

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Koneautomaatio

2019

Tuomas Kiviranta

# OCTOPUS- KÄÄRINTÄKONEIDEN ENERGIANKULUTUS

Oy M. Haloila Ab

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Koneautomaatio

2019 | 31 sivua, 3 liitesivua

Tuomas Kiviranta

# OCTOPUS-KÄÄRINTÄKONEIDEN ENERGIANKULUTUS

Tämä opinnäytetyö tehtiin maskulaisen Oy M. Haloila Ab -yrityksen palveluksessa. Työn tarkoituksena on kartoittaa yrityksen valmistamien Octopus-käärintäkoneiden sähköenergiankulutus. Toimeksianto tuli yrityksen suunnitteluosaston esimieheltä.

Tavoitteena on mitata jokaisen Octopus-konemallin energiankulutus sekä mahdollisten lisälaitteiden vaikutus energiankulutukseen. Energiankulutusluvut kootaan käärinnän vaihekohtaisiin energiankulutuksiin, joista muodostetaan vielä yhden lavan käärintään kulutettu energia. Varsinaiset energiankulutustaulukot ovat toimeksiantajan käytössä.

Työn toteutus alkoi keskustelemalla Haloilan sähköinsinöörien kanssa mahdollisista mittausten suoritustavoista, minkä jälkeen laadittiin mittauksia varten aikataulu. Mittauksen jälkeen saatu data kirjattiin ylös tietokoneelle. Mittaustuloksia analysoidessa käytettiin apuna sähkötekniikan kirjallisuutta sekä Haloilan työntekijöiden osaamista.

Valmis opinnäytetyö antaa Haloilalle tietoa tuotteidensa sähköenergiankulutuksista, joista mm. yrityksen asiakkaat ovat olleet hyvin kiinnostuneita viime vuosina. Lisäksi työtä voidaan tulevaisuudessa käyttää apuna esimerkiksi Octopus-koneiden kehittämisessä ekologisempaan suuntaan.

ASIASANAT:

Octopus, käärintäkone, sähkönkulutus, vaihtosähkö

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Machine Automation

2019 | 31 pages, 3 pages in appendices

Tuomas Kiviranta

# ENERGY CONSUMPTION OF OCTOPUS WRAPPING MACHINES

This thesis was commissioned by a company named Oy M. Haloila Ab from Masku. The purpose of the thesis was to chart the electricity consumption of the wrapping machines that Haloila is producing. The task was assigned by the manager of the engineering department.

The aim of the assignment was to measure the energy consumption of each machine model and the effect of possible add-on devices on energy consumption. The results of the energy consumption measurements were compiled into a table which shows the energy consumption of each phase of wrapping. These figures were then gathered in a table that shows the energy consumption of one pallet wrapping. The actual energy consumption tables have been agreed with Haloila to be kept confidential.

The work began by discussing the possible methods of measurement with electrical engineers of Haloila. The next step was to plan a schedule for the measurements. After each measurement the result was registered on the computer. Literature on electrical engineering and expertise of the employees of Haloila were used when analyzing the results of the measurements.

This thesis will give Haloila information of the energy consumptions of their products, which is something that customers have been interested in during the recent years. In addition, the results of this thesis can be used for example to help develop Octopus machines in a more ecological direction.

## KEYWORDS:

Octopus, wrapping machine, electricity consumption, alternating current

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>9</b>
<b>2 OY M. HALOILA AB</b>	<b>10</b>
2.1 Yrityskuvaus	10
2.2 Haloilan historia	10
<b>3 OCTOPUS-KÄÄRINTÄKONEET</b>	<b>12</b>
3.1 C-Sarjan koneet	13
3.2 B-sarjan koneet	14
3.3 S-Sarjan koneet	14
3.4 T-Sarjan koneet	15
3.5 Optiolaitteet	16
3.5.1 Päällikalvolaite	16
3.5.2 Kuormanvakain	16
3.5.3 Manipulaattori	17
3.5.4 Kuljettimet	18
<b>4 VAIHTOSÄHKÖN TEHO JA ENERGIA</b>	<b>19</b>
4.1 Vaihtosähkön teho	19
4.2 Vaihtosähkön energia	20
<b>5 KOLMIVAIHEISEN VAIHTOSÄHKÖN TEORIAA</b>	<b>21</b>
5.1 Kolmivaihejärjestelmän rakenne	21
5.2 Kolmivaihejärjestelmän jännitteet ja virrat	21
5.3 Tähti- ja kolmiokytkentä	21
<b>6 KÄÄRINTÄKONEIDEN SÄHKÖNKULUTUSMITTAUKSET</b>	<b>24</b>
6.1 Mittalaite	24
6.2 Mittaussuoritus	26
<b>7 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI</b>	<b>27</b>
<b>8 LOPUKSI</b>	<b>30</b>

## KAAVAT

Kaava 1 Pätöteho (Ahoranta 2015, 177)	19
Kaava 2 Loisteho (Ahoranta 2015, 177)	19
Kaava 3 Näennäisteho (Ahoranta 2015, 177)	19
Kaava 4 Pätöenergia (Ahoranta 2015, 194)	20
Kaava 5 Loisenergia (Ahoranta 2015, 194)	20
Kaava 6 Näennäisenergia (Ahoranta 2015, 194)	20
Kaava 7 Vaihejännite tähtikytkennässä (Ahoranta 2015, 275)	22
Kaava 8 Pääjännite tähtikytkennässä (Ahoranta 2015, 275)	22
Kaava 9 Vaihevirta tähtikytkennässä (Ahoranta 2015, 275)	22
Kaava 10 Päävirta kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 275)	22
Kaava 11 Vaihevirta kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 275)	22
Kaava 12 Vaihejännite kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 275)	23
Kaava 13 Pätöteho tähti- ja kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 276)	23
Kaava 14 Loisteho tähti- ja kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 276)	23
Kaava 15 Näennäisteho tähti- ja kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 276)	23
Kaava 16 Käärintäkierrokseen kulunut energia	27

## KUVAT

Kuva 1 Haloilan Maskun tehdas ilmasta kuvattuna (Haloila 2019).	11
Kuva 2 Octopus-brändin logo (Haloila 2019).	13
Kuva 3 Octopus-käärintäkonemallit Compact ja Compact TSi (Haloila 2019)	13
Kuva 4 Octopus 1835B (Haloila 2019)	14
Kuva 5 Octopus 2335S kuormanvakaimella ja päällikalvolaitteella (Haloila 2019).	15
Kuva 6 Octopus T200 -käärintäkone varustettuna kuormanvakaimella ja automaattisella kalvorullanvaihtajalla (Haloila 2019).	15
Kuva 7 Päällikalvolaite Octopus Compact TSi -koneessa (Haloila 2019).	16
Kuva 8 Kuormanvakain (Octobook 2018, 79)	17
Kuva 9 Automaattinen kalvorullanvaihtaja eli manipulaattori (Octobook 2018, 70)	18
Kuva 10 Haloilan rullakuljetin (Octobook 2018, 36)	18
Kuva 11 Tähti- ja kolmiokytkentä	22
Kuva 12 Fluke 435 II -sarjan sähkönlaatu- ja energia-analysaattori (Fluke 2019).	24
Kuva 13 KytKentä, joka liitettiin sähkökaappiin virtojen ja jännitteiden mittaamiseksi.	25
Kuva 14 KytKentäkaavio, jonka mukaan analysaattori kytkettiin kaapin syöttöön.	25

## **KUVIOT**

Kuvio 1 Octopus T200 -käärintäkoneen aika-teho-kuvaaja	28
Kuvio 2 Octopus 1835B -käärintäkoneen aika-teho-kuvaaja	29

## **TAULUKOT**

Taulukko 1 Octopus-käärintäkonemallit	11
---------------------------------------	----

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

A	Ampeeri
B-sarja	Alumiinirunkoiset käärintäkoneet
C-sarja	Alumiinirunkoiset, matalan kapasiteetin käärintäkoneet
E	Sähköenergia
I	Kokonaisvirta
$I_p$	Pätövirta
$I_q$	Loisvirta
$I_v$	Vaihevirta
kvarh	Kilovaritunti
kWh	Kilowattitunti
L1	Kolmivaihevirran 1. vaihe
L2	Kolmivaihevirran 2. vaihe
L3	Kolmivaihevirran 3. vaihe
Movimot	Oikosulkumoottori integroidulla taajuusmuuttajalla
N	Kolmivaihevirran 0-vaihe.
n	Käärintäkierros
P	Pätöteho
PE	Suojamaa
Q	Loisteho
RCS	Reel Change System, automaattinen käärintäkalvonvaihtojärjestelmä
RPM	Rounds Per Minute, pyörimisnopeus
S	Näennäisteho
S-Sarja	Teräsrunkoiset käärintäkoneet
t	Aika
T-Sarja	Teräsrunkoiset, kahdella kalvonjakokelkalla varustetut käärintäkoneet

U	Pääjännite
$U_v$	Vaihejännite
V	Voltti
VA	Voltiampeeri
var	Vari
VAs	Näennäisenergia
W	Watti
$W_p$	Pätöenergia
$W_q$	Loisenergia
$W_s$	Näennäisenergia
$\varphi$	Vaihesiirtokulma



# 1 JOHDANTO

Ekologisuus ja ympäristöasiat ovat tänä päivänä vahvasti esillä. Ihmiset haluavat tehdä ekologisia päätöksiä ja vaikuttaa energiankulutukseen. Tämä trendi vaikuttaa myös yritystasolla. Yritykset haluavat tarjota kuluttajille ekologisesti valmistettuja tuotteita. Ekologisuutta voidaan jopa pitää yhtenä markkinointi- ja myyntivalttina. Voidaan väittää, että energiatehokkuus on tänä päivänä edellytys kilpailukyvyille. (Grant, 2011.) Myös Haloilan asiakkaiden keskuudessa kiinnostus ekologisuuteen on noussut esille viime vuosina.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Octopus-tuotesarjan käärintäkoneiden energiankulutus. Energiankulutuksien kartoittamisella saadaan tarkat luvut kuvaamaan Octopus-käärintäkoneiden sähkönkulutusta ja näin ollen kerrottua tuleville asiakkaille heidän haluamansa tiedot koneiden energiankulutuksista. Lisäksi työssä analysoidaan koneiden suorittamien käärintöjen eri vaiheita energiankulutuksen kannalta.

Opinnäytetyössä esitellään ensin, millainen Haloila on yrityksenä ja miten Octopus-käärintäkonetuotesarja sai alkunsa. Jokainen Octopus-konemallisarja ja osa lisälaitteista käydään läpi, koska koneiden eri rakenteelliset ja toiminnalliset ominaisuudet vaikuttavat käärintäkoneiden energiankulutukseen.

## 2 OY M. HALOILA AB

### 2.1 Yrityskuvaus

Oy M. Haloila Ab on alun perin suomalainen, nykyään amerikkalaiseen signode-konserniin kuuluva lavakuormien käärintäkoneiden valmistaja. Yli kolmenkymmenen vuoden kokemuksen käärintäteknologiasta omaava Haloila on yksi maailman johtavia yrityksiä pakkausteollisuudessa. Haloila on vuosien saatossa yhdestä käärintäkoneesta laajentanut valikoimansa kokonaiseksi tuoteperheeksi. Yrityksellä on tehdas Maskussa ja Bulgarian Kardjalissa. Maskussa valmistetaan täysautomaattiset lavakäärintäkoneet ja Kardjalissa pienemmät, puoliautomaattiset käärintäkoneet. Työntekijöitä Haloilalla on eri toimipisteissä yli kymmenessä maassa noin 180, joista Suomessa työskentelee noin 60. Yrityksen liikevaihto vuonna 2017 oli 47,9 miljoonaa euroa. (Finder 2019.)

### 2.2 Haloilan historia

Alun perin Haloila perustettiin metalliteollisuuden alihankintaan erikoistuneeksi firmaksi. Yrityksen perusti Matti Haloila vuonna 1972. Yritys etsi alkuvaiheessa uusia markkinoita ja kiinnostus kohdistui pakkausteollisuuteen. Ensimmäinen Haloilan käärintäkone lanseerattiin vuonna 1976. Rolle-mallinen käärintäkone oli pyöriväpöytäinen, puoliautomaattinen käärintäkone. Sen käyttämiseen tarvittiin ihminen käynnistämään ja lastaamaan kone. (Varjonen 2017, 8)

Vuonna 1983 Haloila julkaisi maailman ensimmäisen täysin automaattisen käärintäkoneen. Kehärakennetta hyödyntävä käärintäkone Octopus nosti Haloilan tunnetuksi yritykseksi. Nykyään Octopus-brändi on pakkausalan tunnetuimpia brändejä ja Octopus-käärintäkoneita on toimitettu ympäri maailman jo yli 6000 kappaletta. (Varjonen 2017, 8.)

Vuonna 1988 Haloila myytiin ranskalaiselle Newtec Internationalille. Vuonna 1995 Haloila taas siirtyi yhdysvaltalaiselle Illinois Tool Works -yhtiölle. Yhdysvaltalainen käärintäkoneita valmistanut ITW-Muller liitettiin osaksi Haloilaa vuonna 2012. Tämä oli merkittävä askel Haloilalle Pohjois-Amerikan pakkausalan markkinoille. Vuonna 2014 Haloila myytiin osaksi kansainvälistä Signode Industrial Group -konsernia, johon kuuluu yli 100 pakkausalan yritystä ja se työllistää yli 7000 työntekijää kuudella mantereella. (Varjonen

2017, 8 -9.) Vuonna 2018 yhdysvaltalainen Crown Holdings osti Signoden 3,9 miljardilla yhdysvaltain dollarilla. (Crown holdings, 2019).



Kuva 1 Haloilan Maskun tehdas ilmasta kuvattuna (Haloila 2019).

### 3 OCTOPUS-KÄÄRINTÄKONEET

Vuosien saatossa Haloila on kehittänyt kehäteknologiaa käyttävästä Octopus-käärintäkoneesta oman tuotelinjan. Octopus-tuotelinja käsittää nykyään 4 konemallisarjaa: C-, B-, S- ja T-sarjat. Sarjoihin sisältyy yhteensä 14 eri konemallia. Konemallit määräytyvät käärintäkehän diagonaalisen halkaisijan, käärintäkehän pyörimisnopeuden ja rungon materiaalin mukaan. Esimerkiksi Octopus 1845S -käärintäkoneen käärintäkehän sisään mahtuu lava, jonka diagonaalinen halkaisija on 1800 mm, kehän pyörimisnopeus on 45 RPM ja sen rungon materiaali on terästä. T-sarjan koneiden nimessä oleva T-kirjain tarkoittaa, että kyseessä on Twin-kone. Twin-koneissa on kaksi kalvonjakokelkkaa. C-sarjan konemallien nimissä ei käytetä edellä mainittua numeraalista nimeämistä.

Taulukko 1 Octopus-käärintäkonemallit

C-sarja	B-sarja	S-sarja	T-sarja
Octopus Compact	Octopus 1825B	Octopus 1845S	Octopus 1850T
Octopus Compact 20	Octopus 1835B	Octopus 2325S	Octopus 2340T
Octopus Compact TSi		Octopus 2335S	Octopus 2830T
Octopus MD*		Octopus 2830S	Octopus T200

\*Octopus MD ei kuulu virallisesti mihinkään konemallisarjaan, mutta se on ominaisuuksiltaan lähimpänä C-sarjaa ja on siksi sijoitettu taulukossa siihen.

Jokainen Octopus-käärintäkone toimii samalla periaatteella: Tuotelava tuodaan kuljettimella tai trukilla koneen keskelle, jonka jälkeen käärintäkehä laskeutuu lavan tasolle. Kehä liikkuu alas ja ylös lavan korkeudella samalla pyörien lavan ympärillä. Kehällä oleva kalvonjakokelkka päästää muovikalvoa käärien lavan pakkausmuoviin. Lopuksi tarrain katkaisee muovikalvon ja saumain saumaa kalvon siististi kiinni pakatun lavan kylkeen.

Jokaisessa käärintäkoneessa on vähintään kaksi sähkömoottoria. Yksi käärintäkehän ylös-alas-liikettä varten ja toinen käärintäkehän pyöritystä varten. Osa mahdollisista lisälaitteista vaativat myös oman sähkömoottorinsa toimiakseen. C- ja B-sarjan koneissa käytetään Sew-Eurodriven valmistamia Movimot-oikosulkumoottoreita, joita ohjataan suoraan ohjatusti. Tehokkaimmat Movimot -moottorit ovat neljän kilowatin suuruisia. S- ja T-sarjan koneet vaativat tehokkaammat moottorit, joten niissä käytetään tehokkaampia, taajuusmuuttajilla ohjattuja sähkömoottoreita. (Varjonen 2017, 12-14.)



Kuva 2 Octopus-brändin logo (Haloila 2019).

### 3.1 C-Sarjan koneet

C-sarjan käärintäkoneet on suunniteltu pienemmän tuotantokapasiteetin tuotantolinjoihin. Alumiinirunkoisiin C-sarjan koneisiin kuuluvat Octopus Compact, rungoltaan hieman suurempi Octopus Compact 20 ja Octopus Compact TSi (varustettu kuormanvakaimella ja päällikalvolaitteella). C-sarjan Octopus-konemalleissa kaikkien käärintäkoneiden maksiminopeus on 20 RPM. Compact-koneet ovat Haloilan edullisimpia täysautomaattisia käärintäkoneita.



Kuva 3 Octopus-käärintäkonemallit Compact ja Compact TSi (Haloila 2019).

### 3.2 B-sarjan koneet

Alumiinirunkoiset B-sarjan käärintäkoneet kestävät suurempia kierrosnopeuksia kuin C-sarjan koneet. Ne on suunniteltu pienestä keskikokoiseen tuotantovolyymiin. B-sarjan koneita on saatavana kahdella eri maksimikierrosnopeudella: 25 ja 35 RPM.



Kuva 4 Octopus 1835B (Haloila 2019).

### 3.3 S-Sarjan koneet

S-sarjan käärintäkoneet ovat teräsrunkoisia, keskitasoon ja suureen tuotantovolyymiin suunniteltuja käärintäkoneita. Konemalleihin 2335S ja 1845S asiakas voi halutessaan tilata Speed Up Kit:in, joka nostaa koneen nopeutta 5 RPM. S-sarjan koneita on saatavana yhteensä kuudella eri maksimikierrosnopeudella ja kolmella eri kehäkoolla.



Kuva 5 Octopus 2335S kuormanvakaimella ja päällikalvolaitteella (Haloila 2019).

### 3.4 T-Sarjan koneet

Haloilan tehokkaimmat käärintäkoneet ovat T-sarjan koneita. Jokaisessa T-sarjan käärintäkoneessa on kaksi kalvonjakokelkkaa, mikä mahdollistaa erittäin suuren käärintänopeuden. Esimerkiksi T-sarjaan kuuluva Octopus T200 on ensimmäinen yli 200 lavaa tunnissa käärivä käärintäkone. T-sarjan koneet ovat teräsrunkoisia ja niitä valmistetaan neljällä eri kierrosnopeudella ja kolmella eri kehäkoolla.



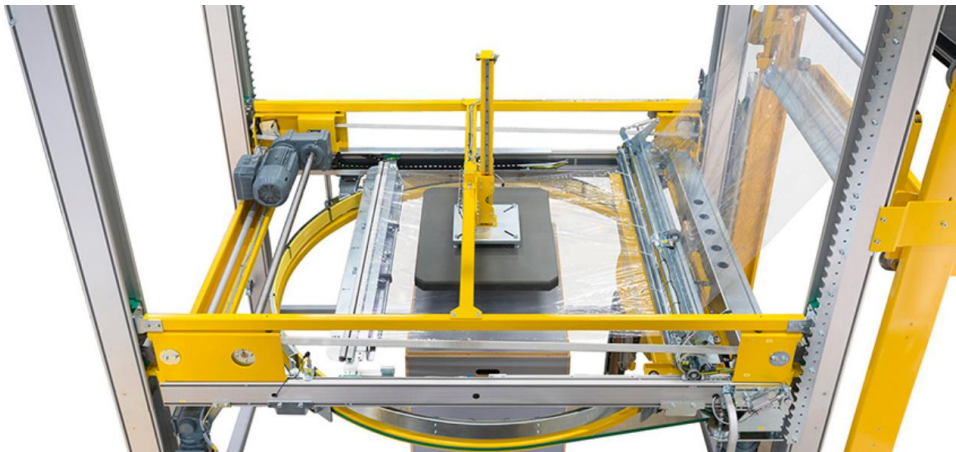
Kuva 6 Octopus T200 -käärintäkone varustettuna kuormanvakaimella ja automaattisella kalvorullanvaihtajalla (Haloila 2019).

### 3.5 Optiolaitteet

Octopus-käärintäkoneisiin asiakkaan on mahdollista tilata optiolaitteita. Optiolaitteilla muokataan koneita asiakkaan tarpeisiin sopivaksi ja parannetaan käärintä- ja käärittämisen laatua. Haloilan valikoimassa on yli 20 erilaista optiolaitetta ja -ohjelmistoa, mutta tässä työssä keskitytään neljään laitteeseen, jotka mitattiin energiankulutusmittauksissa: päällikalvolaite, kuormanvakain, manipulaattori ja kuljetin. Jokainen edellä mainittu laite tuo koneeseen lisää sähkömoottoreita, jotka lisäävät koneen sähkönkulutusta.

#### 3.5.1 Päällikalvolaite

Päällikalvolaitteen tarkoituksena on tehdä käärintä- ja käärittämisen lisäksi tuotteen päälle suojamuovi. Laite asennetaan käärintäkehän päälle, joka lisää käärintäkehän painoa, mikä kuormittaa kehän nostomoottoreita enemmän. Usein laitteen mukana tulee myös päällikalvorullannostin, joka asennetaan käärintäkoneen rungon sivuun. Nostinta ei käytetä jokaisessa käärintä- ja käärittämisen kerrässä, vaan vain silloin, kun päällikalvorulla täytyy vaihtaa. Päällikalvolaite toimii Movimot-moottorilla, mutta joskus nostimeen käytetään suoraohjattua moottoria. (Varjonen 2017, 18).



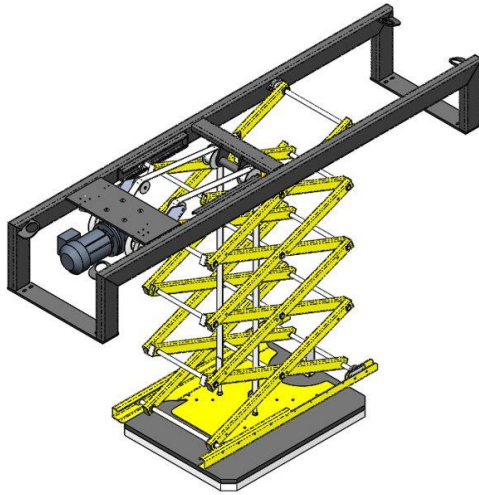
Kuva 7 Päällikalvolaite Octopus Compact TSi -koneessa (Haloila 2019).

#### 3.5.2 Kuormanvakain

Kuormanvakaajasta käytetään yleisesti myös nimitystä puristin. Nimitys kuvaa laitteen toimintaa, koska se käytännössä puristaa käärittävän lavan kuljetinta vasten. Puristin



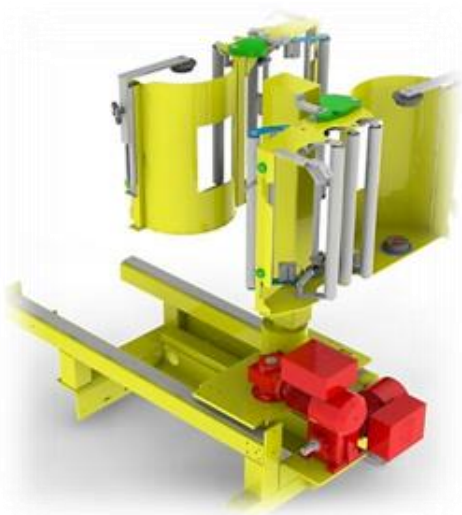
tukee lavaa, jotta se ei kaadu tai heilu käärimisen aikana. Tämä mahdollistaa kevyiden ja korkeiden lavojen käärimisen. Kuormanvakaajaa suositellaan käytettäväksi aina, kun käytössä on myös päällikalvolaite. Kuormanvakaaja toimii Movimot-moottorilla tai suoraohjauksisella moottorilla. (Varjonen 2017, 18.)



Kuva 8 Kuormanvakain (Octobook 2018, 79).

### 3.5.3 Manipulaattori

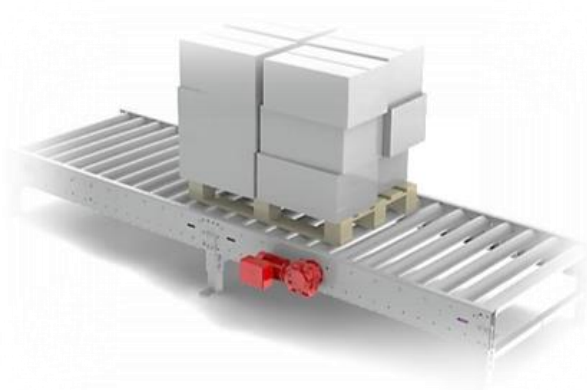
Manipulaattori eli RCS (Reel Change System) on automaattinen kalvorullanvaihtaja. Manipulaattori asennetaan käärintäkoneen viereen ja käärintäkalvon loppuessa kone ajaa kalvonjakokelkan manipulaattorin kohdalle, jolloin se vaihtaa kelkan kasetin toiseen, vaihtaen samalla koneeseen uuden kalvorullan. Manipulaattori sopii hyvin suuren kapasiteetin koneisiin, koska sen avulla pystytään säästämään aikaa, kun kalvorullaa ei tarvitse vaihtaa koneeseen manuaalisesti. Tämän vuoksi se tekee koneen käytöstä myös turvallisempaa. Manipulaattorissa on kaksi Movimot-moottoria, joista toinen liikuttaa sitä edes-takaisin kiskoillaan ja toinen moottori pyörittää sitä.



Kuva 9 Automaattinen kalvorullanvaihtaja eli manipulaattori (Octobook 2018, 70).

#### 3.5.4 Kuljettimet

Haloilalta voi tilata ketju- tai rullakuljettimia. Kuljettimet ovat yleensä Movimot-moottorilla ohjattuja, ja niitä myös yleensä ohjataan samasta sähkökeskuksesta kuin käärintäkoneita. Octopus-käärintäkoneet ovat aina osana joko asiakkaan omaa, tai Haloilan toimittamaa kuljetinlinjaa. (Varjonen 2017, 20.)



Kuva 10 Haloilan rullakuljetin (Octobook 2018, 36).

## 4 VAIHTOSÄHKÖN TEHO JA ENERGIA

### 4.1 Vaihtosähkön teho

Teho on suure, joka kuvaa tehtyä työtä aikayksikköä kohden. Sähköteho on laitteen jännitehäviön ja sen läpi kulkevan virran tulo. Vaihtosähkön tehoa käsiteltäessä teho jaetaan kolmeen osaan: pätöteho, loisteho ja näennäisteho.

Pätöteho tarkoittaa virtapiirissä varsinaista työtä tekevää tehoa ja on vaihtovirtapiirissä todellinen kulutettu teho. Pätöteho on tehollisen jännitteen ja samansuuntaisen pätövirran tulo. Pätötehon Si-järjestelmän mukainen tunnus on P ja yksikkö Watti (W). (Ahoranta 2015, 177.)

Loisteho on virtapiirissä induktiivisista ja kapasitiivisista kuormista aiheutuvaa hukkateho. Se ei pätötehon tavalla tee työtä, mutta se kuormittaa sähkönsiirtojohtimia. Induktiivinen ja kapasitiivinen loisteho kumoavat toisiaan, minkä takia joskus käytetään kondensaattoreita ”tuottamaan” kapasitiivista loistehoa kumoamaan induktiivista loistehoa. Sähkömoottorin toimintaa edellyttävä magneettikenttä aiheuttaa aina induktiivista kuormaa. Loistehon tunnus on Si-järjestelmässä Q ja yksikkö vari (var). (Silvonen 2017, 6-8)

Näennäisteho on pätötehon ja loistehon yhteisvaikutus. Näennäisteho on suurempi, kuin todellisuudessa kulutettu teho, loistehon vaikutuksesta johtuen. Näennäistehon tunnus on S ja yksikkö volttilampi (VA). (Silvonen 2017, 6-7.)

Vaihtosähkön tehon kaavat:

$$P = U \cdot I_p \quad \text{eli} \quad P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Kaava 1 Pätöteho (Ahoranta 2015, 177).

$$Q = U \cdot I_q \quad \text{eli} \quad Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$$

Kaava 2 Loisteho (Ahoranta 2015, 177).

$$S = U \cdot I$$

Kaava 3 Näennäisteho (Ahoranta 2015, 177).

Joissa  $U$  = pääjännite,  $I_p$  = pätövirta,  $I_q$  = loisvirta,  $I$  = kokonaisvirta ja  $\varphi$  = induktiivisista ja kapasitiivisista kuormista johtuva virran ja jännitteen välinen vaihesiirtokulma. (Ahoranta 2015, 176-177)

#### 4.2 Vaihtosähkön energia

Sähköenergialla tarkoitetaan suuretta, joka kuvaa, kuinka paljon tehoa kuluu aikayksikköä kohden. Mitattaessa sähköenergiaa, pätöenergian yksikkönä käytetään yleensä kilowattituntia (kWh) ja loisenergian yksikkönä kilovarituntia (kvarh). Näennäisenergiasta puhuttaessa käytetään yksikköä volttilamppisekunti (VAs). Pätöenergiaa kutsutaan yleensä lyhyesti energiaksi. (Ahoranta 2015, 194)

Vaihtosähkön energian kaavat:

$$W_p = P \cdot t$$

Kaava 4 Pätöenergia (Ahoranta 2015, 194).

$$W_q = Q \cdot t$$

Kaava 5 Loisenergia (Ahoranta 2015, 194).

$$W_s = S \cdot t$$

Kaava 6 Näennäisenergia (Ahoranta 2015, 194).

## 5 KOLMIVAIHEISEN VAIHTOSÄHKÖN TEORIAA

Kolmivaihejärjestelmä koostuu kolmesta yksivaihejärjestelmästä, jotka on liitetty toisiinsa. Yhteen liitetyt 1-vaihejärjestelmät ovat  $120^\circ$  vaihesiirrossa toisiinsa nähden.

### 5.1 Kolmivaihejärjestelmän rakenne

Kolmivaihejärjestelmässä on kolme vaihejohtinta, joista käytetään nimityksiä L1, L2 ja L3. Vaihejohtimien värikoodit samassa järjestyksessä ovat: ruskea, musta ja harmaa. Vaihejohtimilla on yhteinen paluujohdin, nolla, jota merkitään tunnuksella N. Nollajohtimen värikoodi on sininen. Lisäksi kolmivaihejärjestelmään kuuluu suojajohdin PE, jolla yhdistetään sähkölaitteen tietty metalliosa (yleensä kotelo) maan potentiaaliin. Suojajohtimen väri on keltainen-vihreä (raidallinen).

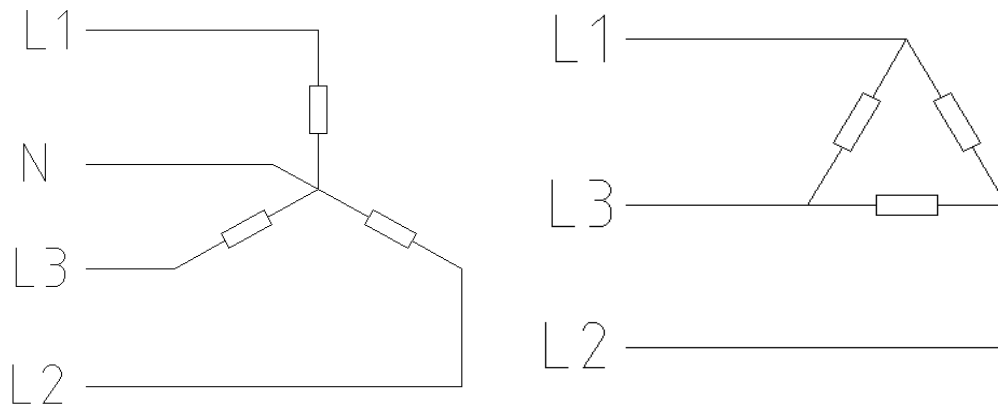
### 5.2 Kolmivaihejärjestelmän jännitteet ja virrat

Vaiheen ja nollan välistä jännitettä kutsutaan termillä vaihejännite. Vaihejännitteen suuruus on 230 V ja sen tunnus on  $U_V$ . Vaihejohtimien välillä vaikuttava jännite on pääjännite, jonka suuruus on 400 V. Pääjännitteestä käytetään tunnusta  $U$ .

Vaihekuorman läpi kulkevasta virrasta käytetään nimitystä vaihevirta, jonka yleinen tunnus on  $I_V$ . Päävirta on sähkövirta, joka kulkee sähköverkon ja vaihekuorman välissä. Sen tunnus on  $I$ . (Ahoranta 2015, 274.)

### 5.3 Tähti- ja kolmiokytkentä

Kolmivaiheiset sähkömoottorit kytketään tähti- tai kolmiokytkentään. Kytkennot eroavat rakenteeltaan toisistaan siten, että tähtikytkennässä kolmivaihejärjestelmän jokainen vaihe yhdistyy keskellä "tähtipisteeseen". Tähtipisteen kautta vaiheen virta kulkee toiseen vaiheeseen tai tähtipisteeseen kytkettyyn nollajohtimeen. Jos kytkennän kolmiovaihekuorma on symmetrinen, eli kaikkiin vaiheisiin on kytketty samanlaiset vaihekuormat, virtojen summa on nolla. Tällöin ei tarvita nollajohtinta. Kolmiokytkennässä nollajohtinta ei käytetä ikinä. (Ahoranta 2015, 274-275.)



Kuva 11 Tähti- ja kolmiokytkentä.

Tähtikytkennässä vaiheiden välillä vaikuttava jännite on 400 V ja vaihekuormassa kulkee verkosta otettu virta. Tähtikytkennässä siis pätevät yhtälöt:

$$U_V = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

Kaava 7 Vaihejännite tähtikytkennässä (Ahoranta 2015, 275).

$$U = \sqrt{3} \cdot U_V$$

Kaava 8 Pääjännite tähtikytkennässä (Ahoranta 2015, 275).

$$I_V = I$$

Kaava 9 Vaihevirta tähtikytkennässä (Ahoranta 2015, 275).

Kolmiokytkennässä vaiheiden välinen jännite on 230 V. Verkosta otettu virta on  $\sqrt{3}$ -kertainen vaihekuormassa kulkevaan virtaan verrattuna. Kolmiokytkentään pätevät yhtälöt:

$$I = \sqrt{3} \cdot I_V$$

Kaava 10 Päävirta kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 275).

$$I_V = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

Kaava 11 Vaihevirta kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 275).

$$U_V = U$$

Kaava 12 Vaihejännite kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 275).

Kolmiokytkennässä käytetään siis paljon suurempaa virtaa, kuin tähtikytkennässä.

### **Tähti- ja kolmiokytkennän tehot**

Symmetrisen tähti- ja kolmiokytkentäisen kuorman kokonaisteho saadaan kertomalla vaiheteho kolmella.

$$P = 3 \cdot P_V \quad \text{eli} \quad P = 3 \cdot U_V \cdot I_V \cdot \cos\varphi$$

Kaava 13 Pätöteho tähti- ja kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 276).

$$Q = 3 \cdot Q_V \quad \text{eli} \quad Q = 3 \cdot U_V \cdot I_V \cdot \sin\varphi$$

Kaava 14 Loisteho tähti- ja kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 276).

$$S = 3 \cdot S_V \quad \text{eli} \quad S = 3 \cdot U_V \cdot I_V$$

Kaava 15 Näennäisteho tähti- ja kolmiokytkennässä (Ahoranta 2015, 276).

## 6 KÄÄRINTÄKONEIDEN SÄHKÖNKULUTUSMITTAUKSET

### 6.1 Mittalaite

Mittauksissa käytetty mittalaite on Fluke 435 II -sähkönlaatu- ja energia-analysaattori, joka saatiin lainaksi Turun ammattikorkeakoululta. Virtojen mittauksiin käytettiin Fluken i430-FLEXI-TF-II -virtamittauspihtejä. Analysaattorissa on neljä kanavaa virranmittausta varten: 1-vaihe, 2-vaihe, 3-vaihe ja nolla. Jännitemittauksia varten on viisi kanavaa: 1-vaihe, 2-vaihe, 3-vaihe, nolla ja ma. Analysaattori tallentaa tulokset USB-muistikortille. Muistikortilta mittauksien tulokset luetaan tietokoneella käyttäen Fluken Power Log 430-II -ohjelmaa (Fluke 2019.)

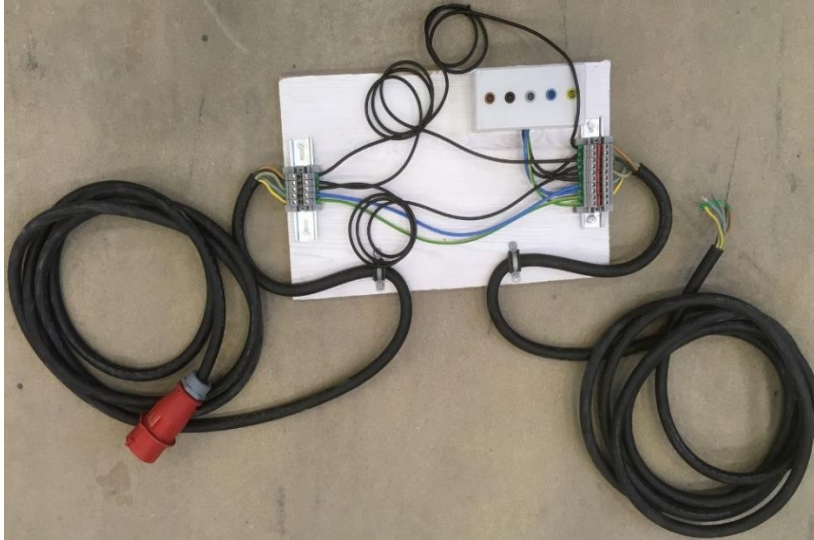


Kuva 12 Fluke 435 II -sarjan sähkönlaatu- ja energia-analysaattori (Fluke 2019).

Mittausten alussa huomattiin, että virtalenkkejä ja jännitepihtejä ei saada turvallisesti kytkettyä sähkökaappiin ahtaan tilan vuoksi, joten piti keksiä keino, jolla mittalaitteen saisi kytkettyä kaapin ulkopuolelle. Tämä kytkentä toteutettiin kiinnittämällä lastulevyyn riviliitimiä, joiden väliin liitettiin johtimet jokaiselle vaiheelle, nolalle ja maalle. Näistä johtimista mitattiin virrat. Toinen riviliitin yhdistettiin sähkökaappiin ja toinen verkkovirtaan.

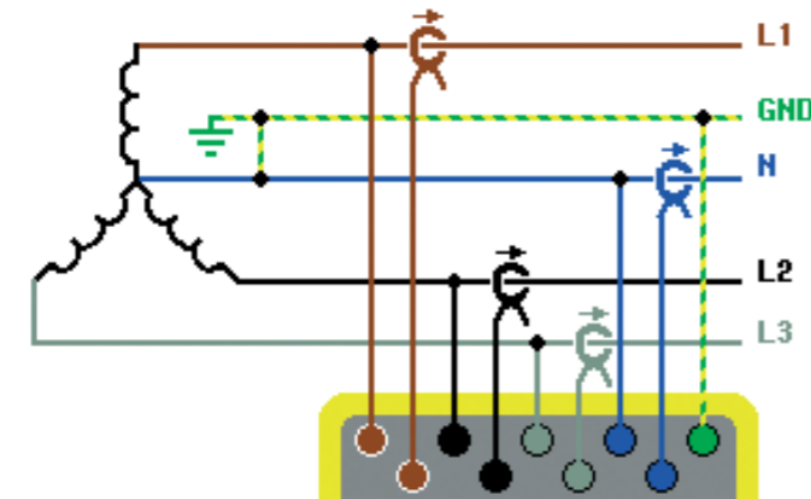


KytKentä siis kytKettiin koneen alkuperäisen syöttökaapelin tilalle. Lisäksi kytKentään li-sättiin laatikko, johon kytKettiin naaraspuoleisia banaani liittimiä, joista mitattiin jännitteet.



Kuva 13 KytKentä, joka liitettiin sähkökaappiin virtojen ja jännitteiden mittaamiseksi.

Analysaattori kytKettiin kaapin syöttöön tähtikytkentään alla olevan kytKentäkaavion mukaisesti:



Kuva 14 KytKentäkaavio, jonka mukaan analysaattori kytKettiin kaapin syöttöön (Fluke 2019).

Virtojen mittauksissa käytettiin Fluken i430FLEX-TF -lenkkivirtapihtejä ja jännitteiden mittaamiseen Fluken johtimia, joiden molemmissa päissä oli urosbanaaniliittimet.

## 6.2 Mittaussuoritus

Ennen mittausta oli tärkeää kytkeä analysaattori turvallisesti käärintäkoneen sähkökeskukseen ja asettaa analysaattoriin oikeat mittausasetukset. Mittausasetuksissa tuli valita oikea johdotuskytkentä ja mittauksen raja-arvot todenmukaisten tuloksien saamiseksi.

Mittaukset suoritettiin kahdella eri käärintätavalla. Ensimmäinen mittaustapa on niin sanottu yläpantakäärintä, joka suoritettiin seuraavasti: Käärintäkehä on alussa yläasennossa, josta se lähtee laskeutumaan. Kun kehä on laskeutunut lavan yläosan tasolle, kalvonjakokelkka lähtee kiertämään lavaa neljän käärintäkierroksen verran. Kierrosten jälkeen saumain saumaa kalvon lavaan, jonka jälkeen käärintäkehä nousee takaisin yläasentoon.

Toinen mittaustapa oli tuplakäärintä. Se suoritettiin seuraavalla tavalla: Käärintäkehä lähtee taas yläasennosta laskeutumaan lavan yläosan tasolle, jolloin kalvonjakokelkka alkaa käärimään lavaa. Käärintäkehä laskeutuu lavan alaosan tasolle kalvonjakokelkan kääriessä samalla. Alatasolta kehä lähtee nousemaan takaisin lavan yläosaa kohti. Kun lava on kääritty ylhäältä alas ja alhaalta ylös, saumain saumaa kalvon ja kehä nousee taas yläasentoon. Tuplakäärintää suoritetaan 18 kehäkierrosta.

Kumpikin mittaustapa suoritettiin kolme kertaa jokaisen konemallin mittauksessa mitaustulosten luotettavuuden parantamiseksi. Mittauksissa käytettiin kahta edellä mainittua tapaa, koska tuplakäärintäohjelman ja yläpantakäärintäohjelman erotuksena käärintän alussa ja lopussa tapahtuvat kehän nostot ja laskut, sekä saumaus saadaan suljettua pois mittaustuloksista, jolloin voidaan laskea energiankulutus yhtä käärintäkierrosta kohden. Mittausarvoista piirretyn kuvaajan perusteella pystyttiin myös laskemaan, kuinka paljon energiaa kuluu käärintän eri vaiheissa, mukaan lukien kehän laskut ja nostot sekä saumaus. Lisäksi jokaisesta konemallista mitattiin 10 minuuttia kestävä mittaustaus, kun kone on stand by -tilassa.

Mittauksissa oli aina mittaajan lisäksi paikalla Haloilan automaatioinsinööri, joiden toimenkuvaan kuuluu mm. koneiden ohjelmointi ja testaus. Automaatioinsinööri asetti koneeseen oikeat arvot, jotta mitattava kone saatiin käärimään halutulla tavalla. Mittaus suoritettiin yleensä koneen testauksen yhteydessä. Jokainen mittaussuoritus kuvattiin videolle Haloilalta lainatulla GoPro Hero 4 -kameralla. Mittaukset kuvattiin, koska videolta pystyy seuraamaan koneen käärintää ja sen eri vaiheita, mikä helpottaa mittaustuloksista saatujen kuvaajien analysointia.

## 7 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI

Mittaustulokset ladattiin Fluken analyysointilaitteelta tietokoneelle Power Logiin. Power Logilla voidaan tarkastella haluttuja arvoja vaihekohtaisesti tai niiden yhteisvaikutusta arvotaulukoissa. Halutut arvot vietiin Power Logista Exceliin laskutoimituksia varten. Kuten aiemmin työssä mainittu, sähköenergia on tehon vaikutus tietyllä ajanjaksolla, joten energiankulutusta tarkastellessa tärkeitä arvoja ovat teho (W) ja aika (s). Fluken analyysointilaitteelle laskee energiankulutuksen automaattisesti, mutta koska työssä haluttiin selvittää yhden käärintäkierroksen aikana kulunut energia käärintävaihekohtaisesti, tarkempiin tuloksiin päästiin laskemalla kulutukset itse.

Energiankulutuksien laskemisessa käytettiin apuna mittauksista otettuja videoita. Exceliin vietyjä mittausarvotaulukoita verrattiin videoihin, jolloin nähtiin kuormittava teho tietyn ajan hetkellä. Tällä tavalla voitiin rajata tietty käärintävaihe lavan käärintästä. Käärintäkierroskohtainen energiankulutus laskettiin seuraavalla kaavalla, jossa E = yhteen kierrokseen kulunut energia (Wh), t = aika (s), P = teho (W), n = käärintäkierros. Kertoimella  $2,777778 \cdot 10^{-4}$  muunnetaan wattisekunnit wattitunneiksi.

$$E = \frac{t \cdot P \cdot 2,777778 \cdot 10^{-4}}{n}$$

Kaava 16 Käärintäkierrokseen kulunut energia

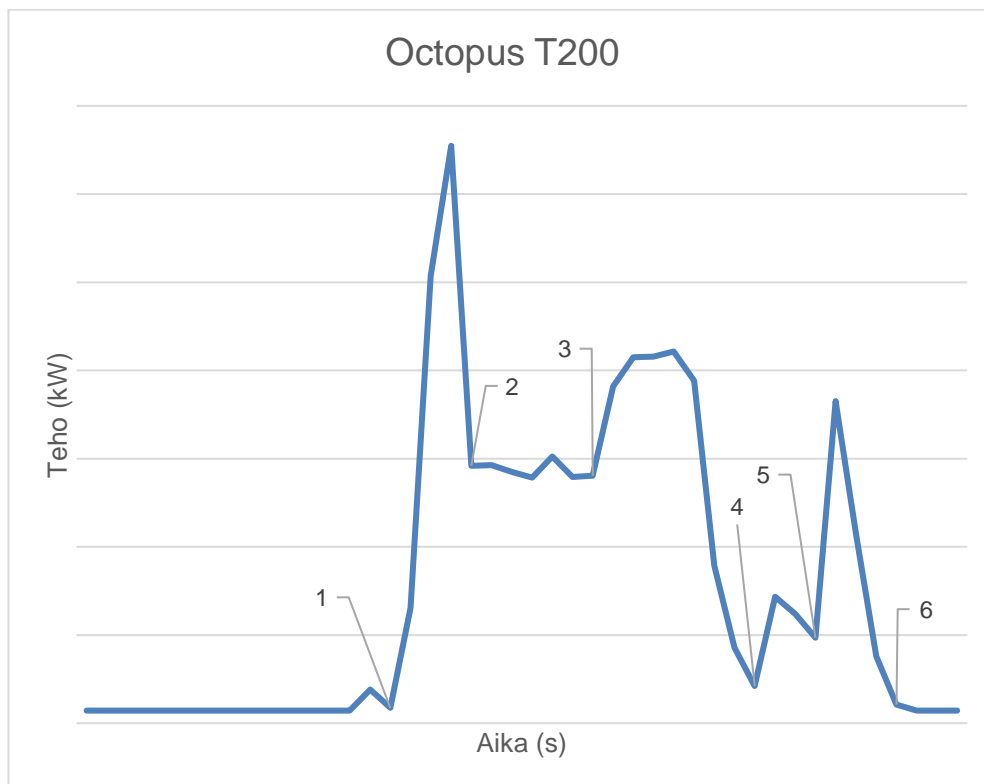
Loistehon vaikutusta ei energiankulutuslaskuissa täytynyt huomioida, koska Fluken analyysointilaitteen power & energy -toiminnolla pystytään erottamaan pätöteho loistehosta. Loistehoarvot otettiin kuitenkin talteen ja jaettiin Haloilan käyttöön.

Mittaustuloksia tarkastelemalla huomataan, että eniten sähköenergiaa kuluu, kun lavaa kääritään alhaalta ylöspäin, jolloin sekä käärintäkehän nosto-, että pyöritysmoottori, tekevät työtä. Käärintävän aika-teho-kuvaajan alussa näkyvä virtapiikki on seurausta, kun pyöritysmoottori kiihdyttää kehän pyörimisvauhdin maksiminopeuteen, jolloin moottorin teho nousee hetkellisesti suureksi.

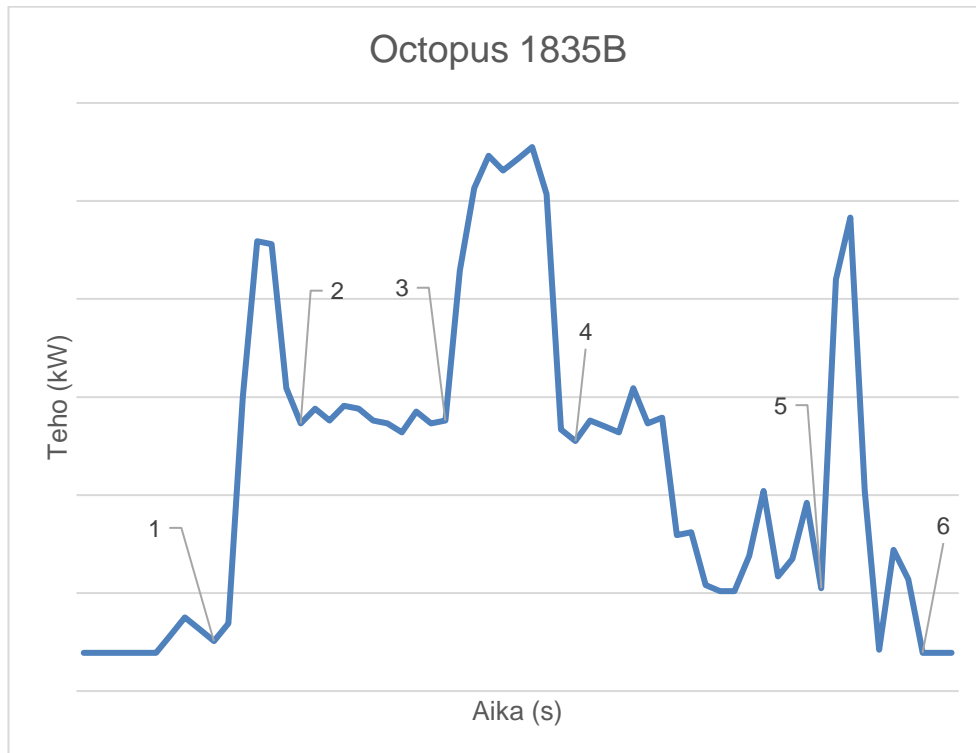
Alla olevat kuvat ovat Haloilan tehokkaimman käärintäkoneen, T200:n ja pienemmän kapasiteetin 1835B-koneen aika-teho-kuvaajat, joissa pystyakseli kuvaa tehoa ja vaakakseli aikaa. Kuvat ovat peräisin koneiden mittauksissa suoritetuista tuplakäärintävaiheista. Molemmista kuvaajista voidaan erottaa käärintävän eri vaiheet: Kohdassa 1-2

käärintäkehä kiihdyttää kelkan maksiminopeuteensa, josta suuri tehopiikki johtuu. Aikavälillä 2-3 kone käärii kehä paikallaan ja sen jälkeen alaspäin-liikkeessä. Koneen alaspäin-käärintä ei kuluta juurikaan enempää sähköenergiaa kuin käärintä paikallaan. Aikavälillä 3-4 kehä käärii alhaalta ylöspäin, joka on käärintän eniten energiaa kuluttava osuus. Ylöspäin-käärintän jälkeen kone käärii ylhäällä vielä muutaman kierroksen ja lopulta kelkka lopettaa lavan kiertämisen, minkä jälkeen saumain suorittaa liikkeensä. Tämä nähdään kohdassa 4-5. Lopulta kehä nousee ylös, joka erotetaan viimeisestä tehopiikistä.

Kuvio 1 Octopus T200 -käärintäkoneen aika-teho-kuvaaja



Kuvio 2 Octopus 1835B -käärintäkoneen aika-teho-kuvaaja



## 8 LOPUKSI

Opinnäytetyön tekeminen oli melko pitkä prosessi. Työ aloitettiin alkusyksyllä 2018, ja se jatkui pitkälle kevääseen 2019. Suurin haaste työn tekemisessä oli mittausten aikataulutus. Octopus-käärintäkoneet valmistetaan tilaustöinä, joten koneita ei ollut koko ajan valmiina mittauksia varten. Välillä kiire esti mittausten suorittamisen etukäteen suunnitellussa aikataulussa, jolloin oli sovittava mahdollinen uusi aika koneen testaajan ja tuotannon johtajan kanssa.

Huhtikuuhun mennessä yhtä lukuun ottamatta kaikki konemallit saatiin mitattua ja niiden energiankulutukset selvitettyä. Työn tekemistä helpotti aiempi työkokemus Haloilalla. Koska käärintäkoneet olivat melko tuttuja opinnäytetyön tekijälle, ei koneisiin tutustumiseen mennyt opinnäytetyötä tehdessä juurikaan aikaa. Haloilan työntekijät olivat myös innokkaita ja osaavia auttamaan, mistä oli suuresti apua työn tekemisessä.

Opinnäytetyö onnistui hyvin, koska tavoitteisiin päästiin ja Haloilalla on nyt tiedossaan konemallien energiankulutustiedot, joita voidaan jatkossa käyttää hyödyksi käärintäkoneiden suunnittelussa ja markkinoinnissa.

## LÄHTEET

Ahoranta, J. 2017. Sähkötekniikka Helsinki: Sanoma pro.

Crown Holdingsin www-sivut 2019. Viitattu 12.6.2019. <https://www.crowncork.com>

Finderin www-sivut 2019. Viitattu 28.2.2019. <https://www.finder.fi/Pakkauskoneet+pakkaustarvikkeet/M+Haloila+Oy+Ab/Masku/yhteystiedot/163727>

Fluken www-sivut 2019. Viitattu 2.3.2019. <https://www.fluke.com/fi-fi>

Grant, N 2011. Being energy efficient is key to being competitive. The Guardian. Viitattu 22.5.2019 <https://www.theguardian.com/sustainable-business/british-gas-energy-efficiency-competitive-advantage>

Haloilan www-sivut Viitattu 28.2.2019. <https://haloila.com/kaarintakoneet/?lang=fi>.

Octobook 2018. Haloila. Viitattu 28.2.2019

Silvonen, K 2017. Sähkötekniikka ja elektroniikka. Viitattu 13.4.2019 <https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/481824/course/section/95538/spe-ste-osa4.pdf>

Varjonen, V. 2017. Modulaarinen kenttäväylä Octopus-käärintäkoneissa. AMK-opinnäytetyö. Viitattu 28.2.2019. [http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201704255352'](http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201704255352)