

# **Jalostusosaston energiankäytön selvitys**

Jere-Pekka Penttinen

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2017  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Penttinen, Jere-Pekka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu
	Sivumäärä 71	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Jalostusosaston energiankäytön selvitys</b>		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kari Hytönen, Sirpa Hukari		
Toimeksiantaja(t) UPM Plywood Oy, Jyväskylän vaneritehdas		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Vuoden 2017 alusta lähtien UPM sitoutui sopimuksella säästämään 7,5 % kokonaisenergi-ankulutuksestaan vuoteen 2025 mennessä. Jatkuva halu parantaa ja tehostaa toimintaa synnytti tarpeen selvittää jalostusosaston energiankulutus yksityiskohtaisesti.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää jalostusosaston energiankulutuskohteet ja -määrät sekä etsiä parannuskohteet ja säästöt. Työssä edettiin tuotantoprosessin yleisluonteisesta tarkastelusta työhön liittyvien laitteiden luettelointiin, ja siitä tarvittavien energiamittausten suunnitteluun, tiedon keräämiseen, analysointiin ja parannusehdotusten esittämiseen.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin tarkkaa tietoa jalostusosaston energiankäytöstä sekä havaittiin mahdollisuuksia energiankäytön tehostamiseen. Tuotannon sivutuotteena syntyvä vesilauhde lämmittää jalostusosastoa käytännössä ilmaiseksi. Silti heikon eristämisen takia sähköenergiaa hukataan epäsuorasti jalostusosaston lämmittämiseen. Lämmittimen eristäminen ja muuttaminen höyryllä toimivaksi todettiin kannattavaksi.</p> <p>Työn tietoperusta koostuu termodynamiikan, sähkötekniikan ja energiatehokkuuden käsitteiden tarkastelusta ja sekundääriset tiedot kerättiin luotetuista metsä-, energia- ja vanerialan julkaisuista.</p>		
Avainsanat energiatehokkuus, vanerin valmistus		
Muut tiedot		

Author(s) Penttinen, Jere-Pekka	Type of publication Bachelor's thesis	Date march Language of publication: Finnish
	Number of pages 71	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Report on refining sections energy usage</b>		
Degree programme Degree programme in energy technology		
Supervisor(s) Kari Hytönen, Sirpa Hukari		
Assigned by UPM Plywood Oy, Jyväskylä Plywood mill		
Abstract  <p>UPM has pledged to reduce its overall energy consumption by 7.5% from 2017 to 2025. This ongoing optimisation process and need for improvement mixed with the lack of precise data on the energy consumption in a veneer refinery led to the need for research.</p> <p>The goal of the thesis was to catalogue all energy usage in the veneer refinery by source and amount and find ways to improve and save resources. Research progressed from examining the veneer manufacturing process to listing all energy-consuming components in the veneer refinery and planning and executing their power consumption measurements. The measurements were analysed and conclusions were drawn based on them.</p> <p>Results of the research included detailed statistics on energy consumption in the refinery and ways to improve its efficiency. Heat captured from steam condensate as a by-product of veneer drying-process is the most efficient way of heating the factory and all its sections. Yet electricity is used indirectly to heat the refinery section. Insulation of oil heater and its conversion to use steam for heating was found profitable.</p> <p>The data base of the research consists of thermodynamic, electrical and energy efficiency related concepts and secondary data is gathered from trusted forestry, energy and plywood-industry publications.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) energy efficiency, veneer manufacturing		
Miscellaneous		

## Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Vanerin valmistusprosessi.....	8
3	Energiatehokkuuden keskeiset käsitteet .....	11
3.1	Termodynaaminen systeemi .....	11
3.2	Lämmön siirtyminen.....	13
3.3	Lämmön eristäminen .....	14
3.4	Lämpövuoto.....	16
3.5	Ominaislämpökapasiteetti .....	16
3.6	Lämmitystarve .....	16
4	Tutkimusasetelma ja tietoperusta .....	17
4.1	Aiheen rajaus.....	19
4.2	Tutkimuksen toteutus .....	19
5	Energiankulutuksen kartoitus .....	21
5.1	Laitteiston tietojen kerääminen.....	21
5.2	Energiankulutuksen mittaamisen suunnittelu ja toteutus.....	21
5.3	Lämmönsiirtymisen tarkastelu .....	24
6	Osaston tarkastelu .....	30
6.1	Osaston layout.....	30
6.2	Pikatahtipuristin .....	32
6.3	Puristimen lämmitin .....	34
6.4	Määrämittasaha .....	36
6.5	Pakkauskone.....	41
6.6	Ilmastointijärjestelmä.....	43
6.7	Lämmitysjärjestelmä .....	46
6.8	Valaistus .....	47
6.9	Höyrykattila .....	47
6.10	Paineilma-järjestelmä.....	49

	2
7 Tulokset .....	52
7.1 Jalostusosaston energiankulutus .....	52
7.2 Parannusehdotukset .....	54
7.2.1 Tyhjäkäyntikulutusten minimoiminen.....	54
7.2.2 Pikatahtipuristimen lämmittimen eristäminen .....	55
7.2.3 Pikatahtipuristimen öljyn lämmitys höyryllä.....	57
7.2.4 Paineilman käytön mittaus .....	58
7.2.5 Lämmönvaihdin pikatahtipuristimen imuriin.....	58
8 Pohdinta .....	59
8.1 Havaintoja jalostusosaston toiminnasta .....	60
Lähteet.....	62
Liitteet .....	64
Liite 1. Osaston laitteiden komponentit. ....	64
Liite 2. Fluke TI-20 lämpökameran tiedot. ....	67
Liite 3. Fluke 435 energia-analysaattorin tiedot .....	68

## **Kuviot**

Kuvio 1. Vanerin valmistusprosessi. (UPM 2014) .....	8
Kuvio 2. Puun kuorinta. roottorikuorimella (Valon kone 2016).....	9
Kuvio 3. Tyypillinen lämpöeristeen rakenne (Isover 2016).....	15
Kuvio 4. Fluke 435-sähkönlaatu- ja energia-analysaattori (Fluke 2017).....	22
Kuvio 5. Powerlog työkalun piirtämää tehokäyrää kolmivaihe järjestelmälle .....	23
Kuvio 6. Ti20-lämpökamera .....	24
Kuvio 7. Puristimen öljylämmitin lämpökameralla kuvattuna.....	25
Kuvio 8. Puristimen lämmitin lämpökamerassa takaa.....	26
Kuvio 9. Valaistus lämpökamerassa .....	27
Kuvio 10. Vesi-ilma lämmönvaihdin lämpökamerassa .....	27
Kuvio 11. Valmista vaneria lämpökamerassa.....	28
Kuvio 12. Puristimen imuri lämpökamerassa.....	29
Kuvio 13. Yksi osaston ulko-ovista lämpökamerassa .....	29

Kuvio 14. Varaston nosto-ovi lämpökamerassa.....	30
Kuvio 15. Osaston layout.....	31
Kuvio 16. Vaneritehdas ilmakuva.....	31
Kuvio 17. Kuviopäällystettyä Wisa-Wire- vaneria.....	32
Kuvio 18. Pikatahtipuristimen puristinosan teho.....	32
Kuvio 19. Pikatahtipuristimen mitattu energiankulutus.....	33
Kuvio 20. Pikatahtipuristimen nostin- ja kuljetinosa .....	34
Kuvio 21 Pikatahtipuristimen puristinosa .....	34
Kuvio 22. Pikatahtipuristimen öljylämmittimen teho.....	35
Kuvio 23. Pikatahtipuristimen lämmittimen mitattu energiankulutus. Huom. MWh .	36
Kuvio 24. Schelling-sahojen ottama teho.....	36
Kuvio 25. Schelling-sahojen mitattu yhdistetty energiankulutus .....	37
Kuvio 26. Määrämittasaha 1 .....	38
Kuvio 27. Määrämittasaha 2 .....	38
Kuvio 28. Sahojen purunpoistopuhaltimen tarvitsema teho.....	39
Kuvio 29. Sahojen purun poistopuhaltimen mitattu energiankulutus .....	39
Kuvio 30. Schelling hakkurin teho .....	40
Kuvio 31. Schelling hakkurin energiankulutus .....	41
Kuvio 32. pakkauslinjan ottama teho.....	42
Kuvio 33. Pakkauslinjan energiankulutus.....	43
Kuvio 34. Pakkauskone toiminnassa .....	43
Kuvio 35. Koja-tuloilmapuhaltimen ilmavirtauksen paikallismittari.....	44
Kuvio 36. Puristimen imurin laitekilpi .....	45
Kuvio 37. Pakkauksen ilmastoinnin teho .....	45
Kuvio 38. Ilmastoinnin mitattu energiankulutus.....	46
Kuvio 39. Höyrykattilan toimintaperiaate.....	48
Kuvio 40. Paineilman kuristus .....	50
Kuvio 41.Osaston paineilmalinjat (sinisellä) layout-kuvassa .....	50
Kuvio 42. Paineilma-automatiikkaa pakkauskoneessa .....	51
Kuvio 43. Paineilman otto Schelling-sahalle .....	51
Kuvio 44. Jalostusosaston energiankulutuskohteet ja määrät .....	53
Kuvio 45. Energian vuosikustannukset.....	53
Kuvio 46. Esimerkki lämpöeriste alumiinisella säteilyä estävällä laminaatilla.....	56

Kuvio 47. Esimerkki öljylämmittimen eristyskoteloinnista .....	57
Kuvio 48. Sähkökustannukset ilman sähkölämmittintä .....	58

### **Taulukot**

Taulukko 1. Pikatahtipuristimen puristinosan laskennallinen energiankulutus. ....	33
Taulukko 2. Pikatahtipuristimen öljynlämmittimen laskennallinen energiankulutus .	35
Taulukko 3. Schelling-sahojen laskennallinen energiankulutus.....	37
Taulukko 4. Purunpoistopuhaltimen laskennallinen energiankulutus .....	39
Taulukko 5. Schelling-hakkurin laskennallinen energiankulutus .....	41
Taulukko 6. Pakkauslinjan laskennallinen energiankulutus.....	42
Taulukko 7. Tuloilmapuhaltimen laskennallinen kulutus.....	46
Taulukko 8. Tuloilman lämmittimen laskennallinen energiankulutus.....	47
Taulukko 9. Valaistuksen laskennallinen teho .....	47
Taulukko 10. Vaneritehtaan paineilman kulutus .....	49
Taulukko 11. Jalostusosaston energiankulutus ideaaliviikolla.....	52
Taulukko 12. Energian hintalaskelma .....	53
Taulukko 13. Osaston laitteiden tyhjäkäyntienergiankulutukset .....	54
Taulukko 14 Pikatahtipuristimen lämmittimen hyötysuhdelaskelmat.....	55

# 1 Johdanto

Vuoden 2017 alusta lähtien UPM-konserni sitoutui sopimuksella säästämään 7,5 % kokonaisenergiankulutuksestaan vuoteen 2025 mennessä (UPM 2016).

Tässä opinnäytetyössä tehtiin selvitystyö UPM-Plywood Oy:lle, joka koski Jyväskylän Säynätsalossa sijaitsevan vaneritehtaan jalostusosaston toimintaa. Jatkuva halu parantaa ja tehostaa toimintaa sai aikaan tarpeen selvittää jalostusosaston energiankulutus yksityiskohtaisesti. Viime aikoina energiankulutus on kasvanut vanerin päälllystämiseen, sahaamiseen ja paketointiin keskittyvällä jalostusosastolla. Tehtävänä on tutkia energian kulutusta käytössä olevin työkaluin, tiedoin ja metodein. Opinnäytetyö toimii tutkimus-selvitystyönä ja tietopohjana, johon koottujen tietojen avulla voidaan tehdä päätöksiä ilman ulkopuolisten lähteiden hakemista. Kaikki materiaali jota osaston toiminnan tarkasteluun ja sen toiminnan paranteluun tarvitaan, kerättiin opinnäytetyöhön.

Selvitystyö keskittyy pakkauskoneen, kahden määrämittasahan, pikatahtipuristimen ja ilmastoinnin sekä imurien energiankäyttöön. Laitteissa käytettävä paineilma, höyry ja lämminvesi, sekä niitä tuottavat laitteet (kompessori ja kattila) ja välittävät linjat ovat osastoon liittyen välillisesti mukana selvityksessä.

Tavoitteeseen pyrittiin tilastoimalla kaikki energiaa kuluttavat kohteet ja mittaamalla niiden kulutusmäärät riittävän edustavalta ajanjaksolta. Lisäksi selvitettiin kulutuskohteiden keskinäiset suhteet, jotta esimerkiksi sähkön käytön vähentäminen yhdessä kohteessa ei siirtyisi suoraan sähkölämmittimen kulutukseen. Laajemmassa tarkastelussa tarkoituksena on parantaa laitoksen hyötysuhdetta nostamalla tuotannon tehokkuutta.

Olettamuksena oli, että osa tuotannon laitteista käyttää turhaan energiaa joutokäynnillä, jokin laitteista on epäkunnossa, paineilmaa vuotaa hukkaan, ilmastointi ja ilmatase eivät ole tasapainossa ja osastossa on eristysongelmia.

Osasto sisälsi useita toisistaan riippumattomia laitteita, joita tarkasteltiin työssä yksitellen. Osastoa tarkasteltiin myös tuloksissa yhtenä kokonaisuutena, jolloin



saatiin kokonaiskuva energian käytöstä. Koko osaston yleiseen energiatehokkuuteen vaikuttaa jokaisen osakomponentin lisäksi niiden yhdistetty energiankulutus, jolla on merkittävä vaikutus tuotantoon liittyviin kustannuksiin.

Vaihtoehtoina sähkönkulutuksen aikaansaamalle suoralle sähkölämmitykselle toimii jalostusosastolle asennettu vesi-ilma-lämmönvaihdinjärjestelmä, joka uudelleenkäyttää puun pehmittämiseen tarkoitetun höyrylauhteen ylijäämäenergiaa. Tutkimuksessa selvitettiin mahdollisuudet lämmitystehon lisäämiseen lauhteesta sähkön käytön vähentämiseksi, sekä mahdollisuutta korvata tuorehöyryllä osa pikatahtipuristimen sähköllä lämmitettävän öljyn kuluttamasta energiasta. Epäsuorasti vanerin valmistusprosessissa energiaa kuluttavat valaistus sekä ilmastointi, joiden toimintaa tarkastellaan tutkimuksessa osana prosessia. Vanerin valmistustoiminnassa ilmastointia monimutkaistaa prosessissa syntyvä pöly ja pinnoitteiden puristamisessa ilmaan haihtuvat fenolikaasut, joilla on potentiaalisesti mittavia vaikutuksia laitoksen palokuorman ja työolosuhteiden kannalta. Pölyä ja fenolikaasuja varten osastossa on kummallekin oma imurinsa, jolla pidetään ilma puhtaana.

Itse tutkimuksessa keskityttiin objektiiviseen tarkasteluun ja pyrittiin välttämään ”vahvistusvinoumaa” eli tilannetta, jossa tutkimuksen tekijä puoltaa omia käsityksiään ja hypoteesejaan tukevaa informaatiota (Evans 1990). Olettamuksia kuitenkin tarkasteltiin, koska haluttiin varmuus, että vähintään edeltävät ongelmat huomattaisiin tutkimuksen yhteydessä.

Eskolan ja Suorannan kirjassa ”johdatus laadulliseen tutkimukseen” suositellaan välttämään hypoteeseja kokonaan laadullisissa tutkimuksissa. Tutkimuksessa on kuitenkin yhdistelmä useita tutkimusotteita ja se selvästi hyötyy hypoteesien ohjaavasta vaikutuksesta, joten niitä ei vältelty. (Eskola. & Suoranta. 1998.)

Opinnäytetyön nimeksi valittiin aihe-ehdotuskokouksessa jalostusosaston energian käytön selvitys, sillä se kuvaa osuvasti aihetta jättämättä mitään olennaista pois. Työssä selvitettiin yhden laitoksen osaston laitteiden energiankulutusta useassa muodossa sekä kunkin laitekokonaisuuden energiankulutusta sekä lämmitykseen ja

ilmastointiin tarvittavaa energiamäärää. Nimi kuvaa hyvin työn laajuutta ja vihjaa useaan erilaiseen tarkastelunäkökulmaan. Selvitys tukee energiatekniikan oppikokonaisuutta antamalla mahdollisuuden soveltaa jo opittua ja oppia uutta. Selvitystyö vaatii energiatekniikan tuntemusta ja kykyä soveltaa opittua. Laajuus ja syvyys on otettu tutkimuksessa huomioon mahdollisuudella sisällyttää lisää laitteita ja/tai osastoja selvityksen piiriin, sillä työ koostuu useista osakokonaisuuksista.

Selvitys on tyypillinen tapa tutkia toimintaa yritysmaailmassa. Tämä selvitys tähtää hiomaan ja yhdistelemään olemassa olevien toimintamallien parhaita ominaisuuksia.

### **UPM-Plywood Oy**

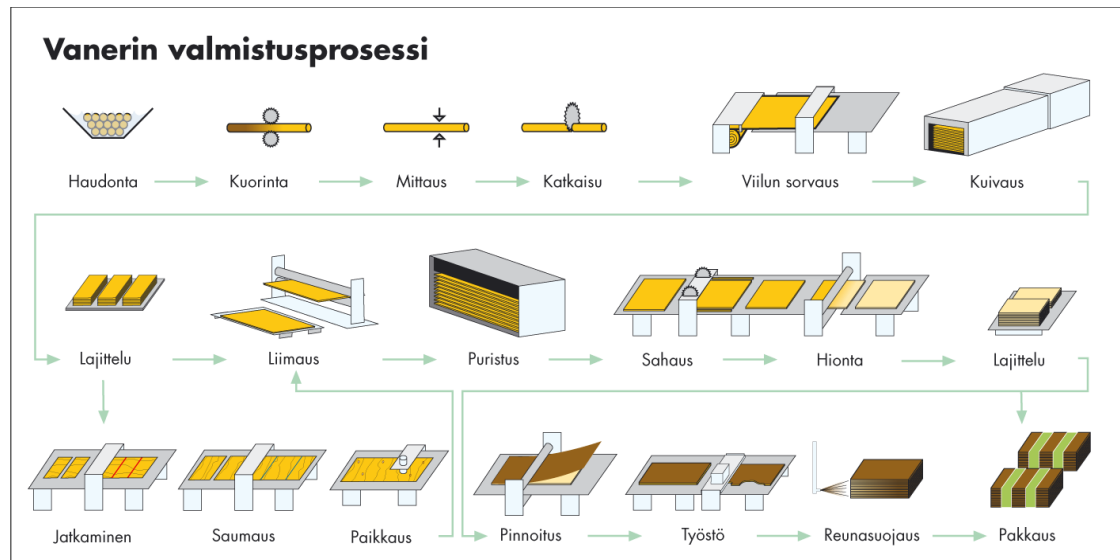
Jyväskylän Säynätsalossa toimiva UPM-Plywood Oy:n vaneritehdas on Suomen vanhin toiminnassa olevista vaneritehtaista. Laitoksen tuotantokapasiteetti on 100 000 kuutiota vaneria. Tuotannosta suurin osa menee Euroopan markkinoille. Vaneritehdas työllistää 200 henkeä. (Jääskeläinen 2016.)

Vanerin tuotannossa käytetään noin 3 m<sup>3</sup> puuta yhtä vanerikuutiota kohden. Ylijäämä ei mene hukkaan vaan sille on käyttöä tehtaan tuorehöyryn tuotannossa. Tuorehöyryä tarvitaan itse vanerin tuotannossa tukkien hauduttamiseen kuumassa vesihauteessa ja viilun kuivaukseen. Tuorehöyryn tuotannosta vastaa Adven Oy, joka käyttää ja huoltaa tehdasalueella sijaitsevaa 25 MW höyrykattilaa. (Jääskeläinen 2016.)

Jyväskylän vaneritehdas Säynätsalossa valmistaa pinnoittamatonta ja pinnoitettua perusvaneria sekä erikoisvanereita. Raaka-aineena käytetään koivu- ja havupuuta. Jyväskylässä valmistettua vaneria käytetään pääasiassa rakentamisessa, betonoinnissa sekä kuljetusvälineiteollisuudessa. (Jääskeläinen 2016.)

## 2 Vanerin valmistusprosessi

Vaneri tulee tehtaalle varastosta tukkeina, joista valmistetaan vaneria (ks. kuvio 1).



Kuvio 1. Vanerin valmistusprosessi. (UPM 2014)

### Raaka-ainekuljetus

Vaneriksi työstettävä puuaineesaapuu tehtaalle tukkeina, jotka on sahattu mittaan kaadon yhteydessä, koska tukkien korjuu ja katkaisu tulevat metsässä halvemmaksi sekä kuljetuskustannukset ovat halvemmat. Vastaanotettujen tukkien mittoja ja laatua seurataan tehtaalle saapumisen yhteydessä. Vastaanotettuja tukkeja usein varastoidaan tehdasalueelle, jotta toimitushäiriöt tukkilähetyksissä eivät vaikuta tehtaan toimintaan (Wisa-vanerin valmistus 2012; Vanerin valmistus 2017)

### Puun kostutus

Tukkeja uitetaan kuumassa, 40--60-asteisessa vedessä vuorokaudesta viikkoon puulajista ja prosessiolosuhteista riippuen. Säynäsalon tehtaalla haudutus tapahtuu vesikylyvyssä, jota lämmitetään vanerin kuivatukseen käytetyn höyryn lauhteella. Höyryä tuottava kattila käyttää polttoaineenaan tätä vanerin valmistuksen sivutuotetta. Haudutuksen tarkoituksena on pehmittää puuainesta turvottamalla puun solukkoa ja pehmittämällä soluseinämiä, jotta puu on helpommin työstettävissä ja puusta sorvattu viilu tasalaatuisempaa (Vanerin valmistus 2017).

### **Kuorinta**

Ennen viiluumista tukit kuoritaan pinnaltaan niin, että kaikki kuoriaines ja epätasaisuus poistuvat tukeista ja ne ovat sylinterimäisiä. Kuorinnalla myös vältetään sorvin terien vahingoittuminen epäpuhtauksien takia. Kuorihaketta voidaan käyttää esimerkiksi polttoaineena. Kuorimisessa yleisimmin käytetty kone on roottorityyppinen, eli sen läpi pituussuunnassa syötetty tukki ajetaan pyörivästä reikälevystä läpi ja levyyn kiinnitetyt terät leikkaavat kuoren pois (ks.kuvio 2). Kuori ja puiden tasaussahauksesta syntyvät pöllin päät poltetaan voimalaitoksella. (Wisa-vanerin valmistus 2012)



Kuvio 2. Puun kuorinta. roottorikuorimella (Valon kone 2016)

### **Katkaisu**

Vaneritukit katkaistaan ennen sorvausta viilun leveyden edellyttämiin pituuksiin. Yleisimpiä pituuksia ovat 1300, 1600 ja 2600 mm. Tukin läpimitan, pituuden ja muodon mittaamisen avulla lasketaan optimoitu katkaisutapa maksimoiden saatavan viilun määrä ja laatu. Mittaus suoritetaan yleensä lasertekniikalla.

(Wisa-vanerin valmistus 2012.)

### **Sorvaus**

Juuri kuorittu tukki viilutaan sorvaamalla eli se tuetaan päistään pituussuunnassa ja pyöritetään vasten terää, joka leikkaa puun levyistä ohutta viilua. Koivu- ja kuusiviilun nimellispaksuus on tyypillisesti 1,5 mm. Paksuviiluisen havuvanerin viilunpaksuudet ovat 2,0 – 3,2 mm. (Vanerikäsikirja 2016)

Viilua sorvataan tukista kuin paperirullaa aukaisten: päistään kiinnitetty ja pyörivää tukkia ajetaan teräkelkkaa vasten, jolloin puun pinnasta erottuu halutun paksuista viilua. Viilu etenee yhtenäisenä mattona joko lajitteluun tai kuivaukseen riippuen

prosessista. Paraslaatuinen viilu tulee pöllin ulko-osasta, joten tarkasti keskitetty pyörimisakseli maksimoi parhaan laatuisten viilun määrän. (Wisa-vanerin valmistus 2012.)

### **Viilun kuivaus**

Sorvauksesta tullut viilu on erittäin kostea eikä sovellu suoraan liimaukseen, joten viilu kuivataan kuivauslinjalla. Kuivaus tapahtuu höyrykattilan tuottamalla tuorehöyryllä, ja kuivausaika vaihtelee muutamissa minuuteissa. Kuivauksessa viilua tavallisesti taivutellaan leveyssuunnassa edestakaisin, jotta viilusta saadaan mahdollisimman tasaista ja jännityksetöntä. Oikein kuivatetun viilun kosteusprosentti on liimauksessa 8--12 % eli alle tyypillisen huonekalupuun kosteuden. Kuivauskoneen toimintaa valvotaan mittaamalla muun muassa tulevan ja lähtevän viilun ja kiertoilman kosteutta sekä lämpötilaa. (Wisa-vanerin valmistus 2012.)

### **Viilun lajittelu**

Kuivaamisen jälkeen viilu lajitellaan laadun ja pituuden mukaan. Viilun lajittelun idea on lajitella eri tarkoituksiin menevät viilut sekä erottaa viilut, jotka vaativat yhdistelyä tai paikkausta. (Wisa-vanerin valmistus 2012.)

### **Viilun korjaus ja jatkaminen**

Lajittelussa hylätyt, mutta korjattavissa olevat viilut viedään erilliselle korjauslinjalle. Saumauksen tarkoituksena on valmistaa katkenneista tai liian lyhyistä viiluista viilun kokoa suurempia arkkeja, jolloin puuraaka-aineen saantoa voidaan lisätä. Reiät ja muut pintaviat poistetaan leikkaamalla ja liimaamalla pala ehjää viilua rikkiäisen kohdan paikalle. (Wisa-vanerin valmistus 2012.)

### **Ladonta ja liimaus**

Vanerilevy muodostetaan latomalla liimapintaisia viiluja päällekkäin. Yleisesti käytetyssä ladontamenetelmässä liima levitetään joka toiseen viiluun ja viilut ladotaan väliviilujen ja pintaviilujen suhteen ristiin. Vaneri ladontatyöli vaikuttaa käyttötarkoitukseen. Latomalla eri puulajeista valmistettuja viiluja päällekkäin ja asettelemalla niitä eri syysuuntaan vaikutetaan vanerin ominaisuuksiin, kuten hintaan, lujuuteen, pintakovuuteen, ulkonäköön ja painoon. (Wisa-vanerin valmistus 2012.)

### **Puristus**

Ladottu viilupinkka puristetaan hydraulisesti yhteen ensin kylmä- ja sitten kuumapuristimella joka toimii hydraulisesti. Lopputuloksena syntyy karkeaa, reunoiltaan epätasaista vaneria. (Wisa-vanerin valmistus 2012.)

### **Reunojen sahaus**

Puristuksen jäljiltä sahataan liimaukseen tarvittu vara vanerin reunoista eli noin 30–50 mm. Sahauksessa voidaan vielä jättää vaneri loppumitasta hieman isommaksi, jotta pinnoituksen jälkeen reunat voidaan vielä sahata uudelleen. (Wisa-vanerin valmistus 2012.)

### **Hionta**

Hionnassa levyistä työstetään tasapaksuisia ja tasaisia. Hionta joko valmistelee vanerin päällystettäväksi tai on viimeinen työstövaihe valmiille päällystämättömälle vanerille. (Wisa-vanerin valmistus 2012.)

### **Pinnoitus ja viimeistely**

Vanerin pintaan puristetaan fenolihartsifilmi lämmitetyllä ja halutusta lopputuloksesta riippuen kuvioidulla puristinlevyllä. Puristamisen jälkeen valmiin vanerilevyn reunat siistitään ja lopputuotteesta riippuen myös käsitellään maalilla, jolla saadaan myös sivut säänkestäviksi. Pinnoitteen tarkoitus on luoda kestävä ja pitävä pinta. (Wisa-vanerin valmistus 2012.)

## **3 Energiatehokkuuden keskeiset käsitteet**

### **3.1 Termodynaaminen systeemi**

Termodynamiikassa systeemi on määritelty avaruuden tila, jonka sisältöä pystytään kuvailemaan tarkasti termodynamiikan muuttujilla, kuten lämpötilalla, entropialla, sisäisellä energialla ja paineella. Usein systeemin oletetaan olevan termodynaamisessa tasapainossa. Systeemi on aina rajattu joko fyysisillä tai kuvitteellisilla rajoilla.

Termodynamiikassa rajataan tutkittava kokonaisuus yhteen kokonaisuuteen, ns. systeemiin. Systeemin rajat valitaan tarkastelun kannalta oleelliset tilat kattaviksi, kuten tässä selvitystyössä, jossa rajat määriteltiin kulkemaan osaston reunoja pitkin.

Tutkimuksessa oli myös järkevää tarkastella kukin merkittävä osakokonaisuus: määrittäsahat, pikatahtipuristimen puristin ja lämmitinosa, ilmastointi ja pakkauskone omina systeemeinään, jotta niitä voidaan tarkastella erillään. Systeemi voidaan luokitella avoimeksi, suljetuksi tai eristetyksi riippuen siitä, pystyvätkö aine, energia tai työ kulkemaan rajojen yli ympäristöön. (Fermi 1936.)

### **Hyötysuhde**

Hyötysuhde kuvastaa prosessissa pienimmän mahdollisen käytettävän energiamäärän ja todellisen käytetyn energiamäärän suhdetta. Hyötysuhde on prosenttiluku, jossa verrataan kahta edellistä arvoa toisiinsa. Kaikissa prosesseissa on energiahäviöitä, jotka näkyvät esimerkiksi tutkimuksessa sahanterän-, tai moottorin lämpenemisenä. Energiahäviöt voivat johtua prosessissa esimerkiksi lämpenemisestä kitkan yllitämiseksi tehdystä työstä sähkömoottorissa tai öljyaltaan kylmenemisen ehkäisemiseksi jatkuvalla lämmittämällä. Kaikki systeemiin tuotu energia muuttuu lopulta systeemin sisällä lämpöenergiaksi. Myös sähköenergia päättyy lopulta kaikissa käyttökohteissaan lämpöenergiaksi, sillä minkään prosessi ei koskaan pääse 100% hyötysuhteeseen. (Fermi 1936.)

### **Avoin systeemi**

Avoimessa systeemissä rajat on asetettu siten, että aine ja energia, sekä työ kykenevät liikkumaan rajapintojen yli esteettä. Tällaisia systeemejä ovat käytännössä kaikki systeemit. Käytännön laskennassa kuitenkin avoimessa systeemissä on liian paljon pieniä ja vaikeasti määrältään arvioitavia muuttujia, joten sen käyttämistä vältetään termodynaamisten systeemien laskennassa virheiden ja epätarkkuuden välttämiseksi (Fermi 1936.)

### **Suljettu systeemi**

Suljetussa systeemissä rajapinnan läpi kulkevat vain työ ja sähkö. Suljettu systeemi on esimerkiksi hallitila, jossa ilmaa-ainetta- ei siirry seinien läpi, mutta seinien läpi lämpöenergia pääsee johtumaan ulos ja valaisemiseen ja lämmittämiseen käytetään

ulkoa tulevan sähköenergian tekemää työtä. Kaikki systeemit vaihtavat ainetta ympäristön kanssa. Kun aineen siirtyminen voidaan todeta mitättömän pieneksi tutkimuksen kannalta mutta energiaa silti siirtyy systeemin rajan yli merkittäviä määriä, systeemi voidaan luokitella avoimen sijasta suljetuksi (Fermi 1936.)

### **Eristetty systeemi**

Eristetyn systeemin rajapintojen läpi ei kulje ainetta, työtä eikä energiaa (Fermi 1936). Tällainen ideaalisysteemi on käytännössä mahdoton saavuttaa, mutta olosuhteista riippuen systeemi voidaan luokitella eristetyksi, kun sen interaktio ympäristön kanssa todetaan tutkimusasettelun kannalta mitättömän pieneksi.

## **3.2 Lämmön siirtyminen**

Termodynamiikan nollannen pääsäännön mukaan systeemin sisällä hiukkasten väliset värähtelyn erot tasoittuvat ajan kuluessa, kun systeemiin ei tuoda työtä tai energiaa. Lämpötilan yksikkö Celsius kuvaa hiukkasten keskimääräistä värähtelyn amplitudia. Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan systeemiin tuotu energiamäärä ei muutu, mutta energia muuttaa muotoaan. Termodynamiikan toisen pääsäännön eli ns. entropian lain mukaan kaiken lämpötilamittaaminen perustuessa keskimääräisen värähtelyn mittaamiseen johtaa nollas-pääsääntö värähtelyn hajautumiseen. Näin ollen kaikkien systeemien epäjärjestys kasvaa ajan kuluessa. Kaikki lämmön siirtyminen perustuu entropian lain esittämään systeemin epäjärjestyksen kasvuun. (Fermi 1936.)

### **Johtuminen**

Johtuminen on ilmiö, jossa värähtelyliike siirtyy kontaktissa massallisten hiukkasten välillä. Johtuminen tapahtuu aineiden olomuodoista riippumatta sen ollessa tehokkainta tiheiden aineiden ja suurempien lämpötilaerojen välillä. Lämmön siirtymistä kuvaa suure lämpövuoto. (Fermi 1936.)

### **Konvektio**

Konvektiossa eristämättömään systeemiin siirtyy ainetta ja sen mukana lämpöenergiaa. Lämpöenergiaa voidaan tuoda ja poistaa järjestelmästä poistamalla ainetta,



jossa on lämpöenergiaa, ja tuomalla ainetta, jossa sitä on vähemmän (Fermi 1936.). Konvektio ei näin ollen kuvaa lämmön siirtymistä aineesta toiseen vaan lämpöenergian siirtymistä aineessa systeemiin nähden.

### **Säteily**

Säteily on lämpöenergian siirtymistä ilman välittäjäainetta. Kaikki aine jonka lämpötila ylittää absoluuttisen nollapisteen lähettää lämpösäteilyä. Lämpösäteily johtuu kappaleen atomien ja niistä koostuvien molekyylien värinän hiipumisesta. Värinän sisältämä energia siirtyy ympäristöön ilman välittäjäainetta säteilynä. Säteily sisältää kaikkia mahdollisia energiatasoja jotka voidaan aikaansaada kahden värähtelevän atomin tai molekyylin törmätessä ja antaessa kaiken tai osan värähtelyn sisältämästä energiasta fotonille. Mitä lämpimämpi kappale, sitä suurempi määrä korkeataajuisista säteilyä syntyy. Kappaleen lämmitessä yhä suurempi määrä säteilystä on infrapunasäteilyä korkeammalla taajuudella ja siirtyy näkyvän valon spektriin matalampitaajuisesta eli punaisesta päästä. Säteilyn aallonpituus lyhenee säteilyn energian kasvaessa. Kappaleen lämmitessä lisää muut näkyvän valon aallonpituudet sekoittuvat punaisen kanssa siirtyen kellertävästä lopulta vakoiseen. Tehdasolosuhteissa korkea lämpösäteilyn määrä näkyy punahehkuisissa kappaleissa ja tuntuu iholla lämpösäteilynä.

Lämpökameralla pystytään mittaamaan yli näkyvän valon aallonpituista infrapunasäteilyä. Infrapunakameran toimintaperiaate on hyvin lähellä normaalin kameran toimintaperiaatetta. Suurimmat erot syntyvät linssien materiaalista, sillä normaali lasinen linssi heijastaa lämpösäteilyä eikä kelpaa lämpökameran linssiksi. Tyypillinen kaupallinen lämpökamera perustuu sensorissa lämpösäteilyn aikaansaamaan pienen muutokseen jännitteessä, resistanssissa tai virrassa. (Razeghi 1998, 158)

### **3.3 Lämmön eristäminen**

Lämmön siirtymistä aineesta toiseen voidaan hidastaa estämällä lämmön siirtymisen eri muodot ja vähentämällä lämpötilaeroja aineiden välillä.

Johtumista voidaan vähentää eristemateriaalein ja poistamalla suora kontakti kahden pinnan väliltä.

Konvektiota voidaan vähentää vaikeuttamalla lämpöenergiaa siirtävän aineen kuten ilman virtaamista lämpimän tai kylmän pinnan läheltä.

Lämmön siirtymistä säteilyn kautta voidaan estää materiaaleilla, jotka heijastavat lämpösäteilyä, kuten alumiinilla.



Kuvio 3. Tyypillinen lämpöeristeen rakenne (Isover 2016)

Tyypillinen lämpöeriste sisältää lämmintä pintaa vasten asennetun johtumista estävän kivivilla-eristekerroksen ja ulkopintana säteilyä estävän ohuen alumiinilaminaatikerroksen (ks. kuvio 3). Tiivis ulkokerros estää samalla kosteuden pääsyn ja tiivistymisen villaan. Lisäksi oikea eristepaksuus on mitoitettu siten, että eristyksen ulkopinnan lämpötila on korkeampi kuin ympäröivän ilman kastepistelämpötila. (Fermi. E. 1936).

### 3.4 Lämpövuoto

Lämpövuoto kuvaa tehoa, jolla kylmän ja lämpimän tilan tai kappaleen välillä tapahtuu lämmön siirtymistä. Lämpövuon teholliseen arvoon vaikuttavat väliaineen kyky vastustaa lämmön siirtymistä eli lämpöresistanssi sekä lämpötilaero, joka vallitsee kohteiden välillä (Fermi. E. 1936).

### 3.5 Ominaislämpökapasiteetti

Ominaislämpökapasiteetti on aineen ominaisuus, joka kuvaa tarvittavaa energiamäärää aineen lämpötilan nostamiseksi yhdellä kelvinasteella kilogrammaa kohden. Ominaislämpökapasiteetti vaihtelee materiaalista riippuen. Sekä faasilla että paineella on merkitystä kunkin aineen ominaislämpökapasiteettiin (Fermi. E. 1936).

### 3.6 Lämmitystarve

Lämmitystarve kuvastaa jalostusosastossa tarvittavaa lämmitysmäärää, jolla sen lämpötila pysyy vakaana. Lämmitystarve vaihtelee vuodenajan mukaan kesäajan nollasta talviajan satoihin kilowatteihin. Tuotannossa kaikki sähköä kuluttavat laitteet lämmitävät sisäilmaa ja kaikki jalostusosaston lämpötilaa kylmempi saapuva ilmamassa sekä lämmön siirtymä ulos kylmentävät sitä.

Jalostusosasto on liitetty muuhun kompleksin lämpimään tilaan avoimella käytävällä, josta kuljetetaan osastoon toiselta puristimelta tulevaa valmista päällystettyä vaneria sekä päällystämätöntä vaneria osaston pikatahtipuristimelle. Lisäksi jalostus-osasto on liitettyä kylmään varastotilaan. Varastotilan ja jalostusosaston välissä on eristetty seinä sekä eristetty nostettava ovi, josta kuljetetaan valmis pakattu vaneri varastoon. Lisäksi pakkauskoneella on oma nosto-ovellinen rullakuljetin seinän läpi varastoon. Systemeitä määritettäessä lämmitystarpeen laskemiseksi on todettu, että kaikki ilma joka kulkee muista osastoista jalostusosastoon, on samassa lämpötilassa, eikä osastojen läpi kulkeva ilmamassa ole merkittävä.

Kylmänä kautena ulkoa tulevan ilman ja jalostusosaston ilman erotus kasvaa ja lisää tulevan ilman lämmittämiseen tarvittavaa energiaa. Lisäksi lämpövuoto kasvaa suuremman lämpötila-erotuksen takia sisä- ja ulkoilman välillä. Kun ulkoilman lämpötila ylittää jalostusosaston lämpötilan. Lämmitystarpeen laskennassa ei oteta huomioon päiviä, joiden keskilämpötila on keväällä yli +10 °C ja syksyllä yli +12 °C. Tällöin oletetaan, että kiinteistöjen lämmitys lopetetaan ja aloitetaan päivittäin ulkolämpötilan ylittäessä tai alittaessa mainitut rajat. Keskilämpötila alittaa lämmitystarpeen rajan Jyväskylän alueella keskimäärin 240 päivänä vuodessa (Motiva 2016).

Jalostusosastoa käsiteltiin havaintojen perusteella systeeminä, jossa kaikki ilmamassa vaihtuu ilmastoinnin ja imureiden kautta ympäristön kanssa. Systeemi on siis avoin, mutta ainetta siirtyy vain ilmastoinnin kautta tilaan ja siitä pois. Seinät ja oviaukot todettiin ilmatiiviiksi. Lämmön eristävyys arvioinnin yhteydessä kiinnitettiin huomiota mahdollisiin ilmavuotoihin ja niiden vaikutukseen eristyksessä. Lämpökameralla kuitenkin todettiin lämpövuotojen ja lämmön siirtymän olevan mitättömän pieni ja sekundäärisen lämpöenergian ylimäärän vuoksi parempi eristäminen täysin tarpeettomaksi.

## **4 Tutkimusasetelma ja tietoperusta**

Kanasen mukaan kehittämistutkimuksen tavoite on muutoksen aikaansaaminen. Se vaatii tutkimuksellista otetta kehittää tuotetta, menetelmää, organisaatiota. (Kananen 2015, 119.) Tutkimuksen tavoitteena oli mitata ja analysoida tietoa toiminnan optimoimiseksi, joten se siis luokitellaan kehitystutkimukseksi. Koska tutkimuksen tarkoituksena oli tilastoida ja mitata ilmiöitä täsmällisesti observaatioiden ja mittaus-ten avulla, se täyttää määrällisen eli kvantitatiivisen tutkimuksen kriteerit.

Tutkimus täyttää osittain myös toimintatutkimuksen kriteerit, sillä yksi sen parannusehdotuksista koskien osaston laitteiden oikeaoppista päältä pois kytkemistä liittyy iteroivaan ihmiskeskeiseen toiminnan parantamiseen. Kanasen mukaan kuitenkin toimintatutkimus on lähempänä strategiaa kuin menetelmää, sillä se pitää sisällään useita menetelmiä (Kananen. 2009, 11).

Työssä aineistoa kerättiin pääosin kytkentäkaavioista, layout-kuvista, PI-kaaviosta ja laitteiston toiminnan mittauksista. Suurin määrä aineistosta tuotettiin mittausdatan muodossa itse. Tiedon keräämisessä ja osaston toiminnan selvittämisessä hyödynnettiin UPM Plywood Oy:n henkilökunnan ja opinnäytetyövastaavien teknistä osaamista ja ammattitaitoa. Aineiston jäsentelyyn käytettiin internet- ja kirjalähteitä, joiden avulla pyrittiin ymmärtämään ja jäsentelemään mittaustietojen ja olosuhteiden syy-seuraussuhteita.

Opinnäytetyö perustuu teorialtaan SI-yksiköihin liittyviin fysiikan peruskäsitteisiin ja niistä jalostettuihin johdannaiskäsitteisiin. Työhön liittyviä käsitteitä ovat: termodynaaminen systeemi, energiatase, avoin systeemi, suljettu systeemi, eristetty systeemi, johtuminen, konvektio, säteily, lämmön eristäminen, lämpövuoto, ominaislämpökapasiteetti ja lämmitystarve.

Dokumentointi suoritettiin Microsoft officen Word-ohjelmalla ja tietojen taulukointi ja laskenta suoritettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Tiedot lämpökamerasta kerättiin Fluken InsidelR-ohjelmalla.

Kanasen (2015) mukaan tutkimuksen luotettavuuden kriteerit vaihtelevat eri tutkimustyypeillä. Tässä tutkimuksessa suoraan luotettavaksi lähteeksi määritettiin sekundäärisissä tiedoissa työn toimeksiantajan kaikki lähteet ja niihin viitattiin ilman monitahoisia viittauksia. Jokaista tutkimustietoa sisältävää lähdetä verrattiin toiseen alan vastaavaan julkaisuun vähintään kerran aihealuetta kohden tiedeyhteisön konsensuksen varmistamiseksi. Lähteet arvioitiin dokumentoinnin, yhteensopivuuden, menetelmien ja tutkimusotteen kannalta lähteeksi sopivuuden määrittämiseksi. Opinnäytetyössä hyödynnettiin myös UPM Plywoodin henkilökunnan tietämystä laitoksen toiminnasta ja laitteistosta.

Jyväskylän Vaneritehtaalle on aikaisemmin teetetty opinnäytetöitä mm. Jalostusosastolle pinnoituspuristimen lajittelupään logiikan modernisointiin. Työt eivät suoraan liittyneet Jalostusosaston toiminnan energian käyttöön, mutta niitä käytettiin hyödyksi pinnoituspuristimen toiminnan ymmärtämiseksi.

Vastaavanlainen energian käytön tutkimus oli myös tehty UPM:n Savonlinnan vaneritehtaalle. Työssä keskityttiin tukkien kustuttamiseen käytetyn haudotusaltaan toimintaa, eikä siitä saatu suoraa hyötyä tutkimuksessa. Tutkimuksen tietoja kuitenkin käytettiin hyödyksi vaneritehtaan toiminnan ymmärtämisessä (Fermi. E. 1936).

#### 4.1 Aiheen rajaus

Selvitystyössä otetaan kantaa jalostusosaston energian käyttöön ja siihen suoraan liittyviin tekijöihin. Selvityksen ulkopuolelle jäivät pien-elektroniikka, joka kuluttaa yhdessä alle prosentin kaikesta osastossa käytetystä energiasta, suora lämpövuon laskenta ulkopintojen läpi sekä tarkastelu ilmanvaihdosta osastojen välillä. Lämpövuon laskettiin välillisesti selvittämällä kokonaisenergiankulutus ja ilmanvaihto osastojen välillä ei siirrä energiaa, kun osastojen lämpötilaerot ja liikkuvat ilmamäärät ovat mitättömän pienet.

Selvityksestä jätetään pois laitteiden huoltoon liittyvät kustannukset. Osaston valaistuksen tehokkuutta ei muuteta, sillä sen tärkeimpänä ominaisuutena pidetään työturvallisuuden ja -tehokkuuden maksimointia. Valaistuksen energiankulutus huomioidaan energiataselaskelmissa selvittäessä vaneritehtaan lämmityskustannusrakennetta.

Opinnäytetyö ei ota myöskään suoraan kantaa tuotantoprosessin menetelmiin, eikä menetelmien tuotantotehokkuuteen.

#### 4.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus-selvitystyö aloitettiin selvittämällä mahdollisimman tarkasti toimeksiantajan tarve ja motiivi. Yhteisymmärryksen varmistamiseksi ennen opinnäytetyön aloittamista pidettiin palaveri, jossa haastateltiin kahta toimeksiantajan vastuuhenkilöä.

Haastattelun ohella kirjattiin UPM Plywoodin tarpeet selvitystyölle ja niiden tärkeimmät vaatimukset, jotka tutkimustyön tulisi täyttää.

Tutkimuksen alkupohdinnan jälkeen tutkimuskysymykset kiteytyivät seuraaviksi:

- Mikä on energiankulutuksen määrä jalostusosastossa ja kuinka paljon kukin laite kuluttaa energiaa?
- Kuinka energiankulutus mitataan?
- Millä energiankulutuksen muodoilla on merkitystä ja mihin energiankulutukseen voidaan vaikuttaa?

Tutkimus-olettamus toimi vastapainona tutkimuskysymyksille. Olettamus oli, että selvittämällä kaikki osaston laitteet ja mittaamalla niiden käyttämä energia pystytään vertailemaan ja analysoimaan energiankulutuskohteita sekä määriä.

Seuraavaksi käytiin läpi osaston toiminta tehdasvierailulla ja siirryttiin tarkastelemaan osaston laitteiden toimintaa kytkentäkaavioiden ja layout-kuvien avulla.

Tarkastelun pohjalta liitettiin intuitiolla alustavat fysiikan teoriat opinnäytetyöhön ja avattiin työn keskeiset käsitteet.

Teoreettinen puolen ja energian kuluttajien ollessa tiedossa, aloitettiin itse prosessin energiankulutuksien tarkastelu. Tarkastelu käynnistettiin tarvittavan mittausdatan keräämisen suunnittelulla ja toteuttamisella.

Saadut tiedot sähkön kulutuksista taulukoitiin ja analysoitiin verraten valmistajien arvoihin ja laitteiden käyttöaikoihin. Taulukoidut arvot muutettiin ideaalista työviikkoa vastaaviksi, jotta niitä pystyttäisiin vertaamaan keskenään ja muodostamaan osaston realistisia energiankulutuslaskelmia.

Mittauksien pohjalta jakauduttiin kahteen eri tarkasteluun: Yhdessä tarkastelussa selvitettiin ja tutkittiin laitteiston energiatehokkuutta. Toisessa keskityttiin osaston lämmitykseen, jossa ovat kaikki lämpöenergiaa tuottavat ja poistavat komponentit.

Tarkastelujen tiedot esiteltiin taulukoina tulokset-osiossa ja niitä jatkoanalysoitiin parannusehdotuksissa. Analysointien pohjalta laadittiin parannusehdotukset.

## 5 Energiankulutuksen kartoitus

### 5.1 Laitteiston tietojen kerääminen

Kaikki osastossa käytössä olevat laitteet ja niiden piirustuksissa eriteltyt sähköä kuluttavat komponentit kerättiin erilliselle taulukolle.

Taulukoinnin tarkoituksena oli selvittää laitteiden sisäiset energian käytön suhdellut ja auttaa keskittymään olennaisiin yksityiskohtiin tutkimuksen kannalta. Laitteiston tiedot kerättiin tehtaan huolto-osaston arkistoista ja taulukoitiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Kaikki kerätyt osaston laitteiden komponentit löytyvät liitteestä 1.

### 5.2 Energiankulutuksen mittaamisen suunnittelu ja toteutus

Ennen sähkönkulutusmittausten toteutusta osaston laitteille, (kts. listaus alla) suunniteltiin se toteutettavaksi yhden viikon aikana. Mittauslaitteiden vähyyden vuoksi mittaukset kuitenkin suoritettiin eri viikoilla yksitellen.

Kulutusmittausten etenemisjärjestys oli seuraava:

- Puristimen lämmitys 1.12.2016 klo 12:45 -9.12.2016 klo 12:30
- Puristin 9.12.2016 klo 13:32 – 16.12.2016 klo 8:17
- Schelling-sahat 16.12.2016 klo 13:14 – 23.12.2016 klo 10:14
- Schelling-purunpoistopuhallin 23.12.2016 klo 11:06 - 3.1.2017 klo 11:06
- Pakkauslinja 3.1.2017 klo 11:53 -13.1.2017 klo 14:23
- Schelling-hakkuri 13.1.2017 klo 14:56 -20.1.2017 klo 11:56
- Ilmanvaihto 20.1.2017 klo13:03 -27.1.2017 klo 13:03

Mittaukset etenivät kulutusjärjestyksessä isoimmasta pienimpään. Tällä pyrittiin minimoimaan poikkeuksellisten työskentelypäivien vaikutuksia energiankulutuslaskelmissa. Samalla tärkeimpiä mittauksia ehdittäisiin uusia, mikäli mittauksien suorittamisessa tapahtuisi virheitä.

Mittauksien tuloksiin vaikuttivat seuraavat poikkeukselliset päivät:

- Itsenäisyyspäivä 6.12.
- Jouluaatto, joulupäivä ja tapaninpäivä 24.-26.12.
- Uusi vuosi 1.1.



-Loppiainen 6.1.

Lisäksi Schelling-purunpoistoimurin ja -hakkurin toimintaan vaikuttivat mittauksissa odottamattomat seisahdukset sahojen toiminnassa.



Kuvio 4. Fluke 435-sähkönlaatu- ja energia-analysointilaitteisto (Fluke 2017)

Sähkönkulutusmittaus suoritettiin Fluke 435 sähkönlaatu- ja energia-analysointilaitteella (kuvio 4.), joka keräsi mittausdataa 15 minuutin välein. Mitattavalta laitteelta kerättiin pääsähkönsyötöstä jokaiselta vaiheelta ja nollajohtimelta pätötehon, loistehon, näennäistehon, tehokertoimen, jännitteen sekä virran minimi-, maksimi- ja keskiarvot. Keskiarvoa varten mittari keräsi tiedot 477 ms välein ja yhdisti niistä jokaiselle 15 minuutin mittausvälille keskiarvon. Tarkemmat spesifikaatiot Fluken mittarille löytyvät liitteestä 2.

Jokaisesta Fluken Powerlog-ohjelmaan kerätystä mittauksesta muodostettiin ideaalista työviikkoa vastaava laskelma, jossa mittauksen kohde on päällä viisi päivää viikossa ja sitä huolletaan kaksi päivää viikossa. Poikkeuksena säännölle on valaistus,

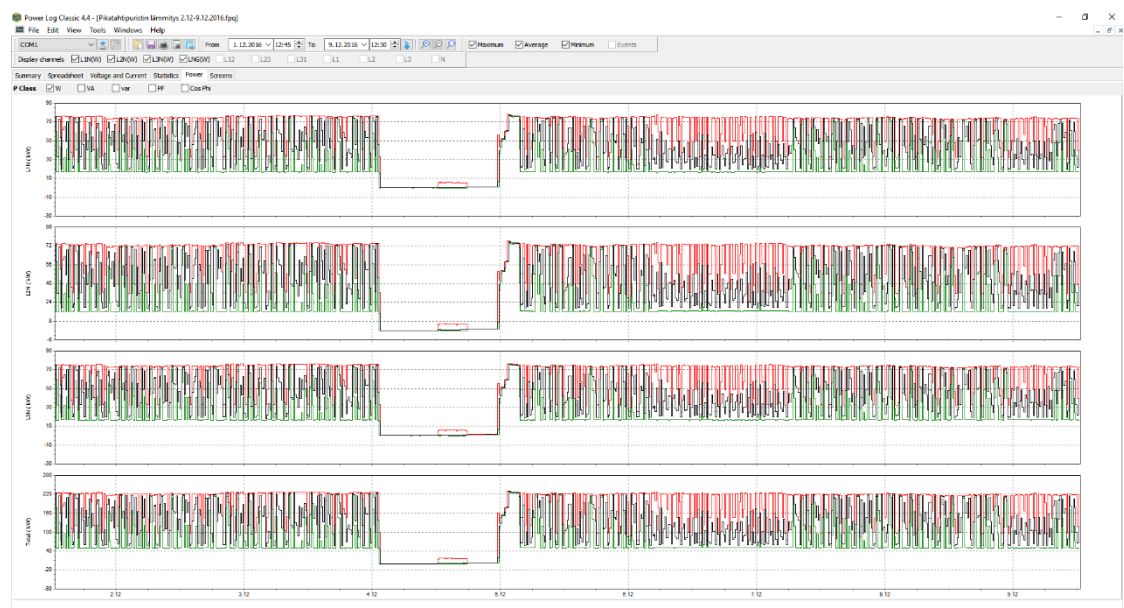
joka on jatkuvasti päällä. Koko osasto on suljettuna viisi viikkoa vuodesta. Kiinniolo otettiin huomioon tulokset-osion vuosikulutuslaskelmissa.

Normalisointi toteutettiin kaavalla:

**viikon normitettu kulutus = (laitteen keskiteho käytössä) \*(viikon tunnit (= 168h))  
\*(laitteen käyntiaika viikosta (= 5/7 ajasta)) +(laitteen keskiteho pois päältä) \*(viikon tunnit (168)) \*(laitteen huoltoaika viikosta (= 2/7 ajasta))**

David L. Morganin kirjan “Integrating qualitative and quantitative methods (2014)” mukaan pieni otosten määrä johtaa alttiudelle virheisiin ja maksimoimalla otosten määrä vähennetään virheiden määrää. Näin ollen kaikki keskiarvot muodostettiin mahdollisimman pitkiltä aikajaksoilta.

Tuotannon häiriöiden avulla saatiin lisätietoa laitteiden toiminnasta valmiustilassa. Puristimen lämmittimen lämpöhäviöt kävivät ilmi mittauksissa, kun lämmitin oli jätetty päälle valmiustilaan.



Kuvio 5. Powerlog työkalun piirtämää tehokäyrää kolmivaihe järjestelmälle

Kuviossa 5 on viivadiagrammina jokaisen kolmen vaiheen pätöteho kullakin mittaushetkellä, sekä kokonaisteho alimpana. Punainen viiva on tehon maksimi-arvo kullakin mittausvälinä ja vihreä viiva edustaa matalinta arvoa mittauksissa. Musta viiva edustaa kuviossa mittausvälin keskiarvoa. Energiankulutustutkimuksen kannalta kuviossa

5 mittarin keräämistä arvoista oleellinen oli vain vaiheiden yhdistetyn pätötehon keskiarvo eli laitteen todellinen energiankulutus (alimpana).

Sekundäärilämmönkulutus mitattiin laskennallisesti selvittämällä lämmitetyn ilmassan määrä ja lämpötilaero lämmittimen jälkeen. Ilman kosteutta ei otettu huomioon laskennoissa, koska ilman suhteellisen kosteuden vaikutus lämpökapasiteettiin todettiin erittäin pieneksi pakkasilman estäessä veden kerääntymisen ilmaan merkittävässä määrin (maksimi vesimäärä ilmassa on 0.0038 kg vettä kilossa ilmaa 0°C lämpötilassa).

### 5.3 Lämmönsiirtymisen tarkastelu

Osaston lämmönsiirtymistä tarkasteltiin lämpökameralla. Lämpövuotoja etsittiin ulkoseinien ja sisätilojen väliltä, sekä pikatahtipuristimen öljylämmittäimestä. Lisäksi tarkasteltiin yleistä ilman siirtymistä osastossa. Mittauslaitteena toimi Fluke Ti20-mallinen lämpökamera (kts. kuvio 6).



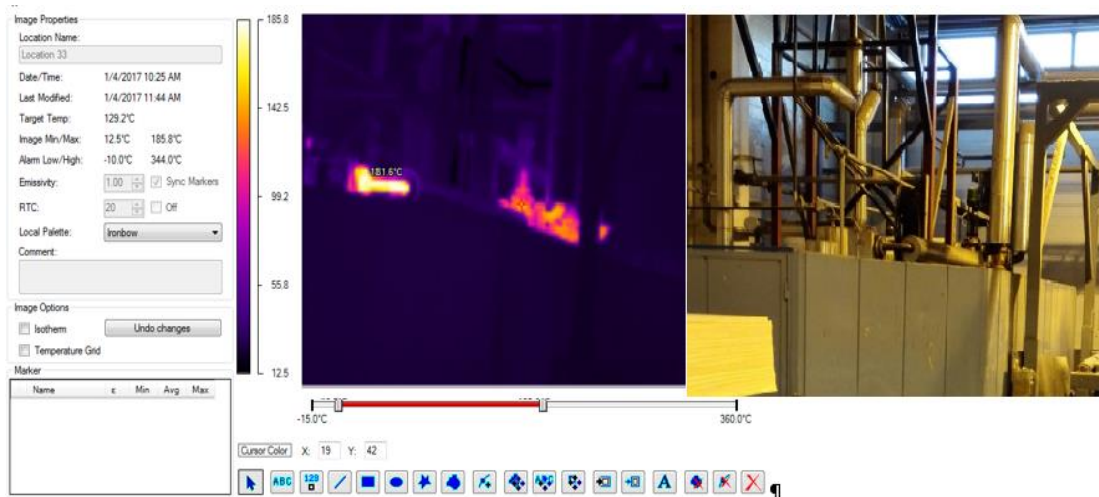
Kuvio 6. Ti20-lämpökamera

Lämpökameralla otetut kuvat analysoitiin InsideIR-ohjelmalla. Ohjelmisto on suunniteltu käytettäväksi Ti20-kameran kanssa ja se antaa tiedot otetun kuvan korkeimmasta ja matalimmasta lämpötilasta. Lisäksi ohjelmalla pystyy säätämään jälkikäteen otettuja kuvia ja muuttamaan lämpötiloja vastaavien värien skaalausluetta.

Lämpökuvien rinnalle lisättiin jälkikäsitteilynä valokuva samasta kohdasta lämpökamerakuvan tulkinnan helpottamiseksi. Tarkemmat tiedot Fluken TI-20-lämpökamerasta löytyvät liitteestä 3.

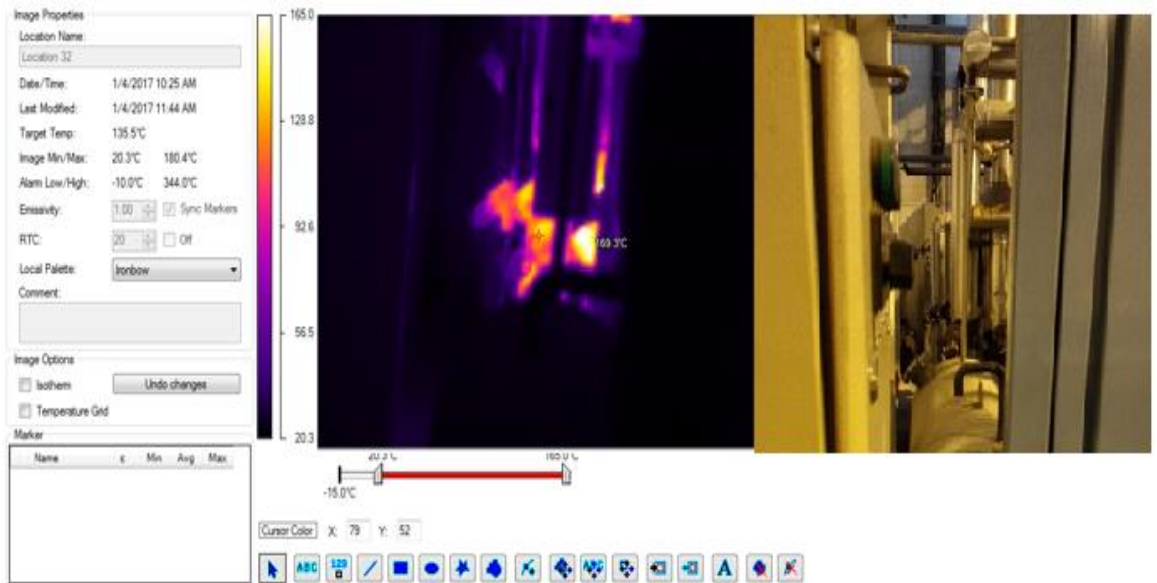
### Tahattomat sähköenergiahäviöt

Tahattomia sähköenergiahäviöitä syntyy kun laitteet käyttävät sähköä prosesseissa esimerkiksi nesteen lämmittämiseen. Eristyksen ollessa riittämätöntä, menee osa energiasta ympäröivän tilan lämmittämiseen.



Kuvio 7. Puristimen öljylämmittin lämpökameralla kuvattuna

Kuviossa 7 ja 8 on pikatahtipuristimen lämmitin, joka lämmittää sähköllä puristinpinnaa lämmittävää öljyä. Heikon eristämisen vuoksi lämmitin lämmittää myös ympäristöä, joka näkyy lämpösäteilynä lämpökamerassa.



Kuvio 8. Puristimen lämmitin lämpökamerassa takaa

Lämmön siirtymää, eli lämpövuota voidaan arvioida Fourierin lain mukaan kaavalla (Fourier 1822).

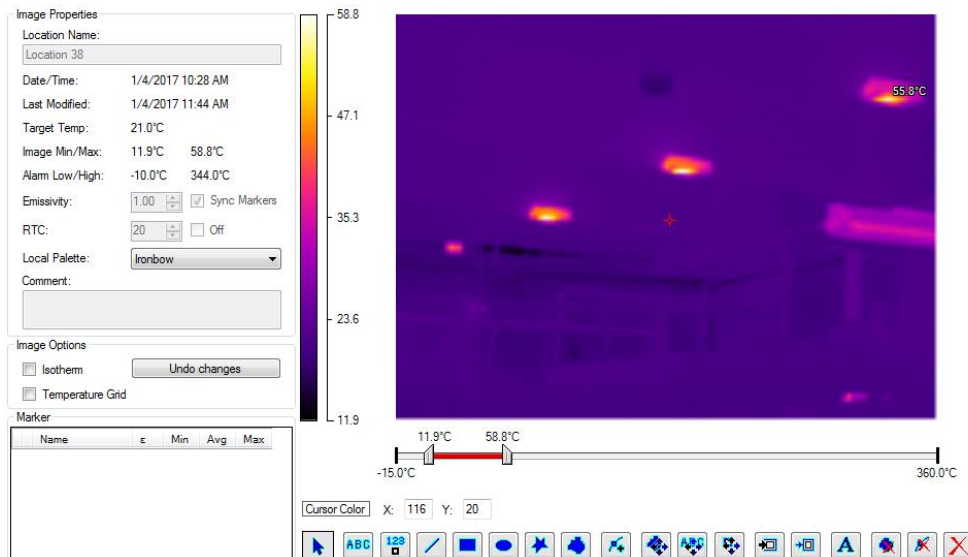
$$q=k*A*dT/s$$

Jossa

- q= lämmön siirtymä; W
- k= materiaalin lämmön johtavuus; W/m K
- A= lämmön siirtymisen pinta-ala; m<sup>2</sup>
- dT= Lämpötilan ero sisällä ja ulkona; K
- s= Materiaalin paksuus; m

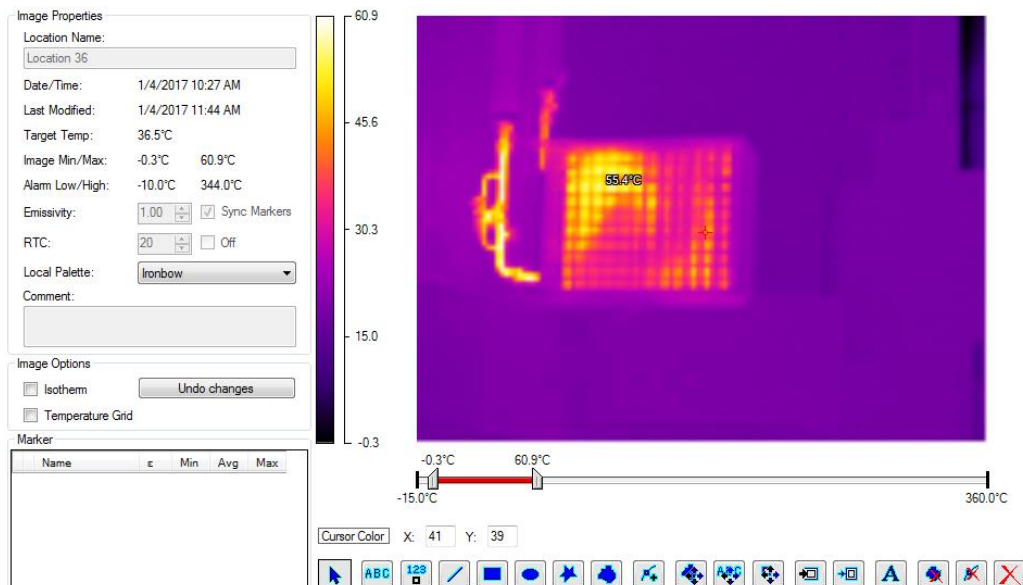
### Päätoimiset lämmön lähteet

Jalostusosastossa kaikki sähköä kuluttavat laitteet joiden päätoiminen tehtävä ei ole tuottaa lämpöä tuottavat sitä sekundäärisesti ja kaikki laitteet, joiden päätoiminen tarkoitus on tuottaa lämpöä tuottavat sen primäärisesti.



Kuvio 9. Valaistus lämpökamerassa

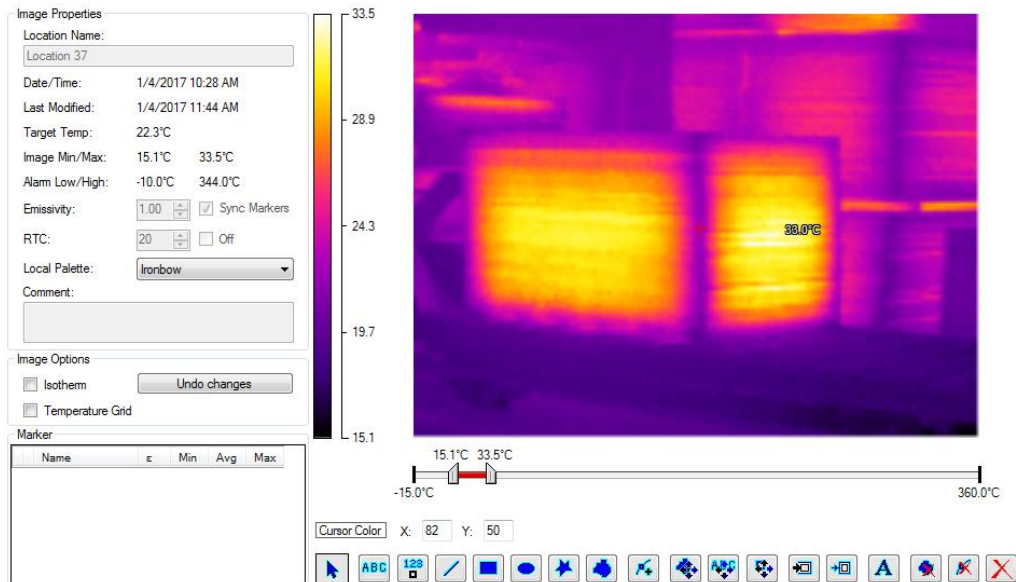
Osaston valaisimet tuottavat valaisuun käyttämänsä sähkötehon verran lämpöä (kts kuvio 9). Ne toimivat muiden osaston laitteiden kanssa sekundäärisinä lämmön lähteinä osastossa.



Kuvio 10. Vesi-ilma lämmönvaihdin lämpökamerassa

Erot lämmönlähteiden välillä syntyvät lämpöenergian primääriseen ja sekundääriseen luonteen tarkastelussa: kun laitteen lämmitysteho tulee kertaalleen päätoimisessa käyttötarkoituksessaan käytetystä energiasta, joka leviää tilaan sekundääriseen toimintaansa eli tilan lämmittämiseen, voidaan sen hintana pitää nollaa ja ajatella energian hintaa pelkästään päätoimisen käyttötarkoituksen hintana.

Esimerkiksi osaston vesi-ilma-lämmönvaihdin siirtää vanerin valmistusprosessissa käytetystä, muuten hukatusta lämminvedestä lämpöenergiaa osaston käyttöön käytännössä ilman kustannuksia (kts kuvio 10).



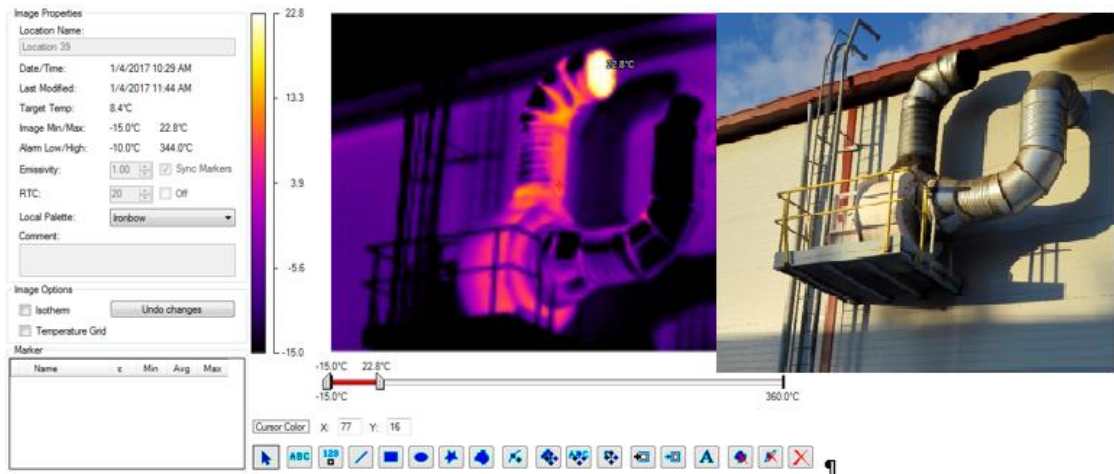
Kuvio 11. Valmista vaneria lämpökamerassa

Näin ollen lämmönlähteet, jotka tuottavat lämmitysenergian sekundäärisesti ovat aina primäärisiä lämmönlähteitä parempia.

### Lämmön hukka

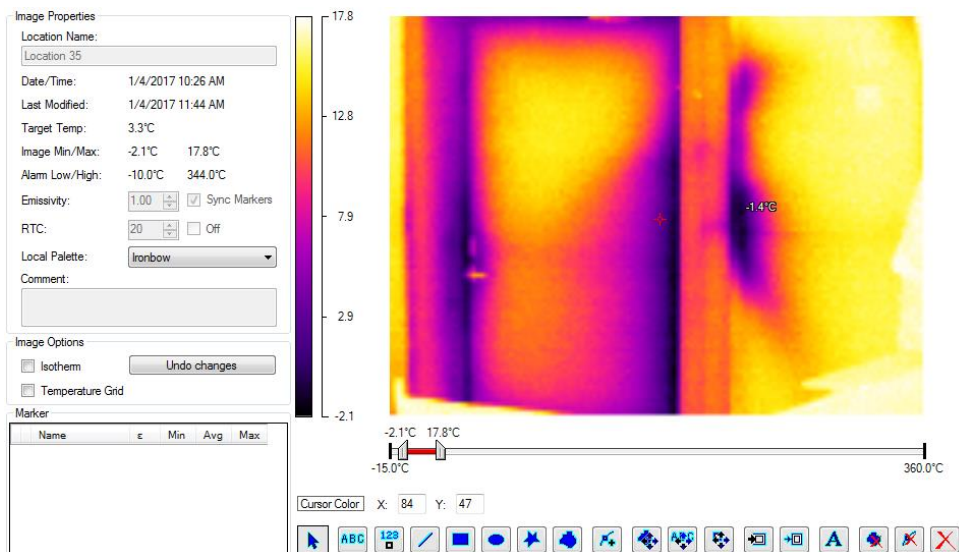
Osaston ilmankierrossa puhdas ilma tulee katolla sijaitsevan tuloilmapuhaltimen läpi ja se poistuu pikatahtipuristimen imurin kautta (kts kuvio 12). Tämä järjestely samalla aiheuttaa lämpöhäviöitä ja varmistaa, että ilmanvaihto estää fenolifilmipäällystyksistä syntyvien kaasujen päätyksen tehdastiloihin. Lämmön hukkaamisella ei ole merkitystä osaston olosuhteissa, kun lämpöenergiana käytetään sekundäärienergiaa.





Kuvio 12. Puristimen imuri lämpökamerassa

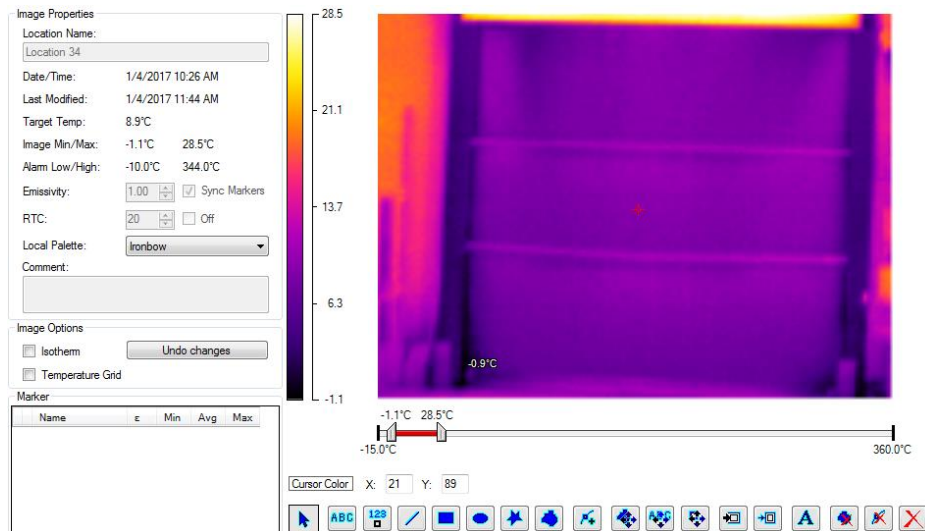
Sama totuus koskee osaston seinien ja oviaukkojen läpi syntyviä lämpöenergiähäviöitä. Tilanne kuitenkin muuttuu, mikäli lämmön tuottamiseen käytetään edes osin päätoimista sähkölämmitystä, kuten pikatahtipuristimen lämmitintä (kts. kuvio 13 ja 14).



Kuvio 13. Yksi osaston ulko-ovista lämpökamerassa

Lämmittimen tehdessä työtä osittain osaston lämmittämiseksi tulee lämpöhäviöille myös teoreettisesti rahallista arvoa. Näin ollen tullaan päätelmään, että lämmön hukan merkitys pienenee, kun primäärinen lämmöntuotanto osastossa pienenee. Tulokset osiossa tämä otetaan huomioon jättämällä osaston lämmön eristämiseen liittyvät ehdotukset pois ja keskittymällä primäärisen lämmitystehon minimointiin.



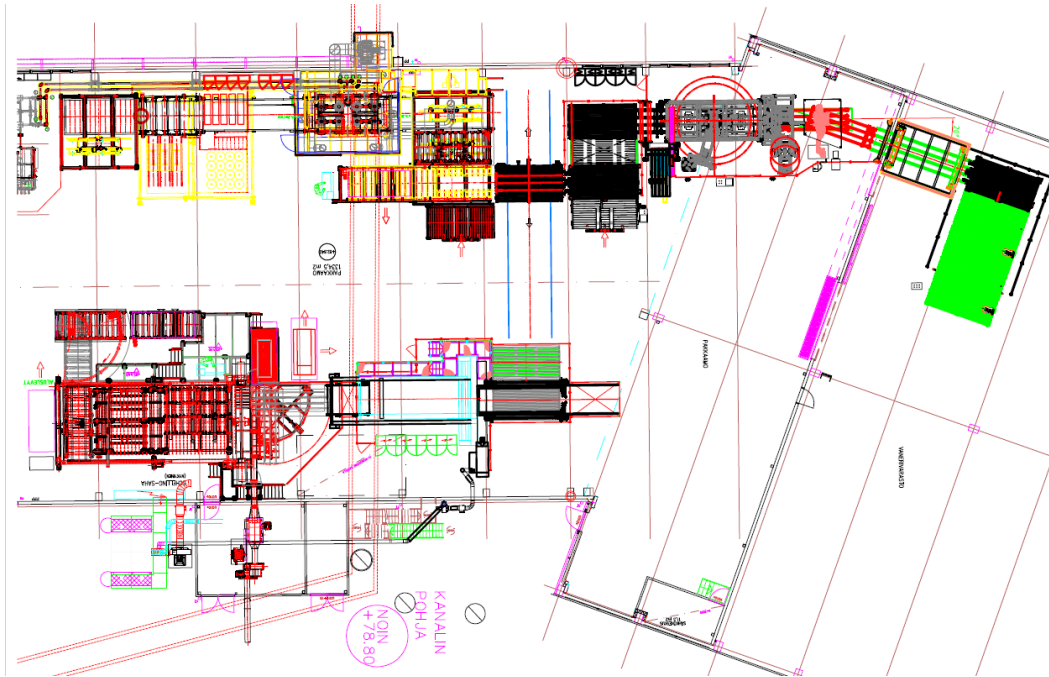


Kuvio 14. Varaston nosto-ovi lämpökamerassa

## 6 Osaston tarkastelu

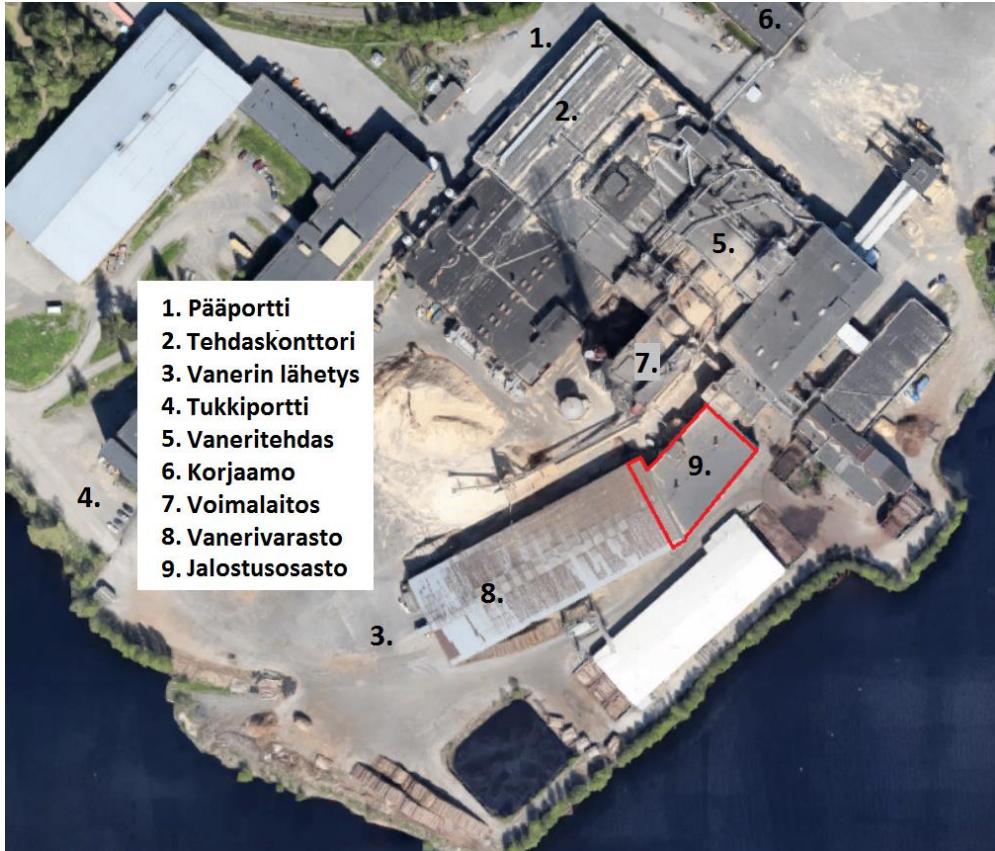
### 6.1 Osaston layout

Jalostusosasto on osa Jyväskylän vaneritehtaan vanerinvalmistusprosessia: liimattu ja puristettu vaneri siirtyy jalostusosaston päällystyksen ja mittaan sahauksen kautta varastoon. Kuviossa 15 vanerin kulkusuunta on jalostusosaston vasemmasta päädyistä oikeaan. Ylävasemmalla sijaitsee pikatahtipuristin, jonka jälkeen vaneri ohjataan alavasemmalla sijaitseville Schelling-sahoille. Yläoikealla sijaitsee pakkauskone.



Kuvio 15. Osaston layout

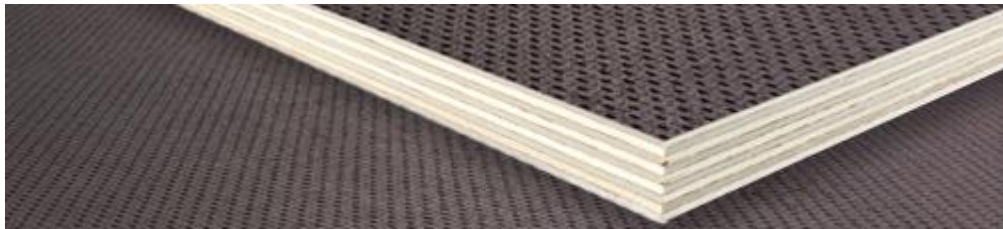
Osasto sijaitsee vanerin valmistusprosessissa viulujen latomiseen ja puristamiseen keskittyvän puristusosaston ja vanerin varastointihallin välissä (kts. kuvio 16).



Kuvio 16. Vaneritehdas ilmakuvana

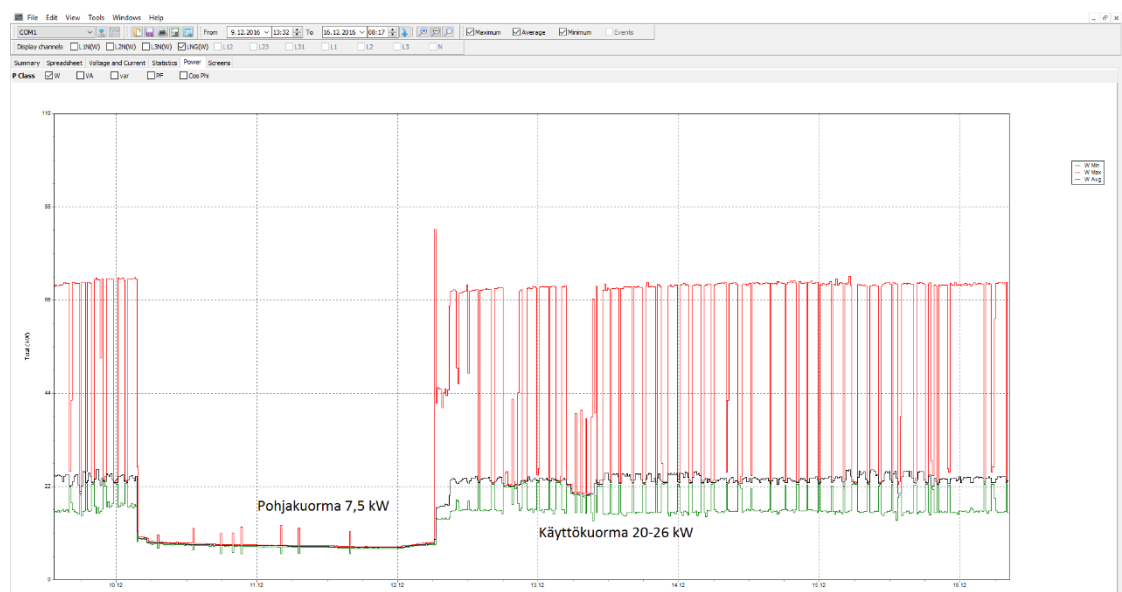
## 6.2 Pikatahtipuristin

Pikatahtipuristimella (kts kuvio 20 ja 21) puristettu ja muotoonsa sahattu vaneri päällystetään fenolifilmillä, joka tekee vanerista monikäyttöistä ja olosuhteita kestäväää. Pinnoitus kestää useita kymmeniä sekunteja, jonka aikana hydraulipuristin painaa kuumalla kuviodulla puristinlevyllä vaneria, jolloin kuvioitu päällystekalvo liittyy pysyvästi vanerin pintaan. Pinnoituksen jälkeen vaneri sahataan määrämittasahalla muotoonsa jolloin reunoihin jäävät ylijäämät fenolifilmiä leikkautuvat pois (kts. kuvio 17). Tuotteesta riippuen vaneri voidaan vielä maalata reunoilta antamaan suojaa kosteudelta myös reunoille.



Kuvio 17. Kuviopäällystettyä Wisa-Wire- vaneria

Puristimen tehomittaukset suoritettiin aikaväliltä 9.12.2016 klo 13:32 – 16.12.2016 klo 8:17.



Kuvio 18. Pikatahtipuristimen puristinosan teho

Pikatahtipuristimen tehon tarve on mittauksen aikana erittäin tasainen. Tauon aikana puristimen pohjakuorma on jopa puolet käytön tehosta, mikä kertoo puristimen syövän paljon energiaa käytön ulkopuolella (kts kuvio 18 ja 19). Pohjakuorma ei vastaa suoraan minkään yksittäisen komponentin ilmoitettua sähkötehoa.

Power & Energy				
FUND 163:11:38				
	L1	L2	L3	Total
kW	7.0	8.8	7.2	22.9
kVA	9.6	11.7	9.8	31.1
kVAR	6.6	7.7	6.7	21.0
PF	0.70	0.73	0.70	0.71
Cosφ	0.73	0.75	0.73	
kWh	945.3	1158	954.6	3058
kVAh	1261	1513	1290	4065
kVARh	799.8	936.4	830.2	2566
START 12/09/16 13:17:50 163:11:38				
PULSE CNT ON OFF		CLOSE ENERGY	MANUAL COUNT+I	RESET ENERGY

Kuvio 19. Pikatahtipuristimen mitattu energiankulutus

Puristimen käyttötehosta otettiin keskiarvo päiviltä 14.-16. ja pohjakuormasta päiviltä 11.-12. tehoista muodostettiin viiden käyttöpäivän ja kahden huoltopäivän ideaalinen viikon kulutus (kts taulukko 1).

Taulukko 1. Pikatahtipuristimen puristinosan laskennallinen energiankulutus.

Pikatahtipuristimen puristinosan energiankulutus	
Koko mittauksen keskiarvo	18,70 kW
Käytön keskiarvo	23,85 kW
Tauon keskiarvo	7,99 kW
$(\text{Käytön keskiarvo}) * 168 * (5/7) + (\text{Tauon keskiarvo}) * 168 * (2/7)$	
Työviikon kulutuksen keskiarvo (5 päivää käytössä, 2 pois.)	3 246,16 kWh



Kuvio 20. Pikatahtipuristimen nostin- ja kuljetinosa



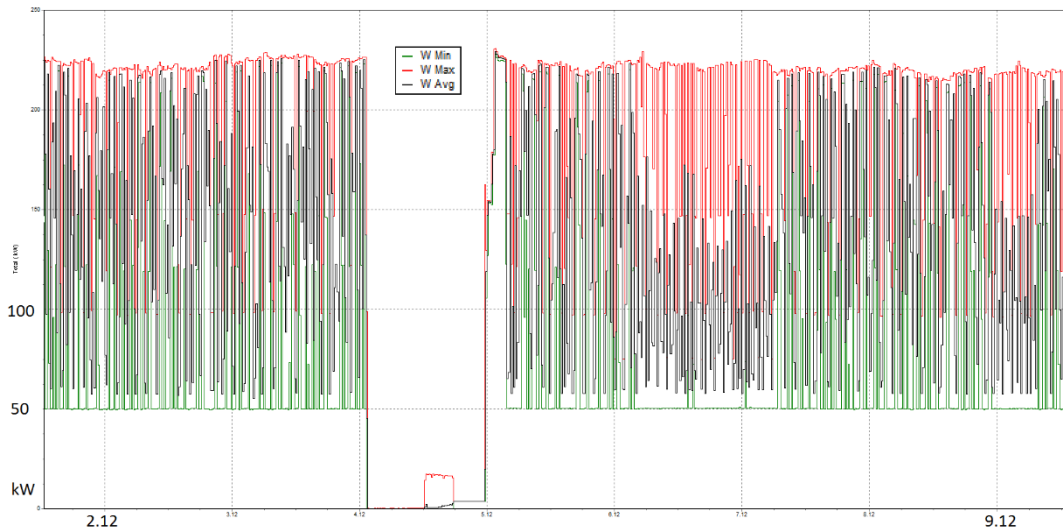
Kuvio 21 Pikatahtipuristimen puristinosa

### 6.3 Puristimen lämmitin

Puristimen lämmitin lämmittää öljyä, jossa lämpö siirretään puristinpinnan lämmittämiseen. Laite vie suurimman osan osaston käyttämästä energiasta.

Lämmitin tehon mittaus suoritettiin aikavälillä 1.12.2016 klo 12:45- 9.12.2016 klo 12:30.





Kuvio 22. Pikatahtipuristimen öljylämmittimen teho

Mittauksen raakadatasta muodostettiin ideaalinen käyttöviikko keskiarvoistamalla käytön teho ajalta 2.-4.12. ja toteamalla, että lämmitin ei kuluta energiaa huoltopäivinä.

Taulukko 2. Pikatahtipuristimen öljylämmittimen laskennallinen energiankulutus

Pikatahtipuristimen öljylämmittimen energiankulutus		
Koko mittauksen keskiarvo		121,631 kW
Käytön keskiarvo		145,136 kW
Tauon keskiarvo		- kW
$(\text{Käytön keskiarvo}) * 168 * (5/7) + (\text{Tauon keskiarvo}) * 168 * (2/7)$		
Työviikon kulutuksen keskiarvo (5 päivää käytössä, 2 pois.)		17 416,303 kWh

Itsenäisyyspäivänä 6-7.12 pikatahtipuristin ei ollut käytössä mutta se oli jätetty päälle. Mittaus osoittaa, että valmiustilassa ollessaan lämmitinelementti kulutti energiaa keskimäärin 100kW. Tästä voidaan päätellä lämmittimen käyttämästä energiasta noin 2/3 menevän hukkaan.

Hallitilan lämmittäminen prosessin sekundäärienergialla ollessa käytännössä ilmaista ja osastossa ollessa kapasiteettia korvata kaikki lämmitystarve pelkästään prosessin sekundäärienergialla todettiin lämmittimen lämmön eristäminen tärkeimmäksi yksittäiseksi parannuskohteeksi prosessissa. Koska lämmitin on normaalisti pois päältä 2 päivää viikossa osaston lämpötilan pysyessä vakiona, voidaan päätellä osaston lämmityskapasiteetin riittävän korvaamaan lämmittimen eristyksen aikaansaama lämmitystehon vähentymä.

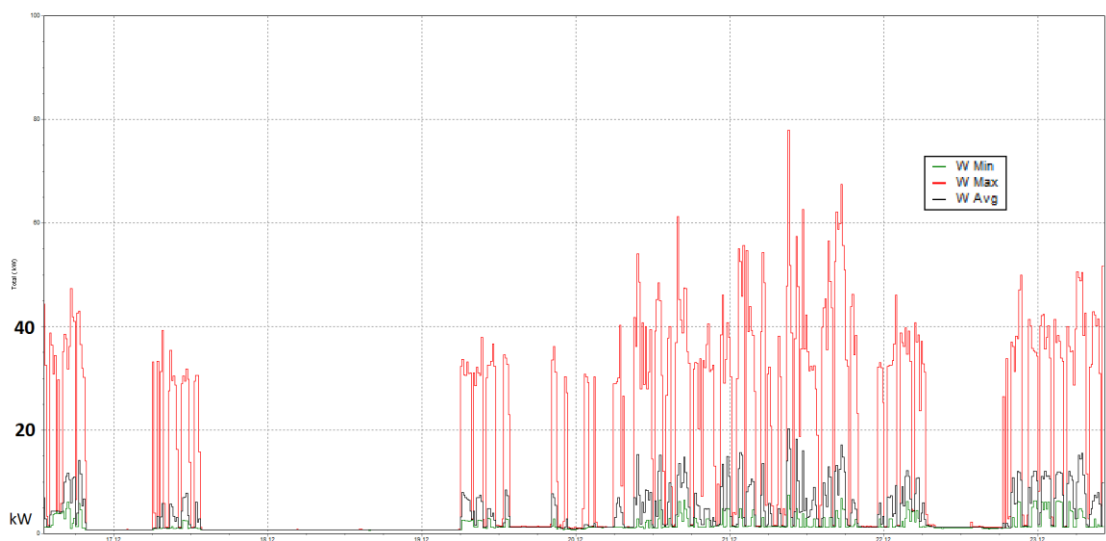
Power & Energy				
FUND	192:03:05			
	L1	L2	L3	Total
kW	73.5	71.4	73.0	217.8
kVA	74.0	72.5	73.4	219.9
kVAR	9.0	12.7	8.1	29.8
PF	0.99	0.98	0.99	0.99
Cos $\phi$	0.99	0.98	0.99	
MWh	7.880	7.659	7.833	23.37
MVAh	8.068	7.933	8.005	24.01
MVARh	1.474	1.867	1.387	4.728
START 12/01/16 12:30:15		192:03:05		
PULSE CNT ON OFF		CLOSE ENERGY	MANUAL COUNT+1	RESET ENERGY

Kuvio 23. Pikatahtipuristimen lämmittimen mitattu energiankulutus. Huom. MWh

## 6.4 Määrämittasaha

### Sahat

Määrämittasahojen (kts kuvio 26 ja 27) tehtävä on sahata valmis vaneri käyttötarkoitustaan vastaavaan muotoon. Juuri pinnoitettu tai pinnoittamaton vaneri ajetaan pinnoissa sahan eteen ja sahataan yksitellen haluttuun muotoon. Pinnoitusta varten vaneriin jätetään pieni vara ns. karsintamitta, jotta reunat voidaan siistiä määrämittasahalla vanerin pysyessä halutuissa mitoissa.



Kuvio 24. Schelling-sahojen ottama teho

Schelling sahojen mittaukset suoritettiin joulukuun 16. päivä klo 13:14 – 23. päivä klo 10:14. Mittausta häirtasivat tuotannon katkot eikä mittaus sellaisenaan edusta normaalia käyttöä (kts kuvio 24 ja 25).

Taulukko 3. Schelling-sahojen laskennallinen energiankulutus

Schelling-sahojen energiankulutus			
Koko mittauksen keskiarvo			3,39 kW
Käytön keskiarvo			4,51 kW
Tauon keskiarvo			0,75 kW
$(\text{Käytön keskiarvo}) * 168 * (5/7) + (\text{Tauon keskiarvo}) * 168 * (2/7)$			
Työviikon kulutuksen keskiarvo (5 päivää käytössä, 2 pois.)			577,15 kWh

Mittauksesta kerätty raakadata analysoitiin ja siitä muodostettiin ideaalinen viiden vuorokauden käyttöä vastaava työviikko. Käyttöä vastaava kulutus keskiarvoistettiin joulukuun 20.- 22. päivän työajalta ja huoltoajan kulutus keskiarvoistettiin joulukuun 18. ja 19. päivän ajalta (kts taulukko 3).

Power & Energy				
FUND	165:24:53			
	L1	L2	L3	Total
kW	1.5	2.9	1.7	6.1
kVA	5.0	5.8	4.8	15.6
kVAR	4.8	5.0	4.5	14.3
PF	0.29	0.49	0.34	0.38
Cosφ	0.30	0.50	0.35	
kWh	131.5	294.9	139.4	565.7
kVAh	321.4	447.1	308.5	1077
kVARh	284.4	274.7	257.4	816.5
START 12/16/16 12:59:59 165:24:53				
PULSE CNT		CLOSE	MANUAL	RESET
ON OFF		ENERGY	COUNT	ENERGY

Kuvio 25. Schelling-sahojen mitattu yhdistetty energiankulutus





Kuvio 26. Määrämittasaha 1

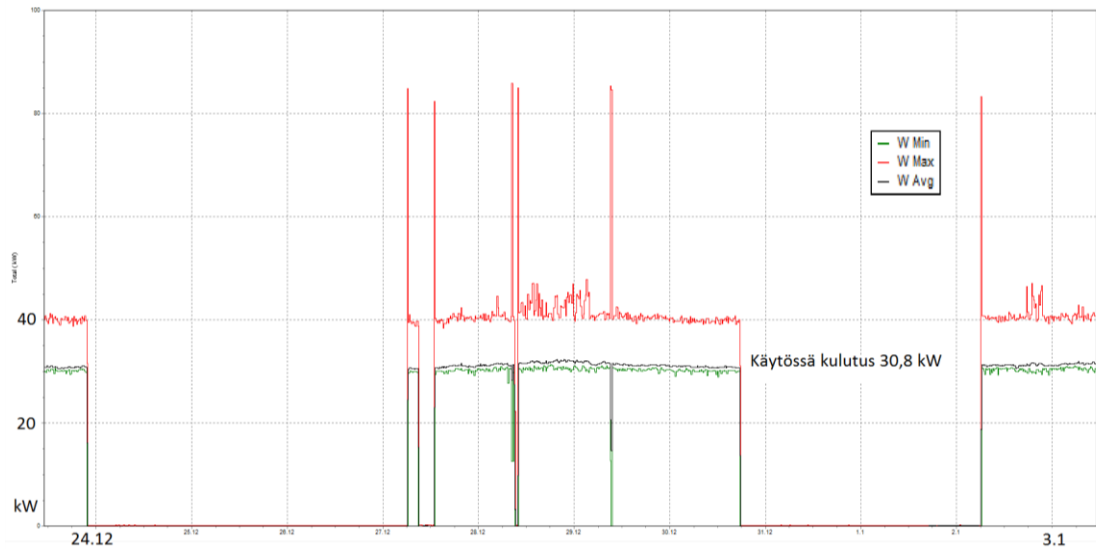


Kuvio 27. Määrämittasaha 2

### **Purunpoistopuhallin**

Purunpoistopuhallin on osa Schelling-sahoja. Purunpoistopuhallin kerää sahan saha-  
tessa syntyvän purun imemällä sen suodattimen läpi ja puhaltaa puhdistetun ilman  
takaisin halliin. Palokuorman minimoimiseksi ja turvallisuuden maksimoimiseksi pu-  
runpoistopuhallin on aina päällä sahoja käytettäessä, näin vältetään herkästi syttyvän  
ja nopeasti palavan purun kerääntymistä hallitiloihin. Aikaisemmin purunpoistopu-  
hallin puhalsi purun ulos ilman kanssa. Schelling saha 2:n uudistamisen jälkeen puhal-  
lettu ilmamäärä olisi tuplaantunut nostaa lämmitystehon tarvetta mahdollisesti yli  
maksimaalisen tuottomäärän, joten päädyttiin purun poistamiseen suodattamalla

molempien sahojen purunpoistopuhaltimella imetty ilma ja ohjaamalla se takaisin osastoon.



Kuvio 28. Sahojen purunpoistopuhaltimen tarvitsema teho

Purunpoistopuhaltimen ollessa taajuusmuuttajaton puhallin, sen ottama teho on hyvin binääristä. Mittauksessa kulutus vaihteli yleisten juhlapäivien vuoksi paljon, eikä edusta normaalin toiminnan energian käyttöä (kts. kuvio 28 ja 29).

Power & Energy				
FUND		264:20:26		
	L1	L2	L3	Total
kW	9.9	11.0	10.9	31.8
kVA	12.1	13.2	12.8	38.0
kVAR	6.8	7.2	6.7	20.8
PF	0.82	0.83	0.85	0.83
cosφ	0.82	0.84	0.85	
kWh	1151	1289	1263	3703
kVAh	1419	1554	1501	4474
kVAh	825.7	865.8	808.4	2500
START 12/23/16 10:51:35		264:20:26		
PULSE CNT	CLOSE ENERGY	MANUAL COUNT+!	RESET ENERGY	
ON	OFF			

Kuvio 29. Sahojen purun poistopuhaltimen mitattu energiankulutus

Taulukko 4. Purunpoistopuhaltimen laskennallinen energiankulutus

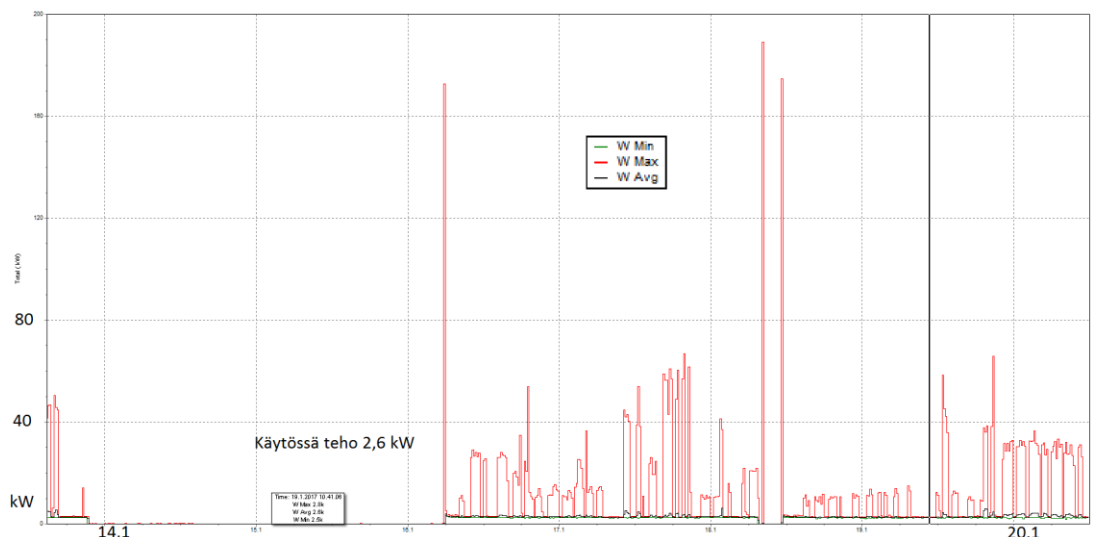
Schelling-purunpoiston energiankulutus			
Koko mittauksen keskiarvo		13,97	kW
Käytön keskiarvo		31,29	kW
Tauon keskiarvo		-	kW
$(\text{Käytön keskiarvo}) * 168 * (5/7) + (\text{Tauon keskiarvo}) * 168 * (2/7)$			
Työviikon kulutuksen keskiarvo (5 päivää käytössä, 2 pois.)		3 754,93	kWh

Energiankulutus normitettiin viikolle mittausarvoista keskiarvoistamalla pisin yhtäjaksoinen aika mittauksen keskeltä 27-30.12 viidelle päivälle viikossa ja toteamalla että laite ei käytä energiaa kahtena päivänä työpäivien ulkopuolella (kts. taulukko 4).

### Hakkuri

Hakkurin energiankulutusta mitattiin tammikuun 13. päivä klo 14:41- 20. päivä klo 11:56.

Hakkurin mittauksen aikana sahojen käytössä ilmeni ongelmia ja ne näkyvät hakkurin toiminnassa (kts. kuvio 30 ja 31).



Kuvio 30. Schelling hakkurin teho

Hakkurin käyttöteho keskiarvoistettiin tammikuun 18.-20. päivältä ja lepotehoksi todettiin nolla. Tehojen keskiarvojen perusteella muodostettiin ideaaliviikon kulutus (kts. taulukko 5).

Taulukko 5. Schelling-hakkurin laskennallinen energiankulutus

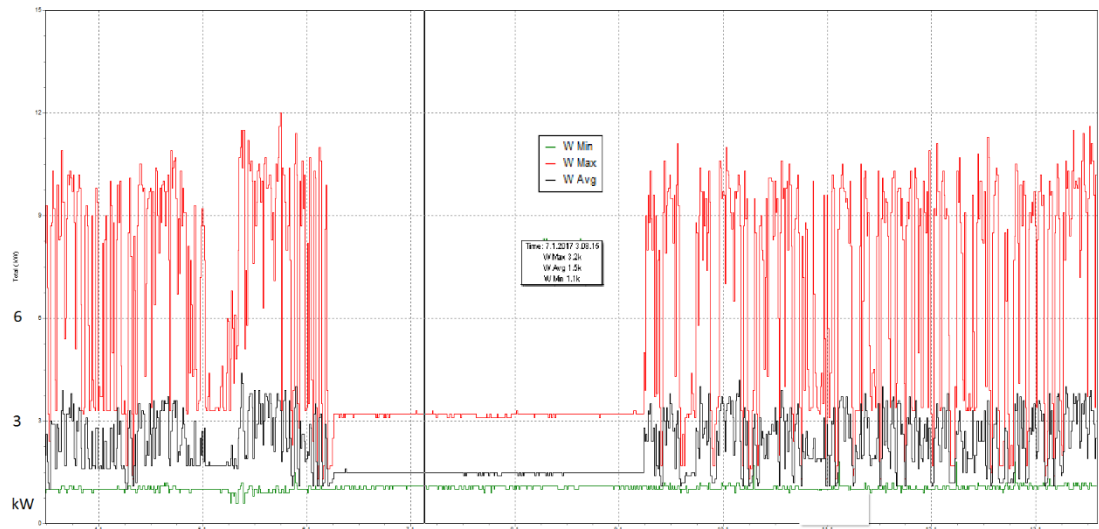
Schelling-hakkurin energiankulutus			
Koko mittauksen keskiarvo			1,93 kW
Käytön keskiarvo			2,78 kW
Tauon keskiarvo			- kW
$(\text{Käytön keskiarvo}) \cdot 168 \cdot (5/7) + (\text{Tauon keskiarvo}) \cdot 168 \cdot (2/7)$			
Työviikon kulutuksen keskiarvo (5 päivää käytössä, 2 pois.)			333,73 kWh

Power & Energy				
FUND	165:15:59			
	L1	L2	L3	Total
kW	0.9	0.9	0.9	2.7
kVA	11.8	11.7	11.8	35.3
kVAR	11.8	11.7	11.8	35.2
PF	0.07	0.07	0.07	0.07
cosφ	0.08	0.07	0.08	
kWh	103.2	104.2	111.3	318.8
kVAh	1199	1195	1200	3594
kVAh	1193	1186	1192	3570
START 01/13/17 14:41:06		165:15:59		
	PULSE CNT	CLOSE	MANUAL	RESET
	ON OFF	ENERGY	COUNT ↑ ↓	ENERGY

Kuvio 31. Schelling hakkurin energiankulutus

## 6.5 Pakkauskone

Pakkauskone käärii lavalle pinotun vaneripinkan suojamuoviin kuljetusta varten (kts. kuvio 35). Pakkauskone toimii puoliautomaattisesti suorittaen pakkaamisen erillisellä käskyllä. Pakkauskone on käytössä normaalisti viisi päivää viikossa. Pakkauslinjan energiamittaukset suoritettiin tammikuun 3. päivä klo 11:53 -13. päivä klo 14:23 (kts. kuvio 32).



Kuvio 32. pakkauslinjan ottama teho

Pakkaus koneen kulutusarvot normalisoitiin ottamalla pidempi yhtäjaksoinen käyntiaika mittauksen loppupuolelta ja laskemalla jokaisen mittauksen keskiarvo. huoltoajan pohjakuormasta otettiin myös keskiarvo ja sitä käytettiin määrittämään kahdelle huoltopäivälle kulutus. Kulutuksista muodostettiin ideaalinen viikon kulutus (kts. taulukko 6).

Taulukko 6. Pakkauslinjan laskennallinen energiankulutus

			Pakkauslinjan energiankulutus	
Koko mittauksen keskiarvo			2,15	kW
Käytön keskiarvo			2,43	kW
Tauon keskiarvo			1,49	kW
$(\text{Käytön keskiarvo}) \cdot 168 \cdot (5/7) + (\text{Tauon keskiarvo}) \cdot 168 \cdot (2/7)$				
Työviikon kulutuksen keskiarvo (5 päivää käytössä, 2 pois.)			362,98	kWh

Power & Energy				
FUND	242:50:22			
	L1	L2	L3	Total
kW	1.6	1.3	0.6	3.5
kVA	1.6	1.3	0.7	3.5
kVAR	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.5
PF	0.83	0.89	0.76	0.84
Cosφ	0.99	0.99	---	
kWh	181.6	254.0	91.46	527.0
kVAh	192.5	260.7	107.1	560.3
kVAh	±39.82	±45.99	±44.10	±129.9
START 01/03/17 11:38:15		242:50:22		
	PULSE CNT ON OFF	CLOSE ENERGY	MANUAL COUNT-1	RESET ENERGY

Kuvio 33. Pakkauslinjan energiankulutus



Kuvio 34. Pakkauskone toiminnassa

## 6.6 Ilmastointijärjestelmä

Ilmastointijärjestelmä vastaa osaston ilmataseen pitämisestä positiivisena sekä tuloilman lämmittämisestä. Lämmittäminen tapahtuu katolla tuloilmapuhalttimeen ohjattulla lauhdevesijärjestelmällä, joka lämmönvaihtimen kautta lämmittää tulevan ilman sopivaan lämpötilaan. Ilmastointijärjestelmällä on kaksi tärkeää tehtävää: kierrättää hallin ilmaa sisäilman laadun parantamiseksi ja korvata ilmaan leviävien fenolikaasujen poistomurin ulos puhaltamaa ilmaa. Laitoksen ilmastointi on pyritty siihen, että ilmastointi on aina puhtaimmista prosesseista likaisempiin prosesseihin.



Ilmataseen määrittämisen ja ilman lämmittämiseen tarvittavan tehon määrittämiseksi tuloilman määrää tarkasteltiin tuloilmapuhaltimen paikallismittarista (kts. kuvio 35). Paikallismittarin tarkkuudeksi arvioitiin dokumentoinnin puuttuessa ja mittarin analogisen luonteesta johtuen  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ .



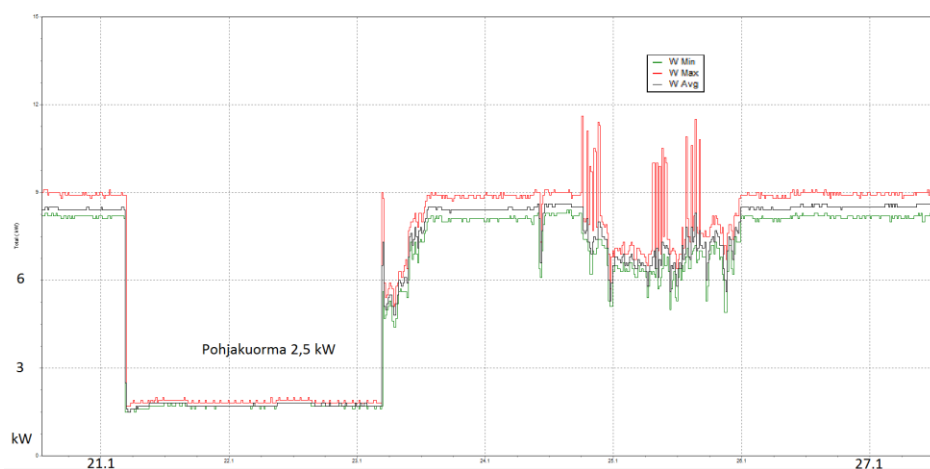
Kuvio 35. Koja-tuloilmapuhaltimen ilmapvirtauksen paikallismittari

Ilmataseen määrittämiseksi ilman virtausta verrattiin ainoaan poistopuhaltimeen eli Pikatahtipuristimen imuriin. Imuri toimii "on/off" tyylisesti vakio puhallusteholla ilman taajuusmuuntajaa. Näin ollen imurin laitekilvestä luettu arvo vastaa laitteen siirtämää ilmamäärää (kts. kuvio 36).



Kuvio 36. Puristimen imurin laitekilpi

Laitekilven ja mittauksen perusteella tuleva ja lähtevä ilmassa ovat yhtä suuret, eli noin 5,5 m<sup>3</sup>/s. Tämä tarkoittaa, että ilman siirtymä osastojen välillä ja systeemin rajojen yli on alle mittaustarkkuuden eli 0,1 m<sup>3</sup>/s suuruinen määrä. Ilmassa kasvaa lämmitessään lämmitystarveaikana sisätiloissa keskimäärin 5%, joka on mittaustarkkuuteen nähden liian pieni määrä mitattavaksi.



Kuvio 37. Pakkauksen ilmastoinnin teho

Oikein toimivassa ilmastointijärjestelmässä ilma-tase on hieman positiivinen tai nolla, eli ilmaa tulee enemmän sisälle kuin ilmaa puhalletaan ulos. Jos ilmaa puhalletaan enemmän ulos kuin sitä puhalletaan sisälle, syntyy alipainetta, joka saa ilman siirtymään tilaan lämmittimien ohi rakenteiden raoista. Tämä johtaa paikallisiin kylmiin ja kuumiin kohtiin ilman epätasaisen lämmittämisen vuoksi. Jalostusosaston ilmastoinnin todettiin toimivan oikein.



Power & Energy				
FUND 168:16:43				
	L1	L2	L3	Total
kW	2.8	2.9	2.9	8.5
kVA	2.9	3.0	3.0	8.8
kVAR	0.7	0.8	0.8	2.3
PF	0.79	0.81	0.79	0.80
cosφ	0.97	0.97	0.97	
kWh	329.9	364.3	350.7	1045
kVAh	348.0	383.4	373.3	1105
kVARh	104.4	113.2	117.1	334.7
START 01/20/17 12:48:13		168:16:43		
	PULSE CNT ON OFF	CLOSE ENERGY	MANUAL COUNT	RESET ENERGY

Kuvio 38. Ilmastoinnin mitattu energiankulutus

Ilmanvaihdon tehoa mitattiin aikaväliltä 20.1.2017 klo13:03 -27.1.2017 klo 13:03 (kuvio 37 ja 38).

Käyttötehon keskiarvo otettiin aikaväliltä 26.-27.1 ja pohjakuorma 22.-23.1. (taulukko 7)

Taulukko 7. Tuloilmapuhaltimen laskennallinen kulutus

Tuloilmapuhaltimen energiankulutus			
Koko mittauksen keskiarvo		6,17	kW
Käytön keskiarvo		8,53	kW
Tauon keskiarvo		1,74	kW
$(\text{Käytön keskiarvo}) * 168 * (5/7) + (\text{Tauon keskiarvo}) * 168 * (2/7)$			
Työviikon kulutuksen keskiarvo (5 päivää käytössä, 2 pois.)		1 106,91	kWh

## 6.7 Lämmitysjärjestelmä

Osastoa lämmittää päätoimisesti tuorehöyryn tuotannosta sivutuotteena syntynyt lämminvesi (kts. taulukko 8). Osastoa lämmittävät sivullisesti kaikki osaston energiaa kuluttavat laitteet. Lämminvettä ohjataan osaston viidelle rinnan kytketylle vesi-ilma lämmönvaihtimelle ja ilmastoinnin tuloilmapuhaltimelle. Yhteisteho lämmönvaihtimilla on 100kW ja tuloilmapuhaltimella 125 kW ensiö- sekä toisiolämmönvaihtimilla. Automaatiikka määrää lämpötilaerosta riippuen kunkin vaihtimen päälle ja pois erikseen. Lämmönvaihtimien tehtävä on kierrättää ja lämmittää hallin ilmaa, jotta

seinien läpi virtaavan lämpöenergian kylmentävä vaikutus kumoutuu ja lämpötila pysyy vakiona.

Taulukko 8. Tuloilman lämmittimen laskennallinen energiankulutus

	Tuloilman energiankulutuslaskelmat		
Tuloilman määrä		5,50	m <sup>3</sup> /s
Tuloilman massavirta		7,11	kg/s
Ilman ominaislämpökapasiteetti		1,01	kJ/kgK
Lämmitystarveluku jkl		4 832,00	Cvrk
Lämmitystarvepäivät vuodessa		240,00	vrk
Keskimääräinen lämpötilaerotus sisä-ulko		20,13	C
Keskimääräinen lämmityksen teho		144,18	kW
Viikon lämmitysenergian kulutus		24 222,32	kWh

## 6.8 Valaistus

Tilassa on 25 valaisinta jotka toimivat yhtäjaksoisesti. Valaistuksen mitattu yhteenlaskettu teho on 10 kW ja yhden lampun teho 400 W. Viikon energiankulutus saatiin kertomalla teho viikon tuntimäärällä (kts. taulukko 9).

Taulukko 9. Valaistuksen laskennallinen teho

Valaistuksen teho	10 kW
Viikon energiankulutus	1680 kWh

Valaistuksessa tuotannon työturvallisuus ja tehokkuus ovat ensisijalla, joten valaistusta ei voi heikentää niiden kustannuksella eikä valaistuksen optimointiin ole syytä käyttää resursseja.

## 6.9 Höyrykattila

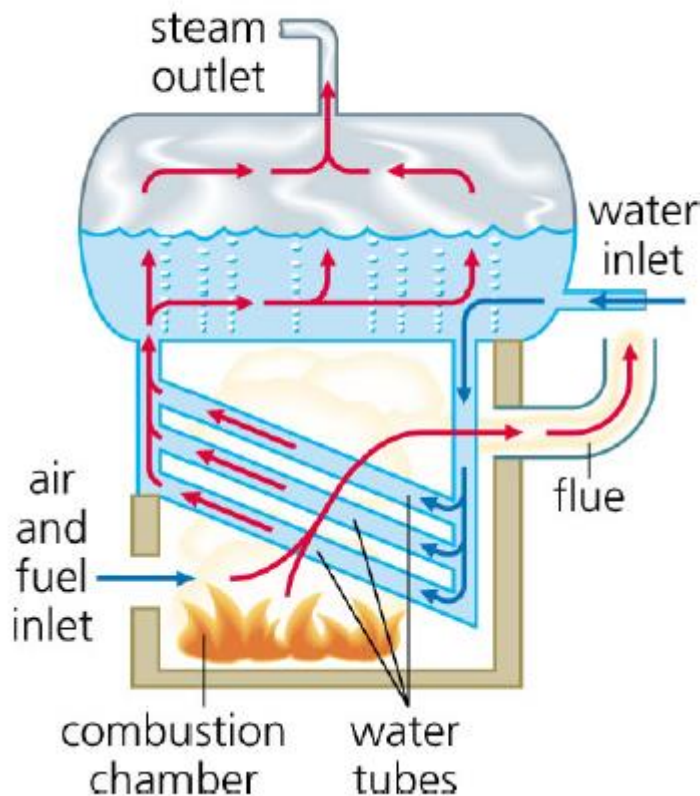
Höyrykattila on laite joka kiehuttaa vettä nesteestä höyryksi.

Vesi pumpataan nestemäisenä kattilan höyrystyspiiriin, jossa se höyrystyy polttoaineen palamisessa vapautuvan lämpöenergian siirtyessä vesi-höyrypiiriin.

Vesi vie huomattavasti suuremman tilan höyrynä kuin nesteenä. Tämä saa aikaan virtauksen kattilan vesi- höyry piirissä ja mahdollistaa höyryn siirtämisen putkistoja pitkin. Höyryn sisältämää energiaa voidaan hyödyntää mm. kuivaamiseen, lämmittämiseen, mekaaniseen työhön ja sähköenergian tuottoon (kts. kuvio 40).

Vaneritehtaalla höyryä käytetään viulun kuivaamiseen. Kuivauksesta lämpöä talteen otetaan veden lämmittämiseen puun kostuttamisvaiheessa. Lauhdetta, jota syntyy kostutuksen sivutuotteena, käytetään lämmitykseen mm. jalostusosastossa. Tuotantoprosessissa höyryn sisältämä energia hyödynnetään siis kolmesti eri käyttötarkoituksissa ennen kuin se palautetaan kattilalle.

Kattilan maksimiteho on 25 MW. Tuotannossa käytössä on noin 18 MW. Kattilan operointi on Adven Oy:llä. Polttoaineena käytettyä sivutuotetta on kattilan tarpeeseen nähden ylimäärin.



Kuvio 39. Höyrykattilan toimintaperiaate

## 6.10 Paineilma-järjestelmä

Laitoksessa paineilman tuottaa neljä paineilmalinjaan liitettyä kompressoria. Kolme kompressoria tuottavat binäärisesti paineilmaa ja yksi kompressori toimii taajuusmuuttajan ohjaamana säätävänä kompressorina. Koko järjestelmää ohjataan Kaseser:in Sigma air manager- hallintalaitteistolla. Hallintalaitteisto mittaa paineilmalinjojen paineen muutosta ja ohjaa jokaista kompressoria erikseen paineen tuottamiseksi. Järjestelmässä on kiinni varalla viides paineilmakompressori, joka korvaa poikkeustilanteissa yhden kompressorin paikan.

Taulukko 10. Vaneritehtaan paineilman kulutus

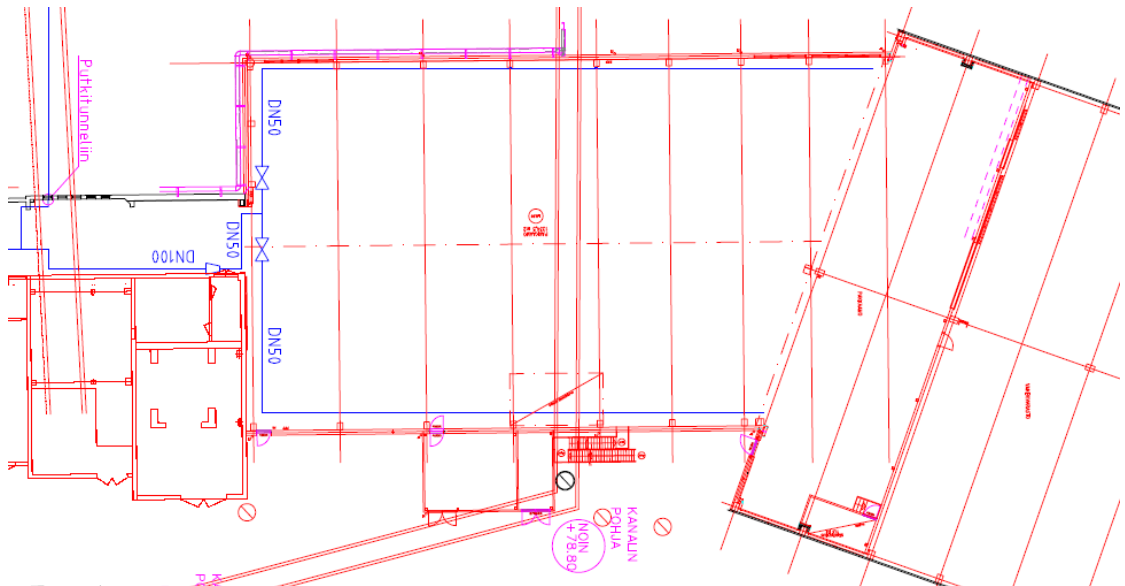
	Paineilman kulutus koko tehtaassa	
Käytetty energia tammikuussa	124 484,00	kWh
Tuotettu paineilma tammikuussa	1 262 898,00	m <sup>3</sup>
Keskimääräinen paine	5,91	bar
Keskimääräinen teho	167,31	kW
Paineilman keskituotto tunnissa	1 697,00	m <sup>3</sup>
Paineilman energiakustannukset viikossa	1 452,31	€/vk
Paineilman energiakustannukset vuodessa (47vk)	68 258,73	€/a

Tammikuun aikana paineilmajärjestelmä käytti yhteensä 124 484 kWh energiaa 1 262 898 m<sup>3</sup> paineilman tuottamiseen. Paineilman keskimääräinen paine oli tuona aikana 5,91 bar ja keskimääräinen teho 167,31 kW. Tunnissa tuotettiin keskimäärin noin 1697 M<sup>3</sup>. Paineilma maksoi yhteensä kuukauden ajalta 6200-7500€ riippuen sähkön hinnasta (50-60€/MWh). Vuositasolla paineilman energiakustannukset ovat 75 000-90 000 € (kts. taulukko 10).



Kuvio 40. Paineilman kuristus

Jalostusosastoon tuodaan paineilmaa sisähalkaisijaltaan 100mm eli DN100-putkella, joka kuristetaan DN50, eli 50mm putkeksi osastoon saapuessa (kts. kuvio 41). Linja jaetaan jakajalla kahdeksi. Kumpikin linja on suljettavissa omalla venttiilillään.



Kuvio 41. Osaston paineilmalinjat (sinisellä) layout-kuvassa

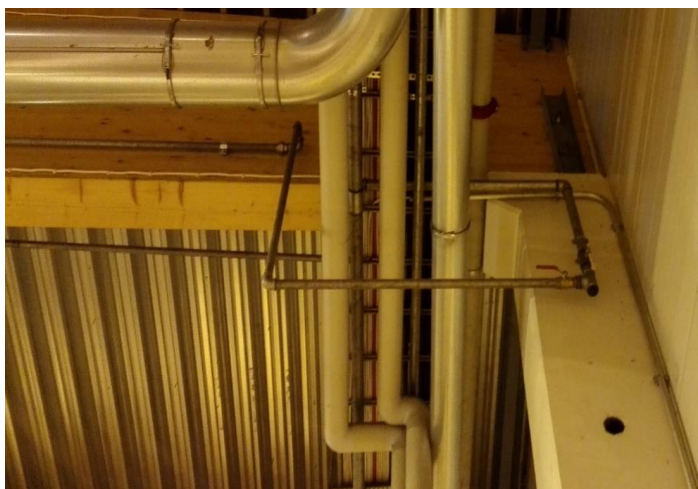
Jalostusosaston layout kuvassa eivät näy paineilman runkolinjan otot, joita on yksi pohjoispuolella (kuvassa) ja kaksi eteläpuolella. Pohjoispuolen paineilmaotto tulee

pakkauskoneelle rullakiskon korkeuden säätöön. Eteläpuolen otot menevät Schelling-sahojen automatiikkaohjaukselle, jossa niitä käytetään vanerilevyjen asettelemiseksi mäntäohjauksella (kuvio 42).



Kuvio 42. Paineilma-automatiikka pakkauskoneessa

Paineilman kulutusmäärien mittaamisen suunnittelussa huomattiin este: osaston paineilma-järjestelmässä ei ole yhtään valmiita mittauspistettä kuluttamisen mittaamiseksi. Mittauspisteiden valmistelussa päätettiin esisuunnitella mittauspisteet jokaiselle paineilman otolle, jotta saataisiin laitekohtaista tietoa paineilman kulutusmääristä ja tarkkaa tietoa paineilmaohjauksen kustannuksista (kts. kuviot 42 ja 43).



Kuvio 43. Paineilman otto Schelling-sahalle

## 7 Tulokset

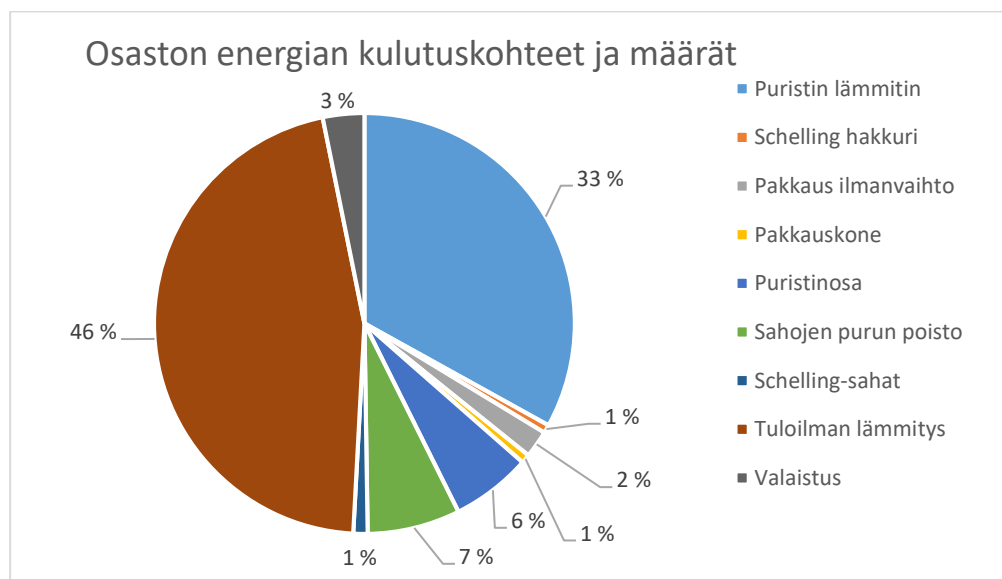
Kannattavuuslaskelmissa sähkön hintana käytettiin toimeksiantajan määräämää arvoa 50 €/MWh ja kannattavan investoinnin rajaksi määriteltiin 100 % sisäinen korkokanta eli tutkimuksen tulos toteutetaan, mikäli investointi maksaa itsensä takaisin yhden vuoden aikana.

### 7.1 Jalostusosaston energiankulutus

Taulukossa 11. on koottuna osaston tarkastelu-osiossa eriteltyjen kohteiden energiankulutukset. Ideaaliviikon kulutus koostettiin tuotannon poikkeusten vuoksi normaalitoiminnan energiankulutuksen keskiarvoista ja laitteiden valmiustilassa kuluttamasta energiasta.

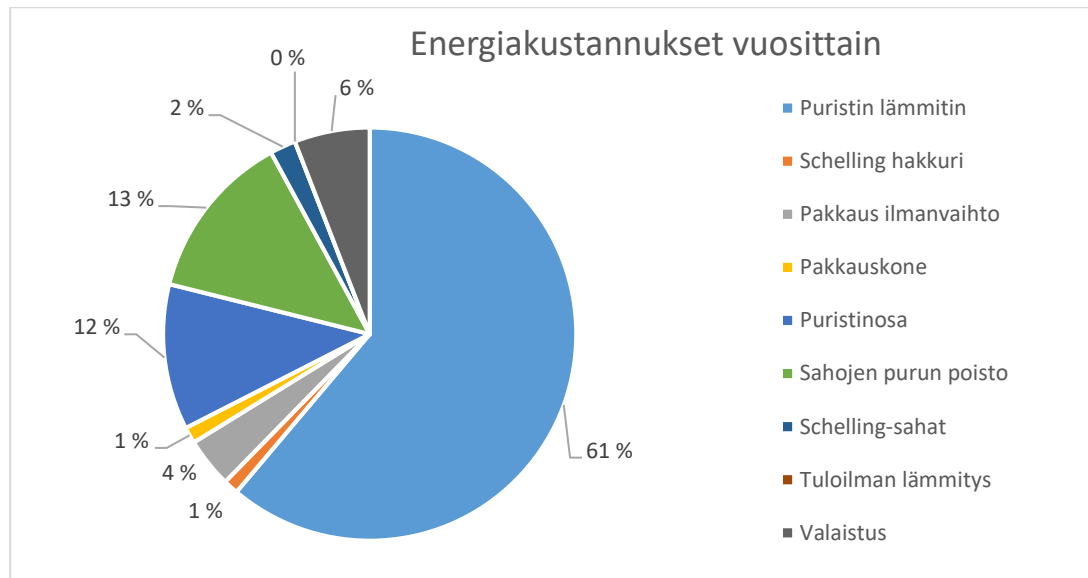
Taulukko 11. Jalostusosaston energiankulutus ideaaliviikolla

	Kulutus ideaaliviikolla; 5 työpäivää, 2 taukopäivää	
Puristin lämmitin	17 416	kWh
Schelling hakkuri	334	kWh
Pakkaus ilmanvaihto	1 107	kWh
Pakkauskone	363	kWh
Puristinosa	3 246	kWh
Sahojen purun poisto	3 755	kWh
Schelling-sahat	577	kWh
Tuloilman lämmitys	24 222	kWh
Valaistus	1 680	kWh
<b>yhteensä</b>	<b>52 700</b>	<b>kWh</b>



Kuvio 44. Jalostusosaston energiankulutuskohteet ja määrät

Kuviosta 44 nähdään, kuinka kulutuskohteet ovat toisiinsa verrattavissa. Vertailu edustaa sellaista päivää, jolloin tuloilman lämmitys on toiminnassa. Lämmityksen otettava teho on keskiarvoistettu 240 päivältä vuodessa, jolloin lämmitystä tarvitaan. Näin saadaan tarkempi kulutus suurimmalle osalle käyttöpäivistä. Tuloilman lämmityksestä vastaa sekundäärinen lämminvesi ja toisin kuin muilla osaston laitteilla, sillä ei ole suoraa energiakustannusta. Pakkaus ilmanvaihto-mittaus sisältää tuloilman lämmityksen säätöön liittyvät sähkön kulutukset. Kuvio 45. edustaa muodoltaan kuviota 44. ilman tuloilman lämmitystä.



Kuvio 45. Energian vuosikustannukset

Kuviosta 45 nähdään kuinka pikatahtipuristin kattaa huimat 73 % osaston energiakustannuksista. Pikatahtipuristimen lämmitin vie noin 80 % pikatahtipuristimen yhdistetystä kulutuksesta.

Tuloilman lämmityksen hinnaksi todettiin osiossa 6.3.3. sen sekundäärisen luonteen vuoksi nolla, joten sen kustannus ympyräkaaviossa on myös nolla.

Taulukko 12. Energian hintalaskelma



	Kulutus ideaalivuonna (47 vk)		Kustannus (50€/MWh)	
Puristin lämmitin	818,57	MWh	40 928,31	€
Schelling hakkuri	15,69	MWh	784,27	€
Pakkaus ilmanvaihto	52,02	MWh	2 601,23	€
Pakkauskone	17,06	MWh	853,01	€
Puristinosa	152,57	MWh	7 628,48	€
Sahojen purun poisto	176,48	MWh	8 824,09	€
Schelling-sahat	27,13	MWh	1 356,30	€
Tuloilman lämmitys	1 138,45	MWh	-	€
Valaistus	78,96	MWh	3 948,00	€
<b>Yhteensä</b>	<b>2 476,92</b>	<b>MWh</b>	<b>66 923,69</b>	<b>€</b>

Taulukossa 12 ovat listattuna ideaalivuoden kulutuslukemat kullekin mitatulle jalostusosaston laitteelle. Kulutukset perustuvat 47 viikkoiseen vuoteen, jossa viitenä viikkona osasto on suljettuna ja sähköt katkaistuna. Huomioon on otettuna myös jokaiseen työviikkoon sisältyvät 2 huoltopäivää, jolloin laitteita ei aktiivisesti käytetä. Tuloilman lämmityksen energiamäärät laskettiin laskennallisesta tarpeesta lämmittää ilmaa 240 päivänä vuodessa, jolloin keskimääräinen sisä ja ulkoilman lämpötilaerotus on 20-astetta. Lämmön hinta on arvioitu nollassi, koska energia on uusiokäytettyä, eikä sen vähentäminen vaikuta energian kulutukseen päätoimisissa tarkoituksissa.

## 7.2 Parannusehdotukset

### Tyhjäkäyntikulutusten minimoiminen

Osaston tarkastelussa havaittiin osan käytössä olevista laitteista käyttävän energiaa tuotannon ulkopuolella (kts. taulukko 13).

Taulukko 13. Osaston laitteiden tyhjäkäyntienergiankulutukset

	Kulutus laitteen ollessa pois päältä	
Puristin lämmitin	-	kW
Schelling hakkuri	-	kW
Pakkaus ilmanvaihto	1,74	kW
Pakkauslinja	1,49	kW
Puristinosa	7,99	kW
Sahojen purun poisto	-	kW
Schelling-sahat	0,75	kW
<b>Yhteensä</b>	<b>11,98</b>	<b>kW</b>
Kulutus vuodessa (2pv/vk, 47vk)	27 019,69	kWh
Hinta	1 350,98	€

Ilmanvaihtojärjestelmä vei tasaisesti energiaa myös käytön ulkopuolella. Syynä on Pikatahtipuristimen imurin sammuttaminen, jonka seurauksena ilmatase osastossa muuttuu. Tuloilmapuhallin kierrättää osastossa ilmaa myös imurin ollessa pois päältä.

Pakkauslinja kuluttaa lähes käytön energiamääränsä verran energiaa ollessaan valmiustilassa. Valmiustilan suurimmat energian kuluttajat ovat näyttö, keskusyksikkö, sekä toimintaa säätelevät anturit.

Pikatahtipuristimen kuluttamaa noin 8 kW tehoa ei pystytty osoittamaan suoraan puristimen komponenttilistauksesta liitteessä 2. Teho on jakautunut tasaisesti vaiheiden välille ja edustaa todennäköisesti katalogoinnin ulkopuolelle jäänyttä öljypumppua.

Schelling-sahojen kulutus oli pelkästään 2. vaiheelle kohdistuva ja viijaa yksivaiheisen järjestelmän käyttävän energiaa. Kulutus vastaa suoraan laiteluettelosta jätteenpoistokuljettimen ilmoitettua tehoa. Teho voi tulla myös kytkentäkaavioiden ulkopuolelle jätetystä näytöistä ja keskusyksiköistä.

Jatkotoimenpiteinä mitataan eritellen pakkauskoneen, puristimen ja Schelling sahojen virran otto ja määritetään empiirisellä tutkimuksella energian kulutuksen luonne ja mahdolliset ratkaisut.

### **Pikatahtipuristimen lämmittimen eristäminen**

Ideaalisissa olosuhteissa säästetään sähköä 28 tuhannen euron edestä vuosittain eli se on kustannuskatto, kun investoinnin on maksettava itsensä takaisin vuodessa. Proessin hyötysuhteen parantaminen vaikeutuu lähestyttäessä 100% hyötysuhdetta eksponentiaalisesti, joten halvemmat ratkaisut toimivat todennäköisemmin, mutta niistä hyöttyy kokonaisuudessaan vähemmän.

Taulukko 14 Pikatahtipuristimen lämmittimen hyötysuhdelaskelmat

	Pikatahtipuristimen lämmittimen kustannus	
Vuosittainen kulutus	818 566,24	kWh
Vuosittainen kustannus	40 928,31	€
Teho käytössä	145,14	kW
Teho valmiustilassa	99,37	kW
Hyötysuhde	0,32	
Hukkaan heitetyn energian osuus	0,68	
Hukkaan heitetyn energian kustannus	28 021,27	€/a
Ideaalinen kulutus	45,77	kW
Ideaalinen kustannus	12 907,04	€/a
1% hyötysuhteen parannuksen rahallinen arvo	409,28	€/%

Ratkaisuehdotus 1: Eristäminen.

Kaikki paljaat putkipinnat eristetään lämmöneristeellä, joka estää lämmön säteilyn ja johtumisen ympäristöön (kuvio 46).

Ratkaisun kustannukset syntyvät eristemateriaalista, suunnittelusta ja asennuksesta. Suunnittelu voidaan toteuttaa empiirisesti, jolloin tuloksiin päästään nopeasti ja pienin kustannuksin. Ratkaisulla on merkittäviä vaikutuksia, mutta tarkempi lämmöneristämisen arviointi on lopulta suoritettava jälkikäteen vertaavilla mittauksilla.



Kuvio 46. Esimerkki lämpöeriste alumiinisella säteilyä estävällä laminaatilla

Ratkaisuehdotus 2: koko lämmittimen kotelointi.

Eristämällä koko lämmitin omaan eristeillä vuorattuun tilaansa poistetaan kaikki lämpöhäviöt, joita syntyy eristeiden välistä. Ratkaisulla saadaan paremmat tulokset kokonaislämmöneristyksessä (kts. kuvio 47).

Ratkaisu 2. on materialistisesti kalliimpi ja se vaatii enemmän suunnittelua, sekä tilan tekemistä eristyskoteloinnille. Lämpöä kestävämmät kaapelit ja materiaalit, joita jää eristehuoneen sisälle tulee vaihtaa uusia olosuhteita kestäviksi ja kaikille käsikäyttöisille instrumenteille, kuten venttiileille on suunniteltava operointimahdollisuus.



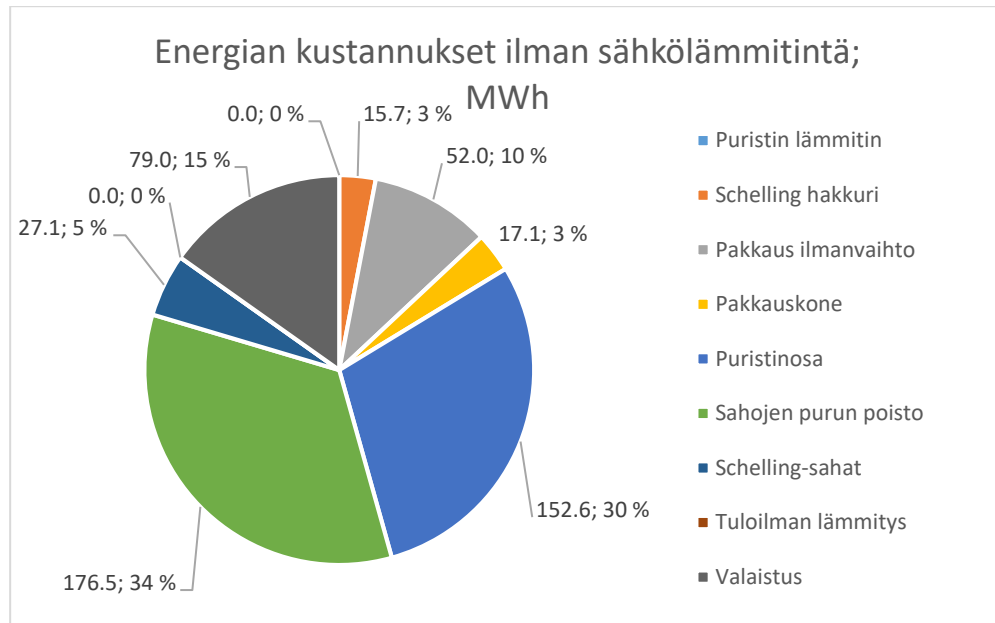
Kuvio 47. Esimerkki öljylämmittimen eristyskoteloinnista

### **Pikatahtipuristimen öljyn lämmitys höyryllä**

Kuten taulukosta 14 käy ilmi, maksaa puristimen öljyn lämmitys sähköllä vuosittain noin 40 928 €. Öljylämmityksen korvaaminen höyrylämmityksellä tiputtaa lämmön hintaa 50 €/MWh -> 30 €/MWh (Nurkka. K. 2016). Erotuksesta voidaan päätellä sijoituksen maksimiarvoksi  $30/50 * 40\,928 = 24\,556$  €. Investoinnin maksimiarvo on 24 556 €, kun investoinnin halutaan maksavan itsensä takaisin yhdessä vuodessa. Höyryn siirtämiseen tarvittavat linjat eivät kulje jalostusosastoon ja ne pitää laskea mukaan investointiin.

Kattilalla on todettu olevan riittävä höyryntuotantokapasiteetti ja sivutuotetta poltettavaksi kasvavalle kulutukselle (Jääskeläinen. J. 2016).

Kuviosta 48 nähdään höyryllä tuotetun öljylämmityksen vaikutus osaston sähkönkulutusrakenteeseen.



Kuvio 48. Sähkökustannukset ilman sähkölämmitystä

### Paineilman käytön mittaus

Kuten osiossa 7.10 todettiin, paineilman mittauksille ei ole toistaiseksi mahdollisuuksia. Paineilman käyttöä voi tarkkailla vain koko järjestelmän kulutuksen tasolla.

Mahdollisuus mittauksille on luotava tekemällä mittauspisteet paineilman tarpeen ollessa kullakin osaston puolella minimissään. Mittauspisteet on tehtävä jokaiselle paineilmaa käyttävälle laitteelle, jotta voidaan arvioida kustannuksia laitetasolla, sekä löytää mahdolliset vuodot.

### Lämmönvaihdin pikatahtipuristimen imuriin

Tuotannossa hukataan lämmintä ilmaa, jota voidaan käyttää esimerkiksi toisen alueen kuten varaston lämmittämiseen.

Jotta imurin ulos puhaltamasta ilmasta kannattaisi kerätä energiaa talteen, höyrylauhteesta on oltava pulaa. Muissa tapauksissa lämmönvaihtimen asentaminen ei ole kannattavaa.

Tehdas tuottaa lämmittämisen käytetyn energian sivutuotteena, joten säästäminen ei ole kannattavaa. Lämpöenergia menee hukkaan joka tapauksessa.

## 8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli eritellä ja tarkastella jalostusosaston energiankäyttöä ja löytää keinot sen vähentämiseksi ilman tuotantotehokkuuden menetystä.

Tarkoituksena oli tuottaa selkeä laskelmallinen tulosten esittely, josta lukija saa itse tehtyä tarpeen mukaan päätelmiä myös tulevaisuudessa olosuhteiden muuttuessa.

Opinnäytetyön tuloksena selkeytyi toimintafilosofia, jolla jatkossa energian käyttöä tarkastellaan.

Työstä muodostui kokonaisuus, jossa toteutus, tarkastelu ja tulokset oli eritelty loogisesti perätysten omalle alueelleen, jotta käsittely ja vertailu nopeasti olisi mahdollisimman helppoa. Taulukot ja kuvat jätettiin sellaiseen muotoon, että niistä johdetut laskelmat ja tulokset olisivat läpinäkyviä.

Työ on sekä toimintamallillisesti, että lopputulokseltaan merkittävä, sillä sen avulla tuotiin ilmi potentiaalisia rahallisia säästöjä. Selvitystyö on myös sovellettavissa muihin tehtaan osa-alueisiin ja UPM: n tehtaisiin, jotta vastaava energiankäytön selvitys olisi tulevaisuudessa helpompi toteuttaa ja tulokset olisivat helposti verrattavissa aiempiin.

Suunnittelussa käytettyjen tutkimushypoteesit eivät olleet paikkansapitäviä, mutta niillä oli varmistava vaikutus: kaikki opinnäytetyösuunnitelmassa asetetut lähtöoletukset käytiin tutkimuksen aikana läpi ja niiden validius todettiin kerätystä datasta. Hypoteeseilla oli välitavoittemaisia ohjaavia vaikutuksia.

Loogista jatkoa jalostusosaston energiankäytön selvitykselle olisi suorittaa vastaavia tutkimuksia muille tehtaan osa-alueille. Lisäksi tutkimuksessa todettujen parannusehdotusten toteuttamiselle on tehtävä suunnitelmia.

Työllä ei ole mitään arvoa, jos työssä käytetyt tutkimusmenetelmät ja lähteet eivät ole tieteellistä tutkimusta vastaavalla tasolla. Tutkimuksessa kiinnitettiin alusta lähtien huomiota käytettyjen lähteiden validiteettiin. Kanasen mukaan tärkeimpiä ominaisuuksia lähteille ovat: arvioitavuus, vahvistettavuus, ristiriidattomuus, luotettavuus ja saturaatio (Kananen. 2015a, 111-113.).

Lähteinä toimivat Tutkimusasetelma-osiossa mainitulla tavalla sekundäärisenä ja primäärisenä erilainen materiaali eri kriteerein. Primääriset lähteet olivat mahdollisimman ”juurilta” kerättyjä ja paljon tieteellisessä tutkimuksessa viitattuja tunnettujen tutkijoiden julkaisuja ja sekundääriset lähteet olivat, joko suoraan UPM:n internet-tiedoista, tai alan julkaisuista. Sekundäärlähteiden oikeellisuudella ei ole tutkimuksen tulosten luotettavuuden kannalta suurta merkitystä ja ne toimivat aiheeseen johdattelevan aineiston lähteinä.

Toteuttamalla parannusehdotuksia UPM etenee solmimassaan sopimuksessa kokonaisenergiankäytön vähentämiseksi 7,5 % vuoteen 2025 mennessä.

## 8.1 Havaintoja jalostusosaston toiminnasta

- Lämpöenergian tuottaminen osastossa on halvinta käytössä olevalla lämpövoimalaitoksella.
- Kaikki sähkön käyttö muuhun kuin prosessissa ”korvaamattomiin” toimiin kannattaa minimoida.
- Jalostusosastossa Pikatahtipuristimen pitämistä valmiustilassa tuotannon aikana on vältettävä mahdollisimman paljon, vaikka muiden osaston laitteiden valmiustilojen kustannuksella.
- Sähköenergian käytön minimointi ei saa mennä työtehokkuuden tai turvallisuuden edelle. Tämä koskee erityisesti valaistusta, saha- ja puristinimureita.
- Mikäli pikatahtipuristimen lämmitin korvataan höyrykäyttöisellä lämmittimellä, tuorehöyrylinjan teho ja lämpöero riittävät tuottamaan riittävästi energiaa ja kattila

kykenee tuottamaan tarvittavan määrän höyryä. lisäinvestoinnit lämmittimen eristämiseen eivät välttämättä höyrylämmityksellä ole tarpeellisia.



## Lähteet

Current status and future trends of infrared detectors. Razegi. M. 1998. Northwestern university, Evanston. Viitattu 1.3.2017. [http://www.wat.edu.pl/review/optor/1998/3/6\(3\)155.pdf](http://www.wat.edu.pl/review/optor/1998/3/6(3)155.pdf)

Eristeiden rakenne. N.d. Isover Oy. Viitattu 1.3.2017. <http://www.isover.fi/>

Eskola. & Suoranta. 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere: Vastapaino.

Energianlaadun mittari. Fluke corporation. Viitattu 1.3.2017. <http://www.fluke.com/fluke/fifi/sahkonlaatutyokalut/kolmivaiheinen/fluke-435-series-ii.htm?pid=73939>

Evans. J. 1990. Bias in Human Reasoning: Causes and Consequences.

Energiavaltaisen teollisuuden toimenpideohjelma. n.d. Motiva. Viitattu 1.3.2017 [http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/sopimusalat/teollisuus/energiavaltainen teollisuus/sopimukseen liittyneet yritykset/](http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/sopimusalat/teollisuus/energiavaltainen%20teollisuus/sopimukseen%20liittyneet%20yritykset/)

Fourier, J. 1822. Analytical theory of heat. Encyclopedia Britannica. Viitattu 29.2.2017. <http://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/fourier1878.pdf>

Fermi, E. 1936. Thermodynamics. Dover Publications. Viitattu 1.3.2017. <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpT0000001/thermodynamics/thermodynamic>

Jääskeläinen. J. 2016. Turvallisuuspäällikkö. UPM Plywood Oy, Jyväskylän vaneritehdas.

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. ISBN 978-951-830-387-2

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisu opinnäytetyön kirjoittajalle. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. N.d. Ilmatieteenlaitos. Viitattu 1.3.2017. [http://ilmatieteenlaitos.fi/haku->astepäiväluku](http://ilmatieteenlaitos.fi/haku->astepaiväluku)

Miten koivuvaneria valmistetaan. N.d. 2016. MetsäWood Oy. Viitattu 1.3.2017. <http://www.metsawood.com/fi/media/videot/Pages/Koivuvanerin-valmistus-video.aspx>

Nurkka. K. 2016. Kunnossapitoinsinööri. UPM Plywood Oy, Jyväskylän vaneritehdas.

Roottorikuorinta. N.d. Valon kone Viitattu 1.3.2017. <http://www.valonkone.com/roottorikuorinta/>

UPM Jyväskylän tehdasperehdytys.pdf N.d. 2014. UPM Plywood Oy.

Vanerikäsikirja 2016. N.d. Metsäteollisuus Ry. Viitattu 1.3.2017.  
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Vanerik%C3%A4sikirja.pdf>

Wisa vanerin tuotantoprosessi. N.d. 2012. UPM Biofore Company. viitattu 1.3.2017  
<https://www.youtube.com/watch?v=KU8g9-unFPY>

## Liitteet

### Liite 1. Osaston laitteiden komponentit.

	Lyhenne	nimi	Tamu?	Teho, kw
Määrämittasaha 1	1	syöttörullarata 1		0.75
	2	syöttörullarata 2		0.75
	3	syöttörullarata kääntö	x	0.55
	4	syöttönostolava rullasto		1.1
	5	syöttönostolava hydrauliiikka		7.5
	6	syöttönostin alipainepumppu		2.2
	7	syöttönostin siirto	x	4.4
	8	syöttöalue lyhyen sivun tasain		0.37
	9	tasain 1		0.37
	10	tasain 2		0.37
	11	tasain 3		0.37
	12	Työntövaunu	x	4
	13	Työntövaunun siirtom. Jäähdytys puhallin		0.09
	14	Piirtoterä		2.2
	15	Saha		24
	16	Sahavaunu	x	1.1
	17	Sahan nosto/ lasku		0.37
	18	kääntöpöytä kääntö	x	0.37
	19	kääntöpöytä työnnin	x	1.1
	20	purkauslava hydrauliiikka		2.2
	21	vara		2.2
	22	vara		2.2

Määrämittasaha 2	m317	syöttörullarata 1	x	0.55
	M319	syöttörullarata 2	x	0.55
	M340	syöttöhissin rullarata	x	0.55
	M419	syöttöhissin hydrauliiikka		5.5
	M55	alipainepumppu		2.2
	M558	imukuppi nostinvaunu	x	5.5
	M558-2	puhallin		0.06
	M634	poikittaisruuvi		0.37
	M836	pinkansiirtovaunu	x	1.5
	M943	saha ylös/alas		0.37
	M989	sahan siirto	x	1.5
	M989-2	puhallin		0.06
	M104	katkaisusaha		24
	M1016	piirtosaha		1.5
	M1717	jätteenpoistokuljetin		0.75
	M1119	kääntöpöytä	x	0.4
	M1228	kääntöpöydän työnnin	x	0.9
	M1319	pinontataso	x	1.1
	M1341	kaavin yksikkö	x	0.55
	M1437	nostopöydän hydrauliiikka		5.5
	M1520	nostopöydän rullarata	x	0.55
	M1620	ketjukuljetin	x	1.5
	M1639	ulosajo rullarata 1	x	0.55
	M1641	ulosajo rullarata 2	x	0.55
	M1643	ulosajo rullarata 3	x	0.55

Paakkaamo	TF 1.1	tuloilmapuhallin	x	11
	FZ 11	peltimoottori		0
	PU 1.1	pumppu		0.37
	PU 1.2	pumppu		0.75
	PU 1.3	kiertovesipumppu	x	1.6
		lämpöpuhallin iv konehuone		
	FZ 1.2	peltimoottori		0
	PF 1.1	savunpoistopuhallin		0
	PF 1.2	savunpoistopuhallin		0
		kalvon syöttö		0.75
		kelkka nosto		0.75
		sauman tarran nosto		1.1
		kampi		2.2
		takavaste säätö		0.25
		työntäjä		0.37
		sivuliike		3
		nostoliike		3
		ring motor (1)		1.5
		ring motor (2)		1.5
		kuljetin		1.1
		kuljetin säätö		0.25
		vaihtaja sivuliike		0.25
		vaihtajan kääntö		0.25
		kalvon syöttö		0.75
		kuljetin ?		
	kik 1	lämmityspuhallin vesi-ilma		20
	kik 2	lämmityspuhallin vesi-ilma		20
	kik 3	lämmityspuhallin vesi-ilma		20
	kik 4	lämmityspuhallin vesi-ilma		20
	kik 5	lämmityspuhallin vesi-ilma		20
pikatahtipuristin		termo elementti		275
	820	välivarasto rulla kulj.		0.75
	824	keskitys kuljetin		0.75
	825	puhallin		2.2
	826	siirtolaite		0.75
	827	nostolaite		1.1
	836	pinnoitteen levitys		2.2
	837	jäähdytys puhallin		
	838	filmileikkuri		0.55
	842	syöttökuljetin		1.1
	843	puristin kuljetin		4.95
	844	jäähdytyspuhallin		
	860	puristin hydrauliiikka		30
	860k1	hydr.öljy jäähdytin		0.04
	830	huuvan poisto imuri		11
	848	pinkan syöttö kuljetin		0.75
	854	pussi imuri		1.5
		yht. max	579.05	kw

## Liite 2. Fluke TI-20 lämpökameran tiedot.

<b>Termiset tiedot</b>	<b>Lämpötila-alue:</b> -10...350 °C <b>Ilmaisintyyppi:</b> 128 x 96 lämpöelementin ilmaisinmatriisi (FPA), jäähdyttämätön mikrobolometri <b>Tarkkuus:</b> ±2 % tai ±2 °C, kumpi on suurempi <b>Tarkkuus (-10...0 °C):</b> +/-3 °C <b>Toistettavuus:</b> ±1 % tai ±1 °C, kumpi on suurempi <b>NETD (lämpöherkkyys):</b> 200 mK <b>Lämpötilan erottelukyky:</b> 0,1 °C
<b>Optiikka/Infrapuna</b>	<b>Spektrialue:</b> 7,5...14 mikronia <b>Kohdistus:</b> yksipisteinen laser (IEC Class 2 ja FDA Class II) <b>Optinen erottelukyky:</b> 75:1 <b>Minimihalkaisija:</b> 8,1 mm 61 cm:ssä <b>Kuvanopeus:</b> 9 Hz <b>Näkökenttä (FOV):</b> 20° vaaka, 15° pysty <b>Hetkellinen näkökenttä (IFOV):</b> 2,8 mrad
<b>Säädöt</b>	<b>Tarkennus:</b> 15 cm <b>Lämpötila-asteikko:</b> valittavissa °C <b>Väripaletit:</b> Harmaa, käänteinen harmaa-sininen-punainen, rautasävy, sateenkaari, kuuma metalli, suuri kontrasti, sininen-punainen, punainen, ruskea <b>Mittaustilat:</b> automaattinen tai manuaalinen <b>Laser käytössä/pois:</b> kuuluu toimitukseen <b>Vahvistuksen ohjaus:</b> kuuluu toimitukseen <b>Tason säätö:</b> kuuluu toimitukseen <b>LCD-taustavalo:</b> kirkas tai himmeä
<b>Käyttö</b>	<b>Säädettävä emissiokerroin:</b> 0,10...1,00 (jakoväli 0,01) <b>Nestekidenäyttö:</b> TFT-tekniikka - optimoitu sekä sisä- että ulkokäyttöön, 70,5 mm x 53,5 mm <b>Heijastettu taustalämpötila:</b> -50...460 °C <b>Käyttöympäristön lämpötila:</b> -10...50 °C <b>Suhteellinen kosteus:</b> 10...90 %, ei kondensoiva <b>Säilytyslämpötila:</b> -25...70 °C [ilman akkuja] <b>Muisti:</b> 100 kuvaa <b>Laser käytössä -kuvake:</b> kuuluu toimitukseen <b>Lataus vähissä -kuvake:</b> kuuluu toimitukseen <b>Mittaustilan kuvake:</b> kuuluu toimitukseen <b>Lämpötilan analysointiohjelmisto:</b> InsidelR (kuuluu toimitukseen) <b>PC-käyttöjärjestelmät:</b> Microsoft® Windows 2000® tai Windows XP®
<b>Sähkö</b>	<b>Virtalähde:</b> akkupaketti (kuuluu toimitukseen) <b>Paristojen käyttöikä:</b> Vähintään kolmen tunnin yhtäjaksoinen käyttö <b>Tiedonsiirto:</b> USB-liitäntä, 50 kuvan kokonaissiirtoaika 25 s <b>Tallennuslaite:</b> Flash-muisti

## Liite 3. Fluke 435 energia-analysaattorin tiedot

Product specifications				
	Model	Measurement range	Resolution	Accuracy
<b>Volt</b>				
Vrms (ac+dc)	435-II	1 V to 1000 V phase to neutral	0.01 V	± 0.1% of nominal voltage****
Vpk		1 Vpk to 1400 Vpk	1 V	5% of nominal voltage
Voltage Crest Factor (CF)		1.0 > 2.8	0.01	± 5 %
Vrms½	435-II		0.1 V	± 0.2% of nominal voltage
Vfund	435-II		0.1 V	± 0.1% of nominal voltage
<b>Amps (accuracy excluding clamp accuracy)</b>				
Amps (ac+dc)	i430-Flex 1x	5 A to 6000 A	1 A	± 0.5% ± 5 counts
	i430-Flex 10x	0.5 A to 600 A	0.1 A	± 0.5% ± 5 counts
	1 mV/A 1x	5 A to 2000 A	1A	± 0.5% ± 5 counts
	1 mV/A 10x	0.5 A A to 200 A (ac only)	0.1 A	± 0.5% ± 5 counts
Apk	i430-Flex	8400 Apk	1 Arms	± 5 %
	1 mV/A	5500 Apk	1 Arms	± 5 %
A Crest Factor (CF)		1 to 10	0.01	± 5 %
Amps½	i430-Flex 1x	5 A to 6000 A	1 A	± 1% ± 10 counts
	i430-Flex 10x	0.5 A to 600 A	0.1 A	± 1% ± 10 counts
	1 mV/A 1x	5 A to 2000 A	1A	± 1% ± 10 counts
	1 mV/A 10x	0.5 A A to 200 A (ac only)	0.1 A	± 1% ± 10 counts
Afund	i430-Flex 1x	5 A to 6000 A	1 A	± 0.5% ± 5 counts
	i430-Flex 10x	0.5 A to 600 A	0.1 A	± 0.5% ± 5 counts
	1 mV/A 1x	5 A to 2000 A	1A	± 0.5% ± 5 counts
	1 mV/A 10x	0.5 A A to 200 A (ac only)	0.1 A	± 0.5% ± 5 counts
<b>Hz</b>				
Hz	Fluke 435 @ 50 Hz nominal	42.500 Hz to 57.500 Hz	0.001 Hz	± 0.01 Hz
	Fluke 435 @ 60 Hz nominal	51.000 Hz to 69.000 Hz	0.001 Hz	± 0.01 Hz
<b>Power</b>				
Watts (VA, var)	i430-Flex	max 6000 MW	0.1 W to 1 MW	± 1% ± 10 counts
	1 mV/A	max 2000 MW	0.1 W to 1 MW	± 1% ± 10 counts
Power factor (Cos j/DPPF)		0 to 1	0.001	± 0.1% @ nominal load conditions
<b>Energy</b>				
kWh (kVAh, kvarh)	i430-Flex 10x	Depends on clamp scaling and V nominal		± 1% ± 10 counts
Energy loss	i430-Flex 10x	Depends on clamp scaling and V nominal		± 1% ± 10 counts Excluding line resistance accuracy