



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jaakko Jokinen

SELVITYS LASERLEIKKAUSMENETELMÄN
HYÖTYKÄYTÖSTÄ MOOTTORITEHTAAN
TUOTANNOSSA

ABB Oy

Tekniikka
2022

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jaakko Jokinen
Opinnäytetyön nimi	Selvitys laserleikkausmenetelmän hyötykäytöstä moottori- tehtaan tuotannossa
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	54 + 1 liitettä
Ohjaaja	Olli Tuovinen

Tässä tutkimuksessa selvitetään, kuinka laserleikkauskonetta voidaan hyödyntää sähkömoottoritehtaan tuotannossa. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää laserleikkauskoneen ja sen käyttöön liittyviä kustannuksia, mahdollisia säästöpotentiaaleja ja vertailla nykyisin käytössä olevaan menetelmään. Työhön liitetään lisäksi laskentamalli, jonka avulla saadaan nopeasti ja tarkasti valmistuskustannukset ja valmistusaika laserleikkauskonetta käytettäessä.

Työn teoriaosuudessa tutkittiin ABB organisaatiota, selvitettiin erilaisia kustannuslaskentamenetelmiä sekä esiteltiin nykyistä toimintamallia. Teoriaosuuden jälkeen tutkittiin lasersolua ja laskettiin siihen kohdistuvia kustannuksia. Lopussa kerrotaan myös laskentamallista ja sen rakentamisesta. Tässä opinnäytetyön versiossa euromääräiset arvot on muutettu muutamalla eri kertoimella, jolloin todellisia kustannuksia tai hintoja ei saada selville.

Työn keskeisiä tuloksia ovat laserleikkauskoneella mahdollisesti saatavat säästöt, joita syntyy esimerkiksi alihankinnasta ja materiaalista. Selvitetään, miten tuotekehitysosasto voi hyödyntää laserleikkauskonetta. Lopuksi vertaillaan nykyiseen menetelmään, jossa todetaan, että laserleikkausta on kannattavaa hyödyntää, kun valmistuserät ovat pieniä. Työn lopussa vielä analysoidaan saatuja tuloksia, mitkä voivat vaikuttaa tulevaisuudessa päätöksentekoon.

Avainsanat	laserleikkaus, kustannuslaskenta, laskentamalli, tuotanto- malli, leikkausmenetelmä,
------------	---

ABSTRACT

Author	Jaakko Jokinen
Title	Research on the Utilization of Laser Cutting Method in a Motor Factory
Year	2022
Language	Finnish
Pages	54 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Olli Tuovinen

This research investigates how to utilize laser cutting machine in an electric motor factory. The purpose of the thesis was to find out the costs related to the laser cutting machine and its use, possible savings potentials and to compare it with the currently used method. In addition, a calculation model was made which makes it possible to obtain production costs and production time quickly and accurately when using a laser cutting machine.

The theoretical part of the thesis were studied of ABB's organization, was clarified different costing methods and was introduced the current operating model. After the theoretical part, the laser cell was studied and the associated costs were calculated. At the end also describes the calculation model and its construction. In this thesis version, the values in euros have been changed by a few different coefficients, so that the actual costs or prices cannot be found out.

The main results of the thesis are the possible savings that can be obtained with a laser cutting machine, for example from subcontracting and material. Possibilities of utilization of the results have been discussed with the product development department. Laser cutting is profitable when the production batches are small. At the end of the thesis, the results obtained are still analyzed, which may influence decisionmaking in the future.

Keywords Laser cutting, cost accounting, calculate model, production model and cutting method

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO

LIITTEET

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Tutkimuksen aihe ja taustatieto	8
1.2	Toimeksiantajaorganisaatio	8
1.3	Työn sisältö ja kulku	8
2	ABB	10
2.1	ABB Suomessa.....	10
2.2	ABB Oy, Motors & Generators.....	11
2.3	IEC LV Motors.....	12
3	KUSTANNUSLASKENTAMENETELMÄT	13
3.1	Välittömät ja välilliset kustannukset.....	13
3.2	Periodi- ja tuotekustannukset	14
3.3	Merkitykselliset ja merkityksettömät kustannukset	14
3.4	Uponneet ja vaihtoehtokustannukset	15
3.5	Toimintolaskenta	15
3.5.1	Aikaperusteinen toimintolaskenta.....	16
4	OHUTLEVYN LEIKKAUSMENETELMÄT	18
4.1	Laserleikkaus tuotannossa.....	18
4.1.1	Laserleikkauksen toimintaperiaate	18
4.2	Meistaus tuotannossa.....	20
4.2.1	Meistauksen toimintaperiaate.....	20
5	TUOTANTOMALLI IEC LV MOTORS.....	22
5.1	Tuotantomallit urittamossa	23
5.1.1	Yhteisuritus	23
5.1.2	Yksittäisuritus	25

5.1.3	Kombo 1	26
5.1.4	Kombo 2	27
6	LASERSOLU ABB IEC LV MOTORS	28
6.1	Laserleikkauskone IEC LV Motors	28
6.1.1	Laserlähde	28
6.1.2	Ohjelmointi ja nestaus	29
6.2	Lasersolun toiminta	30
7	LASERSOLUN KUSTANNUSLASKENTA	32
7.1	Lasersolun energiakustannus	32
7.1.1	Laskenta	33
7.2	Typpi- ja happikustannus	34
7.2.1	Vaihtoehtokustannus	35
7.3	Huolto- ja varaosakustannus	37
7.4	Työntekijä- ja yleiskustannus	38
7.5	Lasersolun käyttökustannus	39
8	LASKENTAMALLI	41
8.1	Aikataulukutus	41
8.2	Laskentamallin rakentaminen	42
8.3	Tulososio	44
9	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	45
9.1	Säästöt	45
9.1.1	Alihankinta	45
9.1.2	Materiaali	46
9.2	Tuotekehitys	47
9.3	Valmistusmenetelmien vertailu	48
9.3.1	Laskenta	48
10	ANALYYSI	50
10.1	Itsearviointi	51
10.2	Jatkotutkimusaiheita	52
	LÄHTEET	53

LIITTEET	55
----------------	----

KUVALUETTELO

Kuva 1. ABB:n valmistamia sähkömoottoreita	12
Kuva 2. Laserleikkauksen toimintaperiaate.....	19
Kuva 3. Meistauksen toimintaperiaate.....	21
Kuva 4. Tuotantomallin kuvaus IEC LV Motors-yksikössä	22
Kuva 5. Roottori- ja staattorilevy	23
Kuva 6. Yhteisuritusmenetelmän kuvaus	24
Kuva 7. Kombo 1 menetelmäkuvaus	26
Kuva 8. Kombo 2 menetelmäkuvaus	27
Kuva 9. Lasersolun toimintakuvaus	31
Kuva 10. Laskentamallin käyttösiivu.....	42
Kuva 11. Laskentamallin käyttösiivun tulososio	44
Kuva 12. Kuvankaappaus nestausohjelmasta.....	47

LIITELUETTELO

LIITE 1. Kaavaluettelo

1 JOHDANTO

Tämä luku käsittelee opinnäytetyön sisältöä. Johdannossa kerrotaan ensimmäisenä tutkimuksen aihe ja taustatietoa siitä. Seuraavana esitellään opinnäytetyön toimeksiantaja ja lopuksi kerrotaan työn sisällöstä ja sen kulusta.

1.1 Tutkimuksen aihe ja taustatieto

ABB IEC LV Motors-yksikköön ohutlevyvalmistus-osastolle on investoitu laserleikkauskone, joka on ensimmäinen koko ABB-organisaatiossa. Tämän tutkimuksen aiheena on selvittää, kuinka laserleikkauskonetta voidaan hyödyntää ohutlevyvalmistuksessa sähkömoottoritehtaan tuotannossa. Opinnäytetyössä lasketaan laserleikkauskoneen ja sen solun toiminnan käyttökustannuksia sekä rakennetaan laskentamalli, jonka avulla saadaan tietoa valmistuskustannuksista ja -ajasta laserleikkausta käytettäessä. Valmista laskentamallia voidaan hyödyntää yhdessä Tomi Korhosen diplomityön (2019) kanssa, joka on laskentamalli tämänhetkiselletuotantomallille.

1.2 Toimeksiantajaorganisaatio

Tämä on hankkeistettu opinnäytetyö, jonka toimeksiantaja on ABB Oy, IEC LV Motors. Vaasassa sijaitsevassa IEC LV Motors-yksikössä valmistetaan sähkömoottoreita ja niiden komponentteja. Opinnäytetyö tehdään ohutlevyvalmistusosastolle, jossa leikataan levyjä, joita käytetään komponenttivalmistuksessa. Olen työskennellyt opintojen ohella jo muutaman vuoden työnjohtajana komponenttivalmistuksessa.

1.3 Työn sisältö ja kulku

Työssä on 10 lukua ja kaksi kokonaisuutta, teoriaosuus ja laskentaosuus. Teoriaosuudessa on tietoa kohdeyrityksestä, kustannuslaskentamenetelmistä, ohutlevyleikkausmenetelmistä ja nykyisestä tuotantomallista. Ensimmäisessä teoriaosuu-

dessa käydään läpi ABB-organisaation historiaa ja kerrotaan nykyisin toimivista yksiköistä Suomessa. Luvussa kerrotaan myös tarkemmin Vaasan yksikön tehtaista ja sen tuotteista. Toisessa luvussa syvennytään erilaisiin kustannuslaskentamenetelmiin, koska tässä työssä käytetään useampaa niistä. Kolmannessa teoriaosuudessa käsitellään kahta eri ohutlevyleikkausmenetelmää, jotka ovat nykyisin käytettävä meistausmenetelmä sekä uutena menetelmänä laserleikkaus. Neljännessä teoriaosuudessa käydään läpi tuotantomalleja, joita on tällä hetkellä useampia. Nämä on kerrottu tarkasti ja hahmoteltu kuvainnollisesti.

Opinnäytetyön toinen isompi kokonaisuus on lasersolulle tehtävä kustannuslaskenta ja laskentamalli. Tässä kokonaisuudessa kerrotaan lasersolun toiminnasta ja selvitetään laserleikkaukseen liittyviä kustannuksia ja tuotantoaikoja. Tässä Opinnäytetyön versiossa kustannuksille ja hinnoille käytetään muutamaa eri kerrointa, jolloin todellisia kustannuksia tai hintoja ei saada selville. Opinnäytetyöhön liitetään osaksi laskentamalli, jonka avulla valmistuskustannuksia ja valmistusaikoja on mahdollista arvioida tarkemmin ja sitä voidaan käyttää apuna parhaan menetelmän valintaan kullekin levyille. Työn lopussa kerrotaan tutkimuksen tuloksia ja tehdään niiden perusteella johtopäätökset. Tämän jälkeen vielä analysoidaan saatuja tuloksia.

2 ABB

ABB on johtava kansainvälinen teknologiayritys, joka edistää yhteiskunnan ja teollisuuden muutosta tuottavamman ja kestävämmän tulevaisuuden saavuttamiseksi yhdistämällä ohjelmistoja sähköistyksen-, robotiikan-, automaatio- ja liikevalikoimaansa.

ABB nimi muodostuu sanoista Asea Brown Boveri. Yrityksellä on pitkä yli 130 vuoden historia ja nykyään ABB on johtava toimija digitaalisella teollisuusalalla. Tänä päivänä ABB työllistää yli 110 000 henkilöä, jotka toimivat yli 100 maassa.¹

2.1 ABB Suomessa

ABB on yksi suurimmista teollisuuden työnantajista Suomessa, pääkaupunkiseudulla suurin. ABB:llä Suomessa työskentelee noin 5 000 henkilöä, noin 20:llä eri paikkakunnalla. Suurimmat tehdaskeskittymät sijaitsevat Vaasassa, Helsingissä, Haminassa ja Porvoossa.

Vaasassa valmistetaan sähkömoottorit, pienjännitustuotteet ja -järjestelmät, voimantuotannon järjestelmät, sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmät sekä prosessiteollisuuden kokonaisprojektointi. Helsingin Pitäjänmäellä valmistetaan sähkömoottorit, generaattorit, taajuusmuuttajat, CPM-energianhallintajärjestelmät sekä paarikonekäyttöratkaisut. Haminassa valmistetaan Azipod-ruoripotkurijärjestelmiä ja Porvoossa sähköasennustuotteita.²

¹ ABB. About ABB. Viitattu 30.11.2021. <https://global.abb/group/en/about>

² ABB. ABB Suomessa. Viitattu 30.11.2021. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>

2.2 ABB Oy, Motors & Generators

Kaikesta tuotetusta sähköenergiasta rakennuksissa ja teollisuudessa kuluu yli 45 % sähkömoottoreiden pyörittämiseen. ABB on maailman johtava edelläkävijä energiatehokkaiden moottorien kehittämisessä ja valmistamisessa.

ABB:n Motors & Generators -liiketoimintalinja Suomessa valmistaa, tutkii ja kehittää korkean hyötysuhteen moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuudenaloille ja sovelluksiin maailmanlaajuisesti. Maailmanlaajuisesti Motors & Generators -liiketoiminta työllistää noin 10 000 henkilöä 7 eri maassa.

Motors & Generators tehtaot Suomessa sijaitsevat Helsingin Pitäjänmäellä ja Vaasassa. Helsingin Pitäjänmäellä sijaitsevalla tehtaalla kehitetään ja valmistetaan korkeajännitemoottoreita, dieselgeneraattoreita sekä kestopagneettimoottoreita. Pitäjänmäellä tehdas työllistää noin 900 henkilöä.³ Vaasassa sijaitsevassa tehtaalla on vastuu tuotannosta ja tuotekehityksestä pienjännitemoottoreissa sekä moottoreissa vaativiin käyttötarkoituksiin. Vaasan tehtaot työllistää noin 600 henkilöä.⁴

³ ABB. Large Motors & Generators. Viitattu 30.11.2021. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/large-motors-and-generators>

⁴ ABB. IEC LV Motors. Viitattu 30.11.2021. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/iec-lv-motors>

2.3 IEC LV Motors

Vaasan liiketoimintayksikkö valmistaa moottoreita ja generaattoreita asiakaskoh-
taisten vaatimuksien mukaisesti kaikille teollisuuden aloille ja kaikkiin sovelluksiin.
IEC LV Motors jakautuu kahteen tehtaaseen, KK ja MM-rakennuksiin. KK-raken-
nuksessa valmistuu moottorit, joiden runkoko on 71–250 ja MM-rakennuksessa
valmistetaan moottorit, joiden runkokoko on 280–500. Kuvassa 1 nähdään ABB:n
valmistamia sähkömoottoreita. **(Kuva 1.)**



Kuva 1. ABB:n valmistamia sähkömoottoreita⁵

⁵ ABB. Motors and generators for explosive atmospheres. Viitattu 30.11.2021.
<https://new.abb.com/motors-generators/motors-and-generators-for-explosive-atmospheres>

3 KUSTANNUSLASKENTAMENETELMÄT

Kustannuslaskenta on organisaatioissa tärkeä liiketoimintakäytäntö, jonka avulla pystytään tutkimaan ja seuraamaan yhtiölle muodostuvia kustannuksia. Tämän avulla saadaan kustannusten yhteenveto kaikista prosesseista, palveluista, tuotteista tai mistä tahansa muista toimista organisaatiossa.

Kustannuslaskenta helpottaa organisaatiota kustannusten hallinnassa sekä tekemään päätöksiä ja strategisia suunnitelmia kustannustehokkuuden parantamiseksi. Se on toiminta, jonka avulla voidaan määrittää tuotteen tai palvelun kustannukset. Kustannuslaskenta sisältää erilaisten menojen kirjaamisen, luokittelun ja kohdistamisen.⁶

3.1 Välittömät ja välilliset kustannukset

Kustannukset, jotka on määritetty tietylle kohteelle, voidaan jakaa välittömiin ja välillisiin kustannuksiin. Nämä kustannukset voidaan jakaa vielä materiaali- ja työvoimakustannuksiin.⁷ Materiaali- tai työvoimakustannuksien välittömät kustannukset voidaan kohdistaa suoraan tiettyyn kustannuskohteeseen. Tällöin nämä voidaan kohdistaa suoraan tiettyyn fyysiseen tuotteeseen.

⁶ Toppr. Cost Accounting, Cost and Costing. Viitattu 8.1.2022. <https://www.toppr.com/guides/fundamentals-of-accounting/fundamentals-of-cost-accounting/meaning-of-cost-costing-and-cost-accounting/>

⁷ Drury, C. 2018. s 23. Management and cost accounting. 10. painos. Andover Cengage Learning EMEA.

Materiaali- ja työvoimakustannuksien sekä muiden kulujen välillisiä kustannuksia ei voida kohdistaa suoraan tietyille suoritteelle. Näitä kustannuksia voidaan arvioida, koska niihin käytettäviä resursseja ei tiedetä. Välillisiä kustannuksia voidaan kutsua myös termillä yleiskustannus.⁸

3.2 Periodi- ja tuotekustannukset

Tuloksen laskemiseksi ja varaston arvon määrittämiseksi on tärkeää luokitella kustannukset tuotekustannuksiksi ja periodikustannuksiksi. Tuotekustannukset ovat kustannuksia, jotka voidaan kohdistaa ostettuihin tuotteisiin tai valmistettuihin tuotteisiin jälleenmyyntiä varten. Tuotanto-organisaatiossa tuotekustannukset huomioidaan varaston arvostamisessa joko valmiina tai keskeneräisinä tuotteina. Tuotteiden myyntien jälkeen kustannukset huomioidaan tulosta laskiessa.

Periodikustannukset eivät liity suoranaisesti tuotteen tuotantoon tai ostamiseen eivätkä palveluun, jotka tuottavat tuloja. Tämän seurauksena ne käsitellään kuiluina sillä tilikaudella, jonka aikana ne ovat syntyneet. Näitä ei huomioida varaston arvostamisessa, koska varastot ovat omaisuutta ja nämä varat edustavat resursseja, jotka on hankittu ja joiden odotetaan lisäävän tulevaa liikevaihtoa. Muita kustannuksia ei synny, kun tuotetta varastoidaan. Tämän takia tällaisia kustannuksia ei ole tarkoituksenmukaista sisällyttää varaston arvostukseen.⁹

3.3 Merkitykselliset ja merkityksettömät kustannukset

Päätöksenteon kannalta kulut ja tuotot voidaan luokitella sen mukaan, ovatko ne merkityksellisiä vai merkityksettömiä tietyn päätöksen kannalta. Merkitykselliset kustannukset ja tulot vaikuttavat tulevaisuuteen ja näin myös päätöksentekoon.

⁸ Drury, C. 2018. s 24. Management and cost accounting. 10. painos. Andover Cengage Learning EMEA.

⁹ Drury, C. 2018. s 26–27. Management and cost accounting. 10. painos. Andover Cengage Learning EMEA.

Merkityksettömät kustannukset ja tulot ovat asioita, joihin päätöksenteko ei vaikuta.¹⁰

Näistä kustannuksista ja tuloista voidaan toisinaan käyttää termejä välttämättömät ja vältettävät kustannukset ja tulot. Vältettävät kustannukset ovat kustannuksia, jotka voidaan säästää, jos jotain tiettyä vaihtoehtoa ei käytetä, kun taas välttämättömiä kustannuksia ei voida säästää.¹¹

3.4 Uponneet ja vaihtoehtokustannukset

Uponneet kustannukset ovat kustannuksia, jotka on jo käytetty hankittuihin resursseihin. Näiden kustannuksien määrään ei vaikuta päätös eri vaihtoehtojen välillä. Esimerkiksi, kirjatut aiemmin varastoon ostetut omaisuudet ovat uponneita kustannuksia.

Vaihtoehtokustannukset ovat kustannuksia, jotka menetetään tai uhrataan, kun yhden toimintatavan valinta edellyttää, että vaihtoehtoisesta toimintatavasta luovutaan. Vaihtoehtokustannuksia ei yleensä kirjata kirjanpitojärjestelmään, koska niihin ei liity käteismenoja.¹²

3.5 Toimintolaskenta

Toimintolaskenta on kirjallisuuden ja käytännön kokemusten mukaan parhaiten aiheuttamisperiaatetta yleiskustannusten kohdistamisessa noudatteleva kustannuslaskenta menetelmä. Siinä organisaation resurssien käyttöä tarkastellaan toi-

¹⁰ Drury, C. 2018. s 31. Management and cost accounting. 10. painos. Andover Cengage Learning EMEA.

¹¹ Drury, C. 2018. s 32. Management and cost accounting. 10. painos. Andover Cengage Learning EMEA.

¹² Drury, C. 2018. s 32–34. Management and cost accounting. 10. painos. Andover Cengage Learning EMEA.

minnoittain, joiden suorittamisesta syntyvät kustannukset suunnataan laskenta-kohteille sopivia kustannusajureita käyttämällä. Toimintolaskennassa on tarkoituksena tuoda esille palvelujen, tuotteiden, asiakkaiden, projektien ja jakelukanavien kokonaiskustannusten synty toimintojen käytön ja resurssien kulutuksen seurauksena. Toimintolaskennassa keskeisenä tavoitteena on kustannusten käyttäytymisen aiheutumisyhteyden kattava ja selkeä ymmärtäminen ja analysoiminen. Tämän ansiosta toimintolaskennan avulla voidaan tukea organisaation strategista ja operatiivista johtamista sekä niiden kehittämistä.

Toimintolaskentaprojektin alussa ensimmäinen vaihe on määrittellä toiminnot ja tunnistaa niiden väliset yhteydet. Tähän vaiheeseen käytetään toimintoanalyysiä. Seuraavassa vaiheessa kustannukset kohdistetaan resursseilta toiminnoille ja tämän jälkeen toiminnoilta tuotteille ja palveluille. Toimintolaskennan avainasemassa on erityisesti toimintojen tarkka ja yksityiskohtainen määrittäminen sekä kustannusajurien valinta. Toiminnolla tarkoitetaan tekemistä ja asioiden suorittamista, joka liittyy organisaation prosesseihin. Kustannusajurityyppejä on useita, jotka voidaan luokitella volyymistä riippuviksi, ajankäyttöön sidonnaisiksi ja toiminnon suorittamisen vaativuudesta tai intensiteetistä johtuviksi.¹³

3.5.1 Aikaperusteinen toimintolaskenta

Aikaperusteinen toimintolaskenta on kustannus- ja kannattavuuslaskentamenetelmä, jota voidaan myös kutsua kirjainyhdistelmällä TDABC, joka tulee englanninkielisistä sanoista Time-Driven Activity-Based Costing. Tämän menetelmän avulla voidaan tuottaa yksityiskohtaista tietoa sekä mallintaa organisaation toimintaa eri liiketoimintaosa-alueiden kannattavuudesta päätöksenteon tueksi.

¹³ Järvenpää, M. 2013. s 147–148, 156–157, 163. Talousohjaus ja kustannuslaskenta. 2. uudistettu painos. Helsinki. Sanoma Pro.

TDABC:n avulla voidaan toteuttaa organisaation toiminnan mallinnus kustannusten ja kannattavuuden näkökulmasta, jonka lopputuloksena saadaan organisaation todellisia toimintoja tai prosesseja kuvaava tuloslaskelma. Tätä voidaan hyödyntää asiakkaiden ja tuotteiden kannattavuuden juurisyiden tunnistamiseen. Hyvin rakennettua TDABC-mallia voidaan käyttää strategisten ja operatiivisten liiketoimintapäätösten tukena. Tässä opinnäytetyössä liitteeksi tuleva laskentamalli rakennetaan aikaperusteista toimintolaskentaa hyödyksi käyttäen.¹⁴

¹⁴ Wevision. Mitä on TDABC? Viitattu 24.3.2022. <https://www.wevision.fi/ajankohtaista/mita-on-tdabc/>

4 OHUTLEVYN LEIKKAUSMENETELMÄT

Ohutlevyn leikkausmenetelmiä on monia. Riippuen leikattavista kappaleista tai tuotantoprosessista, valitaan tehokkain ja paras mahdollinen leikkausmenetelmä. Leikkaustapoja ovat esimerkiksi laser-, vesisuihku-, plasma- ja meistausmenetelmät. Tässä työssä käsitellään kahta näistä, jotka ovat aiheellisia liittyen tähän opinäytetyöhön.¹⁵

4.1 Laserleikkaus tuotannossa

Laserleikkaukoneet ovat yleistyneet huomattavasti ja saaneet oman aseman teollisuuden tuotannossa. Laserleikkaus on tehokas ja laadukas tapa valmistaa tuotteita ohutlevymateriaalista. Sillä voidaan leikata useita ohutlevymateriaaleja, kuten monia metalleja, alumiinia sekä muita materiaaleja.

Laserleikkauksella on monia etuja, joiden ansiosta se on suuressa suosiossa. Esimerkiksi muunneltavuus mahdollistaa haastavien tuotteiden valmistuksen sekä usean eri tuotteen valmistuksen nopeasti. Leikattujen tuotteiden mittatarkkuus on erittäin korkea. Laserleikkauksella voidaan saada myös huomattavia prosessikustannussäästöjä.¹⁶

4.1.1 Laserleikkauksen toimintaperiaate

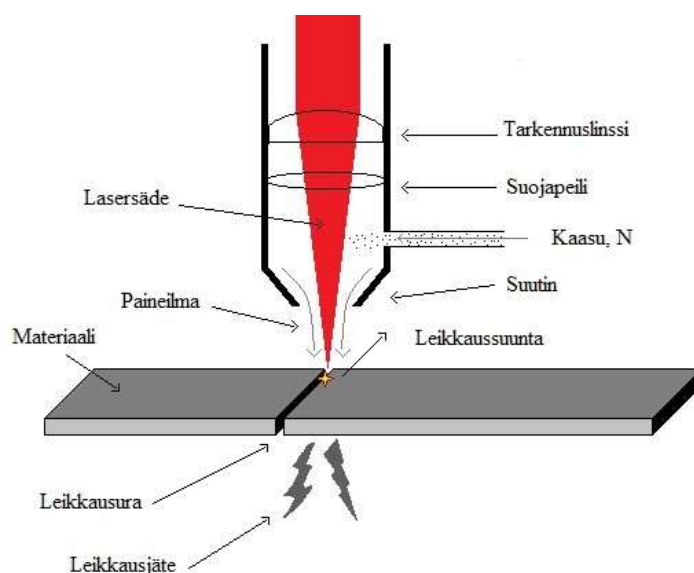
Laserleikkauksessa yhdensuuntaiset säteet koostavat lasersäteen, joka saadaan laserlähdeestä, esimerkiksi kuitukaapelia pitkin. Laserleikkausprosessissa laser-

¹⁵ Xometry. Sheet metal. Viitattu 25.3.2022. https://xometry.eu/en/introduction-to-sheet-metal-fabrication/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=15149929379&utm_content=&utm_term=&gclid=EAlalQobChMI2vG_q4rc9QIVko1oCR31Pg8LEAAYASAAEgISVvD_BwE

¹⁶ Laserstar. Industrial laser cutting. Viitattu 23.11.2021. <https://www.laserstar.net/en/industries/industrial/laser-cutting/>

säde fokusoidaan pieneksi pisteeksi peilien tai linsien avulla leikattavan kappaleen pinnalle tai pinnan läheisyyteen. Kuvassa 2 esitetään kuvainnollisesti laserleikkauksen toimintaperiaate. **(Kuva 2.)**

Leikattavan materiaalin pinnassa fokusoituun pisteeseen syntyy suuri energiatiheys, joka aiheuttaa materiaalin äkillisen kuumenemisen. Materiaali sulaa ja höyrystyy fokusoidun pisteen kohdalta, josta syntyy leikkausrailo. Leikkausrailosta sula ja höyrystynyt materiaali puhalletaan pois korkealla paineella tai kaasuvirtausten avulla. Leikkausmuoto materiaaliin saadaan liikuttamalla lasersädettä leikattavan materiaalin pinnalla tai liikuttamalla leikattavaa materiaalia.¹⁷



Kuva 2. Laserleikkauksen toimintaperiaate

¹⁷ Ionix. Laserleikkaus. Viitattu 22.11.2021. <https://www.ionix.fi/teknologiat/lasertyosto/laserleikkaus/>

4.2 Meistaus tuotannossa

Meistaus metallilevyn leikkausmenetelmänä on nopea tuotantoprosessi, joka soveltuu hyvin, kun halutaan leikata suuria määriä samaa tuotetta. Tätä menetelmää voidaan käyttää pitkien ja lyhyiden tuotantoerien valmistuksessa sekä liittää osaksi tuotantosarjaa. Tuotannossa leikatun levyn siirtelemiseksi koneeseen ja koneesta pois voidaan käyttää esimerkiksi robotteja, mikä vähentää henkilöstökapasiteetin käyttöä.¹⁸

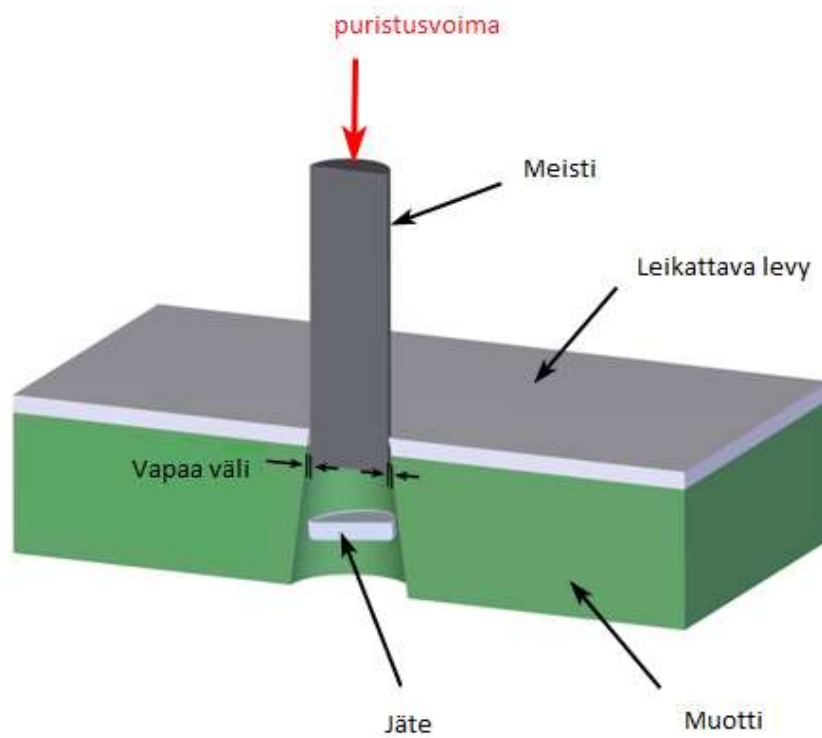
4.2.1 Meistauksen toimintaperiaate

Meistaus on kylmämuokkausmenetelmä, jossa metallilevyä muotoillaan tai leikataan haluttuun muotoon puristamalla. Metallilevyn meistopuristimeen syötetään haluttua metallilevyä, joka käyttää työkalua ja muotin pintaa levyn muodostamiseksi uuteen muotoon. Kuvassa 3 esitetään meistausmenetelmän toimintaperiaate. **(Kuva 3.)**

Lävistys ja aihio ovat termejä, jotka viittaavat muotin käyttöön. Lävistysprosessissa metalliromu poistetaan, kun meisti puristaa levyn muottiin jättäen reiän työkalupaleeseen. Aihioprosessissa meisti puristaa levyn muottiin, jossa tyhjentäminen poistaa halutun työkappaleen leikatusta metallilevystä. Näitä menetelmiä voidaan myös yhdistää muokkaamalla meistiä ja muottia.¹⁹

¹⁸ Thomasnet. Understanding Metal Stamping. Viitattu 21.1.2022. <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/understanding-metal-stamping/>

¹⁹ Thomasnet. Understanding Metal Stamping. Viitattu 21.1.2022. <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/understanding-metal-stamping/>



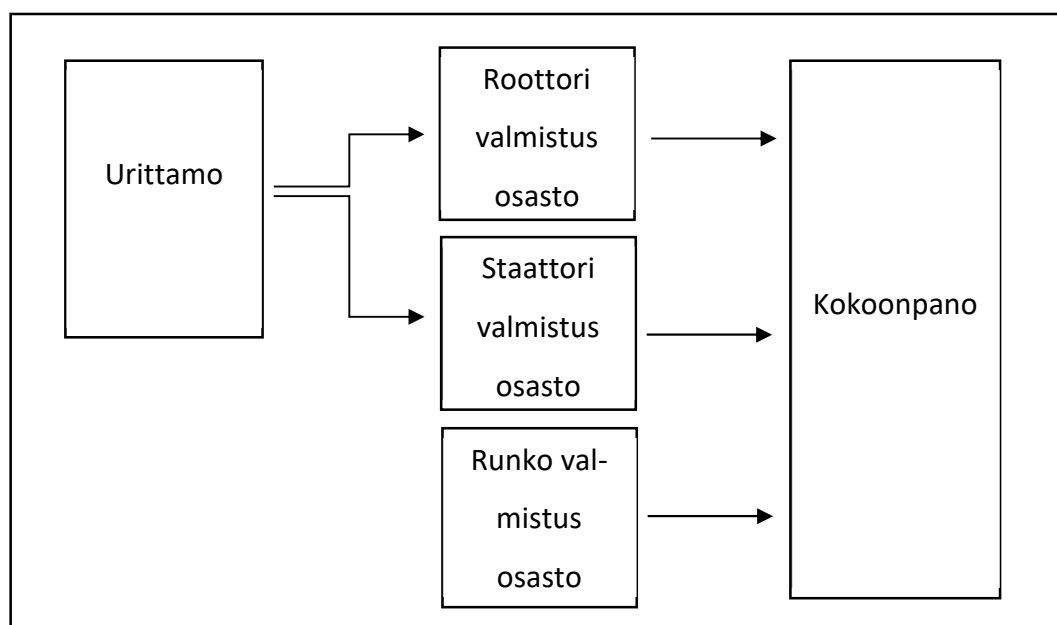
Kuva 3. Meistauksen toimintaperiaate²⁰

²⁰ Mold technology -blog. Punching. Viitattu 24.3.2022. <http://mold-technology4all.blogspot.com/2011/08/punching.html>

5 TUOTANTOMALLI IEC LV MOTORS

IEC LV Motors-yksikössä komponenttivalmistuksen tämänhetkinen tuotantomenetelmä ohutlevytuotannossa on meistausmenetelmä, jota käytetään esimerkiksi suurien tuotantoerien takia. Tätä tuotanto-osastoa kutsutaan nimellä urittamo.

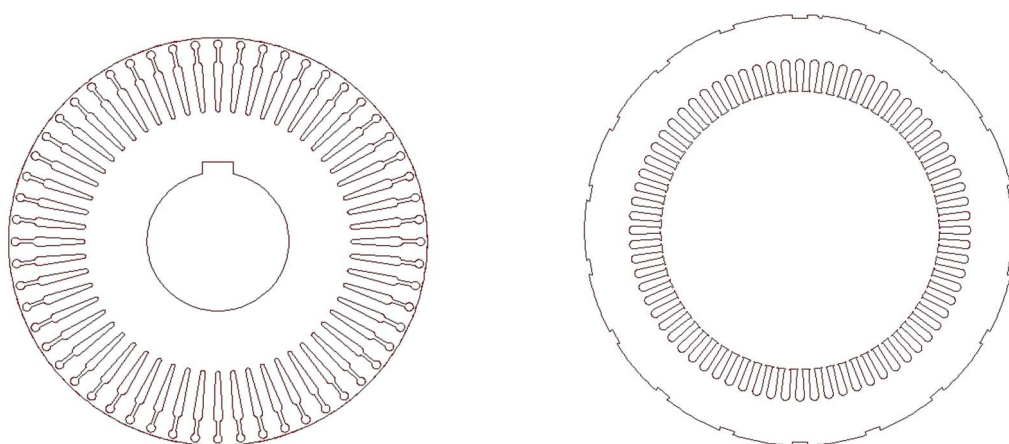
Urittamossa valmistetaan roottori- ja staattorilevyjä komponentteihin, joita käytetään sähkömoottorin valmistuksessa. IEC LV Motors-yksikön komponenttivalmistukseen kuuluu myös runkojen valmistusosasto, jossa tilatut runkovalut koostetaan. Kuvassa 4 esitetään kuvaannollisesti IEC LV Motorsin komponenttivalmistuksen tuotantomalli. **(Kuva 4.)**



Kuva 4. Tuotantomallin kuvaus IEC LV Motors-yksikössä

5.1 Tuotantomallit urittamossa

Useiden eri tuotteiden vuoksi urittamossa on erilaisia tuotantomalleja, joissa käytetään yhtä tai useampaa eri konetta levyjen leikkaamiseen, riippuen levystä. Urityskoneilla voidaan urittaa roottori- ja staattorilevystä eri osa-alueita tai koko levy. Kuvassa 5 esitetään esimerkki yhden mallin levystä, miltä ne valmiina näyttävät. Vasemmalla on valmis roottorilevy ja oikealla valmis staattorilevy. **(Kuva 5.)**

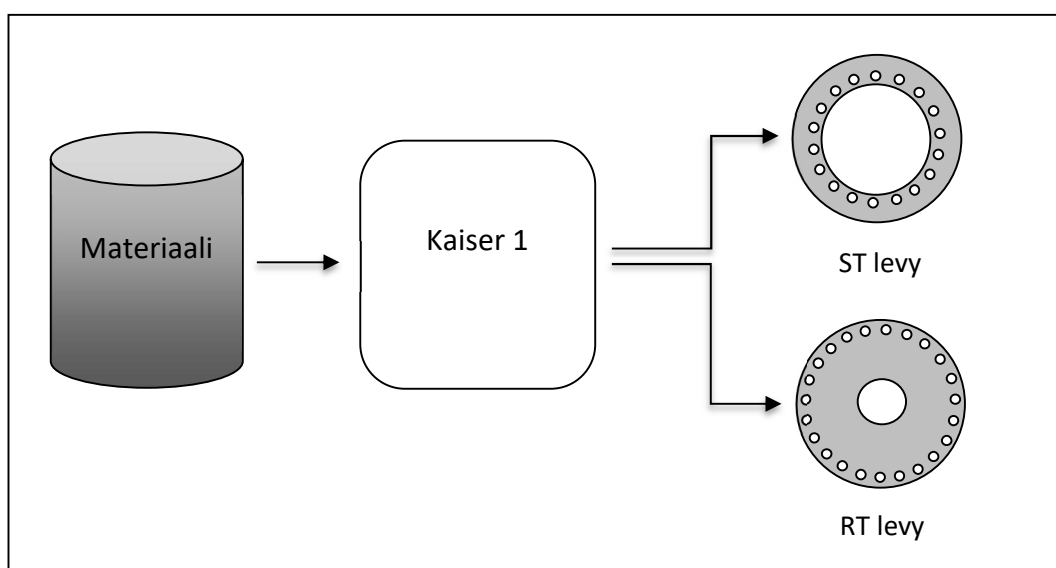


Kuva 5. Roottori- ja staattorilevy

5.1.1 Yhteisuritus

Yhteisuritus on kaikista menetelmistä nopein ja kustannustehokkain suurille tuotantomäärille. Tätä menetelmää halutaan käyttää suurille tuotantoerille, koska uuden tuotantoerän asetus vie paljon aikaa. Asetusaikaan kuuluu meistien vaihto ja asennus sekä uuden materiaalikelan asettaminen koneeseen. Yhteisurituskooneille yleensä investoidaan meisti, jos levyn vuosittainen kulutus on tarpeeksi suuri. Haittapuolena meistauskoneilla on meistien kallis hankintahinta sekä teroitus- ja korjauskustannukset.

Yhteisurituskoneita ovat Kaiser 3, joka on kokoluokille 280–315 ja Kaiser 1, joka on kokoluokille 315–400. Yhteisuritusmenetelmä on kaikista menetelmistä nopein, koska voidaan leikata rainasta suoraan valmiit roottori- ja staattorilevyt. Näin vältetään eri koneiden välillä puolivalmiiden levyjen siirtelyitä. Kuvassa 6 esitetään yhteisuritusmenetelmän toimintamallin kuvaus. **(Kuva 6.)**



Kuva 6. Yhteisuritusmenetelmän kuvaus

Yhteisurituskoneissa on kolme meistä. Ensimmäisellä meistillä isketään staattoriurat ja irrotetaan aihio rainasta. Tämän jälkeen portaalirobotti siirtää osittain uritetun aihion toiselle meistille, joka iskee roottoriurat. Tämän jälkeen levy siirtyy viimeiselle meistille, joka erottaa staattori- ja roottorilevyt toisistaan. Näiden prosessien jälkeen robotit vievät valmiit staattori- ja roottorilevyt omille kuormalavoilleen.

Aihio tarkoittaa levyä, joka on irrotettu rainasta, mutta ei ole vielä uritettu. Valmistusaikaan täytyy huomioida rainan vaihtoon käytettävä aika tuotantoerän aikana sekä mahdollisesti uuden tuotantoerän vaihdossa kuluva aika.

5.1.2 Yksittäisuritus

Yksittäisurituskoneet eroavat muista koneista siten, että levyjä ei leikata rainasta, vaan jo irrotetuista aihioista. Aihiot leikataan ensin Manzoni tai Kaiser 2 -koneella sekä jotkut erikoiset levyt ostetaan alihankinnasta. Alihankinnasta hankitut levyt ovat useimmiten prototyyppejä, joille ei ole vielä hankittu meistiä. Tässä opinnäytetyössä käsitellään myöhemmin laserleikkauskoneella saatavia säästöjä korvaamalla alihankinnasta nykyisin ostettavia tuotteita.

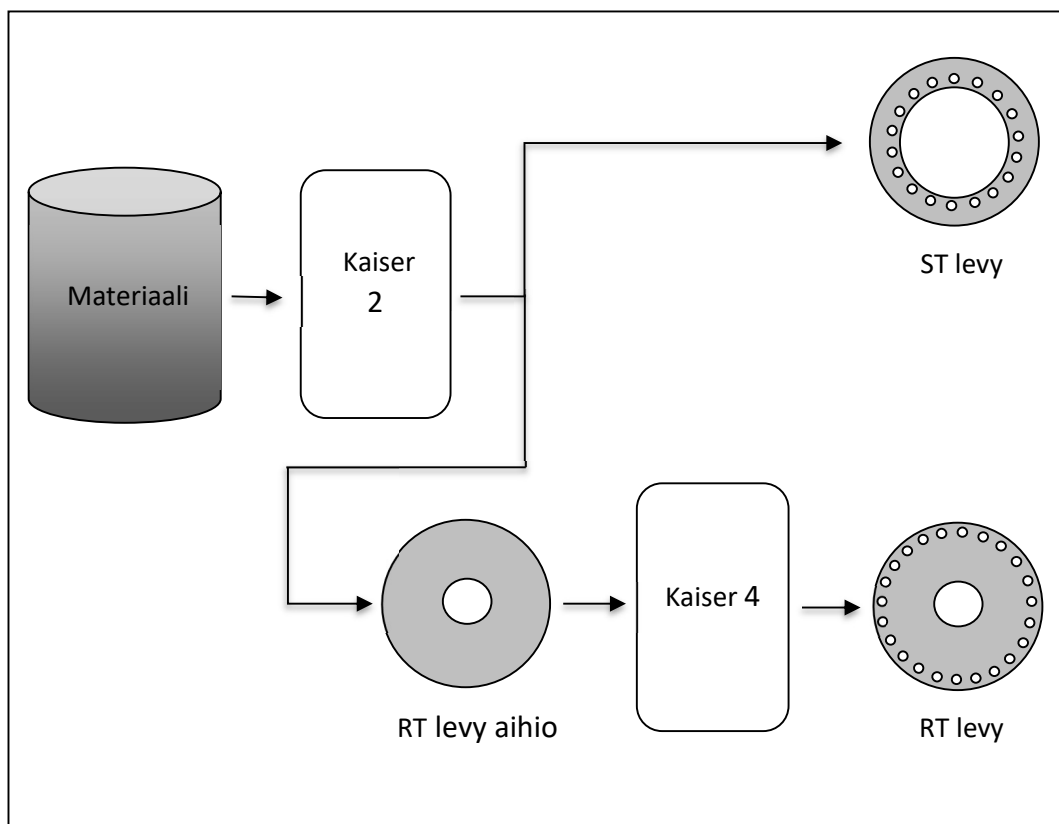
Aihio- ja yksittäisurituskone menetelmässä levyä leikataan kahdella tai kolmella eri koneella. Aihioleikalla on aihioleikalla, jolla isketään aihiolevy suoraan rainasta. Aihiolevyt siirretään yksittäisurituskoneille, jossa staattori- ja roottori-levyt erotetaan ja uritetaan.

Yksittäisurituskoneita ovat MW1,-2 ja Schuler 660,-800, jotka ovat kokoluokille 250–315. Suurempien kokoluokkien koneet ovat MW3,-4,-5 ja Schuler 1000, näiden koneiden kokoluokat ovat 315–500. Yksittäisurituskoneet toimivat siten, että ensimmäinen meisti urittaa staattori-levyn urat ja erottaa roottori- ja staattori-levyt toisistaan. Tämän jälkeen roottori-levyn aihio siirtyy seuraavalle meistille, jossa uritetaan roottori-levy. Näillä koneilla levyjä voidaan urittaa yhtäaikaaisesti.

Yksittäisurituskoneessa uritusmeisti iskee yhden uran kerrallaan, joten koneen käyttäjän täytyy asettaa haluttu uraluku koneelle. Uraluku ja levyjen malli määrittävät valmistamiseen käytettävän ajan. Asetusaikaan sisältyy meistin ja muiden osien kiinnittäminen koneeseen, kun uusi tuotantoerä vaihdetaan alle. Mikäli seuraava valmistuserä on samaa kokoluokkaa kuin edellinen, asetus on vähän nopeampi verrattuna tilanteeseen, jossa runkokoko muuttuu. Tästä syystä hienokuorimituksella pyritään jakamaan työt koneille niin, että runkokokoon tulisi muutoksia mahdollisimman vähän.

5.1.3 Kombo 1

Kombo on valmistustapana samantapainen kuin yhteisuritus, sillä tällöinkin yhden levyn valmistaminen vaatii yhden iskun kullakin meistillä. Sana kombo tulee käytettävästä meististä, joka hoitaa irrotuksen, staattorilevyn urat ja erotuksen. Tässä valmistusmenetelmässä levyt saadaan valmiiksi kahdella meistillä yhteisurituksen kolmen meistin sijaan. Kuvassa 7 esitetään kombo-menetelmä. **(Kuva 7.)**

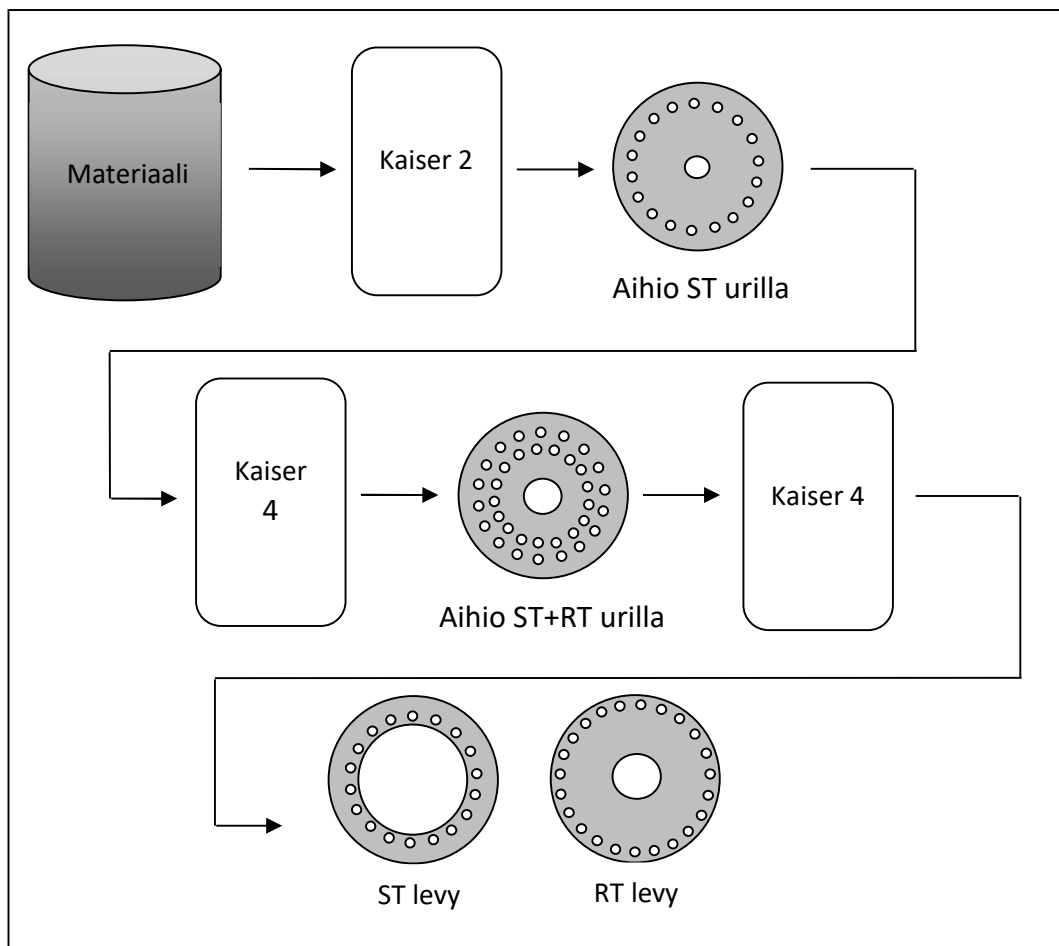


Kuva 7. Kombo 1 menetelmäkuvaus

Kombossa ensiksi materiaalia syötetään Kaiser 2 -koneelle, jossa yhdellä iskulla irrotetaan aihio rainasta, isketään staattoriurat ja erotetaan valmis staattorilevy roottorilevyn ahiosta. Tämän jälkeen roottorilevyt siirretään Kaiser 4 -koneelle, jossa isketään roottoriurat.

5.1.4 Kombo 2

Kombo 2 on yksi tuotantomalleista, joita urittamossa myös käytetään. Ensimmäisessä vaiheessa Kaiser 2 -koneella käytetään meistiä, joka iskee staattoriurat ja aihion irti rainasta. Tämän jälkeen osittain uritettu aihio viedään Kaiser 4 -koneelle, jossa isketään roottoriurat. Viimeisessä vaiheessa täysin uritettu levy ajetaan vielä kerran Kaiser 4 -koneella, jossa roottori- ja staattorilevyt erotetaan toisistaan. Kuvassa 8 esitetään kombo 2 menetelmä. **(Kuva 8.)**



Kuva 8. Kombo 2 menetelmäkuvaus

6 LASERSOLU ABB IEC LV MOTORS

Lasersolu ja sen toiminta koostuu monesta eri vaiheesta ja laitteesta. Solussa on laserleikkauskone, kaksi robottia, rainan oikaisulaite ja leikkuri, murskain, pölynkerääjä ja kuormalavapaikat. Solu voi toimia täysin automatisoidusti materiaalikehän vaihtoa lukuun ottamatta tai haluttaessa voidaan ohjata manuaalisesti eri vaiheita ja laitteita. Lasersolun turvallisuus on huippuluokkaa. Turvapiirit ovissa ja solun valoverhot varmistavat sen, että liikkuviin osiin ei voi päästä käsiksi prosessien aikana.

6.1 Laserleikkauskone IEC LV Motors

IEC LV Motorsille on investoitu laserleikkauskone, jonka tyyppi on kuitulaser. Se soveltuu erinomaisesti ohutlevytuotantoon nopean leikkauksen ansiosta. Kuitulaserin nimitys tulee lasersäteen johtamisesta laserlähteeltä laserleikkauspäähän nimenomaan kuitukaapelia pitkin. Leikkauspäätä liikuttavat lineaarimoottorit, joiden maksiminopeus on 250 m/min ja maksimi leikkausnopeus on 150 m/min. Leikkaus tarkkuus koneessa on 0,05 mm/m, joka on tärkeä asia ABB:n levyjen leikkauksessa, koska mittatarkkuudet ovat todella pieniä.

Laserleikkauskoneessa on myös kaksi leikkauspöytää, joita voidaan vaihdella nopeasti koneeseen sisälle tai ulos. Leikkauspöytä koostuu rungosta ja leikkausalustasta eli niin sanotuista kammoista. Pöytään voidaan leikata uudet leikkausalustat eli kammot laserilla itsellään, joka on todella kätevää. Kamvoja on useita yhdessä pöydässä, koska niiden välissä on rakoja, joista leikkausjäte tippuu. Laserleikkauskoneessa pöydän alla on kuljetin, jota pitkin jäte kulkeutuu toiselle kuljettimelle ja lopulta jätelavalle.

6.1.1 Laserlähde

Laserlähteenä on IPG-kuitulaserlähde, jonka teho on 4kW. IPG-kuitulaserlähde on puolijohdediodipumppu, jossa laserdiodien lähettämät kiihtyneet fotonit syntyvät ja lähetetään kuitukaapelia pitkin leikkauspäähän. Kuitulaser käyttää valokuitua,

joka tarjoaa paljon joustavuutta ilman, että laservaloa ohjataan uudelleen peileillä. Kuidussa on kolme kerrosta, joilla kaikilla on omat taitto-ominaisuudet. Taitekerroin kertoo, kuinka nopeasti valo kulkee materiaalin läpi.

Ulkokerroksessa on erityinen vaippa, jolla on alhaisin taitekerroin. Keskikerroksen taitekerroin on suurempi kuin ulkovaipan ja tämän tehtävänä on käynnistää laserin toiminta sekä taata energian optimaalinen välitys. Sisin kerros on aktiivinen ydin, joka on päällystetty harvinaisilla metallielementeillä. Tässä tapauksessa ytterbiumilla, jonka kemiallinen merkki on Yb. Sisimmällä kerroksella on kaikista korkein taitekerroin.²¹

6.1.2 Ohjelmointi ja nestaus

Laserleikkauskoneelle tehtävät ohjelmat ja nestaus arkille luodaan CAD/CAM-ohjelmistolla. CAD/CAM-ohjelmistoon tuodaan piirustus halutusta levystä tai levyistä, jotka nestataan leikattavalle arkille. Nestaus tarkoittaa arkille sovitettujen levyjen lukumäärää ja niiden paikkoja. Valmis nestaus viedään laserleikkauskoneelle NC-koodi muodossa, joka kertoo esimerkiksi halutut leikkausjäljet ja arkin koon. Haluttu arkin koko tieto lähetetään laserleikkauskoneelta leikkurille. Laserin, robottien ja leikkurin välillä tiedonsiirto tapahtuu Profinet-tiedonsiirtoprotokollan avulla.

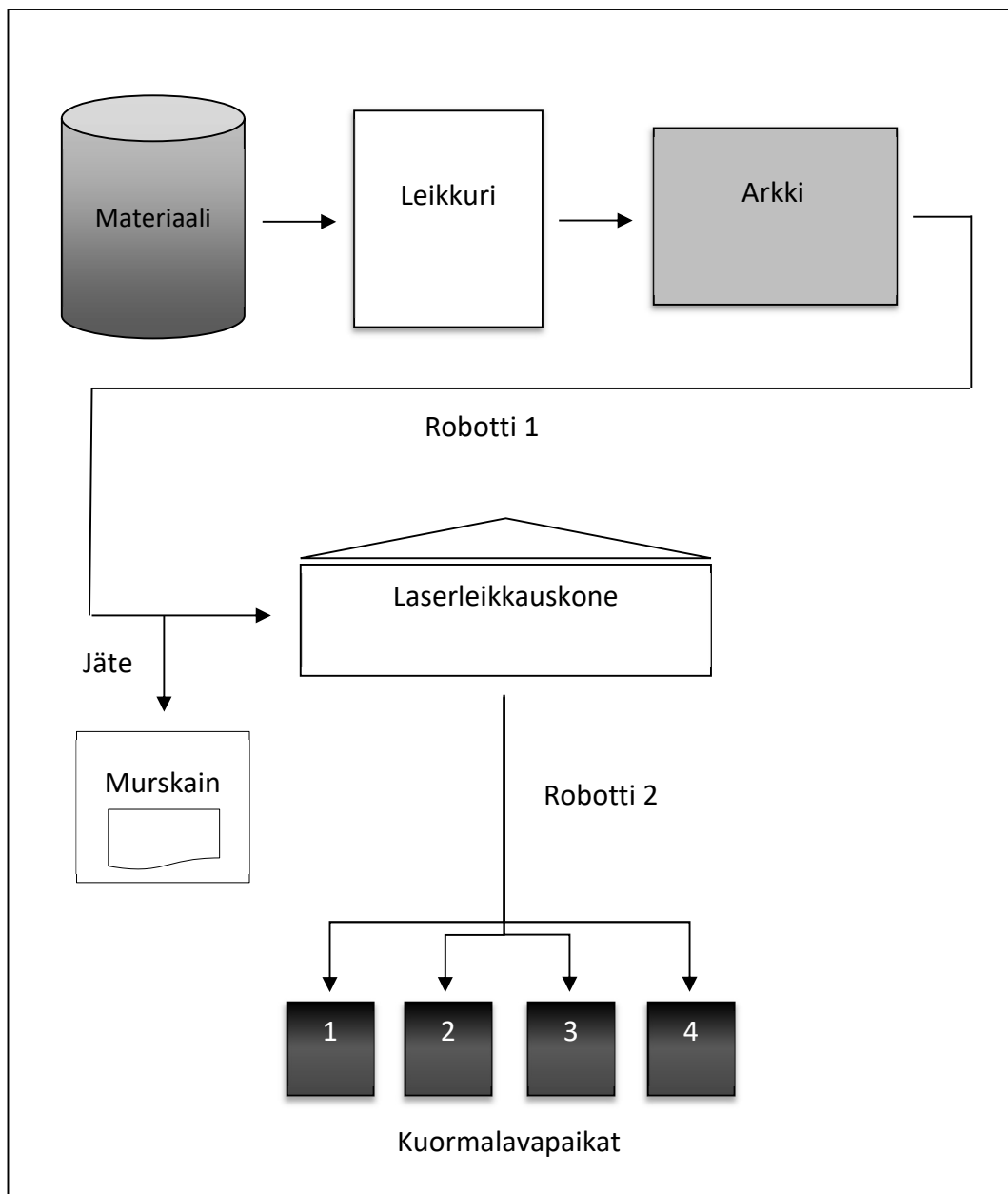
Nestausohjelmalla luodaan myös Excel-tiedosto, joka viedään robotille 2. Robotti saa tiedon levyjen sijainneista arkilla ja osaa näin hakea valmiit levyt leikkauspöydältä. Robotti saa myös tiedon levyjen koosta ja osaa näin asettaa oikeanmäärän levypinoja kuormalavoille.

²¹ Eagle. How does a fiber laser work? Viitattu 1.3.2022. <https://eagle-group.eu/en/how-does-a-fiber-laser-work>

6.2 Lasersolun toiminta

Automatisoitu sykli alkaa, kun rainaa syötetään oikaisulaitteiden läpi leikkurille, jossa haluttu pituus leikataan, jonka jälkeen valmis arkki jää kuljettimelle. Kuljettimen päällä olevan kameran avulla robotti 1 tietää missä kohdassa levy tarkalleen on. Robotti 1:ssä on työkaluna magneeteilla toimiva tarttuja, jolla se nostaa kuljettimelta levyarkin ja siirtää arkin laserkoneen toiselle leikkauspöydälle. Laserleikkaukskoneessa on kaksi leikkauspöytää, joista toinen on koneen sisällä ja toinen ulkopuolella. Tämä mahdollistaa sen, että koneen leikatessa voidaan toiselle pöydälle asettaa uusi arkki odottamaan leikkausta tai purkaa jo leikattuja levyjä.

Kun laser on leikannut ohjelmalla annetut levyt valmiiksi, pöydät vaihtuvat ja robotti 2 aloittaa purkamaan valmiiksi leikattuja levyjä pöydältä. Robotti 2:ssa on työkaluna tarttuja, jossa on imukuppeja kahdella eri kehällä. Kun imukupit osuvat levyn pinnalle, muodostaa alipainepumppu alipaineen imukuppeihin ja saa näin nostettua levyn. Tämän jälkeen robotti 2 siirtää valmiit levyt pöydältä kuormalavoille. Kun tämä on tehty, noutaa robotti 1 pöydälle jääneen levyjätteen ja siirtää sen murskaimelle. Murskain murskaa levyjätteen pienempiin paloihin, jotka tippuvat kuljettimelle ja sitä pitkin suoraan jätelavalle. Lasersolun toiminta esitetään vielä kuvaannollisesti kuvassa 9. **(Kuva 9.)**



Kuva 9. Lasersolun toimintakuvaus

7 LASERSOLUN KUSTANNUSLASKENTA

Tässä opinnäytetyössä suoritetaan kustannuslaskenta lasersolulle. Kustannuksia syntyy laserleikkauskoneesta sekä muusta solun toiminnasta. Oleellisimpia asioita ovat laserleikkauskoneen käyttökustannukset, jotka ovat tarkoituksena laskea, kun lasersolua käytetään yhden tunnin ajan. Tämän jälkeen voidaan laskentamallia hyväksikäyttäen laskea yhden levyn valmistuskustannus. Mainittakoon vielä, että tässä opinnäytetyön versiossa euromääräiset arvot on muutettu käyttämällä muutamaa eri kerrointa, jolloin todellisia kustannuksia tai hintoja ei saada selville.

7.1 Lasersolun energiakustannus

Energiankokonaiskustannus lasersolulle koostuu monesta laitteesta, kuten leikkurista, roboteista, murskaimesta, pölynkerääjästä ja laserleikkauskoneesta. Energiankulutus arvioidaan laitteiden tehon ja käynnissäoloajan perusteella, koska tämän opinnäytetyön aikana ei saatu energiankulutuksen mittausrakenteita käyttöön. Energiankulutuksen laskenta on keskimääräinen arvio, sillä tuotteita on satoja ja laitteiden toiminta-ajat voivat heitellä vähän tuotteitten mukaan. Laskennassa käytetään yhden tietyn moottorikoon levyjen valmistusaikoja. Tämä on huomioitu laskentamallissa ja siksi on rakennettu taulukot keskimääräisistä vaikutuksista toiminta-aikoihin, esimerkiksi kokoluokasta tai kappaleen muodoista ja määrästä riippuen.

Laserleikkauskoneen energiankulutuksessa tulee huomioida laserlähde ja leikkauspäätä liikuttavat lineaarimoottorit. Laserlähteen nimellinen teho on 4 kW, mutta todellinen keskimääräinen teho leikattaessa on noin 3 kW. Tämä tieto saadaan seuraamalla laserleikkauskoneessa olevia mittareita. Todelliseen tehonkulutukseen vaikuttaa leikattavien kappaleiden muoto. Laserleikkauskoneessa olevien lineaarimoottoreiden teho on noin 3 kW, joiden tehonkulutukseen vaikuttaa myös leikattavien kappaleiden muoto. Pöydänvaihtamiseen tarvittava teho on noin 1 kW.

Robotit ovat espanjalaisen ABB Robotics:n valmistamia, joiden tehotaulukosta on saatu keskimääräinen teho, joka on 2,8 kW. Robottien käynnissäoloajat riippuvat yhdellä pöydällä leikattujen kappaleiden määrästä. Esimerkiksi, jos pöydällä on useita kappaleita, joutuu robotti käymään pöydällä useammin ja näin toimimaan kauemmin.

Murskainlaitteen nimellinen teho on 11 kW ja se käy aina niin kauan, kunnes koko levy on pilkottu kuljettimelle. Pölynkerääjän nimellinen teho on 5,5 kW ja se käy aina silloin, kun laserleikkauskone leikkaa levyä. Leikkurin ja oikaisulaitteen energiankulutus tunnin aikana on todella alhainen. Esimerkiksi, jos laserilla levyjen leikkaaminen kestää noin 20 minuuttia, joutuu leikkuri leikata kolme arkkia tunnin aikana. Niille tässä laskennassa arvioidaan kulutukseksi 1 kWh.

7.1.1 Laskenta

Lasersolun energiakustannuksen laskennassa käytetään yhden kokoluokan levyjen leikkausaikoja, joten lopputulos voi heittää hieman eri kokoluokkia ja kappalemääriä leikattaessa. Tässä laskennassa käytetään 280-kokoluokan aihiolevyjen leikkausaikoja.

280-kokoluokan aihiolevyn leikkaamiseen kuluu aikaa 10,05 s. Nestauksessa käytetty arkin koko on 3000 mm x 1130 mm, joten arkille mahtuu yhteensä 13 aihiolevyä. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea arkin leikkausajaksi 130,40 s eli noin 2 min 10 s. Tähän aikaan lisätään myös pöydänvaihto-aika 18 s ja suuttimen huuhdonta 2 s, joten yhteisajaksi arkille saadaan noin 2,5 minuuttia. Tunnissa ehditään leikata 18 arkkia robottien ja pöydän toiminta-aikojen takia.

Laskennassa täytyy huomioida, että robotit voivat toimia samaan aikaan kun laserleikkauskone leikkaa levyjä, mutta robotit eivät voi toimia keskenään yhtäaikaaisesti. Kun tunnissa leikataan 18 arkkia, joutuu leikkuri leikata arkkeja ja robotti siirtämään niitä leikkauspöydälle 18 kappaletta. Leikkurilla kuluu aikaa noin 23 s ja robotilla arkin siirtämiseen pöydälle ja palaamiseen takaisin paikoilleen 23 s.

Leikatun levyn siirtämiseen leikkauspöydältä kuormalavalle robotilta kuluu 10 s, joten 13 levyn siirtämiseen aikaa kuluu 130 s eli 2 min 10 s. Robotilla levyjätteen siirtämiseen leikkauspöydältä murskaimelle ja takaisin paikoilleen kuluu aikaa 27 s. Murskaimen käynnissäoloaika tällä levynpituudella on noin 15 s.

Kaavaan saadaan ensimmäisenä laserleikkauskoneen leikkausaika tunnissa, joka on 39,2 minuuttia eli 0,65 tuntia ja pöydänvaihtojen kokonaisaika, joka on 5,4 minuuttia eli 0,09 tuntia. Pölynkerääjän toiminta-aika on sama kuin laserilla eli 0,65 tuntia. Robottien toiminta-aika yhteensä on noin 54 minuuttia eli 0,9 tuntia. Leikuri toimii yhteensä 9,2 minuuttia eli 0,15 tuntia ja murskain 4,5 minuuttia eli 0,08 tuntia. Näiden tietojen perusteella voidaan rakentaa kaava.

$$Energia_k = \left(\begin{array}{l} (0,65h \times (3kW + 3kW + 5,5kW)) + (0,09h \times 1kW) + \\ (0,9h \times 2,8kW) + (0,15h \times 1kW) + (0,08h \times 11kW) \end{array} \right) \times 0,156\text{€} = 1,73\text{€} \quad (1)$$

Laskennan perusteella laserin energiankulutus tunnissa on noin 11,12 kWh, jonka perusteella energiakustannus ($Energia_k$) tunnissa on noin 1,73 euroa.

7.2 Typpi- ja happikustannus

Laserleikkauskone käyttää typpeä leikkauskaasuna. Typenkulutuksen laskennassa käytettiin hyödyksi laserleikkauskoneen ajastimia. Tämänhetkisessä tilanteessa typpeä syötetään koneelle yksittäisistä typpipattereista, joiden kapasiteetti on 129 m³/patteri. Leikattaessa ohjelmaa, jonka kesto on keskimäärin 5min 18 sekuntia, voidaan ajaa 61 arkkia levyjä ennen laadun heikkenemistä. Näiden tietojen avulla saadaan laskettua laserleikkauskoneen kulutus tämänhetkisillä parametreilla. Typen syöttöpaine on 7 Baria.

$$Typ_{kul} = \frac{129m^3}{5,3h \times 61} \times 60min = 23,94 \sim 24m^3/h \quad (2)$$

Tämän laskennan perusteella typen kulutukseksi (Typ_{kul}) saadaan 24 kuutiometriä tunnissa, joten yhdellä tyypipatterilla voidaan leikata yhtäjaksoisesti noin 5,4 h. Käytin aikaperusteista toimintolaskentatapaa, koska laserleikkauskone käyttää typpeä myös muutamia sekunteja suuttimen huuhtontaan ennen ohjelman alkamista sekä ohjelman aikana. Seuraavaksi voidaan rakentaa kaava tyypikustannukselle.

$$Typ_k = \frac{668,46€}{129m^3} \times 24m^3 = 124,36€ \quad (3)$$

Tämänhetkisessä tilanteessa typen kustannukseksi (Typ_k) tunnille saadaan 124,36 euroa. Hapenkulutusta ei oteta huomioon tässä laskennassa, koska leikattavan materiaalin ohuuden vuoksi hapenkulutus leikattaessa on olematon ja tämän takia myös kustannus merkityksetön.

7.2.1 Vaihtoehtokustannus

Tulevaisuudessa tyyppi tullaan korvaamaan puhdistetulla paineilmalla laserleikkauskoneella leikattaessa. Puhdistetun paineilman tuottoon tarvittava järjestelmä vaatii lisäinvestoinnin laitteisiin, joita ovat esimerkiksi kompressori, adsorptiokuivain, suodattimet, paineilmasäiliö ja muita tarvikkeita. Kompressori on laite, jolla tuotetaan paineilmaa säiliöön ja adsorptiokuivain laite, joka poistaa kosteutta paineilmasta.

Puhdistetulla paineilmalla leikattaessa oletetaan kulutuksen olevan sama kuin typpeä käytettäessä. Paineilmalla leikattaessa täytyy ottaa huomioon paineilman tuottamiseen tarvittava energia ja sen kustannus.

Paineilma tuottoon käytetään 5,5kW kompressoria, joka pystyy tuottamaan noin 400 l/min. Tämä riittää tuottamaan juuri tarvittavan määrän paineilmaa, kun laserleikkauskoneen kulutus on 24 m³/h. Adsorptiokuivaimen teho on 1,5kW.

$$PIT_k = (5,5kW + 1,5kW) \times 0,156\text{€} = 1,09\text{€} \quad (4)$$

Laskentahetkellä sähkön hinta on kuvitteellisesti 0,156 euroa kilowattitunnilta, joten näitä arvoja käyttämällä saadaan tarvittavan paineilman tuoton kustannukseksi (PIT_k) tunnille 1,09 euroa. Tähän kustannukseen täytyy huomioida myös suodattimien kustannukset, jotka muodostuvat 4:stä eri suodatintyypistä. Ne ovat yleis-, hieno-, hieni-, ja aktiivihiihisuodatin. Näillä kaikilla suodattimilla on sama vaihtoväli, joka on 4000 tuntia tai 1 vuosi. Vuodessa ajetaan hieman yli 4000 tuntia. Kaikkien suodattimien hinta on yhteensä 6256 euroa.

$$S_k = \frac{6256\text{€}}{253pv \times 16h} = 1,55\text{€} \quad (5)$$

Tämän laskun tuloksena saadaan suodattimille tuntikustannus (S_k), joka on 1,55 euroa. Lopuksi lasketaan vaihtoehtokustannuksen kokonaiskustannus. Kokonaiskustannuksessa lasketaan yhteen paineilman tuotto ja suodatinkustannukset. Näiden perusteella rakennetaan kaava.

$$VE_k = 1,09\text{€} + 1,55\text{€} = 2,64\text{€} \quad (6)$$

Laskennan tuloksena saatiin vaihtoehtokustannus tunnille (VE_k), joka on 2,64 euroa.

7.3 Huolto- ja varaosakustannus

Huoltokustannuslaskennassa käytettiin laserleikkauskoneen huolto-ohjelmaa, josta saatiin kaikki huoltodokumentit. Huoltodokumenteissa on ilmoitettu arvio huoltoon käytettävästä ajasta. Huoltoja oli eri aikaväleillä aina viikoittaisista kahden vuoden välisiin ja monia siltä väliltä.

Huoltokustannuslaskennassa käytettiin normaaleja työaikoja, jossa konetta käytetään 5 päivää viikossa kahdessa vuorossa, eli 16 h päivässä. Työpäiviä vuodessa on 253 ja huoltoihin käytetään kaikkiaan noin 24 tuntia vuodessa eli noin 1,5 työpäivää. Henkilöstökustannus ABB:llä on 73 euroa tunnissa. Näiden tietojen avulla voidaan laskea huoltokustannus.

$$T_{kk} = \left(\frac{73\text{€} \times 16h \times 253pv}{251.5pv} \right) \div 16h = 73,44\text{€} \quad (7)$$

$$Huolto_k = 73,44\text{€} - 73\text{€} = 0,44\text{€} \quad (8)$$

Näiden laskujen tuloksena huoltokustannukseksi ($Huolto_k$) saadaan 0,44 euroa tunnille. Kustannuksia syntyy myös kuluista osista. Laserleikkauskonetta on käytetty tähän mennessä vähän, joten voidaan lyhyiden ajojen perusteella arvioida kuinka kauan jotkin osat kestävät ohutlevymateriaaleja leikattaessa. Suurimmat

kustannukset syntyvät oletettavasti suuttimista ja leikkauspöydässä käytettävistä ”kammoista”.

Leikkauspöydässä kuluu leikattavan materiaalin alla olevat ”kammat”, joihin kertyy kuonaa ja jotka kuluvat muodottomiksi. Kampoja on molemmissa pöydissä 62 ja niiden materiaali on 3 mm paksuista karkaistua terästä. Materiaalit tilataan arkkeina, joita tarvitaan yhteensä 13 ja ne maksavat noin 2905 euroa. Tällä hetkellä voidaan lyhyiden testien perusteella arvioida kampojen kesto, joka on noin 2kk.

Suutin on toinen kuluva osa, joka on laserleikkaukseen leikkauspäässä, jonka läpi lasersäde ja kaasu kulkevat. Tämänhetkisten leikkausmäärien ja testausten perusteella suutin kestää noin viikon verran ja sen hinta on 18,6 euroa kappale. Näiden tietojen perusteella voidaan rakentaa kaava.

$$KO_k = \left(\frac{2905\text{€}}{16h \times 42pv} \right) + \left(\frac{18,6\text{€}}{16h \times 21pv} \right) = 4,38\text{€} \quad (9)$$

Kaavasta saadaan kulutusosien kustannukseksi (KO_k) tunnille 4,38 euroa. Kuluvien osien kestävyys voi muuttua huomattavasti, jos toteutetaan aiemmin työssä mainittu muutos, jossa tyyppi korvataan ilmalla.

7.4 Työntekijä- ja yleiskustannus

Työntekijäkustannukset ovat lasersolulla huomattavasti pienemmät kuin meistauskoneilla, ohjelman asettamisen nopeuden ja melkein täyden automatiikan vuoksi. Suunnitelmassa yksi työntekijä käyttää kahta konetta työvuoron aikana. Työvuoro on 8 tuntia ja tämän aikana työntekijän tunnit jakautuvat siten, että lasersolulle lasketaan 2 ja meistauskoneelle 6 työtuntia.

$$TT_k = \frac{73,44\text{€}}{4} = 18,36\text{€} \quad (10)$$

Laskennan tuloksena saatiin työntekijäkustannus (TT_k) tunnille, joka on 18,36 euroa.

Yleiskustannuksia ovat hallin vuokra-, lämmitys- ja muut yleisetkustannukset. Yleiskustannukset saadaan yrityksen omista tietokannoista. Laskennassa käytetään urittamon kokonaisyleiskustannusta, joka on jaettu tasaisesti osaston koneiden kesken. Koneita urittamossa on 14 kappaletta, joten konekohtainen yleiskustannus tunnissa on 55,97 euroa.

7.5 Lasersolun käyttökustannus

Lasersolun käyttökustannukset koostuvat monesta osasta, kuten laitteista, huolloista ja työntekijöistä. Käyttökustannukset lasketaan yhdelle tunnille ja tätä tietoa hyödynnetään työhön liitettävässä laskentamallissa. Käyttökustannukselle tunnissa rakennetaan kaava, johon kerätään aiemmin lasketut kustannukset.

$$LS_{kk} = 1,73\text{€} + 124,36\text{€} + 0,44\text{€} + 4,38\text{€} + 18,36\text{€} + 55,97\text{€} = 205,24\text{€} \quad (11)$$

Laskennan tuloksena saadaan tämänhetkinen käyttökustannus tunnissa lasersolulle (LS_{kk}), joka on 205,24 euroa. Tätä tulosta hyödynnetään laskentamallissa levykohtaisen kustannuksen selvittämisessä. Lasketaan myös vaihtoehtoinen tilanne, jossa tyyppi on korvattu puhdistetulla paineilmalla.

$$VELS_{kk} = 1,73\text{€} + 2,64\text{€} + 0,44\text{€} + 4,38\text{€} + 18,36\text{€} + 55,97\text{€} = 83,52\text{€} \quad (12)$$

Tämän laskennan tuloksena saadaan lasersolun vaihtoehtokustannus tunnille ($VELS_{kk}$), joka on 83,52 euroa. Näiden tuloksien perusteella voidaan todeta, että investointi paineilmantuotto järjestelmään on todella kannattava.

8 LASKENTAMALLI

Opinnäytetyössä rakennetaan leikattaville tuotteille laskentamalli Excel-ohjelmistolla, jonka avulla saadaan tieto levyjen valmistuskustannuksista ja valmistusaajoista tarkasti ja nopeasti. Laskentamalliin tarvittavia tietoja hankitaan käyttämällä aikaperusteista toimintolaskentaa. Todetaan, että tämä onärkevin tapa, koska tuotteita on todella paljon.

8.1 Aikataulukus

Laskentamallia varten aikataulutetaan lasersolun laitteiden toiminnat, jonka avulla saadaan myös laskettua esimerkiksi energiankulutus laitteille. Robottien, leikkurin ja murskaimen toiminta-ajat saadaan tarkasti ajamalla lasersolua automaattitilassa. Kun laitteet toimivat automaattisesti täydellä nopeudella, saadaan ajat otettua sekuntikelloa hyödyntämällä. Mainittakoon, että tulevaisuudessa laitteiden toiminta-ajat voivat nopeutua jonkin verran.

Toisena pääasiana aikataulutuksessa on laserleikkausajat tuotteille. Tuotteiden todella suuren määrän vuoksi ajat otetaan osa kerrallaan. Valmiin levyparin ajastettavat osat jaetaan seuraavasti: aihio, jonka aikaan sisältyy akselin reikä ja staattorin ulkokehä. Staattori- ja roottoriurat, jotka kellotetaan erikseen. Staattorin ja roottorin erotus, koska tätä aikaa voidaan hyödyntää myös pelkkänä kehänä mille tahansa tuotteelle. Ilmaurat kellotetaan myös erikseen. Laskentamalliin lisätään myös vaihtoehto, jossa voidaan leikata jätteet pienemmiksi paloiksi, joten tämä kellotetaan myös.

Jokaisen levyosan ajanottamiseen tehdään oma ohjelma, jossa kuviot nestataan arkille. Kun arkista leikataan useampi kerta samaa kuviota, saadaan kokonaisajasta laskettua tarkka keskiarvo yhden kuvion leikkausajalle. Leikkausajat kellotetaan kuitenkin vain muutamista levyistä, koska tuotteita on satoja. Kun esimerkiksi tiedetään kahden kokoluokan ero leikkausajoissa, saadaan siitä laskettua keskimääräinen ero leikkausajalle kokoluokittain. Urien leikkausajat kellotetaan kahdella

uraluvulla, joidenka perusteella lasketaan keskimääräinen yhden uran leikkauksen kesto. Kun käytetään aikaperusteista toimintolaskentaa, on Excel-ohjelmisto mainio työkalu laskentatulosten hyödyntämisessä.

8.2 Laskentamallin rakentaminen

Laskentamallin rakentaminen aloitetaan hahmottelemalla, että mitä vaihtoehtoja mahdollistetaan valittavaksi. Koska kokoluokkia on monta ja niissä vaihtoehtoja todella laajasti, täytyy myös valinnan varaa olla laskentamallissa paljon. Laskentamallin käyttö sivulla nähdään monta valintalistaa ja ruutua, joilla voidaan kasata haluttu levy. Kokoluokka, urat, tuuletuskanavat, ilmaväli halkaisija ja jäteleikkaus vaikuttavat leikkausaikaan ja näin myös levyn hintaan. Mitä enemmän ja isompia kuvioita on, sitä enemmän leikkausaikaa kuluu ja sitä kalliimmaksi levy tulee. Kuvassa 10 on otettu kuvankaappaus laskentamallin käyttö sivusta. **(Kuva 10.)**

The screenshot shows a user interface for configuring a calculation model. It consists of several sections, each with a title and a list of options:

- Kokoluokka**: A dropdown menu with values 80, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280. The value 200 is selected.
- Materiaali**: A dropdown menu with values 3GZF455730-2, 3GZF455730-3, 3GZF455730-4, 3GZF455730-5, 3GZF455730-6, 3GZF455730-451, 3GZF455730-452, 3GZF455730-453, 3GZF455730-454, 3GZF455730-455. The value 3GZF455730-5 is selected.
- ST Uraluku**: A dropdown menu with values 0, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18. The value 0 is selected.
- RT Uraluku**: A dropdown menu with values 0, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18. The value 0 is selected.
- Levymäärä**: A dropdown menu with values 1, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450. The value 50 is selected.
- Tuuletuskanava lkm.**: A dropdown menu with values 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14. The value 10 is selected.
- Ilmaväli halk.**: A dropdown menu with values 280, 285, 290, 295, 300, 305, 310, 315, 320, 325, 330. The value 295 is selected.
- Jäteleikkaus**: Two checkboxes. The first is labeled "kokoluokka < 355" and the second is labeled "kokoluokka >= 355". Both are currently unchecked.
- Yleiskustannus**: A checkbox labeled "Yleiskustannus" which is currently unchecked.
- HDP Kokoluokka**: A dropdown menu with values 0, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200. The value 0 is selected.

Kuva 10. Laskentamallin käyttö sivu

Materiaalit kohdasta voidaan valita, mistä materiaalista haluttu levy leikataan tai olla huomioimatta materiaalikustannusta ollenkaan. Tämä vaikuttaa suoraan levyn hintaan painon perusteella. Levymäärän valintakohdassa valitaan, kuinka paljon levyjä halutaan tehdä valmistuserässä ja tämän perusteella saadaan valmistuserälle kokonaiskustannus ja -aika. Kokoluokat kohdissa voidaan valita joko perinteinen pyöreänmuotoinen aihio tai toisen mallisien moottoreiden aihio eli HDP. Laskennassa on myös mahdollisuus olla huomioimatta yleiskustannuksia kohdassa yleiskustannus.

Laskentamallin toisella sivulla on listattu levyjen osien leikkausaikoja, toiminta-aikoja, käyttökustannus lasersolulle, materiaalien hintoja, levyjen painoja, jätteen määrää sekä jätteestä saatavia tuloja. Näiden perusteella saadaan laskettua levyjen valmistuskustannus. Ensimmäisenä lasketaan yhden levyn valmistusaika, joka koostuu osien leikkausajoista. Kun tämä saadaan selville, voidaan sitä käyttää kokonaisvalmistusajassa. Kokonaisvalmistusaikaan kuuluu yhden levyn valmistusaika, joka kerrotaan levyjen määrällä. Tähän aikaan lisätään myös suuttimen huuhdonta ja pöytienvaihto-aika, jotka kerrotaan leikattavien arkkien määrällä. Jokaisen valmistuserän aikaan lisätään myös asetus-aika.

Valmistuseräkustannukseen kuuluu halutessaan myös materiaalikustannus. Materiaalikustannus saadaan käyttämällä materiaalin kilohintaa ja yhden levyn painoa, kun nämä kerrotaan toisillaan, saadaan levyn materiaalikustannus. Tässä täytyy myös huomioida jätteestä saatava korvaus, jota syntyy aina leikattaessa. Jätettä syntyy sitä enemmän, mitä enemmän leikataan kuvioita pois ja mitä isompia ne ovat. Jätekorvaus vähennetään laskentamallissa automaattisesti levyarkin materiaalikustannuksesta.

Edellä mainittujen tietojen perusteella voidaan selvittää valmistuseräkustannus. Tähän kustannukseen otetaan myös mukaan asetus-aika, joka kerrotaan työntekijäkustannuksella. Siihen lisätään valmistuserässä käytettävien materiaalien kus-

tannus ja kokonaisleikkausaika kerrottuna lasersolunkäyttökustannuksella. Valmistuseräkustannuksesta saadaan kätevästi myös yhden levyn kustannus, kun jaetaan kokonaiskustannus levymäärällä.

8.3 Tulososio

Laskentamallissa tulokset tulevat näkyviin heti käyttö sivulle. Tuloksia ovat laserlevyn hinta, valmistuserän hinta ja valmistuserän aika. Nämä hyödyttävät todella paljon komponenttivalmistuksen esimiehiä. Sitä voidaan myös hyödyntää tuotteiden hinnoittelussa ja tuotannon ohjaamisessa. Huomioitavaa on, että tulokset voivat hieman heitellä todellisuudesta, riippuen levyn kuvioiden muodoista. Laskentamallin käyttö sivun tulos osio on esitetty kuvassa 11. **(Kuva 11.)**

Laserlevyn hinta (€)
1,23
Valmistuserän hinta (€)
123
Valmistuserän aika (h)
0,56

Kuva 11. Laskentamallin käyttö sivun tulososio

9 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä luvussa käydään läpi opinnäytetyön tulokset ja johtopäätökset. Niitä ovat laserleikkauskoneesta saatavat hyödyt, kuten säästöt ja tuotekehitysprojektien tukeminen. Lopuksi vertaillaan laserleikkaus- ja meistausmenetelmää toisiinsa. Tuloksia saadaan esimerkkilaskuilla, joiden perusteella tehdään lyhyet johtopäätökset. Tulososiossa käytetään arvoille tiettyä kerrointa, jolloin laskennassa arvot eivät vastaa todellisuutta.

9.1 Säästöt

Säästöjä voidaan saada monesta paikasta laserleikkauskoneen monipuolisuuden ansiosta. Näitä ovat esimerkiksi alihankinnasta, työkalujen hankinnasta ja huolloista, materiaaleista sekä varastoinnista saadut säästöt. Lisää säästöpotentiaaleja voidaan mahdollisesti selvittää jatkotutkimuksissa. Tässä luvussa käsitellään alihankinnasta ja materiaalista mahdollisesti saatavia säästöjä.

9.1.1 Alihankinta

Alihankinnasta saatavat säästöt ovat lähes varmasti suurimmat, mikä johtuu siitä, että nykyisessä tilanteessa ei tarvitse käyttää aiemmin alihankinnasta ostettuja, laserleikkauskoneella leikattuja levyjä. Näitä levyjä on ostettu esimerkiksi varastossa olevien staattori ja roottori levymäärien tasapainottamiseen, sekä myös siksi, että joillain levyillä on vähän kulutusta vuodessa eikä niille ole investoitu työkaluja. Lisäksi, kun levyille on tuotannossa tarve, saadaan ne nopeammin itse valmistettua.

Tässä kappaleessa otetaan muutaman levyn valmistus vertailuesimerkiksi. Vertailussa käytetään hyödyksi ABB:n tilauskannasta saatuja levyjen ostohintoja ja opinnäytetyön liitteeksi tulevaa laskentamallia. Säästöt koostuvat ainoastaan laserleikkaustyöstä, koska alihankkijalle on aiemmin lähetetty materiaalit ABB:n omasta varastosta. Myöskään yleiskustannuksia ei huomioida, koska siihen ei vaikuta valmistetaanko levyt ABB:llä vai jossain muualla.

Ensimmäisenä vertailuesimerkkinä on 400-kokoluokan HPD-moottorin aihiolevy. Levy koostuu ulkokehästä, tuuletuskanavista ja akselin reiästä. Laskentamallia käytettäessä lisätään myös jäteleikkausaika molempiin laskuihin. Näiden tietojen perusteella laskentamallilla saadaan tulokseksi laserlevyn hinta, joka on 2,63 euroa ja kahdensadan levyn valmistuserän hinnaksi noin 526 euroa. Alihankinnasta ostetun levyn hinta on 6,29 euroa ja kahdensadan kappaleen erä noin 1258 euroa. Näiden tietojen perusteella voidaan todeta, että yhden levyn säästö on 3,66 euroa ja valmistuserän kokonaissäästö on noin 732 euroa eli 58 %.

Toisena vertailuesimerkkinä käytetään 315-kokoluokan roottorilevyä, jossa on 40 uraa. Laskentamallilla yhden levyn hinnaksi saadaan 2,09 euroa ja valmistuserän hinnaksi noin 418 euroa. Alihankinnasta ostettu levy maksaa 5,57 euroa ja kahdensadan kappaleen valmistuserä noin 1114 euroa. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea levyjen valmistussäästö, joka on yhdellä levyllä 3,48 euroa ja valmistuserällä noin 696 euroa eli 62,5 %.

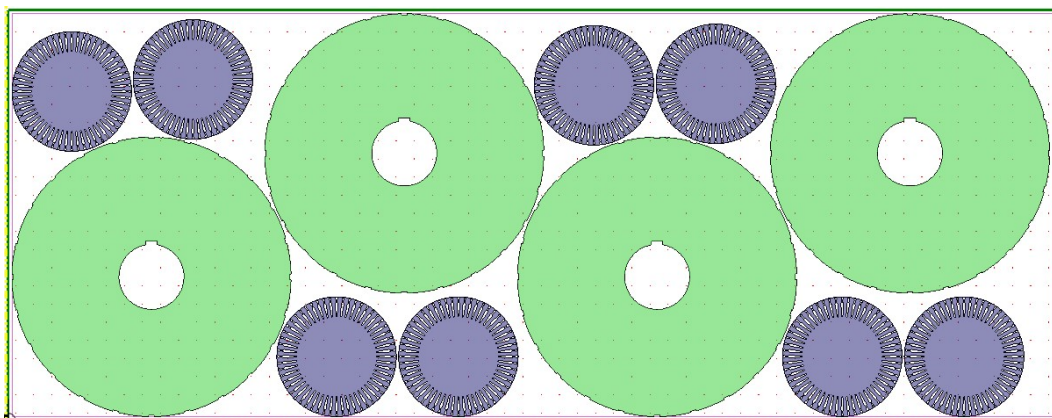
Laskentatuloksien perusteella voidaan todeta, että tällä hetkellä levyjen valmistus on noin 60 % halvempaa ABB:n laserleikkauskonetta käytettäessä. Tähän ei huomioida prototyypilevyjä, joita tarvitaan tuotekehityksessä. Mainittakoon vielä, että jos tyyppi korvataan paineilmalla säästöt kasvavat vielä tästä tilanteesta.

9.1.2 Materiaali

Laserleikkauskoneen monipuolisuuden vuoksi säästöjä voidaan saada myös materiaaleista. Vuotuiset materiaaliskustannukset ovat suuria, joten säästöpotentiaalia on euromäärällisesti paljon. Materiaalisäästöjen avainasemassa on CAD/CAM-ohjelmistolla tehtävä nestaus leikattavalle arkille, jonka avulla voidaan nestata useita eri tuotteita samalle arkille. Nykyisin käytettävässä menetelmässä tämä ei ole mahdollista, koska koneessa on kerrallaan vain yhden tuotteen mestit.

Esimerkiksi suuren kokoluokan levyjä leikattaessa usein levyjen paikat asettuvat arkille limittäin, joten levyjen ja materiaalin ulkoreunan väliin jää huomattava

määrä jätettä. Laserleikkauskoneella leikattaessa näihin väleihin voidaan nestata pienempiä levyjä samalle arkille, joten jätteen määrää voidaan pienentää huomattavasti.



Kuva 12. Kuvankaappaus nestausohjelmasta

Kuvassa 12 havainnollistetaan, kuinka arkille suurten levyjen väleihin voidaan nestata lisäksi pienempiä levyjä. Tässä esimerkissä, jos pelkästään 450-kokoluokan aihiolevyt leikataan arkista, jää jätettä 46 %. Kun väleihin leikataan lisäksi kuvassa 12 näkyvät pienemmät 280-kokoluokan roottorilevyt, jää jätettä silloin enää 29 %. Tämän perusteella voidaan todeta, että jätteen määrää voidaan pienentää huomattavasti laserleikkauskoneen ansiosta. **(Kuva 12.)**

9.2 Tuotekehitys

ABB:llä on tuotekehitysosasto, jossa suunnitellaan ja kehitetään uusia moottoreita. Laserleikkauskone voi hyödyttää myös tätä osastoa, koska uusille moottoreille tarvitaan usein myös uudentyypiset levyt roottorille ja staattorille. Tuotekehitysprojekteissa tehdään ensimmäiset uudenlaiset prototyypimoottorit, joihin tarvitaan prototyypilevyjä. Prototyypimoottorilla tarkoitetaan ensimmäistä fyysistä versiota moottorista, jota käytetään muotojen ja toimintojen tarkasteluun

ja testaukseen. Tähän mennessä protolevyt on ostettu alihankkijalta, joka on aiemman laskennan perusteella huomattavasti kalliimpaa.

Laserleikkauskone voi nopeuttaa myös tuotekehitysprojekteja huomattavasti. Jatkossa voidaan leikata protolevyt lähempänä ja välttyään näin logistiikkakustannuksilta ja mahdolliselta viiveeltä. Kun protolevyt suunnitellaan ja valmistetaan jatkossa ABB:llä, voidaan myös mahdollisia muutoksia leikkaukseen tai levyyn tehdä nopeammin ja vaivattomammin.

9.3 Valmistusmenetelmien vertailu

Tässä kappaleessa vertaillaan nykyisin käytettävää meistausmenetelmää uuteen menetelmään eli laserleikkaukseen. Laskennan tuloksissa täytyy huomioida meistien poisto aika, jota muuttamalla tulokset voivat vaihdella.

9.3.1 Laskenta

Laskennassa on tarkoitus selvittää, kuinka suuri vuosittainen kulutus levyille täytyy olla, ennen kuin kannattaa investoida meistit nykyisille urituskoneille. Tämä lasketaan siksi, koska meistien hankintahinta on kohtuullisen suuri. Laskennassa käytetään hyväksi opinnäytetyöhön liitettävää laskentamallia lasersolulle sekä Tomi Korhosen rakentamaa laskentamallia nykyiselle menetelmälle (2019). Esimerkeissä levyjen hintoihin ei sisällytetä materiaalikustannusta.

Ensimmäinen vertailu on laserleikkaus- ja yhteisuritusmenetelmän välillä. Laskennassa käytetään 280-kokoluokan levyparia, jossa on staattoriuria 72 ja roottoriuria 56. Laskennassa käytetään 5 vuoden poistoaikaa meisteille. Testailemalla eri levy määrillä laskentaa todetaan, että leikkaamalla 9 000 levyä vuodessa yhteisurituskoneella yhden levyn hinnaksi tulee 6,74 euroa kappaleelta, kun taas laserleikkauskoneella 6,31 euroa kappaleelta. Tämän perusteella voidaan todeta, että kun vuosittainen levykulutus on yli 9 000 kappaletta, on kannattavaa investoida

meisti yhteisurituskoneelle. Ajallisesti levyjä leikattaessa kahdessa vuorossa, meistauskoneella kestää 9 000 kappaaleen leikkaaminen noin 5,99 tuntia, kun taas laserleikkauskoneella 277,87 tuntia eli noin 17,3 päivää.

Toinen vertailu on laserleikkaus- ja yksittäisuritusmenetelmän välillä. Laskennassa käytetään myös 280-kokoluokan levyparia, jossa on staattoriuria 72 ja roottoriuria 56. Laskennassa käytetään 2 vuoden poistoaikaa meisteille. Testailemalla eri levy määrillä laskentaa todetaan, että leikattaessa 4 500 levyä vuodessa aihio- ja yksittäisurituskoneella yhden levyn hinnaksi tulee 6,47 euroa, kun taas laserleikkauskoneella 6,33 euroa. Näiden perusteella voidaan todeta, että vuosittaisen kulutuksen ollessa yli 4 500 kappaletta, on kannattavaa investoida meisti yksittäisurituskoneelle. Ajallisesti, jos levyjä leikataan kahdessa vuorossa, meistauskoneilla 4 500 kappaletta kestää 29,7 tuntia eli noin 1,85 päivää, kun taas laserleikkauskoneella 139,04 tuntia eli noin 8,69 päivää.

Kolmas vertailu on laserleikkauskoneen ja ahiokoneen välillä, jossa aihiolevyinä käytetään 280-kokoluokkaa ja 2 vuoden poistoaikaa meistille. Testailemalla eri levy määrääriä laskennassa todettiin, että kun aihiolevyjen vuosittainen kulutus on 20 000 kappaletta yhden levyn hinnaksi meistauskoneella tulee 1,08 euroa, kun taas laserleikkauskoneella 1,06 euroa. Näiden tuloksien perusteella voidaan todeta, kun vuosittainen kulutus 280-kokoluokan ahiolle on yli 20 000 kappaletta, on kannattavaa investoida meisti. Ajallisesti levyjä leikattaessa kahdessa vuorossa, meistauskoneella 20 000 kappaletta kestää 21,66 tuntia eli noin 1,3 päivää, kun taas laserleikkauskoneella 103,7 tuntia eli noin 6,5 päivää.

Tuloksien perusteella voidaan todeta, että laserleikkaus on huomattavasti hitaampi menetelmä isoilla valmistuserillä, kuin meistausmenetelmä. Mainittakoon vielä, että laserleikkauskone sinänsä leikkaa nopeasti, muuta koska levyissä on useita uria ja paljon kulmia, vie yhden levyn valmistaminen yllättävän paljon aikaa.

10 ANALYYSI

Laserleikkauskone avaa monia uusia ovia ABB:lle lähinnä sen muunneltavuuden vuoksi. Tämän hankinnan johdosta ABB:llä on mahdollista tarjota moottoreita, joita ei ole voinut aiemmin tarjota sekä joitain tuotteita halvemmalla asiakkaille. Esimerkiksi varaosamoottori, johon ei ole enää meistaustyökaluja, voidaan nyt tarjota nopeammin ja halvemmalla kuin aiemmin. Tämä hankinta voi auttaa myös muita osastoja ABB:llä, kuten tuotekehitystä. Laserleikkauskoneessa on myös säästöpotentiaalia valtavasti. Säästölaskennan perusteella alihankinnasta ja materiaaleista saatavat säästöt ovat huomattavia. Muita säästömahdollisuuksia on myös, joita voidaan selvittää jatkotutkimuksissa.

Meistaus- ja laserleikkausmenetelmän vertailusta voidaan todeta, kun valmistuserän koko on pieni, kannattaa se tehdä laserilla, muutoin meistaamalla. Rajoina levy määrille, voidaan käyttää valmiille levyparille noin 200 kpl ja aihioille noin 1000 kpl. Meistihankinnoista voidaan karkeasti sanoa, että jos moottoreita tehdään 5–10 kappaletta vuodessa tai enemmän, on kannattavaa investoida koneille mestit. Mainitaan vielä, että laserleikkauskonetta on mahdollista hyödyntää myös osana tuotantomallia, jossa esimerkiksi aihiot leikataan laserilla ja urat isketään yksittäisurituskoneella.

Laserleikkauskoneen hyödyt

- Muunneltavuus, jonka ansiosta saatavat säästöt
- Asetusnopeus, huomattavasti nopeampi aloittaa levyn valmistaminen kuin nykyisin käytettävällä menetelmällä
- Hyvä ja tasainen leikkauslaatu
- Lähes automaattinen toiminta.

Laserleikkauskoneen haitat

- Levyjen pitkä valmistusaika
- Typpikustannus.

Mainittakoon vielä, että lasersolua kehitetään tämän opinnäytetyön tekemisen jälkeen, joten mahdollisesti laitteiden nopeudet ja laserleikkauksen kannattavuus kasvavat.

10.1 Itsearviointi

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka laserleikkauskonetta voidaan hyödyntää moottoritehtaan tuotannossa sekä tehdä laskentamalli laserleikkauksoneella leikattavien levyjen valmistuskustannuksista. Opinnäytetyö oli mielestäni sopivan haastava sekä erittäin mielenkiintoinen. Teoriaosuuteen kustannuslaskentamenetelmiä tutkiessani opin paljon uutta aiheesta, sillä en ole koskaan niistä lukenut ennen tätä työtä. Laserleikkaus- ja meistausmenetelmä toimintojen tutkiminen sekä työn lopussa niiden vertaileminen keskenään oli myös todella mielenkiintoista. Lasersolun toiminta oli myös ennestään tuttu, sillä olen ollut sen käyttöönotossa mukana, myös siksi aihe minulle oli erityisen kiinnostava. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli jo ennestään tuttu, sillä olen työskennellyt opintojen ohella työnjohtajana komponenttivalmistuksessa IEC LV Motorsilla.

Haastavin osuus opinnäytetyössä oli laskentamallin rakentaminen ja siihen tietojen kerääminen. Tietoja kerättiin pääosin testaamalla laitteita sekä joitain tietoja saatiin ABB:n tietokannoista. Laskentamallissa täytyi myös laskea paljon muutoksia eri tuotteiden välillä testitulosten perusteella. Laskentamallia rakentaessani opin paljon uusia tapoja käyttää Excel-ohjelmistoa ja näin osaamiseni kehittyi.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet onnistuttiin saavuttamaan. Työn tuloksista sekä laskentamallista saa apua tuotannon esimiehet sekä muut, jotka suunnittelevat tuotannon ohjausta tai muut, jotka tarvitsevat tietoa valmistuskustannuksista tai ajoista.

10.2 Jatkotutkimusaiheita

Tutkimuksessa tutkittiin, kuinka laserleikkauskonetta voidaan hyödyntää moottoritehtaan tuotannossa, jossa samalla myös tehtiin laskentamalli valmistuskustanuksista laserleikkauskoneella leikattaessa. Tutkimuksessa ilmeni, että laserleikkauskoneelta voidaan saada säästöjä sekä hyödyntää sitä ohutlevyjen valmistuksessa. Jatkotutkimuksessa voitaisiin selvittää, voidaanko laserleikkauskonetta hyödyntää muulla tavoin moottorien valmistuksessa.

Laserleikkauskone on uusi ja tällä hetkellä kehityskohtena, joten jatkotutkimuksena voitaisiin myös selvittää laserleikkauskoneessa parhaimmat mahdolliset parametrit ohutlevyjen leikkaamiseen.

Viimeisenä jatkotutkimusaiheena selvitettäisiin, kuinka kannattavaa olisi investoida toiseen laserleikkauskoneeseen. Voitaisiko lasersoluja hyödyntää toistensa kanssa ja mahdollisesti selvittää tarvittavat lisähankinnat lasersolujen välille.

LÄHTEET

ABB. ABB Suomessa. Viitattu 30.11.2021. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>

ABB. About ABB. Viitattu 30.11.2021. <https://global.abb/group/en/about>

ABB. IEC LV Motors. Viitattu 30.11.2021. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/iec-lv-motors>

ABB. Large Motors & Generators. Viitattu 30.11.2021. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/large-motors-and-generators>

ABB. Motors and generators for explosive atmospheres. Viitattu 30.11.2021. <https://new.abb.com/motors-generators/motors-and-generators-for-explosive-atmospheres>

Drury, C. 2018. Management and cost accounting. 10. painos. Andover Cengage Learning EMEA.

Eagle. How does a fiber laser work? Viitattu 1.3.2022. <https://eagle-group.eu/en/how-does-a-fiber-laser-work>

Ionix. Laserleikkaus. Viitattu 22.11.2021. <https://www.ionix.fi/teknologiat/laser-tyosto/laserleikkaus/>

Järvenpää, M. 2013. Talousohjaus ja kustannuslaskenta. 2. uudistettu painos. Helsinki. Sanoma Pro.

Laserstar. Industrial laser cutting. Viitattu 23.11.2021. <https://www.laserstar.net/en/industries/industrial/laser-cutting/>

Mold technology -blog. Punching. Viitattu 24.3.2022. <http://mold-technology4all.blogspot.com/2011/08/punching.html>

Thomasnet. Understanding Metal Stamping. Viitattu 21.1.2022. <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/understanding-metal-stamping/>

Toppr. Cost Accounting, Cost and Costing. Viitattu 8.1.2022. <https://www.toppr.com/guides/fundamentals-of-accounting/fundamentals-of-cost-accounting/meaning-of-cost-costing-and-cost-accounting/>

Wevision. Mitä on TDABC? Viitattu 24.3.2022. <https://www.wevision.fi/ajankoh-taista/mita-on-tdabc/>

Xometry. Sheet metal. Viitattu 25.3.2022. https://xometry.eu/en/introduction-to-sheet-metal-fabrication/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=15149929379&utm_content=&utm_term=&gclid=EAlaIQob-ChMI2vG_q4rc9QIVko1oCR31Pg8LEAAYASAAEgISVvD_BwE

LIITTEET

LIITE 1 Kaavaluettelo

Termit

AK_{teho} = Adsorptiokuivaimen teho

AR_{kpl} = Arkkien lukumäärä

$Energia_k$ = Energiakustannus

H_k = Työntekijäkustannus

$H_{patteri}$ = Typpi patterin hinta

$h_{päivä}$ = Työtunnit päivässä

$Huolto_k$ = Huoltokustannus

KO_k = Kulutusosakustannus

kp_{vuosi} = Laserin käyttöpäivät vuodessa

K_{teho} = Kompressorin teho

LK_{aika} = Leikkurin toiminta aika

LK_{teho} = Leikkurin teho

LL_{aika} = Laserleikkauksen aika

LM_{teho} = Lineaarimoottoreiden teho

LS_{kk} = Lasersolun käyttökustannus

LS_{teho} = Laserlähteen teho

MA_{hinta} = Materiaalien ostohinta

M_{aika} = Murskaimen toiminta aika

M_{teho} = Murskaimen teho

PIT_k = Paineilman tuotto kustannus

PK_{teho} = Pölynkerääjän teho

pv_{2kk} = Työpäivien määrä kahdessa kuukaudessa

PV_{aika} = Pöytienvaihto aika

PV_{teho} = Pöydänvaihto moottorin teho

pv_{vuosi} = Työpäivien määrä vuodessa

R_{aika} = Robottien toiminta aika

R_{teho} = Robottien teho

SD_h = Suodattimien hankintahinta

S_{hinta} = Suuttimen ostohinta

S_k = Suodatinkustannus

$S\ddot{A}_{\text{hinta}}$ = Sähkön kilowattitunnin hinta

T_{kk} = Työntekijän kokonaiskustannus

T_{patteri} = Tyyppi patterin tilavuus kuutiometreinä

TT_{kl} = Työntekijäkustannus laser

Typ_k = Typen kustannus euroina

Typ_{kul} = Typen kulutus kuutiometriä tunnissa

VE_k = Vaihtoehtokustannus

Y_k = Yleiskustannus

Kaavat

1. Energiakustannus

$$\begin{aligned} Energia_k = & ((LL_{aika} \times (LS_{teho} + LM_{teho} + PK_{teho}) \\ & + (PV_{aika} \times PV_{teho}) + (R_{aika} \times R_{teh}) \\ & + (LK_{aika} \times LK_{teh}) + (M_{aika} \times M_{teho})) \times S\ddot{A}_{hinta} \end{aligned}$$

2. Typen kulutus

$$Typ_{kul} = \frac{T_{patteri}}{LL_{aika} \times AR_{kpl}} \times 60min$$

3. Tyypikustannus

$$Typ_k = \frac{H_{patteri}}{T_{patteri}} \times Typ_{kul}$$

4. Paineilmantuottokustannus

$$PIT_k = (K_{teho} + AK_{teho}) \times S\ddot{A}_{hinta}$$

5. Suodatinkustannus

$$S_k = \frac{SD_{hint}}{pv_{vuosi} \times h_{päivä}}$$

6. Vaihtoehtokustannus

$$VE_k = PIT_k + S_k$$

7. Työntekijä kokonaiskustannus

$$T_{kk} = \left(\frac{H_k \times h_{pv} \times pv_{vuosi}}{kpv_{vuosi}} \right) \div h_{pv}$$

8. Huoltokustannus

$$Huolto_k = T_{kkok} - H_k$$

9. Kulutusosakustannus

$$KO_k = \left(\frac{MA_{hint}}{h_{pv} \times pv_{2k}} \right) + \left(\frac{S_{hin}}{h_{pv} \times pv_{2kk}} \right)$$

10. Työntekijäkustannus

$$TT_{kL} = \frac{T_{kkok}}{4}$$

11. Lasersolun käyttökustannus

$$LS_{kk} = Energia_k + Typ_k + Huolto_k + KO_k + TT_{kL} + Y_k$$

12. Vaihtoehtoinen lasersolun käyttökustannus

$$VELS_{kk} = Energia_k + VE_k + Huolto_k + KO_k + TT_{kL} + Y_k$$