

**Jari-Petteri Ahola**

# **MUOVITEHTAAN SÄHKÖNKULUTUSANALYYSI**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Huhtikuu 2015**

## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Yksikkö</b> Centria ammattikorkea- koulu, Ylivieskan yksikkö	<b>Aika</b> Huhtikuu 2015	<b>Tekijä</b> Jari-Petteri Ahola
<b>Koulutusohjelma</b> Sähkötekniikka		
<b>Työn nimi</b> MUOVITEHTAAN SÄHKÖNKULUTUSANALYYSI		
<b>Työn ohjaaja</b> Yrjö Muilu	<b>Sivumäärä</b> 39 + 11 Liitettä	
<b>Työelämäohjaaja</b> Kari Suontakanen		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Elecster Oy:lle Reisjärven tehtaalle. Työssä selvitettiin muovitehtaan energiankulutuksen jakautumista eri tuotantolinjoille ja sähkön kulu- tuksesta eri prosesseihin aiheutuvaa tuotantokustannusta.</p> <p>Tarkempiin kulutuskohteiden mittauksissa käytettiin Fluke 1730-energialoggeria. Pienempien laitteiden virrankulutusta mitattiin Fluken pihtimittarilla. Joidenkin kulu- tuskohteiden, kuten valaistuksen energiankulutuksen laskennassa selvitettiin koh- teen verkosta ottama sähköteho. Tämän jälkeen viikoittaisia käyttötunteja arvioi- malla saatiin selville viikkokulutus. Tehtaan kiinteistöautomaatiojärjestelmä ei kata energiankulutuksen seurantaa.</p> <p>Työssä myös verrattiin toteutunutta ja laskettua energiankulutusta, kun kaikkien lait- teiden viikoittaiset energiankulutukset oli saatu selville. Lopuksi ryhdyttiin jyvittä- mään kulutukset eri tuotantolinjoille. Jyvitetävät kohteet olivat kalvon valmistus, - painatus, -leikkaus ja kalvon kierrätys eli regranulointi sekä ruohomaton valmistus ja konepajateollisuus.</p>		

### Asiasanat

energiankulutus, kulutuskohte, energialoggeri, sähköteho, kiinteistöautomaatio,  
jyvitys

## ABSTRACT

<b>Unit</b> Centria University of Applied Sciences, Ylivieska unit	<b>Date</b> April 2015	<b>Author</b> Jari-Petteri Ahola
<b>Degree programme</b> Electrical engineering		
<b>Name of thesis</b> THE ELECTRICITY CONSUMPTION ANALYSIS FOR A PLASTIC FACTORY		
<b>Instructor</b> Yrjö Muilu	<b>Pages</b> 39 + 11 Appendixes	
<b>Supervisor</b> Kari Suontakanen		
<p>This thesis was made for Elecster Oy Reisjärvi factory. The purpose of thesis was to examine a plastic factory`s breakdown of energy consumption for different production lines and electricity consuming resulting from price for different processes.</p> <p>For more exact measurement results Fluke 1730-energy logger was used. To measure smaller devices Fluke`s clamp meter was used. Related to some consumption targets such as calculating the energy consumption for lighting also the mains electric power needed for device was found out. After that estimating the weekly working hours the weekly consumption was found out. The factory`s building automation system does not cover the energy monitoring.</p> <p>In this thesis the calculated consumption to the actual consumption was also compared, when all devices weekly energy consumptions were found out. Eventually consumptions for different production lines were allocated. The allocated territories were plastic film manufacturing, film printing, film slitting, grass carpet manufacturing, mechanical industry and film recycling ergo regranulation.</p>		

### Key words

energy consumption, consumption target, energy logger, electric power, building automation, allocation

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 ELECSTER OY</b>	<b>2</b>
2.1 Konzerni lyhyesti	2
2.2 Reisjärven tehdas	2
<b>3 Tietoperusta</b>	<b>4</b>
3.1 Teho vaihtosähkötekniikassa	4
3.1.1 Pätöteho	4
3.1.2 Loisteho	4
3.1.3 Näennäisteho	5
3.1.4 Teho kolmivaihejärjestelmässä	5
3.2 Energia ja hyötysuhde	6
3.3 Kompensointi	7
3.3.1 Kompensointi tehtaalla	8
<b>4 ENERGIATEHOKKUUDEN KEHITTÄMINEN</b>	<b>9</b>
4.1 Mittausjärjestelmän hankinta	9
<b>5 TEHTAAN SÄHKÖENERGIAN HINNAN JAKAUTUMINEN</b>	<b>12</b>
<b>6 TYÖSSÄ KÄYTETYT MITTALAITTEET</b>	<b>14</b>
6.1 Fluke 1730	14
<b>7 JYVITETTÄVÄT KOHTEET</b>	<b>16</b>
7.1 Kalvolinjat	16
7.2 Painokone	18
7.3 Leikkuri	20
7.4 Regranulaattori	21
7.5 Mattokone	23
7.6 Konepajateollisuus	24
7.7 Muut laiteryhvät	25
7.7.1 Kalvon prosessoinnin oheislaitteet	25
7.7.2 Kompressori ja kylmäkonelaitteisto	26
7.7.3 Valaistus ja ilmastointi	28
7.7.4 Muut laitteet	31
7.8 Muut jyvitykset	32
7.9 Tehtaan kokonaiskulutus ja kulutuksen tarkastelu	32
<b>8 TULOKSET</b>	<b>34</b>
8.1 Kulutuksen jyvitys ja kulutusosuudet	34
8.2 Sähkön kulutuksesta aiheutuva tuotantokustannus	35
<b>9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTAA</b>	<b>36</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>39</b>

## LIITTEET

### KUVIOT

KUVIO 1.	Tehokolmio vaihtosähkötekniikassa	5
KUVIO 2.	Energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmä	10
KUVIO 3.	Energiatehokkuuden mittausjärjestelmän hankinta	11
KUVIO 4.	Fluke 1730 -tiedonkeruulaite	14
KUVIO 5.	Kolmivaiheinen jännite- ja virtamittaus Fluke 1730 -piirturilla	15
KUVIO 6.	Kolmivaiheinen virtamittaus Fluke 1730 -piirturilla	15
KUVIO 7.	Irinan 3-kerroskalvon tuotanto ja kulutus viikossa	17
KUVIO 8.	Pietron 5-kerroskalvon tuotanto ja kulutus viikossa	18
KUVIO 9.	Painokoneen tuotanto ja kulutus viikossa	19
KUVIO 10.	Leikkurin tuotanto ja kulutus viikossa	20
KUVIO 11.	Regranulaattorin tuotanto ja kulutus viikossa	22
KUVIO 12.	Maton tuotanto ja kulutus viikossa	24
KUVIO 13.	Konepajateollisuuden tuotannon viikkokulutus	25
KUVIO 14.	Kalvon prosessoinnin oheislaitteiden viikkokulutus	26
KUVIO 15.	Kompressori 2:sen energiankulutus viikossa	27
KUVIO 16.	Kylmäkonelaitteiston energiankulutus viikossa	28
KUVIO 17.	Ilmastoinnin viikoittainen energiankulutus eri tehdasalueilla	29
KUVIO 18.	Valaistuksen viikoittainen energiankulutus eri tehdasalueilla	30
KUVIO 19.	Muiden laitteiden viikoittainen energiankulutus eri tehdasalueilla	31
KUVIO 20.	Erikoisjyvitykset joillekin ilmastointilaitteille ja valaistusryhmille	32
KUVIO 21.	Lasketun ja toteutuneen viikoittaisen energiankulutuksen vertailu	33
KUVIO 22.	Yhteenveto sähköenergian kulutuksesta ja kulutuksen kustannuksista	34
KUVIO 23.	Sähköenergian kulutusosuudet tuotantolinjoittain	35
KUVIO 24.	Paineilmaverkon vuodoista aiheutuvat kustannukset	37

### TAULUKOT

TAULUKKO 1.	Sähkön kulutuksen tuotantokustannukset prosesseittain	35
-------------	---	----

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli selvittää Elecster Oyj:n Reisjärven tehtaan sähköenergian kulutuksen jakautumista eri tuotantolinjoille. Nämä jakautuvat kohteet ovat kalvon valmistus, -painatus, -leikkaus ja -regranulointi, eli kierrätys sekä maton valmistus ja konepajateollisuus. Työssä selvitettiin myös edellä mainittujen tuotantolaitteiden, paitsi konepajateollisuuden sähköenergian kulutuksesta aiheutuvaa tuotantokustannusta.

Koska tehtaalla ei ollut energiankulutuksen seurantaan tarkoitettua kiinteistöautomaatiojärjestelmää, mittalaitteina käytettiin pääasiassa Fluke 1730-energialoggeria ja Fluken pihtimittaria. Energialoggeria käytettiin pääsääntöisesti suurien prosessilaitteiden mittauksiin, kuten kalvolinjoille, jolloin mittausaikana seurattiin laitteen tuotantoa. Tämän jälkeen selvitettiin vuoden 2014 myyntimäärät eri tuotteille, joiden avulla saatiin selville vuosikulutus eri tuotantolaitteelle ja tästä keskimääräinen viikkokulutus vuodelle 2014. Raporteissa energiankulutukset laskettiin viikkotasolla vuodelle 2014 EXCEL taulukoina.

Muissa kohteissa, kuten valaistuksessa ja ilmastoinnissa selvitettiin pääsääntöisesti laitteiden kulutustehot ja arvioitiin viikoittaisia käyttötunteja. Konepajateollisuusalueen laitteiden virtoja mitattiin Fluken pihtimittarilla työtilassa, joista saatu energiankulutus arvioitiin myös käyttötunneilla.

Kun kaikkien laitteiden viikkokulutukset olivat valmiina, ryhdyttiin jyvittämään kaikkien oheislaitteiden kulutusta omille tuotantolinjoille. Tämä jyvitys tehtiin sekä kulutuksen osuuden että sähkön kulutuksesta aiheutuvan tuotantokustannuksen määrittelyssä.

## **2 ELECSTER OY**

### **2.1 Konserni lyhyesti**

Elecster Oy on Helsingin pörssissä noteerattu julkinen osakeyhtiö, jonka kotipaikka on Akaa. Konsernilla on valmistamistoimintaa Suomen lisäksi Virossa Kiinassa ja Venäjällä. Elecster-konserni suunnittelee ja valmistaa pääasiassa Ultra High Temperature (UHT), eli iskukuumennetun maidon prosessointilaitteita, pakkauslinjoja sekä maidon pakkaukseen liittyviä pakkausmateriaaleja. Konsernin liiketoiminta jakautuu kolmeen segmenttiin, jotka ovat teollisuustuotteet, kuluttajatuotteet ja muut tuotteet. Teollisuustuoteasiakkaisiin kuuluvat pääasiassa meijerit ja kuluttajatuoteasiakkaita ovat rauta- ja sisustusalan tukkuliikkeet. Muiden tuotteiden segmenttiin kuuluvat alihankintapalvelut. (Elecster vuosikertomus 2013, 5, 9.)

Konsernin liikevaihto vuonna 2013 oli 45,349 milj. euroa, ja liikevoitto 3,531 milj. euroa. Kansainvälisen liiketoiminnan osuus liikevaihdosta oli 91,4 %. Henkilöstön määrä oli vuoden 2013 tilikaudella keskimäärin 343, josta ulkomailla 184. Asiakas-segmenteittäin henkilöstön määrä jakautui teollisuustuotteisiin 221, kuluttajatuotteisiin 43 ja muihin tuotteisiin 79. (Elecster vuosikertomus 2013, 9, 10, 12.)

### **2.2 Reisjärven tehdas**

Reisjärven tehdas sijaitsee Halosentie 1:ssä Reisjärvellä. Tehdas on perustettu v. 1974. Tehtaan toimintaan kuuluvat konepajateollisuus, joka käsittää meijereiden prosessointi- ja pakkauslaitteiden kokoonpanon. Konepajateollisuuteen kuuluvat myös hitsauslaitteet, sorvikoneet porakoneet, jne. Maitopussien valmistus käsittää kalvokoneita, joissa valmistetaan sekä 3-kerros, että 5-kerroskalvoa, kalvon väripainoa, leikkausta, eli slitteriä ja regranulointia, jossa tarpeeton kalvo kierrätetään takaisin kalvokoneille. Tehtaalla on myös ruohomaton valmistusta.

Henkilöstöä tehtaalla oli vuoden 2015 helmikuussa yhteensä 42. Reisjärven tehdas kulutti vuodessa (vuoden 2014 aikana) sähköenergiaa yhteensä noin 2,8GWh.

Tämä tekee viikossa keskimäärin 54,3MWh. Kun koko Suomen sähköenergiankulutus vuonna 2012 oli 85,1TWh, on Reisjärven tehtaan kulutuksen osuus koko Suomen kulutuksesta n. 0,0033 %. (Motiva: Sähkön hankinta ja kulutus 2012).



### 3 TIETOPERUSTA

#### 3.1 Teho vaihtosähkötekniikassa

##### 3.1.1 Pätöteho

Vaihtosähköpiirissä pättöteho on piirissä todellisesti kulutettu teho. Pätötehoa kulu-  
tetaan esim. silloin, kun vastuksessa sähköenergiaa muutetaan lämmöksi. Pätöte-  
hossa sekä virta, että jännite ovat samassa vaiheessa. Pätötehon yksikkö on Watti  
(W). Pätöteho [P] voidaan laskea seuraavasti:

$$P = U \cdot I_p \quad (1)$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (2)$$

jossa U on jännite, I on virta,  $I_p$  on pättövirta ja  $\varphi$  on vaihesiirtokulma. Vaihesiirtokul-  
man kosiinia nimitetään useimmiten tehokertoimeksi. (Ahoranta 2014, 165, 208.)

##### 3.1.2 Loisteho

Loistehoa syntyy, kun kuorma on kapasitiivinen tai induktiivinen, jolloin loistehoa  
nimitetään kapasitiiviseksi tai induktiiviseksi. Kapasitiivisessa kuormassa konden-  
saattori varautuu ja purkautuu, jolloin virta on 0 - 90° jännitteen edellä. Induktiivi-  
sessä loistehossa sähköenergia siirtyy sähköverkosta kelan magneettikenttään ja  
kelan magneettikentästä sähköverkkoon vuorotellen. Tässä virta on 0 - 90° jänni-  
tettä jäljessä. Loistehon yksikkö on vari (var). Loisteho (Q) voidaan laskea seura-  
vasti:

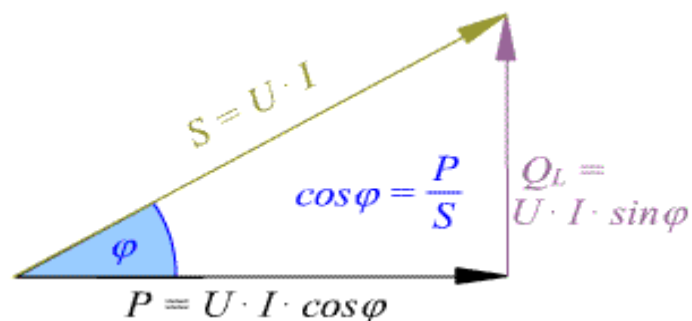
$$Q = U \cdot I_q \quad (3)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (4)$$

jossa  $I_q$  on loisvirta. Jos kuormassa on pelkästään häviötön kela tai kondensaattori, ei kuormassa esiinny lainkaan pätöenergiaa, eli sähköenergiaa. (Ahoranta 2014, 169, 170, 175, 208.)

### 3.1.3 Näennäisteho

Näennäisteho koostuu virran pätökomponentista ja loiskomponentista. Näennäistehon tunnus on  $S$  ja sen yksikkö volttilampeeri (VA).



KUVIO 1. Tehokolmio vaihtosähkötekniikassa. Pätö-, lois-, ja näennäisteho voidaan ratkaista suorakulmaisesta kolmiosta Pythagoran lauseen ja trigonometrian avulla. (Ahoranta 2014, 208).

Kuorma ottaa verkosta pysyvästi sähköenergiaa teholla  $P$ . Energia sykkii edestakaisin verkon ja kuorman välillä loisteholla  $Q$ . Täten näennäisteho ei ole mikään todellinen teho, vaan se on laskennallinen suure, jolla määritellään sähkölähteen suurin kuormitusteho. (Ahoranta 2014, 208.)

### 3.1.4 Teho kolmivaihejärjestelmässä

Kolmivaihejärjestelmässä on kolme syöttöjohtoa ( $L_1, L_2, L_3$ ) ja nollajohdin ( $N$ ). Täten kokonaisteho on kolminkertainen vaihetehoon nähden. Tällöin tehonlaskenta tapahtuu seuraavasti:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (5)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (6)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (7)$$

Yhtälöissä 5 – 7 jännite  $U$  on vaihejohtimien välinen pääjännite ja virta  $I$  syöttökaapelin vaihejohtimen päävirta. Tähtikytkennässä päävirta  $I$  ja vaihevirta  $I_v$  ovat yhtä suuria, kun taas pääjännite  $U$  on  $\sqrt{3}$  -kertainen vaihejännitteeseen  $U_v$  nähden. Kolmiokytkennässä taas vaihe- ja pääjännite ovat yhtä suuria, mutta päävirta on taas  $\sqrt{3}$  -kertainen vaihevirtaan. (Ahoranta 2014, 316.)

### 3.2 Energia ja hyötysuhde

Energia tai työ  $[W]$  voidaan laskea seuraavasti:

$$W = Pt \quad (8)$$

missä  $t$  on aika. Energian yksiköksi tulee tällöin wattisekunti (Ws), eli joule (J). Sähköenergian kulutuksen laskennassa käytetään kuitenkin kilowattituntia (kWh), tai megawattituntia (MWh). (Ahoranta 2014, 52 - 54.)

Tehohyötysuhteella  $[\eta]$  tarkoitetaan laitteesta hyödyksi saadun antotehon suhdetta laitteen kokonaiskuluttamaan ottotehoon. Koska laitteessa syntyy häviöitä, on hyötysuhde pienempi kuin yksi. Hyötysuhde lasketaan seuraavasti:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (9)$$

jossa  $P_2$  on laitteen antoteho ja  $P_1$  ottoteho. (Ahoranta 2014, 58)

### 3.3 Kompensointi

Kompensoinnissa induktiivisen kuorman rinnalle kytketään kondensaattori, jolloin kuorman tehokerroin paranee ja sähköverkosta ottama loisvirta voidaan lähes poistaa. Kompensointia toteutetaan esimerkiksi tehdasrakennuksen pääkeskuksessa, sähkömoottoreissa ja purkausvalaisimissa. Kun kondensaattorin kapasitiivinen ja sähkömoottorin induktiivinen loisvirta ovat yhtä suuria, sykkii moottorin tarvitsema loisteho edestakaisin moottorin magneettikentän ja kondensaattorin sähkökentän välillä, jolloin sitä ei tarvitse ottaa sähköverkosta. Kun moottorin loisvirta on suurempi kuin kondensaattorin, loistehoa on otettava sähköverkosta. Loistehoa otetaan verkosta myös silloin, kun kompensointikondensaattori on liian suuri kuorman rinnalle. Tätä kutsutaan ylikompensoinniksi. Tällöin tehokerroin menee kapasitiiviseksi. Kondensaattorin mitoituksessa on ensin saatava selville vaaditun kondensaattorin reaktanssi  $X_C$ . Se voidaan laskea seuraavasti:

$$X_C = \frac{U}{I_C} \quad (10)$$

jossa  $I_C$  on loisvirta, minkä kondensaattori pitää tuottaa, jotta loisvirta kompensoitaisiin. Tämän jälkeen voidaan ratkaista tarvittavan kondensaattorin kapasitanssi  $C$ :

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C} \quad (11)$$

jossa  $f$  on verkon taajuus. Kapasitanssin yksiköksi saadaan ampeerisekunti voltia kohden (As/V), eli faradi (F). Koska faradi on suuri yksikkö, käytetään useimmiten nanofaradia (nF) tai mikrofaradia ( $\mu$ F). Loistehomittaus vaaditaan, kun mittauspaikan pääsulake on yli 63A. Loistehoa sallitaan 16 % induktiivista ja 4 % kapasitiivista laskettuna 12 viimeisen eri kuukauden kahden ylimmän pätötehoaiipun keskiarvosta. Automaattinen kompensointilaitos on suunniteltava siten, ettei ylikompensointi missään tilanteissa ylitä 4 % raja-arvoa. Tässä säätöporras saa olla 10 - 50kvar. Yksittäis- ja ryhmäkompensoinnissa kompensointi ei saa ylittää kompensoitavan kohteen loistehontarvetta. (Ahoranta 2014, 215 – 218 & Loiste Sähköverkko Oy: Loistehon kompensointi 2014.)

### 3.3.1 Kompensointi tehtaalla

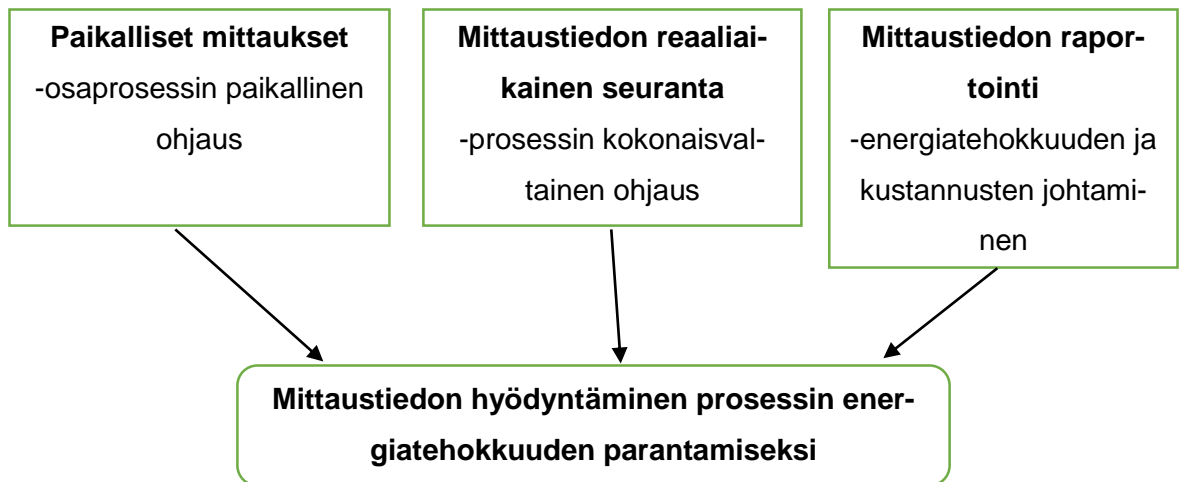
Opinnäytetyön tehdasrakennuksen pääkeskukselta lähtee kaksi nousukaapelia nousukeskus 1:seen ja nousukeskus 2:seen. Molemmissa nousukeskuksissa toteutetaan loistehon kompensointi. Kompensoinnin tehoporras nousukeskus 1:ssä on 25kVar ja nousukeskus 2:ssä 40kVar. Kun nousukeskuksen kuorman induktiivinen loisteho ylittää tehoportaan, kytkeytyvät tehokompensointia vastaavat kondensaattorit verkon rinnalle. Myös purkausvalaisimien loistehontarve on kompensoitu.

## **4 ENERGIATEHOKKUUDEN KEHITTÄMINEN**

Mikäli yritys haluaa tehostaa energiankäyttöä ja vähentää energiankulutusta, tarvitaan koko organisaation osaamista, innostusta ja panostamista energiatehokkuuteen. Päätösten tueksi tarvitaan mittauksia, mittauksista jalostettua tietoa ja energiatehokkuutta kuvaavia tunnuslukuja. Tavoitteellisen energiatehokkuustyön perustana on tuntee energiankulutuksen jakautuminen ja vaihtelut osasto- laite- ja linjatasolla. On myös tunnettava, mitkä tekijät vaikuttavat energiatehokkuuteen ja kulu- tukseen, kuten tuotannon määrä, tuotannon laatu, prosessien ajotavat, tuotantotehot, erilaiset raaka-aineet, tuotantokatkokset ja ulkoiset tekijät. Organisaatioissa on huomioitava, millä aikatasolla energiankulutusta ja tuotantoa seurataan, koska tuotanto ja energiankulutus saattavat vaihdella lyhyellä aikavälillä runsaastikin. Nämä vaihtelut eivät näy pitkässä aikavälitarkastelussa. (Motiva: Energiatehokkuuden mit- taus ja seurantajärjestelmän hankinta 2014, 2.)

### **4.1 Mittausjärjestelmän hankinta**

Päätösten pohjaksi on selvitettävä, mikä on järkevä, riittävä ja taloudellisesti perus- teltu mittaustarkkuus ja mitä mitataan. Ennen mittareiden hankintaa on selvitettävä, millä mittausmenetelmällä kyseistä kohdetta mitataan, mitä reunaehtoja kohde aset- taa mittaukselle ja mihin prosessin mittalaitteet sijoitetaan. Energiatehokkuuden seurantamittarit voivat olla erikseen tähän käytettäviä mittareita tai ne voivat olla osa jo olemassa olevia mittareita. Mittalaitteita on myös huollettava huolto-ohjelman mu- kaisesti ja niitä on syytä kalibroida tarvittavan väliajan. (Motiva: Energiatehokkuuden mittaus ja seurantajärjestelmän hankinta 2014, 2 - 3.)



KUVIO 2. Energiatehokkuuden mittaus- ja seurantajärjestelmä (Motiva: Energiatehokkuuden mittaus ja seurantajärjestelmän hankinta 2014, 4.)

Kun energiatehokkuuden mittausjärjestelmää kehitetään oikein, pystytään mahdollisiin muutoksiin reagoimaan nopeasti ja parannetaan näin prosessin energiatehokkuutta. Kerätyn tiedon käsittely antaa arvokasta tietoa jatkotoimenpiteisiin. Yksinkertaisimmillaan mittaukset voivat olla vain paikallisia kenttämittauksia, mutta seurannan kehittäessä voidaan paikalliset mittaukset liittää kiinteistössä olevaan kiinteistö- ja prosessiautomaatiojärjestelmään, jota voidaan täydentää. Pienehköissä teollisuuslaitoksessa käytössä voi olla vain kiinteistöautomaatiojärjestelmä, jolloin energiatehokkuuden seuranta rakennetaan vain eniten sähköä kuluttavien laitteiden ympärille, kuten kalvokoneisiin, sähkökeskuksiin tai kompressoriin. Mittaus- ja seurantajärjestelmän hankintaan ja dokumentointiin on varattava riittävästi aikaa ja resursseja. Hankittaessa kokonaan uutta järjestelmää tai laajennettaessa olemassa olevaa kiinteistö- tai prosessiautomaatiojärjestelmää voidaan hankinnassa edetä kuvion 3 mukaan. (Motiva: Energiatehokkuuden mittaus ja seurantajärjestelmän hankinta 2014, 4 - 5.)



KUVIO 3. Energiatehokkuuden mittausjärjestelmän hankinta (Motiva: Energiatehokkuuden mittaus ja seurantajärjestelmän hankinta 2014, 5).



## 5 TEHTAAN SÄHKÖENERGIAN HINNAN JAKAUTUMINEN

Sähköenergian hinta koostuu pääsääntöisesti sähkön tuotannosta ja siirrosta. Sähkön ostohinta v. 2014 oli 46,75€/MWh. Tähän tulee arvonlisävero (alv) päälle, joka on 24 %. Tällöin kokonaishinnaksi saadaan yhteensä 57,97€/MWh, tämä ilmeni Elecsterin ja Vantaan energian välisestä sähkösoituksesta. Yllä olevat hinnat ovat kiinnitettyjä hintoja vuodelle 2014.

Sähkön siirtohintaa katsottiin tehtaan sähkölaskusta ajalta (1.10 – 31.10.2014). Siirtohintaa talviarkipäivälle on 26,35€/MWh. Muina aikoina taas 12,5€/MWh. Siirtohintaan kuuluu myös sähkövero, joka on 7,03€/MWh. Näihin kaikkiin edellisiin siirtohintoihin tulee myös alv päälle, joka on 24 %.

Tässä vaiheessa saadaan sähköenergian hinnaksi talviarkipäivälle 99,36€/MWh. Muille ajoille hinta on taas 82,19€/MWh. Sähkölaskussa talviarkipäiväksi määritellään kaikki arkipäivät marraskuun alusta maaliskuun loppuun asti. Täten talviarkipäiviä on vuoden 2014 – 2015 välillä 107, kun taas muita päiviä puolestaan 258. Tällöin sähköenergian keskihinnaksi saadaan:

$$\frac{(258d \cdot 82,19\text{€}) + (107d \cdot 99,36\text{€})}{365d} = 87,22\text{€/MWh}$$

Edellä olevaa energianhintaa käytetään kaikissa laskelmissa. Kuitenkin sähkölaskun siirto hinnassa on vielä muutamia muitakin maksuja, joita ei huomioida energiankulutuksen hinnassa. Nämä ovat kiinteä perusmaksu, loistehomaksu ja tehomaksu. Kiinteä perusmaksu on 45,8€/kk, loistehomaksu 4,36€/kVar/kk ja tehomaksu 2,45€/kW/kk. Näihin maksuihin tulee myös alv päälle.

Tehomaksun mittajakso on yksi tunti, jossa laskutustehona käytetään viiden viimeisen talvikuukauden (1.11 – 31.3, klo 7 – 22) aikana mitatun kahden suurimman kuukausitehon keskiarvoa. Tehomaksua veloitetaan pienjännitteellä vähintään 40 kW tehon mukaan. Loistehomaksun perusteena on kuukausittainen loistehohuippu,

josta on vähennetty 20 % saman kuukauden pätötehohipun määrästä. (Fortum: Verkkopalveluhinnasto 2012, 4.)

## 6 TYÖSSÄ KÄYTETYT MITTALAITTEET

Tehtaalla ei ollut energiankulutuksen seurantaan tarkoitettua järjestelmää, paitsi sähköpääkeskuksen energiamittari. Tästä syystä laitteiden energiankulutuksen selvittämiseksi mittalaitteina käytettiin pääasiassa Fluke 1730-piirturia ja virrankulutusmittauksissa Fluken pihtimittaria. Pienemmissä laitteissa, kuten kalvolinjojen raaka-aineimureissa selvitettiin moottoreiden nimellistehot konekilvestä ja prosessointivaiheessa käyttöaikaa mitattiin sekuntikellolla 20min moottoria kohti. Epätarkimpana tuloksena käytettiin laitteen nimellistehoa arvokilvestä ja arvioitiin käyttötunnit viikkoa kohti erikseen.

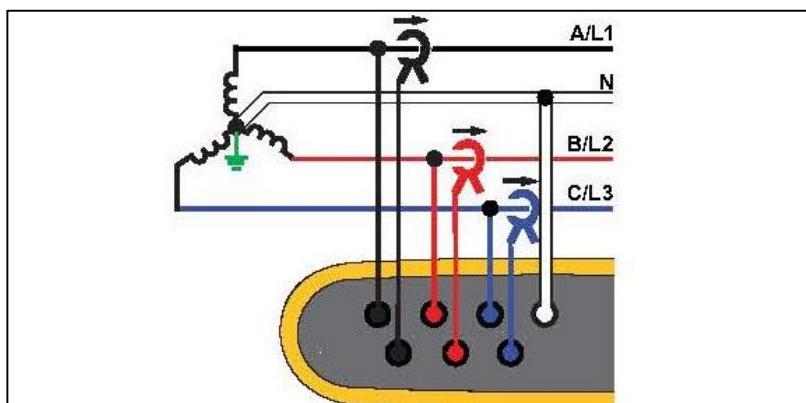
### 6.1 Fluke 1730



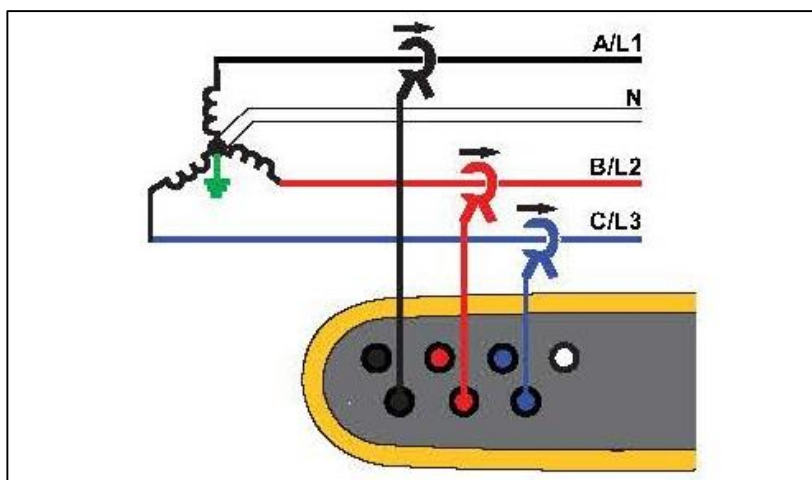
KUVIO 4. Fluke 1730 -tiedonkeruulaite

Tämä kolmivaiheinen mittalaite on tarkoitettu kulutuskohteen energiankulutuksen seurantaan ja sähkön laadun mittaamiseen. Jännite- ja virtamittauksien avulla (KUVIO 5) laite näyttää pätötehon, loistehon, näennäistehon ja tehokertoimen. Laitteen

piirtämän tehokäyrän keskiarvoitusjakson voi valita väliltä 1s – 30min ja energiankulutuskäyrän laskentaväliä voi valita väliltä 5min – 30min. Laite laskee mittausajan energiankulutuksen keskiarvon, minimiarvon ja maksimiarvon kelloaikoineen sekä vaiheittain että yhteensä. Myös esim. viikon mittauksesta voidaan tarkastella kulutuksen keskiarvoa erikseen vaikka yhdeltä päivältä. Tämän aikarajan asettaminen jälkikäteen onnistuu tuloksien tarkastelussa. Mittalaite laskee myös mittausjakson energiankulutuksen hinnan, jos käyttäjä asettaa ennen mittausta sähköenergialle hinnan (€/kWh). Sähkön laadun mittajalle saadaan selville myös jännitteen ja virran harmoninen kokonaissärö (THD). Virtamittauksen avulla (KUVIO 6) saadaan pääasiassa vain virrankulutuksen tiedot, josta jännitteen ja tehokertoimen avulla voidaan laskea tehonkulutus.



KUVIO 5. Kolmivaiheinen jännite- ja virtamittaus Fluke 1730 -piirturilla (Fluke 1730 Users manual 2013, 20).



KUVIO 6. Kolmivaiheinen virtamittaus Fluke 1730 -piirturilla (Fluke 1730 Users manual 2013, 20).

## 7 JYVITETTÄVÄT KOHTEET

Tehtaan kokonaisenergiankulutus jyvitetään tässä työssä kuuteen osaan. Nämä ovat kalvon valmistus, kalvon painatus, kalvon leikkaus, regranulointi, maton valmistus ja konepajateollisuus. Isoissa tuotantolaitteissa, kuten kalvolinjoissa seurattiin mittauksen aikana myös tuotannon määrää, jotta saadaan selville tuotantokustannus sähkön osalta ja pystytään selvittämään laitteen vuosikulutus ja sitä kautta keskimääräinen viikkokulutus vuoden 2014 mukaan. Tehtaalla oli jo valmiit raportit vuoden 2014 myyntimääristä. On huomioitava, että esim. kompressorin ja kylmäkonelaitteiston kuluttajaryhmiin kuuluu useampi jyvitetävistä kohteista. Sama on huomioitava yhteisten tilojen valaistuksesta ja ilmastoinnista. Joihinkin taulukoihin, kuten valaistukseen on arvioitu erikseen käyttötunnit tehtaan johtoryhmän kanssa. Muista laiteryhmistä käsitellään luvussa 7.7.

### 7.1 Kalvolinjat

Kalvon valmistus käsittää pääasiassa kalvohallin kaksi suurta kalvolinjaa. Irinan kalvolinja tuottaa 3-kerroskalvoa ja Pietro paksumpaa 5-kerroskalvoa. Kalvolinjat ovat tehtaalla suurimpia sähkönkuluttajia. Molempien kalvolinjojen energiankulutusta seurattiin viikon ajan Fluke 1730-piirturilla. Samalla myös seurattiin kalvolinjojen tuotantoa kilogrammoina, jotta saadaan selville sähköenergian tuotantokustannus. Kuvioissa 7 ja 8 näkyy kalvon tuotanto ja kulutus.

			Lisätiedot ja kaavat:
Kalvon tuotanto mittausviikolla (kg)	29988		
Tuotanto päivässä (kg)	5997,6		29988Kg / 5d
Tuotto (kg/h)	249,9		5997,6kg / 24h
Irinan energiankulutus mittausviikolla (kWh)	12885		
Sähköenergian keskihinta (€/kWh)	0,08722		
Sähköenergian kustannus mittausviikolla (€)	1123,83		12 885kWh x 0,08722€/kWh
Kulutus (kWh/kg)	0,430		12 885kWh / 29 988kg
Hinta (€/kg)	0,037		
Hinta (€/1000kg)	37,48		1 123,83€ / 29,988T
<p>Irinaa ajetaan 120h viikossa, josta lämmitysaikaan kului 3h 20min ja viikon päättyessä tuotantoa ei ole 2 tuntiin. Tuotantoseisahdus yht: 5h 20min.</p> <p>Irina tuottaa 3-kerroskalvoa. 3-kerroskalvoa tuotettiin 1 529 800kg vuonna 2014.</p> <p>Irinan kulutus vuodessa on: 1 529 800kg x (12 885kWh / 29 988kg) → 657 312kWh</p> <p>Irinan kulutus viikossa on: 657 312kWh / 52vk → 12 641kWh, eli</p> <p><u>12,641MWh</u></p>			

KUVIO 7. Irinan 3-kerroskalvon tuotanto ja kulutus viikossa vuoden 2014 keskiarvon mukaan

		Lisätiedot ja kaavat:
Kalvon tuotanto mittausviikolla (kg)	19200	
tuotanto päivässä (kg)	3840	19 200kg / 5d
Tuotanto (kg/h)	160	3 840kg / 24h
Pietron energiankulutus mittausviikolla (kWh)	10568	
Sähköenergian keskihinta (€/kWh)	0,08722	
Sähköenergian kustannus mittausviikolla (€)	921,74	10 568kWh x 0,08722€/kWh
Kulutus (kWh/kg)	0,55	10 568kWh / 19200kg
Hinta (€/kg)	0,048	
Hinta (€/1000kg)	48,01	921,74€ / 19,2T

Pietroa ajetaan 120h viikossa, mutta mittausaikana pietroa sammutettiin ja jouduttiin lämmittämään 4 kertaa. Seisahdusta tulee 22h 31min. Lisäksi työviikon päättyessä tuotantoa ei ole 2 tuntiin. Seisahdusaika yht: 24h 31min

Pietro tuottaa 5-kerroskalvoa. Sitä tuotettiin (v. 2014) 891 000kg.

Pietron kulutus vuodessa: 891 000kg x (10 568kWh / 19 200kg) → 490 421kWh

Pietron kulutus viikossa: 490 421kWh / 52vk → 9 431kWh, eli

9.431MWh

KUVIO 8. Pietron 5-kerroskalvon tuotanto ja kulutus viikossa vuoden 2014 keskiarvon mukaan

## 7.2 Painokone

Kalvon raaka-aineesta valmistettu kalvorulla siirretään painokoneelle ajettavaksi, jossa rullaan tehdään väripainoa asiakkaalle. Kuten kalvolinjoja, myös painokonetta ajetaan tavallisesti maanantaista perjantaihin vuorokauden ympäri, eli 120h viikossa. Painokone on kuitenkin melko suuri sähköenergiankuluttaja. Tehtaalla on nykyään käytössä Miraflex AM8-painokone. Painokoneen kulutusta ja tuotantoa seurattiin vuorokauden ajan, jotka näkyvät kuviossa 9. Kulutusta seurattiin Fluke

1730–piirturilla. Tuotannossa jouduttiin kuitenkin käyttämään vuoden 2014 keski-  
vertotuotantoa, koska suuri osa painokoneen laitteista oli päällä, vaikka painoko-  
neella ei välillä painettu yhtään kalvoa tai painonopeus oli hidas.

Päivämäärä ja kellonaika	Rullan numero	Rullan paino (kg)	värien lkm.
8.1.2015, klo 12:15	7891	626	4-väri
13:09:00	7892	626	4-väri
14:40:00	7889	330	4-väri
16:35:00	7889	300	5-väri
17:00:00	7893	626	5-väri
18:30:00	7887	420	5-väri
22:46:00	7894	626	6-väri
23:44:00	7898	626	6-väri
9.1.2015, klo 00:58	?	84	6-väri
06:30:00	7799	600	3-väri
07:15:00	7811	600	3-väri
10:18:00	6819	605	3-väri
10:50:00	6807	470	3-väri
11:15:00	6806	470	3-väri

Kyseisen päivän tuotanto ei vastannut keski-vertotuotantoa, jolloin laskennassa on käytettävä  
vuoden 2014 keski-vertotuotantoa. Suurin osa painokoneen laitteista oli päällä, vaikka  
painokoneella ei välillä painettu yhtään kalvoa tai painonopeus oli hidas.

Tuotanto viikossa: 46 554  
Tuotanto vuodessa: 2 420 800kg  
Tuotanto päivässä: 9 311kg

Lisätiedot ja kaavat:		
tuotettu kalvo vuorokaudessa yht (kg)	9310,77	
Tuotto viikossa samaan tahtiin (kg)	46553,85	5d x 9 310,77kg
Tuotto (kg/h)	388	9 310,77kg / 24h
Painokoneen energiankulutus mittauspäivänä (kWh)	1238,2	
Painokoneen energiankulutus viikossa (kWh)	6191	1 238,2kWh x 5d
Sähköenergian keskihinta (€/kWh)	0,08722	
sähköenergian kustannus mittauspäivänä (€)	108,00	1 238,2kWh x 0,08722€/kWh
Sähköenergian kustannus viikossa (€)	539,98	6 191kWh x 0,08722€/kWh
Kulutus (kvh/kg)	0,133	1 238,2kWh / 9 310,77kg
Hinta (€/kg)	0,012	
Hinta (€/1000kg)	11,60	108€ / 9,31077T

Painokoneen kulutus viikossa keskimäärin: 6.191MWh

KUVIO 9. Painokoneen tuotanto ja kulutus viikossa vuoden 2014 keskiarvon mu-  
kaan



### 7.3 Leikkuri

Painetulle kalvorullalle tehdään vielä viimeinen prosessi, jossa rulla leikataan pitkitäin. Käytössä oleva leikkuri on SRC Systems 410 Turret. Leikattu rulla vielä pakataan ennen asiakkaalle lähettämistä. Vaikka leikkuria ajetaan normaalisti kuten edellä mainittuja kalvokoneita 120h viikossa, jää sen kulutus huomattavasti pienemmäksi. Leikkurin, eli ns. slitterin kulutusta ja tuotantoa seurattiin kolmen vuorokauden ajan, jossa kulutusta mitattiin Fluke 1730-piirturilla. Kulutus ja tuotanto näkyvät kuviossa 10.

Aika	Tilausnumero	Valmistettu kalvo (kg)	Tilauksen vaihe (kg)
19.12.2014, klo: 9:09	44 01 26		(8768,92 / 17000)
	44 01 26	8231,08	
	19 11 66	2418,16	
	19 11 36	2562,28	
	19 11 40	4591,08	
	19 11 54	2530,92	
	19 11 53	1347,24	
	20 05 03	2476,8	
22.12.2014, klo: 9:09	36 05 04	5668,08	

		Lisätiedot ja kaavat:
Leikkurin tuottama kalvo 3:lla mittauspäivällä (kg)	38056,72	
tuotto viikossa (kg)	63427,87	(5/3)d x 38 056,72kg
Tuotto päivässä (kg)	12685,57	38 056,72kg / 3d
Tuotto (kg/h)	528,57	12 685,57kg / 24h
Leikkurin energiankulutus 3:lla mittauspäivinä (kWh)	232,128	
Leikkurin energiankulutus viikossa (kWh)	386,88	(5/3)d x 232,128kWh
Sähköenergian keskihinta (€/kWh)	0,08722	
sähköenergian kustannus 3:lla mittauspäivänä (€)	20,25	232,128kWh x 0,08722€/kWh
Sähköenergian kustannus viikossa (€)	33,74	280,743kWh x 0,08722€/kWh
Kulutus (kWh/kg)	0,0061	232,128kWh / 38 056,72kg
Hinta (€/kg)	0,00053	
Hinta (€/1000kg)	0,53	20,25€ / 38,05672T

Kalvoa tuotettiin (v. 2014) 2 420 800kg.

Leikkurin kulutus vuodessa on: 2 420 800kg x (232,128kWh / 38 056,72kg) → 14 766kWh

Leikkurin kulutus viikossa on: 14 766kWh / 52vk → 284kWh, eli

0,284MWh

KUVIO 10. Leikkurin tuotanto ja kulutus viikossa vuoden 2014 keskiarvon mukaan

## 7.4 Regranulaattori

Regranulaattorissa ns. jätekalvo kierrätetään takaisin kalvolinjojen raaka-aineeksi. Laittevalmistaja on Zhangjiagang Yili Machinery. Vaikka regranulaattori kuluttaa käytössään sähköä suurin piirtein saman verran kuin painokone, jää sen kulutus vuositasolla kuitenkin pieneksi, koska regranulaattoria käytetään harvoin. Yleensä mattokoneen työntekijä käyttää regranulaattoria, joten mattokonetta ja regranulaattoria ei ajeta samanaikaisesti. Regranulaattorin tuotantoa ja kulutusta seurattiin kahden vuorokauden ajan, jossa kulutusta mitattiin Fluke 1730-piirturilla. Kulutus ja tuotanto näkyvät kuviossa 11. Regranulointinopeus pidetään arvossa 160kg/h.

Työvuoron päivämäärä ja kellonaika	Regranulointijakson pituus (h, min)
24.2 – 25.2, klo: 22:00 – 10:00	9h 15min
25.2, klo: 10:00 – 22:00	12h
25.2 – 26.2, klo: 22:00 – 10:00	12h
26.2, klo: 10:00 – 22:00	11h 30min

Regranulointijakson pituus yhteensä (h): 44,75 (44h 45min)

Näytteenoton päivämäärä ja kellonaika	Regranuloitu kalvo (kg/2min)	Regranuloitu kalvo (kg/h)	
25.2, klo: 12:00	5,35	160,5	160
25.2, klo: 20:20	4,13	123,9	160
26.2, klo: 7:10	3,82	114,6	160
26.2, klo: 20:40	4,95	148,5	160

Regranulointinopeus keskimäärin (kg/h): 160

**Lisätiedot ja kaavat:**

Regranulaattorin tuotto mittaussiviikolla (kg):	7160,000	44,75h x 160kg/h
Tuotto (kg/h):	160	
Energiankulutus mittaussiviikolla (kWh):	2581	
Sähköenergian keskihinta (€/kWh):	0,08722	
Sähköenergian kustannus mittaussiviikolla (€):	225,11	2 581kWh x 0,08722€/kWh
Kulutus (kWh/kg):	0,3605	2 581kWh / 7 160kg
Hinta (€/kg):	0,0314	
Hinta (€/1000kg):	31,44	225,11€ / 7,16T

3-kerroskalvoa tuotettiin (v. 2014) 1 529 800kg, josta 11% regranuloitavaa. Se tekee 168 278kg. Regranuloitavaa jätekalvoa on myyty 112 080kg. Tällöin regranuloitavaksi jäi: 168 278kg – 112 080kg → 56 198kg

Regranulaattorin kulutus vuodessa: 56 198kg x (2 581kWh / 7 160kg) → 20 258kWh

Regranulaattorin kulutus viikossa: 20 258kWh / 52vk → 390kWh, eli

0,390MWh

KUVIO 11. Regranulaattorin tuotanto ja kulutus viikossa vuoden 2014 keskiarvon mukaan

## 7.5 Mattokone

Tehtaalla on nykyään käytössä kaksi Elecsterin valmistamaa mattokonetta, eli mattokone 1 ja 3. Tavallisesti vain mattokone 1:sellä tuotetaan mattorullia, mutta molempia mattokoneita ei kuitenkaan ajeta yhtä aikaa. Mattokonetta käytetään normaalisti 120h viikossa tai vähemmän. Mattokoneen kulutus lienee painokoneen luokkaa. Mattokone 1:sen kulutusta ja mattometrien tuotantoa seurattiin viikon ajan, jossa energiankulutusta mitattiin Fluke 1730-loggerilla. Kulutus ja tuotanto näkyvät kuviossa 12.

Pvm ja työvuoro	tuotettua mattoa	selitykset tuotteille
19.1 klo 06-14	15x16m	mattorullia
19.1 klo 14-22	28x16m	mattorullia
19.1 klo 22-06	27x16m	mattorullia
20.1 klo 06-14	(10x16m)+(300x0,6m)	mattorullia- ja paloja
20.1 klo 14-22	300x0,6m	mattopaloja
20.1 klo 22-06	(15x16m)+(300x0,6m) +(640x0,6m)	mattorullia- ja paloja
21.1 klo 06-14	27x16m	mattorullia
21.1 klo 14-22	28x16m	mattorullia
21.1 klo 22-06	26x16m	mattorullia
22.1 klo 06-14	27x16m	mattorullia
22.1 klo 14-22	28x16m	mattorullia
22.1 klo 22-06	27x16m	mattorullia
23.1 klo 06-14	27x16m	mattorullia
23.1 klo 14-22	27x16m	mattorullia
23.1 klo 22-06	24x16m	mattorullia

Lisätiedot ja kaavat:		
Mattoa tuotettu viikossa (m)	6300	
Työpäivässä (m)	1260	6 300m / 5d
Tuotto (m/h)	52,5	1260m / 24h
Sähköenergian kulutus mittausviikolla (kWh)	5703	
Sähköenergian keskihinta (€/kWh)	0,08722	
Sähköenergian kustannus mittausviikolla (€)	497,42	5 703kWh x 0,08722€/kWh
Kulutus (kWh/m)	0,905	5 703kWh / 6 300m
Hinta (€/m)	0,079	
Hinta (€/km)	78,95	497,38€ / 6,3km

Mattoa tuotettiin (v. 2014) 150 750m

Energiankulutus vuodessa: 150 750m x (5 703kWh / 6300m) → 136 465kWh

Energiankulutus viikossa: 136 465kWh / 52vk → 2 624kWh, eli

2,624MWh

KUVIO 12. Maton tuotanto ja kulutus viikossa vuoden 2014 keskiarvon mukaan

## 7.6 Konepajateollisuus

Konepajateollisuus, eli metallipuoli koostuu pääasiassa sorvikoneista, porakoneista, jyrsinkoneista, hitsauslaitteista, jne. Pääasiassa konepajateollisuuden tehtävänä on

maidon prosessointi- ja pakkauskoneiden valmistus. Metalliosaston ja sähköosaston työntekijöiden työtunnit ovat 40h viikossa. Kuviossa 13 näkyy huomioituja laitteita konepajateollisuuden energiankulutuksen osalta. Laitteiden virrankulutukset normaalikäytössä mitattiin Fluken pihtimittarilla.

Konepajateollisuus						
Energiankulutus viikossa konepajateollisuuden osalta						
Huomioitu laite	Teho konekilvestä (kW)	Tehokerroin mitatusta virrasta	Työtunteja päivässä	Työpäiviä vuodessa	Viikkoja vuodessa	Energiankulutus viikossa (kWh)
Jyrsi 3	3	0,564	4	1645	52	214,103
Sorvi 3	5,5	0,909	4	1645	52	632,629
Vannesaha	2,2	0,409	4	1645	52	113,859
Hitsauslaite	11,15	1,21	1	1645	52	426,798
Hitsauslaite	11,15	1,21	1	1645	52	426,798
Hitsauslaite	11,15	1,21	1	1645	52	426,798

Ks. Laiteluettelo Halli 1 ja Halli 4.

Konepajateollisuuden energiankulutus viikossa (kWh): 2240,987

2,241MWh

KUVIO 13. Konepajateollisuuden tuotannon viikkokulutus vuodelle 2014

## 7.7 Muut laiteryhmät

### 7.7.1 Kalvon prosessoinnin oheislaitteet

Tämä osio käsittää kalvon valmistuksen, painatuksen ja leikkaukseen liittyviä oheislaitteita. Irinan ja Pietron vakuumimoottoreiden virrankulutusta mitattiin tunnin ajan Fluke 1730-piirturilla, josta jännitteen avulla laskettiin teho. Kalvolinjojen raaka-ainemureista (kalvolinjan laitteisto M1, M2 ja M3) otettiin selville nimellisteho konekilvestä ja jokaisesta moottorista mitattiin käyntiaika 20min ajan. Painokoneeseen liittyvä VOC-kaasunpolttolaitoksen virrankulutusta mitattiin Fluken pihtimittarilla painokoneen ollessa seisahduksessa (standby) ja painokone tuotannossa (operating). Ultraäänipuhdistimen ja leikkaajan laatikkonostimen virtoja ei mitattu, vaan niiden tehot katsottiin konekilvestä, jonka teho kerrottiin realistisella käyntitehokertoimella 0,8. Oheislaitteiden viikkokulutuksesta on kerrottu kuviossa 14.

Kalvon valmistuksen lisälaitte				
Kalvon valmistuksen lisälaitteiden kustannukset viikossa				
Laite	Nimellisteho (kW)	Käyntiaika	Käyntiaika tunnissa	Energiankulutus tunnissa (kWh)
Kalvolinjan laitteisto (M1)	2,7	2min 25sec / 20min	7min 15sec	0,326
Kalvolinjan laitteisto (M2)	2,7	3min 20sec / 20min	10min	0,450
Kalvolinjan laitteisto (M3)	2,6	4min 10 sec / 20min	12min 30sec	0,542

Tehon laskenta-kaava:  $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$

Laite	Mitattu virta I (A)	cosφ	Pääjännite U (V)	Teho P(kW)
VOC Standby	2,5	0,85	400	1,47
VOC Operating	9,2	0,85	400	5,42
Laatikkonostin slitterillä	Ei tarvita (Nimellisteho 5,2kW)	-	-	5,2
Kalvolinjan II Pietro vacumimoottori	11,82	0,86	400	7,043
Kalvolinjan I Irina vacumimoottori	14,56	0,86	400	8,673

Pietron ja Irinan vacumimoottorien (3~) virrat mitattiin tunnin ajan Fluke 1730 energialoggerilla. Viikottaiset käyttötunnit vacumimoottoreihin on otettu kalvolinjojen energiankulutusmittauksista. (ks. Irina ja Pietro) Käyttötunnit ovat lähtökohtaisesti 120h, joista vähennetään lämmitysajat ja muut seisahdukset. Raaka-aineimureille käyttötunnit ovat molempien vacumimoottoreiden käyttötuntien keskiarvo.

Sähköenergian keskihinta (€/kWh) 0,08722

Laite	Energiankulutus tunnissa (kWh)	Käyttötehokerroin	Jyvitys	Käyttötunnit viikossa (h)	Energiankulutus viikossa (kWh)	Kustannus viikossa (€)
Kalvolinjan I Irina vacumimoottori	8,673	1	Kalvo	114,67	994,533	86,74
Kalvolinjan II Pietro vacumimoottori	7,043	1	Kalvo	95,48	672,466	58,65
Kalvolinjan raaka-aineimuri (M1)	0,326	1	Kalvo	105,1	34,294	2,99
Kalvolinjan raaka-aineimuri (M2)	0,450	1	Kalvo	105,1	47,295	4,13
Kalvolinjan raaka-aineimuri (M3)	0,542	1	Kalvo	105,1	56,933	4,97
VOC Standby	1,47	1	Paino	48	70,560	6,15
VOC Operating	5,42	1	Paino	120	650,400	56,73
Ultraäänipuhdistin (Caresonic)	4,5	0,8	Paino	4	14,400	1,26
Laatikkonostin slitterillä	5,2	0,8	Slitter	80	332,800	29,03

Kulutus lisälaitteille yht: (kWh) 2873,68035

2,874MWh

KUVIO 14. Kalvon prosessoinnin oheislaitteiden viikkokulutus ja kulutuksen jyvitys vuodelle 2014

### 7.7.2 Kompressori ja kylmäkonelaitteisto

Kompressorin ja kylmäkonelaitteiston energiankulutusta mitattiin Fluke 1730-piirturilla. Seuranta-aika kompressorille oli kolme vuorokautta ja kylmäkonelaitteistolle

viikko. Kompressorihuoneessa on 2kpl kompressoreita, joista kompressori 1 on käytössä vain poikkeuksellisessa paineilmapuutteessa tai kompressori 2:sen ollessa huollossa. Kylmäkonelaitteisto oli v.2014 aikana vain puolet ajasta päällä, joten sen viikkokulutus oli puolitettava seuratusta kulutuksesta. Kuitenkin kylmäkonelaitteisto on ainoa laite, jossa sähkön kulutuksen tuotantohintaa määriteltäessä oletetaan laitteen olevan jatkuvasti päällä. Kompressori 2:sen viikkokulutuksesta on kerrottu kuviossa 15 ja kylmäkonelaitteiston kulutuksesta kuviossa 16.

		Lisätiedot ja kaavat
Energiankulutus arkipäivänä (1.12, klo 8 – 2.12 klo 8, 2014) (kWh)	327,98	
Energiankulutus vapaapäivänä (29.11 klo 1 – 30.11 klo 1, 2014) (kWh)	162,55	
Energiankulutus viikossa yht (kWh)	1965	$(5 \times 327,98\text{kWh}) + (2 \times 162,55\text{kWh})$
Sähköenergian keskihinta (€/kWh)	0,08722	
Kustannus viikossa (€)	171,39	$0,08722\text{€/kWh} \times 1965\text{kWh}$

Jyvitysalue	%
Metalli	41
Matto	10
Kalvo	25
Paino	20
Slitteri	3
Regranulaattori	1
Yht:	100

Kompressorin energiankulutus viikossa keskimäärin: 1,965MWh

KUVIO 15. Kompressori 2:sen energiankulutus viikossa ja sen jyvitys tuotantolinjoitain vuodelle 2014



Chiller		
Lisätiedot ja kaavat:		
Tuotettu kalvo mittausviikolla (kg)	34100	
Tuotto päivässä (kg)	6820	34 100kg / 5d
Tuotto (kg/h)	284,2	6 820kg / 24h
Kylmäkonelaitteiston energiankulutus mittausviikolla (kWh)	1011	
kalvolinjojen kulutusosuus 80% (kWh)	808,8	0,8 x 1 011kwh
sähköenergian keskihinta (€/kWh)	0,08722	
sähköenergian kustannus mittausviikolla (€)	70,54	808,8kwh x 0,08722€/kwh
Kulutus (kwh/kg)	0,024	808,8kwh / 34 100kg
Hinta (€/kg)	0,00207	
Hinta (€/1000kg)	2,07	70,54€ / 34,1T

Jyvitysalue kylmäkonelaitteistolle	%
Metalli	0
Matto	10
Kalvo	80
Paino	5
Slitteri	0
Regranulaattori	5
Yht:	100

Kylmäkonelaitteisto on ollut vain puolet ajasta päällä v. 2014. Tällöin keskimääräinen viikkokulutus on: 0,5 x 1 011kWh → 505,5kWh, eli

0,506MWh

Huomi! Kun taas tarkastellaan sähköenergian kustannusta tuotantoon nähden, oletetaan kylmäkonelaitteiston olevan päällä ympäri vuoden. Tällöin viikkokulutus on:

1 011kwh

KUVIO 16. Kylmäkonelaitteiston energiankulutus viikossa ja sen jyvitys tuotantolinjoittain vuodelle 2014

### 7.7.3 Valaistus ja ilmastointi

Ilmastointilaitteiden kulutuksen selvittämiseksi selvitettiin kaikki tehdasrakennuksen ilmastointilaitteet ja niiden nimellistehot. Käyttötuntien selvittämiseksi käytiin jokaisen ilmastointilaitteen luona ja selvitettiin myös alueen työntekijöiltä, kuinka usein eri puhaltimia pidetään päällä ja millä teholla. Kun käyttötunneista päästiin yhteisymmärrykseen, tehtiin kuvion 17 mukainen taulukko, jossa viikkokulutukset eri tehdasalueilta ovat jo valmiina.

Ilmastoinnin energiankulutus viikossa			
<u>Sähköenergian keskihinta €/kWh)</u>		<u>0,08722</u>	
Ilmastoinnin kohde	Energiankulutus viikossa (kWh)	Jyvitys	Kustannus viikossa (€)
Halli 1	323,600	Konepaja	28,22
Hallin 1 konttori- ja sosiaalitilat	403,200	Metalli	35,17
Halli 2 konttoreiden ilmastointi	393,960	Jyvitys 2	34,36
Kalvo-osasto	1600,200	Kalvon valmistus	139,57
Paino-osasto, värivarasto ja painolaattapesutila	2458,120	Paino	214,40
Leikkausosasto	203,280	Slitter	17,73
Halli 4	1307,100	Konepaja	114,01
Hallin 4 kompressorin jäähdytys	272,160	Katso kompressori	23,74
Halli 5	759,360	Matto 50%, Kalvo 30%, regranulaattori 20%	66,23
Hallin 5 liuotainnevarastot	164,640	Paino	14,36
<u>Ilmastoinnin energiankulutus viikossa (kWh)</u>		<u>7885,62</u>	
		<u>7,886MWh</u>	

KUVIO 17. Ilmastoinnin viikoittainen energiankulutus eri tehdasalueilla ja kulutuksen jyvitys tuotantolinjoittain vuodelle 2014

Tehtaan valaistus koostuu pääasiassa loistevalaisimista ja elohopeahöyryvalaisimista. Tehtaalla oli omat valaisinluettelot tuotantohalleihin ja ulkovalaistukseen, mutta konttoritilojen, polttolaitos VOC:in ja värivarastojen valaistukset katsottiin vielä erikseen. Tehdasrakennuksen purkausvalaisimet ovat enimmäkseen vanhoja, joissa ei ole elektronista liitälaitetta vaan kuristin. Kuitenkin valaisimissa on kompensointikondensaattorit loistehon kompensointiin. Elohopeahöyrylampun ja loistevalaisimen edellä oleva kuristin lämpenee ja ottaa näin myös verkosta virtaa. Tästä syystä otettiin selville yhden loistevalaisimen hyötysuhde. Kyseinen valaisin oli 2x36W, jonka arvokilvestä katsottiin nimellisjännite, nimellisvirta ja tehokerroin. Näistä saatiin selville pätöteho, joka oli 99.26W. Valaisimen hyötysuhteeksi tulee tällöin 0,725. Tämän hyötysuhteen käänteisarvolla kerrottiin kaikkien loistevalaisimien ja elohopeahöyryvalaisinten tehot lamppujen tehoista. Tämän jälkeen arvioi-

tiin vuosittaisia viikkokäyttöjä ja viikoittaisia käyttötunteja johtoryhmän kanssa. Lopulta näistä tiedoista koottiin yhteenveto valaistuksen viikoittaisesta energiankulutuksesta, joka näkyy kuviossa 18.

<b>Valaistuksen energiankulutus viikossa</b>							
		Sähköenergian keskihinta (€/kWh)		0,08722			
Alue	Kohde	Tehot yhteensä (kW)	Jyvitys	käyttötunnit viikossa (h)	Viikkokäyttö vuodessa	Energiankulutus viikossa (kWh)	Kustannus viikossa (€)
Halli 1	Yleisvalaistus	14,889	Konepaja	50	48/52	687,185	59,94
	Konttori- ja sosiaalitilat	2,16	Jyvitys 1	80	48/52	159,508	13,91
Halli 2	Yleisvalaistus	15,912	Jyvitys 2	120	50/52	1836,000	160,14
	Varaston valaistus	5,997	Jyvitys 2	50	50/52	288,317	25,15
	Sähköosaston valaistus	1,257	Metalli	45	48/52	52,214	4,55
	Konttoritilojen valaistus	1,992	Jyvitys 1	40	48/52	73,551	6,42
	Painolaattapesutilan valaistus	1,555	Paino	120	50/52	179,423	15,65
Halli 3	Kalvo-osasto	8,225	Kalvo	120	50/52	949,038	82,78
	Paino-osasto	8,867	Paino	120	50/52	1023,115	89,24
	Leikkausosasto	1,759	Slitteri	120	50/52	202,962	17,70
	Värivarasto	0,397	Paino	120	50/52	45,808	4,00
Halli 4	Yleisvalaistus	17,71	Metalli	45	48/52	735,646	64,16
	Kompressorihuone	0,32	Jyvitys 2	1	52/52	0,320	0,03
	Sähköpääkeskus	0,199	Jyvitys 2	1	52/52	0,199	0,02
Halli 5	Maalaamo	0,877	Metalli	30	48/52	24,286	2,12
	Matto-osasto	18,14	Matto	120	50/52	2093,077	182,56
	Regranulointi	0,48	Regranulointi	120	50/52	55,385	4,83
	Kalvo-osaston varasto	0,96	Kalvo	120	50/52	110,769	9,66
	Liutinainevarasto 1	0,199	Paino	1	50/52	0,191	0,02
	Liutinainevarasto 2	0,32	Paino	1	50/52	0,308	0,03
	Konttori- ja sosiaalitilat	1,023	Jyvitys 2	100	50/52	98,365	8,58
Muut	VOC	0,16	Paino	1	50/52	0,154	0,01
	Ulkovalaistus	3,96	Jyvitys 2	40	52/52	158,400	13,82
Valaistuksen energiankulutus viikossa yht (kWh)				8774,221			
				<u>8,774MWh</u>			
Valaistuksen kustannus viikossa yht (€)				765,29			

KUVIO 18. Valaistuksen viikoittainen energiankulutus eri tehdasalueilla ja kulutuksen jyvitys tuotantolinjoittain vuodelle 2014

### 7.7.4 Muut laitteet

Muita huomioitavia laitteita energiankulutuksen tarkastelussa ovat autonlämmitystolpat, trukkien latauslaitteet, lämmönjakokeskuksen pumput ja painolaattapesukone. Laitteista selvitettiin nimellistehot konekilvistä ja käyttötunteja arvioitiin johtoryhmän kanssa. Trukkien latauslaitteisiin ja painolaattapesukoneen kulutuksia ei mitattu, vaan ne kerrottiin realistisella käyttötehokertoimella 0,8. Yhteenveto muiden laitteiden viikoittaisesta energiankulutuksesta näkyy kuviossa 19. Pienimmät laitteet, kuten tietokoneet, kahvinkeitimet ja jääkaapit jätettiin energiankulutuksen tarkastelun ulkopuolelle.

Muiden huomioitavien laitteiden energiankulutus viikossa						
<u>Sähköenergian keskihinta (€/kWh) 0,08722</u>						
Laite	Teho (kW)	käyttöteho kerroin	Jyvitys	Käyttötunnit viikossa (h)	Energiankulutus viikossa (kWh)	Kustannus viikossa (€)
Trukin latauslaite työntömastotrukille ROCLA (hallissa 2)	6,5	0,8	Kalvo 60%, Matto 30%, Metalli 10%	24	124,8	10,89
Trukin latauslaite työntömastotrukille APEKO (hallissa 2)	4	0,8	Kalvo 60%, Matto 30%, Metalli 10%	24	76,8	6,70
Trukin latauslaite työntömastotrukille KÄRCHER (hallissa 2)	0,8	0,8	Metalli 50%, Kalvo 40%, Matto 10%	24	15,36	1,34
Trukin latauslaite työntömastotrukille BT lifters (hallissa 1)	1,38	0,8	Metalli	24	26,496	2,31
Pumppu A1	0,42			0,035 – 0,8	Pumppujen tehot arvokilvissä kahtena arvoina, joten tehona käytetään keskiarvoa	
Pumppu A4	0,42			0,035 – 0,8		
Pumppu A10	0,42			0,035 – 0,8		
Pumppu A2	0,1			0,01 – 0,185		
Pumppu A9	0,18			0,135 – 0,22		
Pumppujen arvioitu käyntitehot yhteensä:	1,54		Metalli 50%, Kalvo 40%, Matto 10%	168	258,72	22,57
Painolaattojen pesukone	7,3	0,8	Paino	5	29,2	2,55
Autolämmitys (30kpl x 1kW)	30	1	Metalli	4,93	147,9	12,90

HUOM! Autonlämmitystolppia käytetään yli 3kk, jolloin käyttöajaksi tulee 3kk x 30d =90 päivää. Talvella lämmitystolppia käytetään yleensä 2 kertaa 2 tunnin ajan.

Lämmitystolppien käyttö viikossa keskimäärin:  $(90d/365d) \times (2 \times 2h \times 5d/viikko) = 4,93h$

Kulutus muille laitteille yht (kWh) 679,276

0,679MWh

KUVIO 19. Muiden laitteiden viikoittainen energiankulutus eri tehdasalueilla ja kulutuksen jyvitys tuotantolinjoittain vuodelle 2014

## 7.8 Muut jyvitykset

Yhteisten tilojen valaistuksessa ja ilmastoinnissa, kuten sosiaalityötiloissa, konttoreissa tai varastossa käytettiin omia jyvityksiä. Jyvitys 1:ssä on laskettu tehtaan koko henkilöstö ja henkilöstön jakautuminen kaikkiin eri tuotantolinjoihin. Jyvitys 2:ssä on taas paino-osaston, leikkausosaston ja regranulaattorin henkilöstöä jyvitetty kalvo-osastoon. Erikoisjyvityksistä on kerrottu kuviossa 20.

<b>Jyvitys 1</b>		
Osasto	Henkilöt	%
Metalli	19	45
Matto	4	10
Kalvo	5	12
Paino	7	17
Slitteri	6	14
Regranulaattori	1	2
Yht:	42	100

<b>Jyvitys 2</b>		
Osasto	Henkilöt	%
Metalli	19	45
Matto	4	10
Kalvo	19	45
Yht:	42	100

KUVIO 20. Erikoisjyvitykset joillekin ilmastointilaitteille ja valaistusryhmille

## 7.9 Tehtaan kokonaiskulutus ja kulutuksen tarkastelu

Kun kaikkien laitteiden energiankulutukset saatiin koottua yhteen, oli aika tarkastella tuloksen oikeellisuutta ja virheprosenttia. Tehtaan käyttöraportista saatiin selville kokonaiskulutus vuodelle 2014 ja tästä keskimääräinen toteutunut viikkokulutus. Tämän jälkeen laskettiin kaikkien edellisten laitteiden ja laiteryhmiä viikkokulutukset yhteen ja vertailtiin näitä toteutuneisiin kulutuksiin. Kuten kuviosta 21 näkee, laskettu kokonaiskulutus on 1,04 kertaa suurempi, kuin toteutunut energiankulutus, joten virheprosentti on 4. Täten lasketun kokonaiskulutuksen tarkkuutta voidaan pitää hyvänä.

## Kulutus yhteensä

## Tehtaan kulutus viikossa

Laite / laiteryhmä	Kulutus (Mwh)
Kylmäkonelaitteisto (Chiller)	0,506
Kompressori 2	1,965
Irina kalvolinja	12,641
Pietro kalvolinja	9,431
Painokone (Miraflex)	6,191
SRC slitter	0,284
Mattokone 1	2,624
Rregranulaattori	0,390
Valaistus	8,774
Ilmastointi	7,886
Kalvon valmistuksen lisälaitteet	2,874
Muut laitteet	0,679
Konepajateollisuus	2,241
<b>Yht:</b>	<b>56,486</b>

Laskettu kokonaiskulutus on 1,04 kertaa suurempi, kuin toteutunut kulutus vuodelta 2014.

Virheprosentti (%) 4

Tehtaan energiankulutus viikossa keskimäärin 54,3MWh

Vuosikulutus 2014 saatu alla olevasta käyttöraportista: 2 823 588 kWh



KUVIO 21. Lasketun ja toteutuneen viikoittaisen energiankulutuksen vertailu vuodelle 2014

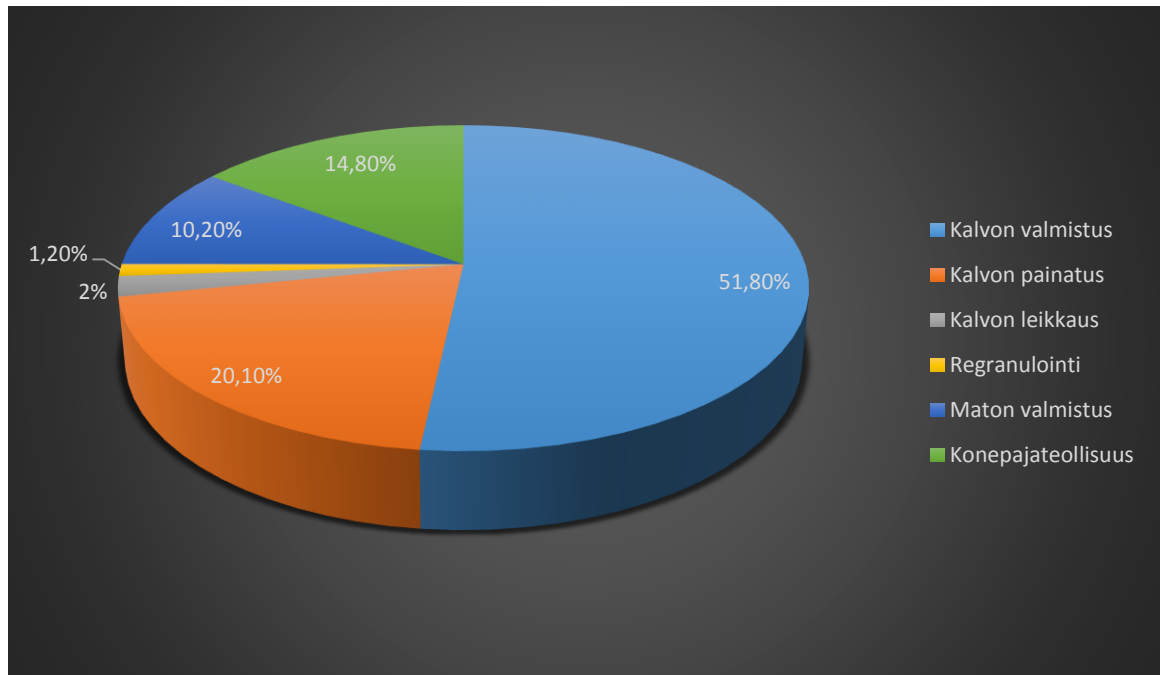
## 8 TULOKSET

### 8.1 Kulutuksen jyvitys ja kulutusosuudet

Kun tehtaan kokonaiskulutus tarkasteltiin ja hyväksyttiin, oli aika lähteä jyvittämään kulutukset kaikille tuotantolinjoille. Tässä jokaiselle jyvitetävälle alueelle koottiin omat raportit huomioitavista laitteista, jyvityskertoimesta, kulutuksesta ja kulutuksen hinnasta viikkotasolla. Nämä raportit näkyvät liitteissä 1 - 6. Kun kaikki jyvitetävät alueet oli käsitelty, ryhdyttiin laatimaan loppuraporttia, joka näkyy kuviossa 22. Kuviossa 23 on vielä havainnollistettu tarkemmin kulutusosuudet kullekin tuotantolinjalle. Jos kuviota 21 ja 22 vertaa, huomaa että kokonaiskulutukset viikkotasolla poikkeavat toisistaan 1kWh verran, tämä johtuu pyöristysvirheestä.

Yhteenveto			
Yhteenveto sähköenergian kulutuksesta ja hinnasta tuotantolinjoittain vuoden 2014 tuotannon mukaan			
Sähköenergian kulutus ja kulutusosuus tuotantolinjoittain:			
Tuotantolinja	Kulutus viikossa (Mwh)	Kulutus vuodessa (Mwh)	Kulutusosuus koko tehtaan kulutuksesta (%)
Kalvon valmistus	29,237	1520,324	51,8
Kalvon painatus	11,340	589,680	20,1
Kalvon leikkaus	1,123	58,396	2,0
Regranulointi	0,650	33,800	1,2
Maton valmistus	5,760	299,520	10,2
Konepajateollisuus	8,377	435,604	14,8
<b>Yhteensä</b>	<b>56,487</b>	<b>2937,324</b>	<b>100</b>
Sähköenergian käytön kustannukset tuotantolinjoittain:			
Tuotantolinja	Kustannus viikossa (€)	Kustannus vuodessa (€)	
Kalvon valmistus	2550,05	132602,66	
Kalvon painatus	989,07	51431,89	
Kalvon leikkaus	97,95	5093,30	
Regranulointi	56,69	2948,04	
Maton valmistus	502,39	26124,13	
Konepajateollisuus	730,64	37993,38	
<b>Yhteensä</b>	<b>4926,80</b>	<b>256193,40</b>	
<b>Sähköenergian keskihinta (€/Mwh)</b>		<b>87,22</b>	

KUVIO 22. Yhteenveto sähköenergian kulutuksesta ja kulutuksen kustannuksista vuoden 2014 tuotannon mukaan



KUVIO 23. Sähköenergian kulutusosuudet tuotantolinjoittain

## 8.2 Sähkön kulutuksesta aiheutuva tuotantokustannus

Sähköenergian tuotantokustannus analysoitiin Irinan ja Pietron kalvolinjoille, painokoneelle, leikkurille, regranulaattorille ja mattokoneelle. Pelkkien tuotantolinjojen tuotantokustannus saatiin selville energiamittauksesta ja tuotannon seurannasta ja yhteenvedoon otettiin mukaan kaikki jyvittävät kohteet, jotka ilmenevät luvussa 8.1. Kuitenkin tuotantokustannusta määritellessä oletetaan kylmäkonelaitteiston olevan päällä vuoden ympäri. Sähkön kulutuksesta aiheutuvat tuotantokustannukset eri prosesseihin näkyvät taulukossa 1. Tarkemmin näistä liitteissä 7 - 11.

TAULUKKO 1. Sähkön kulutuksen tuotantokustannukset prosesseittain

Tuotantolinja	Hinta tuotantolinjalle	Kokonaishinta
Irina (3-kerroskalvon valmistus))	37,48€/1 000kg	49,17€/1 000kg
Pietro (5-kerroskalvon valmistus)	48,01€/1 000kg	66,45€/1 000kg
Kalvon painatus	11,60€/1 000kg	21,29€/1 000kg
Kalvon leikkaus	0,53€/1 000kg	2,10€/1 000kg
Regranulointi	31,44€/1 000kg	54,46€/1 000kg
Maton valmistus	78,95€/km	174,81€/km



## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTAA

Työn tavoitteena oli saada selville sähköenergian kulutusosuudet eri tuotantolinjoille ja tuotantokustannukset sähkökulutuksen osalta eri prosesseihin. Työssä myös vertailtiin toteutunutta ja laskettua energiankulutusta. Näissä kulutuserot olivat viikoktasolla n. 2MWh, eli n. 4 %, joten tuloksien tarkkuutta voidaan pitää hyvänä. Pienimmät laitteet, kuten tietokoneet, jääkaapit ja mittalaitteet jätettiin energiakatselmuksen ulkopuolelle. Näiden laitteiden kulutukset jäivät kuitenkin mitättömän pieniksi, eikä niiden tarkasteleminen olisi juurikaan tuloksia muuttanut.

Painokoneen kulutuksen seurannassa olisi todennäköisesti päästy tarkempiin tuloksiin, jos kulutusta ja tuotantoa olisi seurattu vuorokauden sijasta viikon ajan. Tässä laskennassa käytettiin vuoden 2014 keskivertotuotantoa, koska seurattua tuotantoa ei voitu käyttää tietoperustana. Syynä tähän on se, että painokoneen painonopeus oli hidas tai painokoneella ei välillä painettu lainkaan kalvoa, vaikka suurin osa koneen laitteista oli päällä. Tarkempiin tuloksiin olisi päästy myös mittaamalla vuorokauden ajan leikkaajan laatikkonostimen kulutusta, koska tuloksia tarkastellessa laatikkonostin kuluttaa viikossa enemmän energiaa, kuin itse leikkuri. Myös kompressorin kulutuksessa olisi päästy vähän tarkempiin tuloksiin, mikäli seuranta-aika olisi kolmen päivän sijaan ollut viikko.

Osa työssä esitetyistä tuloksista, kuten konepajateollisuuden, ilmastoinnin ja valaistuksen kulutukset perustuvat arvioihin. Pääsääntöisesti arvioitavia muuttujia olivat viikoittaiset käyttötunnit ja vuosittaiset käyttöviikot. Energiamittareiden asentaminen yksittäisiin valaistusryhmiin olisi ollut kallista ja aikaa vievää toimintaa. Tarkkojen mittausten tekeminen konepajateollisuuden kulutukselle olisi ollut jopa mahdotonta. Myös työ- ja elinkeinoministeriön tukemat energiakatselmukset perustuvat osittain arvioihin.

Vaikka työn tarkoituksena ei ollut etsiä säästökohteita, huomattiin, että kompressori kulutti lauantain ja sunnuntain välisenä vuorokautena 162,55kWh sähköä vuorokaudessa, vaikka tehtaalla ei työskennelty ketään tuolloin. Tämä johtuu paineilmajärjestelmän vuodoista. Kun kompressori hukkaa joka päivä tuon energian, aiheutuvat

kustannukset ovat yli 5 000€ vuodessa. Kompressorin päävirta on mahdollista myös katkaista viikonlopun ajaksi, mikäli näin voidaan tehdä. Paineilmavuodon vaikutuksista kustannuksiin on selvitetty kuviossa 24.

*Käyttöpaine 6 bar, ympäristön paine 1 bar, kompressorin ominaisteho 7 kW/m<sup>3</sup>/min, käyttötunnit 8000 h/a, sähkön hinta 50 €/MWh, pyöristetty sisäänvirtausreuna.*

Reiän läpimitta (mm)	Reiän poikkipinta-ala (mm <sup>2</sup> )	Ilmamäärä (m <sup>3</sup> /min)	Kustannus (€/a)
1	0,79	0,064	179
1,5	1,77	0,145	406
2	3,14	0,257	720
3	7,07	0,578	1618
4	12,57	1,028	2878
5	19,64	1,606	4497
6	28,27	2,313	6476
8	50,27	4,112	11514
10	78,54	6,425	17990
12	113,10	9,252	25906

**Motiva**

KUVIO 24. Paineilmaverkossa tai käyttölaitteessa olevan reiän läpi menevän ilman määrä ja kustannusvaikutus (Motiva: Energiatehokas paineilmajärjestelmä osa 2, 12).

Tehtaalla voitaisiin säästää kustannuksissa loistehomaksun osalta, jos nousukusten kompensointia uusitaan. Tässä voitaisiin kondensaattorit mitoittaa 10kVar säätöportaisiin. Kompensointilaitoksen uusiminen on kuitenkin kallista, joten tämä ei ole ajankohtainen toimenpide kustannusten säästämiseksi. Loistehomaksun kustannukset ovat tällä hetkellä kuukaudessa n. 300 euroa.

Lisäksi mittauksista kävi ilmi, kuinka tuotantokatkokset nostavat tuotantokustannuksia. Tämä näkyy selkeimmin Irian ja Pietron kalvolinjoiden kulutusta vertaillen, jossa Piettoa sammutettiin viikkotuotannon aikana yhteensä kolme kertaa mutta Irian kalvolinjaa ei viikon aikana sammutettu kertaakaan. Tuotantokustannuksia nostavat pääasiallisesti tuotantolaitteiden esilämmitykset. Sähkökulutuksessa sääste-

tään jonkin verran sammuttamalla turhat valaistukset ja ilmastointilaitteet sekä katkaisemalla laitteiden päävirtoja, kun niitä ei käytetä. Näissä asioissa näyttää tehtaan henkilöstöllä olevan innostusta melko hyvin.

## LÄHTEET

Elecster vuosikertomus 2013. Www dokumentti. Saatavissa: [http://www.elecster.fi/docs/Vuosikertomus\\_2013.pdf](http://www.elecster.fi/docs/Vuosikertomus_2013.pdf). Luettu 19.3.2015.

Motiva: Sähkön hankinta ja kulutus 2012. Www dokumentti. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto\\_suomessa/sahkon\\_hankinta\\_ja\\_kulutus](http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/sahkon_hankinta_ja_kulutus). Luettu 26.3.2015

Ahoranta, J. 2014. Sähkötekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Loiste Sähköverkko Oy: Loistehon kompensointi (2014). Www dokumentti. Saatavissa: <http://www.loiste.fi/sites/default/files/loistehon-kompensointi.pdf>. Luettu 24.3.2015.

Motiva: Energiatehokkuuden mittaus ja seurantajärjestelmän hankinta (2014). Www dokumentti. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/9845/Energiatehokkuuden\\_mittaus- ja\\_seurantajarjestelman\\_hankinta.pdf](http://www.motiva.fi/files/9845/Energiatehokkuuden_mittaus- ja_seurantajarjestelman_hankinta.pdf). Luettu 2.9.2014.

Fortum Sähkönsiirto Oy: Verkkopalveluhinnasto (2012). Www dokumentti. Saatavissa: [https://www.fortum.fi/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-siirto-ja-liittymat/FSS\\_Verkkopalveluhinnasto\\_Fin\\_1.7.2012.pdf](https://www.fortum.fi/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-siirto-ja-liittymat/FSS_Verkkopalveluhinnasto_Fin_1.7.2012.pdf)

Fluke 1730 Users manual (2013). Www dokumentti. Saatavissa: <http://www.fluke.com/fluke/m3en/power-quality-tools/logging-power-meters/fluke-1730.htm?PID=77038>. Luettu 10.4.2015.

Motiva: Energiatehokas paineilmajärjestelmä osa 2 (2009). Www dokumentti. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/1569/Energiatehokas\\_paineilmajarjestelma\\_OSA2.pdf](http://www.motiva.fi/files/1569/Energiatehokas_paineilmajarjestelma_OSA2.pdf). Luettu 16.3.2015

## LIITTEET

### Liite 1. Yhteenveto kalvon valmistuksesta ja siihen jyvitetävistä kohteista

Kalvon valmistus				
Kalvon valmistuksen kulutus viikossa vuoden 2014 tuotannon mukaan				
Laiteryhmä	Laite	Jyvityskerroin	Energiankulutus viikossa (kWh)	Jyvitetty kulutus viikossa (kWh)
Tuotantolaitteet	Kalvolinja 1 (Irina)	1	12641,000	12641,000
	Kalvolinja 2 (Pietro)	1	9431,000	9431,000
Lisälaitteet	Kylmäkonelaitteisto (Chiller)	0,8	505,500	404,400
	Irian Vacuummoottori	1	994,533	994,533
	Pietron Vacuummoottori	1	672,466	672,466
	Kalvolinjojen raaka-aineimurit (M1+M2+M3)	1	138,522	138,522
	Kompressori 2	0,25	1965,000	491,250
Valaistus	Hallin 1 konttori- ja sosiaalitilat	0,12	159,508	19,141
	Hallin 2 yleisvalaistus	0,45	1836,000	826,200
	Varaston valaistus (halli 2)	0,45	288,317	129,743
	Halli 2 konttoritilat	0,12	73,551	8,826
	Kalvo-osasto	1	949,038	949,038
	Kompressorihuone	0,45	0,320	0,144
	Sähköpääkeskus	0,45	0,199	0,090
	Kalvo-osaston varasto	1	110,769	110,769
	Konttori- ja sos.tilat	0,45	98,365	44,264
Ulkovalaistus	0,45	158,400	71,280	
Ilmanvaihto / Ilmastointi	Halli 2 konttoreiden ilmastointi	0,45	393,960	177,282
	Kalvo-osasto	1	1600,200	1600,200
	Kompressorihuoneen jäähdytys	0,25	272,160	68,040
	Halli 5	0,3	759,360	227,808
Muuta laitteet	Trukin latauslaite työntömastotrukille ROCLA (hallissa 2)	0,6	124,800	74,880
	Trukin latauslaite työntömastotrukille APEKO (hallissa 2)	0,6	76,800	46,080
	Trukin latauslaite työntömastotrukille KÄRCHER (hallissa 2)	0,4	15,360	6,144
	Lämmönjakokeskuksen pumput (yht)	0,4	258,720	103,488
Sähköenergian keskihinta (€/Mwh):			87,22	
Kalvon valmistuksessa kuluva sähköenergia viikossa (Mwh)				29,237
Sähköenergian kustannus kalvon valmistukseen viikossa (€)				2550,02

Liite 2. Yhteenveto kalvon painatuksesta ja siihen jyvitetävistä kohteista

Kalvon paino				
Kalvon painatuksen kulutus viikossa vuoden 2014 tuotannon mukaan				
	Laite	Jyvityskerroin	Energiankulutus viikossa (kWh)	Jyvitetty kulutus viikossa (kWh)
Tuotantolaitteet	Painokone	1	6191,000	6191,000
Lisälaitteet	Kompressori 2	0,2	1965,000	393,000
	VOC Standby	1	70,560	70,560
	Voc Operating	1	650,400	650,400
	Ultraäänipuhdistin (Caresonic)	1	14,400	14,400
	Kylmäkonelaitteisto (Chiller)	0,05	505,500	25,275
Valaistus	Konttori- ja sos. tilat (halli 1)	0,17	159,508	27,116
	Konttoritilat (halli 2)	0,17	73,551	12,504
	Painolaattapesutila	1	179,423	179,423
	Paino-osasto	1	1023,115	1023,115
	Väriverasto	1	45,808	45,808
	Liutinainevarasto 1	1	0,191	0,191
	Liutinainevarasto 2	1	0,308	0,308
	VOC	1	0,154	0,154
Ilmanvaihto / Ilmastointi	Paino-osasto, väriverasto ja painolaattapesutila	1	2458,120	2458,120
	Kompressorihuoneen jäähdytys	0,2	272,160	54,432
	Hallin 5 liutinainevarastot	1	164,640	164,640
Muut laitteet	Painolaattojen pesukone	1	29,2	29,2
Sähköenergian keskihinta (€/Mwh)			87,22	
Kalvon painamisessa kuluva sähköenergia viikossa (Mwh)				11,340
Sähköenergian kustannus kalvon painamisessa viikossa (€)				989,04

Liite 3. Yhteenveto kalvon leikkauksesta ja siihen jyvitetävistä kohteista

Kalvon leikkaus (Slitter)				
Kalvon leikkauksen kulutus viikossa vuoden 2014 tuotannon mukaan				
Laiteryhmä	Laite	Jyvityskerroin	Energiankulutus viikossa (kWh)	Jyvitetty kulutus viikossa (kWh)
Tuotantolaitteet	Leikkuri	1	284,000	284,000
	Kompressori 2	0,03	1965,000	58,950
Lisälaitteet	Laatikkonostin slitterille	1	332,800	332,800
Valaistus	Konttori- ja sosiaalitalat (halli 1)	0,14	159,508	22,331
	Konttoritalat (halli 2)	0,14	73,551	10,297
	Leikkausosasto	1	202,962	202,962
Ilmanvaihto / Ilmastointi	Leikkausosasto	1	203,280	203,280
	Kompressorihuoneen jäähdytys	0,03	272,160	8,165
Sähköenergian keskihinta (€/Mwh)		87,22		
Kalvon leikkauksessa kuluva sähköenergia viikossa (Mwh)				1,123
Sähköenergian kustannus kalvon leikkaamisessa viikossa (€)				97,93

Liite 4. Yhteenveto kalvon regranuloinnista ja siihen jyvitetävistä kohteista

Regranulointi				
Kalvon regranuloinnin kulutus viikossa vuoden 2014 tuotannon mukaan				
Laiteryhmä	Laite	Jyvitys / käyttökerroin	Energiankulutus viikossa (kWh)	Jyvitetty kulutus viikossa (kWh)
Tuotantolaitteet	Regranulaattori	1	390,000	390,000
Lisälaitteet	Kompressori 2	0,01	1965,000	19,650
	Kylmäkonelaitteisto (Chiller)	0,05	505,500	25,275
	Konttori- ja sos. tilat (halli 1)	0,02	159,508	3,190
Valaistus	Konttoritalat (halli 2)	0,02	73,551	1,471
	Regranulointialue	1	55,385	55,385
Ilmanvaihto / Ilmastointi	Kompressorihuoneen jäähdytys	0,01	272,160	2,722
	Halli 5	0,2	759,360	151,872
Sähköenergian keskihinta (€/Mwh)		87,22		
Regranuloinnissa kuluva sähköenergia viikossa (Mwh)				0,650
Sähköenergian kustannus kalvon regranulointiin viikossa (€)				56,66

Liite 5. Yhteenveto maton valmistuksesta ja siihen jyvitetävistä kohteista

Maton valmistus				
Maton valmistuksen kulutus viikossa vuoden 2014 tuotannon mukaan				
Laiteryhmä	Laite	Jyvitys / käyttökerroin	Energiankulutus viikossa (kWh)	Jyvitetty kulutus viikossa (kWh)
Tuotantolaitteet	Mattokone 1	1	2624,000	2624,000
Lisälaitteet	Kompressori 2	0,1	1965,000	196,500
	Kylmäkonelaitteisto (Chiller)	0,1	505,500	50,550
Valaistus	Konttori- ja sos. tilat (halli 1)	0,1	159,508	15,951
	Yleisvalaistus (halli 2)	0,1	1836,000	183,600
	Varasto	0,1	288,317	28,832
	Konttoritilat (halli 2)	0,1	73,551	7,355
	Kompressorihuone	0,1	0,320	0,032
	Sähköpääkeskus	0,1	0,199	0,020
	Matto-osasto	1	2093,077	2093,077
	Konttori- ja sos. tilat (halli 5)	0,1	98,365	9,837
	Ulkovaalaistus	0,1	158,400	15,840
Ilmanvaihto / Ilmastointi	Halli 2 konttorit	0,1	393,960	39,396
	Kompressorihuoneen jäähdytys (halli 4)	0,1	272,160	27,216
	Halli 5	0,5	759,360	379,680
Muut laitteet	Trukin latauslaite työntömastotrukille ROCLA (hallissa 2)	0,3	124,800	37,440
	Trukin latauslaite työntömastotrukille APEKO (hallissa 2)	0,3	76,800	23,040
	Trukin latauslaite työntömastotrukille KÄRCHER (hallissa 2)	0,1	15,360	1,536
	Lämmönjakokeskuksen pumput	0,1	258,720	25,872
Sähköenergian keskihinta (€/Mwh)		87,22		
Maton valmistuksessa kuluva sähköenergia viikossa (Mwh)			5,760	
Sähköenergian kustannus maton valmistuksessa viikossa (€)			502,37	



Liite 6. Yhteenveto konepajateollisuudesta ja siihen jyvitetävistä kohteista

Konepajateollisuus				
Konepajateollisuuden kulutus viikossa vuoden 2014 mukaan				
Laiteryhmä	Laite	Jyvityskerroin	Energiankulutus viikossa (kWh)	Jyvitetty kulutus viikossa (kWh)
Huomioidut tuotantolaitteet	Jyrsi 3	1	214,103	214,103
	Sorvi 3	1	632,629	632,629
	Vannesaha	1	113,859	113,859
	Hitsauslaite	1	426,798	426,798
	Hitsauslaite	1	426,798	426,798
	Hitsauslaite	1	426,798	426,798
Lisälaitteet	Kompressorit 2	0,41	1965,000	805,650
Valaistus	Halli 1 yleisvalaistus	1	687,185	687,185
	Konttori- ja sos. tilat (halli 1)	0,45	159,508	71,779
	Halli 2 yleisvalaistus	0,45	1836,000	826,200
	Varasto	0,45	288,317	129,743
	Sähköosasto	1	52,214	52,214
	Konttoritilat (halli 2)	0,45	73,551	33,098
	Halli 4 yleisvalaistus	1	735,646	735,646
	Kompressorihuone	0,45	0,320	0,144
	Sähköpääkeskus	0,45	0,199	0,090
	Maalaamo	1	24,286	24,286
	Konttori- ja sos. tilat (halli 5)	0,45	98,365	44,264
Ulkovalaistus	0,45	158,400	71,280	
Ilmanvaihto / Ilmastointi	Halli 1	1	323,600	323,600
	Hallin 1 konttori- ja sos. tilat	1	403,200	403,200
	Halli 2 konttorit	0,45	393,960	177,282
	Halli 4	1	1307,100	1307,100
	Kompressorihuoneen jäähdytys	0,41	272,160	111,586
Muut laitteet	Trukin latauslaite työntömastotrukille ROCLA (hallissa 2)	0,1	124,800	12,480
	Trukin latauslaite työntömastotrukille APEKO (hallissa 2)	0,1	76,800	7,680
	Trukin latauslaite työntömastotrukille KÄRCHER (hallissa 2)	0,5	15,360	7,680
	Trukin latauslaite työntömastotrukille BT lifters (hallissa 1)	1	26,496	26,496
	Lämmönjakokeskuksen pumput	0,5	258,720	129,360
	Autonlämmitystolpat	1	147,900	147,900
Sähköenergian keskihinta (€/Mwh)			87,22	
Konepajateollisuudessa kuluva sähköenergia viikossa (Mwh)			8,377	
Sähköenergian kustannus viikossa konepajateollisuuteen (€)			730,64	

Liite 7. Yhteenveto kalvon valmistuksen sähkökustannuksista tuotantoon nähden

Kalvon valmistus	
Sähköenergian keskihinta (€/kwh)	0,08722
<u>Irian 3-kerroskalvolinjan alueen kulutus viikossa (kwh)</u>	<u>16586,527</u>
<u>Pietron 5-kerroskalvolinjan alueen kulutus viikossa (kwh)</u>	<u>13054,460</u>
<u>Irian 3-kerroskalvolinjan tuotanto vuodessa (kg)</u>	<u>1529800</u>
<u>Irian 3-kerroskalvolinjan tuotanto viikossa (kg)</u>	<u>29419,23</u>
<u>Pietron 5-kerroskalvolinjan tuotanto vuodessa (kg)</u>	<u>891000</u>
<u>Pietron 5-kerroskalvolinjan tuotanto viikossa (kg)</u>	<u>17134,62</u>
Irina: 3-kerros kalvolinjan kustannukset	
Kulutus (kWh/kg)	0,430
Hinta (€/kg)	0,037
Hinta (€/1000kg)	<b>37,48</b>
Irina: 3-kerros kalvon valmistuskustannukset yhteensä	
Kulutus (kWh/kg)	0,564
Hinta (€/kg)	0,049
Hinta (€/1000kg)	<b>49,17</b>
Pietro: 5-kerros kalvolinjan kustannukset	
Kulutus (kWh/kg)	0,550
Hinta (€/kg)	0,048
Hinta (€/1000kg)	<b>48,01</b>
Pietro: 5-kerros kalvon valmistuskustannukset yhteensä	
Kulutus (kWh/kg)	0,762
Hinta (€/kg)	0,066
Hinta (€/1000kg)	<b>66,45</b>

Liite 8. Yhteenveto kalvon painatuksen sähkökustannuksista tuotantoon nähden

Sähköenergian keskihinta (€/Mwh)	87,22
Kalvon painamisessa kuluva sähköenergia viikossa (Mwh)	11,365
Kalvon tuotanto vuodessa (kg)	2420800
Kalvon tuotanto viikossa (kg)	46553,85
Painokone (Miraflex) kustannukset	
Kulutus (kwh/kg)	0,133
Hinta (€/kg)	0,012
Hinta (€/1000kg)	<b>11,60</b>
Kalvon painatuksen kustannukset yhteensä	
Kulutus (kwh/kg)	0,244
Hinta (€/kg)	0,021
Hinta (€/1000kg)	<b>21,29</b>

Liite 9. Yhteenveto kalvon leikkauksen sähkökustannuksista tuotantoon nähden

Sähköenergian keskihinta (€/Mwh)	87,22
Kalvon leikkauksessa kuluva sähköenergia viikossa (Mwh)	1,123
Kalvon tuotanto vuodessa (kg)	2420800
Kalvon tuotanto viikossa (kg)	46553,85
SRC Slitteri	
Kulutus (kwh/kg)	0,006
Hinta (€/kg)	0,001
Hinta (€/1000kg)	<b>0,53</b>
Kalvon leikkaus	
Kulutus (kwh/kg)	0,024
Hinta (€/kg)	0,002
Hinta (€/1000kg)	<b>2,10</b>

Liite 10. Yhteenveto jätekalvon regranuloinnin sähkökustannuksista tuotantoon nähden

<u>Sähköenergian keskihinta (€/Mwh)</u>	<u>87,22</u>
<u>Regranuloinnissa kuluva sähköenergia viikossa (Mwh)</u>	<u>0,675</u>
<u>Regranuloitu kalvo vuodessa (kg)</u>	<u>56198</u>
<u>Regranuloitu kalvo viikossa (kg)</u>	<u>1080,731</u>
<u>Regranulointikoneen kustannukset laskettu tuotolla 160kg/h</u>	
Kulutus (kwh/kg)	0,361
Hinta (€/kg)	0,031
Hinta (€/1000kg)	<b>31,44</b>
<u>Kokonaiskulutus regranuloinnissa (kaikki laitteet) laskettu tuotolla 160 kg/h</u>	
Kulutus (kwh/kg)	0,624
Hinta (€/kg)	0,054
Hinta (€/1000kg)	<b>54,46</b>

Liite 11. Yhteenveto ruohomaton valmistuksen sähkökustannuksista tuotantoon nähden

<u>Sähköenergian keskihinta (€/Mwh)</u>	<u>87,22</u>
<u>Maton valmistuksessa kuluva sähköenergia viikossa (Mwh)</u>	<u>5,810</u>
<u>Maton tuotanto vuodessa (m)</u>	<u>150750</u>
<u>Maton tuotanto viikossa (m)</u>	<u>2899</u>
<u>Mattokone 1</u>	
Kulutus (kWh/m)	0,905
Hinta (€/m)	0,079
Hinta (€/km)	<b>78,95</b>
<u>Maton tuotanto</u>	
Kulutus (kWh/m)	2,004
Hinta (€/m)	0,175
Hinta (€/km)	<b>174,81</b>