

Veli-Matti Hämäläinen

**LAMELLISELKEYTYKSEN VAIKUTUKSET SAVUKAASULAUH-
TEEN LAATUUN**

LAMELLISELKEYTYKSEN VAIKUTUKSET SAVUKAASULAUHTEEN LAATUUN

Veli-Matti Hämäläinen
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma, energiatekniikka

Tekijä: Veli-Matti Hämäläinen

Opinnäytetyön nimi: Lamelliselkeytyksen vaikutukset savukaasulauhteen laatuun

Title of thesis: Effects of Lamellar Clarification on Flue Gas Condensate Quality

Työn ohjaajat: Aleksi Kokkonen, Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020

Sivumäärä: 50 + 2

Laanilan ekovoimalaitos tuottaa prosessihöyryä, sähköä ja kaukolämpöä Oulun Energian ja Laanilan teollisuuspuiston tarpeisiin. Ekovoimalaitoksen kattilassa käytetään polttoaineena syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä. Ekovoimalaitos on yhteydessä Laanilan Voima Oy:n voimalaitokseen ja niiden höyryntuotanto ohjataan laitosten yhteisiin höyrylinjoihin.

Jätteenpolton yhteydessä muodostuu vettä, joka polttoaineessa olevan kosteuden lisäksi haihtuu savukaasujen mukaan. Savukaasu kulkee kattilan ja savukaasunpuhdistuslaitteistojen läpi savukaasunlauhduttimelle, jossa se jäähdytetään ennen savupiippuun johtamista. Kun savukaasua jäähdytetään, siinä oleva kosteus tiivistyy vedeksi. Tätä vettä kutsutaan savukaasulauhteeksi, joka täytyy käsitellä ennen sen hyötykäyttöä tai viemärointiä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ekovoimalaitokselle hankitun lamelliselkeyttimen toimintaa osana savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmää. Lamelliselkeyttimen asentamisen ensisijaisena tarkoituksena on pienentää jäljempänä olevalle käsittelyjärjestelmälle aiheutuvaa kiintoainekuormitusta.

Työn vaiheisiin kuului perusteellinen tutustuminen ekovoimalaitoksen ja savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän toimintaan, lamelliselkeyttimen koeajojen suoritus, valvonta ja suunnittelu sekä näytteenotot koeajojen aikana.

Työn lopputuloksena saatiin selkeitä tuloksia lamelliselkeyttimen vaikutuksesta savukaasulauhteen kiintoainepitoisuuteen. Ekovoimalaitoksen lauhteenkäsittelystä tuli selkeyttimen asentamisen myötä varmatoimisempi. Lisäksi havaittiin, että savukaasulauhteen parempi hyötykäyttö vaatii onnistuakseen vielä toimenpiteitä.

Asiasanat: ekovoimalaitos, lamelliselkeytyks, lauhteenkäsittely, savukaasulauhde

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oulun Energian omistamalle Laanilan ekovoimalaitokselle. Työ suoritettiin Laanilan Voima Oy:n tilaamana 1.1.2020 - 22.4.2020.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia lamelliselkeytyksen toimintaa ja vaikutuksia laitoksen savukaasulauhteen puhdistusprosessiin sekä lauhteen laatuun. Työstä laaditun kirjallisen raportin lisäksi työn suoritukseen kuuluivat ekovoimalaitoksen ja savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän toimintaan tutustuminen, laitoksella suoritettavat lamelliselkeyttimen- ja lauhteenkäsittelyjärjestelmän koeajot sekä näytteenotot.

Ekovoimalaitoksen käytöstä ja kunnossapidosta vastaavan Laanilan Voiman henkilöstön kanssa tehtiin työn aikana tiivistä yhteistyötä. Prosessiin tehdyistä muutoksista ja koeajoista kerrottiin henkilökunnalle ja niitä suoritettiin myös yhdessä käyttöhenkilökunnan kanssa. Voimalaitoksen alueella työskentelevä henkilöstö oli tuttua, koska olin jo aiemmin työskennellyt laitoksella. Tutun henkilöstön apu ja tuki näytteenotoissa sekä prosessimuutoksissa auttoi työni suorittamisessa suuresti.

Työn ohjaajana toimi Laanilan Voima Oy:n puolelta Aleksi Kokkonen ja Oulun ammattikorkeakoululta Jukka Ylikunnari. Näytteenottojen osalta tehtiin yhteistyötä teollisuuspuiston alueella olevan Eurofins Nab Labs Oy:n kanssa.

Haluan kiittää kaikkia yhteistyökumppaneita, joiden tuesta ja avusta oli iso apu opinnäytetyöni suorittamisessa. Erityiskiitoksen haluan antaa upealle vaimolleni ja lapsille, jotka tuellaan ja kannustuksellaan auttoivat työni valmistumisessa.

Oulussa, 28.04.2020

Veli-Matti Hämäläinen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	8
2 LAANILAN TEOLLISUUSPUISTO	9
2.1 Oulun Energia Oy	10
2.2 Oulun alueen kaukolämpöverkko	10
3 LAANILAN VOIMA OY	12
3.1 Kiertoleijukattila 3410 Pyroflow	12
3.2 Leijupetikattila 209L	13
3.3 Öljykattila 208L	13
4 EKOVOIMALAITOS	14
4.1 Perinteisen höyryvoimalaitosprosessin kuvaus	14
4.2 Ekovoimalaitoksen kattila	15
4.3 Tulistinkattila	15
4.4 Jätteen vastaanotto, sekoitus ja syöttö kattilaan	16
4.5 Palaminen arinalla	16
4.6 Savukaasut	19
4.7 Savukaasujen puhdistus ekovoimalaitoksella	19
4.7.1 Ammoniakin syöttöjärjestelmä	20
4.7.2 Sähkösuodatin	20
4.7.3 Luehr Filter savukaasujen puhdistuslaitos	21
4.7.4 Savukaasulauhdutin	22
5 SAVUKAASULAUHTEEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ	24
5.1 Savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän toiminta	25
5.2 Käytettävät puhdistustekniikat	25
5.2.1 Pussisuodatin	25
5.2.2 Patruunasuodatin	26
5.2.3 Pehmennin	26

5.2.4 Käänteisosmoosi	27
5.3 Savukaasulauhteesta analysoitavat ominaisuudet	28
5.4 Opinnäytetyössä analysoitavat ominaisuudet	29
5.4.1 Happamuus	29
5.4.2 Johtokyky	29
5.4.3 Kovuus	29
5.4.4 Kiintoainepitoisuus	30
5.4.5 Sulfaattipitoisuus	30
6 LAMELLISELKEYTIN	31
6.1 Toimintaperiaatteet	32
6.2 Ekovoimalaitoksen lamelliselkeytin	32
7 KOEAJOT	34
7.1 Ensimmäinen koeajo	34
7.2 Toinen koeajo	37
7.3 Kolmas koeajo	39
7.4 Neljäs koeajo	40
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	44
9 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	48
Liite 1 Koeajosuunnitelma	

SANASTO

APC-tuhka	Air Pollution Control, savukaasujen puhdistuksessa syntyvä tuhka
BFBC	bubbling fluidized bed combustion, leijupetikattila
CFBC	circulating fluidized bed combustion, kiertopetikattila
CHP-laitos	Combined heat and power, yhteistuotantolaitos, jossa tuotetaan lämpöä ja sähköä
Ekovoimalaitos	Polttokelpoista yhdyskuntajätettä polttoaineenaan käyttävä voimalaitos
GWh	Gigawattitunti, energiamäärän ilmaiseva yksikkö, 10^9 Wh
LaVo	Laanilan Voima Oy
MW	Megawatti, tehon yksikkö, 10^6 W
SNCR	Selectiv Non Catalytic Reduction, selektiivinen ei-katalyyttinen pelkistys
TSP-vesi	Täyssuolapoistettu prosessivesi

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja selvittää lamelliselkeytyksen vaikutuksia Laanilan ekovoimalaitoksen savukaasulauhteen laatuun. Lisäksi työssä on tarkoitus tutkia lauhteen hyötykäyttömahdollisuuksia, jotka tarkoittavat lähinnä lauhteen hyödyntämistä kaukolämmön lisävetenä.

Lamelliselkeyttimen asentamisen tavoitteena on ensisijaisesti pienentää savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän kiintoainekuormitusta ja täten parantaa mahdollisuuksia lauhteen parempaan hyötykäyttöön. Selkeytin tullaan asentamaan savukaasulauhduttimelta tulevaan linjaan esiselkeytykseksi koko lauhteenpuhdistusprosessille. Tämän tavoitteena on mahdollisimman suuri kiintoaineksen erotus ennen varsinaista puhdistusprosessia. Erotettu kiintoaine on tarkoitus ohjata kuonasammuttimelle, mistä se kulkeutuu kuonan mukana jatkokäsittelyyn.

Opinnäytetyön suorittamisen vaiheita ovat ekovoimalaitoksen ja etenkin savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän toimintaan tutustuminen ja lamelliselkeyttimen sekä lauhteenkäsittelyjärjestelmän koeajot. Lisäksi koeajojen aikana tullaan suorittamaan näytteenottoja useista eri kohdista lauhteenkäsittelyprosessia.

2 LAANILAN TEOLLISUUSPUISTO

Oulussa Takalaanilan kaupunginosassa sijaitseva Laanilan teollisuuspuisto on ollut jo pitkään teollisuuskäytössä. Alueella on ollut teollista toimintaa jo 1950-luvulta lähtien. (1.)

Tällä hetkellä alueella sijaitsevat Eastman/Taminco Finland Oy:n ja Kemira Chemicals Oy:n tuotantolaitokset, Laanilan Voima Oy:n voimalaitos, Air Liquide Finland Oy:n ilmakaasutehdas ja tämän opinnäytetyön kohteena oleva Laanilan ekovoimalaitos. Alueelle on sijoitettu myös Oulun Energian kaukolämmön kallioliämpöakku ja vuoden 2020 aikana valmistuva Oulun Energian biovoimalaitos. (1.)

Edellä mainittujen lisäksi alueella on Oulun alueen kaukolämpöverkon varavoimalana toimiva Laanilan lämpökeskus. Kuvassa 1 on havainnollistava ilmakuva alueesta. Ekovoimalaitos sijaitsee keskellä teollisuuspuiston aluetta.



KUVA 1. Ilmakuvaa Laanilan teollisuuspuiston alueesta (2)

2.1 Oulun Energia Oy

Oulun Energia Oy on energiayhtiö, joka jalostaa pohjoisen Suomen luonnonvaroja sähköksi ja lämmöksi omissa voimalaitoksissaan. Tärkeimpiä energianlähteitä ovat turve, puu, vesi, jäte ja biokaasu. (3.)

Energiantuotannosta vastaavat Toppilan voimalaitokset, Merikosken voimalaitos ja Laanilan ekovoimalaitos. Vara- ja huipputehon kattamiseksi Oulun Energialla on omia lämpölaitoksia ja lämpöä ostetaan lisäksi paikalliselta teollisuudelta. Yhtiöllä on lisäksi pienimuotoista tuulivoimatoimintaa. Tällä hetkellä on lisäksi rakenteilla jätteiden lajittelulaitos Ruskoon ja biovoimalaitos Laanilaan. (3.)

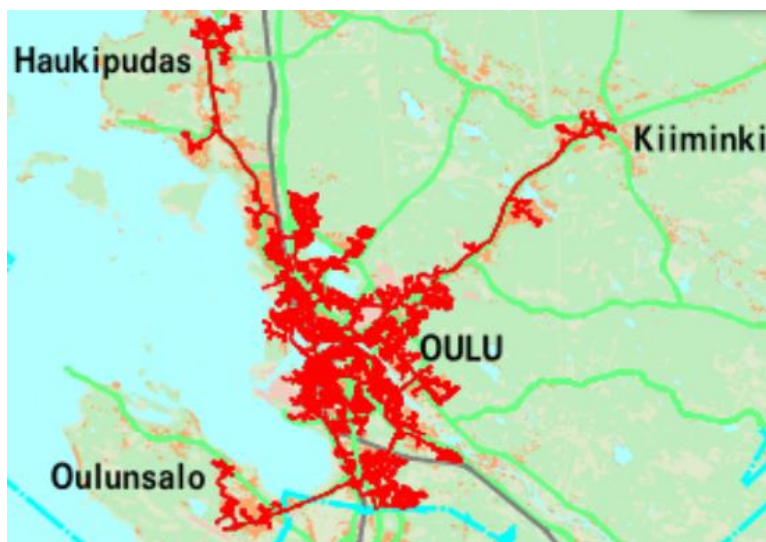
Oulun Energia Oy on osa konsernia, johon sen itsensä lisäksi kuuluvat Oulun Sähkönmyynti Oy, Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy, Oulun Energia Urakointi Oy, Turveruukki Oy ja Huoltovoima Oy (4). Taulukkoon 1 on listattu yhtiön työllisyys- ja tuloslukuja.

TAULUKKO 1. Oulun Energian lukuja vuodelta 2018 (4)

Oulun Energia vuonna 2018		
Liikevaihto	288,6	milj €
Liiketulos	32,9	milj €
Henkilöstö	373	kpl
Työllisyysvaikutus	800	henkilötyövuotta

2.2 Oulun alueen kaukolämpöverkko

Oulun Energialla oli vuoden 2018 lopussa kaukolämpöverkkoa yhteensä 830 kilometriä ja kaukolämmön piiriin kuului noin 150 000 ihmistä. Kaukolämpöliittymiä oli yhteensä 10 303 kappaletta. Kaukolämpöliittymien määrä kasvoi 180 kappaleella, joka vastaa edellisvuosien kasvutahtia. (4.) Kaukolämpöverkko ulottuu Oulun kaupungin alueelta Haukiputaalle, Oulunsaloon ja Kiiminkiin (5). Lämpöverkkoalueen laajuus on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Oulun Energian lämpöverkkoalue (5)

Laanilan ekovoimalaitoksen liittyminen vuonna 2012 yhdeksi alueen kaukolämmön tuottajista on vähentänyt reilusti Toppilan voimalaitosten osuutta kaukolämmön tuotannosta. Vielä vuonna 2011 Toppilan voimalaitosten osuus tuotannosta oli 93 prosenttia. (6.) Oheisesta taulukosta 2 on luettavissa vuosien 2014-2019 kaukolämmön tuotannon osuudet Oulun alueella.

TAULUKKO 2. Kaukolämmöntuotanto Oulun alueella (6)

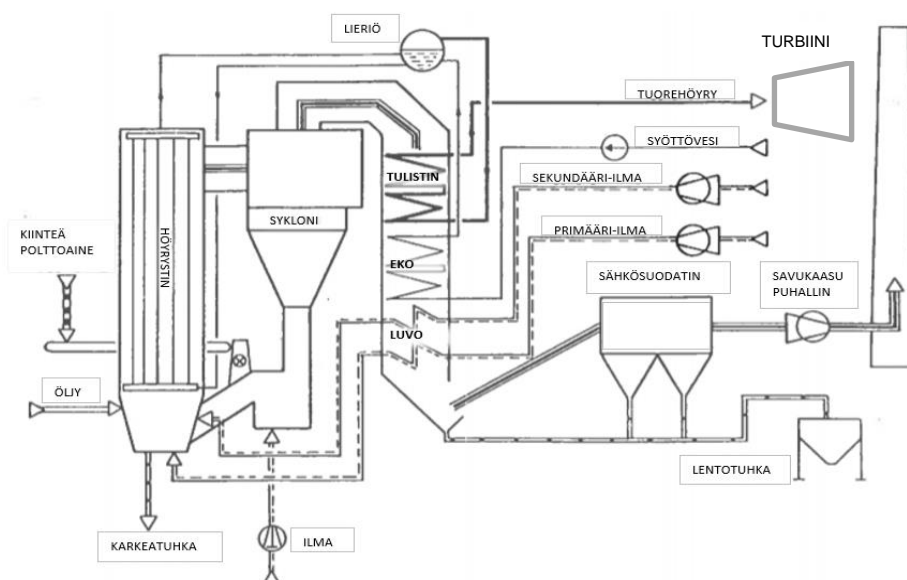
Lämmön alkuperä	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Toppilan voimalaitokset	66 %	62 %	63 %	69 %	65,3 %	63,2 %
Laanilan ekovoimalaitos	19 %	21 %	21 %	20 %	20,2 %	20,9 %
Lämpökeskukset	2 %	2 %	1 %	0,3 %	1,2 %	0,8 %
Osto	13 %	14 %	14 %	11 %	13,2 %	15,0 %
Yhteensä GWh	1978	1927	2153	2151	2148	2259

3 LAANILAN VOIMA OY

Laanilan Voiman voimalaitoksella tuotetaan prosessihöyryä, kaukolämpöä ja sähköä Laanilan teollisuusalueen tarpeisiin sekä Oulun Energialle. Voimalaitoskokonaisuuteen kuuluu kaksi kiinteän polttoaineen kattilaa ja yksi öljy-/kaasukäyttöinen varakattila. Sähköntuotantoa varten on kaksi turbiini-generaattoriyhdistelmää. Voimalaitoksen lämpöteho on 136 MW ja sähköntuotantokapasiteetti 30 MW.

3.1 Kiertoleijukattila 3410 Pyroflow

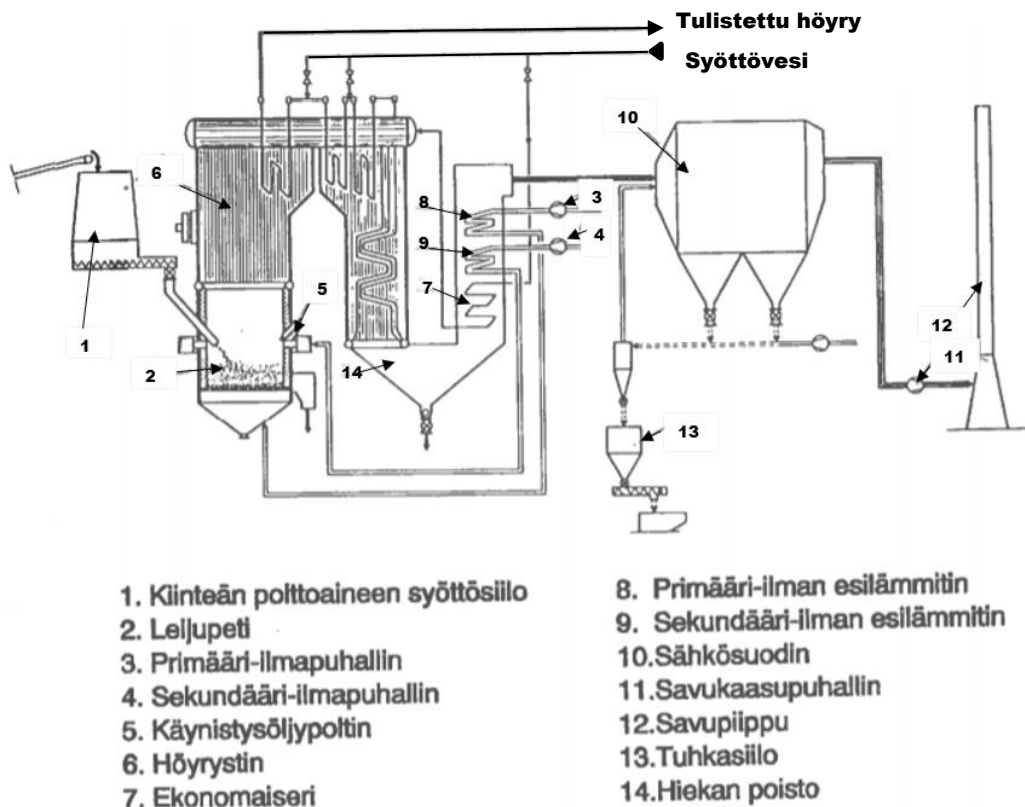
Voimalaitoksen pääkattilana toimii 3410 Pyroflow, joka on polttoaineteholtaan 64 MW:n ja lämpöteholtaan 55 MW:n kiertoleijukattila (CFBC) (7). Kattilan pääpolttoaineena käytetään jrsinturvetta. Kattilassa voidaan polttaa myös puuperäisiä polttoaineita, kivihiiltä ja öljyä. Lisäksi poltetaan myös teollisuusalueen prosesseissa syntyvää nokea, rikin talteenoton häiriöiden yhteydessä syntyvää happokaasua ja tarvittaessa vielä muurahaishappotehtaalta tulevaa formiaattisakkaa. Kattilan käyntiaika on vuosittain keskimäärin 8000 tuntia ja höyryntuotto 400 GWh. Kuvassa 3 on periaatekuva kiertoleijukattilasta.



KUVA 3. Kiertoleijukattilan periaatekuva (8, s. 160)

3.2 Leijupetikattila 209L

Alkujaan öljykattilana toiminut ja myöhemmin leijupetikattilaksi (BFBC) muutettu 209L on toinen laitoksen kiinteän polttoaineen kattiloista (7). Sen polttoaineteho on 48 MW ja lämpöteho 42 MW. Kattilan polttoaineita ovat turve, puu, öljy ja prosessikaasut. 8000 tunnin käyntiajalla kattilan höyryntuotto olisi noin 350 GWh, mutta viime vuosina sitä on käytetty keskimäärin noin 2500 tuntia vuodessa. Kuvassa 4 on periaatekuva perinteisestä leijupetikattilasta.



KUVA 4. Periaatekuva leijupetikattilasta (8, s. 158)

3.3 Öljykattila 208L

Öljykattila 208L toimii varakattilana 3410- ja 209L-kattiloille, ja sitä käytetään pääasiassa kovimpien pakkasjaksojen huippukattilana. Kattilan käyntiaika vaihtelee tilanteiden mukaan. Kattilassa voidaan polttaa kevyttä polttoöljyä ja prosessikaasuja. Lämpötehoitaan 47 MW:n ja polttoainetehoitaan 49,4 MW:n kattilan painerunko ja poltin on uusittu vuonna 2015 (7).

4 EKOVOIMALAITOS

Laanilan ekovoimalaitos valmistui kaupalliseen käyttöön elokuussa 2012. Laitos käyttää polttoaineenaan pääasiassa syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä, joka tarkoittaa lähinnä kotitalouksista peräisin olevaa polttokelpoista jätettä. Ylös- ja alasajotilanteissa sekä jätteenpolton häiriöiden aikaan, laitos käyttää tukipolttoaineena kevyttä polttoöljyä. (3.)

Jätettä hyödynnetään sähkön- ja lämmöntuotantoon noin 160 000 tonnia vuodessa. Laitoksen polttoaineteho on 58 MW, josta jätteenpolttokattilan osuus on noin 53 MW, ja loput 5 MW hoitaa ulkoinen kaasua ja öljyä käyttävä tulistinkattila. Kattilan maksimi höyryntuotto on 19,5 kg/s.

Vuonna 2018 ekovoimalaitoksella tuotettiin höyryä noin 403 GWh ja kaukolämpöä 33 GWh (3). Tuotettua höyryä hyödynnetään Laanilan teollisuuspuiston alueella oleviin teollisiin prosesseihin, LaVo:n sähköntuotantoon ja Oulun Energian kaukolämmön tuotantoon.

Ekovoimalaitoksella tuotettu höyry johdetaan putkistoa pitkin LaVo:n päähöyrytুক্কisiin noin 500 °C:n lämpöisenä ja 82 bar:n paineessa. Höyrytukkiltä höyry ohjataan LaVo:n turbiineille tuottamaan sähköä ja prosessihöyryä alueen tarpeisiin. Vaihtoehtoisesti höyryä voidaan ajaa myös reduktioiden eli paineenalennusosien kautta joko 2,5 tai 8 bar:n painetasoihin.

4.1 Perinteisen höyryvoimalaitosprosessin kuvaus

Höyryvoimalaitosprosessi tarkoittaa yksinkertaistettuna sitä, että kulloinkin käytettävään polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia siirretään kattilan höyrytimestä veteen. Höyrytimestä polttoaineen energialla aikaansaadaan veden höyrytymistä kattilan tulipesän seinissä olevissa höyrytinputkissa. Yleensä höyrytymään saatu vesi vielä tulistetaan savukaasujen avulla.

Tulistettu, korkeapaineinen ja kuuma höyry johdetaan yleensä turbiiniin, jossa höyryn kokonaisentalpia saadaan muutettua turbiinin siivistöjen avulla turbiinin pyörimisenergiaksi.

Turbiini pyörittää samalla akselilla olevaa generaattoria, joka muuttaa osan pyörimisenergiasta sähköenergiaksi. Energiaansa turbiinille luovuttanut höyry lauhuu voimalaitostyyppistä riippuen takaisin vedeksi lauhduttimessa, teollisuusprosesseissa tai kaukolämmönsiirtimessä. Kulutuskohteissa lauhtunut höyry palaa lauhteena lauhdesäiliön kautta takaisin syöttövesisäiliöön ja uudelleen kierto.

4.2 Ekovoimalaitoksen kattila

Ekovoimalaitoksen jätteenpolttokattila on luonnonkiertokattila, jossa höyrystyvä vesi virtaa putkissa. Höyryntuotannon kannalta luonnonkiertokattilan keskeisimmät komponentit ovat höyrystin, tulistin, lieriö ja vedenesilämmitin, josta käytetään myös nimitystä ekonomaiserin. Syöttövesi tuodaan kattilaan syöttövesisäiliöstä syöttövesipumpun avulla. Syöttövesi johdetaan ekonomaiserin läpi, jossa savukaasut jäähtyvät ja siirtävät lämpöä syöttöveteen. Ekonomaiserissa syöttöveden lämpötila nostetaan lähelle kylläistä lämpötilaa, minkä jälkeen se jatkaa matkaansa lieriöön. (8, s. 113.)

Lieriöstä vesi etenee laskuputkia pitkin kattilan tulipesää ympäröivien höyrystinputkien alaosaan. Höyrystinputkissa osa vedestä höyrystyy. Kylläisen veden ja vesihöyryn muodostama seos palaa putkia pitkin takaisin lieriöön, jossa höyry ja vesi erotetaan. Höyry nousee pienemmän tiheysarvonsa takia lieriön yläosaan, josta se virtaa tulistukseen. Höyrystymättä jäänyt vesi sekoittuu lieriöön johdettuun uuteen syöttöveteen ja valuu uudelleen laskuputkia pitkin höyrystymään kattilan höyrystinputkiin. (8, s. 113.)

4.3 Tulistinkattila

Tulistinkattilalla on merkittävä rooli ekovoimalaitoksella. Korroosiosyistä johtuen jätekattilalla ei voida tulistaa höyryä tarpeeksi korkeaan lämpötilaan, kun käytössä on normaalit tulistinmateriaalit (9). Jotta tuotettu höyry voidaan johtaa

LaVo:n päähöyrytukille täytyy sen lämpötilaa nostaa vaaditulle tasolle puhtaampaa polttoainetta käyttävän tulistikattilan avulla.

Jätekatilan höyryntuotannossa esiintyy myös jätepolttoaineen lämpöarvon vaihtelusta johtuvaa höyryn laadun vaihtelua, jonka tasaamisessa tulistikattilan merkitys edelleen korostuu. Tulistikattilassa muodostuvat savukaasut johdetaan takaisin jätekatilan tulipesään, jonka kautta savukaasut etenevät savukaasunpuhdistukseen yhdessä jätekatilan savukaasujen kanssa.

4.4 Jätteen vastaanotto, sekoitus ja syöttö kattilaan

Ekovoimalaitoksen voimalaitosprosessin ensimmäisenä vaiheena on polttoaineen eli jätteiden tuonti kuorma-autoilla sisään jätebunkkerin vastaanottopuolelle. Vastaanottohallissa on kolme pudotuspaikkaa, joista kuorma-autot kippaavat jätteen bunkkeriin. Bunkkerissa kaksi automaattista kahmarinosturia noutaa jätettä vastaanotto-ovilta ja kuljettavat sen varsinaisen jätebunkkerin puolelle, jonka koko on noin 9000 m³.

Jätebunkkerin puolella kahmarit sekoittavat jätettä, jotta se olisi mahdollisimman tasalaatuista ja täten saadaan polttoaineelle tasainen lämpöarvo, joka edesauttaa sen mahdollisimman hyvää palamista kattilan arinalla.

Kahmareilla annostellaan jätettä syöttösuppiloon keskimäärin 20 000 kg tunnissa; yhdessä kahmarikuormassa on noin 3000 kg jätettä. Jätteen syöttösuppilo on rakennettu lähes pystysuoraksi, mitä pitkin jäte kulkeutuu ilman tukoksia alaspäin jätteensyöttimen eteen. Takatulisuojana syöttösuppilossa on kaksi sulkupeltiä.

4.5 Palaminen arinalla

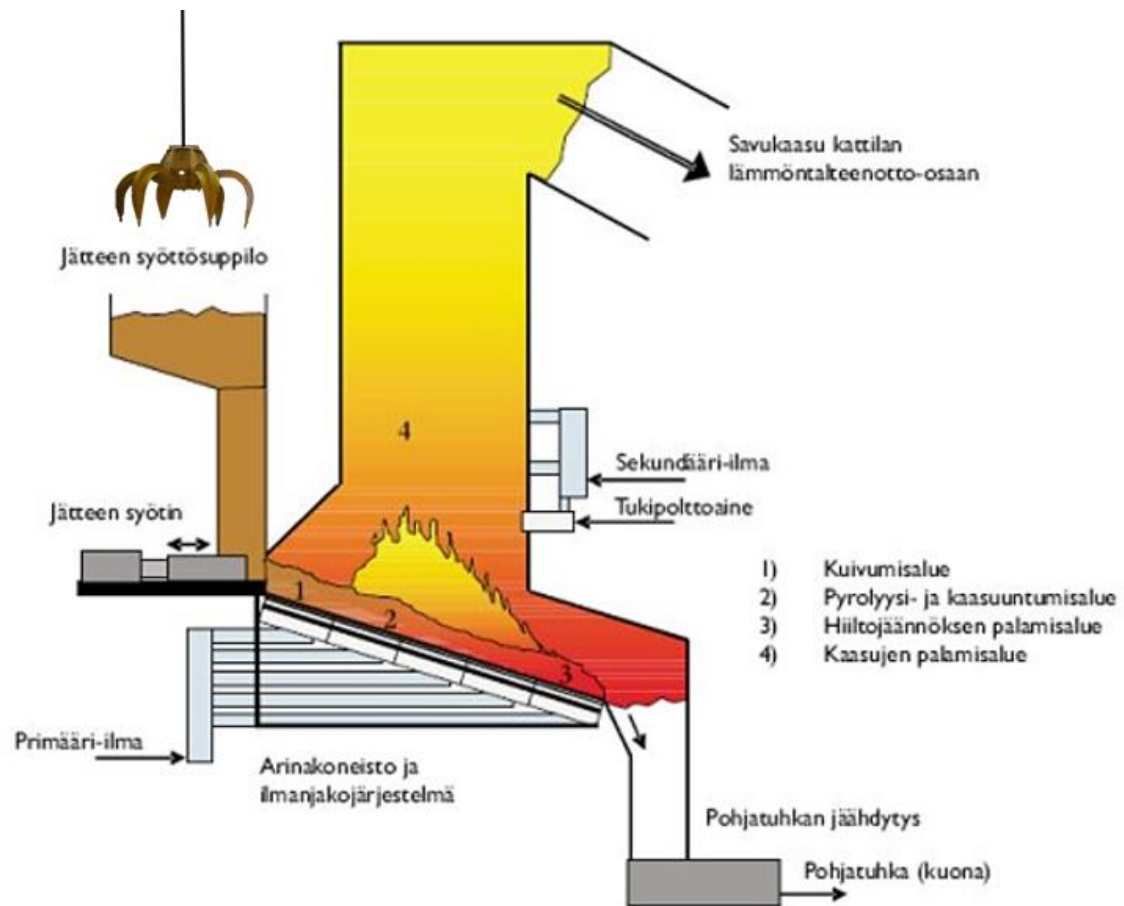
Jätteen palaminen tapahtuu kattilan arinalla, jonka yläosaan hydraulikalla toimiva jätteensyötin työntää jätettä. Syötin työntää jätteen arinalle tasaisena noin 0,5 metrin korkuisena mattona. Ekovoimalaitoksen kattilassa on viistoarina, jossa jäte kulkeutuu alaviistoon peräkkäisten sylinterinmuotoisten valssien päällä. Valssien välissä on raudat, jotka estävät jätteen putoamista niiden väliin. Primääri-

ilma tuodaan arinan alta valssien sisään, missä olevien reikien kautta ilma saadaan siirrettyä polttoaineeseen. (10.)

Arina on jaettu kolmeen vyöhykkeeseen, joista jokaisella on oma tehtävänsä. Ensimmäisellä vyöhykkeellä polttoaine lämpenee ja sitä kuivataan esilämmitetyn primääri-ilman ja tulipesän seinistä säteilevän lämmön avulla. Yleensä ensimmäiselle vyöhykkeelle tuotavan primääri-ilman osuus koko ilmamäärästä on pieni, joten seinien säteilyn vaikutus polttoaineen kuivumiseen on suurempi. (10.)

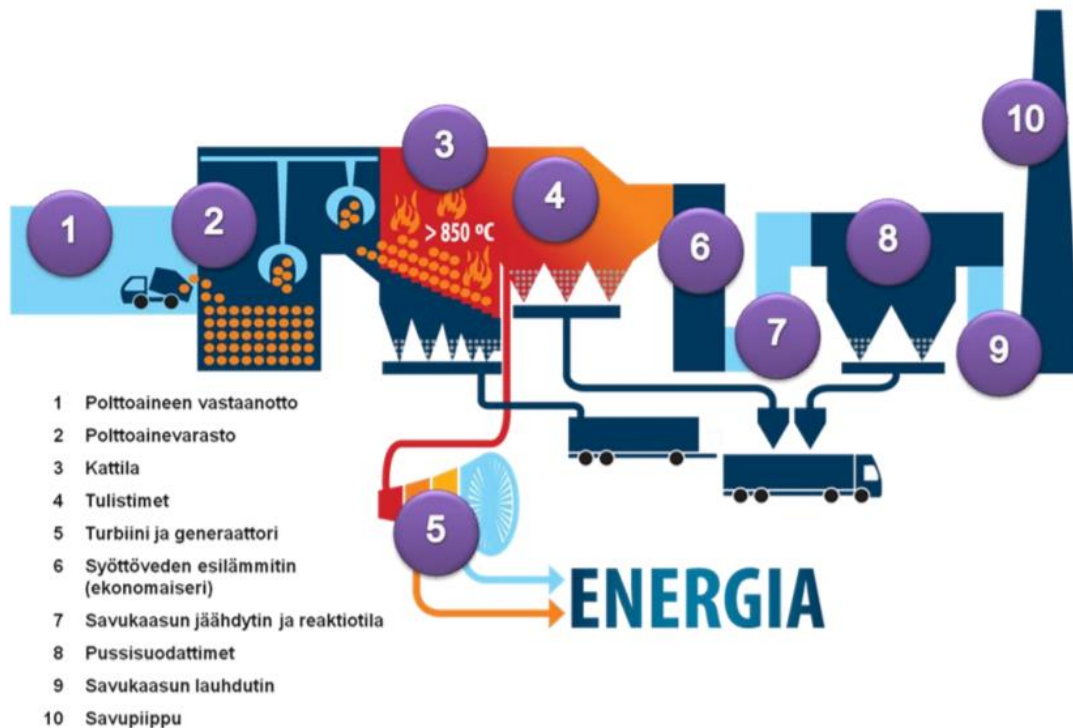
Toisella vyöhykkeellä tapahtuu itse palaminen. Arinan alapuolelta valssien sisään tuotavan primääri-ilman lisäksi kattilaan tuodaan sekundääri-ilmaa. Sekundääri-ilma tuodaan kattilan seinämästä puhaltamalla sitä arinan yläpuolella olevaan palotilaan, jolla varmistetaan jätteen täydellinen palaminen ja sen hallinta. (10.) Sekundääri-ilman avulla saadaan leijaillemaan lähteneet partikkelit sekä palamattomat kaasut poltetuiksi sekä kattilan jäännöshappi säädettyä sille asetettuun tavoitteeseen.

Kolmannella vyöhykkeellä varmistetaan jätepolttoaineen palaminen loppuun ennen kuonan tippumista vesitäytteiselle kuonasammuttimelle, jossa kuona jäähtyy ja kuljettimet vievät sen kuonabunkkeriin. Kuvassa 5 on selkeä havainnekuva jätteenpolttokattilan toiminnasta.



KUVA 5. Havainnekuva Laanilan ekovoimalaitoksen jätteenpolttokattilan arinasta ja palamisilmojen syötöstä (11)

Kuvasta 6 näkee ekovoimalaitoksen voimalaitosprosessin periaatteen. Kuvasta poiketen (kohta 5) ekovoimalaitoksella ei ole omaa turbiini-generaattoriyhdistelmää, vaan höyry ohjataan Laanilan Voima Oy:n höyryturbiineille. Lisäksi laitokselle on asennettu vuonna 2017 sähkösuodatin, jonka sijoituspaikka on kohtien 6 ja 7 välissä.



KUVA 6. Yleiskuvaus ekovoimalaitoksen prosessista (12)

4.6 Savukaasut

Palamisen seurauksena syntyy luonnollisesti savukaasuja. Savukaasut kulkeutuvat ensimmäisessä vaiheessa tulistimien läpi ja tulistavat kylläisessä lämpötilassa ja lieriöpaineessa olevan höyryn 425 °C:seen. Seuraavassa vaiheessa savukaasut kulkevat ekonomaiserin läpi lämmittäen lieriöön syötettävää syöttövedettä.

4.7 Savukaasujen puhdistus ekovoimalaitoksella

Ekovoimalaitoksella savukaasujen puhdistusjärjestelmän muodostavat ammoniakkin syöttöjärjestelmä (SNCR), sähkösuodatin, Luehr Filterin pussisuodattimin varustettu laitos ja savukaasulauhdutin.

4.7.1 Ammoniakin syöttöjärjestelmä

SNCR-järjestelmäksi kutsuttavaa ammoniakin syöttöjärjestelmää käytetään vähentämään savukaasujen typenoksidipäästöjä. Järjestelmä valvoo kattilan tulipesän yläosan lämpötiloja ja ruiskuttaa tulipesään ammoniakivettä. Ammoniakki-veden avulla pelkistetään savukaasujen sisältämiä haitallisia typenoksidipäästöjä (NO_x) typeksi ja vedeksi. (8, s. 261.)

4.7.2 Sähkösuodatin

Sähkösuodattimen avulla poistetaan savukaasuista kiinteitä epäpuhtauksia. Laanilan ekovoimalaitokselle asennettiin sähkösuodatin jälkiasennuksena joulukuussa 2017, sen tarkoituksena on toimia lentotuhkan esierottimena ennen varsinaista puhdistusprosessia.

Sähkösuodattimeen tulevan savukaasuvirran erotettavat hiukkaset varataan negatiivisesti niiden kulkiessa ionisoituneen vyöhykkeen läpi. Varautuneet hiukkaset saadaan erotettua voimakkaan sähköisen kentän avulla. Sähkösuodatin koostuu emissioelektrodista ja erotuselektrodista, joiden välille muodostuu 30-70 kilovoltin jännitteen ansiosta voimakas sähkökenttä. Tämän sähkökentän vaikutuksesta emissioelektrodeilla tapahtuu purkaus, jossa syntyy paljon negatiivisesti ja positiivisesti varautuneita kaasumolekyylejä. (8, s. 252-253.)

Tilanteessa, kun emissioelektrodi on negatiivisesti varautunut ja erotuselektrodi positiivisesti varautunut, tapahtuu positiivisesti varautuneiden ionien liikettä emissioelektronille. Emissioelektronilla ne luovuttavat varauksensa ja muuttuvat neutraaleiksi kaasumolekyyleiksi. (8, s. 252 - 253.)

Kun negatiiviset ionit kulkevat kohti erotuselektrodia, ne törmäävät pölyhiukkasiin ja varaavat ne negatiivisesti. Elektrodien välillä vallitsevan voimakkaan sähkökentän ansiosta saadaan aikaan negatiivisesti varautuneiden pölyhiukkasten liike kohti erotuselektrodia ja saadaan ne kiinnittymään siihen. (8, s. 252 - 253.) Ekovoimalaitoksella elektrodiin kiinnittynyt pöly poistetaan ravistimien avulla sähkösuodattimen alaosaan, josta kuljettimet vievät sen tuhkasiiloon.

4.7.3 Luehr Filter savukaasujen puhdistuslaitos

Ekovoimalaitoksella käytössä oleva savukaasujen puhdistusjärjestelmä on Luehr Filter GmbH:n toimittama laitos, jonka toiminta perustuu puolikuivaan pussisuodattimilla toteutettuun menetelmään. Haitallisten yhdisteiden ja raskasmetallien poistoon käytetään sammutettua kalkkia ja aktiivihiiltä.

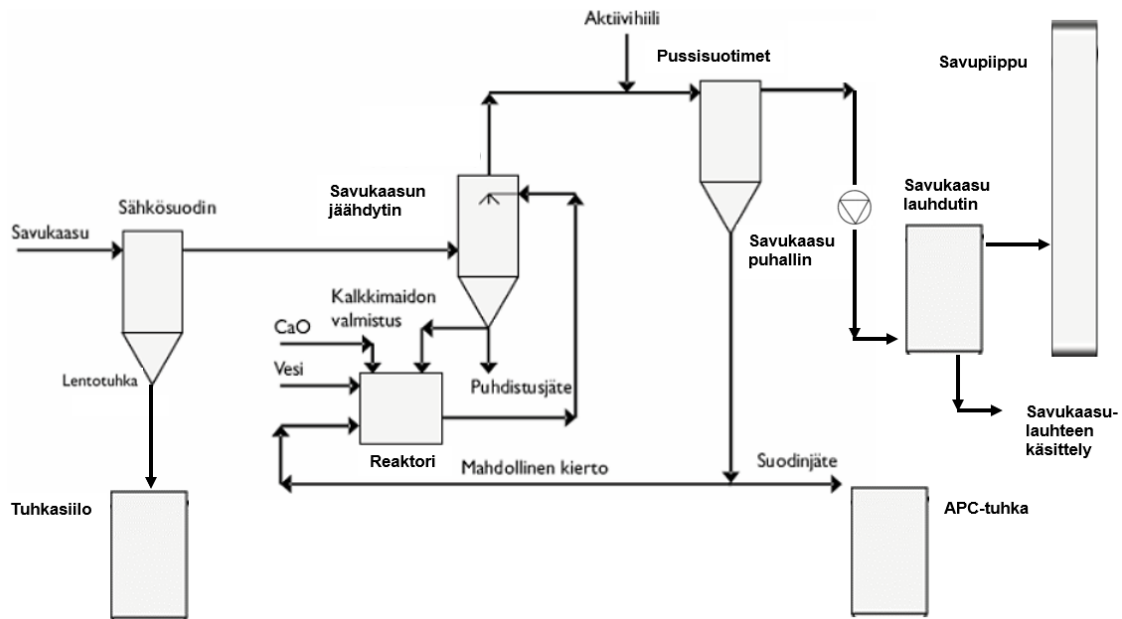
Puhdistuslaitoksen ensimmäisessä vaiheessa sähkösuodattimelta saapuva savukaasu menee savukaasun jäähdyttimeen, jossa se jäähdytetään 130 - 150 °C:n lämpötilaan ruiskuttamalla siihen TSP-vettä. Jäähdytys tehdään, jotta savukaasun lämpötila on sopiva kemiallisille reaktioille ja pussisuodattimille. (13.)

Jäähdyttimen jälkeen savukaasu etenee reaktoriin, jossa siihen syötetään poltettua kalkkia (CaO) ja vettä. Nämä muodostavat eksotermisessä reaktiossa sammutettua kalkkia (CaOH₂). Reaktorin tulopuolelle syötetään myös jäähdyttimessä erottunutta tuhkaa. Aktiivihiiltä voidaan syöttää reaktorin tulopuolelle tai vaihtoehtoisesti sen jälkeen, kuitenkin ennen pussisuodattimia. (13.)

Sammutetun kalkin avulla savukaasuista poistetaan rikkidioksia (SO₂), rikkitrioksidia (SO₃), suolahappoa (HCl), fluorivetyä (HF) ja osittain myös hiilidioksidia (CO₂). (13.) Aktiivihiili poistaa savukaasuista raskasmetallit, dioksiinit ja furaanit (14).

Reaktorin jälkeen savukaasu tulee kuudessa eri puhdistuskammiossa sijaitseville pussisuodattimille, joissa suodattimia on yhteensä lähes 2000 kappaletta. Suodattimet on pinnoitettu erotusta parantavalla pinnoitteella, jonka ansiosta pöly ja reaktiotuotteet saadaan hyvin erotettua. Suodattimia puhdistetaan automaattisesti ja tasaisin väliajoin paineilman avulla. (13.)

Osa pussisuodattimille jääneestä tuhkasta ja reaktiotuotteista kierrätetään takaisin reaktoriin, jossa voidaan hyödyntää niiden reagoimatta jäänyt aktiivihiili ja sammutettu kalkki. Suodattimille jäävä APC-tuhka siirretään kuljettimilla tuotesii- loon. (13.) Kuvassa 7 on havainnollistettu savukaasunpuhdistusjärjestelmän toimintaa ekovoimalaitoksella.



KUVA 7. Puolikuivan savukaasunpuhdistusjärjestelmän toimintakuvaus Laanilan ekovoimalaitoksella (14)

4.7.4 Savukaasulauhdutin

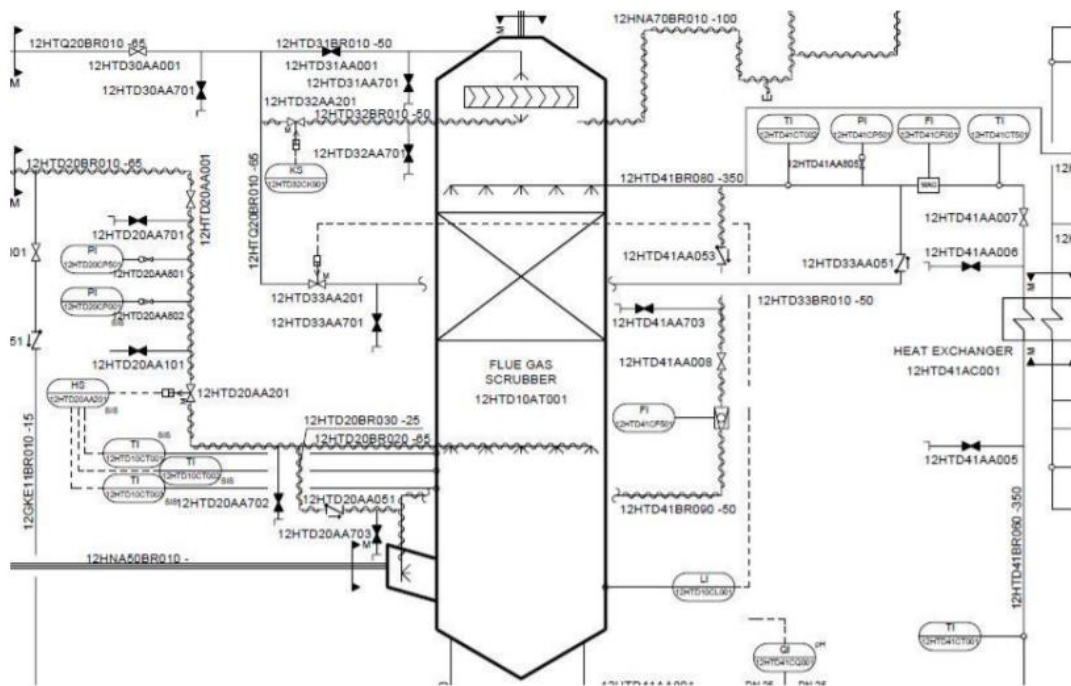
Savukaasunpuhdistuslaitokselta tuleva savukaasu siirretään savukaasupuhaltimen avulla savukaasulauhduttimeen. Lauhduttimelle tulevan savukaasun lämpötila on noin 140 °C. Savukaasu tulee sisään lauhduttimen alaosasta ja poistuu sen yläosasta savupiippuun noin 50 - 60 °C:n lämpötilassa.

Lauhduttimeen tulevaa savukaasua jäädytetään ruiskuttamalla siihen vettä suuttimien kautta. Jäähtyvistä savukaasusta vapautuva lämpö siirtyy savukaasulauhduttimen kiertoveteen, joka siirtää lämpöenergiaa kaukolämmön paluuveteen lämmönsiirtimen avulla. Lauhduttimesta saatava teho on keskimäärin noin 5 MW. Savukaasulauhdetta muodostuu laitoksella keskimäärin 0,8 kg/s, joka kaikki täytyy käsitellä. Käsitellystä lauhteesta osa voidaan ottaa hyötykäyttöön.

Lauhduttimessa saadaan lisäksi pestyä savukaasujen sisältämä suolahappo (HCl) ja rikkidioksidi (SO₂) pois. Tästä ominaisuudesta johtuen käytetään lauhduttimesta yleisesti myös nimitystä savukaasupesuri tai pesuri. Suolahappo ja rikkidioksidi ovat happamia yhdisteitä, joten lauhduttimen kiertoveden pH laskee

pesun yhteydessä, ja sitä on korjattava syöttämälle sen joukkoon natriumhydroksidia (NaOH) eli lipeää. (13.)

Rakenteeltaan lauhdutin on suuri lieriö ja sen sisällä on jäähdytysveden ruiskutukseen tarkoitettujen suuttimien lisäksi muovisia elementtejä, jotka parantavat lämmönsiirtokykyä. Lauhduttimen yläosassa on vielä pisaranerotin, jonka jälkeen savukaasu etenee piippuun. Kuvassa 8 on savukaasulauhduttimen PI-kaavio.

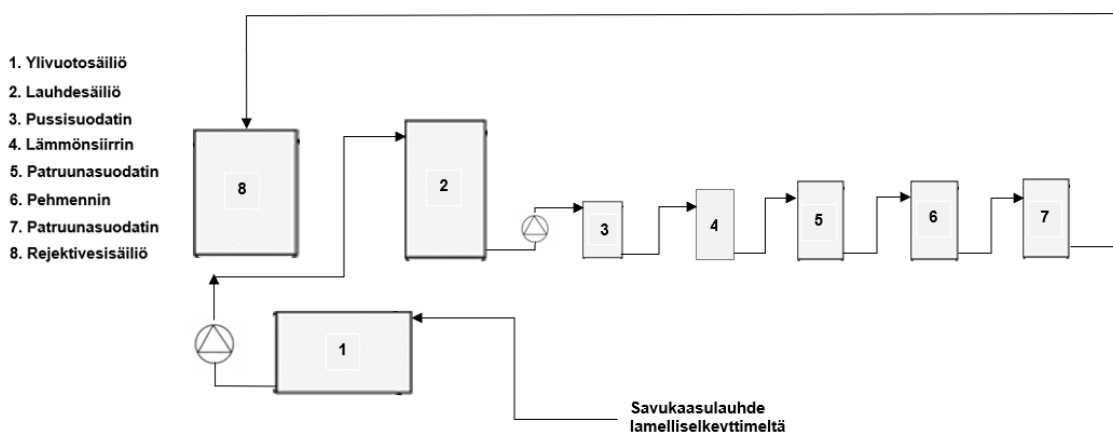


KUVA 8. Savukaasulauhduttimen PI-kaavio

5 SAVUKAASULAUHTEEN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄ

Ekovoimalaitoksen savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän tehtävänä on puhdistaa sinne tuleva savukaasulauhde siten, että lauhde täyttää sille asetetut laatuvaatimukset. Tällä hetkellä savukaasulauhdetta voidaan käyttää hyödyksi kuonasammuttimien lisävetenä sekä pieni osa pehmentimien elvytysvetenä. Hyötykäytöstä yli jäänyt lauhde viemäroidään, josta se etenee jatkokäsittelyyn Oulun Veden jätevedenkäsittelylaitokselle. Tällöin tulee huolehtia viemäroitävän lauhteen tarpeeksi pienistä sulfaattipitoisuuksista ja oikeanlaisesta pH-arvosta.

Käsittelyyn tulee lauhdetta saman verran kuin savukaasulauhduttimessa sitä muodostuu eli keskimäärin noin 0,8 kg/s. Hyötykäyttöön menevä määrä riippuu pääasiassa kuonasammuttimien poistokapasiteetista, joka on keskimäärin 0,2 kg/s. Kuvassa 9 on tällä hetkellä toiminnassa olevan ekovoimalaitoksen savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän kuvaus. Käsittelyjärjestelmän perään voidaan lisäksi liittää vielä käänteisosmoosilaitteisto, josta kerrotaan tässä kappaleessa jäljempänä.



KUVA 9. Ekovoimalaitoksen savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän kuvaus

5.1 Savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän toiminta

Ylivuotosäiliö toimii ekovoimalaitoksella savukaasulauhteen käsittelyn vastaanottosäiliönä. Säiliö on kaksiosainen suorakulmainen vaakasäiliö, jonka vastaanottopuolelle käsittelyyn tuleva savukaasulauhde johdetaan. Vastaanottopuolella lauhteessa vielä mahdollisesti oleva kiintoaines laskeutuu säiliön pohjalle ja jatkokäsittelyyn etenevä lauhde valuu ylitteenä säiliön toiseen osaan, josta se pumpataan lauhdesäiliön kautta kiintoainesta erottavan pussisuodattimen läpi.

Pussisuodattimen jälkeen lauhde etenee lämmönsiirtimelle, jossa se jäähtyy noin 30-asteiseksi. Lämmönsiirtimeltä lauhde etenee ensimmäiselle patruunasuodattimelle, jonka jälkeen se johdetaan pehmentimen kautta vielä toiselle patruunasuodattimelle. Viimeisessä vaiheessa lauhde siirretään rejektisäiliöön, josta se viemäroidään Oulun Veden käsiteltäväksi.

5.2 Käytettävät puhdistustekniikat

Savukaasulauhteen käsittelyyn käytetään ekovoimalaitoksella useita erilaisia suodattimia ja puhdistustekniikoita. Niillä jokaisella on oma tarkoituksensa käsittelyprosessin hyvän toiminnan kannalta.

5.2.1 Pussisuodatin

Ekovoimalaitoksen varsinaisessa lauhteenkäsittelyjärjestelmässä pussisuodatin toimii helposti puhdistettavana tai vaihdettavana esisuodattimena, jonka huokoskoko on 100 mikrometriä. Lauhdesäiliöstä pumpattava lauhde kulkee ensimmäisenä pussisuodattimen läpi ja jos lauhde sisältää runsaasti kiintoainetta, tämä suodin likaantuu ensimmäisenä. Suodattimen tukkeentumisen näkee helposti sen tulo- ja lähtöpuolen paine-eroa seuraamalla. Kuvassa 10 oikealla on käyttämätön pussisuodatin suodatinkotelon vieressä ja vasemmalla puolella käyttämätön patruunasuodatin.



KUVA 10. Käyttämättömät patruuna- ja pussisuodattimet

5.2.2 Patruunasuodatin

Patruunasuodattimet ovat teollisuudessa erittäin yleisesti käytettäviä suodattimia. Niissä suodatus perustuu suodinpatruunassa tapahtuvaan syväsuodatukseen. Ekovoimalaitoksen patruunasuodattimet ovat kertakäyttöisiä ja koostuvat useista naruista punotuista suodinelementeistä. Suodattimien tukkeentumista voidaan seurata niiden tulo- ja lähtöpuolen paine-eroa seuraamalla. Paine-ero luonnollisesti kasvaa, kun suodattimen sisään kertyy kiintoainesta. Suodattimet vaihdetaan, kun paine-ero kasvaa liian suureksi.

5.2.3 Pehmennin

Savukaasulauhteen pehmennykseen ekovoimalaitoksella käytetään kahta pehmennintä, joita käytetään poistamaan lauhteen kovuus. Pehmennyksessä käytetään ioninvaihtotekniikkaa, jonka toiminta perustuu vahvoihin kationinvaihtimiin. Pehmennin on toimintakykyinen niin kauan kuin sillä on vapaita ioneja käytettävissään. Vapaiden ionien loppuessa pehmennin täytyy elvyttää, mikä tapahtuu natriumkloridin avulla. Pehmentimen elvytyksessä kovuutta aiheuttavat kalsium-

ja magnesiumionit vaihdetaan natriumioneihin. (8, s. 29.) Elvytyksen jälkeen pehmentin on jälleen toimintakykyinen. Pehmentimiä käytetään vuorotellen, jolloin voidaan varmistua siitä, että toinen on aina toimintakykyinen. Kun pehmentin toimii oikein, sieltä lähtevällä vedellä ei tulisi olla lainkaan kovuutta.

5.2.4 Käänteisosmoosi

Ekovoimalaitoksella on kaksi kappaletta käänteisosmoosilaitteiston kuoroputkia, joista molemmat sisältävät viisi kappaletta suodatinelementtejä. Käänteisosmoosisuodatin tuottaa sinne syötettävästä lauhteesta kaksi jaetta, joita kutsutaan permeaatiksi ja rejektiksi. Käänteisosmoosilaitteistossa vesi pumpataan korkeapainepumpulla osmoottista painetta suuremmalla paineella suodattimen vaippapuolelle ja näin vesi pakotetaan liikkumaan puoliläpäisevien kalvojen läpi kohti keskellä olevaa permeaattiputkea. (8, s. 31.)

Kalvojen läpi kulkeneesta puhtaammasta vedestä käytetään nimitystä permeaattivesi ja likaista vettä kutsutaan rejektivedeksi. Kaikki permeaattivedestä poistetut ainesosat konsentroituvat rejektiveteen. Käänteisosmoosista käytetään yleisesti myös nimitystä RO, joka tulee sanoista Reverse Osmosis.

Permeaattivettä voidaan hyödyntää kaukolämmön lisävetenä, mikäli sen pitoisuudet täyttävät lisävedelle annetut pitoisuusvaatimukset. Rejektivettä hyödynnetään laitoksen jätekattilan kuonasammuttimien lisävetenä. Kuvassa 11 on puhdas käyttämätön RO-elementti ja likaisia vanhoja RO-elementtejä. Kuvasta 11 voi helposti havaita elementin keskellä olevan permeaattiputken, jonne puhdas jae päättyy.



KUVA 11. Käyttämätön RO-elementti ja likaantuneita vanhoja RO-elementtejä

5.3 Savukaasulauhteesta analysoitavat ominaisuudet

Ekovoimalaitoksella savukaasulauhteesta otetaan jatkuvasti näytteitä, jotka analysoidaan laboratoriossa. Automaatiojärjestelmään liitettyjen analysaattoreiden avustuksella laitoksella voidaan seurata jatkuvatoimisesti eräitä lauhteen ominaisuuksia, joista tärkeimpänä voidaan pitää lauhteen happamuutta. Jatkuvilla pH-mittauksilla pysytään kartalla lauhteen happamuudesta, jota säädetään syöttämällä lipeää savukaasulauhduttimeen.

Savukaasulauhduttimen kiertovedestä otetaan kaksi kertaa viikossa näytteet, joista määritetään johtokyky, happamuus sekä kiintoaine- ja klooripitoisuudet. Myös rejektivedestä otetaan näytteet kaksi kertaa viikossa, joista määritetään happamuus, johtokyky sekä kloori-, kiintoaine- ja sulfaattipitoisuudet.

5.4 Opinnäytetyössä analysoitavat ominaisuudet

Tässä opinnäytetyössä ollaan ensisijaisesti kiinnostuneita lauhteen kiintoainepitoisuudesta. Työn aikana otetuista näytteistä analysoitiin myös muita pitoisuuksia, kuten happamuutta, kovuutta, johtokykyä ja sulfaattipitoisuuksia.

5.4.1 Happamuus

Veden happamuutta tai emäksisyyttä kuvataan pH-arvolla. Ekovoimalaitoksella seurataan savukaasulauhteen pH-arvoa automaatiojärjestelmään liitettyjen analysaattoreiden avulla. Savukaasulauhduttimen yhteydessä on lipeän annostelu lauhduttimeen, jolla veden pH-arvoa voidaan säätää. pH-arvo pyritään säätämään sellaiseksi, että se olisi edullista prosessin, putkistojen ja laitteiden kannalta. Hapanta liuosta tulee välttää, koska se aiheuttaa voimakasta korroosiota. Savukaasulauhteen pH:n tavoitearvona laitoksella käytetään lukemaa 7,5. Vesi on hapanta, kun sen pH-arvo on 0 - 7. Neutraalin veden arvo on 7 ja emäksisen veden arvo 7 - 14 (15, s. 298).

5.4.2 Johtokyky

Yksinkertaistettuna veden johtokyky tarkoittaa sen sähkönjohtavuutta. SI-järjestelmässä sähkönjohtavuuden yksikkönä käytetään mS/m (millisiemens/metri). Yleensä veden sähkönjohtavuus ilmoitetaan 25 °C:n lämpötilassa ja sen johtokyky on käytännössä suoraan verrannollisen veden suolapitoisuuteen. (15, s. 298.)

5.4.3 Kovuus

Veden kovuutta aiheuttavat ekovoimalaitoksella kalsium ja magnesium. Kovuus ilmoitetaan yleensä saksalaisen menetelmän mukaan, missä yksikkönä on °dH. Ekovoimalaitoksella lauhteen kovuus poistetaan pehmentimillä, jotka sisältävät vahvaa kationinvaihtomassaa.

5.4.4 Kiintoainepitoisuus

Kiintoainepitoisuus ilmaisee veteen liukenemattomien epäpuhtauksien määrän. Ekovoimalaitoksella lauhteen kiintoaineen poistoon käytetään lamelliselkeytintä sekä pussi- ja patruunasuodattimia. Kiintoainepitoisuus ilmoitetaan yleensä milligrammoina litrassa.

5.4.5 Sulfaattipitoisuus

Sulfaatit ovat rikkihapon suoloja. Ekovoimalaitoksella osa puhdistetusta lauhteesta joudutaan viemäröimään Oulun Veden jatkokäsiteltäväksi. Viemäröitävän lauhteen osalta tulisi huolehtia tarpeeksi alhaisista sulfaattipitoisuuksista. Betoniin viemäriputkiin johdettavan lauhteen sulfaattipitoisuuden raja-arvoksi on asetettu 400 mg/l, koska korkeat sulfaattipitoisuudet voivat aiheuttaa betoniin korroosiota etenkin yhdessä muiden kemikaalien kanssa.

6 LAMELLISELKEYTIN

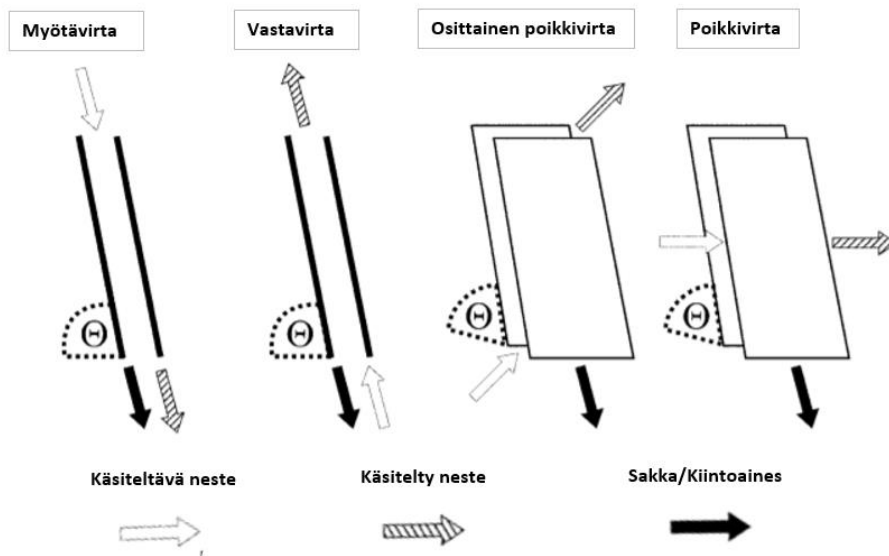
Lamelliselkeyttimiä käytetään monissa teollisissa prosesseissa pääasiassa kiinteiden aineiden erottamiseen puhdistettavista nesteistä laskeutuksen avulla. Ekovoimalaitokselle päätettiin asentaa lamelliselkeytin, jotta voitaisiin pienentää varsinaiselle savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmälle aiheutuvaa kiintoainekuormitusta. Lamelliselkeyttimen tehokas kiintoainenerotuskyky helpottaa lauhteenkäsittelyn hyvää toimintaa myös poikkeustilanteissa. Nämä tilanteet tarkoittavat lähinnä savukaasunpuhdistuslaitoksen ongelmatilanteita, jolloin pussisuodattimilta pääsee kiintoainetta savukaasulauhduttimelle saakka. Kuvassa 12 on ekovoimalaitokselle asennettu lamelliselkeytin.



KUVA 12. Ekovoimalaitoksen lamelliselkeytin

6.1 Toimintaperiaatteet

Lamelliselkeyttimien toimintaperiaatteet ovat varsin yksinkertaisia. Yleisesti tunnetaan neljä erilaista toimintaperiaatetta, jotka ovat myötävirta-, vastavirta-, osittainen poikkivirta- ja poikkivirtaperiaate (15). Ekovoimalaitokselle asennettu lamelliselkeytin toimii vastavirtaperiaatteella. Erilaiset toimintaperiaatteet sekä niissä esiintyvien nuolien selitteet on esitelty kuvassa 13. Jäljempänä tässä työssä käytetään lamelliselkeyttimestä myös nimitystä selkeytin.



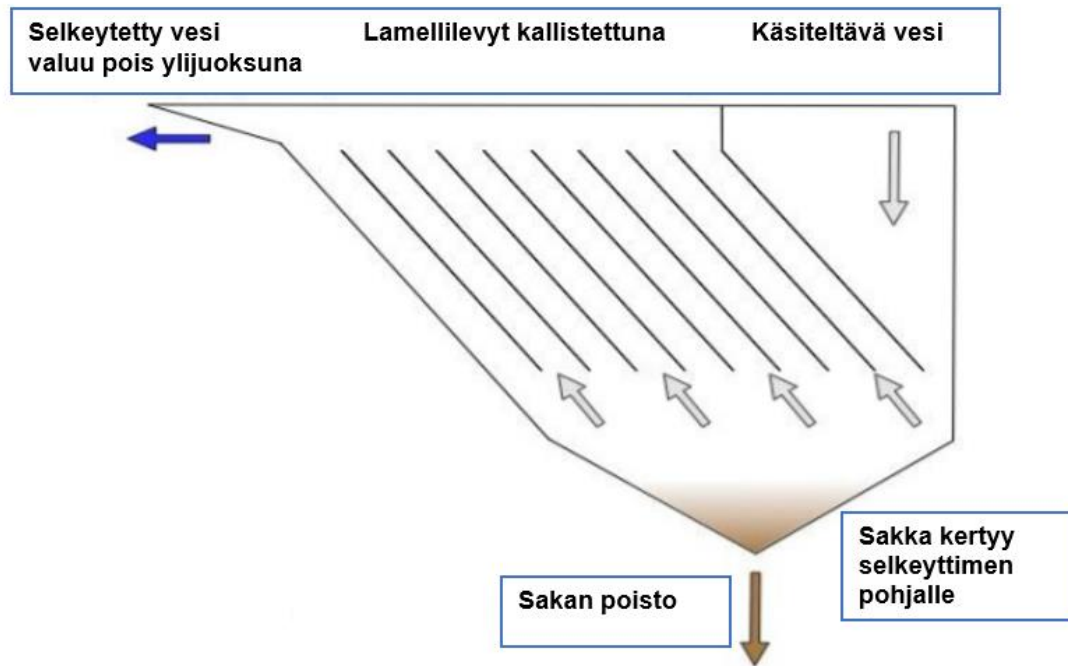
KUVA 13. Lamelliselkeyttimien toimintaperiaatteita (15)

6.2 Ekovoimalaitoksen lamelliselkeytin

Ekovoimalaitokselle asennettuun vastavirtaperiaatteella toimivaan lamelliselkeyttimeen käsiteltävä vesi johdetaan sisään sen toiselta yläreunalta. Tuloreunan ja lamellilevyjen välissä on seinä, jolla saadaan virtaussuunta ohjattua kulkemaan lamellien välissä alhaalta ylöspäin.

Erotettava kiintoaines laskeutuu lamellien pinnalle, josta se lähtee gravitaation eli painovoiman vaikutuksesta laskeutumaan kohti selkeyttimen pohjaa. Selkeyttimen pohjasta käytetään tässä yhteydessä nimitystä sakkapesä.

Selkeytetty vesi eli kirkaste poistuu selkeyttimestä ylijooksuna sen toisella yläreunalla olevasta ylivuotoaltaasta. Erotettu sakka ja kiintoaine poistetaan sakka- pesästä putkea pitkin kuonasammuttimille. Lamelliselkeyttimen toimintaa on havainnollistettu kuvassa 14.



KUVA 14. Ekovoimalaitoksen lamelliselkeyttimen toimintakuvaus (15)

7 KOEAJOT

Lamelliselkeyttimelle ja lauhteenkäsittelyjärjestelmälle suoritettiin yhteensä neljä koeajoa. Koeajosuunnitelmassa suunniteltiin kolme erilaista koeajoa, joista kolmas koeajo jouduttiin toteuttamaan kaksi kertaa, koska ensimmäisellä kerralla ilmeni tuloksiin vaikuttavia ongelmia.

Koeajojen aikana otettiin useita näytteitä, jotka analysoitiin laboratoriossa. Näytteistä tutkittiin kiintoaine- ja sulfaattipitoisuuksia, happamuutta, kovuutta ja johtokykyä. Osa pitoisuuksista ei ole julkisesti jaettavaa tietoa, joten raportissa ei esitetä kaikkia saatuja laboratoriotuloksia.

7.1 Ensimmäinen koeajo

Ensimmäinen lamelliselkeyttimen koeajo suoritettiin 3.2.2020–17.2.2020. Koeajossa lamelliselkeyttin kytkettiin esiselkeytykseksi koko lauhteenkäsittelyjärjestelmälle.

Koeajon aluksi kokeiltiin, saadaanko lauhteenkäsittelyyn tuleva lauhde nostettua savukaasulauhduttimen kiertopumpulla lamelliselkeyttimelle saakka. Testien ja putkistotunnustelujen jälkeen huomattiin, että pumpun tuottama nostokorkeus ei riitä, joten linjaan päädyttiin liittämään väliaikaisella kytkennällä paineenkorotuspumppu. Tähän tarkoitukseen käytettiin toista ylivuotosäiliön pumppua, jonka liittämisen jälkeen lauhde saatiin selkeyttimelle saakka.

Kun lauhteen kulkemisesta selkeyttimelle saatiin varmuus, otettiin se täyteen savukaasulauhdetta. Täydestä selkeyttimestä savukaasulauhde lähti suunnitellusti ja ilman ongelmia virtaamaan ylitteenä lauhteenkäsittelyjärjestelmälle. Prosessin toiminnan ollessa suunnitelman mukaista uskallettiin puhdistusprosessi jättää toimimaan itsenäisesti ja antaa lauhteen kulkea selkeyttimen kautta lauhteenkäsittelyjärjestelmälle.

Selkeyttimen ja lauhtenkäsittelyjärjestelmän toimintaa seurattiin päivittäisillä kierroksilla sekä voimalaitoksen ohjaamosta prosessinohjausjärjestelmän välityksellä.

Selkeyttimen sakkapesään kertynyt kiintoaines poistettiin ensimmäisen koeajon aikana käyttämällä kuonasammuttimelle menevän linjan käsiventtiiliä auki jokaisessa vuorossa yhdestä kahteen kertaan. Jatkossa linjaan tullaan asentamaan automaattiventtiili, joka poistaa pohjalle kertyneen sakan tasaisin väliajoin kuonasammuttimelle. Kuva 15 on otettu ensimmäisen koeajon aikana lamelliselkeyttimen päältä, minkä oikealla reunalla olevasta ylivuotoaltaasta selkeytetty vesi ohjataan lauhtenkäsittelyjärjestelmälle.



KUVA 15. Ensimmäisen koeajon aikana otettu kuva lamelliselkeyttimen päältä

Koeajon aikana otettiin näytteitä kuusi kertaa, kolmesta eri käsittelyprosessin kohdasta. Ensimmäinen näyte otettiin savukaasulauhduttimelta lähtevästä lauhdesta eli ennen lamelliselkeytintä, toinen lamelliselkeyttimen jälkeen ja kolmas rejektivedestä eli koko lauhteenkäsittelyprosessin jälkeen. Kaikista näytteistä tutkittiin sulfaatti- ja kiintoainepitoisuus. Koeajosta saadut laboratoriotulokset nähdään taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Ensimmäisen koeajon tuloksia

	Päivämäärä	Kiintoaine mg/l
Näyte 1	5.2.2020	22
Näyte 2	5.2.2020	1,5
Näyte 3	5.2.2020	<1
Näyte 1	7.2.2020	1,1
Näyte 2	7.2.2020	3,8
Näyte 3	7.2.2020	<1
Näyte 1	10.2.2020	6
Näyte 2	10.2.2020	3,4
Näyte 3	10.2.2020	<1
Näyte 1	11.2.2020	3,4
Näyte 2	11.2.2020	3,9
Näyte 3	11.2.2020	<1
Näyte 1	14.2.2020	4,3
Näyte 2	14.2.2020	6
Näyte 3	14.2.2020	1,4
Näyte 1	17.2.2020	9,6
Näyte 2	17.2.2020	5,9
Näyte 3	17.2.2020	<1

Näyte 1 = Savukaasulauhde ennen lamelliselkeytintä

Näyte 2 = Savukaasulauhde lamelliselkeyttimen jälkeen

Näyte 3 = Rejktivesi lauhteenkäsittelyjärjestelmän jälkeen

Ensimmäisen koeajon tuloksista on vaikea muodostaa selkeää käsitystä selkeyttimen erotuskyvystä. Tämä johtunee pääosin siitä, että selkeytykseen tuleva vesi on tähän tarkoitukseen ”liian” puhdasta. Kun savukaasunpuhdistuslaitteistot toimivat suunnitellulla tavalla, ei savukaasunlauhdukselle asti pääse juurikaan kiintoainetta. Tämä on tietenkin perinteisen ajomallin aikana pelkästään hyvä asia, mutta tällaisen koeajon aikana se vaikeuttaa tulosten tulkitsemista.

Kiintoainepitoisuudet koeajon aikana olivat pääosin niin pieniä, että niiden tulokset mahtuivat virherajojen sisään. Tämä näkyy tuloksissa siten, että joinakin päivinä kiintoainepitoisuus ennen selkeytintä oli jopa pienempi kuin sen jälkeen. Ensimmäinen koeajo antoi kuitenkin tärkeää tietoa lauhteenkäsittelyjärjestelmän toiminnasta yhdessä selkeyttimen kanssa.

7.2 Toinen koeajo

Toinen lamelliselkeyttimen koeajo suoritettiin 24.2.2020–27.2.2020. Koeajossa lamelliselkeyttimelle pumpattiin vettä ja runsaasti kiintoainetta sisältävä seos kahdena erillisenä päivänä. Seoksen pumppauksen aikana savukaasulauhduttimen ja lamelliselkeyttimen välinen putkilinja suljettiin, jotta selkeyttimelle saatiin vain haluttu koeajoseos.

Tämä koeajo oli ikään kuin räsitustesti lamelliselkeyttimelle ja sen voidaan katsoa vastaavan sellaista tilannetta, missä savukaasunpuhdistuslaitoksella on tapahtunut pussisuodattimien rikkoontumisia.

Ensimmäisenä koeajopäivänä täytettiin kaksi kappaletta yhden kuutiometrin kokoisia kontteja tehdasvedellä eli Oulujoen jokivedellä. Kumpaankin konttiin sekoitettiin noin yksi kilogramma kiintoainetta. Selkeyttimelle pumpattavan seoksen kiintoainepitoisuus oli täten normaaliin ajotilanteeseen verrattuna huomattavan korkea. Kuva 16 on otettu toisen koeajon suorituksen aikana.



KUVA 16. Toisen koeajon välineistöä

Toisena koeajopäivänä täytettiin myös tehdasvedellä kaksi kappaletta yhden kuutiometrin kokoisia kontteja. Erona ensimmäiseen koeajopäivään oli seoksen suurempi kiintoainepitoisuus ja parempi sekoitus pumppauksen aikana. Kumpaankin konttiin sekoitettiin tällä kertaa noin kaksi kilogrammaa kiintoainetta. Koeajoseosten kiintoainepitoisuudet lasketaan kaavalla 1.

$$m - \% = \frac{m(\text{liuennut aine})}{m(\text{liuos})} \cdot 100\%$$

KAAVA 1

$$\frac{1 \text{ kg}}{(1 \text{ kg} + 1000 \text{ kg})} \cdot 100\% = 0,0999 \% = 0,000999 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 0,999 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 999 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\frac{2 \text{ kg}}{(2 \text{ kg} + 1000 \text{ kg})} \cdot 100\% = 0,1996 \% = 0,001996 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 1,996 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 1996 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Laboratoriotuloksista nähdään, että selkeyttimen kiintoaineenerotuskyvyn koeajoseosten pumppauksessa voidaan katsoa olevan erittäin hyvä. Ensimmäisen koeajopäivän tuloksista nähdään, että selkeytetyn veden kiintoainepitoisuus on vain 16 mg/l eli 62,43-kertaisesti pienempi kuin sinne pumputun koeajoseoksen kiintoainepitoisuus.

Toisena päivänä selkeytetyn veden kiintoainepitoisuus oli 11 mg/l eli 181,45-kertaisesti pienempi kuin koeajoseoksen kiintoainepitoisuus. Toisen koeajopäivän parempi selkeytysaste johtuu todennäköisesti seoksen paremmasta sekoittamisesta. Toisen koeajon tulokset nähdään taulukosta 4.

TAULUKKO 4. Toisen koeajon tuloksia

	Kiintoaine mg/l
Koeajoseos 26.2.2020	999
Selkeyttimen jälkeen 26.2.2020	16
Koeajoseos 27.2.2020	1996
Selkeyttimen jälkeen 27.2.2020	11

Tulokset ovat vahvasti suuntaa antavia, vaikka laskelmat eivät voikaan täysin vastata todellista tilannetta. Tämä johtuu siitä, että pumppaukseen kuluvan ajan aikana kiintoaine ehtii selkeytyä osittain myös kontin pohjalle eikä sitä kaikkinaensa saada voimakkaasta sekoituksesta huolimatta pumpattavan veden mukaan. Kontin pohjalle jäävä kiintoainemäärä on kuitenkin vain murto-osa sinne kokonaisuudessaan lisäystä kiintoainemäärästä, joten tulokset antavat siitä huolimatta vahvan käsityksen selkeyttimen erotuskyvystä.

7.3 Kolmas koeajo

Opinnäytetyöhön liittyvä kolmas koeajo suoritettiin ekovoimalaitoksella 30.03.2020–06.04.2020. Koeajon tarkoituksena oli kokeilla RO-laitteiston toimintaa ja selvittää, kyetäänkö savukaasulauhteesta puhdistamaan sellaista vettä, joka soveltuisi käytettäväksi kaukolämmön lisävetenä.

Tässä koeajossa jo käytössä olleen lauhteenkäsittelyjärjestelmän perään lisättiin käänteisosmoosilaitteisto, joka jakaa puhdistettavan lauhteen kahdeksi jakeeksi, rejektiksi ja permeaatiksi.

Ennen koeajon aloitusta käänteisosmoosilaitteiston kunto tarkastettiin perusteellisesti. Vanhat suodatinelementit purettiin pois toisen kuoroputken sisältä ja toisessa kuoroputkessa olevat käyttämättömät suodatinelementit tarkastettiin sekä asennettiin takaisin paikoilleen.

Koeajon aikana puhdistettavasta lauhdesta otettiin näytteitä kolme kertaa, neljästä eri käsittelyjärjestelmän kohdasta. Näytteistä analysoitiin kiintoaine- ja sulfaattipitoisuuksia, happamuutta, kovuutta ja johtokykyä.

Kolmannen koeajon tuloksista ei kannata tehdä liian vahvoja johtopäätöksiä. Tulokset olivat osittain puutteellisia johtuen informaatiokatkoksesta opinnäytetyön tekijän ja laboratorion välillä. Lisäksi lauhteenkäsittelyjärjestelmän lämmönsiirrinpiirissä ilmeni ongelmaa ajon aikana, minkä vuoksi lauhde eteni liian lämpimänä järjestelmän läpi. RO-laitteiston kalvojen oikeanlainen toiminta vaatii sen, ettei lauhteen lämpötila ylitä 32 °C:ta. Myös pehmentimen toiminnan havaittiin olevan puutteellista. Kolmannesta koeajosta saadut tulokset nähdään taulukosta 5.

TAULUKKO 5. Kolmannen koeajon tuloksia

Näyte	pvm	Kiintoaine, mg/l	pH	Kovuus °dH	Johtokyky, µS/cm
Savukaasun lauhde	1.4.2020	11	7,4		
Selkeyttimen jälkeen	1.4.2020	8	7,3		
Rejektivesi	1.4.2020	2	8,2		
Permeaattivesi	1.4.2020	< 1	7,6	0,04	274
Savukaasun lauhde	2.4.2020	13	7,4		
Selkeyttimen jälkeen	2.4.2020	18	7,5		
Rejektivesi	2.4.2020	<1	8,2		
Permeaattivesi	2.4.2020	1,4	7,8	0,07	973
Savukaasun lauhde	6.4.2020	2,8	7,3		
Selkeyttimen jälkeen	6.4.2020	2,5	7,4		
Rejektivesi	6.4.2020	10,3	7,5		
Permeaattivesi	6.4.2020	<1	7,8	0,03	3007

7.4 Neljäs koeajo

Neljäs koeajo suoritettiin ekovoimalaitoksella 16.4.2020–21.4.2020. Koeajo suoritettiin, koska jälkeinpäin havaittiin, että kolmannen ajon tulokset olivat puutteellisia ja lisäksi käsittelylaitteiston toiminnassa ilmeni häiriöitä ajon aikana.

Neljännessä koeajossa pyrittiin kolmannen koeajon tapaan selvittämään lauhteen hyötykäyttömahdollisuuksia sekä löytämään RO-laitteistolle toimivat käyttöolosuhteet. Tärkeintä koeajossa oli kuitenkin selvittää näytteenottojen avulla, kyetäänkö kaukolämmön lisäveden laatuvaatimukset täyttämään.

Tässä koeajossa pyrittiin löytämään sellaiset säädöt, että lauhdetta saatiin jäähdytettyä tarpeeksi. Säättöjen löytäminen oli haastavaa, koska lämmönsiirrinjärjestelmässä ei ollut koeajon aikana toimivaa lauhteen lämpötilan säätöä. Koeajon alussa lauhde jäähdyi jo liikaa, mihin puututtiin kuristamalla jäähdytysveden eli tehdasveden tulolinjaa. Tulolinjan kuristussäädöllä lauhteen lämpötila saatiin asettumaan yli 20 °C:seen, minkä jälkeen havaittiin laitteiston toimivan hyvin. Kuvassa 17 näkyy RO-laitteiston kuoroputket ja korkeapainepumppu.



KUVA 17. RO-laitteiston kuoroputket ja korkeapainepumppu

Koeajon aikana puhdistettavasta lauhteesta otettiin näytteitä kolme kertaa, kolmesta eri käsittelyjärjestelmän kohdasta. Näytteistä analysoitiin kiintoaine- ja sulfaattipitoisuuksia, happamuutta, kovuutta ja johtokykyä. Neljännen koeajon tulokset esitetään taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Neljännen koeajon tuloksia

Näyte	pvm	Kiintoaine, mg/l	pH	Kovuus °dH	Johtokyky, µS/cm
Selkeyttimen jälkeen	17.4.2020	< 1	6,9		
Rejektivesi	17.4.2020	1,1	7,3		
Permeaattivesi	17.4.2020	<1	5,5	0,01	36
Selkeyttimen jälkeen	20.4.2020	3,3	6,8		
Rejektivesi	20.4.2020	7,2	7,3		
Permeaattivesi	20.4.2020	< 1	5,8	0,01	54
Selkeyttimen jälkeen	21.4.2020	4	6,9		
Rejektivesi	21.4.2020	6	6,9		
Permeaattivesi	21.4.2020	<1	6,6	0,01	393

Neljännen koeajon tuloksista nähdään, että erot etenkin kovuudessa ja johtokyvyssä eroavat ratkaisevasti kolmannen ajon tuloksista. Tämä johtunee pääosin lauhteen oikeasta lämpötilasta, koska jäähdytyspiiriin tehtiin muutoksia. Lauhteen lämpötilan ollessa oikealla alueella RO-laitteisto toimi suunnitellusti.

Laitteiston paremman toiminnan pystyi havaitsemaan myös seuraamalla sen toimintaa silmämääräisesti koeajon aikana. Lauhteen lämpötilan ollessa suunnitellulla alueella huomattiin permeaattiveden virtaaman nousevan, mikä parantaa laitteiston hyötysuhdetta.

Permeaattiveden johtokyky 21.4.2020 ei vastaa todellista tilannetta. Näytteenotto on todennäköisesti suoritettu huolimattomasti, ja näyte on päässyt likaantumaan näytteenoton yhteydessä. Tämä tarkistettiin ottamalla kaksi vertailunäytettä permeaattivedestä ja analysoimalla ne laitoksen johtokykymittarilla. Kahden vertailunäytteen keskiarvo oli 57 µS/cm eli samaa luokkaa kuin aiempien päivien näytteissä.

Kaukolämmön lisävedelle on annettu ohjearvosuositukset, joiden alapuolella kaukolämpöverkkoon johdettavan lisäveden pitoisuuksien tulisi olla. Verrattaessa

neljännen ajon tuloksia ohjearvoihin huomataan, että pitoisuudet kiintoaineen, johtokyvyn ja kovuuden osalta täyttyvät. Kaukolämmön lisäveden ohjearvot esitetään taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Kaukolämmön lisäveden ohjearvosuositukset (17)

Laitoskoko ja tyyppi (kattiloiden yhteenlaskettu teho)			>100 MW		10-100 MW		<10 MW	
Laitoksen kytkentä			Epäsuora	Suora 1)	Epäsuora	Suora 1)	Epäsuora	Suora 1)
Ominaisuus								
pH-arvo	(pH 25)	2)	9...10	9...10	9...10	9...10	9...10	9...10
Kokonaiskovuus	mmol/kg	3)	<0,143	<0,018	<0,143	<0,018	<0,143	<0,089
	°dH		<0,8	<0,1	<0,8	<0,1	<0,8	<0,5
Happipitoisuus	mgO ₂ /kg		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	4)	4)
Happea sitova kemikaali			5)	5)	5)	5)	5)	5)
Ammoniakki	mgNH ₃ /kg		<5	<5	<5	<5	<5	<5
Kokonaisrauta	mgFe/kg		<0,1	<0,1	<0,1 7)	<0,1 7)	6)	6)
Kokonaiskupari	mgCu/kg		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	6)	6)
Öljypitoisuus	mg/kg		<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sähkönjohtavuus	µS/cm	8)	<150	<150	<150	<150	<150	<150
	(1 mS/m = 10 µS/cm)							
Kloridi	mgCl ⁻ /kg		<50	<50	<50	<50	<50	<50
Vetykarbonaatti	mgCO ₃ ⁻ /kg		<60	<60	<60	<60	<60	<60
Kiintoaine	mg/kg	9)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Väriaine			Silmin havaittava	Silmin havaittava	Silmin havaittava	Silmin havaittava	Silmin havaittava	Silmin havaittava

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lauhteen kiintoainepitoisuus on ollut lauhteenkäsittelyn päällimmäinen ongelma viime vuosina. Sitä on toki osaltaan helpottanut vuonna 2017 asennettu sähkösuodatin, jonka asentamisen jälkeen savukaasunpuhdistuslaitteiston ongelmat ja pussirikot ovat vähentyneet. Normaali ajotilanteessa savukaasulauhteeseen päätyy kiintoainetta pääasiassa lauhtuttimeen syötettävän lisäveden mukana. Lisävetenä on käytetty tehdasvettä eli Oulujoen jokivettä. Jatkossa olisikin hyvä miettiä, miten lisäveden tarvetta voidaan vähentää tai lisäveden lähdettä vaihtaa.

Savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmästä tuli lamelliselkeyttimen asentamisen myötä varmatoimisempi. Selkeytin vähentää huomattavasti varsinaiselle lauhteenkäsittelyjärjestelmälle aiheutuvaa kiintoainekuormitusta. Jatkossa tämä näkyy todennäköisesti siten, että etenkin patruunasuodattimien käyttöaika pitenee. Lisäksi savukaasunpuhdistuslaitteiston häiriötilanteissa selkeytin erottaa valtaosan kiintoaineesta, mikä vähentää muille suodattimille kohdistuvaa kuormaa.

Savukaasunpuhdistuslaitteiston vuotoihin tulisi kuitenkin jatkossakin reagoida mahdollisimman nopeasti. Nopea reagointi korostuu etenkin silloin, jos laitoksella päätetään tulevaisuudessa jatkuvasti käyttää RO-laitteistoa lauhteenkäsittelyn perässä. Laitoksella tulisi välttää tilanteita, joissa kiintoainetta päätyy RO-suodinelementtien kalvoille asti, jotta laitteistolle taataan mahdollisimman pitkä käyttöikä.

Koeajojen avulla kyettiin konkreettisesti osoittamaan selkeyttimen hyvä kiintoainenerotuskyky. Etenkin toisena koeajona suoritettu rasiustesti antoi selkeitä tuloksia erotuskyvystä. Muiden koeajojen aikaan kiintoainepitoisuudet olivat verrattain pieniä, jolloin tulosten tulkinta vaikeutui. Lisäksi pienten pitoisuuksien tilanteissa myös huolimattomasti suoritettu näytteenotto voi vääristää tuloksia suuressakin.

Koeajoissa tutkittiin myös lauhteen hyötykäyttömahdollisuuksia ja ajojen aikana havaittiin järjestelmän toiminnassa puutteita. Lauhteen jäähdytys ei alkuun toiminut lainkaan ja kun lauhde saatiin jäähtymään, lämpötilan säätö ei toiminut oikein. Lauhteelle löydettiin käsiventtiilejä kuristamalla sellaiset säädöt, että lauhteen lämpötila saatiin oikealle alueelle. Mikäli RO-laitteistoa aiotaan laitoksella jatkossa käyttää, täytyy nämä asiat laittaa kuntoon.

Kaukolämmön lisävedeksi ajettava permeaattivesi täyttää kaukolämpöverkon vaatimukset suurimmalta osin. Mikäli lisävettä päädytään ajamaan verkkoon, tulee sille tehdä hapen poisto, joka suoritetaan kaasunpoistimella. Lisäksi lisäveden tarpeeksi alhaisesta klooripitoisuudesta täytyy saada varmuus. Lisäveden pH-arvo tulee nostaa 9–10:een käyttämällä siihen vedenkäsittelykemikaalia. Tähän tarkoitukseen soveltuu hydratsiini, jonka käytöstä laitoksella on jo kokemusta.

9 YHTEENVETO

Laanilan ekovoimalaitos tuottaa prosessihöyryä, sähköä ja kaukolämpöä Oulun Energian ja Laanilan teollisuuspuiston tarpeisiin. Ekovoimalaitoksen kattilassa käytetään polttoaineena syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä. Ekovoimalaitos on yhteydessä Laanilan Voima Oy:n voimalaitokseen ja niiden höyryntuotanto ohjataan laitosten yhteisiin höyrylinjoihin.

Jätteenpolton yhteydessä muodostuu vettä, joka polttoaineessa olevan kosteuden lisäksi haihtuu savukaasujen mukaan. Savukaasu kulkee kattilan ja savukaasunpuhdistuslaitteistojen läpi savukaasunlauhduttimelle, jossa se jäähdytetään ennen savupiippuun johtamista. Kun savukaasua jäähdytetään, siinä oleva kosteus tiivistyy vedeksi. Tätä vettä kutsutaan savukaasulauhteeksi, joka täytyy käsitellä ennen sen hyötykäyttöä tai viemärointiä.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia ja selvittää lamelliselkeytyksen vaikutuksia Laanilan ekovoimalaitoksen savukaasulauhteen laatuun. Lisäksi työssä tutkittiin lauhteen hyötykäyttömahdollisuuksia, jotka tarkoittavat lähinnä lauhteen hyödyntämistä kaukolämmön lisävetenä. Lamelliselkeyttimen asentamisen tavoitteena oli ensisijaisesti pienentää savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän kiintoainekuormitusta ja täten parantaa mahdollisuuksia lauhteen parempaan hyötykäyttöön.

Selkeytin asennettiin savukaasulauhduttimelta tulevaan linjaan esiselkeytykseksi koko lauhteenpuhdistusprosessille. Tämän tavoitteena oli mahdollisimman suuri kiintoaineksen erotus ennen varsinaista puhdistusprosessia. Erotettu kiintoaines poistetaan kuonasammuttimelle, josta se kulkeutuu kuonan mukana jatkokäsittelyyn.

Opinnäytetyön suorittamisen vaiheita olivat ekovoimalaitoksen- ja etenkin savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän toimintaan tutustuminen ja lamelliselkeyttimen- ja lauhteenkäsittelyjärjestelmän koeajot. Lisäksi koeajojen aikana suoritettiin näytteenottoja useista eri kohdista lauhteenkäsittelyprosessia.

Työn tilaajana toimineen Laanilan Voima Oy:n vaatimukset työn tavoitteiden ja tarkoituksen osalta voidaan katsoa täyttyneen. Laitoksen lauhteenkäsittelystä tuli lamelliselkeyttimen asentamisen myötä varmatoimisempi ja lauhteenkäsittelyn kiintoainekuormitusta saatiin pienennettyä. Lisäksi saatiin tärkeää tietoa lauhteen paremman hyötykäytön takaamiseksi tehtävistä toimenpiteistä.

LÄHTEET

1. Laanilan teollisuuspuiston ulkoinen pelastussuunnitelma. 2016. Oulu-Koillismaan pelastuslaitos. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/7801780/7922801/Laanilan+teollisuuspuiston+ulkoinen+pelastussuunnitelma+%28Osa+A%29/1acb0c12-04ba-4bb6-8037-723446f0b599>
Hakupäivä 29.03.2020.
2. Laanilan biovoimalaitos. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://docplayer.fi/105544398-Oulun-energia-oy-laanilan-biovoimalaitos.html> Hakupäivä 29.03.2020.
3. Energiantuotanto. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto> Hakupäivä 03.02.2020.
4. Vuosikatsaus 2018. Oulun Energia Oy. Saatavissa: https://www.oulunenergia.fi/sites/default/files/attachments/oulun_energia_vuoskari_2018_final_0.pdf Hakupäivä 03.02.2020.
5. Kaukolämpöliittymät ja lämpöverkkoalue. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/lampo/kaukolampoliittymat/lampoverkkoalue>
Hakupäivä 04.03.2020.
6. Lämmön alkuperä. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/lammon-alkupera> Hakupäivä 29.03.2020.

7. Kemiran tehdasalueella sijaitsevien voimalaitosten perustilaselvitys. Saatavissa: https://tietopalvelu.ahp.fi/Lupa/AvaaLiite.aspx?Liite_ID=4649094
Hakupäivä 15.02.2020.
8. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki
2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uusittu painos. Edita, Helsinki: Opetushallitus.
9. Jätevoimalan täydentäminen jälkitulistuskattilalla. JLY. Saatavissa:
<http://vanha.jly.fi/energia36.php?treeviewid=tree3&nodeid=36> Hakupäivä
15.02.2020.
10. Salovaara, Jouni. Jätteenpolttotekniikat Suomessa. Kandidaatintyö. 2017.
Saatavissa: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/146316/Kandidaatinty%C3%B6_Salovaara_Jouni.pdf?sequence=1 Hakupäivä 03.04.2020.
11. Polttoprosessit, arinat ja leijupedit. Saatavissa: http://cc oulu.fi/~kamahei/b/477416S/KLTP-2019-poltto_arinat_leijupedit.pptx Hakupäivä
03.04.2020.
12. Ekovoimalaitoksen vuosiraportti. 2018. Saatavissa: https://www.oulu-energia.fi/sites/default/files/attachments/oe_ekovoimalaitos_vuosiraportti_2018_lv.pdf Hakupäivä 01.04.2020.
13. Savukaasun puhdistuslaitoksen kuvaus. Oulun Energian sisäinen ohje.
14. Savukaasujen puhdistusprosessit. Saatavissa: <http://vanha.jly.fi/energia37.php?treeviewid=tree3&nodeid=37> Hakupäivä 31.03.2020.
15. Huhtinen, Markku - Kettunen, Arto - Nurminen, Pasi - Pakkanen, Heikki.
2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uusittu painos. Edita. Helsinki: Opetushallitus.

16. Huttunen, Janne 2015. Putkiselkeyttimen suunnittelu, rakentaminen ja testaus. Savonia ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88725/Huttunen_Janne.pdf?sequence=1 Hakupäivä 3.3.2020.

17. Kaukolämmön lisäveden ohjeavot. Laanilan Voima Oy.

Koeajojen aluksi on tarkoituksena kokeilla savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmän toimintaa selkeyttimen kanssa. Ensimmäisenä halutaan varmistua siitä, että lauhteenkäsittelyyn tuleva savukaasulauhde saadaan pumpattua savukaasulauhduttimelta selkeyttimelle saakka. Selkeyttimeltä savukaasulauhde tulee painovoiman vaikutuksesta alempana sijaitsevalle lauhteenkäsittelyjärjestelmälle.

Pumppaus on suunniteltu suoritettavaksi savukaasulauhteen kiertopumpulla, jolla se on myös ennen selkeyttimen asennusta hoidettu. Selkeyttimen ja kiertopumpun korkeuserosta johtuen niiden välille joudutaan todennäköisesti lisäämään paineenkorotuspumppu, jotta savukaasulauhde saadaan pumpattua selkeyttimelle saakka.

Koeajoja on suunniteltu suoritettavaksi kaksi tai kolme. Ensimmäisestä ja toisesta koeajosta saadut tulokset määrittävät sen, aloitetaanko myös kolmas koeajo. Tämän ajon tarkoituksena on testata RO-laitteiston toimintaa sekä tutkia puhdistettavan savukaasulauhteen hyötykäyttömahdollisuutta kaukolämmön lisävetenä.

Ensimmäinen koeajo

Ensimmäisessä koeajossa lamelliselkeytin tulee esiselkeytimeksi koko savukaasulauhteen käsittelyjärjestelmälle. Savukaasulauhduttimessa syntyvä lauhde pumpataan selkeyttimelle, josta se etenee painovoiman vaikutuksesta vastaanottosäiliöön. Vastaanottosäiliöstä käytetään laitoksella myös nimitystä ylivuotosäiliö. Ylivuotosäiliöstä lauhde pumpataan lauhdesäiliöön.

Lauhdesäiliöstä lauhde pumpataan pussisuodattimen kautta lämmönsiirtimelle, joka jäähdyttää lauhteen noin 30-asteiseksi. Lämmönsiirtimeltä lauhde etenee patruunasuodattimen kautta pehmentimelle, jonka jälkeen se suodatetaan vielä toisella patruunasuodattimella ennen sen siirtymistä rejektivesisäiliöön. Koeajon on suunniteltu kestävän kahden viikon ajan, jonka aikana siitä otetaan kuusi kertaa näytteitä. Näytteet otetaan savukaasulauhteesta ennen lamelliselkeytystä, lamelliselkeytyksen jälkeen ja koko käsittelyprosessin jälkeen rejektivedestä.

Toinen koeajo

Toinen koeajo suoritetaan ensimmäisen jälkeen, kun siitä on saatu laboratorionäytteiden tulokset. Näytteiden tulosten perusteella päätetään se, millä tyylillä ja kytkennöillä toinen koeajo suoritetaan. Koeajon kesto määräytyy toteutustavan mukaan.

Mikäli ensimmäisen koeajon tuloksista voidaan nähdä lamelliselkeyttimen positiiviset vaikutukset etenkin kiintoaineen erottamisen osalta, suoritetaan toinen koeajo lähes samalla tavalla ensimmäisen kanssa. Tässä tapauksessa erona olisi vain ylivuotosäiliön ohittaminen, jolloin lamelliselkeyttimeltä tuleva savukaasulauhde johdettaisiin suoraan lauhdesäiliöön. Muuten prosessi etenisi samaan tapaan kuin ensimmäisessä koeajossa.

Toinen ja oletettavasti todennäköisempi koeajon suoritustapa on kuitenkin eräänlainen rasiustesti lamelliselkeyttimelle. Tässä tapauksessa selkeyttimelle pumpataan tarkoituksellisesti runsaasti kiintoainetta sisältävää vettä. Koeajo suoritetaan valmistamalla erillisiin kontteihin vettä ja kiintoainetta sisältävä seos sekä tarkkailemalla selkeyttimen toimintaa pumppauksen aikana. Selkeyttimen läpi kulkeneesta koeajoliuoksesta otetaan myös näytteet, jotta saadaan tuloksia selkeyttimen kiintoaineenerotuskyvystä. Kiintoaineella tarkoitetaan tässä yhteydessä savukaasunpuhdistustuotetta, joka erotetaan savukaasuvirrasta pussisuodattimien avulla.

Kolmas koeajo

Kolmannen koeajon tarkoituksena on selvittää, kyetäänkö savukaasulauhdetta puhdistamaan siinä määrin, että sitä voitaisiin käyttää hyödyksi kaukolämmön lisävetenä. Kolmas koeajo on suunniteltu suoritettavaksi siten, että käytössä olevan lauhtenkäsittelyjärjestelmän perään lisätään käänteisosmoosilaitteisto, joka jakaa puhdistettavan lauhteen rejektiksi ja permeaatiksi.