

Aino Tiitinen

# VIILUTEHTAAN LÄMPÖTASEEN SELVITTÄMINEN

Opinnäytetyö

Insinööri

Energiatekniikka

2023



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Aino Tiitinen
Työn nimi	Viilutehtaan lämpötaseen selvittäminen
Toimeksiantaja	UPM
Vuosi	2023
Sivut	37 sivua, liitteitä 2 sivua
Työn ohjaaja(t)	Hannu Sarvelainen

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää toimeksiantajayrityksen UPM Kalson viilutehtaan lämpötase, eli kuinka paljon lämpölaitoksella tuotetaan lämpöä, kuinka paljon sitä kuluu eri prosessin osa-alueisiin ja kuinka paljon tuotetusta lämmöstä saadaan talteen. Työ toteutettiin nykytilanteen selvitystä varten ja mahdollisesti jatkossa kokonaistaseen kehitystyön avuksi.

Tavoite oli saada selville tehtaan lämpötase niin, että huomioon on otettu lämpölaitoksella ja tehtaalla olevat komponentit, jotka vaikuttavat lämpötaseeseen. Työn pääasiallisena tarkoituksena oli kartoittaa lämpötaseen tilanne kahtena päivänvastaisena vuodenaikana, jotta olosuhteet olisivat mahdollisimman eroavat ja tuloksiin saadaan hajontaa. Työssä ei ollut tarkoitus esittää ratkaisuja lämpötaseen parantamiseksi, vaan esittää kehitysehdotuksia selvien tulosten pohjalta.

Lämpötaseen selvitystä varten käytettiin erilaisia tietokantakyselyjä sekä olemassa olevia PI-kaavioita. Lisäksi käytäntöön tutustuttiin kiertämällä lämpölaitoksella ja otettiin valokuvia työn selkeyttämistä varten.

Ongelmana lämpötaseen selvityksessä oli se, ettei kaikkia tarvittavia tietoja saanut tarkasti selville. Osa tiedoista jouduttiin arvioimaan muiden tietojen perusteella. Olemassa olevien sekä arvioitujen tietojen pohjalta tehdyt selvitykset kuitenkin antoivat jonkinlaisen käsityksen koko tehtaan lämpötaseesta.

Lämpötaseen selvitys onnistui niiltä osin, kuin annettujen tietojen pohjalta oli mahdollista. Tietyissä osioissa lämpötase saatiin selville, mutta kokonaisuutta voidaan jatkossa tarkentaa vielä, jos kaikkiin linjoihin saadaan mittarit tarpeellisten tietojen keräämiseksi.

**Asiasanat:** energiankulutus, lämpötase, viilutehdas

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Aino Tiitinen
Thesis title	Investigating the heat balance of veneer mill
Commissioned by	UPM
Time	2023
Pages	37 pages, 2 pages of appendices
Supervisor	Hannu Sarvelainen Xamk

## ABSTRACT

The purpose of the thesis was to investigate the heat balance of the UPM Kalso plywood mill, that is, how much heat is produced in the heating plant, how much is consumed in different process areas, and how much of the generated heat is recovered. The study was conducted for the current situation and potentially for the development of the overall balance in the future.

The goal was to determine the heat balance of the factory, taking into account the components in the heating plant and mill that affect the heat balance. The main purpose of the work was to analyse the heat balance situation during two opposing seasons to capture the most significant differences in conditions and introduce variability into the results. The intention was not to give solutions for improving the heat balance but to propose development suggestions based on the results.

Various database queries and existing PI diagrams were used for the heat balance investigation. Additionally, practical knowledge was gained by touring the heating plant and taking photos for clarity in the thesis.

A challenge in the heat balance investigation was the inability to obtain all the necessary information accurately. Some data had to be estimated based on other information. However, the investigation based on existing and estimated data provided some understanding of the overall heat balance of the entire mill.

The heat balance investigation succeeded to the extent that was possible based on the given information. In certain sections, the heat balance was determined, but the overall picture can be further refined in the future if measured values are obtained from all lines for the collection of necessary data.

**Keywords:** energy consumption, heat balance, veneer mill

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	UPM.....	6
2.1	Liiketoiminta-alueet.....	6
2.2	Kalson viilutehdas.....	8
3	LÄMMÖN TEORIAA .....	9
3.1	Termodynamiikka .....	9
3.2	Lämpötase ja energiavirrat .....	10
3.3	Polttoaineiden kemialliset ominaisuudet .....	12
3.4	Teho .....	13
3.5	Ilman ominaisuudet.....	14
3.6	Vesi ja höyry .....	15
3.7	Savukaasut.....	16
4	VOIMALAITOS .....	16
4.1	Kalson lämpölaitos.....	17
4.2	Kalson käyttämät polttoaineet.....	23
5	KALSON NYKYTILANNE .....	24
5.1	Tehtaaseen tulevat virrat .....	25
5.2	Tehtaasta poistuvat virrat .....	25
5.3	Lämpötaseen selvitys .....	26
6	KEHITYSIDEAT .....	29
7	YHTEENVETO .....	30
	LÄHTEET.....	32
	KUVALUETTELO .....	35
	LIITTEET	
	Liite 1. lämpötase helmikuussa	
	Liite 2. lämpötase elokuussa	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on UPM Kalson viilutehdas ja tarkoituksena on selvittää viilutehtaan lämpötase. Tavoiteltuna lopputuloksena on kirjallinen dokumentti lämpötaseesta tarkasteltavalla ajanhetkellä.

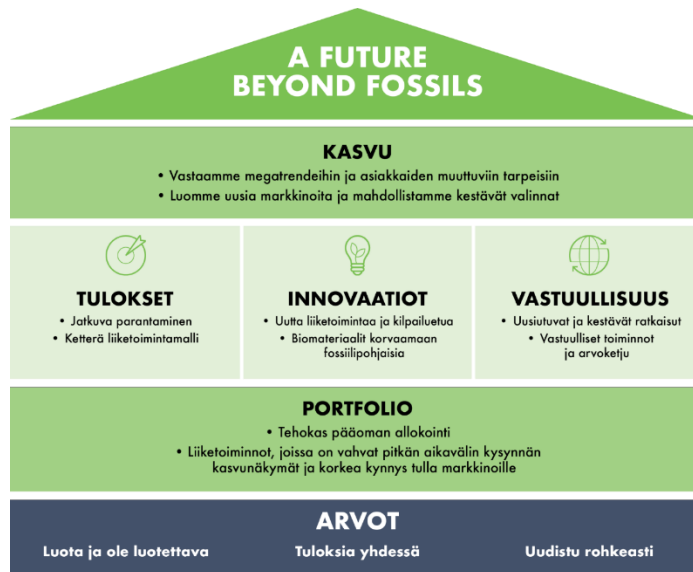
Tehtaalla on suoritettu mittauksia aiheeseen liittyen eri vuodenaikoina, joiden pohjalta selvitystä on tehty. Lisäksi kerääntyvää dataa on käytetty hyväksi, sekä haastateltu tehtaalla työskenteleviä henkilöitä. Opinnäytetyön tekemisessä on hyödynnetty AutoCad-ohjelmistoa sekä Excel-laskentaa.

Työssä tarkasteltavana ajanjaksona toimii vuosi 2021, sillä se on ollut tuotannollisesti normaali vuosi. Tarkasteltaviksi kuukausiksi valikoituivat helmi- ja elokuu, koska keliolosuhteet ovat täysin erilaiset niinä kuukausina ja oletuksena myös lämpötase voi olla erilainen.

Opinnäytetyö selventää toimeksiantajalle lämpötaseen tilanteen, ja selvityksen pohjalta tasetta voidaan jatkossa parantaa.

## 2 UPM

UPM-Kymmene Oyj on suomalainen metsäteollisuusyhtiö, ja sen liikevaihto vuonna 2022 oli 11 720 miljoonaa euroa (UPM tilinpäätöstiedote 2022). Kokonaisuudessaan yhtiössä työskentelee noin 17 000 henkilöä ja tuotantoa on 11 eri maassa. UPM valmistaa erilaisia kierrätettäviä tuotteita, joiden valmistuksessa käytetään uusiutuvia raaka-aineita. (Tämä on UPM s.a.)



Kuva 1. UPM:n Biofore-strategia (Toiminta-ajatus ja strategia s.a.)

UPM on noudattanut kuvassa 1 esitettyä Biofore-strategiaa jo yli 10 vuotta, ja sillä pyritään varmistamaan yhtiön vastuullinen toiminta. Yhtiön tavoitteena on kestävä kasvu, ja siihen pyritään uusilla innovaatioilla, vastuullisuudella ja erinomaisilla tuloksilla. UPM keskittää kasvua kolmeen osa-alueeseen, jotka ovat korkean arvon kuitutuotteet, molekulaariset biotuotteet ja erikoispakkausmateriaalit. (Toiminta-ajatus ja strategia s.a.)

### 2.1 Liiketoiminta-alueet

UPM:n toiminta on jaettu kuuteen eri liiketoiminta-alueeseen, joita ovat UPM Communication Papers, UPM Energy, UPM Fibres, UPM Plywood, UPM Raf-latac ja UPM Specialty Papers. (Liiketoiminnot s.a.)

**Communication Papers** valmistaa graafista paperia sekä koti- että toimistokäyttöön. Paperia voidaan käyttää mainonnassa ja erilaisissa julkaisuissa.

Communication Papers työllistää noin 8000 henkilöä, ja sen pääkonttori sijaitsee Saksassa. Liiketoiminta-alueeseen kuuluu 13 tehdasta. (UPM Communication Papers s.a.)

**Energyn** liiketoimintaan kuuluu hiilidioksidivapaan sähkön tuottaminen Pohjoismaisille markkinoille. Tuotantokapasiteetti on 1500 MW, mikä tarkoittaa sitä, että UPM on Suomen toiseksi suurin sähkön tuottaja. Työntekijöitä liiketoiminta-alueella on 79. (UPM Energy s.a.)

**Fibres**-liiketoiminta-alueeseen kuuluvat sahat ja sellutehtaat, joiden tuotteita ovat havu- ja lehtipuusellu sekä sahatavara niin havu- kuin lehtipuistakin. Liiketoiminta-alueeseen kuuluu yhteensä 9 tuotantolaitosta, joista kahdeksan sijaitsee Suomessa. (UPM Fibres s.a.)

**Plywoodin** tuotteita ovat vaneri ja viilu, joita käytetään monipuolisesti rakennusteollisuudessa, esimerkiksi LNG-laivojen rakentamisessa ja parkettiteollisuudessa. Viilun ja vanerin raaka-aineina toimii koivu- ja kuusipuut. Tehtaita on yhteensä seitsemän, ja ne sijaitsevat Euroopassa. Työntekijöitä liiketoiminta-alueella on noin 2000, ja myyntikonttoreita on yhteensä yhdeksässä maassa. (UPM Plywood s.a.)



Kuva 2. Plywoodin tuote, kuusiviilu WISA Parquet Veneer (Wisa Plywood Products s.a)

**Raflatac** valmistaa tarralaminaattia, jonka loppukäyttökohteena on erilaiset tuote-etiketöinnit. Tarralaminaattia valmistetaan sekä paperi- että filmilaminaattina. Toimintaa on yhteensä 38 eri maassa ja henkilöstöä 3300. (UPM Raflatac s.a.)

**Specialty Papersin** tuotteisiin kuuluvat erilaiset tarramateriaalit, toimistokäyttöön soveltuvat paperit ja erilaiset etiketöinti-, pakkaus-, kääre- ja painatusmateriaalit. Työntekijöitä on 1950 ja päämarkkina-alueena on Aasia sekä Tyynenmeren alueet. (UPM Specialty Papers s.a.)

## 2.2 Kalson viilutehdas

Kalson viilutehdas sijaitsee Kouvolan Vuohijärvellä ja kuuluu UPM Plywoodin liiketoiminta-alueeseen. Tehdas on perustettu vuonna 1934, ja viilun valmistus on jatkunut aina vuodesta 1979 asti. Tehdas tuottaa sorvattua kuusiviilua, jota käytetään parketin taustassa. Valmistuksessa ei käytetä kemikaaleja, joten se on täysin puhdas puutuote. Tuotteella on PEFC- sekä FSC-sertifikaatit, joilla varmistetaan oikeanlainen metsänhoito sekä biodiversiteetin säilyttäminen. Lisäksi jokaisen kaadetun ja käytetyn puun tilalle istutetaan neljä uutta puuta. (Tervetuloa UPM Kalson viilutehtaalle s.a.)



Kuva 3. Kalson viilutehdas, Vuohijärvi (Taimela 2019)

Tehtaan vuotuinen tuotantokapasiteetti on 80 000 m<sup>3</sup> valmista viilua. Henkilöstön määrä on noin 110. Raaka-aineen vuosikulutus on noin 200 000 m<sup>3</sup> kuusitukkia, ja puu tulee pääasiassa tehtaan lähialueilta, 150 km säteellä tehtaasta. Sorvauksessa syntyvät sivutuotteet hyödynnetään kokonaan, osa myydään selluteollisuuteen raaka-aineeksi, osa hyödynnetään omassa biovoimalassa ja



osa käytetään erilaisten pakkausmateriaalien valmistamiseen. Täten tuotannosta ei synny lainkaan kaatopaikkajätettä. (Tervetuloa UPM Kalson viilutehtaalle s.a.)

### 3 LÄMMÖN TEORIAA

Tässä luvussa käsitellään lämpötaseeseen vaikuttavia asioita. Termodynamiikan perusteet, erilaiset virtaukset, polttoaineet ja tehot ovat suuressa roolissa lämpötasetta selvittäessä, joten tässä luvussa käydään niiden teoriaa läpi.

#### 3.1 Termodynamiikka

Termodynamiikka on fysiikan ala, jolla tutkitaan energian muuttumista sekä lämmön ja työn välistä yhteyttä. Tarkasteltavana voi olla esimerkiksi energian muuttuminen muodosta toiseen tai mekaanisesti tehtyä työtä vastaava lämpömäärä energiamuotona. Lämpö, lämpötila, energia ja työ ovat termodynamiikassa pääosissa. Yksittäiset atomit ja molekyylit eivät kuulu perinteisessä termodynamiikassa tarkasteltaviin asioihin, vaan niihin paneudutaan ainoastaan statistisessa termodynamiikassa. (Thermodynamics 1999.)

Yleisesti termodynamiikassa puhutaan aina systeemistä. Systeemillä tarkoitetaan tiettyä osaa, joka on erottunut ympäristöstään todellisella tai kuvitellulla rajalla. Systeemejä voi olla kolmea erityyppiä riippuen siitä, miten sen ja ympäristön välillä kulkee energiaa tai ainetta. Avoimessa systeemissä sekä aine että energia voivat kulkea systeemin ja ympäristön välillä. Suljetussa systeemissä ainoastaan energia voi kulkea ympäristön ja systeemin välillä. Eristetyn systeemin ja ympäristön välillä ei voi kulkea ainetta eikä energiaa. (Thermodynamic states 1999.)

Systeemin tila määräytyy termodynaamisten muuttujien tilasta. Tällaisia tilamuuttujia ovat tilavuus, ainemäärä, lämpötila ja paine. Systeemissä ei voi ikinä olla vain yhtä tilamuuttujaa, jonka arvo muuttuu, vaan yhden tilamuuttujan arvon muutos aiheuttaa aina myös toisen tilamuuttujan arvon muutoksen. Tila muuttuu ainoastaan silloin, kun systeemissä tapahtuu jokin termodynaaminen prosessi. Termodynamiikassa tapahtuva prosessi on lämmön tai työn vaihtamista ympäristön kanssa. (Thermodynamic states 1999.)

Lämpö pyrkii virtaamaan aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan. Jos tarkasteltavien kohteiden lämpötila on sama, ei lämpöä virtaa mihinkään suuntaan. Silloin kyseessä on systeemin lämpötasapaino. Jos systeemissä on lämpötasapaino, se ei vaihda mitään ainetta ympäristön kanssa. Kaikki systeemit maailmassa pyrkivät lämpötasapainoon, mutta toisilla siihen pääseminen vie enemmän aikaa kuin toisilla. (Thermal equilibrium s.a.)

Lämpötasapainotilaa on hyvä havainnollistaa maapallon avulla: Aurinko säteilee energiaa maapallolle, ja jotta maapallolla pysyy lämpötasapaino, on sen säteiltävä pois yhtä paljon lämpöä, kuin mitä se vastaanottaa. Maapallon ympärillä oleva otsonikerros kuitenkin hidastaa lämmön siirtymistä maapallolta avaruuteen lämmittäen maapalloa. Kyseessä on luontainen kasvihuoneilmiö, ja ilman sitä maapallo olisi liian kylmä asuttavaksi. Kasvihuoneilmiötä kuitenkin kasvattaa hiilidioksidin, metaanin ja typpidioksidin lisääntyminen ilmakehässä. Voimakkaamman kasvihuoneilmiön takia maapallolta poistuu vähemmän lämpöä, kuin mitä sen energiavirtoihin imeytyy aiheuttaen epätasapainoa maapallon lämpötilaan. Tämä johtaa maapallon lämpenemiseen ja muuttumiseen jopa vaarallisilla tavoilla. (Thermal equilibrium s.a.)

### **3.2 Lämpötase ja energiavirrat**

Lämpötaseella verrataan tarkasteltavaan systeemiin tulevia lämpövirtoja sieltä poistuviin virtoihin. Lämpötasetta voidaan tarkastella niin suljetusta kuin avoimesta systeemistä. Lämpötase saadaan selville, kun tiedetään tarkasteltavaan kohteeseen tulevat massa-, energia- ja lämpövirrat sekä sieltä poistuvat virrat, jotka ovat esimerkiksi savukaasuja ja lämpöhäviöitä. Lämpötase voi olla joko negatiivinen tai positiivinen, mutta se voi olla myös nolla, jos systeemit ovat tasapainossa. (Heat balance 2020.)

Suljetun systeemin lämpötase voidaan laskea kaavan 1 avulla.

$$Q + W = \Delta E \quad (1)$$

jossa	$Q$	systeemiin tuleva lämpö	[J]
	$W$	systeemissä tehty työ	[J]
	$\Delta E$	systeemin energian lisääntyminen	[J]

Systeemin energian lisääntyminen voidaan ajatella muutoksena mekaanisessa energiassa. (Heat balance 2020.)

Massavirta saadaan selville, kun tiedetään missä ajassa ja mikä määrä ainetta virtaa läpi tarkasteltavan kohteen. Massavirta lasketaan kaavalla 2.

$$q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (2)$$

jossa	$q_m$	massavirta	[kg/s]
	$\Delta m$	massan muutos	[kg]
	$\Delta t$	ajan muutos	[s]

Lämpövirta kertoo lämmön siirtymisestä tietyn pinnan tai ainekerroksen läpi tietyssä aikayksikössä. Se kuvastaa tehoa, joten sen yksikkönä on watti. Lämpövirta lasketaan kaavalla 3.

$$\phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (3)$$

jossa	$\phi$	lämpövirta	[W]
	$\Delta Q$	siirtyvän energian määrä	[J]
	$\Delta t$	aika	[s]

### 3.3 Polttoaineiden kemialliset ominaisuudet

Lämpöarvo **H** kertoo, kuinka paljon energiaa vapautuu eli kuinka paljon polttoaine lämmittää, kun ainetta poltetaan yksi kilogramma. Lämpöarvoja on yleensä kaksi, alempi lämpöarvo eli tehollinen lämpöarvo kuvaa sitä, kun aine palaa vakioaineessa ja syntynyt vesihöyry ei tiivisty vedeksi. Ylempi eli kalorimetrinen lämpöarvo sen sijaan kuvaa tilannetta, jossa palavan aineen ja palamistuotteiden sisältämä vesihöyry on tiivistynyt vedeksi, ja palamistuotteet ovat jäähtyneet 25 °C lämpötilaan. Ylempi lämpöarvo ilmoitetaan kuiva-ainetta kohti vakiotilavuudessa, alempi lämpöarvo kuiva-ainetta kohti. (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2016.)

On olemassa myös kolmas lämpöarvo, jota kutsutaan teholliseksi lämpöarvoksi saapumistilassa. Tästä lämpöarvosta on vähennetty energiamäärä, joka kuluu polttoaineen luontaisesti sisältämän ja palamisessa syntyvän veden haihduttamisen. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on kaikista matalin arvo. (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2016.)

Lämpöarvoon vaikuttaa polttoaineen kosteus, ja mitä suurempi lämpöarvo aineella on, sitä kuivempaa se on. Ylemmän ja alemman lämpöarvon ero muodostuu siitä, kuinka paljon veden höyrystyminen vaatii energiaa. Lämpöarvon lisäksi aineesta voidaan usein ilmoittaa energiatiheys **E**, joka kertoo lämpöarvon tilavuutta kohti. (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2016.)

Kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden lämpöarvo on yleensä yksikössä MJ/kg, eli megajoulea polttoainekiloa kohti. Kaasumaisten polttoaineiden lämpöarvon yksikkö on useimmiten MJ/m<sup>3</sup>, eli megajoulea kuutiometriä kohden. (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2016.)

Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa kuivasta polttoaineesta saadaan laskeutta kaavalla 4 (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2016).

$$q_{p,net,ar} = q_{p,net,d} \cdot \left( \frac{100 - M_{ar}}{100} \right) - 0,02443 \cdot M_{ar} \quad (4)$$

jossa	$q_{p,net,ar}$	tehollinen lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg]
	$q_{p,net,d}$	tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa [MJ/kg]
	$M_{ar}$	kosteus saapumistilassa [p-%]
	0,02443	höyrystymisen sitoma energia 25 °C lämpötilassa [MJ/kg]

### 3.4 Teho

Lämmöntuotossa tärkeässä osassa on se, kuinka paljon tehoa polttoaineesta saadaan. Polttoaineista saadaan eri määrä tehoja riippuen siitä, minkälaiset ominaisuudet polttoaineella on. Tehoja voidaan laskea useammalla eri tavalla, riippuen siitä, mitä asioita tiedetään polttoaineesta sekä voimalaitoksesta.

Polttoaineteho voidaan laskea kaavalla 5, jos tiedossa on kattilateho sekä kattilan hyötysuhde.

$$\phi_{pa} = \frac{\phi_k}{\eta_k} \quad (5)$$

jossa	$\phi_{pa}$	polttaineteho	[W]
	$\phi_k$	kattilateho	[W]
	$\eta_k$	kattilahyötysuhde	[-]

Polttoaineteho voidaan laskea myös lämpöarvon ja massavirran avulla kaavalla 6.

$$\phi_{pa} = H \cdot q_m \quad (6)$$

jossa	$\phi_{pa}$	polttaineteho	[W]
	$H$	lämpöarvo	[MJ/kg]
	$q_m$	massavirta	[kg/s]

Lämpöteho virtauksien ja lämpötilaeron avulla lasketaan kaavalla 7.

$$\phi = q_m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (7)$$

jossa	$\phi$	lämpöteho	[W]
	$c_p$	ominaislämpökapasiteetti	[J/(kgK)]
	$q_m$	massavirta	[kg/s]
	$\Delta T$	lämpötilamuutos	[°C]

Lämpöteho voidaan laskea myös lämpöarvon avulla kaavalla 8.

$$\phi = q_m \cdot H \quad (8)$$

jossa	$\phi$	lämpöteho	[W]
	$q_m$	massavirta	[kg/s]
	$H$	lämpöarvo	[MJ/kg]

### 3.5 Ilman ominaisuudet

Kuiva ilma muodostuu eri kaasujen seoksesta, ja se sisältää enintään 4 % vesihöyryä. Kosteaa ilmaa voi sisältää vettä eri määriä, riippuen lämpötilasta. Mitä suurempi lämpötila, sitä suurempi kosteus. Ilmaa kutsutaan kylläiseksi, jos se sisältää mahdollisimman paljon vettä. (Mollier-diagrammi s.a.)

Ilmasta yleisimmin mitattavia suureita ovat lämpötila, paine, kosteus, tiheys ja entalpia (Mollier-diagrammi s.a.).

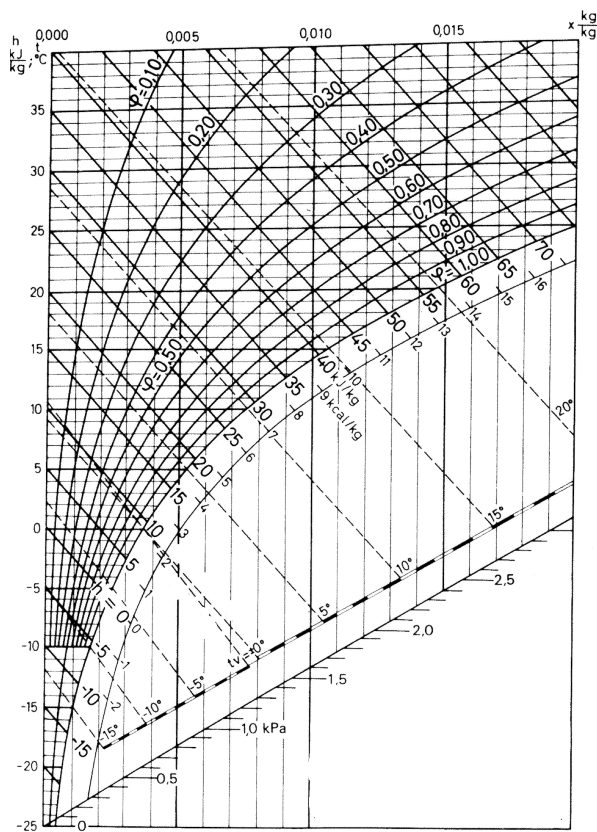
#### Kosteus

On olemassa suhteellinen kosteus sekä ominaiskosteus. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan prosentteina, ja se kertoo, kuinka paljon ilmassa on vettä verrattuna kylläisen ilman vesimäärään samassa lämpötilassa. Ominaiskosteus kertoo veden määrän ilmassa. Yksikkönä toimii kg/kg tai g/kg, sillä se ilmoitetaan veden massan ja kostean ilman massan suhteena. (Mollier-diagrammi s.a.)

## Entalpia

Entalpia kertoo ilmassa olevan energian määrän. Kun lämpötila ja kosteuspi-toisuus kasvaa, kasvaa myös entalpia. Entalpian yksikkö on kJ/kg. Kostean il-man entalpia on aina suurempi kuin kuivan ilman, sillä se lasketaan vesi-höyryn ja kuivan ilman entalpioiden summana. (Mollier-diagrammi s.a)

Ilmasta mitattuja suureita tarvitaan, jotta osataan mitoittaa esimerkiksi voima-laitoksia ja sen erilaisia osakokonaisuuksia. Suunnittelussa käytetään usein apuna Mollier-diagrammia, josta voidaan tulkita entalpiaa. Sen on kehittänyt saksalainen fysiikan ja mekaniikan professori Richard Mollier vuonna 1904. (Mollier-diagrammi s.a.)



Kuva 4. Mollier-diagrammi (The Engineering Toolbox s.a)

## 3.6 Vesi ja höyry

Vedellä on kolme eri olomuotoa: kiinteä, neste ja kaasu. Vesi alkaa jäätymään eli muuttumaan kiinteään olomuotoon, kun sen lämpötila on 0 °C ja se on va-kiopaineessa eli 1 barin paineessa. Kun veden lämpötila on 100 °C, alkaa höyrystyminen ja se muuttuu vesihöyryksi kaasumaiseen muotoon. Taas, kun lämpötila laskee alle 100 °C, alkaa tiivistyminen eli vesihöyry muuttuu takaisin nestemäiseksi vedeksi.

Kun vettä höyrystetään voimalaitoksella kattilassa, tarvitaan siihen energiaa. Mitä korkeampi paine kattilassa on, sitä enemmän höyryn muodostumiseen vaaditaan energiaa. Höyryn entalpia on paljon korkeampi kuin veden, sillä siinä on isompi lämpötila. Täten siitä saadaan myös paljon enemmän energiaa muodostettua kattilassa.

Vesi sitoo itseensä energiaa eli lämpöä, kun se höyrystyy, eli se on endoterminen reaktio. Vastaavasti veden tiivistyminen höyrystä nesteeksi on eksoterminen reaktio, sillä siinä vapautuu energiaa eli lämpöä ympäristöön. (What is an exothermic reaction? 1999.)

### **3.7 Savukaasut**

Savukaasuja muodostuu, kun voimalaitoksen kattilassa poltetaan polttoainetta. Palamisessa syntyy pääasiassa hiilidioksidia ja vesihöyryä, pienissä määrin myös typpeä ja happea. Typen ja rikin oksidit, häkä sekä erilaiset hiukaset ovat myös mahdollisia palamisessa muodostuvia tuotteita. Eri polttoaineilla muodostuu erilaisia savukaasuja: kaasumaiset polttoaineet ovat vähäpäästöisin vaihtoehto, kun taas kiinteät polttoaineet ovat suuripäästöisimpiä. Jos palaminen on puhdasta, savukaasut ovat hajuttomia ja värittömiä. Savun haju kertoo epätäydellisestä palamisesta ja silloin ilmaan pääsee savukaasuja. (Savukaasujen puhdistus s.a.)

Savukaasuista pyritään puhdistamaan happamat rikki-, kloori ja fluoriyhdisteet. Puhdistus tehdään neutraloimalla happamat yhdisteet kalkkikivipohjaisilla tuotteilla. Savukaasuja voidaan puhdistaa märällä, puolikuivalla tai kuivalla menetelmällä. Puhdistuksessa syntyy erilaisia sivutuotteita, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi kipsilevyissä. (Savukaasujen puhdistus s.a.)

## **4 VOIMALAITOS**

Voimalaitoksen toiminta perustuu siihen, että on joko uusiutuva tai uusiutumaton energianlähde, josta saadaan työllä tehtyä lämpöä ja/tai sähköä. Jos voimalaitoksessa tuotetaan ainoastaan lämpöä, kuten Kalsolla, on se tällöin lämpölaitos. Sekä sähköä että lämpöä tuottava voimalaitos on lämpövoimalaitos. (Sähköntuotanto s.a.)



Useimmiten voimalaitoksilla polttoainetta lämmitetään vedellä, jotta siitä muodostuu korkeapaineista höyryä. Höyry virtaa putkia pitkin turbiinille ja pyörittää sitä. Kun turbiini pyörii, generaattorin sisällä alkaa tapahtumaan työtä, joka käynnistää sähkövirtauksen ja se siirtyy sähköverkkoon tuotantolaitoksen ja mahdollisesti yhteiskunnan käytettäväksi. (Power plant s.a.)

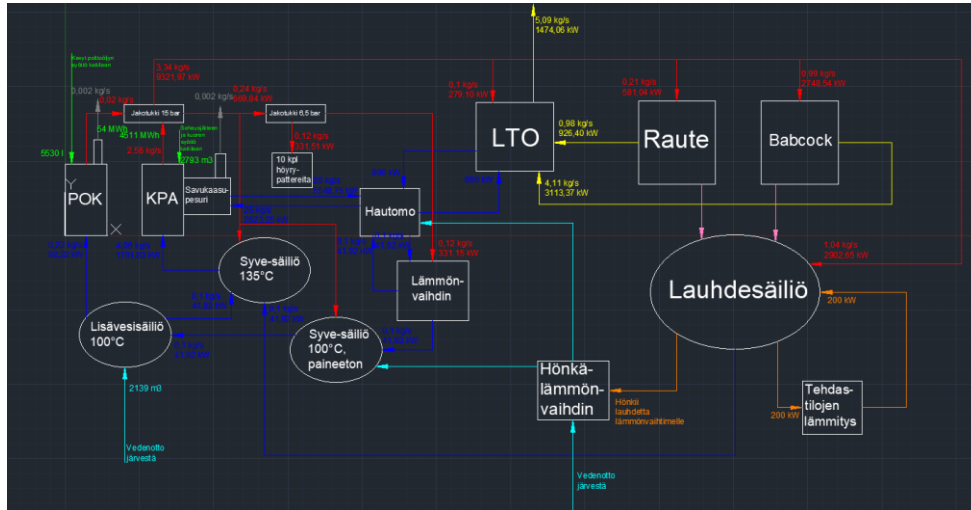
#### **4.1 Kalson lämpölaitos**

Biokattilaan syötetään polttoaine ruuvijärjestelmän kautta, mikä syöttää polttoainetta kattilaan automaattisesti ohjausjärjestelmän antamien tietojen pohjalta. Kun automaatiojärjestelmä toimii oikein, pysyy kattila toiminnassa koko-aikaisesti ja polttoaineen syöttö on tasaista. (Miten teollisuuden biomassakattilat toimivat s.a.)

Lämpölaitoksella olevan putkiverkoston läpi kiertää vettä, johon palamisessa syntyvä lämpö siirretään. Jotta vedestä saadaan höyryä, sen pitää imeä itseensä lämpöä. Höyrylle on lämpölaitoksessa oma verkostonsa, josta sitä voidaan ohjata ja hyödyntää haluttuihin prosesseihin, esimerkiksi tehtaan lämmitykseen tai erilaisten tuotantolinjojen tarpeisiin. Palamisessa muodostuu erilaisia typen ja rikin oksidien sekä hiukkasten päästöjä, joita pyritään minimoimaan savukaasupesurilla. (Miten teollisuuden biomassakattilat toimivat s.a.)

Kalson omasta tuotannosta tuleva hake koostuu pelkästään kuusesta, ja sen hiilipitoisuus on noin 50 % kuiva-aineessa (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2016). Kun haketta poltetaan, reagoi palamisessa hiili hapen kanssa muodostaen hiilidioksidia ja vesihöyryä. Hiilidioksidi ohjataan savukaasupesuriin, jossa se pyritään puhdistamaan puhtaaksi hiilidioksidiksi. Puhtaana se voidaan johtaa ilmakehään. Vesihöyry sen sijaan poistuu höyrynä ilmaan.

## Lämpölaitoksen komponentit



Kuva 5. Kalson viilutehtaan yksinkertaistettu lämpötase (2023)

## Kattila

Kattilan tärkein tehtävä on tuottaa korkeapaineista höyryä eli tuorehöyryä. Höyryn muodostuminen alkaa siitä, kun polttoaine palaa ja siihen sitoutunut kemiallinen energia vapautuu lämmöksi. Lämpö siirtyy höyrystinputkia pitkin veteen, joka höyrystyy lämmön vaikutuksesta. Koska kattilassa voidaan polttaa kahta eri polttoainetta, haketta sekä kevyt polttoöljyä, on sen oltava ominaisuuksiltaan molempien polttoon sopiva. Hakkeen kosteus voi olla vaihtelevasti jopa hyvinkin korkea, joten kattilan on kyettävä polttamaan kosteaa polttoainetta niin, että hyötysuhde pysyy hyvänä. Tämän takia Kalsolla oleva kattila on leijupetikattila, jossa hake poltetaan hiekan sisällä. Hiekka kuivattaa hakkeen tehokkaasti. (Kalson viilutehtaan yksinkertaistettu lämpötase 2023.)



Kuva 6. Kattila (Tiitinen 2023)

## Syöttövesisäiliö

Kalson viilutehtaan lämpölaitoksella on kolme syöttövesisäiliötä, joista yksi toimii pääasiassa lisävesisäiliönä. Syöttövesisäiliöissä on vettä kolmessa eri lämpötilassa: 100 °C, 110 °C ja 135 °C. Syöttövesisäiliöillä pyritään varmistamaan vesi-höyrypiirin oikeanlainen toiminta ja veden sekä höyryn tuottaminen järjestelmään. Syöttövesisäiliöissä varastoidaan haluttuun lämpötilaan lämmitettyä vettä, jota syötetään kattilaan. Mitä lämpimämpää lämpölaitoksen kierrossa oleva vesi on, sitä paremman hyötysuhteen se luo. Tämän takia syöttövesisäiliötä käytetään myös veden esilämmittimenä. Koska lämpölaitoksen eri osaprosessissa voi tapahtua vaihteluita esimerkiksi höyrynpaineessa tai höyryvirtauksessa, on syöttövesisäiliö yksi komponenteista, jolla pyritään estämään vaihtelujen näkyminen koko prosessissa. Syöttövesisäiliöissä on mahdollista tasata höyrynpainetta sekä nostaa höyryvirtausta lisävesivirtauksen avulla. Syöttövesisäiliöihin pumpataan lauhdetta sekä lisävettä, ja kaksi kolmesta säiliöstä on tarkoitettu kattilaan suoraan pumpattavalle vedelle. Yksi säiliöistä toimii esisäiliönä toiselle säiliölle. (Kalson viilutehtaan yksinkertaistettu lämpötase 2023.)



Kuva 7. Syöttövesisäiliö (Tiitinen 2023)

### Jakotukki

Järjestelmässä on kaksi jakotukkia, joiden tehtävänä on jakaa höyryvirta halutuille komponenteille. Jakotukit ovat eri paineisia, toisessa paine on 15 baaria ja toisessa 6,5 baaria. 15 baarin jakotukista linjat menevät viilutehtaan molemmille kuivauskoneille, lämmön talteenottoon sekä tehtaan lauhdesäiliöön. 15 baarin jakotukki vie myös höyryä 6,5 baarin jakotukkiin, josta linjat menevät höyrypattereille sekä 3,6 MW:n lämmönvaihtimelle. (Kalson viilutehtaan yksinkertaistettu lämpötase 2023.)



Kuva 8. Jakotukki (Tiitinen 2023)

### Höyrypatterit

Höyrypattereihin voidaan varastoida tuotettua höyryä ja käyttää sitä sieltä tarvittaessa. Höyrypatterien avulla prosessi pysyy tasaisena, eikä kuormitusvaihteluja pääse syntymään. Jos höyryntuotannossa tulee ongelmia, voidaan lyhytaikaisissa häiriöissä käyttää höyrypattereita varavoimana. Höyrypattereita on järjestelmässä yhteensä 10 kappaletta, ja niiden yhteisteho on 1 MW. (Kalson viilutehtaan yksinkertaistettu lämpötase 2023.)



Kuva 9. Hörypatteri (Tiitinen 2023)

### **Lämmöntalteenotto**

Lämmöntalteenottoon varastoidaan kaikki mahdollinen ylijäävä lämpö, jota tulee esimerkiksi kuivauskoneilta, hautomosta sekä jakotukilta. Lämmöntalteenoton torniin menee kaikki ylijäävä lämpöenergia, jotta se voidaan hyödyntää uudelleen. (Kalson viilutehtaan yksinkertaistettu lämpötase 2023.) Hyvä ja toimiva lämmöntalteenotto kasvattaa energiatehokkuutta, ja lisäksi prosessin suorituskyky ja laatu paranevat. Merkittävä tekijä energiatehokkuuden parantamisessa on talteen otetun energian siirto prosessin eri vaiheiden välillä. (Prosessin lämmöntalteenotto s.a.)



Kuva 10. Lämmöntalteenottotorni (Tiitinen 2023)

### **Lauhdesäiliö**

Tehtaan lauhdesäiliössä lauhteen lämpötila on 135 °C ja paine 2 baaria. Kiviväskoneiden lauhteet menevät suoraan lauhdesäiliöön, jossa ne jäähtyvät oikeaan lämpötilaan. Lauhdetta käytetään tehdastilojen lämmittämiseen, lauhdesäiliöstä on myös linjat syöttövesisäiliöön sekä hönkälämmönvaihtimeen. (Kalson viilutehtaan yksinkertaistettu lämpötase 2023.)



Kuva 11. Lauhdesäiliö (Tiitinen 2023)

### **Lämmönvaihdin**

Kalsolla on kaksi erilaista lämmönvaihdinta, normaali lämmönvaihdin sekä hönkälämmönvaihdin (Kalson viilutehtaan yksinkertaistettu lämpötase 2023). Lämmönvaihtimen toiminta perustuu siihen, että se siirtää lämpöä toisesta väliaineesta toiseen. Lämmönvaihtimen sisällä aineet voivat olla eri olomuodoissa, esimerkiksi kaasuina ja nesteinä. Lämmönvaihdin imee savukaasuja, ja niiden sisältämä höyry kondensoituu ja muodostuu lämpöä. Tuotettu lämpö syötetään lämmityspiiriin ja energiaa ei valu hukkaan. (Mikä on lämmönvaihdin? s.a.)





Kuva 12. Lämmönvaihdin (Tiitinen 2023)

## 4.2 Kalson käyttämät polttoaineet

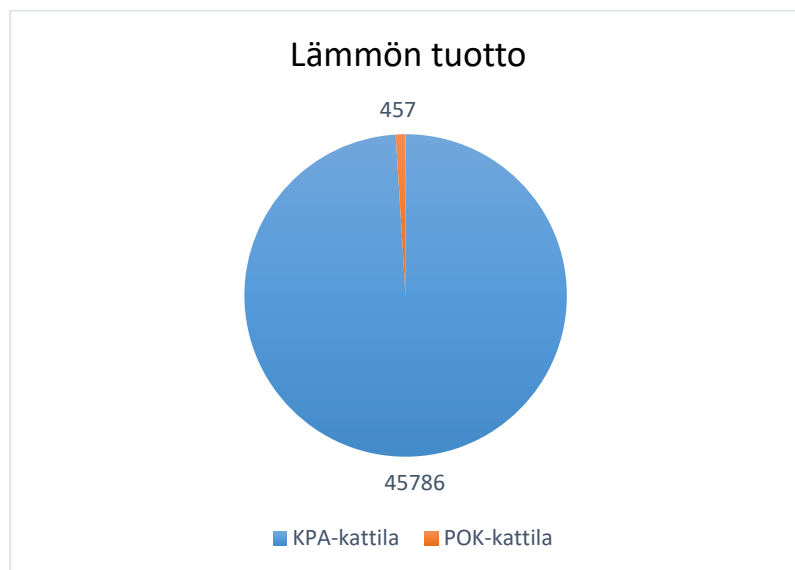
Kalsolla poltetaan pääasiassa haketta, mikä muodostuu viilunvalmistuksen sivutuotteena. Haketta saadaan kuoresta, kun kuusitukki kuoritaan sorvausta ennen. Lisäksi hakkeeksi menee myös tukinkatkaisussa muodostuvat hukkapalat, sekä mahdollisesti sorvauksesta jäävä ”purilas”, jos se on heikkolaatuinen. Purilaat käytetään pääsääntöisesti pakkausmateriaalien valmistukseen, joten niiden osuus hakkeesta ei ole kovinkaan suuri.

Kuusen kuoren tehollinen lämpöarvo on 18,6 MJ/kg ja kuorellisen kuitupuun 19,1 MJ/kg. Toinen käytössä oleva polttoaine, kevyt polttoöljy on lämpöarvoltaan noin 43,0 MJ/kg. (Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia 2016.)

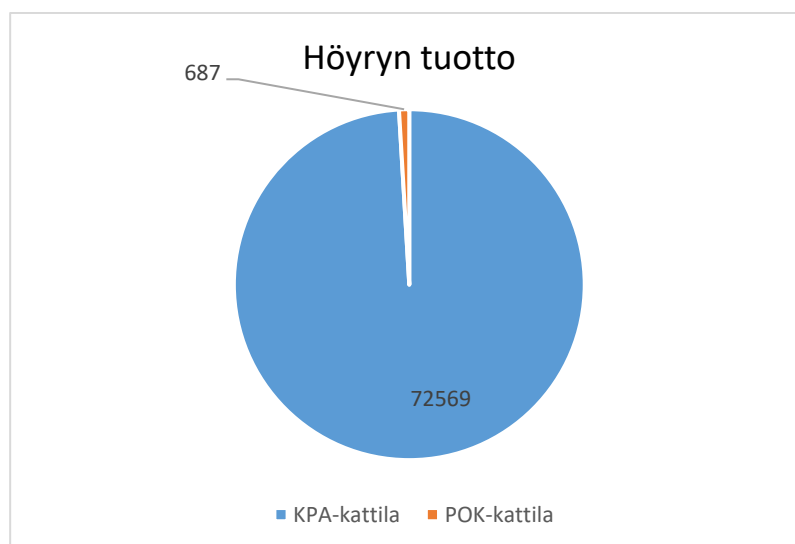
Kevyt polttoöljy on punaiseksi värjättyä dieselöljyä, jota käytetään pääasiassa lämmitykseen sekä maatalous- ja työkoneneiden polttoaineena. Se on kevyemmin verotettua kuin dieselöljy, joten sen käyttöä valvotaan tullin toimesta vuosittain noin sadalla tutkimuksella. (Laadukasta polttoainetta tankkiin s.a.)

## 5 KALSON NYKYTILANNE

Tässä raportissa tarkastellaan vuoden 2021 tietoja. Lämmön tuoton osuudet kummallakin kattilalla on esitetty kuvassa 13. Kattiloiden tuottamat höyrytonnit näkyvät kuvassa 14. KPA-kattilalle saatiin omasta tuotannosta polttoainetta 37057 MWh, kiintokuutiaina sama määrä on 23161 k-m<sup>3</sup>. Ulkopuolelta hankittiin KPA-kattilalle polttoainetta 15121 MWh eli 9451 kiintokuutiometriä.



Kuva 13. Lämmön tuotto megawatteina

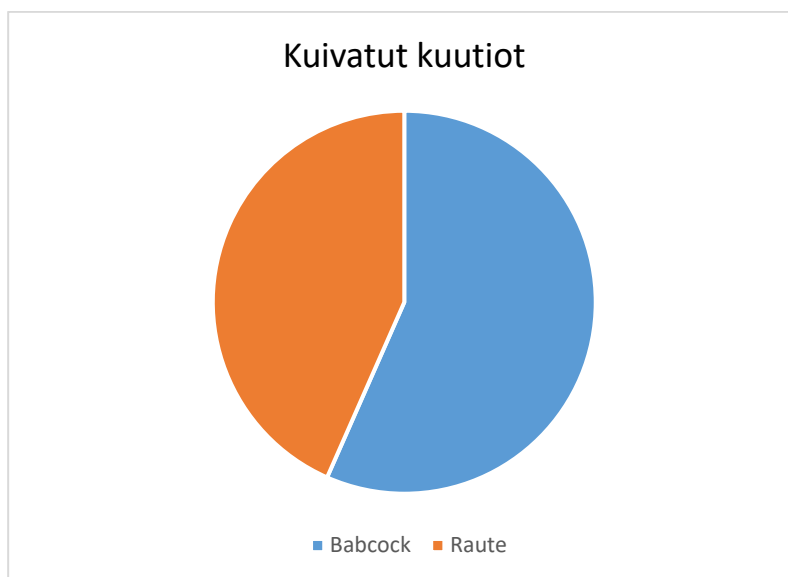


Kuva 14. Höyryn tuotto tonneina

Tehtaalla ovat kaksi kuivauskonetta, Raute ja Babcock, ovat tehtaan suurimmat energiankuluttajat. Kuivauskoneiden lauhteet menevät lauhdesäiliöön ja



ylimääräinen lämpö virtaa lämmöntalteenottotorniin. Vuonna 2021 kuivatut kuutiot on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Kuivatut kuutiot kahdella kuivauskoneella

### 5.1 Tehtaaseen tulevat virrat

Tehtaaseen tulevat linjat tulevat 15 baarin jakotukin kautta lämpölaitokselta. Tästä jakotukista suorat linjat menevät tehtaassa kuivauskoneille, lämmöntalteenottotorniin sekä lauhdesäiliöön. Yksi linja jakotukista menee toiseen jakotukkiin, jossa paineen asetusarvona on 6,5 baaria. Tästä jakotukista linjat menevät höyrypattereille ja lämmönvaihtimelle.

### 5.2 Tehtaasta poistuvat virrat

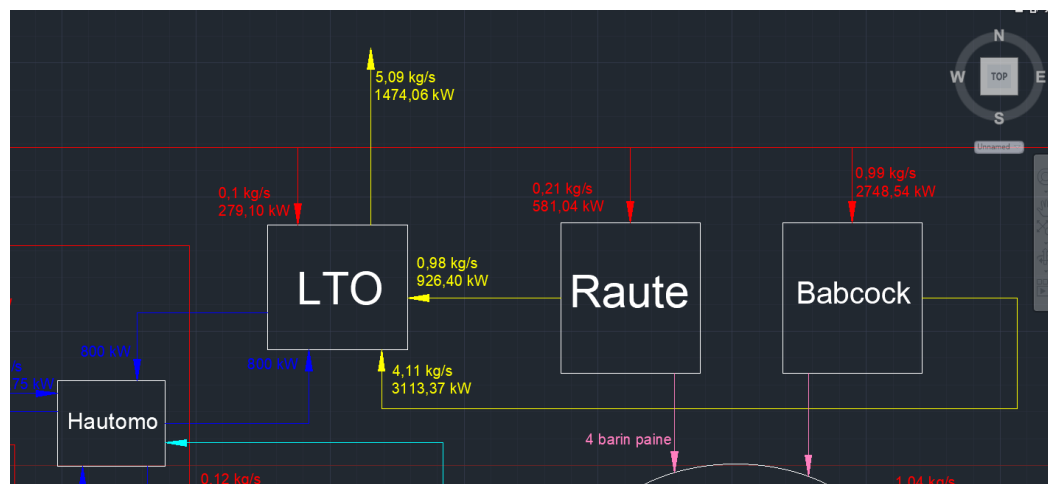
Tehtaalta ei myydä lämpöä ulkopuolelle, vaan kaikki tuotettu menee omaan kulutukseen. Lämmöntalteenottotornista osa energiasta haihtuu ilmaan. Hautomon ja tukkien hajotuspöydän lämmityksestä jäävää energiaa haihtuu ilmaan, ja osittain sitä kiertää takaisin lämmönvaihtimelle ja lämmöntalteenottotorniin. Polttoainetta poltettaessa kattilassa muodostuu savukaasuja, jotka poistuvat savukaasupesurin jälkeen ilmaan. Savukaasupesurilta menee linja myös hautomoon, jota lämmitetään savukaasuilla.

### 5.3 Lämpötaseen selvitys

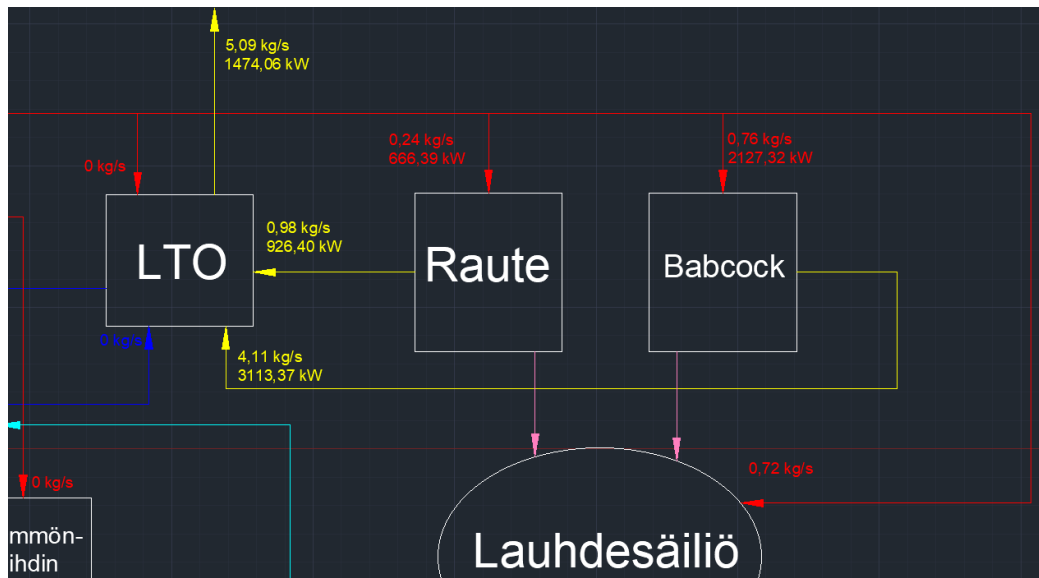
Osa arvoista saadaan Kalson lämpö- ja ympäristöraportista vuodelta 2021. Siitä saadaan selville polttoaineen kulutuksia, kattiloiden tuottamia höyry- sekä lämpömääriä, veden käyttöä ja päästöjä. Komponenttien tehojen laskentaan tarvittavat massavirrat ovat osittain mitattuja arvoja, ja osa on arvioitu muiden virtausten ja kulutusten pohjalta.

Kuvissa esiteltynä on tuloksia eri alueilta Kalson viilutehtaalta. Valkoisella on kuvattuna kaikki komponentit, jotka lämpötaseeseen vaikuttavat. Vaaleansinisellä värillä on kuvattuna järvestä otettava raakavesi, jota ei puhdisteta kemikaalisesti. Tummansinisellä on vesi, joka on kemikaalisesti puhdistettua. Vihreä väri kuvastaa polttoainetta. Punaiset viivat ovat höyrylinjoja, vaaleanpunaiset taas lauhdetta. Keltaiset viivat ovat ilmaa. Oranssi väri tarkoittaa hönkähöyryä. Harmaalla on kattiloista kuvattuna savukaasut eli päästöt.

#### Lämmöntalteenotto



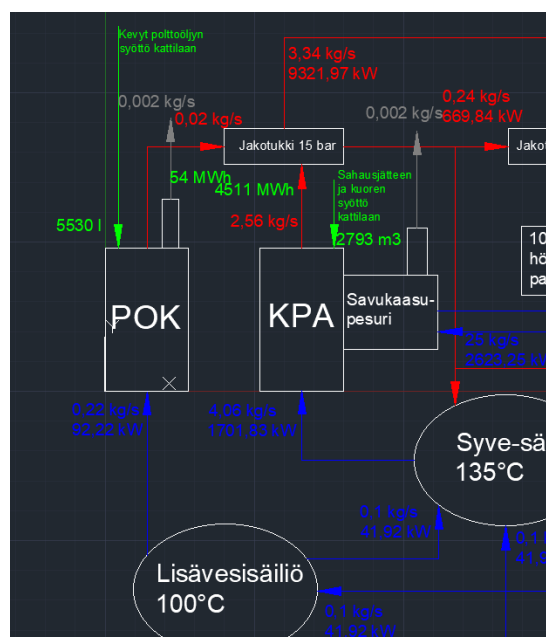
Kuva 16. Lämmöntalteenotto helmikuussa (Tiitinen 2023)



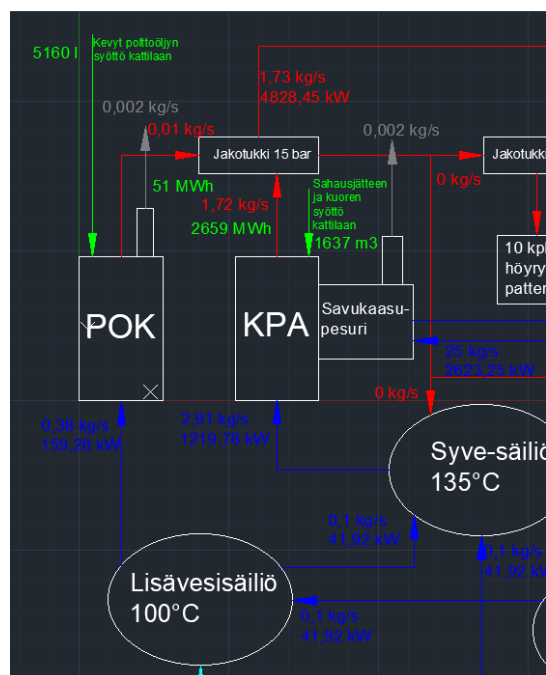
Kuva 17. Lämmöntalteenotto elokuussa (Tiitinen 2023)

Lämmöntalteenottoon tulee höyryvirtaus 15 baarin jakotukilta. Viilua höyrystetään kuivauskoneilla (Raute ja Babcock), jotta ylimääräinen vesi saadaan poistettua. Höyrystymisessä muodostuva ilma poistuu lämmöntalteenottotorniin, ja sieltä se virtaa ulkoilmaan. Lämmöntalteenotolla lämmitetään hautomossa olevaa vettä, ja ylijäävä energia virtaa takaisin lämmöntalteenottotorniin. Kuviiin 16 ja 17 merkityt virtaukset eivät ole tarkkoja, sillä lämmöntalteenottotorniin liittyviä mittauksia on suoritettu vain yhtenä vuoden aikana. Tulokset olisivat erilaiset, jos laskenta olisi päästy tekemään tarkoilla oikeaan aikaan mitatuilla arvoilla.

## Kattilat



Kuva 18. Kattilat helmikuussa (Tiitinen 2023)

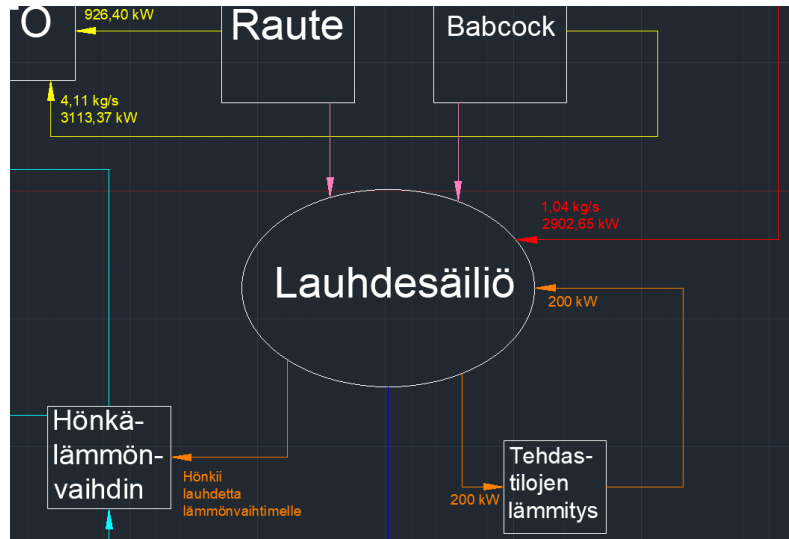


Kuva 19. Kattilat elokuussa (Tiitinen 2023)

Kattiloihin syötetään polttoainetta, ja lisäksi niihin syötetään lisävettä höyryn muodostamiseksi. Veden virtausmäärät ovat saatu tietokantakyselyn kautta historiadatasta tarkasteltaviksi valituilta ajanjaksoilta. Kattiloilla muodostetaan höyryä, joka menee 15 baarin jakotukille ja siitä haarautuu useampi linja. Pääasiassa höyry menee jakotukilta kuivaajille, etenkin kesäaikana. 6,5 baarin jakotukille menee vain lämmityskaudella virtausta, ja sieltä lämmönvaihtimen

kautta hautomon lämmitykseen. Kesäisin hautomoa ei tarvitse lämmittää juuri ollenkaan, silloin lämmitys tapahtuu ainoastaan savukaasupesurin avulla.

## Lauhdesäiliö



Kuva 20. Lauhdesäiliö (Tiitinen 2023)

Lauhdesäiliöön poistuu kuivauskoneiden lauhteet, eli nesteet, jotka muodostuvat höyryn jäähtyessä kuivauskoneessa. Lisäksi sinne virtaa 15 bar jakotukilta höyryä jonkin verran. Lauhdesäiliössä on noin 4 bar paine, ja lämmityskaudella lauhdetta käytetään tehdastilojen lämmitykseen. Lauhdesäiliö lisäksi hönlämmönvaihtimeen, josta se kesäaikana lauhdutetaan järveen. Lämmityskaudella hönlämmönvaihtimesta siirtyy lämpöä syöttöve-  
sisäiliöön sekä hautomon lämmitykseen.

## 6 KEHITYSIDEAT

Lämpötaseen tarkastelussa haasteita tuotti se, että jokaiselta linjalta ei ollut saatavissa mitattuja arvoja. Jotta lämpötaseesta saadaan oikeammat tulokset, olisi jokaisella linjalla oltava mittarit esimerkiksi virtauksille ja lämpötiloille. Jos mittareita olisi joka linjalla, ja saataisiin historiadataa käytettäväksi, voitaisiin lämpötasetta määrittellä halutulle ajanjaksolle juuri sen ajan mittaustietojen pohjalta.

Jos lämpötase saadaan laskettua esimerkiksi jokaiselle kuukaudelle erikseen, voidaan prosessin ohjausta suorittaa lämpötaseen optimoinnin mukaan niin,

että tuotetusta lämmöstä saadaan mahdollisimman iso osa hyötykäyttöön, eikä lämpöä virtaa niin paljoa esimerkiksi ulkoilmaan. Prosessin eri alueiden energiatehokkuuden parantaminen auttaa myös lämpötaseen kehittämiseen. Esimerkiksi lämmöntalteenottotorniin virtaavien kuivaajien poistokaasujen hyötykäyttöä voitaisiin tutkia ja miettiä, voisiko niitä käyttää esimerkiksi lämmityksessä.

Lauhdesäiliöön menevien ja sieltä lähtevien virtauksien mittaustietojen puuttuminen on yksi isoimmista yksittäisistä kohteista koko lämpötaseen selvittämisessä. Tämä aiheuttaa suurta epävarmuutta kokonaistaseen laskennassa. Tulokset voisivat muuttua merkittävästi, jos lauhdesäiliön lämpötase saataisiin laskettua tarkasti.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyötä tehdessä opin paljon uutta lämpötaseesta, lämpölaitoksen toiminnasta sekä sen vaikutuksista viilutehtaan tuotantoon. Viilun valmistuksesta olin oppinut jo paljon työkokemuksen pohjalta, mutta työtä tehdessä sain uutta tietoa siitä, miten paljon energiaa eri prosessin osa-alueet vievät ja miten hukkaenergioita käytetään Kalsolla hyödyksi.

Lämpötasetta ei saatu aivan täysin selville, sillä osa tarvittavista tiedoista olisi vaatinut erinäisiä mittauksia kenttälaitteilla. Olemassa olevien tietojen pohjalta tehty selvitys on suuntaa antava, eikä sen perusteella prosessin osa-alueita kannata lähteä kehittämään. Työn tekemistä hidastutti se, että tarvittavien tietojen saaminen oli ajoittain haasteellista rajallisten käyttöoikeuksien sekä olemattomien mittaustietojen takia.

Laskennassa on käytetty jonkin verran kuukausitasoisia keskiarvolukemia, mutta osa virtauksista oli tiedossa vain tietyltä ajanhetkeltä. Tämä lisää hajontaa tuloksissa, koska tiedot eivät ole täsmälleen samanlaisesta tuotantotilanteesta. Viilutehtaan lämpötaseeseen vaikuttaa paljon esimerkiksi se, onko lämmityskausi vai ei, onko käynnissä yksi vai kaksi kuivaajaa ja kuinka paljon viilunkäsittelyä on käynnissä.

Jos lämpötaseen olisi halunnut selvittää tarkasti valituilta kuukausilta, olisi työn tekeminen vienyt kauemmin aikaa. Kaikkien tarvittavien mittausten tekeminen ja tulosten analysointi olisi vienyt paljon enemmän aikaa, kuin kahden vuoden takaisten tietojen analysointi. Koska tiedot kerättiin kahden vuoden takaisista historioista, sai tietokantakyselyillä rajattua helposti halutut ajankohdat.

Lämpötaseen selvitystä olisi voinut jatkaa niin, että se lasketaan erilaisille tuotantotiloille esimerkiksi kuukausi- tai viikkotasolla. Näin päästäisiin kiinni siihen, mitkä ovat isoimmat pullonkaulat lämpölaitoksella ja viilutehtaalla energiankulutuksen suhteen.

## LÄHTEET

Heat balance. 2020. Access Science. Verkkojulkaisu. Vaatii käyttöoikeuden. [viitattu 12.5.2023].

Höyryn ja veden entalpia-laskuri. 2007. Peacesoftware. CalcSteam. Verkkojulkaisu. Saatavissa: [https://www.peacesoftware.de/einigewerte/wasser\\_dampf\\_e.html](https://www.peacesoftware.de/einigewerte/wasser_dampf_e.html) [viitattu 23.11.2023].

Ilman entalpia-laskuri. s.a. Psychrometrics. Egichem. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.egichem.com/tools/calculators/psychrometrics/> [viitattu 23.11.2023].

Inkeröinen, M. 2023. Kunnossapitoinsinööri. Henkilöhaastattelu. UPM.

Kalson lämpö- ja ympäristöraportti. 2021. Excel-tiedosto. Rajoitettu saatavuus. [viitattu 10.10.2023].

Kraft, J. 2023. Tuotantopäällikkö. Henkilöhaastattelu. UPM.

Laadukasta polttoainetta tankkiin. s.a. Tullitekniset tutkimukset. Tulli. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://tulli.fi/web/tullilaboratorio/tullitekniset-tutkimukset/polttoainetutkimukset> [viitattu 10.9.2023].

Luomme arvoa asiakkaillemme maailmanlaajuisesti. s.a. UPM Liiketoiminnot. UPM. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/> [viitattu 3.5.2023].

Mikä on lämmönvaihdin? s.a. Vaillant. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.vaillant.fi/asiakkaat/neuvoja-ja-tietoa/lammitysasasto/master-heat-exchanger-1925012.html> [viitattu 8.11.2023].

Mitä kannattaa ottaa huomioon hakekattilan hankinnassa Suomessa. s.a. Winno Energy. Blogiteksti. Saatavissa: <https://winnoenergy.com/fi/how-does-a-industrial-biomass-work-in-the-uk/> [viitattu 1.6.2023].

Mollier-diagrammi. s.a. Swegon. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.swegon.com/fi/oppaat/tekniikat/mollier-diagram/> [viitattu 11.10.2023].

Power plant. s.a. Energy Education. Verkkojulkaisu. Saatavissa: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Power\\_plant#cite\\_note-oxford-1](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Power_plant#cite_note-oxford-1) [viitattu 25.7.2023].

Power plants. 2023. Explain that stuff. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.explainthatstuff.com/powerplants.html> [viitattu 26.7.2023].

Prosessin lämmöntalteenotto. s.a. Finess. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://finess.fi/toimialat/teollisuus/prosessin-lammontalteenotto/> [viitattu 21.7.2023].



Savukaasujen puhdistus. s.a. Nordkalk. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://nordkalk.fi/ratkaisu/savukaasujen-puhdistusmenetelmat/> [viitattu 14.10.2023].

Sihvonen, J. 2023. Kunnossapitopäällikkö. Henkilöhaastattelu. UPM.

Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. 2016. VTT Technology. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf> [viitattu 29.5.2023].

Sähköntuotanto. s.a. Energiateollisuus. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto> [viitattu 25.7.2023].

Tervetuloa UPM Kalson viilutehtaalle. s.a. Kalson viilutehtaan yleisesittely UPM Intranetissä. PowerPoint-esitys. Rajoitettu saatavuus. Luettu 17.4.2023.

Thermal equilibrium. s.a. Energy Education. Verkkojulkaisu. Saatavissa: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Thermal\\_equilibrium](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Thermal_equilibrium) [viitattu 8.5.2023].

Thermodynamic states. 1999. Britannica. Verkkojulkaisu. Päivitetty 21.6.2023. Saatavissa: <https://www.britannica.com/science/thermodynamics#ref258536> [viitattu 10.5.2023].

Thermodynamics. 1999. Britannica. Verkkojulkaisu. Päivitetty 21.6.2023. Saatavissa: <https://www.britannica.com/science/thermodynamics> [viitattu 10.5.2023].

Toiminta-ajatus ja strategia. s.a. Tietoa meistä. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/toiminta-ajatus-ja-strategia/> [viitattu 4.5.2023].

Tämä on UPM. s.a. Tietoa meistä. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/> [viitattu 18.4.2023].

UPM Communication Papers. s.a. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/upm-communication-papers/> [viitattu 3.5.2023].

UPM Energy. s.a. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/upm-energia/> [viitattu 3.5.2023].

UPM Fibres. s.a. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/tuotantolaitokset/?business=UPM%2BFibres> [viitattu 3.5.2023].

UPM Plywood. s.a. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/upm-vaneri/> [viitattu 3.5.2023].

UPM Raflatac. s.a. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/upm-tarramateriaalit/> [viitattu 3.5.2023].

UPM Specialty Papers. s.a. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/upm-specialty-papers/> [viitattu 3.5.2023].

UPM tilinpäätöstiedote 2022: UPM:llä käännteentekevä vuosi – yhtiö teki ennätystuloksen ja on valmis merkittävään kasvuun. 2.2.2023. UPM. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/medialle/tiedotteet/2023/02/upm-tilinpaatostiedote-2022-upmlla-kaanteentekeva-vuosi--yhtioteki-ennatystuloksen-ja-on-valmis-merkittavaan-kasvuun/> [viitattu 21.3.2023].

What is an exothermic reaction? 1999. Scientific American. Verkkojulkaisu. Saatavissa: <https://www.scientificamerican.com/article/what-is-an-exothermic-rea/> [viitattu 1.11.2023].

## KUVALUETTELO

Kuva 1. UPM:n Biofore-strategia. UPM-Kymmene Oyj. Saatavissa: <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/toiminta-ajatus-ja-strategia/> [viitattu 4.5.2023].

Kuva 2. Plywoodin tuote, kuusiviilu WISA Parquet Veneer. WISA Plywood, Products. Saatavissa: [WISA-Parquet Veneer | WISA PLYWOOD](#) [viitattu 19.5.2023].

Kuva 3. Kalson viilutehdas. Taimela, V-V. 18.1.2019.

Kuva 4. Mollier-diagrammi. The Engineering Toolbox. Saatavissa: [https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d\\_27.html](https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html) [viitattu 6.11.2023].

Kuva 5. Kalson viilutehtaan yksinkertaistettu lämpötase. Tiitinen, A. 12.9.2023

Kuva 6. Kattila. Tiitinen, A. 30.11.2023

Kuva 7. Syöttövesisäiliö. Tiitinen, A. 30.11.2023

Kuva 8. Jakotukki. Tiitinen, A. 30.11.2023

Kuva 9. Hörypatterit. Tiitinen, A. 30.11.2023

Kuva 10. Lämmöntalteenottotorni. Tiitinen, A. 7.12.2023

Kuva 11. Lauhdesäiliö. Tiitinen, A. 30.11.2023

Kuva 12. Lämmönvaihdin. Tiitinen, A. 30.11.2023

Kuva 13. Lämmön tuotto megawatteina. Tiitinen, A. 5.11.2023

Kuva 14. Höryyn tuotto tonneina. Tiitinen, A. 5.11.2023

Kuva 15. Kuivatut kuutiot kahdella kuivauskoneella. Tiitinen, A. 5.11.2023

Kuva 16. Lämmöntalteenotto helmikuussa. Tiitinen, A. 7.12.2023

Kuva 17. Lämmöntalteenotto elokuussa. Tiitinen, A. 7.12.2023

Kuva 18. Kattilat helmikuussa. Tiitinen, A. 7.12.2023

Kuva 19. Kattilat elokuussa. Tiitinen, A. 7.12.2023

Kuva 20. Lauhdesäiliö. Tiitinen, A. 7.12.2023

