

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SAVUKAASUPESURIN JA ILMAN ESILÄMMITTIMEN LAUHTEEN HYÖDYNTÄMINEN KAUKOLÄMPÖ- VOIMALAITOKSELLA

Kuhmon Lämpö Oy

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Esko Polvinen	
Työn nimi Savukaasupesurin ja ilman esilämmittimen lauhteen hyödyntäminen kaukolämpövoimalaitoksella	
Päiväys 31.3.2024	Sivumäärä/Liitteet 45/12
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuhmon Lämpö Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä selvitettiin savukaasujen lämmön talteenotosta muodostuvan savukaasulauhteen hyötykäyttöä lämpövoimalaitoksen vettä käyttävissä prosesseissa. Työn tilaaja on Kuhmon Lämpö Oy, joka tuottaa puupolttoaineita polttamalla kaukolämpöä, sähköä ja teollisuuden prosessilämpöä asiakkaiden tarpeisiin. Lämpövoimalaitoksen savukaasujen lämmön talteenotoissa syntyy merkittäviä määriä lauhdetta, jotka käsittelyn jälkeen johdetaan hyödyntämättöminä viemäriin ja läheiseen vesistöön. Laitoksen prosessit käyttävät merkittäviä määriä kunnallista raakavettä, minkä korvaaminen savukaasulauhteella tehostaisi laitoksen sisäisiä kiertoja ja vähentäisi riippuvuutta ulkoisen veden käytöstä samalla vähentäen jäteveden virtausta laitoksen ulkopuolelle.</p> <p>Työssä selvitettiin laitoksen raakavettä käyttävien prosessien vedenkulutukset ja niiden jatkuvuutta tarkasteltiin erilaisilla aikaväleillä, huomioiden olemassa olevia vedenkäsittelylaitteita. Tilaajan laitoksella olevien savukaasujen lämmön talteenottojen lauhdemääriä selvitettiin automaatiojärjestelmien keräämistä historia-tietokannoista ja tuotettujen energiamäärien avulla lasketuista lauhdemääristä. Lauhteen ja kunnallisen raakaveden kemiallista sisältöä tarkasteltiin yhdessä laitetoimittajien kanssa tarvittavien laitteistojen kartoittamiseksi. Suunnittelussa otettiin huomioon laitoksella olevat vedenkäsittelylaitteistot, joiden käyttämä veden laatu määrittäi laiteinvestointien laajuutta ja käytettävää tekniikkaa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selvitys savukaasulauhteen käyttömahdollisuuksista raakavettä käyttävissä prosesseissa pienellä kaukolämpövoimalaitoksella ja tarvittavat laitteistot lauhteenpuhdistusprosessiin. Työstä saatiin laskelmat veden käyttökohteiden kulutustiedoista ja virtaamat käytön ajalta. Vesimääriä verrattiin muodostuvien savukaasulauhteiden määriin ja pohdittiin sen muodostumisen vaikutusta erilaisilla laitoksen ajomalleilla. Suurimmat kulutuskohteet olivat täyssuolanpoistetun lisäveden ja pehmenetyn kaukolämmön lisäveden valmistus, joille syötettävää raakavettä voi korvata tähän soveltuvalla laitteistokokonaisuudella. Työn perusteella voidaan suositella tarvittavia toimia hankkeen käynnistämiseksi ja sen kustannusten selvittämiseksi.</p>	
Avainsanat Savukaasupesuri, lasiputkilämmönsiirrin, lämmön talteenotto, vedenkäsittely, savukaasulauhde	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Esko Polvinen	
Title of Thesis Utilization of Flue Gas Scrubber and Air Preheater Condensate at a District Heating Power Plant	
Date 31 March 2024	Pages/Appendices 45/12
Client Organisation /Partners Kuhmon Lämpö Oy	
<p>In this thesis, the utilization of the flue gas condensate formed in the processes of the district heating power plant was investigated. The client of the thesis was Kuhmon Lämpö Oy, which produces district heat, electricity, and industrial process heat for customers by burning wood-based biofuels. In heat recovery of Kuhmon Lämpö a significant amount of condensate is produced. This condensate is discharged into the sewer after treatment. The plant's processes use large amounts of municipal raw water, which could be replaced with flue gas condensate. This could make the plant's internal water cycles more efficient and reduce dependence on the use of municipal raw water, while reducing the flow of wastewater outside the plant.</p> <p>The water consumption of the processes and the production of condensate was studied in this thesis. The stability of these was compared at different time intervals. The quality of water and condensate was investigated, and the existing water purification equipment was investigated for results and conclusions. The quantities of flue gas heat recovery condensate and raw water at the client's facility were determined from historical databases and the condensate quantities were calculated based on the recovered energy production. The chemical content of the condensate and raw water was investigated for the selection of filtration and cleaning equipment technology. In the design the old existing water treatment equipment at the plant was considered.</p> <p>Based on the results, a study was prepared on the possibilities of using flue gas condensate in the utilization processes of the raw water in a small district heating power plant. As a result of the work, also a recommendation on the equipment needed to clean the condensate was given. According to the amount of water and condensate flows, it was concluded that the condensate is sufficient to replace raw water. The amount of water was compared to the volumes of flue gas condensate formed and to the effects of its formation in different operating situations. Deionized make-up water units and softened make-up water units had the biggest water consumption. Based on the work, necessary actions can be recommended in client's plant for starting the project and finding out its costs.</p>	
Keywords Flue gas condensate, heat recovery, glass tube heat exchanger, flue gas condenser, flue gas scrubber	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	TILAAJAN ESITTELY	9
2.1	Kuhmon lämmön laitteistot.....	9
2.2	Lämmön talteenottolaitteistot Kuhmon Lämmöllä	10
2.2.1	Pesuri	10
2.2.2	Lasiputkilämmönsiirrin	10
3	LÄMMÖN TALTEENOTTO.....	12
3.1	Savukaasun lämmön talteenotto	12
3.2	Yleistä savukaasupesureista	13
3.3	Yleistä lasiputkilämmönsiirtimistä	14
4	VEDENKÄSITTELY.....	14
4.1	Mekaaninen suodatus ja selkeytys	15
4.2	Koagulaatio	15
4.3	Kovuuden poisto.....	15
4.4	Suolanpoisto.....	16
5	TILAAJAN VEDENKÄSITTELY	17
5.1	Vedenkäsittelylaitteet.....	17
5.1.1	Ioninvaihdettu lisävesi	17
5.1.2	Pehmennetty kaukolämmön lisävesi.....	17
5.1.3	Lämmön talteenottolaitteistojen lisävesi ja arinatuhkan sammutusaltaat	18
5.2	Lasiputkiluvon lauhteenkäsittely.....	18
5.3	Savukaasupesurin lauhteenkäsittely	18
6	RAAKAVESIMÄÄRIEN KARTOITUS	20
6.1	Raakaveden käyttö Kuhmon Lämmöllä	20
6.2	Vesimäärien kartoitus.....	21
7	LAUHTEN JA RAAKAVEDEN VERTAILU	23
7.1	Kunnallinen raakavesi	23
7.2	Savukaasulauhde.....	24
7.2.1	Kemiallinen koostumus	24
8	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	25
8.1	Raakaveden korvattavuus.....	25

8.2	Laitteistot	26
8.2.1	Mittaukset ja veden laadun varmistus	27
8.2.2	Suodatuslaitteistot	27
8.2.3	Säiliöt ja pumppaus	28
8.3	Johtopäätökset	28
9	POHDINTAA	30
	LÄHTEET	32
	LIITE 1: SAVUKAASUPESURIN PI-KAAVIO, SALAINEN	34
	LIITE 2: LASIPUTKILUVON TALTEENOTTOPROSESSIN AJOKUVA, SALAINEN	35
	LIITE 3: PUHDISTETUN LISÄVEDEN LAATU	36
	LIITE 4: KUNNALLISEN RAAKAVEDEN MÄÄRITYSTULOKSET	37
	LIITE 5: SAVUKAASUPESURIN LAUHTEN SEURANTA-ANALYYSIT	40
	LIITE 6: SAVUKAASUPESURIN LAUHTEN TAKUUMITTAUSARVOT	43
	LIITE 7: LASIPUTKILUVON PI-KAAVIO, SALAINEN	45
	KUVALUETTELO	
	KUVA 1. Kuhmon Lämmön savukaasupesurin lauhde- ja savukaasupiirit (Polvinen, 2024)	13
	KUVA 2. Lasiputkiluvon savukaasu ja ilmavirrat (Polvinen, 2024)	14
	KUVA 3. Savukaasupesurin lauhteenkäsittelyn vaiheet (Polvinen, 2024)	19
	KUVA 4. Raakaveden kulutus (Polvinen, 2024)	20
	KUVA 5. Kaukolämpöverkon lisäveden tarve. (Polvinen, 2024)	22
	KUVA 6. Raakavesi ja lauhtemäärät (Polvinen, 2024)	23
	KUVA 7. Savukaasupesurin ja Urbas lauhtutuksen lauhtemäärät (Polvinen, 2024)	26
	KUVA 8. Lauhteen puhdistusvaiheet (Polvinen, 2024)	28

LYHENTEET JA KÄSITTEET

BFB	Bubbling fluidized bed / kupliva leijukerrospeti
CFB	Circulating fluidized bed / kierto-leijukerrospeti
CHP	Combined heat and power / Kaukolämmön ja sähkön yhteistuotanto
Cl	Kloori
Cl ⁻	Kloridi
CO ₂	Hiilidioksidi
DCS	Distributed Control Systems / hajautettu ohjausjärjestelmä
EDI	Electrodeionization
H ⁺	Vetyioni
HMI	Human Machine Interface / automaation käyttöliittymä
K	Kalium
LTO	Lämmön talteenotto
LUVO	Luftvorwärmer/ ilman esilämmitin
MB	Mixed Bed / sekaioninvaihdin
Mg	Magnesium
Na	Natrium
OH ⁻	Hydroksidi-ioni
pH	Aineen happamuus
PHD	Process History Database / historiatietokanta
RO	Reverse Osmosis / käänteisosmoosi
S	Rikki
SiO ₂	Silikaatti
SO ₄ ²⁻	Sulfaatti

1 JOHDANTO

Vettä käytetään monilla teollisuuden aloilla ja sen saatavuus on välttämätöntä tuotannon prosesseissa vaikean tai mahdottoman korvattavuuden takia. Vesi on monikäyttöinen elementti ja esimerkiksi hyvä fluidi lämmönsiirrossa paljon lämpöenergiaa tai jäähdytystä vaativissa prosesseissa. Maailman vedestä 97,5 % on suolaista ja 2,5 % makeaa vettä, joka asettaa makean veden käytölle huomattavia rajoitteita monin paikoin ympäri maailmaa. Makean veden kulutus kasvaa globaalisti teollisuuden, energiantuotannon ja maatalouden tarpeiden kasvaessa väestönkasvun ja yleisen elintason nousun kiihdyttäessä kasvua entisestään. Puhtaalle vedelle on kirjattu tavoite YK:n alueena Agenda 2030 yhtenä osaluueena kestävä kehitys. Suomessa on hyvä makean veden saatavuus ja varannot ovat hyvät, mutta monissa paikoissa maailmalla tästä uhkaa tulla pulaa tulevaisuuden kasvavan kysynnän ja ilmastonmuutoksen seurauksena. Veden kestävään käyttöön kuuluu myös sen resurssien tehokas hyödyntäminen sitä käyttävässä teollisuudessa. Tehostamalla tehtaiden ja tuotantolaitosten sisäisiä kiertoja voidaan saavuttaa merkittäviä ympäristöetuja ja säästää luonnonvaroja sekä neitseellisiä luonnonvaroja. Tähän kuuluu myös vesi. (Valtioneuvosto, 2022), (Puoskari, 2014)

Teollisuuden prosessien ja materiaalivirtojen tehostamisella ja tarkalla hyödyntämisellä on pitkät perinteet kilpailukyvyyn sekä ympäristön päästöjen osalta. Energiaa ja materiaaleja kannattaa hyödyntää tarkoin. Energiantuotannossa erilaisten hukkalämpöjen hyötykäyttö on kannattavaa niin taloudellisesti ja ympäristön kannalta. Polttoprosessissa tulee aina häviöitä ja näistä suurin on polttoprosessissa ollut savukaasujen mukana ilmakehään pääsevä lämpöenergia, joka jää hyödyntämättä kattilan energiatasteessa. 2000-luvulla yleistyneet lämmön talteenottolaitteistot eli savukaasupesurit ja hukkalämmön talteenotot ovat vastanneet tämän muuten hukkaan menevän lämmön hyödyntämisestä. Lämpöenergiaa voidaan saada talteen merkittäviä määriä, mutta saatu lämpötila ei ole korkea, johtuen kuivien savukaasujen entalpiasta ja sen sisältämän vesihöyryn kastepistelämpötilasta. Poltettaessa kosteaa polttoainetta kuluu kattilan polttoaineesta merkittävä määrä sen sisältämän veden höyrystämiseen ennen palamista. Höyrystyessään vesi sitoo paljon energiaa vaadittavan faasimuutoksen takia ja höyryn lauhtuessa nesteeksi lämmön talteenotossa sitä voidaan hyödyntää lämpöenergiaksi erilaisissa prosesseissa. Lauhtuneiden savukaasujen ja talteen otetun energian sivuvirtana saadaan merkittävä määrä lauhdetta, eli kattilan tulipesään vietyä kosteutta. Tätä voitaisiin tilannekohtaisesti hyödyntää kohteissa, missä kulutettavat vesimäärät ovat merkittäviä ja käytettävää raakavettä on rajallinen määrä tai sen hankintakustannukset ovat korkeat. Toimiva ja laitoksen ominaisen vedenkulutuksen mukaan suunniteltu suodatus ja syöttölaitteisto voi tehostaa lämpövoimalaitoksen sisäisiä vesikiertoja ja edistää kiertoalustoimintaa säästämällä raakaveden käyttöä ja sen lämmitykseen tarvittavaa lämpöenergiaa, samalla vähentäen lauhteen johtamista viemäriin tai vesistöihin. Tämä voisi tuoda myös taloudellista hyötyä pienentyvän vedenoton ja sen lämmityksen tarpeen osalta (Järvenreuna, 2024) (VTT, 2012)

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin savukaasulauhteen hyödyntämismahdollisuuksia lämpövoimalaitoksen raakavettä kuluttavissa energiantuotantoprosesseissa korvaamaan kunnallisen vesijohtoveden käyttöä. Työn idea sai alkunsa ajatuksesta selvittää laitoksen hyödyntämättömiä lauhdevirtoja omien vedenkäyttöprosessien raaka-aineeksi. Työn tilaajalle tulokseksi saatiin selvitys raakaveden käytöstä prosessikohtaisesti ja laitoksen lämmön talteenottoyksiköiden tuottaman lauhteen määrään perustuva selvitys syntyvistä tilavuusvirroista, vesimääristä ja kemiallisesta sisällöstä sekä selvitys tarvittavista

laitteistoista. Työssä verrataan raakaveden ja tilaajan laitteistoilla puhdistettujen lauhneiden analyysejä laitoskohtaisten puhdistuslaitteistojen tyyppiä ja mitoitusta varten.

2 TILAAJAN ESITTELY

Kuhmon lämpö Oy on Kuhmossa sijaitseva lämmön ja sähkön tuotantoon keskittyvä yritys, jonka omistaa Kuhmon kaupunki ja Juntinsalo Oy. Yritys on perustettu vuonna 1981, jolloin Kuhmo Oy:n sahan yhteyteen rakennettiin sen aikaisen Kuhmon kunnan ensimmäinen kaukolämpöä tuottava kiinteää polttoainetta polttava lämpökeskus kasvavan kaukolämpöverkon tarpeisiin. Biokattilalla korvattiin raskasta polttoöljyä käyttävät öljykattilat. Yhtiö työllistää 16 henkilöä, joista 2 on toimihenkilöitä ja 14 työntekijöitä. (Kuhmon Kaupunki, 2024) (Kuhmon Lämpö Oy, 2023)

Lämpövoimalaitoksella tuotetaan Kuhmon kaukolämpöverkoston käyttämä lämpöenergia ja Kuhmo Oy:n sahan tarvitsema sahatavaran ja sahauksen sivuvirtojen kuivauslämpö. Kuhmo Oy on Kuhmon Lämmön kanssa samalla tontilla toimiva sahatavaraa ja sen sivuvirroista puupolttoainetta sekä kuituhaketta valmistava yritys. Laitoksella on myös sähköntuotantoon soveltuva turbogeneraattori, jonka tuottama sähköenergia myydään valtakunnanverkkoon. Näiden lisäksi tuotetaan prosessilämpöä erilaisiin kuivaus- ja lämpöprosesseihin kylläisenä höyrynä ja hukkalämpöjen talteenottojen muodossa saatavana lämpöenergiana. Laitoksen tuottama kokonaisenergia on noin 270 GWh vuodessa. (Kuhmon Lämpö Oy, 2023), (Heikkinen, 2024) (Kuhmo Oy, 2024)

2.1 Kuhmon lämmön laitteistot

Lämpövoimalaitoksella on neljä biokattilaa, joiden polttoaineena käytetään Kuhmo Oy:n sahauksesta tulevaa kuorta, sahanpurua ja haketta. Laitoksella on myös tehonkulutushuippuja ja häiriötilanteita varten kolme öljykattilaa. Kattiloista yksi sijaitsee lämpövoimalaitoksella ja kaksi erillisellä varalämpökeskuksella. Biokattiloiden yhteenlaskettu lämpöteho on 55 MW, joita ovat K1 18 MW Ahlström Pyroflow Compact CHP-kiertopetikattila, K2 Sermet 12 MW Biograte-arinakattila, K5 10 MW Urbas arinakattila ja K6 15 MW VKK Group BFB leijupetikattila. Kattilan K1 yhteydessä on sähköä tuottava turbogeneraattori, jonka sähköntuotannon nimellisteho on 5MW. K2 kattilalla sekä K5 kattilan höyrykehittimellä tuotetaan kylläistä höyryä Kuhmo Oy:n höyryä käyttäville kanavakuivaamoille. (Kuhmon Lämpö Oy, 2023)

Tilaaajan lämpövoimalaitoksella on kaksi savukaasun lämmön talteenottoa, savukaasupesuri ja ilman esilämmitykseen soveltuva lasiputkilämmönsiirrin eli lasiputkiluvo. Savukaasupesurin kytkentä sisältää kattiloiden K1 ja K2 yhteisen savukaasujen pesun, lämmön talteenottolaitteiston ja lauhteenkäsittelyn. Lasiputkiluvo toimii K5 kattilan savukaasujen lämmön talteenottona. Savukaasulauhduttimien sijainti savukaasujärjestelmässä on hiukkasten erotuslaitteistojen jälkeen ennen savukaasujen johtamista piippuun. Laitoksen K1, K2 ja K5 kattiloilla on omat sähkösuotimet, joilta savukaasut johdetaan lämmön talteenottoon. Kattiloilla K2 ja K5 on sähkösuotimien lisäksi karkeamman tuhkan erotukseen soveltuvat multisyklonit, jotka ovat savukaasupiirissä kattilan jälkeen ennen sähkösuodinta. Kattilan K6 savukaasut puhdistetaan letkusuodattimella. LTO-laitteistojen tuottama lämpöenergia käytetään kaukolämpöverkon paluueden lämmittämiseen, polttoaineen kuivaamiseen ja briketin raaka-aineen, sahanpurun kuivaamiseen. Savukaasuista talteen otettu kokonaislämpömäärä on noin 58 GWh vuodessa. (Kuhmon Lämpö Oy, 2024).

2.2 Lämmön talteenottolaitteistot Kuhmon Lämmöllä

2.2.1 Pesuri

Kahden biokattilan yhteinen savukaasupesuri on lämmön talteenottoa ja savukaasujen puhdistusta varten. Pesurilla käsitellään kattiloiden K1 ja K2 savukaasut ja sijainti on savukaasujen hiukkassuodatuksen jälkeen. Talteen otettua lämpöenergiaa käytetään kaukolämmön paluuveden lämpötilan korottamiseen, polttoaineen kuivaamiseen Stela-viirakuivaimella sekä kuivausilman esilämmittämiseen Urbas-viirakuivaimella. Polttoainekuivurina toimiva Stela-viirakuivain on suunniteltu hyödyntämään kuivausprosessissa matalatasoista 55–70 °C lämmönsiirtonesteen menolämpötilaa. Lämmön talteenottoon viirakuivaimelta palaavan nesteen lämpötila on tyypillisesti 18–28 °C. Tämä vaikuttaa savukaasujen loppulämpötilaan, joka on palaavan lämmönsiirtonesteen lämpötilaa 1,5–3 °C korkeampi. Laitoksen savukaasupesuri on mitoitettu 32 MW kattilateholle. Pesurin kattilatehoon perustuvassa mitoituksessa on huomioitu K2 kattilan lämpötehon korotus kahdella MW:lla. Pesurista saatava maksiteho on 11 MW ajettaessa kattiloita nimellisteholla, käytettävän polttoaineen kosteuden ollessa 55 %. Savukaasujen pesu- ja jäähdystorni on kaksivaiheinen, johtuen kahdesta erillisestä lämmitysverkosta ja halutusta savukaasujen loppulämpötilasta. Kattiloilta tulevat savukaasut johdetaan pesurin alaosan kautta ensimmäiseen jäähdystysvyöhykkeeseen, johon ruiskutetaan kaukolämmön paluuvettä lämmittävältä vaihtimelta palaava lauhde. Kaukolämpöverkon paluuveden lämpötila on tavanomaisesti verkoston tilan mukaan 48–62 °C. Ylemmän jäähdystysvyöhykkeen ruiskutusvesi on viirakuivaimien lämmönsiirtoverkkoon lämpöä siirtävä lauhdekiertolinja, jonka jälkeen savukaasut poistuvat pesurista pisaraerottimen läpi (liite 1). Tällä kytkennällä saavutetaan matala savukaasujen loppulämpötila ja hyvä lämmön talteenoton hyötysuhde, johtuen viirakuivaimen lämmönsiirtopiirin huomattavan matalasta lämpötilatasosta. Pesurin yhteydessä on poistuvan lauhteen puhdistamista varten selkeytys ja suodatuslaitteisto ennen johtamista läheiseen vesistöön. (Kuhmon Lämpö Oy, 2023) (Condens Heat Recovery Oy, 2018)

2.2.2 Lasiputkilämmönsiirrin

Laitoksella on kuivausilman esilämmittämiseen soveltuva kaksivaiheinen lasiputkilämmönsiirrin, joka toimii lämmön talteenottoyksikkönä K5 arinakattilan yhteydessä lämmittäen Urbas-viirakuivaimen tuloilmaa ennen vesi-glykolikiertoisia pattereita, joissa kuivatusilma lämmitetään kaukolämpövedellä ennen kuivausprosessia. Lauhdutin koostuu kahdesta sarjaan kytketystä ristivirtalämmönsiirtimestä, joissa savukaasut virtaavat lasiputkien ulkopuolella ja ilma sisäpuolella. Ensimmäisessä siirtimessä kattilasta tulevien savukaasujen virtaus on vastakkainen ruiskutusveden virtaukseen nähden, toisen siirtimen virtausten ollessa samansuuntaiset. Siirtimien toisiopuolen ilmanvirtaus on vaakatasossa (liite 7). Lämmön talteenotto on käytössä vain Urbas-viirakuivaimen käytön aikana ja käännetään ohitukselle, kun sen lämpöä ei käytetä (liite 2). Savukaasujen ja ilman virtaussuunnat ovat kuvasta 1 poiketen vastakkaiset, tulevan savukaasun lämmittäessä poistuvaa ilmaa ja poistuvan savukaasun lämmittäessä siirrinpaketille tulevaa ulkoilmaa. Laitetoimittajan ilmoittama nimellinen lämpöteho on 3,5 MW kattilan käydessä nimelliskuormalla ja polttoaineen kosteuspitoisuuden ollessa 60 %. Alkuperäiseen laitetoimitukseen ei kuulunut lauhduttimen tehonlaskentaan tarvittavia mittauksia tuotettavan lämpöenergian todentamiseksi. Lauhdutukseen asennettiin myöhemmin tuloilman määrää, kosteutta ja talteenoton lämpötiloja mittaava energialaskuri, jonka laskentaa käytetään päästökaupan vaatimaan energiantuotannon todentamiseen. Lauhdutusprosessissa syntyvät lauhteet johdetaan ilman suodatusta tai selkeytystä kunnalliseen viemäriin. Meneillään olevan erillisen hankkeen tarkoituksena on rakentaa pumppaamo lauhteiden

pumppaamiseen olemassa olevaa putkilinjaa pitkin toisessa rakennuksessa sijaitsevan savukaasupesurin lauhtenkäsittelyyn tai tarpeen mukaan pesurikierron lauhteen sekaan, josta lauhteen sisältämää energiaa voidaan hyödyntää pesurin lauhteen tavoin. (Kuhmon Lämpö Oy, 2023) (Heikkinen, 2024)

3 LÄMMÖN TALTEENOTTO

3.1 Savukaasun lämmön talteenotto

LTO eli lämmön talteenotto on laitteisto, joka hyödyntää savukaasujen lämpöenergiaa, joka muutoin johdettaisiin kattilasta poistuessaan ilmakehään. LTO-laitteistolla voidaan parantaa merkittävästi laitoksen hyötysuhdetta käyttämällä siitä saatavaa lämpöenergiaa korvaamaan tähän sopivissa kohteissa primääristä lämmöntuotantoa ja näin säästämään polttoainetta tai kasvattamaan tuotetun kokonaisenergian määrää samalla polttoainemäärällä. Tulevaisuudessa LTO-laitteiston kannattavuus paranee entisestään, jos siirtyminen matalalämpöiseen kaukolämpöön toteutuu. Tämä parantaa kaukolämpöverkostojen energiatehokkuutta nykyistä matalampien lämpötilatasojen ansiosta. Käytettyjen hukkalämpöjen hyödyntäminen korostuu nykyistä alhaisemman verkoston lämpötilatason ansiosta. (Järvenreuna, 2024) (Högfors GST, 2020)

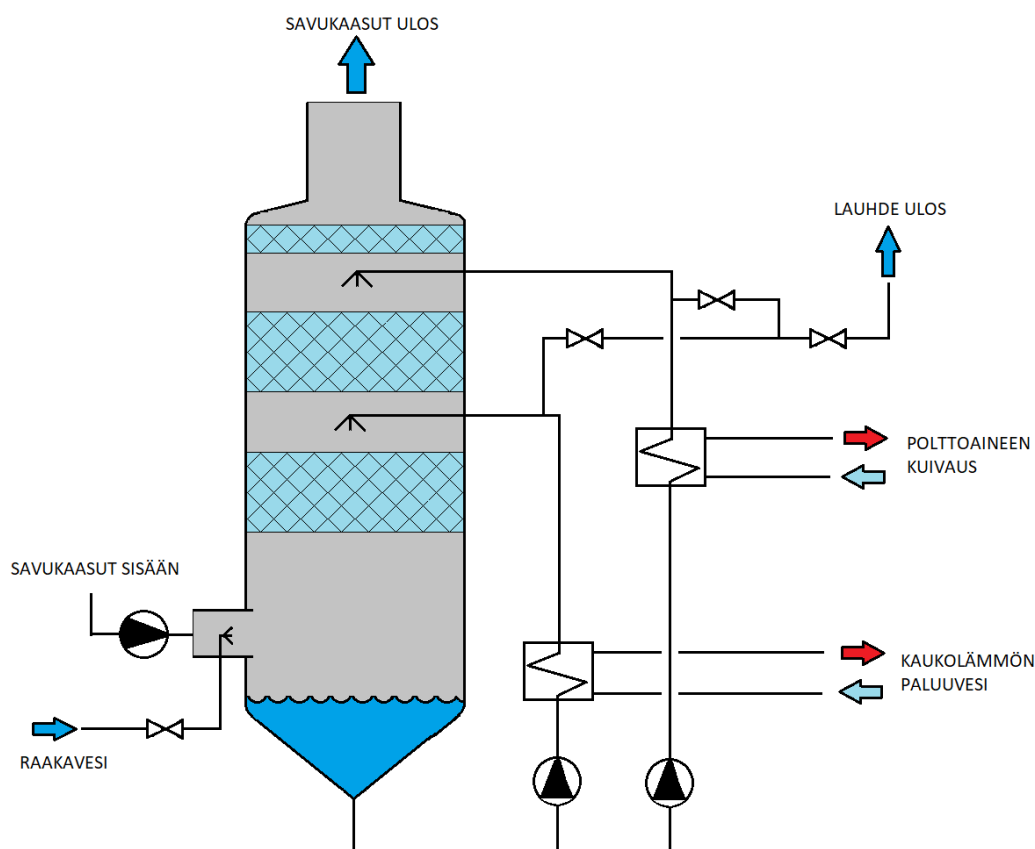
Savukaasujen päästöt laskevat hukkalämmön talteenoton yhteydessä pienhiukkasten, kloridien ja rikin osalta. LTO-laitteistolla voidaan varautua tulevaisuudessa tiukentuvien päästöarvojen toteutumiseen. Kattilan suunnittelussa vältetään tahatonta savukaasujen lämpötilan laskemista happokastepisteen alle, koska pinnoille kondensoituva vesi ja polttoaineen sisältämästä rikistä muodostuva rikkihappo aiheuttaa korroosiota savukaasujärjestelmissä. Lämmön talteenotto suunnitellaan kestäväksi happamia olosuhteita ja hallittu kastepisteen alittaminen on mahdollista. Lämmön talteenotto prosessissa kattilan polttoon viety vesi lauhtuu jälleen nestemäiseen olomuotoon ja sen lämpöenergia voidaan hyödyntää. Tehokas savukaasun lauhdutus tuottaa 60–70 °C lämpöistä lauhdevettä. Savukaasujen lämmön talteenotto on kannattavaa poltettaessa kosteita polttoaineita kuten biomassat ja turve. (Ehox Tuote Oy, 2024) (Järvenreuna, 2024) (Klarin, 2009).

Saatavaa lämpöenergiaa voidaan hyödyntää matalaa lämpötilan tasoa hyväksi käytävissä prosesseissa, esimerkiksi kaukolämmön paluuveden lämpötilan korotuksessa, teollisuuden matalalämpöisten prosessien lämmönlähteinä, rakennusten omakäyttölämmityksissä ja yhdessä lämpöpumpun kanssa korkeampia lämpötiloja vaativien kohteiden lämmönlähteenä kuten kaukolämpönä. Lauhteen lämpötilaan vaikuttaa polttoaineen sisältämän kosteuden lisäksi savukaasun jäännöshapen pitoisuus, joka alentuaan nostaa lauhduttimessa kastepisteen lämpötilaa. Poltossa tulipesän palamisilmojen säädöllä vaikuttaa savukaasun jäännöshapen määrään, mikä on välttämätöntä säädettäessä tulipesän lämpötilaa kostealla polttoaineella. (Haavisto, 2024) (Ehox Tuote Oy, 2024) (Järvenreuna, 2024)

Savukaasujen lämmön talteenottolaitteistoja on muutamia tyyppisiä, kuten esimerkiksi savukaasupesurit ja putkilämmönsiirtimet. Pesurissa savukaasujen sisältämä kosteus lauhtuu kiertoveden jäädyttäessä savukaasuja samalla lämpötilan laskiessa kastepisteen alle. Lämpö siirtyy lauhdekierron olevan lämmönsiirtimen kautta kaukolämpöverkkoon tai muuhun lämmönsiirtoverkostoon vastavirtaan ruiskutetun kiertoveden toimiessa lämmönsiirron fluidina. Putkilämmönsiirtimessä lämmönsiirron väliaine on ilmaa tai nestettä, joka tavallisesti virtaa putkien sisällä. Savukaasuista ilmaan lämpöenergiaa siirtävässä talteenotossa lämpöenergia siirtyy väliaineeseen ilman erillistä nestekiertoista lämmönsiirrintä. (Huhtinen;Kettunen;Nurminen;& Pakkanen, 2000)

3.2 Yleistä savukaasupesureista

Kattilasta ulos tulevat ja hiukkasten osalta puhdistetut savukaasut johdetaan yleensä haponkestävästä teräksestä tai lasikuidusta valmistettuun pesuriosaan, jossa savukaasujen virtausnopeus hidastuu ja vastavirtaan ruiskutetulla vedellä kastepisteen alapuolelle jäähtyvien savukaasujen kosteuden lauhtuessa pesurissa kiertäväksi vedeksi. LTO-prosessissa savukaasuille on pesuvaihe ja -tai kohteen toteutuksen mukaan yksi tai kaksi lämmöntalteenottovaihetta, jonka jälkeen savukaasut poistuvat pisaraerottimen läpi ilmakehään. Pesuvaihteissa savukaasuista erottuu suurin osa hiukkasista ja lämpötila laskee lähelle kastepistettä. Lämmön talteenottovaiheissa lauhtuva vesihöyry toimii kiertovetenä siirtäen lämpöenergiaa lämmönsiirtimille, joilta palaava jäähtynyt lauhde ruiskutetaan täytekappalekerroksille uudelleen lämmitystä varten (Kuva 1). Täytekappalekerroksien tehtävä on saada savukaasuille ja lauhdepisaroille suuri kontaktipinta-ala optimaalista lämmönsiirtoa varten. Savukaasujen virtaus on tyyppillisesti vastakkainen täytekappaleissa virtaavaan nesteeseen nähden. Savukaasujen poistuvaan lämpötilaan vaikuttaa palaavan lauhteen lämpötilataso, joka on riippuvainen kulutuskohteiden kyvystä hyödyntää matalatasoista lämpöenergiaa. LTO-prosessi ei tarvitse käyttöönoton jälkeen lisävettä, vaan lauhtunut vesihöyry kykenee pitämään pesurissa riittävän pintatason, ylimääräisen lauhteen poistuessa hallitusti. (Condens Heat Recovery Oy, 2018) (Rissanen, 2016) (Järvenreuna, 2024)

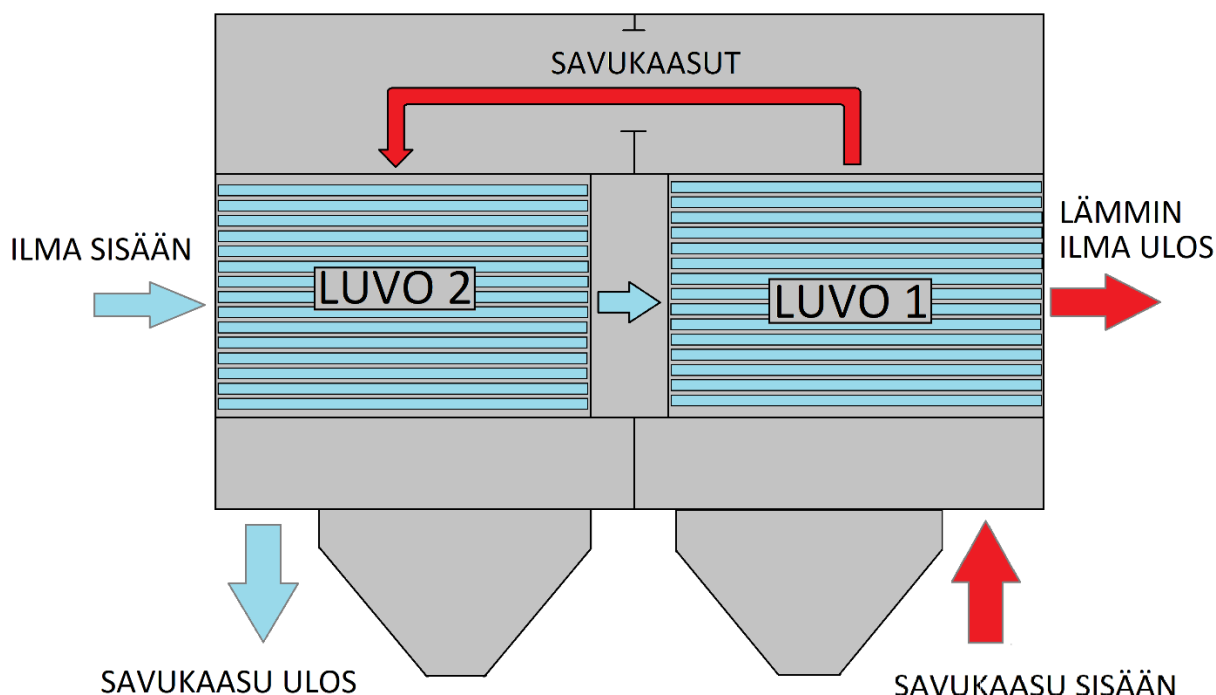


KUVA 1. Kuhmon Lämmön savukaasupesurin lauhde- ja savukaasupiirit (Polvinen, 2024)

Tulevat savukaasut voidaan kääntää ohitukselle, kun LTO-laitteisto ei ole käytössä, järjestelmä vikaantuu tai menee häiriöön joko kattilan tai LTO:n osalta. Pesurin rakenteet eivät kestä savukaasujen lämpötilaa ilman nestekierron jäähdyttävää vaikutusta. Tämän takia pesureissa on yleisesti hätäjähdytys täytekappalekerrosten ruiskutuksen häiriöitä varten. Hätäjähdytyksen sijainti voi olla savukaasujen tulokanavassa (kuva 1) tai jäähdytysvyöhykkeiden suutinputkissa. (Condens Heat Recovery Oy, 2018) (Kuhmon Lämpö Oy, 2023)

3.3 Yleistä lasiputkilämmönsiirtimistä

Lasiputkilämmönsiirintä käytetään voimalaitoskattilan palamisilman tai prosessiin tarvittavan ilman esilämmittimenä eli luvona esilämmittämään kattilahuoneen tai ulkoa otetun ilman ennen varsinaista prosessia. Kattilan savukaasukanavassa luvon sijaitsee viimeisenä lämmönvaihtimena ja tämän vuoksi käytettyjen materiaalien tulee usein kestää korroosiota. Rekuperatiivisessa ilman esilämmittimessä lämpö siirtyy lämmönsiirtimen lämmönsiirtopintojen läpi kuumemmasta ainevirrasta eli savukaasuista kylmempään ainevirtaan, yleisesti ilmaan (kuva 2). Luvona toimivassa putkisiirtimessä savukaasujen virtaus on tyypillisesti putkien ulkopuolella ja ilma putkien sisällä. Lasista valmistetulla vaihtimella on hyviä ominaisuuksia metalliseen lämmönvaihtimeen verrattuna.



KUVA 2. Lasiputkiluvon savukaasu ja ilmavirrat (Polvinen, 2024)

Lasi kestää hyvin syövyttäviä aineita ja kastepisteen alittumisen lämmönsiirtopinnoilla, minkä takia siirtimen rakenne kestää korroosiota teräksestä valmistettuja siirtimiä paremmin sekä sopii käytettäväksi myös happamia ainesosia muodostaville polttoaineille. Lasipinta on myös sileä, mikä tarkoittaa vähäisempää likaantumista, jolloin puhdistaminen on helpompaa, kuin metallisella siirtimellä. Huonona puolella siirintyyppissä on sen taipumus huurtua viileimmässä osassa siirintä kylmää pakkasilmaa lämmitettäessä, jonka takia ilmanvirtausta joudutaan rajoittamaan. Kuvassa 2 on esitetty U-mallinen lämmönsiirrin, jossa kaksi sarjaan kytkettyä ristivirtauslämmönsiirintä toimii yhtenä laitekokonaisuutena. Savukaasujen ja lämmitysilmän virtaussuunnat ovat ristikkäiset, jonka avulla saadaan vaihtimille hyvä lämmönsiirron tehokkuus ja matala savukaasun loppulämpötila. (Fröhlich, Julkaisuaika tuntematon). (Huhtinen;Kettunen;Nurminen;& Pakkanen, 2000, s. 197)

4 VEDENKÄSITTELY

Luonnonvedet ovat yleensä käsittelemättömänä laadultaan sopimattomia kattiloiden ja höyryntuoton raaka-aineeksi sisältäen erilaisia epäpuhtauksia, kuten liuenneita kaasuja, orgaanisia kiintoaineita,

metalleja ja alkaleja aiheuttaen erilaisia ongelmia vesi- ja höyrykierroissa. Myös teollisuuden prosesseista voimalaitokselle palaavat lauhteet joudutaan suodattamaan ennen niiden käyttöä uudelleen. Veden sisältämät epäpuhtaudet aiheuttavat vesi-höyrykierroissa korroosiota ja erilaisia lämmönsiirtoa huonontavia kerrostumia, lyhentäen laitteiston käyttöikää, alentaen hyötysuhdetta ja aiheuttaen jopa laiterikkoja. Voimalaitoksen lisäveden ja lauhteen puhdistusmenetelminä käytetään erilaisia kemiallisia, mekaanisia ja puoliläpäiseviin kalvoihin eli käänteisosmoosiin perustuvia puhdistusmenetelmiä. Käytetyt menetelmät suunnitellaan laitospohjaisesti puhdistettavan raakaveden tai lauhteen sisällön epäpuhtauksien ja lisäveden laatuvaatimusten mukaan (Energiateollisuus, 2006) (Knowpulp, 2024)

4.1 Mekaaninen suodatus ja selkeytys

Mekaanisessa suodatuksessa vedestä poistetaan kiintoaineita ja kuituja. Voimalaitoksella sitä käytetään veden esisuodatuksena ennen varsinaista suodatusta eli suolan- tai kovuudenpoistoa. Käytetyt menetelmät perustuvat veden ominaisuuksiin ja puhtausvaatimuksiin. Mekaanisella suodatuksella voidaan suodattaa kiinteitä epäpuhtauksia 1-2 μ m kokoluokasta alkaen. Vesijohtoveden suodattamiseen riittää yleensä tiheät panossuodattimet, kun luonnon pintavesiä suodatettaessa tarvitaan vaihtelevan sisällön ja ominaisuuksien takia erilainen laitteisto. Erilaisia mekaanisia puhdistustyypppejä ovat veden ja partikkeleiden ominaispainoon perustuvat selkeytysprosessit, vaahdotukseen perustuva flotaatio ja suodatus, jossa kiintoainetta jää suodattimeen veden virratessa sen läpi. Selkeytyksessä ja flotaatiossa voidaan parantaa puhdistuksen tehokkuutta sekoittamalla veteen siihen sopivia kemikaaleja saostamaan pienet partikkelit suuremmiksi kasoiksi, eli helpommin eroteltaviksi flokeiksi. Erilaisia suodattimia ovat patruuna, sihti, hiekka, viirakangas, välppä ja kalvosuodattimet, joiden erotusaste vaihtelee suodatettavan lian mukaan. (Knowpulp, 2024)

4.2 Koagulaatio

Koagulaatio on yksi kemiallisen saostuksen menetelmistä, jossa veteen sekoitetulla koagulantilla eli saostuskemikaalilla saadaan kolloidiset pienet hiukkaset muodostamaan isompia kiinteitä kasautumia eli flokkeja, jotka voidaan erotella helpommin mekaanisella selkeytyksellä, flotaatiolla tai hiekkasuodattimella. Kolloidiset pienet partikkelit, joiden koko on alle 0,0001 mm ovat usein negatiivisesti varautuneita ja hylkivät toisiaan. Kemiallisen käsittelyn avulla pyritään neutraloimaan negatiiviset varaukset ja partikkelit alkavat vetää toisia puoleensa yhdistyessä edelleen muodostaen isompia kasoja. (Knowpulp, 2024)

4.3 Kovuuden poisto

Kaukolämpöverkon lisäveden kovuutta poistetaan yleisesti vedenpehmentimellä. Pehmennetty lisävesi sopii kaukolämpöverkon sekä kattiloiden lisävedeksi kuumavesikattiloille ja matalapaineista höyryä tuotaville kattiloille. Pehmennyssuodatin vaihtaa kattilakiveä muodostavat kalsium- ja magnesiumionit vähemmän haitallisiin natriumioneihin veden kokonaissuolapitoisuuden säilyessä ennallaan. Syötettävästä vedestä poistetaan kalsiumbikarbonaattia ja magnesiumkloridia vahvahappoisella kationinvaihtomassalla, joka elvytetään noin 10 % natriumkloridiliuoksella. (Huhtinen;Korhonen;Pimiä;& Urpalainen, 2013)

4.4 Suolanpoisto

Voimalaitosten suolattoman lisäveden valmistuksessa käytettyinä tekniikoina ovat yleisesti ioninvaihtoon tai käänteisosmoosiin perustuva suolanpoisto. Ioninvaihdossa veden epäpuhtaudet vaihtuvat anioni- tai kationihartsimassan OH^- ja H^+ - ioneiksi, joiden yhtyessä syntyy puhdasta vettä. Tavanomainen kytkentä sisältää sarjaan kytkettyjä kationi- ja anionivaihtimia ja mahdollisesti MB- sekavaihtimen, joka toimii sarjoilta vuotaneiden ionien ”poliisivaihtimena”. Ioninvaihtosarjoista anionivaihdin elvytetään laimennetulla natriumhydroksidilla ja kationivaihdin laimennetulla rikki- tai suolahapolla. Käänteisosmoosiin perustuvassa suodatuksessa suolat erottuvat vedestä puoliläpäisevän kalvon avulla, joka läpäisee veden puhtaalle puolelle suolojen jäädessä rejektiveteen, joka johdetaan viemäriin. Kalvotekniikkaa käytettäessä veden saanto on noin 75 % ja tarvittaessa sitä voidaan parantaa toisella rejektiveden suodatukseen käytettävällä RO-yksiköllä. Kattilan käyttöpaineen ollessa yli 67 baaria tarvitaan RO:n lisäksi MB- sekaioninvaihdin tai sähköiseen ioninvaihtoon perustuva EDI- laitteisto poistamaan loput suolat vedestä. Ioninvaihtosarjoilla ja käänteisosmoosilla on sama raakaveden esikäsittely, joka on suunniteltu käytetyn veden laadun mukaan. (Knowpulp, 2024) (Huhtinen;Korhonen;Pimiä;& Urpalainen, 2013)

5 TILAAJAN VEDENKÄSITTELY

Kuhmon lämpövoimalaitoksella syntyvistä savukaasulauhteista noin 80 % tulee savukaasupesurilta ja 20 % lasiputkiluvolta. Lauhteiden teoreettinen kokonaismäärä on noin 50 000 m³ vuodessa, mikä perustuu tuotetun energian ja suhteessa sen mukaan muodostuvaan laskennalliseen määrään, jossa käytettiin 850 litraa lauhdetta tuotettua megawattituntia kohden. Raakaveden kulutusta laitoksella on noin 20 000 m³ vuodessa jakautuen suurimmaksi osaksi prosessiveden ja kaukolämpöveden valmistukseen. Savukaasulauhteen määrään tilaajan laitoksella vaikuttaa polttoaineena käytetyn kuoren ja sahanpurun korkea kosteuspitoisuus ja LTO-laitteistojen hyvä käyttöaste. Yleisesti pienillä ja keskisuurilla kaukolämpölaitoksilla käytetään polttoaineena turvetta ja puuperäistä polttoainetta, jonka kosteuspitoisuus on suuri. Poltettavan jyrksinturpeen kosteus voi olla 38–65 % ja puuperäisen tuoreen materiaalin 50–65 %. Korkean vesipitoisuuden takia lämmön talteenotosta voidaan saada merkittäviä määriä lämpöenergiaa ja lauhdetta edellyttäen, että savukaasulauhduttimen suhteellisen matalatasoinen lämpötila voidaan hyödyntää. Pesurissa lauhdetta muodostuu karkean arvion mukaan 800–900 litraa talteen otettua megawattituntia kohti. (Haavisto, 2024) (Kuhmon Lämpö Oy, 2023) (Kuhmon Lämpö Oy, 2024).

5.1 Vedenkäsittelylaitteet

Tilaajan laitoksella on oma vesilaitos, jolla valmistetaan kattiloiden ja höyryntuoton käyttämä suolanpoistettu lisävesi. Kaukolämpöverkon lisävesi valmistetaan tähän käytetyllä vedenpehmentimellä. LTO-laitteistojen hätäjähdytys- ja lisävesi sekä arinatuukien sammutusvesi on suodattamatonta raakavettä (Kuhmon Lämpö Oy, 2023) Veden laatuvaatimusten osalta ainoastaan kattilan K1 ja sen turbiinilaitoksen käyttöpaine ja tuorehöyryn lämpötila (80bar/490 °C) edellyttävät täyssuolanpoistettua lisävettä. Alemman paineluokan <16 bar kattiloiden K2, K5 ja K6 lisävedeksi sopii pehmenetty vesi käytetyn täyssuolanpoistetun sijaan. LTO-laitteistojen hätäjähdytykset ja arinatuukien sammutusvedet eivät ole laadultaan luokiteltuja laitoksen käyttöohjeissa. (Huhtinen;Korhonen;Pimiä;& Urpalainen, 2013) (Kuhmon Lämpö Oy, 2023)

5.1.1 Ioninvaihdettu lisävesi

Laitoksella valmistetaan täyssuolanpoistettua lisävettä kattiloiden vesi- ja höyrykiertoihin sekä höyryntuoton lisävedeksi. Kattilan K1 käyttöpaine ja laitoksen höyryturbiini määrittää valmistettavan lisäveden laadulle vähimmäisvaatimukset (Liite 3). Tilaajan laitoksella on ioninvaihtoon perustuva suodatuslaitteisto, joka sisältää karkean suodatuksen lisäksi kaksi peräkkäistä anioni/kationi- ioninvaihtosarjaa. Kattilatoimittajan mukaan: ”Sarjoja ajetaan normaalisti sarjaan kytkettynä, jolloin jälkimmäinen toimii poliisina. Yhden sarjan ollessa elvytyksessä on toinen käytössä, joten veden tuotto ei keskeydy” (Ahlström Boilers, 1991). Suolanpoistosarjojen happoelvytteiset kationivaihtimet elvytetään rikkihapolla ja lipeäelvytteiset natriumhydroksidilla. Vesilaitoksella on 50 m³ lisävesisäiliö suodatetulle vedelle, josta se jaetaan kulutuskohteisiin. (Ahlström Boilers, 1991)

5.1.2 Pehmenetty kaukolämmön lisävesi

Kaukolämpöverkon vuotojen ja korjausten aiheuttamien täyttöjen lisävesi valmistetaan vedenpehmentimellä. Pehmentimessä on kaksi suodatinsäiliötä, jolla varmistetaan katkeamaton vedenkäsittely vuorotteleamalla suodattimien käyttöä. Pehmentimen kapasiteetti on 6 m³ tunnissa ja veden syöttö tapahtuu suljettuun paisunta-astiaan. Vedenpehmentimelle tulevaa raakavettä ei esilämmitetä, kuten

ioninvaihdossa. Kaukolämpöveden laatua mitataan viikoittaisilla mittauksilla noudattaen yleisesti annettuja ohjearvosuosituksia. (Energiateollisuus, 2006) (Kuhmon Lämpö Oy, 2023).

5.1.3 Lämmön talteenottolaitteistojen lisävesi ja arinatuhkan sammutusaltaat

Savukaasupesurin, lasiputkiluvon ja arinatuhkan sammutusaltaiden vedet ovat käsittelemätöntä raakavettä. LTO-laitteistoissa lisävesi toimii hätäjähdytyksenä häiriötilanteissa sekä pinnan nostamiseen laitteiston käynnistyksen yhteydessä. Kattiloiden K2 ja K5 arinatuhkat sammutetaan märkätuhkakuljettimilla ennen keräyskonttia. Tuhkasammutusaltaissa vettä lisätään K2 kattilalla automaatiojärjestelmän käyttämän pintakytkimen ohjaamalla magneettiventtiilillä ja K5 kattilan tuhkakuljettimen käyntiaikaan perustuvalla suihkutuksella sekä vesialtaan mekaanisella uimurikytkimellä. (Kuhmon Lämpö Oy, 2023)

5.2 Lasiputkiluvon lauhteenkäsittely

Lämmönsiirtimissä lasiputkille ruiskutettavasta kiertovedestä eli savukaasulauhteesta suodatetaan kiintoaineita Berkal-suodattimilla (liite 7), jotka ovat toiminnaltaan vastavirtaan huuhdeltavia panossuodattimia. Kerättävä lauhde toimii myös lämmönsiirtimien lasiputkia huuhtelevana ja lämpöä siirtävänä nesteenä. Lauhduksen pohjalle kertyvää lauhdetta ruiskutetaan molempien kammioiden päällä olevista suutinputkista jaksoittain jokaiselle alueelle (liite 2 ja liite 7). Lauhdekierrossa ei ole jatkuvatoimisia mittauksia ja sen happamuutta seurataan viikoittaisilla käsin otetuilla mittauksilla pH-arvon pitämiseksi neutraalina. Happamat lauhteet neutraloidaan natriumhydroksidilla, jonka annostelutarve määritetään seuraamalla poistuvan lauhteen pH:ta. Lauhde poistuu kahdelta erilliseltä siirtimeltä ylivuotoputkien kautta viemäriin, eikä poistuvan lauhteen lämpöenergiaa hyödynnetä erikseen. Tulevan hankkeen myötä lauhteet tullaan käsittelemään savukaasupesurin lauhteenkäsittelyssä ja johtamaan pesurin lauhteen tavoin käsittelyn jälkeen vesistöön tai suodattamaan mahdollisesti laitoksen käyttämäksi raakavedeksi. (Kuhmon Lämpö Oy, 2023) (Urbas, 2008)

5.3 Savukaasupesurin lauhteenkäsittely

Pesurin lauhteenkäsittelyyn tuleva lauhdelinja sijaitsee suutinpatjan ruiskutuslinjasta otetussa sivuhaarassa, jonka säätöventtiiliä ohjaa pesurin automaatiojärjestelmän pinnansäädin. Poistuvan nesteen lämpötila määräytyy lämpöä käyttävän kohteen paluuveden lämpötilan mukaan, vaihdellen tavallisesti 20–45 °C välillä. Lauhteenkäsittely on monivaiheinen prosessi, jossa pesurilta tuleva samea lauhde selkiytetään ja suodatetaan ennen sen poistoa laitokselta (kuva 3). Lauhteen selkeytys alkaa rautasulfaattiliuoksen eli koagulointiin käytetyn kemikaalin sekoituksella lauhteeseen. Lauhdetta sekoitetaan edelleen saostussäiliössä, josta se poistuu ylivuotona lietealtaaseen saostuneiden flokkien vajotessa säiliön pohjalle hidastuneen virtauksen ja pitkän viipymisajan ansiosta. Selkeytynyt lauhde virtaa ylivuotoaltaan kautta ja pumpataan jäljelle jäävän kiintoaineen suodatukseen hiekkasuodattimelle. Hiekkasuodattimen jälkeinen kirkas lauhde sisältää kiintoainesta maksimissaan 10 mg/l. Suodatettu kirkas lauhde virtaa tasaussäiliöön ennen sen poistoa laitoksen ulkopuoliseen tasausaltaaseen. Lauhteenkäsittelylaitteisto sisältää myös polymeerin, eli flokkausta tehostavan kemikaalin annostelulaitteiston, jota ei ole otettu käyttöön rautasulfaattikemikaalilla saavutetun lauhteen puhtauden takia. Lieteallas toimii selkeytyksen ohella myös lietteen varastosäiliönä.



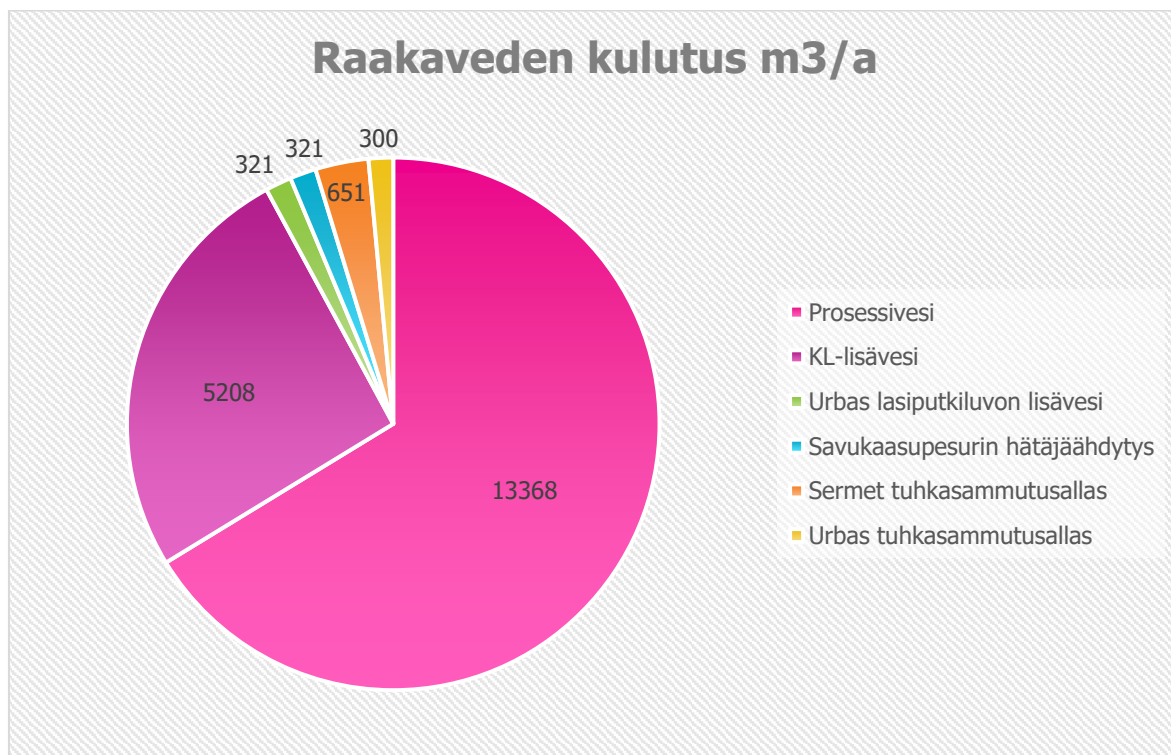
KUVA 3. Savukaasupesurin lauhteenkäsittelyn vaiheet (Polvinen, 2024)

Lauhteenkäsittelyssä ja pesurikierrossa on jatkuvatoimisia pH-mittauksia, joilla seurataan lauhteen happamuutta ja ohjataan lipeänsyöttöpumppujen eli natriumhydroksidin automaattista annostelua. Mittaukset sijaitsevat pesurin lauhdekierrossa, saostussäiliön poistolinjassa ja lauhteenpumppaussäiliön tulevassa linjassa ennen poistoa laitokselta. (Knowpulp, 2024) (Condens Heat Recovery Oy, 2018).

6 RAAKAVESIMÄÄRIEN KARTOITUS

6.1 Raakaveden käyttö Kuhmon Lämmöllä

Tämänhetkinen vedenkäyttö perustuu kunnallisen raakaveden sekä läheisen järven pintaveden käyttöön erilaisissa prosesseissa. Kunnallisen raakaveden käyttäminen on puhdistuslaitteistojen ja tasaisen laadun vuoksi yksinkertainen ja toimintavarma vaihtoehto laitoskohtaisen pintavettä tai muuta raakavettä suodattavan laitteiston sijaan. Raakaveden korvikkeena olisi mahdollista käyttää järvivettä, mutta sen laatuvaihtelu on suurta ja sen esikäsittely ennen varsinaista suodatusta on kunnalliseen raakaveen verrattuna huomattavasti kalliimpaa sekä vaatii huomattavia laiteinvestointeja, jotka eivät kuulu laitoksen alkuperäiseen toimitukseen. Kuhmon lämmöllä järviveden käyttö rajoittuu ainoastaan kattiloiden ulospuhalluksien sekä höyrykattilan ja sen yhteydessä olevan höyryturbiinin jäähdytysjärjestelmien jäähdytystarpeisiin. Kunnallista raakavettä laitoksella käytetään kattiloiden ja kaukolämmön lisäveden valmistukseen, savukaasulauhduttimien, arinatuhkan sammutusaltaiden ja vähäisissä määrissä ulospuhallusten jäähdytykseen.



KUVA 4. Raakaveden kulutus (Polvinen, 2024)

Lämpövoimalaitoksen kattiloiden ja oheislaitteiden raakaveden kokonaiskulutus on noin 20 000 m³ vuodessa, jakautuen laitoksella eri kohteiden mukaan (kuva 4). Veden määrästä yhteensä noin 90 % kattaa yhdessä vesilaitoksella valmistettavan täyssuolanpoistetun lisäveden ja vedenpehmentimellä kaukolämpöverkon lisäveden valmistuksen. Näiden vedenotto on tuntitasolla tarkasteltuna tasaista, joskin kaukolämpöveden kulutus vaihtelee verkoston vuodon mukaan merkittävästi kuukausi- ja vuositasolla. Prosessiveden käytönaikainen kulutus on tasaista, mutta pitkällä aikavälillä, vuosien välisiä lukemia tarkasteltuna vaihtelu on suurta. Prosessiveden käytön huippuja on höyrykattilan käynnistykset ja nuohous. Vuosittainen vaihtelu on ollut 9000–17000 m³ välillä. Pienemmät parin prosentin kokoluokan vedenkulutukset ovat Sermet- ja Urbas kattiloiden arinatuhkien sammutusaltailla sekä savukaasupesurin

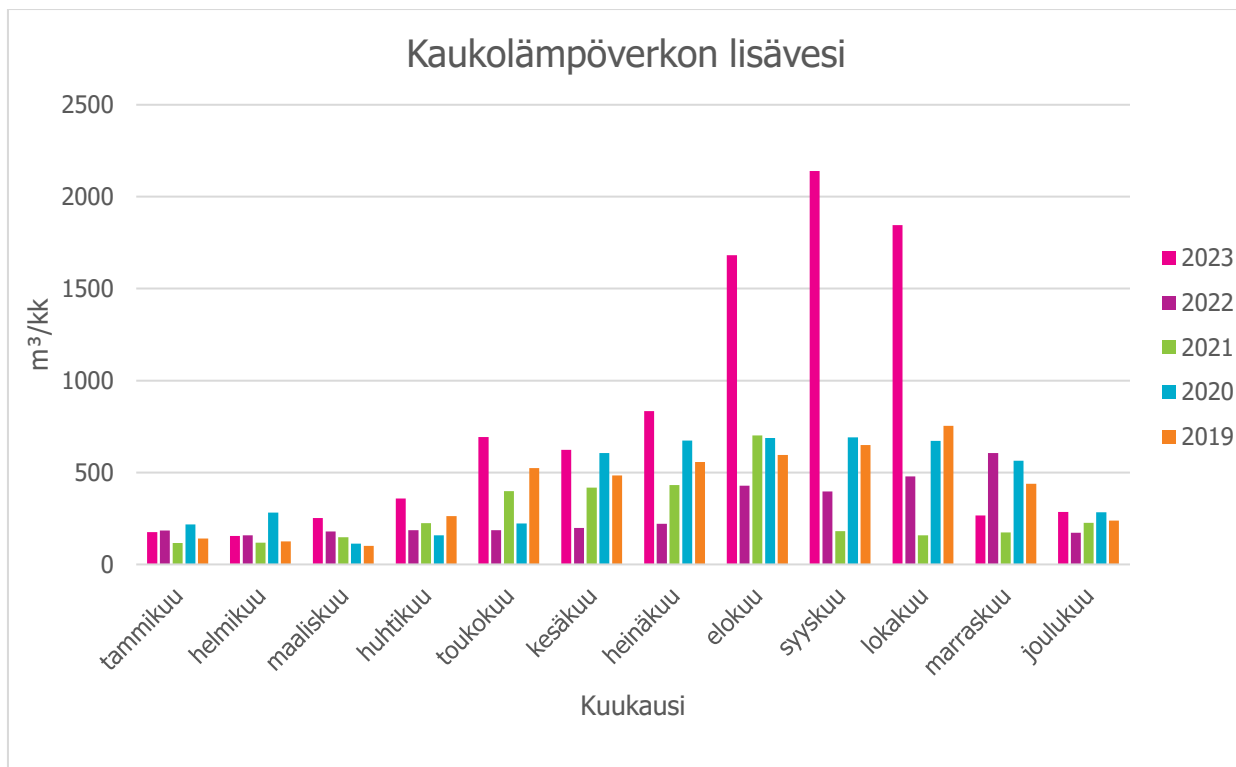
ja lasiputkiluvon hätäjähdytyksillä. Näiden käyttämät määrät ovat olleet 1,5–3,3 % välillä kokonaiskulutuksesta kohteen mukaan.

6.2 Vesimäärien kartoitus

Lämpövoimalaitoksen vedenkulutusta kartoitettiin käyttökohteen ja laitoksen kokonaiskulutuksen mukaan mahdollisimman tarkan kokonaiskuvan saamiseksi kulutuksen ja lauhdeentuotannon osalta. Laitoksella prosessiveden ja kaukolämpöverkon lisäveden määrää mitataan pääosin paikallisesti luettavilla mittareilla, joiden lukemat on kirjattu päivittäin päiväkirjaan ja Excel-taulukoihin. Kulutuksen jatkuvuutta tarkasteltiin mahdollisuuksien mukaan valvomon HMI- ohjauspäätteiden trendeiltä sekä Honeywell-automaatiojärjestelmän tiedonkeräysserverien keräämästä PHD-historiatietokannasta. Prosessiveden ja kaukolämmön lisäveden kulutuksesta tehtiin laskelmat vuosilta 2019–2023, joiden arvoja verrattiin keskenään. Tältä ajankohdalta laskettiin kuukausikohtaiset ja vuosittaiset keskiarvot.

Vesimäärät selvitettiin käyttökohteittain, ottaen huomioon kohteet, joissa kulutusta on säännöllisesti tai muuten merkittävä määrä, huomioiden sen säännöllinen jatkuvuus. Näitä ovat täyssuolanpoistettua prosessivettä käyttävät kattilat ja höyryntuotot, pehmenettyä lisävettä käyttävä kaukolämpöverkon paineenpito sekä raakavettä käyttävät arinatuhkien sammutusaltaat ja LTO-laitteistojen lisäveden/ hätäjähdytyksen syötöt. Vesimäärien selvityksessä keskityttiin prosessiveden ja kaukolämmön lisäveden kulutuksiin näiden suuren osuuden vuoksi.

Kuukausikohtaista vaihtelua esiintyi prosessiveden kulutuksessa ja tuhkien sammutusaltaiden täytöissä. Prosessiveden kulutukseen vaikuttavat merkittävästi K1 kattilan huolto kesäkuun ja elokuun välisenä aikana, jolloin kattilalla on huoltoseisaus sekä K2 kattilan höyryntuotanto, jonka tuotanto on poissa keväällä sekä syksyllä yhteensä noin 20 päivän ajan. K1 kattilan osalta ulospuhallukset ja nuohous vaativat huomattavia määriä lisävettä muihin kattiloihin verrattuna sekä kattiloiden käynnistyksen yhteydessä tapahtuvan lauhteen kanaaliin poiston takia. K5 ja K6 kattilat eivät normaalisti tarvitse merkittäviä määriä lisävettä näiden suljetun vesikierron takia. Kattiloiden K2 ja K5 arinatuhkien sammutusaltaiden vedentarve ajoittuu käytön ajalle pois lukien kevään ja syksyn huoltoseisaukset. Kaukolämpöverkon lisäveden kulutuksen ennustettavuus vuorokausitasolla on hankalaa johtuen vaihtelevista verkoston vuodoista ja korjausten jälkeisten täyttöjen määrästä vaihteluvälin ollessa kokonaisuudessaan 2–140 m³ välillä. Kuukausittain suurin verkostovuoto on suurinta toukokuun ja marraskuun välisenä aikana (kuva 5). Kaukolämpöverkon vuotojen vaihtelu voi olla rajua yksittäisten suurien vuotojen takia, kuten kuvasta 5 voi tulkita vuoden 2023 elokuun ja lokakuun lopun väliseltä ajalta tarkasteltuna. Tässä tapauksessa vuoto oli vanhassa kaukolämpölinjassa, jonka paikallistaminen oli hankalaa veden imeytyessä maaperään. Verkosto sisältää osittain alkuperäistä putkistoa.



KUVA 5. Kaukolämpöverkon lisäveden tarve. (Polvinen, 2024)

Urbas-kattilan tuhkasammutusaltaan vesimäärä laskettiin tuhkakuljettimen käyntiajan ja syöttölinjan venttiilin vedenläpäisyn perusteella. Automaation DCS-järjestelmä ohjaa syöttölinjan magneettiventtiiliä kuljettimen käyntiajan perusteella. Sermet-kattilan tuhka-altaan täyttölinjassa on paikallisuettava vesimittari, jonka satunnaisesti otettuja lukemia löytyi raporteista kolmen vuoden ajalta. Selvitykseen näistä valittiin kaksi vuotta kulutuksen selvittämiseen. Sermet- ja Urbas-arinakattiloiden sammutusvesien kuukausikohtainen määrä laskettiin vuosikulutuksen mukaan ja molempien kattiloiden keväälle ja syksyille ajoittuvien huoltojen ajalta huomioitiin kuluva veden määrää vuorokausiarvion mukaan. K2 ja K5 arinakattiloiden huolto ajoittuu kevään ja alkusyksyn kuukausille, jolloin kaukolämmöntuotannossa ei tarvita kaikkia biokattiloita.

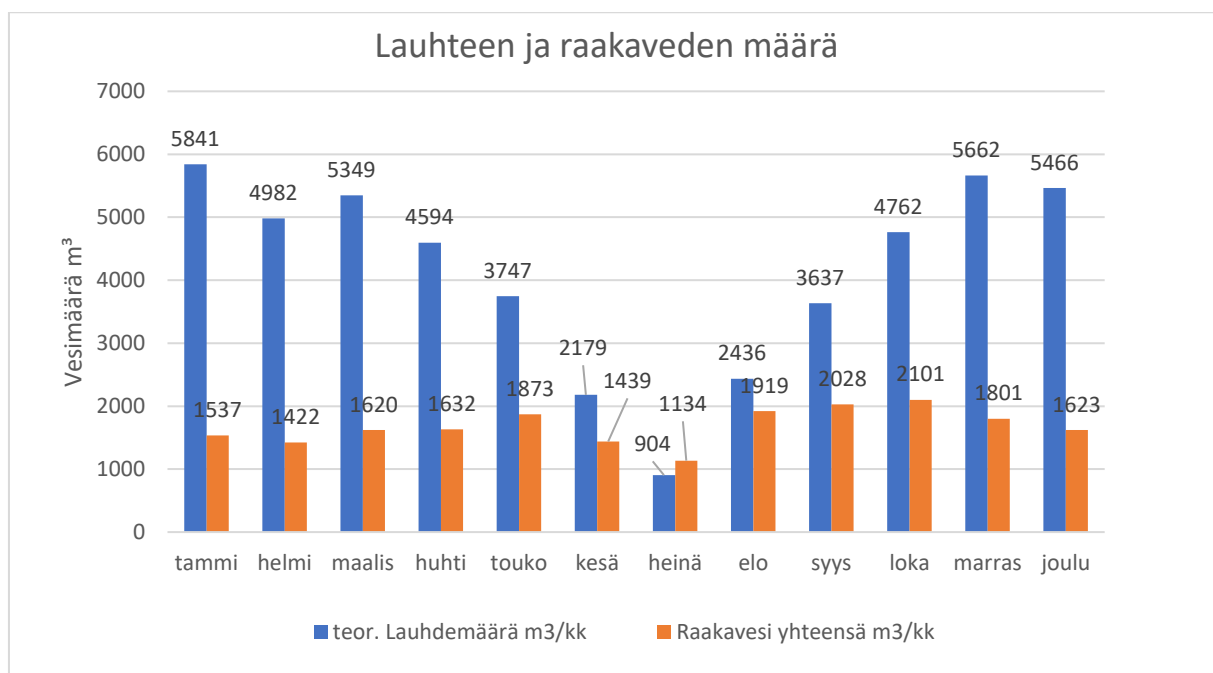
Vuorokausikohtaisen ja sen mukaan tuntikohtaisen vedenkulutuksen laskettu arvo ei kerro luotettavasti hetkellistä vedentarvetta erilaisen vedensyöttötapojen takia. Järjestelmän ohjaamat prosessit ovat joko jatkuvatoimisia tai jaksoittain vettä ottavia. Jatkuvatoiminen säätö ohjaa vettä tasaisena virtana prosessin tarvitseman määrän. Jaksoittainen vedenotto toimii joko pintakytkimien ohjaamana tai järjestelmän mittausarvojen välillä toimien. Tällainen toiminnallisuus on usein esimerkiksi säiliöiden täytöissä, joissa säiliön alarajakytkin avaa täyttöventtiilin ja yläraja sammuttaa sen tai vaihtoehtoisesti jatkuvatoiminen pinnanmittaus ohjaa venttiilin auki- ja kiinniohjausta. Täyttö on usein nopea, hetkellisen virtauksen ollessa suurta. Virtausten määriä, täyttöjen kestoja ja virtaamien jatkuvuutta selvitettiin tarvittavan varastosäiliön ja sen jälkeisen pumppuaseman mitoitusta varten sekä savukaasulauhteen virtauksen ja lauhdemäärien vertailuun.

7 LAUHTEN JA RAAKAVEDEN VERTAILU

Selvitettäessä raakaveden korvattavuutta savukaasulauhteella on tarpeellista tietää muodostuvien lauh-
teiden määrien ja käytettävän veden hetkellisten kulutus- ja tuotantomäärien vastaavuus (kuva 6). Tu-
lostojen perusteella voidaan rajata pois kohteita, joiden pumppaukselta tai säiliön tilavuudelta vaatima
kapasiteetti on niin suuri, että investointikustannukset olisivat liian suuret saavutettuun hyötyyn verrat-
tuna.

Suodatetun veden laatu on olennaisen tärkeä huomioida kulutuskohteen mukaan. Tarvittavien veden-
käsittelylaitteistojen valinta ja mitoitus tehdään kattilatoimittajien antamien arvojen perusteella prosen-
sien vaatimalle tasolle. LTO-laitteistojen tasaisella kuormituksella ja automaatiojärjestelmän säädöillä
varmistetaan lauhteen tasainen virtaama ja syöttöpaine, mikä on edellytyksenä toimivalle selkeytykselle
ja suodatukselle.

Savukaasupesurin lauhdevirran määrälle on jatkuvatoiminen virtausmittaus, jonka mittausdata tallentuu
pesurin DCS-järjestelmän historiatietokantaan. Tallennettua dataa verrattiin tuotetun energian perus-
teella laskettuun lauhdemäärään. Käytettyjä vesimääriä kartoitettiin pääasiassa paikallismittareiden lu-
kemien perusteella tehtyjen laskelmien mukaan. Kuvassa 6 on esitetty viiden vuoden keskiarvona Kuh-
mon Lämmön LTO-laitteistojen lauhteen muodostumisen ja raakaveden käytön kuukausikohtaiset mää-
rät, josta voidaan todeta lauhdemäärien olevan raakaveden kulutusta suurempaa heinäkuuta lukuun
ottamatta. Kaukolämpöverkon lämmönkulutus on tällöin kuukausitasolla pienintä lämpimän ulkoilman
sekä Kuhmo Oy:n sahan huoltoseisauksen takia.



KUVA 6. Raakavesi ja lauhdemäärät (Polvinen, 2024)

7.1 Kunnallinen raakavesi

Raakavettä syötetään laitokselle kunnallista verkostoa pitkin. Kaupungin taajaman talous- ja jätevesi-
verkostoon kuuluu useita vedenottamoita ja yksi jätevedenpuhdistamo, jotka ovat kaupungin omista-
man tytäryhtiön Kuhmon Vesienergia Oy:n tuottamia palveluita. Talousvesianalyysit on tehty ulkopuoli-
sen laboratorion toimesta. Veden laatua seurataan säännöllisin mittauksin, jotka ovat yleisesti

nähtävillä Kuhmon Vesienergian verkkosivuilta (liite 4). Otettujen vesianalyysien arvoja verrattiin savukaasulauhteesta otettuihin analyysihin.

7.2 Savukaasulauhde

Sahauksen sivutuotteena tuleva havupuun kuori ja sahanpuru sisältää paljon vettä, joka täytyy haihduttaa polttoaineesta ennen sen palamista. Savukaasujen sisältämästä kosteudesta syntyy lauhdetta savukaasujen lauhtuessa vesikastepistelämpötilaan. Talteenotossa pyritään poistuvien savukaasujen alhaiseen lämpötilatasoon. Tällöin sen hyötysuhde saadaan korkeaksi ja talteen otettava energiamäärä on mahdollisimman suuri. Alentuneen savukaasujen loppulämpötilan takia myös lauhteen määrä kasvaa suhteessa korkeampaan poistolämpötilaan. Savukaasuista lauhtuneen lauhteen määrä on verrannollinen tuotettuun tehoon ja sitä muodostuu noin 800–900 litraa tuotettua megawattituntia kohti. Puhdistettavan savukaasulauhteen tulee vastata ominaisuuksiltaan vesijohtoverkon veden laatua siltä osin, että olemassa olevat prosessikohtaiset suodatuslaitteet kykenevät valmistamaan riittävästi ja laadullisesti prosessin vaatimusten mukaista lisävettä. Huomioitavaa on myös lauhteen lämpötilataso, joka ei saa olla liian korkea suodatuslaitteistoille. LTO-laitteisto on suunniteltu niin, että savukaasujen loppulämpötila saadaan mahdollisimman alhaiseksi, mutta ajotilanteiden vaihdellessa lämpötilaan tulee vaihtelua muuttuvan lämpöenergian käytön mukaan. (Haavisto, 2024)

7.2.1 Kemiallinen koostumus

Lauhtumisprosessissa muodostuvan lauhteen laatuun vaikuttaa käytössä oleva polttoaine, polttoprosessin ajoparametrit ja savukaasujen suodatus ennen lauhtutinta. Puupolttoainetta poltettaessa lauhde sisältää tyypillisesti pieniä määriä metalleja ja raskasmetalleja sekä suoloja, esimerkiksi sulfaattia SO_4^{2-} , klorideja Cl^- ja natriumia Na ja liunneena kaasuna hiilidioksidiä CO_2 (liite 5). Polttoaineen sisältämät rikki S ja kloori Cl aiheuttavat korroosiota kattilan tulistimilla ja savukanavissa. Alkaleina toimivat natrium ja kalium K , reagoivat leijukerrospolton petimateriaalissa aiheuttaen ei toivottua agglomeroitumista eli paakkuuntumista. Nämä erottuvat myös savukaasuista pesurin kiertoveteen nostoen lauhteen suolapitoisuutta. Puupolttoaine sisältää vain vähän rikkiä, joten sen määrät savukaasuissa ovat pienet, toisin kuin turvetta polttavassa laitoksessa, jossa rikin aiheuttamaa lauhteen happamuutta joudutaan säätämään suurella määrällä lipeää. Rikin ja kloridien ohella veden happamuuteen vaikuttaa hiilidioksidi, joka muodostaa veteen hiilihappoa. Pelkkää puupolttoainetta käytettäessä lauhteen pH asettuu normaalisti 6–9 välille. (Klarin, 2009) (Gustafsson, 2024) (Condens Heat Recovery Oy, 2018).

Lauhteen pH- tasoon vaikuttaa puupolttoainetta käytettäessä savukaasujen mukana tulevan rikin ja kloridien ohella hiukkaset, joilla on lauhteessa pH:ta nostava vaikutus rikin ja vetykloridin muodostessa happamia yhdisteitä. Hiukkaset sisältävät myös metalleja, jotka jäävät lauhtuessa pesurin lauhteen. Hiukkasten määrään vaikuttaa kattilan polttoprosessin toiminta ja savukaasujen suodatuslaitteistojen erottelukyky. (VTT, 2012) (Ehox Tuote Oy, 2024).

Lauhteenkäsittelyssä tulee huomioida poistettavan lauhteen käsittelyn vaatimukset paikallisen ympäristöviranomaisen kanssa. Pesurin ja lauhteenkäsittelyn suunnittelussa on huomioitava käytettävä polttoaine sekä lauhteen poisto laitokselta viemäriin tai vesistöön. (VTT, 2012)

8 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

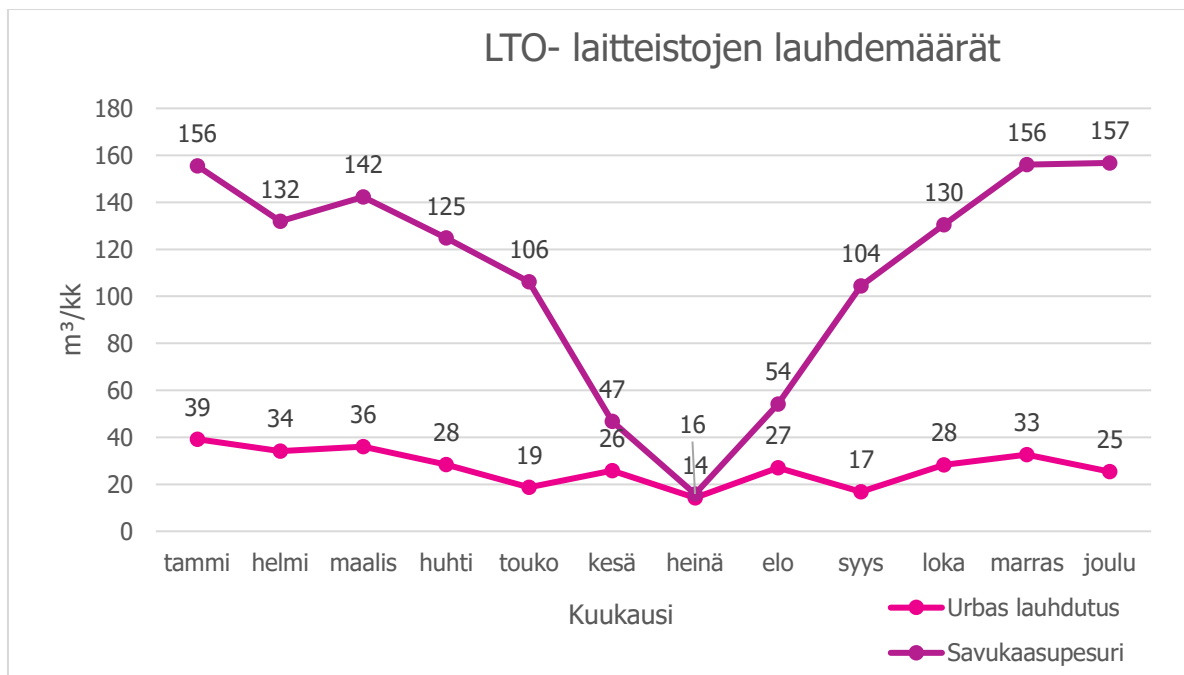
8.1 Raakaveden korvattavuus

Lauhde- ja vesimäärien kartoituksessa tehtiin Excel taulukot vuosi-, kuukausi-, vuorokausi- ja tuntikoh- taista vertailua varten. Tuloksien vertailuna todettiin lauhdetta muodostuvan huomattavasti enemmän kuin raakavettä kuluu, pois lukien kesäajan huoltoseisaukset ja odottamattomat käyttökatkokset. Lauh- demäärien laskemisen perustana on pidetty pesurin ja savukaasuluvon tuotetun energian määrää, jonka mukaan laskettiin syntyvät lauhdemäärät. LTO-laitteistojen keskimääräinen lämmöntuotto oli 6,7MWh. Lauhdemäärien laskennassa käytettiin 0,85 m³ syntyvää lauhdetta tuotettua megawattituntia kohti, jonka mukaan lauhteen kokonaismäärä on vuositasolla noin 50000 m³. Lauhteen määrää selvitet- tiin myös tiedonkeräysjärjestelmän keräämän virtauksen ja tehon keskiarvolukemien mukaan, jonka lukemaksi saatiin 0,94 m³/MWh.

LTO-laitteistojen käyttöaste vaihtelee vuodenaikojen mukaan vaihtelevan lämmöntarpeen takia, mikä vaikuttaa virtaaviin lauhdemääriin. Kattilan K1 suunniteltu huolto ajoittuu vakiintuneen käytännön mu- kaan kesäajalle kesäkuun puolivälin ja elokuun loppupuolen väliselle ajalle, jolloin savukaasupesurille johdetaan ainoastaan K2 kattilan savukaasut, mikä pienentää lauhdemäärää näiden kuukausien aikana. K2 ja K5 kattilat ovat käynnissä kesällä pienen kaukolämmönkulutuksen aikana.

Vuositasolla lauhteen kokonaismäärästä noin 80 % tulee pesurilta ja 20 % savukaasuluvolta. Lasken- noissa otettiin huomioon myös K5 kattilan LTO:n lauhdemäärät, jotka ovat tulevaisuudessa tarkoitus johtaa savukaasupesurin lauhteenkäsittelyyn. Lauhteen määriä tarkasteltuna viiden vuoden ajalta oli kuukausivaihtelu 400 m³ ja 6500 m³ välillä suurimpien virtausten ajoittuessa selkeästi lämmityskauden kylmille kuukausille suuren tehontarpeen ajalle. Tulevan lauhteen määrä on riippuvainen tulevien savu- kaasujen ja talteen otetun energian määrästä, joten kesäkuukausina lauhdetta ei muodostu pienen lämmöntarpeen ja kattiloiden huoltojen takia tuotannon ollessa syyskuun ja toukokuun välisen ajan keskiarvoon verrattuna 38 %.

Poistuvien lauhteiden lämpötilatasoja tarkasteltiin käsimittauksien ja historiadatan avulla. Lasiputkiluvon lauhteen lämpötilat saatiin mittaamalla lämmönsiirtimien lauhdealtaiden viemäriinjoista. Lämpötilat oli- vat luvu 1:n poistolinjassa 54 °C ja luvu 2:n poistolinjassa 35 °C. Savukaasupesurin lauhteen lämpötila oli DCS:n tietokannan keskiarvon mukaan 29,6 °C.



KUVA 7. Savukaasupesurin ja Urbas lauhdutuksen lauhdemäärät (Polvinen, 2024)

Raakaveden kulutus ylitti lauhteen määrän heinäkuussa, jolloin kattilateho on pienimmillään (kuva 6). Tällöin prosessivettä kuluu vähän, mutta kaukolämpöverkon ottama vesimäärä on suurta. Kaukolämpöverkon lisävetä kului tehtyjen laskelmien perusteella toukokuun ja syyskuun välillä enemmän kuin muuna aikana, mikä tasoittaa raakaveden kokonaiskulutusta eri kuukausien välillä prosessiveden kuluutukseen verrattuna. Vuorokausittaisen keskikulutuksen (kuva 7) mukaan lasketuksi veden virtaamaksi saatiin 0,65 kg/s vaihteluvälin pituuden ollessa 0,37 kg/s ja vastaavasti lauhteen virtaaman ollessa keskimäärin 1,6 kg/s ja vaihteluvälin pituus 1,9 kg/s. Lauhteen määrä ylitti RO- laitteistolla suodatetun veden ja muodostuvien viemäriveresien eli rejektien yhteenlasketun määrän. RO- laitteiston saanto on kymmeniä prosentteja pienempi syötettyyn vesimäärään nähden ilman erillistä rejektin määrän vähentämiseen käytettyä suodatusta.

8.2 Laitteistot

Raakaveden korvattavuuden ja tasaisen syötön kannalta on tärkeää suodatuslaitteiston ja tarvittavien säiliöiden mitoitus sekä tulevan lauhteen laadun varmistaminen. Laitteisto on rakennettava entisen raakavesisyötön rinnakkaiseksi järjestelmäksi, koska lauhteen laatu ja määrä voi vaihdella suuresti ajomallien mukaan tai laitteistojen käyttöön voi tulla toimintahäiriöitä, laiterikkoja ja LTO-laitteistoja huolletaan vuosittain. Polttoprosessin ja savukaasujen suodatuksen toiminta sekä käytetty polttoaine vaikuttaa lauhteen laatuun ja sisältöön ennen lauhteenkäsittelyä. Myös lauhteen selkeytyksen ja kirkastuksen epätasainen toiminta aiheuttaa vaihtelua lauhteen laatuun. Epätasaista kemikaalien syöttöä ja lauhteen virtaukseen vaikuttavaa pumpausta voidaan parantaa laitteistojen parametreineilla, eli säätöpiirien asetteluilla sekä erilaisilla mittauksilla.

Lämpötila on huomioitava suodatuslaitteistoille syötettävällä vedellä. Vedenpehmentimen käyttämää raakavettä ei esilämmitetä, kuten RO-sarjojen ja ioninvaihdon suodatuksessa tehdään. RO-laitteistojen kalvojen läpäisemä vesimäärä kasvaa lämpötilan noustessa ja suodatetun veden laatu heikkenee. Vertailuna käytettyjen täyssuolanpoisto- ja vedenpehmentinlaitteistojen korkein tulolämpötila vedelle oli 35 °C. Tämän mukaan suolanpoiston ja vedenpehmentimen vedelle täytyy olla jäädytys- ja

lämmitysjärjestelmä, millä tasoitetaan veden lämpötilavaihteluita ja estetään liian kuumien veden tulo suolanpoistoon tai pehmentimelle, mikä vaikuttaa suodatuksen tasaisuuteen ja suodoksen laatuun. Tilaajan laitoksella on lauhteen jäähdytykseen sopiva jäähdytyspiiri, jonka vesi/glykolikierto on hyödynnettävissä lauhteen lämpötilan säätöön.

8.2.1 Mittaukset ja veden laadun varmistus

Suodatukseen syötettävää raakalauhdetta täytyy mitata jatkuvatoimisin mittauksin sen riittävän laadun varmistamiseksi. Suodatukseen kelpaamaton lauhde ohjataan automaattisesti viemäriin ja laitteisto siirryttyä käyttämään vesijohtovettä. Lauhteen kiintoaineen määrä eli sameus sekä lämpötila ovat tärkeitä mittaussuureita suolojen määrän ohella. Hiekkasuodattimelta tulevasta kirkkaasta lauhteesta tulee mitata happamuus, johtokyky, lämpötila ja sameus, joiden perusteella sitä voidaan syöttää raakaveden valmistukseen käytettävälle laitteistolle.

8.2.2 Suodatuslaitteistot

Lauhteen sisältämien epäpuhtauksien saamiseksi riittävälle tasolle vastaamaan sisällöltään vesijohtovettä on suodatusprosessissa lauhteen sisällöstä selvitettävä kiintoaine, orgaaniset aineet, suolat ja liukoinen hiilidioksidi CO_2 . Suodatusta ei voi järjestää yhdellä laitteella, vaan erityyppisiä epäpuhtauksia joudutaan poistamaan omilla prosesseilla, joiden järjestys on olennaista laitteiden toimivuuden takia.

Hiekkasuodattimen jälkeisessä linjassa on hyvä olla kiintoaineen suodatus varmistamassa läpi päässeiden kiintoaineiden erottuminen. Suodattimet voivat olla kertakäyttöiset patruunasuodattimet, jotka vaihdetaan tarpeen mukaan. Savukaasulauhteessa suolojen määrä on niin suuri, että siitä ei voi suodattaa täyssuolanpoistettua lisävetä yhdellä RO-suodatusvaiheella, vaan lauhteen suolapitoisuus on saatava ensin vesijohtovettä vastaavalle tasolle, joka voidaan järjestää tähän sopivalla RO-laitteistolla. Tämän tuottaman veden laadun osalta päästään suolojen määrässä vesijohtoveden suolamäärien alle, minkä takia täyssuolanpoiston toiminta parantuu. RO-laitteistoja on saatavilla myös kaksivaiheisella kalvosuodatuksella, eli kahdella peräkkäisellä RO-kalvovyksiköllä. Tässä muodostuvan rejektin määrä kasvaa jo noin kolmannekseen suodatettavasta vesimäärästä sekä laitteiston sähkönkulutus kasvaa kahden peräkkäisen paineenkorotuksen takia. Tilaajan vesilaitoksen ioninvaihtosarjojen käyttöä kirkkaalla raakalauhteella ja sen mukaan suunniteltua suuremmilla suolapitoisuuksilla ei voi suositella, vaikka ne teoriassa kykenevät suodattamaan tavanomaista isomman suolamäärän. Lauhteen eri suolojen suhteellinen määrä vesijohtoveden sisältöön voi vaihdella, mikä on huomioitava ioninvaihtohartsien toiminnassa ja elvytystarpeissa. Korkeammalla suolapitoisuudella sarjat ehtyvät nopeammin, kuin käytettäessä vähäsuolaisempaa vesijohtovettä. Tämän seurauksena sarjoja joudutaan elvyttämään useammin, lisäten elvytyskemikaalien käyttöä.

Prosessissa voi olla tarve myös poistaa liuennut hiilidioksidi omassa vaiheessaan ennen suolanpoistoa, vaikka ioninvaihto ja EDI soveltuvatkin sen poistoon. Ioninvaihdossa vahva anionihartsin poistaa hiilidioksidin ohella silikaattia SiO_2 , minkä poistaminen voi häiriintyä lisääntyneen hiilidioksidin määrän takia. Liukoista hiilidioksidia voidaan poistaa tähän sopivalla membraanikalvotekniikalla tai lauhteen pH-arvon nostamiselle noin 8,3:n tasolle, jolloin CO_2 -kaasu ei läpäise RO-kalvoa.

Kuvassa 8 on esitetty prosessin eri vaiheet alkaen nykyisen lauhteenkäsittelyn välisäiliöstä päättyen suolanpoistoon eli ioninvaihtosarjoille tai vedenpehmentimelle.



KUVA 8. Lauhteen puhdistusvaiheet (Polvinen, 2024)

Pesurin ja lasiputkiluvon lauhteista mitattiin sähkönjohtavuutta suolapitoisuuden määrittämistä varten. Lauhteen johtokyky oli mittausten perusteella pienempi, yleisesti annettuihin arvoihin verrattuna. Yleisesti johtokyvyn vaihteluväli on savukaasulauhteissa 1500–6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hiekkasuodattimelta poistuvan lauhteen johtokyvyksi mitattiin 619 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja savukaasuluvon poistolinjan lauhteelle 383 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mikä on huomattavan alhainen lukema verrattuna yleisesti annettuihin suolapitoisuuden arvoihin savukaasulauhteessa. Suolapitoisuuden laskemiseksi raakaveden pitoisuuksien tasolle (liite 4) suositellaan omaa suolanpoistoa ennen laitoksen olemassa olevaa suolanpoistoa tai vedenpehmentintä.

8.2.3 Säiliöt ja pumppaus

Nykyinen järjestelmä sisältää lauhteelle 750 litran kokoisin syöttösäiliön ennen pumppaamista jäähdytysvesilinjaan (liite 1). Tätä voidaan käyttää syöttösäiliönä talousvesi-RO:lle. Näin RO-sarjoille ja ioninvaihdolle varmistetaan tasainen syöttöpaine ja virtaus. Raakavesilaauteille lisävedelle tulisi varata varastosäiliö vaihtelevan vedentarpeen tasaamiseksi. Lauhteen virtauksen pysyvyyttä ei voi varmistaa vastaamaan vedenkulutuksen virtausta suoraan lauhteen välisäiliöstä. Suurella varastosäiliöllä saadaan varmuutta ja häiriönsietoa, mutta säiliön koko ja sijoittaminen vaikuttaa nostavasti investoinnin kustannuksiin. Arinatuuhkien sammutukset ja LTO-laitteistojen lisäveden syötöt voidaan järjestää suoraan syöttösäiliön pumpun jälkeisestä painelinjasta rinnakkaisina syöttölinjoina vesijohtoveden kanssa. Savukaasupesurin ja lasiputkiluvon hätäjähdytysten virtaukset ovat 6,3 ja 3,8 kg/s. Nämä päätettiin jättää työn ulkopuolelle, koska käytetyt vesimäärät ovat hyötyyn nähden pienet sekä pumppauksen ja säiliön kapasiteettia nostavat vaatimukset muihin verrattuna suuret.

8.3 Johtopäätökset

Tilaaajan savukaasulauhteet ovat hyödynnettävissä laitoksella ja raakaveden määrää on mahdollista korvata merkittäviä määriä, huomioiden suodatuslaitteistojen hukkaan menevät rejektivedet. Lauhdemäärät ylittävät vedenkulutuksen heinäkuuta lukuun ottamatta sekä olemassa olevia selkeytys-, jäähdytys- ja suodatuslaitteistoja voidaan käyttää lauhteiden esikäsitelyssä. Lauhteen hyödyntämisessä kannattaa panostaa prosessiveden valmistukseen, koska sen käyttö on tasaista verrattuna kaukolämpöverkon lisäveden valmistukseen. Kaukolämpöverkon vedenkulutus on merkittävä, mutta vaihtelevien vuotomäärien takia voi sen lisäveden kulutus olla alhaista pitkiäkin ajanjaksoja.

Pienin laiteinvestointi on arinatuuhkien sammutusaltaiden veden syöttöjen järjestäminen. Näillä vedenkäsitelyä ja erillistä varastosäiliötä ei ole välttämätöntä järjestää pienien vesimäärien takia. Näiden vedenkulutus ei kuitenkaan ole merkittävää, osuuksien ollessa kohteen mukaan kokonaiskulutuksesta 1,5–3,2 %. Lasiputkiluvon ja savukaasupesurin hätäjähdytysten vesimäärät ovat molemmat samaa tasoa arinatuuhkien sammutusvesien kanssa, mutta syöttölinjojen vaatima vedenpaine ja virtaus on huomattavan suuri muuhun vedenkulutukseen verrattuna. Näiden toteuttaminen vaatii säiliön ja pumpun osalta suuren kapasiteetin, saavutetun hyödyn jäädessä vähäiseksi.

Kaukolämpöverkon vedenpehmentimelle sekä ioninvaihtosarjoille syötettävän raakaveden täytyy vastata kunnallisen raakaveden laatua. Nykyisen lauhteenkäsittelyn puhdistama lauhde sopii raakavesilähteeksi, mutta sen lämpötila ja suolapitoisuus on korkea vesijohtoveteen verrattuna. Suolapitoisuuden alentamiseksi tarvittavalle tasolle on tälle sopivan RO-yksikön hankinta välttämätöntä, millä valmistetaan vesijohtoveden veroista raakavettä. Lauhteen lämpötila on mitatun keskiarvon mukaan alhaisempi, kuin laitetoimittajan ilmoittama korkein lämpötila-arvo, mutta lämpötilan vaihtelun tarkempi selvitys ja lauhdelinjaan asennettavan vaihtimen kytkentä olemassa olevaan jäähdytyspiiriin varmistaa, että puhdasta lauhdetta ei tarvitse ajaa viemäriin korkean lämpötilan takia.

Järjestelmä vaatii laiteinvestointeja suodatuslaitteistojen, mittauksien sekä veden pumppauksen ja varastoinnin osalta. Suodatukseen tarvittavien laitteistojen hankintaa varten on savukaasulauhteesta tehtävä vesianalyysien perusteella tätä työtä tarkempi selvitys, jonka perusteella saadaan luotettavasti toimiva laitekokonaisuus ja kustannukset tarvittavia kannattavuuslaskelmia varten.

Raakavesi- ja jätevesimaksujen ohella säästöjä saadaan veden esilämmityksestä. Muita mahdollisia säästöjä voi tulla myös ioninvaihtosarjojen elvytyskemikaalien eli natriumhydroksidin ja rikkihapon käytössä, parantuneen raakaveden laadun takia. Vedenkäsittelystä poistuvat jätevedet täytyy huomioida ympäristöön laskettujen päästöjen osalta, vaikka suolojen määrä ei kokonaisuudessaan nouse. Jos jäteveden päästöt eivät mahdu sovittuihin arvoihin, voi sen käsittelystä tulla kustannuksia viemäriin johtamisesta tai laiteinvestoinneista.

9 POHDINTAA

Laitoksen sisäisten kiertojen tehostaminen ja sivuvirtojen hyödyntäminen on hyvä lähtökohta kiertotaloustoimien edistämiseen. Tilaajan laitoksella on useita hyödyntämismahdollisuuksia savukaasulauhteille ja käytetyt raakavesimäärät ovat kokonaisuudessaan merkittäviä, mutta suurin osa käytetystä vedestä on suodatettua puhdasta vettä ja näillä laatuvaatimukset ovat korkeat vaatien kohtuullisen kalliita laiteinvestointeja. Käytetystä raakavedestä voidaan korvata nykyisen lauhteenkäsittelyn jälkeisellä käsittelemättömällä lauhteella vain arinatuhkien sammutusaltaiden vedentarve, joka on vain muutamia prosentteja kokonaiskulutuksesta. Vesijohtoveden laatuksen raakaveden valmistuslaitteistojen investointikustannukset voivat olla pienille laitoksille suuret suhteessa saatuun hyötyyn ja laitteiston kustannusten hankinta-aika voi olla kannattamattoman pitkä, varsinkin prosessien energiavirtojen ja vedenkäytön muuttuessa.

Savukaasulauhteen muodostumisen tasaisuutta ja raakaveden kulutusta tulee tarkastella kokonaisuutena laitospohjaisesti, huomioiden olosuhteet mahdollisimman tarkasti. Tulevaisuuden näkymien huomiointi on tarpeellista, koska mahdollisten uusien kattilainvestointien takia prosessiveden kulutus voi muuttua ja viedä kannattavuuden hankinnalta kulutuksen vähentyessä. Tulevaisuuden kattilainvestointeihin vaikuttaa ratkaisevasti sähkön tuotannon kannattavuus poltettaessa biopolttoaineita. Mahdollinen K1 kattilan korvaava suuresikattila pudottaisi todennäköisesti prosessiveden kulutusta huomattavia määriä. Kuitenkin verrattaessa Kuhmon kaukolämpöverkon vuotojen määrää vastaaviin verkostoihin ovat vuodot suuria, mikä luo kannattavuutta tämänhetkisellet lauhteenkäytölle, mutta toisaalta pitkällä aikavälillä tarkasteltuna vuotojen määrä on vaihdellut paljon. Perimätiedon mukaan vanhojen kaukolämpöputkielementtien eristeiden jatkokset eivät ole täysin vedenpitäviä, minkä takia maaperästä tulevalla vedellä on pääsy virtausputken pinnalle. Verkoston saneerauksen yhteydessä on usein voitu todeta teräksen korroosiota putken ulkopinnalla tämän seurauksena.

Laitteistojen investointien lähtökohtana ei tulisi olla suuren vedenkulutuksen korvaaminen muilla raakavesilähteillä ennen nykyisten prosessien vedenkulutuksen tarkastelua. Voimalaitosprosesseissa on taloudellista minimoida tarpeetonta vedenkulutusta esimerkiksi ulospuhallusten ja vuotojen osalta sekä välttää tarpeettoman laadukkaan lisäveden käyttöä, jos paremmalla vedenlaadulla ei saada hyötyä. Näiden pohjalta voidaan tehdä johtopäätöksiä siitä, onko nykyisen vedenkulutuksen tarkastelun ja sen myötä tehtävillä toimilla vaikutusta savukaasulauhteen käytön kannattavuuteen. Laajemmassa vedenkulutuksen tarkastelussa on järkevää ottaa huomioon myös kaikkien vesikiertojen seuranta, kuten ulospuhallusten jo kerran puhdistetun ja lämmitetyn veden hyödyntäminen tai yleisesti vedenkäytössä tarpeettoman kulutuksen vähentäminen. Tämä tuo vedenoton kustannusten lisäksi säästöjä veden lämmittämisessä ja vedenkäsittelykemikaalien käytössä.

Hiljattain käyttöön otettu K6 kattilalaitos ei sisällä savukaasujen lämmön talteenottoa, josta tulisi hyödynnettäviä lauhteita. Tämän kattilan yhteyteen rakennettava LTO-laitteisto lisäisi lauhteiden määrää myös lämpiminä kesäkuukausina. Tähän edellytyksenä on, että hukkalämmölle löytyy riittävästi kulu- tusta. Viirakuivainten ja kaukolämmön paluuveden ottama lämpöenergia on lämpiminä kuukausina pientä, minkä vaikutuksesta lauhteita ei juuri synny. Polttoainetta kuivaamalla nostetaan sen lämpöarvoa Stela-viirakuivaimella. Kuivaimen käyttämä lämpöenergian osuus on suurin yksittäinen hukkaläm- pöjen hyödyntämiskohde, minkä jatkuvuus on tärkeä huomio lämmön talteenoton käytössä ja lauhteen

hyödyntämisessä. Kaupungin kaukolämpöverkoston verrattain kuuma paluuvesi ei tarjoa mahdollisuutta merkittävälle energiamäärälle paluueden lämpötilan nostossa LTO-laitteistoilla ilman lämpöpumppua. Verkoston kaukolämpöasiakkaiden laitesaneerauksilla ja verkon menolämpötilan optimoinnilla voitaisiin tehostaa paluueden jäähtymää. Paluueden lämpötilan saaminen nykyaikaiselle noin 40 asteen tasolle toisi LTO-laitteistoille paremman käyttöasteen ilman investointia lämpöpumpputekniikkaan.

Laitteistojen mitoituksessa on huomioitava sopiva kapasiteetti ja riittävä varastosäiliön koko. Jos kulutus vaihtelee paljon ja otetut määrät ovat suuria lyhyellä aikavälillä, tulisi järjestelmään hankkia suuri säiliö varastointia varten sekä riittävän tehokas pumppuasema, mikä lisää kustannuksia. Myös syötetyn veden lämpötilan vakaus ja taso on varmistettava käytettäessä kalvotekniikkaa tai ioninvaihtosarjoja. LTO-laitteiston ajomalli vaikuttaa lähtevän lauhteen lämpötilaan ja liian kuumana suodatukseen tuleva vesi aiheuttaa ongelmia veden laatuun ja laitteiston toimintaan. Lauhteen lämpötilan hallitsemiseen täytyy rakentaa oma järjestelmä, mikä lisää laitekantaa ja tekee järjestelmästä monimutkaiseman ja herkemmän vioille ja häiriöille. Laitekokonaisuus vaatii käyttäjiltä perehtymistä huoltoon ja käytön aikaiseen ylläpitoon, mikä voi tuoda haasteita pienillä laitoksilla vähäisen käyttökäytökunnan takia.

Tilaajan laitoksella syntyvien lauhdemäärien saanto puhtaaksi vedeksi ylittää kulutuksen normaalin käytön aikana valtaosan vuodesta, vaikka laitteistojen rejektiveden määrä olisi kymmeniä prosentteja. Puhdasta vettä olisi mahdollista tuottaa huomattavasti suurempia määriä, mikä antaisi valmiuksia vastata lisääntyvään veden tarpeeseen. Kunnallisen raakaveden syöttö tulisi pitää rinnakkaisena vedenlähteenä LTO- tai vedenkäsittelylaitteiden toimintahäiriöiden ja huollon ajalle. Toisaalta laitoksen tarve ulkoiseen veden käyttöön vähenisi ja samalla riippuvuus ulkopuolisiin palveluntarjoajiin vähenisi. Kunnallisen juomaveden jakeluun voi tulla vikoja ja vedenlaatu voi vaihdella aiheuttaen laitoksen alasajon tai jopa laiterikkoja.

Tällä opinnäytetyöaiheella paransin omaa osaamista ja ymmärrystä savukaasupesurien ja lasiputkisten lämmönsiirtimien toiminnan ymmärtämisessä sekä näiden lauhdekierron ja poistuvan lauhteen käsittelymenetelmien hyödyntämisessä unohtamatta vedenkäsittelyn arvoa ja polttoprosessien monia muutujia. Opinnäytetyö vaati huomattavan määrän tilaa ajatuksille ja erilaisten näkökulmien pohdinnalle, erityisesti laitoksen kokonaiskuvaa ja sen käyttöä ajatellen. Opinnäytetyötä tehdessä oli positiivisesti huomattavissa oma opiskelun myötä tapahtunut kasvu ja jatkuva kiinnostus energia-alaa kohtaan.

LÄHTEET

Ahlström Boilers. (1991). *Tekninen erittely*. Kuhmo.

Condens Heat Recovery Oy. (2018). TOIMITUKSEN DOKUMENTAATIO. *P143 KUHMON LÄMPÖ OY*. Pori: Condens Ceat Recovery Oy.

Ehox Tuote Oy. (2024). *Savukaasujen puhdistus ja rikin poisto kaasuista*. Haettu 13. 3. 2024 osoitteesta Ehox tuote kotisivu: <https://www.ehox.fi/savukaasujen-puhdistus-rikin-poisto-kaasuista.htm>

Energiateollisuus. (2006). *Kaukolämmön käsikirja*. Helsinki, Suomi: Energiateollisuus ry.

Fröhlich, A. (Julkaisuaika tuntematon). *Taniplan*. Haettu 18. 2. 2024 osoitteesta Prosessilämmönsiirtimet: <https://de.cdn-website.com/21c4f244c6a24aa0a382abf8898bbc8a/files/uploaded/Air%2520Fr%25C3%25B6hlich%2520lasiputkisiirimet%2520rev.2.pdf>

Gustafsson, J. (2024). *Promisti*. Haettu 3. 4. 2024 osoitteesta <https://www.promisti.fi/savukaasulauhde-talteen-lisa%CC%88vetena%CC%88-energiantuotannossa/>

Haavisto, I. (19. 2. 2024). Puhelinkeskustelu. (E. Polvinen, Haastattelija) Kuhmo.

Heikkinen, J. (18. 2. 2024). *Haastattelu*. (E. Polvinen, Haastattelija)

Huhtinen, M.;Kettunen, A.;Nurminen, P.;& Pakkanen, H. (2000). *Höyrykattilatekniikka*. Kotka: Edita.

Huhtinen, M.;Korhonen, R.;Pimiä, T.;& Urpalainen, S. (2013). *Voimalaitostekniikka*. Helsinki: Opetushallitus.

Högfors GST. (2020). *Högfors GST verkkosivut*. Haettu 19. 3. 2024 osoitteesta <https://hogforsgst.com/fi/ajankohtaista/matalammat-lampotilat>

Järvenreuna, J. (2024). *Promaint-lehti*. (Kunnossapitoyhdistys, Toimittaja) Haettu 19. 3. 2024 osoitteesta Kunnossapidon ja tuotannon erikoislehti: <https://promaintlehti.fi/Tuotantotehokkuuden-kehittaminen/Savukaasupesuri-parantaa-lampoyhtion-kannattavuutta>

Klarin, A. (2009). *Kattilan korroosio ja päästöt*. Haettu 14. 3. 2024 osoitteesta Promaint: <https://www.teke.fi/esitteet-vidiot/promaint-artikkeli-anja-klarin-kattilan-korroosio.pdf>

Knowpulp. (2024). Haettu 10. 3. 2024 osoitteesta Kattilaveden valmistus.

Kuhmo Oy. (2024). *Kuhmo Oy verkkosivut*. Haettu 16. 4. 2024 osoitteesta <https://www.kuhmo.eu/tuotteet/#sivutuotteet>

Kuhmon Kaupunki. (2024). *Kuhmon kaupungin verkkosivut*. Haettu 19. 3. 2024 osoitteesta Kaupunki ja päätöksenteko: <https://www.kuhmo.fi/kaupunki-ja-paatöksenteko/kaupunkiorganisaatio/kuhmon-kaupunkikonserni/>

Kuhmon Lämpö Oy. (2023). *Lämpölaitoksen käyttöohjeet*. Kuhmo: Kuhmon Lämpö Oy.

Kuhmon Lämpö Oy. (2024). *Tuotannon seuranta*. Kuhmo: Kuhmon Lämpö Oy.

Polvinen, E. (2024). *Opinnäytetyön kuvakokoelma*. Kotialbumi, Kuhmo.

Puoskari, V. (2014). *Tieto & trendit*. Haettu 10. 3. 2024 osoitteesta Suomen tilastokeskus:
<https://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2014/kilpailu-maailman-vesivaroista-kiristyy/>

Rantonen, A. (12. 3. 2024). Haastattelu Savon Voima. (E. Polvinen, Haastattelija) Iisalmi.

Rissanen, V.-M. (2016). *Savukaasupesurilauhteen lämmön hyötykäyttö Vanajan voimalaitoksella*. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Haettu 23. 3. 2024 osoitteesta
https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/125614/Diplomityo_Rissanen_Ville-Matti.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Urbas. (2008). Kattilalaitoksen käyttöohjeet. Kuhmo.

Valtioneuvosto. (28. 3. 2022). *Julkaisuarkisto Valto*. Haettu 6. 3. 2024 osoitteesta
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163958>

VTT. (2012). *Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30MW kattilalaitosten ratkaisut sekä palamisen hallinta*. Jyväskylä: Ympäristöhallinto. Haettu 14. 3. 2024 osoitteesta
<https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Kotimaista%20polttoainetta%20k%C3%A4ytt%C3%A4vien%20kattilalaitosten%20tekniset%20ratkaisut%20Energiateollisuus%2C%20ymp%C3%A4rist%C3%B6ministeri%C3%B6%202012.pdf>

Vuorinen, J. (2. 4. 2024). Puhelinhaastattelu. (E. Polvinen, Haastattelija)

Väisänen, S.;& Ahopelto, L. (2016). *Vesivarojen arvo Suomessa*. Suomen ympäristökeskus. Haettu 24. 2. 2024 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/items/16e5c7db-30bc-4e1c-a16e-e7282eb7202f>

LIITE 1: SAVUKAASUPESURIN PI-KAAVIO, SALAINEN

LIITE 2: LASIPUTKILUVON TALTEENOTTOPROSESSIN AJOKUVA, SALAINEN

LIITE 3: PUHDISTETUN LISÄVEDEN LAATU

TEKNINEN ERITTELY
146/91

11.9.1991

1 (15)

A. Ahlström, Boilers
Kuhmon Lämpö Oy, Kuhmo831 SYÖTTÖVEDEN KÄSITTELYLAITTEET
VAIHTOEHTO IONINVAIHTO1
LÄHTÖTIEDOT

1.1 Raakavesi on Kuhmon kaupungin vesijohtovettä.

1.2 Puhdistetun lisäveden laatu

Kokonaiskovuus	< 0,003 mmol/kg
KMnO ₇ -luku	< 5 mg/kg
Silikaatti	< 0,02 mg/kg
Kokonaisrauta	< 0,05 mg/kg
Kokonaiskupari	< 0,001 mg/kg
Sähkönjohtavuus happo- elvytetyn näytekationi- vaihtimen kautta otetusta näytteestä	< 0,03 mS/m

2
PROSESSISELOSTUS

Vesijohtovesi tulee lämmönsiirtimen kautta välipumppaussäiliöön. Vesi pumpataan puhdistukseen pumpulla 5 m³/h. Ennen ioninvaihtimia on patruunasuodattimet 4 x 2 m³/h ruosteen yms. epäpuhtauksien poistamiseksi.

Ioninvaihtosarjoja on 2 kpl á 5 m³/h käsittäen kukin vastavirtaelvytteisen kationinvaihtimen ja vastavirtaelvytteisen anioninvaihtimen.

Sarjoja ajetaan normaalisti sarjaan kytkettynä, jolloin jälkimmäinen yksikkö toimii poliisina. Yhden sarjan ollessa elvytyksessä on toinen käytössä, joten veden tuotto ei keskeydy.

Elvytykset tapahtuvat täysin automaattisesti vesimäärän ja/tai johtokyvyn mukaan.

LIITE 4: KUNNALLISEN RAAKAVEDEN MÄÄRITYSTULOKSET

Kuhmon VesiEnergia Oy
Jokelainen Minna
Kainuuntie 82
88900 KUHMU



Tilausnro 319628 (10060/VERKOSTO), saapunut 4.12.2023 klo 10.20, näytteet otettu 4.12.2023
Näytteenottaja: Minna Jokelainen

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
35398	Verkostovesi, Saarikosken koulu

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	35398	**STM 1352
Haju		Ei todettu	
Maku		Ei todettu	
Escherichia coli*	pmy/100 ml	0	<1 (V)
Koliformiset bakteerit *	pmy/100 ml	0	<1 (T)
Enterokokit*	pmy/100 ml	0	<1 (V)
Heterotrof. pesäkeluku 22 °C *	pmy/ml	0	
Alkaliniteetti *	mmol/l	0,80	
pH *		7,7	»9,5, »6,5 (T)
Sähkönjohtavuus 25 °C *	µS/cm	89	<2500 (T)
Sameus *	FNU	<0,1	
Väriiluku *	mg/l Pt	10	
Rauta *	µg/l	9,0	<200 (T)
Mangaani *	µg/l	0,68	<50 (T)

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

**STM 1352 = Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousvedet

Menetelmätiedot viimeisellä sivulla, * = akkreditoitu menetelmä, (A) = alihankintamäärittäminen

LAUSUNTO

Verkostovesitutkimus, jatkuva valvontatutkimus
Kuhmo

** Sosiaali- ja terveysministeriön asetukset nro 1352/2015 ja 2/2023 talousveden laadusta ja valvonnasta sekä rakennusten vesilaitteistojen riskienhallinnasta, astunut voimaan 12.1.2023.

V = laatuvaatimus, T = laatuvaatimus

Veden sameus- ja väriarvon sekä hajun ja maun tulee olla käyttäjien hyväksyttävissä, eikä niissä saa esiintyä epätavallisia muutoksia.

Talousvesiasetuksessa heterotrofiselle pesäkeluvulle ei ole asetettu enimmäisarvoa, mutta siinä ei saa esiintyä epätavallisia muutoksia. Verkostovesissä pesäkeluvun tavanomainen taso on < 100 pmy/ml.

VEDENLAATU:

Verkostovesinäyte täytti tutkituilta ominaisuuksiltaan asetetut laatuvaatimukset ja -tavoitteet.

pmy = pesäkkeen muodostava yksikkö

LIITE 4: KUNNALLISEN RAAKAVEDEN MÄÄRITYSTULOKSET

skyT SAVO-KARJALAN
YMPÄRISTÖTUTKIMUS

TESTAUSSELOSTE
Talousvesitutkimus^
15.12.2023

23-9567
#1

2(3)

Sauli Schroderus

Sauli Schroderus
tutkija

Tulokset koskevat vastaanotettuja näytteitä. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Kvant. mikrobiologisille menetelmille mittausepävarmuudet ilmoitetaan pyydettyessä. Mittausepävarmuutta ei huomioida päätöksäännöissä.

LIITE 4: KUNNALLISEN RAAKAVEDEN MÄÄRITYSTULOKSET



SAVO-KARJALAN
YMPÄRISTÖTUTKIMUS

TESTAUSSELOSTE
Talousvesitutkimus[^]
15.12.2023

23-9567
#1

3(3)

MENETELMÄTIEDOT

Määrittys	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
Haju	Alustava haju (TL30)
Maku	Alustava maku (TL30)
Escherichia coli*	SFS 3016 (2011) (TL107)
Koliformiset bakteerit *	SFS 3016 (2011) (TL107)
Enterokokit*	SFS-EN ISO 7899-2:2000 (TL107)
Heterotrof. pesäkeluku 22 °C *	SFS-EN ISO 6222:1999 (TL107)
Alkaliniteetti *	SFS-EN ISO 9963-1:1996, kansallinen lisäys (TL30)
pH *	SFS 3021:1979 (TL30)
Sähkönjohtavuus 25 °C *	SFS-EN 27888:1994 (TL30)
Sameus *	SFS-EN ISO 7027-1:2016 (TL30)
Väriluku *	SFS-EN ISO 7887:2012, Method C (TL30)
Rauta *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Mangaani *	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL107	SKYT Oy, Kajaanin laboratorio, FINAS T047 (SFS EN ISO/IEC 17025)
TL30	SKYT Oy, Kuopion laboratorio, FINAS T047 (SFS EN ISO/IEC 17025)

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määrittys	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittyspvm.
Haju	2023/35398		5.12.2023
Maku	2023/35398		5.12.2023
Escherichia coli*	2023/35398		4.12.2023
Koliformiset bakteerit *	2023/35398		4.12.2023
Enterokokit*	2023/35398		4.12.2023
Heterotrof. pesäkeluku 22 °C *	2023/35398		4.12.2023
Alkaliniteetti *	2023/35398	±10%	5.12.2023
pH *	2023/35398	±0,2 yks.	5.12.2023
Sähkönjohtavuus 25 °C *	2023/35398	±5%	5.12.2023
Sameus *	2023/35398	Määrittysrajan alitus	5.12.2023
Väriluku *	2023/35398	±2 mg/l Pt	5.12.2023
Rauta *	2023/35398	±15%	5.12.2023
Mangaani *	2023/35398	±0,5 µg/l	5.12.2023

Tulokset koskevat vastaanotettuja näytteitä. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Kvant. mikrobiologisille menetelmille mittausepävarmuudet ilmoitetaan pyydettyinä. Mittausepävarmuutta ei huomioida päätöksäännössä.

LIITE 5: SAVUKAASUPESURIN LAUHTEN SEURANTA-ANALYYSIT

skyT SAVO-KARJALAN
YMPÄRISTÖTUTKIMUS

TESTAUSSELOSTE
Vesitutkimus^
9.4.2024

24-1851 1(3)
#2

Afry Finland Oy

FINAS
Finnish Accreditation Service
T047 (EN ISO/IEC 17025)

Tilausno 323170 (11000/Ylim.), saapunut 26.3.2024, näytteet otettu 25.3.2024
Näytteenottaja: EPP

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
7019	Ylimääräinen pesurin lauhde

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	7019
Lämpötila	Ast-C	38,5
pH*		7,2
Sähkönjohtavuus 25 °C*	mS/m	51
Hiilidioksidi	mg/l	26
Asiditeetti	mmol/l	0,58
Sameus*	FNU	0,28
BOD7-ATU*	mg/l O2	<0,5
Kokonaistyyppi*	mg/l	39
Kokonaisfosfori*	mg/l	0,004
Arseeni*	µg/l	<0,1
Kadmium*	µg/l	0,067
Kromi*	µg/l	0,10
Lyijy*	µg/l	<0,05
Sinkki*	µg/l	6,7
Kalsium*	mg/l	16
Magnesium*	mg/l	3,6
Kokonaiskovuus (Ca+Mg)*	mg/l	0,53
Sulfaatti*	mg/l	70
Liukoinen org. hiili, DOC*	mg/l	<0,5
Pii	mg/l	2,1
Kiintoaine*	mg/l	<1

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

Menetelmätiedot viimeisellä sivulla, * = akkreditoitu menetelmä, (A) = alihankintamäärittäminen

LAUSUNTO

Kuhmon Lämpö, ylimääräinen näyte pesurin lauhde

Lämpötila 38,5 °C
Virtaama 1,7 m³/h

Minna Kukkonen
tutkimuspäällikkö

LIITE 5: SAVUKAASUPESURIN LAUHTEN SEURANTA-ANALYYSIT

MENETELMÄTIEDOT

Määrittäminen	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
Lämpötila	Lämpötila (TL83)
pH*	SFS 3021:1979 (TL30)
Sähkönjohtavuus 25 °C*	SFS-EN 27888:1994 (TL30)
Asiditeetti	SFS 3005:1981 (TL30)
Sameus*	SFS-EN ISO 7027-1:2016 (TL30)
BOD7-ATU*	Sis.menet.LA02, SFS-EN 1899-1:1988, kumottu SFS-EN 25814:1993 (TL30)
Kokonaistyyppi*	SFS-ISO 29441:2018 (TL30)
Kokonaisfosfori*	ISO 15681-2:2018 (TL30)
Arseeni*	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kadmium*	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kromi*	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Lyijy*	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Sinkki*	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kalsium*	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Magnesium*	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Kokonaiskovuus (Ca+Mg)*	ICP-MS, SFS-EN ISO 17294-1 (2006) ja 17294-2 (2016) (TL30)
Sulfaatti*	SFS-EN ISO 10304-1 (2009) (TL77)
Liukoinen org. hiili, DOC*	SFS-EN 1484 (1997) (TL77)
Pii	ICP-OES, SFS EN ISO 11885 (2009) (TL30)
Kiintoaine*	SFS-EN 872:2005 (TL30)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL30	SKYT Oy, Kuopion laboratorio, FINAS T047 (SFS EN ISO/IEC 17025)
TL77	SKYT Oy, Joensuun laboratorio, FINAS T047 (SFS EN ISO/IEC 17025)
TL83	Näytteenottaja

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittämyspvm.
pH*	2024/7019	±0,2 yks.	26.3.2024
Sähkönjohtavuus 25 °C*	2024/7019	±5%	26.3.2024
Asiditeetti	2024/7019	±10%	26.3.2024
Sameus*	2024/7019	±0,1 FNU	26.3.2024
BOD7-ATU*	2024/7019	Määrittämysrajan alitus	26.3.2024
Kokonaistyyppi*	2024/7019	±10%	26.3.2024
Kokonaisfosfori*	2024/7019	±0,002 mg/l	27.3.2024
Arseeni*	2024/7019	Määrittämysrajan alitus	28.3.2024
Kadmium*	2024/7019	±15%	28.3.2024
Kromi*	2024/7019	±0,05 µg/l	28.3.2024
Lyijy*	2024/7019	Määrittämysrajan alitus	28.3.2024
Sinkki*	2024/7019	±15%	28.3.2024
Kalsium*	2024/7019	±10%	28.3.2024

Tulokset koskevat vastaanotettuja näytteitä. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Kvant. mikrobiologisille menetelmille mittausepävarmuudet ilmoitetaan pyydettyessä. Mittausepävarmuutta ei huomioida päätöksämissä.

LIITE 5: SAVUKAASUPESURIN LAUHTEN SEURANTA-ANALYYSIT

skyT	SAVO-KARJALAN YMPÄRISTÖTUTKIMUS	TESTAUSSELOSTE Vesitutkimus ^ 9.4.2024	24-1851 #2	3 (3)
MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT (jatkoa edelliseltä sivulta)				
Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittämisspvm.	
Magnesium*	2024/7019	±12%	28.3.2024	
Kokonaiskovuus (Ca+Mg)*	2024/7019	±12%	28.3.2024	
Sulfaatti*	2024/7019	±10%	2.4.2024	
Liukoinen org. hiili, DOC*	2024/7019	Määrittämissrajien alitus	4.4.2024	
Pii	2024/7019	±10%	4.4.2024	
Kiintoaine *	2024/7019	Määrittämissrajien alitus	26.3.2024	

Tulokset koskevat vastaanotettuja näytteitä. Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Kvant. mikrobiologisille menetelmille mittausepävarmuudet ilmoitetaan pyydettyinä. Mittausepävarmuutta ei huomioida päätöksäntoissa.

LIITE 6: SAVUKAASUPESURIN LAUHTEN TAKUUMITTAUSARVOT



Tutkimustodistus 2018-30967

Lite 3.2

1(2)
14.12.2018Nab Labs Oy
Minna LeväNevantie 21
86710 Kärämäki

Näytetiedot

Näyte	Vesi	Näytteen ottaja	Asiakas
Näyte otettu		Näytteenoton syy	Tutkimuspyyntö
Saapunut	04.12.2018		
Tutkimus alkoi	04.12.2018		
Tutkimus valmis	04.12.2018		
Viite	Kuhmon lämpö		
Yhteyshenkilö	Hanna Kemppe, 040 704 0528, Laboratoriokemisti		

Näyte: Vesi

Analyysi	Menetelmä	Yksikkö	30967-1	30967-2	30967-3
			Vesi Pesurivesi 26.11.18 30%	Vesi Pesurivesi 27.11.18 50%	Vesi Pesurivesi 27.11.18 100%
Kiintoaine (0,45 µm) *	SFS-EN 872:2005	mg/l	0,77	< 0,50	1,6
pH-arvo, 25 °C	SFS 3021:1979		7,0	7,2	7,2
Arseeni	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	0,10	< 0,05	< 0,05
Kadmium	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	1,4	0,78	0,92
Kromi	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	9,6	8,6	8,6
Lyijy	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	0,11	0,17	0,20
Sinkki	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	520	200	220

*=näyte tutkittu akkreditoidulla menetelmällä. Lausunto ei kuulu akkreditoinnin piiriin. Mittausepävarmuus ilmoitetaan pyydettäessä.

Hanna Kemppe
Laboratoriokemisti
Puh. 040 704 0528

Jakelu miiaperala@eurofins.fi;
minnaleva@eurofins.fi;
outiaitto-oja@eurofins.fi

Analyyssitulokset koskevat vain tutkittua näytettä. Tutkimustodistuksen osittainen kopioiminen kielletty.

Eurofins Nab Labs Oy · Business ID: 0283126-2 · Survontie 9 D · FI-40500 JYVÄSKYLÄ

www.eurofins.fi

Raportti 18R239 / 30.01.2019

LIITE 6: SAVUKAASUPESURIN LAUHTEN TAKUUMITTAUSARVOT



Tutkimustodistus 2018-30967

Liite 3.2

2(2)
14.12.2018**Mittausepävarmuustiedot**

Analyysi	Menetelmä	Yksikkö	30967-1	30967-2	30967-3
Kiintoaine (0,45 µm)	SFS-EN 872:2005	mg/l	± 0,3		± 0,3
pH-arvo, 25 °C	SFS 3021:1979		± 0,2	± 0,2	± 0,2
Arseni	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	± 0,03		
Kadmium	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	± 0,1	± 0,08	± 0,09
Kromi	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	± 1,0	± 0,9	± 0,9
Lyijy	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	± 0,03	± 0,03	± 0,03
Sinkki	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	± 52	± 20	± 22

Määrittämissäpäivät

Analyysi	Menetelmä	Yksikkö	30967-1	30967-2	30967-3
Kiintoaine (0,45 µm)	SFS-EN 872:2005	mg/l	04.12.2018	04.12.2018	04.12.2018
pH-arvo, 25 °C	SFS 3021:1979		04.12.2018	04.12.2018	04.12.2018
Arseni	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	04.12.2018	04.12.2018	04.12.2018
Kadmium	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	04.12.2018	04.12.2018	04.12.2018
Kromi	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	04.12.2018	04.12.2018	04.12.2018
Lyijy	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	04.12.2018	04.12.2018	04.12.2018
Sinkki	SFS-EN ISO 17294:16	µg/l	04.12.2018	04.12.2018	04.12.2018

Analyysitulokset koskevat vain tutkittua näytettä. Tutkimustodistuksen osittainen kopioiminen kielletty.

LIITE 7: LASIPUTKILUVON PI-KAAVIO, SALAINEN