



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jukka Suokas

SEKUNDÄÄRILÄMPÖTASE BIOTUOTE- TEHTAALLE

Tekniikka
2024

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jukka Suokas
Opinnäytetyön nimi	Sekundäärilämpötase biotuotetehtaalle
Vuosi	2024
Kieli	suomi
Sivumäärä	62
Ohjaaja	Mikko Pieskä

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda Metsä Fibren Äänekosken biotuotetehtaalle sekundäärilämmöstä tasenäyttö tehtaan automaatiojärjestelmään. Tasenäytöstä toivottiin mahdollisimman yksinkertaista siten että tärkeimmät sekundäärilämmön tuottajat ja kuluttajat löytyisivät yhdeltä sivulta automaatiojärjestelmästä. Tehtaan henkilöstö voi tutkia tasenäytön avulla sekundäärilämmön tuottajia ja kuluttajia sekä säätää tarvittaessa prosessia. Tasenäyttö toimii operaattoreille ja insinööreille työkaluna tehtaan energiatehokkuuden kehittämisessä.

Opinnäytetyössä kerrotaan Metsä Fibre Äänekosken biotuotetehtaan prosesseista ja määritellään sekundäärilämpö sekä kerrotaan työssä käytetyistä tutkimusmenetelmistä ja aineistoista. Työn lopussa syvennyttään tarkemmin biotuotetehtaan sekundäärilämpöjärjestelmään ja luodaan kerättyjen tietojen avulla sekundäärilämpötase biotuotetehtaan automaatiojärjestelmään. Metsäteollisuudessa on jo vuosien ajan panostettu energiatehokkuuteen, joten sekundäärilämmön hyödyntämisellä primäärienergian korvaajana nesteiden, kaasujen ja rakennusten lämmityksessä on merkittävä potentiaali energiatehokkuuden parantamisessa.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin luotua yhdelle sivulle Valmet DNA DCS-automaatiojärjestelmään tasenäyttö, josta löytyy Äänekosken biotuotetehtaan tärkeimmät sekundäärilämmön tuottajat ja kuluttajat. Lisäksi opinnäytetyössä selvitettiin sekundäärilämpötaseen kannalta oleelliset puuttuvat virtaus- ja lämpötilamittaukset, jotka asentamalla biotuotetehtaan sekundäärilämpötaseesta saataisiin kattavampi.

Avainsanat sekundäärilämpö, biotuotetehdas, tase, sellu

ABSTRACT

Author	Jukka Suokas
Title	Secondary Heat Balance for a Bioproduct Mill
Year	2024
Language	Finnish
Pages	62
Name of Supervisor	Mikko Pieskä

The objective of the thesis was to create a secondary heat balance display for the Metsä Fibre Äänekoski bioproduct mill in the mill's automation system. The aim was to design the display as simple as possible, allowing the most important secondary heat producers and consumers to be visible on a single page within the automation system. With the help of this balance display, the mill personnel can analyze the secondary heat producers and consumers and, if necessary, adjust the process. The balance display serves as a tool for operators and engineers to improve the energy efficiency of the mill.

The thesis provides an overview of the processes at the Metsä Fibre Äänekoski bioproduct mill and defines secondary heat, as well as details the research methods and materials used in the study. Towards the end of the thesis, the focus shifts to the bioproduct mill's secondary heat system, and based on the collected data, a secondary heat balance is created for the mill's automation system. The forest industry has invested in energy efficiency for many years and utilizing secondary heat as a substitute for primary energy in heating liquids, gases, and buildings has significant potential for improving energy efficiency.

As a result of the thesis, a single-page balance display was successfully created in the Valmet DNA DCS automation system, showcasing the most important secondary heat producers and consumers at the Äänekoski bioproduct mill. Additionally, the thesis identified missing flow and temperature measurements that are critical for the secondary heat balance. By installing these measurements, the secondary heat balance of the bioproduct mill could be made more comprehensive.

Keywords secondary heat, bioproduct mill, balance, pulp

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	10
2	METSÄ FIBRE ÄÄNEKOSKEN BIOTUTOETEHDAS.....	11
3	SULFAATTISELLUN TUOTANTOPROSESSI JA KEMIKAALIKIERTO	13
	3.1 Sellun tuotanto	13
	3.2 Kemikaalikierto	13
4	TYÖN TAVOITTEET	16
	4.1 Tutkimusmenetelmä ja aineisto	16
	4.2 Tutkimusongelma ja kysymykset	17
5	SEKUNDÄÄRILÄMPÖ.....	19
	5.1 Sekundäärilämmön käyttökohteet, lähteet ja talteenotto	20
	5.2 Sekundäärilämmön arvo	22
6	AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ.....	23
	6.1 Automaatiojärjestelmän tehtävät	23
	6.2 Automaatiojärjestelmän näytön suunnittelu	24
7	BIOTUOTETEHTAAN SEKUNDÄÄRILÄMPÖJÄRJESTELMÄ	26
	7.1 Sekundäärilämpöjärjestelmän vedet ja lauhteet	26
	7.2 Lämmin vesi (VLM).....	27
	7.3 Kuuma vesi (VKU).....	28
	7.4 VKU-kierto	30
	7.5 Sekundäärilauhteet ja likaislahde (VLS ja VLL)	31
	7.6 Tuottajat.....	37
	7.6.1 Haihuttamo ja mäntyöljykeittäjä.....	37
	7.6.2 Kaustisointi	38

7.6.3	Massatehdas	38
7.6.4	Apulauhdutin.....	39
7.7	Kuluttajat.....	39
7.7.1	Vesilaitos	39
7.7.2	Haihduuttamo, mäntyöljykeittäjä ja ARC	40
7.7.3	Kaustisointi	40
7.7.4	Kuivauskone	42
7.7.5	Massatehdas, puunkäsittely ja lämmitys	43
8	SEKUNDÄÄRILÄMPÖTASE.....	44
7.1	Tasenäyttö	48
8.1.1	Tasenäytön suunnittelu	48
8.1.2	Tasenäytön toteutus	49
8.1.3	Tasenäytön pohja	50
8.1.4	Tasenäytön kaavat	52
7.2	PUUTTUVAT MITTAUKSET	53
9	POHDINTA.....	56
	LÄHTEET	59

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Äänekosken biotuotetehtas (Metsä Group, 2024).	12
Kuvio 2. Höyryn tuottaminen soodakattilassa (KnowPulp, 2024).	14
Kuvio 3. Sulfaattiprosessin kemikaalien talteenottokierrot (KnowPulp, 2024). ..	15
Kuvio 4. Paperi- ja selluteollisuuden ylijäämälämmön potentiaali EU-maiden välillä (Papapetrou ja muut, 2018).	19
Kuvio 5. Lämmönvaihtimen toimintaperiaate (KnowPulp, 2024).	21
Kuvio 6. Automaatiojärjestelmän roolit (Tommila, 2011, s. 80, muokattu).	25
Kuvio 7. Haihduttamon lämminvesisäiliö ja taustalla yläosassa pintalauhdutin. 28	
Kuvio 8. Massatehtaan kuumavesisäiliö.	30
Kuvio 9. Haihduttamon kuumavesivaihdin 1 ja taustalla haihdutinyksikkö 7.	31
Kuvio 10. Sekundäärilauhdesäiliö 1 (VLS 1).	33
Kuvio 11. Sekundäärilauhdesäiliö 2 (VLS 2).	34
Kuvio 12. Likaislauhdesäiliö (VLL).	35
Kuvio 13. Kemiallisesti puhdistetun veden säiliö (VKP).	36
Kuvio 14. Lämpimän kemiallisesti puhdistetun veden säiliö (VLK).	37
Kuvio 15. Kuorenkaasutuksen kuumavesivaihdin.	42
Kuvio 16. Kuuman veden ja lämpimän veden valmistus biotuotetehtaalla (Lamassaari, 2024, s. 45, muokattu).	51
Kuvio 17. VKU-kierto ja VLM-valmistus biotuotetehtaalla.	52
Taulukko 1. Sekundäärilämmön käyttökohteet, lähteet ja talteenotto biotuotetehtaalla (Tapanen 2009, s. 25–27, muokattu).	22
Taulukko 2. Sekundäärilämpöjärjestelmän vedet.	26
Taulukko 3. Sekundäärilauhteen ja lämpimän veden käyttökohteet kaustistamalla.	41
Taulukko 4. VKU-haihduttamolta ja VLM-pintalauhduttimesta lämpötehot.	45

Taulukko 5. VKU-kuivaimelle ja VKU-kuorimolle sulatukseen lämpötehot.	46
Taulukko 6. Sekundäärilämmön tase-erot.	48
Taulukko 7. VKU-kierto paluu lämpöteho.	48
Taulukko 8. VKU-haihduttamolta ja VLM-pintalauhduttimesta lämpötehojen kaavat.	52
Taulukko 9. VKU-kuivaimen lämmönvaihtimelle ja VKU-kuorimolle sulatukseen lämpötehojen kaavat.	53
Taulukko 10. VKU-kierron paluuvirran lämpötehon kaava.	53
Taulukko 11. Koko tuotannon ja VKU-kierron tase-erojen kaavat.....	53
Taulukko 12. VKU:n valmistuksen puuttuvat mittaukset.....	54
Taulukko 13. VKU:n käyttökohteiden puuttuvat mittaukset.	54
Taulukko 14. VLM-veden valmistuksen puuttuvat mittaukset.	55
Taulukko 15. VLM-veden kulutuksen puuttuvat mittaukset.....	55

LYHENTEET

ADt	engl. <i>Air Dry tonne</i> , Ilmakuivattua tonnia
ARC	Ash ReCrystallization
DCS	engl. <i>Distributed Control System</i> , hajautettu ohjausjärjestelmä
EVI	viherlipeä
HMP	matalapainehöyry
VKU	kuuma vesi
VKP	kemiallisesti puhdistettu vesi
VLA	lauhde
VLK	lämmin kemiallisesti puhdistettu vesi
VLM	lämmin vesi
VMP	mekaanisesti puhdistettu vesi

VLL	likaislahde
VLS 1	sekundäärilahde 1
VLS 2	sekundäärilahde 2

1 JOHDANTO

Äänekosken biotuotetehtaalla syntyy prosessien sivutuotteena sekundäärilämpöä, jota pystytään hyödyntämään mm. rakennusten, nesteiden ja kaasujen lämmityksessä. Äänekosken biotuotetehtaalla ei ole vielä tasetta sekundäärilämmöstä. Työn tavoitteena on luoda sekundäärilämpötaseesta tasenäyttö biotuotetehtaan automaatiojärjestelmään, josta voi seurata sekundäärilämmön tuottajia ja kuluttajia ja tarvittaessa säätää prosessia. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Metsä Fibre Äänekosken biotuotetehtas.

Sekundäärilämpötaseen tehtävänä on helpottaa tehtaan henkilökunnan kuten operaattoreiden, insinöörien ja asiantuntijoiden sekundäärilämpöprosessien seuraamista ja kehittämistä. Lisäksi työssä selvitetään, mitä sekundäärilämpötaseen kannalta olennaisia virtaus- ja lämpötilamittauksia puuttuu.

Luvuissa 3, 4 ja 5 tarkastellaan biotuotetehtaan prosessia, tutkimusmenetelmiä sekä sekundäärilämmön määritelmää. Luvuissa 6 ja 7 tutustutaan tarkemmin biotuotetehtaan sekundäärilämpöjärjestelmään ja tutkitaan sekundäärilämmön tuottajia sekä kuluttajia. Lopuksi luvuissa 8 ja 9 luodaan sekundäärilämmöstä tasenäyttö Valmet DNA DCS-automaatiojärjestelmään ja tehdään johtopäätökset työn tuloksista.

2 METSÄ FIBRE ÄÄNEKOSKEN BIOTUOTOETEHDAS

Vuonna 1934 perustettu Metsäliitto Oy on toiminut osuuskuntana vuodesta 1947. Yhtiön omistaa yli 90 000 metsänomistajaa. Metsä Group muodostuu viidestä liiketoiminta-alueesta 28 toimintamaassa ja työllistää 9 500 työntekijää. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2023 6,1 miljardia euroa. (Metsä Group, 2024.)

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimii Metsä Fibre Äänekosken biotuotetehtas. Uusi biotuotetehtas aloitti tuotantonsa vuonna 2017 vanhan Äänekosken sellutehtaan jäljiltä. Kuviossa 1 näkyvä Äänekosken biotuotetehtas on suuri työnantaja Keski-Suomessa. Tehtaalla työskentelee n. 250 henkilöä ja oman henkilöstön lisäksi suorassa arvoketjussa työskentelee n. 2500 henkilöä. Biotuotetehtas tuottaa päätuotteenaan havu- ja koivusellua ja sen nimelliskapasiteetti on 1,3 milj. ADt (ilmakuivattua tonnia sellua) vuodessa. Äänekosken biotuotetehtaan sellua käytetään kartongin, pehmo- ja painopaperin sekä erikoistuotteiden raaka-aineena. (Metsä Group, 2024.)

Äänekosken tehdasta kutsutaan biotuotetehtaaksi, sillä se valmistaa sellun lisäksi useita biotuotteita, kuten mäntyöljyä, tärpähtiä, tuotekaasua, rikkihappoa sekä biopellettejä ja -kaasua. Se tuottaa merkittävästi enemmän biopohjaista sähköenergiaa kuin perinteiset sellutehtaat, eikä käytä fossiilisia polttoaineita. Puuraaka-aine hyödynnetään täysin, ja tuotannon sivuvirrat käytetään mahdollisimman tehokkaasti. Biotuotetehtas on 240-prosenttisesti sähköomavarainen eli tuottaa 2,4 kertaisesti biopohjaista sähköenergiaa verrattuna omaan kulutukseensa. Tehtaan sähköntuotantokapasiteetti vastaa 2,5 % koko Suomen sähkön tuotannosta. (Metsä Group, 2024.)



Kuvio 1. Äänekosken biotuotetehdas (Metsä Group, 2024).

3 SULFAATTISELLUN TUOTANTOPROSESSI JA KEMIKAALIKIERTO

3.1 Sellun tuotanto

Sulfaattisellun tuotantoprosessi alkaa puunkäsittelyssä. Puu sulatetaan tarvittaessa, minkä jälkeen se kuoritaan ja haketetaan. Hake syötetään paineistettuun keittimeen. Keittimessä hakkeen sekaan syötetään kuumaa höyryä sekä keittokemikaalia eli natriumhydroksidin (NaOH) ja natriumsulfidin (Na_2S) seosta, jota kutsutaan valkolipeäksi. Sulfaattikeitossa lämpötila on yleensä 150–170 °C. (KnowPulp, 2024.)

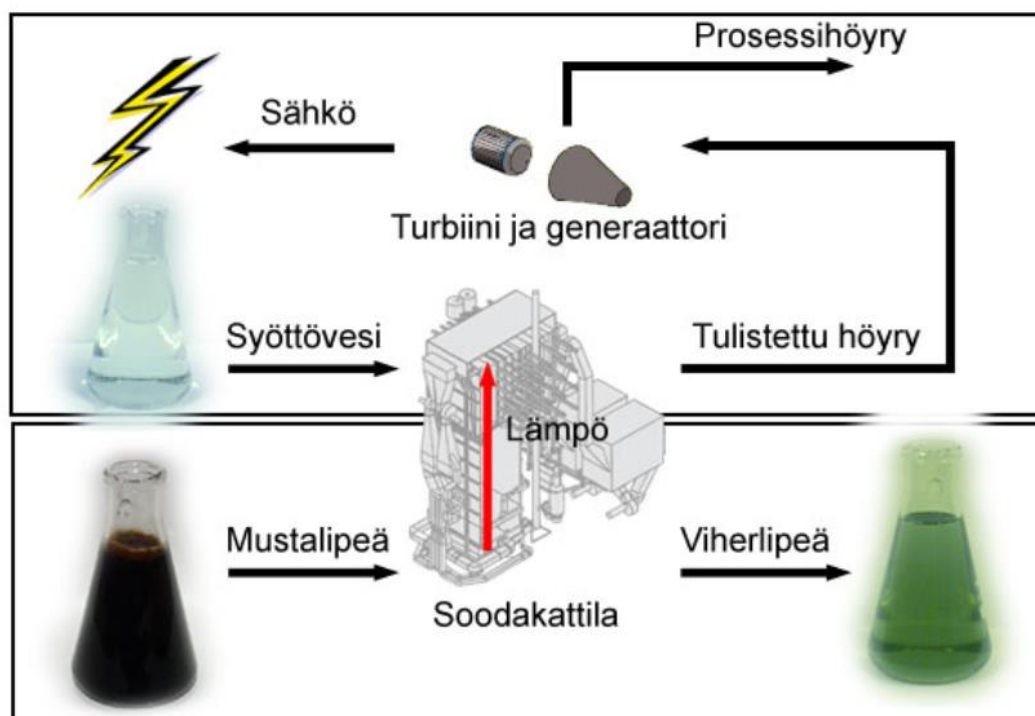
Keiton jälkeen massa pestään ja lajitellaan. Lajittelusta massa siirtyy valkaisuun. Valkaisusta massa ohjataan kuivauskoneelle, jossa se kuivataan ja paalataan sellupaaleiksi. (KnowPulp, 2024.)

3.2 Kemikaalikierto

Kuviossa 3 esitetty sulfaattiprosessin kemikaalien talteenottokierrot. Mustalipeä on keittimeltä tulevaa reagoinutta valkolipeää, johon on liennut puun yhdisteitä. Haihduttamalla mustalipeästä haihdutetaan vettä 75–85 % kuiva-ainepitoisuuden, jotta sen polttaminen soodakattilassa onnistuu. Haihduttamolta saadaan myös useita sivutuotteita kuten suopaa, metanolia ja tärpähtiä. Suovasta voidaan valmistaa palstoittamalla arvokasta mäntyöljyä. (KnowPulp, 2024.)

Haihduttamalla vahvamustalipeä väkevöidään polttolipeäksi, minkä jälkeen polttolipeä syötetään soodakattialle poltettavaksi. Soodakattilan tehtäviin kuuluvat keittokemikaalien ja lämmön talteenotto, orgaanisen aineksen polttaminen sekä höyryn ja sähkön tuottaminen. Kuviossa 2 on esitetty, miten höyryä valmistetaan soodakattilassa. Soodakattilassa poltossa mustalipeässä oleva rikki pelkistetään natriumsulfidiksi. Muussa muodossa oleva natrium muodostaa natriumkarbonaattia (Na_2CO_3), reagoiessaan hiilidioksidin kanssa. Kemikaalisula, joka sisältää natriumsulfidia, natriumkarbonaattia ja natriumsulfaattia (Na_2SO_4) valuu sula-

kourujen kautta ulos, minkä jälkeen se liuotetaan laihavalkolipeään. Laihavalkoli-
peän ja kemikaalisulan reagoidessa saadaan viherlipeää, joka ohjataan kaustista-
molle prosessoitavaksi. (KnowPulp, 2024.)



Kuvio 2. Höyryn tuottaminen soodakattilassa (KnowPulp, 2024).

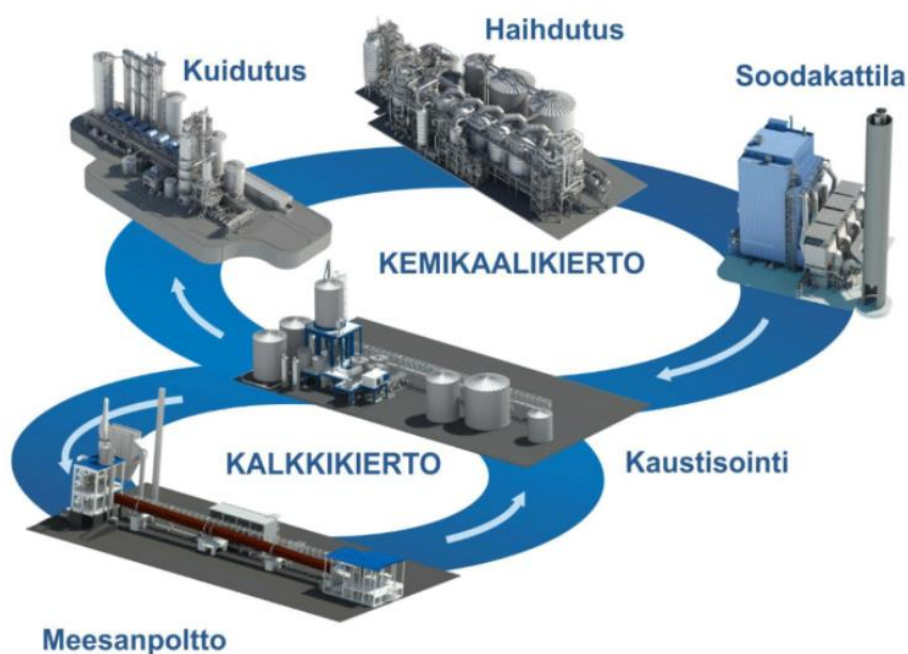
Kaustisoinnissa natriumkarbonaatista tehdään natriumhydroksidia, eli viherlipeä muutetaan valkolipeäksi, jota voidaan käyttää uudestaan keittämöllä. Viherlipeässä on liukenemattomia yhdisteitä, joita kutsutaan viherlipeäsakaksi. Sakka poistetaan viherlipeästä selkeyttämällä. Selkeyttimien jälkeen viherlipeä on valmis kaustisoitavaksi.

Kaustisoinnin reaktiovaiheet ovat:

-Sammutusreaktiossa poltettu kalkki kalsiumoksidi (CaO) reagoi viherlipeän veden kanssa muodostaen kalsiumhydroksidia (Ca(OH)_2). Reaktio vapauttaa runsaasti lämpöä.

-Kaustisointireaktiossa kalsiumhydroksidi reagoi hitaasti viherlipeässä olevan natriumkarbonaatin kanssa muodostaen natriumhydroksidia sekä kalsiumkarbonaattia (CaCO_3).

Kalkkimaidosta eli natriumhydroksidista erotetaan kalsiumkarbonaattia eli meesaa suodattamalla. Valkoliipeäsuotimen jälkeen valkoliipeä on valmis käytettäväksi uudestaan keitossa. Erotettu meesa poltetaan meesauunissa pesun ja kuivatuksen jälkeen. Meesauunissa polton jälkeen saadaan taas poltettua kalkkia eli kalsiumoksidia, jonka jälkeen kemikaalikierto on valmis. (KnowPulp, 2024.)



Kuvio 3. Sulfaattiprosessin kemikaalien talteenottokierrot (KnowPulp, 2024).

4 TYÖN TAVOITTEET

Työssä tutkitaan Äänekosken biotuotetehtaan sekundäärilämmön tuottajia ja kuluttajia. Työn tavoitteena on luoda sekundäärilämpötaseesta näyttösivu tehtaan automaatiojärjestelmään. Näyttösivulle lisätään sekundäärilämmön tuottajat ja kuluttajat, lisäksi näyttösivulle lasketaan lämpötehot saatavilla oleviin mittauksiin. Aiheen laajuuden vuoksi taseesta jätettiin sekundäärilauhteet sekä pienemmät sivuvirrat pois. Työn edetessä havaittiin, että kuuman ja lämpimän veden valmistuksessa sekä kulutuksessa ei ole kaikkia taseen kannalta tarvittavia virtausmittauksia. Tämän takia taseesta jouduttiin rajaamaan kyseiset mittaukset pois. Tarvittavat mittaukset taseen viimeistelemiseksi on esitetty taulukoissa 12, 13, 14 ja 15. Työssä keskitytään tehtaan suljettuun kuumavesikiertoon (VKU-kierto) sekä lämpimän veden (VLM) valmistukseen. Automaatiojärjestelmään luotu näyttösivu muodostaa kokonaiskuvan tehtaan sekundäärilämmön tuotannosta ja kulutuksesta.

4.1 Tutkimusmenetelmä ja aineisto

Työ toteutetaan määrällisenä eli kvantitatiivisena tutkimuksena, jossa tutkimus perustuu kohteen kuvaamiseen ja tulkitsemiseen numeroiden sekä tilastojen avulla. Määrällisessä tutkimuksessa keskitytään erilaisiin luokitteluihin, syy- ja seuraussuhteisiin, vertailuihin sekä ilmiöiden selittämiseen numeeristen tulosten perusteella. Määrällinen tutkimus sisältää monenlaisia laskennallisia ja tilastollisia analyysimenetelmiä. (Jyväskylän yliopisto, 2015.)

Aineistoa hankitaan verkkolähteistä, artikkeleista, tutkimuksista ja kirjallisuudesta. Lisäksi hyödynnetään työntekijöiden haastatteluja. Aineiston valinnassa painotettiin ajankohtaisia ja luotettavia lähteitä. Prosessien ymmärtämisessä hyödynnettiin Valmet DNA -automaatiojärjestelmää, tehtaan PI-kaavioita sekä operaattoreiden ja kantahenkilökunnan haastatteluja. Toimeksiantajan yksityisyyden suojan vuoksi työssä ei näytetä suoria kuvia tehtaan automaatiojärjestelmästä.

Kansainvälisestäikin tunnettua KnowPulp-oppimisympäristöä hyödynnetään tutkimuksessa. KnowPulp on ajankohtainen sekä tunnettu sivusto sellu- ja paperiteollisuudessa. Sitä käytetään laajasti korkeakouluissa sekä oppilaitoksissa. KnowPulp-oppimisympäristö on ollut käytössä jo 20 vuotta ja sitä päivittää sekä käyttää aktiivisesti Suomen suurimmat metsäyhtiöt kuten UPM Kymmene, Stora Enso ja Metsä Fibre. Lisäksi laitetoimittajat, kuten Valmet ja Andritz, ovat mukana KnowPulp-järjestelmän kehityksessä. (KnowPulp, 2024.)

4.2 Tutkimusongelma ja kysymykset

Tutkimusongelman määrittäminen on opinnäytetyön keskeinen vaihe, sillä se ohjaa koko tutkimusprosessia. Opinnäytetyö kuuluu tieteellisiin tutkimuksiin, joiden tavoitteena on vastata tutkimusongelmaan. Tämä vaatii huolellista ongelman määrittelyä. Alussa ongelma voi olla laaja ja epätarkka, joten sitä on tarpeen rajata toteutettavuuden varmistamiseksi. Liiallista rajausta on kuitenkin vältettävä, jotta tutkimuksen mahdollisuudet eivät kavennu liikaa. Tutkimusongelman tarkentaminen voi tapahtua tutkimuksen edetessä tai jopa sen loppuvaiheessa. (Kananen, 2015, s. 41–51.)

Esimerkkinä prosessia seurattaessa operaattori huomaa, että kuumaa vettä ei ole tarpeeksi saatavilla. Sekundäärilämpötaseen ollessa yhdellä sivulla Valmet DNA:n DCS-automaatiojärjestelmässä, operaattori voi helposti selvittää mikä osasto kuluttaa lämpöä tai onko jokin lämpöä tuottava osasto poissa toiminnasta.

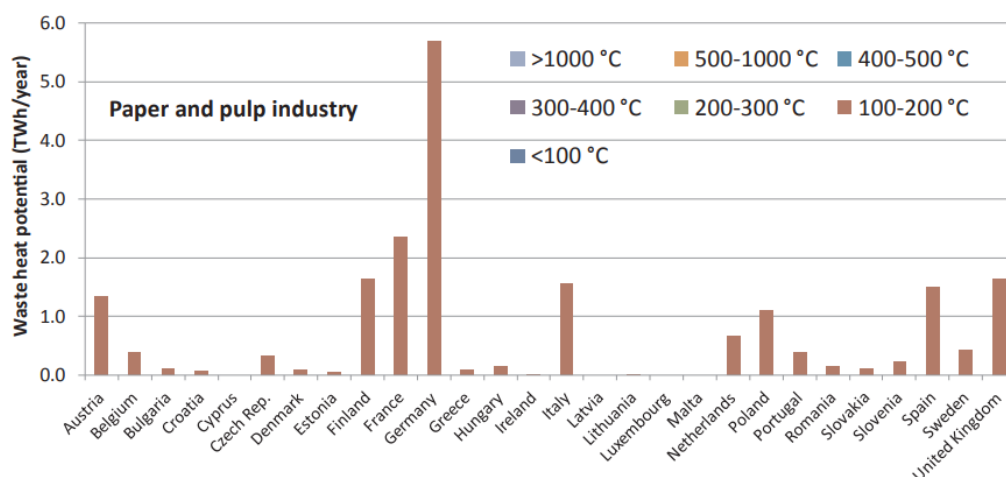
Ongelma voidaan muuntaa kysymyksiksi tutkimusprosessin helpottamiseksi. Kysymysten avulla voidaan keskittyä olennaiseen aineistoon ja näin löytää vastaukset, jotka ratkaisevat tutkimusongelman. (Kananen, 2015, s. 55.)

1. Paljonko sekundäärilämpöä tuotetaan ja kulutetaan tehtaalla?
2. Mistä sekundäärilämpöä saadaan ja mihin sitä kuluu?

3. Miten sekundäärilämmön tuotantoa ja kulutusta voidaan seurata?
4. Mitä mittauksia puuttuu, jotta kokonainen sekundäärilämpötase voitaisiin muodostaa?

5 SEKUNDÄÄRILÄMPÖ

Suomen teollisesta tuotannosta vapautuu runsaasti ylijäämälämpöä, jonka talteenotto voi parantaa energiatehokkuutta jopa 4 terawattitunnilla vuodessa. Ylijäämälämmön hyödyntäminen vähentää polttoaineiden tarvetta ja kasvihuonekaasupäästöjä. Lämpöä voidaan kerätä prosessi- ja savukaasuista, jäähdytysveistä sekä poistohöyryistä, erityisesti energiaintensiivisillä aloilla kuten metsä-, elintarvike-, metalli- ja kemianteollisuudessa. Kuviossa 4 on esitetty Paperi- ja selluteollisuuden ylijäämälämmön potentiaali EU-maiden välillä. Ylijäämälämpöä voidaan käyttää tuotantoprosesseissa nesteiden, kaasujen, raaka-aineiden sekä rakennusten lämmittämiseen. Lisäksi ylijäämälämpöä voidaan hyödyntää raaka-aineiden kuivatuksessa sekä kaukolämpönä. (Motiva, 2024.)



Kuvio 4. Paperi- ja selluteollisuuden ylijäämälämmön potentiaali EU-maiden välillä (Papapetrou ja muut, 2018).

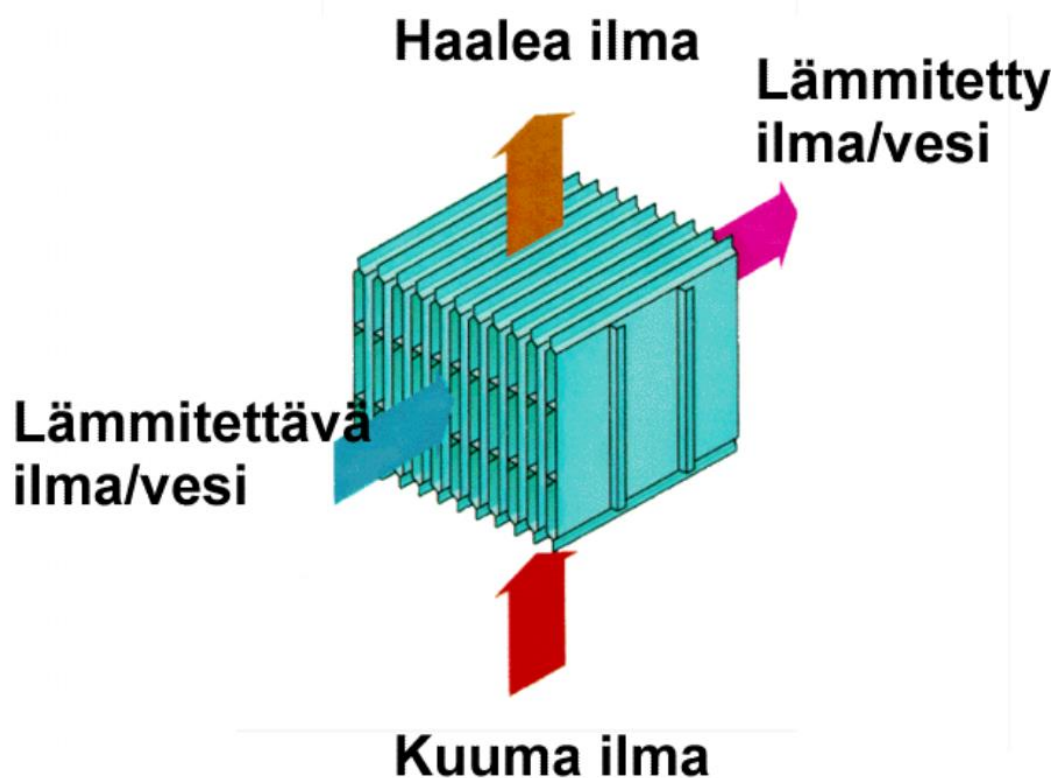
Teollisuudessa energia jaetaan primääri- ja sekundäärienergiaksi. Primäärienergiä voidaan syöttää suoraan jakeluun esimerkiksi polttoaineena. Selluteollisuudessa primäärienergiaksi lasketaan mm. puujätteet, väkevät hajukaasut, jäteliemet, voimalaitoksessa tuotetut höyryt ja kuumat vedet sekä paisunnassa tuotettu sähkö. (Ekono Oy, 1986.)

Biotuotetehtaalla suurin osa käytetystä energiasta on käyttökohteen jälkeen lämpöenergiaa eli sekundäärilämpöä. Toisiolämpö eli sekundäärilämpö olisi jätelämpöä, jos sitä ei otettaisi talteen. Valkaistua sulfaattisellua valmistavassa tehtaassa yli puolet höyryn muodossa käytetystä lämmöstä voidaan hyödyntää uudelleen. Lämmön uudelleen hyödyntäminen vähentää primäärilämmön käyttöä. Sekundäärilämpöä siirretään jakeluverkostossa sekundäärilauhteena sekä lämpimänä ja kuumana vetenä. (KnowPulp, 2024.)

Sekundäärilämpöä pyritään käyttämään samassa prosessissa, jossa sitä syntyy. Jos tämä ei ole mahdollista, kannattaa se käyttää saman tuotantolinjan toisessa prosessissa. Lämpöä ei voida käyttää yhtä tehokkaasti, jos se joudutaan siirtämään kauas omasta prosessista. (Tapanen, 2009, s. 30–31.)

5.1 Sekundäärilämmön käyttökohteet, lähteet ja talteenotto

Sekundäärilämpö siirretään höngistä, höyryistä, jäähdytys- ja jätevesistä, savukaasuista, kuivaus- sekä jäähdytysilmasta epäsuorien lämmönsiirtimien avulla kuuman tai lämpimän veden olomuotoon. Lämmönsiirtimen toimintaperiaate on esitetty kuviossa 5. Ensisijaisesti sekundäärilämpöä pyritään siirtämään puhtaaseen veteen. (Tapanen, 2009, s. 25–26.)



Kuvio 5. Lämmönvaihtimen toimintaperiaate (KnowPulp, 2024).

Biotuotetehtaan tärkeimmät sekundäärilämmön käyttökohteet, lähteet ja talteenottolaitteet on esitetty taulukossa 1. Tärkeimpiin sekundäärilämmön talteenottolaitteisiin kuuluvat lämmönsiirtimet, joilla lämpö siirretään veteen, haihduttamon pintalauhdutin, lämmöntalteenottolaitteisto kuivaimessa, vesien varastointiin tarkoitetut säiliöt sekä sekundäärilämmön toimittamiseen jakeluverkosto. Sekundäärilämmön lähteitä ja talteenottoa tarkasteltaessa on tärkeää huomioida, että Äänekosken biotuotetehtaalla ei ole käytössä savukaasupesureita, joita käytetään usein sellutehtailla soodakattilalla ja meesauunilla syntyvien savukaasujen lämmön talteenotossa. (Tapanen, 2009, s. 26.)

Taulukko 1. Sekundäärilämmön käyttökohteet, lähteet ja talteenotto biotuote-tehtaalla (Tapanen 2009, s. 25–27, muokattu).

Käyttökohteet	Lähteet	Talteenotto
Nesteiden, kaasujen, rakennusten ja raaka-aineiden lämmitys	Haihduttamon Pintalauhdutin	Lämmönsiirtimet
Massan pesut massatehtaalla	Haihduttamon sekundäärilauhteet	Haihduttamon sekundäärilauhteet ja lämpimän veden tuotanto
Puiden sulatus puunkäsittelyssä	Massatehtaan pusku- ja kaasuhöngät	Kuivaimen lämmöntalteenottolaitteet
Kuoren kuivatus	Massatehtaan jäähdyttimet	Säiliöt
	Valkaisu D0- ja EOP-vaihe	Jakeluverkosto
	Happidelignifiointi	
	Haihduttamo	

5.2 Sekundäärilämmön arvo

Siirrettäessä sekundäärilämpöä osastojen kesken on tärkeää huomioida sen kannattavuus. Siirrettäessä sekundäärilämpöä on sen oltava vastaanottavalle osapuolelle edullisempaa kuin jokin primäärienergianlähde, kuten höyry. Lämpöä luovuttavalle osapuolelle lämmön siirtämisen on oltava edullisempaa kuin sen hukkaaminen (Ekono, 1986). Sekundäärilämmön talteenotto edellyttää investointeja käyttökustannuksiin sekä laitteisiin. Tuotantolaitokselle, joka ei ole vielä investoinut sekundäärilämmön talteenottoon, suuret investoinnit laitteisiin ja käyttökustannukset voivat aiheuttaa riskitekijöitä. (Tapanen, 2009, s. 29.)

6 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Teollisuuden automaatio on prosessinohjaus- ja tietojärjestelmien hyödyntämistä tuotantoprosessien hallinnassa. Automaatioteknologian kehitys on mennyt eteenpäin isoin askelin viimeisten 40 vuoden aikana. Kasvua on vauhdittanut teknologian kehittyminen sekä käyttäjien lisääntyneet vaatimukset. Teollisuusautomaatio on monipuolinen ala, joka yhdistää prosessit, koneet, elektroniikan, ohjelmistot ja tietojärjestelmät ihmisen kanssa yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Näihin tavoitteisiin kuuluu esimerkiksi tuotannon tehostaminen, laadun parantaminen, kustannusten vähentäminen, ympäristöpäästöjen minimointi sekä joustavuuden maksimoiminen. (Mehta & Reddy, 2015, s. 1.)

Moderneilla tuotantolaitoksilla tietotekniikkaan perustuva automaatio on välttämättömyys prosessien tehokkaalle toiminnalle. Automaation hyödyntäminen parantaa tuotantolaitoksien energiatehokkuutta säästämällä energiaa ja materiaaleja. Lisäksi automaation hyödyntäminen keventää ihmisen fyysistä kuormaa ja vähentää vaaratilanteita työtehtävissä. (Tommila, 2011, s. 7.)

6.1 Automaatiojärjestelmän tehtävät

Automaatiojärjestelmässä prosessia tyypillisesti ohjataan prosessitietoa sisältävän näyttöjärjestelmän avulla. Koko prosessia on mahdotonta sisällyttää yhdelle sivulle, joten automaatiojärjestelmän näytöt on jaettu hierarkkiseen järjestykseen prosessien, osaprosessien ja laitteiden perusteella. Isoissa tuotantolaitoksissa, kuten Äänekosken biotuotetehtaalla, näyttöjärjestelmä sisältää satoja näyttösivuja, mutta pienemmissä tuotantolaitoksissa näyttösivujen määrä voi olla alle kymmenen. (Tommila, 2011, s. 25–27.)

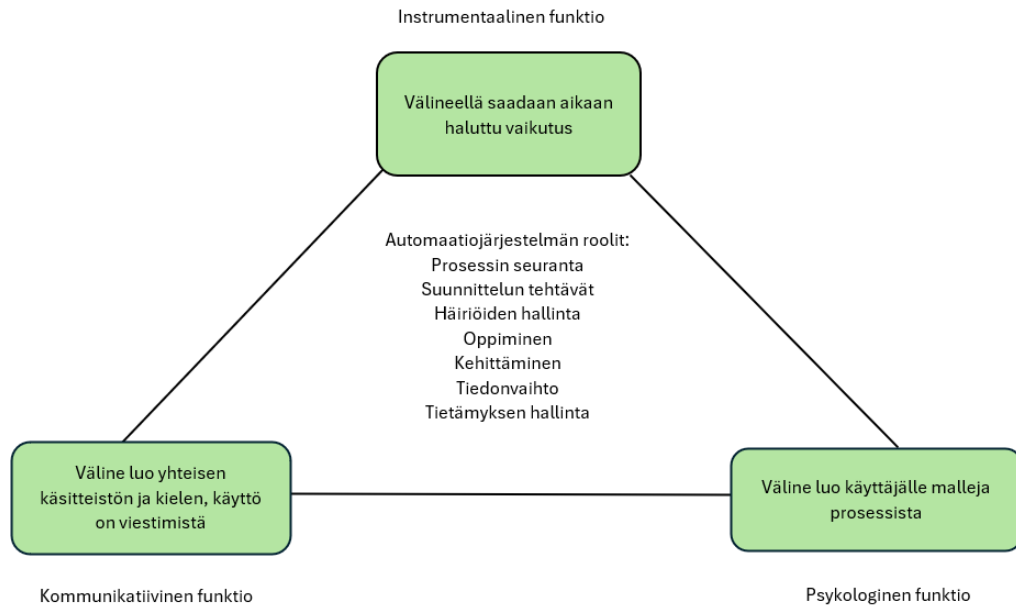
Automaatiojärjestelmän näyttöjen suunnittelu ja luominen vaatii ymmärrystä niiden tehtävistä. Automaatiojärjestelmän tehtävät ja roolit on esitetty kuviossa 6. Tehtävät on tyypillisesti jaoteltu kolmeen osaan, jotka ovat instrumentaalinen,

psykologinen ja kommunikatiivinen funktio. Instrumentaalisella funktiolla ohjataan prosessia ja vaikutetaan asioihin. Psykologisessa funktiossa ihmiselle muodostuu tietynlainen kuva automaatiojärjestelmän prosessista. Kommunikatiivisessa funktiossa automaatiojärjestelmää käyttävät operaattorit ja insinöörit muodostavat yhteisen kielen, jonka avulla voi symbolien ja termien avulla keskustella prosessiin liittyvissä asioissa. Kaikki kolme roolia riippuvat roisistaan. Jos yksi rooli ei ole kunnossa, myös muut roolit kärsivät. (Tommila, 2011, s. 79–81.)

6.2 Automaatiojärjestelmän näytön suunnittelu

Automaatiojärjestelmän näyttöä suunnitellessa usein huomaa, että vaatimukset ja suositukset ovat ristiriidassa. Tehokkuuden puolesta näytön tulee olla mahdollisimman yksinkertainen. Kuitenkin turvallisuuden, ohjattavuuden ja opittavuuden näkökulmasta katsottuna voidaan sivulle joutua täyttämään paljonkin ylimääräistä tietoa. Ylimääräinen tieto taas heikentää näyttösivun tehokkuutta. (Tommila, 2011, s. 103.)

Käyttäjryhmän painotukset vaikuttavat mihin osa-alueeseen suunnittelija panostaa eniten. Näyttösivun suunnittelijan tiedossa tulee olla käytettävyyksperiaatteiden lisäksi vaatimukset ja suunnittelusäännöt. Tyypillistä on, että järjestelmiin on toimialakohtaisia tarkistuslistoja, jotka ottavat huomioon toimialan erityispiirteet. (Tommila, 2011, s. 103.)



Kuvio 6. Automaatiojärjestelmän roolit (Tommila, 2011, s. 80, muokattu).

7 BIOTUOTETEHTAAN SEKUNDÄÄRILÄMPÖJÄRJESTELMÄ

7.1 Sekundäärilämpöjärjestelmän vedet ja lauhteet

Sellunvalmistuksessa on perinteisesti käytetty runsaasti vettä, jota on hyödynnetty massan ja kemikaalien kuljetuksessa sekä orgaanisten epäpuhtauksien pesemisessä pois välituotteista. Vesi on myös mahdollistanut välituotteiden ja energian siirtämisen prosessista toiseen. 1970-luvun alussa vanhaa tekniikkaa käyttävä sellutehdas saattoi kuluttaa prosessivettä jopa 350 m³/ADt, kun taas nykyteknologian ansiosta vedenkulutus on saatu laskettua alle 20 m³/ADt tasolle. Äänekosken biotuotetehtaan tavoitteena on kuluttaa vettä vain noin 14 m³/ADt vuoteen 2030 mennessä. (KnowPulp, 2024.)

Raakavettä puhdistetaan mekaanisesti selkeyttämällä ja suodattamalla, jolla siitä saadaan suurimmat partikkelit pois. Tarvittaessa vesi desinfioidaan putkistojen yläpidon takia. Jos tehdas saa käyttöönsä riittävän kirkasta raakavettä, voidaan käyttää mekaanisesti puhdistettua vettä (VMP), tämä kuitenkin ei riitä tiettyihin prosessin osiin kuten valkaisuun ja kuivauskoneelle. Osa raakavedestä puhdistetaan mekaanisen käsittelyn lisäksi humusaineita poistavalla kemikaalikäsittelyllä, jolloin saadaan kemiallisesti puhdistettu vettä (VKP). Tuotetun sellun vaaleus määrittää käytetyn veden kirkkausvaatimukset. Sekundäärilämpöjärjestelmän vedet ja niiden tavoitelämpötilat ovat esitetty taulukossa 2. (KnowPulp, 2024.)

Taulukko 2. Sekundäärilämpöjärjestelmän vedet.

	LYHENNE	TAVOITELÄMPÖTILA
Kuuma vesi	VKU	70 °C
Lämmin kemiallisesti puhdistettu vesi	VLK	45 °C
Kemiallisesti puhdistettu vesi	VKP	25 °C
Lämmin vesi	VLM	45 °C
Sekundäärilauhde 1	VLS 1	80 °C
Sekundäärilauhde 2	VLS 2	60 °C
Likaislauhde	VLL	65 °C

7.2 Lämmin vesi (VLM)

Lämmintä vettä (VLM) valmistetaan haihduttamon pintalauhduttimessa, jossa haihdutinyksiköiden viimeisten vaiheiden kuumilla höngillä lämmitetään 45–50 °C lämpötilaan mekaanisesti puhdistettua vettä (VMP). Lämmin vesi ohjataan lämminvesisäiliöön, josta sitä voidaan hyödyntää mm. kuivatuskoneen kierrossa lisävetenä, kuuman veden valmistuksessa, happidelignifioinnissa sekä haihduttamalla ja kaustistamalla.

Haihduttamon lämminvesisäiliö on tilavuudeltaan 300 m³. Kuviossa 7 näkyvän lämminvesisäiliön takana näkyy pintalauhdutin, jossa haihduttamon viimeisen vaiheen höngät lauhdutetaan. Lisäksi VLM-vettä saadaan haihduttamon laihamustalipeän jäähdyttimeltä, jossa keittämöltä tulevaa mustalipeää jäähdytetään VMP-vedellä. Pintalauhduttimesta lämmin vesi ohjataan lämminvesisäiliöön. Säiliö pyritään pitämään 45 °C tasolla.

Kun osastoilla ei ole lämpimälle vedelle käyttöä, lämminvesisäiliö kaataa yli puhasvesikanaaliin. Kun muilla osastoilla tarvitaan lämmintä vettä, käynnistetään pumppaus ja lämmin vesi johdetaan käyttökohteisiin (Haihduttamon käyttö- ja huolto-ohje, 2016). Operaattoreiden haastatteluiden ja pinnanmittauksen historiatrendin mukaan VLM-säiliö kaataa suurimman osan ajasta yli. Haihduttamon ollessa pysähdyksissä saattaa VLM-säiliö käydä melkein tyhjänä.



Kuvio 7. Haihuttamon lämminvesisäiliö ja taustalla yläosassa pintalauhdutin.

7.3 Kuuma vesi (VKU)

Kemiallisesti puhdistetusta lämpimästä vedestä (VLK) tuotettu kuuma vesi ohjataan massatehtaan kuumavesisäiliöön (VKU-säiliö). Kuviossa 8 näkyvä VKU-säiliö on tilavuudeltaan 420 m³. Kuumaa vettä pumpataan kuumavesipumpulla kuuman veden lämmittimelle, jonka tehtävänä on varmistaa, että VKU-veden lämpötila saavuttaa vaaditun 65 °C asetusrvon. Jos veden lämpötila on alle asetusrvon, lämmitetään vettä automaattisesti matalapainehöyryn (HMP) avulla. Ylimääräinen VKU-vesi ohjataan haihuttamon VKU-lämmönvaihtimiin, mistä se kiertää kuorenkaasutuksen tai kuorimon kautta takaisin VLK-säiliöön. VLK-säiliöstä vesi

ohjataan takaisin massatehtaan lämmönvaihtimille. (Lammasaari, 2024, s. 50–52.)

VKU-vettä saadaan prosessivirtausten jäähdytyksen tuloksena massatehtaan prosesseista. VKU-veden keskeisin etu on sen lämpötila. Koska VKU-vesi on jo valmiiksi kuumaa, sillä voidaan nostaa prosessien lämpötilaa. Näin vettä ei tarvitse lämmittää uudelleen höyryllä, jolloin säästynyt höyry voidaan käyttää sähköntuotantoon (Lammasaari, 2024, s. 50). Kuumen veden valmistuksessa käytetään pääasiassa VLK-vettä. VKU-vettä voidaan tuottaa myös kaustistamon viherlipeäjäähdyttimellä, kuivatuskoneella ja haihuttamon viimeisten vaiheiden höyryllä. Sellutehtailla voidaan tuottaa kuumaa vettä meesauunin ja soodakattilan savukaasupesureiden lämmöllä. Äänekosken biotuotetehtaalla ei ole savukaasupesureita, joten suurin osa kuumasta vedestä tulee massatehtaan prosessien sivutuotteena sekä VKU-kierrosta.



Kuvio 8. Massatehtaan kuumavesisäiliö.

7.4 VKU-kierto

Työssä keskitytään tarkemmin tehtaan suljettuun kuumavesikiertoon (VKU-kierto). Biotuotetehtaan VKU-kierrossa lämmin kemiallisesti puhdistettu vesi (VLK) ohjataan VLK-säiliöstä haihduttamon kuumavesivaihtimille. Kuviossa 9 on esitetty kuumavesivaihdin 1, taustalla kuviossa näkyy haihdutinyksikkö 7. VKU-kiertoon haihduttamon kuumavesivaihtimille voidaan myös ohjata kuumaa vettä (VKU) suoraan massatehtaan VKU-säiliöstä. Haihduttamon kuumavesivaihtimien jälkeen vesi on VKU-vettä, joka on lämmöltään noin 100 °C. VKU-vesi jatkaa kiertoaan kuoren kuivaimen lämmönvaihtimelle, jossa VKU-vedellä lämmitetään lämmönvaihtimella glykolivettä, jota käytetään kuoren kuivatuksessa. Kuivatusta kuoresta valmistetaan tuotekaasua polttoaineeksi meesauuniin. Lisäksi VKU-kierron kuumaa

vettä voidaan myös ohjata puunkäsittelyyn kuorimolle. Kuorimolla kuumaa vettä käytetään kuorintalinjojen sulatuskuljettimilla, jossa puita sulattamalla saadaan parempia kuorinta- ja haketustuloksia. VKU-kierron lopuksi vesi ohjataan takaisin VLK-säiliöön, jonka jälkeen VKU-kierto alkaa alusta.



Kuvio 9. Haihuttamon kuumavesivaihdin 1 ja taustalla haihdutinyksikkö 7.

7.5 Sekundäärilauhteet ja likaislahde (VLS ja VLL)

Haihuttamalla syntyy sekundäärilauhteita 8–9 m³/ADt. Nykyään prosessin ollessa suljettu, lauhdeiden puhtauteen ja uudelleenkäyttöön on alettu kiinnittää

huomiota. (KnowPulp 2024). Kuumaa vettä syntyy haihdutinyksiköiden kuumien hönkien lämmittäessä VLK-vettä. Kun lämpö on siirtynyt höngistä veteen, syntyy sekundäärilauhdetta hönkien lauhtuessa, jonka jälkeen ne ohjataan paisunta-astian kautta sekundäärilauhdesäiliöihin. Pintalauhduttimessa haihdutinyksiköiden viimeisten vaiheiden hönkien lämmittäessä mekaanisesti puhdistettua vettä, saadaan lämmintä vettä. Kuumat höngät lauhtuvat pintalauhduttimessa ja ne ohjataan paisunta-astian kautta lauhdesäiliöihin. Lauhteet on jaoteltu puhtautensa perusteella VLS 1, VLS 2, ja VLL säiliöihin. VLS 1 eli sekundäärilauhde 1 on lauhteen puhtain jae ja sitä ohjataan primäärilauhdepumpulta sekä likaislauhteen esilämmittimeltä VLS 1 säiliöön. VLS 1 säiliö on tilavuudeltaan 503 m³ ja se pyritään pitämään 80 °C tasolla.



Kuvio 10. Sekundäärilauhdesäiliö 1 (VLS 1).

Sekundäärilauhteita ei ohjata jätevedenpuhdistamolle, vaan ne hyödynnetään prosessin eri vaiheissa, kuten ruskean massan pesussa ja kaustistamolla. Haihduttamalla sekundäärilauhteita käytetään haihdutinyksiköiden ja pisaranerotimien pesussa. Sekundäärilauhteita käytetään myös tuhkan liuotusäiliössä liuottimena ja ARC-laitoksella tuhkalingsossa. Sekundäärilauhteilla on myös energia-arvoa niiden lämpötilan ollessa yleensä yli 60 °C. VLS 2 on lauhteen toiseksi puhtain jae. Kuviossa 11 näkyvä VLS 2 säiliö on tilavuudeltaan 302 m³ ja sen lämpötavoite on 62 °C.



Kuvio 11. Sekundäärilauhdesäiliö 2 (VLS 2).

Kuviossa 12 näkyvä likaislahdesäiliö (VLL) on tilavuudeltaan 1208 m³ ja se pyritään pitämään 65 °C tasolla. Likaislahdetta saadaan viimeisistä haihdutinyksiköistä, laimeiden hajukaasujen pesurilta, massatehtaalta, tärpättidekanterista, rikkihappolaitokselta, soodakattilalta ja vesilukkoastialta. Likaislahdetta puhdistetaan strippauskolonnissa ja sitä voidaan myös ohjata vuotolipeäsäiliöön sekä metanolialueelle.



Kuvio 12. Likaislahdesäiliö (VLL).

6.6 Kemiallisesti puhdistettu vesi

Kemiallisesti puhdistetun veden kierto ja kuuman veden tuotanto ovat keskeisiä osia biotuotetehtaan sekundäärilämpöjärjestelmää, sillä massatehtaan kuuma vesi (VKU) saadaan pääasiassa vedenkäsittelylaitokselta, joka tuottaa kaiken biotuotetehtaan tarvitseman mekaanisesti puhdistetun veden (VMP) sekä kemiallisesti puhdistetun veden (VKP). Kuviossa 13 näkyvä vedenkäsittelylaitoksella sijaitseva VKP-säiliö on tilavuudeltaan 2000 m³.



Kuvio 13. Kemiallisesti puhdistetun veden säiliö (VKP).

Kemiallisesti puhdistettu vesi valmistetaan mikroflotaatiolla ja hiekkasuodatuksella. Mekaanisesti puhdistettuun veteen lisätään polyalumiinikloridia (PAC) saostuskemikaalina, ja saostusvaiheen pH-tasoa säädetään tasaiseksi natriumhydroksidin (NaOH) avulla. Saostuksen jälkeen tapahtuu mikroflotaatiovaihe, jossa pinnalle muodostunut liete poistetaan. Flotaatiovaiheesta vesi ohjataan hiekkasuodatukseen ja lopuksi se pumpataan veden lämpötilan mukaan joko kylmän (VKP) tai lämpimän kemiallisesti puhdistetun veden (VLK) säiliöön. Kahden kemiallisen veden valmistuslinjan erottaa niiden lämpötila: toisessa linjassa veden lämpötila on noin 20 °C ja toisessa noin 45 °C. Massatehtaan vesi pumpataan kuvioissa 14 näkyvästä VLK-säiliöstä VKU-säiliöön. VLK-säiliö on tilavuudeltaan 2000 m³.



Kuvio 14. Lämpimän kemiallisesti puhdistetun veden säiliö (VLK).

7.6 Tuottajat

7.6.1 Haihduttamo ja mäntyöljykeittämo

Haihduttamolta saadaan lämmintä vettä (VLM), kun mekaanisesti puhdistettua vettä (VMP) pumpataan pintalauhduttimeen. Pintalauhduttimessa höyry lauhtuu ja lämmin vesi ohjataan lämminvesisäiliöön. Sekundäärilauhdetta syntyy haihdutinyksiköiden 2–7 ja pintalauhduttimen päälauhdutinosissa. Likaislauhdetta syntyy

haihdutinyksiköiden 5–7 ja pintalauhduttimen jälkilauhdutusosissa. Lauhde palautetaan lauhdelinjaan (VLA).

7.6.2 Kaustisointi

Lämmintä vettä (VLM) saadaan laimeiden hajukaasujen pesurin jäähdyttimellä, josta lämmin vesi johdetaan VLM-linjaan. Viherlipeää jäähdytetään lämpimällä vedellä viherlipeäjäähdyttimellä. Kun viherlipeän lämpö siirretään VLM-veteen, jäähdyttimeltä saadaan kuumaa vettä, jota käytetään meesasuotimella sekä puunkäsittelyssä kuorimolla puiden sulatukseen talvella, kun pelkkä sekundäärilauhde ei riitä.

7.6.3 Massatehdas

Kuitulinjalla kuumaa vettä saadaan pesulipeän jäähdyttimeltä, väkevien hajukaasujen jäähdyttimeltä, valkaisuun D0-vaiheesta, happidelignifioinnista ja valkaisuun EOP-vaiheesta.

Väkevien hajukaasujen jäähdyttimellä käytetään kemiallisesti puhdistettua vettä (VKP) kiehuttimella syntyvien hajukaasujen jäähdytyksessä. Lauhtuneet hajukaasut ohjataan tärpättidekanteriin. Dekanterissa tärpätti kevyempänä aineena nousee likaislauhteen seasta pinnalle, josta se kuoritaan varastosäiliöön. Jäähdyttimessä VKP-vedestä on lämmönsiirron ansiosta saatu VKU-vettä. VKU-vesi ohjataan VKU-säiliöön. Pesulipeän jäähdyttimellä jäähdytetään keittimen huuhteluun tarkoitettua pesulipeää VLK-vedellä. Jäähdyttimeltä saatu VKU-vesi ohjataan VKU-säiliöön. (Lamassaari, 2024, s. 46.)

Valkolipeän hapetusreaktoreilla happidelignifiointivaiheessa ja valkaisussa käytetään VLK-vettä hapetusreaktorin jäähdyttämisessä. Valkolipeä sisältää rikkiyhdisteitä kuten natriumsulfidia (Na_2S). Rikkiyhdisteet ovat haitallisia massanvalmistuksessa ja happidelignifioinnissa. Hapetusreaktorissa lisätään happea valkolipeään. Happi vähentää rikkipitoisuutta, mutta ei poista sitä kuitenkaan kokonaan vaan muodostaa natriumsulfaattia (Na_2SO_4). Natriumsulfaatti ei kuitenkaan ole yhtä

haitallista prosessille kuin natriumsulfidi. Hapen reagoidessa valkolipeän kanssa syntyy eksoterminen reaktio eli vapauttaa lämpöä, joka siirretään VLK-veteen. Reaktorista poistuva vesi on VKU-vettä, joka ohjataan VKU-säiliöön. (Lammassaari, 2024, s. 47.)

VKU-vettä saadaan myös valkaisu happamien jätevesien jäähdyttimillä. Jätevesiä tulee valkaisuun D0- ja D1-vaiheiden DD-pesureilta. D0- JA D1 vaiheissa käytetyn klooridioksidin (ClO_2) takia sellun pesusta saatu pesusuodos on hapanta. Hapan pesusuodos ohjataan jäähdyttimeltä jätevedenpuhdistamolle. 78 °C Pesusuodoksen lämpötilaa jäähdytetään 67 °C tasolle ennen jätevedenpuhdistamolle ohjaamista. Jäähdyttimellä lämmön siirrettyä VLK-veteen saadaan VKU-vettä, joka ohjataan VKU-säiliöön. (Lammassaari, 2024, s. 47–48.)

7.6.4 Apulauhdutin

Apulauhdutinta voidaan käyttää tarvittaessa, jos turbiini ei ole käytössä. Apulauhduttimella voidaan lisätä lämmönkulutusta ja tasata muutoksia matalapainehöyryverkossa. Apulauhduttimella voidaan myös valmistaa lämmintä vettä matalapainehöyryn avulla, jos lämpimästä vedestä on pulaa. Lämmin vesi ohjataan haihduttamon lämminvesisäiliöön.

7.7 Kuluttajat

7.7.1 Vesilaitos

Vesilaitoksella on käytössä kylmän ja lämpimän veden linjat. Kylmästä linjasta tehdään kattilavettä ja lämpimässä linjassa virtaa kemiallisesti puhdistettua lämmintä vettä (VLK). Lämpötilan säädössä saostuksessa käytetään lämmintä vettä (VLM). VLM-vedellä kemiallisesti puhdistetun veden (VKP) lämpötilaa säädetään 20–25 °C ja VLK-veden lämpötila 35–45 °C tasolle. Hiekkasuodatuksen kylmään linjaan ohjataan VKP-vettä ja lämpimään linjaan VLK-vettä.

7.7.2 Haihuttamo, mäntööljykeittäjä ja ARC

Haihuttamalla käytetään sekundäärilauhdetta haihdutinyksiköiden ja pisaronerottimien pesuun. Haihuttamon yhteydessä on myös ARC-kloorinpoistolaitos, jonka tarkoituksena on poistaa vierasaineita kemikaalikierrosta sekä ottaa ne talteen. Soodakattilalla sijaitsevassa tuhkan liuotussäiliössä osa sähkösuodintuhkasta liuotetaan sekundäärilauhteeseen siten että siitä tulee nestemäistä. Liuos johdetaan haihuttamalla sijaitsevaan ARC-laitokseen, jossa sitä uudelleen kiitetään takaisin tuhkaksi. Lopuksi liuos johdetaan selkeyttimen kautta tuhkalinngolle, jossa liuos pestään sekundäärilauhteella, minkä jälkeen se ohjataan tuhka-sekoitussäiliön kautta vahvalipeäsäiliöön.

Lämmintä vettä (VLM) käytetään strippauskolonnin jälkilauhduttimessa, laimeiden hajukaasujen käsittelyssä, syöttölipeäsäiliöissä sekä mäntööljykeittäjällä jäähdytykseen.

7.7.3 Kaustisointi

Kaustistamalla sekundäärilauhteelle ja lämpimälle vedelle on useita käyttökohteita, jotka on esitetty taulukossa 3. Kuumalla vedellä (VKU) lämmitetään glykolivettä kuviossa 15 näkyvässä VKU-lämmönvaihtimessa. VKU-vaihtimesta kuumaa glykolivettä ohjataan kuoren kuivatukseen lämmönvaihtimille. Kuivatusta kuoresta valmistetaan kuorekaasuttimessa tuotekaasua, jota käytetään öljyn ja maakaasun sijasta polttoaineena meesauunissa. Lisäksi glykolivettä käytetään kuorekaasuttimen pohjatuhkan käsittelyssä sekä polttoaineen tunkijaruuveissa jäähdytysvetenä. Kuuman veden hyödyntäminen kuoren kuivatuksessa vähentää tehtaan matalapainehöyryn käyttöä. Höyryn käyttäminen vesien lämmitykseen on suoraan pois tehtaan omasta energian- ja sähköntuotannosta. Matalapainehöyryn käytön vähentäminen vesien lämmityksessä on tehokas tapa parantaa prosessin energiatehokkuutta.

Taulukko 3. Sekundäärilauhteen ja lämpimän veden käyttökohteet kaustistamolla.

Sekundäärilauhde (VLS)	Lämmin vesi (VLM)
Valkolipeäsuotimen pesu	Viherlipeäjäähdytin
Viherlipeäsakan käsittely	Happopesu
Kalkin sammutin	EVI polymeeriyksikkö
Selkeyttimet	Sakkapolymeeriyksikkö
Varastosäiliöt	Meesasuotimen CPR
Meesasuodin	Kuorenkuivaimen viiran pesu
Meesan lietto ja tiheyden säätö	



Kuvio 15. Kuorenkaasutuksen kuumavesivaihdin.

7.7.4 Kuivauskone

Massatehtaalta ohjataan kuumaa vettä kuivauskoneen lämminvesisäiliöön. Lämminvesisäiliöstä vettä ohjataan korkeapaine- ja matalapainepesuihin sekä kuumavesilevittimelle. Pesuilla voidellaan ja pestään kuivauskoneen viiraa sekä huopaa. Lämmintä vettä käytetään myös kuivauskoneen reunanauhojen leikkauksessa. Häiriötilanteissa kuivauskone ei pysty palauttamaan vettä, jolloin kuumasta vedestä voi olla pulaa massatehtaalla.

7.7.5 Massatehdas, puunkäsittely ja lämmitys

Eniten kuumaa vettä (VKU) massatehtaalla kuluu valkaisu pesuihin, jossa sillä pestään sellua. Lisäksi kuumaa vettä ohjataan massatehtaat hartsisaippuasäiliöön, talkkivarastosäiliöön, kiehuttimeen ja ruskean massan varastosäiliöön. Kuivauskoneen häiriötilanteessa esimerkiksi ratakatkon sattuessa kuivauskone ei pysty palauttamaan kiertovettä massatehtaalle, jolloin massan pesuissa käytettävää kuivauskoneelta tulevaa kiertovettä ei voida käyttää. Tällöin kiertovettä on korvattava massatehtaan VKU:lla.

Puiden sulatuksessa käytetään sekundäärilauhdetta. Kylminä kuukausina pelkkä lauhde ei riitä puiden sulattamiseen, jolloin kuorimolle ohjataan kuumaa vettä VKU-kierrosta sekä kaustistamon viherlipeäjähdyttimeltä.

Sekundäärilämmön hyödyntäminen lämmityksessä on tehokas tapa vähentää primäärienergian käyttöä ja parantaa tehtaan energiatehokkuutta. Tehtaalla kuumalla vedellä lämmitetään glykolipohjaista kiertoliuosta, joka voidaan hyödyntää rakennusten lämmityksessä.

8 SEKUNDÄÄRILÄMPÖTASE

Taseen muodostamista varten etsittiin Valmet DNA DCS automaatiojärjestelmästä virtaus- ja lämpötilamittausten positioita, joiden avulla dataa kerättiin Wedge Fibre 95 järjestelmästä. Wedge valikoitui datankeruuohjelmaksi sen helpon käytettävyyden vuoksi. Lisäksi Wedgellä voidaan helposti tutkia dataa aiemmilta vuosilta. Tarkasteluajankohdaksi valikoitui 12 kuukauden keskiarvo 1.1.2023 – 1.1.2024. Massatehtaan kuuman veden valmistuksesta ja kulutuksesta ei pystytä muodostamaan tasetta sillä virtausmittaukset puuttuvat. Kuuman veden valmistus on olennainen osa biotuotetehtaan sekundäärilämpöjärjestelmää, joten kokonaista tasetta sekundäärilämmöstä ei voida muodostaa. Myös lämpimän veden käyttökohteista puuttuu virtausmittaukset. Kuuman ja lämpimän veden puuttuvat mittaukset löytyvät taulukoista 12, 13, 14, 15.

Sekundäärilämpötaseen muodostamisessa määritettiin lämpöteho VKU-kierron ja lämpimän veden tuotannolle sekä kulutukselle. Lämpötehon määrittäminen on oleellista, jotta voidaan arvioida, kuinka paljon sekundäärilämpöä voidaan hyödyntää prosesseissa. Lopuksi laskettiin tase-ero. Tase-ero on suuri johtuen puuttuvista mittauksista sekundäärilämmön tuotannossa sekä kulutuksessa. Laskuissa veden ominaislämpökapasiteetille käytettiin arvoa 4,19 kJ/kg·K.

Lämpötehot on laskettu käyttäen yhtälöä (1)

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

Jossa

m = massavirta [kg/s]

C_p = ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg·K]

ΔT = lämpötilanmuutos [°C]

Taseessa entalpiat ovat laskettu yhtälön (2) avulla

$$h = c_p \cdot T \quad (2)$$

Jossa

$$C_p = \text{ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg·K]}$$

$$T = \text{Lämpötila [°C]}$$

VKU haihduttamolta lämpöteho:

$$Q = (76 \text{ l/s} \cdot 4.19 \text{ kJ/kg·K} \cdot 45 \text{ °C}) / 1000 = 14,33 \text{ MW} \quad (3)$$

VLM pintalauhduttimesta lämpöteho:

$$Q = (1142 \text{ l/s} \cdot 4.19 \text{ kJ/kg·K} \cdot 28,29 \text{ °C}) / 1000 = 135,37 \text{ MW} \quad (4)$$

Tuotanto yhteensä:

$$14,33 \text{ MW} + 135,37 \text{ MW} = 149,70 \text{ MW} \quad (5)$$

Taulukko 4. VKU-haihduttamolta ja VLM-pintalauhduttimesta lämpötehot.

	Massavirta [kg/s]	lämpötilanmuutos [°C]	Ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg·K]	Entalpia [kJ/kg]	Teho [MW]
VKU haihduttamolta	76	45	4,19	188,55	14,33
VLM Pintalauhduttimesta	1142	28,29	4,19	118,54	135,37
Tuotanto yhteensä					149,70

VKU kuivaimen lämmönvaihtimelle lämpöteho:

$$Q = (58 \text{ l/s} \cdot 4.19 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \cdot 28 \text{ }^\circ\text{C}) / 1000 = 6,80 \text{ MW} \quad (6)$$

VKU kuorimolle sulatukseen lämpöteho:

$$Q = (13 \text{ l/s} \cdot 4.19 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \cdot 72 \text{ }^\circ\text{C}) / 1000 = 3,90 \text{ MW} \quad (7)$$

Kulutus yhteensä:

$$6,80 \text{ MW} + 3,90 \text{ MW} = 10,70 \text{ MW} \quad (8)$$

Taulukko 5. VKU-kuivaimelle ja VKU-kuorimolle sulatukseen lämpötehot.

	Massavirta [kg/s]	lämpötilanmuutos [°C]	Ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg·K]	Entalpia [kJ/kg]	Teho [MW]
VKU Kuivaimen lämmönvaihtimelle	58	28	4,19	117,32	6,80
VKU kuorimolle sulatukseen	13	71,67	4,19	300,28	3,90
Kulutus yhteensä					10,70

Tase-erot määritettiin koko tuotannolle ja kulutukselle sekä erikseen VKU-kierrolle. Tase-erot ovat suuria, koska suurin osa VKU-veden sekä VLM-veden tuottajista ja kuluttajista jouduttiin jättämään taseesta pois, puuttuvien virtausmittausten takia. Puuttuvien virtausmittausten takia on olennaisenpää tarkastella VKU-kierron lämpötehoa ja tase-eroa. VKU-kierrosta saatiin dataa virtauksista ja lämpötiloista paljon enemmän kuin muista biotuotetehtaan sekundäärilämmönlähteistä.

Tase-erot on laskettu käyttäen yhtälöä (9)

$$o = a - b \quad (9)$$

Jossa

a = Sekundäärilämmön tuotanto [MW]

b = Sekundäärilämmön kulutus [MW]

Tase-ero % laskettiin yhtälön (10) avulla

$$d = o / a * 10 \quad (10)$$

Jossa

o = Sekundäärilämmön tase-ero

a = Sekundäärilämmön tuotanto

VKU-kierron tase-ero:

$$14,33 \text{ MW} - 10,70 = 3,63 \text{ MW} \quad (11)$$

$$3,63 \text{ MW} / 14,33 \text{ MW} * 100 = 25 \% \quad (12)$$

Koko taseen tase-ero:

$$149,70 \text{ MW} - 10,71 \text{ MW} = 139 \text{ MW} \quad (13)$$

$$139 \text{ MW} / 149,70 \text{ MW} * 100 = 92,85 \% \quad (14)$$

Taulukko 6. Sekundäärilämmön tase-erot.

	Tase-ero [MW]	Tase-ero % [%]
VKU kierto	3,63	25,33
VKU kierto ja VLM pintalauhduttimesta	139	92,85

VKU-kierron paluuvirran lämpötehon määrittämisessä käytettiin yhtälöä (1).

VKU-kierto paluu lämpöteho:

$$Q = (76 \text{ l/s} \cdot 4.19 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \cdot 0 \text{ }^\circ\text{C}) / 1000 = 0 \text{ MW} \quad (15)$$

Taulukko 7. VKU-kierto paluu lämpöteho.

	Massavirta [kg/s]	lämpötilanmuutos [°C]	Ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg·K]	Entalpia [kJ/kg]	Teho [MW]
VKU kierto paluu	76	0	4,19	0	0,00

7.1 Tasenäyttö

Sekundäärilämmöstä muodostettiin tasenäyttö Valmetin DNA DCS automaatiojärjestelmään. Näytön avulla voidaan seurata erityisesti tehtaan VKU-kierrossa syntyvän kuumen veden tuotantoa ja kulutusta. Haihduttamon kuumavesivaihtimissa tapahtuu VKU-kierron kuumen veden valmistus. Tasenäyttö sijoitettiin tämän vuoksi automaatiojärjestelmän hierarkiassa haihduttamon alaisuuteen.

8.1.1 Tasenäytön suunnittelu

Tietoa ja ymmärrystä sellutehtaiden sekundäärilämpöjärjestelmästä haettiin eri lähteistä. Vanhan sellutehtaan sekundäärilämpöjärjestelmä on kuitenkin monella tapaa erilainen kuin modernin biotuotetehtaan. Modernin biotuotetehtaan sekundäärilämpöjärjestelmä on monimutkainen kokonaisuus, eikä kaikista ratkaisuista ole vielä paljoa tietoa saatavilla. Tiedon kerryttämisessä hyödynnettiin teh-

taan automaatiojärjestelmästä saatavaa dataa sekä PI-kaavioita, joista pystyi tarvittaessa hakemaan tarkennuksia. Tehtaan henkilöstön kuten asiantuntijoiden, insinöörien ja operaattoreiden haastattelut olivat myös tärkeässä roolissa tiedon kerryttämisessä.

Työn alussa tukittiin, mitkä ovat biotuotetehtaan merkittävimpiä sekundäärilämmön tuottajia ja kuluttajia eli niin sanottuja päävirtoja. Kun päävirrat selvitettiin, jouduttiin massatehtaan kuuman veden valmistus ja kulutus rajaamaan taseesta pois puuttuvien virtausmittausten takia. Aiheen laajuuden vuoksi myös sekundäärilauhteet rajattiin aiheesta pois.

8.1.2 Tasenäytön toteutus

Tasenäytön pohja toteutettiin Microsoftin Excel työpöytäsovelluksella. Alustava pohja taseesta, jossa on mukana myös massatehtaan kuuman veden (VKU) valmistus ja käyttökohteet, näkyvät kuviossa 16. Aiheen rajauksien jälkeen jäljelle jäi kuvion 17 mukainen kaavio. Kuvioden 16 ja 17 värikoodit menevät siten, että mitä tummempi väri, sitä kuumempi virtaus. Poikkeuksena tummansinisellä merkatut virtaukset ovat sellaisia virtauksia, joista puuttuu virtausmittaukset. Nämä puuttuvat virtausmittaukset on lueteltu tarkemmin taulukoissa 12, 13, 14 ja 15.

Tasenäyttö toteutettiin suunnittelun pohjalta projekti-insinöörin avustuksella DNA Explorer ohjelmalla, jolla pystyy tutkimaan, muokkaamaan ja luomaan omia piirejä. Ohjelmalla pystyy myös suorittamaan tarvittavat laskennat. Piirit ja laskennat toteutettiin taulukoista 8, 9, 10 ja 11 löytyvien positioiden ja kaavojen avulla. Varsinainen näkyvä näyttö luotiin Picture Designer ohjelmalla. Piirien luomisen yhteydessä täytyi piireille kirjoittaa toimintakuvaukset, joissa kerrotaan piirin toiminta, siihen liittyvät mittaukset sekä laskentojen kaavat ja vakiot. Hyvin luotujen toimintakuvauksien avulla piirin toimintaperiaatteet on helppo ymmärtää. Lopuksi operaattoreilta, insinööreiltä ja asiantuntijoilta kerättiin kommentteja ja palautetta tasenäytöstä. Kommenttien ja palautteen avulla tasenäyttöä muokattiin

pariin otteeseen, jonka jälkeen päästiin tasenäytön lopulliseen muotoon. Lopputuloksen saatiin se mitä haettiin eli yksinkertainen, mutta kattava kokonaisuus.

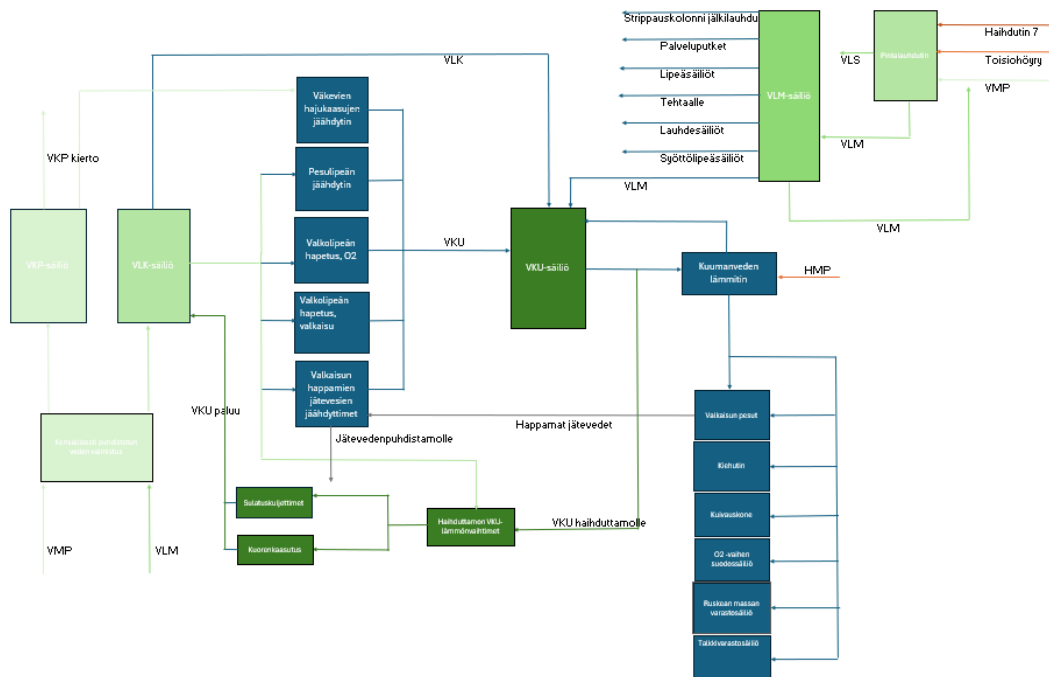
Yhtiön yksityisyydensuojan vuoksi varsinaista automaatiojärjestelmästä löytyvää tasenäyttöä ei saa näyttää työssä. Excelissä luodut tasenäyttöpohjat löytyvät kuvioista 16 ja 17. Tasenäyttöpohjien avulla luotiin tasenäyttö DNA automaatiojärjestelmään, joten ne antavat tietoa mitä virtauksia ja säiliöitä varsinaisesta tasenäytöstä löytyy.

8.1.3 Tasenäytön pohja

Kuviossa 16 esitetystä kaaviosta löytyy biotuotetehtaan koko sekundäärilämpöjärjestelmä lukuun ottamatta sekundäärilauhteita, jotka rajattiin työn suunnitteluvaiheessa aiheesta pois.

Kemiallisesti puhdistetun veden valmistuksesta lähtee kylmään ja lämpimään linjaan vettä. Työssä keskitytään lämpimään linjaan, josta ohjataan kemiallisesti puhdistettua lämmintä vettä eli VLK-vettä massatehtaan prosessien jäähdytysvedeksi. VLK-vettä ohjataan mm. väkevien hajukaasujen ja pesulipeän jäähdyttimelle, jossa prosessien lämpö siirtyy jäähdytysveteen eli VLK-veteen. Kun lämpö on siirtynyt VLK-veteen, tulee siitä kuumaa eli VKU-vettä ja se ohjataan VKU-säiliöön. VKU-säiliöstä vesi ohjataan kuuman veden lämmittimelle, jossa sitä lämmitetään tarvittaessa matalapainehöyryn (HMP) avulla. Lämmittimeltä VKU-vesi ohjataan käyttökohteisiin kuten valkaisu pesuihin ja kuivauskoneelle.

VLK-vettä ohjataan suoraan VLK-säiliöstä kuumanvedenkiertoon eli VKU-kiertoon. VKU-kierrossa haihduttamon kuumavesivaihtimissa VLK-vettä lämmitetään haihdutinyksiköiden höngillä. VKU-kiertoon voidaan ohjata myös kuumaa vettä massatehtaan VKU-säiliöstä. Haihduttamon kuumavesivaihtimien jälkeen vesi on VKU-vettä ja sitä ohjataan käyttökohteisiin kuorenkuivaimelle ja kylminä kuukausina tarvittaessa kuorimon sulatuskuljettimille. Käyttökohteiden jälkeen vesi ohjataan takaisin VLK-säiliöön, josta VKU-kierto alkaa uudestaan alusta.

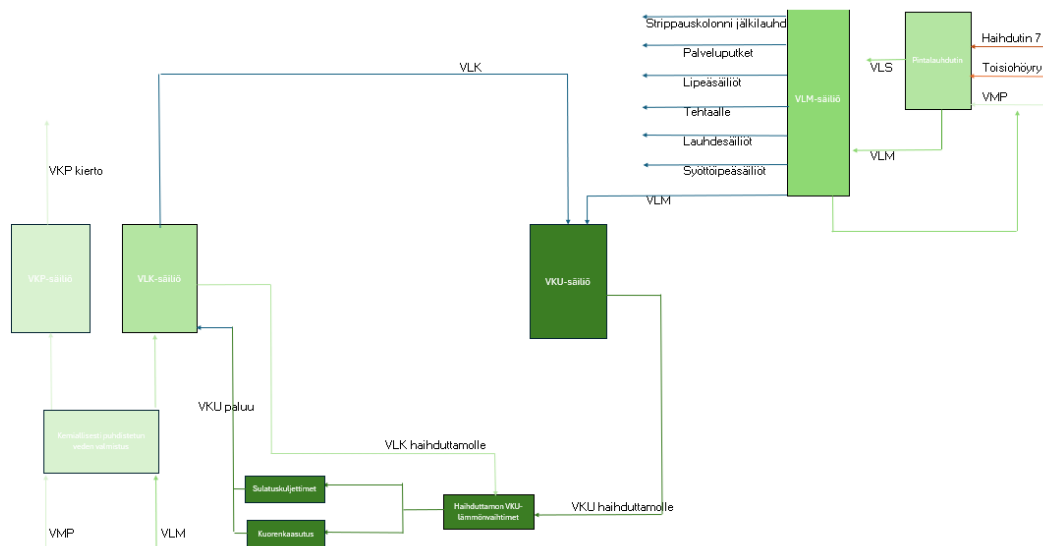


Kuvio 16. Kuuman veden ja lämpimän veden valmistus biotuotetehtaalla (Lam-massaari, 2024, s. 45, muokattu).

Kuvion 17 mukaista kaaviota käytettiin tasenäytön pohjana. Kaaviossa on rajattu puuttuvien mittausten takia massatehtaan VKU-veden tuotanto ja kulutus pois. Kaaviossa kemiallisesti puhdistettua lämmintä vettä (VLK) virtaa tarkasteluajan- kohdan (1.1.2023–1.1.2024) aikana VLK-säiliöstä haihduttamon kuumavesivaihti- miin 26 l/s. Haihduttamon kuumavesivaihtimiin on myös linja massatehtaan kuu- mavesi (VKU) säiliöstä, josta VKU-vettä virtaa 50 l/s. Haihduttamon kuumave- sivaihtimien lämmitettyä veden VKU-vedeksi ohjataan VKU-vettä käyttökohteisiin kuorenkaasutukseen kuumavesivaihtimelle 58 l/s sekä kylminä kuukausina 13 l/s kuorimolle sulatukseen. Käyttökohteiden jälkeen vesi ohjataan takaisin VLK-säili- öön, minkä jälkeen VKU-kierro alkaa alusta.

Lämmintä vettä (VLM) valmistetaan pintalauhduttimessa, johon pumpataan me- kaanisesti puhdistettua vettä (VMP) 945 l/s. Keväällä, syksyllä sekä varsinkin tal- vella kylmien säiden aikana VLM-vettä ohjataan pintalauhduttimeen 197 l/s VMP- veden sekaan uudestaan lämmitettäväksi. Pintalauhduttimessa haihduttamon vii- meisten vaiheiden hönkien lämmittäessä VMP-vettä, saadaan VLM-vettä. VLM-

vettä ohjataan käyttökohteisiin kuten strippauskolonnille, lipeäsäiliöihin ja tarvittaessa massatehtaan VKU-säiliöön.



Kuvio 17. VKU-kierto ja VLM-valmistus biotuotetehtaalla.

8.1.4 Tase näytön kaavat

Automaatiojärjestelmässä olevassa tase näytössä on laskettu lämpötehot sekundäärilämmön tuotannolle ja kulutukselle. Tuotannon eli VKU haihduttamon kuumavesivaihtimista ja VLM pintalauhduttimesta lämpötehot laskettiin taulukon 8 mukaisilla kaavoilla. Lopuksi lämpötehot laskettiin yhteen, josta saatiin tuotanto yhteensä.

Taulukko 8. VKU-haihduttamolta ja VLM-pintalauhduttimesta lämpötehojen kaavat.

	Tuotanto	Lämpöteho (Q) MW
1.	VKU haihduttamolta	$(193A0303-FI + 141A0208-FI) * ((141A0169-TI - (141A0250-TI + 121A0627-TI) / 2)) * 4,19 / 1000$
2.	VLM pintalauhduttimesta	$1410271-FIC * ((141A0283-TIC - 141A0278-TI) * 4,19) / 1000$
3.	Tuotanto yhteensä	VKU haihduttamolta + VLM pintalauhduttimesta

Taseen kulutukset eli VKU kuivaimen lämmönvaihtimelle ja VKU kuorimolle sulatukseen laskettiin taulukon 9 mukaisilla kaavoilla. Lopuksi nämä laskettiin yhteen

ja saatiin kulutus yhteensä. Myös VKU-kierron paluuvirta otettiin mukaan taseeseen. VKU-kierron paluu virtauksen lämpöteho on laskettu taulukon 10 mukaisella kaavalla.

Taulukko 9. VKU-kuivaimen lämmönvaihtimelle ja VKU-kuorimolle sulatukseen lämpötehojen kaavat.

	Kulutus	Lämpöteho (Q) MW
1.	VKU kuivaimen lämmönvaihtimelle	$149A0795\text{-FI} * ((149A2087\text{-TI} - 149A2108\text{-TI}) * 4,19) / 1000$
2.	VKU kuorimolle sulatukseen	$((112A3061\text{-FI} + 112A2061\text{-FI} + 112A1061\text{-FI}) * ((149A0169\text{-TI} - ((112A3033\text{-TI} + 112A2033\text{-TI} + 112A1033\text{-TI}) / 3)) * 4,19) / 1000$
3.	Kulutus yhteensä	VKU kuivaimen lämmönvaihtimelle + VKU kuorimolle sulatukseen

Taulukko 10. VKU-kierron paluuvirran lämpötehon kaava.

		Lämpöteho (Q) MW
1.	VKU paluu	$(193A0303\text{-FI} + 141A0208\text{-FI}) * ((193A0322\text{-TI} - (141A0250\text{-TI} + 121A0627\text{-TI}) / 2)) * 4,19) / 1000$

Sekundäärilämpötaseeseen määritettiin tase-ero sekä tase-ero %, jotka kertovat paljonko sekundäärilämpöä jää jäljelle, kun tuotannosta vähennetään kulutus. Tase-erot määritettiin koko tuotannolle ja pelkälle VKU-kierrolle. VKU-veden sekä VLM-veden puuttuvien virtausmittausten takia koko tuotannon tase-ero ei ole tarkka ja oleellisempaa on keskittyä VKU-kierron tase-eroon, josta tarvittavat virtaus- sekä lämpötilamittaukset löytyivät. Virtaus- sekä lämpötilamittaukset ovat tärkeitä sekundäärilämpötaseessa, sillä niiden avulla voidaan laskea lämpötehot. Tase-erojen kaavat on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Koko tuotannon ja VKU-kierron tase-erojen kaavat.

		Tase-ero	Tase-ero %
1.	Koko tuotanto	Tuotanto yhteensä - Kulutus yhteensä	$(\text{Koko tuotanto tase-ero} / \text{Tuotanto yhteensä}) * 100$
2.	VKU-kierto	VKU haihduttamolta - (VKU kuivaimen lämmönvaihtimelle + VKU kuorimolle sulatukseen)	$(\text{VKU-kierto tase-ero} / \text{VKU haihduttamolta}) * 100$

7.2 PUUTTUVAT MITTAUKSET

Jotta sekundäärilämpötase voidaan muodostaa, tarvitaan tieto massavirrasta sekä lämpötilasta lämpötehon määrittämisessä. Kuuman veden (VKU) valmistuksessa eikä lämpimän veden (VLM) käyttökohteissa ole virtausmittauksia, joten kokonainen sekundäärilämpötase vaatisi, että virtausmittauksia lisättäisiin massatehtaalte, haihduttamolle, vesilaitokselle sekä kuivatuskoneelle VKU- ja VLM-veden

linjoihin. Antureina voitaisiin käyttää FIC-antureita (Flow Indicating Controller) tai FI-antureita (Flow Indicator). Toinen vaihtoehto, joka aiheuttaisi vähemmän työtä ja kustannuksia ovat kannettavat virtausmittarit. Massatehtaalla kuuman veden valmistuksen puuttuvat mittaukset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. VKU:n valmistuksen puuttuvat mittaukset.

	Osasto	Sijainti	Virtaava aine	Mittaustyyppi
1.	Massatehdas	Pesulipeä jäähdytin	VKU	Virtaus (FIC,FI)
2.	Massatehdas	Väkevien hajukaasujen jäähdytin	VKU	Virtaus (FIC,FI)
3.	Massatehdas	Valkaisu DO-vaihe	VKU	Virtaus (FIC,FI)
4.	Massatehdas	Happidelignifiointi	VKU	Virtaus (FIC,FI)
5.	Massatehdas	Valkaisu EOP-vaihe	VKU	Virtaus (FIC,FI)

VKU-säiliöstä kuumaa vettä pumpataan kuumavesipumpulla kuuman veden lämmittimelle, josta VKU ohjataan käyttökohteisiin, joissa ei ole virtausmittauksia. VKU:n käyttökohteiden puuttuvat mittaukset on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. VKU:n käyttökohteiden puuttuvat mittaukset.

	Osasto	Sijainti	Virtaava aine	Mittaustyyppi
1.	Kuivauskone	Lämminvesisäiliö	VKU	Virtaus (FIC,FI)
2.	Massatehdas	Hartsisaippuasäiliö	VKU	Virtaus (FIC,FI)
3.	Massatehdas	Happivaiheen suodossäiliö	VKU	Virtaus (FIC,FI)
4.	Massatehdas	Ruskean massan varastotorni	VKU	Virtaus (FIC,FI)
5.	Massatehdas	Valkaisun esipesu	VKU	Virtaus (FIC,FI)
6.	Massatehdas	Talkkivarastosäiliö	VKU	Virtaus (FIC,FI)

VLM-veden tuottajien ja kuluttajien puuttuvat virtausmittaukset on esitetty taulukoissa 14 ja 15. Tuottajien virtauksia tarkasteltaessa on tärkeää huomioida, että VLM-vettä saadaan keskimäärin noin 1000 l/s pintalauhduksista, jossa löytyy jo valmiiksi tarvittavat virtausmittaukset, joten muut tuottajat ovat siihen verrattuna pieniä sivuvirtoja, jotka eivät merkittävästi vaikuta VLM-säiliön pintaan.

Taulukko 14. VLM-veden valmistuksen puuttuvat mittaukset.

	Osasto	Sijainti	Virtaava aine	Mittaustyyppi
1.	Haihduuttamo	Mäntyöljykeittäjä	VLM	Virtaus (FIC,FI)
2.	Haihduuttamo	Syöttölipeäsäiliöt	VLM	Virtaus (FIC,FI)
3.	Haihduuttamo	Metanoliaalue	VLM	Virtaus (FIC,FI)
4.	Haihduuttamo	Laimeiden hajukaasujen Lauhdejähdytin	VLM	Virtaus (FIC,FI)
5.	Haihduuttamo	Strippauskolonni	VLM	Virtaus (FIC,FI)

Taulukko 15. VLM-veden kulutuksen puuttuvat mittaukset.

	Osasto	Sijainti	Virtaava aine	Mittaustyyppi
1.	Massatehdas	Kuumavesisäiliö	VLM	Virtaus (FIC,FI)
2.		Tehtaalle	VLM	Virtaus (FIC,FI)
3.	Haihduuttamo	Lauhesäiliöt	VLM	Virtaus (FIC,FI)
4.	Haihduuttamo	Lipeäsäiliöt	VLM	Virtaus (FIC,FI)
5.	Haihduuttamo	Syöttölipeäsäiliöt	VLM	Virtaus (FIC,FI)
6.		Palveluputket	VLM	Virtaus (FIC,FI)
7.	Vesilaitos	Saostusallas 1 (lämmin linja)	VLM	Virtaus (FIC,FI)
8.	Vesilaitos	Saostusallas 2 (kylmä linja)	VLM	Virtaus (FIC,FI)

9 POHDINTA

Työn tavoitteena oli luoda sekundäärilämpötaseesta tasenäyttö Valmet DNA DCS automaatiojärjestelmään sekä selvittää biotuotetehtaan sekundäärilämmön tuottajat, kuluttajat ja sekundäärilämpötaseen kannalta olennaiset puuttuvat mittaukset. Työn edetessä kävi ilmi, että massatehtaan kuuman veden (VKU) tuotanto ja kulutus joudutaan jättämään taseesta pois puuttuvien virtausmittausten takia. Myös sekundäärilauhteet rajattiin aiheesta pois työn alkuvaiheessa. Aiheen rajauksien jälkeen työssä keskityttiin VKU-kiertoon sekä lämpimän veden (VLM) valmistukseen pintalauhduttimessa.

Työssä etsittiin tehtaan Valmet DNA DCS järjestelmästä ja PI-kaavioista virtaus- sekä lämpötilamittausten positiioita, joiden avulla kerättiin Wedge Fibre 95-järjestelmästä dataa. Dataa siirrettiin Exceliin, jossa datan avulla laskettiin VKU-kierro ja VLM-veden valmistuksen ja kulutuksen lämpötehot. Kun sekundäärilämmön tuottajat ja kuluttajat oli selvitetty, tehtiin Excelissä sekundäärilämpötaseen tase näytön pohja. Tase näytön pohjan avulla lähdettiin kokoamaan automaatiojärjestelmään tase näyttöä, johon lisättiin VKU-kierron ja VLM-veden valmistuksen oleelliset tiedot. Tase näyttöä lähdettiin kehittämään kantahenkilökunnan toiveiden mukaan, ja tase näyttöön lisättiin mm. automaattiventtiileitä, joiden avulla sekundäärilämpöprosessia voidaan kätevästi säätää, sekä ponnahdusikkunoita, jotka vievät sivuille, joissa pääsee tarkastelemaan ja säätämään prosessia tarkemmin. Tase näyttöön lisättiin myös VKU-kierron ja VLM-veden valmistuksen lämpötehot ja tase-erot, jotka päivittyvät reaaliaikaisesti.

Tase näytön luomisessa onnistuttiin ja saatavilla olevat mittaukset saatiin koottua yhdelle sivulle. Kun sekundäärilämpötase on automaatiojärjestelmässä yhdellä sivulla, pystyy operaattori tutkimaan sekundäärilämmön tuottajia ja kuluttajia sekä tarpeen vaatiessa säätämään prosessia. Nykyaikaisella biotuotetehtaalla kiinnitetään runsaasti huomiota energiatehokkuuteen ja sitä pyritään jatkuvasti kehittämään. Sekundäärilämmön hyödyntämisen avulla voidaan vähentää merkittävästi

primäärienergian käyttöä ja säästää esimerkiksi matalapainehöyryä (HMP) entistä enemmän käytettäväksi sähköntuotantoon. Tehtaan energian käytöstä vastaavat henkilöt voivat hyödyntää tasetta prosessin energiatehokkuuden kehittämisessä.

Tase jäi kuitenkin suppeaksi VKU:n tuotannon ja kulutuksen puuttuvien virtausmittausten takia. Massatehtaan VKU:n tuotanto ja kulutus on oleellinen osa biotuotetehtaan sekundäärilämpöjärjestelmää. Jotta sekundäärilämmöstä saataisiin tarkka kokonaiskuva, taulukoissa 12 ja 13 esitetyt virtausmittaukset tulisi asentaa kohteisiin. Kyseisten virtausmittausten asentamisen jälkeen voidaan sekundäärilämpötase viimeistellä, jonka jälkeen voidaan tehdä tarkempia johtopäätöksiä Metsä Fibre Äänekosken biotuotetehtaan sekundäärilämpöjärjestelmän toiminnasta sekä tehokkuudesta.

Lämpimän veden (VLM) käyttökohteissa ei ole myöskään asennettu virtausmittauksia. Taulukoissa 14 ja 15 esitetyt virtausmittaukset tulisi asentaa, jotta VLM-veden käytöstä voitaisiin muodostaa kokonaiskuva. Tällä hetkellä VLM-vedestä ei hyödynnetä sen koko potentiaalia ja iso osa vuodesta VLM-vettä ajetaan VLM-säiliön ylikaadon kautta kanaaliin. VLM-vesi sisältää hieman lämpöarvoa, joten ylikaadon mukana menee energiaa hukkaan. Poikkeuksena haihduttamon ollessa poissa ajolta, VLM-vettä ei saada haihduttamon pintalauhduttimessa ja VLM-säiliö saattaa tyhjentyä lähes täysin, jolloin käyttökohteita voi olla jopa kapasiteettiin nähden liikaa. VLM-vedellä ei kuitenkaan ole riittävästi lämpöarvoa, jotta investoinnit sen hyödyntämiseen täysin olisivat kannattavia. Yksi mahdollinen ratkaisu voisi olla uuden VKU-säiliön rakentaminen, josta vesi ohjattaisiin kuuman veden lämmittimen kautta tehtaan käyttökohteisiin tai esimerkiksi kaukolämpöverkkoon. Tässä kuitenkin tullaan siihen, että investointien kustannuksien takia tämä ei välttämättä ole kannattavaa. Biotuotetehtaan VKU-säiliö kaataa yli ylimääräistä kuumaa vettä kanaaliin noin puolet vuodesta ja kuuman veden lämmittimen höyryventtiili on auki noin 25 % ajasta. Poikkeustilanteissa kuten kuivauskoneen ollessa poissa ajolta, kuivauskone ei pysty palauttamaan kuumaa vettä VKU-säiliöön. Tällöin VKU-säiliö saattaa tyhjentyä lähes täysin.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin yksinkertainen, mutta kattava tasekäyttö, josta voidaan helposti seurata sekundäärilämmön tuotantoa ja kulutusta. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että VKU-veden ja VLM-veden puuttuvat virtausmitaukset tulisi asentaa, jotta kokonaisen sekundäärilämpötaseen avulla voitaisiin selvittää ovatko uudet investoinnit kannattavia.

LÄHTEET

- Ekono Oy. (1986.) *Prosessien energiankäytön hallintamenetelmien kehittäminen. Tehtaan energiankäytön selvitys ja raportointi*. Energiataloudellinen yhdistys.
- Haihdukkamon käyttö- ja huolto-ohje. (2016.) Metsä Fibren sisäinen dokumentti.
- Jyväskylän yliopisto. (2015.) *Määrällinen tutkimus*. Noudettu 13.6.2024 osoitteesta <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus>
- Kananen, J. (2015.) *Opinnäytetyön kirjoittajan opas: Näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun*. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.
- KnowPulp-oppimisympäristö. (2024.) *Haihduksen tarkoitus ja periaate*. Noudettu 9.8.2024 osoitteesta https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/pulping/evaporation/1_general/frame.htm
- KnowPulp-oppimisympäristö. (2024.) *Kalkin sammutus*. Noudettu 2.8.2024 osoitteesta https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/pulping/causticizing/2_slaking/frame.htm
- KnowPulp-oppimisympäristö. (2024.) *Sellunvalmistuksen oppimisympäristö*. Noudettu 20.10.2024 osoitteesta <https://www.knowpulp.com/>
- KnowPulp-oppimisympäristö. (2024.) *Sekundäriämpötase*. Noudettu 21.6.2024 osoitteesta https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/pulping/balances/4_energy_balances/frame.htm
- KnowPulp-oppimisympäristö. (2024.) *Sulfaattisellun valmistus*. Noudettu 9.8.2024 osoitteesta <https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/kps/ui/process/general/ui.htm>

KnowPulp-oppimisympäristö. (2024.) *Vesi- ja nestetaseet*. Noudettu 11.7.2024 osoitteesta https://www.knowpulp.com/extranet/suomi/pulping/balances/2_water_balances/frame.htm

Lammassaari, A. (2024.) *Massatehtaan energiatehokkuuden optimointi vedenkäytön sekä lämmönvaihtimien toiminnan näkökulmasta*. Diplomityö. Oulun yliopisto.

Mehta, B. & Reddy, Y. (2015.) *Industrial Process Automation Systems: Design and implementation*. Elsevier.

Metsä Group. (2024.) *Yritysrakenne*. Noudettu 10.6.2024 osoitteesta <https://www.metsagroup.com/fi/tietoa-metsa-groupista/tietoa-meista/yritysrakenne/>

Metsä Group. (2024.) *Äänekosken biotuotetehdas*. Noudettu 11.6.2024 osoitteesta <https://www.metsagroup.com/fi/metsafibre/metsafibre/selluntuotanto/aanekosken-biotuotetehdas/>

Motiva. (2024.) *Tuotannon ylijäämälämpö hyödyksi*. Noudettu 11.9.2024 osoitteesta [https://www.motiva.fi/yritykset/ohjeita_ ja_vinkkejaa_tehokkaaseen_energian_ ja_materiaalien_kayttoon/tuotannon_ylijaamalampo_hyodyksi](https://www.motiva.fi/yritykset/ohjeita_ja_vinkkejaa_tehokkaaseen_energian_ ja_materiaalien_kayttoon/tuotannon_ylijaamalampo_hyodyksi)

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämä, J. (2018.) *Tekniikan kaavasto*. 18. painos. Tammertekniikka. s. 107.

Papapetrou, M., Kosmadakis, G., Cipollina, A., La Commare, U., & Micale, G. (2018.) *Industrial waste heat: Estimation of the technically available resource in the EU per industrial sector, temperature level and country*. s. 8. Noudettu 12.9.2024 Osoitteesta <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431117347919?via%3Dihub>

Tapanen, R. (2009.) *Sellutehtaan sekundäärilämmön käytön tehostaminen*. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/50560/nbnfi-fe200911122335.pdf;jsessionid=F549A2C2A0ED50D4F5EC6C4FAF08A574?sequence=3>

Tommila, T. (2011.) *Valvomo: Suunnittelun periaatteet ja käytännöt*. 2. painos. Suomen Automaatioseura.

