

Heidi Virta

Raskasmetallien poiston tehostaminen savukaasulauhteesta

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Energiatekniikan koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Heidi Virta
Työn nimi	Raskasmetallien poiston tehostaminen savukaasulauhteesta
Toimeksiantaja	Vantaan Energia Oy
Vuosi	2022
Sivut	45 sivua
Työn ohjaaja(t)	Kirsi S. Hovikorpi ja Jere Espo

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella suodatinratkaisu Vantaan Energian jätteenpolttolaitoksen savukaasulauhteen puhdistusprosessiin. Tarkoituksena oli saada savukaasulauhteesta esiintyvät raskasmetallipitoisuudet pienennettyä.

Työ aloitettiin perehtymällä jätteenpolttolaitokseen sekä raskasmetallipäästöihin, joita jätteen polttaminen aiheuttaa. Lisäksi kirjallisessa osuudessa käsiteltiin aktiivihiilen ominaisuuksia sekä sen käyttämistä suodatinsovelluksissa. Myös vaihtoehtoista tekniikkaa aktiivihiilisuodatukselle käytiin läpi.

Työn kokeellisessa osuudessa tehtiin pitoisuuskokeita jätteenpolttolaitoksen savukaasulauhteesta esiintyvistä raskasmetallipitoisuuksista. Lisäksi testattiin, pystyykö savukaasun käsittelypuolen kanaalijätevedet johtamaan puhdistettavan savukaasulauhteen sekaan.

Kokeellisen osuuden tutkimusten perusteella saatiin selvitys aktiivihiilen toimivuudesta raskasmetallien poiston tehostamisessa. Myös kanaalijätevesien johtaminen puhdistettavan savukaasulauhteen sekaan todettiin mahdolliseksi esisuodatuksen avulla.

Asiasanat: Aktiivihiilisuodatin, savukaasulauhde, raskasmetallit, kanaalijätevedet, jätteenpolttolaitos

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Heidi Virta
Thesis title	Improving of the removal of heavy metals in water treatment
Commissioned by	Vantaan Energia Oy
Time	2022
Pages	45 pages
Supervisor	Kirsi S. Hovikorpi and Jere Espo

ABSTRACT

The purpose of the bachelor's thesis was to design a filter solution for the flue gas condensate cleaning process for the waste incineration plant of Vantaa Energia. The main purpose was to reduce the heavy metal concentrations in the flue gas condensate.

The thesis process was started by an inquiry into the waste incineration plant and heavy metal emissions caused by waste incineration. In addition, the theoretical part discusses the properties of activated carbon and its use in filter applications.

In the experimental part of the thesis, concentration tests were carried out in heavy metal concentrations in the flue gas condensate. In addition, it was tested whether the canal effluents from the flue gas treatment side can be led into the flue gas condensate to be cleaned.

Based on the results of the experimental part, it was possible to define the effectiveness of activated carbon in enhancing the removal of heavy metals. It was also found that add canal effluents into the flue gas condensate with the help of pre-filtration is a feasible solution.

Keywords: activated carbon filter, flue gas condensate, heavy metals, canal effluents, waste incineration plant

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	VANTAAN ENERGIA OY	8
2.1	Jätteenpolttolaitos.....	8
2.1.1	Jätteenpolttoprosessi.....	9
2.2	Aktiivihiililaitos.....	10
3	JÄTTEENPOLTON YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	10
3.1	Jätevoimalan ympäristölupa	12
4	SAVUKAASULAUHTEEN KÄSITTELY	13
4.1	Ongelmat savukaasulauhteen käsittelyssä.....	15
4.2	Teollisuusjätevesisopimus	15
5	KANAALIVEDET SAVUKAASUN KÄSITTELYALUEELLA.....	16
5.1	Ongelmat kanaalijäteveden käsittelyssä.....	16
5.2	Kanaalijäteveden tarkkailuohjelma	17
6	AKTIIVIHIIILI.....	17
6.1	Aktiivihiili materiaalina.....	17
6.2	Hiilen aktivointi.....	18
6.3	Aktiivihiilen käyttöolosuhteet.....	19
6.4	Aktiivihiilen impregnointi	20
6.5	Aktiivihiili suodatinsovelluksissa.....	20
6.6	Adsorptiokyvyn heikkeneminen	21
6.7	Vastavirtahuuhtelu	22
6.8	Käytetyn aktiivihiilen regenerointi.....	22
6.8.1	Fysikaalinen regenerointi	23
6.8.2	Kemiallinen regenerointi	23
6.9	Vaihtoehtoinen tekniikka aktiivihiilisuodatukselle.....	24
7	KOKEELLINEN OSUUS	25
7.1	Kanaalijätevesien johtaminen savukaasulauhteen käsittelyprosessiin	25

7.1.1	Koeajot.....	26
7.2	Kanaalijäteveden esisuodatus	27
7.3	Näytteiden analyysitulokset	28
7.3.1	Rikkihappokäsitellyllä aktiivihieillä tehdyt kokeet.....	28
7.3.2	4D-siepparilla tehdyt kokeet.....	30
8	SAVUKAASULAUHTEEN PUHDISTUSPROSESSIIN SOVELTUVA SUODATINRATKAISU	33
8.1	Tarjouskyselyt laitetoimittajilta	34
9	PROSESSISUUNNITTELU	34
9.1	Suodatinyksikön sijoittaminen prosessiin.....	34
9.2	Savukaasulauhdepumpun mitoitus.....	36
9.3	Suodattimen toiminnan käytönaikainen seuranta	37
10	POHDINTA.....	38
11	YHTEENVETO	40
	LÄHTEET.....	41
	KUVALUETTELO	44

Lyhenteet ja erikoissanasto

RO = Reverse Osmosis, Käänteisosmoosi

AC-suodatin = Activated Carbon Filter, Aktiivihillisuodatin

UF-suodatin = Ultra Filtration, Ultrasuodatin

Pyrolyysi = Kuivatislaus

BAT = Best Available Techniques, Paras käyttökelpoinen tekniikka

Zn = Sinkki

Hg = Elohopea

Cd = Kadmium

SO₂ = Rikkidioksidi

HCl = Vetykloridi

BV = Bed volume, Pedin tilavuus

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vantaan Energialle. Tarkoituksena oli selvittää Vantaan Energian jätteenpolttolaitoksen savukaasulauhteen tämänhetkistä tilannetta ja sen mahdollista lisäpuhdistusta ennen viemäröintiä. Savukaasulauhteessa ajoittain esiintyvät raskasmetallipitoisuudet aiheuttavat ylityksiä päästöraja-arvoissa ja niiden minimoimiseksi halutaan löytää ratkaisu.

Työn teoreettisessa osuudessa käsitellään savukaasulauhteen nykytilannetta sekä ongelmia sen puhdistamisessa. Osiossa käydään läpi savukaasulauhteen käsittelypuolen kanaalijätevesien tilannetta. Lisäksi perehdytään aktiivihii-
len ominaisuuksiin ja sen käyttämiseen suodatinsovelluksissa.

Suunnitteilla on aktiivihiiisuodatinpari, jonka avulla raskasmetallipitoisuuksia olisi tarkoitus saada pienennettyä. Elohopea, sinkki sekä kadmium ovat tällä hetkellä eniten pitoisuusylityksiä aiheuttavat raskasmetallit. Lisäksi käydään läpi käytetyn aktiivihiihimassan regeneroimista, vastavirtahuuhtelua ja hävittämistä sen ollessa ongelmajätettä. Työssä esitetään myös vaihtoehtoinen tekniikka aktiivihiiisuodatukselle.

Työn kokeellisessa osuudessa selvitetään kanaalijätevesien puhdistamisen mahdollisuutta johtamalla vesi osaksi puhdistettavaa savukaasulauhdetta. Tällöin kanaalivedet menisivät myös suunnitellun aktiivihiiisuodattimen läpi. Kanaalijätevesissä esiintyvät sinkki- ja kadmiumpitoisuudet saataisiin tällä tavalla hallintaan. Lisäksi työn kokeellisessa osuudessa otettiin näytteitä savukaasulauhteen raskasmetallipitoisuuksien selvittämiseksi.

Opinnäytetyön tuloksena halutaan saada selvitys siitä, olisiko aktiivihiiisuodatin sopiva ratkaisu savukaasulauhteessa esiintyvien raskasmetallipitoisuuksien alentamiseksi.

2 VANTAAN ENERGIA OY

Vantaan Energia Oy on yksi suurimmista energiayhtiöistä, joka tuottaa sähköä, lämpöä ja lämpöpalveluita asiakkailleen. Helsingin kaupunki omistaa yhtiöstä 40 % ja loput 60 % on Vantaan kaupungin omistuksessa. Energiayhtiölle ovat tärkeitä vastuullisuus sekä ympäristönäkökulma. Tämä näkyy uusissa hankkeissa, kuten siinä, että yhtiö on ilmoittanut saavuttavansa hiilinegatiivisuuden vuoteen 2030 mennessä. Osa tätä hanketta on fossiilisista polttoaineista kokonaan luopuminen vuoden 2026 loppuun mennessä. (Vantaan Energia s.a.) Lisäksi tällä hetkellä on suunnitteilla aktiivihiihtilaitos, joka olisi myös osana Vantaan Energian Hiilinegatiivinen 2023 -hankekokonaisuutta (Vantaan Energia 2022).

Vuonna 2021 Vantaan Energian liikevaihto oli 275 876 000 euroa. Liiketulosta yritys teki noin 44 134 000 euroa. (Kauppalehti 2021.) Yhtiö tuottaa tarjoamansa lämmön ja sähkön pääsääntöisesti kolmella päävoimalaitoksella, jotka ovat Martinlaakson voimalaitos, Jätteenpolttolaitos sekä Järvenpään voimalaitos. Suurempien voimalaitosten lisäksi yhtiöllä on lämpölaitoksia ympäri Vantaata, joilla voidaan tarvittaessa tuottaa lisälämpöä esimerkiksi talvella. (Vantaan Energia s.a.)

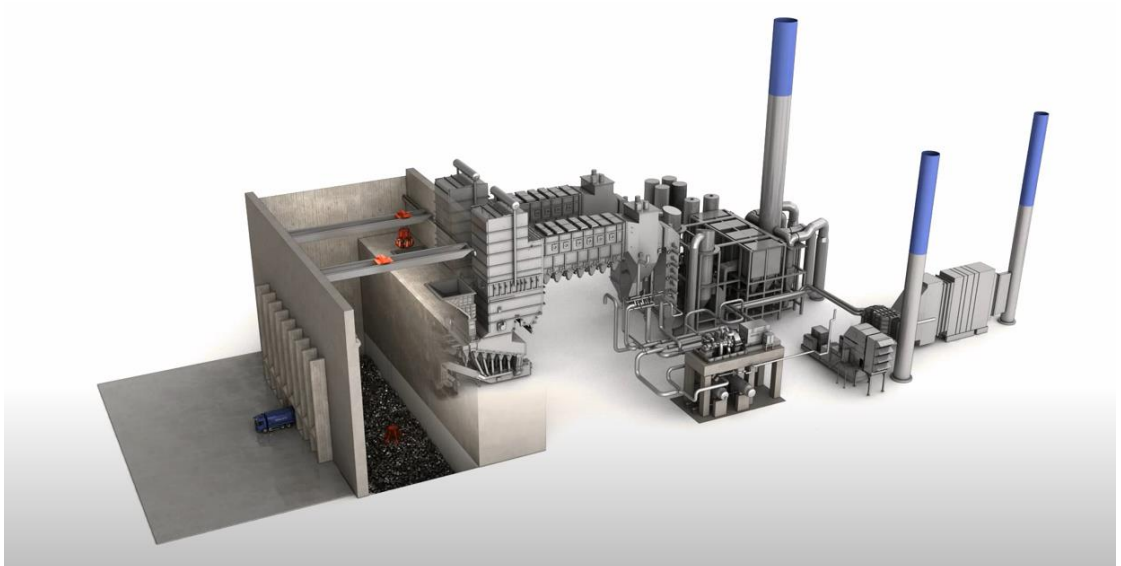
Vantaan Energia Oy:llä on tytäryhtiö Vantaan Energian sähköverkot Oy. Kyseinen yhtiö vastaa sähkön jakelusta sekä sähköverkkojen toimivuudesta. Yhtiön toimesta suoritetaan vikojen korjaus sekä verkkojen kunnossapito. (Vantaan Energia s.a.)

2.1 Jätteenpolttolaitos

Vantaan Energian jätteenpolttolaitos valmistui vuonna 2014. Jätteenpolttolaitoksen ideana on vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä sekä pienentää kaatopaikalle päätyvän jätteen määrää. (Afry s.a.) Jätevoimalassa on kaksi täysin identtistä polttolinjaa, joilla energiaa tuotetaan. Jätteen poltto tapahtuu arinakattiloissa, joissa jätettä poltetaan vuoden aikana yhteensä noin 374 000 tonnia. (Vantaan Energia s.a.)

2.1.1 Jätteenpolttoprosessi

Jätteenpolttoprosessi, joka on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 1., alkaa Uudenmaan alueelta kerätyn jätteen saapumisella vastaanottohalliin, josta se päätyy jätebunkkeriin. Bunkkerista kahmarit nostavat jätettä syöttösuppiloon. Syöttötyöntimet työntävät jätettä eteenpäin asteittain. Arinalla palaminen tapahtuu noin 1000 asteessa. Savukaasu kiertää kolmen pystyvedon kautta vaakavedoon. Vaakavedosta löytyy evaporaattori, kolme tulistinpakettia sekä kaksi ekonomaiseria. Vaakavedon jälkeen prosessissa on sähkösuodatin, jonka avulla lentotuhkaa ja hiukkasia saadaan poistettua savukaasuista. (Vantaan Energia 2015.)



Kuva 1. Jätteenpolttoprosessi

Sähkösuodattimen jälkeen savukaasut menevät ulkoisen ekonomaiserin kautta jäähdytystorneille, jossa sekaan sumutetaan vesihöyryä. Savukaasuihin saadaan tietty kosteuspitoisuus, mikä edesauttaa kalkin reagoimista ja näin saavutetaan parempi rikkidioksidin (SO_2) ja vetykloridin (HCl) poisto savukaasuista ja samalla savukaasu myös viilenee. Tässä kohtaa prosessiin syötetään myös aktiivihiihtä, joka sitoo raskasmetalleja. Tämän jälkeen on pusuodattimet, joiden avulla saadaan savukaasusta vieläkin puhtaampaa. (Vantaan Energia 2015.)

Savukaasujen lämpö otetaan talteen savukaasulauhduttimessa, josta lämpö johdetaan kaukolämpöverkkoon. Savukaasulauhde puhdistetaan omassa prosessissaan, josta kerrotaan tarkemmin luvussa 4. Lauhteen käsittelyn jälkeen

raakavettä voidaan hyödyntää laitoksen vesikierrrossa. Lauhduttimen jälkeen puhdistetut savukaasut johdetaan piippuun. (Vantaan Energia 2015.)

Syöttövesi johdetaan syöttövesisäiliöstä ekonomaisereiden jälkeen kattilan seinämän putkiin. Kattilasta saadaan ulos noin 300 asteista höyryä, joka tulistetaan tulistimilla noin 400-asteiseksi. Höyry syötetään höyryturbiinille, jonka avulla saadaan tuotettua sähköä valtakunnan sähköverkkoon. Ylijäämähöyryllä lämmitetään kaukolämpövedettä, jonka halutaan olevan noin 100 asteista, kun se syötetään lopuksi kaukolämpöverkkoon. (Vantaan Energia 2015.)

2.2 Aktiivihiililaitos

Vantaan Energia Oy suunnittelee aktiivihiililaitosta, jonka olisi tarkoitus valmistua vuonna 2027. Raaka-aineena prosessissa olisi tarkoitus käyttää kierrätyspuuta. (Vantaan Energia 2022.)

Kierrätyspuun käsittely tapahtuu hapettomassa pyrolyysiprosessissa. Ensimmäinen vaihe on hiiltouuni. Hiiltouunista saadaan biohiiltä, joka aktivoidaan aktivointiuunissa, jonka jälkeen aktiivihiili jäädytetään. Lopputuotteena syntyy biopohjaisen aktiivihiilen lisäksi pyrolyysikaasuja sekä prosessilämpöä. Pyrolyysikaasuja pystytään hyödyntämään muissa polttoprosesseissa. Myös hukkalämpö, joka syntyy aktiivihiilen jäädytysvaiheessa, otetaan talteen. (Pitkänen 2022.)

Kierrätyspuuta laitokselle olisi tarkoitus ottaa 60–80 tonnia, josta pystytään tuottamaan noin 8000 tonnia biopohjaista aktiivihiiltä. Aktiivihiiltä pystytään hyödyntämään teollisuuden kaasujen- ja vedenpuhdistusprosesseissa. Kierrätyspuun Vantaan Energia saisi yhteistyökumppaniltaan Remeolta, kun taas myyntiin ja markkinointiin osallistuisi toinen yhteistyökumppani Berner. (Pitkänen 2022.)

3 JÄTTEENPOLTON YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

BAT eli paras käyttökelpoinen tekniikka on määritelty ympäristönsuojelulaissa 527/2014 (YSL 5 §). Sillä tarkoitetaan mahdollisimman tehokkaita ja kehittyneitä toteuttamiskelpoisia tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä ja toiminnan suun-

nittelu-, rakentamis-, ylläpito-, käyttö- ja lopettamistapoja, joilla voidaan ehkäistä toiminnan aiheuttaman ympäristön pilaantuminen. (Suomen ympäristökeskus SYKE 2016.)

BAT soveltuu ympäristölupamääräysten perustaksi. Sen taustalla on teollisuuden päästöjä koskeva direktiivi (Industrial Emissions Directive, IED, 2010/75/EU), jossa yhdistyvät aikaisemmat teollisuuden päästöjä koskevat direktiivit. Toiminnanharjoittajan tulee liittää lupahakemukseen päästötarkkailun tulokset ja muut tiedot, joiden avulla sitä voidaan verrata parhaaseen käytökelpoiseen tekniikkaan ja siihen liittyviin päästöraja-arvoihin. Hakemukseen voidaan myös liittää kuvaus tekniikoista, jotka hakija ottaa käyttöön ja jotka vastaavat lainsäädäntöä. (Suomen ympäristökeskus SYKE 2016.)

Jätteenpoltosta aiheutuu ympäristövaikutuksia koskien lähinnä ilma- ja vesipäästöjä sekä tuhkia ja kuonia, joita muodostuu poltosta. Lisäksi vaikutukset liittyvät energiantuotantoon ja –kulutukseen sekä poltettavan jätteen eli raaka-aineen kulutukseen. Yleisiä ovat myös melu- ja värinä Haitat, jotka aiheutuvat laitoksen käytöstä. (Bröckl ym. 2021.)

Tämän työn kannalta merkittävien ympäristövaikutusten osalta ovat raskasmetallit, joita pääsee jätevesiin. Tyypillisimmin jätteenpoltosta aiheutuvia raskasmetalleja ovat lyijy, elohopea sekä kadmium (Arvokasta jätettä 2019). Yhdyskuntajätteenpoltossa raskasmetallien määrä vaihtelee suuresti poltettavan jätteen laadunvaihtelun takia. Tämä johtaa siihen, että pitoisuuksien ennustaminen on hyvin haastavaa. (Oja 2022.)

Seuraavissa kappaleissa perehdytään tarkemmin tämän työn kannalta oleellisiin raskasmetalleihin, kuten elohopeaan, sinkkiin sekä kadmiumiin.

Elohopea on yksi myrkyllisimmistä metalleista ympäristössä (Silva yms. 2010). Sitä päätyy poltettavan jätteen sekaan muun muassa paristoista, lämpömittareista sekä muuntajista. Nykyään elohopeaa päätyy jätteen mukana laitokselle yhä vähemmän, sillä sen käyttöä on rajoitettu. (Hepola 2003.) Elohopeaa voi esiintyä kolmessa eri muodossa. Näitä ovat hiukkasiin sidottu elohopea (Hg^{p}), hapettunut elohopea (Hg^{2+}) sekä alkuainemuodossa oleva elohopea (Hg^0).

(Ma yms. 2014.) Nämä eri esiintymismuodot käyttäytyvät eri tavoilla puhdistusprosessissa, jonka takia puhdistusprosessin suunnittelu on hankalaa (Hepola 2003).

Toinen haitallinen esiintyvä raskasmetalli on sinkki (Zn). Sinkkiä käytetään paljon teollisuudessa ja sitä päätyy puhdistettavien jätevesien joukkoon. Vedessä se esiintyy kationeina Zn^{2+} niin kuin elohopeakin. (Korhonen 2022.)

Kadmium (Cd) päätyy luontoon ihmisen toiminnan seurauksena. Suurin osa päästöistä aiheutuu kaivostoiminnasta, fossiilisten polttoaineiden käytöstä sekä jätteiden poltosta. Kemiallisesti sinkki ja kadmium ovat hyvin samanlaisia ja myös kadmium esiintyy vedessä kationeina Cd^{2+} . (Savolainen 2011.)

3.1 Jätevoimalan ympäristölupa

Kaikelle toiminnalle, joka voi aiheuttaa ympäristön pilaantumista, tulee hakea ympäristölupaa. Ympäristölupaa haettaessa voidaan antaa määräyksiä koskien toiminnan laajuutta, päästöjä ja päästöjen vähentämistä. Ympäristölupa voidaan myöntää vain, jos toiminta ei aiheuta terveyshaittoja eikä ympäristön pilaantumista. (Ympäristölupa 2022.)

Suurin osa jätevoimalassa syntyvistä jätevesistä muodostuu prosessivesistä. Prosessiveden lisäksi siihen sisältyy hulevedet, pesuvedet sekä saniteettivedet. Kaikki laitoksella muodostuva vesi johdetaan jätevesiviemäriin. Mahdollisesti öljyä sisältävät vedet johdetaan ensin öljynerottimen läpi sekä myös prosessiveden valmistuksessa syntynyt jätevesi käy läpi puhdistusprosessin ennen kuin se johdetaan jätevesiviemäriin. Jätevesiviemäriin johdettavia vesiä tarkkaillaan ympäristöluvan sekä teollisuusjätevesisopimuksen mukaisesti. (Jätevoimalan ympäristölupa 2009.)

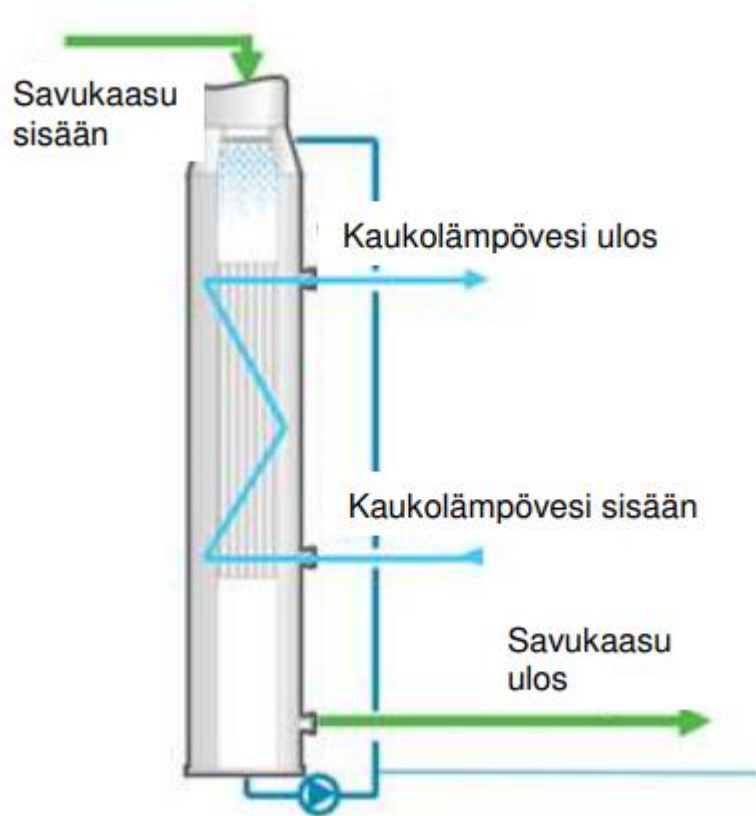
Jätteenpolton savukaasut johdetaan jätteenpolttolinjojen yhteiseen 70 metriä korkeaan savupiippuun. Jatkuvatoinimista mittausta vaativat yhdisteet ovat hiukaset, kloorivety, fluorivety, rikkidioksidi, typenoksidit, hiilimonoksidi, orgaanisen hiilen kokonaismäärä ja kaasumaiset ja höyrymäiset orgaaniset aineet. Lisäksi vaaditaan määräaikaista pitoisuusmittauksia raskasmetalleista, dioksiineista sekä furaaneista. (Jätevoimalan ympäristölupa 2009.)

Päästöjen raja-arvoja seurataan vuosittain ympäristöviranomaiselle lähetettävän raportin avulla. Mahdolliset ylitykset päästöjen raja-arvoissa tulee ilmoittaa heti ja myös jätevedenpuhdistamolle tulee ilmoittaa, jos jätevesiviemäriin johdettavien jätevesien raja-arvot ylittyvät. (Jätevoimalan ympäristölupa 2009.)

4 SAVUKAASULAUHTEEN KÄSITTELY

Savukaasujen lauhdutukseen on kaksi vaihtoehtoista tapaa. Toinen on savukaasulauhdutin ja toinen savukaasupesuri. Joissain tapauksissa käytetään näiden kahden tavan yhdistelmää. Savukaasulauhduttimen tehtävänä on talteen ottaa savukaasujen vesihöyryjen sisältämä lämpöenergia sekä puhdistaa päästöjä. Lämmöntalteenotto tapahtuu lauhduttamalla vesihöyry alle kastepisteen. Savukaasujen epäpuhtaudet sidotaan kiertoliuokseen, joka johdetaan osaksi lauhteen käsittelyä. Savukaasulauhde sisältää muun muassa raskasmetalleja, kiintoainetta sekä happamia yhdisteitä. (Ojaniittu 2020.)

Tuubilauhduttimet sisältävät lauhdutinosaan ja kiertoputkiston. Ensimmäisessä vaiheessa savukaasut johdetaan tuubilämmönsiirtimelle, jossa sekaan suihkutaan kiertoliuosta, jotta kastepiste tavoitetaan. Savukaasut lauhtuvat ja virtaavat pituussuunnassa olevia putkia pitkin alaspäin. Kaukolämpövettä virtaa alhaalta ylöspäin ja osa savukaasujen vapauttamasta lämpöenergiasta johtuu kaukolämpövedeen. Lauhduttimen alapäässä on pisaranerotin, johon jäänyt lauhtunut vesi ja kiertoliuos valuvat lauhduttimen pohjalle. Savukaasut jatkavat pisaranerotin kautta savupiippuun. (Ojaniittu 2020.)



Kuva 2. Tuubilauhdutin

Jätevoimalan savukaasulauhduttimet ovat tuubilauhduttimia. Yhden lauhduttimen teho on välillä 8–15 MW. Lauhduttimen teho riippuu siitä, että millä kuormalla kattilaa ajetaan, sekä kaukolämpöveden paluulämpötilasta. (Laimio 2015.)

Savukaasulauhteen ensimmäinen puhdistusvaihe on hiekkasuodatus. Siinä vesimassa suodatetaan hiekan läpi ja syntyvä rejekti jatkaa UF-suodattimen syöttösäiliöön. UF-suodattimella lauhdesta poistetaan pienempiä partikkeleita, joita hiekkasuodatus ei pysty poistamaan. Suodattimelta puhdas vesi johdetaan puhtaan veden säiliöön, josta alkaa jatkokäsittely vesilaitoksen puolella. UF-suodattimelta tuleva likainen vesijae johdetaan lamellille, jossa sakka erottuu vedestä, jolloin se saadaan otettua talteen ja vesi johdetaan uudelleen kiertoon hiekkasuodattimen eteen. (Heiskanen 2022.)

Puhtaan veden säiliöstä vesi johdetaan ensin pehmentimien läpi ja sitten käänteisosmoosin. Käänteisosmoosi poistaa epäpuhtaudet vedestä noin 90–95 prosenttisesti. Puhdas vesi lähtee raakavesisäiliöön ja RO:n rejekti menee

rejektisäiliön kautta raskasmetallivaihtimeen, josta se johdetaan lopuksi viemäriin. (Laimio 2015.)

4.1 Ongelmat savukaasulauhteen käsittelyssä

Vantaan Energian jätteenpolttolaitoksen savukaasulauhteen käsittelyssä ilmenevät ongelmat koskevat liian korkeita raskasmetallipitoisuuksia jätevesiviemäriin johdettavassa vedessä. Lauhteen puhdistusprosessissa savukaasulauhde tulee puhtasvesisäiliöön, jonka tilavuus on viisi (5) kuutiometriä. Mahdollisissa häiriötilanteissa tai savukaasulauhteen määrän kasvaessa, RO-yksikön kapasiteetti ei riitä käsittelemään kasvavaa jätevesimäärää ja vettä pääsee valumaa ylikaadon kautta puhtasvesisäiliöstä viemäriin ilman minkäänlaista puhdistusta ja tällöin mahdolliset raskasmetallipiikit ja raja-arvojen ylitykset ovat todennäköisempiä.

4.2 Teollisuusjätevesisopimus

Teollisuusjätevesisopimus velvoittaa toiminnanharjoittajan noudattamaan Helsingin seudun ympäristöhuollon (HSY) määrittämiä raja-arvoja koskien viemäriin johdettavia jätevesiä. Jos raja-arvot ylittyvät on HSY:llä oikeus periä toiminnanharjoittajalta maksun. (Teollisuusjätevesisopimus Jätevoimala 2022.)

Vantaan Energia Oy on tehnyt teollisuusjätevesisopimuksen HSY:n kanssa Viikinmäen ja Suomenojan vedenpuhdistamoille johdettavista jätevesistä. Taulukoissa 1 ja 2 näkyy sopimuksessa esitetyt raja-arvot. (Teollisuusjätevesisopimus Jätevoimala 2022.)

Taulukko 1. Teollisuusjätevesisopimuksen metallien raja-arvot (Teollisuusjätevesisopimus Jätevoimala 2022)

Arseeni	As	0,1 mg/l
Elohopea	Hg	0,01 mg/l
Hopea	Ag	0,2 mg/l
Kadmium	Cd	0,01 mg/l
Kokonaiskromi	Cr	1,0 mg/l
Kromi IV	Cr ⁶⁺	0,1 mg/l
Kupari	Cu	2,0 mg/l
Lyijy	Pb	0,5 mg/l
Nikkeli	Ni	0,5 mg/l
Sinkki	Zn	3,0 mg/l
Tina	Sn	2,0 mg/l

Taulukko 2. Muut ainekohtaiset raja-arvot (Teollisuusjätevesisopimus Jätevoimala 2022)

pH-luku	6,0–11,0	
Lämpötila	40 C	
Sulfaatti	1000	mg/l
Kokonaissyaniidi CN	0,5	mg/l
PAH-yhdisteet	0,05	mg/l
elintarviketeollisuus	500	mg/l
työmaat	300	mg/l
elintarviketeollisuus	150	mg/l

5 KANAALIVEDET SAVUKAASUN KÄSITTELYALUEELLA

Savukaasun käsittelyalueella keskeisimmät laitteet ovat savukaasulauhduttimet, savukaasulauhteen käsittelylaitteisto, poltetun kalkin sammutinlaitteisto sekä jäähdytystornit. Näiden lisäksi alueelta löytyy letkusuodattimet, aktiivihiili-säiliöt sekä lopputuotesiilot.

Prosessilaitteiden pesu on pakollista käynnissä- sekä kunnossapidon takia. Raskasmetalleja, kalkkia, aktiivihiiltä sekä muuta likaa sisältävä pesuvesi johdetaan alueen lattiakanaaleihin, joiden tilavuus on yhteensä 100 m³. Kanaaliin päätyvän veden määrä ja laatu riippuvat paljon pesukohteesta sekä niiden määrästä. (Hyytiäinen 2022.)

Alueella olevaa lopputuotetta sekä tuhkaa ajautuu pesuvesien mukana kanaaleihin. Lopputuotteeseen sitoutuneet raskasmetallit pääsevät sitä kautta kanaalijätevesiin, jonka takia kanaalijätevedet luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi.

Kanaalijätevesien käsittelyyn on tällä hetkellä käytössä esikäsittelylaitteisto. Esikäsittelyn vaiheet ovat kemiallinen saostus sekä mekaaninen suodatus. Ensimmäisessä vaiheessa kanaaliveden sekaan syötetään saostuskemikaaleja. Kemikaalien syötön jälkeen kanaalivedet johdetaan saostussäiliöön ja sitä kautta suodatussäkkiin. Sakka jää suodatussäkkiin ja jäljelle jää vesijae, joka viemäroidään. (Hyytiäinen 2022.)

5.1 Ongelmat kanaalijäteveden käsittelyssä

Kanaalijätevesistä on otettu aikaisemmin näytteitä Vantaan Energian toimesta. Näytteistä on havaittu, että sinkki- sekä kadmiumpitoisuudet piikittelivät ajoittain.

Tämänhetkinen kanaalijätevesien käsittelyprosessi ei mahdollista pientäkään raja-arvojen ylitystä. Raja-arvojen ylittyessä, kanaalijättevettä ei saa johtaa viemäriin, vaan kanaali pitää tyhjentää säiliöautolla. Tästä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia laitokselle.

5.2 Kanaalijäteveden tarkkailuohjelma

Kanaalijäteveden laatua tarkkaillaan teollisuuden jätevesisopimukseen kuuluvassa osassa. Näytteet otetaan kanaalijätevesistä ennen niiden yhdistämistä kokonaisjätevesiin. (Hyytiäinen 2022.)

Kanaalijätevesien näytteenotto toteutetaan ottamalla kertanäytteitä esikäsittelylaitteiston jälkeisestä jätevedestä. Kertanäytteistä kootaan kokoomanäyte, joka lähetetään ulkopuoliselle taholle analysoitavaksi. Näytteistä tutkitaan sulfaatti-, kadmium- ja sinkkipitoisuuksia sekä pH- tasoa. (Hyytiäinen 2022.)

6 AKTIIVIHIIILI

Tässä luvussa käydään läpi aktiivihiiilen ominaisuuksia ja sen käyttöä suodatinsovelluksissa. Tarkoituksena on valita savukaasulauhteen puhdistusprosessiin aktiivihiiლისuodatinpari. Suodattimien lukumäärän valinta perustuu niiden elvyttämiseen. Toisen suodattimen ollessa ehtynyt voidaan puhdistettava lauhde ajaa toisen suodattimen läpi. Näin voidaan varmistaa, ettei lauhteen puhdistusprosessi katkea ja käyttövarmuus säilyy.

6.1 Aktiivihiiili materiaalina

Hiilellä on hyvä adsorptiokyky, mikä parantaa sen kykyä sitoa pieniäkin hiukkasia pinnalleen. Adsorption perustana ovat molekyylien väliset voimat kuten van der Waalsin voimat, dipolidipolisidokset sekä vetysidokset. (Koppanen 2018.)

Rakenteeltaan aktiivihiiili on monikerroksinen. Huokoskoot vaihtelevat mikrohuokosista makrohuokosiin. Mikrohuokokset ovat kooltaan alle 2 nanometriä ja makrohuokokset ovat maksimissaan 50 nanometriä. Näiden välissä olevia huokosia kutsutaan mesohuokosiksi. Huokosten koko vaikuttaa suoraan siihen,

minkä kokoisia adsorbaatteja aktiivihiili pystyy sitomaan. Pienemmät huokokset sitovat kaikista pienimmät molekyylit ja vastaavasti huokoskoon kasvaessa aktiivihiili pystyy sitomaan suurempia molekyylejä pinnalleen. Huokoskoko pitää valita käyttökohteen mukaan oikein, sillä liian pieni huokoskoko ei pysty sitomaan kunnolla isoja molekyylejä ja silloin tapahtuva reaktio jää pintapuoliseksi eikä puhdistusprosessi ole tehokas. (Pulkkinen 2010.)

Aktiivihiili on hyvä materiaali myös sen muokattavuuden takia. Käyttökohdetta määritettäessä aktiivihiilestä voidaan valmistaa juuri sellaista, kun halutaan. Aktiivihiilellä on kyky puhdistaa monia erilaisia orgaanisia sekä epäorgaanisia aineita. Sen huokoinen pinta parantaa huomattavasti sen kykyä sitoa epäpuhtauksia sekä nesteistä, että kaasuista. Jauhemaista hiiltä voidaan käyttää puhdistamaan nesteitä ja raemaista hiiltä taas liuoksia sekä kaasumuodossa olevia aineita. (Pulkkinen 2010.)

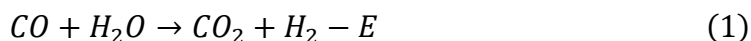
Jodiluvun avulla voidaan määrittää hiilen aktiivisuus. Mitä korkeampi jodiluku on, sitä paremmin se pystyy sitomaan itseensä epäpuhtauksia. (Pulkkinen 2010.) Aktivoinnin jälkeen hiilen pinta on hyvin huokoista, minkä takia sen reagoiva pinta-ala kasvaa. Ominaispinta-ala vaihtelee yleensä välillä 800–1500 m²/g. Kasvava pinta-ala on suoraan verrannollinen tehokkaampaan adsorptioon. Määrällisesti aktiivihiili pystyy sitomaan epäpuhtauksia pinnalleen noin 10 % omasta massastaan. (Koppanen 2018.)

6.2 Hiilen aktivointi

Hiilen aktivoinnilla adsorptiokykyä pystytään tehostamaan (Pulkkinen 2010). Aktivointi voidaan suorittaa joko kemiallisesti tai fyysisesti. Kemiallisessa aktivoinnissa hiili kyllästetään esimerkiksi fosforihapolla, jonka on tarkoitus kuivattaa materiaalia. Sen jälkeen hiili kuumennetaan 400–800 asteeseen ja samalla tapahtuu aktivoituminen. Aktivoitumisen jälkeen aktiivihiili pestään ja jauhetaan haluttuun muotoon. (Hannola 2007.)

Fyysinen aktivointi suoritetaan valitun hapettavan kaasun avulla. Näitä ovat esimerkiksi vesihöyry, hiilidioksidi tai näiden seos. Hiilen pinnalla tapahtuvat reaktiot ovat endotermisiä eli lämpöä sitovia reaktioita. Samalla vapautuvat

kaasut aikaansaavat uusia adsorptioalueita. Vesihöyryn sekä hiilimonoksidin välinen reaktioyhtälö on esitetty alla kaavassa 1.



Seuraavissa reaktioyhtälöissä esitetään hiilen aktivointi, kun käytetään vesihöyryn ja hiilidioksidin seosta. Reaktiot ovat eksotermisiä eli lämpöä vapauttavia.



Kun hiili aktivoidaan pelkän vesihöyryn avulla, tapahtuu alla olevien reaktioyhtälöiden mukaisesti reaktiot.



Endotermisissä reaktioissa lämpötilaa pidetään yllä polttamalla reaktioissa syntyvää hiilimonoksidia ja vetykaasua. Eksotermisissä reaktioissa lämpötila on helpompi ylläpitää korkeana mutta silloin on vaarana, että aktivoituminen jää pintapuoliseksi. (Hannola 2007.)

6.3 Aktiivihiilen käyttöolosuhteet

pH-arvo on keskeisessä roolissa aktiivihiilen käytössä. Käytetyn aktiivihiilen valmistusmateriaali määrittää sen pH-arvon, mutta sitä voidaan käsitellä valmistusvaiheessa happojen ja emäksien avulla, mikäli pH-arvoa halutaan muuttaa. Vesienkäsittelyssä aktiivihiili voi muuttaa käsiteltävän veden pH:ta jopa pysyvästi. Tämä johtuu siitä, kun puhdistettavassa vedessä olevat molekyylit sitoutuvat aktiivihiileen. Yleisesti adsorboivaa vaikutusta voidaan lisätä alentamalla pH:ta. (Hannola 2007.)

Prosessin lämpötilalla on ristiriitainen vaikutus adsorptiossa. Reaktionopeus on riippuvainen lämpötilasta. Kun lämpötila kasvaa myös hiukkasten värähtely kasvaa. Tällöin puhdistettavassa vedessä olevat hiukkaset ylittävät aktivoitumisenergian ja törmäävät todennäköisemmin aktiivihiilirakeisiin. Toisaalta

myös desorptio nopeutuu, kun jo adsorboituneet hiukkaset värähtelevät nopeammin, jolloin niitä vapautuu takaisin veteen. (Pulkkinen 2010.)

Kosteus vaikuttaa adsorptioprosessiin eri tavalla. Joillain aineilla on huomattu, että kosteus alentaa prosessin tehoa ja joillain on taas huomattu positiivista vaikutusta. Kosteus halutaan yleensä kuitenkin minimoida aktiivihiiisuodattimien varastoimisen aikana, jonka takia ne tulisi varastoida ilmatiiviisti. Joissakin käyttösovelluksissa aktiivihiiisuodatin voidaan vielä erikseen suojata kosteutta poistavalla suodattimella. (Hannola 2007.)

6.4 Aktiivihiiilen impregnointi

Impregnointi tarkoittaa aktiivihiiilen kyllästämistä jollakin toisella aineella. Kyllästiminä voidaan käyttää mm. happoja, jalometalleja, metallioksideja sekä suoloja. Impregnoinnin tarkoituksena on kasvattaa aktiivihiiilen adsorptiokykyä. (Pulkkinen 2010.)

Tämän työn kannalta olennainen tieto on aktiivihiiilen adsorptiokyvyn parantuminen, kun se esikäsitellään rikillä. Rikillä käsitelty aktiivihiiili pystyy sitomaan vedestä paremmin elohopeaa (Pulkkinen 2010). Savukaasulauhteessa esiintyvät elohopeapiikit voidaan saada laskuun valitsemalla aktiivihiiilityypiksi esimerkiksi rikkihappokäsitelty aktiivihiiili. Tämän työn pitoisuuskokeet on toteutettu rikkihappokäsitellyllä aktiivihiiilellä.

6.5 Aktiivihiiili suodatinsovelluksissa

Aktiivihiiisuodattimissa käytettävä hiili on yleensä rakeisessa muodossa. Rakeisella aktiivihiiilellä on parempi adsorptiokyky ja rakeet myös pystyvät sitomaan partikkeleita fysikaalisella suodatuksella, jolloin suurimmat partikkelit jäävät kokonsa takia kiinni aktiivihiiilirakeisiin. Suodatinsovelluksissa käytettävien rakeiden huokosrakenne on heterogeeninen eli huokoskoko vaihtelee. Heterogeenisella rakenteella pystytään saavuttamaan parempi ja puhtaampi lopputulos kuin homogeenisella eli hiukkaskooltaan tasaisella rakenteella. (Akva Filter s.a.)



Kuva 3. Hienojakoista aktiivihiiltä

Suodatinsovelluksissa olennaisia käsitteitä ovat viipymäaika, suodatinmassan tilavuus sekä suodatusnopeus. Suodatusnopeus tarkoittaa virtaamaa yksikössä m/h, joka saadaan laskettua virtaamasta m³/h jakamalla se suodatinmassan poikkipinta-alalla m². Suodatusnopeus vaihtelee yleensä välillä 10–25 m/h. Tällä välillä suodatinpatja ei pääse helposti kanavoitumaan eikä painehäviö suodattimen yli kasva liian suureksi. Suodatinmassan tilavuudesta käytetään yleensä lyhennettä BV (bed volume). Viipymäaika lasketaan jakamalla virtaama suodatinmassan tilavuudella. (Nenonen 2022.)

6.6 Adsorptiokyvyn heikkeneminen

Suodattimessa olevasta aktiivihiilestä tulee käyttökeltotonta, kun se saavuttaa tasapainotilan. Tällöin adsorptiota tapahtuu yhtä paljon kuin desorptiota eli molekyyliä sitoutuu yhtä paljon kuin niitä vapautuu takaisin puhdistettavaan veteen. Ehtymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat aktiivihiilen rakenteellisesti ominaisuudet eli ominaispinta-ala, huokoskokojakauma ja aktiivihiilen pinnalla tapahtuvat kemialliset reaktiot. Suodattimen tukkeutuminen havaitaan, kun suodatetun veden laatu heikkenee. Tukkeutuneet aktiivihiilihuokokset aiheuttavat kasvavan painehäviön ja myös painehäviön muutoksilla pystytään seuramaan suodattimen kapasiteettia. Kun ehtyminen tapahtuu, joudutaan rakeinen aktiivihiili vaihtamaan uuteen tai regeneroimaan uudelleen käytettäväksi. (Koppinen 2018.)

6.7 Vastavirtahuuhtelu

Aktiivihiihisiudattimen ehtymistä voidaan viivästyttää suorittamalla vastavirtahuuhtelu. Tällöin suodattimen virtaussuunta käännetään, jolloin suodatinmassaan kertynyttä kiintoainetta saadaan irrotettua suodatinmassasta. Virtausnopeuden tulee olla vähintään kaksin- tai kolminkertainen suodatuksen virtausnopeuteen verrattuna, jotta suodatinmassa puhdistuu (Nenonen Antti 2022). Veden lisäksi vastavirtahuuhtelussa voidaan hyödyntää ilmaa. Veden seassa oleva ilma nopeuttaa suodatinpatjan liikettä, jolloin huuhtelu tehostuu ja partikkeleita saadaan poistettua enemmän. (Koppanen 2022.)

Vantaan Energian jätteenpolttolaitoksella suodattimen vastavirtahuuhtelu olisi kannattava ratkaisu, sillä sen avulla suodatinmassan käyttöikä saadaan pidentettyä. Tällöin uuden massan hankintaväli tai vanhan massan regenerointiväli pidentyvät, mikä johtaa kustannuksien alenemiseen.

Kohteeseen olisi mahdollista rakentaa suodatinyksikölle vastavirtahuuhtelu. Tämä voitaisiin toteuttaa raakavedellä. Raakavesi otetaan kaupungin vesijohdoverkosta. Myös puhdistettu savukaasulauhde johdetaan raakaveden sekaan. Vastavirtahuuhteluun käytetty vesi voitaisiin johtaa takaisin jätevesikanaliin, jolloin se saataisiin uudelleen kiertoon.

Vastavirtahuuhtelun rakentaminen ei kuitenkaan ole edullinen investointi. Kustannuksia aiheuttaa putkiston rakentaminen sekä vastavirtahuuhtelun liittämisen automaatiojärjestelmään. Suodattimen huuhteluväli määrittää tarvittavan automaation tason. Huuhteluvälin määrittämiseen taas vaikuttaa valittu hiili-laatu sekä sen partikkelikoko. Vastavirtahuuhtelun suunnitteluun ja toteutukseen tarvitaan käytönaikaista seurantaan, jota käsitellään tarkemmin luvussa 9.3.

6.8 Käytetyn aktiivihiihen regenerointi

Ehtyneen aktiivihiihimassan regeneroinnin ideana on palauttaa sen adsorbointikyky. Regenerointi pyritään suorittamaan niin, ettei aktiivihiihen rakenne kärsi eikä tapahdu massahäviöitä. (Manninen 2020.) Tyypillisimmät tavat regeneroida ovat fysikaalinen regenerointi, kemiallinen regenerointi sekä näiden yhdistelmät. Aktiivihiihen regeneroinnista saadaan ekologisia ja taloudellista

hyötyä. (Korhonen 2022). Parhaimmissa tapauksissa regeneroinnilla pystytään palauttamaan 90–95 % alkuperäisen aktiivihiilen adsorptiokyvystä (Pulkkinen 2010).

Suodattimen regenerointi olisi teoriassa mahdollista esimerkiksi hyödyntämällä laitoksesta saatavaa höyryä. Tällaisen järjestelmän rakentaminen laitokselle olisi vielä suurempi investointi, kuin vastavirtahuuhtelun järjestäminen. Höyryä ei kuitenkaan tässä tapauksessa pystytä hyödyntämään, sillä sivuvirtojen ottaminen prosessista ulos on hankalaa.

Useilla laitetoimittajilla on ratkaisuja suodattimien regenerointiin. He tarjoavat sitä myymilleen suodatinratkaisuille. Laitetoimittajat eivät yleensä avaa aktiivihiilen regenerointiprosesseja sen tarkemmin, koska kilpailu parhaiden puhdistusprosessien välillä on isoa. Laitetoimittajat eivät pysty myöskään takamaan aktiivihiilen regenerointimahdollisuutta, sillä se riippuu pitkälti siitä, kuinka paljon massaan on adsorboitunut elohopeaa sekä muita epäpuhtauksia. (Koljonen 2022.)

6.8.1 Fysikaalinen regenerointi

Fysikaalinen regenerointi suoritetaan korkeassa lämpötilassa (Korhonen 2022). Sen hyviä puolia ovat lyhyt käsittelyaika sekä pienet massahäviöt. Termiseen käsittelyyn sisältyy neljä eri vaihetta. Ensimmäinen vaihe on veden haihduttaminen aktiivihiilimassasta noin 100 asteessa. Toista vaihetta kutsutaan termiseksi desorptioksi. Se suoritetaan 100–260 asteen lämpötilassa. Tässä vaiheessa adsorboituneet haihtuvat aineet irtoavat aktiivihiilihuokosista. Kolmas vaihe on pyrolyysi, joka tapahtuu 200–650 asteen lämpötilassa. (Pulkkinen 2010.)

6.8.2 Kemiallinen regenerointi

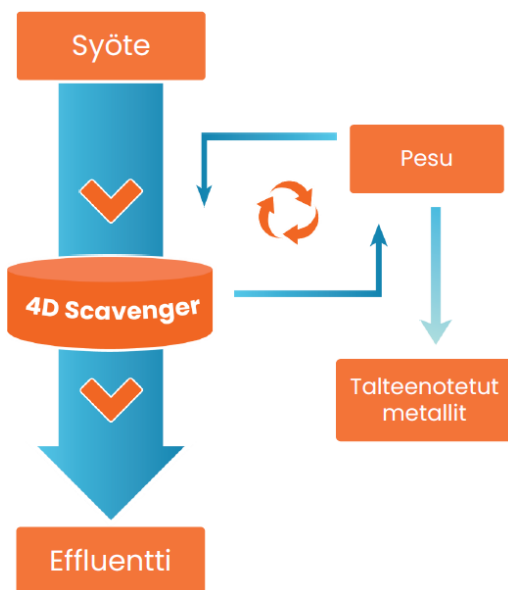
Kemiallisessa regeneroinnissa aktiivihiilimassa kuivatetaan kemikaalien avulla. Kuivatuksen jälkeen tarvitaan vielä lämpökäsittely 400–800 asteessa, jotta hiili aktivoituu uudelleen. Lämpökäsittelyn jälkeen suoritetaan vielä aktiivihiilimassan pesu, kuivatus sekä pulverisointi. Kemiallisessa regeneroinnissa aktiivihiilen huokoskoko kasvaa sen mukaan, mitä enemmän kemikaaleja käsittelyssä on käytetty. (Manninen 2020.)

Kemiallisen regeneroinnin alalajeja on useampia. Ne määräytyvät regeneroinnissa käytettävän kemikaalin sekä menetelmän mukaan. Niitä ovat NaOH-regenerointi, liuotusregenerointi, ylikrittiinen regenerointi, sähkökemiallinen regenerointi, lämpökatalyyttisesti hapettavat sekä tavallisesti hapettavat menetelmät, otsooni regenerointi, märkäilma regenerointi, vetyperoksidiregenerointi sekä vedellä regenerointi. (Manninen 2020.)

Kemiallinen regenerointi tehoaa paremmin metallikationeihin kuin fysikaalinen regenerointi, joten sitä käytetään enemmän niihin liittyvissä sovelluksissa. Kemiallisessa regeneroinnista aiheutuvat myös pienemmät massahäviöt. Tämä johtuu siitä, että regenerointi voidaan tehdä suoraan kolonnissa. Kemiallisen regeneroinnin haittapuolia ovat kalliit kemikaalit sekä prosessissa syntyvät jätteet. Usein joudutaan käyttämään useampia kemikaaleja, jotta ne tehoavat adsorboituneisiin hiukkasiin. (Korhonen 2022.)

6.9 Vaihtoehtoinen tekniikka aktiivihillisuodatukselle

Vaihtoehtoinen tekniikka raskasmetallien poistoon savukaasulauhteesta on 4D Scavenger eli sieppari. 4D sieppari on kompakti suodatinyksikkö, jonka ytimen materiaali valitaan sen mukaan, mitä epäpuhtauksia jätevedestä halutaan saada puhdistettua. Lisäksi puhdistustehokkuuteen pystytään vaikuttamalla tekemällä muutoksia ytimen huokoisuuteen. Jos jätevedestä halutaan saada poistettua useita eri metalleja, voidaan se toteuttaa laittamalla peräkkäin useita eri materiaalista valmistettuja sieppareita. Näin pystytään mahdollistamaan mahdollisimman puhdas lopputulos. Laitteiston pieni koko on eduksi verrattuna perinteiseen aktiivihillisuodatukseseen. 4D-siepparit on helpompi sijoittaa prosessiin ja niiden koon takia myös pienet konsentraatiot saadaan poistettua jätevesijakeista tehokkaasti. (Weeefiner 2022.)



Weefiner Oy 28.11.2022

Kuva 4. Prosessin vaiheet

Kuvassa 4. on esitetty prosessin vaiheet. Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään otetun näytteen metallipitoisuudet. Tämän jälkeen 4D-siepparia kokeillaan metallipitoisuuksien poistamiseksi. Kokeilun jälkeen voidaan selvittää pesuliuoksen koostumus sekä alustava massatase. (Hänninen 2022.)

7 KOKEELLINEN OSUUS

Työn kokeellisessa osuudessa selvitettiin kanaalijätevesien johtamista savukaasulauhteen puhdistusprosessiin. Lisäksi savukaasulauhteesta otettiin näytteitä, jotka lähetettiin Teollisuudenvedelle sekä Weefinerille analysoitavaksi.

Näytteistä tutkittiin elohopea, sinkki ja kadmium pitoisuuksia. Näiden lisäksi mitattiin kiintoaine UF-suodattimen näytteistä. Näytesarjoja otettiin useampia, jotta saatiin mahdollisimman kattava kuva lauhteen tilanteesta. Teollisuudenvesi toteutti pitoisuuskokeet rikkihappokäsittelyllä aktiivihieillä ja Weefiner 4D-siepparilla.

7.1 Kanaalijätevesien johtaminen savukaasulauhteen käsittelyprosessiin

Tarkoituksena oli pumpata kanaalijätevedet UF-suodattimen syöttösäiliöön. Testaus suoritettiin rakentamalla väliaikainen putkisto. Ajamalla kanaalivedet

UF-suodattimelle ja sitä kautta savukaasulauhteen käsittelyyn mukaan, voitaisiin saada kanaalijätevedessä esiintyneet kadmium- sekä sinkkipitoisuudet hallintaan.

UF-suodattimen kapasiteettia haluttiin seurata kokeilun takia. Tämän takia siitä otettiin kiintoainenäytteet sekä veden syötöstä, että ulostulosta. Näiden lisäksi otettiin näyte savukaasulauhteesta, kun prosessia on ajettu päivä niin, että kanaalijätevedet on johdettu lauhteen puhdistusprosessiin mukaan. Näytteenoton tulokset esitetään luvussa 7.3.

7.1.1 Koeajot

Ensimmäinen kokeilu pumpata kanaalijätevettä UF:n syöttöön onnistui hyvin. Toisella kokeilukerralla kanaalijätevettä ajettiin vuorokausi lauhteen sekaan, jonka jälkeen saatiin otettua ensimmäinen näytesarja. Nämä lähetettiin Teollisuudenvedelle analysoitavaksi.

Kolmannella kerralla huomattiin, ettei kanaalissa oleva uppopumppu jaksa pumpata kanaalijätevettä UF-suodattimen syöttösäiliöön asti. Tilalle hankittiin uusi pumppu, koska vanhan pumpun ajateltiin olevan rikki. Myöhemmin huomattiin kuitenkin, ettei uppopumpun nostokorkeus oletettavasti riitä pumppaamaan sitä säiliöön asti. Tilalle kokeiltiin vaihtaa uppopumppu, jonka ilmoitettu nostokorkeus oli 10 m. Kokeilua saatiin jatkettua uppopumpun vaihtamisen jälkeen.

Lisää haasteita kokeiluun aiheutti UF-suodattimen tukkeutuminen. Kolmannella ajokerralla ei saatu otettua näytteitä, sillä suodatin ehtyi ja aloitti automaattisen huuhtelun sakeuden ylittäessä 1,5 mg/l. Automaattihuuhtelu ei mennyt loppua, joten kokeilu piti lopettaa.

Suodattimen nopeaan ehtymiseen saattoi vaikuttaa saostuskemikaalit, joita syötettiin kanaalijäteveden sekaan. Prosessinohitaja pienensi saostuskemikaalien annostusta, koska sen havaittiin olevan liian suuri suhteessa syötettävän kanaalijäteveden virtaukseen. Kemikaalien annostusta pienentämällä UF-suodatin ei mennyt enää tukkoon ja näin toinen näytesarja saatiin otettua.

Viidennellä ajokerralla uusi, vaihdettu pumppu ei enää pumpannut. Tämän arveltiin johtuvan liian isosta pumpusta virtauksen ollessa hyvin pieni. Pumppu pääsi ylikuumentumaan ja pysähtyi sen takia. Tilalle hankittiin kokeiluun paineilmatoiminen kalvopumppu. (Kuva 5.)



Kuva 5. Painelaitetoiminen kalvopumppu asennettuna jätevesikanaaliin

Kuudennella ajokerralla kokeiltiin vaihtaa kanaalijätevesien pumppaus UF-rejektisäiliöön. Kokeilu toteutettiin ilman saostuskemikaalien pumppaamista kanaalijätevesien sekaan. Kokeilun aikana puhdasvesisäiliön sameus nousi korkeaksi, joten kokeilu piti lopettaa. Hiekkasuodatin ei pystynyt erottelemaan kanaalijätevedestä tullutta likaa. Näytteet saatiin otettua puhdasvesisäiliöstä, kun siihen oli johdettu kanaalijätevedet sekä ilman kanaalijätevesiä. Näiden lisäksi otettiin vielä näyte käsittelemättömästä savukaasulauhteesta.

7.2 Kanaalijäteveden esisuodatus

Koeajoissa havaittiin, että sameus nousee liian korkealle tasolle, kun kanaalijätevettä ajettiin UF:n syöttösäiliöön. Ratkaisuna voisi olla mahdollinen esisuodatus ennen kanaalijätevesien johtamista puhdistettavan savukaasulauhteen sekaan. Esisuodatuksessa kanaalijätevedestä saataisiin poistettua kiintoaineet, pesuvesien vaahto sekä mahdollinen öljy.

7.3 Näytteiden analyysitulokset

Näytteiden analyysitulokset on jaettu kahteen osioon. Kohdassa 7.3.1 käydään läpi kokeet, jotka on suoritettu rikkohappokäsitellyllä aktiivihieillä Teollisuudenveden toimesta. Kappaleessa 7.3.2 käydään läpi kokeet, jotka on suoritettu Weeefinerin toimesta hyödyntäen vaihtoehtoista tekniikkaa eli 4D-siepparia.

7.3.1 Rikkohappokäsitellyllä aktiivihieillä tehdyt kokeet

Kuvassa 6 on esitetty aktiivihieilikokeiden tulokset. Kokeet on suoritettu rikkohappokäsitellyllä aktiivihieillä. Näytevedet on laskettu aktiivihieilen läpi nopeudella 60 BV/h.

	Elohopea, Hg, kokonais		Kadmium, Cd, kokonais		Sinkki, Zn, kokonais	
	µg/l	Reduktio	µg/l	Reduktio	µg/l	Reduktio
UF syöttö 8.8.22 14:33	8,6		0,36		64	
AC-käsittely	0,2	98 %	0,07	81 %	16	75 %
UF syöttö 13.10.22 klo 13:30	< 0,1		0,17		800	
AC-käsittely	0,2	0 %	8,6	0 %	76	91 %
UF suodos 8.8.22 14:35	1		0,26		< 5	
AC-käsittely	< 0,1	95 %	0,05	81 %	< 5	0 %
UF suodos 13.10.22 klo 13:33	1		11		32	
AC-käsittely	< 0,1	95 %	6,4	42 %	20	38 %
Puhdasvesisäiliö 8.8.22 14:31	0,6		< 0,02		< 5	
AC-käsittely	< 0,1	92 %	< 0,02	0 %	< 5	0 %
Puhdasvesisäiliö 9.8.22 13:00	0,5		0,04		< 5	
AC-käsittely	< 0,1	90 %	0,01	75 %	< 5	0 %
Puhdasvesisäiliö 13.10.22 klo 12:46	0,4		< 0,02		270	
AC-käsittely	< 0,1	88 %	< 0,02	0 %	30	89 %
Puhdasvesisäiliö (sis. kanaalivesi) 13.10.22 klo 13:25	0,3		2,9		100	
AC-käsittely	< 0,1	83 %	1,4	52 %	13	87 %
Puhdasvesisäiliö 28.10.22 klo 12:50 sis. kanaalivesi	0,2		0,15		11	
AC-käsittely	< 0,1	75 %	0,03	80 %	57	0 %
Puhdasvesisäiliö 31.10.2022 klo 7:55 ei kanaalivettä	0,2		0,1		4,6	
AC-käsittely	< 0,1	75 %	<0,02	90 %	2,3	50 %
Savukaasulauhe käsittelemätön 28.10.2022 klo 12:50	0,2		< 0,02		7,7	
AC-käsittely	< 0,1	75 %	< 0,02	0 %	4,1	47 %

Kuva 6. Aktiivihieilikokeiden tulokset

Kuvassa 6 näkyy raskasmetallipitoisuudet näytteittäin sekä lähtötilanteessa, että AC-kokeiden jälkeisessä tilanteessa. Kuvassa näkyvien tietojen avulla on laskettu poistoteho eli reduktio prosentteina. Laskennassa on käytetty puolik-kaita pitoisuusarvoja kohdissa, joissa pitoisuudet on ilmoitettu pienempi kuin -merkin avulla. Poistoteho on laskettu seuraavalla kaavalla:

$$100 - \frac{AC - koe}{lähtötilanne} * 100 \quad (6)$$

Kohdissa, joissa reduktio on 0 %, ovat lähtöarvon pitoisuus sekä AC-kokeen jälkeinen pitoisuus ilmoitettu samoiksi. Oranssilla merkityt kohdat lähtivät uudelleen tarkastettaviksi, niissä olleiden virheiden takia, eivätkä tulokset valmistuneet työn aikataulun puitteissa.

Elohopean pitoisuudet lähtötilanteissa eivät ylittäneet missään kohtaa raja-arvoa 10 µg/l. Käytetty aktiivihiili sitoi elohopeaa vedestä itseensä 75–98 % riippuen alkukonsentraatiosta. Kanaalijätevesien johtamisella mukaan ei näyttänyt olevan vaikutusta tilanteeseen.

Kadmiumpitoisuudet vaihtelivat otetuissa näytteissä välillä 0,36–11 µg/l. Korkein pitoisuus mitattiin UF-suodoksesta. Tämä ylitti raja-arvon 10 µg/l. Poistoteho vaihteli välillä 52–90 %. Tulosten perusteella voidaan todeta kanaalijätevesien nostavan kadmiumpitoisuutta savukaasulauhteessa.

Sinkin pitoisuuksissa oli eniten vaihtelua. Pienin mitattu pitoisuus oli alle 5 µg/l ja korkein 800 µg/l. Korkein pitoisuus mitattiin UF-suodattimen syöttövedestä. Tämä ei kuitenkaan ylittänyt raja-arvoa, joka on 3000 µg/l. Poistoteho vaihteli välillä 38–91 %. Mitä suurempi lähtökonsentraatio sinkillä oli, sitä parempi poistotehokkuus saavutettiin.

Kokeissa käytetyn aktiivihiilen voidaan tulosten perusteella todeta tehoavan sekä elohopea-, kadmium- ja sinkkipitoisuuksiin.

7.3.2 4D-siepparilla tehdyt kokeet

	Pitoisuus (µg/L)				Raja-arvot
	UF syöttö (1)	UF suodos (2)	Puhdasvesi sis. kanaali (3)	Puhdasvesi referenssi (4)	
As	13,8	9,3	6,8	11,6	100
Hg*	9,5	< 5	< 5	< 5	10
Cd*	14,4	11,1	3,4	< 1	10
Cr	1,0	0,4	0,3	0,0	1000
Cu	17,5	10,4	7,9	7,3	2000
Pb	5,0	1,5	1,2	1,2	500
Ni	3,4	2,8	0,7	0,7	500
Zn	82,2	37,7	4,9	0,0	3000
Ca	38 978	42 098	12 325	0	-
K	37 681	29 916	12 719	1 090	-
Na	263 442	222 152	267 720	277 504	-
pH	7,36	7,47	7,29	11,6	6,0-11,0

* Mitattu ICP-MS:lla

Weeefiner Oy 28.11.2022

Kuva 7. Lähtötilanne 4D-sieppari kokeille

Raskasmetallien poistoa testattiin 4D-206 siepparilla. Kokeet on suoritettu virtaamalla 100 BV/h. Kuvassa 9. on esitetty lähtötilanne, josta testaus on aloitettu. UF-suodattimen syötöstä otetussa näytteessä elohopea pitoisuus lähennee raja-arvoa. Kadmiumpitoisuus ylittää raja-arvon sekä kohdassa UF-syöttö, että UF-suodos. Kuvissa 8,9 ja 10 on esitetty saadut tulokset kadmium- ja sinkkipitoisuuksien osalta. Kokeet on toteutettu kolmella eri tilavuudella (BV).

Käsitelty näyte (BV)	Cd (µg/L)	Zn (µg/L)
alku	14,4	82,2
500	< 2	< 2
1000	< 2	< 2
1500	< 2	< 2

Kuva 8. Näyte 1. UF-syöttö

Käsitelty näyte (BV)	Cd (µg/L)	Zn (µg/L)
alku	11,1	37,7
500	< 2	< 2
1000	< 2	< 2
1500	< 2	< 2

Kuva 9. Näyte 2. UF-suodos

Käsitelty näyte (BV)	Cd (µg/L)	Zn (µg/L)
alku	3,3	4,9
500	< 2	< 2
1000	< 2	< 2
1500	< 2	< 2

Kuva 10. Näyte 3. Puhdasvesisäiliö sisältäen kanaalijätevedet

Kuvassa 8 näkyvät tulokset, jotka saatiin UF-suodattimen syötöstä otetulla vesijakeella. UF-suodattimen suodoksesta otetun näytteen tulokset selviävät kuvasta 9. Kuvassa 10 on esitetty tulokset puhdasvesisäiliöstä otetusta vesijakeesta, johon on johdettu kanaalijätevedet mukaan.

Kuvissa 11, 12 ja 13 on esitetty poistotehokkuus, joka on laskettu eri kohdista otetuille näytteille. Poistotehokkuus on laskettu samalla kaavalla (6) kuin aktiivihiihokkeiden poistotehokkuudet. Laskennassa on myös käytetty kaavaa $0,5 \cdot \text{määritysraja}$, kohdissa, joissa tulos on alle määritysrajan.

UF-syöttö BV µg/l	Cd	Zn
alku	14.4	82.2
500	1	1
1000	1	1
1500	1	1
Poistotehokkuus %	93.1	98.8

Kuva 11. Poistotehokkuus laskettuna UF-syötöstä otetuista näytteistä

Kuva 11. on UF-suodattimen syöttövedestä otetuista näytteistä. Kaikilla tilavuuksilla (BV) kokeen jälkeinen tulos oli sama, joten niiden poistoteho on sama. Kadmiumin poistoteho oli noin 93 % ja sinkin 99 %.

UF-suodos BV µg/l	Cd	Zn
alku	11.1	37.7
500	1	1
1000	1	1
1500	1	1
Poistotehokkuus %	91.0	97.3

Kuva 12. Poistotehokkuus laskettuna UF-suodoksesta otetuista näytteistä

Kuvassa 12. poistoteho on laskettu UF-suodattimen suodoksesta otetusta näytteestä. Kadmiumin poistoteho oli 91 % ja sinkin noin 97 %.

Puhdasvesisäiliö sis. kanaalijätevedet BV µg/l	Cd	Zn
alku	3.4	4.9
500	1	1
1000	1	1
1500	1	1
Poistotehokkuus %	70.6	79.6

Kuva 13. Poistotehokkuus laskettuna puhdasvesisäiliöstä otetuista näytteistä sisältäen kanaalijätevedet

Puhdasvesisäiliöstä, johon on johdettu kanaalijätevedet mukaan, otetut näytteet on esitetty kuvassa 15. Poistoteholukema kadmiumille oli noin 71 % ja sinkille noin 80 %.

Elohopean poistoa testattiin erikseen 4D-504 siepparilla. Kuvassa 14 näkyvät kokeesta saadut tulokset. Elohopean poistotehokkuus vaihteli välillä 43–56 %.

Käsitelty näyte (BV)	Hg (µg/L)	Hg poistuma (%)
alku	9,88	-
500	4,33	56 %
1000	4,80	51 %
1500	5,06	49 %
2000	5,67	43 %

Kuva 14. Elohopean poistoteho

Kaikista tuloksista voidaan tulkita 4D-siepparin tehoavan todella hyvin raskametallipitoisuuksiin. Sekä sinkki-, että kadmiumpitoisuudet laskevat 4D-siepparin jälkeen alle määritysrajan 2 µg/l. Myös elohopeapitoisuuksia saadaan 4D-siepparilla alennettua.

8 SAVUKAASULAUHTEN PUHDISTUSPROSESSIIN SOVELTUVA SUODATINRATKAISU

Savukaasulauhteen virtaus vaihtelee yleensä normaalissa ajotilanteessa välillä 2 kg/s – 8 kg/s. Valittava suodatin tulee kuitenkin mitoittaa maksimivirtausnopeuden mukaan, joka on 11 kg/s. Lisäksi tulee huomioida mukaan johdettavat kanaalijätevedet, jotka kasvattavat virtausta noin 0,1–0,2 kg/s. Suodatin tulee mitoittaa virtaukselle 12 kg/s, koska savukaasulauhteen virtaus saattaa joissakin ajotilanteissa ylittää arvioidun maksimivirtauksen. Suodattimen läpi virtaaman nesteen maksimilämpötila on 45 astetta. Paine mitoitustilanteessa on noin 4–6 baaria.

Aktiivihiihisuodattimia löytyy useilta eri laitetoimittajilta. Luvussa 8.1 käydään läpi muutaman eri toimittajan vaihtoehtoja saatujen tarjousten perusteella. Vertailussa tulee huomioida myös laitetoimittajan näkemys mahdollisesta regeneroinnista sekä vastavirtahuuhtelun vaikutuksesta suodattimen käyttöikänsä. Myös suodattimien koko vaikuttaa lopulliseen valintaan. Tarjouskyselyt on lähetetty karkeilla lähtötiedoilla, joten ratkaisut ovat suuntaa antavia.

8.1 Tarjouskyselyt laitetoimittajilta

Tarjouskyselyitä lähetettiin yhteensä viidelle eri laitetoimittajalle Suomessa. Saadut tarjoukset käydään läpi pintapuolisesti ja laitteistojen hintatiedot pidetään salattuina salassapitosopimuksen takia.

Ensimmäisessä tarjouksessa ratkaisu prosessiin olisi kaksi 2 m³ vaihdettavaa suodatinta. Suodattimissa olisi käytössä raskasmetalleille suunniteltu adsorbentti. Ohjeelliseksi painehäviöksi suodattimelle on ilmoitettu 1 baari. Yhden suodattimen mitat ovat 2,3 m x 1,7 m x 1,7 m, joten kahden tällaisen suodattimen sijoittaminen niille suunniteltuun tilaan ei onnistuisi.

Toisessa tarjouksessa tarjottiin ainoastaan lasikuitusäiliöitä aktiivihielelle sekä tarvittavat polypropeeniputkistot ja suuttimet. Pystysuuntaisen lasikuitusäiliön korkeus on 3120 mm ja halkaisija 1500 mm. Tämä ratkaisu tarkoittaisi sitä, että aktiivihiehiä pitäisi hankkia joltakin toiselta valmistajalta erikseen. Suodattimen kokoa ajatellen taas, tämä vaihtoehto olisi sopiva kohteeseen.

Kolmas tarjous saatiin liittyen vaihtoehtoiseen tekniikkaan aktiivihiehiäsuodatukseen. Tämä tarjous koski mahdollista pilottilaitteistoa, jonka avulla 4D-siepparin toimivuutta prosessissa voitaisiin seurata ja suunnitella tarkemmin.

9 PROSESSISUUNNITTELU

Tässä luvussa kerrotaan mahdollisen suodatinyksikön sijoittamisesta prosessiin sekä sen käytönaikaisesta seurannasta. Lisäksi perehdytään linjassa olevan savukaasulauhdepumpun toimintaan pumpun toimintaolosuhteiden muuttuessa.

9.1 Suodatinyksikön sijoittaminen prosessiin

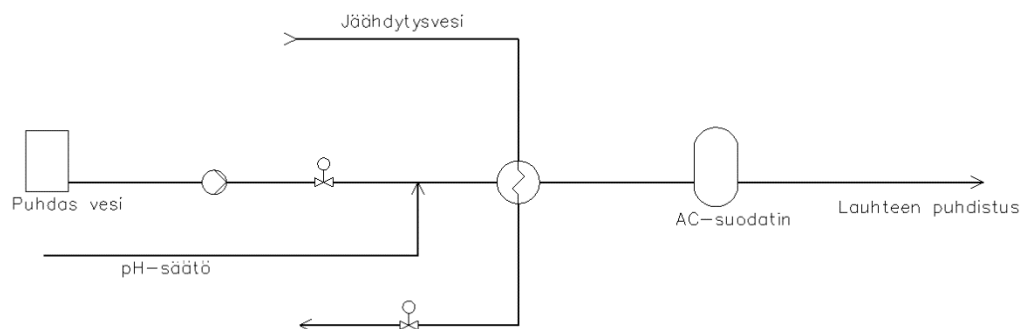
Suodatinyksikkö voitaisiin sijoittaa vesilaitoksella sijaitsevan siirrettävän RO3-laitteiston paikalle. Prosessissa tämä olisi lämmönvaihtimen jälkeen, jolloin lauhteen lämpötila olisi alle 40 astetta. Tila, johon suodatinyksikkö tulisi, on pituudeltaan 3 m, leveydeltään 2 m sekä korkeudeltaan 3 m. Vaihtoehtoisia ratkaisuja tilalle on myös muita, mutta ne vaatisivat enemmän putkistomuutoksia asennusvaiheessa.

Kuvassa 15 on siirrettävä RO3, jonka paikalle suodatinyksikköä on kaavailtu. Lauheputki on ensimmäinen putki edestäpäin katsottuna. Jos suodattimet saataisiin mahtumaan haluttuun kohtaan, putkistoon tehtävät muutokset pysyisivät mahdollisimman vähäisinä. Näin ollen putkistomuutosten aiheuttamat painehäviöt saataisiin minimoitua.



Kuva 15. Siirrettävä RO3-laitteisto

Kuvassa 16. on piirretty havainnollista virtauskaavio prosessista. AC-suodatin on piirretty virtauskaavioon sille paikalle, johon se on suunniteltu.



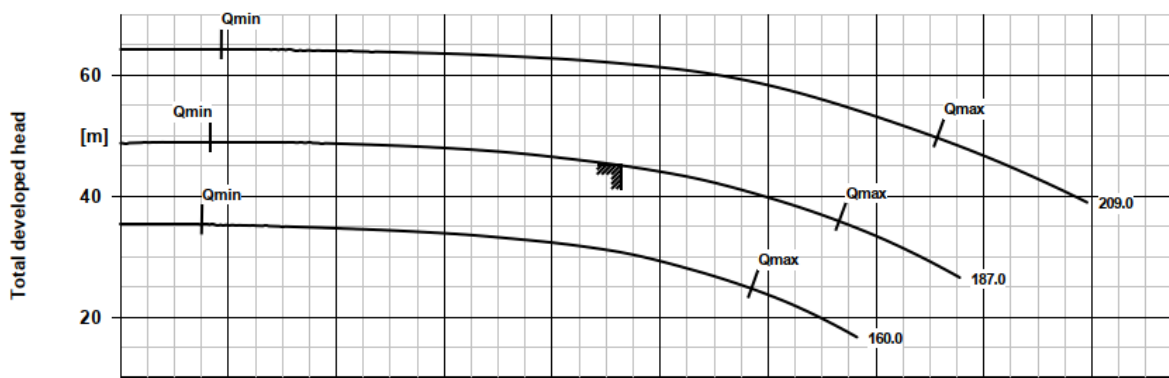
Kuva 16. Virtauskaavio

9.2 Savukaasulauhdepumpun mitoitus

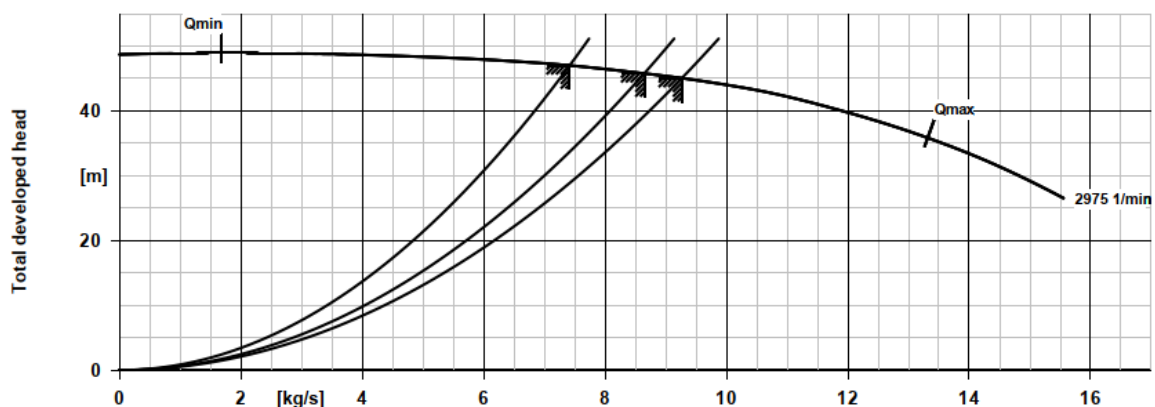
Savukaasulauhdepumpulla pumpataan savukaasulauhduttimilta tuleva lauhde savukaasulauhteen käsittelyyn. Savukaasulauhdepumppu on vakiokierrosnopeuspumppu. Putkisto on suunniteltu arvoilla 0,4/1,0 MPa ennen pumppua ja pumpun jälkeen. Putkiston materiaali on EN1.4037. (Pöyry 2013.)

Savukaasulauhdepumpun ollessa vakiokierrosnopeuspumppu, virtausmäärää säädelään pumpun jälkeisellä säätöventtiilillä. Savukaasulauhdepumppu tulee pysäyttää lämpötilan ylittäessä 60 astetta sekä sameuden ollessa liian korkea. Näin voidaan turvata lauhteen jatkokäsittely. (Pöyry 2013.)

Pumpun ominaiskäyristä (Kuva 17) ja sekä vastuskäyristä (Kuva 18) saadaan määritettyä pumpulle toimintapiste. Toimintapiste kertoo ideaaliset arvot, joilla pumpun tehokkuus on parhaimmillaan (Vähätalo 2021). Kuviin toimintapisteet on merkattu mustilla nuolilla. Pumpun ominaiskäyrästä nähdään, että minimivirtaus pumpulle on noin 1,8 kg/s ja maksimivirtaus noin 13,5 kg/s. Virtauksen kasvaessa nostokorkeus pienenee.



Kuva 17. Savukaasulauhdepumpun ominaiskäyrät



Kuva 18. Savukaasulauhdepumpun vastuskäyrät

Suodatinyksikön voidaan ajatella olevan paikallisvastus putkistossa. Suodattimien aiheuttamat painehäviöt putkistoon saadaan pääsääntöisesti suoraan laitetoimittajilta. Nostokorkeuden kaavaa (7) hyödyntämällä voidaan laskea painehäviön aiheuttama nostokorkeuden alenema. (Vähätalo 2021.)

$$\Delta p = \rho g h \rightarrow h = \frac{\Delta p}{\rho g} \quad (7)$$

jossa	Δp	paineen lisäys	[Pa]
	ρ	Nesteen tiheys	[kg/m ³]
	g	Putoamiskiihtyvyyys	[m/s ²]
	h	Nostokorkeus	[m]

(Vähätalo 2021.)

Kaavassa 8 on laskettu esimerkki tilanteesta, jossa suodatin aiheuttaa painehäviötä 1 baarin verran. Tällöin nostokorkeuden alenema on noin 10 metriä.

$$\frac{-100000 \text{ Pa}}{\left(997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2}\right)} = -10,2 \text{ m} \quad (8)$$

9.3 Suodattimen toiminnan käytönaikainen seuranta

Suodattimen toimintaa pystytään seuraamaan pitoisuuskokeiden avulla sekä mahdollisella painemittauksella. Yleisesti suodattimen toiminnasta saadaan hyvä kuva, kun suodattimen yli menevä paine-ero mitataan. Paineen kasvaessa liian suureksi, suodatin on ehtynyt.

Paine-erolähettimet valvovat paine-eroa suodattimen yli ja lähettävät siitä tiedon järjestelmään. Suodattimen tukkeutuessa lähettimeiltä lähtee hälytys järjestelmään. Mikäli kohteeseen saadaan suunniteltua vastavirtahuuhtelu, tämä voitaisiin liittää automaatioon niin, että automaattinen vastavirtahuuhtelu käynnistyisi, kun suodattimen yli mitataan liian suuri paine-ero.

Automaattisesti käynnistyvä vastavirtahuuhtelu olisi paras ratkaisu käytön kannalta, mutta myös manuaalisesti suoritettava huuhtelu on mahdollinen.

Tällöin pystyttäisiin säästämään kustannuksissa, kun automaation taso pidettäisiin mahdollisimman alhaisena. Manuaalisesti tehtävä huuhtelu voitaisiin suorittaa käsitöillä ON/OFF venttiileillä. Tällainen ratkaisu kuitenkin aiheuttaisi lisätöitä prosessinhoitajille.

Paine-eromittauksen lisäksi olisi aluksi hyvä tehdä pitoisuuskokeita. Pitoisuuskokeiden ideana on saada tietoa siitä, kuinka nopeasti suodatin mahdollisesti ehtyy, jolloin vastavirtahuuhtelua on helpompi suunnitella ja ennalta arvioida. Raskasmetallipitoisuuksien kasvaessa näytteessä suodattimen adsorbointikyky on heikentynyt. Näytteiden ottoa varten tarvitaan putkiyhteet käsiventtiileihin, joista näytteet saadaan otettua. Lisäksi pitoisuuskokeilla pystytään varmistamaan siitä, että toimiiko suodattimeen valittu adsorbentti halutusti.

10 POHDINTA

Tässä kappaleessa käydään läpi työn aikana esille tulleet havainnot sekä mahdolliset ratkaisut, joita voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää.

Työn aikana tehtiin pitoisuuskokeita, joiden raskasmetallipitoisuudet analysoitiin. Tulokset on esitetty tarkemmin luvussa 7.3. Lisäksi selvitettiin kanaalijätevesien johtamista savukaasulauhteen puhdistusprosessiin mukaan. Kanaalijätevesien johtaminen mukaan lauhteen puhdistusprosessiin onnistui vaihtelevasti. Lopputuloksena päädyttiin siihen, että jos kanaalijätevedet halutaan jotta UF-suodattimen syöttösäiliöön, tarvitaan sitä ennen kanaalijätevesien esisuodatus.

Pitoisuuskokeita tehtiin kahdella vaihtoehtoisella tavalla, joista toinen on aktiivihilli ja toinen 4D-sieppari. Näyte-eriä oli tarkoitus ottaa useita, mutta haasteista johtuen niitä ei saatu kuin neljä. Tämän takia näytteiden ottoa voidaan pitää pistokoetyyppisenä ratkaisuna. Suuremmalla näytemäärällä olisi tilannetta pystynyt mallintamaan tarkemmin.

Aktiivihilli toimi lähtökohtana koko insinööriyölle. Kokeet suoritettiin aikaisemmin toimivaksi todetulla aktiivihillilaadulla, joka oli tässä tapauksessa rikkihappokäsitelty aktiivihilli. Saatujen tulosten perusteella sen voitiin todeta toimivan

hyvin haluttujen raskasmetallien poistoon. Sekä elohopea-, kadmium ja sinkkipitoisuudet saatiin laskemaan aktiivihiiisuodatuksella. Poistoteholukemat vaihtelivat välillä 75–98 % kohdissa, joissa poistotehokkuus pystyttiin määrittämään.

Hyviä tuloksia saatiin myös 4D-siepparilla tehdyillä pitoisuuskokeilla. 4D-sieppari haluttiin ottaa työhön mukaan vaihtoehtoisena tekniikkana aktiivihiiisuodatukselle. Tekniikka esiteltiin pintapuolisesti, koska painoarvo haluttiin pitää aktiivihiiisuodatuksessa. Myös tällä tekniikalla tehdyistä pitoisuuskokeista laskettiin poistotehokkuus. Poistoteho vaihteli välillä 71–99 %. Elohopealle teetettiin 4D-sieppari kokeet erikseen. Elohopean poistotehokkuuslukemat vaihtelivat välillä 43–56 %.

Tulokset osoittavat, että molemmat tekniikat toimivat. Lauhteessa olevia raskasmetallipitoisuuksia saadaan alennettua hyvillä poistotehokkuus lukemilla. Aktiivihiihi näyttäisi toimivan poistotehokkuuslukemien perusteella hieman paremmin elohopean poistoon kuin 4D-sieppari. Tulosten tarkempi vertailu on kuitenkin hankalaa, sillä alkukonsentraatio lähtötilanteessa oli erilainen. Tämä vaikuttaa suoraan metallien poistotehokkuuteen. Lisäksi koejärjestelyt olivat erilaiset tekniikoiden välillä. Esimerkiksi virtausnopeus, jolla näyte laskettiin suodattimien läpi, oli eri.

Vaihtoehtoja aktiivihiiisuodatuksessa on paljon. Yksi vaihtoehto on ottaa koko suodatinratkaisu tietyltä laitetoimittajalta, jolloin siihen sisältyisi säiliö sekä suodattimen massa. Toinen vaihtoehto on ottaa joltakin laitetoimittajalta pelkästään säiliö, jolloin aktiivihiihi pitäisi hankkia erikseen.

Valmiin suodatinratkaisun ottaminen joltakin laitetoimittajalta olisi helpoin ratkaisu, mutta siinä saattaa ilmetä ongelmia mitoituksen suhteen. Tila, johon suodatinyksikkö olisi optimaalisin sijoittaa on hyvin pieni verrattuna tarjottujen aktiivihiiisuodattimien kokoon nähden. Valittaessa tämä ratkaisu, tulee suodatinyksikön sijoittamista miettiä uudestaan. Pelkän säiliön ottaminen laitetoimittajalta olisi hyvä ratkaisu tilan kannalta, sillä säiliöitä saisi tilattua halutulla mitoituksella.

Vaihtoehtoisena ratkaisuna aktiivihillelle voisi toimia 4D-sieppari. 4D-sieppari olisi kokoluokaltaan pienempi, joten se olisi helpompi sijoittaa prosessiin. Tämä ratkaisun valitseminen edellyttäisi kuitenkin vielä tarkempaa testausta Pilot-laitteiston avulla.

Mielenkiintoinen näkökulma tulevaisuutta ajatellen olisi hyödyntää Vantaan Energian aktiivihililaitoksen tuottamaa aktiivihiltä. Tämä toki edellyttäisi sitä, että laitoksella tuotettavan hiilen tulisi olla suodatinsovelluksiin sopivaa kaikilta ominaisuuksiltaan. Jos oman laitoksen tuottamaa aktiivihiltä pystyttäisiin hyödyntämään, olisi se mielenkiintoinen vaihtoehto kustannuksia ajatellen.

11 YHTEENVETO

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli selvittää aktiivihillen toimivuutta savukaasulauhteen puhdistuksessa. Työssä perehdyttiin laajasti aktiivihillen ominaisuuksiin, aktivointi prosesseihin sekä sen toimintaan suodatinsovelluksissa. Lisäksi aktiivihillen rinnalle vertailuun otettiin myös vaihtoehtoinen tekniikka, 4D-sieppari.

Kokeellisessa osuudessa teetettiin pitoisuusanalyysijä sekä selvitettiin kanaalijätevesien liittämistä savukaasulauhteen puhdistusprosessiin. Pitoisuuskokeiden avulla saatiin selvitys siitä, että molemmilla tekniikoilla savukaasulauhteessa esiintyviä raskasmetallipitoisuuksia saadaan alennettua huomattavasti. Myös kanaalijätevesien johtaminen savukaasulauhteen sekaan todettiin mahdolliseksi lisäämällä prosessiin kanaalijätevesien esisuodatus.

Haasteita työssä aiheutti aikatauluongelmat liittyen savukaasulauhteen analyysiin. Pitoisuuskokeet teetettiin kolmannella taholla, jonka takia analyysituloksien saamisessa oli hieman viivettä. Lisäksi osa analyysituloksista oli ilmoitettu virheellisesti ja tuloksia jouduttiin korjailemaan useampaan kertaan.

Haasteista huolimatta opinnäytetyö saatiin valmiiksi. Lopputuloksena opinnäytetyön toimeksiantajalle saatiin kattava selvitys aktiivihillestä sekä sen sopivuudesta raskasmetallipitoisuuksien alentamiseen savukaasulauhteesta. Työssä esitettiin vaihtoehtoisia ratkaisuja ja pohdintoja, joita toimeksiantaja pystyy halutessaan hyödyntämään tulevaisuudessa.

Lähteet

- Afry. s.a. Vantaan jätevoimalaitos. Verkkoaineisto. Saatavilla: <https://afry.com/fi-fi/projektit/vantaan-jatevoimalaitos> [viitattu 9.8.2022.]
- Akva Filter. s.a. Aktiivihiihi. WWW-dokumentti. Saatavissa: [Aktiivihiihi - Akva Filter Oy](#) [viitattu 16.8.2022]
- Arvokasta jätettä. 2019. Aalto-yliopisto. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.7.2021. Saatavissa: <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/arvokasta-jatetta> [viitattu 13.10.2022]
- Bröckl, M., Kiuru, H., Heads, S., Kämäräinen, K., Patronen, J., Luoma-aho, K., Armila, N., Sipilä, E. & Semkin, N. 2021. Jätteenpolton kiertotalous- ja ilmasto-vaikutuksiin vaikuttaminen eri ohjauskeinoin. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162690/VNTEAS_2021_08.pdf [viitattu 28.9.2022.]
- Espo, J. 2022. Prosessi-insinööri. Keskusteluja. 2.5.-2.1.2023. Vantaan Energia Oy.
- Hannola, T. 2007. Aktiivihiihessä etenevän absorptiorintaman mittaaminen puolijohdekasuantureiden avulla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [Microsoft Word - Thesis Tero Hannola.doc \(lut.fi\)](#) [viitattu 16.8.2022.]
- Heiskanen, I. 2022. Prosessinhoitaja. Keskusteluja 5.5.-8.11.2022. Vantaan Energia.
- Hepola, J. 2003. Elohopeapäästöt fossiilisiin polttoaineisiin ja jätteisiin perustuvassa energiantuotannossa. VTT Prosessit. PDF-dokumentti. Saatavissa: [T2212.pdf \(vttresearch.com\)](#) [viitattu 18.10.2022]
- Hyytiäinen, H. 2022. Kemiällisen saostuksen optimointi kanaalijäteveden esikäsittelyssä. Metropolia ammattikorkeakoulu. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/744751/Hyyti%c3%a4inen_Hanna.pdf?sequence=5&isAllowed=y [viitattu 23.9.2022]
- Hänninen, M. 2022. Weeefiner Oy. Teams-palaveri. 7.12.2022.
- Jätevoimalan ympäristölupa. 2009. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- Kauppalehti. s.a. Vantaan Energia Oy. Saatavilla: <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/vantaan+energia+oy/0124461-3> [viitattu 8.8.2022.]
- Koljonen, T. 2022. Kierrätyspolttoainepäällikkö. Vantaan Energia Oy. Teams-palaveri. 5.10.2022.
- Koppanen, M. 2018. Aktiivihiihi-suodatus talousveden tuotannossa. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/26374/koppanen.pdf?sequence=4&isAllowed=y> [viitattu 16.8.2022.]

- Korhonen, M. 2022. Sinkin selektiivinen poisto adsorbenttimateriaaleilla ja niiden regenerointi. Oulun yliopisto. Pro gradu -tutkielma. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202202151227.pdf> [viitattu 13.10.2022]
- Laimio, J. 2015. Savukaasulauhteen käsittely. yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- Ma, Y., Qu, Z., Xu, H., Wang, W. & Yan, N. 2014. Investigation on mercury removal method from flue gas in the presence of sulfur dioxide. *Journal of hazardous materials*, 279, pp. 289–295. Saatavissa: <https://doi.org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.jhazmat.2014.07.012> [viitattu 24.10.2022]
- Manninen, M. 2020. Hiilisuodattimien regenerointi. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. Tekniikan kandidaatintyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/160966/Manninen%20Marko%20Hiilisuodattimien%20regenerointi.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 9.10.2022]
- Nenonen, A. 2022. Teollisuudenvesi. Sähköpostikeskustelu.
- Oja, P. 2022. Jätteenpolton tuhkien terveysvaikutukset. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/749085/Oja_Paivi.pdf?sequence=4&isAllowed=y [viitattu 13.10.2022]
- Ojaniittu, K. 2020. Savukaasulauhduttimen lauhdevesien käsittely ja hyötykäytön kehittäminen. Tampereen yliopisto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/123249/Ojaniittu-Kaisa.pdf;jsessionid=444A8933A40FC33642099E2AE336AB02?sequence=2> [viitattu 15.11.2022]
- Pitkänen, H. 2022. Kehityspäällikkö. Palaveri. 8.12.2022. Vantaan Energia Oy.
- Pulkkinen, M. 2010. Aktiivihillen aktivointi, regenerointi ja käyttö. Keski-pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [nimiolehti_2010 \(theseus.fi\)](http://nimiolehti.2010.theseus.fi) [viitattu 16.8.2022.]
- Pöyry. 2013. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- Savolainen, M. 2011. Lyijyn, kadmiumin ja sinkin poisto jätteenpolton tuhkavdestä liukenemattoman metallikelaattorin avulla. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinöörityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25909/lime.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 18.10.2022]
- Silva, H. S., Ruiz, S. V., Granados, D. L. & Santángelo, J. M. 2010. Adsorption of mercury (II) from liquid solutions using modified activated carbons. *Materials research (São Carlos, São Paulo, Brazil)*, 13(2), pp. 129-134. Saatavissa: <https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000200003> [viitattu 24.10.2022]

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2016. Paras käyttökelpoinen tekniikka BAT. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.6.2022. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Paras_tekniikka_BAT [viitattu 16.11.2022]

Taskinen, J. 2022. Weeefiner Oy. Teams-palaveri. 7.12.2022.

Teollisuusjätevesisopimus jätevoimala. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.

Tukiainen, J. 2022. Koneinsinööri. Keskusteluja 1.9.-8.11.2022. Vantaan Energia Oy.

Vantaan Energia. 2015. Jätevoimalan toiminta. Video. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=7kHPUJnHUL8&t=271s> [viitattu 9.8.2022.]

Vantaan Energia. s.a. Vantaan Energia. Saatavissa: <https://www.vantaanenergia.fi/> [viitattu 8.8.2022.]

Vantaan Energia. 2022. Vantaan Energian suunnittelema aktiivihiililaitos avaisi uuden arvoketjun materiaalikierrätykseen ja tuottaisi hiilineutraalia aktiivihiiltä ja lämpöä. Saatavissa: <https://www.vantaanenergia.fi/vantaan-energian-suunnittelema-aktiivihiililaitos-avaisi-uuden-arvoketjun-materiaalikierrätykseen-ja-tuottaisi-hiilineutraalia-lampoa-ja-aktiivihiilta/> [viitattu 14.11.2022]

Vähätalo, S. 2021. Pumpun mitoittaminen paineentuottoyksikköön. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/495896/Vaha-talo_Sami.pdf?sequence=2&isAllowed=y [viitattu 22.11.2022]

Weeefiner. 2022. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.weeefiner.fi/tuotteet> [viitattu 28.11.2022]

Ympäristölupa. 2022. Verkkoaineisto. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa [viitattu 16.8.2022.]

Kuvaluettelo

Kuva 1. Jätteenpolttoprosessi. Vantaan Energia Oy. Sisäinen tietokanta.

Kuva 2. Tuubilauhdutin. Kuvankaappaus opinnäytetyöstä. Ojaniittu, K. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/123249/Ojaniittu-Kaisa.pdf;jsessionid=444A8933A40FC33642099E2AE336AB02?sequence=2> [viitattu 15.11.2022]

Kuva 3. Hienojakoista aktiivihiihlä. Saatavissa: <https://www.akvafilter.fi/aktiivihiihli> [viitattu 30.11.2022]

Kuva 4. Prosessin vaiheet. Kuvankaappaus. Weeefiner Oy. Sisäinen dokumentti. 28.11.2022.

Kuva 5. Painelaitetoiminen kalvopumppu asennettuna jätevesikaanaaliin. Virta, H. 17.11.2022.

Kuva 6. Aktiivihiihlikokeiden tulokset. Kuvakaappaus raportista. Teollisuuden vesi Oy. [viitattu 28.12.2022]

Kuva 7. Lähtötilanne 4D-sieppari kokeille. Kuvankaappaus. Weeefiner Oy. Sisäinen dokumentti. 28.11.2022.

Kuva 8. Näyte 1. UF-syöttö. Kuvankaappaus raportista. Weeefiner Oy. Sisäinen dokumentti. 28.11.2022.

Kuva 9. Näyte 2. UF-suodos. Kuvankaappaus raportista. Weeefiner Oy. Sisäinen dokumentti. 28.11.2022.

Kuva 10. Näyte 3. Puhdasvesisäiliö sisältäen kanaalijätevedet. Kuvankaappaus raportista. Weeefiner Oy. Sisäinen dokumentti. 28.11.2022.

Kuva 11. Poistotehokkuus laskettuna UF-syötöstä otetuista näytteistä. Kuvankaappaus. Excel-tiedosto. Virta, H. 2022

Kuva 12. Poistotehokkuus laskettuna UF-suodoksesta otetuista näytteistä. Kuvankaappaus. Excel-tiedosto. Virta, H. 2022

Kuva 13. Poistotehokkuus laskettuna puhdasvesisäiliöstä otetuista näytteistä sisältäen kanaalijätevedet. Kuvankaappaus. Excel-tiedosto. Virta, H. 2022

Kuva 14. Elohopean poistoteho. Kuvankaappaus raportista. Weeefiner Oy. Sisäinen dokumentti. 29.12.2022.

Kuva 15. Siirrettävä RO3-laitteisto. Virta, H. 24.10.2022.

Kuva 16. Virtauskaavio. Kuvankaappaus. CADMATIC. Virta, H. 2022

Kuva 17. Savukaasulauhdepumpun ominaiskäyrät. Kuvakaappaus. KSB. 2013. Sisäinen tietokanta. [viitattu 5.11.2022]

Kuva 18. Savukaasulauhdepumpun vastuskäyrät. Kuvakaappaus. KSB. 2013.
Sisäinen tietokanta. [viitattu 5.11.2022]