



## **RAAKAVEDENKÄYTÖN VÄHENTÄMINEN TAINIONKOSKEN TEHDASYKSIKÖSSÄ**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Kemiantekniikan diplomityö

Water technology

2024

Veera Ojamaa

Tarkastajat: Dosentti Arto Laari

Diplomi-insinööri Olli Kemppi

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT School of Engineering Science

Kemiantekniikka

Veera Ojamaa

### **Raakavedenkäytön vähentäminen Tainionkosken tehdasyksikössä**

Kemiantekniikan diplomityö

2024

98 sivua, 48 kuvaa, 11 taulukkoa ja 3 liitettä

Tarkastajat: Dosentti Arto Laari ja DI Olli Kemppi

Avainsanat: vedenkäytön vähentäminen, sellutehdas, paperikone, kartonkikone, raakavesi, kiertovesi, jätevesi

Tämä diplomityö on tehty Stora Enson Imatran tehtaille. Työ koostuu kirjallisesta ja soveltavasta osuudesta. Kirjallisuusosuudessa käsitellään vedenkäyttöä sellutehtaalla, paperikoneella ja kartonkikoneella sekä vesien laatuvaatimuksia, käsittelymenetelmiä ja vastuullista käyttämistä. Kokeellisen osuuden tavoitteena on kartoittaa mahdolliset vedensäästökohteet Tainionkosken tehdasyksikön osastoilla. Jotta vedensäästökohteet voidaan paikallistaa, täyttyy osastojen vesikiertoista muodostaa kaaviot, jotka helpottavat vesikiertojen havainnoimista.

Vedensäästökohteiden sekä mahdollisten säästötoimien paikantamisen perusteella valittiin soveltavaan osioon tarkempaan tarkasteluun yksi tietty vedensäästötoimi Tainionkosken tehdasyksiköstä. Valinnan kriteereiksi määrittyivät toteutettavuus, säästöpotentiaali ja mahdolliset riskit, joiden perusteella diplomityöni tutkimuksen kohteeksi valikoitui sellutehtaan lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien raakavedenkulutus. Soveltavaan osuuteen kuuluu koeajo, jossa näiden laimennusvesien lämpötila-asetuksia nostettiin kahdella celsiusasteella, minkä tavoitteena oli vähentää laimennusvesissä käytettävän raakaveden määrää.

Koeajon tulosten perusteella raakavesikulutusta onnistuttiin laskemaan noin 0,9–3,0 L/s mitausdatan tarkastelun aikavälistä ja rajaamisesta riippuen. Näin ollen vuorokaudessa on mahdollista saavuttaa noin 80–260 m<sup>3</sup> raakavesisäästö ja puoleessa vuodessa noin 14 100–46 700 m<sup>3</sup> raakavesisäästö olettaen, että säästö raakavesikulutuksessa pysyy vakiona. Koeajon tuloksissa on melko suurta hajontaa, joka voi olla seuraamusta vaihtelevasta ja epävarmasta ajotilanteesta sellutehtaalla, epätarkoista mittauksista sekä raakavedenkulutuksen heittelystä muualla sellutehtaalla koeajon aikana.

Tulevaisuudessa vastaavia koeajoja voi toteuttaa vielä korkeammilla laimennusvesien lämpötiloilla, jolloin on mahdollista saavuttaa suuremmat säästöt raakavesikulutuksessa. Korkeampia lämpötilanostoja varten on hyvä selvittää tarkemmin sellumassojen lämpötiloille maksimi-arvot, johon ne voidaan nostaa ilman, että kartonki- ja paperikoneen prosesseihin aiheutuu ongelmia. Tulevilla koeajoilla on mahdollista saada tarkempia tuloksia, kun pesupuristimien laimennusvesien raakavesivirtauksille asennetaan omat virtausmittarit.

## ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Engineering Science

Chemical Engineering

Veera Ojamaa

### **Reducing raw water usage in Tainionkoski mill**

Master's thesis

2024

98 pages, 48 figures, 11 tables and 3 appendices

Examiners: Docent Arto Laari and Master of Science in Technology Olli Kemppi

Keywords: reduction of water usage, pulp mill, paper machine, board machine, freshwater, circulating water, effluent

This master's thesis was made in co-operation with Stora Enso Imatra Mills. The thesis consists of literature section and applied section. The water processes, quality demands, responsible usage, treatment methods and technologies in pulp mills, paper machines and board machines are discussed in literature section. The purpose of the applied section is to determine water saving opportunities in the departments of Tainionkoski mill. In order to locate water saving targets in different departments at Tainionkoski it was necessary to first form clear and understandable diagrams of the mill's water circulations.

After locating water saving targets and evaluating different saving measures one specific water saving target was chosen for more examination. The target was chosen by certain criteria, which were possibility of implementation, saving potential and risks. Based on these preconditions the raw water consumption in dilution waters of the washing presses in pulp mill was selected to be studied more closely. A trial is one part of the applied section in this thesis. In this trial the temperatures of the dilution waters in washing presses were risen by two Celsius. The hypothesis is that by increasing these temperatures the raw water usages in dilutions waters decreases.

Based on the accomplished trial the raw water saving was about 0,9-3,0 L/s based on the selected timeline, in which the measurements were collected. This means that in a day the raw water saving would be about 80-260 m<sup>3</sup> and in a half a year about 14 100-46 700 m<sup>3</sup> assuming that the quantity of the raw water saving remains constant. There was some deviation in trial results, which can be result from the variation and uncertainty in production situation in pulp mill, inaccurate measurements, and variation of the raw water flows in screen rooms during the trial.

In the future similar trials with even higher dilution water temperatures can be accomplished, which also means that there is possibility to achieve even bigger raw water savings. It would be beneficial to investigate what is the maximum temperature for the pulp masses in which the paper and board machines are not disturbed. In future trials it would also be useful to add own flow meters for each raw water flow in dilution waters of washing presses for more accurate results.

## LYHENNELUETTELO

### Lyhenteet

AOX	Orgaaniseen aineeseen sitoutuneet halogeenit (absorbable organic halogen)
BOD	Biologinen hapenkulutus (biological oxygen demand)
COD	kemiallinen hapenkulutus (chemical oxygen demand)
ECF	Valkaisu ilman kaasuklooria (elementary chlorine free)
KA5	Kartonkikone 5
$\overline{MR}$	Havaintojen etäisyyksien keskiarvo
N	Typpi
P	Fosfori
PK7	Paperikone 7
SAT	Tainionkosken sellutehdas
SR	Ruskeasellu
StDev	Keskihajonta
TCF	Valkaistu ilman klooria (totally chlorine free)
TSS	Suspendoituneiden kiintoaineiden kokonaismäärä (total suspended solids)
$\bar{X}$	Keskiarvo

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	10
	KIRJALLISUUSOSUUS.....	12
2	Vesikierrat .....	12
2.1	Raakavedet.....	12
2.1.1	Raakavedenkäyttö sellutehtailla .....	13
2.1.2	Raakavedenkäyttö paperi- ja kartonkikoneilla .....	14
2.2	Prosessivedet.....	15
2.2.1	Vesikierrat sellutehtaalla .....	16
2.2.2	Vesikierrat paperi- ja kartonkikoneella .....	17
2.3	Jätevedet.....	22
2.3.1	Sellutehtailla syntyvät jätevedet .....	23
2.3.2	Paperi- ja kartonkikoneilla syntyvät jätevedet.....	24
3	Veden laatukriteerit .....	26
3.1	Raakaveden laatukriteerit .....	26
3.2	Prosessivesien laatukriteerit.....	28
3.3	Jätevesien laatukriteerit.....	29
4	Menetelmät vedenkäytön vähentämiseen metsäteollisuudessa .....	31
4.1	Lämmönsiirrin .....	31
4.2	Kalvoerotusmenetelmä .....	32
4.3	Haihdutetus .....	33
4.4	Jätevesien käsittely .....	34
4.4.1	Koagulaatio-, flokkulaatio- ja sedimentaatiomenetelmät .....	35
4.4.2	Aktiivilietemenetelmä.....	36
4.4.3	Adsorptio .....	37
5	Vastuullinen vedenkäyttö metsäteollisuudessa .....	39
5.1	Vastuullinen vedenkäyttö Imatran tehtailla .....	40

SOVELTAVA OSUUS .....	42
6 Tainionkosken tehdasyksikkö .....	42
7 Vesikierrat Tainionkosken tehdasyksikössä.....	43
7.1 Raakavesi Tainionkosken tehdasyksikössä .....	43
7.2 Prosessivedet Tainionkosken tehdasyksikössä .....	47
7.2.1 Vesikierrat Sellutehtaalla.....	47
7.2.2 Vesikierrat paperikone 7:lla.....	49
7.2.3 Vesikierrat kartonkikone 5:lla .....	50
7.3 Jätevesi Tainionkosken tehdasyksikössä .....	57
8 Vedensäästökohteiden paikantaminen Tainionkoskella.....	60
8.1 Vedensäästökohteet sellutehtaalla .....	60
8.2 Vedensäästökohteet paperikone 7:lla.....	61
8.2.1 Säästömahdollisuudet kiertoovesissä.....	62
8.2.2 Säästömahdollisuudet pysäytysten aikana .....	63
8.3 Vedensäästökohteet kartonkikone 5:lla .....	63
8.3.1 Säästömahdollisuudet kiertoovesissä.....	64
8.3.2 Säästömahdollisuudet tiiviste- ja jäädytysvesissä.....	65
8.3.3 Säästömahdollisuudet koneen pysäytysten aikana .....	65
9 Tarkempaan tarkasteluun valittu vedensäästötoimenpide .....	67
9.1 Toteutettavuus.....	67
9.2 Säästöpotentiaali .....	68
9.3 Riskien arviointi.....	74
10 Koeajo lajittamoiden pesupuristimilla.....	78
11 Koeajon tulokset.....	81
12 Yhteenveto ja johtopäätökset .....	93
Lähteet .....	95

## Liitteet

Liite 1. Listaus Tainionkosken vedensäästöpotentiaaleista

Liite 2. Koeajon riskien arviointi

Liite 3. Koeajo-ohje

# 1 Johdanto

Tuotantoprosessien tehostaminen sekä kestävyiden lisääminen ovat tärkeitä tavoitteita kaikilla tuotannonaloilla tänä päivänä. Valtaosassa tuotantoprosesseissa käytetään vettä, joten yksi tehokas tapa parantaa prosessin tehokkuutta sekä lisätä sen kestävyyttä on vähentää prosessissa käytettävän veden määrää. Vedenkäytön vähentämisen taustalla on monesti halu lisätä yhtiön vastuullisuutta sekä vähentää aiheutuvia kustannuksia. Tämän diplomityön tarkoituksena on kartoittaa Stora Enso Oyj Imatran tehtaiden Tainionkosken tehdasintegraatin vesikiertoja sekä selvittää sieltä mahdolliset kohteet ja toimenpiteet, joilla voidaan vähentää vedenkäyttöä.

Stora Enso Oyj:n Imatran tehtaas on perustettu vuonna 1935 ja se kuuluu maailman suurimpiin kuluttajakartonkitehtaisiin. Se muodostuu Kaukopään tehdasyksiköstä sekä Tainionkosken tehdasyksiköstä. Tainionkosken tehdasyksikkö koostuu puunkäsittelyosastosta, sellutehtaasta (SAT), paperikone 7:sta (PK7) sekä kartonkikone 5:sta (KA5). (Stora Enso, Stora Enso a.) Tässä työssä käsitellään Tainionkosken sellutehtaan, paperikone 7:n ja kartonkikone 5:n vesikiertoja sekä vedenkäyttöä.

Stora Ensolla on asetettu konsernitason ja myös divisioonatasolla tavoitteita vedenkäyttöön liittyen, jotka ohjaavat toimintaa ja kehitystä myös yhtiön alemmilla tasoilla. Yhtiön tavoitteina on vähentää otetun raakaveden sekä syntyvän jäteveden määriä. Tainionkosken tehdasyksikkö kuuluu Packaging Materials -divisioonaan, jonka tavoitteena on muun muassa vähentää otetun raakaveden määrää 12 %:lla ja syntyvän jäteveden määrää 14 %:lla vuoteen 2030 mennessä, kun määriä verrataan vuoden 2019 arvoihin.

Tainionkoskelle on aiemmin tehty vesikartoituksia, joissa on määritelty kulutettujen vesien määriä sekä syntyvien jätevesien määriä. Lisäksi kartoituksissa on esitetty mahdollisia investointeja, joilla vedenkulutusta voidaan vähentää. Näiden investointien kustannukset sekä niille esitetyt säästöpotentiaalit ovat keskenään hyvin eri suuruisia. Tehdasyksikössä on arvioitu kartoituksissa esitettyjä toimenpiteitä ja osa niistä on myös laitettu toteutukseen.

Tainionkosken tehdasintegraatin vesikiertoista puuttuu tällä hetkellä selkeät lohkokaaviot, joissa on selkeästi esitetty mitä vettä menee minnekin. Vesikaaviot on tällä hetkellä paloiteltu useampaan erilliseen kaavioon. Näitä kaavioita löytyy useasta eri tietokannasta ja

niiden väleille on poikkeavuuksia. Tämän takia tässä työssä aluksi kartoitetaan paperikone 7:n, kartonkikone 5:n ja Tainionkosken sellutehtaan vesikierrot sekä muodostetaan näistä selkeät lohkokaaviot. Vesikiertojen kartoituksen jälkeen tämän diplomityön tarkoituksen on selvittää mahdolliset vedensäästökohteet näiltä osastoilta sekä esittää mahdollisia toimenpiteitä, joilla vedenkäyttöä voidaan vähentää.

# KIRJALLISUUSOSUUS

## 2 Vesikierrat

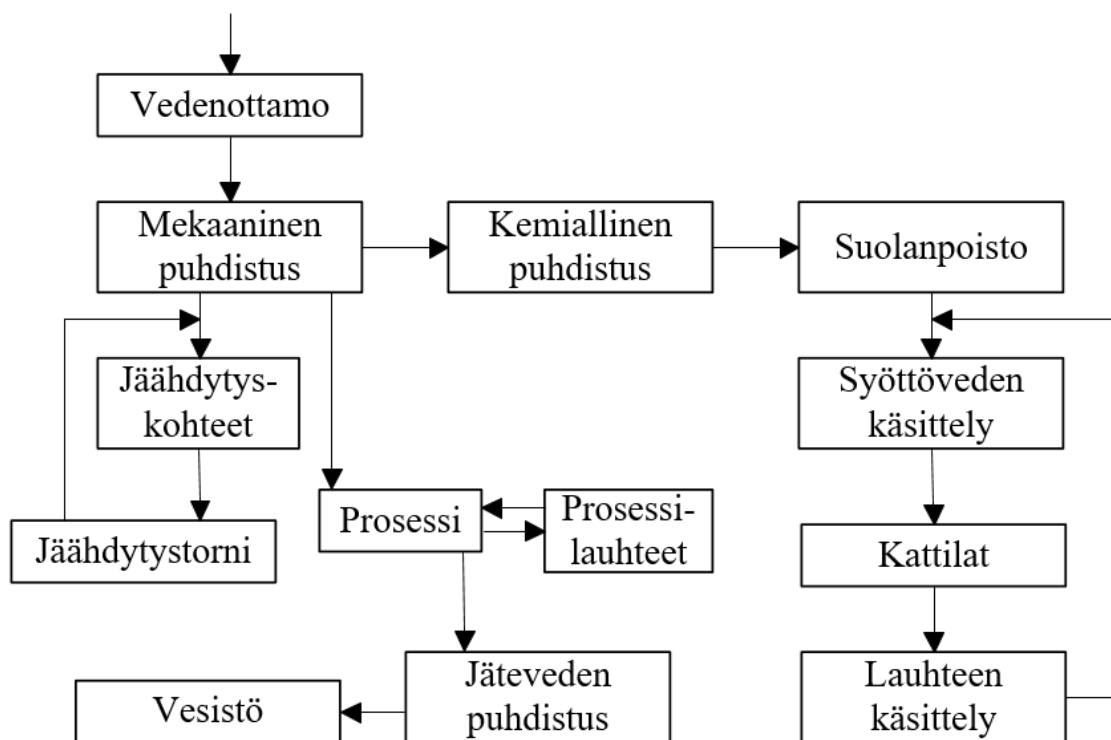
Paperi- ja selluteollisuus vaikuttavat suuresti maailman vesistöihin, koska yhden paperi- ja sellutonnin valmistamiseen kuluu noin 50–60 m<sup>3</sup> vettä ja niistä syntyy noin 220–330 m<sup>3</sup> jätevettä (Kumar et al. 2021). Paperi- ja sellutuotannossa jopa 85 % käytetystä vedestä käytetään prosessivetenä (Bajpai 2018). Tämän takia prosessivesien kiertojen tehostaminen ja optimointi ovat tärkeässä roolissa, kun puhutaan paperi- ja selluteollisuuden prosessien tehostamisesta. Optimoinnilla ja tehostamisella voidaan tarkoittaa veden keräyksen, käsittelyn ja kierrätyksen kehittämistä, joiden avulla voidaan vähentää raakaveden tarvetta sekä jäteveden muodostumista. Nykyään vesikiertoihin on paljon osaamista ja käytettävä teknologia kehittyy koko ajan. Osaamisen lisääntyminen ja teknologian kehittyminen johtuvat osittain viranomais määräyksistä, jotka tiukkenevat koko ajan, sekä lisäksi yritysten halusta lisätä niiden ympäristöystävällisyyttä ja kestävyyttä (Bajpai 2018).

### 2.1 Raakavedet

Sellun, paperin ja kartongin valmistuksessa käytetään paljon raakavettä. Raakavesi täytyy ensin käsitellä, jotta sen ominaisuudet saadaan mahdollisimman optimoiduiksi kutakin tuotantoprosessia varten. Raakaveden käsittelyntarve riippuu tuotantolaitoksesta sekä raakaveden ominaisuuksista. Sellun, paperin ja kartongin tuotantolaitoksissa käytettävä raakavesi käsitellään tavallisesti mekaanisesti ja kemiallisesti. Käsittelyjen tavoitteena on poistaa vedestä kiintoaineet, värit, orgaaniset aineet, liuenneet suolat, rauta ja mangaani sekä vähentää veden kovuutta ja desinfioida vesi (Dahl 2008). Nykyään yhä enenevässä määrin tuotantolaitoksissa pyritään vähentämään raakavedenkäyttöä tehostamalla veden talteenottoa, käsittelyä ja kierrätystä prosesseissa.

### 2.1.1 Raakavedenkäyttö sellutehtailla

Sellutehtaan vesikiertoista vettä poistuu muun muassa haihtumalla, rejektien mukana sekä valmiin tuotteen mukana. Poistunut vesimäärä täytyy korvata ottamalla raakavettä systeemiin. (Seppälä et al. 2002.) Raakavesi täytyy käsitellä ennen kuin sitä hyödynnetään sellutehtaalla. Käsittely suoritetaan ensin mekaanisesti, jonka jälkeen vesi puhdistetaan vielä kemiallisesti. Käsittelyyn vaikuttaa raakaveden lähtöpuhtaus sekä raakaveden käyttökohde. Joissakin tapauksissa raakavedelle voi riittää pelkästään mekaaninen käsittely, mutta monesti se käsitellään mekaanisen käsittelyn jälkeen vielä kemiallisesti. (Dahl 2008.) Alla olevassa kuvassa 1 on esimerkki raakaveden käsittelystä ja kierrosta sellun valmistuslaitoksessa.



Kuva 1. Raakaveden käsittely ja käyttö sellutehtaalla (KnowPulp.)

Kuvasta 1 nähdään, että raakavettä käytetään sellutehtailla sellun valmistusprosessissa, erilaisissa jäähdytyskohteissa ja kattilavetenä. Lisäksi raakavettä voidaan käyttää laimennuksissa ja valkaisuviheen pesuissa (Seppälä et al. 2002). Näillä käyttökohteilla on erilaisia vaatimuksia raakaveden puhtaudelle. Jäähdytyskohteisiin ja osaan sellun valmistusprosessin vaiheisiin riittää mekaanisesti puhdistetun raakaveden puhtaus. Kattilavesissä sekä valkaisuviheen viimeisissä pesuissa tarvitaan puhdasta vettä, siksi siellä käytetään kemiallisesti

puhdistettua ja lämmitettyä raakavettä (Seppälä et al. 2002). Kuvasta 1 nähdään, että kattiloissa käytetty raakavesi voidaan johtaa lauhteen käsittelyvaiheeseen ja kierrättää sieltä takaisin kattiloiden syöttöveden käsittelyyn, jonka jälkeen se voidaan käyttää uudestaan kattiloissa.

### 2.1.2 Raakavedenkäyttö paperi- ja kartonkikoneilla

Paperi- ja kartonkitahtaiden raakavedenkulutus on nykypäivänä yleensä luokkaa 2–20 m<sup>3</sup>/t. Kuitenkin teknisten ja erityispaperien valmistukseen raakavettä voi kulua paljon enemmän jopa 100 m<sup>3</sup>/t. (Paulapuro 2008.) Taulukossa 1 on esimerkkejä joidenkin paperi- ja kartonkitahtaiden raakavedenkulutuksesta.

Taulukko 1. Raakavedenkulutuksen määrät tuotetta kohden erilaisissa paperi- ja kartonkitehtaissa (Paulapuro 2008.)

Laatu	Vesimäärä, [m <sup>3</sup> /t]
Sanomalehtipaperi	5–15
Puuton hienopaperi	5–10
Superkalanteroitu paperi	8–15
Kevyesti päällystetty paperi	8–17
Pehmopaperi	5–15
Aalto ja vuorauspaperi	2–10
Monikerroskartonki	8–15

Taulukosta 1 nähdään, että raakavedenkulutus on kaikilla mainituilla paperi- ja kartonkilaaduilla samaa suuruusluokkaa. Paperi- ja kartonkilaatujen raakavesikulutuksien vaihteluvälit ovat melko isoja laatujen sisällä. Pienin raakavedenkulutus 2 m<sup>3</sup>/t voidaan saavuttaa aalto- ja vuorauspaperilla. Suurin raakavedenkulutus taulukon 1 mukaan muodostuu kevyesti päällystetyllä paperilla, jossa se voi nousta 17 m<sup>3</sup>/t.

Raakavedenkäyttöä halutaan vähentää monista syistä. Sen avulla voidaan säästä erilaisissa kustannuksissa esimerkiksi raakaveden käsittelyyn ja käyttöön liittyvissä maksuissa. Lisäksi säästöjä voidaan saada kemikaaleissa, kuiduissa ja hienoaineissa, kun prosessin vettä kierretään ja siitä otetaan talteen nämä arvokkaat aineet uudelleenkäyttöä varten. (Paulapuro

2008.) Kustannusten lisäksi raakavedenkäyttöä voidaan haluta vähentää kiristyneiden ja koko ajan kiristyvien raakavedenkäyttöön liittyvien lupa- ja lakiasioden takia (Aluehallintovirasto, Finlex Vesilaki).

Nykyään on mahdollista sulkea vesikiertoja paperi- ja kartonkitehtailla. Täysin suljetulla vesikierrolla tarkoitetaan sellaista vesijärjestelmää, johon ei oteta tai sieltä ei poisteta vettä. Tällainen vesikiertojärjestelmä on käytännössä hyvin vaikea toteuttaa, koska siitä voi aiheutua stabiilisuus- ja ajettavuusongelmia. Raakavedenkulutusta on hyvin vaikea saada nolleen, sillä vettä höyrystyy ja kulkeutuu pois rejektien mukana sen puhdistuksissa ja seulonnoissa. (Paulapuro 2008.) Lisäksi vettä poistuu esimerkiksi ylikaatojen sekä erilaisten erityistilanteiden, kuten pesujen tai huoltokatkojen, seurauksena pois prosesseista. Prosesseista poistuneen veden tilalle täytyy ottaa raakavettä, jotta tarvittava vesimäärä säilyy systeemissä.

## 2.2 Prosessivedet

Sellun, paperin ja kartongin valmistuksen prosesseissa vesi on hyvin keskeisessä roolissa. Vettä käytetään muun muassa kuljettamiseen, laimentamiseen, jäähdyttämiseen ja tiivistämiseen. Eri tuotantolaitoksilla on erilaiset laatuvaatimuksen prosesseissa kiertäville vesille. Lisäksi eri prosessien laatuvaatimukset voivat erota suuresti toisistaan. Tämä täytyy ottaa huomioon vesikiertojen suunnittelussa, jotta varmistetaan mahdollisimman tehokas vesien hyödyntäminen, mutta samalla minimoidaan esimerkiksi epäpuhtauksien aiheuttamien tukkeutumien, laiterikkojen ja häiriötilanteiden todennäköisyydet. Prosessivesien kierrot voivat olla avoimia, osittain suljettuja tai täysin suljettuja.

Sellu-, paperi- ja kartonkitehtaan prosessivesien käytön optimointi on tärkeä osa vedenkäytön vähentämisen kokonaistavoitetta. Prosessivesien käytön optimoinnilla tarkoitetaan sopivien vesivolyymien käyttöä, käytettyjen prosessivesien keräämistä, käsittelyä ja käyttämistä uudelleen prosessissa. Kun valmistusprosesseissa käytetään sopivia vesivolyymeja, ei sinne synny turhia veden ylikaatoja. Prosessivesien kerääminen, käsittely ja uudelleenkäyttö prosesseissa mahdollistaa tehokkaamman vesien käytön vähentämällä tarvittavan raakaveden sekä syntyvän jäteveden määriä. Nämä toimet kuitenkin vaativat monesti rakenteellisia muutoksia prosessiin sekä investointeja, mistä johtuen niiden käyttöönotto voi ottaa aikaa ja vaatii tarkkaa suunnittelua ennen toteutumista. Joissakin tapauksissa vedenkäyttöä tehostavien

muutoksien suorittaminen jää kokonaan tekemättä, koska arvioitu hyöty jää liian pieneksi verrattuna muutoksen vaatimiin kustannuksiin.

### 2.2.1 Vesikierrot sellutehtaalla

Sellutehtailla kulutetaan paljon vettä. Valtaosa sellutehtaista kuluttaa tuotannoissaan noin 20 m<sup>3</sup>/t vettä, mutta osa sellutehtaista kuluttaa sitä yhä yli 100 m<sup>3</sup>/t. Lisäksi sellun valmistuslaitoksissa syntyy paljon jätevetttä. (Esmaeeli & Sarrafzadeh 2023.) Keräämällä, käsittelemällä ja kierrättämällä prosessissa käytettyjä vesiä, voidaan vähentää käytetyn raakaveden ja muodostuvan jäteveden määrää. Lisäksi prosessivesien kierrättämisellä voidaan saada säästöjä kemikaalien, lämmön sekä energian osalta.

Sellutehtaalla puunkäsittelyvaiheessa vettä käytetään puiden sulattamiseen sekä pesuihin ennen kuorintavaihetta. Sulattamiseen käytetään kuumaa vettä. Alhaisemmissa lämpötiloissa kuoren ja puun välille muodostuu voimakkaampia sitoutumisvoimia, kun taas lämpötilojen noustessa nämä voimat heikkenevät. Puun kuorinta voidaan suorittaa vedellä tai ilman. Märkäkuorinnassa vesisuihkujen avulla huuhdellaan irronneet kuoret pois systeemistä. Lisäksi kuorimolla voidaan käyttää vettä pölyn poistamiseen, kivien ja hiekan erottamiseen sekä kuoren kuljettamiseen. (Fardim 2011.)

Pesuvaiheissa pyritään pesemään sellumassa mahdollisimman tehokkaasti. Samalla otetaan talteen arvokkaita kemikaaleja, jolloin niitä voidaan hyödyntää prosessissa uudelleen. Lisäksi massasta halutaan kerätä liuennut orgaaninen materiaali mahdollisimman tehokkaasti talteen, jotta sitä voidaan käyttää energian tuotannossa. Nämä pyritään tekemään mahdollisimman tehokkaasti minimoimalla samalla vedenkäyttö. Sellunvalmistuksessa voi olla useampia pesuvaiheita. Niitä on monesti keitto- ja happivaiheiden jälkeen sekä valkaisun eri vaiheiden välissä. Keitto- ja happivaiheen jälkeisillä pesuilla pyritään puhdistamaan massa sekä ottamaan talteen jäteliuos, jossa on monia arvokkaita kemikaaleja. Valkaisun eri vaiheiden välissä tehtävien pesujen tarkoitus on poistaa massasta liuenneita orgaanisia aineita ja edellisen vaiheen valkaisukemikaalien jäännöksiä, jotka voivat kuluttaa seuraavan valkaisu- vaiheen valkaisukemikaaleja tai reagoida niiden kanssa. Lisäksi pesuvaiheilla pyritään säätämään pH-arvo sopivaksi seuraavaa valkaisu- vaihetta varten ja niillä voidaan vaikuttaa massan sakeuteen sekä lämpötilaan. (Fardim 2011.)

Vesikierroiltaan täysin suljettuja sellutehtaita on vaikea muodostaa. Valkaisematonta sellua valmistavan sellutehtaan vesikiertojen osittainen sulkeminen ja jätevedettömyyden saavuttaminen on helpompaa kuin valkaistua sellua valmistavan sellutehtaan. Valkaisuvaiheen viimeisissä pesuissa tarvitaan puhdasta vettä, ettei vedessä olevat epäpuhtaudet tai jäännöskemikaalit kuluta tai reagoi valkaisukemikaalien kanssa. Tämän takia kiertovesien hyödyntäminen niissä on vaikeaa. Toisaalta näissä pesuissa käytetty vesi voidaan hyödyntää valkaisuvaiheen aikaisemmissa pesuvaiheissa tai muissa sellumassan pesuissa. (Seppälä et al. 2002, Zaki A. & Farooq 2017.)

Sellun valkaisuvaiheen vesikiertojen sulkemista vaikeuttaa siinä muodostuvat yhdisteet. ECF-massojen valkaisussa muodostuu kloridia, joka rikastuu lipeäkiertoon ja voi aiheuttaa korroosiota esimerkiksi soodakattiloissa. TCF-massojen kiertovesien sulkemista vaikeuttaa puolestaan prosessiin rikastuvat epäpuhtaudet ja metallit. Valkaisemattoman sellun tuotannossa on teoriassa mahdollista sulkea vesikiertojärjestelmä, mutta näitä ei sellutehtaissa ole vielä käytössä. Toisaalta CTMP-laitokset voivat olla jätevedettämiä, eli niiden jätevedet käsitellään ja ne voidaan hyödyntää uudelleen laitoksen prosesseissa. Näissä laitoksissa kuitenkin tarvitaan raakavettä, minkä takia ne eivät ole vesikierroiltaan täysin suljettuja. (Seppälä et al. 2002.)

### 2.2.2 Vesikierrat paperi- ja kartonkikoneella

Paperi- ja kartonkikoneilla kulutetaan paljon vettä. Tämän takia vesikiertojen sulkeminen mahdollisimman tehokkaasti on tärkeää ja sillä voidaan saavuttaa isoja säästöjä raakaveden ja jäteveden käsittelyissä, jäteveden päästöihin liittyvissä maksuissa sekä energian kulutuksessa. (Paulapuro 2008.) Kun paperi- tai kartonkikoneelle suunnitellaan kiertovesijärjestelmää, täytyy ottaa konekohtaiset tekijät huomioon ja suorittaa suunnittelu niiden pohjalta. Taulukossa 2 on esitetty kiertovesijärjestelmän suunnittelussa huomioon otettavia asioita.

Taulukko 2. Kiertovesijärjestelmän suunnittelussa huomioon otettavat tekijät (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005).

Kiertovesijärjestelmän suunnittelu	Päästöt, vedenkulutus, energiankulutus
	Muut käyttö- ja huoltokustannukset, investointikustannukset
	Järjestelmän stabiilisuus tasaisen ajon aikana ja katkoissa
	Järjestelmän joustavuus lajinvaihtojen aikana
	Järjestelmän vaikutus tuotteen laatuun, tasaisuuteen ja koneen hyötysuhteisiin

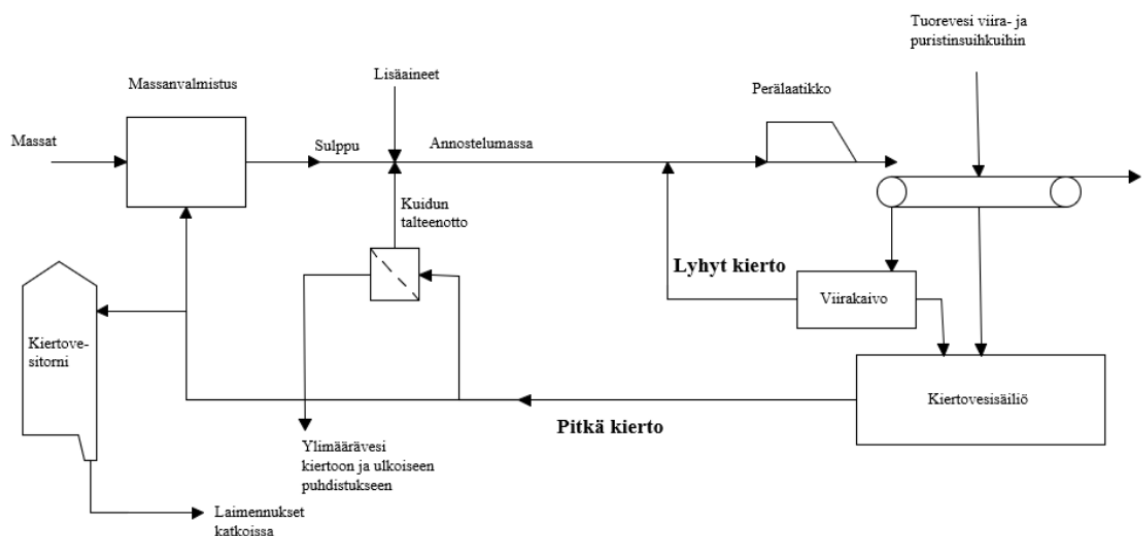
Kaikkien taulukossa 2 esitettyjen tekijöiden yhteensovittaminen voi aiheuttaa vaikeuksia. Tavallisesti järjestelmän stabiilisuus ja joustavuus lajinvaihdossa ovat eniten ristiriidassa keskenään. Tämän takia vesikiertojärjestelmän suunnittelussa täytyy tehdä kompromisseja ja pyrkiä löytämään ratkaisuja, jotka ottavat mahdollisimman hyvin huomioon eri muuttujia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005.)

Paperin ja kartongin valmistuksessa vettä käytetään kuljettamiseen, pesemiseen, tiivistämiseen, lämmittämiseen, laimentamiseen, kuitusidosten mahdollistamiseen sekä myös purkamiseen. Veden avulla voidaan kuljettaa esimerkiksi kuituja, lämpöä ja muita siihen liuenneita aineita. Sillä voidaan pestä massaa ja koneen kudoksia, eli huopia ja viiroja. Vedellä voidaan myös tiivistää laitteita kuten pumppuja, laimentaa kemikaaleja sekä lämmittää ja jäähdyttää eri prosesseja. Vesi mahdollistaa tasaisemman kuitujen jakautumisen paperi- ja kartonkikoneella. Tällöin vettä poistattaessa muodostuvat paperi- tai kartonkirainat ovat tasalaatuisempia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, Paulapuro 2008.)

Vesi on läsnä kaikissa paperin ja kartongin valmistuksen vaiheissa. Paperin ja kartongin valmistusprosessi perustuu siihen, että kuitumassasta poistetaan vettä. Vettä käytetään massaosastolla sellu- ja hylkymassan laimentamiseen, niin että perälaatikolle tuleva massa on sopivassa sakeudessa. Perälaatikon tehtävänä on tasaisen rainan muodostaminen viiralle. Perälaatikosta viiraosalle tulevan massan sakeus on noin 0,2–1,2 %. Viiraosalle siinä olevasta vedestä poistuu noin 95 %, eli massan sakeus on viiraosan jälkeen noin 15–20 %. Viiraosan jälkeen paperi- ja kartonkikoneilla tulee puristinosa. Puristinosaalla kartonki- tai paperirainan

vesipitoisuutta lasketaan puristuksen avulla, jolloin kuiva-ainepitoisuus nousee tasolle 40–55 %. Puristinosan jälkeen tulee kuivatusosa, jossa paperi- ja kartonkirainasta poistetaan edelleen vettä. Kuivatusosan jälkeen paperin ja kartongin kuiva-ainepitoisuus on yli 90 %. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005.)

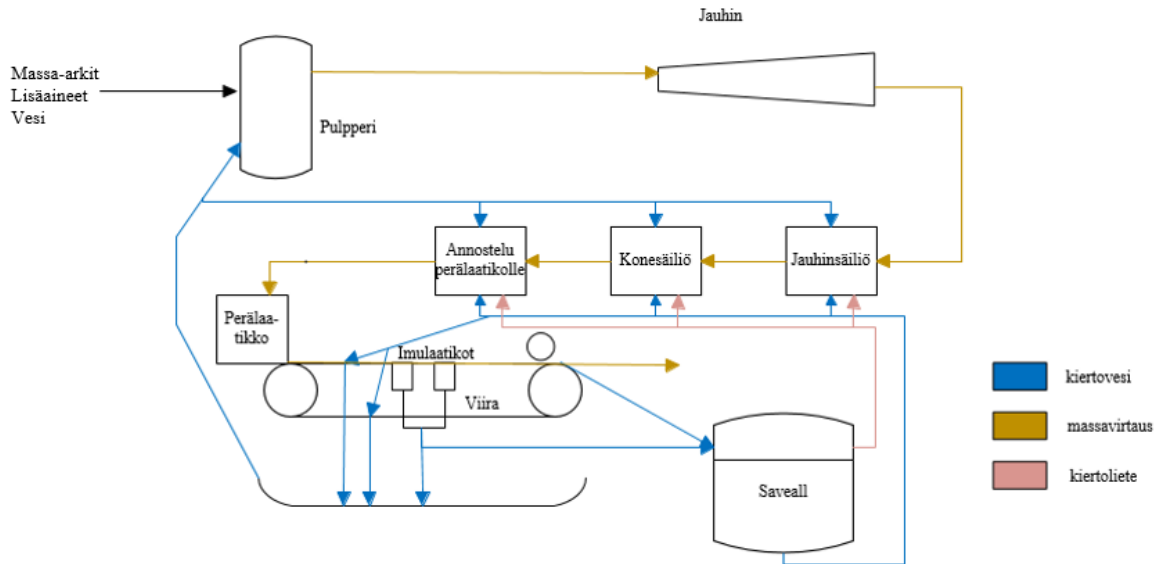
Paperi- ja kartonkikoneilla puhutaan lyhyestä ja pitkästä kierrosta. Lyhyt kierto kattaa perälaatikolle tulevan veden, josta noin 95 % poistetaan koneen viiraosalla viirarännin kautta viirakaivoon ja johdetaan sieltä takaisin perälaatikon annostelumassan laimentamiseen. Viirarosalta poistuva vesi on 0-vettä. Lyhyen kierron ylimääräinen vesi sekä 0-vesi muista prosessin vaiheista voidaan johtaa kiertoovesisäiliöön, josta ne voidaan edelleen johtaa massanpuolelle ja hylkylinjoille laimennuksiin. Tätä kiertoa kutsutaan pitkäksi kierroksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, Paulapuro 2008.) Kuvassa 2 on esitelty paperikoneen ja kartonkikoneen lyhyt ja pitkä kierto.



Kuva 2. Lyhyt ja pitkä vesikierto (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005)

Integroimaton paperi- ja kartonkitehdas joutuu ostamaan massa-arkkeja tuotantoyksikön ulkopuolelta. Tällöin tarvitaan ostomassoille tarkoitettu pulpperiosasto, jossa ne voidaan pulperoida. Siinä massa-arkit, lisäaineet ja vesi syötetään pulperiin, jossa voimakkaan sekoituksen ansiosta massa-arkit hajoavat ja sekoittuvat veden sekä lisäaineiden kanssa. Tämän jälkeen seos johdetaan jauhimelle, jossa siinä olevat kuidut jauhetaan lyhyemmiksi. Massa johdetaan eri säiliöiden kautta perälaatikolle. Säiliöitä käytetään massan virtauksen tasoittamiseen, lisäksi sitä laimennetaan nollavedellä ennen kuin se pääty perälaatikkoon.

(Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, Landin et al. 2010.) Kuvassa 3 on esitetty jauhatuksen, sekoituksen ja annostelun kiertojärjestelmä, jossa on esitetty massavirta, kiertovesi ja kiertoliete.



Kuva 3. Jauhatuksen, sekoituksen ja annostelun kiertojärjestelmä (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, Landin et al. 2010.)

Kuitujen keräämiseen ja kiertoveden puhdistukseen on erilaisia menetelmiä esimerkiksi suodatus, vaahdotusrikastaminen, fraktiointi ja sedimentaatio. Näistä voidaan käyttää myös useamman menetelmän yhdistelmää. Näistä menetelmistä suodatus erityisesti kiekkosuodatus on yleisin paperi- ja kartonkikoneilla. Suodatukseen tulee vettä viirakaivosta, märkään märkäimulaatikoista, viira- ja puristinosan imujärjestelmistä ja hylkymassan sakeutuksesta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, Paulapuro 2008.)

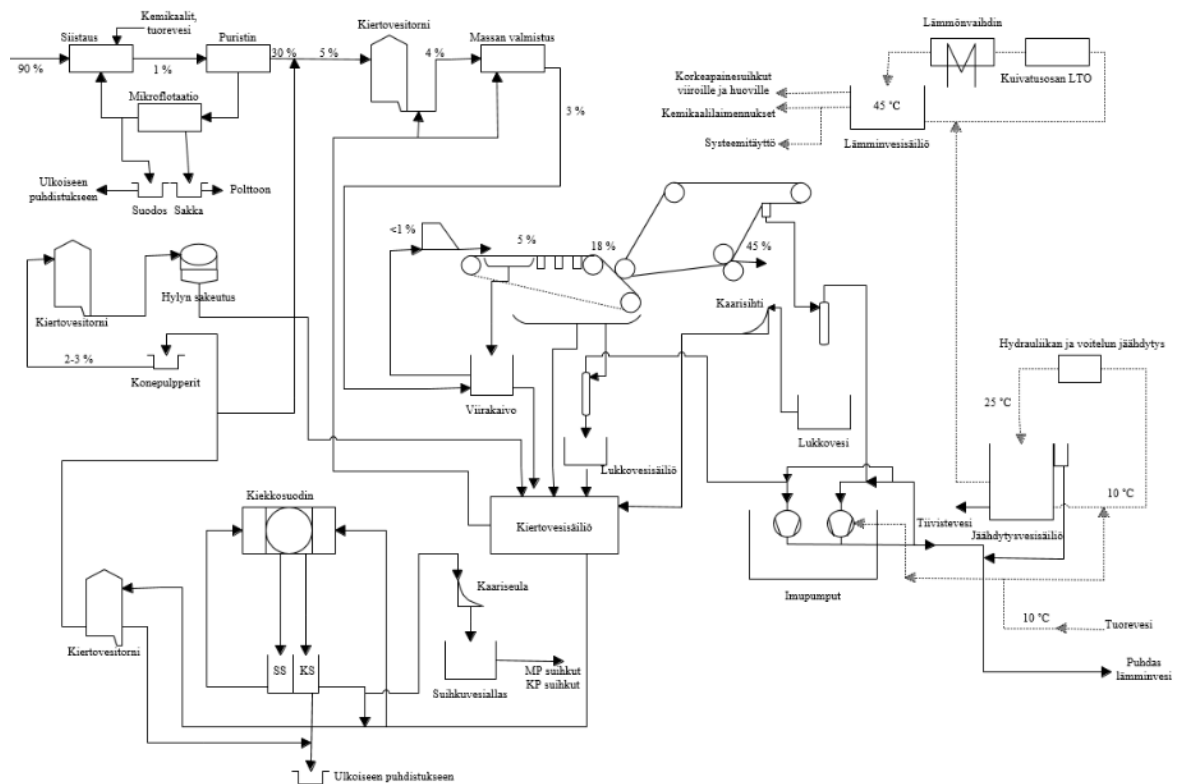
Paperi ja kartonkikoneiden viira- ja puristinosan korkeapainesuihkuissa tarvitaan puhtainta vettä. Tyypillisesti näissä suihkuissa käytetään käsiteltyä raakavettä, mutta esimerkiksi kiekkosuotimien avulla voidaan suodattaa superkirkasta suodosta, jota voidaan myös käyttää näissä suihkuvesissä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, Paulapuro 2008.) Superkirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuus on 10–20 ppm tai vähemmän, jolloin se ei tuke viira- ja puristinosan korkeapainesuihkujen suuttimia (Paulapuro 2008). Taulukossa 3 on esitetty vesimäärä, joka kuluu nykyaikaisen yhdeksän metriä leveän paperikoneen viira- ja puristinosan suihkuissa.

Taulukko 3. Viira- ja puristinosan suihkuissa tarvittava vesimäärä nykyaikaisella yhdeksän metriä leveällä paperikoneella. (Paulapuro 2008.)

Viiraosa		
Lämmin raakavesi	25 L/s	yhteensä
Matalapaine	15 L/s	pesu ja voitelu
Korkeapaine	10 L/s	korkeapainesuihkut
Käsitelty kirkas suodos	40 L/s	yhteensä
Matalapaine	30 L/s	viira- ja telasuihkut
Korkeapaine	10 L/s	viisto- ja reunapillien suihkut
Lisäksi katkojen aikana	60 L/s	katkovedet
Lauhde	1 L/s	viistopillit, telojen päiden kastelu
Puristinososa		
Lämmin raakavesi	35 L/s	yhteensä
Matalapaine	25 L/s	pesu ja voitelu
Korkeapaine	10 L/s	korkeapainesuihkut

Taulukosta 3 nähdään, että viiraosalla suihkuissa käytetään vettä 126 L/s ja puristinosalla 35 L/s. Suuri osa viiraosan suihkuvesistä käytetään viiran ja telojen suihkuissa sekä viisto- ja reunapilleissä. Näissä voidaan käyttää käsiteltyä kirkasta suodosta. Viiraosan korkeapainesuihkuissa, pesusuihkuissa ja voiteluissa käytetään lämmitettyä raakavettä yhteensä noin 25 L/s. Lisäksi katkojen aikana viiraosalla kuluu katkovettä noin 60 L/s. Puristinosalla suihkuvesiin kuluu vettä noin 35 L/s. Tämä on kokonaan lämmitettyä raakavettä ja käytetään puristinosan korkeapainesuihkuissa, pesusuihkuissa ja voiteluissa. Puristinosan suihkuvedet ja rainasta poistuva vesi sekoittuvat keskenään, ja tämä vesiseos voidaan hyödyntää prosessin aikaisemmissa vaiheissa uudelleen (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005).

Paperi- ja kartonkiteollisuudessa on suuret paineet sulkea vesikiertoja entistä enemmän. Tämä tarkoittaa, että paperin ja sellun valmistuslaitosten täytyy investoida uusiin teknologioihin ja vedenkäsittelymenetelmiin. Kun paperi- ja kartonkikoneiden vesikiertoja suljetaan, kiertoveden lämpötila nousee ja sen epäpuhtauksien määrä nousee. (Simstich & Oeller 2010) Kuvassa 4 on esitelty esimerkki paperitehtaan suljetusta vesikierrosta.



Kuva 4. Esimerkki paperitehtaan suljetusta kierrosta (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005.)

Kuten kuvasta 4 nähdään, kiertovesisäiliöön kerätään kiertovettä monista eri kohteista, esimerkiksi viiraosalta, puristinosalta, lukkovesisäiliöstä ja hyllyn käsittelystä. Kiertovesisäiliöstä vesi johdetaan hyllyn tai massan käsittelyyn laimennusvedeksi tai sitten veden käsitteilyyn esimerkiksi kiekkosuotimelle. Kiekkosuotimelta saadaan sakeaa ja kirkasta suodosta, joskus myös superkirkasta suodosta. Samea suodos johdetaan takaisin kiekkosuotimelle suodatettavaksi ja kirkas suodos voidaan johtaa kiertovesitorniin, suihkuvesiin tai ulkoiseen puhdistukseen.

### 2.3 Jätevedet

Metsäteollisuudessa syntyvän jäteveden määrää pyritään jatkuvasti pienentämään. Jätevesien määriin ja niiden epäpuhtauspitoisuuksiin liittyy lupaehtoja, joita täytyy noudattaa ja nämä määräykset tiukkenevat koko ajan. Tämä painostaa metsäteollisuuden tuotantolaitoksia panostamaan uusiin veden käsitteilyteknologioihin ja -menetelmiin, joilla voidaan käsitellä tuotantolaitosten vesiä ja vähentää muodostuvien jätevesien määriä sekä puhdistaa niitä tehokkaammin. Sellutehtailla sekä paperi- ja kartonkikoneilla syntyviä jätevesiä voidaan

käsitellä valmistuslaitoksissa sisäisesti tai sitten ulkoisissa käsittelylaitoksissa. Vesien käsittelymenetelmät ovat mekaanisia, kemiallisia, biologisia tai näiden yhdistelmiä.

### 2.3.1 Sellutehtailla syntyvät jätevedet

Sellutehtaiden jätevesimäärä on vähentynyt merkittävästi viimeisten vuosikymmenten aikana. Nykyaikaisessa valkaisuvalmista sellua valmistavassa sellutehtaassa voidaan jätevesipäästöjen määrissä päästä parhaimmillaan 5–10 m<sup>3</sup>/t ja valkaistua massaa valmistavassa tehtaassa voidaan päästä parhaimmillaan 10–20 m<sup>3</sup>/t. (Seppälä et al. 2002) Taulukossa 4 on esitetty tyypillisiä päästöjä erityyppisille sellutehtaille.

Taulukko 4. Sellutehtaiden tyypillisiä jätevesipäästöjä tuotettuja sellutonneja kohden (Seppälä et al. 2002.)

Prosessi	Jätevesi, [m <sup>3</sup> /t]	Kiintoaine, [kg/t]	BOD, [kg/t]	COD, [kg/t]	Typpi, [kg/t]	Fosfori, [g/t]
Valkaisematon	20–50	10–20	5–10	20–30	0,30	0,08
EFC valkaistu	30–50	10–20	15–20	25–40	0,50	0,10
Kloorivalkaistu	60–80	10–20	20–30	60–120	0,40	0,12

Taulukosta 4 nähdään, että kloorivalkaistun sellun valmistuksessa syntyy suurin määrä jätevettä tuotetonna kohti. Kloorivalkaistun sellun valmistuksessa syntyvässä jätevedessä on suurempi BOD-, COD- ja fosforipitoisuus kuin muissa taulukossa listatuissa sellutehtaissa. Valkaisemattoman ja EFC valkaistun sellun valmistuksessa syntyy suunnilleen yhtä suuri määrä jätevettä tuotetonna kohti. Valkaisemattoman sellun jätevesillä on tyypillisesti hieman alhaisemmat BOD-, COD-, typpi- ja fosforipitoisuudet kuin EFC valkaistun sellun jätevesillä. EFC valkaistun sellun jätevesissä on korkeampi typpipitoisuus verrattuna valkaisuvalmista sellun jätevesiin.

Sellun valmistuksen eri vaiheissa syntyy erimäärä jätevesiä. Lisäksi näiden jätevesien eri epäpuhtauksien pitoisuudet eroavat keskenään hyvin paljon. (Dahl 2008.) Taulukossa 5 on eritelty valmistuksen eri vaiheissa syntyvien jätevesien määrät, suspendoituneiden kiintoainesten kokonaismäärät (TSS), biologisesti hajoavien orgaanisten aineiden määrät (BOD), kemiallisesti hajoavien orgaanisten aineiden määrät (COD) sekä typpi (N) ja fosfori (P) pitoisuudet.

Taulukko 5. Sellun valmistuksen eri vaiheissa syntyvien jätevesien pitoisuuksia (Dahl 2008.)

Osasto	Virtaus, [m <sup>3</sup> /Adt]	TSS, [kg/Adt]	BOD, [kg/Adt]	AOX, [kg/[Ad/t]	COD, [kg/Adt]	P, [kg/Adt]	N, [kg/Adt]
Kuorimo	2,5	4	2	0	5	0,02	<0,20
Pesemö ja lajittamo	0,5	3	1	0	2	0,001	0,015
Valkaisu	31	2	10	1,2	35	0,047	0,075
Lauhteet	1	0	1	0	3	0	0
Muut	3	4	4	0	10	0,007	0,002
Yhteensä	38	13	18	1,2	55	0,075	0,30

Kuorimolla syntyy noin 2,5 m<sup>3</sup>/Adt jätevettä ja se sisältää paljon typpeä 200 g/Adt ja fosforia 20 g/Adt verrattuna muihin vaiheisiin. Ainoastaan valkaisuvaiheessa syntyvä jätevesi sisältää enemmän fosforia 47 g/Adt kuin kuorimolla syntyvä jätevesi.

Taulukosta 5 nähdään, että valkaisuvaiheessa syntyy eniten jätevettä eli noin 31 m<sup>3</sup>/Adt, joka on yli 80 % sellun valmistuksessa syntyvästä jäteveden määrästä. Valkaisussa syntyvän jäteveden BOD-, COD- ja fosforipitoisuudet ovat korkeita verrattuna muihin sellun valmistusvaiheisiin. Lisäksi valkaisussa syntyvä jätevesi sisältää AOX-yhdisteitä, joista osa on terveydelle haitallisia (Savant et al. 2006).

Pesemöllä ja lajittamolla syntyy vähiten jätevettä tuotettua sellutonnia kohden eli noin 0,5 m<sup>3</sup>/Adt. Lisäksi jätevettä muodostuu lauheteista noin 1 m<sup>3</sup>/Adt sekä muista sellun valmistusvaiheista noin 3 m<sup>3</sup>/Adt.

### 2.3.2 Paperi- ja kartonkikoneilla syntyvät jätevedet

Paperiin ja kartongin valmistusprosessit muodostavat paljon jätevettä. Jätevedet voivat sisältää jopa 700 eri orgaanista ja epäorgaanista ainetta. Tämän takia on tärkeää, että nämä jätevedet käsitellään asianmukaisesti. Jätevesiä koskevat määräykset tiukkenevat koko ajan, mikä aiheuttaa yrityksille painetta kehittää omia vedenkäsittelymenetelmiään. Paperi- ja kartonkitehtaiden jätevesien käsittelymenetelmiä on biologisia, kemiallisia ja fysikaalisia, sekä näiden yhdistelmiä. (Kamali & Khodaparast 2015.)

Valmistettavan paperin ja kartongin laadut vaikuttavat syntyvän jäteveden määrään. Taulukossa 6 on esitetty eri papereiden valmistusprosesseissa syntyviä jätevesimääriä sekä niiden kiintoaine-, BOD-, COD-, typpi- ja fosforipitoisuuksia. (Seppälä et al. 2002.)

Taulukko 6. Eri paperitehtaiden tyypillisiä jätevesipäästöjä tuotettua paperitonnia kohden (Seppälä et al. 2002.)

Prosessi	Jätevesi, [m <sup>3</sup> /t]	Kiintoaine, [kg/t]	BOD, [kg/t]	COD, [kg/t]	Typpi, [kg/t]	Fosfori, [kg/t]
Sanomalehti	10–20	5–10	1–3	2–4	0,02	0,005
Hienopaperi	20–50	10–20	3–8	10–20	0,10	0,005
Säkkipaperi	15–30	5–10	2–4	4–8	0,20	0,015
Pehmopaperi	20–40	5–10	1–3	3–6	0,08	0,008

Kaikki taulukossa 6 esitetyt paperilaatujen valmistusprosesseissa syntyvät jäteveden määrät ovat samaa suuruusluokkaa. Eniten jätevettä muodostuu hienopaperin valmistuksessa, jossa jätevettä syntyy noin 20–50 m<sup>3</sup>/t. Hienopaperin jätevesien BOD- ja COD-pitoisuudet ovat korkeampia kuin muilla paperilaaduilla. Vähiten jätevettä syntyy taas sanomalehtipaperin valmistuksessa, jossa sitä syntyy noin 10–20 m<sup>3</sup>/t. Typpi- ja fosforipitoisuudet ovat korkeimpia säkkipaperin jätevesissä, joissa typpipitoisuus on noin 0,20 kg/t ja fosforipitoisuus on noin 0,015 kg/t.

### 3 Veden laatukriteerit

Vesi on erittäin aktiivinen liuotin. Sitä kutsutaan aggressiiviseksi liuottimeksi, koska monet aineet liukenevat siihen helposti. Vesi on erittäin oleellinen osa sellun, paperin ja kartongin valmistusta. Näiden valmistamien olisi mahdotonta ilman vettä. Kuitenkin veteen monesti kiinnitetään huomiota vasta silloin, kun se aiheuttaa ongelmia tuotantoprosessissa. Monesti veden aiheuttamat ongelmat liittyvät sen laatuun. (Cifuentes 2015.)

#### 3.1 Raakaveden laatukriteerit

Sellu-, paperi- ja kartonkitehtaille otettu raakavesi on tavallisesti jokien ja järvien pintavettä. Käytössä olevan raakavesilähteen ominaisuudet vaikuttavat suuresti siihen, miten raakavettä täytyy käsitellä sekä prosessivesien laatuun. Raakavesille määritetyt laatuvaatimukset vaihtelevat tuotantolaitosten välillä, koska eri tuotantolaitoksissa raakaveden puhtauden tarpeet vaihtelevat suuresti. Lisäksi tuotantolaitosten eri prosesseissa voi olla hyvin erilaisia vaatimuksia raakaveden laadulle. (Dahl 2008.) Taulukossa 7 esitetään ohjearvot raakavesien eri parametreille. Taulukossa verrataan kemiallisesti käsiteltyä raakavettä, jota käytetään juomaveden sekä valkaistun sellun valmistukseen ja mekaanisesti käsiteltyä raakavettä, jota käytetään valkaisemattoman sellun valmistukseen.

Taulukko 7. Laatukriteerien ohjearvot kemiallisesti ja mekaanisesti käsitellylle raakavedelle (Dahl 2008.)

Veden laatuparametrit	Kemiallinen käsittely		Mekaaninen käsittely
	Juomavesi	Valkaistu sellu	Valkaisematon sellu
pH	6,5–9,5	6,0–6,5	-
Lämpötila, °C	<25	-	-
Sameus, NTU/FTU	<4 (FTU)	<40 (NTU)	<100 (NTU)
Väri, Pt/L	<15	<25	-
Haju/maku, mg/L	<2 (12°C) <3 (25°C)	-	-
Kovuus, mg/L	<60	<100	<100
Emäksisyys, mg/L	<30	<75	<150
Johtokyky, mS/m	<40	-	-
Aktiivinen kloori, mg/L	<1,0	-	-

Alumiini, mg/L	<0,2	-	-
Kalsium, mg/L	<100	-	-
Kloridit, mg/L	<100	<200	<200
Kupari, mg/L	<1,0	-	-
Mangaani, mg/L	<0,005	<0,1	<0,5
Rauta, mg/L	<0,2	<0,2	<1,0
Sinkki, mg/L	<3,0	-	-
Natrium, mg/L	<150	-	-
Kalium, mg/L	<12	-	-
Magnesium, mg/L	<50	-	-
Silikaatit, mg/L	-	<50	<100
Hopea, mg/L	<0,01	-	-
Kuiva kiintoaine, mg/L	1500 (180 °C)	-	-
Liuenut kiintoaine, mg/L	-	<300	<500
TOC, mg/L	<20	-	-
COD, Cr/Mn, mg/L	<3,0 (Mn)	-	-
KMnO <sub>4</sub> -luku	<12	-	-
Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/L	<0,5	-	-
Ammonium NH <sub>4</sub> -N, mg/L	<0,4	-	-
Sulfaatti, mg/L	<150	-	-
Fosfaatti, mg/L	<0,1	-	-
Kloriitti, mg/L	<0,2	-	-
EDTA, µg/L	<200	-	-
Typpi, mg/l	<150	-	-
Liuenneet hiilivedyt, mg/L	<0,001	-	-
Fenoli, mg/L	<0,0005	-	-
Pinta-aktiiviset aineet, mg/L	<0,2	-	-

Suomen vesistöalueiden ominaisuuksien takia raakavesien parametreistä seurataan eniten rauta- ja mangaanipitoisuuksia sekä veden väriä. Sellun, paperin ja kartongin valmistuksen kannalta oleellisia seurattavia parametrejä ovat lisäksi raakaveden sameus, kovuus, kloridipitoisuus ja emäksisyys. (Dahl 2008.) Nämä parametrit on korostettu vihreällä värillä taulukossa 7. Näiden parametrien ohjearvot ovat odotetusti tiukimmat juomaveden valmistukseen käytetylle raakavedelle ja löyhimmät valkaisemattoman sellun valmistuksessa käytetylle raakavedelle.

Veden humus-, kupari-, mangaani- ja rautapitoisuudet voivat vaikuttaa veden väriin värjäämällä sen kellertäväksi, rusehtavaksi tai vihertäväksi. Vedessä oleva rauta voi värjätä kemiallisesta sellusta valmistetun paperin ja kartongin keltaiseksi tai harmaaksi, koska

kemiallinen sellukuitu absorboi rautaa. Rauta voi myös muodostaa kuitukimppuja selluun, paperiin tai kartonkiin. Mangaani voi raudan tavoin värjätä sellua, paperia ja kartonkia. Veden sameus johtuu siihen suspendoituneista orgaanisista ja epäorgaanisista aineista. Veden kovuus kuvaa lähinnä liuenneiden kalsium- ja magnesiumsuolojen pitoisuuksia, jotka kovettavat vettä. Emäksisyyden aiheuttaa vedessä olevat karbonaatit, bikarbonaatit ja hydroksidit. Sillä mitataan veden kykyä neutralisoida happoja. Vedessä olevat kloridit voivat aiheuttaa laitteiden korroosiota, mutta niiden esiintyvyys sellun, paperin ja kartongin valmistusprosessissa on alhaista.

### 3.2 Prosessivesien laatukriteerit

Paperi- ja kartonkikoneissa on eri vaiheissa erilaisia laatuvaatimuksia käytetyille vesille. Pesuissa ja huuhteluissa ei ole korkeita vaatimuksia veden puhtaudelle. Näissä voidaan hyödyntää nollavettä, jäähdytysvettä ja raakavettä, joista jäähdytysveden ja raakavedenkäyttö eivät ole tehokkuuden ja kestävyuden kannalta ideaalisia vaihtoehtoja. Laimennusvesien laatukriteerit vaihtelevat prosessin mukaan, mutta yleensä näissä käytetään raakavettä. Suihkuvesien laatuvaatimukset vaihtelevat paljon, osassa tarvitaan erittäin puhdasta vettä tukkeutumisriskin takia ja joissakin riittää vähemmän puhdas vesi. Matalapainesuihkuissa ja laitteiden huuhtelusuihkuissa voidaan käyttää käsiteltyä nollavettä. Korkeapainesuihkuissa tarvitaan taas erityisen puhdasta vettä, joten siellä käytetään käsiteltyä raakavettä tai riittävän puhdasta käsiteltyä nollavettä. Kemikaalien laimennuksiin tarvitaan todella puhdasta vettä, joten niissä käytetään yleensä käsiteltyä raakavettä. (Cifuentes 2015.)

Nollavesi koostuu pienistä kuiduista, kuitujätteistä, liuenneista aineista sekä suspendoituneista aineista, joit ovat esimerkiksi täyteaineista, väriaineista ja tärkkelyksestä. Täyteaineita on monesti enemmän nollavedessä kuin alkuperäisessä massassa. Nollaveden laatu ja koostumus vaihtelee valmistettavan paperin ja kartongin mukaan sekä myös paperi- ja kartonkikoneiden ominaisuuksien mukaan. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi massan, viiran ja huopien ominaisuudet sekä imulaatikoiden imujen määrä. (Landin et al. 2010)

Paperi- ja kartonkikoneilla tarvitaan puhtainta vettä viira- ja puristinosan korkeapainesuihkuissa. Näissä suihkuissa käytetään monesti raakavettä, mutta niissä voidaan myös käyttää puhdistettua kiertovettä. Puhdistus voidaan tehdä esimerkiksi kiekkosuotimella, josta saadaan tänä päivänä kolme erilaista suodosta: sameaa, kirkasta ja superkirkasta. Superkirkkaan

suodoksen kiintoainepitoisuus on 10–20 ppm tai vähemmän, eli sitä voidaan hyödyntää paperi- ja kartonkikoneella korkeapainesuihkuissa viira- ja puristinosalla. Kirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuus on noin 30–50 ppm, eli sitä voisi myös käyttää korkeapainesuihkuissa, mutta sen kiintoainepitoisuus on hyvin lähellä korkeapainesuihkujen kiintoainepitoisuuden rajaa. Tämän takia sitä käytetään yleensä massan ja hylkymassan laimennuksessa. Samea suodos kierrätetään takaisin kiekkosuotimelle suodatukseen. (Paulapuro 2008, Häggblom-Ahnger & Komulainen 2005.) Taulukossa 8 on esitetty tarkemmin vaatimuksia veden kiintoainepitoisuuksille, jotta sitä voidaan käyttää erilaisissa paperi- ja kartonkikoneen suihkuissa.

Taulukko 8. Vaatimukset suihkuissa käytettävän veden kiintoainepitoisuuksille (Paulapuro 2008.)

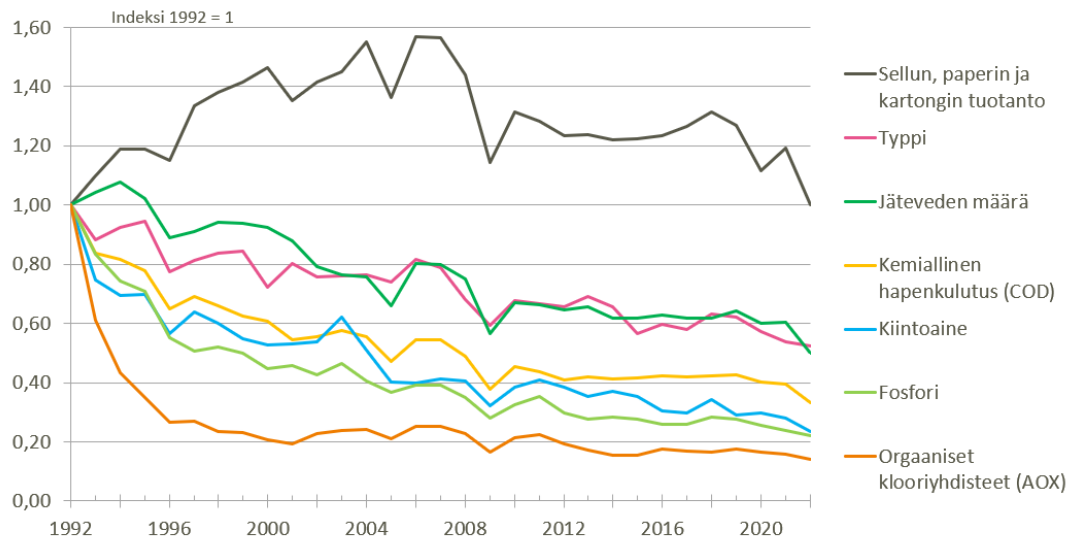
Veden käyttötarkoitukset	Kiintoainepitoisuus, [ppm]
Korkeapainesuihkuissa	<50
Suihkuissa, joiden suuttimien reikä on $\geq 1$ mm	50–75
Suihkuissa, joiden suuttimien reikä on $\geq 1,5$ mm	75–100
Suihkuissa, joiden suuttimien reikä on $\geq 3$ mm	100–200
Harjatyypisissä suihkuissa	200–500
Puhdistettavissa suihkuissa	>500

Taulukosta 8 nähdään, että kartonki- ja paperikoneiden puhdistettavissa ja harjatyypisissä suihkuissa sekä suihkuissa, joiden suuttimen reikä on yli 3 mm, voidaan käyttää korkeampia kiintoainepitoisuuksia omaavia vesiä. Suihkujen suuttimien reikien pienentyessä vaaditaan pienempiä kiintoainepitoisuuksia, etteivät ne tukkeudu ja mene rikki. Konelinjojen korkeapainesuihkuissa tarvitaan puhtainta vettä, koska ne tukkeutuvat kaikista helpoiten.

### 3.3 Jätevesien laatukriteerit

Sellun, paperin ja kartongin valmistuksessa syntyy paljon jätevettä. Sellun valmistuksessa syntyy 20–250 m<sup>3</sup>/Adt jätevettä. Jätevesistä seurataan BOD-, TSS-, COD-, AOX-, typpi- ja fosforipitoisuuksia. Kuvassa 5 esitetään sellun, paperin ja kartongin tuotantomäärän ja tuotannosta syntyvän jäteveden määrän sekä sen epäpuhtauksien määrän kehitys vuodesta 1992 vuoteen 2022.

### Massa- ja paperiteollisuuden päästöt vesistöihin ovat vähentyneet huomattavasti



Kuva 5. Sellun, paperin ja kartongin valmistuksessa syntyvän jäteveden kehitys vuodesta 1992 (Metsäteollisuus 2023.)

Kuvasta nähdään, että sellun, paperin ja kartongin tuotantojen määrät ovat suunnilleen samalla tasolla vuonna 2022 kuin vuonna 1992. Kuitenkin näiden vuosien välillä tuotantomäärät ovat käyneet myös korkeammalla. Syntyvän jäteveden määrä ja siinä olevien epäpuhdistuksien määrät ovat laskeneet vuodesta 1992 lähtien, vaikka sellun, paperin ja kartongin tuotantomäärät ovat välillä nousseet ja välillä laskeneet. Kun verrataan vuosia 1992 ja 2022 huomataan, että sellun, paperin ja kartongin tuotantomäärät ovat samalla tasolla, mutta syntyvän jäteveden määrä on huomattavasti alhaisempi ja siinä olevien epäpuhdistuksien määrät ovat huomattavasti alhaisempia. Tämä kertoo kehityksestä jäteveden muodostumisessa tuotantotonna kohden, mikä voi viitata kehitykseen veden käsittelyteknologioissa- ja menetelmissä.

## 4 Menetelmät vedenkäytön vähentämiseen metsäteollisuudessa

Vedenkäyttöä voidaan vähentää metsäteollisuuden tuotantolaitoksissa hyödyntämällä ja kehittämällä eri vedenkäsittelymenetelmiä ja -teknologioita. Näillä voidaan käsitellä raakavettä, prosessin kiertovesiä sekä tuotantolaitoksissa syntyviä jätevesiä. Sellun, paperin ja kartongin tuotantolaitoksilla sekä niiden valmistusprosessien eri vaiheilla on erilaiset vaatimukset käytettävän veden laadulle. Lisäksi eri tuotantolaitoksissa ja prosessien eri vaiheissa syntyy eri laatuja jätevesiä. Tämä aiheuttaa sen, ettei yksi käsittelymenetelmä tai -teknologia sovi kaikkiin tuotantolaitoksiin ja yhden tuotantolaitoksen sisällä voidaan tarvita useampaa eri vedenkäsittelymenetelmää halutun lopputuloksen saavuttamiseksi.

### 4.1 Lämmönsiirrin

Metsäteollisuuden tuotantolaitoksissa käytetään raakavettä kiertovesien jäähdyttämiseen. Vaihtoehtoisesti jäähdyttämiseen voidaan hyödyntää raakaveden sijasta lämmönsiirtimiä, mikä on vedenkäytön kannalta huomattavasti tehokkaampi vaihtoehto. Lämmönsiirtimissä virtaa fluideja, joilla voidaan jäähdyttää tai lämmittää haluttua fluidia. Fluidit voivat olla nesteitä tai kaasuja. Näiden välillä on väliseinä, joka estää aineita sekoittumasta keskenään. (Shah & Sekulic 2003)

Metsäteollisuuden tuotantolaitoksilla voidaan vähentää raakavedenkäyttöä, kun vesikiertojen jäähdytykseen käytettävä raakavesi korvataan lämmönsiirtimillä. Lämmönsiirtimissä kiertävä vesi kiertää omana kiertonaan, joten se ei sekoitu jäähdytettävän veden kanssa. Lämmönsiirtimissä käytettävä vesi voidaan kerätä, käsitellä ja hyödyntää uudelleen. Vaikka lämmönsiirtimet ovat vedenkäytön kannalta tehokkaampi valinta, niin niiden käyttöönottoon ja toiminnan ylläpitämiseen liittyy tekijöitä, jotka täytyy ottaa huomioon. Niiden käyttöönotto tuotantolaitoksilla vaatii investoinnin ja suunnittelua. Lisäksi niihin liittyy huolto- ja kunnossapitokustannuksia, jotka täytyy huomioida.

## 4.2 Kalvoerotusmenetelmä

Kalvoerotuksen prosessit voidaan jakaa mikro-, ultra- ja nanosuodatukseen sekä käänteisosmoosiin. Näiden prosessien suurimpana erona ovat kalvon huokoskokojen erot. Mikro-suodattimen huokoskoot ovat noin 0,1–10 µm. Sitä voidaan hyödyntää pohja- ja pintavesien käsittelyyn sekä muiden vedenkäsittelymenetelmien esikäsittelyinä. Ultrasuodattimen huokoskoot vaihtelevat tavanomaisesti 0,01–0,05 µm välillä. Sillä pystytään suodattamaan yli 0,5 µm kokoisia partikkeleita, kolloidisia aineita sekä isoimpia orgaanisia makromolekyylejä. Nanosuodatuksella vedestä voidaan poistaa liuenneita aineita, jopa 0,001 µm kokoisia partikkeleita sekä pienen molekyylipainon omaavia yhdisteitä kuten suolat ja mikroepäpuhtaudet. (Koyuncu et al. 2015)

Kalvoerotusmenetelmää voidaan hyödyntää sellu, paperi- ja kartonkiteollisuudessa monipuolisesti. Sillä voidaan käsitellä raakavesiä, jätevesiä ja kiertovesiä. Lisäksi sen avulla voidaan kerätä ja puhdistaa arvokkaita yhdisteitä näistä vesivirroista. Kalvoerotusmenetelmän käytöstä raakaveden käsittelyssä on muutamia esimerkkitapauksia kuten Brasiliassa sijaitseva Bahia Sul Celulose -sellutehdas sekä Saksassa sijaitseva Stendal-sellutehdas. Näissä molemmissa sellunvalmistuslaitoksissa käytetään raakavetenä joesta saatua vettä. Kalvoerotusmenetelmän käyttö on vaatinut molemmissa kohteeseen erikseen suunniteltuja esikäsittelyjä, joilla on hallittu jokien vesien laatujen vaihteluja. (Mänttari et al. 2015)

Kun vesikiertoja sellu-, paperi- ja kartonkilaitoksissa suljetaan, lisääntyy vedenkäsittelyn tarve. Tuotantolaitosten kiertovesistä kalvoerotusmenetelmällä käsitellään monesti 0-vettä ja suodoksia. Kalvoerotusmenetelmistä hyödynnetään lähinnä ultra- ja nanosuodatusta. Ultrasuodatuksella saadaan poistettua suspendoitunut kiintoaine, mutta liuenneita orgaanisia aineita sillä ei pystytä tehokkaasti poistamaan. Nanosuodatuksella epäpuhtaudet saadaan selvästi tehokkaammin poistettua. Ultrasuodatettua kiertovettä voidaan hyödyntää sellun, paperin ja kartongin valmistusprosessien suihku-, tiiviste- ja kemikaalien laimennusvesissä. Nanosuodatuksella käsitelty vesi on niin puhdasta, että sitä voidaan hyödyntää myös paperikoneiden lämpimien prosessivesien korvaamiseen. (Mänttari et al. 2015)

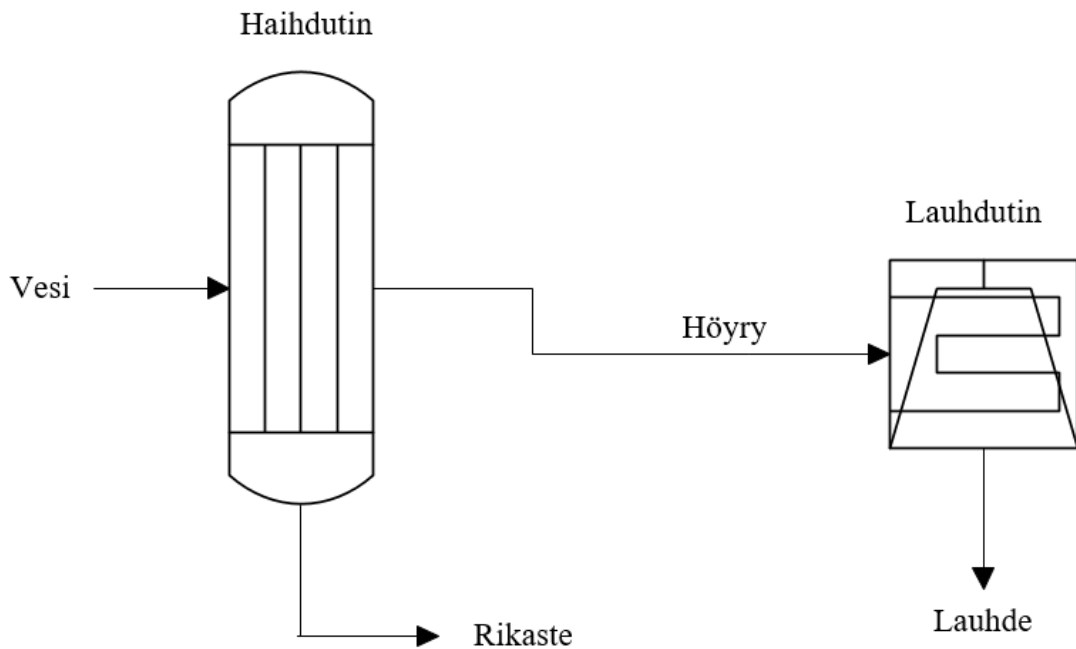
Jätevesien käsittelyssä kalvoerotusmenetelmää voidaan käyttää biologisen vedenpuhdistuslaitoksen yhteydessä tai erikseen omana jätevedenpuhdistusmenetelmänä. Kalvoerotusta voidaan käyttää ennen biologista puhdistamaa, jolloin se tehostaa biologista käsittelyä.

Nanosuodatuksella on onnistuttu tehostamaan aktiivilietelaitoksen toimintaa esimerkiksi Eltmannin paperitehtaalla. Tuolla jätevedestä pystyttiin poistamaan noin 90 % orgaanisesta aineksesta ja väristä sekä lisäksi 60 % AOX-yhdisteistä. Membraanibioreaktorissa yhdistyvät kalvoerotusmenetelmä sekä perinteinen aktiivilietelaitos. Perinteisessä aktiivilietelaitoksessa on pääyksikköä ilmastusallas ja sekundäärisestä selkeyttimestä, jossa vesi ja liete erotetaan toisistaan joko laskeuttamalla tai emission avulla. Membraanibioreaktorissa kalvoerotus korvaa tämän vaiheen. (Mänttari et al. 2015)

Sellu-, paperi- ja kaertonkiteollisuudessa käsittelyä tarvitsevat vesivolyymit ovat todella suuria, jolloin riski kalvojen tukkeutumiseen on huomattava. Tukkeutuminen heikentää suodatustehokkuutta ja vaikeuttaa käyttöä. Yksi keino vähentää tukkeutumisen syntymistä on kasvattaa kalvon pinta-alaa. Tämä kuitenkin lisää kalvoerotuksen hankintakustannuksia. (Mänttari et al. 2015)

### 4.3 Haihdutus

Haihdutusmenetelmä vedenkäsittelyssä perustuu aineiden eri haihtuvuuteen. Sen avulla saadaan erotettua käsitellystä vedestä haihtumattomat aineet. Vesi ja muut haihtuvat aineet siirtyvät höyryyn, josta ne voidaan tiivistää lauhteeksi, ja haihtumattomat aineet siirtyvät rikasteeseen. (Huuha et al. 2010) Kuvassa 6 on esitetty haihduttimen toimintaperiaate.



Kuva 6. Haihduttimen toimintaperiaate vedenpuhdistuksessa

Sellun, paperin ja kartongin valmistusprosesseissa käytettävästä kiertovedestä ja syntyvästä jätevedestä voidaan haihduttamalla erottaa haihtumattomia liuennutta orgaanisia ja epäorgaanisia aineita kuten esimerkiksi rautaa ja mangaania (Huuha et al. 2010). Kun esimerkiksi sellumassan valmistuksessa käytetty prosessivesi käsitellään haihduttamalla, niin siinä saatu lauhde voidaan uudelleen hyödyntää massan valmistusprosessissa. Haihdutuksessa syntyvä rikaste voidaan johtaa sakeuttimen kautta soodakattilaan, jossa siitä saadaan karbonaattituhkaa. (Li & Watkinson 2011.)

#### 4.4 Jätevesien käsittely

Sellun, paperin ja kartongin valmistuksessa syntyviä jätevesiä käsitellään monilla eri menetelmillä. Osa menetelmistä on tuotantolaitoksen sisäisiä, joilla voidaan käsitellä vesi sopivaksi prosessiin uudelleen käytettäväksi. Tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi suodattaminen ja saostaminen. Osa jätevesistä ohjataan ulkoisiin vesienkäsittelylaitoksiin. Näissä laitoksissa vesi puhdistetaan hyödyntäen mekaanisia, kemiallisia tai biologisia menetelmiä.

Mekaanisia menetelmiä ovat esimerkiksi sedimentaatio, suodatus, välppäys ja mekaaninen vaahdotus. Kemiaalisia vedenkäsittelymenetelmiä ovat esimerkiksi koagulaatio ja saostaminen. Biologisia vedenkäsittelymenetelmiä ovat esimerkiksi aktiivilietemenetelmä, ilmastaminen ja hapettomat vedenkäsittelyprosessit. (Dahl 2008.)

Kemiallinen vedenpuhdistus alkaa tyypillisesti kemikaalien lisäämisellä käsiteltävään veteen, minkä jälkeen sitä sekoitetaan. Tämän nopean ja voimakkaan sekoitusvaiheen jälkeen on monesti vuorossa hellävaraisempi sekoitusvaihe. Näiden vaiheiden tarkoituksena on sekoittaa veteen lisätyt kemikaalit tasaisesti ja varmistaa niiden kemialliset reaktiot, minkä jälkeen käsiteltävä vesi johdetaan selkeyttimeen. Siinä vedestä saadaan poistettua tyypillisesti noin 90 % kiintoaineflokeista. Selkeytysestä jääneet loput kiintoaineet voidaan poistaa suodatuksella, jossa voidaan käyttää yksi- tai monikerroksista suodatinta. Suodatusvaiheen jälkeen vesi monesti vielä desinfioidaan ennen sen varastointia. (Dahl 2008.)

Biologisessa vedenpuhdistuksessa käytetään mikrobeja, jotka hajottavat kolloidisia ja liuenneita aineita. Käytetyt mikrobit voivat vaihdella hyvinkin paljon, mikä mahdollistaa biologiselle käsittelylle laajan käyttömahdollisuuden. Jotta mikrobit pystyvät hajottamaan vedessä olevia aineita, täytyy vesi monesti esikäsitellä niiden toiminnalle sopivaksi. Veden pH, lämpötila, happipitoisuus sekä ravinnepitoisuus vaikuttavat mikrobien hajottamiskykyyn. Biologisessa vedenkäsittelyssä on tärkeää, että jäteveden orgaanisen aineen ja ravinteiden suhde on oikealla tasolla. Näillä ravinteilla tarkoitetaan lähinnä typpeä ja fosforia. Metsäteollisuuden jätevesissä orgaanisen aineen pitoisuus on liian suuri verrattuna typpi- ja fosforipitoisuuksiin, jolloin typpeä ja fosforia täytyy lisätä jäteveteen ennen biologista käsittelyä. (Dahl 2008.)

#### 4.4.1 Koagulaatio-, flokkulaatio- ja sedimentaatiomenetelmät

Koagulaatiomenetelmä on kemiallinen prosessi ja flokkulaatio- sekä sedimentaatiomenetelmät ovat fysikaalisia menetelmiä. Näitä menetelmiä voidaan käyttää yhdessä jätevedenpuhdistuksessa, jolloin puhutaan fysiokemiallisesta prosessista. (Grötzner 2018)

Koagulaatiossa käsiteltävään aineeseen, monesti jäteveteen, lisätään koagulantteja. Nämä voivat olla joko metallikoagulantteja tai polymeerejä. Metalliset koagulantit jaetaan tyypillisesti alumiini- ja rautapohjaisiin. Alumiinipohjaiset sisältävät muun muassa

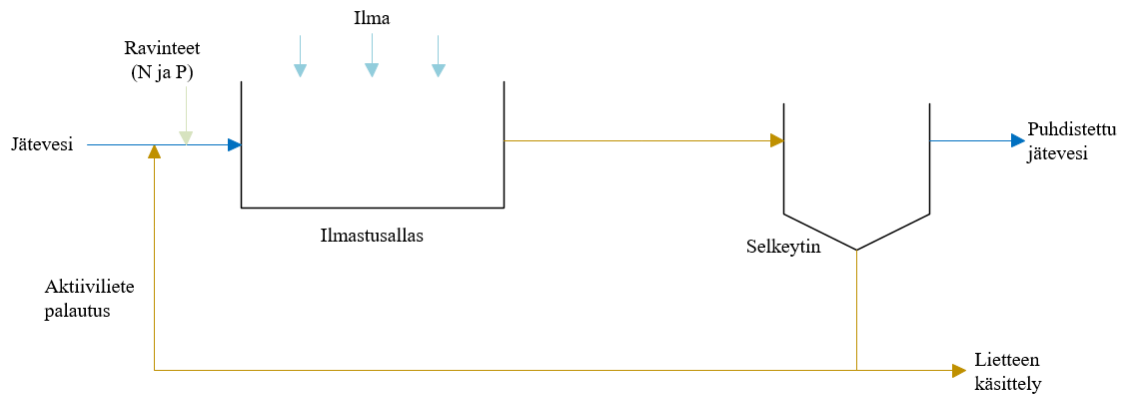
alumiinisulfaattia, alumiinikloridia, natriumaluminaattia, alumiinikloorihydraattia, polyalumiinikloridia ja polyalumiiniklorideidin sitoutuneita orgaanisia polymeerejä. Rautakoagulantit sisältävät puolestaan esimerkiksi rautasulfaattia, rautakloridia, rautakloridisulfaattia, polyferrisulfaattia ja rautaioneihin sitoutuneita orgaanisia polymeerejä. Polymeerikoagulantit voivat olla synteettisiä tai luonnollisia veteen liukenevia makromolekyyliyhdisteitä. (Bratby 2016.)

Koagulaatiossa koagulantit neutraloivat jätevedessä olevien suspendoituneiden kiintoainesten varauksia, jolloin niistä muodostuu kimppuja, joita kutsutaan flokeiksi (Renault et al. 2009). Flokkulaatiossa pienemmät partikkelit ajautuvat lähemmäs toisiaan muodostaen isompia partikkelikasaumia eli flokkeja. Flokkulaatiossa on kaksi vaihetta, joista ensimmäinen on perikineettinen flokkulaatio ja toinen on ortokineettinen flokkulaatio. Perikineettisessä flokkulaatiossa partikkelien kasaantuminen tapahtuu, kun Brownin lämpöliikkeen ansiosta partikkelien välille muodostuu van der Waalsin voimia. Kun perikineettinen flokkulaatio loppuu, tarvitsee systeemi ulkopuolista energiaa partikkelien liikkeen takaamiseksi. Tätä vaihetta kutsutaan ortokineettiseksi flokkulaatioksi. (Bratby 2016.) Sedimentaatio, jota voidaan myös kutsua selkeytykseksi, vedestä poistetaan laskeutuvia kiintoaineita painovoiman avulla. Sedimentaatio tapahtuu altaassa tai säiliössä. (Pizzi 2010.)

Paperi-, kartonki- ja selluteollisuuden jätevesien käsittelyssä voidaan hyödyntää koagulaation, flokkulaation ja sedimentaation yhdistelmää, jossa ensin koagulaatiolla ja sen jälkeen flokkulaatiolla muodostetaan partikkeleista flokkeja. Näiden vaiheiden jälkeen voidaan partikkelikimput erottaa puhdistettavasta vedestä sedimentaation avulla esimerkiksi selkeytysaltaassa.

#### 4.4.2 Aktiivilietemenetelmä

Aktiivilietemenetelmä on yksi eniten käytetty jätevesien käsittelymenetelmä suomalaisissa metsäalan tuotantolaitoksissa. Aktiivilietemenetelmällä on biologinen vedenpuhdistusmenetelmä, joka vaatii toimiakseen happea. Menetelmällä saadaan poistettua jätevesistä orgaanista ainesta, jota metsäteollisuuden tuotantolaitosten jätevesissä on tavallisesti runsaasti. (Dahl 2008) Kuvassa 7 on esitetty aktiivilietelaitoksen toimintaa.

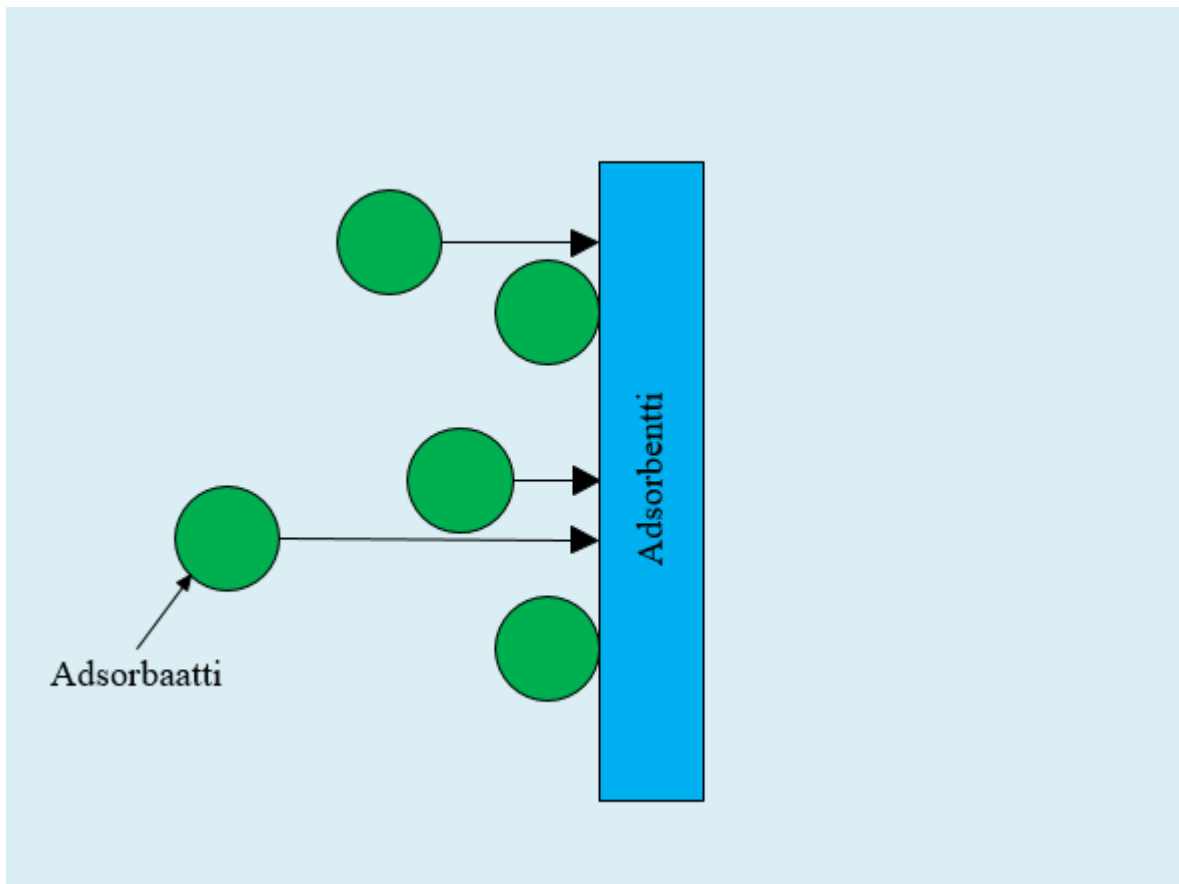


Kuva 7. Aktiivilietelaitoksen toimintaperiaate jätevedenpuhdistuksessa

Menetelmä koostuu kahdesta päävaiheesta, jotka ovat ilmastus ja sedimentaatio. Ilmastus tapahtuu ilmastusaltaasta ja sedimentaatio tapahtuu selkeyttimestä. Metsäteollisuuden tuotantolaitoksissa syntyvä jätevesi sisältää harvoin tarpeeksi ravinteita biologista vedenpuhdistusta varten. Monesti typpeä ja fosforia täytyy tästä johtuen lisätä jäteveeseen, jotta käytetyt mikrobit pystyvät toimimaan toivotulla tavalla ja puhdistamaan vettä. Jätevesi syötetään ilmastusaltaaseen, jossa se sekoittuu aktiivilietteen kanssa. Lisäksi altaaseen syötetään ilmaa, joka mahdollistaa mikrobien toiminnan. Tämän jälkeen vedestä ja lietteestä muodostuva seos syötetään selkeyttimeen, jossa liete painuu sen pohjalle. Osa tästä lietteestä viedään lietteenkäsittelyyn ja osa palautetaan takaisin ilmastamisaltaan syöttöön. (Dahl 2008.)

#### 4.4.3 Adsorptio

Adsorptio voi olla fyysikaalinen tai kemiallinen prosessi, jolla voidaan poistaa esimerkiksi jäteveden epäpuhtauksia. Adsorptiossa adsorbaatti kiinnittyy vapaana olevan adsorbentin pinnalle. Adsorbaatti on poistettava epäpuhtaus ja adsorbentti on aine, johon epäpuhtaus kiinnittyy esimerkiksi aktiivihiili. Kuvassa 8 on kuvailtu adsorption toimintaperiaate.



Kuva 8. Adsorption toimintaperiaate

Adsorptiolla voidaan poistaa jätevesistä jopa yli 90 % orgaanisista aineista, väriaineista ja AOX-yhdisteistä sekä yli 80 % ligniinistä. Adsorptiota ei tiedetä olevan laajasti käytössä paperi- ja selluteollisuudessa, vaikka se on tehokas vedenkäsittelymenetelmä. Yhtenä syynä tähän voidaan pitää sen kalliita kustannuksia. (Pokhrel & Viraraghavan 2004.)

## 5 Vastuullinen vedenkäyttö metsäteollisuudessa

Metsäteollisuuden tuotantoprosesseissa käytetään paljon vettä. Metsäteollisuudessa on paljon osaamista vedenkäyttöön sekä sen teknologioihin liittyen, ja ne kehittyvät koko ajan lisää. Vesien käsittelyyn liittyvä teknologia on kehittynyt viimeisten vuosikymmenten aikana paljon, mutta tavoitteet aina nousevat kehityksen myötä yhä korkeammiksi. (Borton 2004.)

Vedenkäyttöön liittyvät ympäristösäännökset ovat tiukentuneet ja ne tulevat tulevaisuudessa tiukkenemaan yhä enemmän. Tämä kannustaa yrityksiä suorittamaan vastuullisempaa vedenkäyttöä, sekä investoimaan hankkeisiin, joilla voidaan vähentää raakavedenkäyttöä sekä vähentämään muodostuvaa jätevettä. (Klemeš 2012.) Tiukentuvien säännösten lisäksi monet yritykset haluavat kehittää omaa brändiään parantamalla niiden kestävyyttä ja ympäristöystävällisyyttä (Bajpai 2018). Nämä arvot ovat nykyään yhä enenemissä määrin tärkeitä monilla asiakkaille ja kuluttajille.

Luonnon vesien käyttöön tarvitaan lupa. Tämä tarkoittaa, että kaikki Suomen teollisuuslaitokset ovat hakeneet Aluehallintovirastolta lupaa laitostensa vedenkäyttöön. Vesilupa tarvitaan esimerkiksi tapauksissa, joissa otetaan vettä, ruopataan ja täytetään vesialueita. Lisäksi vesilupa tarvitaan uittamiseen, vesivoiman hyödyntämiseen ja siltojen rakentamiseen yleisten vesikulkuväylien yläpuolelle. (Aluehallintovirasto.) Vesiluvissa on määritetty lupaehdot, joiden täytyy täytyä vettä hyödynnettäessä. Nämä ehdot voivat koskea vedenottomäärien rajoituksia ja jätevesien päästöpitoisuuksia. Stora Enson Imatran tehtaiden vesiluvassa on esitetty vedenottomääriin ja jätevesien epäpuhtauspitoisuuksiin liittyviä rajoituksia, jotka on esitetty taulukoissa 9 ja 10.

Vesilain tahallisesta tai huolimattomuudesta johtuvasta rikkomuksesta tai luparikkomuksesta tuomitaan sakkoon, ellei rikkomuksesta aiheudu ankarampia rangaistuksia. Vesilakerikkomuksissa rikotaan suoraan vesilakia. Näitä rikkomuksia voivat olla esimerkiksi veden ottaminen toisen vesialueelta ja toiminta kunnan ympäristöviranomaisten päätösten vastaisesti. Luparikkomuksissa rikotaan myönnetyn luvan lupaehtoja. Näitä voivat olla esimerkiksi ilma lupaa toimiminen, lupamääräysten laiminlyönti ja vesiluontotyyppin luonnontilan vaarantaminen ilman lupaviranomaisen myöntämää poikkeuslupaa. (Finlex Vesilaki.)

Vesilupa on pääsääntöisesti toistaiseksi voimassa oleva, mutta se voidaan myös myöntää määräaikaisesti. Joskus toistaiseksi voimassa oleva lupa voidaan purkaa, jos luvassa määrättyjä toimia ei ole suoritettu tai toimia ei ole aloitettu annettuun määräaikaan mennessä. Joissakin tapauksissa toistaiseksi voimassa olevaan lupaan on tarpeellista tehdä muutoksia, esimerkiksi muuttuneiden tilanteiden ja olosuhteiden takia tai esimerkiksi ennakoimattoman aiheutuneen haitan tai turvallisuusseikan myötä. (Aluehallintovirasto.)

### 5.1 Vastuullinen vedenkäyttö Imatran tehtailla

Stora Enso Imatran tehtaiden on täytynyt hakea lupa vesistöjen vesien käyttöön. Luvassa on määritetty tietyt lupaehdot, joita yrityksen täytyy noudattaa. Lupaehdot koskevat vedenottomääriä ja jätevesien päästöpituisuuksia. Noudattamatta jättämisestä tai lupaehtojen laiminlyönnistä voidaan määrätä sakkorangaistus. (Aluehallintovirasto, Finlex Vesilaki.) Taulukossa 9 on esitetty Imatran tehtaiden ylärajat päivittäiselle vedenotolle. Tainiolle tuleva raakavesi otetaan Patalahdesta.

Taulukko 9. Maksimi vedenottomäärät Imatran tehtailla

Kohde	Maksimi vedenottomäärä
Kaukopään vedenotto	400 000 m <sup>3</sup> /d
Syvänteiden vedenotto 1 ja 2	50 000 m <sup>3</sup> /d
Kuorimon vedenotto	5 000 m <sup>3</sup> /d
Patalahden vedenotto	40 000 m <sup>3</sup> /d

Taulukossa 10 on esitetty lupaehdossa määritetyt jätevesipäästöjen enimmäiskeskisarvot vesiin ja viemäriin kuukausi- ja vuositasolla, joita ei saa ylittää. Lupaehdossa ollaan kiinnostuneita orgaanisen aineen (COD), fosforin, orgaaniseen aineeseen sitoutuneiden halogeenien (AOX), typen ja kiintoaineen määrästä.

Taulukko 10. Imatran tehtaiden maksipäästöjen keskiarvot kuukausi- ja vuositasolla kaikista viemäreistä yhteensä.

Parametri	Kuukausikeskiarvo	Vuosikeskiarvo
COD	100 t/d	70 t/d
fosfori	100 kg/d	50 kg/d
AOX	750 kg/d	600 kg/d
typpi	1300 kg/d	800 kg/d
kiintoaine	12 t/d	8 t/d

Seuratuilla parametreilla voi olla negatiivisia vaikutuksia vesistöihin, jos niitä pääsen sinne liian suuria määriä. COD on analyttinen tekniikka orgaanisen aineen määrän mittaamiseen, eli sen avulla voidaan esimerkiksi mitata jätevesien sisältämä orgaaninen aines (Aguilar-Torrejón et al. 2023). Orgaanisen aineen hajoaminen vaikuttaa suuresti vesistöjen happitason, mistä johtuen jätevesien COD-arvoille on rajoituksia. (Servais, 1999.) Fosfori ja typpi puolestaan aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä, minkä takia niiden päätyminen vesistöihin täytyy rajoittaa (Azam et al. 2019, Bolyard & Reinhart 2017). Osa AOX-yhdisteistä ovat haitallisia, ne voivat esimerkiksi aiheuttaa syöpää. Tämän takia kaikille AOX-yhdisteille on määritelty enimmäismäärä, joka saadaan laskea vesistöihin ja viemäriin. (Savant et al. 2006.) Sellu-, paperi- ja kartonkiteollisuuden jätevesiin päätyvä kiintoaine muodostuu esimerkiksi kuituista, tuhkasta ja hiekasta. Kiintoainepäästöt voivat aiheuttaa esimerkiksi veden sameutumista ja pohjan liettymistä. (Dahl 2008.)

## SOVELTAVA OSUUS

### 6 Tainionkosken tehdasyksikkö

Tainionkosken tehdasyksikkö koostuu sellutehtaasta, kartonkikone 5:sta ja paperikone 7:sta. Sellutehtaan tuotanto on alkanut vuonna 1961, mikä lisäsi kiinnostusta aloittaa tuottamaan Tainionkoskella myös kartonkia. Kartonkikoneen sijoittamista Tainionkoskelle kannusti myös se, että Kaukopään kartonkitehdasalueen tila on rajallinen. Kartonkikone 5 valmistui ja aloitti tuotantonsa vuonna 1965. Myös paperikone 7 aloitti toimintansa vuonna 1965 noin puoli vuotta myöhemmin kuin kartonkikone 5. (Stora Enso a.)

Tainionkosken sellutehdas valmistaa valkaisematonta sellua kartonkikone 5:lle ja paperikone 7:lle. Valkaisemattoman sellun tuotantokapasiteetti on 200 000 t/v. Kartonkikone 5:lla valmistetaan ruskeita nestepakkauskartonkeja ja voimakartonkeja. Sen tuotantokapasiteetti on 290 000 t/v. Paperikone 7:lla valmistetaan sähkötekniisiä papereita, pussipapereita sekä MFC tuotteita. Paperikoneen tuotantokapasiteetti on 20 000 t/v. (Stora Enso a.)

## 7 Vesikierrat Tainionkosken tehdasyksikössä

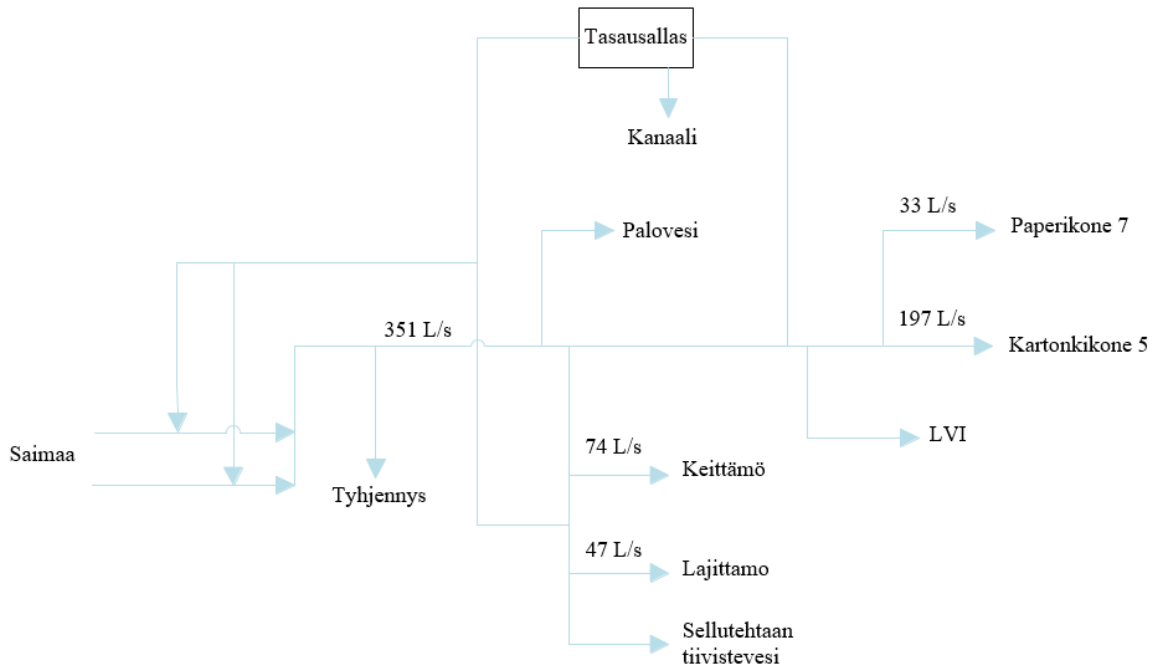
Tainionkosken tehdasyksikössä on monia vesikiertoja. Osa kierroista kiertää kaikissa tehdasyksikön osastoilla ja osa niistä on osastokohtaisia. Jotta vedenkäytön vähentämisen kannalta oleelliset vesikierrat ja niissä olevat säästöpotentiaalin omaavan tarkemmat kohteet voidaan paikantaa, täytyy selvittää miten vedet tehdasyksikössä ja sen osastoilla kiertävät.

Vesikierroista löytyy prosessikaavioita. Lisäksi tuotantolaitoksessa käytetyssä tuotannonohjausjärjestelmässä näkee osan vesikierroista. Näiden sekä paikan päällä tehtyjen havaintojen avulla pystytään osastojen vesikierroista muodostamaan kaavioita, joista näkee mahdollisimman selkeästi ja helposti, miten vesi kiertää Tainionkosken tuotantolaitoksella. Vesikiertojen kartoittamisen kannalta lohkokaaviot ovat selkeä tapa esittää nämä kierrot.

### 7.1 Raakavesi Tainionkosken tehdasyksikössä

Tainionkosken tehdasyksikössä käytettävä raakavesi otetaan Saimaasta Patalahdelta. Sen osastoilla pyritään keräämään, käsittelemään ja kierrättämään vettä, jotta raakaveden tarve olisi maltillinen sekä lisäksi syntyvän jäteveden määrä olisi mahdollisimman alhainen. Taulukossa 9 on esitetty raakavedenottomäärien maksimiarvot. Tehdasyksikköön otettua raakavettä ja syntyvää jätevettä seurataan jatkuvasti. Kuvassa 9 alla on esitetty lohkokaavio

Tainionkosken tehdasyksikön raakaveden otolle. Kaavioon merkityt raakaveden virtaukset ovat vuoden 2023 virtausten keskiarvoja.



Kuva 9. Tainionkoskelle otettavan raakaveden lohkokaavio

Tehdasyksikössä hyödynnettävä raakavesi otetaan Saimaasta kahden raakavesilinjan kautta. Nämä linjat yhdistyvät yhdeksi linjaksi, jonka kautta raakavesi kuljetetaan eri osastoille. Selkeästi eniten raakavettä otetaan kartonkikone 5:lle. Sellutehtaalle otettava raakavesi jakautuu keittämölle, lajittamolle sekä tiivistevesiin meneviin linjoihin.

Kuvassa 10 on esitetty Tainionkosken tehdasyksikössä vuosien 2020–2023 aikana mitatut raakavesivirtauksien suuruudet. Kuvassa esitetään Tainionkosken tehdasyksikön kokonaisraakavesivirtas, sellutehtaan lajittamon ja keittämön raakavesivirtaukset, kartonkikone 5:n raakavesivirtaus ja paperikone 7:n raakavesivirtaus. Kuvassa esitetään näille kohteille

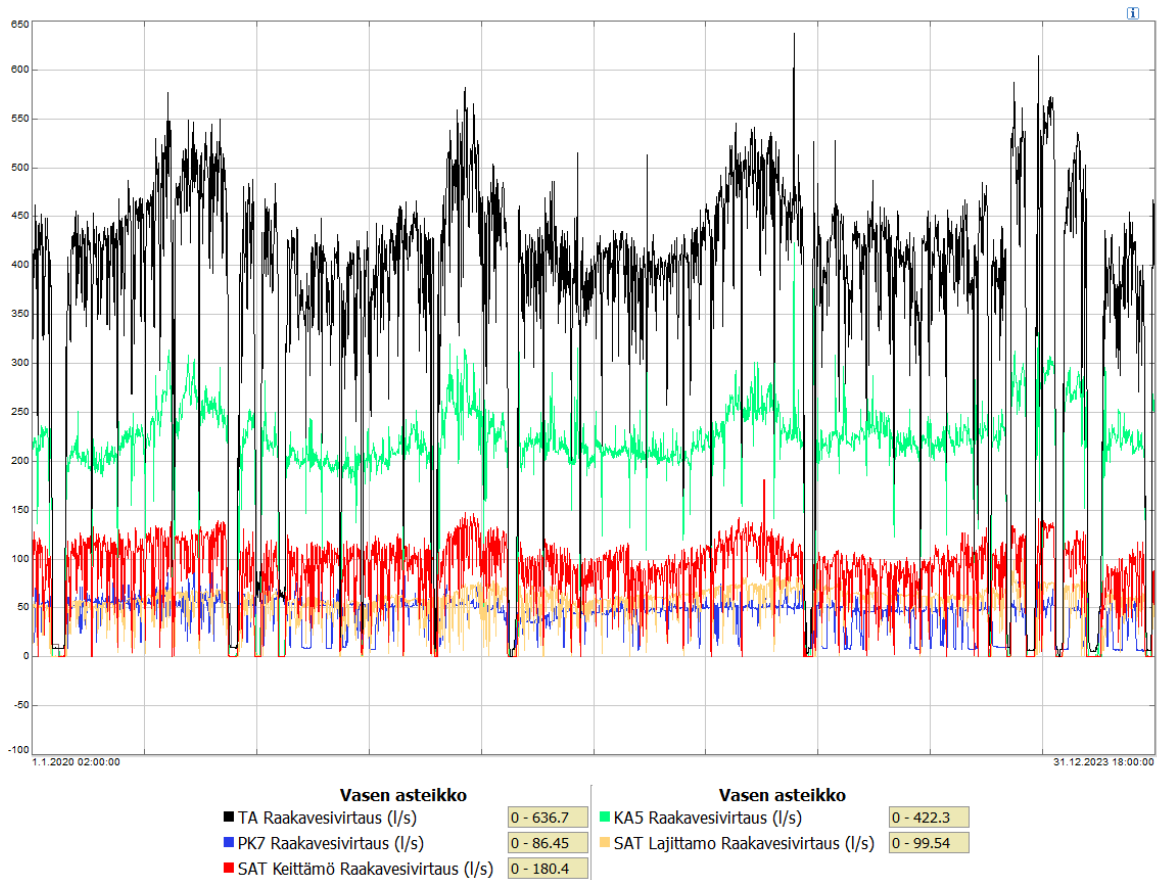
mitattujen raakavesivirtausten keskiarvot, maksimiarvot, minimiarvot sekä viimeisin mitattu arvo.

1.1.2020 02:00:00 - 31.12.2023 18:00:00, Kaikki data

Mittaus	Yksikkö	Keskiarvo	Maksimi	Minimi	Viimeinen arvo
TA Raakavesivirtaus	l/s	378	636,7	0	417,6
KA5 Raakavesivirtaus	l/s	203,3	422,3	0	243,5
PK7 Raakavesivirtaus	l/s	42,25	86,45	0	51,15
SAT Keittämö Raakavesivirtaus	l/s	84,32	180,4	0	77,6
SAT Lajittamo Raakavesivirtaus	l/s	48,68	99,54	0	45,31

Kuva 10. Tainionkosken tehdasyksikössä vuosien 2020–2023 aikana mitatut raakavesivirtaukset

Kuvasta 10 nähdään, että suurin osa Tainionkoskelle otetusta raakavedestä käytetään kartonkikone 5:lla. Tämän virtauksen keskiarvo on ollut vuosina 2020–2023 noin 203 L/s. Toiseksi eniten raakavettä käytetään sellutehtaalla, jonne menevän yhteenlasketun raakaveden virtausmäärän keskiarvo on ollut noin 133 L/s. Vähiten raakavettä käytetään paperikone 7:lla, jossa raakaveden virtauksen keskiarvo on ollut noin 42 L/s vuosina 2020–2023. Paperikone 7 on huomattavasti pienempi kone kooltaan ja tuotantokapasiteetiltaan kuin kartonkikone 5. Tämän takia on tyypillistä, että kartonkikone 5:n tuotannossa tarvitaan huomattavasti enemmän raakavettä kuin paperikone 7:lla. Kuvassa 11 näytetään tarkemmin raakavesien virtauksien vaihtelut vuosien 2020–2023 aikana.



Kuva 11. Tainionkosken tehdasyksikön raakavedenotto vuosien 2020–2023 aikana

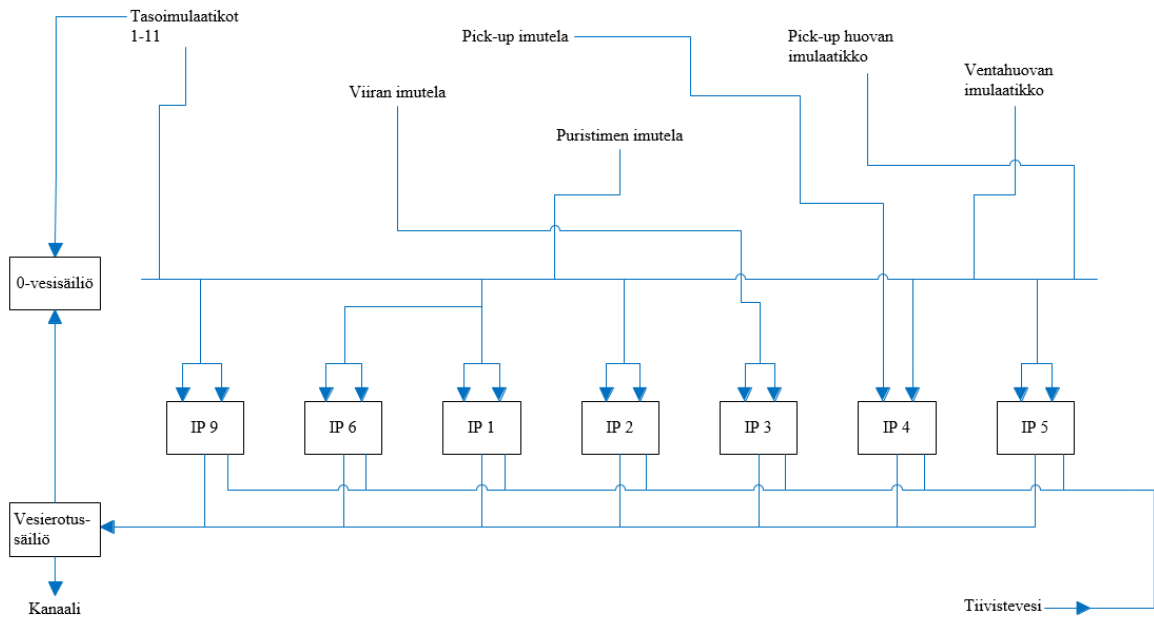
Kuvasta 11 saa hyvän käsityksen Tainionkosken tehdasyksikköön otetun raakaveden jakautumisesta eri osastoille. Kartonkikone 5:lle otetaan huomattavasti enemmän raakavettä kuin muille osastoille. Sellutehtaan lajittamolle ja paperikone 7:lle otettu raakavesimäärä on samaa tasoa, mutta kun otetaan huomioon sellutehtaalle otettu kokonaisraakavesimäärä eli myös keittämölle otettu raakavesi, niin sellutehtaalle otetaan kokonaisuudessaan selkeästi enemmän raakavettä kuin paperikone 7:lle.

Vuosien 2020–2023 aikana Tainionkosken tehdasintegraattiin otettu kokonaisraakavesimäärä vaihtelee melko tasaisesti jaksoittain. Raakavedenkulutus alkaa kasvamaan keväällä maaliskuun–huhtikuun aikoihin ja laskemaan loppukesästä noin elokuun–syyskuun paikkeilla. Kesäaikaan lämpötilat kohoavat selvästi talveen verrattuna, myös luonnosta otetun raakaveden lämpötila kohoaa tuona aikana. Yksi yleinen käyttötarkoitus raakavedelle Tainionkosken tuotantolaitoksessa on prosessien jäähdyttäminen. Kun raakaveden lämpötila kohoaa, niin sen jäähdytystehokkuus heikkenee. Tällöin prosesseihin tarvitaan enemmän raakavettä sopivan lämpötilan saavuttamiseksi ja säilyttämiseksi.









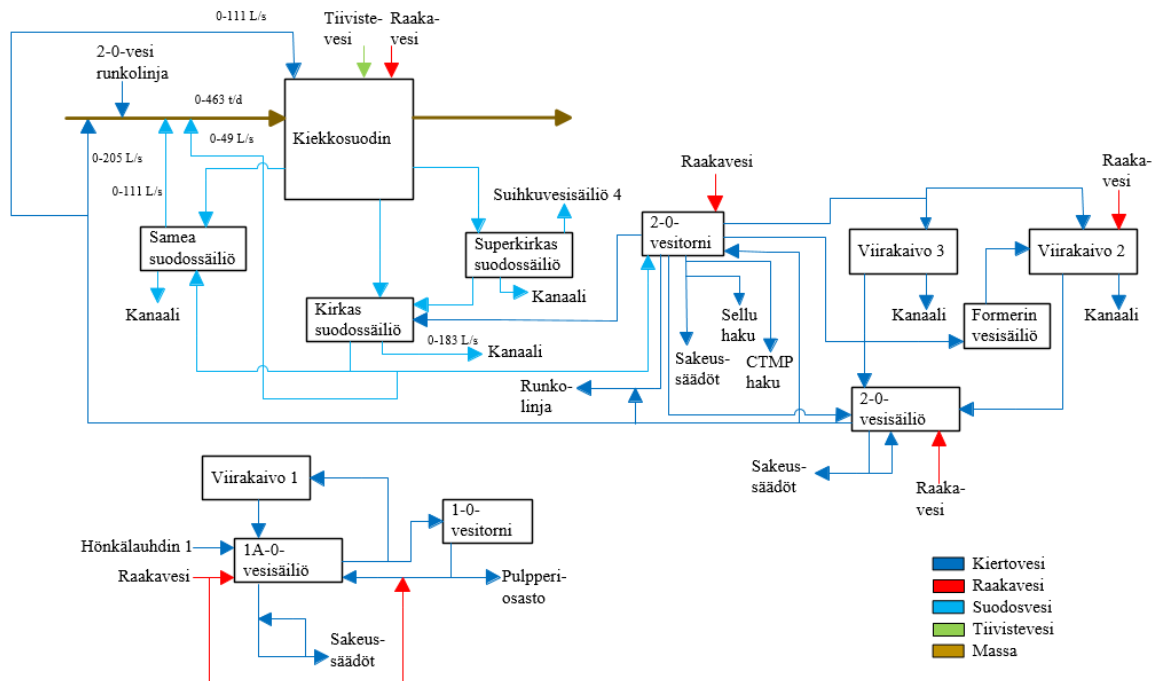
Kuva 16. Paperikone 7:n tyhjövesijärjestelmän lohkokaavio

Imupumpuille tulee vesivirtauksia paperikoneen viira- ja puristinosan imuteloilta ja -laakitkoilta. Imupumpuilta vedet johdetaan vesierotussäiliön kautta 0-vesisäiliöön, josta se johdetaan 0-vedentaaussäiliöihin ja sieltä edelleen pulpperiosastolle sekä sellumassan hakemiseen. Vesierotussäiliöstä osa vedestä päätyy ylikaatona kanaaliin.

### 7.2.3 Vesikierrat kartonkikone 5:lla

Kartonkikone 5:n 0-vesikiertovesijärjestelmien lohkokaaviot on esitetty kuvassa 17. 0-vesikierrat koostuvat 1-0- ja 2-0-vesikierrasta, joista 1-0-vesikierrat on kuvassa 17 alempana ja 2-0-vesikierto ylempänä. Kuvassa on väreillä eritelty erityyppiset vesivirtaukset, joita ovat

kierto-, raaka-, suodos- ja tiivistevesi, sekä myös kiekkosuotimelle syötettävä massa. Kaaviossa on esitetyt virtauksien suuruudet ovat virtausvaihteluita vuoden 2023 aikana.



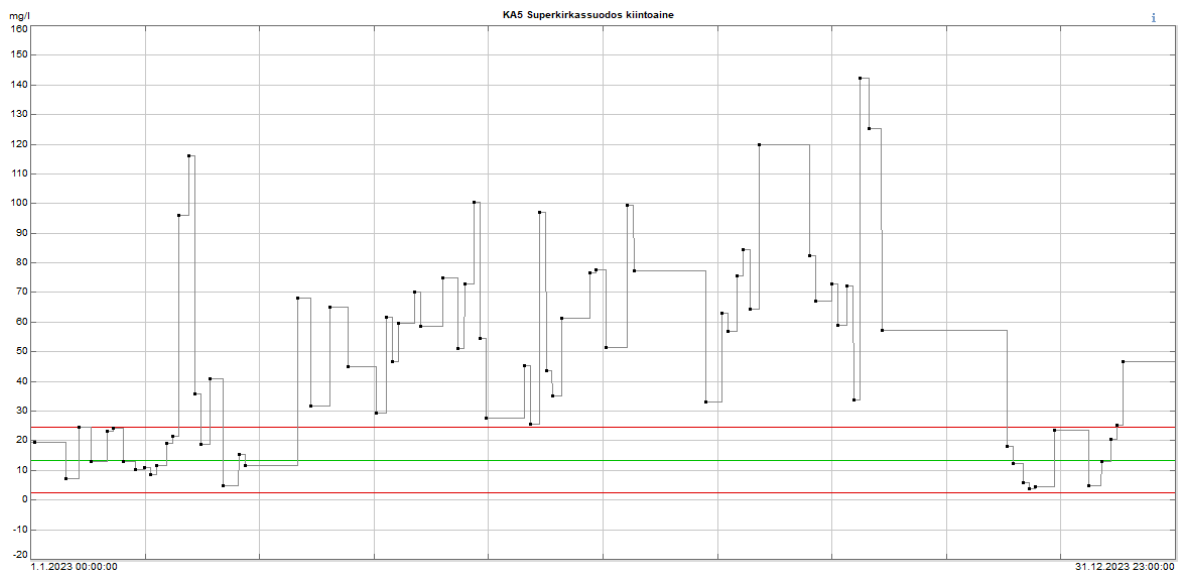
Kuva 17. 1-0-veden ja 2-0-veden kiertojärjestelmien lohkokaaviot

1A-0-vesisäiliöön tulee vettä 1-0-vesitornista, viirakaivo 1:stä ja hönkälauhtimesta. Lisäksi sinne otetaan tarvittaessa raakavettä, jos säiliön pinnan korkeus laskee liian alas. 1-0-vettä käytetään sakeussäädöissä sekä pulperiosastolla pulperivetenä. 2-0-veden kierto on 1-0-vettä monimutkaisempi. 2-0-vesitorniin tulee vettä kirkassuodossäiliöstä ja 2-0-vesisäiliöstä. Lisäksi sinne otetaan tarvittaessa raakavettä, jos tornin pinnan korkeus laskee liian alhaiseksi. 2-0-vesitornin vettä käytetään ruskean sellumassan hakuvetenä, CTMP:n hakuvetenä ja sakeussäädöissä.

Yllä olevasta lohkokaaviosta nähdään, että kirkkaan suodoksen säiliöstä on laskettu jopa noin 183 L/s arvokasta ja lämmintä suodosta kanaaliin. Samaan aikaan 2-0-vesitorniin otetaan kirkkaan suodoksen lisäksi raakavettä. Ideaalitalanteessa vesitorniin ei otettaisi raakavettä, vaan tämä korvattaisiin kirkkaalla suodoksella, jolloin suodosta päätyy vähemmän kanaaliin. Suodosten käyttöön raakaveden sijasta liittyy kiintoaineesta aiheutuvia likaantumisen ja tukkeutumisriskejä.

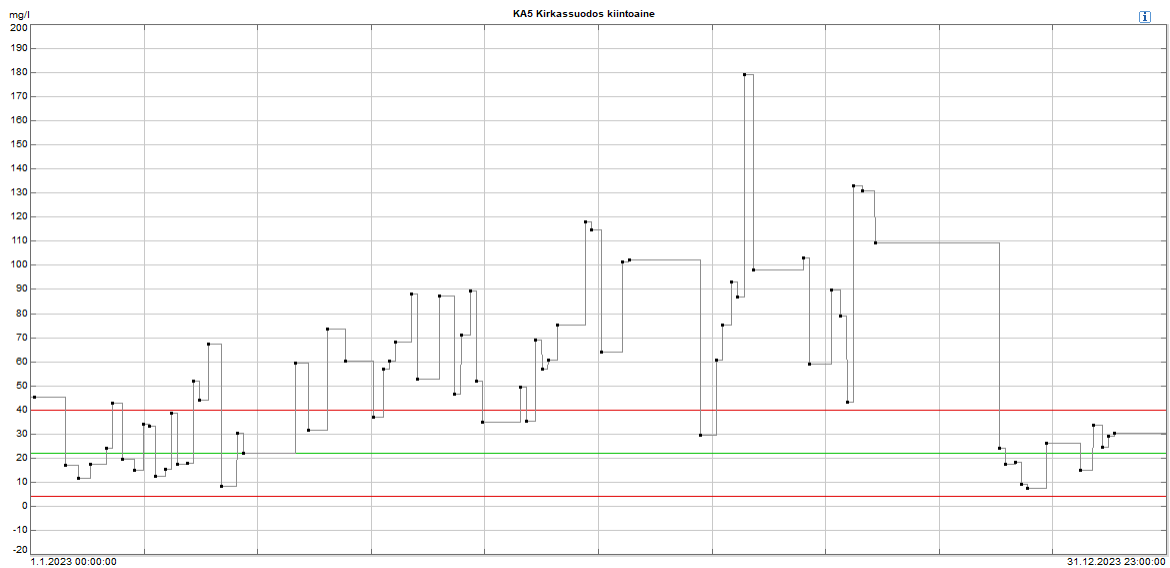
Kartonkikone 5:lla on määritetty ohjearvot jokaisen kiekkosuotimella muodostuvan suodoksen kiintoainepitoisuudelle. Nämä ohjearvot kuvaavat kiintoainepitoisuuksia, joihin

suodoksissa tulisi pyrkiä. Lisäksi kiintoainepitoisuuksille on määritetty ala- ja ylähälytysrajat, jotka auttavat määrittämään, milloin kiintoainepitoisuuksien arvot poikkeavat liikaa ohjearvosta ja tarvitaan selvityksiä sekä toimenpiteitä tilanteen korjaamiseksi. Kuvissa 18, 19 ja 20 esitetään kartonkikone 5:n kiekkosuotimelta saadun superkirkkaan, kirkkaan ja samean suodoksen kiintoainepitoisuuksien vaihtelut vuoden 2023 aikana. Kuviin on merkitty vihreällä viivalla kiintoainepitoisuuden ohjearvo ja punaisilla viivoilla sen ylä- ja alahälytysrajat. Kartonkikone 5:lla superkirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuuden alahälytysraja on 2,2 mg/L ja ylähälytysraja on 24,4 mg/L. Ohjearvo superkirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuudelle on 13,3 mg/L. Kirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuuden ohjearvo on 21,9 mg/L. Sen alahälytysraja on 3,9 mg/L ja ylähälytysraja on 39,8 mg/L. Samean suodoksen kiintoainepitoisuuden ohjearvo on 75,3 mg/L. Sen alahälytysraja on 41,4 mg/L ja ylähälytysraja on 109,3 mg/L.



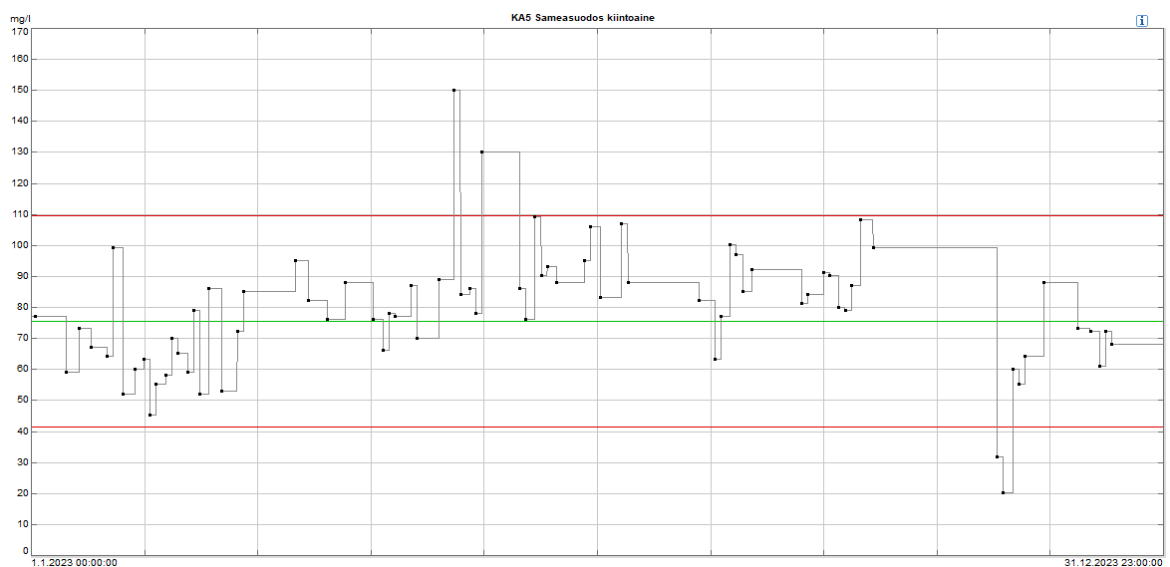
Kuva 18. Superkirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuus kartonkikone 5:lla

Kuvasta 18 nähdään, että superkirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuus ei saavuttanut ohjearvoa 13,3 mg/L kuin muutaman kerran vuoden 2023 aikana. Kiintoainepitoisuus on ollut huomattavasti korkeampi kuin sille määritetty ylähälytysraja 24,4 mg/L suurimman osan ajan vuodesta.



Kuva 19. Kirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuus kartonkikone 5:lla

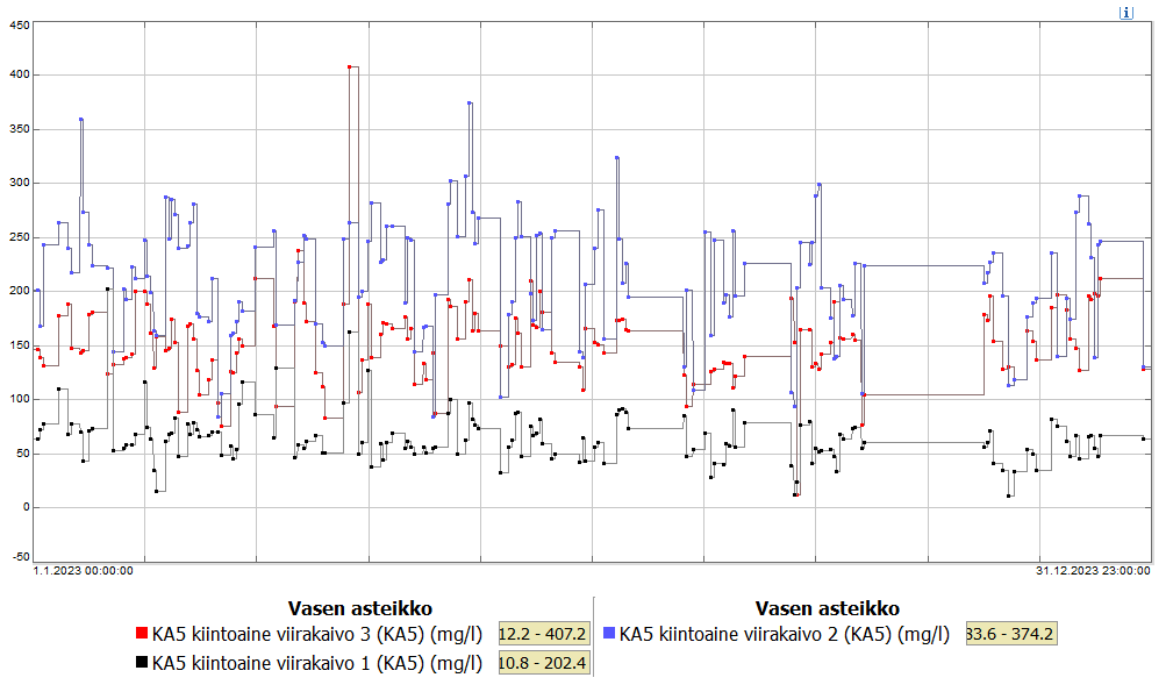
Kirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuudessa näkyy sama trendi kuin superkirkkaalla, eli se on huomattavasti ohjearvoa 21,9 mg/L korkeampi sekä myös suuren osan ajasta ylähälytysrajan 39,8 mg/L yläpuolella.



Kuva 20. Samean suodoksen kiintoainepitoisuus kartonkikone 5:lla

Kuvasta 20 huomataan, että samean suodoksen kiintoainepitoisuus on pysynyt ylähälytysrajan 109,3 mg/L alapuolella lukuun ottamatta muutamaa yksittäistä piikkiä. Synä suodosten kiintoainepitoisuuksien kohoamiselle voivat olla erilaiset häiriöt ja viat kiekkosuotimen toiminnassa. Lisäksi kiekkosuotimille on määritetty sopivat syöttövirtojen suuruudet, joilla se toimii parhaiten. Poikkeamat näissä voivat vaikuttaa suodatuksen laatuun.

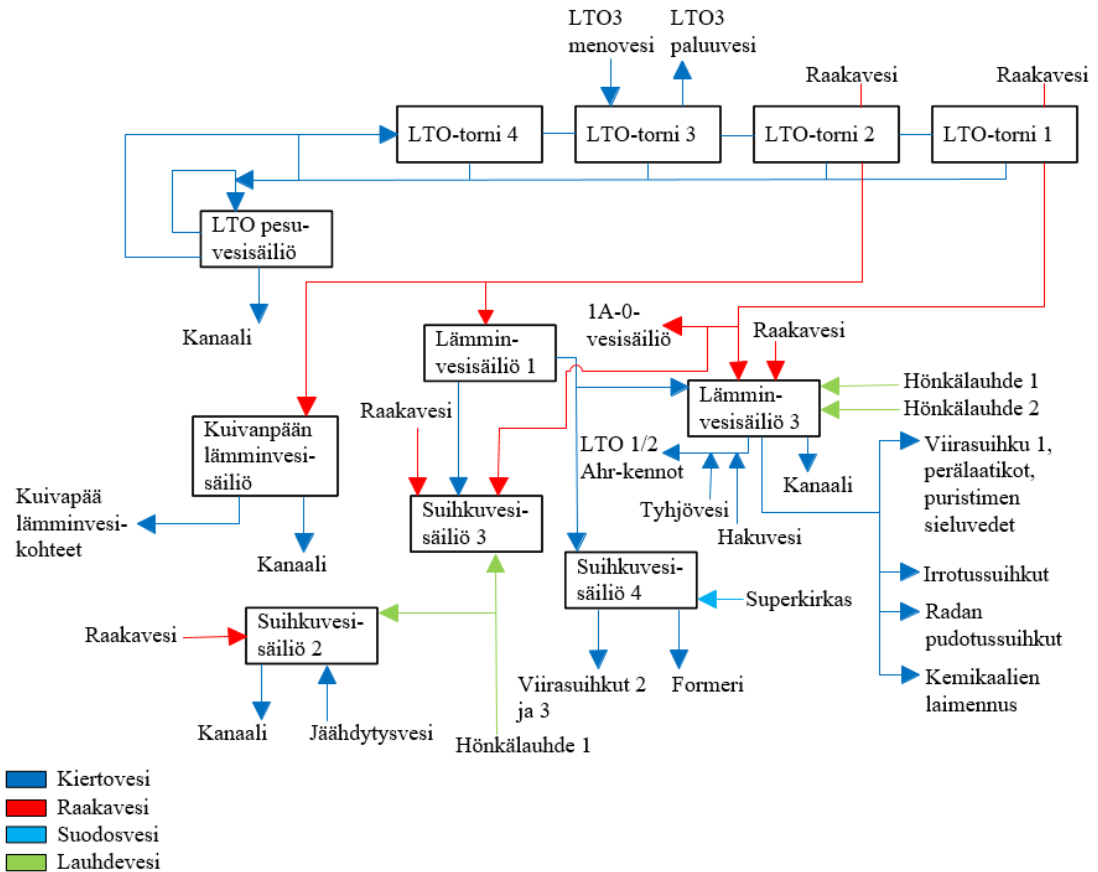
Kuvassa 21 esitetään viirakaivojen 1, 2 ja 3 vesien kiintoainepitoisuudet vuodelta 2023. Kuvassa on esitetty kiintoainepitoisuudet viirakaivo 1:lle mustalla kuvaajalla, viirakaivo 2:lle sinisellä kuvaajalla ja viirakaivo 3:lle punaisella kuvaajalla.



Kuva 21. Viirakaivojen 1, 2, 3 vesien kiintoainepitoisuudet vuonna 2023

Korkein kiintoainepitoisuus vuonna 2023 on ollut viirakaivo 2:ssa. Viirakaivo 3:ssa on ollut toiseksi korkein kiintoainepitoisuus ja kaikista alhaisin kiintoainepitoisuus on ollut viirakaivo 1:ssä vuoden 2023 aikana. Kuvasta 21 nähdään, että erot viirakaivojen kiintoainepitoisuuksien väleillä ovat melko selkeitä. Viirakaivo 1 on pintaviiran viirakaivo, viirakaivo 2 on runkoviiran viirakaivo ja viirakaivo 3 on taustaviiran viirakaivo.

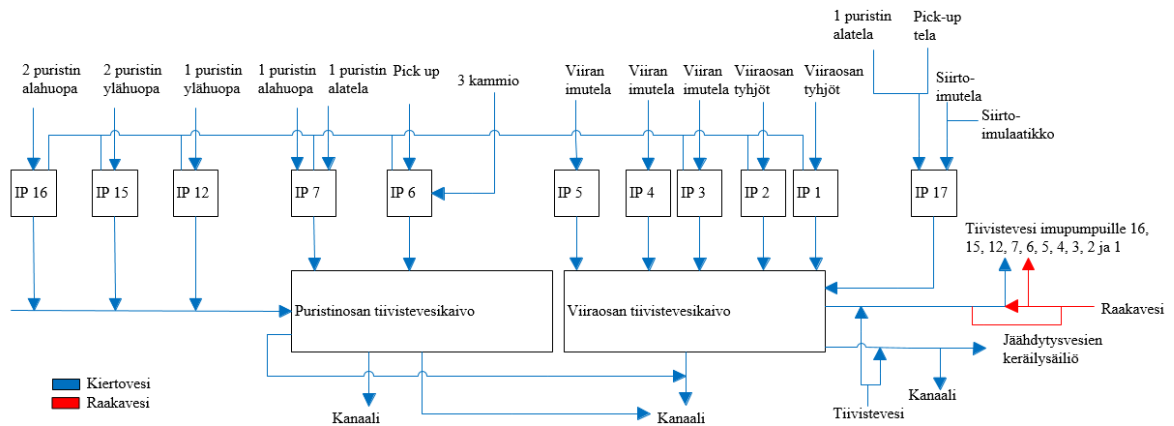
Kartonkikone 5:n lämminvesijärjestelmä on esitetty kuvassa 22. Kuvan virtauksista on eritelty eri värein erilaiset vesityypit kuten raakavesi, kiertovesi ja suodosvesi.



Kuva 22. Lämminvesijärjestelmä KA5:lla

Lämmintä vettä hyödynnetään laajalti kartonkikone 5:n suihkuvesissä kuten viiraosansuihkuissa, irrotussuihkuissa ja radan pudotussuihkuissa. Lisäksi sitä hyödynnetään myös kemikaalien laimennuksissa.

Kuvassa 23 on esitetty kartonkikone 5:n tyhjövesijärjestelmä. tyhjövesikierrossa viira- ja puristinosalta poistetaan vettä imupumppujen avulla. Kuvassa on esitetty konelinjan imupumput (IP) sekä niille tulevat ja niiltä lähtevät virtaukset.



Kuva 23. Kartonkikone 5:n tyhjövesijärjestelmä

Imupumpuilla pumpataan vettä viira- ja puristinosalta. Vesi pumpataan puristinosan ja viiraosan tiivistevesikaivoihin. Kaivoista vesi johdetaan kanaaleihin, jäähdytysvesien keräilyssäiliöön ja tiivistevedeksi imupumpuille.

Kartonkikone 5:n tiivistevesikierrossa käytetään raakavettä, joka pumpataan Patalahdesta Tainionkosken sellutehtaan kautta kartonkikone 5:n tiivistevesikiertoon. Tiivistevesi kulkee tiivistevesisuodattimien kautta ja kiertää hyvin laajalti kartonkikoneen eri laitteilla.

### 7.3 Jätevesi Tainionkosken tehdasyksikössä

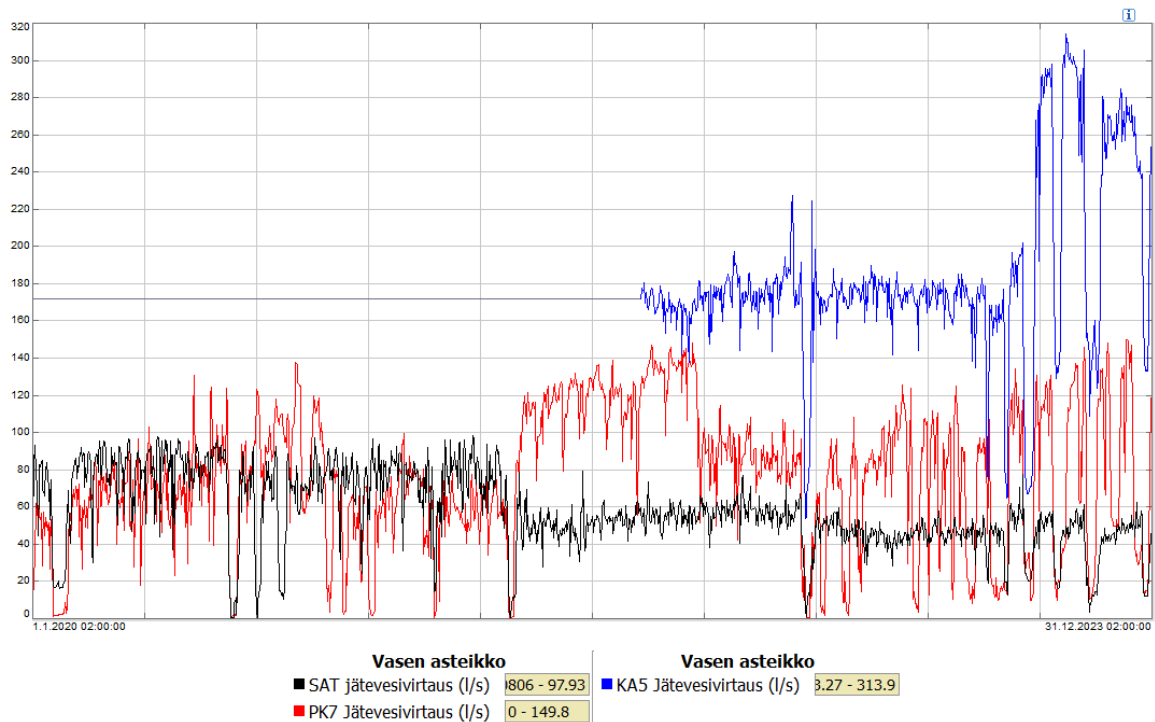
Tainionkosken tehdasyksikössä syntyvää jätevettä mitataan osastoittain. Eniten jätevettä syntyy kartonkikone 5:lla, jossa vuosien 2020–2023 aikana jäteveden määrän keskiarvo on ollut noin 184 L/s kuten kuvassa 24 esitetään. Sellutehtaalla jätevettä tuona aikana on muodostunut keskimäärin noin 58 L/s ja paperikone 7:lla noin 77 L/s.

1.1.2020 02:00:00 - 31.12.2023 02:00:00, Kaikki data

Mittaus	Yksikkö	Keskiarvo	Maksimi	Minimi	Viimeinen arvo
SAT jätevesivirtaus	l/s	57,53	97,93	0,00806	42,27
KA5 jätevesivirtaus	l/s	183,8	313,9	53,27	254,7
PK7 Jätevesivirtaus	l/s	76,52	149,8	0	123,8

Kuva 24. Tainionkosken eri osastoilla syntyneiden jätevesien tilastoinnit vuosien 2020–2023 aikana

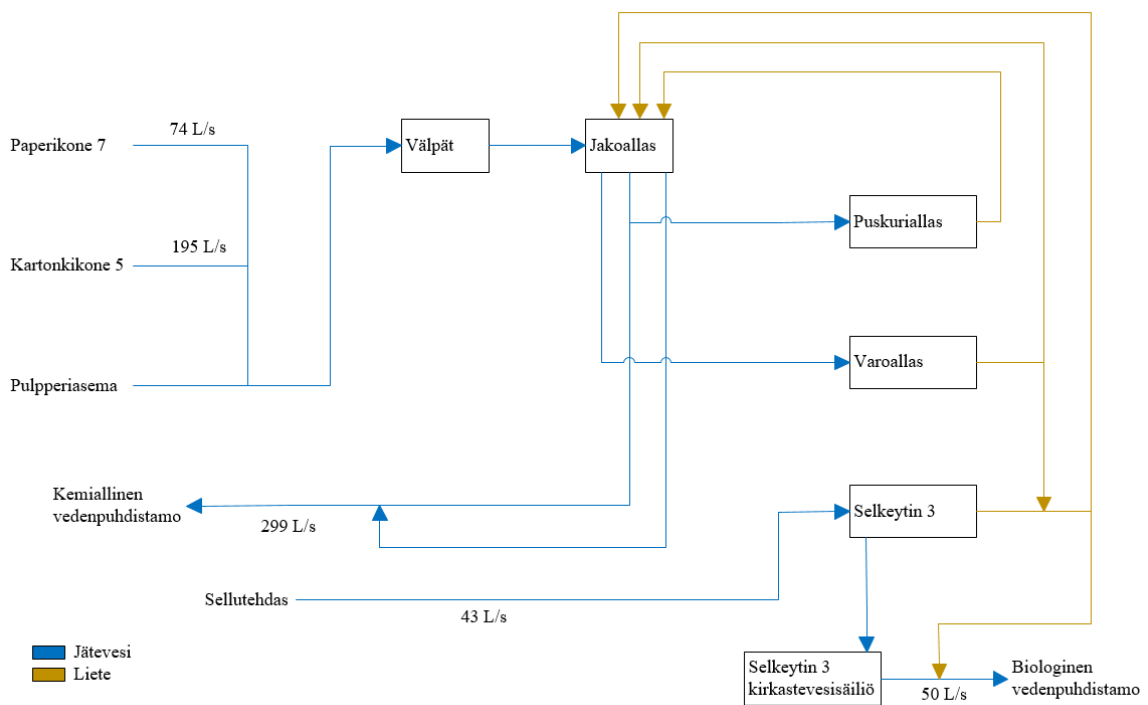
Kuvassa 25 näytetään jäteveden määrän vaihtelut vuosien 2020–2023 aikana. Kuvan kaaviossa on esitetty mustalla värillä sellutehtaan, sinisellä kartonkikone 5:n ja punaisella paperikone 7:n jätevesivirtaukset.



Kuva 25. Sellutehtaan, kartonkikone 5:n ja paperikone 7:n jätevesivirtaukset

Kuvasta 25 nähdään, että kartonkikone 5:n jätevesivirtojen mittaukset ovat kuvaajan alkupäässä täysin tasaisia. Tämä voi johtua alkupään mittausten paikkansapitämättömyydestä tai vaihtoehtoisesti siitä, että virtausmittari on asennettu paikoilleen ajankohtana, jolloin mitausdatassa alkaa näkyä vaihtelua. Kun keskitytään vain kuvaajan loppupään tuloksiin, niin nähdään että kartonkikone 5:n jätevesivirtaukset ovat selkeästi korkeimmat. Virtauksen suuruus nousee selkeän pykälän, jossa se nousee noin 170 L/s jopa noin 300 L/s tuntumaan. Sellutehtaan jäteveden virtaus on puolestaan laskenut selkeän pykälän vuosien 2022 ja 2023 vaihteessa. Paperikone 7:n jätevesivirtauksen vaihtelu puolestaan enemmän jaksoittaista.

Kuvassa 26 näytetään Tainionkosken sellutehtaan, paperikone 7:n ja kartonkikone 5:n jätevesivirtaukset vedenpuhdistuksiin. Lohkokaavioon merkityt virtauksien suuruudet ovat vuoden 2023 keskiarvoja.



Kuva 26. Tainionkosken tehdasintegraatin jätevesien lohkokaaavio

Normaalitilanteessa sellutehtaan jätevedet käsitellään biologisella vedenpuhdistamolla ja puolestaan paperikone 7:n ja kartonkikone 5:n jätevedet käsitellään kemiallisella vedenpuhdistamolla. Kartonkikone 5:lla muodostuu selkeästi enemmän jätevettä kuin paperikone 7:lla tai sellutehtaalla. Tämän takia Tainionkosken tehdasyksiköstä jätevettä päätyy enemmän kemialliselle vedenpuhdistamolle kuin biologiselle vedenpuhdistamolle.

Biologisella vedenpuhdistamolla on käytössä perinteinen aktiivilietelaitos. Tämä vedenkäsittelymenetelmä on selitetty tarkemmin kappaleessa 4.3.1. Kemiallisella jätevedenpuhdistamolla vesi käsitellään laskeuttamismenetelmällä, joka on kemiallisesti tehostettu. Jätevesi johdetaan selkeyttimeen, jossa siihen syötetään kationista polymeeriä ja alumiinisulfaattiliuosta. Nämä yhdessä saavat vedessä olevan kiintoaineen sakeutumaan ja flokkaantumaan, jolloin se vajoaa selkeyttimen pohjalle. Pohjalle vajonnut kiintoaines pumpataan lietteenkäsittelyyn. Kemiallisella jätevedenpuhdistamolla pystytään käsittelemään jätevettä, jossa kiintoainepitoisuus on liian pieni biologiseen vedenpuhdistukseen. Lisäksi vedenpuhdistusprosessi on selvästi suoraviivaisempi ja fosforipäästöt pysyvät pienempinä.

## 8 Vedensäästökohteiden paikantaminen Tainionkoskella

Tainionkosken tehdasyksikön vedenkäyttöä seurataan erinäisillä mittauksilla, joista kerätään tietoa eri tietojärjestelmiin. Näihin kerättyä tietoa seurataan ja hyödynnetään tehdasyksikön toiminnan suunnittelussa, säätelyssä ja mahdollisissa investoinneissa. Lisäksi viralliset tahot vaativat seurantaa ja raportteja raakaveden ja jäteveden osalta.

Nämä mittaukset ja kerätyt tiedot helpottavat mahdollisten vedenkäytön vähentämiskohteiden löytämistä. Keskeisessä roolissa ovat myös Tainionkosken tehdasyksikössä työskentelevien henkilöiden havainnot ja huomiot sekä aiemmin tehdyt vedenkäyttöön liittyvät kartoitukset. Tämän takia vedenkäyttöön liittyvien mahdollisten säästökohteiden paikantamista varten on haastateltu kartonkikone 5:n, paperikone 7:n ja sellutehtaan henkilöstöä. Pohjana näille haastatteluille on käytetty aiemmin suoritettuja kartoituksia (Stora Enso b).

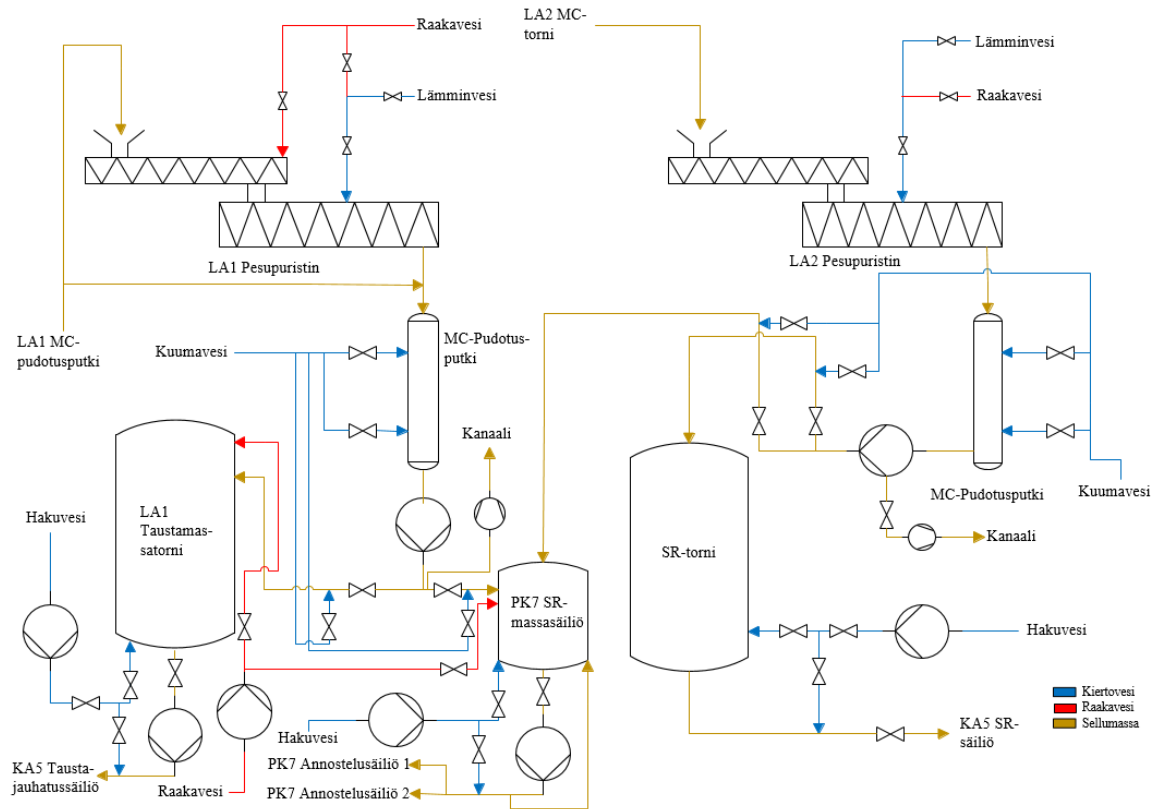
### 8.1 Vedensäästökohteet sellutehtaalla

Tainionkosken sellutehtaalla on kulutettu raakavettä vuosien 2020–2023 aikana keskimäärin noin 133 L/s, josta noin 84 L/s on pumpattu keittämölle ja noin 49 L/s lajittamolle. Sellutehtaalla raakavettä käytetään esimerkiksi laimennusvetenä sekä jäähdyttämiseksi. Tämän takia raakavedenkulutuksessa voidaan nähdä vaihtelua vuodenaikojen mukaan. Kylminä vuodenaikoina raakavettä ei tarvita niin paljoa jäähdyttämään prosessia, kun taas lämpiminä kuukausina sen tarve kasvaa.

Tällä hetkellä sellutehtaalla muodostuu ylikaatoja lämminvesi-, kuumavesi-, 0-vesi- ja pesupuristinsäiliöistä. Ylikaatoja muodostuu, kun ajotilanne on hyvä ja tasainen. Erilaiset häiriö- ja ongelmatilanteet taas voivat saada aikaan säiliöpintojen laskun. Tällä hetkellä näille ylikaadoissa menetetyille vesille ei ole mitään selkeää hyödyntämismahdollisuutta.

Yksi keino vähentää sellutehtaan raakavedenkulutusta on nostaa lajittamoiden peruspuristimien laimennusvesien lämpötiloja. Laimennusvesissä käytetään lämmintä vettä ja raakavettä, joilla niiden lämpötilat pyritään pitämään asetetussa arvossa. Raakaveden ja lämpimän veden venttiilit toimivat ristiin. Kun asetettua lämpötilaa nostetaan, niin osa käytetystä

raakavedestä voidaan korvata lämpimällä vedellä. Kuvassa 27 alla on esitetty lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien prosessikaavio.



Kuva 27. Pesupuristimien laimennusvesien prosessikaavio

Yllä olevasta kuvasta nähdään miten pesupuristimille tulevat vesivirtaukset sekä pesupuristimilta lähtevät selluvirtaukset prosessissa kulkevat. Prosessikaaviosta nähdään, että lajittamo 1:n pesupuristimelta ruskeasellumassa (SR) kulkeutuu paperikone 7:n SR-massasäiliöön ja taustamassatorniin. Lajittamo 2:n pesupuristimelta SR-torniin ja paperikone 7:n SR-massasäiliöön. Pesupuristimien laimennusvesien lämpötilojen nostaminen nostaa myös näiden massavirtausten lämpötiloja, mikä täytyy ottaa huomioon. Sellumassojen lämpötilat eivät saa muuttua niin suuresti, että ne alkavat vaikuttamaan paperikone 7:n ja kartonkikone 5:n prosesseihin.

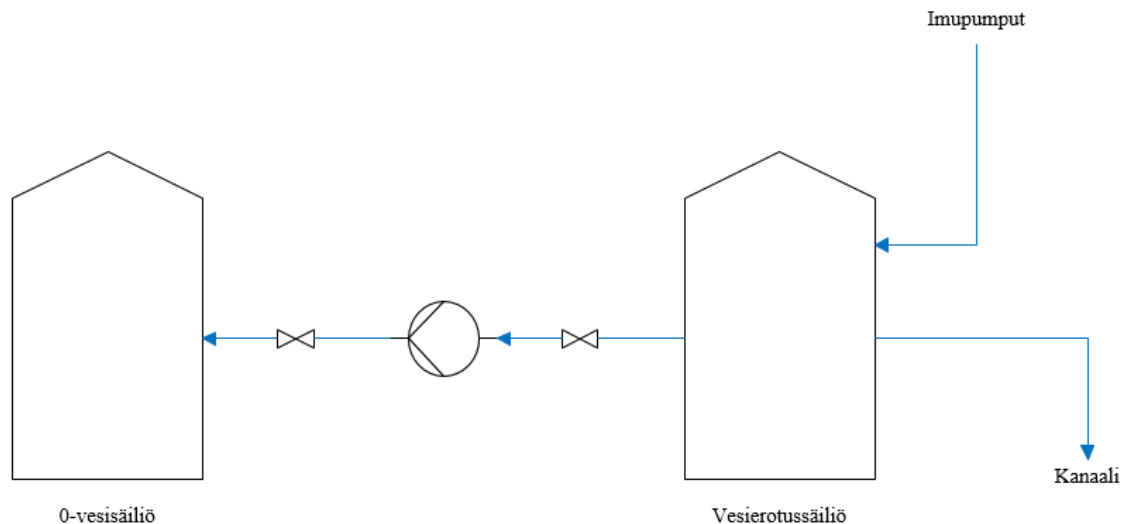
## 8.2 Vedensäästökohteet paperikone 7:lla

Paperikone 7:n raakavedenkäyttö on pienintä Tainionkosken tehdasyksikön osastoista. Kuvasta 10 nähdään, että vuosien 2020–2023 aikana raakavedenkäytön keskiarvo paperikone

7:lla on ollut noin 42 L/s eli huomattavasti vähemmän kuin sellutehtaalla tai kartonkikone 5:lla. Paperikone 7:lla raakavettä pumpataan 0-vesi-, suihkuvesi- ja tiivistevesikiertoihin.

### 8.2.1 Säästömahdollisuudet kiertovesissä

Paperikone 7:lla selkein vedenvähennyskohde on tällä hetkellä vesierotussäiliössä, jossa vettä valuu pois prosessista koko ajan ylikaatona. Vesierotussäiliöstä pumpataan imupumpusta saatavaa vettä 0-vesisäiliöön. Kuvassa 28 on esitetty prosessikaavio vesierotussäiliön virtauksista.



Kuva 28. Vesierotussäiliön virtausten prosessikaavio

Ongelmana on, että vedenerotussäiliöstä 0-vesisäiliöön pumppaavan pumpun kapasiteetti ei ole riittävä. Tämän takia vedenerotussäiliö täyttyy nopeasti ja sieltä alkaa poistamaan ylikaatona vettä pois kanaaliin. Vesierotussäiliön pinnanmittauksen ollessa 100 % sieltä poistuu ylikaatona koko ajan vettä. Ylikaadon virtauksen suuruudesta ei ole mittausdataa. Koska säiliön pintamittaus näyttää lähes aina 100 %, niin voidaan olettaa, että pidemmällä aikavälillä ylikaatoa aiheutuu jatkuvasti. Tällöin vesihäviöstä voi tulla pitkällä aikavälillä suurta, vaikka itse virtauksen suuruus jäisi pienemmäksi.

### 8.2.2 Säästömahdollisuudet pysäytysten aikana

Paperikoneen pysähdysten aikainen vedenkäyttö, kun tuotantoa ei synny, on yksi mahdollinen vedenkäytön vähentämismahdollisuus. Paperikone 7:n pysähdysten aikana raakaveden ja jäteveden virtaukset eivät laske nollaan. Tämä tarkoittaa, että koneelle otetaan raakavettä ja siellä muodostuu jätevettä, vaikka tuotantoa ei synny. Koneen pysähdysten aikana siellä suoritetaan erilaisia pesuja, joissa kuluu vettä. Näiden tehostamisella ja standardisoinnilla on mahdollista saada aikaan vesisäästöjä. Lisäksi tiivistevesien kulutus on pysähdysten aikana mahdollista, jos niitä ei erikseen suljeta.

Tiivistevedenkulutus koneen pysähdysten aikana on vähentynyt selkeästi vuoden 2021 loppupuolella, jonka jälkeen tiivistevesien kulutukset paperikoneen pysähdysten aikana on saatu nollaan 2022 vuoden alku- ja loppupuolella. Kuitenkin 2022 vuoden keskivaiheilla koneen pysähdysten aikana tiivisteveden virtaukset ovat pysyneet korkeammalla. Vuoden 2023 aikana tiivistevedenkulutus on paperikoneen pysähdysten aikana saatu hyvin pysymään nollan tuntumassa.

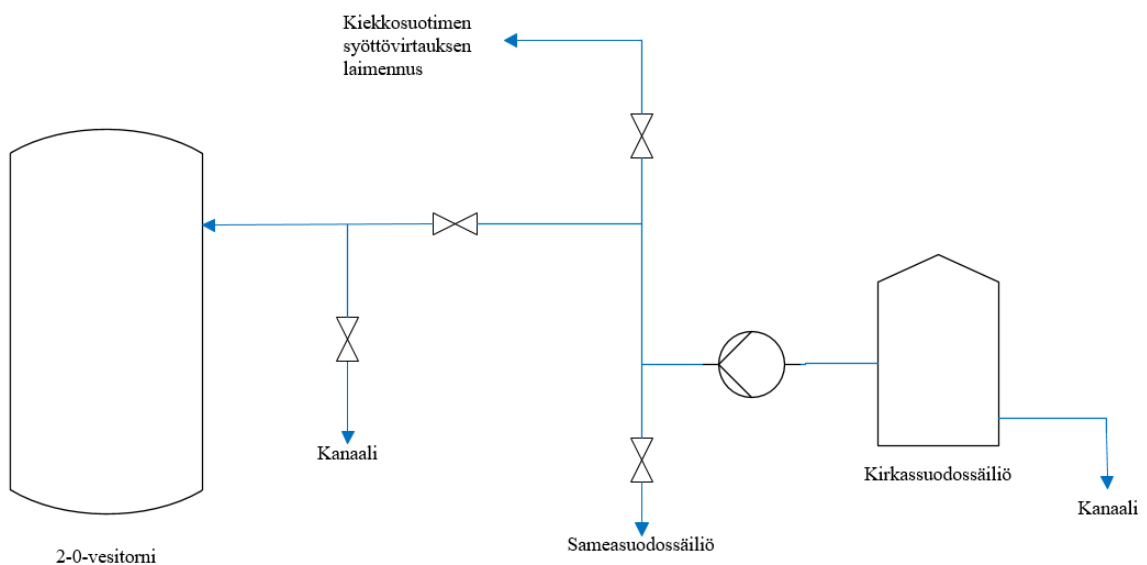
Paperikone 7:lla kaikki tiivistevedet eivät näy yllä esitetyissä tiivistevesivirtauskaavioissa, koska osaan laitteista johdetaan suoraan raakavettä. Tämä vaikeuttaa tiivistevesien kokonaisvirtausten hahmottamista. Kun kaikki tällaiset kohteet saadaan paikannettua, on mahdollista miettiä tehokkaampia säästötoimia tiivistevesien käytölle.

### 8.3 Vedensäästökohteet kartonkikone 5:lla

Kartonkikone 5:lla käytetään Tainionkosken tehdasyksikön osastoista eniten raakavettä eli noin 200 L/s. Tämän takia tämän osaston vedenkäyttö on erityisen kiinnostavaa, kun mietitään koko tehdasyksikön raakavedenkäytön vähentämistä. Raakavettä käytetään esimerkiksi 0-vesikierrossa, puhdistuksissa ja jäähdytyksissä, joissa voidaan kartoittaa mahdollisuuksia vähentää vedenkäyttöä. Lisäksi kartonkikoneella prosessista poistuu vettä ylikaatoina. Tämän veden tehokkaampi hyödyntäminen vähentäisi osaston vedenkulutusta.

### 8.3.1 Säästömahdollisuudet kiertovesissä

Kartonkikone 5:n 2-0-vesikierrossa raakavettä pumpataan 2-0-vesitorniin ja -säiliöön sekä viirakaivo 2:een pesuvedeksi. 2-0-vesitorniin otetaan raakavettä, kun tornin pinnankorkeus laskee riittävän matalalle. Ensisijaisesti sinne pyritään ottamaan kirkastetta kirkassuodossäiliöstä. Kuvassa 29 on esitetty kirkassuodossäiliöstä 2-0-vesitorniin pumpattavan veden prosessikaavio.



Kuva 29. Kirkassuodossäiliöstä 2-0-vesitorniin pumpattavan veden prosessikaavio

Kuvasta 29 nähdään, että tehostamalla kirkkaan suodoksen pumpausta vesitorniin on mahdollista vähentää raakavedenkulutusta tässä kohteessa. Kirkasta suodosta lasketaan huomattava määrä kanaaliin. Jos kirkkaan suodoksen pumpaustehoa 2-0-vesitorniin saadaan tehostettua tarpeeksi, ettei pinnankorkeus laske alle raakavedenoton aloittavan rajan, saadaan raakavedenkäyttöä vähennettyä. Toinen vaihtoehto raakavedenkäytön vähentämiselle on selvittää mahdollisuus pinnankorkeuden alentamiselle, jolloin raakaveden tarpeen määrä alenee olettaen, että kirkasta suodosta saadaan pumpattua torniin tasaisesti ja riittävän tehokkaasti. Tässä mahdollisena riskinä esiintyy se, että pinnankorkeuden raja asetetaan liian alas ja kirkasta suodosta ei saada pumpattua torniin riittävällä teholla, jolloin tornista voi loppua vesi.

Raakavettä käytetään 1-0-vesikierrossa 1-0-veisisäiliön ja -tornin lisävetenä. Raakaveden korvaaminen lisävesissä esimerkiksi superkirkkaalla tai kirkkaalla suodoksella olisi

tehokkaampaa vedenkäyttöä, mutta tämä vaatii sen, että suodokset ovat tarpeeksi puhtaita. Erityisesti suodosten kiintoainepitoisuudet ovat keskeisiä, ettei linjastot tukkeudu ja laitteet rikkoudu. Kuten kuvissa 18 ja 19 on esitetty, kartonkikone 5:n superkirkkaan ja kirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuudet ovat korkeampia kuin niiden tavallisesti odotetaan olevan. Tämä vaikeuttaa niiden hyödyntämisen lisäämistä kartonkikoneella.

Superkirkkaiden suodosten kiintoainepitoisuudet voivat olla niin alhaisia, että niitä voidaan käyttää laajalti kartonkikoneen suihkuvesissä. Kartonkikone 5:lla suodosten käytön lisääminen suihkuvesissä on riskialtista tällä hetkellä korkeiden kiintoainepitoisuuksien ja tukkeutumiriskien takia. Viiraosan suihkuissa käytetään tällä hetkellä lämmintä vettä.

### 8.3.2 Säästömahdollisuudet tiiviste- ja jäähdytysvesissä

Tasavirtakäyttöjen sähkötilojen jäähdytysvedet päätyvät jätevesikanaaliin. Nämä jäähdytysvedet voitaisiin putkimuutosten avulla johtaa jäähdytysvesikanaaliin kautta jäähdytysvesien keräilyssäiliöön. Keräilyssäiliöstä vesi voitaisiin johtaa puhdasvesiviemärin kautta takaisin Saimaaseen. Näin ollen vesi ei päätyisi jätevesiviemärin kautta jätevedenkäsittelyyn. On mahdollista, että kartonkikone 5:lla on muitakin jäähdytysvesiä, jotka päätyvät jätevesiviemäriin. Paikantamalla nämä kohteet, voidaan osastolla vähentää muodostuvan jäteveden määrää.

Myös kartonkikone 5:n tiivistevesiä päätyy jätevesikanaaliin. Osaston Nash-imupumppujen tiivistevesien kierrot on suljettu viime vuosien aikana. Tiivistevesiä keräämällä ja kierrättämällä niitä voidaan hyödyntää pidemmän aikaa, jolloin tarve raakavedenotolle tiivistevesikiertoon pienenee sekä lisäksi syntyvän jäteveden määrä pienenee. Tiivistevesien kohdalla täytyy myös tehdä kartoitus jätevesiviemäriin päätyvistä virtauksista, millä pystytään helpottamaan mahdollisen keräilyn ja kierrättämisen toteuttamista.

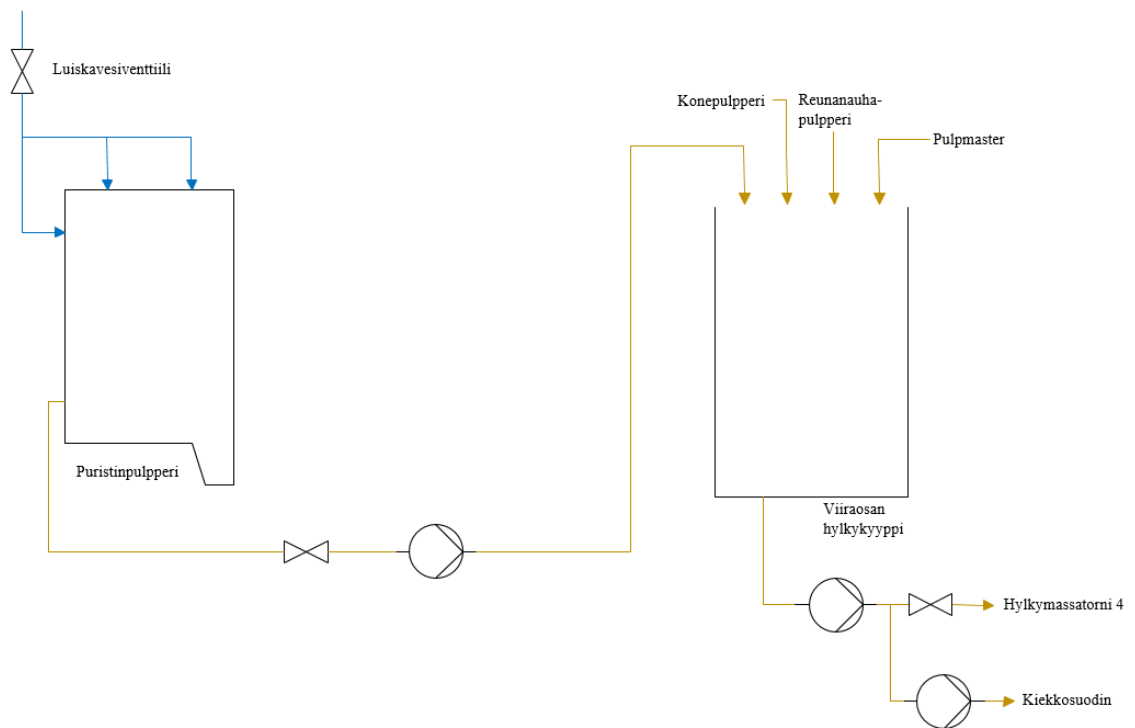
### 8.3.3 Säästömahdollisuudet koneen pysäytysten aikana

Tiivistevesikiertojen sulkemisella voidaan tehostaa niiden käytön tehokkuutta sekä vähentää syntyvän jäteveden määrää. Tiivistevesissä on mahdollista saada aikaan säästöjä myös koneen pysäytysten aikana kartoittamalla tiivistevesikiertojen venttiilien toiminnat sekä

sulkemalla ne pysähdysten ajaksi. Lisäksi venttiilien lisääminen kohteisiin, joista ne vielä puuttuvat auttavat vähentämään tiivistevesien turhaa kulutusta koneen pysähdysten aikana.

Kartonkikoneen tuotannon ollessa pysähdyksissä, raakaveden virtaus KA5:lle on ollut pääsääntöisesti myös nollassa. Jäteveden virtaus puolestaan jää pysähdysten ajaksi noin 60–160 L/s suuruiseksi. Tämä tarkoittaa, että prosessista poistuu vettä pysähdysten aikana, vaikka raakavettä ei oteta pysähdysten aikana prosessiin lisää.

Yksi mahdollinen vaihe koneen pysäytysten aikana, jossa on mahdollista vähentää vedenkäyttöä, on koneen ajonaloitusvaihe. Esimerkiksi koneen päänviennin aikana hylkykyypin pinnankorkeus nousee nopeasti, jolloin kyypistä muodostuu ylikaatoa. Kuvassa 30 on esitetty prosessikaavio hylkykyypille.



Kuva 30. Prosessikaavio puristinpulperin luiskavesistä ja viiraosan hylkykyypistä

Hylkykyypin pinnankorkeus nousee aina selvästi ajonaloitusten aikana, joiden jälkeen se taas tasoittuu. Koska ylikaatoa muodostuu lähinnä ajonaloitusten aikana, niin ylikaadoissa hukkaan menneen veden määrä vaihtelee koneen katkojen ja pysähdysten mukaisesti. Yksi mahdollinen keino ylikaadonvähentämiseen on selvittää sopivat luiskavesiventtiilien aukioloasteet.

## 9 Tarkempaan tarkasteluun valittu vedensäästötoimenpide

Edellisessä kappaleessa on esitetty vedenkäytön säästömahdollisuuksia Tainionkosken tehdasyksikön eri osastoilla. Nämä säästömahdollisuudet täytyy priorisoida niiden säästöpotentiaalin, toteutettavuuden sekä muiden vaikuttavien tekijöiden perusteella. Säästöpotentiaalia voi olla joissakin tapauksissa vaikea määrittää tarkasti. Osa vedensäästömahdollisuuksista ovat henkilöiden huomioiden ja tarkkailun varassa, eikä niistä esimerkiksi ole tarkempaa mittaustietoa saatavilla. Toteutettavuuteen vaikuttaa esimerkiksi mahdollisten investointien kustannukset, rakenteelliset tai prosessiin liittyvät esteet ja hidasteet sekä tiedonpuute muutosten laajemmista ja pitkäaikaisista vaikutuksista eri prosesseihin.

Tässä työssä tarkempaan tarkasteluun on valittu sellutehtaan lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien raakavedenkäytön vähentäminen laimennusveden lämpötilaa nostamalla. Tällä hetkellä laimennusvetenä käytetään lämmintä vettä ja raakavettä, joiden suhde vaihtelee laimennusveden lämpötila-asetuksen sekä raakaveden lämpötilan mukaan. Kun laimennusveden lämpötila-asetusta nostetaan, voidaan lämmintä vettä ottaa enemmän suhteessa raakaveteen. Lämpimimpinä kuukausina raakaveden lämpötila nousee selkeästi, jolloin sitä täytyy ottaa huomattavasti enemmän. Lämpiminä kuukausina laimennusveden raakavesisuhde nousee 100 %:iin, mutta silti laimennusveden lämpötila nousee ajoittain yli asetustarvon.

### 9.1 Toteutettavuus

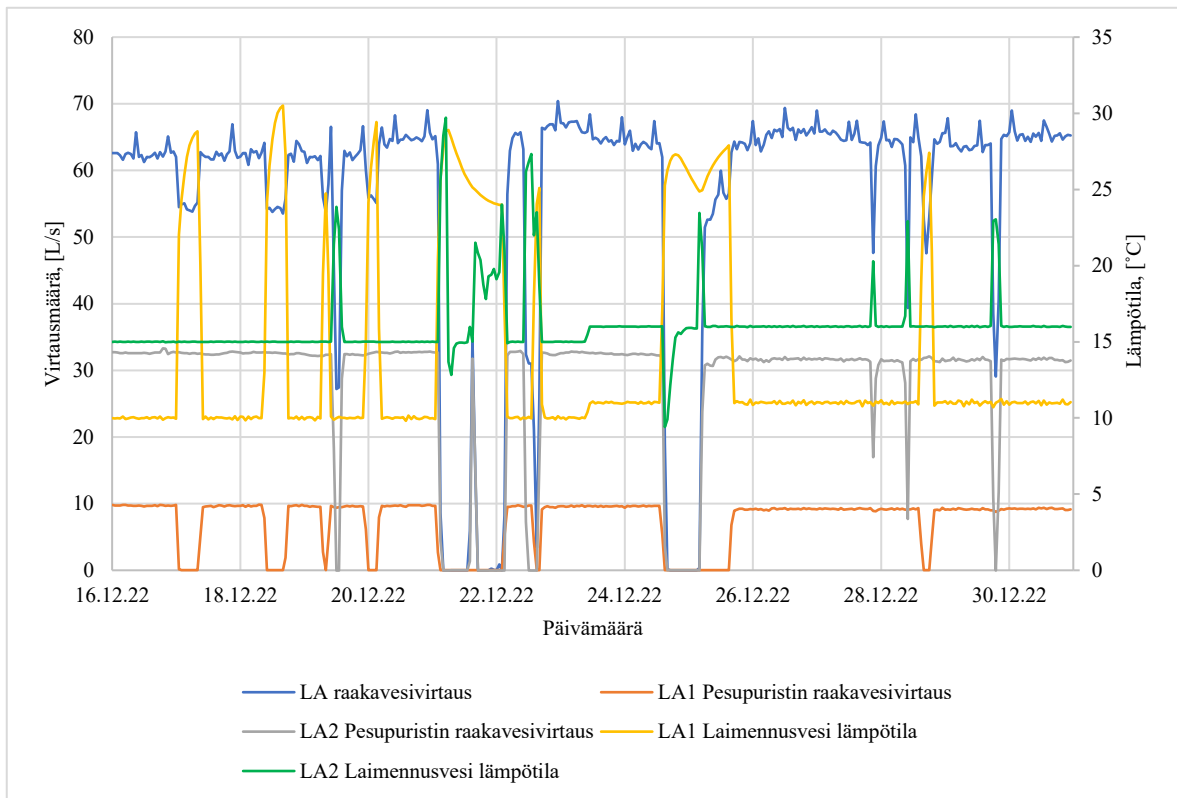
Lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien lämpötilat valikoituivat tähän työhön tarkemmin tarkasteltavaksi raakavedensäästökohteeksi säästöpotentiaalisista sekä toteutettavuuteen liittyvistä syistä. Tämän muutoksen toteutettavuutta puoltaa investointikustannuksien puuttuminen, aiemmat kokemukset ja suhteellisen pienet riskit.

Muutoksen suorittaminen ei vaadi investointikustannuksia, sillä rakenteellisia muutostöitä tai hankintoja ei tarvitse suorittaa. Lisäksi prosessiin on tehty vastaava muutos aiemmin. Lajittamo 1:n ja 2:n pesupuristimien laimennusvesien lämpötiloja on nostettu yhdellä celsiusasteella 23.12.2022 ja uudestaan yhdellä celsiusasteella 6.6.2023. Tehdasyksikössä on siis

kokemusta tällaisesta muutoksesta, eikä sen ole havaittu aiheuttavan vaikeuksia konelinjojen ajettavuuksiin. Lisäksi, kuten kuvista 33 ja 34 nähdään, laimennusvesien lämpötilat nousevat kesäisin selkeästi yli asetusarvon. Kokemuksen mukaan laimennusveden lämpötilan nouseminen kesällä yli lämpötila-asetusten ei ole aiheuttanut vaikeuksia konelinjoilla.

## 9.2 Säästöpotentiaali

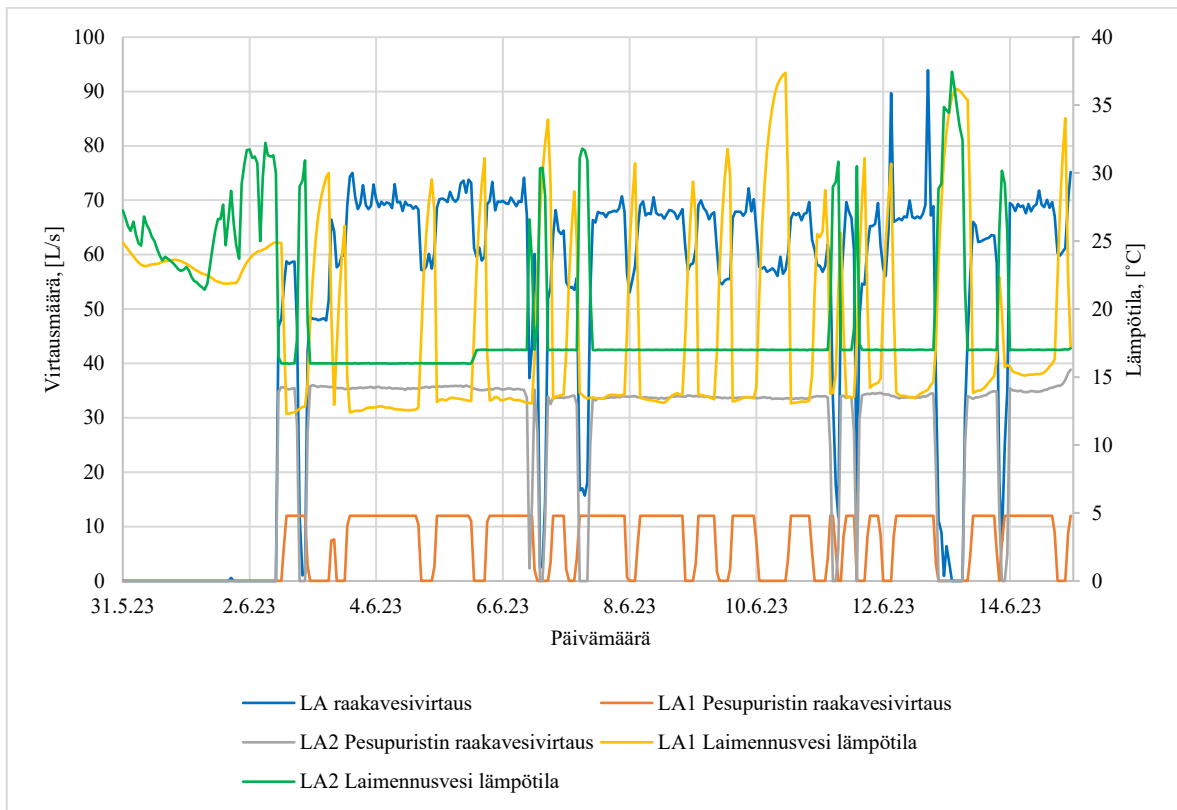
Koska pesupuristimien laimennusvesien lämpötila-asetuksia on nostettu aiemmin, voidaan näistä nostoista saatua dataa hyödyntää säästöpotentiaalin arvioinnissa. Ensimmäinen lämpötilan nosto on suoritettu 23.12.2022. Tuolloin lajittamo 1:n laimennusveden lämpötila on nostettu 10 °C:sta 11 °C:seen ja lajittamo 2:n lämpötila-asetus on nostettu 15 °C:sta 16 °C:seen. Kuvassa 31 on esitetty lajittamon kokonaisraakavesivirtaus, pesupuristimien laimennusvesien raakavesivirtaukset sekä laimennusveden lämpötilat aikavälillä 16.12.–30.12.2022. Kuvaajista nähdään siis näiden parametrien arvoja viikko ennen muutosta sekä viikko sen jälkeen.



Kuva 31. Lajittamoiden kokonaisraakavesivirtaus, pesupuristimien laimennusvesien raakavesivirtaukset sekä laimennusveden lämpötilat aikavälillä 16.12.–30.12.2022

Kuvasta nähdään 23.12.2022 suoritettu laimennusveden lämpötilan nosto. Molempien pesupuristimien raakavesivirtauksien tasoissa voidaan nähdä pientä laskua tämän muutoksen jälkeen. Kun taas verrataan lajittamoiden kokonaisraakavesivirtauksen tasoa ennen muutosta ja muutoksen jälkeen, huomataan että tämä muutoksen jälkeinen kokonaisraakavedenkulutus on ollut korkeammalla. Tämä voi tarkoittaa, että jossain muualla lajittamoilla raakavedenkulutus on kasvanut lämpötilamuutoksen jälkeen.

Vastaavanlainen lämpötila-asetuksien nosto on tehty pesupuristimien laimennusvesille 6.6.2023, jolloin lajittamo 1:llä asetusta nostettiin 11 °C:sta 12 °C:een ja lajittamo 2:lla 16 °C:sta 17 °C:een. Kuvassa 32 on esitetty lajittamon kokonaisraakavesivirtaus, pesupuristimien laimennusvesien raakavesivirtaukset sekä laimennusvesien lämpötilat aikavälillä 31.5.–14.6.2023.



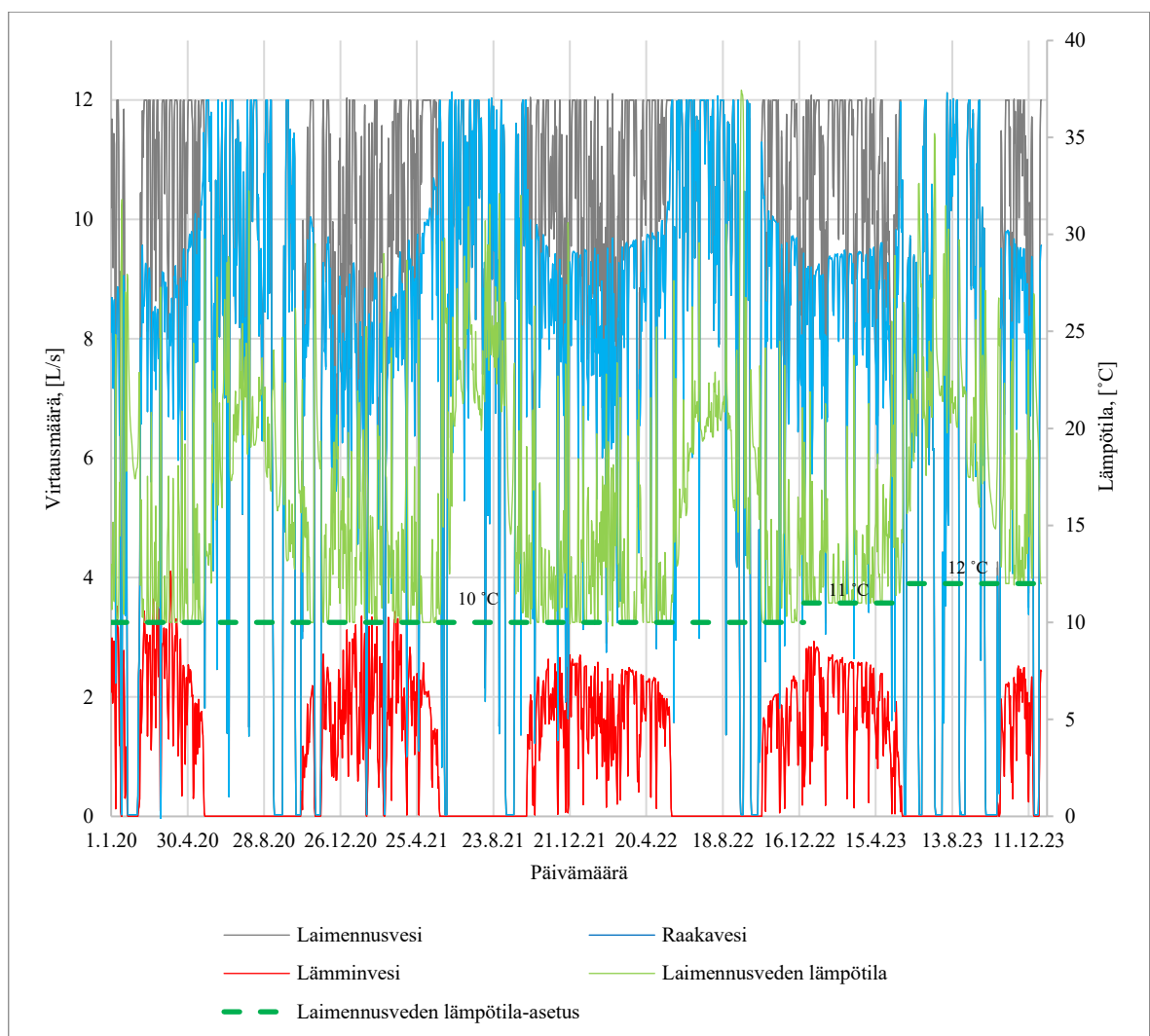
Kuva 32. Lajittamon kokonaisraakavesivirtaus, pesupuristimien laimennusvesien raakavesivirtaukset ja laimennusvesien lämpötilat ajalta 31.5.–14.6.2023.

Kuvasta nähdään selkeämmin lämpötila-asetuksen muutoksen aiheuttama laimennusveden lämpötilannousu lajittamo 2:lla, kun taas lajittamo 1:llä tehdyn asetusmuutoksen havainnointi laimennusveden lämpötilasta on vaikeampaa sen muun vaihtelun takia. Kun kuvasta katsotaan lajittamon kokonaisraakavedenvirtausta ennen muutosta ja muutoksen jälkeen, niin huomataan sen olevan alhaisemmalla tasolla lämpötila-asetuksen noston jälkeen. Myös lajittamo 2:n pesupuristimen laimennusveden raakavesivirtauksessa näkyy laskua lämpötila-asetuksen muuttamisen jälkeen. Lajittamo 1:llä pesupuristimen laimennusveden raakavesivirtaus näyttää pysyvän samalla tasolla lämpötila-asetuksen muuttamisen jälkeen. Tähän voi vaikuttaa se, että lajittamo 1:n laimennusveden lämpötilassa on paljon heittelyä, eikä se pysy tasaisena asetetussa lämpötilassa.

Aiempien pesupuristimien laimennusvesien lämpötila-asetuksien muutoksien perusteella yhden celsiusasteen muutoksella on mahdollista saavuttaa raakavesivirtauksissa muutamien litrojen säästö per sekunti. Jos laimennusvesien lämpötiloja nostetaan useammalla celsiusasteella, on mahdollista saavuttaa muutaman litran säästö raakavedessä per sekunti. Nämä arviot eivät kuitenkaan ole tilastollisesti kovin luotettavia, sillä mahdollinen

säästöpotentiaali on suhteellisen pieni verrattuna mittausdatan heittelyyn. Pesupuristimien laimennusvesissä käytetty raakavesi muodostaa noin kaksikolmasosaa lajittamon kokonaisraakavesivirtauksesta. Vaikuttamalla niiden raakavesikulutuksiin, voidaan vaikuttaa suuresti lajittamoiden kokonaisraakavesikulutukseen.

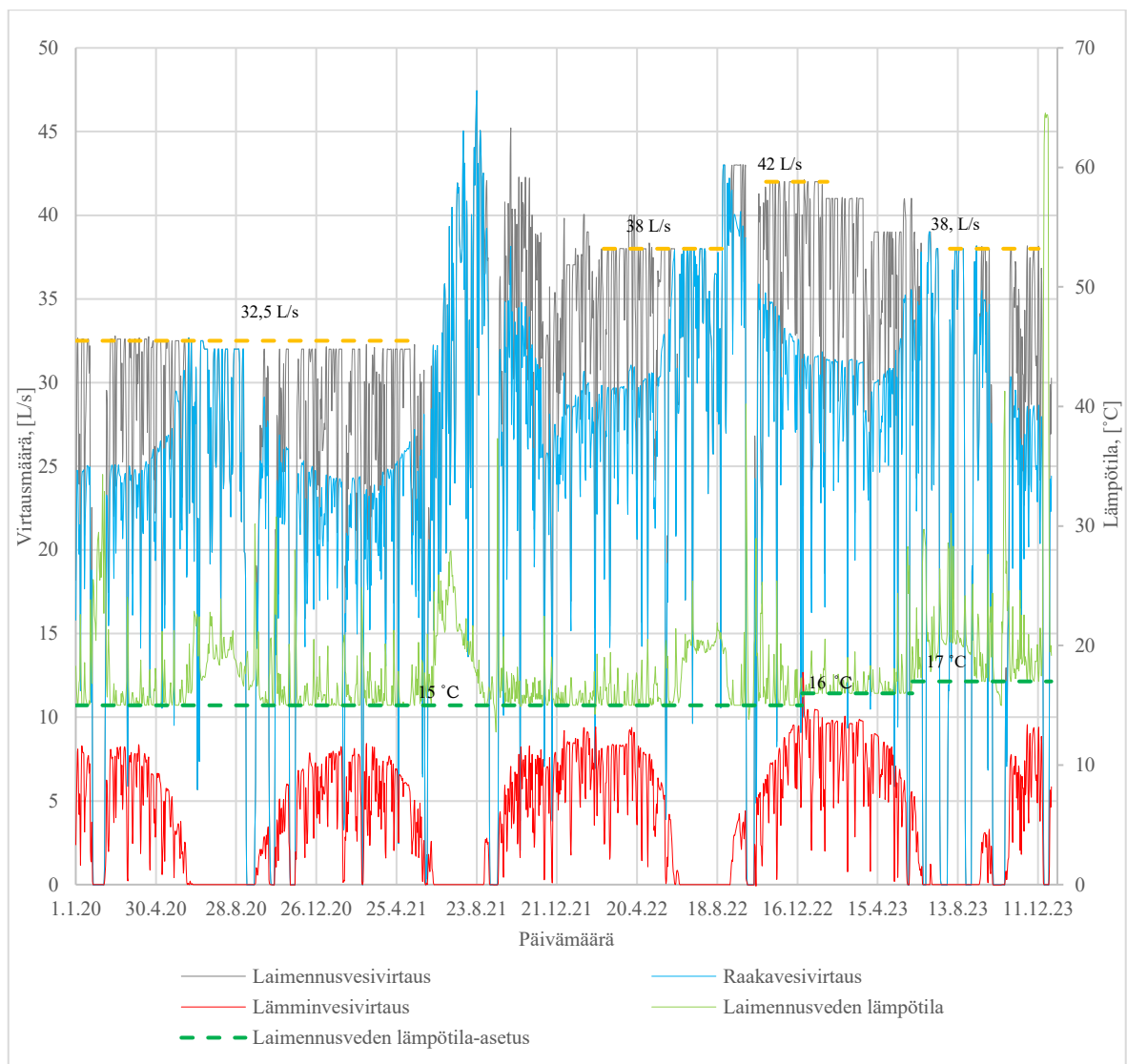
Kuvissa 33 ja 34 on esitetty lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien kokonaisvirtaukset, raakaveden osuudet, lämpimän veden osuudet, laimennusveden lämpötilat sekä laimennusvesien lämpötila-asetukset vuosien 2020–2023 aikana. Vasemmanpuoleinen asteikko kuvaa virtausmäärää ja oikeanpuoleinen asteikko kuvaa lämpötilaa.



Kuva 33. Lajittamo 1:n pesupuristimen laimennusveden kokonaisvirtaus, raakavesivirtaus, lämminvesivirtaus, laimennusveden lämpötila sekä sen lämpötila-asetus

Kuvasta 33 nähdään, että lajittamo 1:n pesupuristimen laimennusveden kokonaisvirtaus on pysynyt vuosien 2020–2023 aikana samansuuruisena noin 12 L/s. Raakaveden ja lämpimän

veden osuudet vaihtelevat melko tasaisesti vuodenaikojen mukaan. Kuvasta nähdään, miten lämpimän veden virtausmäärä laskee nollaan lämpimien kuukausien aikana, jolloin taas raakaveden virtausmäärä kasvaa. Lajittamo 1:n pesupuristimella laimennusvesi koostuu pelkästään raakavedestä noin viiden kuukauden ajan vuodesta, jolloin raakaveden lämpötila on korkeampi kuin laimennusveden lämpötila-asetus. Lajittamo 1:n pesupuristimen laimennusveden lämpötila-asetus on nostettu 23.12.2022 lämpötilasta 10 °C lämpötilaan 11 °C, minkä jälkeen sitä on vielä nostettu 6.6.2023 lämpötilaan 12 °C. Kuvasta nähdään, että lämpimimpinä kuukausina laimennusveden lämpötilaa on noussut kuitenkin selkeästi siitä yli noin 15–20 °C tuntumaan.



Kuva 34. Lajittamo 2:n pesupuristimen laimennusveden kokonaisvirtaus, raakavesivirtaus, lämminvesivirtaus, laimennusveden lämpötila sekä sen lämpötila-asetus

Kuvassa 34 nähdään, että vuosien 2020–2023 aikana suurin osa laimennusvedestä koostuu raakavedestä. Raakaveden ja lämpimän veden määrät vaihtelevat vuodenaikojen mukaan niin että kesäisin laimennusvedessä käytetään pelkästään raakavettä. Syyskuukausien aikana lämpimän veden käyttö alkaa lisääntyä. Tämä johtuu siitä, että laimennusvedelle on asetettu asetuslämpötila, joka ohjaa lämpimän veden ja raakaveden välistä suhdetta. Jos laimennusveden lämpötila laskee alle asetusarvon, ottaa se enemmän lämmintä vettä ja taas lämpötilan noustessa liian korkeaksi ottaa se enemmän raakavettä. Lajittamo 2:n pesupuristimella laimennusvesi koostuu täysin raakavedestä noin kolmen kuukauden ajan vuodessa, jolloin raakaveden lämpötila on korkeampi kuin laimennusveden lämpötila-asetus. Lämpötilan asetusarvo on nostettu 23.12.2022 viidestätoista celsiusasteesta kuuteentoista celsiusasteeseen ja siitä vielä seitsemääntoista celsiusasteeseen 6.6.2023. Kuvasta 34 nähdään, että laimennusveden mitattu lämpötila pysyy kylminä kuukausina paremmin asetusarvon tuntumassa, mutta kesäisin se nousee selkeästi siitä yli.

Laimennusveden raakaveden ja lämpimän veden välisen suhteen lisäksi kuvasta 34 huomataan, että lajittamo 2:n pesupuristimen laimennusveden kokonaisvirtauksen määrä vaihtelee ajoittain 2020–2023 välisellä aikavälillä. Kokonaisvirtauksen suuruuksia on merkitty kuvaan oranssilla katkoviivalla. Laimennusveden virtauksen suuruutta säätelee laimennusvedelle asetettu määrä sekä pesupuristimelle tulevan massan syöttömäärä kaavan 1 mukaan:

$$Q_{LV} = \frac{Y \cdot Z}{86,4} \quad (1)$$

jossa  $Q_{LV}$  on laimennusveden virtaus (L/s),  $Y$  on operaattorin asettama laimennusvesimäärä ( $\text{m}^3/\text{Adt}$ ) ja  $Z$  on lajittamon tuotanto pesupuristimelle ( $\text{Adt}/\text{d}$ ). Lajittamo 2:n pesupuristimen operaattorin asettama laimennusvesimäärä on pidetty 2020–2023 välisenä aikana koko ajan  $8 \text{ m}^3/\text{Adt}$ , joten laimennusveden kokonaisvirtauksessa näkyvät vaihtelut johtuvat lajittamolta pesupuristimelle tulevan tuotannon vaihtelusta.

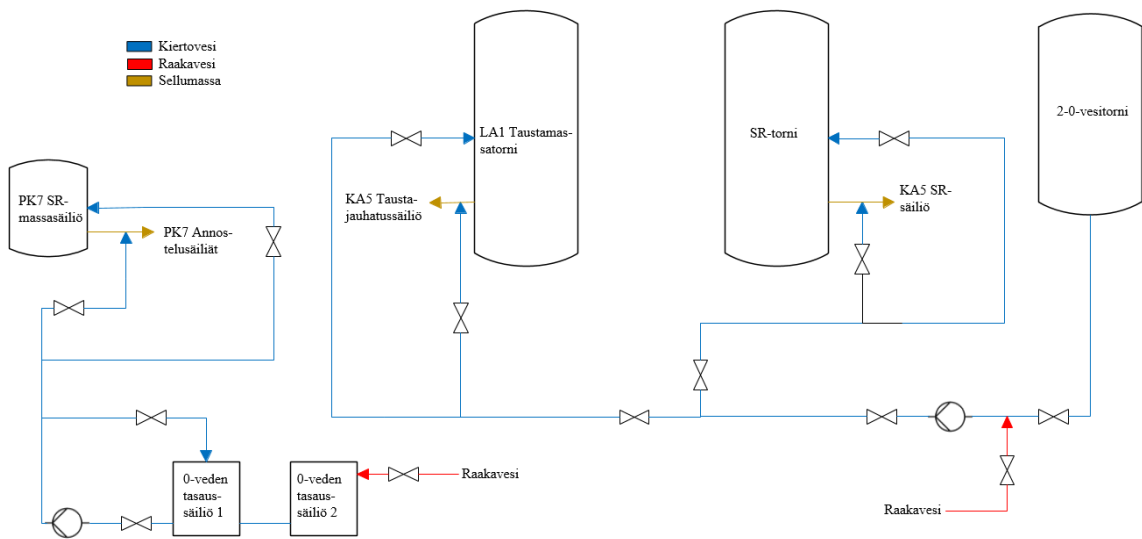
Laimennusvesien lämpötilojen nostaminen kylmempien ajanjaksojen aikana samalle tasolle kuin ne nousevat lämpiminä ajanjaksoilla, vähentäisi raakavedenkulutusta kylmien ajanjaksojen aikana. Lämpimimpinä ajanjaksoina laimennusvedet koostuvat 100 % raakavedestä, eikä niiden lämpötilat saavuta silti asetuslämpötiloja. Lajittamo 1:llä ja lajittamo 2:lla nämä ajanjaksot ovat eri pituiset. Tämä johtuu niiden eriävistä laimennusvesien lämpötila-asetuksista, jotka ovat lajittamo 1:llä viisi celsiusastetta alhaisempia kuin lajittamo 2:lla. Lajittamo 1:llä raakavesisäästöä on mahdollista saavuttaa seitsemän kuukauden ajalta ja lajittamo 2:lla

yhdeksän kuukauden ajalta. Loppuaikoina raakaveden lämpötila nousee laimennusvesien lämpötila-asetuksia korkeammaksi, jolloin pesupuristimien laimennusvedet koostuvat pelkästään raakavedestä.

Jos laimennusvesien lämpötila-asetuksia nostettaisiin korkeammiksi kuin ne kesäaikana nousevat, niin prosessien lämpötilat nousisivat korkeammiksi kuin ne ovat aikaisemmin nousseet. Tällöin olisi mahdollista lyhentää tehokkaammin ajanjaksoja, jolloin pesupuristimien laimennusvesissä käytetään pelkästään raakavettä, mutta toisaalta prosesseille aiheutuvien riskien ennustettavuus vaikeutuu.

### 9.3 Riskien arviointi

Ennen muutosten suorittamista täytyy mahdollisia riskejä arvioida tarkemmin. Riskien arviointi löytyy liitteestä 2. Lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien lämpötilojen nostaminen voi vaikuttaa SR-massatorniin, SR-massasäiliöön ja taustamassatorniin menevien sellumassojen lämpötiloihin, mikä voi puolestaan vaikuttaa paperikone 7:n ja kartonkikone 5:n prosesseihin, kun niihin tulevan massan lämpötilat nousevat. Täytyy selvittää, jäähdytetäänkö massaa paperikone 7:n tai kartonkikone 5:n prosesseissa raakavedellä. Tällöin on mahdollista, että sellutehtaalla saadaan vähennettyä raakavedenkulutusta, mutta raakavedenkulutus lisääntyy paperi- ja kartonkikoneella. Kartonkikone 5:lta ja paperikone 7:lta tulevilla hakuvesillä laimennetaan sellumassaa. Kuvassa 35 on esitetty sellumassojen hakuvesien prosessikaaviot.



Kuva 35. SR-massasäiliön, taustamassatornin ja SR-tornin sellumassojen hakuvesien prosessikaaviot

Paperikone 7:lla tulevan massan lämpötilan lievä nousu ei vaikuta sen vesien käyttöön. Hakuvesi tulee nollaveden tassaussäiliöiltä, eikä sen lämpötilaa säädetä raakavedellä. Kartonkikone 5:lla tulevalle sellumassalle on asetettu tietty asetusarvo, jossa se pyritään pitämään. Sellumassan mitattu lämpötila vaikuttaa puolestaan hakuveden lämpötila-asetusarvoon. Hakuvedettä jäähdytetään tarpeen mukaan raakavedellä. Sen lämpötilaa ohjaa korkeampi seuraavista: massan tai raakaveden lämpötila. Hakuveden lämpötilan asetusarvo määräytyy kaavan 2 mukaisesti:

$$T_{HV-A} = T_{SR-O} \cdot 0,30 - 15 + T_{HV-P} \quad (2)$$

jossa  $T_{HV-A}$  on hakuveden lämpötilan asetusarvo ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{SR-O}$  on SR-massan lämpötilan ohjausarvo (%) ja  $T_{HV-P}$  on hakuveden paikallinen asetusarvo ( $^{\circ}\text{C}$ ). Lisäksi hakuveden lämpötilan ohjauspiirissä vertaillaan kaavalla 2 saatua asetusarvo sekä raakaveden mitattua lämpötilaa ja siinä käytetään näistä korkeamman lämpötilan antavaa parametria. Hakuveden lämpötilan asetusarvo ohjaa sen ohjausarvoa (%), jonka arvo on samansuuruinen kuin raakavesiventtiilin aukioloaste (%). Hakuveden lämpötilan asetusarvon ollessa korkealla sen ohjausarvo on 0 %, eli raakavesiventtiili on täysin kiinni. Asetusarvon laskiessa taas hakuveden ohjausarvo alkaa nousemaan, kun tavoitelämpötila laskee ja raakavettä tarvitaan hakuveden lämpötilan laskemiseen.

Sellumassan lämpötilan noustessa paljon, ruvetaan hakuvettä jäähdyttämään raakavedellä. Kuvassa 36 on esitetty sellumassan lämpötilan asetusarvo, mitattu arvo ja ohjausarvo, hakuveden lämpötilan asetusarvo, mitattu arvo ja ohjausarvo sekä raakaveden lämpötila.



Kuva 36. Ruskean sellumassan lämpötilan asetusarvo, mitattu arvo ja ohjausarvo sekä hakuveden lämpötilan asetusarvo, mitattu arvo ja ohjausarvo sekä lisäksi raakaveden lämpötila. Kuvasta 36 nähdään, että raakaveden lämpötila ei nouse kertaakaan annetulla aikavälillä kaavalla 2 saatua hakuveden lämpötila-asetusta korkeammaksi, joten hakuveden asetustempötilana toimii kyseisellä kaavalla saatu arvo. Kuvasta nähdään, että hakuveden lämpötila-asetus laskee kesäkuun loppupuolella 30 °C:een. Tämä on johtunut siitä, että lämpötila-asetusarvoksi on valittu paikallinen asetusarvo. Tällöin lämpötila-asetuksena toimii erikseen määriteltä lämpötila, jota ei ohjata muilla parametreillä. Tässä tapauksessa paikallinen asetusarvo on asetettu arvoon 30 °C.

Hakuveden lämpötila-asetus ja mitattu lämpötila vaikuttavat sen ohjausarvoon. Mitatun lämpötilan noustessa yli lämpötila-asetuksen ohjausarvo alkaa nousemaan. Hakuveden

ohjausarvon arvo on sama kuin raakavesiventtiilin aukioloaste, eli ohjausarvon noustessa 20 %:iin aukeaa raakavesiventtiili 20 %:iin. Kuvasta 36 nähdään, että hakuveden lämpötila-asetuksen laskiessa noin 15 °C vuoden 2023 kesäkuussa aikana, nousee hakuveden ohjausarvo noin 30–40 %. Tämä tarkoittaa, että tuolloin raakavedenkulutus hakuvedessä on lisääntynyt huomattavasti.

## 10 Koeajo lajittamoiden pesupuristimilla

Koeajon tarkoituksena oli selvittää, pystytäänkö pesupuristimien laimennusvesissä käytettävän raakaveden määrää vähentämään nostamalla laimennusvesien lämpötilasetuksia. Lisäksi haluttiin varmistaa, että lajittamoiden kokonaisraakavesivirtaus vähenee, kun pesupuristimien laimennusvesien raakavesivirtaukset pienenevät. Kappaleessa 9.3 on arvioitu koeajoon liittyviä riskejä. Riskien arvioinnin jälkeen koeajo suunniteltiin ja ohjeistettiin mahdollisimman selkeästi. Koeajo-ohjeistus on esitetty liitteessä 3.

Koeajon toteutus käytännössä alkoi pesupuristimien laimennusvesien lämpötila-asetuksien nostolla. Asetuksia nostettiin kahdella celsiusasteella, jolloin lajittamo 1:n laimennusveden lämpötila asettui 14 °C:een ja lajittamo 2:n laimennusveden lämpötila asettui 19 °C:een. Laimennusvesien lämpötilojen muutoksien jälkeen seurattiin pesupuristimien laimennusvesien raakavesiventtiilin aukioloasteiden kehitystä sekä lajittamoiden kokonaisraakavesivirtausta. Näiden lisäksi haluttiin seurata kartonkikone 5:lle menevän taustamassan ja SR-massan lämpötiloja sekä SR-massan hakuveden raakavesiventtiilin aukioloastetta. Taulukossa 11 on lueteltu koeajossa seurattavat parametrit.

Taulukko 11. Koeajon aikana seurattavat parametrit sekä niiden merkitykset koeajon kannalta.

Seurattava parametri	Kommentit
SAT LA1 Pesupuristimen lämpötila	Lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien lämpötilat ovat ainoat parametrit, jotka muutetaan koeajo varten.
SAT LA2 Pesupuristimen lämpötila	Lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien lämpötilat ovat ainoat parametrit, jotka muutetaan koeajo varten.
SAT LA1 Pesupuristimen laimennusveden raakavesiventtiili	Koeajon aikana halutaan seurata, pieneneekö raakavesiventtiin aukioloaste LA1:n pesupuristimen laimennusveden lämpötilan noustessa.
SAT LA2 Pesupuristimen laimennusveden raakavesiventtiili	Koeajon aikana halutaan seurata, pieneneekö raakavesiventtiin aukioloaste LA2:n pesupuristimen laimennusveden lämpötilan noustessa.
SAT LA Raakavesivirtaus	Lajittamoiden kokonaisraakavesivirtauksesta voidaan seurata raakavedenkulutusta lajittamoilla, kun pesupuristimien laimennusvesien lämpötiloja nostetaan.
KA5 SR-tornista lähtevän massan lämpötila	SR-massan lämpötilaa halutaan seurata, ettei se nouse yli asetusarvon 42 °C.
KA5 SR-massan hakuveden raakavesiventtiili	Hakuveden raakavesiventtiiliä seurataan, ettei raakavedenkulutus lisääny SR-massan lämpötilan mahdollisen nousun seurauksena.

Taulukossa 11 listattuja parametrejä seurataan koeajon aikana. Tämän tavoitteena on saada mahdollisimman tarkka käsitys pesupuristimien laimennusvesien lämpötilojen nostolla saadusta raakavesisäästöstä sekä varmistaa ettei lämpötilojen nostot aiheuta vaikeuksia esimerkiksi massojen lämpötilojen nousujen kautta.

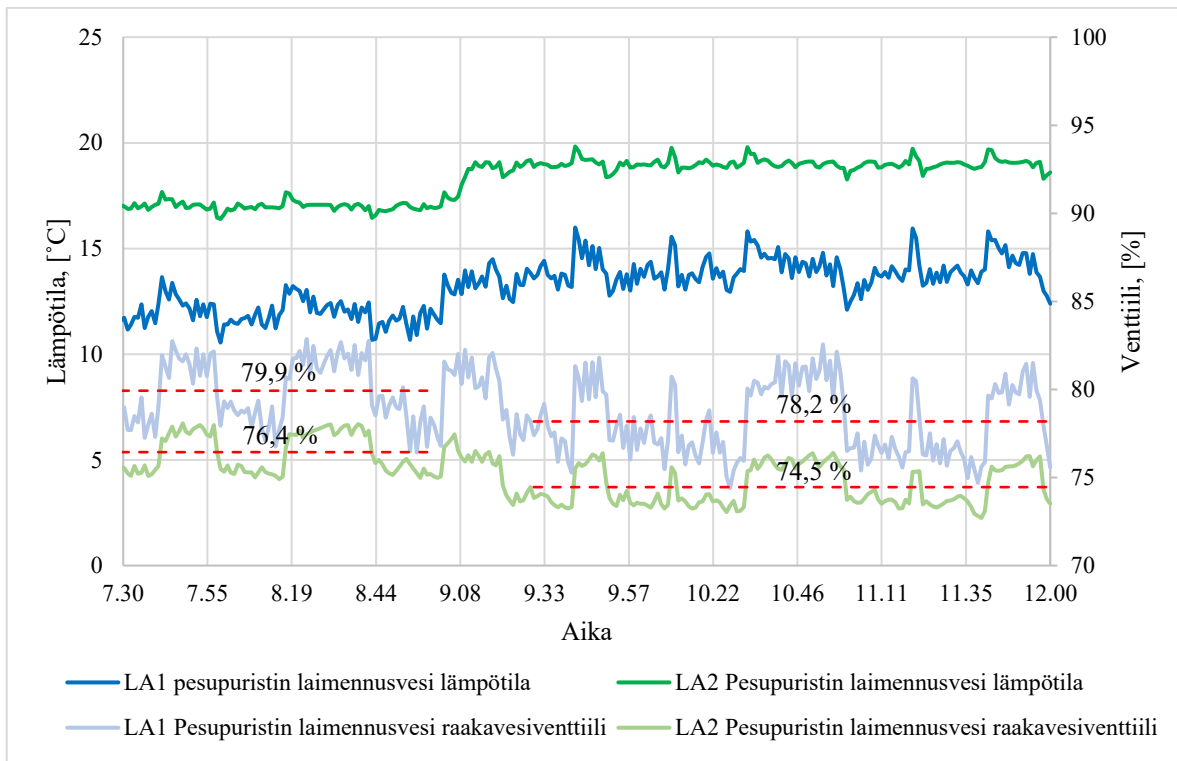
Koeajo aloitettiin 14.3.2024 kello 9 aamulla, jolloin lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien lämpötilamuutokset suoritettiin. Muita muutoksia ei ollut tarpeen tehdä tätä koeajoa varten, vaan tämän jälkeen taulukossa 11 mainittuja parametreja alettiin seuraamaan tarkasti. Koeajon aloitushetkellä sellutehtaan molemmat pesulinjat olivat ajossa. Kartonkikone 5:n oli myös ajossa, mutta paperikone 7 ei ollut ajossa koeajon aikana.

Koeajon aikana jouduttiin poikkeamaan koeajosuunnitelmasta moninaisista syistä. Pesupuristimia ja pesulinjoja jouduttiin ajamaan ajoittain alas koeajon aikana. Lisäksi kartonkikone 5:n tuotanto pysähtyi muutamia kertoja. Ideaalitulanteessa sellutehtaan ja kartonkikoneen tuotannot olisivat pysyneet tasaisina koeajon ajan, jolloin tulosten analysointi olisi ollut helpompaa. Koeajon aikana arvioitiin mahdollisuutta nostaa pesupuristimien laimennusvesien lämpötiloja vielä korkeammiksi, jos SR-massan lämpötila ei nouse liian korkeaksi tai ilmene muita esteitä. Tällä olisi voitu selvittää, pystytäänkö pesupuristimien laimennusvesien lämpötiloja nostamaan vielä korkeammiksi ilman ongelmia ja voitaisiinko tällä saavuttaa suurempia raakavesisäästöjä. Epävarman ajotilanteen takia uutta lämpötilanostoa ei koeajon aikana suoritettu. Lisäksi muutosta takaisin alkuperäisiin lämpötiloihin ei tehty, koska ajotilanteen ailahtelevuuden ja epävarmuuden takia ei muutosta pystytty suorittamaan koeajon aloitusajankohdan ajotilannetta vastaavissa olosuhteissa. Koeajon katsotaan loppuneen 23.3., koska tuolloin sellutehtaan ja kartonkikoneen tuotannot pysähtyivät.

Pesupuristimien laimennusvesien lämpötilat palautettiin takaisin alkuperäisiin arvoihin koeajon loppumisen jälkeen myöhempänä ajankohtana, jolloin lajittamoiden raakavesivirtauksissa on havaittavissa pientä nousua. Tainion tehdasyksikön ajotilanne kuitenkin poikkesi tuolloin koeajon aikaisesta ajotilanteesta, sillä paperikone 7 oli myös ajossa. Ajotilanteen eriäväisyydestä huolimatta raakavedenkulutus lisääntyi hieman, kun lämpötilat laskettiin takaisin alkuperäisiin arvoihin. Tämä puoltaa hypoteesia, jonka mukaan raakaveden kulutus lisääntyy lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesissä, kun laimennusvesien lämpötila-asetuksia lasketaan alemmas.

## 11 Koeajon tulokset

Koeajo aloitettiin 14.3.2024 noin kello 9 aamulla, kun pesupuristimien laimennusvesien lämpötilat nostettiin haluttuihin arvoihin. Kuvassa 37 on esitetty lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien lämpötilat ja raakavesiventtiilien aukioloarvot 14.3.2024 kello 7.30–12 välisenä aikana. Kuvasta nähdään pesupuristimien tilanteet puolitoistatuntia ennen tehtyjä lämpötilamuutoksia sekä kolme tuntia muutoksien jälkeen. Punaisella katkoviivalla on merkitty raakavesiventtiilien aukioloasteiden keskiarvot ennen lämpötilamuutoksia ja niiden jälkeen.



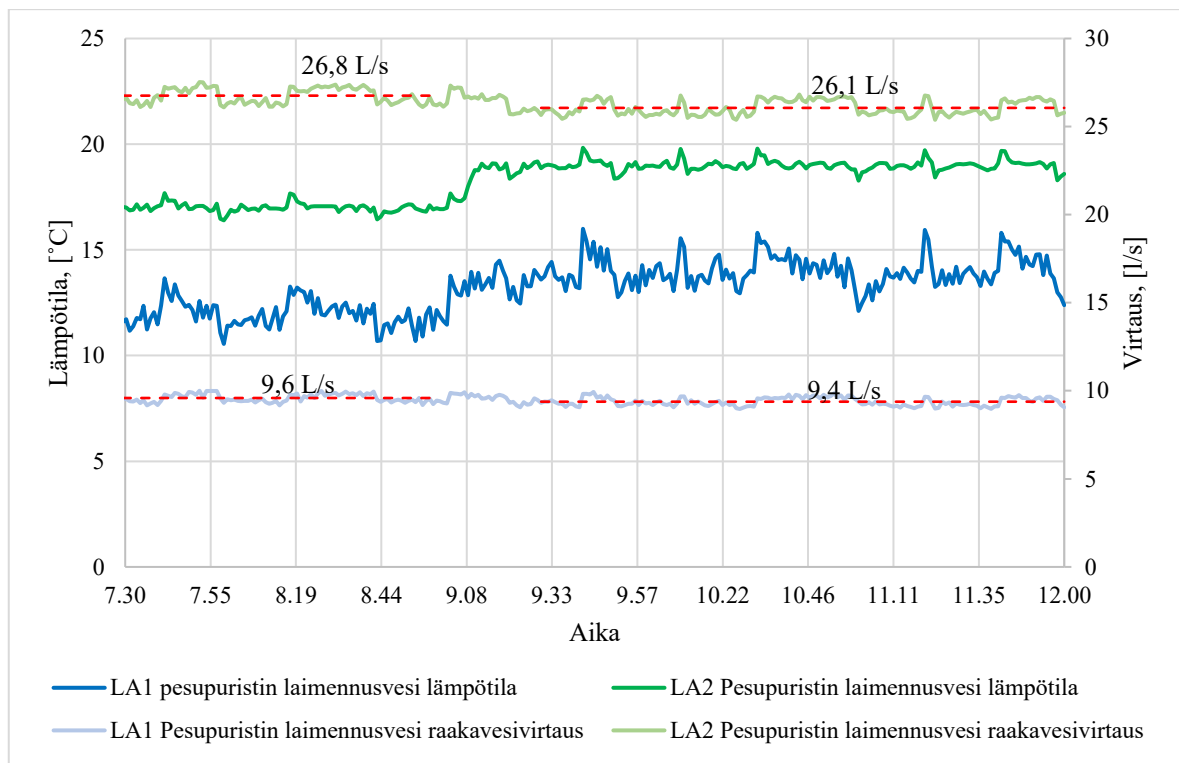
Kuva 37. Lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien lämpötilat sekä raakavesiventtiilien auki-oloasteet koeajon alussa

Kuvasta 37 nähdään laimennusvesien lämpötiloista selkeästi koeajon aloitusajankohta noin kello 9, jolloin niitä on nostettu kahdella celsiusasteella. Lisäksi kuvasta nähdään, että laimennusvesien raakavesiventtiilien aukioloasteet pienenevät, kun laimennusvesien lämpötilat nousevat. Tämä vahvistaa koeajon hypoteesia siitä, että laimennusvesien lämpötiloja nostamalla voidaan pienentää pesupuristimien laimennuksissa käytettävän raakaveden määrää.

Laimennusvesien raakavesivirtauksia ei mitata suoraan omilla virtausmittareilla, mutta niistä saadaan laskennallinen arvio kaavalla 3:

$$Q_{RV} = Q_{LV} \cdot k_{RV} \quad (3)$$

jossa  $Q_{RV}$  on raakavesivirtaus (L/s),  $Q_{LM}$  on laimennusveden virtaus (L/s) ja  $k_{RV}$  on raakavesiventtiilin aukioloaste. Kaavan 3 avulla saadut raakavesivirtaukset koeajon alussa, eli 14.3.2024 kello 7.30–12 välisenä aikana, on esitetty kuvassa 38.



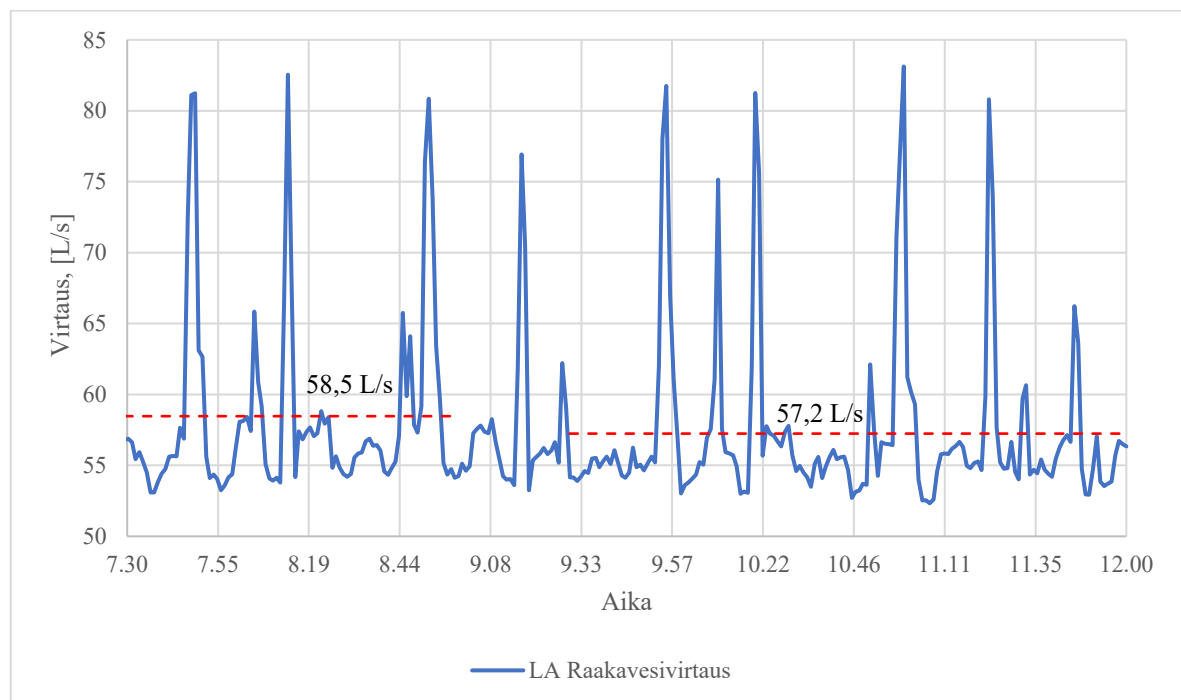
Kuva 38. Lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien laskennalliset raakavesivirtaukset ja laimennusvesien lämpötilat

Laskennallisilla raakavesivirtauksilla voidaan arvioida mahdollista raakaveden säästöpotentiaalia, joka saavutetaan pesupuristimien laimennusvesissä kahden celsiusasteen lämpötilakohotuksilla. Ennen muutoksia 14.3.2024 kello 7.30–8.59 välisenä aikana mitattujen laimennusvesien raakavesivirtauksien suuruudet lajittamo 1:llä olivat keskiarvoltaan noin 9,6 L/s ja lajittamo 2:lla olivat noin 26,8 L/s. Lämpötilamuutosten jälkeen kello 9.30–12 välisenä aikana raakavesivirtauksen keskiarvo lajittamo 1:n pesupuristimien laimennusvedessä oli 9,4 L/s ja lajittamo 2:n pesupuristimen laimennusvedessä 26,1 L/s. Yhteensä raakavesikulutus tippui noin 0,9 L/s laimennusvesien kahden celsiusasteen lämpötilanostolla. Koska

pesupuristimien laimennusvesien raakavesivirtaukset ovat laskennallisia, niin ne eivät anna yhtä luetettavia arvoja kuin virtausmittareilla voitaisiin saada.

Potentiaalinen raakavesisäästö vuorokauden aikana tasaisessa ajossa 0,9 L/s raakavesivirtauksen vähennyksellä on noin 80 m<sup>3</sup>. Kuukaudessa raakavettä on mahdollista tällä raakavesivirtauksen vähenemismäärällä vähentää noin 2350 m<sup>3</sup> ja puolessa vuodessa noin 14 120 m<sup>3</sup>. Nämä arviot on laskettu tasaisella raakavesivirtauksen vähenemismäärällä 0,9 L/s olettaen, että ajotilanne aikaväleillä on tasainen ja jatkuva. Nämä raakaveden säästöarviot on saatu laskennallisesti ja lyhyellä ajalla seurattujen parametrien avulla, mikä heikentää niiden luettavuutta ja yleistettävyyttä.

Lajittamoiden kokonaisraakavesivirtausta mitataan sellutehtaalla, joten tällä mittauksella voidaan vahvistaa laskennallisten raakavesivirtausten paikkansapitävyyttä. Pesupuristimien laimennusvesissä vähentyneen raakaveden määrän pitäisi näkyä myös lajittamoiden kokonaisraakavesivirtauksessa samansuuruisena vähentymisenä. Kuvassa 39 on esitetty 14.3.2024 kello 7.30–12 välisenä aikana mitatun lajittamoiden kokonaisraakavesivirtauksen kuvaaja. Lisäksi kuvaan 39 on merkitty punaisella katkoviivalla virtausten keskiarvot ennen lämpötilamuutosta 7.30–8.59 välisenä aikana sekä muutoksen jälkeen 9.30–12 välisenä aikana.

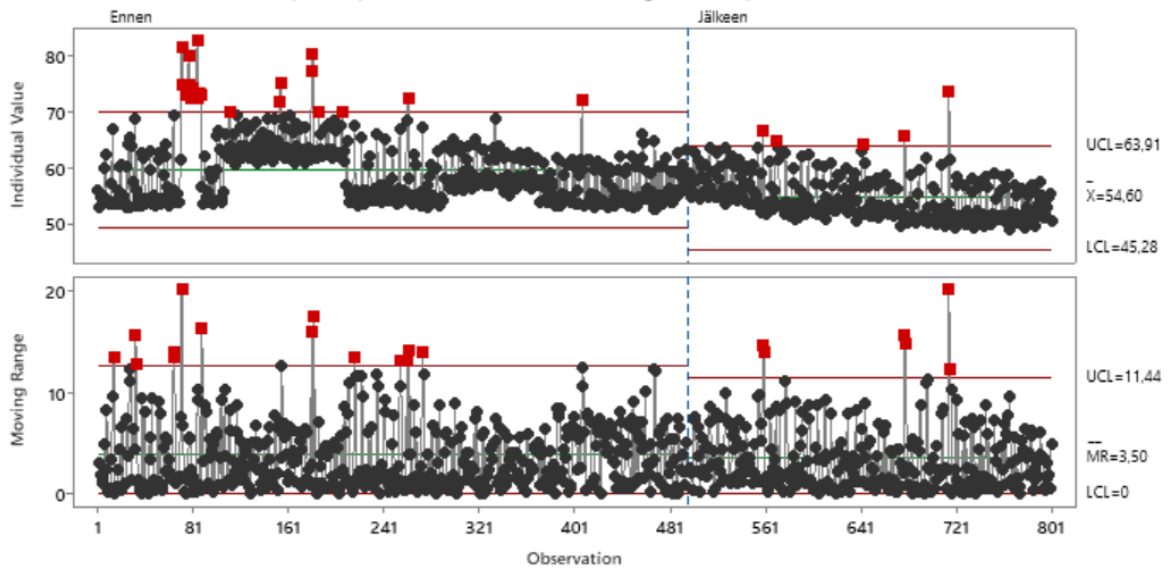


Kuva 39. Lajittamoiden raakavesivirtaus koeajon alun aikana

Kuvasta 39 nähdään, että lajittamoiden kokonaisraakavesivirtaus on pienentynyt, kun verrataan koeajon ensimmäisiä tunteja koeajoa edeltävään puoleentoista tuntiin. Mitattujen datapisteiden avulla laskettujen keskiarvojen mukaan raakavesivirtaus lajittamoilla on pienentynyt noin 1,3 L/s pesupuristimien laimennusvesien lämpötilamuutosten jälkeen. Pesupuristimien laimennusvesien raakavesikulutuksen laskennallisten arvioiden mukaan raakavesivirtausta pystyttiin pienentämään laimennusvesissä 0,9 L/s lämpötilanostoilla. Eroavaisuus voi johtua esimerkiksi laskennallisten arvojen epätarkkuuksista, virtausmittausten epätarkkuuksista sekä raakavesivirtausten suuruuksien vaihteluista muualla lajittamolla. Raakavettä käytetään lajittamoilla pesupuristimien laimennusten lisäksi hiekkaerottimien huuhteluissa sekä PK7 SR-säiliön ja taustamassatornin pesuissa, mikä voi aiheuttaa ajoittaisia piikkejä lajittamoiden kokonaisraakavesikulutukseen.

Raakavesivirtauksen vähentyessä 1,3 L/s voidaan vuorokaudessa saavuttaa noin 110 m<sup>3</sup> raakavesisäästö vuorokaudessa. Kuukaudessa raakavesisäästöä voi syntyä noin 3200 m<sup>3</sup> ja puolessa vuodessa noin 19 110 m<sup>3</sup>. Tämä raakaveden säästöarvio on laskettu olettaen, että ajo-tilanne pysyy tasaisena ja jatkuvana sekä raakavesivirtauksen virtaussäästön pysyvän 1,3 L/s. Arvion luotettavuutta ja yleistettävyyttä heikentää mittausten lyhyt aikaikkuna, jossa ne on suoritettu.

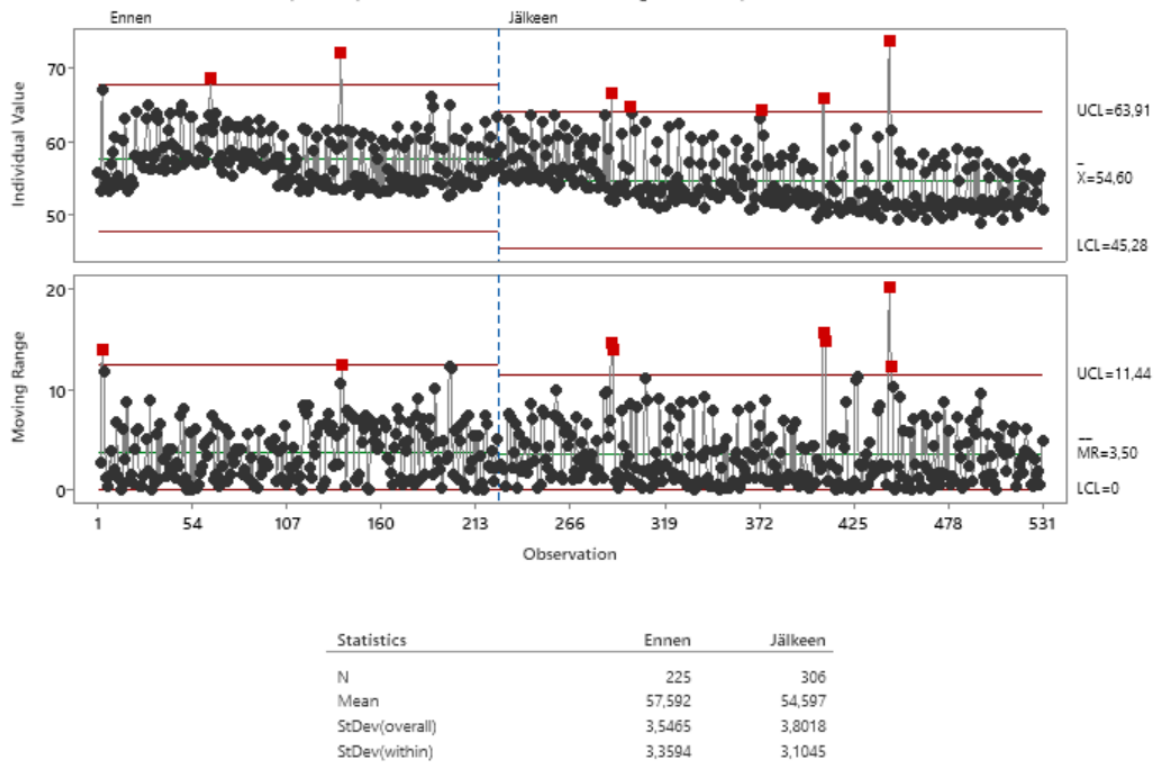
Koeajon aikana sellutehtaan pesulinjojen ajotilanteet vaihtelivat suuresti. Lisäksi lajittamoiden pesupuristimien toiminnat jouduttiin välillä keskeyttämään. Nämä tekijät vaikeuttavat pidemmällä aikavälillä koeajosta saadun datan analysointia. Tästä syystä kuvassa 40 on esitetty lajittamoiden kokonaisraakavesivirtaukselle I-MR-valvontakortti (individuals and moving range) koeajon aikana 14.3.-23.3.24 sekä viikkoa ennen muutosta 7.3.-14.3.24, mutta datasta on poistettu ne aikavälit, joissa toisen pesulinjan tai toisen lajittamon pesupuristimen toiminta on ollut alhaalla. I-MR-valvontakortissa esitetään raakavesivirtaukselle keskiarvot ( $\bar{X}$ ), havaintojen etäisyyksien keskiarvo ( $\overline{MR}$ ) sekä keskihajonta (StDev) ennen lämpötilamuutosta ja sen jälkeen.



Statistics	Ennen	Jälkeen
N	495	306
Mean	59,442	54,597
StDev(overall)	5,5763	3,8018
StDev(within)	3,4398	3,1045

Kuva 40. Lajittamoiden mitattu kokonaisraakavesivirtaus ennen koeajoa ja sen aikana tasaisessa ajotilanteessa

Raakavesivirtauksen keskiarvo on pudonnut kuvan 40 datan mukaan noin 4,8 L/s. Mitattujen arvojen keskihajonta on pysynyt melko samalla tasolla ennen koeajoa sekä koeajossa suoritettun lämpötilamuutoksen jälkeen. Vaikka kuvassa 40 on poistettu sellutehtaan epävakaiden ajotilanteiden aikaiset datat, niin siinä näkyy melko isoa heittelyä koeajoa edeltävän aikajakson datassa. Kokonaiskeskihajonta on ollut ennen koeajon alkua noin 5,6 L/s ja sen jälkeen 3,8 L/s. Tämän takia raakavesivirtauksen suuruutta on kuvassa 41 esitetty I-MR-valvontakortissa lyhyemmällä aikavälillä. Kuvassa on dataa ennen koeajo alkua ajalta 10.3.-14.3.24 ja koeajon aikana 14.3.-23.3.24.

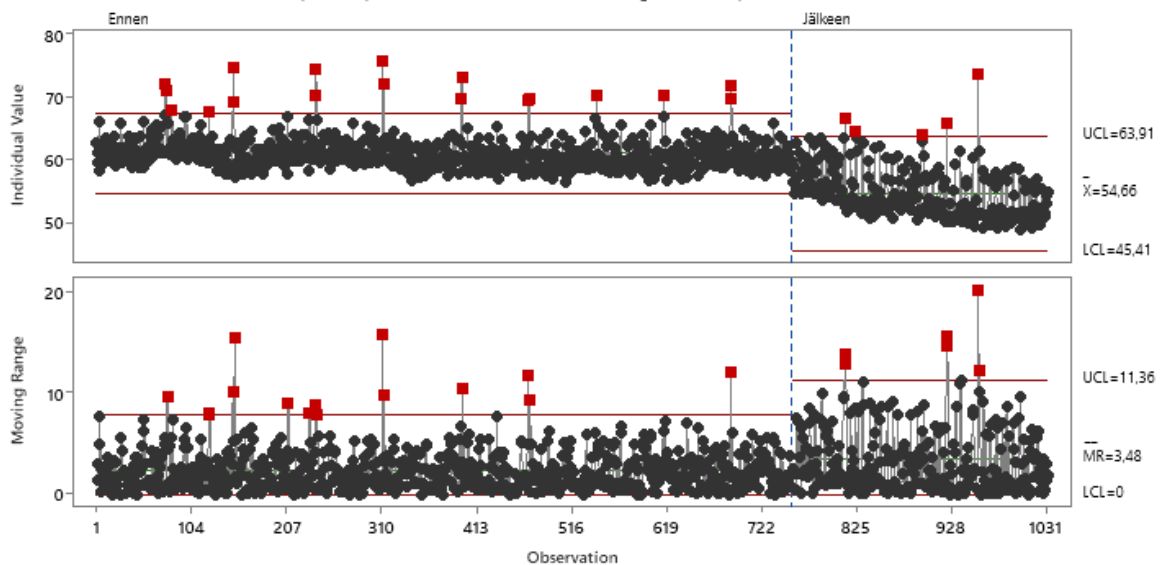


Kuva 41. Lajittamoiden mitattu kokonaisraakavesivirtaus 10.3.-23.3.24 välisenä aikana tasisessa ajotilanteessa

Kuvan 41 datan mukaan lajittamoiden raakavesivirtaus ennen pesupuristimien laimennusvesien lämpötilojen nostoja on ollut keskimäärin noin 57,6 L/s ja muutoksen jälkeen noin 54,6 L/s. Kuvan 41 datan perusteella lajittamoiden raakavesivirtaus on pienentynyt noin 3 L/s laimennusvesien lämpötilamuutosten jälkeen. Kokonaiskeskihajonta on pysynyt melko samalla tasolla ennen koeajon aloitusta ja sen jälkeen. Ennen koeajoa se on noin 3,5 L/s ja sen jälkeen noin 3,8 L/s. Saavutettu raakavesivirtaussäästö on suhteellisen pieni verrattuna mittausdatan keskihajontaan.

Koeajossa saavutettu raakavesisäästö on sitä suuruusluokkaa, mitä aiempien pesupuristimien laimennusvesien lämpötilanostojen perusteella oli odotettavissa. Vaikka raakavesisäästöt ovat olleet suhteellisen pieniä, niin niitä on kuitenkin havaittu laimennusvesien lämpötilojen yhteydessä. Tämän takia vuoden 2022 maaliskuussa ja nyt koeajon aikana vuoden 2024 maaliskuussa kerättyä dataa analysoidaan Minitab-sovelluksen avulla (Minitab). Analysointiin on valittu vuoden 2022 maaliskuussa kerätty data sen takia, että se ajoittuu ajalle ennen pesupuristimien laimennusvesien lämpötilojen nostoja ja suunnilleen samaan vuodenaikaan tässä työssä suoritetun koeajon kanssa. Tällöin raakaveden lämpötila on samaa suuruusluokkaa molemmissa datoissa. Minitabilla mittausdatoille muodostetaan I-MR-

valvontakortti sekä suoritetaan normaali-, varianssi ja keskiarvotestit. Kuvassa 42 tarkastellaan I-MR-valvontakortin avulla lajittamoiden raakavesikulutusta maaliskuussa 2022 ennen laimennusvesien nostoja ja maaliskuussa 2024 koeajon aikana, kun viimeiset laimennusvesien lämpötilanostot ovat tehty. Kuvassa näkyvässä ennen-ajanjaksolla laimennusvesien lämpötilat ovat olleet lajittamo 1:n pesupuristimella 10 °C ja lajittamo 2:n pesupuristimella 15 °C ja jälkeen-ajanjaksolla lajittamo 1:n pesupuristimella 14 °C ja lajittamo 2:n pesupuristimella 19 °C. Molemmista aikaväleistä on poistettu epätasaiset ajopätkät.

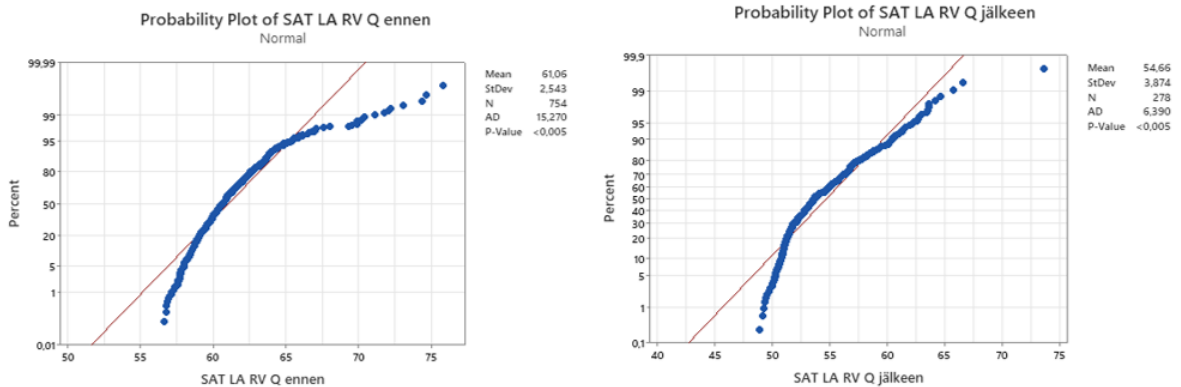


Statistics	Ennen	Jälkeen
N	754	278
Mean	61,063	54,659
StDev(overall)	2,5435	3,8737
StDev(within)	2,1298	3,0832

Kuva 42. I-MR-valvontakortti lajittamoiden raakavesivirtauksien mittausdatoille ennen laimennusvesien lämpötilamuutoksia ja niiden jälkeen

Kuvasta 42 nähdään, että lajittamoiden raakavesivirtaus on pienentynyt vuoden 2024 maaliskuussa noin 6,4 L/s verrattuna vuoden 2022 maaliskuuhun. Keskihajonta vuonna 2022 kerätyn datan mittauspisteille on noin 2,5 L/s ja vuonna 2024 kerätyn datan mittauspisteille noin 3,9 L/s, eli koeajon aikana kerätyn datan keskihajonta on ollut hieman suurempaa kuin vuoden 2022 maaliskuussa kerätyn datan. Hajonta on melko suurta verrattuna raakavesivirtauksien keskiarvojen erotukseen. Seuraavaksi datalle tehdään normaalisuustesti, jolla tutkitaan datan jakauman muotoa. Tämä on esitetty kuvassa 43, jossa termi ”SAT LA RV Q ennen” kuvastaa lajittamoiden raakavesivirtausta ennen pesupuristimien laimennusvesien

lämpötilamuutoksia vuoden 2022 maaliskuussa ja termi ”SAT LA RV Q jälkeen” kuvastaa lajittamoiden raakavesivirtausta lämpötilamuutosten jälkeen vuoden 2024 maaliskuussa.



Kuva 43. Normaalisti lajittamoiden raakavesivirtauksien mittausdatoille ennen laimennusvesien lämpötilamuutoksia ja niiden jälkeen

Jos normaalitestissä saatu p-arvo on alle 0,05, niin data ei ole normaalijakautuman mukainen (Minitab a). Kuvasta 43 huomataan, ettei mittausdata ole normaalisti jakautunutta, koska p-arvo on hyvin pieni <0,005. Tätä tietoa hyödyntäen voidaan suorittaa varianssitetsti, joka tutkii mittausdatajien hajontaa. Varianssitetstissä käyteeään 90 % luottamusväliä, koska alhaisempi luottamusväli nostaa testin tehoa. Kuvassa 44 esitetään varianssitetstin tuloksia.

#### Descriptive Statistics

Variable	N	StDev	Variance	90% CI for $\sigma$
SAT LA RV Q ennen	754	2,543	6,469	(2,337; 2,774)
SAT LA RV Q jälkeen	278	3,874	15,006	(3,523; 4,285)

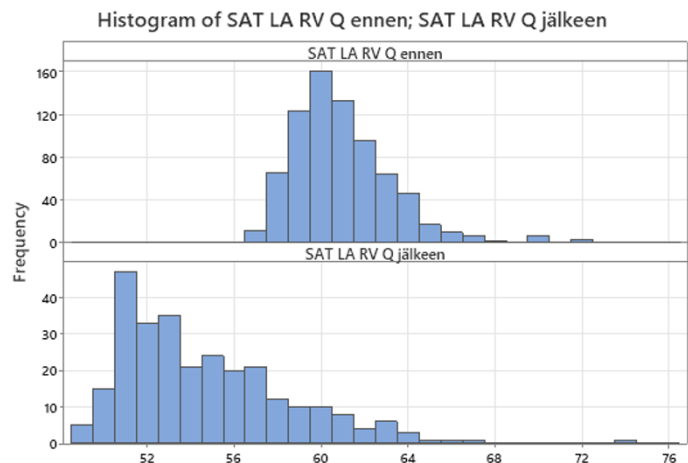
#### Ratio of Standard Deviations

Estimated Ratio	90% CI for Ratio using Bonett	90% CI for Ratio using Levene
0,656597	(0,559; 0,760)	(0,531; 0,668)

#### Test

Null hypothesis  $H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$   
 Alternative hypothesis  $H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$   
 Significance level  $\alpha = 0,1$

Method	Test Statistic	DF1	DF2	P-Value
Bonett	*			0,000
Levene	66,92	1	1030	0,000



Kuva 44. Varianssitetsti lajittamoiden raakavesivirtauksien mittausdatoille ennen laimennusvesien lämpötilamuutoksia ja niiden jälkeen

Varianssitetstillä saadaan selville, etteivät mittausdatajien varianssit ole samansuuruisia. Varianssitetstin p-arvojen ollessa alle 0,05 eivät varianssit ole samansuuruisia ja raakavesivirtauksien mittausdatajien varianssitetsti antaa p-arvoksi 0,000. (Minitab b.) Tätä tietoa tarvitaan, kun mittausdatoille suoritetaan keskiarvotesti, jossa täytyy olettaa varianssien olevan

joko saman- tai erisuuruisia. Keskiarvotestinä käytetään 2-Sample t -testiä. Tätä testiä voidaan hyödyntää, kun data on satunnaista, riippumatonta, jatkuvaa ja normaalisti jakautuvaa. Normaalisti jakautumisesta voidaan joustaa, jos data täyttää muut vaatimukset ja on lisäksi yksihuippuista ja suhteellisen symmetristä. (Minitab c.) Kuvasta 44 nähdään, että data on yksihuippuista, mutta ei täysin symmetristä. Koska suhteellinen symmetrisyys on riittävää, niin datalle suoritetaan 2-Sample t -testi 95 % luottamusvälillä. Kuvassa 45 on esitetty tämän keskiarvotestin tuloksia.

#### Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
SAT LA RV Q ennen	754	61,06	2,54	0,093
SAT LA RV Q jälkeen	278	54,66	3,87	0,23

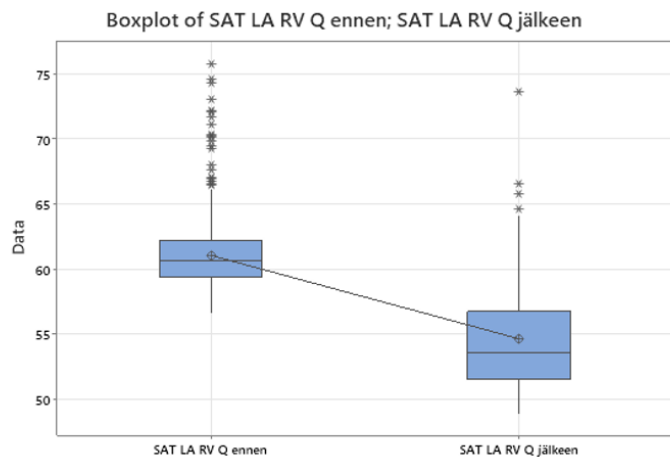
#### Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
6,404	(5,912; 6,896)

#### Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
25,61	368	0,000

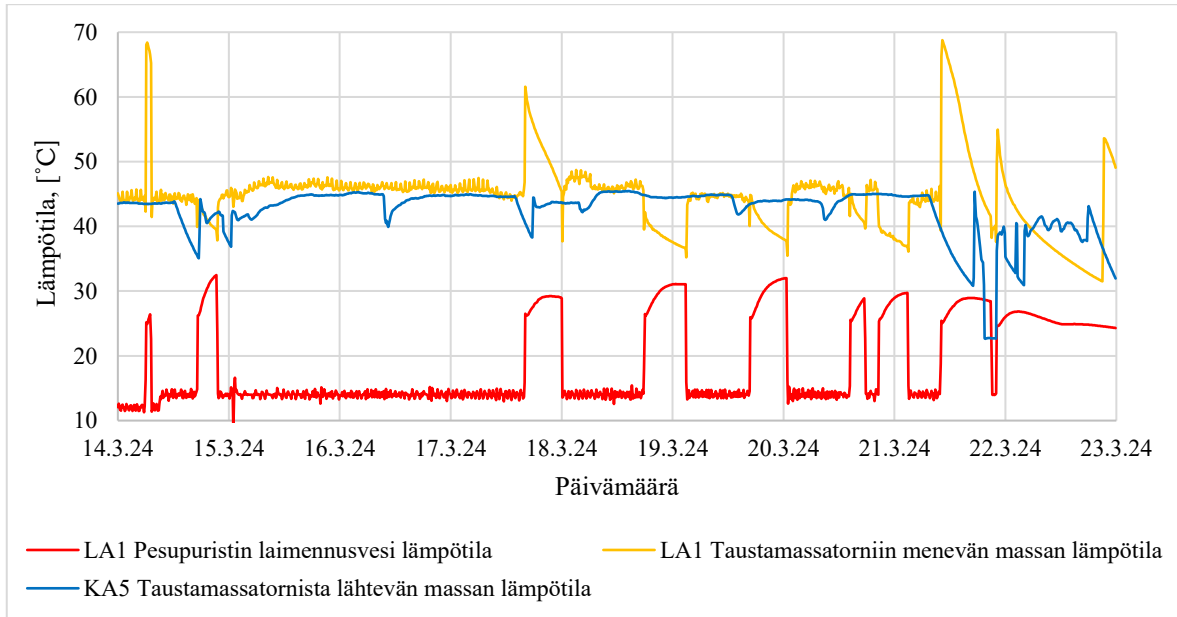


Kuva 45. Keskiarvotesti lajittamoiden raakavesivirtauksien mittausdatoille ennen laimennusvesien lämpötilamuutoksia ja niiden jälkeen

Keskiarvotestissä saatu p-arvo on 0,000. Tämä tarkoittaa, että nollahypoteesi voidaan hylätä. Nollahypoteesina tässä testissä on toiminut oletamus, että raakavesivirtaukset ovat yhtä suuria ennen laimennusvesien lämpötilamuutoksia vuoden 2022 maaliskuussa ja lämpötilamuutosten jälkeen vuoden 2024 maaliskuussa. Näin ollen saadaan vahvistus, että raakavesivirtaukset eivät ole ennen muutoksia ja muutoksien jälkeen samansuuruisia, vaan virtaus on pienentynyt 95 % todennäköisyydellä 5,9–6,9 L/s. Saatavilla olevien mittausdatojen perusteella ei kuitenkaan pystytä varmasti todistamaan, että raakavesivirtauksen muutokseen on vaikutettu pelkästään pesupuristimien laimennusvesien lämpötilojen nostoilla.

Kun koeajossa mitattua dataa verrataan koeajoa edeltäneessä tilanteessa mitattuun dataan, on saavutettu noin 0,9–3 L/s raakavesisäästö. Näiden ajanjaksojen välillä pesupuristimien laimennusvesien lämpötiloja on nostettu kahdella celsiusasteella. Kun koeajossa mitattua dataa verrataan laimennusvesien kaikkia lämpötilanostoja edeltäneeseen aikaan, saadaan raakavesisäästöksi noin 5,9–6,9 L/s. Koeajossa laimennusvesien lämpötilat ovat olleet neljä celsiusastetta korkeampia kuin lämpötilanostoja edeltäneellä ajalla.

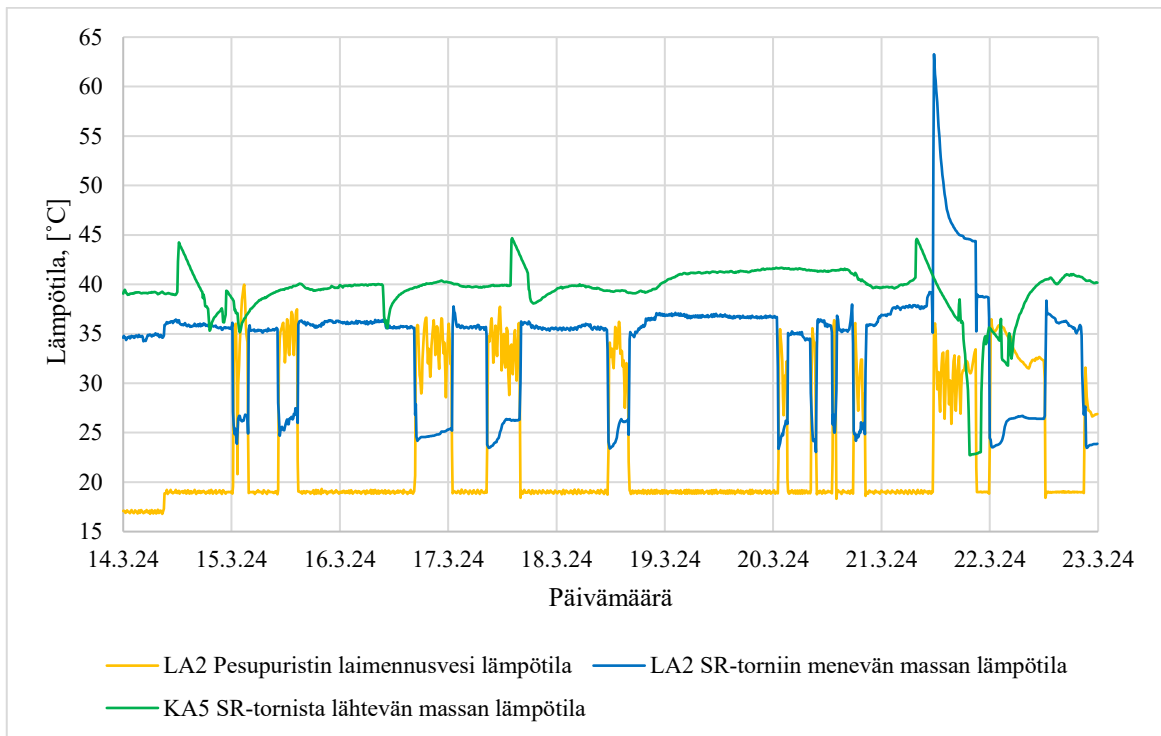
Koeajon aikana haluttiin seurata lajittamoiden raakavesivirtausten lisäksi taustamassatornin ja SR-tornin massojen lämpötiloja. Massojen liian suuri lämpötilojen nousu voi aiheuttaa laatu- ja ajettavuusongelmia kartonkikone 5:lla. Näitä riskejä on arvioitu tarkemmin kappaleessa 9.3. Kuvassa 46 on esitetty kuvaajat lajittamo 1:n pesupuristimen laimennusveden, taustamassatorniin menevän sekä sieltä lähtevän massan lämpötiloille.



Kuva 46. Lajittamon 1:n pesupuristimen laimennusveden lämpötila, taustamassatorniin menevän massan lämpötila ja taustamassatornista lähtevän massan lämpötila

Kuvasta 46 nähdään, että taustamassatorniin menevän massan lämpötila nousee parilla asteella pienen viiveen jälkeen pesupuristimien laimennusveden lämpötilan nousun jälkeen 15.3. noin kello 6 aamulla. Myös taustamassatornista lähtevän massan lämpötila nousee noin vuorokauden päästä koeajon alkamisen jälkeen. Kuvaajissa näkyy piikkejä, jotka vaikeuttavat niiden tulkitsemista. Taustamassatorniin menevän ja sieltä lähtevän massan lämpötilojen kuvaajista huomataan, ettei merkittävää lämpötilanousua taustamassassa koeajon aikana synny.

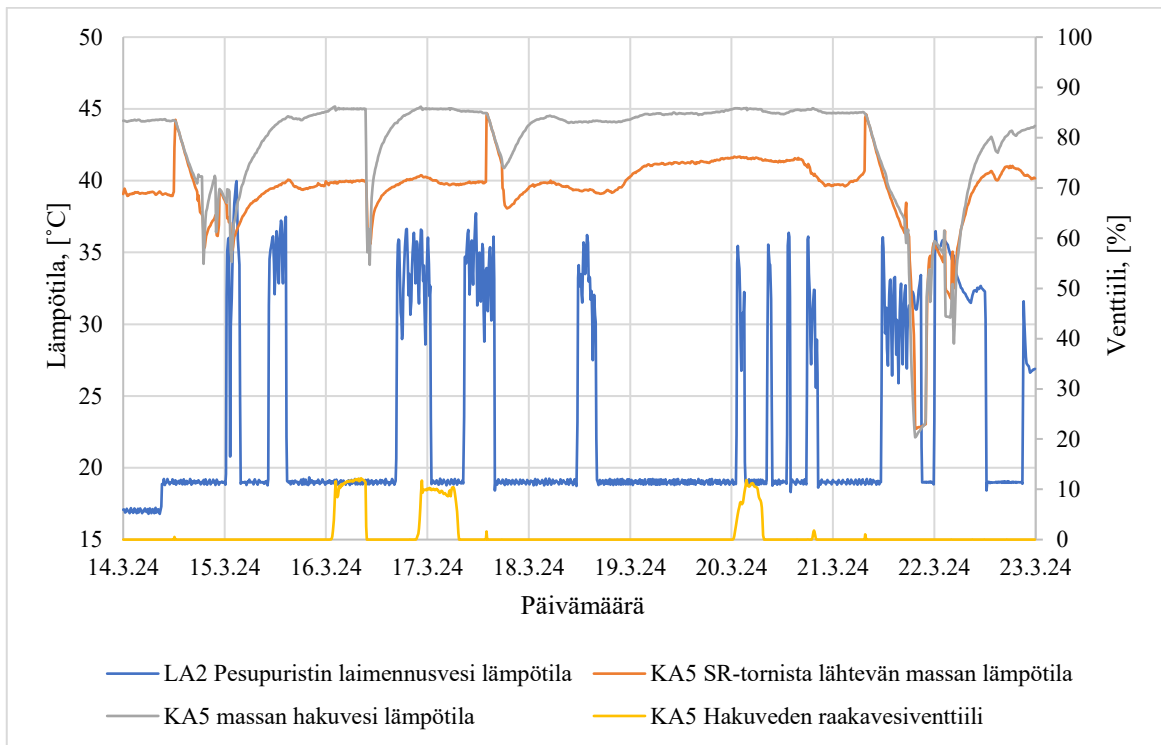
Kuvassa 47 esitetään lajittamo 2:n pesupuristimen laimennusveden lämpötilat, SR-torniin menevän massan lämpötilat sekä SR-tornista lähtevän massan lämpötilat koeajon aikana. SR-massan lämpötila on kriittisempi kuin taustamassan, koska SR-massan lämpötila ohjaa hakuveden lämpötilaa ja sitä kautta hakuveden mahdollista raakavedenottoa.



Kuva 47. Lajittamo 2:n pesupuristimen laimennusveden lämpötila, SR-torniin menevän massan lämpötila ja SR-tornista lähtevän massan lämpötila koeajon aikana

Kuvasta 47 nähdään, että SR-torniin menevän massan lämpötila nousee, kun laimennusveden lämpötila nousee. Tornista lähtevän massan lämpötila nousee myös koeajon edetessä. Lämpötila nousee ensin noin  $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ :sta noin  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een 15.3. aikana, minkä jälkeen se nousee  $41\text{--}42\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een 19.3. alkupuolella. Myöhemmälle SR-massan lämpötilan nousulle ei näy selitystä kuvan 47 kuvaajissa.

Koeajon aikana täytyy sellutehtaan lajittamoiden raakavedenkulutuksen lisäksi seurata kartonkikone 5:n raakavedenkulutusta. Koska SR-massan lämpötilan nousu voi lisätä kartonkikoneella hakuveden raakavesikulutusta, niin täytyy näitä parametrejä myös tarkastella. Kuvassa 48 on esitetty lajittamo 2:n pesupuristimen laimennusveden lämpötila, SR-tornista lähtevän massan lämpötila, hakuveden lämpötila sekä hakuveden raakavesiventtiilin aukioloaste koeajon aikana.



Kuva 48. Lajittamon 2:n pesupuristimen laimennusveden lämpötila, SR-tornista lähtevän massan lämpötila, SR-massan hakuveden lämpötila ja hakuveden raakavesiventtiilin aukioloaste koeajon aikana

Kuvasta 48 nähdään koeajon aikana mitatut arvot SR-tornista lähtevän massan lämpötilalle, hakuveden lämpötilalle ja hakuveden raakavesiventtiilin aukioloasteelle. Kuvasta nähdään, että hakuveden raakavesiventtiili on auennut muutaman kerran koeajon aikana. SR-massan lämpötila ei ole noussut yli  $42^{\circ}\text{C}$  kuin muutaman kerran. Nämä kuvassa 48 näkyvät nopeat nousut SR-massan lämpötiloissa ovat johtuneet katkotilanteista kartonkikoneella, eivät pesupuristimien laimennusvesien lämpötilojen nostoista. Kuvaajien piikit vaikeuttavat datan analysointia. Piikit voivat johtua sellutehtaan ja kartonkikoneen epätasaisesta ajosta, sillä koeajon aikana sellutehtaalla toisen pesulinjan toiminta ajettiin alas useamman kerran. Lisäksi pesupuristimien toiminta ei ollut koko ajan tasaista, vaan ne olivat välillä pois toiminnasta. Kartonkikone 5:n tuotanto oli myös koeajon aikana ajoittain alhaalla.

## 12 Yhteenveto ja johtopäätökset

Raakavedensäästökohteita onnistuttiin paikantamaan Tainionkosken kaikilla osastoilla. Näistä kohteista löytyy listaus liitteestä 1. Kartonkikone 5:lla ja paperikone 7:lla löytyi useampia kohteita, joissa vesikiertoja sulkemalla voidaan tehostaa vedenkäyttöä prosesseissa ja näin vähentää raakavedenkäyttöä. Sellutehtaalla monet säästömahdollisuudet paikantuivat eri säiliöiden ylikaatoihin, sekä raakaveden käyttämiseen jäähdyttämisessä. Työn kokeelliseen osaan tarkempaan tarkasteluun valikoituvan säästökohteen valinnassa punnittiin ensisijaisesti säästötoimien toteutettavuutta. Siihen vaikuttavia tekijöitä ovat investointien tarve sekä niihin liittyvät kustannukset, toteutettavuuden helppous ja mahdolliset riskit. Lisäksi mahdollinen säästöpotentiaali ja riskit vaikuttavat säästötoimenpiteen valintaan. Näiden tekijöiden perusteella tarkempaan tarkasteluun valikoitui sellutehtaan lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien raakavesikulutuksen vähentäminen.

Pesupuristimien laimennusvesien raakavesikulutusta oli tavoitteena vähentää nostamalla laimennusvesien lämpötila-asetuksia, jolloin laimennusveteen otetaan enemmän lämmintä vettä ja vähemmän raakavettä. Raakavesisäästöä on mahdollista saavuttaa pesupuristimien laimennusvesissä kylminä kuukausina, jolloin raakaveden lämpötila pysyy laimennusvesien lämpötila-asetuksien alapuolella. Raakaveden lämpötilan noustessa näiden asetusten yli otetaan laimennusvesiin pelkästään raakavettä. Korkeammalla laimennusveden lämpötila-asetuksella voidaan lyhentää lämpimien ajanjaksojen aikaa, jolloin laimennusvedet koostuvat pelkästään raakavedestä.

Koeajossa saatujen tulosten perusteella pesupuristimien laimennusvesien lämpötilojen kahden celsiusasteen nostoilla saavutettiin noin 0,9–3,0 L/s raakavesisäästö. Tämä tarkoittaisi vuorokaudessa noin 80–260 m<sup>3</sup> raakavesisäästöä ja puolessa vuodessa noin 14 100–46 700 m<sup>3</sup> raakavesisäästöä olettaen, että raakavesisäästö pysyy vakiona. Pesupuristimien laimennusvesissä ei synny raakavesisäästöä vuositasolla tasaisesti, koska lämpiminä kuukausina raakaveden lämpötila nousee laimennusvesien lämpötila-asetuksia korkeammiksi, jolloin laimennusvesiin otetaan pelkästään raakavettä. Tämä ajanjakso on lajittamo 1:n pesupuristimella noin viisi kuukautta ja lajittamo 2:n pesupuristimella noin kolme kuukautta. Raakavesisäästöä on siis mahdollista saavuttaa laimennusvesien lämpötilojen nostolla lajittamo 1:llä seitsemältä kuukaudelta vuodessa ja lajittamo 2:lla yhdeksältä kuukaudelta vuodessa.

Säästöarviossa on epävarmuutta riippuen analysointiin otetun mittausdatan aikavälistä, sillä ajotilanne sellutehtaalla oli koeajon aikaan hyvin vaihteleva. Koeajossa saatu raakaveden säästöarvio on suhteellisen pientä, koska mittauspisteiden keskihajonta on suurempaa kuin niiden perusteella saavutettu säästömäärä. Peilaten aiempiin tuloksiin pesupuristimien laimennusvesien lämpötilanostojen vaikutuksia laimennusvesien raakavesikulutuksiin, saavutettu raakavesisäästö oli odotettua suuruusluokkaa.

Koeajoa edeltäneiden ja koeajon aikaisten raakavesikulutuksien keskiarvojen erotuksen jäädessä pieneksi verrattuna niiden keskihajontoihin on koeajossa saatua mittausdataa verrattu myös vuoden 2022 maaliskuussa mitattuihin raakavesivirtauksen arvoihin, jotka ovat ajalta ennen kaikkia pesupuristimien laimennusvesien lämpötila-asetuksien nostoja. Näiden mittausdatojen Minitab-sovelluksella suoritetun tilastollisen tarkastelun perusteella lajittamoiden raakavesikulutusta on pystytty 95 % todennäköisyydellä vähentämään noin 5,9–6,9 L/s, kun pesupuristimien laimennusvesien lämpötiloja on nostettu yhteensä neljällä celsiusasteella. Mittausdatan perusteella ei voida kuitenkaan varmistaa, että raakavesivirtauksen väheneminen johtuu yksinomaan pesupuristimien laimennusvesien lämpötiloista.

Sellumassojen lämpötilat pysyivät koeajon aikana riittävän alhaisina, ettei haasteita kartonkikoneen laatuun tai ajettavuuteen muodostunut. Lisäksi sellumassan lämpötila ei koeajosta johtuvista sekoista noussut niin korkeaksi, että kartonkikone 5:n hakuveteen olisi sen takia tarvinnut ottaa raakavettä. Pientä lämpötilan nousua massoissa näkyy koeajon aikana, mikä täytyy huomioida mahdollisissa tulevisissa koeajoissa.

Tulevaisuudessa on mahdollista suorittaa vastaavia koeajoja, joissa testataan raakaveden säästömahdollisuuksia vielä korkeammilla pesupuristimien laimennusvesien lämpötiloilla. Tulevia koeajoja varten olisi hyvä selvittää tarkemmin, kuinka korkeaksi paperi- ja kartonkikoneelle menevien massojen lämpötilat saavat nousta ennen kuin ne aiheuttavat ajettavuus ja laatuongelmia. Tällöin pesupuristimien laimennusvesien lämpötiloja voi olla mahdollista nostaa tulevaisuudessa reilummin. Lisäksi tulevisissa koeajoissa tulisi varmistaa tasainen ajotilanne sellutehtaalla, kartonkikone 5:lla ja paperikone 7:lla, jolloin koeajossa saadut tulokset ovat helpommin analysoitavissa ja paremmin yleistettävissä. Pesupuristimien laimennusvesien raakavesikulutuksien seuraamista helpottaisi ja selkeyttäisi omat virtausmittarit näille raakavesivirtauksille. Tällöin ei tarvitse hyödyntää laskennallisia raakavesivirtauksien suuruuksia tai lajittamoilla mitattua kokonaisraakavesikulutusta. Virtausmittareiden avulla on mahdollista saada tarkempaa dataa nimenomaan pesupuristimien raakavesivirtauksista.

## Lähteet

- Aguilar-Torrejón, J, Balderas-Hernández, P., Roa-Morales, G., Barrera-Díaz, C., Rodríguez-Torres, I. & Torres-Blancas, T. 2023. Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and, TOC in water—An overview through time. *SN applied sciences*. 5 (4), 118–13.
- Aluehallintovirasto. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.11.2023]. Saatavilla: <https://avi.fi/asioi/yritystaitai-yhteiso/luvut-ilmoitukset-ja-hakemukset/vesi-ja-ymparisto/vesilupa>
- Azam, H., Alam, S., Hasan, M., Yameogo, D., Kannan, A., Rahman, A. & Kwon, M. 2019 Phosphorous in the environment: characteristics with distribution and effects, removal mechanisms, treatment technologies, and factors affecting recovery as minerals in natural and engineered systems. *Environmental science and pollution research international*. 26 (20), 20183–20207.
- Bajpai, P. 2018. Biermann's Handbook of Pulp and Paper: Volume 1: Raw Material and Pulp Making. San Diego: Elsevier.
- Bolyard, S. & Reinhart, D. 2017. Evaluation of leachate dissolved organic nitrogen discharge effect on wastewater effluent quality. *Waste management (Elmsford)*. 6547–53.
- Borton, D. L. 2004. Pulp & paper mill effluent environmental fate & effects. Place of publication not identified: DEStech Publications.
- Bratby, J. 2016. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. Third edition. London, England: IWA Publishing.
- Cifuentes. 2015. Mill Water Quality in the pulp and paper Industry: Quality Considerations & Treatment Options. PaperCon. Conference Proceedings. TAPPI. 1–38.
- Dahl, O. 2008. Papermaking science and technology. Book 19, Environmental management and control. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association.
- Esmaeeli, A. & Sarrafzadeh, M. 2023. Reducing freshwater consumption in pulp and paper industries using pinch analysis and mathematical optimization. *Journal of Water Process Engineering*. 53103646-.

Fardim, P. 2011. Papermaking science and technology. Book 6, Chemical pulping. Part 1, Fibre chemistry and technology. 2nd ed. totally updated version. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association.

Finlex Vesilaki. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 7.11.2023]. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587#L16>

Gavrilescu, D. & Puitel, A. 2007. Zero discharge: technological progress towards eliminating pulp mill liquid effluent. *Environmental engineering and management journal*. 431-438.

Grötzner, M., Melchiors, E., Schroeder, L., dos Santos, A., Moscon, K., de Andrade, M., Martinelli, S. & Xavier, C. 2018. Pulp and Paper Mill Effluent Treated by Combining Coagulation-Flocculation-Sedimentation and Fenton Processes. *Water, air, and soil pollution*. 229 (11), 1–7.

Huuha, T., Kurniawan, T. & Sillanpää, M. 2010. Removal of silicon from pulping white-water using integrated treatment of chemical precipitation and evaporation. *Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland: 1996)*. 158 (3), 584–592.

Häggblom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2005. Paperin ja kartongin valmistus. 3. Helsinki: Opetushallitus.

Kamali, M. & Khodaparast, Z. 2015. Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. *Ecotoxicology and environmental safety*. 114326–342.

Klemeš, J. 2012. Industrial water recycle/reuse. *Current opinion in chemical engineering*. 1 (3), 238–245.

KnowPap: Paperinvalmistuksen oppimisympäristö = Learning Environment for Papermaking and Automation (LUT). Proledge Oy. [Verkkomateriaali]. [Viitattu 3.11.2023].

KnowPulp: Sellunvalmistuksen oppimisympäristö = Learning Environment for Chemical Pulping and Automation (LUT). Proledge Oy, VTT Industrial Systems. [Verkkomateriaali]. [Viitattu 3.11.2023].

Koyuncu, I., Sengur, R., Turken, T., Guclu, S. & Pasaoglu, M. 2015. “3 - Advances in water treatment by microfiltration, ultrafiltration, and nanofiltration,” in *Advances in Membrane Technologies for Water Treatment*. Elsevier Ltd. pp. 83–128.

Kumar, A., Pathak, P. & Dutt, D. 2021. Green pulp and paper industry : biotechnology for ecofriendly processing. [Online]. Berlin ; Walter de Gruyter GmbH.

Landin, M., Shammam, N. & Wang, L. 2010. Treatment of Paper Mill Whitewater, Recycling and Recovery of Raw Materials. Handbook of Environmental Engineering, Volume 12: Flo-tation Technology. 221-268

Li, Y. & Watkinson, A. P. 2011. Deposit Formation in Evaporation of a Pulp Mill Effluent. Heat transfer engineering. 32 (3–4), 258–263.

Metsäteollisuus: Päästöt veteen. [Esitysmateriaali]. Lokakuu 2023. Metsäteollisuus Ry. <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/massa-ja-paperiteollisuuden-paastot-vesistoihin>

Minitab. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 25.4.2024]. Saatavilla: <https://www.minitab.com/en-us/>

Minitab a. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 25.4.2024]. Saatavilla: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/normality-test/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/>

Minitab b. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 25.4.2024]. Saatavilla: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/2-variances/interpret-the-results/key-results/>

Minitab c. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 25.4.2024]. Saatavilla: [https://support.minitab.com/en-us/minitab/media/pdfs/translate/Assistant\\_Two\\_Sample\\_t.pdf](https://support.minitab.com/en-us/minitab/media/pdfs/translate/Assistant_Two_Sample_t.pdf)

Mänttari, M., Kallioinen, M. & Nyström, M. 2015. “19 - Membrane technologies for water treatment and reuse in the pulp and paper industries,” in Advances in Membrane Technologies for Water Treatment. Elsevier Ltd. 581–603.

Paulapuro, H. 2008. Papermaking science and technology. Book 8, Papermaking: part 1: Stock preparation and wet end. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association. 516 s. ISBN: 978-952-5216-25-7

Pizzi, N. 2010. Water treatment. 4th ed. Denver, Colo: American Water Works Association.

Pokhrel, D. & Viraraghavan, T. 2004. Treatment of pulp and paper mill wastewater—a review. The Science of the total environment. 333 (1). 37–58.

Renault, F., Sancey, B., Badot, P. & Crini, G. 2009. Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. European polymer journal. 45 (5), 1337–1348.

Savant, D., Abdul-Rahman, R. & Ranade, D. 2006 Anaerobic degradation of adsorbable organic halides (AOX) from pulp and paper industry wastewater. *Bioresource technology*. 97 (9), 1092–1104.

Seppälä, M., Klemetti, U., Kortelainen, V., Lyytikäinen, J., Siitonen, H. & Sironen R. 2002. *Paperimassan valmistus. 2*. Helsinki: Opetushallitus.

Servais, P., Garnier, J., Demarteau, N., Brion, N. & Billen, G. 1999. Supply of organic matter and bacteria to aquatic ecosystems through waste water effluents. *Water research (Oxford)*. 33 (16), 3521–3531.

Shah, R. & Sekulic, D. 2003. *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. Place of publication not identified: Wiley Interscience Imprint.

Simstich, B. & Oeller, H. 2010. Membrane technology for the future treatment of paper mill effluents: chances and challenges of further system closure. *Water science and technology*. 62 (9), 2190–2197.

Stora Enso. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.11.2023]. Saatavilla: <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/imatra-mill>

Stora Enso a. Esitysmateriaali. Stora Enso sisäinen intranet

Stora Enso b. Vedensäästö kartoitukset. Sisäinen raportti

Zaki A. & Farooq R. 2017. *Biological wastewater treatment and resource recovery*. Rijeka, Croatia: IntechOpen.

## Liite 1. Listaus Tainionkosken vedensäästöpotentiaaleista

Kohde	Säästöpotentiaali, [L/s]	Kommentit
SAT Pesupuristimien laimennusvesi	0–3	Ei vaadi investointeja ja rakenteellisia muutoksia
SAT Säiliöiden ylikaadot	-	Ylikaatoja esiintyy tasaisen tuotantotilanteen aikana. Häiriötilanteissa vettä kuluu enemmän.
PK7 Tiivistevedet	0–3	Kaikki osaston tiivistevedet eivät näy tiivistevesikaaviossa. Vaatii niiden osalta tarkempaa kartoitusta.
PK7 Vedenerotussäiliön ylikaato	0–3	Vaatii uuden pumpun, joka pystyy pumppaamaan vettä tehokkaammin vedenerotussäiliöstä.
PK7 Koneen pysähdysten aikainen vedenkulutus	-	Pesujen tehostaminen ja standardisointi.
KA5 Tiivistevedet	-	Tiivistevesien kerääminen ja uudelleenhyödyntäminen. Lisäksi pysäytysten aikana tiivistevesiventtiilien toiminnan varmistaminen, sulkeminen ja lisääminen kohteisiin, joissa niitä ei vielä ole.
KA5 Kirkkaan suodoksen säiliön ylikaato	-	Kirkasta suodosta menee ylikaatona kanaalin jopa yli 100 L/s.
KA5 Tasavirtakäyttöjen sähkötilojen jäähdytysvedet	0–3	Jäähdytysvesien kerääminen vaatii putkimuutoksia.
KA5 Koneen pysähdysten aikainen vedenkulutus	-	Tiivistevedet ja hylkykyypin ylikaato.

## Liite 2. Koeajon riskien arviointi

Muutoksen status	Osasto	Muutoksen tyyppi	Muutoksen vastuuhenkilö
Valmis	KA5 SAT PK7	Koeajo	Ojamaa, Veera
Prosessivaihe	Muutoksen lyhyt kuvaus	Käyttöönottopäivä	Päätymispäivä (jos on)
Raakaveden käsittely	SR-massan lämpötilan nosto	14.3.2024	25.3.2024
Muutoksen tarkka kuvaus	Muutoksen syy		
Lajittamoiden pesupuristimien laimennusvesien lämpötilan nosto, mikä nostaa SR-massan lämpötilaa.	Raakaveden käytön vähentäminen. Laimennusvesiä jäähdytetään raakavedellä.		

Vaikutuksen tyyppi	Prosessivaihe	Vika/mahdollisuus	Vaikutusluku	Hallintatoimenpiteet	Vastuuhenkilö
Laatu	Muu	Prosessin nouseva lämpötila voisi vaikuttaa määränpään kemiaan. Tarkoituksena nostaa lämpötilaa korkeintaan kesällä mitattuihin lämpötiloihin, mistä johtuen riski on melko pieni.	3		Ojamaa, Veera
Ympäristö & Energia	Raakaveden käsittely	Raakaveden käytön lisääntyminen KA5:n hakuveden jäähdyttämisessä.	9	Koeajosuunnitelma	Ojamaa, Veera
Ympäristö & Energia	Raakaveden käsittely	Raakaveden käytön lisääntyminen PK7:lla, kun massan lämpötila nousee. Hakuvesi tulee 0-veden tasaussäiliöistä, joihin otetaan raakavettä. Raakaveden ottoon vaikuttaa säiliöiden pinnanmittaus. Sellumassan lämpötilan noston ei pitäisi vaikuttaa raakaveden kulutukseen.	0	Koeajosuunnitelma	Ojamaa, Veera
Tehokkuus	Lajittelu	Pesupuristimien laimennusvesien lämpötilojen nostojen vaikutukset pesupuristimien toimintaan.	0		Ojamaa, Veera
Työturvallisuus	Yleiset	Muutoksen aiheuttamat poikkeustilanteet konelinoille.	0		Ojamaa, Veera
Tehokkuus	Massojen ja kemikaalien käsittely	SR-massan lämpötilan nouseminen voi vaikuttaa KA5:n määränpään kemiaan.	3		Ojamaa, Veera
Ympäristö & Energia	Raakaveden käsittely	KA5:n hakuveden otettaessa raakavettä, voi 2-0-vesitorniin muodostua ylikäyttöä --> Altaiden täyttyminen.	8	Koeajosuunnittelu, seuranta koeajon aikana.	Ojamaa, Veera

### Liite 3. Koeajo-ohje

#### **SAT Pesupuristimien laimennusvesien raakavesivirtauksien pienentäminen**

- Taustaa** Koejaon tavoitteena on vähentää pesupuristimien laimennusvesissä käytettävän raakaveden määrää. Raakavesikulutuksen vähentäminen pyritään tekemään nostamalla laimennusvesien lämpötila-asetuksia. Laimennusvesien lämpötila-asetuksien nostaminen sulkee raakavesiventtiiliä ja avaa lämpimän veden venttiiliä.
- Vastaavanlainen muutos on tehty sellutehtaalla aiemmin 23.12.2022 ja 6.6.2023. Tuolloin muutoksilla on lyhyellä aikavälillä saatu raakavesien kulutuksia vähenemään lajittamoilla.
- Laimennusveden lämpötila nousee kesäaikana yli lämpötila-asetuksen, vaikka raakaveden suhde laimennusvesissä on tuolloin 100 %. Tästä johtuen lämpötilojen nostamisen riskit nähdään melko pieninä, kun niitä ei nosteta yli kesäaikana nousevien lämpötilojen.
- Valmistelut** Varmistetaan, että ajotilanne sellutehtaalla on tasainen ennen koeajon aloitusta.
- Muutoslokissa arvioitu koeajon riskejä: SR-massan lämpötilan nosto
- Koeajo** Koeajo alkaa 14.3.24 aamupäivällä. Tuolloin LA1 pesupuristimen laimennusveden lämpötila-asetus 423-TC200 nostetaan 12 °C → 14°C ja LA2 pesupuristimen laimennusveden lämpötila-asetus 425-TC200 nostetaan 17 °C → 19 °C.
- Muutoksien jälkeen tilannetta seurataan viikon ajan. Koeajon aikana sellutehtaalla seurataan lajittamon raakavedenkulutusta sekä pesupuristimien laimennusvesien raakavesiventtiilien asentoa. KA5:lla seurataan SR-massan lämpötilaa 621-TIC33 (ei saisi nousta yli 42 °C) sekä hakuveden raakavesiventtiilin 651-TV010.1 toimintaa.
- Koeajon aikana tehdyt muutokset, jotka voivat vaikuttaa lajittamon raakavesivirtauksen määrään, kirjataan ylös Seittiin. Myös huomiot lämpötila-asetusten muutoksiin liittyen kirjataan ylös.
- Koeajo kestää näillä näkymin torstaihin 21.3.24 asti (tarkentuu lähempänä), jolloin lämpötila-asetukset palautetaan takaisin alkuperäisiin lukemiin. (Halutaan nähdä lisääntykö raakavesivirtaus, kun lämpötilat lasketaan takaisin alkuperäisiin lukemiin.)
- Jos koeajo joudutaan keskeyttämään (lämpötila-asetuksia 423-TC200 ja 425-TC200 joudutaan muuttamaan) kommentit Seittiin. Tuotanto menee koeajon edelle. Jos lämpötila-asetukset aiheuttavat tuotannolle vaikeuksia,

niin koeajo voidaan keskeyttää ja palauttaa lämpötila-asetukset alkuperäisiin arvoihin.

#### **Mittaukset** SAT

- LA1 Pesupuristimen laimennusveden lämpötila 423-TC200
- LA2 Pesupuristimen laimennusveden lämpötila 425-TC200
- LA1 raakavesiventtiili asento 423-TC200.01
- LA2 raakavesiventtiilin asento 425-TC200.01
- Lajittamon raakavesivirtaus 423-FI011

#### KA5

- SR-massan lämpötila 621-TIC33
- Raakavesi hakuvedeksi 651-TV010.1

#### **Seuranta** SAT

- LA1 Pesupuristimen laimennusveden lämpötila 423-TC200  
→ Nostetaan koeajon alussa 12 °C → 14 °C
- LA2 Pesupuristimien laimennusveden lämpötila 425-TC200  
→ Nostetaan koeajon alussa 17 °C → 19 °C
- LA1 raakavesiventtiili asento 423-TC200.01  
→ Seurataan, pieneneekö venttiilin aukiolosuhde lämpötila-asetuksen noston jälkeen
- LA2 raakavesiventtiilin asento 425-TC200.01  
→ Seurataan, pieneneekö venttiilin aukiolosuhde lämpötila-asetuksen noston jälkeen
- Lajittamon raakavesivirtaus 423-FI011  
→ Seurataan lajittamon raakavesivirtausta koeajon aikana

#### KA5

- SR-massan lämpötila 621-TI033  
→ Seurataan ettei SR-massan lämpötila nouse yli 42 °C  
→ Päiväaikaan ilmoitus allekirjoittaneelle, jos lämpötila nousee yli 42 °C, Veera Ojamaa 040XXXXXXX  
→ Yöaikaan ilmoitus vuoromestarille, jos lämpötila nousee yli 42 °C
- Raakavesi hakuvedeksi 651-TV010.1  
→ Varmistetaan, että raakavesiventtiili on normaalitilassa automaatti asetuksella  
→ Katsotaan, että hakuvedeen ruvetaan automaattilla ottamaan raakavettä SR-massan lämpötilan noustessa yli 42 °C

Jos koeajo joudutaan keskeyttämään (lämpötila-asetuksia 423-TC200 ja 425-TC200 joudutaan muuttamaan) kommentit Seittiin. Tuotanto menee koeajon edelle. Jos lämpötila-asetukset aiheuttavat tuotannolle vaikeuksia, niin koeajo voidaan keskeyttää ja palauttaa lämpötila-asetukset alkuperäisiin arvoihin. Veera Ojamaa 040XXXXXXX