	0,6587	0,6355	0,6133	0,5921	0,5718	0,4823
5	0,7835	0,7473	0,7130	0,6806	0,6499	0,6209	0,5935	0,5674	0,5428	0,5194	0,4972	0,4019
6	0,7462	0,7050	0,6663	0,6302	0,5963	0,5645	0,5346	0,5066	0,4803	0,4556	0,4323	0,3349
7	0,7107	0,6651	0,6227	0,5835	0,5470	0,5132	0,4817	0,4523	0,4251	0,3996	0,3759	0,2791
8	0,6768	0,6274	0,5820	0,5403	0,5019	0,4665	0,4339	0,4039	0,3762	0,3506	0,3269	0,2326
9	0,6446	0,5919	0,5439	0,5002	0,4604	0,4241	0,3909	0,3606	0,3329	0,3075	0,2843	0,1938
10	0,6139	0,5584	0,5083	0,4632	0,4224	0,3855	0,3522	0,3220	0,2946	0,2697	0,2472	0,1615
11	0,5847	0,5268	0,4751	0,4289	0,3875	0,3505	0,3173	0,2875	0,2607	0,2366	0,2149	0,1346
12	0,5568	0,4970	0,4440	0,3971	0,3555	0,3186	0,2858	0,2567	0,2307	0,2076	0,1869	0,1122
13	0,5303	0,4688	0,4150	0,3677	0,3262	0,2897	0,2575	0,2292	0,2042	0,1821	0,1625	0,0935
14	0,5051	0,4423	0,3878	0,3405	0,2992	0,2633	0,2320	0,2046	0,1807	0,1597	0,1413	0,0779
15	0,4810	0,4173	0,3624	0,3152	0,2745	0,2394	0,2090	0,1827	0,1599	0,1401	0,1229	0,0649
16	0,4581	0,3936	0,3387	0,2919	0,2519	0,2176	0,1883	0,1631	0,1415	0,1229	0,1069	0,0541
17	0,4363	0,3714	0,3166	0,2703	0,2311	0,1978	0,1696	0,1456	0,1252	0,1078	0,0929	0,0451
18	0,4155	0,3503	0,2959	0,2502	0,2120	0,1799	0,1528	0,1300	0,1108	0,0946	0,0808	0,0376
19	0,3957	0,3305	0,2765	0,2317	0,1945	0,1635	0,1377	0,1161	0,0981	0,0829	0,0703	0,0313
20	0,3769	0,3118	0,2584	0,2145	0,1784	0,1486	0,1240	0,1037	0,0868	0,0728	0,0611	0,0261
21	0,3589	0,2942	0,2415	0,1987	0,1637	0,1351	0,1117	0,0926	0,0768	0,0638	0,0531	0,0217
22	0,3418	0,2775	0,2257	0,1839	0,1502	0,1228	0,1007	0,0826	0,0680	0,0560	0,0462	0,0181
23	0,3256	0,2618	0,2109	0,1703	0,1378	0,1117	0,0907	0,0738	0,0601	0,0491	0,0402	0,0151
24	0,3101	0,2470	0,1971	0,1577	0,1264	0,1015	0,0817	0,0659	0,0532	0,0431	0,0349	0,0126
25	0,2953	0,2330	0,1842	0,1460	0,1160	0,0923	0,0736	0,0588	0,0471	0,0378	0,0304	0,0105
26	0,2812	0,2198	0,1722	0,1352	0,1064	0,0839	0,0663	0,0525	0,0417	0,0331	0,0264	0,0087
27	0,2678	0,2074	0,1609	0,1252	0,0976	0,0763	0,0597	0,0469	0,0369	0,0291	0,0230	0,0073
28	0,2551	0,1956	0,1504	0,1159	0,0895	0,0693	0,0538	0,0419	0,0326	0,0255	0,0200	0,0061
29	0,2429	0,1846	0,1406	0,1073	0,0822	0,0630	0,0485	0,0374	0,0289	0,0224	0,0174	0,0051
30	0,2314	0,1741	0,1314	0,0994	0,0754	0,0573	0,0437	0,0334	0,0256	0,0196	0,0151	0,0042

(Laihonen 2008, 63.)

Liite 3. Karamoottoripaketin erittely ja tarjous