

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2021

Joona Salmi

# HÖYRYLAITOKSEN VEDENLAADUN YLLÄPITO JA VAATIMUKSET

– Artukaisten höyrylaitos

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Energia- ja ympäristötekniikka

2021 | 59 sivua

Joona Salmi

## Höyrylaitoksen vedenlaadun ylläpito ja vaatimukset

- Artukaisten höyrylaitos

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja kehittää höyrylaitoksen vedenkäsittelyprosessia niin, että vedenkulutus ja sitä kautta sen kustannukset vähenevät. Tavoitteena oli myös vedenlaadun parantaminen tietyissä mittauspisteissä. Työssä pyrittiin löytämään tasapaino vedenlaadun nostamisen ja vedenkulutuksen vähentämisen välillä. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Turku Energia Oy ja kohteena Artukaisten höyrylämpölaite.

Vedenlaadun analysointi suoritettiin laitoksen vesimittausten tulosten perusteella. Vesimittausten tulokset ovat vuodelta 2021, aikaväliltä tammikuu-lokakuu. Analyysien perusteella esitetyt kehitysehdotukset perustuvat kirjallisuuslähteisiin ja osittain käyttökonekonekunnan tiedoksiintoihin.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että laitoksen vedenlaatu on melko hyvällä tasolla, mutta kehityskohteitakin löytyy. Kehityskohteita ovat lauhdeveden hylkäysrajan ja lieriön ulospuhalluksen määrän säätäminen. Yleisenä käytäntönä voidaan pitää sitä, että vedenkulutuksen vähentämisen ja vedenlaadun kannalta tärkeitä arvoja tulisi tarkastella säännöllisesti laadun vaihtelun ja optimoinnin takia. Tärkeitä arvoja ovat juuri lauhdeveden hylkäysrajat, lieriön ulospuhallusten määrä ja niiden mukana muuttuvat arvot.

Asiasanat:

höyry, höyrylaitos, vedenlaatu, vedenkäsittely

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Energy and Environmental Engineering

2021 | 59 pages

Joona Salmi

## Steam plant water quality management and requirements

- The Artukainen steam plant

The aim of this study was to research and develop the water treatment process of the Artukainen steam plant to reduce water consumption and related costs. The aim was also to improve the water quality at certain measuring points. In addition, the intention was to find a balance between water quality improvements and water consumption reductions. The thesis was commissioned by Turku Energia Oy and the steam plant in a question was the Artukainen steam plant.

The water quality analysis was performed based on the results of water sampling at the plant. The water sampling was performed in the period of January-October in 2021. The gained development proposals from the analysis are based on a literature review and partly on the gained information from the plant's operating personnel.

Based on this study, the water quality of the plant was found to be at a fairly good level, but areas for development were also found. Areas for development are adjustments to condensate rejection limit and amount of steam drum blowouts. As a general practice, important values for reducing water consumption and water quality should be reviewed regularly due to quality variation and optimization. The important values are the condensate rejection limits, the amount of steam drum blowouts and the values that varies within them.

Keywords:

steam, steam plant, water quality, water treatment

# Sisältö

<b>Käytetty sanasto</b>	<b>8</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>9</b>
<b>2 Artukaisten höyrylaitos</b>	<b>11</b>
2.1 Polttoainejärjestelmä	11
2.2 Palamisilmajärjestelmä	12
2.3 Savukaasu- ja tuhkejärjestelmä	13
<b>3 Vesi-höyrypiiri</b>	<b>14</b>
3.1 Luonnonkiertokattila	14
3.2 Syöttövesijärjestelmä	15
3.3 Lieriö	17
3.4 Lauhdeveden käsittely	17
3.4.1 Mekaaniset lauhteenerottimet	20
3.4.2 Termostaattiset lauhteenerottimet	20
<b>4 Vedenlaadun hallinta</b>	<b>21</b>
4.1 Veden epäpuhtaudet	21
4.2 Veden laatuvaatimukset	22
4.3 Lisävesi	23
4.4 Veden puhdistamis- ja käsittelykeinot Artukaisten laitoksella	23
4.4.1 Kovuudenpoisto	24
4.4.2 Terminen kaasunpoisto	27
4.4.3 Kemikaalien käyttö	28
4.5 Muut vedenkäsittelymenetelmät	29
4.5.1 Täyssuolanpoisto	29
4.5.2 Käänteisosmoosi	30
4.5.3 Sähköinen ioninvaihto (EDI)	30
4.6 Vedenlaadun valvonta Artukaisten höyrylaitoksella	31
4.6.1 pH-arvo	32
4.6.2 Sähkönjohtokyky	33

4.6.3 Kokonaiskovuus	33
4.6.4 Alkaliteetti	34
<b>5 Artukaisten hörylaitoksen vedenlaatu</b>	<b>35</b>
5.1 Vesikemian ominaispiirteitä	35
5.2 Vedenlaadun vaatimukset	35
5.3 Syöttövesi	37
5.4 Kattilavesi	40
5.5 Höyry	41
5.6 Lauhdevesi	41
<b>6 Kehitysmahdollisuudet Artukaisten laitoksella</b>	<b>44</b>
6.1 Lauhdeveden hyödyntämisen parantaminen	44
6.1.1 Lauhdeveden määrän tarkastelu laitoksella	44
6.1.2 Lauhdeveden hylkäysrajojen tarkastelu	47
6.2 Ulospuhalluksen optimointi	50
6.3 Höyryn noussut johtokyky	53
6.4 Veden rautapitoisuuden syyt	54
<b>7 Yhteenveto</b>	<b>56</b>
<b>Lähteet</b>	<b>58</b>

## **Liitteet**

Liite 1. Vesinäytteiden mittaustulokset

## **Kaavat**

Kaava 1. Kalsiumvetykarbonaatti pehmentimessä (Huhtinen ym. 2000, 302).	26
Kaava 2. Magnesiumkloridi pehmentimessä (Huhtinen ym. 2000, 302).	26
Kaava 3. Elvytysreaktio kalsiumille (Huhtinen ym. 2000, 302).	26
Kaava 4. Elvytysreaktio magnesiumille (Huhtinen ym. 2000, 302).	27

Kaava 5. Hylätyn lauhteen määrä.	46
Kaava 6. Ulospuhallusvirran suhde höyryvirtaan (Huhtinen ym. 2008, 40).	51

## **Kuvat**

Kuva 1. Luonnonkiertokattila (Huhtinen ym. 2000, 113).	15
Kuva 2. Lauhteenhylkäysventtiili.	19
Kuva 3. Artukaisten pehmennyssuodattimet.	25
Kuva 4. Kaasunpoistin Artukaisten laitoksella.	28
Kuva 5. Artukaisten vesinäytteenottojärjestelmä.	32
Kuva 6. Esimerkki ulospuhalluksen sykleistä (Taplin 2014, 147).	52
Kuva 7. Höyryn ja kattilaveden johtokyvyn muutosten vertailu.	54

## **Kuviot**

Kuvio 1. Syöttöveden johtokyky.	38
Kuvio 2. Syöttöveden pH.	39
Kuvio 3. Kattilaveden johtokyky.	40
Kuvio 4. Höyryn johtokyky.	41
Kuvio 5. Lauhteen johtokyky.	42
Kuvio 6. Lauhteen pH.	43
Kuvio 7. Syöttövesi ja syöttövesisäiliöön syötetyt vedet.	45
Kuvio 8. Keskiarvoihin perustuva lähtötilanne.	47
Kuvio 9. Hypoteesissä esitetyt uudet arvot.	48
Kuvio 10. Syöttöveden johtokyvyn nousu.	49
Kuvio 11. Syyskuun rautapitoisuudet.	55

## **Taulukot**

Taulukko 1. Veden kovuus (Huhtinen ym. 2008 29).	24
Taulukko 2. Syöttöveden laatuvaatimukset Artukaisten höyrylaitoksella.	37



## Käytetty sanasto

KPA-kattila	Kiinteän polttoaineen kattila.
Raakavesi	Laitokselle toimitettavaa vesijohtovettä.
Syöttövesi	Lisä- ja lauhdeveden sekoitus, jota syötetään kattilaan.
Lisävesi	Laitoksen vaatimusten mukaan käsiteltyä raakavettä.
Lauhdevesi	Kulutuskohteessa vedeksi lauhtunutta höyryä.
$\mu\text{S/cm}$	Johtokyvyn yksikkö, mikrosiemens per senttimetri



# 1 Johdanto

Vedenkäsittely energialaitoksissa on yksi merkittävimmistä osa-alueista sen käyttöön ja käytettävyyden kannalta. Toimivalla vedenkäsittelyllä taataan kestävä ja pitkäikäinen systeemi, jonka vedenkulutus ja vedenkäsittelyn kustannukset ovat kohtuullisia. Lisäksi kunnossapidon tarve ja vedenkulutus vähenevät, polttoaineen käyttö pienenee, ja sekä käytettävyys että käyttöikä kasvavat. Tämä tekee laitoksesta energia- ja kustannustehokkaamman.

Vedenkäsittelyn kehittäminen ei ole yksinkertainen tai helppo työ, sillä veden vaikutukset ovat aina laitoskohtaisia ja ajan myötä muuttuvia. Työn haasteena onkin se, miten muutokset vaikuttavat prosessiin pitkällä aikavälillä ja miten tietyn vesilaadun (esimerkiksi syöttöveden) arvojen muuttaminen suuntaan tai toiseen vaikuttaa seuraavan vesilaadun (esimerkiksi höyryn) arvoihin.

Jotta ymmärretään veden vaikutukset laitteistoon ja sen rooli eri vaiheissa, tulee ymmärtää miten vesi ja höyry liikkuvat prosessissa. Vedellä on yksinkertaistettuna kolme eri vaihetta laitoksen vedenkäsittelyprosessissa. Veden valmistus, käyttö ja uusiokäyttö. Uusiokäytön tilalla voi myös olla veden kulutus, jota tässä työssä pyritään minimoimaan. Työn tavoitteena on tutkia ja löytää näistä vaiheista kehityskohteita vesikemian, sen teknisen toteutuksen ja vedenkulutuksen näkökulmista Artukaisten höyrylaitoksella.

Ensimmäiseksi työssä esitellään Artukaisten höyrylaitoksen toiminta peruseriaateiltaan, jonka jälkeen esitellään veteen liittyvät peruskomponentit ja sekä veden reitti läpi prosessin. Peruslaitteiston ja toiminnan jälkeen käsitellään veden epäpuhtauksia ja niiden poistamista, eli mistä ne tulevat, miten ne tunnistetaan vedestä, mitä ne voivat tehdä laitteistolle ja miten ne puhdistetaan vedestä. Työssä analysoidaan myös laitoksen veden mittaustuloksia, joiden perusteella etsitään kehityskohteita, sekä syy-seuraussuhteita eri lukemille. Lopuksi pyritään kehittämään laitoksen vedenkäsittelyä tutkimuskysymysten avulla.

Työn tutkimuskysymykset ovat:

Miten laitoksen vedenkulutusta voidaan vähentää?

Millä tavalla laitoksen veden valmistus toteutuu ja onko se riittävää?

Mitkä ovat veden haittavaikutukset laitokseen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä?

Työn toimeksiantajana on Turku Energia Oy ja tarkasteltavana kohteena on Artukaisten höyrylaitos.

## 2 Artukaisten höyrylaitos

Artukaisten höyrylaitos on valmistunut vuonna 2018 ja se tuottaa alueen yritysasiakkaille prosessihöyryä ja lisäksi kaukolämpöä kaukolämpöverkkoon. Laitoksessa on yksi 12 MW:n kiinteän polttoaineen kattila, joka käyttää puupohjaisia polttoaineita. Lisäksi laitoksella on nestekaasulla toimiva varakattila, jonka teho on 10 MW. (Turku Energia 2021) Tässä kappaleessa tarkastellaan lyhyesti laitoksen eri järjestelmiä.

### 2.1 Polttoainejärjestelmä

Polttoainejärjestelmällä tarkoitetaan kiinteän polttoaineen eli puupohjaisten polttoaineiden käsittelyyn liittyviä osia ja prosesseja. Puupohjaisia polttoaineita tällä laitoksella ovat sahanpuru, kuori, metsätähde-, kanto-, ranka- ja kokopuuhake. Laitoksella oleva nestekaasulla toimiva varakattila sivuutetaan tarkemmasta tarkastelusta, sillä tässä työssä keskitytään KPA-kattilaan eli kiinteän polttoaineen kattilaan.

Polttoainejärjestelmä voidaan yksinkertaistettuna jakaa Artukaisten laitoksessa neljään eri vaiheeseen: vastaanotto, siirto, seulonta ja syöttö. Ensimmäinen vaihe on polttoaineen vastaanotto, jossa polttoaine tuodaan rekkojen kanssa laitoksen polttoainevarastoon. Rekat laskevat polttoaineen kolakuljettimille, jotka siirtävät sen polttoaineen tasausruuvien läpi seulomoon menevälle kolakuljettimelle.

Toisessa vaiheessa polttoainetta siirretään polttoainejärjestelmän prosessien läpi. Varastosta kolakuljettimelle syötetty polttoaine siirtyy seulomorakennuksen yläosaan.

Kolmantena vaiheena on seulonta, jossa palamisprosessiin sopimattomat materiaalit poistetaan polttoaineen joukosta. Ensin kolakuljettimelta tullut polttoaine kulkee magneetin läpi, jossa siitä erotetaan metalleja. Metalleja voivat olla esimerkiksi vanhat naulat tai sahalta ja hakkuualueilta tulleet työvälineet, kuten moottorisahan ketjut. Magneetin jälkeen polttoaine menee kiekkoseulan

läpi. Kiekkoseulan tehtävänä on erottaa suuret puukappaleet tai muut isot palaset, jotka voivat myöhemmin aiheuttaa tukoksia tai muita ongelmia prosessissa. Kiekkoseula toimii eräänlaisena rutilänä, joka päästää läpi vain kiekkojen välysten kokoiset tai niitä pienemmät kappaleet. Seula toimii niin, että siinä pyörii eräänlaiset ”kiekot”, jotka kuljettavat suuret kappaleet ylitelavalle, ja pienet, eli sopivan kokoiset kappaleet se päästää seulan läpi.

Seulomosta polttoaine siirtyy pitkää kolakuljetinta pitkin päiväsiilolle. Päiväsiilon tehtävänä on varastoida polttoainetta 8–12 tunnin käyttötarvetta varten. Mikäli aiempiin vaiheisiin tulee käyttöön vaikuttavia vikoja, pysyy laitos edelleen käytettävänä päiväsiilon ”puskurin” ansiosta. Päiväsiilolta polttoaine otetaan ruuvikuljettimella ja syötetään sulkusyöttimien kautta tulipesään. Sulkusyöttinten tehtävänä on toimia niin, että polttoaineen virta on nähtävissä, mutta tulipesään ei näköyhteyttä ole. Näin ollen se on eräänlainen takaiskusuoja, jotta tuli ei leviä ulos pesästä esimerkiksi päiväsiiloon.

Polttoainekuormista otetaan myös näytteitä. Otetuista näytteistä punnitaan ensin märkäpaino, jonka jälkeen ne laitetaan uuniin vuorokaudeksi kuivumaan. Kun kosteus on poistunut näytteistä, voidaan kuivapaino punnita. Tämän avulla maksetaan itse polttoaineesta, eikä sen mukana tulevasta kosteudesta.

## 2.2 Palamisilmajärjestelmä

Palamisilmajärjestelmän tehtävänä on syöttää palamisilmaa sopivassa suhteessa polttoaineen määrään nähden. Palamisilmaa syötetään tulipesään kolmessa eri vaiheessa. Primääri-ilmaa syötetään tulipesän pohjassa olevien suutinten kautta, kun taas sekundääri-ilmaa kattilan kyljessä olevien suutinten kautta. Sekundääri-ilmalla säädetään hapen määrää palamisessa, joka määritetään happimittausten perusteella. (Huhtinen ym. 2008, 42) Viimeisenä syötetään tertiääri-ilmaa myös kattilan kyljessä olevien suutinten kautta, mutta niin, että tertiääri-ilman suuttimet ovat korkeammalla kattilan seinustalla. Primääri-ilman tehtävänä leijupetikattilassa on myös leijuttaa petihiekkaa. Näillä kolmella vaiheella saadaan vaiheistettua palamista niin, että palamisreaktio on

puhtaampi. Ilma myös sekoittuu parhaiten, kun sitä syötetään tulipesään eri suunnista. Ilman sekoittuminen on tärkeä osa palamisreaktion onnistumista (Paju 2020).

Palamisilmajärjestelmään kuuluvat puhaltimet jokaiselle kolmelle vaiheelle, esilämmittimet, jotka lämmittävät palamisilman sopivaksi tulipesää varten, sekä kiertokaasupuhallin, jonka avulla saadaan savukaasuja syötettyä primääri-ilman joukkoon. Kiertokaasupuhaltimen tehtävänä on syöttää primääri-ilman joukkoon savukaasuja, jotta saadaan hallittua hapen määrää palamisreaktiossa ja näin ollen säädettyä tulipesän lämpötilaa.

### 2.3 Savukaasu- ja tuhka järjestelmä

Savukaasujen ja tuhkan käsittelyjärjestelmän tehtävänä prosessissa on peruseriaatteeltaan siirtää palamisreaktiossa syntyneet kiinteät ja kaasumaiset aineet pois kattilasta. Savukaasu- ja tuhka järjestelmän pääkomponentteja ovat savukaasupuhallin ja savukaasukanavat, sähkösuodin, tuhksiilo ja -lava. Savukaasu, tuhka ja molemmissa esiintyvät pienhiukkaset syntyvät tulipesässä palamisen lopputuotteena. Palaminen ei juuri milloinkaan ole täydellistä, sillä esimerkiksi polttoaineen laatu tai ilman suhde polttoaineeseen vaihtelee. Tämä vaikuttaa päästöjen ja tuhkan määrään.

Laitoksella palamisessa syntyvä tuhka on joko pohja- tai lentotuhkaa. Pohjatuhka on raskaampaa ja sitä kerätään tulipesän pohjalta sekä kakkosvedon pohjalta pohjatuhkalavalle. Lentotuhka koostuu savukaasujen mukana kulkevista hiukkasista. Lentotuhka kerätään sähkösuodattimelta ja se säilötään tuhksiiloon, josta se siirretään uusiokäyttöön.

### 3 Vesi-höyrypiiri

Tässä työssä syvennyttään erityisesti Artukaisten höyrylaitoksen vesi-höyrypiiriin. Tässä kappaleessa tutustutaan sen peruskomponentteihin, sekä niiden vaikutuksiin veden ja höyryn laatuun. Lisäksi tarkastelussa on laitoksen lauhdevesijärjestelmä.

Artukaisten höyrylaitoksen KPA-kattila on lieriöllinen luonnonkiertokattila, jossa vesi ja höyry kulkevat höyrystinputkissa kattilan tulipesän seinustoilla. Kattilan suunnittelupaineena on 19 baaria ja höyryn käyttöpaineena 13 baaria. Tuotettu höyry on kylläistä höyryä, jonka käyttölämpötilaksi asiakkaalle on suunniteltu 195 °C. Höyryvirta on noin 5,4 kg/s. (KPA Unicon 2018)

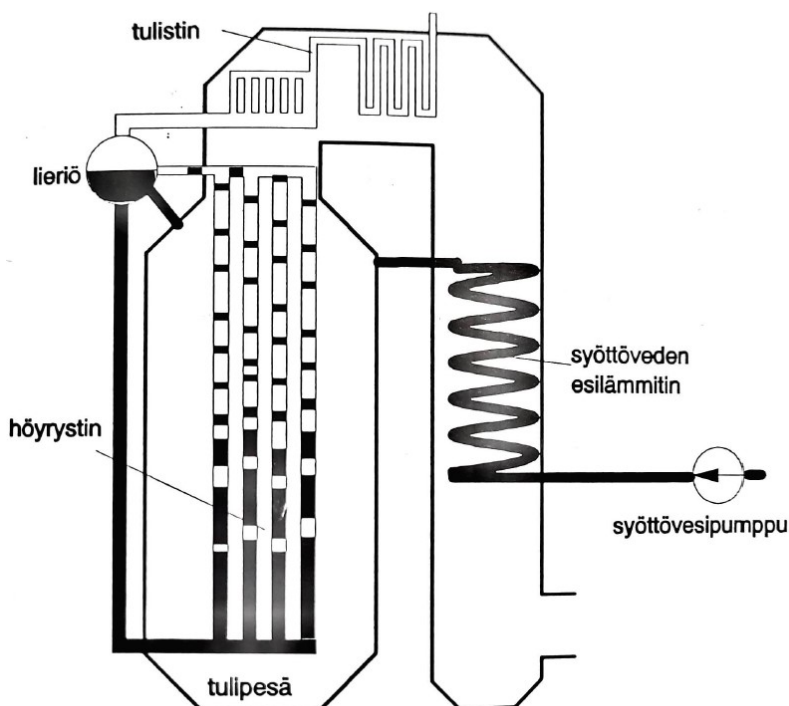
#### 3.1 Luonnonkiertokattila

Luonnonkiertokattilassa höyrystyvä vesi virtaa putkistossa, joten se on vesiputkikattila. Vesi pumpataan syöttövesipumpulla syöttövesisäiliöstä kattilaan, josta se kulkeutuu syöttöveden esilämmittimeen eli ekonomaiseriin. Esilämmitin lämmittää savukaasujen tuoman lämpöenergian avulla veden lähelle kylläistä lämpötilaa. Tästä vesi siirtyy lieriön kautta laskuputkilla höyrystinputkien alapäähän. Tässä kohtaa osa vedestä on jo höyrystynyt. Kylläisen veden ja vesihöyryn seos nousee tulipesää ympäröiviä höyrystinputkia pitkin lieriölle, jossa höyry ja vesi erotetaan toisistaan. Vesi palaa laskuputkia pitkin alas höyrystinputkille ja höyry virtaa lieriöstä höyryjakeluun. (Huhtinen ym. 2000, 113)

Pakkokiertokattila eroaa luonnonkiertokattilasta siihen sijoitettavan pakkokiertopumpun takia, jonka tehtävä on pumpata lieriön vettä höyrystimeen. Luonnonkiertokattilan etuina ovat, että erillisiä pakkokiertopumppuja ei tarvita ja lisäveden käsittelytarve on pienempi läpivirtauskattilaan nähden. Luonnonkierto perustuu kylläisen veden ja kostean höyryn väliseen tiheyseroon laskuputkessa ja höyrystimessä. (Huhtinen ym. 2008, 38.) Höyrystinputkisto ja laskuputki muodostavat yhtenäisen putkiston, jolloin höyrystimessä höyrystyvä vesi / kostea

höyry on tiheydeltään pienempi, kuin laskuputkessa kulkeva kylläinen vesi. Tämä aiheuttaa sen, että tiheydeltään pienempi kostea höyry nousee höyrystimeltä lieriöön ja samalla raskaampi kylläinen vesi laskeutuu laskuputkia alas höyrystimelle. (Huhtinen ym. 2000, 114.) Luonnonkiertokattila ei sovi käytettäväksi korkeille paineille, sillä kriittisessä paineessa (221 bar) veden ja kostean höyryn tiheys on yhtä suuri. Rajan ylittyessä tarvitaan vesipiiriin pumppuja, jotka takaavat vesikierron. (Taplin 2014, 10)

Kuvassa 1 on periaatekuva luonnonkiertokattilasta. Kuvan luonnonkiertokattila eroaa Artukaisten laitoksen kattilasta siltä osin, että tulistinta ei ole. Höyry siirtyy lieriöstä höyrynjakotukkiin, joka ohjaa asiakkaille lähtevän höyryn eri kohteisiin.



Kuva 1. Luonnonkiertokattila (Huhtinen ym. 2000, 113).

### 3.2 Syöttövesijärjestelmä

Syöttövesijärjestelmän tehtävänä on tuottaa sopivan paineista ja lämpöistä syöttövedettä, joka laadultaan vastaa kattilaveden vaatimuksia. Syöttövesijärjestelmän tehtäviin kuuluvat syöttöveden hapenpoisto, lämmitys,

varastointi ja pumppaus lieriöön. (Paju 2020) Syöttövesi muodostuu tuotetusta lisävedestä ja laitokselle palaavasta lauhteesta.

Syöttövesisäiliö toimii eräänlaisena varastona kattilan turvallista alasajoa varten. Jos esimerkiksi veden saanti katkeaa, voidaan höyrykattila silti ajaa alas turvallisesti syöttövesisäiliöön varastoidun syöttöveden avulla niin, että laitteistoille ei aiheudu vaurioita. (Paju 2020) Artukaisten syöttövesisäiliön tilavuus on 20 m<sup>3</sup>.

Syöttöveden pumppaus luonnonkiertokattilassa tapahtuu lieriön veden pinnankorkeutta seuraamalla. Pinnan laskiessa syöttövesipumppu pumppaa vettä ekonomaiserin kautta lieriöön. (Taplin 2014, 10) Vesi vähenee piiristä joko asiakkaalla kulutetun höyryn mukana tai vuotojen ja ulospuhallusten johdosta (Huhtinen ym. 2008, 23.).

Syöttöveden hapenpoistolla tarkoitetaan kaasunpoistinta, joka on sijoitettu syöttövesisäiliön päälle. Se on ulkoapäin eräänlainen kupu, jonka tehtävänä on poistaa lisävedestä ja lauhdevedestä niiden mukana tuleva happi, sekä muut liuenneet kaasut. Kaasunpoistimen päällä on hönkähöyryputki, josta poistetut kaasut siirtyvät katon kautta ulos. Kaasut ovat suurimmaksi osaksi happea ja typpeä.

Syöttövesijärjestelmän veden lämmitys tapahtuu niin, että syöttövesisäiliön vettä lämmitetään höyryllä ja lauhdevedellä. Syöttövesisäiliön vesi halutaan lämmittää kylläiseksi vedeksi, eli säiliön höyryn paineen mukaiseen höyrystymislämpötilaan. (Huhtinen ym. 2008, 23.) Artukaisissa syöttövesisäiliön veden normaali lämpötila on noin 125 °C ja sen tulee olla vähintään 105 °C (KPA Unicon 2018).

Tämän jälkeen vesi kulkee kattilaan esilämmittimen eli ekonomaiserin kautta. Ekonomaiserin sijaitsee kattilan toisen vedon savukaasukanavassa ja savukaasun lämpöenergialla se lämmittää syöttöveden 150–180 asteiseksi. (KPA Unicon 2018)



### 3.3 Lieriö

Lieriö erottaa kattilan läpi putkistoa pitkin tulleen kylläisen höyryn kylläisestä vedestä. Erotus tapahtuu lieriössä painovoimaisesti, jolloin tiheämpi aine eli kylläinen vesi jää lieriön alaosaan ja höyry kulkeutuu lieriön yläosaan.

Lieriössä höyry kuivataan ja väkevä vesi erotetaan siitä. (Taplin 2014, 10) Lieriön erotusasteen on oltava hyvä, jotta lieriön vedessä olevat haitalliset suolat eivät päädy höyrynjakeluputkistoon ja asiakkaalle, ja näin ollen luo kerrostumia putkien pinnoille. Erotusasteeseen vaikuttaa lieriön halkaisija, joka määrittää erotusajan. Mitä kauemmin vesi ja höyry erottuvat toisistaan, sitä suurempi erotusaste on. (Huhtinen ym. 2000, 117.)

Höyryn ja veden erottuessa toisistaan jää lieriön veteen epäpuhtauksia ja suoloja. Tämän takia vettä puhalletaan ulos lieriöstä säännöllisesti, jolloin tilalle syötetään puhtaampaa syöttövettä. (Taplin 2014, 10) Kattilavettä puhalletaan lieriöstä ulospuhallussäiliöön, josta se lasketaan viemäriin. Ulospuhallussäiliöön puhalletusta vedestä osa kuitenkin höyrystyy, sillä säiliössä on matalampi paine kuin lieriössä. Tämä höyry on täysin puhdasta ja sitä hyödynnetään lisäveden esilämmityksessä, ennen kuin höyry menee jatkuvan ulospuhallussäiliön kautta ulos. (Huhtinen ym. 2008, 40)

### 3.4 Lauhdeveden käsittely

Lauhteella tai lauhdevedellä tarkoitetaan höyryä, joka on lauhtunut käyttökohteessa vedeksi. Lauhdevedessä on usein vielä paljon lämpöenergiaa, joten sen hyödyntäminen lisää laitoksen energiatehokkuutta. (Motiva 2015) Höyry luovuttaa lauhtuessaan höyrymuodostumislämpönsä, joten lauhdevedessä on vielä hyödynnettävää energiaa. Se on jo käsiteltyä vettä, joten se sopii syöttövedeksi. Jokainen viiden celsiusasteen korotus syöttövedessä voi tarkoittaa noin yhden prosentin säästöä polttoaineessa. (Oy E.Sarlin AB 1977) Toisena nyrkkisääntönä voidaankin pitää sitä, että jokaista kuutta celsiusastetta kohden, kun syöttövettä lämmitetään, kasvaa laitoksen hyötysuhde yhden

prosentin (Taplin 2014, 29). Nämä ovat toki laitospkohtaisia asioita, mutta ne kertovat syyn, miksi lauhdetta on energiatehokkuuden kannalta erittäin tärkeää hyödyntää.

Lauhdevettä syntyy kulutuskohteessa lauhtumalla, jolloin se kerätään ja pyritään hyödyntämään. Lauhde on samaa jo puhdistettua vettä, mitä prosessissa kiertää, joten sitä pyritään uusiokäyttämään mahdollisimman paljon. Lauhteessa voi olla kuitenkin epäpuhtauksia, jotka tulevat prosessin eri vaiheista, kuten lämmönsiirtimistä ja paluuputkistojen epäpuhtauksista. Esimerkiksi höyryn mukana kulkeva hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) voi lauhtuessaan muuttua hiilihapoksi ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), joka laskee lauhteen pH arvoa. (Huhtinen ym. 2008, 26–27) Jos lauhdevedessä on liikaa epäpuhtauksia, se lasketaan viemäriin.

Lauhdevesi saapuu takaisin laitokselle asiakkailta siten, että se kerätään lauhdesäiliöihin, jossa siitä mitataan sähkönjohtokyky. Tämän jälkeen lauhdetta lasketaan kerralla takaisin laitokselle lauhteen hylkyventtiilien kautta. Ennen hylkyventtiiliä siitä mitataan vielä kerran johtokyky. Lauhteen hylkyventtiili on kolmitieventtiili, joka aiemmin mitatun johtokyvyn perusteella päästää lauhteen lauhdesäiliöön tai viemäriin. Käyttöön hyväksytty lauhde kulkee lauhdesäiliön kautta, josta se pumpataan syöttövesisäiliöön. Syöttövesisäiliöön lauhde syötetään kaasunpoistimen läpi ja se sekoittuu säiliön veteen. (Järvinen 2021)

Kuvassa 2 näkyy lauhteenhylkäysventtiilit. Kuvan oikeassa reunassa on johtokykymittaus, jonka mittauksen perusteella lauhde lasketaan viemäriin alas laskevaa eristämätöntä putkea pitkin. Putken mukaisesti vasemmalle jatkuva eristetty putki taas vie hyväksytyn lauhteen lauhdevesisäiliöön.



Kuva 2. Lauhtehylkäysventtiili.

Lauhdetta syntyy myös höyryn siirron yhteydessä höyrylinjaan. Höyrylinjasta lauhde tulee poistaa, sillä se vähentää tilavuutta, jossa höyry pystyy kulkemaan. Lauhde voi myös vaurioittaa putkea ja siinä olevia laitteita. Lisäksi se heikentää lämmönsiirtokykyä. Sitä poistetaan höyryputkista lauhteenerottimien avulla.

Lauhteenerottimilla on kolme tehtävää. Ne poistavat lauhteen mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti. Niiden tulee estää samalla, että höyryä ei pääse karkaamaan putkista. Lisäksi ne myös poistavat ilman ja muut kaasut putkistosta. (Motiva 2015) Poistettu lauhde lasketaan pois linjasta ja sitä ei johdeta takaisin laitokselle, sillä sen määrä on suhteellisen pieni. Lauhteenerottimia on monia erilaisia, kuten esimerkiksi mekaanisia ja termostaattisia, joita Artukaisten höyrylinjassa on käytössä. (Järvinen 2021)

### 3.4.1 Mekaaniset lauhteenerottimet

Mekaaninen lauhteenerotin perustuu tiheyserojen tunnistamiseen. Yleisimpiä mekaanisia lauhteenerottimia ovat uimurilauhteenerottimet. Uimurierottimet toimivat uimurilla, joka seuraa lauhteenerottimen sisällä olevan lauhteen pinnan korkeutta. Lauhteen pinnan noustessa uimuri avaa venttiilin, joka päästää lauhteen pois. Pinnan lasiessa venttiili sulkeutuu. Uimurilauhteenerotin sopii sekä pieniin että suuriin lauhdemääriin. (Oy E.Sarlin AB 1977)

### 3.4.2 Termostaattiset lauhteenerottimet

Termostaattiset lauhteenerottimet perustuvat höyryn ja lauhteen lämpötilaeroon. Erottimien toiminta perustuu bimetalli-levyjen lämpölaajenemiseen. Kuuma höyry laajentaa levyä, jolloin höyry ei kulje erottimeen. Kun viileämpi lauhde kulkee levyjen luokse, ne supistuvat ja päästävät sen erottimeen. (Oy E.Sarlin AB 1977)

## 4 Vedenlaadun hallinta

Höyrylaitoksen suunnitellun käyttöiän ja luotettavan toiminnan takaamiseksi tarvitaan laatuvaatimukset täyttävää vettä. Laitokselle tulevaa käsittelemätöntä vettä kutsutaan raakavedeksi. Raakavesi on luonnosta otettua vettä, joka sisältää paljon epäpuhtauksia. Vesi kuitenkin tulee Artukaisten laitokselle vesijohtoverkosta, joten se on vesilaitoksella esipuhdistettua, toisin sanoen juomakelpoista vettä. Vesi täytyy silti käsitellä niin, että sen mukana ei pääse liikaa epäpuhtauksia vesikiertoon. Veden epäpuhtaudet aiheuttavat kattilakiveä, korroosiota, syöpymistä ja tukkeumia vesi–höyryjärjestelmässä.

### 4.1 Veden epäpuhtaudet

Vesihöyry, joka haihtuu ilmakehään meristä ja järvistä on puhdasta, mutta veden sataessa maahan siihen liukenee ilmakehästä kaasuja ja maasta maaperän mineraaleja. Ilmasta liukenevat kaasut ovat esimerkiksi happea, hiilidioksidia, typpeä sekä rikin ja typen oksideja. Happi kiihdyttää korroosiota. Hiilidioksidi siirtyy höyryn mukana ja muodostaa lauhtuessaan hiilihappoa, joka laskee lauhteen pH-arvoa. (Huhtinen ym. 2008, 26) Tämän johdosta vesi aiheuttaa syöpymistä happamuutensa takia (Antila ym. 2010, 157, 231).

Maasta liukenee veteen mineraaleja, kuten kalsiumkarbonaattia, magnesiumkarbonaattia, piioksidia, natriumkloridia, metalleja ja muita orgaanisia luonnon hajoamistuotteita. Kattilakiveä aiheuttaa eniten kalsium, magnesium ja silikaatti eli piioksidi. Kalsium ja magnesium saostuvat kattilaveteen lämpötilan kasvaessa, ja suolapitoisuuden lisääntyessä ne kovettuvat karbonaatteina. Piioksidi saostuu suolojen mukana tai muodostaa silikaatteja alumiinin kanssa. Nämä luovat kerrostuman, jota kutsutaan juuri kattilakiveksi. Kattilakivi on huonosti lämpöä johtava ja hankalasti poistettava kerrostuma lämmönsiirtopinnoilla. (Huhtinen ym. 2008, 26.) Suurissa määrin kattilakivi aiheuttaa kattilatehon heikentymistä.

Rauta voi aiheuttaa korroosiota reagoidessaan yhdessä hapen kanssa. Kattilaan kulkeutuu rautaa ja se palaa kiinni höyrystymispinnoille. Tämä muodostaa magnetiittikalvon, joka on loistava korroosiosuoja. Kalvo voi kuitenkin kasvaa liian paksuksi ja lämpötilavaihtelun johdosta irrottaa palasia, jotka aiheuttavat eroosiota systeemissä. (Huhtinen ym. 2008, 26) Magnetiitin muodostumista on hallittava kemikaaleilla. Vedessä näkyvä rauta voi myös indikoida kasvavaa korroosiota, jolloin se ilmenee kasvavana rautapitoisuutena. Tämä johtuu korroosion takia putkesta irtoavasta rauta-aineksesta.

Kupari aiheuttaa samalla tavalla korroosiota hapen kanssa reagoidessaan kuin rauta. Kuparia voi kerrostua esimerkiksi höyrystimeen, ja näin ollen se aiheuttaa korroosiota. Lisäksi kupari syövyttää terästä galvaanisen sähköparin muodossa. (Huhtinen ym. 2008, 26). Galvaaninen korrosio tapahtuu, kun kahden eri metallin välillä epäjalompi metalli alkaa syöpymään. Tässä tapauksessa hiiliteräs, eli höyrystinputken materiaali, on positiivisesti varautunut ja alkaa syöpymään. Kupari taas negatiivisesti varautuneena pysyy suojattuna. (Energiateollisuus 2007).

#### 4.2 Veden laatuvaatimukset

Laatuvaatimukset antavat eri mittauspisteiden vesilaaduille laaturajat, joiden puitteissa eri mittausarvojen tulisi pysyä. Veden laatuvaatimuksiin höyrylaitoksella vaikuttavat kattilan rakenne ja käyttöpaine, suurin paikallinen lämpökuorma, sekä se, mihin höyryä käytetään (Huhtinen ym. 2008, 27). Höyryä voidaan käyttää esimerkiksi sähkön tuotannossa, jolloin höyry kulkeutuu turbiinin läpi, tai teollisuuden prosesseissa prosessihöyrynä. Teollisuuden prosessihöyryn käyttökohteet voivat erota keskenään merkittävästi. Artukaisten höyrylaitos tuottaa höyryä elintarvike- ja lääketeollisuuden käyttöön. Laatuvaatimukset laitoksen vedelle olisivat tiukemmat, mikäli höyryä tuotettaisiin korkeampi paineisena esimerkiksi turbiinille. (Huhtinen ym. 2000) Kuitenkin höyryn laatuvaatimukset laitoksella ovat tarkat, sillä lääke- ja elintarviketeollisuuden vaatimukset ovat tarkat. Artukaisten veden laatuvaatimuksia käsitellään tarkemmin kappaleessa 5.2.

### 4.3 Lisävesi

Lisävesi on vettä, joka korvaa prosessissa kuluneen veden (SFS-EN 12952, 5). Vesi voi tässä tapauksessa kulua esimerkiksi ulospuhalluksen, vuotojen tai höyryn käytön johdosta. Raakavesi muutetaan lisävedeksi puhdistamalla ja käsittelemällä se niin, että se sopii käytettäväksi höyryntuotantoon.

Lisävettä valmistetaan laitokselle sopivalla ja vaaditulla tavalla. Vettä ei kannata käsitellä liikaa käyttökustannuksien takia, vaan siinä tulee löytää sopiva tasapaino niin, että laatuvaatimukset täyttyvät. Tämä kuitenkin huomioidaan laitoksen suunnittelussa, eikä siihen ole usein tarvetta tehdä muutoksia.

### 4.4 Veden puhdistamis- ja käsittelykeinot Artukaisten laitoksella

Veden puhdistamis- ja käsittelykeinoja on monia eri epäpuhtauksille. Lisäksi vedenlaadun vaatimukset laitoksella vaikuttavat veden puhdistuskeinoihin. Veden puhdistusmenetelmän valintaan vaikuttaa lisäksi raakaveden laatu, taloudelliset seikat, ympäristöolosuhteet, kuten happojen ja lipeän käsittely, sekä viemärointi. (Danstoker 2003) Artukaisten höyrylaitokselle tuleva raakavesi on tavallista vesijohtovettä, joten tässä työssä ei tulla käsittelemään puhdistuskeinoja, jotka suoritetaan ennen veden tuloa laitokselle.

Veden puhdistuksessa Artukaisissa korostuu kovuussuolojen poisto raakavedestä. Nämä ovat maasta veteen liuenneita metalleja ja epämetalleja. Lisäksi veden pH-arvon optimointi on laitoksella tärkeää. Artukaisten höyrylaitoksen suhteellisen matalan kattilapaineen (alle 20 baaria) takia käytössä on kovuudenpoisto -menetelmä, sekä kemikaalien lisäys syöttövedeen. Myös veden ulospuhallukset voidaan luokitella veden puhdistamis-/käsittelykeinoksi, sillä siinä poistetaan kerääntyvää epäpuhtautta vedestä.

#### 4.4.1 Kovuudenpoisto

Suolojen, kuten magnesiumin ja kalsiumin määrä vedessä määrittää veden kovuuden. Veden kovuuden yksikkönä käytetään °dH-arvoa, joka on lyhennys saksalaisesta yksiköstä deutscher härtergrad. Yksi kovuuden yksikkö vastaa 0,179 mmol/l CaO:ta (kalsiumoksidia eli kalkkia) vedessä. (Ympäristö.fi) Artukaisten veden laatuvaatimuksena on, että vesi on kovuudeltaan alle 0,1 °dH. Vertailuna on Turun vesilaitoksen ilmoittama kovuus vesijohtovedelle, eli tässä tapauksessa raakavedelle, joka on 2,8 °dH, ja jonka pH on 8,5–8,9, joka on lievästi emäksistä (Turun Vesihuolto 2021). Taulukossa 1 on esitetty veden kovuuden vaihtelut °dH-arvoina.

Taulukko 1. Veden kovuus (Huhtinen ym. 2008 29).

Veden kovuus	°dH
erittäin pehmeä	alle 2,1
pehmeä	2,1 - 4,9
keskikova	4,9 - 9,8
kova	9,8 - 21
erittäin kova	yli 21

Veden kovuuden asteikko vaihtelee eri lähteissä, mutta ovat kuitenkin lähellä taulukon 1 mukaista tasoa.

Veden kovuuden poisto, eli veden pehmenys tapahtuu pehmenyysuodattimilla. Suodattimet suodattavat vedestä pois kalsium- ja magnesiumioneita ja korvaavat ne natriumioneilla. Näin ollen veden kokonaissuolapitoisuus ei vähene. (Huhtinen ym. 2000, 302–303) Natriumionien ero kalsium- ja magnesiumioneihin nähden on niiden veteen liukoisuudessa lämpötilan kasvaessa. Natriumionin liukoisuus veteen kasvaa mitä korkeammassa lämpötilassa vesi on, kun taas kalsium- ja magnesiumionin liukoisuus laskee lämpötilan noustessa. (Antila ym. 2010, 62–67) Kovuudenpoisto on riittävä puhdistusmenetelmä, mikäli käyttöpaine on alle 60 baaria. Tällöin natrium ei aiheuta ongelmia järjestelmässä. (Huhtinen ym. 2000, 297, 303)

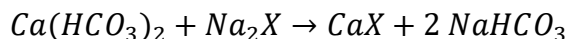


Pehmennyssuodattimia on usein kaksi kappaletta, kuten Artukaisten laitoksellakin. Kuvassa 3 on Artukaisten pehmennyssuodattimet. Kun toinen suodattimista on käytössä, eli se suodattaa vettä, voi toinen suodatintankki suorittaa elvytystä. Vaihtoväli tankeille on 107 m<sup>3</sup>. Suodatus tapahtuu suodattimen sisällä olevien hartsipallojen avulla. Artukaisissa pehmentimissä on käytössä vahva kationinvaihtoharts. (Prominent 2018) Käytössä voi olla heikko tai vahva harts, mutta koska tavoitteena on vaihtaa suolat eikä poistaa niitä, sekä suodattimia ei ole monta sarjassa, niin yksi vahvempitehoinen kationinvaihtoharts riittää tähän. Hartsin pinnalla on natriumioneja, jotka siirtyvät veteen kalsium- ja magnesiumionien tilalle. Kalsium- ja magnesium siirtyy hartsien reaktiivisten atomiryhmien avulla hartsipalloihin. (Huhtinen ym. 2008, 29–31)



Kuva 3. Artukaisten pehmennyssuodattimet.

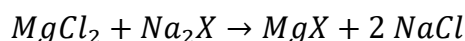
Kalsiumvetykarbonaatin aiheuttaessa veden kovuuden, reaktio tapahtuu seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti (Kaava 1). Yhtälössä X kuvaa kationinvaihtohartsia.



Kaava 1. Kalsiumvetykarbonaatti pehmentimessä (Huhtinen ym. 2000, 302).

Kun kalsiumvetykarbonaatti reagoi kationinvaihtohartsin kanssa, niin lopputuotteena kalsium yhdistyy hartsin kanssa, ja jäljelle jää natriumvetykarbonaattia eli ruokasoodaa, joka on hyvin veteen liukenevaa.

Jos magnesiumkloridi aiheuttaa veden kovuuden, reaktio tapahtuu seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti (Kaava 2).

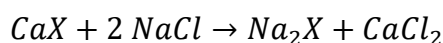


Kaava 2. Magnesiumkloridi pehmentimessä (Huhtinen ym. 2000, 302).

Kaava 2:n mukaisessa yhtälössä magnesiumkloridi reagoi hartsin kanssa ja lopputuotteena magnesium jää hartsiin. Jäljelle jää veteen natriumkloridia eli ruokasuolaa.

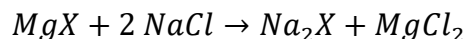
Kun natriumionit loppuvat hartseista, vaatii suodatin elvytystä. Elvytyksen aikana vedestä poistetut ionit huuhdotaan suodattimesta viemäriin ja tilalle tuodaan uusia natriumioneja. Elvytys tapahtuu noin 10 %:n natriumkloridiliuoksella. Liuos huuhtoo poistetut ionit hartseista ja siirtää tilalle natriumioneja. Elvytys alkaa ennalta määritetyn vesimäärän kuljettua suodattimen läpi.

Elvytyksen reaktioyhtälöissä jatketaan siitä mihin kovuudenpoiston yhtälöissä jäätin. Eli kalsiumia ja/tai magnesiumia on ioninvaihtohartsissa ja se huuhdellaan natriumkloridiliuoksella pois. Kalsiumin poistuminen elvytyksessä on esitetty kaavassa 3.



Kaava 3. Elvytysreaktio kalsiumille (Huhtinen ym. 2000, 302).

Magnesiumin poistuminen elvytyksessä on esitetty kaavassa 4.



Kaava 4. Elvytysreaktio magnesiumille (Huhtinen ym. 2000, 302).

Reaktioyhtälöissä päästään siis lähtötilanteeseen, kun kalsiumkloridi ( $CaCl_2$ ) ja magnesiumkloridi ( $MgCl_2$ ) huuhdellaan viemäriin. (Huhtinen ym. 2000, 302)

#### 4.4.2 Terminen kaasunpoisto

Kaasunpoistin on rakenteeltaan säiliömäinen torni syöttövesisäiliön päällä, jossa on välipohjia eri kerroksissa. Välipohjat ovat rei'itettyjä teräslevyjä. Höyry johdetaan säiliöstä torniin alakautta ja lisä- ja lauhdevesi virtaa poistimen läpi ylhäältä alas. (Huhtinen ym. 2000, 305) Vesi hajoaa välipohjissa pisaroiksi ja niissä olevat liuenneet kaasut erottuvat nousevan höyryn mukana ulos kaasunpoistimesta. Tätä kutsutaan termiseksi kaasunpoistoksi. (Taplin 2014, 282)

Terminen kaasunpoisto tapahtuu, kun vesi on kiehumispisteessään. Tällöin kaasujen liukeneminen veteen on arvossa nolla. Kaasunpoisto onnistuu sitä tehokkaammin, mitä nopeammin vesi saadaan kiehumispisteeseensä, mitä paremmin vesi kulkee siinä tilassa kaasunpoistimen läpi, ja mitä tasaisemmin vesi saadaan hajotettua mahdollisimman pieniksi pisaroiksi. (Huhtinen ym. 2000, 305–306) Kuvassa 4 on kuvattuna kaasunpoistin Artukaisten laitoksella.



Kuva 4. Kaasunpoistin Artukaisten laitoksella.

#### 4.4.3 Kemikaalien käyttö

Laitoksella käytetään Boilex 460C -kemikaalia, jonka perustehtävänä on poistaa jäännöshappi syöttöveden joukosta. Lisäksi Boilex nostaa syöttöveden pH-arvoa. Boilex sisältää hapensitojaa, joka estää korroosiota poistamalla vedestä jäännöshapetta. Samalla kemikaali katalysoi magnetiitin muodostumista. Synteettinen polymeeriseos estää silikaatti-, humus- ja rautasakkojen muodostumista ja kerrostumista pinnoille. (Solenis 2014)

Kemikaali laimennetaan ensin vedellä 50 prosenttiseksi, jonka jälkeen se pumpataan taajuusmuuntajaohjatulla pumpulla syöttövesisäiliöön vesipinnan alle. Alun perin kemikaali syötettiin vedenjakotukkiin, mutta syöttövesisäiliön suojaamiseksi kemikaalin syöttö siirrettiin suoraan siihen. (Järvinen 2021)

## 4.5 Muut vedenkäsittelymenetelmät

Seuraavissa kappaleissa tullaan käsittelemään muita olemassa olevia vedenkäsittelymenetelmiä, joita on yleisesti käytössä, mutta ei Artukaisten laitoksella. Näitä ovat täyssuolanpoisto, käänteisosmoosi ja sähköinen ioninvaihto. Näiden menetelmien vedenpuhdistuksen teho on selkeästi korkeampi, mitä Artukaisten laitoksella vaaditaan.

### 4.5.1 Täyssuolanpoisto

Täyssuolanpoistolla eli ioninvaihdolla tarkoitetaan veden puhdistamista siten, että haitalliset ionit, kuten metallit ja epämetallit vaihdetaan toisiin ioneihin. Menetelmän periaate on vastaavanlainen kuin kovuudenpoistossa. Käyttöpaineen ollessa laitoksessa yli 60 baaria vaaditaan täyssuolanpoistomenetelmää. Koska Artukaisten käyttöpaine on 13 baaria ja laitoksen veden laatuvaatimukset täyttyvät, tätä menetelmää ei käytetä Artukaisten höyrylaitoksen vedenkäsittelyssä. Kuitenkin tämän menetelmän peruseriaate on hyvä tunnistaa, sillä ioninvaihto on laitosten yleisimpiä vedenkäsittelymenetelmiä, oli kyseessä sitten täyssuolanpoisto tai kovuudenpoisto.

Yleisesti käytössä olevia ioninvaihtimia ovat humussuodatin sekä erivahvuiset anionin- ja kationinvaihtimet. Ioninvaihtimia voidaan käyttötarpeen mukaan kytkeä sarjaan. Vaihtimien määrä ja suodatusteho riippuvat vedenlaadun vaatimuksista, sekä poistettavista epäpuhtauksista.

Kationinvaihdin perustuu siihen, että kationit vaihdetaan  $H^+$  -ioneihin ja anioninvaihdin siihen, että anionit vaihdetaan  $OH^-$  -ioneihin. Ioninvaihto itsessään tapahtuu niin, että vaihtimen sisällä oleva hartsimassa ja siinä olevat reaktiiviset atomiryhmät vetävät puoleensa kationeita tai anioneita. Tämän jälkeen hartsimassassa olevat  $H^+$  -ionit tai  $OH^-$  -ionit siirtyvät poistettujen ionien tilalle. Molempia vaihtimia elvytetään säännöllisesti huuhtomalla hartsimassaa, jotta siihen siirtyneet kovuusionit huuhtoutuvat pois. Elvytys kationinvaihtimella

tapahtuu rikki- tai suolahapon ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  tai  $\text{HCl}$ )  $\text{H}^+$  -ionilla ja poistoliuoksen mukana poistuu natriumia, magnesiumia ja kalsiumia. Anioninvaihtimessa elvytys tapahtuu laimennetulla natriumhydroksidiliuoksella ( $\text{NaOH}$ ). Tässä tapauksessa kloridit, sulfiitit ja pioksidit vaihtuvat hartsimassassa  $\text{OH}^-$  -ioneihin. (Huhtinen ym. 2000, 304)

#### 4.5.2 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosi vedenkäsittelyssä perustuu siihen, että vesi johdetaan puoliläpäisevän kalvon läpi, joka päästää lävitseen pieniä vesimolekyylejä, mutta ei suurempia suolamolekyylejä (Huhtinen ym. 2008, 31–32). Käänteisosmoosissa väkevämpää liuosta puristetaan osmoottista painetta suuremmalla paineella puoliläpäisevää kalvoa vasten (Antila ym. 2010, 71). Tämä paine saadaan luotua korkeapainepumpulla. Paineen avulla pakotetaan vesimolekyylit virtaamaan väkevästä liuoksesta, jossa on kovuussuoloja, puhtaaseen vesiliuokseen. Käänteisosmoosin haasteena on se, että vain 75 % käänteisosmoosilaitteeseen johdetusta vedestä virtaa kalvon läpi ja puhdistuu. Väkevä vesi, johon suolat ja loput vedestä jäävät, johdetaan rejektivetenä viemäriin. Laitteita voidaan kytkeä myös sarjaan eli peräkkäin, jolloin rejektiveden määrää voidaan pienentää vielä 75 %. Käänteisosmoosimenetelmällä saavutetaan sähkönjohtokyky, joka on alle  $20 \mu\text{S}/\text{m}$  eli merkittävästi pienempi mitä Artukaisten laitoksella vaaditaan. (Huhtinen ym. 2008, 31–32)

#### 4.5.3 Sähköinen ioninvaihto (EDI)

Jos tarve on vielä puhtaammalle vedelle, niin käänteisosmoosilaitteiston lisäksi voidaan käyttää sähköistä ioninvaihtoa eli elektroionisaatiota. Siinä saavutetaan veteen johtokyky, joka on alle  $0,1 \mu\text{S}/\text{m}$ . Sähköinen ioninvaihto perustuu täysin vastaavaan menetelmään kuin täyssuolanpoisto tai kovuudenpoisto, eli ioninvaihtohartseihin, mutta ero on elvytysprosessissa. Täyssuolanpoistossa ja kovuuden poistossa vaaditaan joko kemikaaleja tai suolaliuosta elvytykseen.

Sähköisessä ioninvaihdossa elvytys tapahtuu jatkuvatoimisella tasajännitteellä. (Huhtinen ym. 2008, 32–33)

#### 4.6 Vedenlaadun valvonta Artukaisten höyrylaitoksella

Vedenlaatua seurataan näytteenottolaitteiston avulla. Tämä laitteisto ottaa vettä tai höyryä prosessin eri vaiheista ja jäädyttää sen nesteeksi. Mittauksiin kuuluvat KPA-kattilan kattilavesi, höyry, lauhdevesi ja syöttövesi. Lisäksi mittauksia suoritetaan laitoksen nestekaasukattilan höyrystä ja laitoksen lisävedestä.

Näytteenotot suoritetaan viikoittain ulkopuolisen yrityksen toimesta. Nämä näytteet analysoidaan laboratoriossa, josta lähetetään käyttöhenkilökunnalle tiedot tarkasteltavista parametreista. Vedenlaatua tarkkaillaan myös näytteenottolaitteistossa olevien monitorien kautta. Kattilaveden ja höyryn näytteenotto on suoritettava standardin ISO 5667-1 mukaisesti ja näytteiden valmistelu ja käsittely standardin ISO 5667-3 mukaisesti. ISO 5667-1 määrittelee tarkasti sen, miten näyte otetaan, ja ohjeistaa tarvittavan välineistön ja oikean metodin. ISO 5667-3 -standardi määrittää näytteen säilytyksen, astiat, käsittelyn ja kuljetuksen.

SFS-EN 12952-12 -standardi määrittää laitoksen vesinäytteiden laadun ja vaatimukset. Tärkeänä mainittakoon esimerkiksi sen, että näytteiden tulisi olla lämpötilaltaan  $25\text{ °C} \pm 2$ . Myös eri muuttujille vedessä on määritetty erikseen omat standardit, jotka ohjeistavat näytteiden analysointia.

Näytteiden seurattavat arvot vaihtelevat sen mukaan mistä vesi on otettu. Esimerkiksi höyrystä jäädytetyssä vesinäytteessä on lähtökohtaisesti pienempi suolapitoisuus kuin vaikka syöttöveden näytteessä. Näin ollen myös vaatimukset vaihtelevat kohteittain.

Mitattavia arvoja ovat näytteen pH-arvo, johtokyky, kokonaiskovuus ja rautapitoisuus. Lisäksi syöttövedestä seurataan Boilex-kemikaalin pitoisuutta ja

kattilavedestä silikaattipitoisuutta ( $\text{SiO}_2$ ) ja alkaliteettia. (Rokitek Oy) Kuvassa 5 on Artukaisten laitoksella oleva vesinäytteenottojärjestelmä.



Kuva 5. Artukaisten vesinäytteenottojärjestelmä.

#### 4.6.1 pH-arvo

pH-arvolla mitataan vedessä olevien vetyionien aktiivisuutta. Tämä aiheuttaa veden happamuuden tai emäksisyyden. pH-arvoa koskevat mittaukset ovat määritetty standardissa SFS-EN ISO 10523.

Veden liika happamuus tai emäksisyys voi aiheuttaa syöpymistä laitoksen laitteistossa. Veden happamuuden mittauksessa seurataan pH-arvoa, joka pyritään pitämään korkeana, eli emäksisen puolella käyttöveden osalta. Laitoksella veden pH-arvoihin vaikuttaa usein hiilidioksidi, joka lauhtuessaan voi muodostaa hiilihappoa. Tämä happo luonnollisesti laskee pH-arvoa ja tekee vedestä hapanta. Liika emäksisyys taas voi aiheuttaa kuohuntaa vedessä. On siis hyvä seurata laatuvaatimuksia ja pitää pH mahdollisimman tasaisena. Veden lämpötilan lisäksi myös sen pH-arvo vaikuttaa kiinteiden aineiden veteen



liukenevuudessa (Antila ym. 2008, 67). Sopivat pH-arvot on määritetty laitoksen vedenlaatuvaatimuksissa ja tarkennettu näytteiden laaturajoissa.

pH-mittaus on perinteinen kemianteollisuuden toimenpide ja se voidaan suorittaa joko happo-emäsindikaattoriaineiden avulla tai sähkökemiallisen pH-mittarin avulla. Höyrylaitoksen vedenlaadun seurannassa halutaan tarkkoja arvoja, joten pH-mittari soveltuu siihen tarkkuutensa ansiosta paremmin (Antila 2010, 165).

#### 4.6.2 Sähkönjohtokyky

Veden sähkönjohtokyvyn ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) avulla mitataan veden suolapitoisuutta, sillä se on suoraan verrannollinen siihen. Sähkönjohtokyky määritellään siten, että se on vesiliuoksen tietynsuuruisen yksikkökuution vastakkaisten pintojen välisen, tietyissä olosuhteissa mitatun vastuksen käänteisluku. Se ilmoittaa vedessä olevien ionisoituvien liuenneiden aineiden konsentraation. Täysin puhtaan veden sähkönjohtokyky on luonnostaan  $25\text{ }^\circ\text{C}$ :ssa  $5,483\ \mu\text{S}/\text{m}$  eli  $0,05483\ \mu\text{S}/\text{cm}$ . Tämä johtuu veden omasta dissosiaatiosta eli sen hajoamisprosessista. (SFS-EN 27888) Veden sähkönjohtokyvyn lukemissa tulee muistaa, että veden kovuuden poistossa sen suolapitoisuus ei laske.

#### 4.6.3 Kokonaiskovuus

Kokonaiskovuuden mittauksessa seurataan  $^\circ\text{dH}$ -lukua, joka kertoo kovuussuolojen määrän. Kovuussuoloilla tarkoitetaan erityisesti magnesium- ja kalsiumsuolojen karbonaatteja. Kovuuden mittauksen avulla todetaan esimerkiksi vedenpehmentimen teho ja varmistetaan siitä, että haitallisia karbonaatteja ei prosessissa ole liikaa. (Huhtinen ym. 2000, 298) Tavoitearvona veden kokonaiskovuudelle laitoksessa on, että se olisi erittäin pehmeää ja alle  $0,1\ ^\circ\text{dH}$  (Rokitek Oy).

#### 4.6.4 Alkaliteetti

Alkaliteetilla tarkoitetaan vedessä olevien alkalien määrää, jotka luovat hydroksyyli-ionin ( $\text{OH}^-$ ) liuetessaan veteen. Alkaliteetti voidaan tuntea myös nimellä fenolftaleiinialkaliteetti, P-luku tai happokapasiteetti. Tässä työssä käytetään nimitystä alkaliteetti ja lisäksi vesinäytteiden kohdalla kuvioissa se voi esiintyä myös nimenä P-luku. Alkaliteetti mittauksen yhteydessä kuvaa aineen, eli veden kykyä vastustaa pH:n muutosta. Eli kuinka monta millimoolia per litra (mmol/l) on lisättävä suolaa, jotta saavutetaan fenolftaleiinin muutospiste pH 8,2. Kattilaveden alkaliteetti tulisi Artukaisissa olla 1-15mmol/l (SFS-EN 12952-12).

## 5 Artukaisten höyrylaitoksen vedenlaatu

Tässä kappaleessa tutustutaan syvemmin Artukaisten laitoksen veteen. Tarkastelussa ovat veden ominaispiirteet ja laatuvaatimukset, sekä se, kuinka ne ovat täyttyneet eri aikoina. Lisäksi laitoksen vesinäytteiden tuloksia analysoidaan niiltä osin missä on merkittäviä muutoksia. Esimerkiksi veden kovuutta ei tulla käsittelemään, sillä kaikissa mittauspisteissä tämä on ollut jatkuvasti alle 0,1 °dH, joka täyttää asetetut vaatimukset (Rokitek Oy). Liitteestä 1 löytyy vesinäytteiden mittaustulokset tekstimuodossa.

### 5.1 Vesikemian ominaispiirteitä

Laitoksen vedenlaatu on mittaustulosten perusteella suhteellisen hyvä, mutta heilahtelua on tietyissä mittaustuloksissa. Joiltain osin laatuarvot, eli rajat, jotka määrittävät sopivan tason eri tuloksille, täyttyvät niin hyvin, että siinä on suhteellisen paljon varaa myös heilahteluille tai arvojen heikentymiselle.

Kuitenkin vedenlaatua seurattaessa tulee huomioida kausivaihtelu laitoksen käytössä. Laitoksella on pidetty heinäkuun aikana vuosirevisio, jolloin se on ollut noin viikon ajan pois käytöstä. Revision jälkeen laitoksen vedenlaadussa on toisinaan ollut rajujakin muutoksia, jotka tasaantuvat ajan myötä (Järvinen 2021). Myös suuret juhlapyhät, jotka vaikuttavat alenevasti laitokselta tilatun höyryn määrään, voivat aiheuttaa muutoksia vedenlaatuun tietyissä mittauspisteissä.

Laitoksen vedenkulutus on lisäveden valmistusmäärässä mitattuna noin 150 m<sup>3</sup> vuorokaudessa. Lukema on suhteellisen suuri, mutta se johtuu suurelta osin siitä, että laitoksella tuotetusta höyrystä osa kulutetaan pois asiakkaan toimesta, ja se ei näin ollen palaa lauhteena laitokselle.

### 5.2 Vedenlaadun vaatimukset

Laitoksen vedenlaadun vaatimukset on määritetty laitevalmistajien ohjeiden mukaan taulukoissa 2 ja 3. Syöttöveden ja kattilaveden laatuvaatimuksissa tulee

seurata Artukaisten kattilapaineen mukaista saraketta ( $<0,5 \leq 22$  bar). Laittevalmistajien ohjeiden mukaisia arvoja on tiukennettu näytteiden seurannassa ja lisäksi niitä on asetettu tarkemmin myös muihin mittauspisteisiin. Huomioitavaa on kuitenkin tuotettavan höyryn laatu, sillä laittevalmistajan asettamat rajat eivät välttämättä täytä asiakkaan tilaaman höyryn vaatimuksia. Näin ollen monet arvot tarkentuvat näytteiden mittaustulosten laaturajoissa. Syöttöveden osalta paineen vaikutus laatuvaatimukseen on pieni, ja eroavaisuudet tulevat puhdistusmenetelmän mukaan.

Taulukko 2. Syöttöveden laatuvaatimukset Artukaisten höyrylaitoksella.

Syöttövesi			
Laatuluokka		Pehmennetty	
Työpaine, bar ylipainetta		$< 0,5 \leq 22$	$22 \leq 44$
Johtokyky, lämpötilassa 25°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	$< 500$	$< 500$
pH-arvo lämpötilassa 25°C		$> 9$	$> 9$
Happipitoisuus O <sub>2</sub>	mg/l	$< 0,02$	$< 0,02$
Kokonaiskovuus (Ca + Mg)	mmol/l	$< 0,01$	$< 0,01$
Kokonaisrautapitoisuus, Fe	mg/l	$< 0,03$	$< 0,03$
Kokonaiskuparipitoisuus, Cu	mg/l	$< 0,005$	$< 0,005$
Öljy- ja rasvapitoisuus	mg/l	$< 1$	$< 1$

Taulukko 3. Kattilaveden laatuvaatimukset Artukaisten höyrylaitoksella.

Kattilavesi			
Laatuluokka		Pehmennetty	
Työpaine, bar ylipainetta		$< 0,5 \leq 22$	$22 \leq 44$
Johtokyky, lämpötilassa 25°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	$< 8000$	$< 4000$
pH-arvo lämpötilassa 25°C		10,5 - 12,0	10,0 - 11,8
Fosfaatti (PO <sub>4</sub> )	mg/l	5 - 20	5 - 15
Silikaatti (SiO <sub>2</sub> )	mg/l	$< 160$	$< 120$

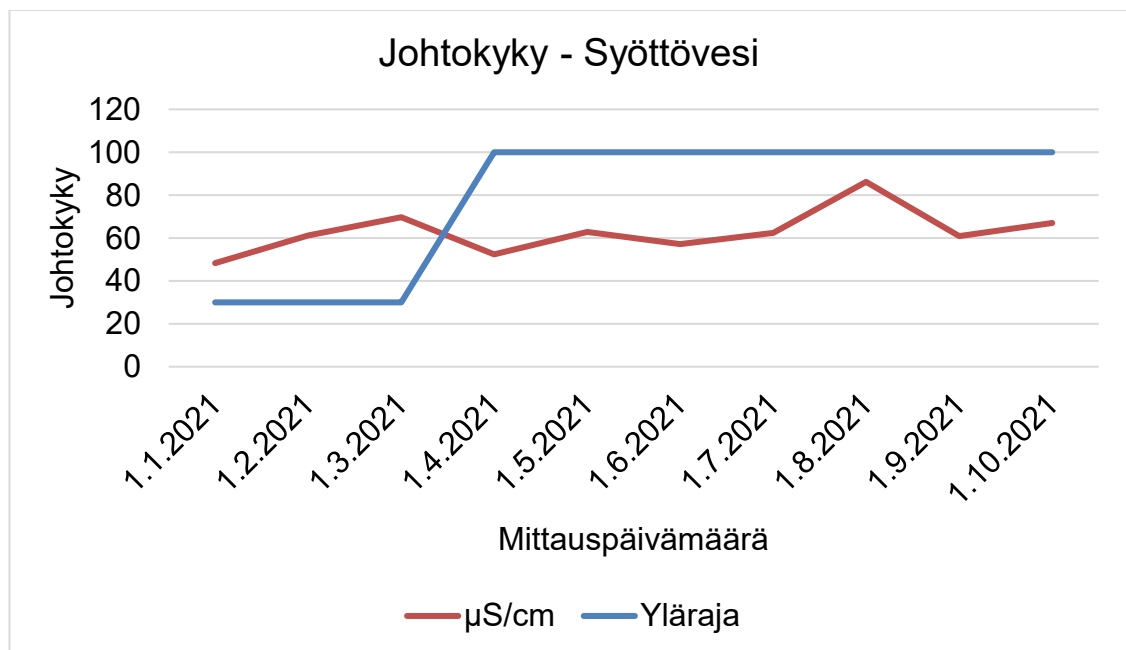
### 5.3 Syöttövesi

Syöttöveden laatua ei tule verrata suoraan laitevalmistajan ilmoittamiin laatuvaatimuksiin, vaan nämä lähinnä antavat teoreettisen ylärajan. Seurattava laaturaja-arvo on merkitty kaavioon ylä- tai alarajana. Johtokyky-kuviossa (Kuvio 1) laatuvaron raja on alitettava ja pH-kuviossa ylitettävä.

Syöttöveden johtokyky mittaukset näkyvät kuviossa 1. Syöttöveden johtokyvyllä pyritään valvomaan, että kattilan vesipiiriin ei pääse liikaa suoloja, ja että syöttövesisäiliö pysyy kunnossa eikä sinne keräänny sakkaa. Syöttövesisäiliöön syötetään lisävettä ja lauhdevettä, joista muodostuu syöttövesi. Lisäveden suolapitoisuus, eli johtokyky, on melko suuri ja lauhdeveden suhteellisen matala.

Kuviossa 1 erityisesti huomioitavaa on se, että laatuarvon rajaa on nostettu 30:sta 100:aan  $\mu\text{S}/\text{cm}$  maaliskuun jälkeen. Tämä on todennäköisesti tehty siksi, että raja on ollut turhan matala ja 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  on realistisempi arvo tässä vaiheessa. Johtokyky on pysynyt 50 ja 90  $\mu\text{S}/\text{cm}$  välissä, eli se on reilusti alempana mitä laitevalmistajan laatuvaatimuksissa on rajana (500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Raja on myös laatuarvorajan alapuolella selkeästi.

Johtokyvyn keskiarvon ollessa noin 63  $\mu\text{S}/\text{cm}$  voidaan olettaa, että elokuun mittauksessa vaikuttaa vielä heinäkuinen revisio ja matala käyttöaste. Oletusta tukee johtokyvyn tasaantuminen syys- ja lokakuun mittauksissa.

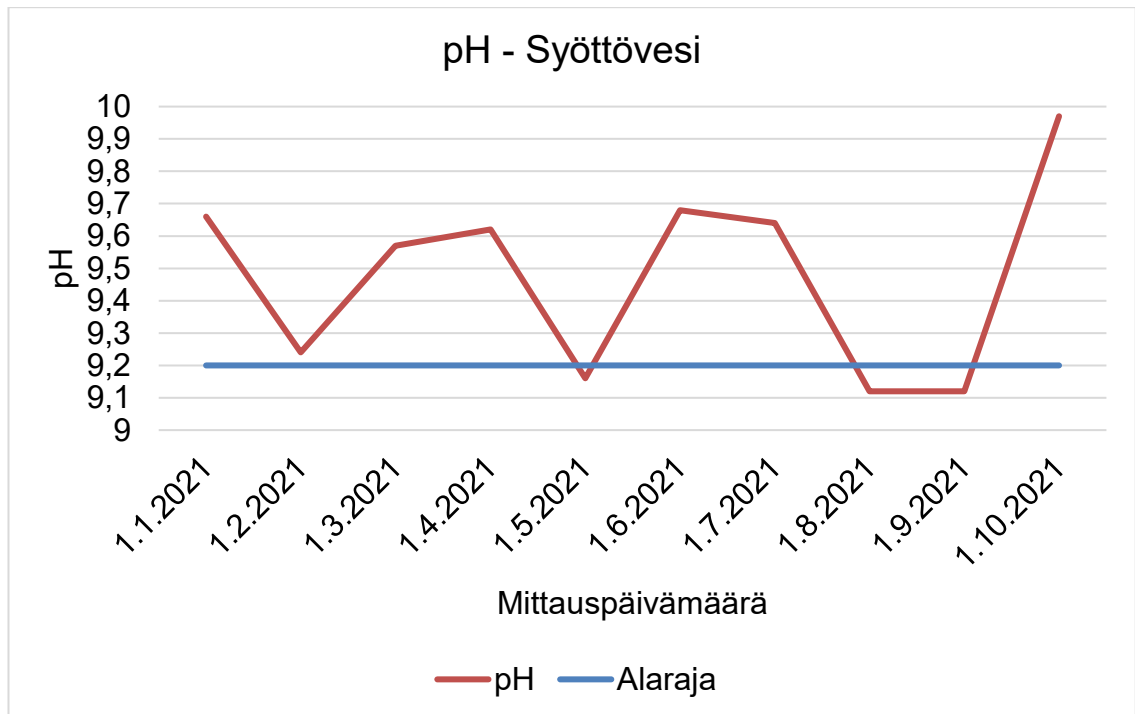


Kuvio 1. Syöttöveden johtokyky.

Syöttöveden happamuuden mittaukset näkyvät kuviossa 2. Syöttöveden happamuuden mittauksella, eli pH-luvulla, varmistutaan, että vesi ei ole

syöttövesisäiliössä liian hapanta. Hapan vesi aiheuttaa syöpymistä säiliössä ja syöttövesijärjestelmässä. Syöttöveden pH:n alarajana käytetään 9,2:ta. Laitevalmistajan vaatimuksissa ilmoitetaan, että syöttöveden pH-luvun tulisi olla yli 9. Säiliöön lisättyä Boilex E460C -kemikaalilla pystytään hyvin kontrolloimaan tätä lukemaa.

Kuviossa 2 syöttöveden pH-luku on jatkuvasti rajan yläpuolella, joka on hyvä asia. Muutaman kuukauden kohdalla luku on alittanut rajan. Näin pienet muutokset voivat selittyä raakaveden pH-luvun vaihtelulla, jos kemikaalin syöttö säiliöön on pysynyt tasaisena suhteessa vedenkulutukseen.



Kuvio 2. Syöttöveden pH.

Syöttövedestä on seurattu myös rautapitoisuutta, kokonaiskovuutta ja kattilakemikaalin määrää vedessä. Nämä lukemat ovat pysyneet tasaisena mittausajanjakson aikana, sekä täyttäneet niille asetetut raja-arvot hyvin. Ainoa mahdollinen ongelma näissä arvoissa voi olla rautapitoisuus, joka on kohonnut elo- ja lokakuun välissä arvosta 0 arvoon 0,03 ppm. Arvon tulisi pysytellä alle 0,05 ppm. Kohonnut rautapitoisuus voi olla myös indikaatio kasvavasta korroosiosta.

## 5.4 Kattilavesi

Kattilavedenkään arvoja ei tule suoraan verrata laitevalmistajan laatuvaatimuksiin, sillä niitä on joiltain osin tiukennettu. Kattilaveden johtokyvyllä valvotaan sitä, että ulospuhallus on riittävää ja näin ollen lieriöön tai kattilapiiriin ei kerääny liikaa suolaa. Suola voi aiheuttaa esimerkiksi kuohuntaa. Kattilaveden johtokyvystä voidaan myös seurata sitä, miten se käyttäytyy suhteessa höyryn johtokykyyn. Johtokykyjen suhde kattilavedessä ja höyryssä halutaan pitää tasaisena, jotta varmistutaan lieriön erotustehokkuudesta. Kattilaveden johtokyky on esitetty kuviossa 3.

Kattilavedenlaatu on johtokyvyn osalta erittäin hyvä. Näytteenoton mittauksissa ei ole asetettu laatuarvorajaa, mutta laitevalmistajan laatuvaatimuksissa rajana on 8000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Laitoksen valvomossa hälytysrajana on 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Tämän lukeman pieni ylitys ei ole vielä huolestuttavaa, sillä johtokyky vedessä on pysytellyt 800 ja 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  välillä. Kattilaveden johtokyvyn mittausta ei ole kovin tarkkaa veden ulospuhallusten takia. Veden johtokyky on suurta siksi, että siihen jää höyrystyvän veden suola.



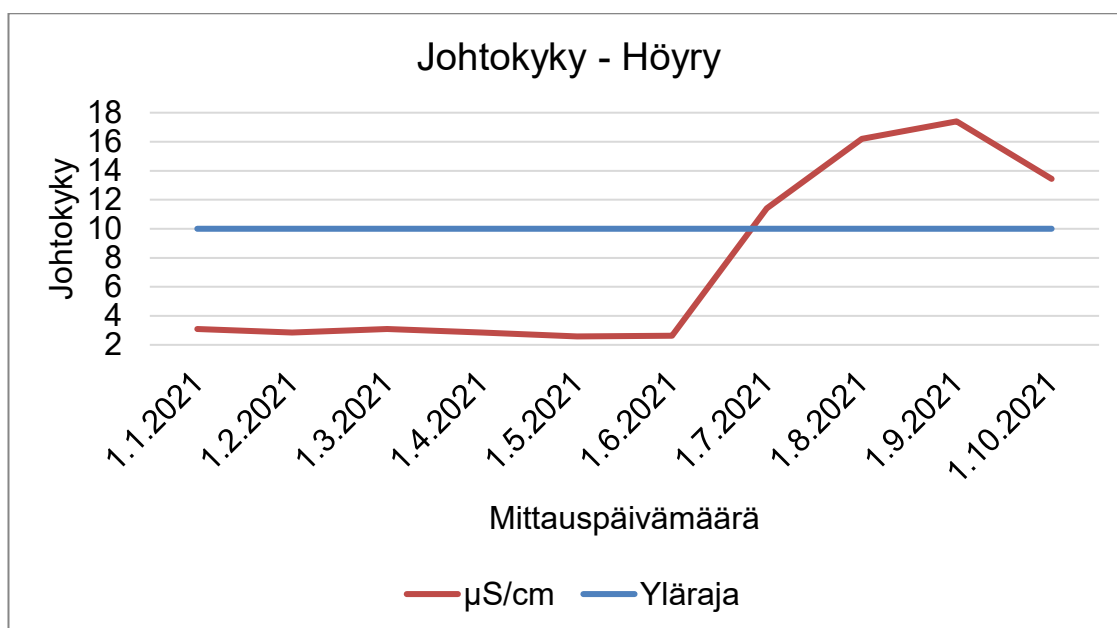
Kuvio 3. Kattilaveden johtokyky.



## 5.5 Höyry

Höyrynäyte on tavallaan tärkein näytteistä, sillä se on tuote, jota ensisijaisesti tämä laitos valmistaa. Erityisesti asiakasnäkökulmasta höyryn laadun on oltava sopivaa käyttötarkoitukseensa nähden. Höyry itsessään ei aiheuta ongelmia laitoksen laitteistossa, vaan lauhtuessaan sen mukana kulkevat kaasut voivat aiheuttaa esimerkiksi eroosiota tai korroosiota putkistoille.

Höyryn johtokyky on esitetty kuviossa 4. Höyryn johtokyvyn ylärajaksi on asetettu 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Alkuvuodesta johtokyky on ollut erittäin matala, mutta kesällä johtokyky on lähtenyt nousuun ja ylittää selkeästi laatuarvorajan. Tähän on voinut vaikuttaa laitoksen vuosiseisakki, Boilex annostelu ja/tai jokin muu ongelma järjestelmässä.



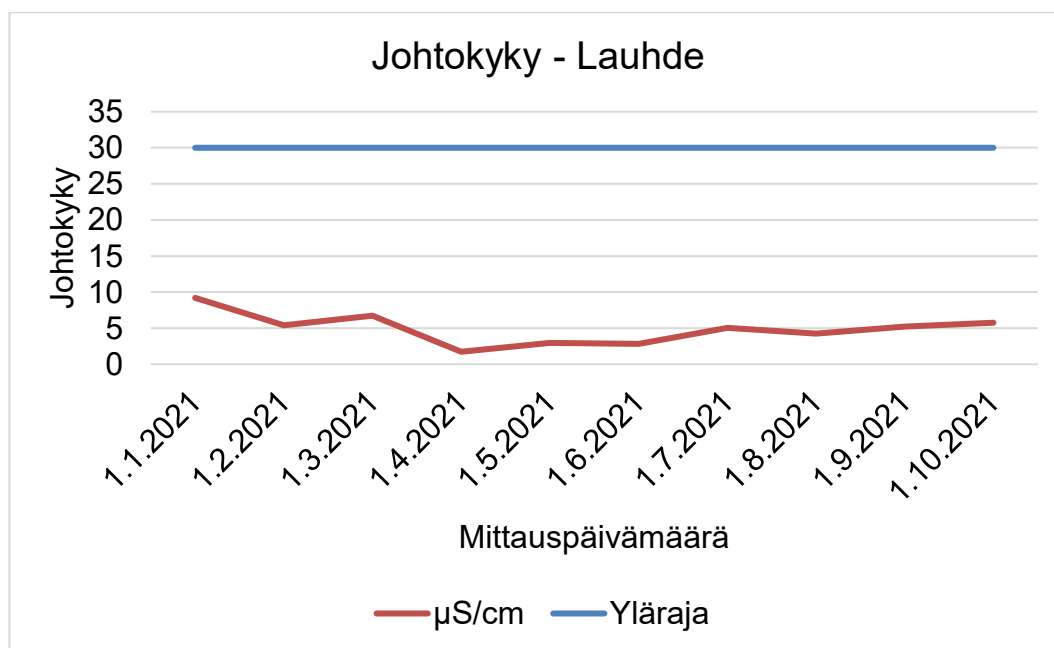
Kuvio 4. Höyryn johtokyky.

## 5.6 Lauhdevesi

Lauhdeveden laatu on erittäin tärkeä osa laitoksen toimintaa. Kuten aiemmin on kerrottu, lauhde on vettä, joka palaa laitokselle ja sitä käytetään uudestaan. Lauhdeveden lämpöenergian hyödyntämiseksi sitä halutaan käyttää

mahdollisimman paljon. Heikko lauhdeveden laatu voi vahingoittaa syövyttämällä lauhdelinjoja ja tuomalla likaa prosessin ulkopuolelta. Lauhdevettä kuitenkin mitataan useissa kohdissa, ja mittauksien perusteella sitä otetaan käyttöön tai lasketaan viemäriin.

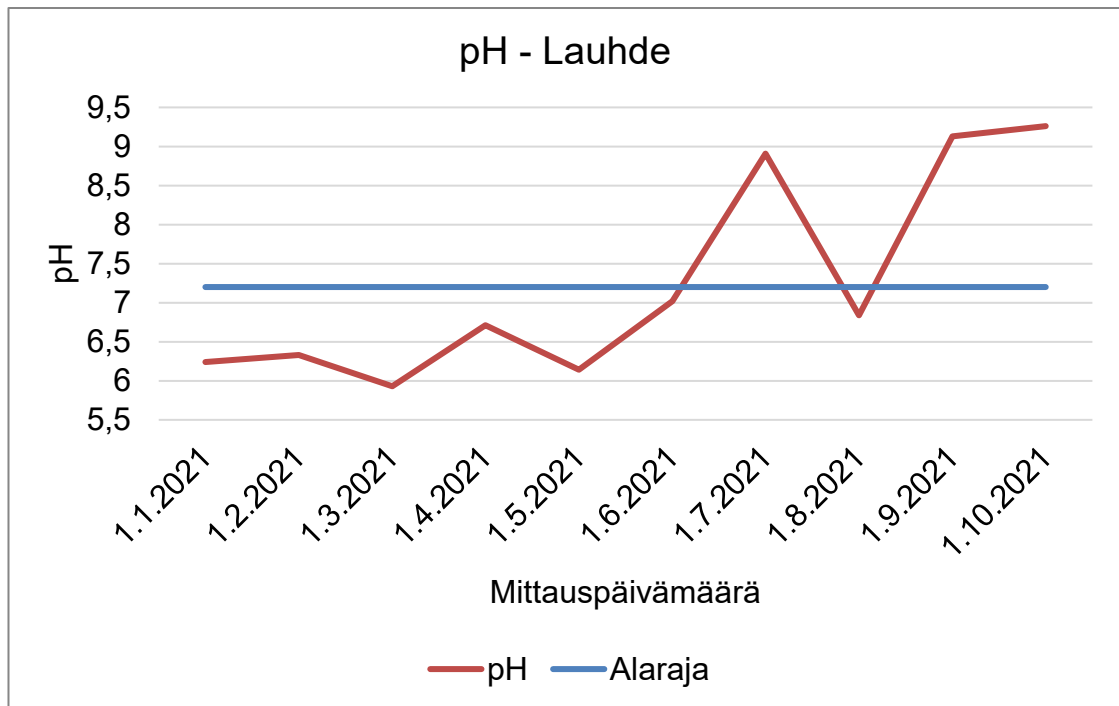
Kuviossa 5 näkyy lauhdeveden johtokyky. Lauhdeveden johtokyvyn laaturajana on 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Kuitenkaan näissä mittauksissa ei ole ylitetty edes 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  rajaa. Tämä johtuu siitä, että lauhdetta hylätään viemäriin asiakkaan ja laitoksen johtokykymittauksissa. Asiakkaiden päässä tehty johtokykymittaus hylkää lauhteen sen ollessa yli 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja laitoksen lauhteenhylkyventtiili hylkää lauhteen, kun se ylittää 27  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Hylätty lauhde ei siis näy näissä mittaustuloksissa. Johtokyvyn alhaisuus antaa kuitenkin viitteitä siitä, että lauhdetta voisi ottaa vielä enemmän käyttöön ja näin ollen hylätä vähemmän viemäriin. Lauhdeveden johtokyvyn keskiarvo on ollut tarkastelujaksolla 4,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Kuvio 5. Lauhteen johtokyky.

Lauhteen pH-mittaukset näkyvät kuviossa 6. Lauhteen pH-luvusta tiedetään, että se on usein melko hapanta. Tämä johtuu lauhtuvan hiilidioksidin muodostamasta hiilihaposta. pH-arvo kuitenkin kasvaa lauhteen sekoituessa syöttövesisäiliöön

missä on sitä nostattavaa kemikaalia, joten laitoksella lauhteen pH-arvolla ei ole suurta vaikutusta.



Kuvio 6. Lauhteen pH.

Lauhteen hyödynnettävyyden puolesta se täyttää vaaditut arvot, mutta matala pH aiheuttaa syöpymistä lauhteenkäsittelyjärjestelmässä. Tämä voi johtaa syöpymisten kautta laiterikkoihin. Tässä tapauksessa pH-arvon suuri vaihtelu johtuu siitä, että lauhdetta palautuu monesta eri kohteesta, jolloin sen mittaaminen laitoksen päässä on epätasaista.

## 6 Kehitysmahdollisuudet Artukaisten laitoksella

Kehitys- ja parannusmahdollisuudet painottuvat laitoksen veden kulutuksen vähentämiseen. Kehitysmahdollisuuksissa pyritään myös pohtimaan keinoja joidenkin mittausarvojen parantamiselle, ja näin ollen kehittää laitteiden kestävyyttä. Kuten aiemmin on mainittu, lisävettä valmistetaan noin 150 m<sup>3</sup> vuorokaudessa. Tämän lukeman pienentämistä voidaan edistää optimoimalla ulospuhalluksen määrää ja lauhteen hyödyntämistä, mikäli se on mahdollista. Laskujen ja selityksen yksinkertaistamiseksi on oletettu, että 1000 kg vettä vastaa 1 m<sup>3</sup> tilavuudeltaan.

### 6.1 Lauhdeveden hyödyntämisen parantaminen

Lauhdeveden käsittelyssä pyritään siihen, että mahdollisimman vähän lauhdetta hylättäisiin. Tavoitteena onkin tutkia, onko hylkäysperusteet lauhteelle liian tiukat ja kuinka lauhdetta voidaan hyödyntää tehokkaammin. Tällä hetkellä lauhteen hylkäysraja on asiakkaan johtokyky mittauksessa 15 µS/cm ja laitoksen puolella 27 µS/cm. Seuraavien kappaleiden tarkoituksena on selvittää, voidaanko näitä rajoja nostaa ja näin ollen ottaa laitokselle enemmän lauhdevettä kuin aiemmin.

#### 6.1.1 Lauhdeveden määrän tarkastelu laitoksella

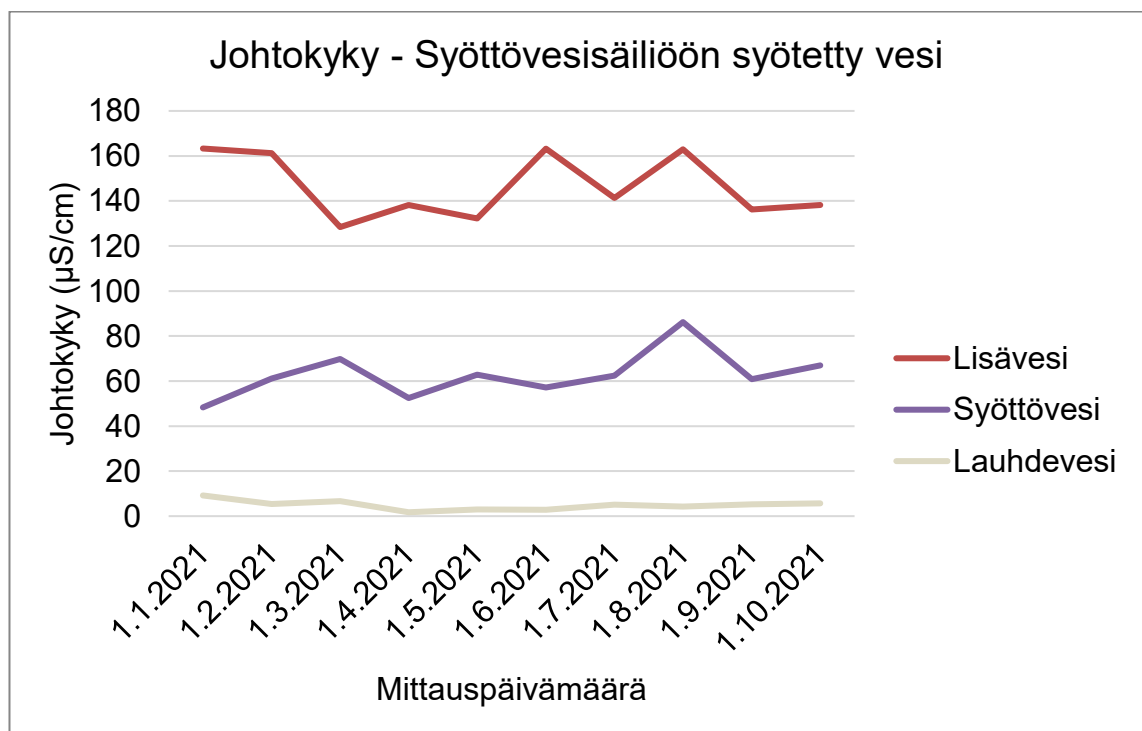
Tarkkaa lukemaa käyttöön otetun ja hylätyn lauhteen suhteesta on vaikea saada, sillä mittauksissa on ollut ongelmia. Kuitenkin kokonaislukujen perusteella hylätyn ja käyttöön otetun lauhteen suhde laitoksella on noin 0,5 %, joka tarkoittaa, että 99,5 % laitokselle saapuvasta lauhteesta kerätään talteen ja hyödynnetään uudestaan. Laitokselle otettavan lauhteen massavirta on keskiarvoltaan noin 1 kg/s. Tämä on suhteellisen korkea määrä, mutta sitä voidaan kasvattaa, jos asiakkaalla hylättyä lauhdetta hyödynnetään enemmän.

Kuten aiemmassa kappaleessa huomattiin, laitokselle tuleva lauhdevesi on hyvälaatuista johtokyvyn osalta. Mittaustulosten ero laaturajaan on kuitenkin niin

suuri, että sitä tulee tarkastella uudestaan. Tutkittavana onkin, voiko lauhdevettä syöttää syöttövedeen enemmän ja vähentää sen laskemista viemäriin.

Lauhdeveden hyödyntämisessä tutkitaan nyt pelkästään johtokyvyn rajoja, koska pH-luvun säätely syöttövedessä on ratkaistavissa Boilex-kemikaalin annostelulla.

Kuviossa 7 vertaillaan lauhteen johtokykyä syöttövesisäiliön veden johtokykyyn. Lisäksi vertailussa on myös lisäveden johtokyky. Kuviosta voidaan todeta, että lauhdeveden tuoma suolapitoisuus per kuutiometri on selkeästi pienempi mitä syöttöveden suolapitoisuus on. Syöttöveden johtokyvyn laaturaja on  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$  ja lisäksi jatkuvassa seurannassa olevan johtokyvyn hälytysraja on  $150 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Kuten aiemmin mainittiin, vuoden aikana syöttöveden johtokyvyn keskiarvo näillä mittausarvoilla on noin  $63 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Voidaan siis todeta, että lauhdeveden nykyinen johtokyky antaa mahdollisuuden syöttää sitä enemmän syöttöveden joukkoon.



Kuvio 7. Syöttövesi ja syöttövesisäiliöön syötetyt vedet.

Laitoksen puolella ei siis hylätä lauhdetta kovinkaan paljon, vaan asiakkaan puolella tapahtuva hylkäys on merkittävästi suurempaa. Suurta lisäarvoa laitoksen vedensäästämiseksi ei tule, vaikka lauhdetta hyväksyttäisiin laitoksessa

reilusti enemmän kuin nyt. Erityisesti asiakaspäässä hylkäysrajaa nostamalla voitaisiin tehostaa lauhdeveden hyödyntämistä suuresti. Hylkäysrajat ovat Turku Energian käyttöhenkilökunnan hallinnoimia, niin laitoksen kuin asiakaspään osalta.

Lauhteen hylkäysmäärästä laitoksella ei ole tarkkaa dataa, joten voimme arvioida saatavilla olevien tietojen perusteella hylätyn lauhteen määrää. Lauhteen hylkäysprosentti on laitoksella hyväksytyyn ja hylätyn lauhteen suhde.

$$\text{Hyväksytyyn lauhteen virta} \approx 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Lauhteen hylkäysprosentti} \approx 0,5\%$$

$$\text{Hylätyn lauhteen määrä / vuorokausi} = \left(86400\text{s} * 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) * 0,005 = 432 \text{ kg}$$

Kaava 5. Hylätyn lauhteen määrä.

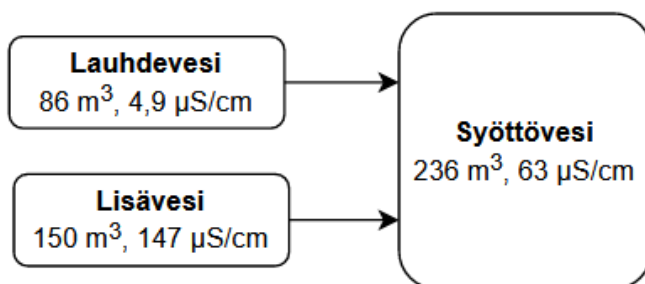
Kaavasta 5 voidaan nähdä, että vuorokaudessa lauhdetta otetaan laitokselle noin 86 m<sup>3</sup> ja alle 0,5 m<sup>3</sup> päätyy hylkyyn. Yhdessä vuorokaudessa laitoksella tarvitaan siis karkean arvion mukaan 150 m<sup>3</sup> lisävettä ja noin 86 m<sup>3</sup> lauhdetta syöttöveden valmistukseen. Syöttöveden tarve vuorokaudessa on siis noin 236 m<sup>3</sup>. Huomioitavaa on kuitenkin se, että luvut ovat keskiarvoja ja lauhdetta ei synny aina yhtä paljon. Kuitenkin laskun tarkoituksena on antaa suuntaa sille, kuinka paljon lauhdevettä hylätään laitoksella ja mikä on laitoksen vedentarve.

Hylätyn lauhteen määrästä ei selviä se, kuinka paljon lauhdetta hylätään asiakaspuolella. Osa asiakkaista käyttää höyryn niin, että sitä ei palaa laitokselle yhtään, ja osa palauttaa kaiken muodostuneen lauhteen laitokselle. Hylkäysrajana lauhteelle on asiakaspuolella 15 µS/cm, vaikka laitoksen hylkäysrajana on 27 µS/cm. Lauhteensiirron yhteydessä johtokyky voi mahdollisesti nousta hieman.

### 6.1.2 Lauhdeveden hylkäysrajojen tarkastelu

Mittauksien perusteella asiakaspään hylkäysrajaa voidaan nostaa selkeästi. Hypoteettisesti tarkastellen uudet rajat voisivat olla asiakaspäässä  $25 \mu\text{S}/\text{cm}$  ja laitospuolella  $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Oletetaan, että tällöin laitokselle saapuvan lauhteen määrä on  $110 \text{ m}^3$  vuorokaudessa. Tällöin lisäveden tarve laskisi  $126 \text{ m}^3$ :iin vuorokaudessa ( $236 \text{ m}^3$  syöttövedettä vähennettynä  $110 \text{ m}^3$  lauhdevettä). Jos syöttöveden määrä kokonaisuudessaan pysyy samana, olisi syöttövedestä tällöin 47 % lauhdevettä.

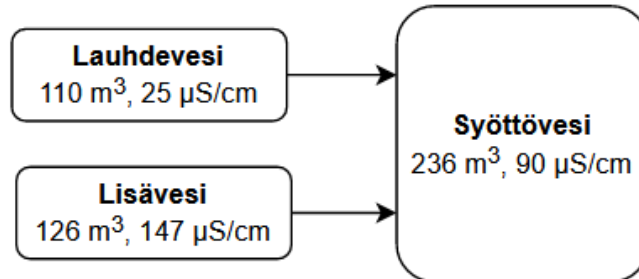
Syöttöveden uutta johtokykyä tarkastellessa tulee huomioida, että syöttövesi koostuu lisävedestä ja lauhdevedestä. Lisäveden johtokyvyn keskiarvo on ollut mittausajankohtana  $147 \mu\text{S}/\text{cm}$  (LIITE1). Kuviossa 8 on taselaskennalla esitetty nykyinen tilanne syöttöveden sisältämien lauhde- ja lisävesien vuorokautisista määristä sekä johtokyvyistä. Kuvion taselaskenta ei syöttöveden johtokyvyn osalta pidä täysin paikkaansa, sillä sen arvo perustuu keskiarvoon mittausajankohtana. Suoralla taselaskennalla syöttöveden johtokyky olisi noin  $95 \mu\text{S}/\text{cm}$ .



Kuvio 8. Keskiarvoihin perustuva lähtötilanne.

Lauhdeveden johtokyvyn aiempi keskiarvo oli  $4,9 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Oletetaan, että lauhdeveden johtokyvyn uusi keskiarvo on nyt  $25 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Kuviossa 9 on esitetty uudet arvot hypoteesin perusteella. Kuvion 9 perusteella syöttöveden johtokyky olisi nyt  $90 \mu\text{S}/\text{cm}$ , ja veden valmistamisen tarve laskisi  $24 \text{ m}^3$  vuorokaudessa. Syöttöveden johtokyvyksi on nyt ilmoitettu suoraan taselaskennasta saatu arvo.

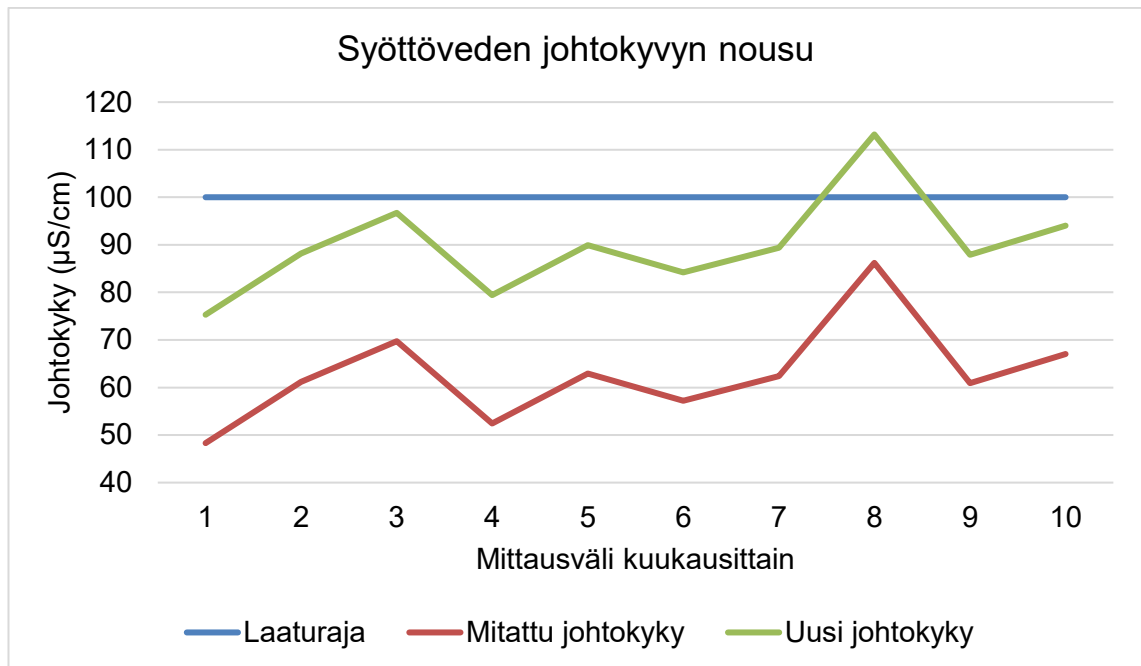
Jos vertaamme lähtötilanteeseen, todellinen johtokyvyn keskiarvo olisi luultavasti pienempi.



Kuvio 9. Hypoteesissä esitetyt uudet arvot.

Syöttöveden johtokyvyn vaihtelun muutokset on esitetty kuviossa 10. Siinä nähdään johtokyvyn muutos verrattuna laaturajaan ja mittaustulosten mukaiseen käyrään. Kasvu on selkeä, mutta sen pitäisi mahdollistaa suuremmat lauhdemäärät ja pitää myös syöttövesi asetetussa laaturajassa. Tällä tavoin lisäveden valmistustarve laskee merkittävästi ja laitoksella kyetään hyödyntämään lauhteesta saatu lämpöenergia.





Kuvio 10. Syöttöveden johtokyvyn nousu.

Ongelmana tässä tilanteessa on tietenkin kohoavat hetkelliset huippuarvot, jotka kuvion 10 mukaan voivat välillä ylittää laaturajan. Laaturajan ylitys ei kuitenkaan ole todennäköisesti kovin yleistä, sillä on lähes mahdotonta, että lauhdeveden keskiarvo näillä arvoilla olisi niin suuri kuin 25  $\mu\text{S}/\text{cm}$  jos asiakaspään hylkäysraja on 25  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Tämä muutos tarkoittaisi myös sitä, että lauhteen hylkäysmäärät laitoksen puolella kasvavat. Lisäksi vaikutus näkyy todennäköisesti myös kattilavedessä, joten säätöjä tarvitaan myös lieriön ulospuhallukseen. Arviossa ei ole otettu huomioon esimerkiksi ulospuhallussäiliön kykyä vastaanottaa lauhdetta tai lauhteen määrän suurta vaihtelua.

Rajojen muuttaminen vaatii tietenkin testausta ja säätämistä, mutta näillä arvoilla pysyttäisiin asetetuissa rajoissa niin lauhdeveden, kuin syöttövedenkin johtokyvyn osalta. Nämä laskut perustuivat vain arvioihin, ja todellisuudessa niissä voi olla joitain eroja. Niillä pyrittiin näyttämään ja todentamaan säästömahdollisuus. Tässä tapauksessa vedensäästö tulisi lisäveden

valmistustarpeen vähentämisestä, joka on noin  $24 \text{ m}^3$  ( $150 \text{ m}^3 \rightarrow 126 \text{ m}^3$ ) vuorokaudessa.

## 6.2 Ulospuhalluksen optimointi

Veden puhalluksen määrä lieriöstä tulee laskea tarkoin, jotta veden laatu ei ole huonoa. Kuitenkaan vettä ei haluta puhaltaa liikaa ulos, koska se on jo käsiteltyä ja lämmitettyä. Lisäksi myös ulospuhallettu vesi tulee korvata lisävedellä, joka lisää kustannuksia.

Tällä hetkellä Artukaisissa vettä ulospuhalletaan noin 30 minuutin välein ja ulospuhallus kestää 15 sekuntia. Eli ulospuhallus tapahtuu säännöllisesti ja ennalta määritettyjen arvojen mukaan. Ulospuhalluksen keston suositellaan olevan 10–20 sekuntia. Ulospuhallus on kuitenkin tehokas vain muutaman sekunnin ajan ja jos sen kesto on pidempi, voi aiheutua turbulenssia, jolloin epäpuhtaudet pääsevät lieriöstä putkistoihin. Laitoksen 15 sekunnin ulospuhallus on suositelluissa rajoissa, mutta keston vähentämistä tulee tarkastella ja mahdollisesti muuttaa. (Taplin 2014, 147) Riittävä ulospuhallus voi myös tulla alkuperäisellä syklillä, jossa ulospuhalluksen kesto on vähentynyt. Tämä voisi myös tuoda säästöä vedenkulutukseen.

Riittävä ulospuhalluksen määrä lieriöstä on laskettu kaavassa 6. Tyypillisesti ulospuhallusvirran suhde höyryvirtaan on noin 1–2 % (Huhtinen ym. 2008, 40). Kaavan 6 avulla arvioidaan ulospuhallettavan kattilaveden määrä siten että se suhteutetaan höyryvirtaan. Tämä tehdään siksi, että tarkkaa ulospuhallusmäärää ei ole saatavilla laitoksen järjestelmästä, ja jotta saataisiin käsitys potentiaalisesta veden säästästä. Muuntoasteikkona on käytetty että  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  vastaa  $640 \text{ mg}/\text{kg}$ .

$$z = \frac{a - b}{A - a}$$

missä

$z = \text{Ulospuhallusvirran suhde höyryvirtaan}$

$a = \text{Syöttöveden suolapitoisuus} \left[ \frac{mg}{kg} \right]$

$b = \text{Höyryn lauhteen suolapitoisuus} \left[ \frac{mg}{kg} \right]$

$A = \text{Kattilaveden suolapitoisuuden hälytysraja} \left[ \frac{mg}{kg} \right]$

$$z = \frac{42,9 \frac{mg}{kg} - 8,6 \frac{mg}{kg}}{640 \frac{mg}{kg} - 42,9 \frac{mg}{kg}} = 5,7 \%$$

Kaava 6. Ulospuhallusvirran suhde höyryvirtaan (Huhtinen ym. 2008, 40).

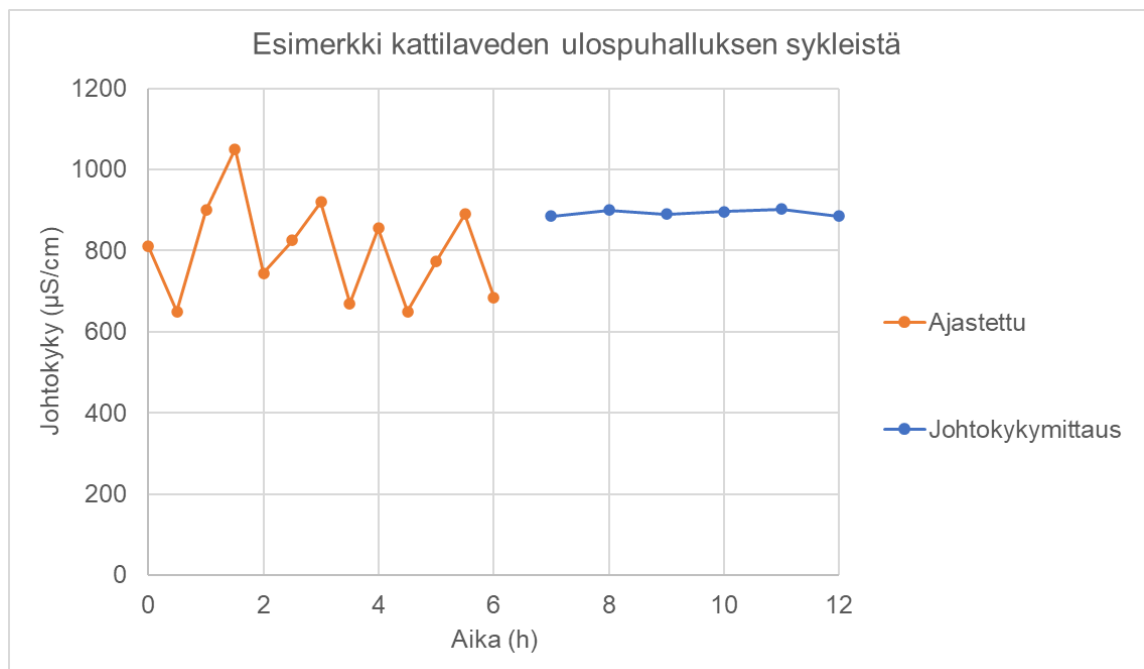
Lisäämällä kaavasta saatu 5,7 % laitoksen maksimihöyryvirtaan (5,4 kg/s) saadaan tulokseksi noin 5,7 kg/s. Tästä tuloksesta 5,7 % tarkoittaa, että laitoksen ulospuhallusvirta on noin 0,32 kg/s. Tämä tarkoittaa täydellä kulutuksella sitä, että laitokselta poistuu lieriön ulospuhallusvirran mukana noin 27,6 m<sup>3</sup> vettä vuorokaudessa. Tästä voi päätellä, että yhden ulospuhalluksen aikana vettä poistuu lieriöstä hieman yli 0,5 m<sup>3</sup>.

Lasku on suuntaa antava, sillä laitos ei ole jatkuvasti täydellä teholla ja ulospuhallusta ei ole määritetty todennäköisesti juuri tällä kaavalla, mutta saadaksemme suuruusluokan kohteen vedenkulutukselle, käytämme näitä arvoja. Lisäksi laskun epätarkkuutta lisää se, että kyseessä ei ole johtokyvyn mittaukseen perustuva ulospuhallus, vaan arvona käytettiin 1000 µS/cm, joka on hälytysrajana lieriön johtokyvyille.

Lieriön ulospuhalluksessa voidaan saavuttaa melko suuri säästö siten, että ulospuhallus tapahtuisi vain silloin, kuin tietty raja kattilaveden johtokyvyssä ylittyy. Vaihtamalla lieriön ulospuhallus johtokyky mittaukseen perustuvaksi, voidaan vähentää kolmannes lieriön veden ulospuhallusmäärästä. (Taplin 2014,

146–147) Hyöty perustuisi siis ulospuhallusten harventamiseen niin, että se tapahtuu vain tarpeen vaatiessa. Tämän kaltainen hyöty on kuitenkin riippuvainen laitoksen tilasta ja ulospuhalluksen tarpeesta, joten se ei ole taattua. Haasteena siinä on myös johtokykymittauksen luotettavuus. Mittauksen ollessa epätarkka tai epäkunnossa, voivat haitat ja vauriot järjestelmälle olla mittavia.

Kuvassa 6 on esimerkki johtokyvyn vaihtelusta ajastetun ulospuhalluksen ja johtokykymittaukseen perustuvan ulospuhalluksen eroista. Kuva ei ole laitoksen mittaustuloksista, mutta se on laitettu vastaamaan suuruusluokaltaan Artukaisten johtokykyjä ja niiden vaihtelua. Kuvan tapauksessa voidaan tulkita, että ajastettu ulospuhallus puhaltaa useammin ja toisinaan myös aivan turhaan. Esimerkiksi Artukaisten laitoksen kattilaveden johtokyky on todettu olevan hyvä noin 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kohdalla ja ajastettu ulospuhallus puhaltaa silti, vaikka johtokyky olisi merkittävästi matalampi. Mikäli käytössä olisi luotettavaan ja varmatoimiseen mittaukseen perustuva ulospuhallus, saataisiin johtokyky pidettyä paremmin hallinnassa ja halutussa arvossa. Näin välttyttäisiin myös turhilta ulospuhalluksilta.



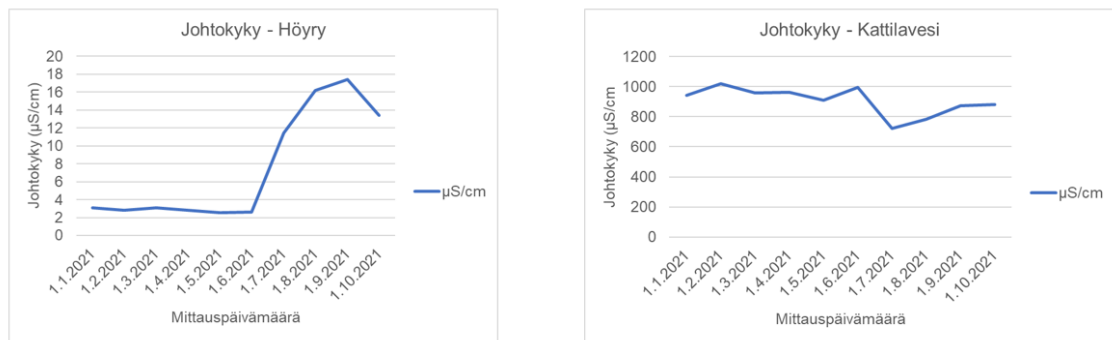
Kuva 6. Esimerkki ulospuhalluksen sykleistä (Taplin 2014, 147).

Luotettavin vaihtoehto olisi yhdistää molemmat keinot niin, että olisi mittaukseen perustuva ulospuhallus, jonka lisäksi ajastettu ulospuhallus toimisi harvemmissä määrin turvaten kattilaveden laadun, mikäli mittauksessa on ongelmia. Se, että onko tämä hyödyllistä tälle laitokselle ja onko ulospuhallettavan veden vähentäminen merkittävää, selviää vain kokeilemalla ja seuraamalla veden laatua ja käyttäytymistä pitkäkestoisesti. Vedensäätö tässä tapauksessa olisi aiemman väitteen mukaan täydellä kulutuksella noin 9,2 m<sup>3</sup> vuorokaudessa. (Taplin 2014, 146–147)

### 6.3 Höyryn noussut johtokyky

Höyryn ja kattilaveden johtokyvyn muutoksia on vertailtu kuvassa 7. Hälyttävänä arvona mittauksissa voidaan pitää höyryn noussutta johtokykyä. Höyryn johtokyvyn laaturajana on 10 µS/cm ja se on noussut kesäkuun jälkeen ja ylittänyt laaturajan. Vuoden alkupuoliskon (tammikuu – kesäkuu) johtokykyjen keskiarvo on ollut höyryssä 2,8 µS/cm ja kattilavedessä 964 µS/cm. Tämän jälkeen (heinäkuu – lokakuu) keskiarvo on höyryn osalta noussut 14,6 µS/cm:iin ja kattilaveden osalta laskenut 815 µS/cm:iin.

Kuten aiemmin työssä käsiteltiin, lieriöllä on tärkeä tehtävä erottaa höyry ja kattilavesi toisistaan. Höyryn ja veden erottuessa keskenään kattilaveteen jää epäpuhtaudet ja höyry on lähestulkoon täysin puhdasta. Näiden mittaustulosten perusteella, kun kattilaveden suolapitoisuus laskee ja höyryn suolapitoisuus nousee, voi ongelma olla esimerkiksi lieriön ulospuhalluksessa ja lieriön erotusasteessa. Tästä ei kuitenkaan voida tehdä täysin varmaa oletusta, sillä kattilaveden ulospuhallukset ennen mittaushetkeä ja mittaustulosten otoskoko vaikuttavat asiaan merkittävästi. Myös revision jälkeisillä kohonneilla arvoilla on varmasti vaikutusta mittaustuloksiin. Johtokykyä tulee seurata, sillä höyryn johtokyvyssä on nähtävissä pientä laskua ja kattilaveden johtokyvyssä pientä nousua, joka voi tarkoittaa, että arvot ovat asettumassa ennalleen.



Kuva 7. Höyryn ja kattilaveden johtokyvyn muutosten vertailu.

Yhtenä toimenpiteenä voidaan tarkastella uudestaan kattilaveden ulospuhalluksen määrää. Ulospuhalluksen määrän hetkellinen nostaminen voi korjata asiaa melko helposti. Siinä tilanteessa on hyvä myös verrata, miten johtokyvyt ovat aiempina vuosina kyseisissä mittauspisteissä vuosiseisakin jälkeen käyttäytyneet. Eli onko kyseessä toistuva arvojen kohoaminen, vai jostain muusta asiasta johtuva kohoaminen. Mikäli asia toistuu vuosittain, voi ratkaisuna olla ulospuhalluksen määrän kasvattaminen hetkellisesti revision jälkeen.

Opinnäytetyön valmistumisen aikana laitoksella on lisätty kemikaalin annostelua syöttöveteen ja siellä seurataan sen vaikutusta johtokykyihin.

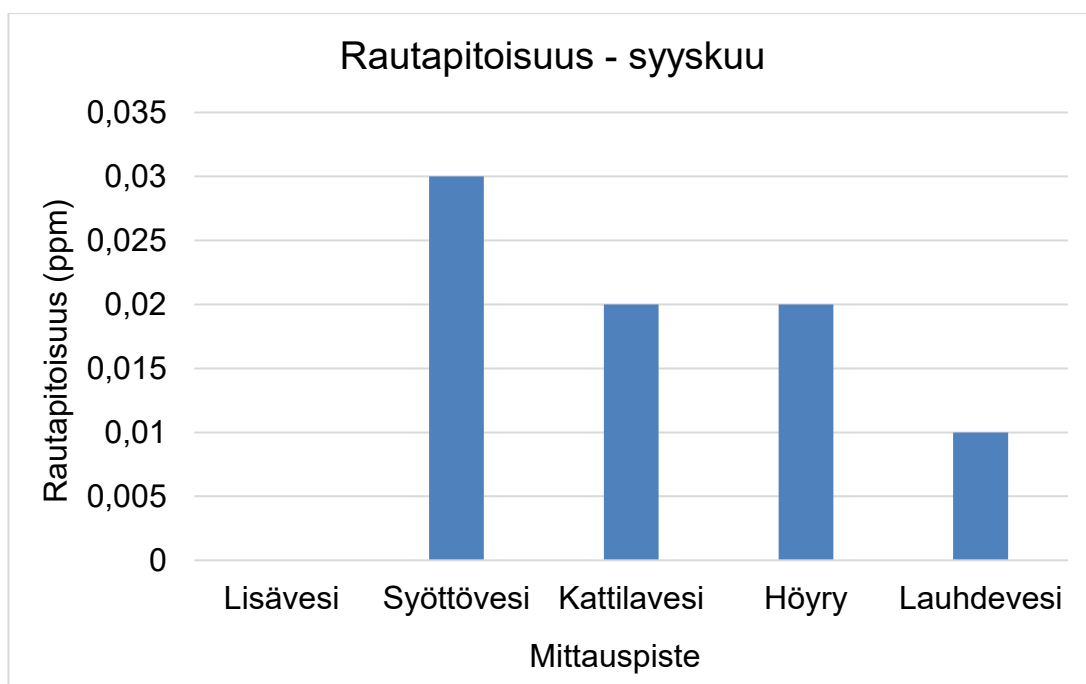
#### 6.4 Veden rautapitoisuuden syyt

Vedenlaadun valvonta ja hallinta laitoksella on vakaalla pohjalla, sillä vesinäytteenotot suoritetaan viikoittain ja jatkuva seuranta valvoo tärkeimpiä arvoja. Tämän avulla muutoksiin voidaan reagoida nopeasti ja ongelmatilanteet huonojen arvojen tapauksessa eivät ehdi kasvamaan suuriksi. Huolestuttavan suuria lukemia käytetyissä mittauksissa ei ollut, mutta kohonneita arvoja, sekä indikaatiota tulevista ongelmista on nähtävillä. Tässä kappaleessa käsitellään veden rautapitoisuutta ja sen tuomia haasteita.

Laitteistolle on ongelmallista, jos rautapitoisuus vedessä alkaa kasvamaan. Tämä aiheuttaa korroosiota, mutta se voi olla myös indikaatio kasvavasta

korroosiosta, jolloin putkesta irtoava materiaali näkyy kohonneena rautapitoisuutena.

Rautapitoisuudet vuoden ajalta ovat olleet melko vaihtelevat ja niissäkin tuloksissa korostuvat revision jälkeiset arvot, jotka ovat kohonneet. Kuviossa 11 on esitetty esimerkkinä mittauspisteiden mukaiset rautapitoisuudet syyskuun 2021 alussa. Kuvioista on pääteltävissä, että rauta ei kulkeudu veteen laitoksen ulkopuolelta lisäveden tai raakaveden mukana. Rautapitoisuuden laaturajan arvo ei ylity, eli sitä ei ole vielä huolestuttavaa määrää vedessä. Huomioitavaa on kuitenkin se, että tämän yksittäisen mittauskerran perusteella korroosiota on mahdollisesti syntymässä lisäveden ja syöttöveden mittauspisteiden välissä. Syöttöveden mukana siirtyvä rauta kulkeutuu näin ollen syöttöveden mukana kattilaveteen, höyryyn ja lauhdeveteen. Tämä aiheuttaa korroosiota myös muissa paikoissa, mikäli rauta reagoi hapen kanssa.



Kuvio 11. Syyskuun rautapitoisuudet.

Toimenpiteitä korroosiota vastaan on hyvin vähän, mikäli se leviää. Tärkeimpänä toimenpiteenä onkin huolehtia hapenpoiston tehokkuudesta ja näin ollen varmistaa, ettei rauta ja happi yhdessä pääse kiihdyttämään korroosiota.

## 7 Yhteenveto

Tässä työssä tarkoituksena oli antaa lyhyt yleinen kuvaus laitoksen perustoiminnoista ja tarkastella syvemmin sen veden käsittelyä sekä vedenlaatua. Työn tutkimuksellisessa osiossa korostuivat säästökeinot vedenkulutukselle ja laitteiden kestävyys. Erityisesti lieriön ulospuhalluksen säätäminen oli useassa kohdassa jonkinlaisessa roolissa. Työssä pyrittiin myös korostamaan sen merkitystä, sillä kyseessä on hieman kaksijakoinen toiminto vedenlaadun ja vedensäästön osalta. Toisaalta ulospuhallusta halutaan vähentää, sillä arvokasta ja käyttövalmista vettä puhalletaan viemäriin. Toisaalta sitä halutaan lisätä, jotta laitoksen laatuarvot täytyisivät ja vedenlaatu paranee. Keskitietä tähän aiheeseen ei tämän työn puitteissa löytynyt, mutta lieriön ulospuhalluksen veden- ja energiansäästön potentiaali on todettu useaan otteeseen merkittäväksi.

Artukaisten höyrylaitoksen vedenlaatu on mittausten perusteella melko hyvää. Tämä johtuu laitoksen nuoresta iästä, käytetyistä vedenkäsittelykeinoista, tarkasta valvonnasta ja ammattimaisesta käytöstä. Laitoksen vedenkäytön tehokkuudessa on kuitenkin nähtävillä viitteitä siitä, että potentiaalia kehitykselle löytyy.

Kehityskohteista tärkeimpänä oli lauhdeveden hyödyntämisen lisääminen. Vaikka työssä esitetyt laskut ja arviot sen hyödyntämisestä olivat suurpiirteiset, niistä ilmeni vahvasti se, että lauhdevettä voi käyttää enemmän. Ehdotetut hylkäysrajat tälle vähentäisivät radikaalisti veden kulutusta ja lisäisivät energiatehokkuutta. Vaikka arvot, kuten lauhdeveden määrän kasvu hylkäysrajaa nostettaessa, ovat vain karkeita arvioita, niin voidaan helposti puhua 10–15 m<sup>3</sup> vedensäästöstä vuorokautta kohden. Siinäkin tilanteessa, jos laitokselle palaavan lauhteen uusi määrä olisi vuorokaudessa alle arvioidun 110 m<sup>3</sup>, olisi myös johtokyvyn kasvu syöttövedessä pienempi, sillä siinä olevan lauhdeveden suhde pienenee.

Toisena kehityskohteena oli jo mainittu ulospuhalluksen optimointi. Tässä tapauksessa ei löydetty numeroiden avulla selkeää ratkaisua, mutta



kehitysehdotuksena sitä tulisi tarkkailla ja säätää useammin. Mikäli todetaan, että johtokykymittaukseen perustuva ulospuhallus on hyvä ratkaisu, täydellä teholla suhteessa höyryvirtaan laitoksen vedensäästö olisi noin 10 m<sup>3</sup> vuorokaudessa. Tämä keino ei ole yhtä varma tai turvallinen kuin vaikka lauhteen käsittelyn tapauksessa. Siinä on riskinsä ja sen toteuttaminen vaatii tarkan suunnittelun ja testauksen, jotta löydetään oikea säätö ulospuhallukselle, ettei puhallusmäärä myöskään lisäänty tämän johdosta. Kuten aihetta käsittelevässä kappaleessa todettiin, mittausten täytyy toimia erittäin tarkasti ja varmasti, jotta tämä keino olisi kannattava. Lisäksi ristiriitana on myös se, että seuraavaksi käsitellyssä kohdassa todetaan, että yksi keino ratkaista höyryn kohonnut johtokyky on lisätä lieriön ulospuhallusten määrää.

Mikäli tutkimusta tämän työn perusteella halutaan jatkaa esimerkiksi toimeksiantajan tai korkeakoulun puolesta, niin vesikemian ja syy-seuraussuhteiden laajamittaisempi käsittely höyrylaitoksen vedenkäsittelyprosessin osalta voisi tulla kysymykseen. Tämänkaltainen syväluotaavampi tutkimus voisi entisestään edistää laitoksen energia- ja kustannustehokkuutta.

## Lähteet

Antila, A.; Karppinen, M.; Leskelä, M.; Mölsä, H.; Pohjakallio, M. 2010. Tekniikan Kemia. 10.–12. painos. Helsinki: Edita.

Danstoker. 2003. Danstoker höyrykattilat. Ohjekirja.

Energiateollisuus ry 2007. Kaukolämmön kiertoveden käsittely. Viitattu 26.10.2021.

[https://energia.fi/files/840/SuositusKK3\\_2007\\_Kaukolammon\\_kiertoveden\\_kasittely.pdf](https://energia.fi/files/840/SuositusKK3_2007_Kaukolammon_kiertoveden_kasittely.pdf)

Huhtinen, M.; Kettunen, A.; Nurminen P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uudistettu painos. Helsinki: Edita.

Huhtinen, M.; Korhonen, R.; Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.

Järvinen, M. 2021. Haastattelu. Turku Energian työntekijää Markus Järvistä haastatteli 3.11.2021 Joona Salmi.

KPA Unicon Oy. 2018. Kattilalaitoksen käyttö- ja huolto-ohje Artukainen.

Motiva 2015. Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä. Viitattu 11.10.2021.

[https://www.motiva.fi/files/10350/Energiatehokas\\_hoyry-ja\\_lauhdejarjestelma\\_VERKKOKOULUTUSAINEISTO\\_2015.pdf](https://www.motiva.fi/files/10350/Energiatehokas_hoyry-ja_lauhdejarjestelma_VERKKOKOULUTUSAINEISTO_2015.pdf)

Oy E.Sarlin AB. 1978. Teollisuuden höyry- ja lauhdejärjestelmät. Lahti: Sarlin.

Paju, P. 2020. Höyrykattilalaitoksen vesi ja höyry. Opetusmateriaali.

Prominent. 2018. Käyttöohjeet. Prominent vedenpehmentimet.

Richardson, D. C. 2014. Plant equipment and maintenance engineering handbook. New York: McGraw-Hill Education.

Rokitek Oy. 2021. Vesianalyysit 1.1.2021 – 1.10.2021. Rautila.

SFS-EN ISO 5667-1. Water quality. Sampling. Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques. European committee for standardization.

SFS-EN ISO 5667-3. Veden laatu. Näytteenotto. Osa 3: Vesinäytteiden kestävänto ja käsittely. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

SFS-EN ISO 10523. Water quality. Determination of pH. European committee for standardization.

SFS – EN 12952. Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 12: Laatuvaatimukset syöttö- ja kattilavedelle. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

SFS – EN 27888. Veden laatu. Sähköjohtavuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

Solenis 2014. Boilex E460C tuote-esite. Viitattu 7.10.2021.  
<http://www.rokitek.fi/hyrykattilakemikaaliesitteet/Boilex%20E460%20A,%20B,%20BP,%20C%2025.10.2018.pdf>

Taplin, H. 2014. Boiler plant and distribution system optimization manual. 3. painos. Lilburn, Georgia: The Fairmont Press, Inc.

Turku Energia Oy 2021. Kaukolämmön tuotantolaitokset. Viitattu 29.9.2021.  
<https://www.turkuenergia.fi/vastuullista-energiaa/kaukolammon-tuotanto-ja-alkupera/kaukolammon-tuotantolaitokset/>

Turun Vesihuolto Oy 2021. Usein kysyttyä. Viitattu 15.10.2021.  
<https://www.turunvesihuolto.fi/vesihuolto/henkiloasiakkaat/usein-kysyttya>

Ympäristö.fi 2019. Pohja- ja kaivoveden kovuus. Viitattu 30.11.2021.  
[https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/rakennushanke/talotekniset\\_jarjestelmat\\_lvi/vedenhankinta\\_kai\\_vosta/Kaivoveden\\_laatu\\_ja\\_riittavyys/Pohja\\_ja\\_kaivoveden\\_kovuus](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/rakennushanke/talotekniset_jarjestelmat_lvi/vedenhankinta_kai_vosta/Kaivoveden_laatu_ja_riittavyys/Pohja_ja_kaivoveden_kovuus)

## Liitteet

Vesianalyysi - Höyry											
Mittauspäivämäärä		1.1.2021	1.2.2021	1.3.2021	1.4.2021	1.5.2021	1.6.2021	1.7.2021	1.8.2021	1.9.2021	1.10.2021
pH	-	7,81	8,11	8,07	8,04	8,04	8,06	8,07	8,02	8,07	8,07
Johtokyky	µS/cm	3,1	2,84	3,1	2,84	2,58	2,62	11,41	16,2	17,4	13,43
Rauta (Fe)	ppm	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,02	0
Kokonaiskovuus	dH	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Vesianalyysi - Syöttövesi											
Mittauspäivämäärä		1.1.2021	1.2.2021	1.3.2021	1.4.2021	1.5.2021	1.6.2021	1.7.2021	1.8.2021	1.9.2021	1.10.2021
pH	-	9,66	9,24	9,57	9,62	9,16	9,68	9,64	9,12	9,12	9,97
Johtokyky	µS/cm	48,3	61,2	69,75	52,4	62,9	57,2	62,4	86,2	60,9	67,02
Kokonaiskovuus	dH	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Rauta (Fe)	ppm	0,01	0	0	0	0	0	0	0,02	0,03	0,03
Boilex E470	ppm	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
Vesianalyysi - Lauhdevesi											
Mittauspäivämäärä		1.1.2021	1.2.2021	1.3.2021	1.4.2021	1.5.2021	1.6.2021	1.7.2021	1.8.2021	1.9.2021	1.10.2021
pH	-	6,24	6,33	5,93	6,71	6,14	7,02	8,91	6,84	9,13	9,26
Johtokyky	µS/cm	9,2	5,42	6,73	1,73	2,95	2,82	5,04	4,24	5,21	5,74
Kokonaiskovuus	dH	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Rauta (Fe)	ppm	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,04
Vesianalyysi - Kattilavesi											
Mittauspäivämäärä		1.1.2021	1.2.2021	1.3.2021	1.4.2021	1.5.2021	1.6.2021	1.7.2021	1.8.2021	1.9.2021	1.10.2021
pH	-	11,42	11,21	11,33	11,21	11,81	11,24	11,32	11,12	11,26	11,66
P-luku	mmol/l	3,6	3,9	3,8	4,2	4,2	4,4	4,8	5,3	5,1	5,2
Johtokyky	µS/cm	942,6	1021	957,2	961	911	993,2	721,2	784	874,2	881,1
Kokonaiskovuus	dH	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Silikaatti (SiO <sub>2</sub> )	ppm	38	32	32	32	28	28	28	32	28	28
Rauta (Fe)	ppm	0,07	0,04	0,03	0,03	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,02
Vesianalyysi - Lisävesi											
Mittauspäivämäärä		1.1.2021	1.2.2021	1.3.2021	1.4.2021	1.5.2021	1.6.2021	1.7.2021	1.8.2021	1.9.2021	1.10.2021
pH	-	8,31	8,52	7,93	7,84	7,83	7,78	8,04	8,04	8,04	8,04
Johtokyky	µS/cm	163,3	161,2	128,4	138,2	132,2	163,2	141,3	163	136,19	138,2
Kokonaiskovuus	dH	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Rauta (Fe)	ppm	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0	0	0	0	0

## Liite 1. Vesinäytteiden mittaustulokset