

# **Sahateollisuuden tuotannon energiakatselmus**

Roope Tossavainen

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2018  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Tossavainen, Roope	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä marraskuu 2018
	Sivumäärä 78	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Sahateollisuuden tuotannon energiakatselmus</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK) energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kari Hytönen, Hannariina Honkanen		
Toimeksiantaja(t) Osakeyhtiö lamit.fi		
Tiivistelmä <p>Osakeyhtiö lamiti.fin asiakkaalla oli tarvetta kehittää sahalaitoksensa energian ja veden käyttöä. Tämän takia asiakkaalle osoittautui tarpeelliseksi hankkia selvitys, jonka avulla heidän sahalaitoksensa energiatehokkuuttaan pystyttäisiin parantamaan. Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia energiakatselmus sahatuotantolaitokselle.</p> <p>Energiakatselmus on laaja selvitys kohteen tämän hetkisestä energian ja vedenkulutuksesta. Siihen kuuluu nykytilanteen kulutusten kartoittamista. Ja tämän pohjalta laaditaan toimenpide-ehdotuksia, joiden tarkoituksena on vähentää kohteen energian ja veden kuluusta, energian käyttöön liittyviä kustannuksia sekä CO<sub>2</sub> (hiilidioksidi) päästöjä.</p> <p>Tietoperustaa liittyen sahalaitoksen ja energiakatselmuksiin haettiin paljon sähköisistä ja kirjallisista lähteistä. Kohteena olevaan sahatuotantolaitokseen ja sen kulutuksiin tutustuttiin sieltä annettujen dokumenttien pohjalta ja suorittamalla sinne tarkastuskäyntejä. Tarkastuskäyntien tiedonhankinta perustui omiin havaintoihin ja sahan työntekijöiden antamiin tietoihin.</p> <p>Työn tulokseksi saatiin energiakatselmus, joka pitää sisällään monia eri toimenpide-ehdotuksia, joilla sahalaitoksella pystyttäisiin kehittämään energiatehokkuutta. Tärkeimpänä kehityskohteenä työn aikana havaittiin mittausdatan vähäisyys. Lisäämällä mittausdataa pystyttäisiin energiakatselmuksessa tehdyt laskut ja selvitykset laatimaan tarkemmillä arvoilla ja näkemään kuinka paljon hyötyä laadituilla toimenpide-ehdotuksilla voitaisiin saada aikaan.</p> <p>Energiakatselmus mahdollistaa sahalaitoksen kehittää omaa energiankäyttöään tulevaisuudessaakin. Katselmus antaa myös hyvät tiedot, joiden pohjalta tehdä päätöksiä tulevista lisäselvityksistä ja investoinneista.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Energiakatselmus, energiatehokkuus, sahatuotanto teollisuus		
Muut tiedot		

Author(s) Tossavainen, Roope	Type of publication Bachelor's thesis	Date November 2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 78	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Energy survey of the sawmill industry</b>		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Kari Hytönen, Hannariina Honkanen		
Assigned by Osakeyhtiö lamit.fi		
Abstract <p>The assignment for the bachelor's thesis was obtained when a customer of Osakeyhtiö lamit needed to improve the energy and water usage at their sawmill. Therefore, the owners of the sawmill saw it necessary to get a survey done to help them improve the energy efficiency of their sawmill. In conclusion, the topic of the thesis was to survey the energy usage of a sawmill.</p> <p>An energy survey is a thorough report of the current energy and water consumption of a building or and industry. It consists of mapping the current situation and giving suggestions to improve the energy usage based on that. The suggestions aim to reduce the energy and water consumption, the energy costs and to reduce the CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) emissions.</p> <p>Electronic and literary sources on the sawmill industry and energy surveys were used to form the theoretical framework. The sawmill and its consumption data were examined based on the given documents and by auditing the sawmill. The information gained from the audit was based on observations and the information given by the sawmill employees.</p> <p>The result of the thesis was an energy survey that included many different suggestions to improve the energy efficiency of the sawmill. The most important factor to focus on that was found was the low amount of energy meters and indicators. Increasing the amount of data from different meters would enable doing all the calculations and designs precisely and seeing how big of a positive impact could be achieved with the suggestions.</p> <p>The energy survey makes it possible to keep improving the energy efficiency of the sawmill in the future. The survey also provides good information to make informed decisions about the future improvements and investments.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Energy survey, energy efficiency, sawmill industry		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimusasetelma</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Energiakatselmuksen keskeiset käsitteet</b> .....	<b>8</b>
	3.1 Energiakatselmus ja -analyysi.....	8
	3.2 Energiatase .....	9
	3.3 Energiatehokkuus .....	9
<b>4</b>	<b>Sahan tuotantoprosessi</b> .....	<b>11</b>
	4.1 Tukkien alkukäsittely ja tuotannon suunnittelu.....	11
	4.2 Tukkien kuorinta.....	11
	4.3 Sahausprosessi .....	12
	4.4 Lajittelu ja rimoitus.....	13
	4.5 Sahatavaran kuivaus.....	14
	4.6 Lämmöntuotto sahatuotantolaitoksella .....	15
	4.7 Kuivan sahatavaran lajittelu, tasaamo ja paketointi .....	16
<b>5</b>	<b>Puupolttoaineiden koneelliset kuivausmenetelmät</b> .....	<b>16</b>
	5.1 Kuorimurskain .....	16
	5.2 Rumpukuivaus .....	17
	5.3 Viirakuivaus .....	18
<b>6</b>	<b>Tutkimusaineisto</b> .....	<b>19</b>
	6.1 Sahalaitoksesta olemassaolevat tiedot ja tilastot.....	19
	6.2 Tarkastuskäynnin tiedot .....	19
<b>7</b>	<b>Sahatuotantolaitos</b> .....	<b>20</b>
	7.1 Rakennukset ja niiden käyttötarkoitukset .....	20
	7.2 Rakennusten kunto ja lämpöhäviöt .....	22
	7.3 LVI- ja sähköjärjestelmät .....	23
<b>8</b>	<b>Sahalaitoksen energian ja veden kulutus</b> .....	<b>24</b>
	8.1 Lämpöenergia ja polttoaineet .....	24

	2
8.2	Lämpöhäviöiden määrät ..... 30
8.3	Sähköenergia ..... 31
8.4	Vesi ..... 34
8.5	Vuodenaikojen vaikutus energian ja veden kulutuksessa ..... 34
<b>9</b>	<b>Toimenpide-ehdotukset ja niiden kustannukset ..... 35</b>
9.1	Lämpöenergia ..... 35
9.1.1	Lämmöntalteenotto ..... 35
9.1.2	Vanhan kattilan hyödyntäminen ..... 37
9.1.3	Polttoaineet ja niiden esikuivaus ..... 37
9.1.4	Koneelliset kuivauslaitteet ..... 41
9.2	Sähkön käyttö ..... 42
9.2.1	Moottorien vaihtaminen EC- tai taajuusmuuttajaohjatuiksi ..... 42
9.2.2	Suurten sahamoottorien käytön optimointi ..... 43
9.3	Veden käyttö ..... 44
9.4	Rakenteet ja johtumishäviöt ..... 45
9.4.1	Rakenteiden uusiminen ..... 45
9.4.2	Kuivauskamareiden johtumishäviöt ..... 45
9.4.3	Suurten kamariovien uusiminen ..... 47
9.5	Mittauksien lisääminen ..... 48
9.5.1	Kattiloiden ja polttoaineiden mittaukset ..... 48
9.5.2	Kamarit ja kanava ..... 49
9.5.3	Sähkönkulutus ..... 50
9.6	Muut havainnot ja ehdotukset ..... 50
9.6.1	Kuivauskamareiden käytön optimointi ..... 50
9.6.2	Sahalaitoksen tämän hetkinen ja tuleva dokumentaatio ..... 51
9.6.3	Mittauksien seuranta ..... 51
<b>10</b>	<b>Yhteenveto energiakatselmuksesta ..... 52</b>

10.1 Energiatalous ja säästöpotentiaali .....	52
10.1.1 Lämpö .....	52
10.1.2 Polttoaineet .....	52
10.1.3 Sähkö .....	53
10.1.4 Vesi .....	53
10.1.5 Säästöt .....	53
<b>11 Johtopäätökset ja pohdinta .....</b>	<b>55</b>
11.1 Työn tavoitteet ja niiden täyttyminen .....	56
11.2 Jatkotoimenpiteet .....	56
11.3 Kimmahdusilmiö.....	57
11.4 Lopuksi.....	58
<b>Lähteet .....</b>	<b>59</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>63</b>
Liite 1. Yhteenvetolista tarvittavista tiedoista .....	63
Liite 2. Betonikamarin syöttöoven lämpökuva .....	67
Liite 3. Betonikamarin syöttöoven yläpuoliset lämpöhäviöt .....	68
Liite 4. Alumiinikamareiden lämpöhäviöt 1 .....	69
Liite 5. Alumiinikamareiden lämpöhäviöt 2 .....	70
Liite 6. Alumiinikamarien lämmönsiirtoputket .....	71
Liite 7. Kuivauskanavan rakenteiden lämpöhäviöt .....	72
Liite 8. Rumpukuivaimen lämpöhäviöt .....	73
Liite 9. Kuivauskamarin poistoilman lämpötila .....	74
Liite 10. Kuivauskamareiden viemäriin menevän veden lämpötila.....	75
Liite 11. Tuotantolaitoksen lämpöenergian jakautuminen 2017 .....	76
Liite 12. Tuotantolaitoksen sähköenergian jakautuminen 2017.....	77
Liite 13. Yhteenveto energiakatselmuksen ehdotetuista toimenpiteistä ....	78

## Kuviot

Kuvio 1 Puun rakenne .....	12
Kuvio 2 Pyörivän rumpukuivurin periaatekuva .....	17
Kuvio 3 Yksikerroshihnakuivurin periaate kuva .....	18
Kuvio 4 Sahatuotantolaitoksen rakennukset .....	21
Kuvio 5 Vuoden 2017 kuukausittainen energiankulutus .....	25
Kuvio 6 Polttoainekohtainen energiantuotto 2017 .....	26
Kuvio 7 Tuore puun kosteuden vaihtelu eri vuodenaikoina .....	27
Kuvio 8 Haihdutettavan vesimäärän laskukaava .....	28
Kuvio 9 Vuoden 2017 kuukausittaiset keskilämpötilat .....	29
Kuvio 10 Veden haihtumiseen tarvittava energia kiloa kohti eri lämpötiloissa .....	30
Kuvio 11 Vuoden 2015 kuukausittainen sähkönkulutuskäyrä .....	31
Kuvio 12 Sähköenergiankulutus tunnin tarkkuudella 16.1.2015 .....	32
Kuvio 13 Vuoden 2017 sähkönkulutuskäyrä .....	33
Kuvio 14 Sähköenergiankulutus tunnintarkkuudella 16.1.2017 .....	33
Kuvio 15 Hakkeen kosteuden vaikutus palamisen hyötysuhteeseen .....	38
Kuvio 16 Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia.....	39
Kuvio 17 Puun kuoren kosteuden vaikutus lämpöarvoon .....	39
Kuvio 18 Kuukausittaiset huipputehot 2017 .....	44
Kuvio 19 Energiakustannukset ennen säästötoimenpiteitä ja niiden jälkeen .....	55

## Taulukot

Taulukko 1 EU:n energia- ja ilmastotavoitteet vuodelle 2020.....	10
Taulukko 2 Vuonna 2017 käytetyt polttoaineet ja niistä saadut energiamäärät .....	24
Taulukko 3 Polttoaineiden tiedot ja jakaumat .....	24
Taulukko 4 Vuoden 2017 kuivatun tuotannon määrät.....	26
Taulukko 5 Alumiinikamareiden johtumishäviöt .....	46
Taulukko 6 Betonikamareiden johtumishäviöt .....	46
Taulukko 7 Yhteenveto energiankulutuksesta ja säästöpotentiaalista .....	54

# 1 Johdanto

Energiatehokkuuden (ks. luku 3.3) tärkeys maailman energiansäästöpolitiikassa on noussut vuosien aikana aina vain suuremmaksi. Myös EU:ssa se on otettu yhdeksi jäsenmaiden yhteisistä tavoitteista. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikkien jäsenmaiden on kehitettävä omaa energiankäyttöään, jotta näihin yhteisiin tavoitteisiin päästäisiin. Yksi tapa kehittää tehokkuutta on energiakatselmuksella. Energiakatselmuksen tarkoituksena on parantaa kiinteistön tai kuten tässä opinnäytetyössä, niin teollisuuden tuotantolaitoksen energiatehokkuutta. Se pitää sisällään katselmuksen kohteen laajan tarkastelun, jotta pystyttäisiin vähentämään energiankulutusta ja siitä aiheutuvia kustannuksia ja hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) – päästöjä. (Energiatehokkuus 2018)

Opinnäytetyön katselmuksen kohteena oli Etelä-Pohjanmaalla sijaitseva sahatöiden tuotantolaitos. Tuotantolaitoksella oli valittu katselmuksen toteutustavaksi teollisuuden energia-analyysi, jonka tavoitteena on selvittää koko katselmuksen kohteen primääri- ja sekundäärienergiavirtojen määrät ja kartoittaa kaikki energiansäästömahdollisuudet. Tätä mallia käytetään niillä teollisuuden toimialoilla, joilla tuotannon energiankulutus on merkittävä. Katselmus toteutettiin noudattamalla ministeriön ja Motivan virallista ohjeistusta. Tässä opinnäytetyössä ei tulla käyttämään katselmuksen kohteen oikeaa nimeä, joka johtuu asiakkaan kanssa luodusta sopimuksesta. Kaikki kulutukset ja tuotantomäärät ovat kuitenkin laitoksen todellisessa kokoluokassa. Todellinen katselmusraportti, jonka lomassa tätä raporttia tehtiin, on kuvauksiltaan hieman laajempi ja perusteellisempi, joka johtui virallisten laatimisohjeiden rakenteesta ja kaikista tiedoista, joita tähän opinnäytetyöraporttiin ei asiakkaasta voitu kirjoittaa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Osakeyhtiö lamit.fi. Yritys on perustettu vuonna 1995. Sen päätoimipiste sijaitsee Jyväskylässä ja sivutoimipiste Tampereella. Yrityksen tuottamat palvelut pitävät sisällään energiapalveluja ja laskentaohjelmistoja, joiden avulla pystytään vähentämään ja tehostamaan kiinteistöissä käytettävää energiaa. Päätuotteina ovat energiaselvitykset ja lämpöselvitykset, jotka kattavat energiainvestointien kannattavuuden laskemisen, niiden kilpailutuksen ja valvonnan koko projektin ajan. Lamit on alkamassa panostamaan yhä enemmän suurempiinkin projekteihin kuten energiakatselmuksiin ja lämpöselvitysten kaikkiin vaiheisiin.



Yrityksellä on myös itse kehitettyjä energialaskennan työkaluja. Näiden laskentatyökalujen avulla pystytään laskemaan kattavasti energiatodistuksia ja tekemään lämpöselvityksiä uusille ja vanhoille rakennuksille. Laskentaohjelmat on validoinut Valtion teknologian tutkimuskeskus (VTT) ja Tampereen teknillinen yliopisto (TTY). (Iamit.fi palvelut n.d.)

Henkilökohtaisena tavoitteena opinnäytetyössä oli oppia virallinen energiakatselmusten laatimisprosessin kulku ja selvittää, miten opintojen aikana opittuja asioita pystytään soveltamaan työelämässä.

## 2 Tutkimusasetelma

Sahalaitoksella oli havaittu, että sen toiminnassa oli erityisesti energiatehokkuuden kannalta kehitettävää. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli vähentää katselmuksen nykyistä energiankulutusta, sen kustannuksia ja siitä aiheutuvia CO<sub>2</sub> päästöjä.

Energia-analyysin laatiminen on laaja projekti, johon kuuluu usein monia eri alojen ammattilaisia, joilla on omat roolinsa työn suorittamisessa. Minun lisäksi työryhmään kuului Lamitilta energia-asiantuntijoita, joilla on kokemusta energiakatselmusten ja lämpöselvitysten laatimisesta. Sahalaitoksen puolelta projektiin kuului henkilöitä, jotka tietävät, miten heidän laitoksensa toimii. Ilman heidän tietojaan ja osaamistaan ei tämän kokoista projektia olisi pystytty tekemään. Lisäksi erilaisia kenttämittauksia ja omaa ammattitaitoaan projektiin toivat alihankinnan kautta mukana olleet sähkö- ja LVI-asentajat.

Työssä tärkeintä oli kerätä kohteesta kattavat tiedot, joiden pohjalta pystyttiin analysoimaan kohteen tämän hetkinen energian kulutus. Työ sisältää myös kehitysideoiden pohdintaa ja niihin liittyvää mitoitus- ja investointilaskentaa. Yhtenä tehtävänä tässä projektissa oli alkutietojen perusteella tilanteen kartoittaminen. Tämän pohjalta sain myös käsityksen siitä, kuinka paljon ja mitä tietoa katselmuksen laatimista varten vielä tarvittiin. Suurimpana osana työssä oli kuitenkin energiakatselmusraportin dokumentaation sisällön laatiminen, jota tein pätevyityneiden energiakatselmusten laatijoiden opastuksella.

Työn tavoitteena oli kehittää jotakin olemassa olevaa toimintaa laatimalla sitä varten toimivia ratkaisuja. Tämä opinnäytetyö on täten kehittämistutkimus. Kanasen (2015, 33) mukaan: "Kehittämistyö lähtee muutostarpeesta, jonka tavoitteena on aina suunta parempaan." Kehitystutkimus ei kuitenkaan ole itsessään oma tutkimusmenetelmänsä, vaan pitää se sisällään useita eri tutkimusmenetelmiä. (Kananen 2015, 33.)

Opinnäytetyössä käytettiin kvalitatiivisista eli laadullisista tutkimusmenetelmää. Laadullisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmät käsittävät primääri- ja sekundääriaineistoja. Sekundääriaineistoilla tarkoitetaan olemassa olevia dokumentteja, kuvia ja muita tallenteita, jotka liittyvät tutkimukseen. Primääriaineistolla taas tarkoitetaan dokumentteja, jotka on kerätty juuri kyseessä olevaa tutkimusongelmaa varten. Primääriaineiston kerääminen toteutetaan havainnoinnin, haastattelujen ja kyselyjen avulla. (Kananen 2015, 76.) Kohteesta saatujen alkutietojen, kuten kulutusten ja yleisten prosessi kuvausten, pohjalta saadun käsityksen mukaan laadittiin kysymys- ja haastattelulista sahalaitoksen henkilöstölle. Liitteessä 1 esitetään suppeahko versio tästä listasta. Virallinen lista sisältää luottamuksellista tietoa, jota ei tässä työssä julkaista. Listan avulla oli tarkoitus saada laaja ja tarkka kuvaus kohteen kulutustiedoista ja toiminnasta. Ilmiöiden ja yleisten prosessien ymmärtämistä varten etsittiin myöskin erilaista dokumentoitua aineistoa. Tämä osa aineistosta koostui erilaisista tutkimuksista, prosessikuvauksista, yleisistä katselmusohjeista ja kohteen omista dokumenteista, kuten laatukäsikirjasta. Dokumentoitua tietoa etsittiin pääasiassa internet lähteistä, Jyväskylän ammattikorkeakoulun käytössä olevista tietokannoista, kirjoista ja sahalaitoksessa laadituista raporteista.

### 3 Energiakatselmuksen keskeiset käsitteet

#### 3.1 Energiakatselmus ja -analyysi

Energiakatselmuksen tarkoituksena on kartoittaa energiankulutusta ja löytää keinoja säästää energiaa ja vähentää sen kustannuksia. Energiakatselmuksia tehdään Suomessa yleensä Motiva-mallin mukaisesti. Se on perusteellinen ja kattava selvitys erilaisten rakennusten energian ja veden käytöstä ja näiden tehostamismahdollisuuksista. Energiakatselmukseen kerätään mittauksista ja laskelmista saatua tietoa kohteen energian kulutuksen jakautumisesta. Sen avulla pystytään selvittämään, miltä alueilta energian- ja vedenkulutusta pystytään tehostamaan. Katselmus pitää myös sisällään mahdollisia toimenpide-ehdotuksia ja laskelmia säästöistä, investoinneista ja taloudellisuudesta. (Heinero & Kiuru 2017)

Energiakatselmuksen tavoitteena on ohjata energiankäytön säännöllistä seurantaa, jotta energiantehokkuutta pystytään ylläpitämään ja parantamaan tulevaisuudessa. Lisäksi tarkoituksena on opastaa erityisesti kohteiden teknistä henkilökuntaa käyttämään käyttölaitteita ja järjestelmiä mahdollisimman energiatehokkaasti. Energiakatselmuksia pystyvät laatimaan pätevyityneet energiakatselmoijat, jotka ovat käyneet Motivan pitämän energiakatselmoijan peruskurssin hyväksytysti. (Kiuru 2017) Tässä opinnäytetyössä se tarkoittaa sitä, että työ tehtiin energia-alan ammattilaisten ohjauksella, joilta sellainen pätevyys löytyy.

Kohteena olevalla tuotantolaitoksella oli yhdessä Osakeyhtiö lamitin kanssa päätetty, että tässä tapauksessa oli parempi toteuttaa katselmus hieman laajemmin ja teollisuuden kannalta monipuolisemmin eli energia-analyysinä. Teollisuuden energia-analyysi eroaa tavallisesta katselmuksesta siten, että siinä on kuvattava ja käytävä läpi katselmuskohteen kaikki primääri- ja sekundäärienergiavirrat. Kuvattaviin virtoihin kartoitetaan ne energiavirrat, jotka ovat 5 % tai enemmän koko tuotantolaitoksen vuosittaisesta energiankulutuksesta. Energia-analyyseissä tuotantoprosessi on keskeisimpänä osuutena, joten kohteen omien työntekijöiden yhteistyö on lähes välttämätöntä. (Teollisuuden energia-analyysi, 2016.)

## 3.2 Energiatase

Energiatase kuvaa tiettyyn rajattuun alueeseen esimerkiksi johonkin prosessiin sisäänmeneviä energioita, sieltä poistuvia energioita ja siellä käytettyjä energioita. (Energy balance n.d.) Energiataseen teko perustuu termodynamiikan ensimmäiseen lakiin, joka sanoo, että energiamäärä suljetussa systeemissä ei muutu. Energia pystytään kuitenkin muuttamaan toiseen muotoon, mutta sitä ei voida luoda tyhjästä tai hävittää. (First Law of Thermodynamics n.d.)

Energiatase on tilastollisesti tärkeimpiä tapoja kuvata energiankulutuksen virtaa prosessissa ja sen avulla on nähtävissä selkeästi kaiken energian muutos prosessin aikana. Energiatase pitää sisällään kaikki energiamuodot ja niiden käytöt tarkastellussa prosessissa. Tämä kattaa muun muassa primäärienergian hankinnan, energian varastoinnin muutokset, sen tuotannon ja muunnon, loppukulutuksen ja raaka-ainekäytön. Energiataseiden tarkoituksena on kuvata selkeästi eri informaatioita, jotta niitä olisi alue tai prosessi kohtaisesti helppo tarkastella. (Energy balance n.d.)

Tässä työssä käytettiin Sankey-diagrammeja energiataseiden kuvaamiseen. Sankey-diagrammi visualisoi määrällisiä virtoja keskenään ja yleensä sitä käytetään prosessien energia- ja materiaalivirtojen kuvaamiseen. Sankey-diagrammissa nuolilla kuvataan eri virtojen komponentteja ja näiden nuolien koko kuvaa virtojen suuruutta. Usein nuoliin myös merkitään virtaavan määrän suuruus numeerisesti. Sankey-diagrammi on selkeä ja paljon informaatiota antava diagrammi, jota on hyvä käyttää esimerkiksi erilaisten prosessien sisäisten energia- ja ainevirtojen kuvaamiseen. (Sankey diagrams for energy balance n.d.)

## 3.3 Energiatehokkuus

Energiatehokkuus voidaan kuvata energiankäytön hyötysuhteena, jota voidaan arvioida esimerkiksi tuotantomääriin tarvittavan energiankäytön avulla. Energiankäyttö on tehokkaampaa, kun pystytään tarjoamaan samoja palveluita tai valmistamaan samoja tuotteita, kuin ennenkin, mutta käyttämällä vähemmän energiaa. Tätä hyötysuhteen parantamista voidaan kutsua energiankäytön tehostamiseksi. Energiankäytön tehostaminen ei kuitenkaan koskaan saa vaikuttaa palvelun tai tuotteen laatuun

heikentävästi. Esimerkkinä tästä voisi olla rakennuksen ilmastointilaitteiden sähkönkäytön optimointi, eli vaikka käyntiaikoja optimoitaisiin, niin ei se saa vaikuttaa negatiivisesti rakennuksen sisäilman laatuun sen käyttöaikoina. (Energiatehokkuus n.d.)

Energiaa tarvitaan ja käytetään kaikkialla jokapäiväisessä työ- ja arkielämässä. Tärkeimpiä energiankulutuskohteita ovat rakennusten lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto ja sähkölaitteet, kuten valaisimet. Energiatehokkuuden parantaminen on yksi Euroopan unionin tärkeimmistä tavoitteista. Vuoteen 2020 mennessä tavoitteena on parantaa energiatehokkuutta 20 % (ks. taulukko 1). (Rakennusten energiatehokkuus n.d.; Energiatehokkuus 2018)

Taulukko 1 EU:n energia- ja ilmastotavoitteet vuodelle 2020 (Euroopan unionin ilmastopolitiikka n.d.)

EU:n energia- ja ilmastotavoitteet vuodelle 2020	EU	Suomi
Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen	-20 %	-20 %
Uusiutuvien energialähteiden osuus energian loppukulutuksesta	20 %	38 %
Energiatehokkuuden parantaminen	20 %	20 %

Energiankäytön tehostaminen ei ole ainoastaan tärkeää, koska yhteiset direktiivit niin kehottavat tekemään, vaan energiantehokkuuden lisäämisellä on mahdollista säästää rahaa ja luonnonvaroja.

Suomessa energian käytön tehokkuutta valvoo Energiavirasto, jonka tehtäviin kuuluvat energiatehokkuussopimukset, energiakatselmukset, kuluttajien energianeuvonta, tuotteiden ekologinen suunnittelu ja energiamerkinnt. (TEM, energiatehokkuus 2018)

## 4 Sahan tuotantoprosessi

### 4.1 Tukkien alkukäsittely ja tuotannon suunnittelu

Sahatuotanto käynnistyy saapuneiden tukkien käsittelystä. Tukit mitataan pituudeltaan, halkaisijaltaan ja kosteudeltaan ja sitten niiden laatu tarkastetaan. Mittauksien jälkeen tukit lajitellaan niiden tarkoitusten mukaisesti ja varastoidaan sahalla siten, että samaan käyttötarkoitukseen menevät tukit varastoidaan yhdessä. Niiden säilymisestä huolehditaan usein kastelemalla niitä varastoissa, jonka avulla puunkosteus saadaana pidettyä halututtuna ja vältetään sinistymäsienten muodostumisilta. Lisäksi estetään kuivumisesta johtuvat halkeamiset. (Varis 2017, 56)

Sahatuotannon suunnittelu on tärkeä osa tuotannon prosessia. Sen tavoitteena on, että saadaan hyödynnettyä mahdollisimman suuri osa käytetystä raaka-aineesta, eli tukeista. Tämä saadaan aikaan, kun tukkikohtaisesti käydään läpi, millaista sahatavaraa niistä on mahdollista tehdä. Lisäksi tuotannon suunnittelulla mahdollistetaan se, että toimitusaikataulut ja sahatavaran laatu vastaavat sitä, mitä asiakas toivoo. (Varis, 2017, 59)

### 4.2 Tukkien kuorinta

Kuorinta on tärkeä osa sahateollisuuden prosessia, sillä sen avulla syntyvä sahatavara ja sahauksen aikana syntyvät sivutuotteet ja kuori saadaan eroteltua toisistaan. Esimerkiksi sahauksen sivutuotteena syntyvää haketta käytetään usein sellutehtailla ja tämä hake ei saa pitää sisällään kuorta. Kuorinnassa puusta on tarkoitus murtaa puun ja kuoren väliset sidoslujudet. Onnistuneessa kuorinnassa saadaan irrotettua kuori jälsikerrosta myöten. Jälsi on se osa puuta, jossa puun paksuuden kasvu tapahtuu (ks. kuvio 1.) (Varis 2017, 73)



Kuvio 1 Puun rakenne (Puun rakenne N.d.)

Puunkuorinta suoritetaan käyttämällä erilaisia kuorimakoneita. Yleisimmin käytetään roottorikuorinta. Se on melko hellävarainen kuorintamenetelmä, joten sen avulla saadaan puunrungosta käyttöön sen arvokkaimmat osat. Tämän takia se sopii hyvin juuri saha- ja vaneriteollisuuden tarpeisiin.

Kuorinnan jälkeen tukit varastoidaan odottamaan sahausta joko maa- tai vesivarastoihin. Varastoinnin aikana on seurattava ja huolehdittava tukkien puutavaran säilymisestä, etteivät kuoritut tukit pääse pilaantumaan. Tärkeää on erityisesti tukkien ylimääräinen kastelu kesäisin, jotta ne pysyvät sopivan kosteina laadun säilymiseksi. Yhtenä vaihtoehtona, joka on erityisesti Pohjoismaissa käytetty, niin on sijoittaa kuorimakone suoraan sahalinjan alkupäähän. Tämä takaa sen, että puut saadaan mahdollisimman puhtaina suoraan sahaukseen. Tällä tavoin vältetään myös mahdollisilta laadun heikkenemisiltä, joihin kuorinnan ja sahauksen välissä tapahtuvassa varastoinnissa voidaan törmätä (Sahatavaratuotanto n.d.)

### 4.3 Sahausprosessi

Ennen sahausta tukit laitetaan menemään metallinpaljastimen läpi, jotta vältetään metallien aiheuttamista vahingoista sahausterille. Itse sahaus tapahtuu useissa eri linjoissa. Sahalinjat ovat tarpeiden mukaan räätälöityjä, eli kukin sahalinja soveltuu tiettyntyyppiselle sahausmenetelmälle. Näitä menetelmiä on useita erilaisia ja niiden avulla pystytään valmistamaan tietyn tyyppistä sahatavaraa. Nykypäivänä sahat toimivat tietokoneohjauksella ja automaatiolla, joka helpottaa sahausprosessia.

Sahauksen aikana puusta syntyy paljon sivutuotteita useassa eri vaiheessa, mutta ne pystytään käyttämään kaikki hyödyksi. Puunkuorta syntyy kuorinnasta ja haketta ja purua sahausprosessissa. Professori Erkki Verkasalo kuvaa sahatavaran ja sivutuotteiden suhdetta seuraavasti: "Pohjoismaisen havupuun sahausessa kuorellisista tukeista saadaan normaalisti sahatavaraa noin 45-50 %, haketta 28-32 %, purua 10-15 % ja kuorta 10-12 %." (Knuuttila, 2003, 42.) Näitä sivutuotteita voidaan polttaa omissa lämpölaitoksissa, myydä haketta sellun valmistukseen, valmistaa pellettiä purusta tai sitten myydä syntynyt sivutuote suoraan muille yrityksille polttoaineiksi. Näistä sivutuotteista hake on merkittävin sivutuote, jonka osuus sivutuotteiden myyntituotoista on usein suurin. Tämän takia hyvän hakelaadun saamiseksi hake ja puru seulotaan, jotta saadaan pienijakeinen puru eroteltua hakkeesta. Sahausprosessissa syntyy lisäksi raaka-ainetta, jota ei pystytä käyttämään sahatavaran valmistukseen, tästä raaka-aineesta pystytään valmistamaan lisää haketta myyntiä varten. (Sahatavaratuotanto n.d.)

#### 4.4 Lajittelu ja rimoitus

Valmiin sahatavaran valmistuttua on aika lajitella puutavara. Puutavara lajitellaan laadun ja koon mukaan omiksi ryhmikseen, joka tarkoittaa sitä, että ne lajitellaan paksuutensa ja leveytensä mukaan, jotta samanlaatuiset puut saadaan omiksi ryhmikseen kuivausta varten. Lajittelun jälkeen sahatavara saatetaan varastoida välillisesti ennen sen kuivausta riippuen kuivauskapasiteetista. Yleensä tämä on otettu kuitenkin huomioon jo tuotannon suunnittelussa, jotta prosessi on mahdollisen sujuva.

Lajittelun jälkeen puutavara valmistellaan kuivaukseen rimoittamalla ne. Rimoitus tarkoittaa sitä, että sahatavarakerroksien väliin laitetaan niihin nähden kohtisuorasti rimat, jotta sahatavaran väliin jää hyvät välit ilman kulkemiselle. Rimoituksen tärkein asia on luoda mahdollisuus hyvälle ilmavirralle, joka nopeuttaa kuivausta ja takaa sen, että sahatavaran laatu pysyy samana pinon reunoilla ja keskellä. (Sahatavara kuivataan kamarissa ja kanavassa n.d.)



## 4.5 Sahatavaran kuivaus

Energian käytön kannalta merkittävin osa sahatuotantoprosessia on valmiin sahatavaran kuivaus. Kuivauksen aikana puusta poistetaan kosteutta lämmön ja höyryn avulla. Sahatavaran kosteus on sahan jälkeen 60 – 80 % ja kuivauksen jälkeen se on 10 – 20 %.

Varis (2017, 139) kuvaa puun kuivauksen yleisiä vaiheita seuraavasti:

1. Lämmitysvaiheessa sahatavara lämmitetään ulkolämpötilasta kuivauslämpötilaan. Talvisin tämä pitää sisällään myös jäätyneen veden sulatuksen.
2. Kapillaarisessa vaiheessa alkaa kuivaus poistamalla puussa olevaa vapaata vettä. Tämä vaihe vaatii paljon lämpöä ja ilmanvaihtokapasitettia, mutta kuivaus on nopeaa ja se tapahtuu sahatavaran pintaosissa.
3. Siirtymävaiheeksi kuvataan tilaa, jossa kapillaarisen vaiheen vapaan veden poistuminen keskeytyy ja seuraavassa vaiheessa alkava diffuusio alkaa vaikuttamaan.
4. Diffuusiiovaiheessa kun puusta on saatu poistettua pinnassa sijaitseva vapaavesi, niin alkaa soluseinämissä olevan veden poistaminen. Tämän veden poistumista varten täytyy sen höyrystyä ja diffuusoitua kohti pintaa. Tämä vaihe on kuivumisprosessin pidempiä vaiheita.
5. Tasaantumisvaihe on vaihe, jossa kuivausprosessi itsessään on valmis, mutta kappaleen sisäiset kosteudet ja jännitykset vaihtelevat sen eri osissa. Näiden tasoittamiseksi puuta höyrytetään tai vesisumitetaan.
6. Jäähdytysvaiheessa on huomattava, että jäähtyminen ei tapahdu liian nopeasti, sillä liian nopea jäähtyminen saattaa aiheuttaa halkeamia puun pintaosissa. Yleensä puutavaran annetaan jäähtyä kuivaamoissa.

Puunkuivausmenetelmiä on useita, mutta tämän työn tarkoitusta varten käytiin läpi vain ne, joita työn kohteessa käytetään, eli kamarikuivaus ja kanavakuivaus. Nämä ovat kaksi yleisintä puun kuivausmenetelmää.

Kamarikuivaamot ovat yleisiä ja ne soveltuvat kaikenlaisen puutavaran kuivaamiseen. Kamarikuivaamot kuluttavat hyvin paljon lämpöenergiaa. Kuivauksessa sahatavara syötetään samasta ovesta, kuin se puretaan. Nämä ovet pidetään suljettuina koko kuivausprosessin ajan. Kuivauksen ajan puutavara pysyy paikoillaan ja kamarin olosuhteita, kuten lämmönsyöttöä muutetaan kuivausprosessin edetessä. Kamarit ovat mahdollisimman tiiviitä ja ne valmistetaan usein joko betonista tai alumiinista. Kuivaus tapahtuu syöttämällä lämmintä ilmaa kamareihin puhaltimien avulla. Tämän kuivaustavan etuna on, että kuivauserät ovat yksilöllisiä ja kuivaustulokset ovat mah-

dollisimman tarkasti suunniteltavissa. Heikkoutena taas on se, että varsinkin kuivauksen alkuvaiheessa tarvitaan huomattavan suuria määriä lämpöenergiaa. (Varis 2017, 132)

Kamarikuivaamon kuivasprosessi on Variksen (2017, 133) mukaan seuraava:

- Lämpöä ja kosteutta siirretään kostean ilman avulla.
- Ilman kierrätys tapahtuu sähköllä toimivien puhaltimien avulla, jotka puhaltavat ri-makuormien läpi.
- Lämpö kamareihin siirretään lämpöpattereilla, joiden avulla kosteutta haihdutetaan.
- Syntyvä vesihöyry poistetaan ilmanvaihtokanavan tai poistoilma puhaltimien avulla.
- Kamariin tiivistynyt vesi poistuu viemärijärjestelmän avulla.
- Kuivaamot täytetään ja tyhjennetään trukkien tai vaunujen avulla.
- Kamareissa vallitsevaa ilmasto-olosuhdetta säädetään tietokonepohjaisella ohjelmistolla, joka perustuu kuiva- ja märkälämpötilan mittaamiseen.

Kanavakuivaus on toinen kohteessa käytetty kuivaustapa. Se on niin sanottu yhtäjaksoinen kuivausprosessi, jossa sahatavara siirtyy kanavan sisällä kuivauksen aikana. Tässä kuivausmenetelmässä rimoitetut puutavarakuormat kulkeutuvat tietyllä nopeudella kuivauskanavan alkupäästä sisään ja kuivattu sahatavara otetaan kanavan loppupäästä pois. Kanavassa vallitsevia ilman olosuhteita ei kuitenkaan pystytä kontrolloimaan yhtä hyvin kuin kamareissa. Tämä johtuu siitä, että kuorma on jatkuvassa liikkeessä kanavan sisällä ja kuivauksesta johtuva veden haihtuminen vaikuttaa ilman olosuhteisiin eri sijainnissa eri tavalla. Hyvänä asiana kanavakuivauksessa on se, että sen tarvitsema energia pysyy melko tasaisena. Tämä taas mahdollistaa sen, että lämmöntalteenottojärjestelmien tehokkuus on usein hyvä. (Suominen 2006 16.; Sahatavaran kuivaus n.d.)

#### 4.6 Lämmöntuotto sahatuotantolaitoksella

Sahatuotantolaitoksilla kuivaukseen tarvittava energia tuotetaan usein itse. Lähes kaikissa sahatuotantolaitoksissa käytettävä lämpöenergia tuotetaan polttamalla sahanpuun sivutuotteina syntyviä tuotteita kuten sahanpurua, kuorta ja haketta tuotantolaitoksen omissa kattiloissa. Sivutuotteita syntyy sahatuotannossa huomattavia määriä ja jopa puolet kaikesta käytettävästä puusta voi olla sivutuotetta. Näistä sivutuotteista erityisesti kuori pyritään käyttämään polttoaineena, sillä se on usein heik-

kolaatuisinta, minkä takia sen myyminen muualle on haastavaa. Lämmöntuottoa varten sahatuotantolaitoksilla käytetään usein arinakattiloita, jotka sopivat hyvin kiinteiden puupolttoaineiden polttamiseen sahoille sopivassa kokoluokassa. Polttoaineet syötetään arinan päälle poltettavaksi patjaksi. Arinoita on kiinteitä ja liikkuvia. Liikkuva arina liikuttaa polttoainetta palamisen aikana ja arinan alta puhalletaan palamiseen tarvittavaa ilmaa. Palamisesta jäänyt tuhka kerätään pohjatuhkana arinan alta tai sen perältä. Lentotuhka taas kerätään savukaasuista. (Varis 2017, 144)

#### 4.7 Kuivan sahatavaran lajittelu, tasaamo ja paketointi

Sahatuotantoprosessin loppuvaiheessa, kun valmiit tuotteet on saatu kuivattua, niin tapahtuvat viimeistelevät työvaiheet. Kuivauskuormat puretaan lajittelulaitoksissa, joissa kuiva sahatavara laatulajitellaan vielä kerran. Lajittelun jälkeen sahatavaran päät tasataan tyvi ja latvapäästä tarpeen mukaan ja se katkaistaan asiakkaan tilaamaan pituuteen. Tasaamosta sahatavara siirretään lokeroihin säilytykseen ennen pakkausta. Itse paketointiprosessi alkaa, kun säilytys lokeroiden purkukuljetin siirtää sahatavaran paketointilaitokselle. Paketointilaitoksella sahatavarat paketoidaan hyvin ja tukevasti, jonka jälkeen ne merkitään. Sahoilla on omat laivausmerkkinsä eri laaduille, jonka täytyy näkyä sahatavarasta. Se merkitään usein sahatavarakappaleen päättyyn ja sen pakettiin. Paketoinnin ja merkinnän jälkeen sahatavara varastoidaan katoksiin tai varastohalleihin odottamaan kuljetusta asiakkaalle. (Sahatavaran valmistus n.d.)

## 5 Puupolttoaineiden koneelliset kuivausmenetelmät

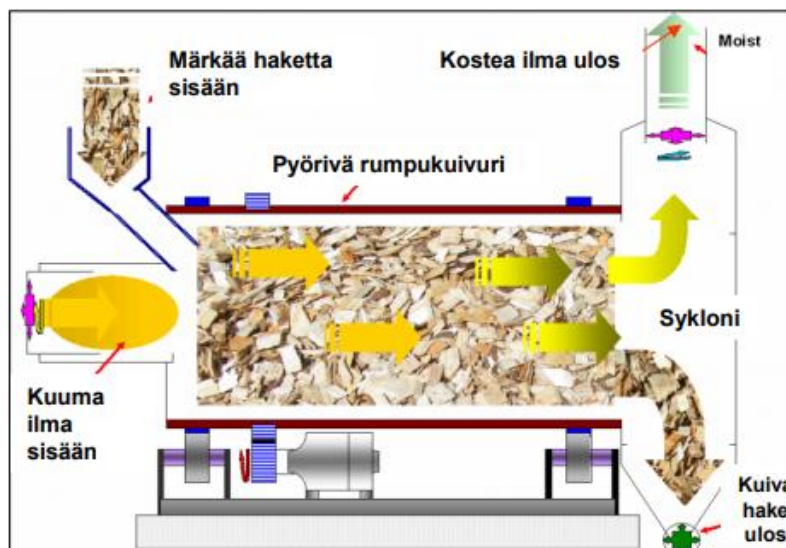
### 5.1 Kuorimurskain

Kuorimurskaimen tarkoituksena on saada erikokoisista kuorenpalasista lähes samankokoisia ja laadultaan mahdollisimman samankaltaisia. Tämän avulla kuoren laatu saadaan tasaiseksi esimerkiksi polttoa varten. Kuorimurskaimen toiminta perustuu murskaushampaisiin, jotka murskaavat kuoren tai muun biomassan vastalevyä vasten halutun kokoisiksi paloiksi. Mikäli palakoko ei ensimmäisen murskauksen jälkeen

ole halutun kokoinen kulkee biomassa murskaimen läpi uudestaan. Murskauksen aikana murskattavasta tuotteesta myös haihtuu jonkin verran vettä, joka johtuu murskaimen mekaanisesta puristamisesta. (Porkka 2015, 12.)

## 5.2 Rumpukuivaus

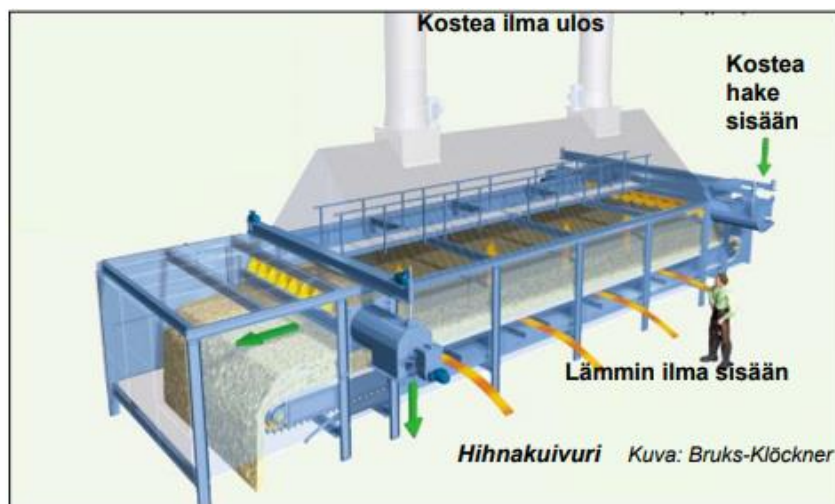
Rumpukuivuri on yleisimpiä biomassan kuivauksessa käytettyjä kuivausmenetelmiä ja erityisesti pelletin valmistuksessa yleinen laite. Sen avulla sahanpurusta saadaan tarpeeksi kuivaa, jotta siitä voidaan valmistaa pellettiä. Rumpukuivauksessa kuivattavaa polttoainetta syötetään rumpuun, joka pyörii melko hitaasti. Rummun seinämällä on avautuvat levyt, joiden kautta kuivattava polttoaine pudotetaan kuivauskaasun tai ilman läpi rummun pohjalle. Rummun pyöriminen pitää polttoaineen koko ajan liikkeessä, jolloin se pääsee sekoittumaan ja kuivumaan mahdollisimman tasaisesti. Rummuissa lämmittävänä aineena käytettävä kaasu tai ilma on usein lämpötilaltaan 200-600 °C astetta ja sitä syötetään ainakin biomassaa kuivatessa myötävirtaan kuivattavan polttoaineen kanssa. Tämä mahdollistaa sen, että kuumin kaasu tai ilma vaikuttaa kosteimpaan massaan, jolloin kuivuminen olisi mahdollisimman nopeaa ja tehokasta. Rumpukuivaimen toimintaperiaate ks. kuvio 2. (Heinero & Kiuru N.d.)



Kuvio 2 Pyörivän rumpukuivurin periaatekuva (Granö, U-P. 2007.)

### 5.3 Viirakuivaus

Viirakuivureita eli hihnakuivureita käytetään lähes kaikenlaisen biomassapolttoaineen kuivaamiseen. Ne soveltuvat erittäin hyvin kuivaukselle, joka tapahtuu pienissä (60-100 °C) lämpötiloissa. Viirakuivurissa on hihna(viira), jonka päälle kuivattava polttoaine levitetään tasaiseksi patjaksi. Patjan korkeus ei saa useimmilla kuivureilla olla yli 20 cm ja palakoon pitäisi olla mahdollisimman tasaista, jotta myös kuivuminen olisi tasaista. Patjan läpi johdetaan lämmitettyä ilmaa, joko ylä- tai alapuolelta riippuen viirakuivurimallista ja pölyämisen estämistä varten olevista toimenpiteistä. Viirakuivurit koostuvat useista kuivausalueista, joiden läpi kuivattava aine kulkeutuu hihnan päällä. Näiden alueiden olosuhteita kuten lämpötilaa ja ilmanvirtausta pystytään muuttamaan halutulla tavalla, jotta päästään tavoiteltuihin loppukosteuksiin ja laatuihin. Viirakuivaukseen tarvittavat alhaiset lämpötilat tarkoittavat sitä, että niitä voidaan käyttää muiden prosessien hukkalämpöjenkin avulla, eikä aina tarvita edes erillistä lämmöntuottoa kuivurille. Viirakuivaimen toimintaperiaate on kuvattu kuviossa 3. (Heinero & Kiuru N.d.)



Kuvio 3 Yksikerroshihnakuivurin periaate kuva (Granö, U-P. 2007.)

## 6 Tutkimusaineisto

### 6.1 Sahalaitoksesta olemassaolevat tiedot ja tilastot

Työn alkuvaiheessa käytiin läpi jo kohteesta saatuja kulutustietoja, jonka avulla saatiin parempi käsitys siitä, kuinka paljon käytettäviä tietoja oli lähtökohtaisesti kuinka paljon tietoa olisi vielä kerättävä katselmuksen tekoa varten. Alkutietojen määrä ja tarkkuus oli hyvinkin vaihtelevaa. Pääasiallisesti alkutiedot eivät olleet tarpeeksi tarkkoja koko katselmuksen laatimista varten, mutta niiden avulla kohteesta saatiin melko laaja alustava käsitys, joka auttoi työn alkupään tehtävissä kuten erilaisten työvaiheiden suunnittelussa.

Olemassa olevia tietoja, energia-analyysin ja -katselmuksen laatimisohteita ja mallipohjia selaamalla päästiin perille siitä, minkälaista tietoa tätä työtä varten tarvittaisiin. Motivan energia-analyysi malliraportin pohjalta laadittiin yhteenvetolista (liite 1), joka piti sisällään tarkkoja selvityksiä erilaisista tiedoista, joita työn tekeminen vielä vaati. Tämän yhteenvetolistan tärkein tarkoitus oli olla apuna tarkastuskäynnillä, jotta se etenisi mahdollisimman sujuvasti.

### 6.2 Tarkastuskäynnin tiedot

Huhtikuun alussa suoritettiin sahatuotantolaitokselle tarkastuskäynti. Tarkastuskäynnillä oli työn kannalta useampia tarkoituksia. Ensimmäiseksi oli tärkeää se, että kohteessa ymmärrettiin, kuinka laajasta työstä energiakatselmuksen laatimisessa oli kyse, jotta sahalaitoksen henkilöstö pystyi olemaan mukana ja auttamaan työssä niin paljon kuin oli tarvetta. Lisäksi katselmuksen tekijälle tärkeää oli saada alkutiedoista puutteellisiksi jääneisiin tietoihin vastauksia ja lukuarvoja. Tarkastuskäynnillä varmistui jo alusta asti tiedossa ollut tuotantolaitoksen mittauksien vähäisyys, joka osaltaan hankaloitti tarvittavan datan hankintaa.

Tarkastuskäynniltä saatiin kuitenkin paljon täydentävää ja katselmuksen toteutuksen kannalta oleellista tietoa. Muun muassa kattilakohtaiset lämpöenergian tuotot, tuotantomäärät ja oikeudet tuotantolaitoksen sähkönkulutustietoihin saatiin käyttöön. Näiden pohjalta pystyttiin työtä jatkamaan. Tärkeimpänä asiana oli saadut tuotannon

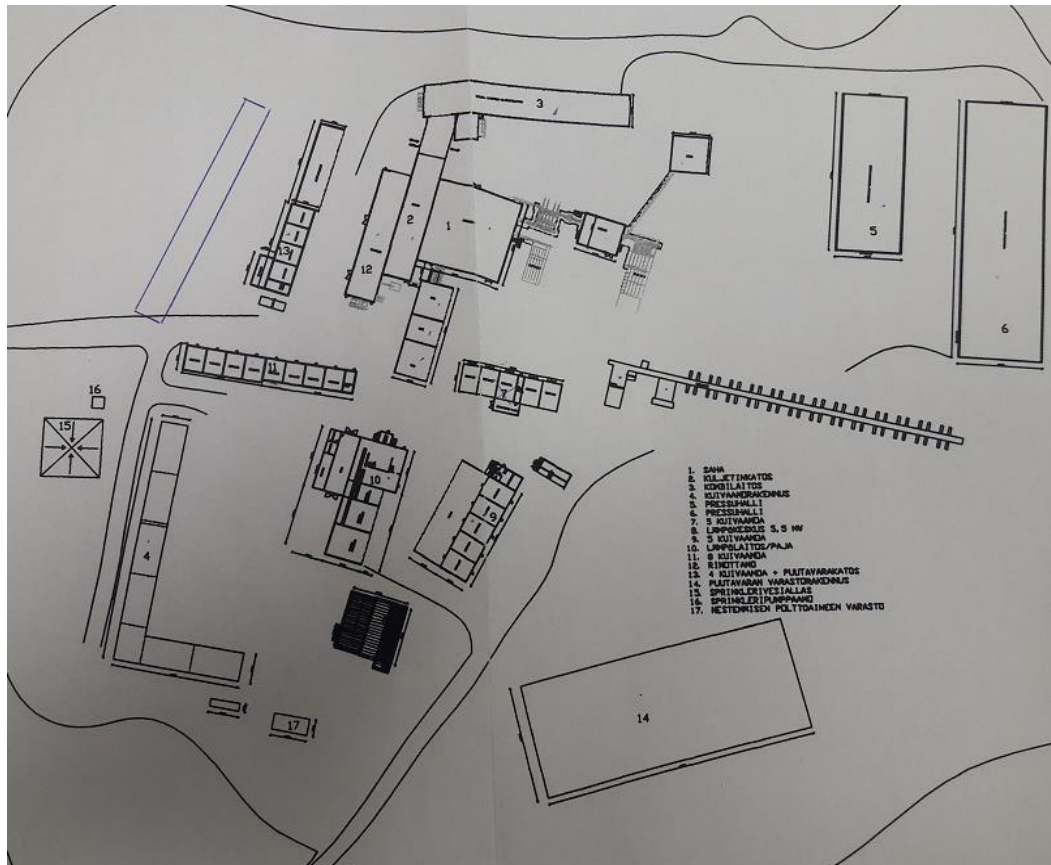
määrät ja kuivatun tavaran kosteudet kuivauksen aikana, sillä näiden avulla pystyttiin arvioimaan kuivaukseen tarvittavaa teoreettista lämpöenergiämäärää. Tämän avulla saatiin selville kohteessa hukkaan menevän energian määrää, jolle voisi etsiä hyödyn-  
tämiskohteita.

## **7 Sahatuotantolaitos**

### **7.1 Rakennukset ja niiden käyttötarkoitukset**

Selvityksen kohteena oleva sahatuotantolaitos koostuu useasta eri toimintatarkoituk-  
sen omaavasta rakennuksesta. Rakennukset pitävät sisällään saharakennuksen,  
useita puun kuivaukseen tarkoitettuja rakennuksia ja kaksi lämpökeskusta. Lisäksi  
tuotantolaitoksella on useita halleja puutavaran varastointia varten, sekä liimalevy- ja  
pellettitehdas. Tarkempi listaus rakennuksista on kuvion 4 yhteydessä.

Tuotantolaitoksen päätuotteina ovat rakennus- ja huonekaluteollisuuden valmistet-  
tavat tuotteet. Sahatavaraa varten käytetään 100 % suomalaisilta metsäyhtiöiltä ja  
lähialueen metsänhoitoyhdistyksiltä saatavaa halkaisijaltaan pieniläpimittaista män-  
tyä ja kuusta. Lisäksi suuri osa sahatavarasta käytetään kohteen omalla liimalevyteh-  
taalla, jonka tuotanto menee huonekaluteollisuuden huonekalujen komponenteiksi.



Kuvio 4 Sahatuotantolaitoksen rakennukset (lista kuvan alla)

1. Sahatuotantohalli
2. Kuljetinkatos
3. Tuotantohalli (lajittelu)
4. Kuivaamorakennus (6 alumiini kamaria)
5. Pressuhalli (puutavaran varastointi)
6. Pressuhalli (puutavaran varastointi)
7. 5 betonista kamaria
8. Lämpökeskus (5,5 MW)
9. Lämmin varasto
10. Lämpökeskus (3 MW + 1 MW)
11. 8 betoni kamaria
12. Rimoittamo
13. 4 betoni kamaria ja puutavarakatos
14. Varastorakennus (pellettitehdas)
15. Sprinkleriallas (varavesiallas)
16. Sprinklerikeskus (pumppaamo)
17. Nestemäisen polttoaineen varasto
18. Liimalevytehdasta ei tässä kuvassa näy, mutta se on muiden rakennusten läheisyydessä.



## 7.2 Rakennusten kunto ja lämpöhäviöt

Sahalaitoksen rakennuksien kunnot tarkastettiin ulkoisin puolin. Tässä käytettiin apuna lämpökameraa, jolla havaittiin lämmönvuotokohtat. Lämpökamerakuvat oltiin otettu 20.12.2017. Ne olivat käytettävissä muiden alkutietojen kanssa. Lämpökamerakuvien ottopäivänä sahalaitoksen paikkakunnalla on ollu noin -2 °C pakkasta, joka otettiin huomioon, kun kuvia käytiin läpi. Rakennusten kunnan parantamisehdotukset ja kuivaamoiden johtumishäviöt käytiin läpi tarkemmin luvussa 9.7.

Betoniset kuivauskamarit ovat vanhimmat sahalaitoksella käytössä olevat puun-kuivausrakennukset. Näiden kuivauskamareiden rakenteet ovat kärsineet ja haurastuneet vuosien saatossa, sillä ne ovat olleet käytössä jo 90-luvun loppupuolelta. Näistä vanhoista kamareista lämpöä johtuu useaakin kautta ulos (ks. liitteet 2-3). Liitteen 2 lämpökamera kuvasta on nähtävissä, missä kunnossa betonikamareiden suuret syöttöovet ovat. Lämpöä pääsee ovien saumakohdista ja erityisesti alareunasta paljonkin läpi. Liitteestä 3 nähdään samankaltaisen kamarin oven yläpuolisten rakenteiden lämpöhäviöt.

Alumiinikamareissa on havaittavissa samankaltaisia häviöitä kuin betonisissakin. Kuivauskamareiden suuret ovet aiheuttavat saumakohdissaan ja reunoissaan suuriakin lämpöhäviöitä (ks. liite 4 ja 5). Lisäksi alumiinikamareiden ulkokautta tulevat lämmönsiirtoputket vuotavat paljonkin lämpöä (ks. liite 6). Vuonna 2016 valmistuneen kanavakuivaimen rakenteet ovat kuvien perusteella ainakin vielä melko hyvässä kunnossa. Kuten muissakin rakenteissa, kanavassakin lämpöä pääsee ulos tietynlaisten saumakohtien kautta, mutta selkeästi vähemmän kuin vanhoista kamareista (ks. liite 7).

Sahanpurun kuivaukseen käytetty rumpukuivain tarvitsee suuren lämpötilan kuivausta varten. Lämpökamerakuva (ks. liite 8) on otettu kuivaimen ollessa käynnissä. Tästä kuvasta näkee, että rumpukuivaimen päädyn sauma ei ole kovin hyvin eristetty, sillä sauman ulkopinta on melkein 140 °C lämmin.

### 7.3 LVI- ja sähköjärjestelmät

Kohteessa on kaksi lämpökeskusta, joissa toisessa on 5,5 MW kattila ja toisessa kaksi pienempää kattilaa kooiltaan 3 MW ja 1 MW, joiden avulla kaikki sahalaitoksen tarvitsema lämpöenergia tuotetaan. Suurimmalta kattilalta lähtevien vesiputkien paine on kuitenkin eri verrattuna kahteen pienempään. Tämä on aiheuttanut ongelmia sahalaitoksella, sillä kaikilta kattiloilta ei voida ajaa lämmintä vettä samanaikaisesti eri kulutuskohteisiin, sillä kaikki putket eivät kestäisi yhdenaikaista ajoa. Tästä johtuen lämpöenergian määrässä on ollut pulaa, kun kuivaustarve on ollut suuri.

Kattiloissa poltetaan sahatuotannon sivutuotteina syntyvää sahanpurua, kuorta, kuivahaketta ja kutterinpurua. Suurin osa käytetystä lämpöenergiasta käytetään puun kuivaamoissa. Puuta kuivataan betonisissa ja alumiinisissa kuivauskamareissa, sekä uudessa vuonna 2016 valmistuneessa kanavakuivaamossa, jossa puutavara etenee kuivauskanavan läpi. Lisäksi lämpöenergiaa menee liimalevytehtaalle ja saha rakennukseen. Saharakennuksen lämmittämiseen vaikuttavat myös siellä olevat sahalaitteet ja muut sähkölaitteet, jotka osaltaan lämmittävät tiloja.

Sähköä kuluu tuotantolaitoksella pääasiallisesti sahalaitteisiin, pumppuihin, moottoreihin, kuivaamoiden puhaltimiin ja muihin sähkölaitteisiin kuten ohjauslaitteisiin ja valaisimiin. Sähköä saadaan kahdelta eri sähköjakelu yhtiöltä, sillä tuotantolaitoksella ja pellettitehtaalla on omat sopimuksensa.

Vettä käytetään pääasiallisesti kuivauskamareiden kiertoihin lämmön siirtämisessä. Lisäksi muissa rakennuksissa kuten saharakennuksessa, liimalevytehtaalla, toimistotiloissa ja sosiaalituloissa on vesikiertoiset lämmitysjärjestelmät. Kuivaamoissa tiivistynyt vesi johdetaan suoraan viemäriin. Kulutettava vesi saadaan paikallisen vesiverkoston kautta ja jäteveden käsittelystä huolehtii paikallinen viemärilaitos.

## 8 Sahalaitoksen energian ja veden kulutus

### 8.1 Lämpöenergia ja polttoaineet

Kaikki sahatuotantolaitoksella käytettävä lämpöenergia tuotetaan kohteen omissa lämpökeskuksissa. Vuonna 2017 lämpökeskuksissa käytettiin polttoaineena: sahanpurua, kuorta, kuivahaketta ja kutterinpurua. Polttoaineiden määrät ja niistä saadut energiat on merkitty taulukkoon 2. tammi- joulukuun väliltä. Yhteensä vuonna 2017 tuotettiin noin 39 222 MWh lämpöenergiaa. Kaikista eri polttoaineista saadut energiamäärät on summattu kuukausittain yhteen, joka on nähtävissä taulukossa 3. Kohteessa suurin osa käytettävästä lämpöenergiasta menee sahatavaran kuivatukseen, eli kuukausittainen energiankulutus vaihtelee riippuen tuotannonmäärästä. Mitä enemmän sahatavaraa tuotetaan, sitä enemmän menee myös kuivaukseen.

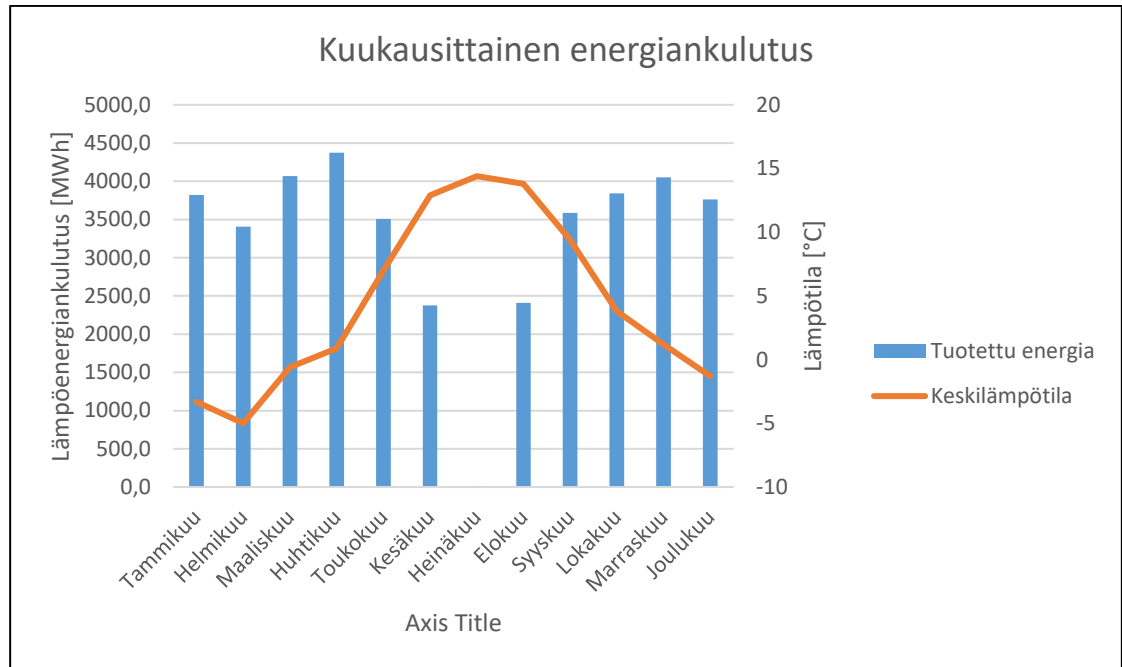
Taulukko 2 Vuonna 2017 käytetyt polttoaineet ja niistä saadut energiamäärät

2017	sahanpuru		kuori		kuivahake		kutteri		Yhteensä	
	m3	MWh	m3	MWh	m3	MWh	m3	MWh	m3	MWh
Tammikuu	1430,0	1125,0	2005,0	918,0	500,0	640,0	1225,0	1139,0	5160,0	3822,0
Helmikuu	1080,0	850,0	1630,0	747,0	585,0	749,0	1140,0	1060,0	4435,0	3406,0
Maaliskuu	1392,0	1096,0	2016,0	923,0	564,0	722,0	1428,0	1328,0	5400,0	4069,0
Huhtikuu	1476,0	1162,0	2076,0	951,0	690,0	883,0	1482,0	1378,0	5724,0	4374,0
Toukokuu	1080,0	850,0	1932,0	885,0	486,0	622,0	1236,0	1149,0	4734,0	3506,0
Kesäkuu	864,0	680,0	1260,0	577,0	438,0	561,0	600,0	558,0	3162,0	2376,0
Heinäkuu	5,0	4,0	10,0	5,0	0,0	0,0	5,0	5,0	20,0	14,0
Elokuu	888,0	699,0	1344,0	616,0	414,0	530,0	606,0	564,0	3252,0	2409,0
Syyskuu	1197,0	942,0	1719,0	787,0	576,0	737,0	1206,0	1122,0	4698,0	3588,0
Lokakuu	1161,0	914,0	1890,0	866,0	459,0	588,0	1584,0	1473,0	5094,0	3841,0
Marraskuu	1467,0	1155,0	1899,0	870,0	414,0	530,0	1611,0	1498,0	5391,0	4053,0
Joulukuu	1080,0	850,0	2016,0	923,0	405,0	518,0	1584,0	1473,0	5085,0	3764,0
Yhteensä	13120,0	10327,0	19797,0	9068,0	5531,0	7080,0	13707,0	12747,0	52155,0	39222,0

Taulukko 3 Polttoaineiden tiedot ja jakaumat

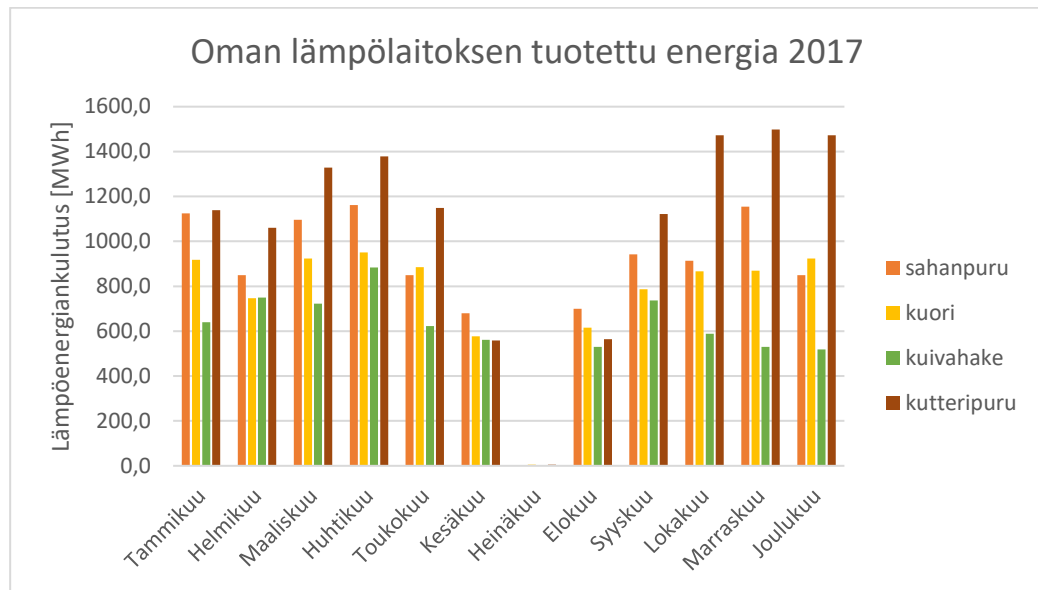
	Lämpöarvo MWh/i-m3	Kosteus-%	Polttoainemäärä MWh	Osuus polttoaineesta
Sahanpuru	0,79	58,4	10327	26,33 %
Kuori	0,46	62,5	9068	23,12 %
Kutteri	0,93	16	12747	32,50 %
Kuivahake	1,28	8	7080	18,05 %
Yhteensä			39222	100,00 %

Kuvion 5 kuukausittaisen energiankulutuksen pylväsdiagrammista on nähtävissä, että heinäkuun aikana sahatuotantolaitos ei ole toiminnassa, mikä johtuu vuosilomien ja isompien vuosihuoltojen aiheuttamasta seisokista.



Kuvio 5 Vuoden 2017 kuukausittainen energiankulutus

Kuviosta 6 nähdään melko tarkasti, kuinka paljon mitäkin sivutuotteena syntyvää polttoainetta ollaan käytetty. Nämä polttoainetiedot löytyvät vain vuodelta 2017. Katselmuksen luotettavuuden kannalta se on hyvä, sillä sitä aikaisemmat tiedot eivät kuvaa kohteen nykytilannetta niin tarkasti, johtuen vuoden 2016 lopussa valmistu-  
neesta uudesta kuivauskanavasta ja täten nousseesta kuivauskapasiteetista.



Kuvio 6 Polttoainekohtainen energiantuotto 2017

Kuivausenergiaa ei kohteessa juurikaan mitata, joten oli tärkeää selvittää edes teoreettisesti se, kuinka paljon kohteessa kuivaamoihin kului energiaa. Tämän perusteella pystyttiin arvioimaan hukkaan meneviä energiamääriä.

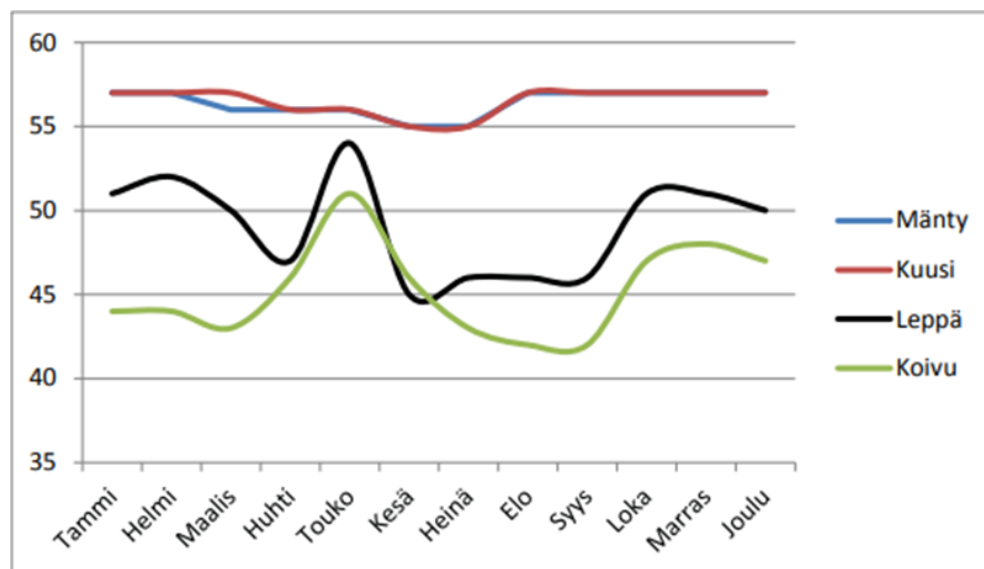
Taulukko 4 Vuoden 2017 kuivatun tuotannon määrät

Kuivausmäärät 2017	Erikoiskuiva 12 % +/- 2 %	Vientikuiva 20 % +/- 2 %
	kuutiota [m3]	kuutiota [m3]
tammikuu	3513	2484
helmikuu	3083	2245
maaliskuu	4022	2666
huhtikuu	2970	2761
toukokuu	4138	2713
kesäkuu	3731	2919
heinäkuu	0	1129
elokuu	4342	1756
syyskuu	3724	2657
lokakuu	3784	2413
marraskuu	4049	2628
joulukuu	2135	2175
<b>yhteensä</b>	<b>39491</b>	<b>28546</b>
<b>massa (kg)</b>	<b>32580075</b>	<b>23550450</b>

Taulukosta 4 on nähtävillä vuoden 2017 aikana kuivatut puumäärät kuutioina. Puuta kuivataan kahteen eri kosteuteen, joka riippuu asiakkaasta ja asiakkaan tarpeista. Näiden kuivausmäärien perusteella pystyttiin laskemaan veden haihdutukseen tarvittavia teoreettisia energiamääriä ja vertailemaan näitä arvoja polttoaineista saatuihin energiamääriin.

Kuivaukseen kuluneen teoreettisen energiamäärän laskennassa selvitettiin aluksi sahatavaran vesisisältö. Kohteessa käytetään mäntyä ja kuusta, joiden tuoretiheyksien arvoina käytettiin  $850 \text{ kg/m}^3$  ja  $800 \text{ kg/m}^3$ . Tiheyksistä käytetään suoraan keskiarvoa  $825 \text{ kg/m}^3$ , koska ei ole tiedossa missä suhteessa mitään puuta käytetään. Keskiarvo on tässä tapauksessa varmasti hyvin lähellä todellisuutta, sillä männyn ja kuusen tiheydet ovat muutenkin lähes yhtä suuret.

Sahatavaran alkukosteutena laskennassa käytettiin 58,4 %, joka on mitattu sahanpurun kosteus. Tätä voidaan pitää hyvin lähellä todellista arvoa, joka on muun muassa nähtävissä alla olevasta kuviosta 7.



Kuvio 7 Tuore puun kosteuden vaihtelu eri vuodenaikoina. (Kauppinen 2014, 6.)

Männyn ja kuusen kosteudet ovat lähes samat ympäri vuoden, eli alkukosteus vaikutti järkevältä. Tämän jälkeen lähdettiin selvittämään veden määrää, joka sahatavara täytyy haihduttaa, jotta päästään haluttuihin kosteuksiin 12 % ja 20 %. Veden määrää selvitettiin seuraavan kaavan avulla.

$$m_{\text{vesi}} = m_{\text{kok}} \times \left( 1 - \frac{100 - w_1}{100 - w_2} \right)$$

$m_{\text{vesi}}$  = haihdutettava vesimäärä, kg  
 $m_{\text{kok}}$  = puuerän kokonaismassa alussa, kg  
 $w_1$  = puuerän alkukosteus, %  
 $w_2$  = puuerän loppukosteus, %

Kuvio 8 Haihdutettavan vesimäärän laskukaava (Kauppinen 2014, 10.)

Tämän kuvion 8 kaavan avulla saatiin laskettua haihdutettavan veden määriksi seuraavat massat:

$$m_{\text{vesi } 12\%} = 17178585,0 \text{ kg}$$

$$m_{\text{vesi } 20\%} = 11304216,0 \text{ kg}$$

$$m_{\text{vesi yhteensä}} = m_{\text{vesi } 12\%} + m_{\text{vesi } 20\%} = 28482801,0 \text{ kg}$$

Kokonaisuudessaan vuoden tuotannon aikana täytyy haihduttaa melkein 30 miljoonaa kiloa vettä. Tässä vaiheessa laskettiin energia, jota tarvitaan vuosittain puussa olevan veden sulattamiseen. Apuna tässä laskussa käytettiin paikkakunnan vuoden 2017 keskilämpötiloja, jonka mukaan valittiin kuukaudet, joiden tuotantomäärien oletettiin olevan jäässä, eli kuukaudet, joiden keskilämpötilat ovat negatiivisia. Näitä kuukausia olivat: tammi-, helmi-, maaliskuu- ja joulukuu (ks. kuvio 9).

Keskilämpötila 2017	C
Tammikuu	-3,3
Helmikuu	-5
Maaliskuu	-0,6
Huhtikuu	0,9
Toukokuu	7
Kesäkuu	12,9
Heinäkuu	14,4
Elokuu	13,8
Syyskuu	9,4
Lokakuu	3,8
Marraskuu	1,2
Joulukuu	-1,3
Keskiarvo +	7,9
Keskiarvo -	-2,6

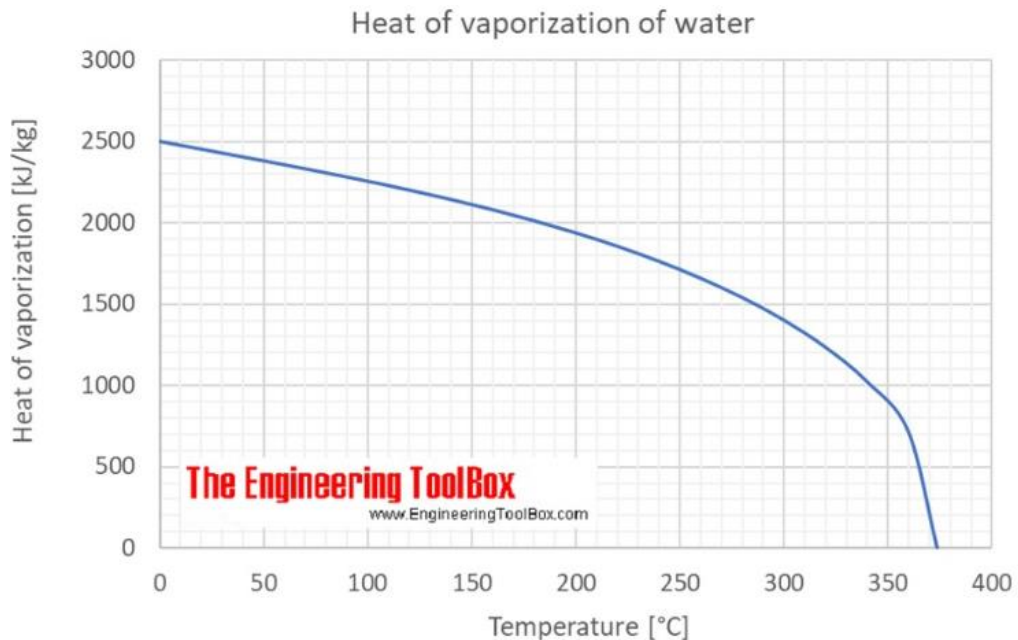
Kuvio 9 Vuoden 2017 kuukausittaiset keskilämpötilat (Kuukausitilastot n.d.)

Näiden neljän kuukauden aikana kuivauksessa oli yhteensä 22323 m<sup>3</sup> sahatavaraa ja tämän sahatavaran massa veden ollessa sula, olisi 18416575 kg. Tästä 58,4 % on vettä eli 10755221,4 kg. Tästä pystyttiin laskemaan, että jään massa olisi noin 10 % vähemmän, joka johtuu siitä, kun jään tiheys on pienempi kuin veden. Eli jään massaksi saadaan 9679699,26 kg. Seuraavina vaiheina laskettiin jään lämmittämiseen kuluva energia 0,052 TJ ja lopuksi jään sulamislämpö 3,22 TJ.

Kuivauskamareissa käytetään erilaisia kuivauskaavoja, joiden mukaan kamarin olosuhteet vaihtelevat ja päästään haluttuihin loppukosteuksiin. Kamarien lämpötilat nostetaan jopa 70 °C asteeseen kuivauksen aikana ja tässä teoriittisessa laskennassa oletettiin, että kaikki vesi lämpenisi vuoden keskilämpötilasta (pakkaskuukausina 0 °C, sillä jään sulaminen on jo laskettu eli keskilämpötilana 5,3 °C) aina 70 °C asti. Tähän kuluisi energiaa 7,72 TJ. Tässä lämmittämisvaiheessa osa vedestä haihtuisi jo, mutta laskennan helpottamiseksi oletetaan, että kaikki haihdutettava vesi haihtuisi vasta, kun saavutetaan ja ylläpidetään 70 °C lämpötila. Vesikilon haihduttamiseen tässä lämpötilassa menee noin 2330 kJ energiaa (ks. kuvio 10.) Tämän mukaan veden haihduttamiseen kuluisi noin 66,36 TJ energiaa. Kokonaisuudessaan kuivaukseen vuonna 2017 kului siis noin 77,36 TJ lämpöenergiaa (21 490 MWh). Tämä on vuosittaisesta tuotannosta (30 767 MWh) noin 70 % ja. Laskennassa tehtyjen oletusten



perusteella pystytään päättelemään, että todellisuudessa itse kuivausprosessiin voi kulua energiaa hieman enemmänkin.



Kuvio 10 Veden haihtumiseen tarvittava energia kiloa kohti eri lämpötiloissa (Water – Heat of Vaporization. N.d.)

## 8.2 Lämpöhäviöiden määrät

Kuivaukseen menee teoreettisen laskennan mukaan noin 21 500 MWh energiaa. Lisäksi energiaa kuluu vuosittain saharakennusten lämmitykseen 1770 MWh ja liimalevytehtaalle 1440 MWh. Kokonaistuotannon ollessa 39 222 MWh vuonna 2017, voidaan teoreettisesti olettaa, että erilaisiin lämpöhäviöihin menee noin 14 500 MWh, eli noin kolmasosa koko tuotantolaitoksen tuottamasta energiasta. Lämpöhäviöitä tapahtuu kattiloissa, vedensiirtoputkistoissa ja kuivaamoissa. Kuivaamoissa lämpöä menee hukkaan rakenteiden, poistoilman ja viemäreihin menevän veden mukana. Kamarin poistoilman lämpötila nähdään liitteestä 9 ja viemärien lämpöhäviöt liitteestä 10.

Lämpöenergian jakautumisesta piirrettiin tasekaavio (liite 11.) käyttämällä e!Sankey-ohjelman testiversiota. Tasekaaviosta nähdään, miten eri sivutuotteista saatu energia

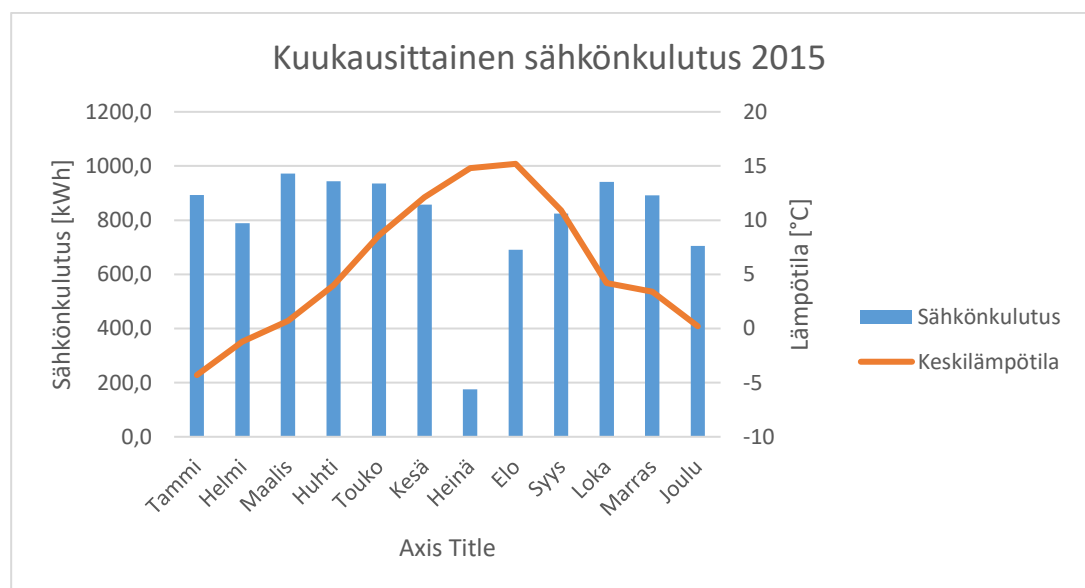
jakautuu ensiksi kattiloittain ja sen jälkeen kulutuskohteittain. Lisäksi tasekaaviosta nähdään kattiloiden ja kulutuskohteiden arvioituja lämpöhäviöiden määriä.

### 8.3 Sähköenergia

Tässä katselmustyössä tarkasteltiin energiankulutuksia vuoden 2017 kulutusten perusteella. Aikaisempien vuosien kulutuksia käytettiin vertailuarvoina, joita hyödyntämällä saatiin tarkempi käsitys sahalaitoksen vuosikulutuksista.

Sähköenergiaa käytetään tuotantolaitoksessa valaistuksiin, moottoreihin, sähkoneisiin, kuivaamoiden puhaltimiin, pumppuihin ja muihin sähkölaitteisiin.

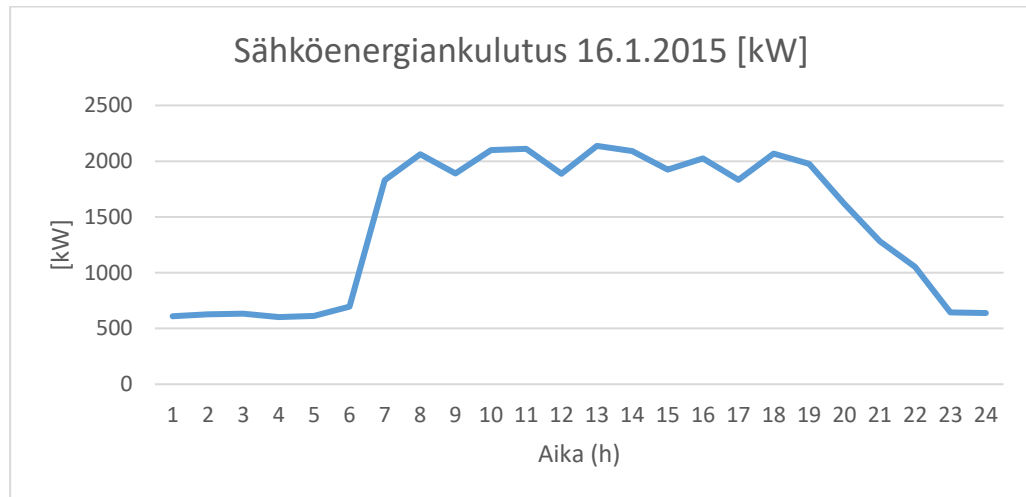
Vuonna 2015 tuotantolaitoksella käytettiin noin 8118 MWh sähköenergiaa. Lisäksi pelletinvalmistukseen tuotantolaitoksen pellettitehtaalla menee vuosittain arviolta 1500 MWh sähköenergiaa. Eli yhteensä sähköenergiankulutus on ollut noin 9618 MWh vuonna 2015.



Kuvio 11 Vuoden 2015 kuukausittainen sähkönkulutuskäyrä

Vuoden 2015 kuukausittaisesta (kuvio 11) sähkönkulutuksesta nähtiin selkeästi sahalaitoksen heinäkuinen tuotantoseisakki. Kuvion 12 mukaan tuotanto ei ole yöaikaan käynnissä ja se sijoittuu kahteen vuoroon välille 6-22. Kulutushuiput on nähtävissä juurikin sillä aikavälillä, kun tuotanto on käynnissä ja ne ovat suuruudeltaan hieman

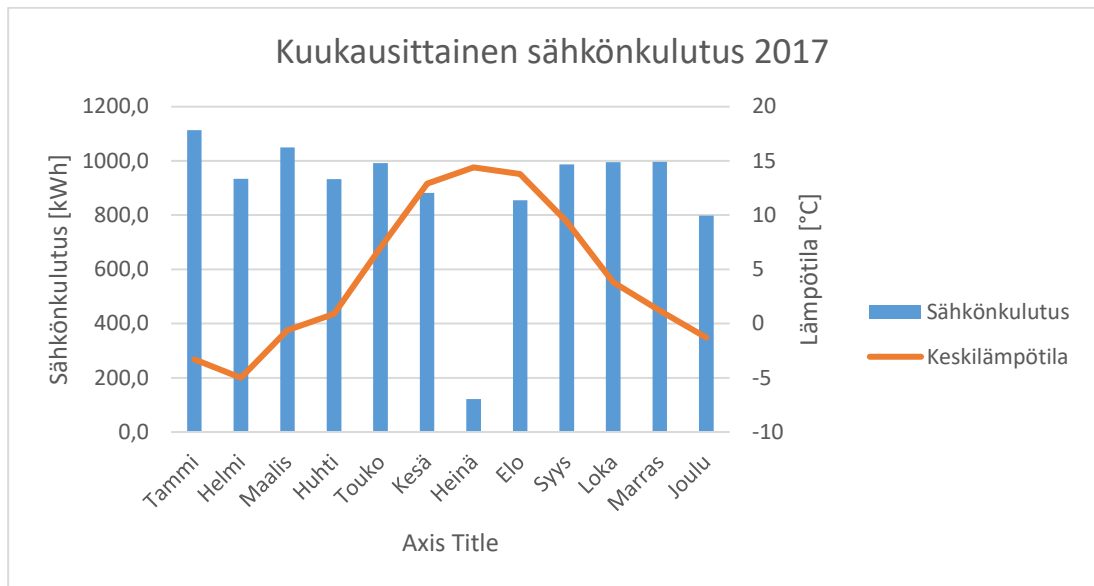
yli 2000 kWh. Yöaikaan sähköä kuluu lähinnä kuivaamoiden sähköllä toimiviin puhaltimiin ja vesikiertojen pumppuihin, sekä mahdollisiin yöllisiin valaistuksiin. Kuvio 12 on nähtävissä yöllinen kuorma ja se on työtuntien ulkopuolella melko tasaisesti 500 – 700 kWh.



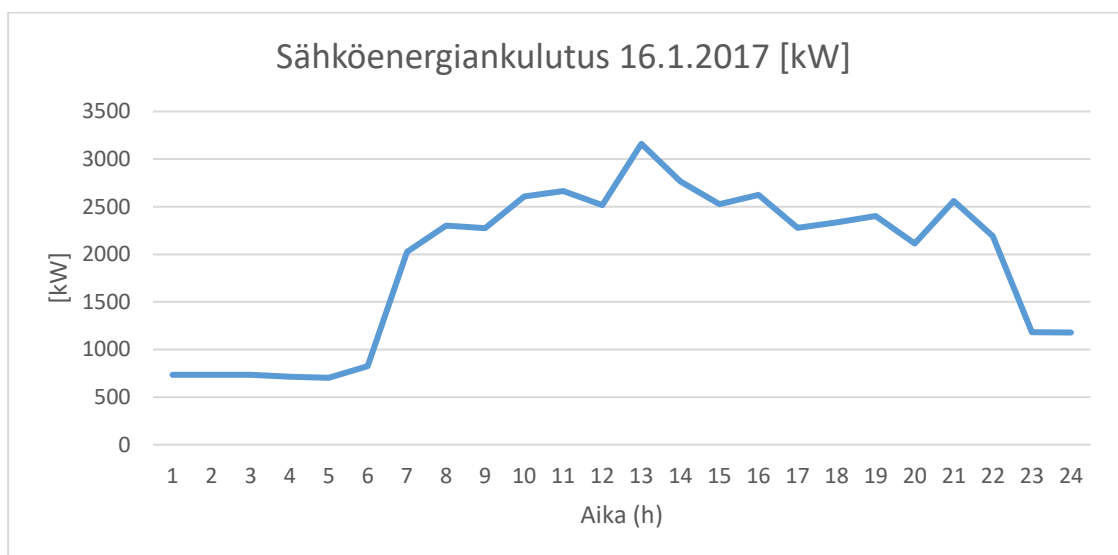
Kuvio 12 Sähköenergiankulutus tunnin tarkkuudella 16.1.2015

2016 vuodelta ei sähkönkulutustietoja pystytty saamaan, mutta 2017 vuodelta tiedot taas löytyivät. Vuonna 2017 sähköä käytettiin noin 10 700 MWh, joka on vuoteen 2015 verrattuna noin 1000 MWh enemmän. Osittain tähän vaikuttaa ainakin vuonna 2016 käyttöönotetun kanavakuivaamon sähkönkulutus, jossa on paljon erikokoisia puhaltimia ja lämmöntalteenottojärjestelmä, joiden sähkönkulutus on merkittävä.

Sähköenergiankulutuksen tarkasteluun ollaan kuukausittaisen kulutuksen (ks. kuvio 13) lisäksi valittu tavallinen päivä, jolloin tuotanto on ollut käynnissä (ks. kuvio 14). Päiväksi valittiin sama, kuin vuodelta 2015 ja ne ovat kulutuksiltaan hyvin samankaltaisia. Vuonna 2017 sähkön tarve on kuitenkin ollut hieman suurempi, mutta kuorma on melko tasainen lukuun ottamatta lounastauon jälkeistä kulutuspiikkiä, jolloin suurin osa sahalaitteista on käynnistetty yhtä aikaa.



Kuvio 13 Vuoden 2017 sähkönkulutuskäyrä



Kuvio 14 Sähköenergiankulutus tunnintarkkuudella 16.1.2017

Myöskin sähköenergian käytöstä piirrettiin tasekaavio (liite 12.) e!Sankey-ohjelmalla. Tämä kaavio jäi huomattavasti suppeammaksi lämpöenergiana verrattuna, koska sähköenergianjakautumisesta ei ollut mahdollista saada niin hyvää kulutus- ja mitausdataa.

## 8.4 Vesi

Suurin osa tuotantolaitoksella käytettävästä vedestä kuluu kuivauskamareiden ja kattiloiden väliseen vesikiertoon. Kattiloiden lämpöenergiaa siirretään siis putkistoissa kierrettävän veden avulla. Tämä tarkoittaa suoraan sitä, että mitä enemmän sahalla on kuivattavaa tuotantoa, niin sitä enemmän myöskin vettä kuluu. Kohteessa on vuonna 2015 käytetty 1 800 m<sup>3</sup> vettä. Voidaan olettaa, että veden kulutus on vuoden 2015 verrattuna kasvanut hieman johtuen vuonna 2016 valmistuneesta kuivauskanavasta ja sen mahdollistamasta kuivauskapasiteetin kasvamisesta.

## 8.5 Vuodenaikojen vaikutus energian ja veden kulutuksessa

Lämpöenergian kulutukseen vaikuttavat vuoden aikana vaihtelevat lämpötilat. Pakkaselle mentäessä puut ja sahatavara jäätyvät, joka vaatii tuotantolaitokselta enemmän lämpöenergian tuotantoa, joka taas tarkoittaa suurempaa polttoaineen kulutusta. Muulloin kuin kesäaikana lämmitetään myös toimisto ja saharakennuksia.

Sähkön kulutus pysyy melko tasaisena koko vuoden ajan, joka oli nähtävissä aikaisemmissa kuukausittaisen sähkönkäytön kuvaajissa. Tämän ei kuitenkaan pitäisi olla aivan näin. Esimerkiksi kesäisin kuivaamoiden puhaltimien ei tarvitsisi toimia samalla teholla kuin talvisin, sillä sahatavaraa ei tarvitse sulattaa ja sahatavaran veden lämpötila on jo lähtökohtaisesti suurempi.

Vesikiertojen määrät ovat myöskin talvisin suuremmat, koska kamareihin tarvitaan suurempia määriä lämpöä varsinkin ylösajossa, jotta jäätynyt puutavara saadaan sulamaan. Muuten veden kulutus pysyy melko tasaisena ympäri vuoden.

## 9 Toimenpide-ehdotukset ja niiden kustannukset

### 9.1 Lämpöenergia

Sahalla tarvittava lämpöenergia pystytään tuottamaan kokonaan tuotannosta syntyvillä sivutuotteilla. Tämä tarkoittaa sitä, että varsinaisiin polttoainekustannuksiin sahalla ei kulu taloudellisesti juuri mitään. Polttoaineen käyttöä säästämällä saa sivutuote kuitenkin hinnan, sillä se pystytään myymään sellutehtaille tai lämpölaitoksille. Näin ajateltuna kaikki mahdollisuudet säästää polttoaineen käyttöä tuovat myös lisää tuottoa. Tämän työn aikana huomattiin, että erityisesti polttoaineen käyttöä tehostamalla ja rakenteiden johtumishäviöitä pienentämällä pystytään saamaan huomattaviakin säästöjä aikaan. Tässä luvussa käydään läpi säästökohteita yleisesti, mutta tarkemmin perehdytään juuri näihin kahteen tapaan.

#### 9.1.1 Lämmöntalteenotto

Kuivaukseen kuluu selvästi suurin osa käytetystä lämpöenergiasta, josta myös suuri osa menee hukkaan poistoilman myötä tai viemäreihin tiivistyvään veteen. Hukkaenergian hyödyntämistä ollaan suunnitellut lämmöntalteenottojen avulla. Tätä hukkaenergiaa ajateltiin hyödynnettäväksi puutavaran esilämmittämisessä lämmönvaihtimen avulla. Valtion Teknologian tutkimuskeskuksen (VTT, 1997) julkaisemassa ”Höyryn käyttö sahatavaran kuivauksessa” tutkielmassa ollaan kuitenkin käsitelty muun muassa sitä, että kuivauskutistuminen, josta halkeamatkin johtuvat alkaa heti kuivauksen alettua. Tämän takia sahatavaran esilämmitys ei välttämättä ole kannattava ratkaisu, jos halutaan minimoida kaikki kuivauksesta aiheutuvat virheet. (Hukka & Tarvainen 1997, 12-14)

Talvisin kuivaamoihin viedyt puut ovat usein jäässä ja jään sulattaminen vaatii kuivauksen alussa todella paljon ylimääräistä energiaa. Tällä hetkellä tämä on aiheuttanut tuotantolaitoksella ajoittain liian suuren tarpeen lämpöenergialle, jota ei vain pystytä tämän hetkisillä kattiloilla tuottamaan. Yhtenä kehitysideana ajateltiin hukkalämmön käyttämistä puun sulatukseen. Mikäli ylimääräistä kamari- tai varastotilaa

olisi käytössä, niin voitaisiin sahatavaraa viedä sulamaan esimerkiksi vanhoihin betoni kamareihin tai puuvarastoihin pienellä lämmöllä. Kamareissa olisi lämmönsiirron kannaltakin jo valmiit putkijärjestelmät, lämmönsiirto patterit ja puhaltimet.

Puutavaran sulattamisen rinnalle nousi toinenkin järkevä vaihtoehto puupolttoaineen kosteuden haihduttaminen. Hukkalämmön avulla voitaisiin kuivata ja esilämmittää polttoaineita kuten kuorta. Mikäli polttoaineen kosteutta saataisiin tämän avulla vähennettyä edes jonkin verran, niin nostaisi se polttoaineen lämpöarvoa (Kauppinen 2014, 6.). Tällä tavalla selvittäisiin vähemmällä polttoaineella, joka taas johtaisi siihen, että ylimääräistä polttoainetta voitaisiin myydä tai nostaa sahanpurusta valmistettavan pelletin tuotannon määrää, joka taas olisi suoraa tuottoa yritykselle. Polttoaineiden kuivausta käsitellään tarkemmin luvussa 9.1.3

Lämmöntalteenottolaitteet eivät ole halpoja ja tarkkoja investointeja varten tulisi tietää poistoilmavirtauksen ja viemäriin kondensoituneen veden määrät. Lämpötilat poistovirroilla ovat suuret, mutta voitaisiinko niistä saada tarpeeksi hyötyä?

Vettä puutavarasta haihdutettiin vuonna 2017 28,5 miljoonaa kilogrammaa. Tämä vesi on lämpökamerakuvien mukaan viemäriin kondensoituessaan jopa 60 °C. Kaikki vesi ei kuitenkaan mene viemäriin, vaan osa menee poistoilman mukana vesihöyryä hukkaan ja osa tiivistyy rakenteisiin, ja sitä kautta uudelleen ilmaan tai viemäriin. Oletettiin, että viemäriin tiivistyisi puolet kaikesta vedestä, joka vastaisi noin 14,2 miljoonaa kiloa. Tämä vesi on viemäriin tiivistyessään keskiarvoltaan 60 °C lämmintä. Oletetaan, että veden lämpöenergiasta saadaan hyödyksi 60 °C → 20 °C eli 40 °C verran. Lämmöntalteenottolaitteiston 75 % (teoreettinen) hyötysuhteella tämä tarkoittaisi noin 500 MWh hyötyenergiaa, joka polttoaineen ulosmyytävällä hinnalla (13 €/MWh) tarkoittaisi 6500 € vuosittaista säästöä. Tällä tavoin voitaisiin ajatella 65 000 € investointia noin kymmenen vuoden takaisinmaksuajalla.

Poistoilmaa varten täytyisi poistoilmavirtauksen määrä olla tiedossa, jotta lämmöntalteenottojärjestelmää pystyttäisiin mitoittamaan. Todennäköisesti poistoilman lämmöntalteenotolla saataisiin suuremmat hyödyt kuin vedestä, mutta myös investointi olisi suurempi. Arvioimme poistoilmasta saadun hyödyn olevan noin viisi kertaa enemmän, kuin viemäriin kondensoituneen veden. Tämä tarkoittaisi vuosittaista

32 000 € säästöä energiakustannuksista, joka mahdollistaisi 160 000 – 320 000 € investoinnin 5 – 10 vuoden takaisinmaksuajalla.

### 9.1.2 Vanhan kattilan hyödyntäminen

Tuotantolaitokselle kesällä 2018 tulevan uuden arinakattilan on tarkoituksena syrjäyttää tällä hetkellä jo pitkään käytössä olleen pienimmän kattilan. Yhtenä ajatuksena työtä tehdessä nousi kuitenkin kysymys: “pystyttäisiinkö vanhaa arinakattilaa hyödyntämään vielä jollain tavalla?”. Tässä työssä mietittyjä energiankäytön säästökohteita, joissa sitä pystyisi hyödyntämään ovat seuraavat:

- Talvisin puutavaran sulatus, esimerkiksi betonisissa ei niin paljon käytetyissä kuivauskamareissa
- Puupolttoaineiden kuivaus ennen polttoa, joka takaisi paremman lämpöarvon ja enemmän polttoainetta ylijäämää, joka pystytään kääntämään voitoksi.

Vanhan kattilan hyödyntäminen kuitenkin vaatisi tilaa ja lämmönsiirtojärjestelmän, jotta sitä voitaisiin hyödyntää järkevästi. Tätä varten täytyisi tietää sijoitetaanko uusi kattila vanhan tilalle fyysisestikin ja mitä kaikkea uuden kattilan asennus urakka tarkoittaa vanhojen putkien ja järjestelmien kannalta. (Kauppinen 2014, 21.) Voi hyvin olla, että vanhan kattilan hyödyntäminen ei ole taloudellisesti lainkaan järkevää, mutta työn kannalta kaikki ideat käydään läpi.

Kustannusten kannalta ajateltuna vanhan kattilan käyttöä arvioitiin seuraavasti. Jään sulatukseen käytettiin vuoden 2017 aikana teoreettisesti noin 900 MWh lämpöenergiaa. Tämä vastaa ulkoisille voimalaitoksille myytynä 11 700 € vuodessa käytettäessä polttoaineen ulosmyyntihintana 13 €/MWh. Vanhan kattilan jatkokäyttämiseen tarvittavaa hintaa on kuitenkin vaikea arvioida, eikä se välttämättä uuden kattilan ja uusittujen putkijärjestelmien tullessa ole edes mahdollinen. Tätä kuitenkin mietittiin ja esitettiin se yhtenä ajateltavana toimenpiteenä asiakkaalle.

### 9.1.3 Polttoaineet ja niiden esikuivaus

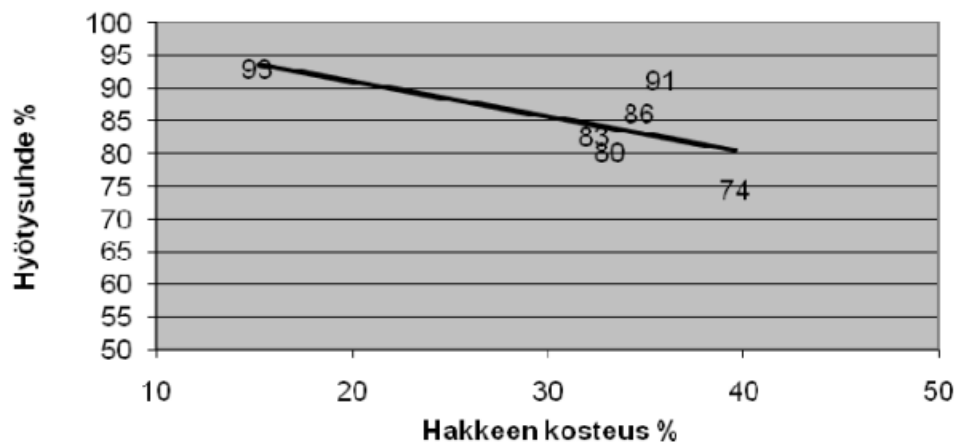
Polttoaineiden kuivausta mietittiin tässä työssä usealla eri tavalla, moni ideoista vaatisi investointeja kuivainlaitteisiin, joka tarkoittaisi suuria investoineja. Polttoaineita



kuivaamalla olisi kuitenkin mahdollista saada monia hyötyjä, joiden positiivinen vaikutus olisi varmasti nähtävissä tuotantolaitoksen käytössä pitkään tulevaisuudessa-kin.

Biopolttoaineen kuivauksen hyödyt (Boren n.d.; Hankalin ym. 2014, 13.):

- Biopolttoaineiden energiasisältö kasvaa sen kuivaamisen myötä, sillä polttoaine sisältää vähemmän vettä, jonka haihduttamiseen kuluu osa itse poltossa saatavasta energiasta.
- Polttoaine olisi jo lämmintä ennen kattilaan syöttöä, mikäli kuivurilta pystyttäisiin syöttämään polttoainetta suoraan kattilaan
- Hyötysuhde paranee, esimerkkinä hake, kuvio 15
- Mahdollisia kuljetuskustannuksia ja kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä pystytään pienentämään, sillä sahauksen sivutuotteena syntyvien puupolttoaineiden vesipitoisuus on hyvin korkea, joka vaikuttaa aineen massaan. Liika massa estää tietyn kokoisten kuormien kuljettamisen kuorma-autoilla ja kuljettimilla.

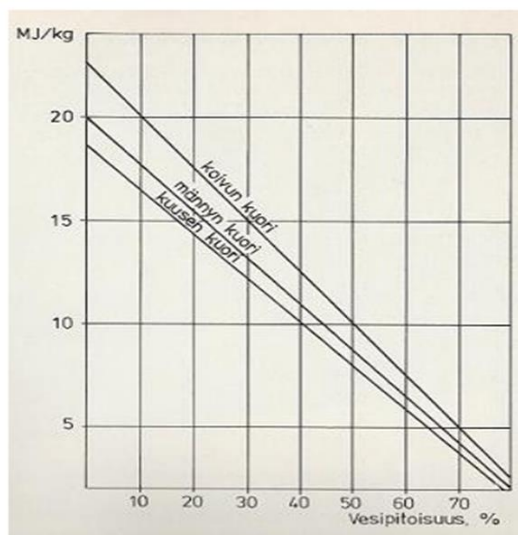


Kuvio 15 Hakkeen kosteuden vaikutus palamisen hyötysuhteeseen (Boren n.d. 6.)

Taulukko 13.2. Polttoaineiden tuhkapitoisuuden, lämpöarvon, kosteuden ja irtotiheyden vertailu.

Polttoaine	Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo $Q_{p,net,d}$ , MJ/kg	Kosteus $M_w$ , p-%	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa $Q_{p,net,w}$ , MJ/kg	Irtotiheys $BD$ , kg/irtto- $m^3$	Energiatiheys $E_{gr}$ , MWh/irtto- $m^3$	Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa $A_d$ , p-%
Kivihili	27,0–28,8	8–14	24,3–25,1	-	-	4,4–17,0
Raskas polttoöljy	40,5–41,5	< 0,1	40,5–41,5	985–1 020	-	0,02–0,05
Kevyt polttoöljy	35,2–35,9 MJ/litra	0,01–0,02	35,2–35,9 MJ/litra	820–840	-	< 0,001
Pyrolyysibiöly	18,4–20,1	20–30	13,0–18,0	1100–1300		0,01–0,1
Jyrsinturve (keskiarvo)	20,6	47	9,8	330	0,91	6,3
Palaturve (keskiarvo)	21,3	35	11,9	385	1,30	3,5
Turvepelletti	19,7–21,0	14–18	15,1–18,7	680–750	3,0–3,7	2,0–6,0
Sahanpuru	19,0–19,2	45–60	2,2–10,0	250–350	0,45–0,70	0,4–0,5
Koivunkuori	21,0–23,0	45–55	8,0–11,0	300–400	0,60–0,90	1,0–3,0
Havupuun kuori	18,5–20,0	50–65	5,0–9,0	250–350	0,50–0,70	1,0–3,0
Vanermurske	19,0–19,2	5–15	16,0–18,0	200–300	0,9–1,1	0,4–0,8
Puupelletit	18,9–19,5	6–9	7,0–18,2	600–650	2,8–3,3	0,1–0,5
Rankahake	18,5–20,0	40–55	7,0–11,0	250–350	0,7–0,9	0,5–2,0
Polttopuu	18,5–19,0	20–25	13,4–14,5	240–320	1,35–1,70 MWh/pino- $m^3$	0,5–1,2
Hakkuutähdehake	18,5–20,0	50–60	6,0–9,0	250–400	0,7–0,9	1,0–3,0
Kokopuuhake	18,5–20,0	45–55	7,0–10,0	250–350	0,7–0,9	1,0–2,0
Kantomurske	17,2–20,9	12–45	6,8–15,5	250–300	0,7–1,2	0,5–20,0 (keskimäärin 4,0)
Pajuhake	18,6	51–53	8,1–8,5	300–440	0,3–0,4	0,4–1,1
Ruokoheipi (kevätkorj.)	17,3–18,7	10–25	12,6–16,6	60–80	0,3	1,0–8,0
Energiajyvä	17,3	11	15,5	600	2,6	2,0
Oliki, silputtu	17,4	17–25	12,4–14,0	80	0,3–0,4	5,0
Kierrätyspolttoaine, SRF	17,0–37,0	15–35	13,0–35,0	150–250	0,7–1,0	3,0–7,0
Kotitalouden kuivajäte	18,5–23,4	25–36	11,7–16,9	150–200	0,7–1,0	5,3–16,1

Kuvio 16 Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen, Korhonen 2016.)



Kuvio 17 Puun kuoren kosteuden vaikutus lämpöarvoon (Porkka 2015.)

Tällä hetkellä tuotantolaitoksella poltettava kuori on vuosittaisen keskiarvon mukaan vesipitoisuudeltaan 62,5 % ja siitä saatiin vuonna 2017 noin 9068 MWh energiaa. Edellisellä sivulla olevien kuvioiden 16 ja 17 mukaan kuivaamalla kuori 40 % vesipitoisuuteen olisi mahdollista nostaa kuoresta hyödyksi saatavaa energiaa huomattavasti. Tämä ei tosiasiallisesti nosta energian määrää, mutta polttoaineen polttamisesta saatavaa energiaa ei kulu palamisen aikana kosteuden haihduttamiseen. Vieläkin kuivemmaksi sivutuotteita olisi mahdollista kuivata, mutta liian kuiva polttoaine voi vaikuttaa palamisen laatuun negatiivisesti. Kuoren kuivaaminen mahdollistaisi sen, että tuotantolaitoksella ei tarvitsisi käyttää niin paljon sahanpurua energiantuotantoon. Vuonna 2017 sahanpurusta saatiin noin 10327 MWh energiaa. Tästä noin puolet saataisiin tuotettua, kun puunkuoren energia ei kuluisi kuoren palamisen aikana kosteuden haihduttamiseen. Puolet tuotannon sivutuotteena syntyvästä sahanpurusta voitaisiin siis käyttää pelletin valmistukseen. Tämä parantaisi tuotantolaitoksen tuottoa vähentämällä polttoaineen käyttöä ja nostamalla pelletin myyntiä.

Mikäli pellettiä siis valmistettaisiin kaikesta kuoren korvaamasta sahanpurusta eli noin 2050 tonnista, niin vaatisi se 410 tuntia lisää kuivausaikaa rumpukuivaimelta, joka pystyy kuivaamaan 5 tonnia purua tunnissa. Tämä vaatisi luonnollisesti lisää sähkön käyttöä riippuen rumpukuivaimen tehosta. Ilman että sähkönkulutus ja pelletin valmistuksen muut kustannukset otetaan huomioon, niin pystyttäisiin saamaan noin 50 000 € enemmän vuodessa pelletin myynnistä. Lähinnä tällä määrällä voisi kuitenkin järkevästi rahoittaa lämmöntalteenottojärjestelmiä, joita käytiin läpi luvussa 9.1.1.

Pelletin myynnin kasvattamisen tulot saattaisivat mahdollistaa jonkinlaisen lisäkuivaininvestoinninkin erityisesti, jos siihen olisi saatavilla tukirahoitusta. Esimerkiksi 21.5.2018 Työ- ja elinkeinoministeriö myönsi neljälle yritykselle energiatukea viirakuivain ja savukaasupesuri-investointeihin lämmöntalteenottoilla. Tukea saaneet tuotantolaitokset ovat samankaltaisia sahalaitoksia kuin tämän työn kohde, mutta suuremmissa kokoluokassa. (Neljälle yritykselle energiatukea uusiutuvien polttoaineiden kuivauksen energiatehokkuushankkeille 2018.)

#### 9.1.4 Koneelliset kuivauslaitteet

Kuoren kuivaamista varten täytyisi kuori kuitenkin ensin murskata, jotta pala koot olisivat lähes samankokoisia ja kuivuminen mahdollisimman tasaista. Tämä vaatisi murskaininvestointia itse kuivauslaitteen lisäksi. Kuoripuristin voisi olla myös yksi vaihtoehto muidenkin biopolttoaineiden esikuivaamiselle. Esimerkiksi haketta voitaisiin kuivata mekaanisen kuivauksenkin avulla. Murskaimen mekaanisella kuivauksella ei päästä kuitenkaan niin hyviin kuivaus tuloksiin, kuin muilla biomassalla kuivaukseen tarkoitetuilla kuivaimilla. Kuorimurskaimen hinnaksi arvioitiin 250 000 - 300 000 €.

Kuoripuristimeen verrattuna kalliimpi sijoitus olisi viirakuivuri. Viirakuivuri tarvitsee tietyn verran ylimääräistä prosessienergiaa ollakseen järkevä sijoitus. Tällä hetkellä kohteen energiantuotanto kyky ei riitä aina edes täystehoiseen tuotantoon, eli viirakuivuri on vielä tällä hetkellä ainakin huono vaihtoehto. Vuoden 2018 kesällä kohteen ollaan kuitenkin ottamassa käyttöön uusi 6 MW arinakattila, joka tulee vanhan 1 MW kattilan tilalle. Tämä energiantuotanto kapasiteetin nostaminen saattaisi mahdollistaa viirakuivuri hankinnan. Viirakuivurissa lämpöenergiana voitaisiin käyttää kuivauskamareiden hukkalämpöjä, lämpökeskusten savukaasuja ja täydentävänä lämmitysenergiana voitaisiin käyttää lämmityspattereita, joissa kierrätettävä vesi voisi olla suoraan lämpökeskuksien kierron vettä, tai jopa kamareiden kuivauksen vesikierron paluuvettä. (Nevalainen 2017, 16.) Viirakuivurilla voitaisiin kuivata kaikki sivutuotteena syntyvä polttoaine. Näin tekemällä saataisiin monia aikaisemmin läpi käytyjä hyötyjä. Esimerkiksi sivutuotteiden myyntiä ajatellen tämä tarkoittaisi, että sivutuotteesta olisi mahdollista saada parempaa hintaa kuutiota kohden, sillä voimalaitokset usein maksavat sivutuotteesta saatavan energian hinnan mukaan eli €/MWh.

Viirakuivurin avulla saatava hyöty energian tai oikeastaan polttoaineen käytössä ilman lämmöntalteenottoja olisi kuitenkin melko pieni. Viirakuivuri tarvitsisi kaiken sivutuotteen kuivaamista varten paljon lämpöenergiaa ja jonkin verran sähköäkin. Koneelliseen kuivaukseen tarvittava energia olisi tämän kokoisen sahalaitoksen kuivausmääriistä saatavaan hyötyyn verrattuna liian suuri. Lisäksi tarkastellesse viirakuivainhankintaa, joka pitää sisällään kaiken kuivurin, asennukset ja kuljetukset, maksaisi työn kohteen kokoluokassa noin 3 miljoonaa euroa. Työn alussa oli jo tiedossa, että

sahalaitoksella ei olla valmiita tekemään miljoonasijoituksia tänä aikana, joten kuivainvestointien tarkastelua ei tämän enempää jatketa.

## 9.2 Sähkön käyttö

Sähkön käyttöä varten suunniteltiin aluksi pumppujen ohjauksien tehostamista ja valaisimien muuttamista LED-valaisimiksi. Tarkastuskäynnillä kuitenkin selvisi, että tuotantolaitoksella ollaan jo siirrytty LED-valaisimiin, joiden avulla ollaan saatu säästöjä aikaan. Vuosittaisen sähkönkulutuksen kannalta tarkasteltuna sähkönkulutus LED-valaisimiin siirryttäessä pieneni 333 MWh → 60 MWh, joka tarkoittaa vuosittaista noin 20 000 € säästöä. Vaikka säästöt ovat suuret, niin ei valaistukseen kulunut sähkö ole suurta verrattuna koko tuotannon sähkölaitteiden kulutukseen, joka on noin 10 000 MWh, niin jää valaistuksen osuudeksi hyvin pieni osa (noin 0,6 %).

Suurten kiertovesipumppujen ja kamaripuhaltimien ohjausta varten voitaisiin ajatella EC-moottoreita tai taajuusmuuttaja ohjattuja moottoreita, mikäli sellaisia ei vielä ole käytössä. Niiden avulla pystyttäisiin kontrolloimaan pumppuja paremmin ja tätä kautta säästämään sähkönkulutuksessa. Mikäli tämänhetkiset puhaltimet eivät ole suorilla hihnavedoilla, niin pelkästään vaihtamalla moottorit EC-suorahihnamoottoreihin olisi mahdollista säästää jopa 50 % energiankulutuksessa.

Tarkastuskäynnillä nousi esille myöskin kuukausittain loistehoon meneviä kustannuksia. Kuukausittain loistehon kulutukseen menee sähkölaskujen mukaan noin 5000 €. Kohteessa tehdään loistehon kompensointia, mutta sitä pitäisi kyllä parantaa, jotta vuosittain ei menisi 60 000 € pelkästään sen takia. On myös mahdollista, että kompensoinnin avulla päästäisiin pienempiin liittymis- ja perusmaksuihin.

Sahalaitoksella käytetään hieman yli 10 000 MWh sähköä vuodessa, joka vastaa noin 600 000 € vuosittaisia kuluja (laskettu saaduilla sähkön hinnoilla, jotka pitävät sisälleen sähkön hinta vuonna 2017: 42,6 €/MWh, tehomaksun 2,17 €/kW/kk, loistehomaksun 4,77 €/kVAr/kk ja perusmaksun 280,3 €/kk).

### 9.2.1 Moottorien vaihtaminen EC- tai taajuusmuuttajaohjatuiksi

Esimerkiksi prosessikohtaisten sähkö- ja automaatiomittareiden arvioitiin maksavan noin 100 000 €, kiertovesipumppujen (2 kpl) moottorien 5 000 €, kamaripuhaltimien

(18kpl) moottorien 43 000 € ja paineilmapumppujen moottorien 1 000 € kappale. Eli nämä noin 150 000 € investoinnit saataisiin maksettua takaisin alle kolmessa vuodessa, mikäli sähkönkulutuksessa päästäisiin 10 % säästöihin.

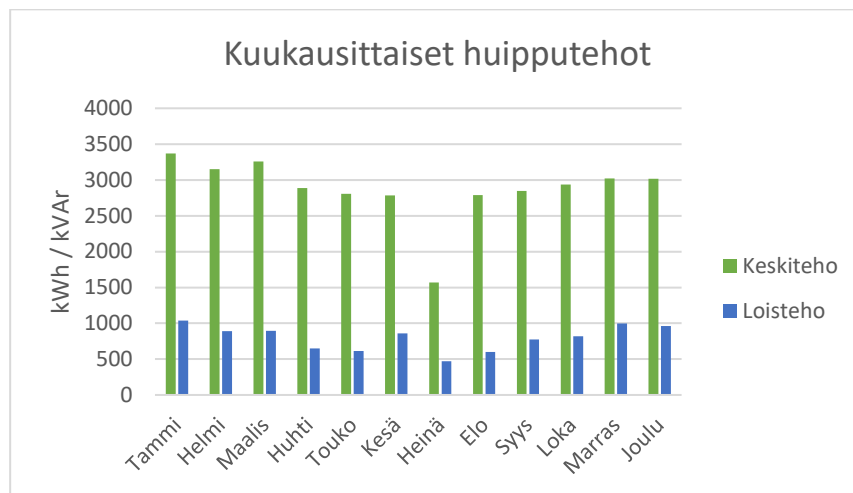
Kiertovesipumppujen EC-moottorien avulla olisi mahdollista säästää jopa yli puolet niiden kuluttamasta energiasta. Kiertovesipumppujen yhteinen teho on 55,5 kW, jonka avulla laskettiin sähkönkulutus niiden käyttöaikana. Tällä tavalla laskettuna kiertovesipumppujen kulutukseksi saatiin 445 MWh, joka on noin 4,2 % vuoden 2017 kulutuksesta. Rahallisesti tämä on noin 24 000 €, josta voitaisiin säästää noin puolet eli 12 000 € vuodessa. Arvioidulla 5 000 € investoinnilla EC-moottorit maksaisivat itsensä takaisin alle puolessa vuodessa.

Kamaripuhaltimien muuttaminen taajuusmuuttaja ohjatuiksi EC-moottoreiksi vaatisi arviolta 43 000 € investoinnin (2000+ € per moottori asennuksineen). Puhaltimien määrän ja tehon mukaan laskettiin niiden kuluttavan noin kaksi kolmasosaa yöllisestä noin 650 kW peruskuoramasta eli noin 430 kW. Puhaltimet ovat jatkuvassa käytössä, joka tarkoittaisi 11 kuukauden käytön aikana noin 3 400 MWh kulutusta. Taajuusmuuttajien avulla tämä luku voitaisiin käytännössä puolittaa arvoon 1 700 MWh. Tämä alkuperäinen kulutus on melkein kolmasosa kaikesta sähkönkulutuksesta, joka tarkoittaisi rahallisesti noin 182 000 €, josta voisi saada takaisin vuosittain noin 90 000 €. 43 000 € moottori-investoinnilla jäisi takaisinmaksuajaksi hieman alle puolivuotta.

### 9.2.2 Suurten sahamoottorien käytön optimointi

Kuviosta 18 nähdään vuoden 2017 jokaisen kuukauden huippukeskiteho ja huippuloisteho. Yhtenä asiakkaan kanssa sovittuna tavoitteena oli pienentää mahdollisia sähkönkäytön tehohuippuja, jotta tehomaksujen hintaa pystyttäisiin alentamaan. Vuonna 2017 kuukausittaiset huipputehot vaihtelevat 2750 kW ja 3370 kW välillä (pois lukien heinäkuun seisakki aika). Verrattuna päivittäiseen normaali kuormaan, joka on päivisin työaikana 2000 kW – 2500 kW, niin ovat kulutushuiput hyvin suuret. Suurin syy näille kulutushuipuille ovat suuret sahalaitteet, joiden moottorit ovat tehoiltaan 200 – 250 kW. Suurimmat kulutushuiput ajoittuvat usein lounastaukojen jälkeen, jolloin kaikki laitteet käynnistetään samaan aikaan. Kulutushuippuja pystytään

pienentämään pelkästään optimoimalla sahalaitoksen toimintatapoja. Pehmokäynnistyksillä ja sahalaitteiden käynnistyksien porrastamisilla pystytään tehohiippuja pienentämään merkittävästi, joka taas tarkoittaa tehomaksujen pienentymistä. Tämä on kuitenkin asia, jonka täytyy toimia aina, sillä yksikin lipsahdus vuoden aikana nostaisi tehomaksut takaisin korkealle tasolle. Sahalaitoksella täytyy siis toteuttaa ohjeistuksia tai koulutuksia energiankäytön säästämistä varten, jotta energiankulutukset pystytään saamaan alhaisemmiksi.



Kuvio 18 Kuukausittaiset huipputehot 2017

### 9.3 Veden käyttö

Veden kulutuksesta suurin osa kuluu kuivauskamareiden kiertoihin. Näihin vesikiertoihin tarvittavia teoreettisia vesimääriä ollaan saatu lähtötietoina ja niitä ollaan verrattu kamarien energian käyttöön. Vesimääriä ohjataan kuivausohjelmien avulla.

Teoreettisten ja kuivausohjelmien tarkastelujen jälkeen veden kulutus on kuitenkin parhaiten optimoitu sahalaitoksen kulutuksista ja sen käyttö ja siitä aiheutuvat kustannukset eivät aiheuta kehitystoimenpiteitä.

## 9.4 Rakenteet ja johtumishäviöt

### 9.4.1 Rakenteiden uusiminen

Kun mietitään rakenteiden uusimisia tai korjauksia kustannuksien kannalta, niin on otettava muitakin asioita huomioon. Vanhat rakenteet vuotavat enemmän energiaa kuin uudet, joka tarkoittaa suoraan menetettyä rahaa energianhinnassa. Mikäli rakenteita uusimalla näitä energianvuotoja saadaan vähennettyä, niin pystytään tällöin myös laskemaan, kuinka monen vuoden aikana energiaa menee hukkaan niin paljon, että sillä raha määrällä pystyttäisiin hankkimaan uudet rakenteet.

Kamarikuivaamoita tuotantolaitoksella on alumiinisia ja betonisia. Betonikamareiden rakenteet ovat alttiita vaurioitumaan ajan mittaan, joka huonontaa eristystä ja altistaa suuremmille lämpöhäviöille. Erityisesti talvisin, kun kamarin sisälämpötilat voivat olla 70 °C ulkolämpötilan ollessa -20 °C ja kamareiden kosteuden tiivistyessä sisäseinälle, niin betoni rakenteet ovat kovilla. Mikäli vanhojen betonikamareiden elinikää kuitenkin halutaan nostaa, niin voisi yhtenä mahdollisuutena olla kamareiden lisäeristäminen, jotta lämpötilaerojen vaihtelu ei vaikuttaisi yhtä paljon. Joillakin sahoilla tämä on toteutettu siten, että ulkopuolinen eristysrunko on hoidettu omalla materiaalilla. Tätä lähdettiin pohtimaan laskemalla kamarien tämän hetkiset lämpöhäviöt ja vertaamalla niitä uuden eristyskerroksen jälkeisiin lämpöhäviöihin.

### 9.4.2 Kuivauskamareiden johtumishäviöt

Kunkin kamarin eristykset ja ulkovaipan pinta-ala olivat tiedossa, joka mahdollisti johtumishäviöiden laskemisen. Johtumishäviöiden kehitysideaksi ajateltiin 50 mm polyuretaanikerrosta, joka pystyttäisiin asentamaan kamareihin ulko tai sisäpuolelta.

Alumiinikamareiden rakenteet koostuvat alumiinilevyjen välissä olevasta 100 mm mineraalivillasta, jonka U-arvona eli rakenteiden lämmönläpäisykerroin on 0,37 W/m<sup>2</sup>K. Tämän arvon ja kamarien ulkopinta-alojen avulla laskettiin alumiinikamareiden kokonaisjohtumishäviöt kolmessa eri ulkolämpötilassa, jotka olivat -10 °C, 0 °C ja 10 °C. Kuivausolosuhteena laskennassa käytettiin kuivausprosessin suurinta lämpötilaa eli



70 °C, jonka avulla nähdään suurimmat mahdolliset lämpöhäviöt rakenteiden läpi ulkoilmaan. Eli sisä- ja ulkotilojen lämpötilaerot näissä laskelmissa olivat 80 °C, 70 °C ja 60 °C.

Alla olevaan taulukkoon 5 laskettiin tämän hetkisen seinän lämpöhäviöt ja lämpöhäviöt 50 mm polyuretaani lisäeristyksellä (U-arvo= 0,23 W/m<sup>2</sup>K). Taulukosta nähtävien tulosten avulla saatiin selville, että lisäämällä polyuretaanieristys alumiinikamareiden seiniin, oviin ja kattoon, niin pystyttäisiin säästämään lämpöhäviöissä noin 38 %.

Taulukko 5 Alumiinikamareiden johtumishäviöt

Lämpötilaero	Tämän hetkiset ulkopinnat		Polyuretaani lisäeristys 50mm		Säästö [W]		Säästö %
ΔT= 80 °C	Q <sub>joht</sub> =	88132,87 W	Q <sub>joht</sub> =	54785,29 W	Q <sub>joht</sub> =	33347,57	37,84 %
ΔT= 70 °C	Q <sub>joht</sub> =	77116,26 W	Q <sub>joht</sub> =	47937,13 W	Q <sub>joht</sub> =	29179,12	37,84 %
ΔT= 60 °C	Q <sub>joht</sub> =	66099,65 W	Q <sub>joht</sub> =	41088,97 W	Q <sub>joht</sub> =	25010,68	37,84 %

Betonikamareiden johtumishäviöt ovat alumiinisiin mineraalivillalla eristettyihin kamareihin verrattuna huomattavasti suuremmat, sillä betonikamareissa ei ole muita eristeitä kuin betoniseinät. Laskelmassa käytettiin U-arvoa 3,43 W/m<sup>2</sup>K, joka on U-arvo, kun kyseessä on 200 mm paksu betoniseinä. Lisäämällä betonirakenteisiin 50 mm polyuretaanikerros, niin U-arvo laskisi 0,3 – 0,51 W/m<sup>2</sup>K välille. Tämän avulla lämpöhäviöt laskisivat jopa 85 %, joka on huomattava muutos (ks. taulukko 6).

Taulukko 6 Betonikamareiden johtumishäviöt

Lämpötilaero	Tämän hetkiset ulkopinnat		Polyuretaani lisäeristys 50mm		Säästö [W]		Säästö %
ΔT= 80 °C	Q <sub>joht</sub> =	817015,5 W	Q <sub>joht</sub> =	121480,4 W	Q <sub>joht</sub> =	695535	85,13 %
ΔT= 70 °C	Q <sub>joht</sub> =	714888,6 W	Q <sub>joht</sub> =	106295,4 W	Q <sub>joht</sub> =	608593,2	85,13 %
ΔT= 60 °C	Q <sub>joht</sub> =	612761,6 W	Q <sub>joht</sub> =	91110,33 W	Q <sub>joht</sub> =	521651,3	85,13 %

Kummassakin kamarityypissä saatavat säästöt ovat prosentuaalisesti suuria. Kuitenkin tarkemmin tarkasteltaessa nähdään, että alumiinikamareiden johtumishäviöt ovat noin 21 kertaa pienemmät, kuin betonikamareiden arvioidut häviöt.

Arvioitaessa polyuretaani lisäeristyksellä saatavia rahallisia hintoja, otettiin jaksoksi yhdeksän kuukauden jakso, jona kuivauskamarit ovat päällä 24 tuntia vuorokaudessa. Tämän lisäksi ulkolämpötilana käytettiin 0 °C ja kamarin sisälämpötilana suurinta mahdollista eli 70 °C. Tällä tavalla arvioiden laskettuna johtumishäviöt poikkeavat hieman todellisista johtumishäviöistä, sillä esimerkiksi betonikamareiden pinta-alaa on arvioitu ja niiden ovien materiaalia ei ole otettu erikseen huomioon.

Näin laskettuna alumiinikamareiden lisäeristämällä pystyttäisiin saamaan 190 MWh säästöt, joka vastaa 13 €/MWh polttoaineen hinnalla noin 2 470€ vuodessa. Betonikamareilla johtumishäviöt ovatkin suurusluokaltaan jo merkittävät, niin energian määrässä, kuin taloudellisestikin. Betonikamarien lisäeristämällä pystyttäisiin säästämään noin 4 000 MWh vuodessa, joka vastaisi rahallisesti hieman yli 52 000 €. Tämä summa mahdollistaisi eristysinvestointien ajattelun.

Polyuretaanieristykselle on kummallekin kamarityypille arvioitu noin 30 000 € eli yhteensä 60 000 € investointikustannukset. Lisäksi työ- ja päällystyskustannuksiin ollaan arvioitu 20 000 € alumiinikamareille ja betonikamareille, eli yhteensä 40 000 €. Yhteensä tämä vastaisi noin 100 000 € lisäeristysinvestointia, joka takaisi vuosittain melkein 55 000 € säästön polttoainekuluissa. Eli lisäeristysten takaisinmaksuajaksi jäisi hieman alle kaksi vuotta, joka kuulostaa sijoituksen kokoon nähden kohtuullisen hyvältä.

Erillisinä investointeina betonikamareiden eristäminen maksaisi itsensä takaisin hieman alle vuodessa ja alumiinikamareiden eristäminen noin 20 vuodessa, josta pystyy hyvin päättelemään jo investoinnin järkevyyden.

#### 9.4.3 Suurten kamariovien uusiminen

Työn aikana otettujen lämpökamerakuvien avulla nähtiin, että kaikkien kuivauskamareiden heikoimmassa kunnossa olevat rakenteet ovat niiden ovet. Ovet ovat suuria ja niissä on suuret saumakohdat, jotka aiheuttavat suuria lämpöhäviöitä kuivauskamareiden muihin rakenteisiin verrattuna.

Kamareiden johtumishäviöitä ja lisäeristystä laskettaessa ei eroteltu seiniä ovista, eli laskennan johtumishäviöt ovat todellisuudessa vielä hieman suuremmat, eli lisäeristyksellä saatavat säästöt kasvavat lasketuista ja arvioituista tuloksista jonkin verran.

Uusilla kamariovilla päästäisiin ehkä neljäsosaan niistä säästöistä, kuin jos koko kamarin ulkopinta-ala lisäeristettäisiin. Tämä tarkoittaisi hieman yli 1 000 MWh vuosittaista säästöä, joka taas olisi rahallisesti 10 500 € luokkaa.

Kaikkien kamariovien vaihtaminen vaatisi kuitenkin ainakin 5 000 € investoinnin jokaista ovea kohti, joka tarkoittaisi 18 ovella 90 000 € investointia. Takaisinmaksuajaksi jäisi hieman yli viisi ja puoli vuotta.

## 9.5 Mittauksien lisääminen

Tuotantolaitoksen tämän hetkinen mittausdata on hyvin vähäistä. Tällä hetkellä mitausta on kuukausi ja vuositasolla (paitsi sähköyhtiön tiedot tuntitasolla), mikä on motivan laatiman vuoden 2016 puutuoteteollisuuden toimenpideohjelman vuosiraportin mukaan melko yleistä suomalaisilla saha tuotantolaitoksilla. (Elväs, S., Federley, J. & Rikberg, E. 2016) Syy tähän on hyvinkin yksinkertainen, sillä sahoilla syntyy paljon sivutuotteita, joiden avulla pystytään tuottamaan tarvittava lämpöenergia helposti, jolloin polttoaineen käyttöä ei lasketa. Mittauksien lisääminen ei tuo suoraan säästöjä, mutta ne ovat välttämättömiä investointeja, jotta muita säästökohteita pystytään suunnittelemaan tarkasti.

### 9.5.1 Kattiloiden ja polttoaineiden mittaukset

Kolmesta kattilasta vain yhdestä on saatavissa energiantuottotietoja, eli kahden muun kattilan tuottoja on arvioitava polttoaineenkäytön ja arvioidun hyötysuhteen kautta. Tämä kahdesti arvioiminen yhden arvon saamiseksi on hyvin epäluotettavaa. Toki sen avulla saadaan suuntaa antava arvo, mutta tämänkaltaisessa katselmuksessa olisi hyvä olla tarkemmat arvot, jotka pystytään perustelemaan luotettavasti.

Kun kattiloita uudistetaan, on tärkeää, että kattilat instrumentoidaan siten että kattiloiden toimintaa voidaan jatkuvatoimisesti seurata ja että kattiloilta lähtevä energia mitataan. Tarvittavia mittauksia ovat:

- Savukaasujen hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>)
- Savukaasujen hiilimonoksidi (CO)
- Savukaasujen happi (O<sub>2</sub>) jos kattiloiden säätöä ja ohjausta halutaan parantaa
- Savukaasujen lämpötila
- Kattiloilta lähtevät tehot
- Meno- ja paluuveden lämpötilat
- Putkiston ja kattilan paine
- Savukaasujen hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>)

Lisäksi mittaustulokset täytyy käsitellä ja tallettaa siten, että käytöstä vastaava henkilökunta sekä muut asianosaiset voivat tulostaa esim. päivä, viikko- ja kuukausiraportin ja seurata kattiloiden toimivuutta reaaliaikaisesti.

Käytetyt polttoainemäärät tulee kirjata kuten tähänkin asti, mutta olisi hyvä mitata käytettyjen polttoaineiden kosteutta säännöllisesti sekä, mikäli mahdollista, mieluummin punnita polttoaine kuin mitata kauhatilavuus. Kauhatilavuus mittausta voitaisiin edelleenkin käyttää suuntaa antavana lisänä.

Mittausten hinnoiksi arvioitiin seuraavaa:

- Kattilakohtaiset hyötysuhde- ja päästömittarit 45 000 €
- Polttoaineen puntari 2500 €

Kattilakohtaisilla mittauksilla pystyttäisiin palamisprosessia optimoimaan ja parantamaan kattiloiden hyötysuhdetta tämän hetkisistä vielä muutamia prosentteja.

### 9.5.2 Kamarit ja kanava

Kuivauskamari kohtaista mittausta tulisi parantaa ja lisätä mitattavien asioiden määrää. Lähtökohtaisesti ideaali tilanteessa kamarikohtaisesti olisi energiankulutus mittarit, joista nähtäisiin hetkellisesti, kuinka paljon mikäkin kamari käyttää energiaa.

Muita järkeviä mittauksia kamareihin voisivat olla poistoilman lämpötilan ja virtauksen mittaus ja viemäriin menevän kuivauksessa tiivistyneen veden lämpötilan ja virtaaman mittaus. Näiden mittauksien avulla pystyttäisiin laskemaan suoraan poistoilman ja veden mukana hukkaan menevä energia ja mitoittamaan lämmöntalteenottojärjestelmät tarkasti.

Kamarien energia- ja virtausmittareiden hinnoiksi arvioitiin noin 3 500 € per kamari, eli noin 63 000 € investointi kokonaisuudessaan.

### 9.5.3 Sähkönkulutus

Sähkönkulutus mittareita tuotantolaitoksella on kaksi, joista toisesta nähdään pellettitehtaan sähkönkäyttö ja toisesta kaiken muun. Olisi hyvä, jos sähköä mitattaisiin edes prosessivaiheittain, jotta pystyttäisiin analysoimaan sähköä käyttävien laitteiden kulutuksia paremmin. Tällä hetkellä sähkönkulutusta ei pystytä analysoimaan juurikaan ilman suurempia mittaus investointeja. Ainoa tapa analysoida prosessi kohtaisia sähkönkulutuksia on kilpitietojen avulla. Kilpitiedoista saadaan toki laitteen tarvitsema käyttöteho, mutta ilman laitteiden käyttöaikoja ei tämänkään tiedon avulla pystytä laatimaan minkäänlaisia analyysyjä. Ilman tarkempia mittauksia sähkönkäytön analysointi jää siis hyvinkin vähäiseksi tämän työn kannalta.

## 9.6 Muut havainnot ja ehdotukset

### 9.6.1 Kuivauskamareiden käytön optimointi

Kuivauskamareiden käytön optimoinnilla pystytään säästämään turhissa energiakuluissa. Kamarit käyvät kuivauskaavojen mukaan toimivilla automatisoinneilla. Kamareissa on erilaisia kosteuden ja lämpötilan mittausantureita, joiden avulla kuivauksen ohjaus tapahtuu. Mikäli kuivaus halutaan pitää korkeatasoisena, niin olisi hyvä tarkastaa ajoittain antureiden ilmoittamien arvojen totuudenmukaisuus. Anturien virheiden takia saatetaan kamareihin ajaa liian viileää tai lämmintä ilmaa, jotka aiheuttavat omat ongelmansa. Liian viileää ilmaa käytettäessä jäävät puut haluttua kosteutta kosteammiksi, joka usein havaittaisiin viimeistään kuivauksen jälkeisessä mittauksessa, mutta tulisi se aiheuttamaan lisää menoja, sillä puutavaraa pitäisi kuivata lisää. Liian kuumen ilman johdosta energiaa sen sijaan kulutettaisiin tarpeettomasti ja mahdollisesti altistettaisiin sahatavara kuivausvirheille.

Arvioitiin, että antureiden tarkastaminen pystyttäisiin tekemään omalla miehityksellä tai ulkoisella osaamisella. Hinnaksi muodostuisi noin 2 000 €.

### 9.6.2 Sahalaitoksen tämän hetkinen ja tuleva dokumentaatio

Sahalaitokselta saadut LVI- ja rakennepiirustukset pitivät sisällään erilaisia kaavioita putkilinjoista eri ajoilta. Melkein mikään piirustuksista ei ollut ajan tasalla tämän hetken järjestelmien kanssa. Osa niistä oli käsin piirrettyjä ja niihin oli käsin tehty joi-tain muutoksia, jotka eivät vastanneet todellisia tilanteita. Kaikki nämä kaaviot pitäisi nykyaikaistaa siten, että LVI- ja PI-kaaviot pitäisivät tarkasti sisällään erilaiset ohjauk-sien, mittauksien ja säätöjen kuvaukset. Tämän hetkisistä piirustuksista selvisi kor-keintaan pumppujen paikat lämmönsiirtojärjestelmästä. Näiden piirustusten pohjalta voisi ajatella, että järjestelmää ei ohjata kovinkaan tarkasti ja ohjaus ei ainakaan pe-rustu jatkuvaan mittausdataan.

Uusista hankinnoista, kuten vuonna 2016 valmistuneesta kuivauskanavasta on var-masti CAD-piirustukset jossain. Näiden piirustusten täytyisi olla sahalaitoksella ylei-ässä käytössä kaikkien muiden piirustusten kanssa. Tällä hetkellä sahalaitoksella on yksi ”luotto insinööri”, joka on pian jäämässä eläkkeelle ja hän on hoitanut kaikki sa-halaitoksen suunnittelu asiat. Kaikki piirustukset ja laitetiedot, jotka saimme tätä kat-selmustyötäkin varten, olivat myös kyseiseltä henkilöltä. Pian ei sahalaitoksella ole ketään, joka tietää kaikista järjestelmistä ja miten ne on suunniteltu. Tulevaisuudessa törmätään ongelmiin, mikäli dokumentaatiota ja sen hallintaa ei paranneta.

### 9.6.3 Mittauksien seuranta

Mittauksia lisäämällä on mahdollista saada monia aikaisemmin tässä raportissa mai-nittuja hyötyjä. Tällä hetkellä sahalaitoksella mittauksien määrä ja niiden hyödyntä-minen on kuitenkin olematonta. Tässä opinnäytetyössä ehdotettiin tärkeimpänä asiana mittauksien lisäämistä, mutta aivan yhtä tärkeä asia on mittauksien seuranta. Ilman järkevää seurantaa ei mittauksien lisäämisellä voida saada lainkaan hyötyä. Mi-käli sahalaitoksella aiotaan siis investoida tarkempiin ja laajeempiin mittauksiin, niin täytyy myöskin miettiä minkälainen henkilöstö näitä mittauksia seuraa.

Mittauksien seurannan lisäksi on tärkeä, että mittausdataa hyödynnetään. Prosessi-kohtainen kulutus ja prosessien optimointi pystytään järkevällä mittauksien seuran-nalla toteuttamaan.

## 10 Yhteenveto energiakatselmuksesta

Energiakatselmusprojektin aikana havaitut kehitysideat ja niitä varten laaditut toimenpide-ehdotukset ovat suuntaa antavia ja todellisia säästömääriä varten täytyisi sahailoksen toiminnassa tehdä suuria muutoksia. Jo katselmuksen alkuvaiheessa oli tiedossa, että sahailoksen mittausdata oli hyvin vähäistä, eikä kovinkaan tarkkaa. Tämän takia ehdottomasti tärkeimmäksi kehitysideaksi nousi mittauksien lisääminen. Mittauksia lisäämällä saataisiin tarpeeksi tarkkaa dataa, joka mahdollistaisi kaikkien energiavirtojen tarkan seuraamisen. Ennen mittauksien parantamista ei suurinta osaa toimenpide-ehdotuksista kannata ruveta suunnittelemaan tarkemmin. Tässä työssä tehtyjen selvitysten perusteella laaditut toimenpide-ehdotuksetkin ovat arvoiltaan vain suuntaa antavia, johtuen monien tarkkojen arvojen puuttumisesta.

Työn aikana mietittiin monia investointi ideoita, joista kuivaininvestoinnit osoittautuivat hyödyiltään ja kustannuksiltaan sahailokselle ei kannattaviksi ideoiksi. Muuten investoinnit vaikuttivat kokoluokiltaan melko järkeviltä ja niistä kasattiin seuraavat yhteenvedot.

### 10.1 Energiatalous ja säästöpotentiaali

#### 10.1.1 Lämpö

Sahailoksen lämpöenergian ominaiskulutus vuonna 2017 oli 425 kWh/rm<sup>3</sup>. Ehdoteuilla toimenpiteillä lämpöenergian ominaiskulutus pienenesi arvoon 305 kWh/ rm<sup>3</sup>.

Lämmönkulutusta voidaan pienentää esimerkiksi seuraavilla toimenpiteillä:

- Kuivauskamareiden lisäeristäminen esimerkiksi polyuretaani kerroksella
- Parantamalla kattiloiden käyttöä mittauksia lisäämällä, jotta hyötysuhdetta pystytään parantamaan
- Lämmöntalteenottojen lisääminen kamarien poistoilmapuhaltimien ja viemärien yhteyteen

#### 10.1.2 Polttoaineet

Sahailoksella käytettiin vuonna 2017 noin 52 000 m<sup>3</sup> erilaisia sahauksen sivutuotteenä syntyviä polttoaineita. Näistä polttoaineista saatiin noin 39 000 MWh lämpöenergiaa. Polttoaineiden käytössä voitaisiin säästää kuivattamalla niitä. Kuivauksessa

voitaisiin hyödyntää kamarien hukkalämpöä tai sitten sijoittaa kuivurikoneeseen kuten viirakuivuriin. Polttoaineen kuivaus mahdollistaisi tuotannon kasvattamisenkin, mutta kuivuri-investoinnit ovat hinnoiltaan ja takaisinmaksuajoiltaan liian suuria asiakkaalle.

### 10.1.3 Sähkö

Sahalaitoksen sähköenergian ominaiskulutus vuonna 2017 oli 115 kWh/rm<sup>3</sup>. Ehdoteuilla toimenpiteillä sähköenergian ominaiskulutus pienenee arvoon 92 kWh/rm<sup>3</sup>.

Sähkönkulutusta voidaan pienentää esimerkiksi seuraavilla toimenpiteillä:

- Lisäämällä EC-moottorit kiertovesipumppuihin ja kuivauskamareiden puhaltimiin
- Parantamalla loistehon kompensointia

Sähkön kulutuksen pienentämisessä tärkeintä on parantaa mittauksia, jotta sähkönkulutusta voidaan lähteä pienentämään prosessikohtaisesti. Tämän ja EC-moottorien avulla pystyttäisiin sahalaituksen tehohuippujakin pienentämään.

### 10.1.4 Vesi

Sahalaitoksen vedenkulutustiedot olivat vain vuodelta 2015 ja silloin kulutus oli 1 800 m<sup>3</sup> ja ominaiskulutus 118 dm<sup>3</sup>/rm<sup>3</sup>. Tähän ei tämän työn aikana pystytty suunnittelemaan kehitysideoita.

### 10.1.5 Säästöt

Alla olevaan taulukkoon 7 on tehty yhteenveto, josta nähdään lämpö- ja sähköenergioiden säästöpotentiaalit ja ehdotettujen investointien kokonaismäärät. Säästöt kattavat: energian, rahan ja hiilidioksidin. Tähän taulukkoon ei kasattu ehdotettuja kuivaininvestointeja ja niiden avulla saatavia säästöjä, johtuen niiden suurista investoinneista ja hyvin pitkistä takaisinmaksuajoista. Kaikki investoinnit ja säästöt löytyvät kuitenkin liitteestä 13.



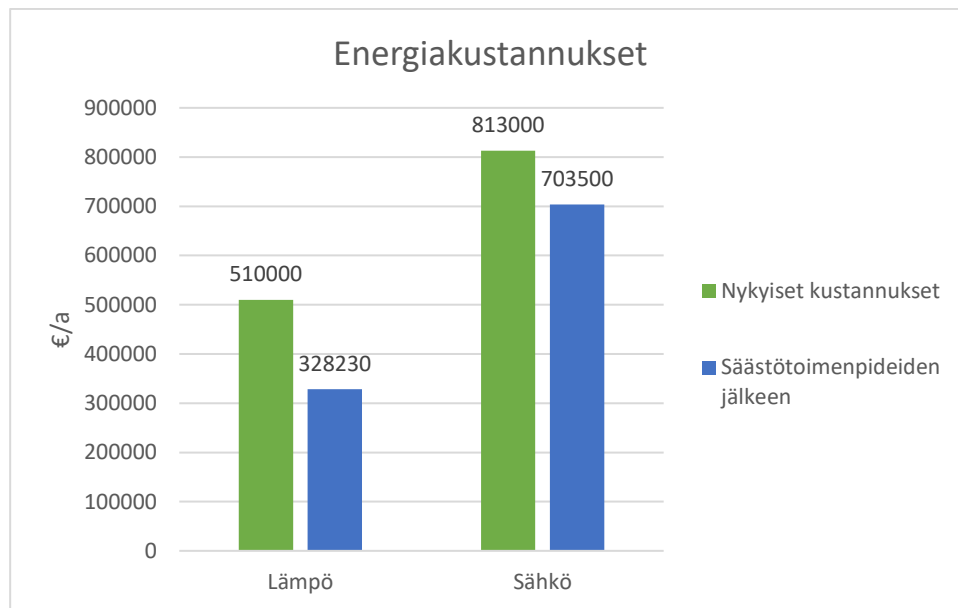
Taulukko 7 Yhteenvedo energiankulutuksesta ja säästöpotentiaalista

Nykyinen kulutus 2017	Säästöpotentiaali			Kokonaisinvestointi
<b>Lämpö</b>				540 000 €
39 222 MWh/a	11090	MWh/a	28,3 %	
509 886,0 €	181770	€/a	35,6 %	
12139 tCO <sub>2</sub> /a	4436	tCO <sub>2</sub> /a	36,5 %	
<b>Sähkö</b>				48 200 €
10657 MWh/a	2062	MWh/a	19,3 %	
813 000,0 €	109500	€/a	13,5 %	
	348	tCO <sub>2</sub> /a		
<b>Kulutukset yhteensä</b>	<b>Säästöt yhteensä</b>			<b>Investoinnit yhteensä</b>
1 322 886,0 €	291270	€/a	26,9 %	588 200 €
	4784	tCO <sub>2</sub> /a		

Taulukkoon 7 liittyvät huomautukset:

- Lämpöenergian kulutusta ei ole normitettu.
- Lämpöenergian kustannukset on laskettu keskiarvoisen ulosmyytävän energianhinnan mukaan (13 €/MWh), sillä sahalaiteksella käytetään polttoaineina vain sahausen sivutuotteena syntyviä puupolttoaineita. Tätä hintaa pienentämällä esimerkiksi käyttämällä kuoren ulosmyytävää hintaa eli 9 €/MWh, niin nähdään vaikutus suoraan takaisinmaksuaikojen kasvamisena.
- Lämpöenergiasta saatavat säästöt tarkoittavat pienempää polttoaineen kulutusta ja suurempaa ulosmyytävän sivutuotteen määrää.
- Taulukkoon ei ole kasattu polttoaineiden säästötoimenpiteitä, kuten kuivainvestointeja. Kaikki ehdotet toimenpiteet löytyvät kuitenkin taulukosta 2 ja myöhemmistä luvuista.
- Sähköenergian kulutukset on saatu tuntitasolla sähköyhtiöiltä.
- Sähköenergian kustannukset on laskettu saatujen vuoden 2017 sähköhintojen mukaan.
  - Sahalaiteksella on kuitenkin kaksi eri sähkönsopimusta ja toisen sopimuksen hintoja ei ollut tiedossa, joten kustannukset on laskettu samoilla arvoilla, joka tuo hieman virhettä todelliseen arvoon.
- Veden kulutusta ei ole kasattu tähän taulukkoon. Ne on kuitenkin käyty läpi ja todettu, niiden olevan muuhun kulutukseen verrattuna optimaaliset.
- Säästöpotentiaalien euromäärät ovat virallisesta katselmuksesta, jossa käytiin läpi muutama toimenpide-ehdotus enemmän. Sen takia ne eroavat tässä opinnäytetyössä läpikäydyistä hinnoista noin 45 000 €.
- Hiilidioksidi päästöjen vähentymisessä ollaan käytetty sahatuotantolaitoksella tehtyjen päästömittausten perusteella arvo 0,4 tonnia CO<sub>2</sub>/MWh lämpöenergiaa. Sähköenergialle hiilidioksidi päästöille on käytetty ympäristöministeriöltä saatua arvoa 0,181 tonnia CO<sub>2</sub>/MWh sähköenergiaa.

Kuviosta 19 on nähtävissä energiakustannusten määrä euroina ennen ja jälkeen säästötoimenpiteiden.



Kuvio 19 Energiakustannukset ennen säästötoimenpiteitä ja niiden jälkeen

## 11 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyössä käsiteltiin sahateollisuuden energiankäyttöä, prosesseja ja niiden tehostamista energia-analyysi mallia hyödyntäen. Tämän työn oli aluksi tarkoituksena olla laaja energia-analyysi. Työn alusta asti oli selvää, että kohteesta saatava kulutusdata ei ollut tarpeeksi hyvää, että työ oltaisiin pystytty toteuttamaan niin laajasti. Lämpöenergiaa pystyttiin tarkastelemaan todella laajasti ja monia kehitysideoita sen suhteen saatiin luotua. Sähköenergiankulutuksen tarkastelu olikin hieman suppeampaa. Sähkökulutuksesta saatava data saatiin käyttöön niin epätarkkana, että sen tarkempi analysointi oli hyvin rajallista. Työssä pystyttiin kuitenkin miettimään erityisesti kamaripuhaltimien kulutuksia ja niiden parantamista. Muiden sähkömoottorien energiatehokkuuden parantamisehdotukset perustuivat arvioituihin kulutuksiin.

## 11.1 Työn tavoitteet ja niiden täyttyminen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia energiakatselmus sahailtokselle, jonka avulla selvitettäisiin erilaisia toimenpiteitä, joiden avulla energiankäytössä pystyttäisiin säästämään. Tärkeimpänä yksikkäisenä asiakkaan toiveena oli perehtyä kuivauskamareiden energiatehokkuuteen ja lämpöhäviöihin. Lisäksi sähköntehomaksuja haluttiin pienentää, jonka saavuttamiseksi oli tarkasteltava tuotannon sähkönkulutuslaitteita ja niiden käyttöä.

Työn tuloksena oli Motiva-mallin mukainen energiakatselmus, johon selvitettiin mahdollisia toimenpide-ehdotuksia, joilla päästäisiin tavoitteisiin ja pystyttäisiin parantamaan energiatehokkuutta. Lämpöenergiankäytön parantamisen kannalta laskettiin lämmöntalteenottoja ja lisäeristyksiä kuivauskamareihin. Sähköenergiankäytön kannalta ajateltiin puhaltimien ja pumppujen muuttamista EC- tai taajuusmuuttaja ohjatuiksi, joka vähentäisi näiden laitteiden kulutusta ja parantaisi niiden ohjaamista. Näiden ja muiden työn aikana tehtyjen toimenpide-ehdotusten laskennan ja kustannusarvioiden avulla lämpöenergian käytön säästöpotentiaaliksi saatiin noin 28 % ja sähköenergian noin 13,5 %. Nämä arvot eivät pidä sisällään kuivauslaitteinvestointeja, jotka nostaisivat investoinnin ja niiden takaisinmaksuajat liian pitkiksi.

Tulokset vaikuttivat suuruuksiltaan järkeviltä, kun niitä verrattiin Motivan ylläpitämiin tilastotietoihin. Työn aloitusvaiheessa osattiin odottaa, että lämpöenergiankulutuksessa olisi mahdollista saada huomattaviakin säästöjä aikaan. Sähköenergian käytöllä saatavat säästöt olivat melko suuret, vaikka niiden laskentaa ei pystytty tekemään kovinkaan laajasti johtuen vähäisestä kulutusdatasta.

## 11.2 Jatkotoimenpiteet

Tämä projekti oli laajuutensa takia hyvin haastava, mutta kaikki asiat huomioon ottaen työn aikana päästiin järkeviin tuloksiin. Työssä laskettujen toimenpide-ehdotusten kustannukset esitettiin lamitin ammattilaisille, jotka katsoivat ne sopiviksi. Työn laajuudesta johtuen ei ollut tarkoituksena laskea takaisinmaksulaskuja kovinkaan tarkasti, vaan antaa suuntaa antavia tuloksia niistä. Säästöt sen sijaan on laskettu niin tarkasti kuin käytössä olevilla arvoilla pystyttiin. Tarkempia kustannuksia varten tulisi

erilaiset laitehankinnat kilpailuttaa useilla laitetoimittajilla, jotta tarjouksia pystyttäisiin vertailemaan.

Energiakatselmus ei velvoita sen tilaajaa minkäänlaisiin jatkotoimenpiteisiin, sillä se on selvitys, jonka tarkoitus on olla apuna katselmuskohteen energiatehokkuuspäätöksissä. Energiakatselmukseen kasatut toimenpide-ehdotukset ovat monipuolisia ja niiden pohjalta asiakas pystyy tekemään järkeviä päätöksiä kohteen energiankulutuksen tulevaisuudesta. Niiden tarkoitus on olla apuna, kun ja jos sahalaitoksella päätetään alkaa kilpailuttamaan tiettyihin toimenpide-ehdotuksiin tarvittavia laitehankintoja.

Ammattikorkeatason päättötöinä ei katselmuksia ole tehty vielä kovinkaan montaa ja laajuudeltaan tämä on suurimpia. Sen takia tätä työtä on mahdollista käyttää hyödyksi tulevilla päättötöissä, jotka keskittyvät sahalaitosten tuotantolaitosten energiatehokkuuteen. Työtä on mahdollista soveltaa myös muiden teollisuudenalojen tuotantolaitoksille.

### 11.3 Kimmahdusilmiö

Vuoden 2017 tiedekirjaksi valitussa ”Energian aika. Avain talouskasvuun, hyvinvointiin ja ilmastonmuutokseen” kirjassa kuvataan takaisinkimmahdus- eli rebound ilmiötä. Tämä ilmiö liittyy erityisesti energiatehokkuuden avulla saatavien päästövähennyksien analysointiin. Kirjassa ilmiö kuvataan seuraavasti: ”Yksinkertaistaen kimmahduksessa on kyse tästä: kun energiaa käytetään tehokkaammin, sen käyttö tulee samalla halvemmaksi, joten sitä kannattaa tai voidaan käyttää enemmän”. Energian tuottamista ja käyttöä lisäämällä kasvatetaan myös kuitenkin päästöjen määrää. (Partanen, R. & Suokko, A. 2017)

Tämän projektin päätarkoituksena oleva energiatehokkuuden parantaminen ei aina kuitenkaan tarkoita säästöjä energiankulutuksessa, varsinkin jos niitä tarkastellaan pidemmällä ajalla. Energiatehokkuuden parantaminen tässä kohteessa tarkoittaa sitä, että sivutuotetta on käytettävänä yhä enemmän ja enemmän. Tätä polttoainetta voidaan käyttää joko itse lämmöntuottamiseksi tai myydä muualle. Tuotantolaitoksella ollaan kuitenkin hankkimassa uutta kattilaa, joka kasvattaa tuotantolaitoksen

kokonaisenergiantuotannon mahdollisuuksia. Tämä mahdollistaa tuotannon nostamisen, joka taas tarkoittaisi sitä, että tuotantolaitoksella energiankäytön määrä kasvaisi. Energiankäytön ja tuotannon kasvun mukana myös syntyvien päästöjen määrät nousevat.

#### 11.4 Lopuksi

Energiakatselmuksen laatiminen oli aiheena erittäin sopiva omaan koulutusalaani nähden. Katselmustyön monipuolisuus mahdollisti työntekijälle haasteellisen, mutta melko vapaan työskentelytavan. Haasteellisuus muodostui työn laajuudesta, joka oli jo työn aloittamisvaiheessa tiedossa. Työn aikana tuli monia muitakin asioita esiin, joiden tarkastelu vei suunniteltuakin enemmän aikaa. Työn tekemiselle oli kuitenkin varattu hyvin aikaa, joka mahdollisti sen loppuun saattamisen. Aiheesta teki haasteellisen myös se, että tehtyjä energiakatselmuksia ja erityisesti teollisuuden energiakatselmuksia ei ollut käytettävissä malleina, sillä niitä ei ole julkisessa käytössä. Erilaisia energiakatselmusten mallipohjia oli onneksi käytössä, jotta oli edes jonkinlaiset lähtökohdat työn toteuttamiseen.

Työssä hyvää oli mahdollisuus perehtyä moniin energiatekniikan ja energiatehokkuuden parantamiseen liittyviin aihealueisiin, joiden osaaminen on tärkeää tulevaisuuden työelämässä. Lisäksi opinnäytetyön aikana opittiin virallisen energiakatselmuksen ja -analyysin laatimisprosessin kulku, sahateollisuuden erilaiset prosessit ja niiden energiankulutukset ja muita yleisiä asioita erilaisten prosessien energiatehokkuudesta.

Kaiken kaikkiaan työlle asetetut tavoitteet täyttyivät ja katselmuksen tilaaja ja tekijät olivat tyytyväisiä työn tuloksiin.

## Lähteet

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. N.d. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT:n laatima julkaisu. Viitattu 4.5.2018.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Boren, H. N.d. Sivutuotteiden kuivaus ja hyödyntäminen energiantuotannossa – Liike-toimintamallit. Borenova Oy:n laatima raportti. Viitattu 2.5.2018. [http://puun-](http://puun-kaytto.lieksada.fi/userfile/files/raportit/Sivutuotteiden_hyodyntaminen-liiketoimintamallit_26_5.pdf)

[kaytto.lieksada.fi/userfile/files/raportit/Sivutuotteiden\\_hyodyntaminen-liiketoimintamallit\\_26\\_5.pdf](http://puun-kaytto.lieksada.fi/userfile/files/raportit/Sivutuotteiden_hyodyntaminen-liiketoimintamallit_26_5.pdf)

e!Sankey. N.d. Ohjelman lataussivut. Viitattu 22.5.2018. [https://www.ifu.com/en/e-](https://www.ifu.com/en/e-sankey/free-trial/?gclid=EAlaIQobChMII_KrMOY2wIVAs-wYCh2Pogm8EAAYASAAEgIYefD_BwE)

[sankey/free-trial/?gclid=EAlaIQobChMII\\_KrMOY2wIVAs-wYCh2Pogm8EAAYASAAEgIYefD\\_BwE](https://www.ifu.com/en/e-sankey/free-trial/?gclid=EAlaIQobChMII_KrMOY2wIVAs-wYCh2Pogm8EAAYASAAEgIYefD_BwE)

Elväs, S., Federley, J. & Rikberg, E. 2016. Motivan laatima puutuoteteollisuuden toimenpideohjelman vuosiraportti. Viitattu 21.6.2018. [https://www.motiva.fi/files/13196/Energiatehokkuussopimukset\\_Puutuoteteollisuuden\\_toimenpideohjelman\\_vuosiraportti\\_2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/13196/Energiatehokkuussopimukset_Puutuoteteollisuuden_toimenpideohjelman_vuosiraportti_2016.pdf)

[https://www.motiva.fi/files/13196/Energiatehokkuussopimukset\\_Puutuoteteollisuuden\\_toimenpideohjelman\\_vuosiraportti\\_2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/13196/Energiatehokkuussopimukset_Puutuoteteollisuuden_toimenpideohjelman_vuosiraportti_2016.pdf)

Energiapuupinojen kuivaus kohteessa tuo säästöjä. N.d. Artikkelijyväskylän ammattikorkeakoulun sivustolla. Viitattu 25.4.2018. <https://www.jamk.fi/fi/Tutkimus-ja-kehitys/projektit/biopooli/biopooli/energiapuupinojen-kuivaus-aurinkoenergialla/>

<https://www.jamk.fi/fi/Tutkimus-ja-kehitys/projektit/biopooli/biopooli/energiapuupinojen-kuivaus-aurinkoenergialla/>

Energiatase. N.d. Energiatase käsitteen selite Tilastokeskuksen sivustolla. Viitattu 26.3.2018. <https://www.stat.fi/meta/kas/energiatase.html>.

Energiatehokkuus. 2.2018. Faktatietoja Euroopan unionista. Viitattu 22.4.2018.

[http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/fi/displayFtu.html?ftuid=FTU\\_2.4.8.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/fi/displayFtu.html?ftuid=FTU_2.4.8.html)

Energiatehokkuus. N.d. Artikkeliraklin sivustolla. Viitattu 22.4.2018. <http://www.rakli.fi/kaytto-yllapito/energiatehokkuus>

<http://www.rakli.fi/kaytto-yllapito/energiatehokkuus>

Energiatehokkuus. N.d. Artikkelityö- ja elinkeinoministeriön sivustolla. Viitattu

22.4.2018. <http://tem.fi/energiatehokkuus>

Energy balance. N.d. Tietoa energiataasesta EU-komission verkkosivuilla. Viitattu 26.3.2018. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_balance&oldid=311385](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_balance&oldid=311385)

[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_balance&oldid=311385](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_balance&oldid=311385)

Euroopan unionin ilmastopolitiikka. N.d. Artikkele ilmasto.org sivustolla. Viitattu 4.5.2018. <http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/ilmastopolitiikka/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>

First Law of Thermodynamics. N.d. Oppimateriaalia Hyperphysicsin sivustolla. Viitattu 29.5.2018. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/firlaw.html>

Granö, U-P. 2007. Bioenergiaa Metsästä 2003-2007. Jyväskylän yliopisto, Chydenius-instituutti, Kokkolan yliopistokeskus. Viitattu 15.6.2018. [https://ciweb.chydenius.fi/project\\_files/FI-INFO-pdf-b/INFO-F110.pdf](https://ciweb.chydenius.fi/project_files/FI-INFO-pdf-b/INFO-F110.pdf)

Hankalin, V., Nummelin, J. & Raiko, M. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen, Polttoaineen kuivaustekniikat. Motivan julkaisema tutkimus raportti. Viitattu 9.5.2018. [https://www.motiva.fi/files/13514/Ylijaamalammon\\_taloudellinen\\_hyodyntaminen\\_Polttoaineen\\_kuivaustekniikat.pdf](https://www.motiva.fi/files/13514/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Polttoaineen_kuivaustekniikat.pdf)

Heinara, H. & Kiuru, T. 29.8.2017. Energiakatselmus. Artikkele Motivan sivustolla. Viitattu 26.3.2018. [https://www.motiva.fi/yriytykset/energia- ja\\_materiaalikatselemus/energiakatselmus](https://www.motiva.fi/yriytykset/energia- ja_materiaalikatselemus/energiakatselmus).

Hukka, A. & Tarvainen, V. 1997. Höyryn käyttö sahatavaran kuivauksessa. VTT:n julkaisema tutkimus. Viitattu 11.5.2018. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/1997/J826.pdf>

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kauppinen, V-P. 2014. Puupolttoaineen kuivuriopas. Metsäkeskuksen ja VTT:n julkaisu metsäkeskuksen sivustolla. Viitattu 2.5.2018. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/kuivuriopas-web.pdf>

Kiuru, T. 29.8.2017. TEM:in tukemat energiakatselmuksat. Artikkele Motivan sivustolla. Viitattu 26.3.2018. [https://www.motiva.fi/yriytykset/energia- ja\\_materiaalikatselemus/energiakatselmus/tem\\_n\\_tukema\\_energiakatselmus](https://www.motiva.fi/yriytykset/energia- ja_materiaalikatselemus/energiakatselmus/tem_n_tukema_energiakatselmus).

Knuuttila, K. 2003. Puuenergia. Jyväskylän Teknologikeskus Oy.

Kuukausitilastot. N.d. Kuukausitilastot ilmatieteenlaitoksen sivustolla. Viitattu 2.5.2018. <http://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>

Lamit.fi palvelut. N.d. Osakeyhtiö Lamit.fi yrityksen kotisivut. Viitattu 18.4.2018.

<https://lamit.fi/palvelut>

Muuntokertoimet. N.d. Bioenergian muuntokertoimia bioenergieneuvojan sivustolla.

Viitattu 4.5.2018. <http://www.bioenergieneuvoja.fi/biopolttoaineet/polttopuu/puu/>

Neljälle yritykselle energiatukea uusiutuvien polttoaineiden kuivauksen energiatehokkuushankkeille. 2018. Artikkelit valtioneuvoston sivustolla. Viitattu 22.5.2018.

[http://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset\\_publisher/neljalle-yritykselle-energiatukea-uusiutuvien-polttoaineiden-kuivauksen-energiatehokkuushankkeille?\\_101\\_INSTANCE\\_3wyslLo1Z0ni\\_groupId=1410877](http://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/neljalle-yritykselle-energiatukea-uusiutuvien-polttoaineiden-kuivauksen-energiatehokkuushankkeille?_101_INSTANCE_3wyslLo1Z0ni_groupId=1410877)

Nevalainen, T. 25.11.2017. Biomassan kuivaus pienissä CHP-laitoksissa. Energiatekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 3.5.2018.

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/147679/Kandity%C3%B6Lopullinen.pdf?sequence=1>

Partanen, R. & Suokko, A. 2017. Energian aika. Avain talouskasvuun, hyvinvointiin ja ilmastonmuutokseen. WSOY.

Porkka, M. 2015. Kuoripuristininvestoinnin vaikutus kuoren kuiva-ainepitoisuuteen Sunilan sellutehtaalla. Opinnäytetyö, AMK. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Puutekniikka. Viitattu 14.5.2018.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/102416/Porkka\\_Matti.pdf.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/102416/Porkka_Matti.pdf.pdf?sequence=1)

Puun rakenne. N.d. Puun rakenteen kuvaus puuproffan sivustolla. Viitattu 22.5.2018.

[http://www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/7/puun-rakenne/puun-rakenne](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/puun-rakenne/puun-rakenne)

Rakennusten energiatehokkuus. N.d. Tiivistelmä EU direktiivistä 2010/31/EU. Päivitetty viimeksi 6.8.2015. Viitattu 22.4.2018.

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=LEGISSUM:en0021>

Sahatavara kuivataan kamarissa ja kanavassa. N.d. Artikkelit Omistautunut puulle sivustolla. Viitattu 24.4.2018.

<https://omistautunutpuulle.koskisen.fi/fi/puunjalostus/sahatavara-kuivataan-kamarissa-ja-kanavassa>



Sahatavaran kuivaus. N.d. Oppimateriaali edun sivustolla. Viitattu 23.4.2018.

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/puutavaran\\_kuivaus/kuivausmenetelmat.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/puutavaran_kuivaus/kuivausmenetelmat.html)

Sahatavaratuotanto. N.d. Oppimateriaali edun sivustolla. Viitattu 23.4.2018.

[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/sahatavara-tuotanto/sahatavaran\\_valmistus.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/ensijalostus/sahatavara-tuotanto/sahatavaran_valmistus.html)

Sankey Diagram. 2017. Yleiset ohjeet Sankey diagrammin laatimiseen. Viimeksi päivitetty 23.2.2017. Viitattu 26.3.2018. <https://developers.google.com/chart/interactive/docs/gallery/sankey>.

Sankey diagrams for energy balance. N.d. Eurostatin laatimaa tietoa Sankey diagrammin käytöstä energiataseen tekemistä varten. Viitattu 26.3.2018. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Sankey\\_diagrams\\_for\\_energy\\_balance](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Sankey_diagrams_for_energy_balance)

Suominen, J-P. 22.6.2006. Koivun HFV-kuivauksen kustannusvaikutukset. Tuotantotalouden diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, tuotantotalouden osasto. Viitattu 24.4.2018. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/30310/TMP.objres.136.pdf?sequence=1>

Teollisuuden energia-analyysi. 2016. Artikkelin Motivan sivustolla. Viimeksi päivitetty 17.11.2016. Viitattu 26.3.2018. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem\\_n\\_tukemat\\_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/teollisuuden\\_energia-analyysi](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/teollisuuden_energia-analyysi).

Varis, R. 2017. Sahateollisuus. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys ry ja Suomen Puuteollisuusinsinöörien Yhdistys ry.

Water – Heat of Vaporization. N.d. Laskenta työkalu ja kuvaajia The engineering toolbox sivustolla. [https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d\\_1573.html?vA=60&units=C#](https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html?vA=60&units=C#)

## Liitteet

Liite 1.

Yhteenvetolista tarvittavista tiedoista

### Yhteenveto ja kysymyslistaa sahalaitykselle 10.4.2018

**Katselmusta varten tarvitaan alustavasti seuraavanlaisia tietoja, jotta se pystytään laatimaan.**

#### 1. Kohteen perustiedot

- Rakennuksien tiedot
  - Rakennusvuosi/ vuodet
  - Peruskorjaus- ja/tai laajennusvuosi(vuodet)
  - Rakennustyytit/käyttötarkoitus
  - Rakennustilavuudet
  - Bruttoalat
  - Rakennusten käyttöaika (tuntia/vuosi) ja käyttörytmit

#### 2. Toimialat, tuotantomäärät ja henkilöstö

Toimialan (TOL) ja toiminnan sanallinen kuvaus: tuotanto, tuotantomäärät, henkilöstö jne.

- tuotantolaitoksen raaka-aineet
  - halkaisijaltaan pienikokoista kuusta ja mäntyä
- pääprosessit ja niiden järjestys (kokonaiskuva sahalaityksen prosessista, esimerkki rakennetta alla)
  - puunvarastointi
  - puutavaran lajittelu sahausta varten
  - erilaiset sahausmenetelmät
  - puutavaran kuivaus
  - sivutuotteiden hyödyntäminen
    - sahanpurun kuivaus->pelletin valmistus
- energiankulutuksen kannalta oleellimmat prosessit ja prosessilaitteet
  - lämpöenergia -> kuivaamot
  - sähköenergia -> sahalaiteet, pumput, puhaltimet
- prosessin toiminnallinen kuvaus pääpiirteissään
- laitoksen tuotteet ja niiden määrät
  - rakennus ja huonekaluteollisuuteen mittatilauksena tehty sahatavara
  - liimalevyt omalta tehtaalta huonekaluteollisuuteen
    - tarkemmat tiedot, joka pitäisi erityisesti sisällään määriä

### 3. Kunnallistekniset liittymät

- Mistä sähkö ostetaan?
- Mistä vesi ostetaan vai onko oma kaivo?

### 4. Käyttö, huolto ja kunnossapito

Kuvaus kohteen käyttö- ja huolto-organisaatiosta, kulutusseurannasta ja huoltosopimuksesta.

### 5. Energian ja veden kulutus ja kustannukset

Useamman vuoden kulutustietoja. Tuotantorakennuksien ominaiskulutukset lasetaan tuotettua tuoteyksikköä kohti. Tuoteyksikön valinnasta sovittava asiakkaan kanssa (MWh/m<sup>3</sup> tai MWh/t ovat järkeviä)

- lämpö ja polttoaineet
  - kokovuoden kulutukset löytyvät vuodelta 2017, olisi hyvä olla tarkemmin ja useammalta vuodelta
  - lämpöenergian jakauman laskemiseksi tarvitaan
    - 5 MW-kattilan tuottama energiamäärä (netto)
    - 3 MW ja 1 MW tuottamat energiamäärät (netto)
    - samalta ajanjaksolta kuivauksessa olevan puutavaran kokonaismäärät kuivaamoittain ja kamareittain, mikäli mahdollista
  - Ilmoitettuja lämpötehoja (tarvitaan joko käyttöaikatietoja, jotta voidaan laskea tai selkeitä energiankulutus lukuja) Tämänhetkisiä tietoja alla:
    - Liimalevytehtaan teho 0,5 MW, AL-kamarit n.4,5 MW ja kanava 1,1-1,2 MW
    - Sahan rakennuksen lämpötehon tarve 390 kW, betoni kamarit 3140 kW
- sähkö
  - 2015 sähköntuntikulutus tiedot löytyvät. pitäisi saada vastaavat tiedot laajemmalla ajalla
  - Sähkönkulutus tiedot laitteittain
    - pumppujen, sahojen ja muiden paljon sähköä kuluttavien laitteiden kulutustietoja. Alla tiedossa olevia:
      - 5 MW kattilan pääpumpun teho 18,5 kW
      - 3 MW ja 1 MW kattiloiden yhteinen pääpumppu 37 kW
  - Valaistuksien kulutus tiedot
- vesi
  - vuosittaiset vedenkulutustiedot. kaivosta vai vesilaitokselta vai molemmista?
    - tiedetään ainoastaan kamareiden ja kanavan veden kierto arvoja. Jotta saadaan veden kulutus tiedot, niin tarvittaisiin tarkat ajat käynneistä ja niiden määrästä/ajoista tai sitten vesimitari/vesilaitos lukemia.

- muut kokonaiskulutukset ja -kustannukset

## 6. Energiataseet

Tarvittavan laajat kuvaukset ja arvot, jotta energiataaseet pystytään tekemään ainakin prosessikohtaisesti

- Kiinteistö (talotekniikka ja rakenteet)
- Tehdaspalvelujärjestelmät (eriteltyinä)
- Tuotantoprosessit
  - pääprosessit (tuotantolinjat)
  - osaprosessit (tuotantolinjojen päälaitteet)
    - pääprosessilaitteet
      - käyntiaikoja, sähkönkulutustietoja vuosi tasolla

Esimerkiksi kuivausprosessi:

- Tarvitaan käsitellyn puutavaran määrä ja alku/loppukosteudet, jotta tiedetään, kuinka paljon energiaa kuivaamiseen tarvitaan. Tämän ja kattiloiden tuottaman energian perusteella pystytään sitten arvioimaan ja laskemaan lämpöhäviöiden määriä.
  - Tämä taas johtaa siihen, että lämpöhäviöiden pienentämistä varten tarvittava tekniikka ja investoinnit pystytään selvittämään.

## 7. Talotekniikan peruskartoitus ja energiankulutus

Kuvaukset näistä komponenteista: tuotto/siirto/käyttöpiste. Näiden järjestelmien energiankulutus tiedot tai arvot, joilla laskea. Käynti ajat yms.

- Aluelämmitysjärjestelmät
  - mitkä kaikki tilat lämmitetään, (lämmitysenergia/teho ja käyttöaika)
- LVI-järjestelmät
  - eri putkistoista on kuvia, ainakin 5 MW kattilalta kuivaus kanavalle ja alumiini kamareille.
  - muilta kattiloilta lähteviä putkisto kuvia ei ole. 3 MW ja 1 MW kattiloista ei tiedetä muuta kuin maantieteellinen sijainti ja niiden koko (teho).
- Sähköjärjestelmät
- Rakennusautomaatiojärjestelmä
- Kylmätekniset järjestelmät
  - jäädytys järjestelmät yms.
- Muut talotekniset järjestelmät
- Rakennukset ja rakenteet
  - rakennuksista ja rakenteista on lämpökamera kuvia
  - lisäksi uudemmissa kuivaamoista (kanava) on piirustuksiakin
  - vastaavia piirustuksia tarvittaisiin muistakin rakennuksista

## 8. Tehdaspalvelujärjestelmien peruskartoitus ja energiankulutus

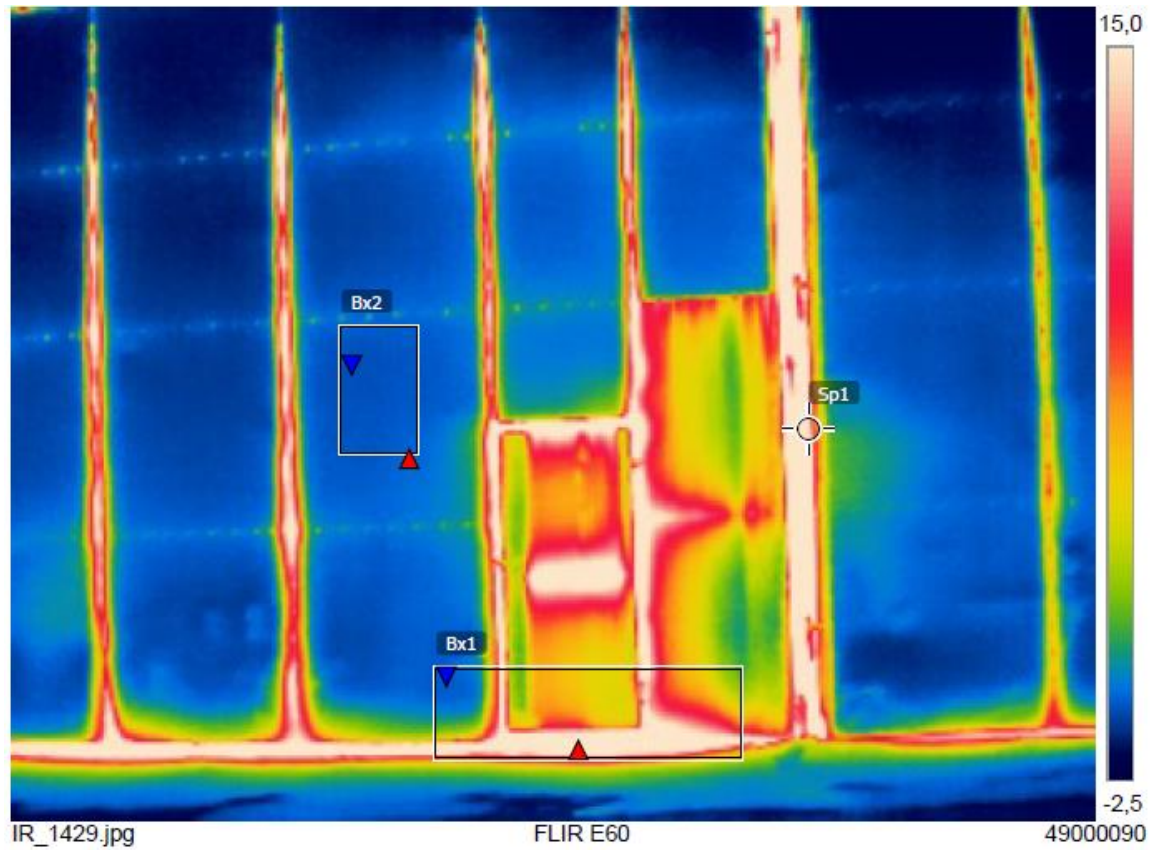
Kuvaukset näistä järjestelmistä: tuotto/siirto/käyttöpiste. Näiden järjestelmien energiankulutustiedot tai arvot, joilla laskea. Käynti ajat yms.

- Vesikiertoiset lämmitysjärjestelmät
  - kuivaamot, rakennusten lämmitysjärjestelmät ja niiden kierrot
- Höryjärjestelmät
- Kuumaöljyjärjestelmät
- Kaasunjakelujärjestelmät
- Paineilmajärjestelmät
- Prosessi-ilmanvaihtojärjestelmät
- Prosessijäähdytysjärjestelmät
- Prosessisähköjärjestelmät
- Prosessivesi- ja -viemärintijärjestelmät
- Muut tehdaspalvelujärjestelmät

Lämpökamerakuvia liitteet 2-10.

Liite 2.

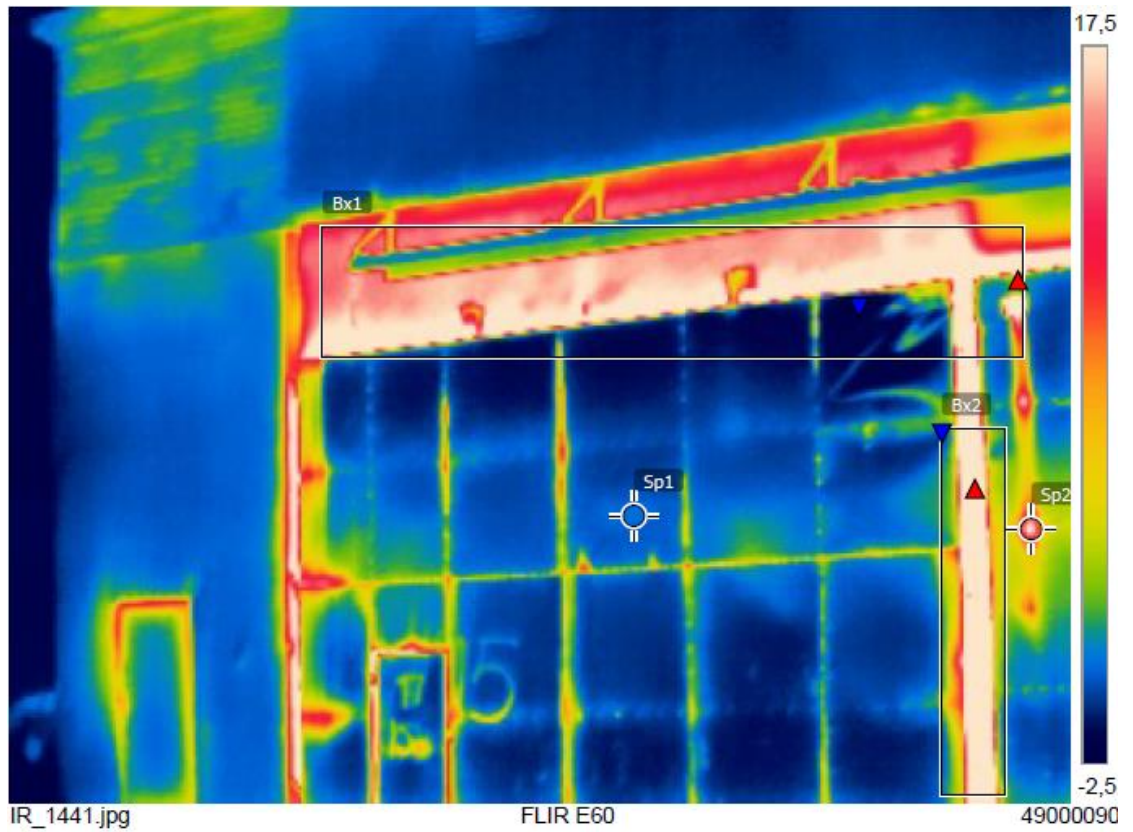
Betonikamarin syöttöoven lämpökuva



#### Mittaukset

Bx1	Max	29,2 °C
	Min	-0,7 °C
	Average	10,0 °C
Bx2	Max	-0,3 °C
	Min	-0,8 °C
	Average	-0,6 °C
Sp1		18,6 °C

## Liite 3. Betonikamarin syöttöoven yläpuoliset lämpöhäviöt

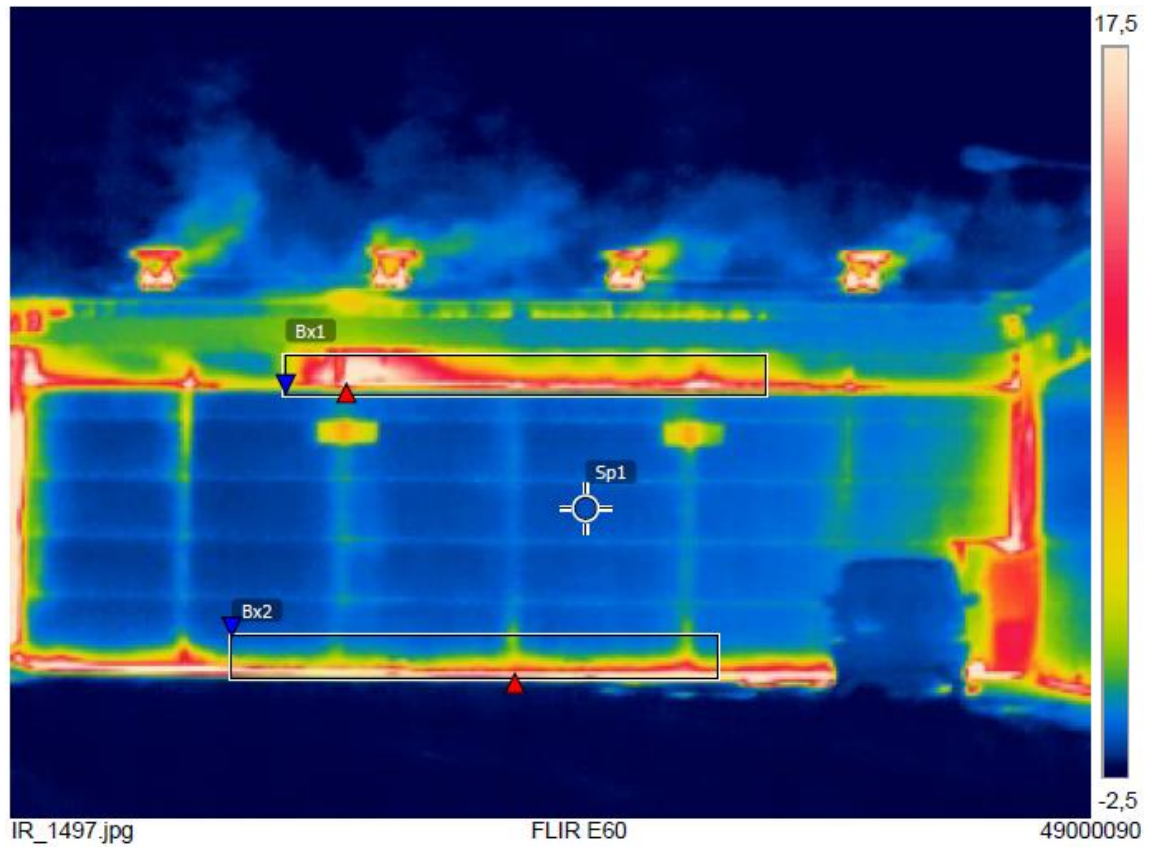


## Mittaukset

Bx1	Max	42,2 °C
	Min	-2,6 °C
	Average	10,5 °C
Bx2	Max	41,9 °C
	Min	-0,5 °C
	Average	17,2 °C
Sp1		0,5 °C
Sp2		18,5 °C

## Liite 4.

## Alumiinikamareiden lämpöhäviöt 1



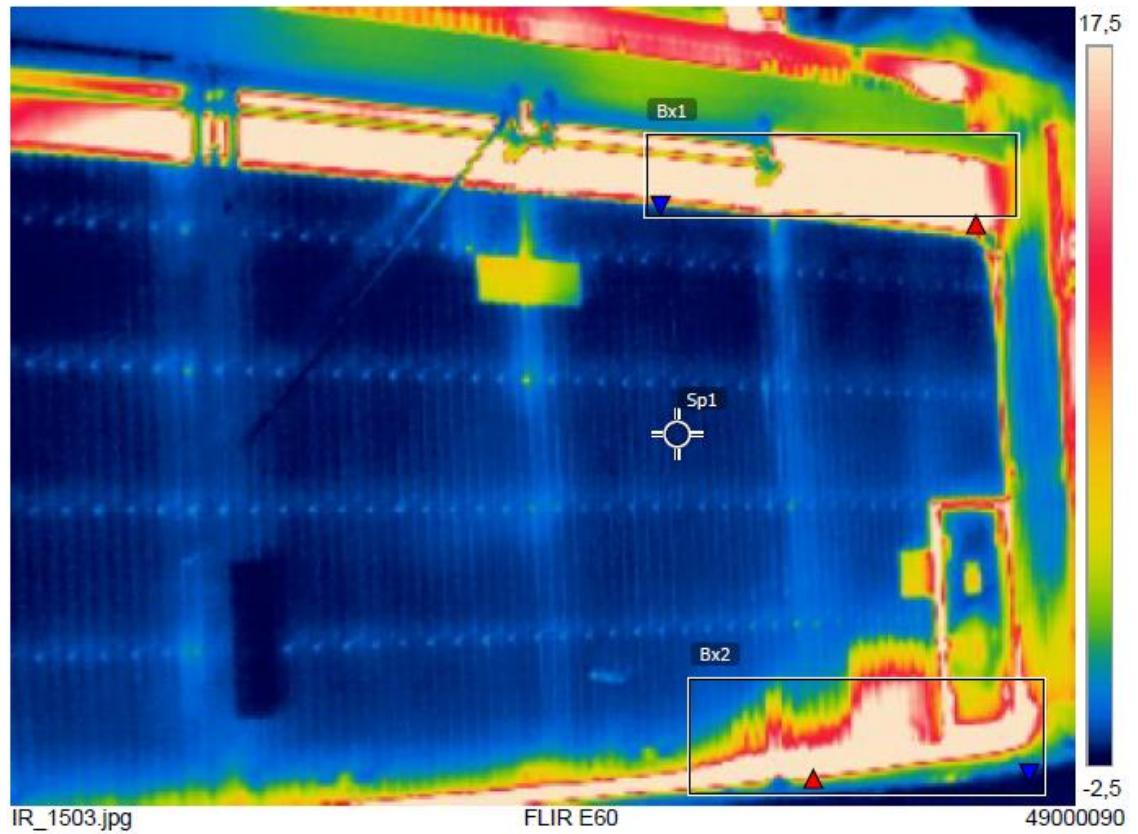
## Mittaukset

Bx1	Max	24,6 °C
	Min	-1,0 °C
	Average	7,6 °C
Bx2	Max	26,8 °C
	Min	-1,3 °C
	Average	4,5 °C
Sp1		-1,4 °C



## Liite 5.

## Alumiinikamareiden lämpöhäviöt 2

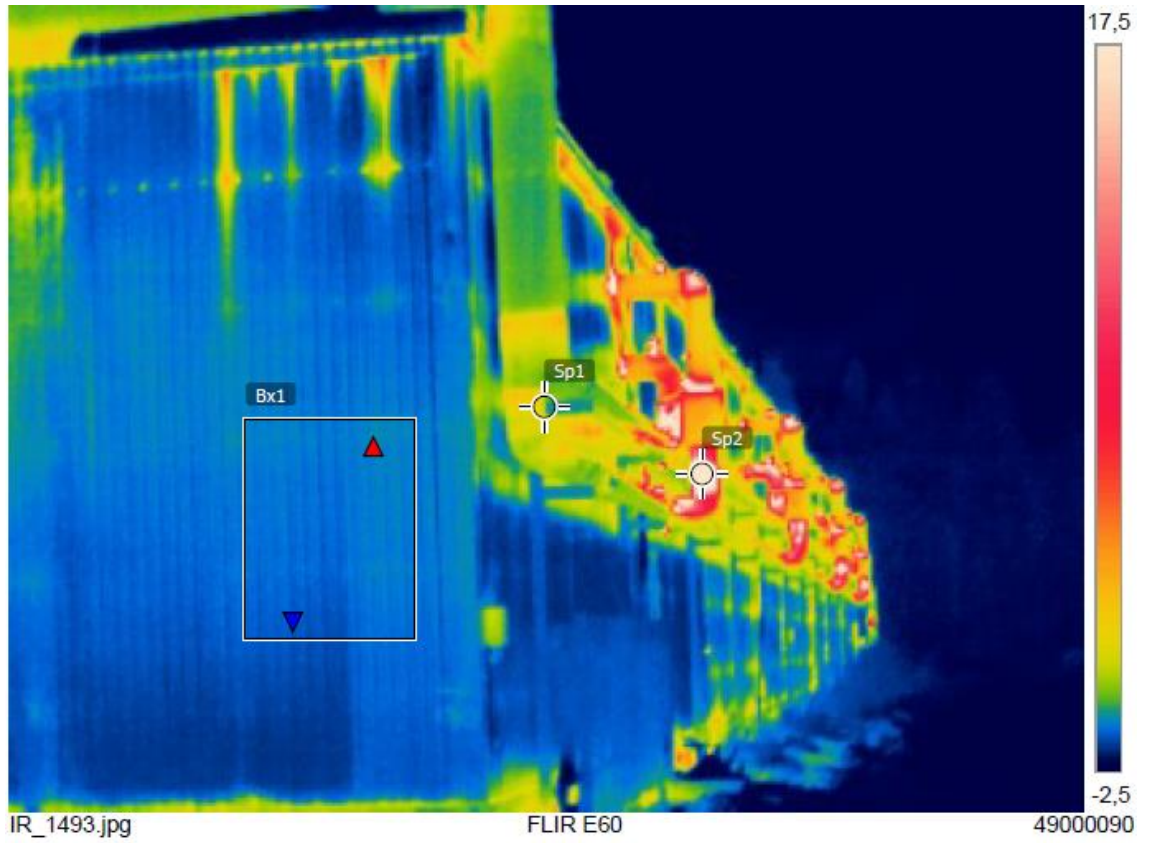


## Mittaukset

Bx1	Max	41,8 °C
	Min	-2,0 °C
	Average	19,4 °C
Bx2	Max	47,8 °C
	Min	-2,5 °C
	Average	11,7 °C
Sp1		-1,9 °C

## Liite 6.

## Alumiinikamarien lämmönsiirtoputket

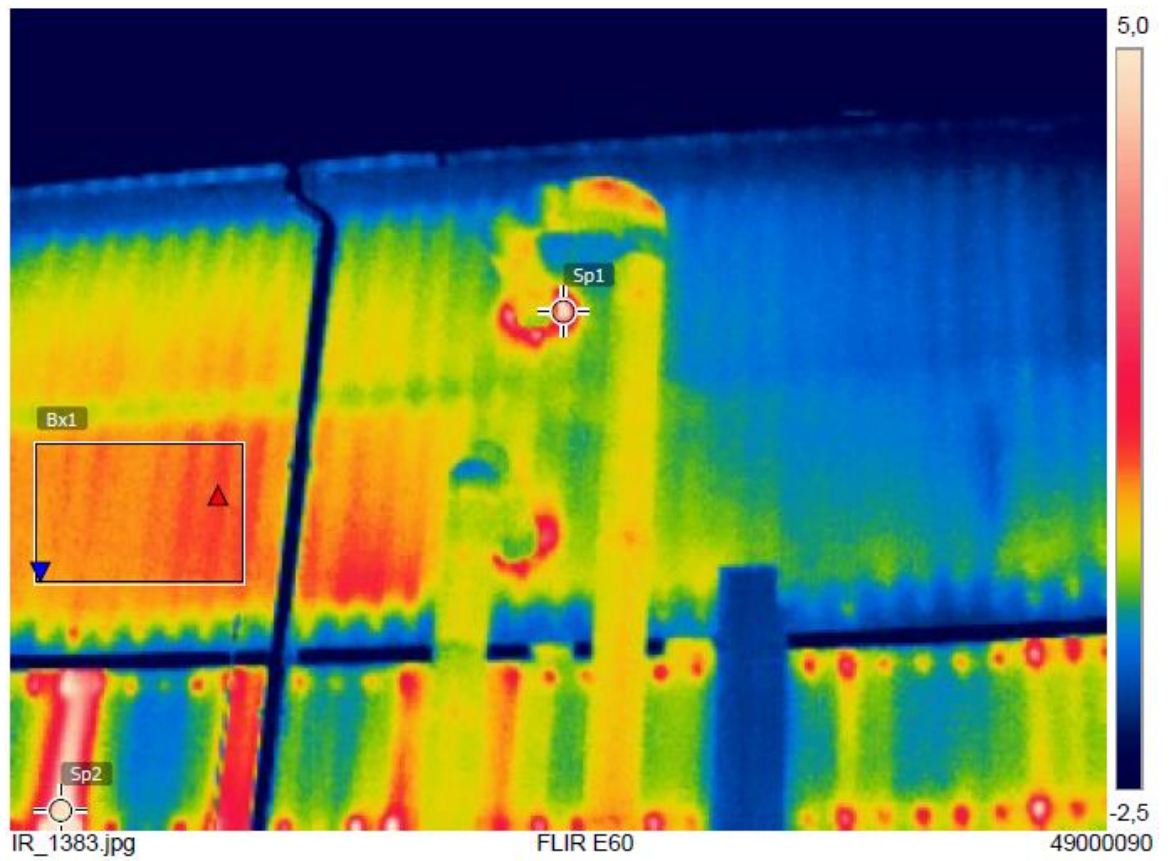


## Mittaukset

Bx1	Max	-0,8 °C
	Min	-1,7 °C
	Average	-1,2 °C
Sp1		0,4 °C
Sp2		36,8 °C

## Liite 7.

## Kuivauskanavan rakenteiden lämpöhäviöt



## Mittaukset

Bx1	Max	1,1 °C
	Min	0,4 °C
	Average	0,7 °C
Sp1		5,2 °C
Sp2		5,3 °C

## Liite 8.

## Rumpukuivaimen lämpöhäviöt

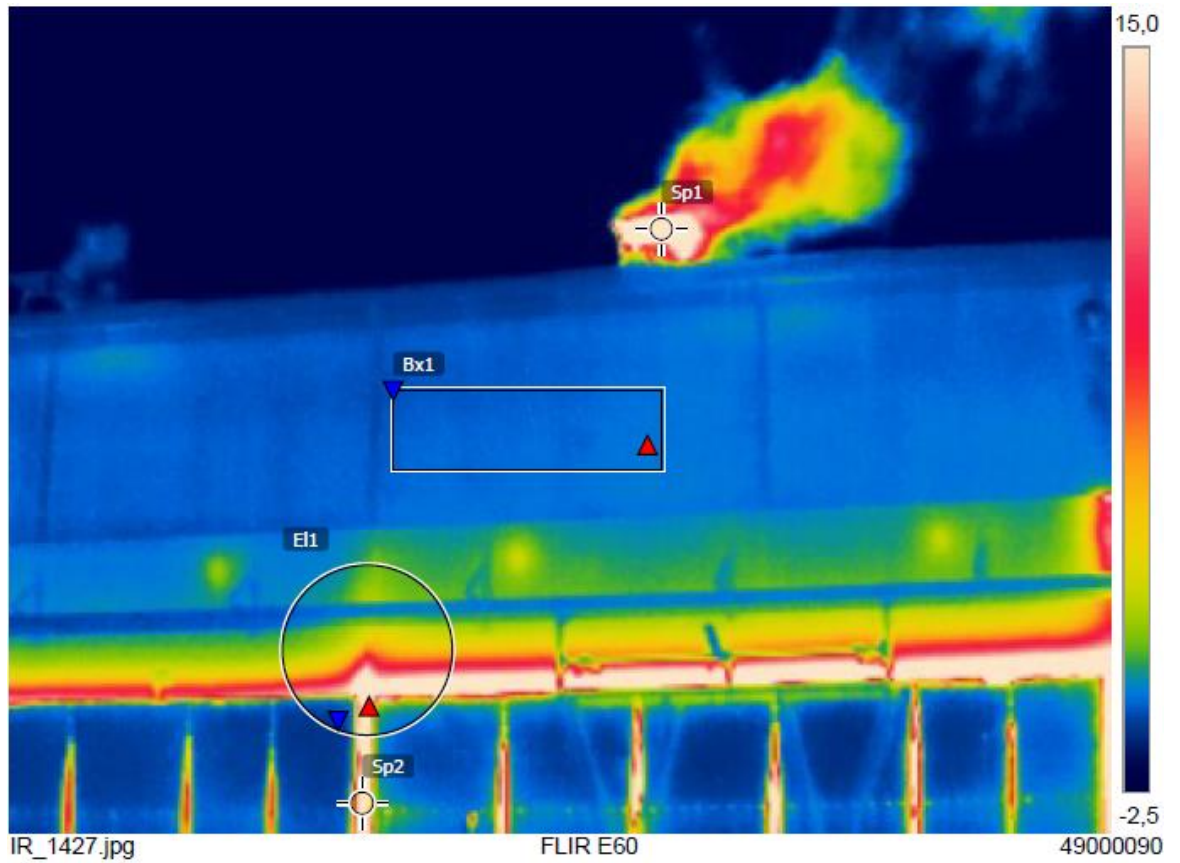


## Mittaukset

Bx1	Max	139,1 °C	⚠
	Min	-0,1 °C	
	Average	56,0 °C	⚠
Sp1		33,6 °C	

## Liite 9.

## Kuivauskamarin poistoilman lämpötila

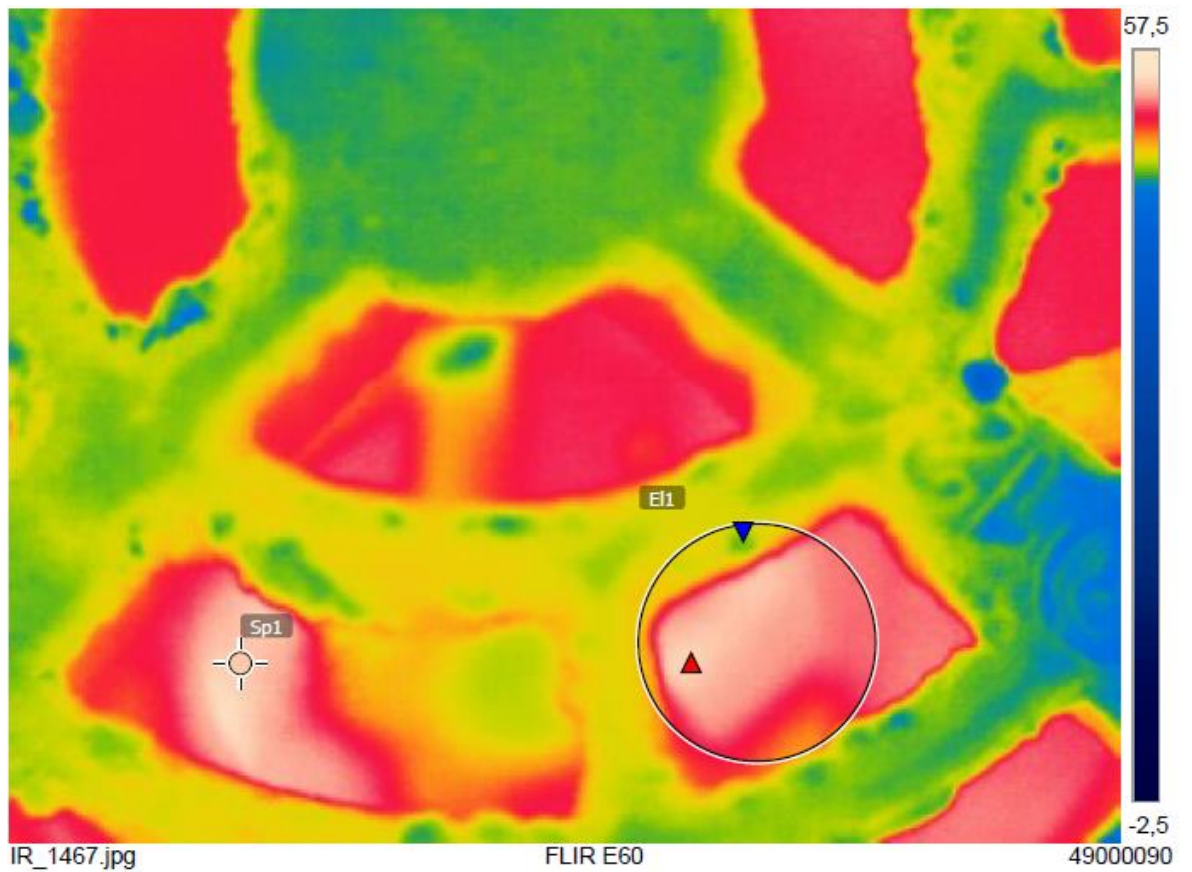


## Mittaukset

Bx1	Max	0,1 °C
	Min	-0,6 °C
	Average	-0,3 °C
E1	Max	36,1 °C
	Min	-1,0 °C
	Average	4,7 °C
Sp1		26,1 °C
Sp2		22,5 °C

Liite 10.

Kuivauskamareiden viemäriin menevän veden lämpötila



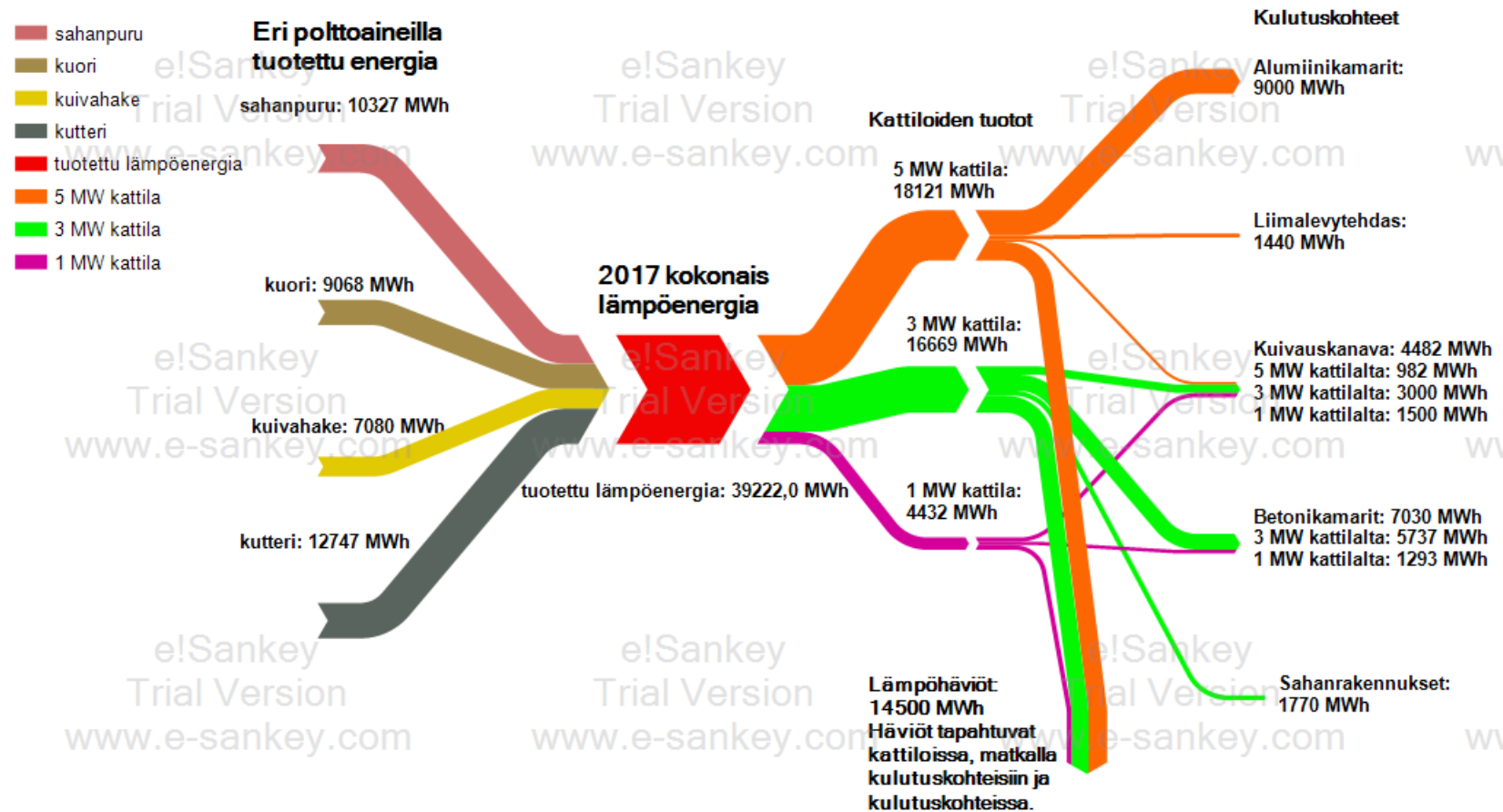
## Mittaukset

EI1	Max	55,6 °C
	Min	49,6 °C
	Average	53,6 °C
Sp1		55,4 °C

Liite 11.

Tuotantolaitoksen lämpöenergian jakautuminen 2017

# Tuotantolaitoksen lämpöenergian jakautuminen 2017



Liite 12. Tuotantolaitoksen sähköenergian jakautuminen 2017

## Tuotantolaitoksen sähköenergia 2017





## Liite 13.

Yhteenvedo energiakatselmuksen ehdotetuista toimenpiteistä (kuivuri-investoinnit ovat taulukossa, mutta niitä ei ole kasattu yhteenvedoon, johtuen niiden liian korkeista investointi kustannuksista)

Energiakatselmuksen ehdotetut toimenpiteet																	
Sahatuotantolaitos XXX																	
no	TOIMENPITEEN KUVAUS	SÄÄSTÖ YHTEENSÄ	TMA	INVESTOINTI	CO <sub>2</sub> VÄHENEMÄ YHTEENSÄ	SÄÄSTÖ POLTTOAINEET			SÄÄSTÖ LÄMPÖ				SÄÄSTÖ SÄHKÖ				RAPORTIN KOHTA
						energia	CO <sub>2</sub>	kustannukset	energia	CO <sub>2</sub>	kustannukset		energia	CO <sub>2</sub>	kustannukset		
											energia	muut			energia	muut	
						€/a	a	€	t/a	MWh/a	t/a	€/a	MWh/a	t/a	€/a	€/a	
1	Energia mittarit kamareihin 18kpl			63000												9.5.	
2	Kamari puhaltimien EC-moottorit 18kpl	90000	0,48	43200	308								1700	307,7	90000	9.2.	
3	Kamarien antureiden tarkastaminen			2000												9.6.1.	
4	Alumiinikamareiden lisäeristys 50mm polyuretaani	2470	20,24	50000	76				190	76	3800					9.4.	
5	Betonikamareiden lisäeristys 50mm polyuretaani	52000	0,96	50000	1600				4000	1600	64000					9.4.	
6	Kamarien ovien uusiminen	13 000	6,92	90000	400				1000	400	16000					9.4.	
7	Kattilakohtaiset hyötysuhde- ja päästömittarit	26000	1,73	45000	800				2000	800	35000					9.5.	
8	Kiertovesipumppujen EC-moottorit 2kpl	12000	0,42	5000	40								222	40,2	12000	9.2.	
9	Kuivuri-investointi, kuorimurskain	30000	8,33	250000	660	1650	660	30000								9.1.	
10	Kuivuri-investointi, viira	100000	30	3000000	2200	5500	2200	100000								9.1.	
11	Lämmöntalteenotot, kamarien poistoilma	32500	6,15	200000	1000				2500	1000	40000					9.1.1.	
12	Lämmöntalteenotot, kamarien viemäriveresi	6500	10	65000	200				500	200	8000					9.1.1.	
14	Prosessikohtaiset sähkö- ja automaatiomittarit			100000												9.5.	
15	Vanhan kattilan hyödyntäminen (puiden sulatus)	11700	2,14	25000	360				900	360	14400					9.1.2.	
16	Polttoaineen painomittaus	0		2500												9.5.1.	
17																	
18	MUUT EHDOTUKSET JA HAVAINNOT																
19																	
20																	
21	Dokumentaation ja piirustusten ylläpito															9.6.2.	
22	Paineilmajärjestelmän tarkastus															9.6.3.	
23	Sahalaitteiden moottorien käytön optimointi															9.2.2.	
24																	
	YHTEENSÄ	246170	7,94	780700	7644	7150	2860	130000	11090	4436	181200		2269,9	347,9	102000		