



Hanna Hyytiäinen

Kemiallisen saostuksen optimointi kanaalijäteveden esikäsittelyssä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

1.3.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Hanna Hyytiäinen
Otsikko:	Kemiallisen saostuksen optimointi kanaalijäteveden esikäsittelyssä
Sivumäärä:	48
Aika:	1.3.2022
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat:	prosessi-insinööri Jere Espo lehtori Pia-Tuulia Laine

Insinöörityössä kehitettiin olemassa olevaa kanaalijäteveden esikäsittelylaitteistoa Vantaan Energian jätevoimalaitoksella. Jäteveden esikäsittelyssä pyritään kemiallisen saostamisen keinoin poistamaan kanaalijätevesijakeesta raskasmetalleja. Kehitystytön tavoitteena oli saada toimintavarma kanaalijäteveden esikäsittelyprosessi, joka tuottaa viemärintilaatuista jätevettä sekä säästöjä jätevoimalan vesitaseen ja henkilöstön kuormituksen näkökulmasta.

Kokeellisessa osuudessa tutkittiin kahden saostuspolymeerin toimintaa kanaalijäteveden esikäsittelyssä. Muuttujina kokeissa käytettiin saostuspolymeerin pitoisuutta, laskeutusaikaa ja näytteen pH-arvoa. Kokeissa käytettiin saostuspolymeerejä Chargapac12 ja Superfloc A-1820. Kokeelliseen osuuteen sisältyivät laboratoriomittakaavan saostuskokeet purkkikoemenetelmällä, ulkopuolisessa laboratoriossa tehdyt raskasmetallianalyysit ja esikäsittelylaitteiston koeajo. Saostuskokeiden tuloksia arvioitiin tarkastelemalla visuaalisesti saostuman muodostumista jätevesinäytteeseen ja näytteistä tehtyjen raskasmetallianalyysien pohjalta. Saostuskokeita tehtiin 28 kpl ja tuloksia tarkasteltiin varianssi- ja regressioanalyysin avulla.

Tulosten perusteella käsittelemätön kanaalijätevesi täyttää viemäroitävälle jätevedelle asetetut raja-arvot lukuun ottamatta kadmium- ja sinkkipitoisuutta. Saostuskemikaalit saostivat kanaalijätevedestä elohopeaa, kromia, lyijyä ja kuparia. Saostuskokeiden muuttujien vaikutusta tutkittaessa laskeutusajan muutos oli tilastollisesti merkitsevä käytettäessä Superfloc A-1820-saostuskemikaalia (p-arvo 0,01). Prosessiolosuhteissa suoritetun koeajon analyysitulokset osoittivat esikäsittelyn poistaneen jätevedestä kaikkia jakeen sisältämiä raskasmetalleja.

Kahden saostuskemikaalin tehokkuudessa saostaa raskasmetalleja ei ollut eroa. Esikäsitteltävän jätevedenlaatu määrittää esikäsittelyn tarpeen. Insinöörityö toimi lähtökohtana kanaalijäteveden laadun määrittämisessä ja esikäsittelylaitteiston kehitystyössä. Jatkokehityksessä tulee huomio kiinnittää kadmium- ja sinkkipitoisuuden hallintaan.

Avainsanat: Saostuspolymeeri, Kanaalijätevesi

Abstract

Author: Hanna Hyytiäinen
Title: Optimization of chemical precipitation in sewage pretreatment
Number of Pages: 48
Date: 1 March 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Biotechnology and Food Engineering
Supervisors: Jere Espo, Process Engineer
Pia-Tuulia Laine, Senior Lecturer

The aim of this thesis was to develop existing industrial wastewater pretreatment equipment at the Vantaa Energy power plant. In the pre-treatment of wastewater, the aim is to remove heavy metals from the sewage fraction by a method of chemical precipitation. The aim of the development work was to obtain a reliable sewage pretreatment process that produces wastewater with values typical of wastewater discharging to a wastewater pumping station and savings from the perspective of the waste-to-energy plant's water balance and personnel load.

In the experimental part, the function of two precipitating polymers in the pretreatment of sewage was investigated. The concentration of the precipitating polymer, the settling time and the pH-value of the sample were used as variables in the experiments. Precipitation polymers Chargepac12 and Superfloc A-1820 were used in the experiments. The experimental portion included laboratory-scale precipitation experiments using a jar test method, heavy metal analyzes performed in an external laboratory, and a test run of pretreatment equipment. The results of the precipitation tests were evaluated by visually examining the formation of a precipitate in the wastewater sample and heavy metal analyzes performed on the samples. Precipitation experiments were performed, and the results were examined using variance and regression analysis.

On the basis of the results, the untreated sewage meets the limit values for wastewater discharging to a wastewater pumping station except for cadmium and zinc. Precipitation chemicals precipitated mercury, chromium, lead and copper from the sewage. When studying the effect of the precipitation test variables, the change in settling time was statistically significant when Superfloc A-1820 was precipitated (p-value 0.01). The results of the test run under process conditions showed that the pretreatment had removed all the heavy metals from the sewage fraction.

There was no difference in the efficiency to precipitate heavy metals between the two precipitating chemicals. The quality of the wastewater to be pre-treated determines the need for pre-treatment. The thesis served as a starting point for the determination of the quality of sewage and the development of pre-treatment equipment. In further development, attention should be paid to the management of cadmium and zinc content.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Vantaan Energian jätevoimalaitoksen jätevedet	2
2.1	Jätevedenkäsittelyn vaikutus voimalaitoksen vesitaseeseen	2
2.2	Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevesi	3
2.3	Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden koostumus	4
2.4	Teollisuusjätevesisopimus	5
2.4.1	Teollisuusjäteveden tarkkailuohjelma	6
2.4.2	Kanaalijäteveden tarkkailuohjelma	6
3	Teollisuuden jätevesien esikäsittely	8
3.1	Kemiallinen saostus jäteveden esikäsittelymenetelmänä	8
3.2	Jäteveden kemiallinen saostus	9
3.2.1	Kemiallisen saostuksen käsitteet	10
3.2.2	Jäteveden laadun vaikutus kemialliseen saostukseen	11
3.3	Jätevesien saostukseen käytettävät teolliset polymeerit	12
3.3.1	Kationiset polymeerit	13
3.3.2	Anioniset polymeerit	14
3.4	Vantaan Energian jätevoimalan savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden esikäsittelylaitteisto	14
4	Materiaalit ja menetelmät	17
4.1	Kanaalijätevesinäyte	18
4.2	Saostuspolymeeri Chargepac 12	20
4.3	Saostuspolymeeri Superfloc A-1820	21
4.4	Purkkikoe-menetelmä	21
4.4.1	Alustavat purkkikokeet	24
4.4.2	Optimointivaiheen purkkikokeet	27
4.5	Kanaalijäteveden esikäsittelylaitteiston koeajo	29
4.6	Akkreditoituun laboratorioon lähetetyt näytteet	31
5	Tulokset ja niiden tarkastelu	34
5.1	Saostuskemikaalien teho kanaalijäteveden puhdistuksessa	34
5.2	Esikäsiteltävän jäteveden pH-arvon vaikutus raskasmetallien saostumiseen	38
5.3	Laskeutusajan muutoksen vaikutus saostuman muodostumiseen	40

5.4	Esikäsittävän kanaalijäteveden laatu	43
5.5	Kanaalijäteveden esikäsittelylaitteiston koeajo	44
6	Yhteenveto	47
	Lähteet	49

1 Johdanto

Kemiallista saostusta käytetään laajalti teollisuuden jätevesien käsittelyyn. Teollisuuden jätevedet sisältävät teollisuuden prosesseista peräisin olevia epäpuhtauksia, jotka halutaan erottaa jätevesijakeesta. Teollisuuden jätevesien kemiallisen saostamisen tavoitteita voivat olla epäpuhtauksien talteen kerääminen, viemäritävän jätevesijakeen esikäsittely ja ongelmajätteenkäsittelyä vaativan jätteen määrän vähentäminen. Teollisen toimijan näkökulmasta jäteveden käsittelyllä saavutetaan taloudellisia hyötyjä ja vähennetään toiminnan ympäristölle aiheuttamaa kuormaa. [1, s.154–155; 2, s. 6.]

Kemiallisessa saostuksessa halutaan löytää kemikaali, joka muodostaa jäteveden epäpuhtauden kanssa niukkaliukoisen yhdisteen. Koagulaatio ja flokkulaatio ovat kemiallisen saostamisen ydinprosesseja, joissa saostuskemikaalin käynnistämän kemiallisen reaktion seurauksena jäteveden liukoisista ja kolloidalisista epäpuhtauksista syntyy erottumiskykyinen saostuma. Kiintoaineksi saostuneet epäpuhtaudet erotetaan jätevedestä esimerkiksi suodattamalla. [1 s.154; 3. s. 1.]

Tässä työssä perehdytään jäteveden kolloidisten ja liukoisten raskasmetallien saostamiseen teollisen polymeerin avulla. Insinööri työ tehtiin Vantaan Energian jätevoimalaitokselle. Vantaan Energian tuottaa kotitalouksille kaukolämpöä ja sähköä polttamalla syntypaikkalajiteltua kotitalousjätettä jätevoimalaitoksella [4.] Työn tavoitteena oli saada olemassa olevasta kanaalijätevedenkäsittelylaitteistosta toimintavarma kanaalijäteveden esikäsittelyprosessi, joka tuottaa viemärintilaatuista jätevettä sekä säästöjä jätevoimalan vesitaseen ja henkilöstön kuormituksen näkökulmasta. Työstä rajattiin ulkopuolelle käsittelymenetelmät, jotka pois sulkisivat vanhan käsittelylaitteiston kehittämisen, lisäksi henkilöstön työmäärää kohtuuttomasti tai vaatisivat taloudellisesti tai teknisesti suuria laiteinvestointeja.

2 Vantaan Energian jätevoimalaitoksen jätevedet

Vantaan Energian jätevoimalaitoksella syntyy teollisuuden prosessijätevesiä mm. jätteenpolttto-, savukaasunkäsittely- sekä lämmöntalteenotto- ja jäähdytysprosessien seurauksena. Voimalaitoksissa jäteveden määrä on sidoksissa laitoksen kokoon ja käytettävään polttoaineeseen. Myös polttoaineen kosteuspitoisuus sekä lämmöntalteenottojärjestelmä vaikuttavat syntyvään jäteveden määrään. [5.]

Vantaan Energian jätevoimalan viemäriin johdetun prosessijäteveden määrä oli vuonna 2021 noin 125 000 m³ [6]. Teollisuuden prosessijätevesien johtamista kunnalliseen viemäriverkkoon ohjaa teollisuusjätevesisopimus. Teollisuuden kokonaisjätevesiin yhdistettäviä erillisiä prosessijätevesijakeita kutsutaan kanaalijätevesiksi. Kanaalijätevesien johtaminen kokonaisjätevesiin vaatii kanaalijäteveden esikäsittely- ja tarkkailusuunnitelman. Kanaalijätevedentarkkailusuunnitelma on osa teollisuusjätevesisopimusta. [7; 8.] Teollisuusjätevesisopimusta käsitellään kohdassa 2.4.

2.1 Jätevedenkäsittelyn vaikutus voimalaitoksen vesitaseeseen

Tarkasteltaessa voimalaitoksen jätevedenkäsittelyn vaikutusta voimalaitoksen vesitaseeseen on huomioitava, että voimalaitoksen prosesseista viemäroityjä jätevesijakeita on korvattava voimalaitoksen vesi- ja höyrykierrossa ostettavalla kaupunkivedellä ja kaupunkivedestä valmistetulla lisävedellä. [9.]

Voimalaitoksen pehmenetty ja suolapoistettu vesi valmistetaan voimalaitoksen vesilaitoksella kaupunkivedestä ja voimalaitoksen prosesseista palautuvista esikäsitellyistä prosessivesistä. Vedenkäsittelyn prosessit mahdollistavat jätevesijakeiden kierrätyksen takaisin voimalaitoksen prosessien vesi- ja höyrykiertoon. [9.] Prosessikiertoon palautuessaan voimalaitoksella käsitelty jätevesijae pienentää kaupunkiveden kulutusta ja vähentää viemäroitävän jäteveden määrää sekä pois kuljetettavan jätevesijakeen määrää. Kaupunkiveden kulutus Vantaan Energian jätevoimalan prosesseissa oli vuonna 2021 noin 90 000 m³. [6.]

Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden osuus voimalaitoksen kokonaisprosessijätevesistä on alle yhden prosentin. Savukaasulauhteen käsittelyalueella sijaitsevista prosesseista johtuen savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevesi luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi. Vaarallinen jäte on aine, joka voi aiheuttaa erityistä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle [10]. Vuositasolla savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden käsittely nostaa voimalaitoksen prosessijätevedenkäsittelyn kokonaiskustannuksia merkittävästi [11.]

2.2 Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevesi

Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevesijae on jätevoimalan savukaasulauhteen käsittelyalueen lattiakanaaleihin kertyvää prosessilaitteiden pesu- ja huuhteluvettä. Voimalaitoksen savukaasulauhteen käsittelyalueen ja kattilapuolen suljetun lattiakanaaliverkoston kokonaistilavuustilavuus on n. 100 m³. [12.]

Kanaalijäteveden määrä ja laatu ovat sidoksissa voimalaitoksen käyttötoimintoihin. Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalivesien laatuun ja määrään vaikuttavat alueella tehtävien prosessipesujen ja pesukohteiden määrä. Pesukohteet ja sykli määrittyy voimalaitosprosessin toimintojen ja ennakkohuollon sekä mekaanisen kunnossapidon työkohteiden mukaan. Savukaasulauhteen käsittelyalueella sijaitsevat savukaasulauhduttimet, savukaasulauhteenkäsittelylaitteisto, poltetun kalkin sammutinlaitteisto sekä lopputuote- ja aktiivihiihisäiliöt. Prosessialueen toiminnoista johtuen, savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevedet luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi. [13.]

2.3 Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden koostumus

Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevesi sisältää raskasmetalleja kiintoaineena sekä liuenneessa muodossa. Kanaalivedessä on myös muita kiintoaineita, kuten kalkkia, aktiivihiltä, hiekkaa ja orgaanista ainesta sekä kiinteistön muiden tilojen lattioiden pesuvesiä. Taulukossa 1 esitetään analyysituloksia käsittelemättömän kanaalijäteveden laadusta kolmena eri ajankohtana vuosina 2019–2021.

Taulukko 1. Vantaan Energian savukaasulauhteen käsittelyalueen käsittelemättömän kanaalijäteveden analyysituloksia (3/2019, 5/2019, 8/2021). [14; 15.]

Mitattu suure	Yksikkö	Käsittelemättömän kanaalijätevesi 13.3.2019	Käsittelemättömän kanaalijätevesi 06.05.2019	Käsittelemättömän kanaalijätevesi 04.08.2021
pH		8,4	7,7	9,3
sähkönjohtokyky	mS/m	246	210	282
Sulfaatti	mg/l	250	140	260
Arseeni	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Kadmium	mg/l	0,0032	0,0015	0,0058
Kromi	mg/l	<0,01	0,12	<0,01
Kupari	mg/l	0,017	0,024	0,039
Lyijy	mg/l	<0,01	0,012	0,0026
Nikkeli	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Sinkki	mg/l	0,345	0,329	0,249
Elohopea	mg/l	0,0001	0,0009	<0,00013

Käsittelemättömän kanaalijäteveden laatua on analysoitu ulkopuolisessa laboratoriossa (SGS) kanaalijäteveden esikäsittelylaitteiston kehittämissuorituksissa (2019) ja ennen tämän opinnäytetyön aloittamista (2021). Kanaalijäteveden

analysoinnilla on haluttu kerätä tietoa käsittelemättömän kanaalijäteveden laadun vaihtelusta.

2.4 Teollisuusjätevesisopimus

Teollisuusjätevesisopimus on Vantaan Energian jätevoimalaitoksen ja Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) välinen sopimus jätevoimalaitoksella syntyvien jätevesien käsittelystä [15]. Teollisuusjätevesisopimuksessa HSY määrittää viemäriin johdettavan jäteveden laadulle raja-arvot, joita toiminnanharjoittajan tulee noudattaa. Taulukossa 2 nähtävät raja-arvot perustuvat Viikinmäen ja Suomenojan jätevedenpuhdistamoille johdettaville jätevesille asetettuihin enimmäispitoisuuksiin. Jätevettä ei saa laimentaa raja-arvojen saavuttamiseksi. [7.]

Taulukko 2. Viikinmäen ja Suomenojan jätevedenpuhdistamolle johdettavien jätevesien enimmäispitoisuudet [7].

Suure	Yksikkö	Sallittu enimmäispitoisuus jätevedenpuhdistamolle johdattaessa
pH		6–11
Sähkönjohtokyky	mS/m	
Sulfaatti	mg/l	400
Arseeni	mg/l	0,1
Kadmium	mg/l	0,01
Kromi	mg/l	1,0
Kupari	mg/l	2,0
Lyijy	mg/l	0,5
Nikkeli	mg/l	0,5
Sinkki	mg/l	3,0
Elohopea	mg/l	0,01

Teollisuusjätevesisopimuksen lisäksi toiminnanharjoittajan tulee noudattaa valtioneuvoston asetuksia vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista sekä muita ympäristöviranomaisten asettamia vaatimuksia. [7.]

2.4.1 Teollisuusjäteveden tarkkailuohjelma

Teollisuusjätevesisopimukseen sisältyy teollisuusjätevedentarkkailuohjelma, joka velvoittaa toiminnanharjoittajaa tarkkailemaan jäteveden laatua ja esikäsittelemään jätevedet ennen viemäriverkkoon laskemista. Erillisten teollisuusjätevesijakeiden, kuten savukaasupuolen kanaalijätevesien viemäroinneistä sovietaan erillisellä tarkkailuohjelmalla. [7.]

Vantaan Energian teollisuusjäteveden tarkkailuohjelmassa määritetään jäteveden laatua neljännesvuosittain analysoitavalla kokoomanäytteellä. Kokoomanäyte kerätään vuorokauden mittaiselta ajanjaksolta. Näytteen ottaa ja analysoi akkreditoitu taho. Lisäksi HSY:lle toimitetaan vuosittain yhteenveto laitoksen jäteveden vesimääristä ja prosessin jatkuvatoimisten analysaattoreiden mittaustuloksista sekä kokoomanäytteiden tarkkailutuloksista. [15.]

Tarkkailuohjelma velvoittaa toiminnanharjoittajan ilmoittamaan HSY:lle välittömästi poikkeus- ja vaaratilanteista jäteveden käsittelyssä sekä jäteveden määrään ja laatuun vaikuttavista tekijöistä. Sopimus myös velvoittaa toiminnanharjoittajaa uusimaan hakemusmenettelyn, mikäli viemäroitävän jakeen määrä tai laatu muuttuu. [7.] Tässä tapauksessa HSY:lle on ilmoitettu kanaalijäteveden viemäroinnin keskeyttämisestä, kunnes kanaalijäteveden esikäsitteilymenetelmällä saavutetaan kanaalijätevedelle asetetut raja-arvot. [16.]

2.4.2 Kanaalijäteveden tarkkailuohjelma

Kanaalijäteveden tarkkailuohjelma on teollisuusjätevesisopimukseen sisältyvä erillinen tarkkailuohjelma, jossa määritetään savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevesien laatua ennen niiden yhdistämistä kokonaisjätevesiin.

Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevesille on asetettu teollisuusjätevesisopimuksen jäteveden puhdistamolle johdettavien jätevesien enimmäispitoisuuksista poiketen tapauskohtainen raja-arvo sulfaattipitoisuudelle. Sulfaattipitoisuuden raja-arvo savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalivesille on 1000 mg/l. [12.]

Sulfaatteja muodostuu teollisuuden jätevesiin mm. savukaasunkäsittelyssä. Sulfaatin määrään ja liukoisuuteen voimallituksen jätevesissä vaikuttavat laitoksen koko, polttotekniikka, polttoaineen laatu ja savukaasujen käsittelyjärjestelmä sekä siinä käytettävät kemikaalit. [5.]

Kanaalijätevesien päästötarkkailuohjelma toteutetaan ottamalla kanaaliveden esikäsittelylaitteiston käytön yhteydessä esikäsitellystä jätevedestä näyte. Ker-tänäytteistä kootaan kokoomanäyte, joka toimitetaan osana teollisuusjätevesien tarkkailua akkreditoituun laboratorioon korkeintaan kerran kuukaudessa. Kokoomanäytteestä analysoidaan: pH-taso, sulfaatti-, kadmium- ja sinkkipitoisuudet. Kanaalijäteveden määrä ja laatu raportoidaan teollisuusjätevesisopimukseen sisältyvän teollisuusjäteveden tarkkailusuunnitelman mukaisesti. [15.]

3 Teollisuuden jätevesien esikäsittely

Teollisuuden jätevesien esikäsittelyllä pyritään tehostamaan jätevesienprosessointia ja vähentämään jätevedenkäsittelystä syntyviä kustannuksia. Jätevedenkäsittelyn tavoitteena on pienentää ympäristölle aiheutuvaa kuormitusta poistamalla jätevesijakeesta ympäristölle ja eliöstölle vaaraa aiheuttavat aineet ennen vesien johtamista luontoon. Joissain tapauksissa esikäsitelty jätevesi voidaan palauttaa tuotannon prosessivedeksi ja siten vaikuttaa vähentävästi ostettavan kaupunkiveden määrään. Jäteveden esikäsittelymenetelmä määräytyy jätevesijakeen laadullisten lähtökohtien ja sen esikäsittelylle asetettujen tavoitteiden perusteella.

Teollisuudessa käytettäviä jätevesien esikäsittelymenetelmiä ovat mm. kemiallinen saostus ja sähkösaostus sekä erilaiset suodatusmenetelmät, kuten kiintoaine- ja kalvosuodatus. Teollisuuden jätevedenkäsittelyssä käytetään myös bioprosesseihin perustuvia menetelmiä, kuten aktiivilietemenetelmää sekä adsorptioon perustuvaa aktiivihilikkäsittelyä. [17.]

Vantaan Energian jätevoimalaitoksen savukaasulauhteen käsittelyalueen kaanaalijäteveden esikäsittelylaitteiston toiminta perustuu kemialliseen saostukseen ja saostuksen muodostaman kiintoaineen mekaaniseen suodatukseen. Esikäsittelymenetelmän toiminta on kuvattuna kohdassa 3.4.

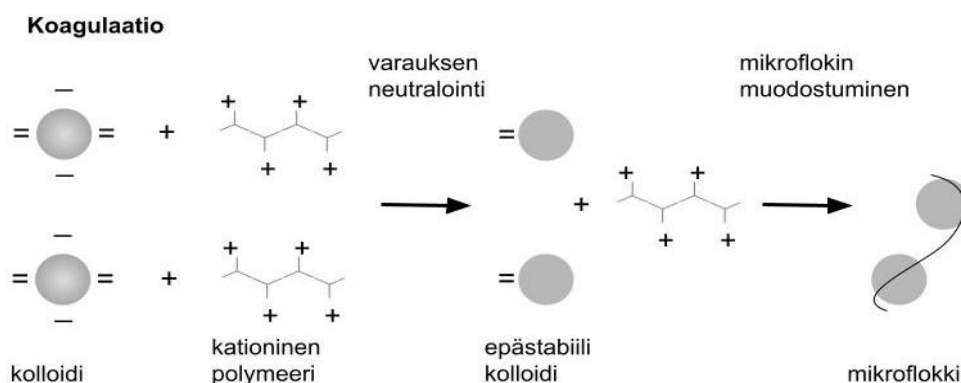
3.1 Kemiallinen saostus jäteveden esikäsittelymenetelmänä

Kemiallinen saostus on jäteveden esikäsittelymenetelmä, jonka avulla teollisuuden jätevesistä poistetaan ympäristölle haitallisia aineita, kuten raskasmetalleja ja fosforia sekä orgaanista ainesta. Jätevedestä saostetaan saostuskemikaalin aikaan saaman saostusreaktion avulla kolloidisia ja liukoisia raskasmetalleja, jonka jälkeen liukenemattomaan muotoon saatetut kiintoainepartikkelit voidaan erottaa jätevedestä. Tässä tapauksessa kemiallisella saostuksella tarkoitetaan yksikköoperaatioita: saostuminen, koagulaatio ja flokkulaatio. [1 s. 154; 3.]

Kemiallisen saostuksen etuna jäteveden esikäsitelymenetelmänä on menetelmän selektiivisyys ja puhdas lopputuote. Saostusreaktion haasteita voivat olla esikäsiteltävän jäteveden laadun ja olosuhteiden muutokset sekä niiden vaikutus saostuman syntymiseen ja syntyneen saostuman hajoamiseen. Saostusreaktion onnistuminen vaikuttaa muodostuvien saostumien ja kiintoaineen eroteltavuuteen, kuten suodatusominaisuuksiin ja epäpuhtaus pitoisuuksiin permeaatissa. [18 s. 15–19.]

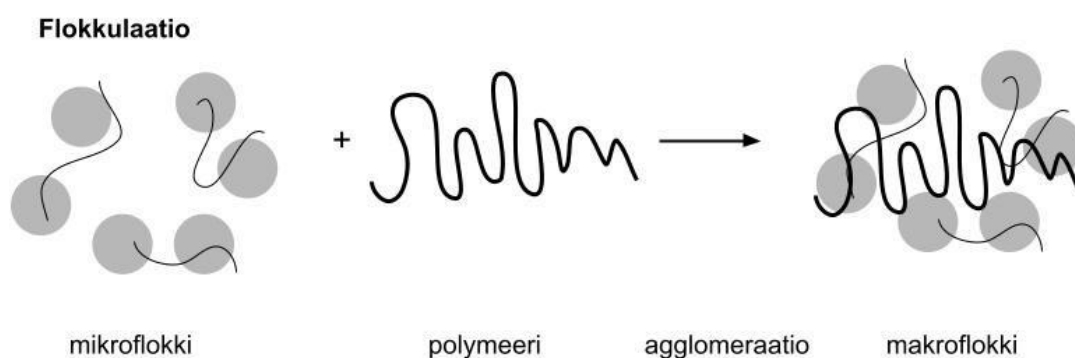
3.2 Jäteveden kemiallinen saostus

Jäteveden kemiallinen saostus on prosessi, jonka seurauksena jäteveden liukoisista ja kolloidaalisista epäpuhtauksista syntyy niukkaliukoisia ja erottumiskykyisiä saostumia. Jäteveden epäpuhtauksista syntyvän kolloidaalisen saostuman muodostuminen erottumiskykyiseksi sakaksi edellyttää koagulaation ja flokkulaation toteutumista. Koagulaatiolla saavutetaan jäteveden kolloidipartikkelien yhteenliittyminen suuremmiksi hiukkasiksi ja pienten hiukkasten kasvamisesta suuremmiksi hiutaleiksi kutsutaan flokkulaatioksi. [1.] Reaktiossa kolloidinen liuos yhdistetään kationiseen flokkulanttiin eli saostuspolymeeriliuokseen, jonka seurauksena liuoksen tasapainotila häiriintyy ja epästabiilit kolloidit alkavat muodostamaan mikroflokkeja eli koagulantteja. Saostusprosessin vaiheet esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Koagulaatiolla syntyvän mikroflokin muodostuminen, kun kolloidisten partikkelien varaus neutraloidaan. Varauksen neutralointi tapahtuu kationisen polymeerin lisäyksen seurauksena. [mukaillen 1, s. 169.]

Reaktion edetessä tapahtuu flokkulaatio, jossa mikroflokkit agglomeroituvat saostuspolymeerin vaikutuksesta suuremmaksi makroflokiksi (kuva 2).



Kuva 2. Flokkulaatiossa mikroflokkit ja polymeeri agglomeroituvat makroflokiksi. [mukaillen 1, s. 169.]

Vantaan Energian jätevoimalan savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden kemiallinen saostus perustuu jäteveden liukoisten ja kolloidisten raskasmetallien koagulointiin ja flokkulaatioon. Saostuman aikaan saamiseksi käytetään teollista saostuspolymeerivalmistetta.

3.2.1 Kemiallisen saostuksen käsitteet

Kemiallisen saostuksen peruskäsitteitä ovat koagulaatio ja flokkulaatio. Näiden kahden peruskäsitteen lisäksi kemiallisesta saostusta tarkastellessa on huomioitava kolloidisen partikkelin tuomat ominaisuudet suspensioon ja agglomeraation merkitys flokkien muodostumiseen. Alla on avattuna kemialliseen saostukseen liittyviä peruskäsitteitä.

Kolloidi

Kolloidisten partikkelien sähköinen pintavaraus aiheuttaa niiden kyvyn pysyä pitkiä aikoja vedessä muodostamatta kerääntymiä. Kolloidin pintavaraus vaikuttaa kolloidin ympärillä olevien sähköisesti varautuneitten hiukkasten toimintaan siten, että saman pintavaruksen omaavat ionit hylkivät toisiaan ja vastakkaisen

varauksen omaavat ionit vetävät puoleensa toisiaan. Jätevedessä vallitseva tasapainotila on seurausta kolloidien sähköisestä pintavaruksesta ja on pääasiallinen syy veden stabiilisuuteen. [3, s. 9.]

Koagulaatio

Jäteveden esikäsittelyssä kolloidien tasapainotilaa häiritään teollisen kemikaalin avulla. Tasapainotilan häirintä johtaa jäteveden kolloidisten epäpuhtauksien saostumiseen eli koagulaatioon. Koagulaatiolla tarkoitetaan kaikkia niitä prosesseja, joilla pienennetään kolloidishiukkasten sähköisten pintavarausten muodostumista. [1 s.154.]

Agglomeraatio

Kolloidipartikkelien koaguloitumista seuraa agglomeraatio. Agglomeraatit ovat koaguloituneiden kolloidien muodostamia suurempia hiukkasia. Agglomeraatio on saostuman muodostuksen sekundääriprosessi. [19, s. 18; 20.]

Flokkulaatio

Saostuman muodostumisen viimeinen vaihe on flokkulaatio. Flokkulaatiossa epästabiilit kolloidit muodostavat suurempia kerääntymiä. Flokkulaatio on kaksivaiheinen prosessi, joka koostuu kulkeutumis- ja kiinnittymisvaiheesta. Flokkulaation kiinnittymisvaihetta voidaan edistää koagulantilla. Flokkulaation seurauksena syntynyt kiintoainesaostuma voidaan erottaa vedestä esimerkiksi suodattamalla. [1, s. 154; 3 s. 6.]

3.2.2 Jäteveden laadun vaikutus kemialliseen saostukseen

Jäteveden laadun vaikutus kemiallisen saostuksen toimivuuteen on huomioitava esikäsittelymenetelmää valittaessa. Koska jäteveden kemiallinen saostus perustuu kemialliseen reaktioon, vaikuttavat esikäsiteltävän jäteveden parametrit saostuskemikaalien toimintaan ja saattavat vaatia esim. käsiteltävän jäteveden pH-tason esisäätöä tai kemikaaliannostelun muutosta.

Jäteveden saostumiseen vaikuttavat parametrit ja niiden vaikutukset esikäsittelyprosessiin:

- pH-taso voi vaikuttaa reaktiotasapainoon, reaktionopeuteen sekä metallien liukoisuuteen.
- Lämpötila vaikuttaa metallien liukoisuuteen ja pH-tasoon vedessä.
- Korkea kiintoainepitoisuus heikentää polymeerin sekoittumista.
- Korkea johtokyky pienentää partikkelien välistä hylkimistä.
- Korkea tuhkapitoisuus tai hienoaineen määrä lisää saostettavan aineen pinta-alaa.

Jäteveden parametrien tarkkailulla voidaan havaita saostusprosessin mahdollisia puutteita. Saostusprosessin epätäydellinen toimiminen johtaa laadullisesti epätydyttävään lopputulokseen. [21.]

Saostusprosessin säätäminen vaatii esikäsitteltävän jätevesijakeen laadun ja prosessiolosuhteiden tuntemista sekä laboratoriomittakaavan kokeita sopivan saostuskemikaalin ja oikean kemikaalikonsentraation löytämiseksi. Laboratoriomittakaavan kokeilla pyritään luomaan saostusprosessille keinotekoisesti käytännön olosuhteita vastaavat olosuhteet. [1, s.154–169.] Ennen esikäsittelymenetelmän prosessiin viemistä on laboratoriomittakaavan saostuskokeiden tuloksista hyvä tehdä analyysyjä, joilla todennetaan mitä epäpuhtauksia esikäsitteltävä jätevesi sisältää ja mitä epäpuhtauksia käsittelyllä poistetaan.

3.3 Jätevesien saostukseen käytettävät teolliset polymeerit

Jätevesien saostuksessa saostuskemikaaleina käytettävät polymeerit, kuten polyakrylaatit, polyamiinit ja polyakryyliamidit, ovat vesiliukoisia orgaanisia kemikaaleja, jotka koostuvat monomeereistä. [1, s.167; 18, s.19.]

Polymeeri voi sisältää varauksia, jolloin se määritellään polyelektrolyytiksi. Polyelektrolyytit voidaan jaotella ryhmiin varausasteensa perusteella: kationisiin, anionisiin, varauksettomiin ja amfolyyttisiin polymeereihin. Polymeerin varaus on tärkeä ominaisuus, mutta ei ainoa sen toimintaa määrittävä ominaisuus.

Varauksensa lisäksi polymeerit voivat erota toisistaan rakenteensa tai kaupallisen muotonsa puolesta. [1, s.167.]

Teollisen polymeerin kemiallinen rakenne määrittää sen flokkulaatio ominaisuuden, polymeerejä voidaan käyttää primäärisenä koagulanttina tai koaguloinnin apuaineena sekä flokkulanttina, jolloin se lisätään esikäsiteltävään jätevetteen juuri ennen flokkulaatiota. Polymeeri on usein spesifinen eli se epästabiloi vain valikoituja epäpuhtauksia. Saostuspolymeerin valintaan siis vaikuttaa se, mitä epäpuhtauksia jätevedestä halutaan puhdistaa. [2; 22.]

Kationiset polymeerit on ensisijaisesti suunniteltu käytettäväksi matalammassa ja anioniset polymeerit korkeammassa pH:ssa. Se ei tarkoita sitä, etteivät ne toimisi päinvastaisissakin olosuhteissa, vaan että ne eivät enää reagoi ionisten polymeerien tavoin. Tällaisessa tapauksessa polymeerejä käytetään koaguloinnin apuaineena, kuten esimerkiksi yhdessä metallikoagulantin kanssa. [22.]

Polymeerien toimintamekanismit koagulaatiossa ja flokkulaatiossa ovat kuitenkin monimutkaisia ja vaihtelevia sekä joiltain osin vielä tuntemattomia. Tässä yhteydessä ei nähdä tarpeelliseksi toimintamekanismien yksityiskohtaisempaa tarkastelua. Kationisen ja anionisen polyelektrolyytin epästabilointimenetelmä voidaan yleisellä tasolla kuvata alla olevien esimerkkien mukaisesti, kohdat 3.3.1 ja 3.3.2. [22.]

3.3.1 Kationiset polymeerit

Kationinen polymeeri sisältää positiivisesti varautuneita yksiköitä. Kun kationista saostuspolymeeria eli flokkulanttia lisätään optimaalisella annostelulla esikäsiteltävään jätevetteen, polymeeriketjut adsorboituvat partikkelien pinnoille neutraloiden osittain partikkeleiden pinnoilla olevan negatiivisen varauksen. Reaktion edetessä adsorboituneet polymeeriketjut kokoavat partikkelit suuremmiksi rykelmiksi, flokeiksi. Tällainen sähköstaattinen mekanismi on vallitseva mekanismi etenkin kationisella polymeerillä. [1, 154–169.]

Jotkut käsiteltävän jäteveden ominaisuudet heikentävät kationisen polymeerin toimintaa saostusprosessissa. Kationista saostuskemikaalia valittaessa tulee huomioida seuraavat kemikaalivalmistajan esiin tuomat yksityiskohdat: käsiteltävän jäteveden korkean johtokyvyn vaikutusta voidaan pienentää valitsemalla pidempi ketjuinen tai korkeampi kationinen polymeeri ja korkea pH-taso ja lietteen määrä käsiteltävässä jätevedessä nostaa polymeerin kationisuus vaatimusta. [21.]

3.3.2 Anioniset polymeerit

Negatiivisia yksiköitä sisältäviä polymeerejä kutsutaan anionisiksi polymeereiksi. Kolloidien epästabiloimisreaktiossa anioniset polymeerit toimivat pääasiassa silloitusmekanismin kautta.

Polymeerien silloitusmekanismin vaiheet ovat:

- polyelektrolyytin dispersio suspensioon
- adsorptio kiinteään ja nesteen välisessä rajapinnassa
- adsorboituneiden polymeeriketjujen kompressia tai laskeutuminen
- polyelektrolyyttien peittämien partikkelien törmäykset
- flokkikerääntymien muodostuminen

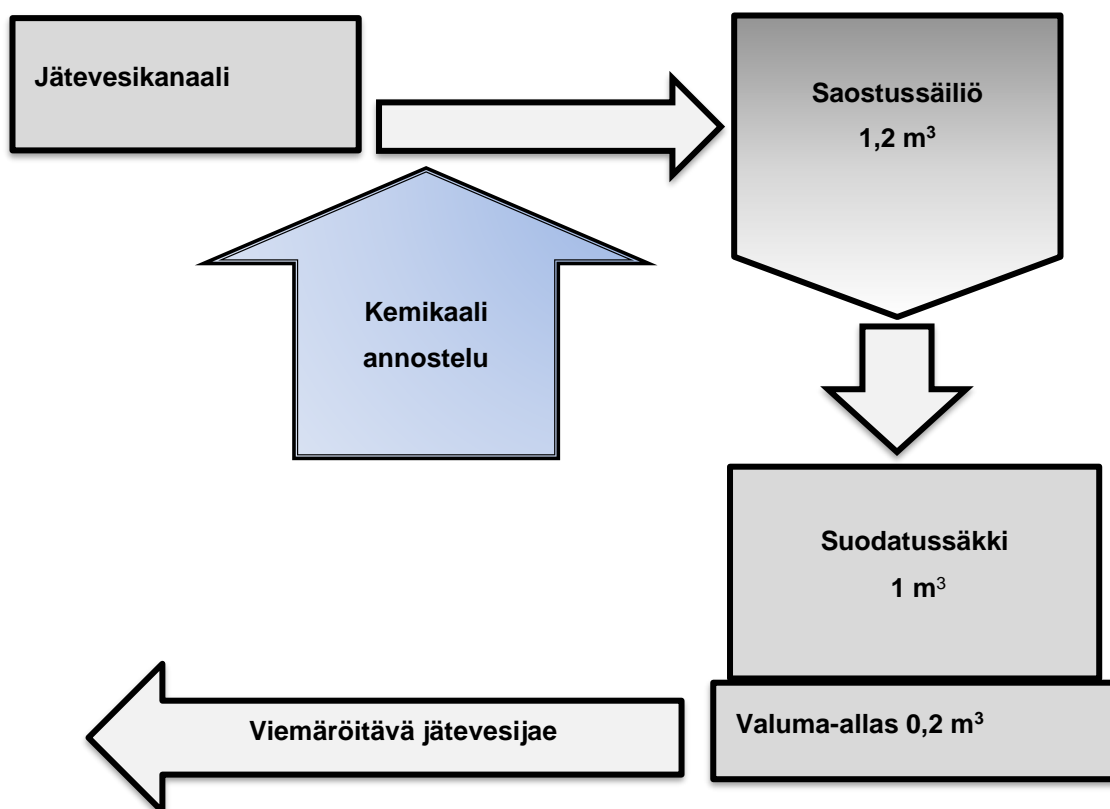
Silloitusmekanismia käytettäessä liian suuri polymeeripitoisuus johtaa partikkelin peittymiseen polymeerillä, jolloin sillä ei ole enää mahdollisuuksia kasvattaa hiukkaskokoa muiden partikkelien kanssa. Anionisten polymeerien käytössä on myös huomioitava, että anioniset polymeerit menettävät varaustaan jäteveden korkeassa pH:ssa. [1, s. 168; 21.]

3.4 Vantaan Energian jätevoimalan savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden esikäsittelylaitteisto

Jätevoimalaitoksen savukaasulauhteen käsittelyalueella on käytössä kanaalijäteveden esikäsittelylaitteisto. Esikäsittelylaitteiston toiminta perustuu kemialliseen saostukseen ja kiintoaineen suodatukseen. Kemiallisen saostuksen

jälkeen kiintoaines erotetaan mekaanisella suodatuksella jätevesijakeesta ennen jäteveden viemärointiä. Esikäsittelylaitteiston käytön tavoitteena on saada kanaalijätevesijakeesta laadultaan viemäroitävä jätevesijae. [8.]

Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden esikäsittelylaitteiston vuo-kaavio kuvassa 3. Panostyyppisessä prosessissa savukaasulauhteen käsittely-alueen suljetut lattiakanaalit toimivat prosessin esiselkeytysvaiheena. Esiselkeytysvaiheen jälkeen kanaalijätevettä pumpataan kanaalikaivosta saostussäiliöön. Kemikaaliannostelu (Chargepac12 10 m%, Kemira, Suomi) tapahtuu jatkuvatoimisesti (1 l/h) jäteveden pumppausyhteen kautta. Kemikaalin syötön jälkeen jätevesi johdetaan selkeytys-säiliöön, jossa jäteveden viipymän aikana jätevetteen on tarkoitus muodostua kiintoaineflokkeja.



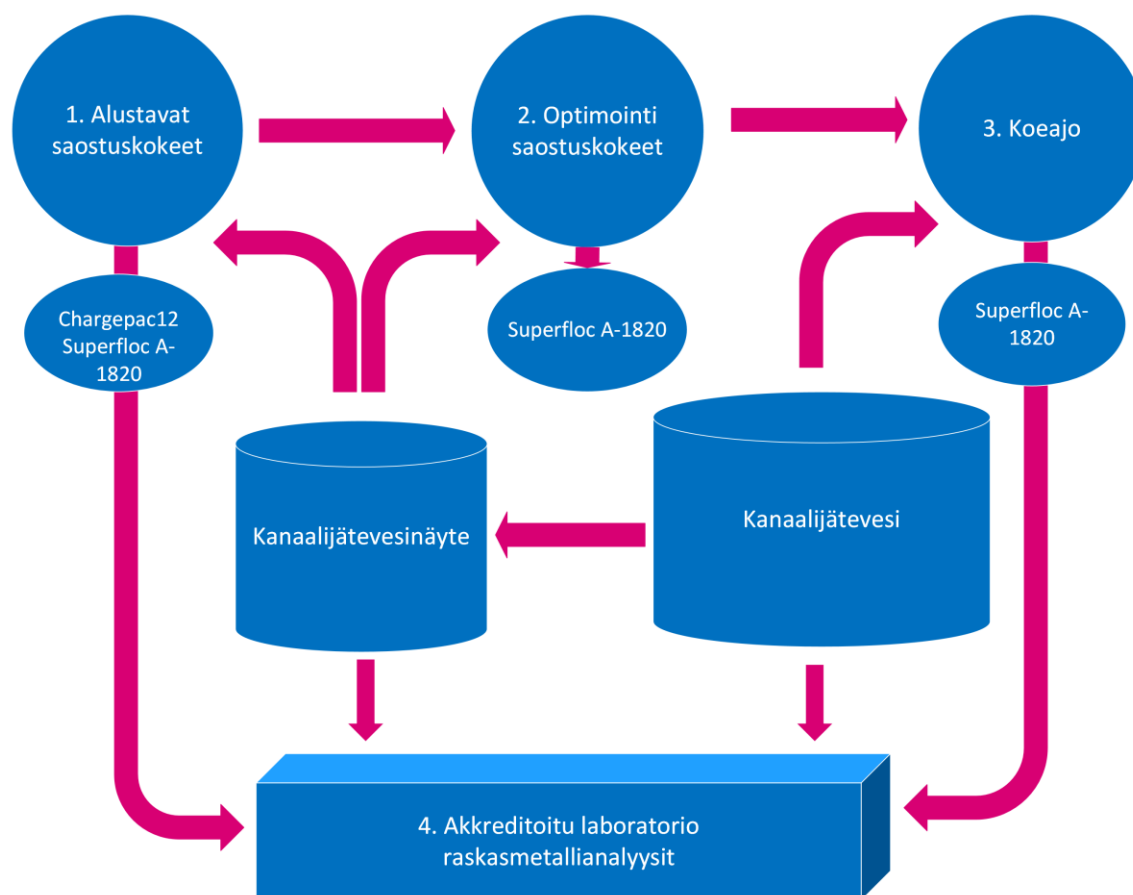
Kuva 3. Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden esikäsittelylaitteisto [8.].

Flokkuloitumisen jälkeen vesi pumpataan saostussäiliöstä 5 µm:n nesteensuodatussäkkiin. Nesteen suodatussäkki pidättää kiintoaine flokit ja suodatuksen läpäisevä permeaatti kerääntyy valuma-altaaseen. Permeaatti ohjataan valuma-altaasta viemäroitävän jäteveden kanaaliin. [8.]

Laitteistolla käsitellyn jäteveden määrää seurataan kuukausitasolla käyttöaikaan ja pumpun tuottamaan virtaukseen perustuvalla laskennalla. [23.] Suodatinmateriaalin läpäisemän permeaatin laatua tarkkaillaan kuukausittain kerättävän kokoomanäytteen analysoinnilla. Analysoinnin suorittaa ulkopuolinen taho. Kokoomanäytteen analysointi perustuu teollisuusjätevesisopimukseen sisältyvään kanaalivesien tarkkailuohjelmaan. [8.] Kanaalijäteveden tarkkailuohjelmasta kerrottu kohdassa 2.4.2.

4 Materiaalit ja menetelmät

Insinööriyön kokeelliseen osuuteen sisältyvät Vantaan Energian jätevoimalan vesilaitoksen laboratoriossa tehdyt laboratoriomittakaavan saostuskokeet ja ulkopuoliseen laboratorioon lähetettyjen kanaalijätevesinäytteiden analyysit sekä voimalaitoksen savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden esikäsitteilylaitteistolla suoritettu koeajo. Kokeellisen osuuden menetelmät eri koevaiheissa on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Insinööriyön kokeellinen osuus, johon sisältyivät vesilaitoksen laboratoriossa tehdyt laboratoriomittakaavan saostuskokeet (1, 2), kanaalijätevesilaitteiston koeajo (3) ja ulkopuolisessa laboratoriossa tehdyt raskasmetallianalyysit (4). Kohtiin 1, 2 ja 3 liitetty koevaiheessa käytetty saostuskemikaali.

Laboriomittakaavan purkkikokeissa ja koeajossa käytetyt saostuskemikaalit valikoituivat Vantaan Energian kemianryhmän aiempien käyttökokemusten perusteella. Kemianryhmä koostuu Vantaan Energian voimalaitosten

vedenkäsittelyn ammattilaisista. Kokeellisessa osuudessa käytetyt saostusmekaanit ovat esiteltyinä kohdissa 4.2 ja 4.3.

4.1 Kanaalijätevesinäyte

Laboratoriomittakaavan saostuskokeita varten kerättiin kanaalijätevesinäytettä yhteensä neljä kymmenen litran astiaa. Näytettä kerättiin savukaasulauhteen käsittelyalueen lattiakanaalin alkupäästä ja kanaalikaivosta. Molemmista näytestä kerättiin sekoittamatonta kanaalijätevettä ja sekoitettua kanaalijätevettä (kuva 5).



Kuva 5. Sekoitetun kanaalijätevesinäytteen kerääminen Vantaan Energian jätevoimalaitoksen savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalikaivosta.

Kahden erityyppisen näytteen keräämisellä haluttiin tutkia käsittelemättömän kanaalijäteveden laadun vaihtelua ja sen vaikutusta saostumisreaktioon. Sekoittamaton kanaalijätevesinäyte kerättiin ennen sekoitusta noin 0,5 m:n syvyydestä kanaalin pinnasta katsoen. Sekoitettua näytettä kerättiin edellä sekoitus pitkävartisen kauhan avulla koko kanaalin syvyydestä. Kuvassa 6 sekoitettua kanaalijätevettä ennen näytteen keräämistä.



Kuva 6. Sekoitettua kanaalijätevettä Vantaan Energian jätevoimalaitoksen savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalikaivossa.

Kanaalijätevesinäytteiden keräämisen jälkeen näytteet säilytettiin näyteastiat suljettuina vesilaitoksen laboratoriossa. Vesilaitoksen laboratoriossa vallitsevaa lämpötilaa voidaan verrata huoneenlämpötilaan. Kuvassa 7 vasemmalla puolella olevassa ämpärissä on sekoitetusta kanaalijätevedestä kerätty näyte ja kuvassa oikealla nähdään sekoittamattomasta kanaalista kerätty jätevesinäyte. Näytteitä on säilytetty yhden vuorokauden ajan huoneen lämpötilassa.



Kuva 7. Savukaasulauhteen käsittelyalueen lattiakanaaleista kerätty näyte vuorokauden säilytyksen (RT) jälkeen. Vasemmalla puolella olevassa ämpärissä on sekoitetusta kanaalijätevedestä kerätty näyte ja oikealla puolella sekoittamattomasta kanaalista kerätty jätevesinäyte.

Kanaalijätevesinäytteiden pH-arvon mittaamiseen käytettiin Mettler toledo five easy plus-pH-mittalaitetta ja johtokyvyn mittaamiseen käytettiin Mettler toledo five easy plus-johtokykymittalaitetta. Näytteen lämpötila mitattiin Traceable® -nestelämpömittarilla. Käsittelemättömän näytteen pH oli 7, johtokyky 10,98 mS/cm ja lämpötila 20,5 °C.

Tutkittaessa kanaalijätevesinäytteen pH-tason muutosten vaikutusta saostus reaktioon, näytteen pH-arvoa säädettiin lisäämällä näytteeseen vahvaa happoa tai vahvaa emästä. Tässä tapauksessa näytteeseen titrattiin 0,01 normaalista (N) suolahappoa (HCl) tai 50-prosenttista natriumhydroksidia (NaOH), kunnes saavutettiin haluttu pH-arvo, pH-arvoa mitattiin titrauksen aikana pH-mittalaitteella. Tässä tapauksessa näytteiden pH-arvo säädettiin suolahapolla arvoon 4 ja natriumhydroksidilla arvoon 10.

4.2 Saostuspolymeeri Chargepac 12

Chargepac12 (Solenis, Saksa) on metallien saostukseen tarkoitettu teollinen polymeeri eli koagulantti, jota käytetään käyttö- ja jäteveden puhdistukseen. Saostuskemikaali Chargepac12:lla on ominaisuus rikkoa jäteveden heikkoja komplekseja ja saostaa niistä metalleja. Lisäksi se säilyttää toimintakykynsä myös öljyisten ja rasvaisten jätevesien käsittelyssä. Se luokitellaan varauksensa perusteella kationiseksi polymeeriksi. [24; 25]

Chargepac12-koagulanttia on käytetty kanaalijäteveden esikäsittelylaitteiston saostuskemikaalina jätevoimalaitoksella esikäsittelylaitteiston käyttöönotosta alkaen. Esikäsittelylaitteistossa käytettäväksi saostuskemikaaliksi se valikoitui sille tunnettujen ominaisuuksien ja esikäsittelylaitteiston kehitysvaiheessa tehtyjen laboratoriomittakaavan saostuskokeiden perusteella. [25.]

Laboratoriossa tehtiin saostuskokeisiin kationisesta Chargepac12-polymeeristä valmistettiin ionivaihdettuun laboratorioveteen 10-tilavuusprosenttinen käyttöliuos. Liuos valmistettiin lisäämällä yhteen litraan ionivaihdettua vettä 0,1

litraa Chargepac12- kemikaalivalmistetta. Käyttöliuoksen konsentraatio saostuskokeissa oli vastaava kuin esikäsitteilylaitteistossa käytössä oleva käyttöliuos.

4.3 Saostuspolymeeri Superfloc A-1820

Superfloc A-1820 (Kemira, Suomi) on teollinen saostuspolymeeri. Varauksensa perusteella se luokitellaan anioniseksi polymeeriksi. Anionisia saostuskemikaleja käytetään mm. veden selkeytykseen ja prosessiveden kierrätykseen teollisuudessa. [26.]

Saostuspolymeeri Superfloc A-1820 valittiin vertailukemikaaliksi Vantaan Energian toiselta voimalaitokselta saatujen käyttökokemusten perusteella.

Saostuskokeita varten Superfloc A-1820:stä sekoitettiin laboratorio veteen 0,1-massaprosenttinen käyttöliuos saostuskokeita varten. Käyttöliuosta laimennettaessa polymeerin sekoittumiseksi liuottimeen käytetään apuna magneettisekoittajaa, minimi sekoitusaika oli yksi tunti ja sekoitusnopeus 750 rpm. Kemikaalin käyttöliuos laimennettiin kemikaalitoimittajan ohjeen mukaan. [27.]

4.4 Purkkikoe-menetelmä

Laboratoriomittakaavan saostuskokeissa käytettiin purkkikoe-menetelmää. Purkkikoe-menetelmä valittiin, koska menetelmä vastaa toimintaperiaatteeltaan esikäsitteilylaitteiston toimintaa. Purkkikoe-menetelmässä kokeessa käytettävä astia ("purkki") rinnastetaan toiminnaltaan saostussäiliöön. Purkkikoe-menetelmä on saostuskemikaalivalmistajien käyttämä menetelmä, kun määritetään asiakaskohteessa käytettävää saostuskemikaalia ja käyttöliuoksen konsentraatiota. Tässä työssä käytetään "purkista" nimitystä sekoitusastia. [28, s. 15.]

Purkkikokeilla tutkittiin, voitaisiinko tällä hetkellä käytössä oleva saostuskemikaali korvata toisella polymeerivalmisteella ja voitaisiinko kanaalijätevesilaitteen ajoparametrien säädöllä tehostaa saostuman muodostumista. Saostuskokeiden tuloksia käytettiin kanaalijäteveden saostusprosessin optimointiin.

Purkkikoemenetelmällä tehdyt saostuskokeet jaettiin kahteen vaiheeseen: alustaviin purkkikokeisiin ja optimointivaiheen purkkikokeisiin. Purkkikokeiden koesuunnitelmat kohdassa 4.4.2 ja 4.4.3.

Kaikki purkkikokeet tehtiin sekoitetusta kanaalijätevesinäytteestä. Purkkikokeiden teko aloitettiin kanaalijätevesinäytteen annostelulla sekoitusastiaan. Ennen näytteen annostelua kanaalijätevesinäytettä sekoitettiin kauhalla ämpärissä. Näytteen annettiin laskeutua 3 minuuttia, jonka jälkeen näyte annosteltiin sekoitusastioihin. Toimintatapaa käytettiin kaikissa purkkikokeissa.

Annostelun jälkeen käynnistettiin sekoitus. Sekoitus tapahtui Heidolph-magneettisekoittajalla, sekoitusnopeus oli 500 rpm. Sekoituksen käynnistymisen jälkeen näytteeseen annosteltiin pipetillä saostuskemikaalin käyttöliuosta. Kemiaalilisäyksen jälkeen käynnistettiin sekoituksen ajanlaskenta. Sekoitusvaiheen kesto oli kaikissa purkkikokeissa yhden minuutin, sekoitusnopeudella 500 rpm. Kuvassa 8 näytteeseen on annosteltu saostuskemikaalia ja sekoitus on aloitettu.



Kuva 8. Purkkikokeen sekoitusvaihe saostuskemikaalin annostelun jälkeen. Sekoitusvaihe kestää yhden minuutin saostuskemikaalin lisäyksestä laskettuna.

Sekoitusvaiheen aikana jätevesinäytteen liukoiset ja kolloidiset epäpuhtaudet koaguloituvat saostuskemikaalin vaikutuksesta. Sekoitusajan päätyttyä seuraa laskeutusvaihe. Laskeutusvaiheessa saostumisreaktio etenee ja muodostunut sakka flokkuloituu suuremmiksi partikkeleiksi sekoitusastian pohjalle. Purkkiko- keissa käytettiin laskeutusaikoja 10 min ja 15 min.

Laskeutusvaiheen jälkeen näytettä ja saostuman kokoa arvioitiin visuaalisesti. Visuaalisessa tarkastelussa optimaalinen tulos on saavutettu, kun saostuma laskeutuu noin 20-prosenttiin sekoitusastian tilavuudesta [25]. Huomiota kiinnitettiin muodostuneen sakan määrään, muotoon ja laskeutumiseen sekä ylitteen väriin ja läpinäkyvyyteen. Visuaalisen tarkastelun tueksi luotiin sanallinen arviointitaulukko, jossa sanallista arviointia vastaa numeerinen tulos (taulukko 3).

Taulukko 3. Purkkikokeiden visuaalisen arvioinnin perusteet sanallisessa muodossa. Saostuskokeiden tulokset asetettiin sanallisen arvioinnin perusteella numeerisesti asteikolle 0–5.

Määritelmä	Tulos
Näytteessä ei ole silmällä erotettavaa saostumaa lainkaan vrt. käsittelemätön näyte.	0
Hienojakoista sakkaa nesteessä, ylite samea	1
Näkyvää sakkaa kasautuu näyteastian pohjalle, ylite samea.	2
Sakkaa ja suurempia partikkeleita näyteastian pohjalla ja nestefaasissa, ylite sameahko.	3
Kiinteitä partikkeleita näyteastian pohjalle kerääntyneenä ja nestefaasissa, ylite kirkas.	4
Selkeästi erottuvia kiinteitä partikkeleita yksittäin ja suurempina kokonaisuuksina näyteastian pohjalla, ylite kirkas.	5

Saostuskokeiden tulokset määritettiin visuaaliseen tarkasteluun perustuvaa arviointitaulukkoa apuna käyttäen. Arviointitauloukon pisteytyksen (0–5) avulla saadut numeeristen tulokset käsiteltiin Excel-ohjelmalla graafiseen muotoon.

4.4.1 Alustavat purkkikokeet

Alustavat saostuskokeet tehtiin purkkikoemenetelmällä. Alustavien kokeiden avulla tutkittiin kahden raskasmetallien saostukseen tarkoitetun polymeerin aikaan saamaa saostusreaktiota savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevedessä. Alustavien saostuskokeiden tavoitteena oli tutkia saostuskemikaalien soveltuvuutta kanaalijäteveden esikäsittelyyn ja muuttujien merkitsevyyttä saostusprosessissa sekä vähentää optimointivaiheessa tehtävien saostuskokeiden määrää.

Alustavissa saostuskokeissa käytössä olleille saostuskemikaaleille tehtiin koesarjat A ja B (taulukko 4). Sarjan A kokeissa käytetty saostuskemikaali oli Chargepac12 ja B-sarjan kokeissa käytettiin Superfloc A-1820-saostuskemikaalia.

Taulukko 4. Alustavien kokeiden koesuunnitelma. A-koesarja: saostuskemikaali Chargepac12 ja B-koesarja: saostuskemikaali Superfloc A-1820. Koesuunnitelman vaiheet: ensimmäinen: kokeet A1 ja B1, toinen vaihe: kokeet A2 ja B2.

Koesarja	Vaihe	Saostuskemikaali	Laskeutus-aika (min)	pH-arvo
A	1	Chargepac12	10	7
A	2	Chargepac12	15	7
B	1	Superfloc A-1820	10	7
B	2	Superfloc A-1820	15	7

Alustavien saostuskokeiden koesarjat A ja B jaettiin koevaiheisiin 1 ja 2. Ensimmäisen vaiheen kokeilla (A1 ja B1) haluttiin löytää kanaalijäteveden esikäsittelyssä käytettävälle saostuskemikaalille soveltuva konsentraatioalue. Saostuskemikaaleja testattiin laajalla konsentraatioalueella, laskeutusaika oli 10 minuuttia.

A2- ja B2-koesarjassa tehtiin toistokokeita ensimmäisessä vaiheessa käytetyillä kemikaalikonsentraatioilla, laskeutusaika oli 15 minuuttia.

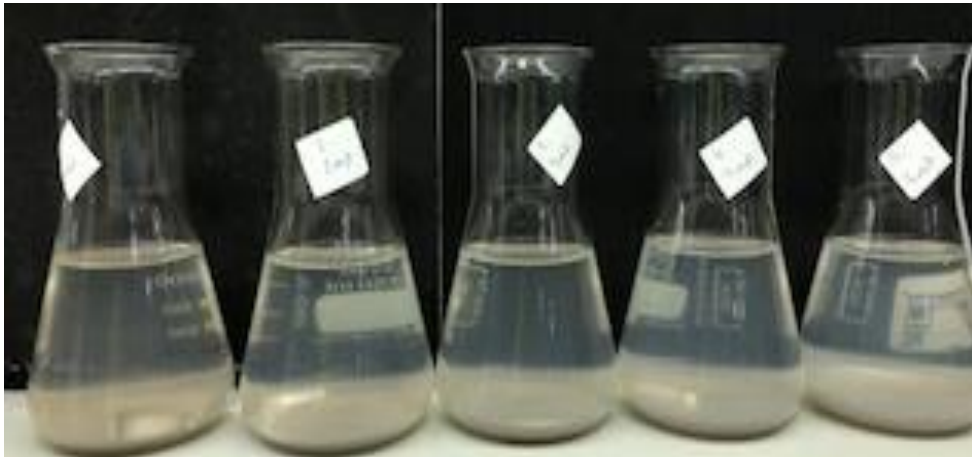
Saostuskokeet aloitettiin annostelemalla sekoitettua kanaalijätevesinäytettä sekoitusastioihin. Kuvassa 9 nähdään saostuskokeen alkuasetelma, jossa näytettä on annosteltu 250 millilitraa sekoitusastiaan alustavien saostuskokeiden tekoa varten. Alustavia saostuskokeita tehtiin yhteensä 36 kappaletta.



Kuva 9. Sekoitettu kanaalivesinäyte ennen purkkikokeen aloittamista.

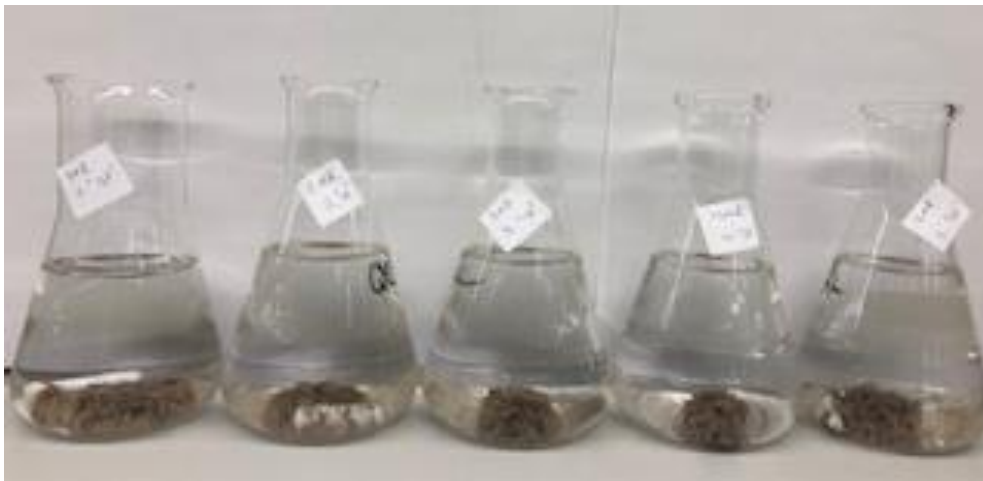
Molemmilla saostuskemikaaleilla tehtiin 18 alustavaa koetta, joista 9 koetta tehtiin 10 minuutin laskeutusajalla ja 9 koetta 15 minuutin laskeutusajalla. Alustavat kokeet toteutettiin kahden päivän aikana omina sarjoinaan (A ja B) satunnaisessa järjestyksessä. Satunnaistamiseen käytettiin randomizer-sovellusta. Satunnaistaminen tehtiin ensimmäisen (A1 ja B1) ja toisen vaiheen (A2 ja B2) sisällä.

A-koesarjan alustavissa kokeissa käytettiin Chargepac12-saostuskemikaalista valmistettua 10-tilavuusprosentista käyttöliuosta. Käyttöliuosta annosteltiin 1–20 millilitraa yhteen litraan kanaalijätevesinäytettä (kuva 10). Ensimmäisen vaiheen kokeiden laskeutusaika oli 10 minuuttia (A1) ja toisen vaiheen (A2) kokeiden laskeutusaika 15 minuuttia.



Kuva 10. Chargepac12-koagulantilla esikäsitellyt kanaalijätevesinäytteet laskeutusajan (15 min) jälkeen. Kokeissa käytettiin Chargepac12 10-tilavuusprosentista käyttöliuosta 4–20 ml litrassa näytettä.

B-koesarjassa käytettiin Superfloc A-1820-kemikaalista valmistettua 0,1-massa-prosenttista käyttöliuosta. Käyttöliuosta annosteltiin 1–20 millilitraa 1 litraan kanaalijätevesinäytettä (kuva 11). Ensimmäisen vaiheen (B1) laskeutusaika oli 10 minuuttia ja toisen vaiheen (B2) laskeutusaika oli 15 minuuttia



Kuva 11. Kanaalijätevesinäytteet, jotka on käsitelty saostuskemikaali Superfloc A-1820:llä 4–20 ml litrassa näytettä. Kuvan kokeissa laskeutusaika oli 15 minuuttia.

Alustavien kokeiden tavoitteena oli valita kahdesta saostuskemikaalista optimoitukoevaiheessa käytettävä saostuspolymeerivalmiste ja käyttöliuoksen

määrä (ml) sekä saada suuntaa antava tulos laskeutusajan vaikutuksesta saostusprosessiin. Alustavien saostuskokeiden tulokset perustuvat saostuskokeita varten luotuun taulukkoon. Tulokset käsiteltiin graafiseen muotoon Excel-ohjelman tiedonkäsittelytyökaluilla. Alustavien saostuskokeiden koevaiheiden tuloksia verrattiin toisiinsa. Vertailun tavoitteena oli havainnoida muuttujien vaikutusta saostusprosessiin. Tuloksia käsiteltiin varianssianalyysin avulla. Alustavien kokeiden tulosten perusteella valittiin vakiot ja muuttujat optimointikokeisiin.

4.4.2 Optimointivaiheen purkkikokeet

Optimointivaiheen kokeet toteutettiin purkkitestimenetelmällä. Saostusprosessin optimoinnilla pyrittiin löytämään esikäsiteltävälle kanaalijätevedelle ne olosuhteet, joissa jäteveden epäpuhtauksien saostuminen saostuskemikaalin avulla on tehokasta ja esikäsitellyn jäteveden laatu saavuttaa sille asetetut tavoitteet. Tavoitteena oli saavuttaa toimintavarma esikäsitelyprosessi, joka tuottaa laadullisesti viemäritäväksi kelpavaa jätevettä kemiallisen saostuksen keinoin.

Kokeellista osuutta varten laadittiin 2 muuttujan CC-koesuunnitelma (*Central Composite*). CC-koesuunnitelma valittiin jäteveden epäpuhtauksien saostumiseen johtavien optimaalisten olosuhteiden etsintään, koska se huomioi päävaikutusten lisäksi parittaiset yhdysvaikutukset ja tuloksia voidaan tarkastella graafisesti vastepinta-analyysin avulla. CC-koesuunnitelma koostuu 2^n toistokokeista, keskipistekokeista ja aksiaalikokeista. Koesuunnitelma tehtiin Excel-ohjelmalla. CC-koesuunnitelman saostuskokeissa käytettävät vakiot ja muuttujat valittiin alustavien kokeiden tuloksiin perustuen. [29.] Koesuunnitelmassa vakioidina käytettiin saostuskemikaalia (Superfloc A-1820), sekoitusnopeutta (500 rpm) ja sekoitusaikaa (1 min) sekä laskeutusaikaa (10 min). Muuttujat olivat saostuskemikaalin käyttöliuoksen määrä (ml) näytteessä ja näytteen pH-arvo. Taulukossa 5 on CC-koesuunnitelman muuttujien arvot. [29.]

Taulukko 5. CC-koesuunnitelma. Muuttujien arvot määritetty alustavilla kokeilla.

Koe	Saostuskemikaali ml/ 1 l näytettä	Näytteen pH-arvo	Osakokeet
1	20	10	2 ² toistokokeet
2	20	4	
3	12	4	
4	12	10	
5	16	7	keskipistekokeet
6	16	7	
7	16	10	aksiaalikoheet
8	16	4	
9	20	7	
10	12	7	

Koesuunnitelman muuttujien keskipiste (0) sekä ylä- ja alarajat perustuvat alustavista kokeista saatuihin tuloksiin. Taulukossa 6 nähdään koesuunnitelman muuttujien arvot.

Taulukko 6 CC-koesuunnitelman muuttujien eli kemikaalipitoisuuden ja pH-tason keskipiste, ala- ja yläraja.

CC-koesuunnitelman muuttuja	Alaraja	Yläraja	Keskipiste, 0
Superfloc A-1820 0,1 m%-käyttöliuos ml/1 l näytettä	12	20	16
Näytteen pH-arvo	4	10	7

Optimointi vaiheen saostuskokeet toteutettiin alustavien kokeiden jälkeen. Kokeet suoritettiin kahden työpäivän aikana. Pidemmän aikajänteen projektisuunnitelma olisi mahdollistanut raskasmetallianalyysien antamien koetulosten odottamisen koevaiheiden välissä, mutta eteneminen optimointikokeisiin päätettiin

perustaa visuaalisentarkastelun tuottamiin tuloksiin ja käyttää raskasmetallianalyysien tuloksia kokeellisen osuuden kokonaisuuden tarkasteluun. Kokeiden aikataulutuksen määrittä taloudellinen näkökulma, käytettävät henkilöstöresurssit laitoksella sekä opinnäytetyön aikataulutus.

Optimointivaiheen saostuskokeissa saatuja visuaaliseen tarkasteluun perustuvia tuloksia käsiteltiin regressioanalyysillä. Tuloksia tarkasteltiin graafisenesityksen avulla. Analyysi tehtiin Excel-ohjelmistolla.

4.5 Kanaalijäteveden esikäsittelylaitteiston koeajo

Saostuskokeiden tuloksiin perustuen haluttiin suorittaa koeajo kanaalijäteveden esikäsittelylaitteistolla. Koeajo toteutettiin jätevoimalaitoksen savukaasulauhteen käsittelyalueella normaaliin käyttötilanteeseen verrattavissa olosuhteissa, vesilaitoksen henkilökunnan avustuksella.

Koeajotilanteessa esikäsiteltiin savukaasulauhteen käsittelyalueen lattiakanaaleihin kertynyttä jätevettä yhden tunnin ajan. Koeajon aikana saostuskemikaalina käytettiin Supefloc A-1820-flokkulanttia. 0,1-massaprosenttista käyttöliuosta 16 ml/l esikäsiteltävää jätevettä (kuva 12). Kemikaalin syöttö oli 16 litraa tunnissa, kun käsiteltävän jäteveden virtaus oli 1 m³/h. Koeajossa käytettiin saostuskemikaali Superfloc A-1820:ntä ja konsentraatio valikoitui optimointikokeiden tulosten perusteella.



Kuva 12. Vantaan Energian savukaasukäsittelyalueen kanaalijäteveden esikäsitteilylaitteiston saostuskemikaalin pumppausyhde.

Koeajon tavoitteena oli siirtää laboratoriomittakaavan optimointikokeiden tulokset käytännön ajotilanteeseen verrattavaan olosuhteeseen. Kuvassa 13 savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden esikäsitteilylaitteiston saostussäiliö ja suodatussäkki.



Kuva 13. Vantaan Energian savukaasunkäsittelyalueen kanaalijäteveden esikäsitteilylaitteiston saostusprosessin saostussäiliö ja nesteensuodatussäkki (5 μm).

Esikäsitteilylaitteiston koeajotilanteen arviointia varten kerättiin kanaalijätevesinäytteet käsittelemättömästä jätevedestä pumppukaivosta sekä esikäsitellystä jätevesijakeesta. Näytteet analysoitiin ulkopuolisessa laboratoriossa. Analyysillä haluttiin todentaa esikäsitteilylle asetetut laadulliset tavoitteet. Esikäsitteilyn läpikäyneen kanaalijäteveden minimi laatuvaatimus on viemäroitävän jäteveden raja-arvot.

4.6 Akkreditoituun laboratorioon lähetetyt näytteet

Ulkopuolisessa laboratoriossa tehtävillä analyyseilla haluttiin tutkia käsittelemättömän ja käsitellyn kanaalijäteveden laadullisia parametrejä ja raskasmetallipitoisuuksia. Laboratoriossa näytteistä tehtiin seuraavia suureita mittaavia analyysejä:

- pH-arvo
- sähkönjohtavuus
- elohopea

- tina
- arseeni
- kadmium
- kromi
- kupari
- lyijy
- nikkeli
- sinkki

Laboratorioanalyysjä käytettiin määrittämään esikäsitlemättömän kanaalijäteveden laatua ja esikäsitellyn kanaalijäteveden laadullisten tavoitteiden toteutumisista. Taulukossa 7 ulkopuoliseen laboratorioon lähetettyjen näytteiden keräyspisteet ja määrät.

Taulukko 7. SGS-laboratorioon lähetettyjen kanaalijätevesinäytteiden keräyspisteet ja pisteestä kerätyn näytteen määrä.

Näyte	Määrä (l)	Suodatettu
Kanaalijätevesi, sekoittamaton, käsittelemätön,	0,5	
Kanaalijätevesi, sekoitettu, käsittelemätön	0,5	
Kanaalijätevesi, sekoittamaton, käsitelty, Chargepac12	0,5	x
Kanaalijätevesi, sekoittamaton, käsitelty, Chargepac12	0,5	x
Kanaalijätevesi, sekoitettu, käsitelty, Superfloc A-1820	0,5	x
Kanaalijätevesi, sekoitettu, käsitelty, Superfloc A-1820	0,5	x
Koeajo, käsittelemätön kanaalijätevesi	0,5	
Koeajo, esikäsitelty kanaalijätevesi, Superfloc A-1820	0,5	

Saostuskokeiden kanaalijätevesinäytteistä ja saostus kokeiden ylitteistä lähetettiin näytteitä laboratorioon analysoitavaksi. Saostuskemikaalilla käsitellyt näytteet suodatettiin painovoimaisesti lasisuppilolla ja Whatman-suodatinpaperilla (12–25 µm). Käsittelemättömiä kanaalijätevesinäytteitä ei suodatettu. Kaikkia näytteitä lähetettiin 0,5 l laboratorioanalyysihin 0,5 l muovipulloissa. Lisäksi

ulkopuoliseen laboratorioon lähetettiin analysoitavaksi koeajotilanteen aikaisesta käsittelemättömästä kanaalijätevedestä 1 (0,5 l) näyte ja kanaalijäteveden esikäsittelylaitteistolla käsitellystä permeaatista 1 (0,5 l) näyte.

Laboratorioanalyysien tuloksia verrattiin visuaaliseen tarkasteluun perustuviin tuloksiin. Tulosten vertaamiseen ja visualisointiin käytettiin Excel-ohjelman kaaviosovellusta.

5 Tulokset ja niiden tarkastelu

Insinööriyön tulokset koostuvat saostuskokeiden tuloksista ja ulkopuolisessa laboratoriossa teetettyjen raskasmetallianalyysien tuloksista. Kokeellinen osuus eteni alustavista saostuskokeista optimointivaiheen saostuskokeisiin ja kanaalijäteveden esikäsittelylaitteiston koeajoon. Koevaiheiden välillä edettiin visuaaliseen tarkasteluun perustuvien saostuskokeiden tulosten perusteella.

Raskasmetallianalyysejä tehtiin laboratoriomittakaavan saostuskokeisiin käytystä kanaalijätevesinäytteestä ja alustavien saostuskokeiden ylitteestä sekä koeajossa esikäsiteltävästä kanaalijätevedestä ja koeajon aikana muodostuneesta ylitteestä. Ylitteellä tarkoitetaan kanaalijäteveden esikäsittelyn läpikäynyttä permeaattia eli jätevettä, josta on suodattamalla erotettu kiintoaine ja kemiallisen saostuksen seurauksena muodostunut saostuma. Ulkopuolisessa laboratoriossa tehdyt analyysit tehtiin esikäsiteltävän jäteveden laadun ja visuaaliseen tarkasteluun perustuvien tulosten todentamiseksi.

Raskasmetallianalyysien tulokset valmistuivat tehtyjen saostuskokeiden jälkeen, eikä niitä aikataulullisesti pystytty käyttämään kokonaiskoesuunnittelua tukemaan. Työssä raskasmetallianalyysien tuloksia verrataan visuaaliseen tarkasteluun perustuviin tuloksiin. Työn tavoitteiden täyttymistä arvioitiin raskasmetallianalyyseihin perustuen. Esikäsittelyn kanaalijäteveden minimi laatuvaatimus on viemäriin johdettavan jäteveden enimmäispitoisuudet.

5.1 Saostuskemikaalien teho kanaalijäteveden puhdistuksessa

Käsitlemättömän ja esikäsittelyn kanaalijäteveden raskasmetallianalyysien tuloksilla todennettiin saostusprosessin tehokkuutta kanaalijäteveden esikäsittelyssä. Purkkikoe-menettelmällä tehdyillä saostuskokeilla ja ulkopuolisessa laboratoriossa teetetyillä raskasmetallianalyyseillä tutkittiin Chargepac12- ja Superfloc A-1820-saostuskemikaalien tehokkuutta saostaa raskasmetalleja

savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevedestä. Käsitlemätöntä kanaalijättevettä tutkittaessa havaittiin, että lukuun ottamatta jäteveden kadmium- ja sinkkipitoisuutta, kanaalijätevesi oli laadultaan viemäröntikelpoisuuden täyttävää. Analyysitulosten perusteella kahden eri saostuskemikaalin välillä ei ole eroa epäpuhtauksien poisto tehokkuudessa (taulukko 8).

Taulukko 8. Käsitlemättömän ja esikäsiteltyjen kanaalijätevesinäytteiden analyysitulokset sekä jätevedelle asetetut enimmäispitoisuudet jätevettä viemäriin johdettaessa [7.].

Suure	Yksikkö	Käsitlemättömän näyte	Käsitelty näyte Chargepac 12	Käsitelty näyte Superfloc A-1820	Jäteveden sallitut enimmäispitoisuudet
ph		7.3	7.3	7.4	6–11
sähkönjohtavuus	ms/cm	1120	1110	1110	-
Elohopea	µg/l	9,4	0,23	<0,13	10
Tina	µg/l	38	<20	<20	-
Arseeni	µg/l	6,1	1,8	1,5	100
Kadmium	µg/l	750	940	910	10
Kromi	µg/l	7,9	1,4	1,3	1000
Kupari	µg/l	69	39	14	2000
Lyijy	µg/l	300	86	70	500
Nikkeli	µg/l	29	26	25	500
Sinkki	µg/l	12000	9200	9200	3000

Raskasmetallianalyseistä saatujen tulosten perusteella kanaalijäteveden esikäsittely poisti jätevedestä parhaiten elohopeaa, kromia, lyijyä, kuparia ja jonkin verran sinkkiä. Kanaalijäteveden esikäsittelyyn käytössä oleilla saostuskemikaaleilla ei pystytty saostamaan jätevedestä kadmiumia ja sinkkiä riittävän tehokkaasti.

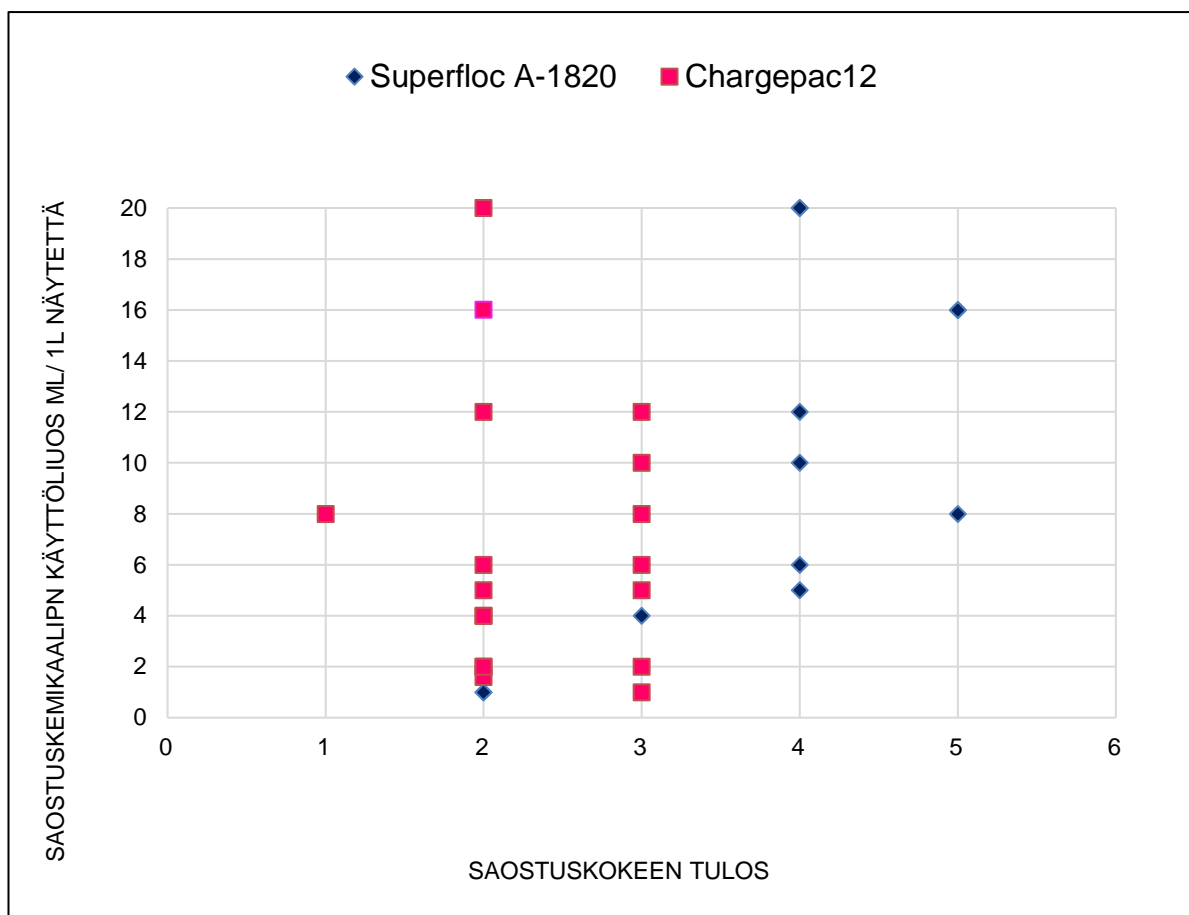
Tulokset ovat visuaaliseen tarkasteluun perustuvaan arviointiin verrattaessa ylilättäviä, koska käytettäessä Superfloc A-1820-saostuskemikaalia alustavissa saostuskokeissa saostuskemikaali muodosti sekoitusvaiheessa selkeän saostuman näytteeseen ja näytteen ylite oli kirkas. Nopeaa sekoitusta pidetään yhtenä tärkeimmistä flokkulaation vaiheista, koska sen aikana syntyy primäärisiä flokkeja, jotka mahdollistavat flokin kasvun saostusprosessin edetessä (kuva 14). [3, s. 293].



Kuva 14. Vasemmalla Superfloc A-1820-saostuskemikaalin muodostamaa saostumaa kanaalijätevesinäytteessä ja oikealla Chargepac12-saostuskemikaalin muodostamaa saostumaa kanaalijätevesinäytteessä.

Chargepac12-saostuskemikaali muodosti hiutalemäinen ja heikon sakan ja näytteen ylite on samea. Saostuskokeissa jäteveden matala epäpuhtauspitoisuus voi olla syynä sameaan ylitteeseen. [25].

Kuvassa 14 nähdään kootusti visuaaliseen tarkasteluun perustuvien saostuskokeiden tulokset. Kokeissa käytettiin saostuspolymeeri-Superfloc A-1820:ntä ja Chargepac12:ta, saostuskokeissa käytettiin laskeutusaikoja 10 minuuttia ja 15 minuuttia.



Kuva 15. Alustavien saostuskokeiden visuaaliseen tarkasteluun perustuvat tulokset saostuskemikaaleilla kemikaaleilla Chargepac12:lla ja Superfloc A-1820:llä käsitellyistä kanaalijätevesinäytteistä. Alustavissa kokeissa käytetty laskeutusaikaa 10 min ja 15 min.

Visuaalisesti saostuman muodostumista tulkitaan niin, että saostumaa muodostuu tai ei muodostu. Saostusreaktion muodostama pienikokoinen saostuma voi olla yhtä tehokas tapa poistaa epäpuhtauksia kuin isokokoinenkin saostuma. [2, s. 31; 25.] Raskasmetallianalyysien ja saostuskokeiden tuloksia tarkastellessa voidaan todeta, että silmämääräinen saostuman tarkastelu ei kerro mitä epäpuhtauksia saostuma sisältää. Eikä tässä tapauksessa saostamisprosessi poistanut haluttuja raskasmetalleja, vaikka visuaaliseen tarkasteluun perustuvat tulokset siltä näyttivätkin.

Saostukseen tarkoitetuille polymeereille on tyypillistä spesifinen luonne, joka määrittää kyvyn saostaa tiettyjä metalleja [2, s. 27]. Liiallinen saostuspolymeerin

annostelu voi johtaa heikkoon saostustulokseen. Liiallista annostelua ei pidetä todennäköisenä syynä heikkoon saostumiseen, koska vähiten saostumaa muodostuneissa näytteissä oli käytetty Chargepac12:ta laajalla pitoisuus alueella, [1].

Ulkopuolisessa laboratorioissa tehtyjen raskasmetallianalyysien perusteella kanaalijätevedestä saostui elohopea, kromi, lyijy ja kupari. Saostuneet raskasmetallit saostuvat pH-arvossa 6,3–7,5. pH-arvo vastaa käsittelemättömän kanaalijäteveden pH-arvoa. Kadmiumin saostumisen tiedetään tapahtuvan pH-alueella 9,1–9,5, joka voi osaltaan vaikuttaa siihen, että kadmium ei saostunut jätevesinäytteestä tehdyissä purkkikokeissa. [19.]

Tulokset eroavat visuaaliseen tarkasteluun perustuvista tuloksista, mutta tämä on ymmärrettävää, koska pelkän saostuman muodostumisen arviointiin keskittyvä menetelmä ei kerro, mitä saostuma ja ylite sisältävät. Teoreettiseen tietoon perustuen esikäsiteltävän jäteveden pH-arvon säätäminen alkaliseksi ennen esikäsitelyprosessia tehostaisi kadmiumin ja sinkin saostumista kanaalijätevedestä. Jäteveden esikäsitelyssä täytyy kuitenkin huomioida myös muut käsitelyyn vaikuttavat jäteveden parametrit, kuten jäteveden epäpuhtauspitoisuus, tuhkapitoisuus, veden lämpötila ja johtokyky [2; 21.]. Kanaalijäteveden esikäsitelyn laadun todentaminen vaatii permeaatin raskasmetallianalyysejä esikäsitelyn laadun varmentamiseksi.

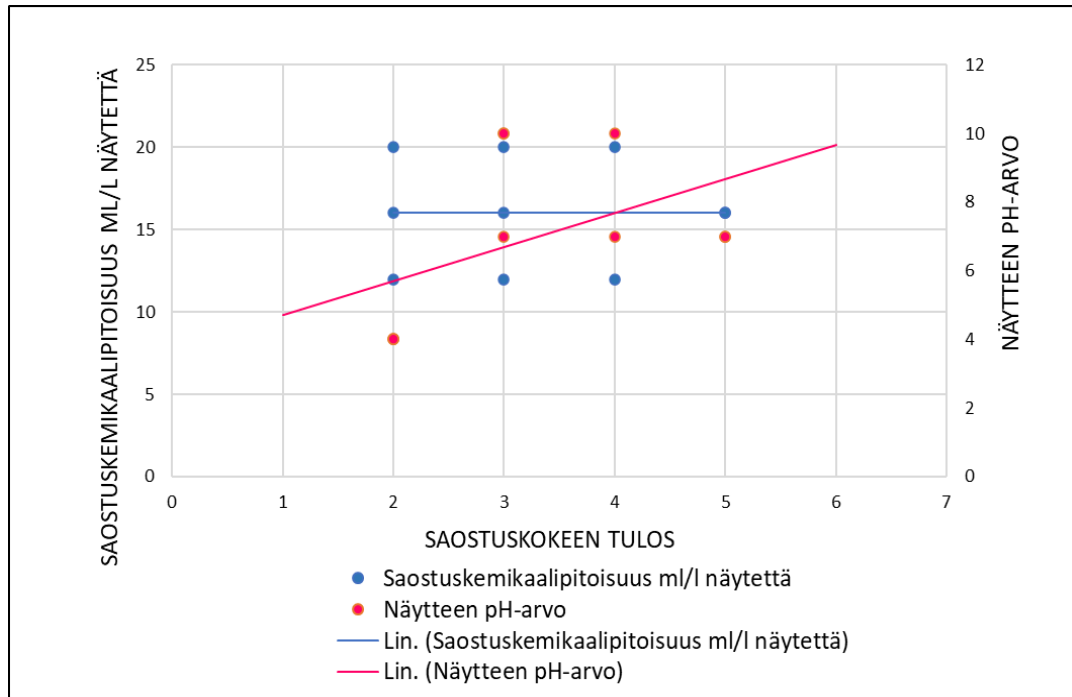
5.2 Esikäsiteltävän jäteveden pH-arvon vaikutus raskasmetallien saostumiseen

Esikäsiteltävän jäteveden pH-arvon muutoksella on vaikutus saostusprosessin toimivuuteen. Kanaalijäteveden pH-arvo vaikuttaa jätevedensisältämien metallien liukoisuuteen, kemiallisen saostumisreaktion syntyyn ja reaktionopeuteen. [21.] Taulukossa 9 nähdään Kanaalijätevesinäytteen pH-arvon muutoksen vaikutus saostuman muodostumiseen.

Taulukko 9. Kahdella muuttujalla (pitoisuus ja pH-arvo) suoritettujen optimointikokeiden visuaaliseen tarkasteluun perustuvat tulokset.

Koe	Superfloc A-1820 0,1 m%/l käyttöliuos ml/ 1 l näytettä	Näytteen pH-arvo	Tulos
1	20	10	4
2	20	4	2
3	12	4	2
4	12	10	3
5	16	7	5
6	16	7	5
7	16	10	3
8	16	4	2
9	20	7	3
10	12	7	4

Saostuskokeissa, joissa tutkittiin pH-arvon vaikutusta saostuskemikaalin aikaan saamaan saostumisreaktion, käytettiin toisena suunnittelumuuttuja saostuskemikaalin pitoisuutta. Regressionanalyysillä tarkasteltiin saostuskokeen muuttujien välistä riippuvuutta (kuva 16).



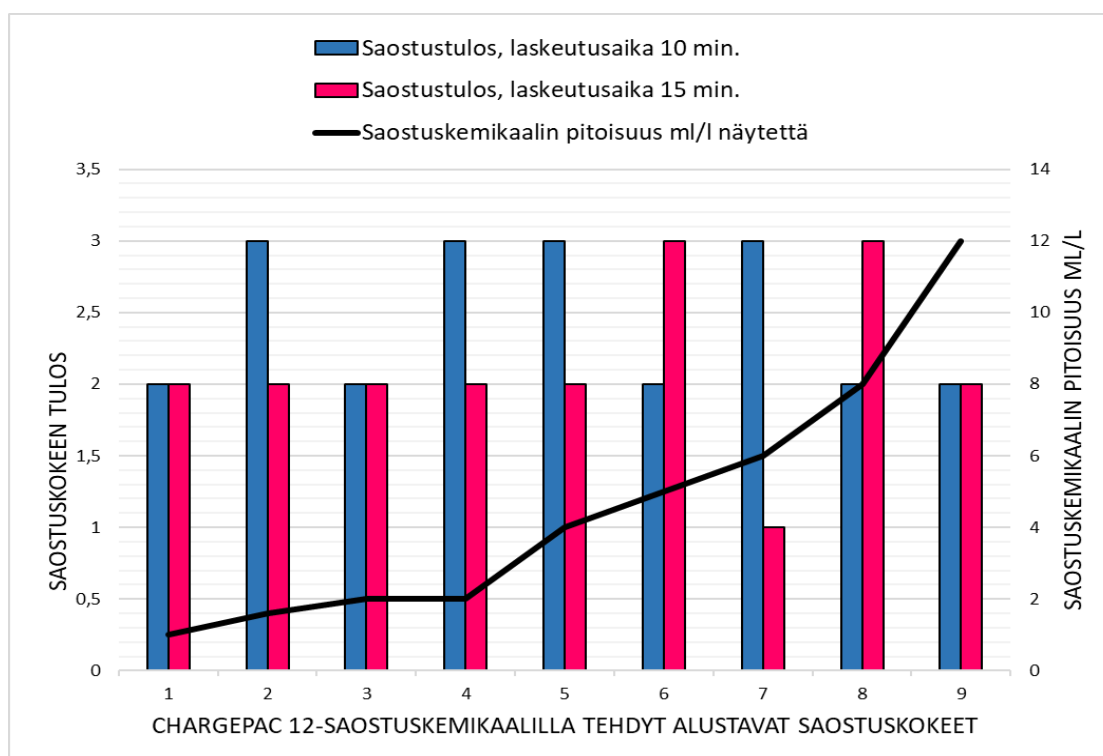
Kuva 16. Visuaaliseen tarkasteluun perustuvien saostuskokeiden tulokset muuttujien riippuvuudesta. Suunnittelumuuttujat olivat saostuskemikaalin käyttöluoksen (Superfloc A-1820 0,1 m%) määrä ja jätevesinäytteen pH-arvo.

Visuaaliseen tarkasteluun perustuvien tulosten perusteella saostuman muodostuminen oli vähäisempää kanaalijätevesinäytteen pH-arvon ollessa 4 kuin näytteen pH-arvon ollessa 7. Myös näytteen pH-arvon nostaminen vaikutti saostuman muodostumiseen vähentävästi. Vaikutus ei ole kuitenkaan yhtä huomattava kuin pH-arvossa 4. Arvioinnin perusteella optimaalisin saostusprosessi saavutetaan kuitenkin esikäsiteltävän jäteveden ollessa pH-alueella 7. Saostuskemikaalin annostelupitoisuuden nostolla ei ollut vaikutusta saostuman muodostumiseen näytteen pH-arvon ollessa 4. Tuloksia tarkastellessa on syytä muistaa, että saostuman visuaalinen tarkastelu ei kerro mitä epäpuhtauksia saostuma sisältää.

5.3 Laskeutusajan muutoksen vaikutus saostuman muodostumiseen

Saostuskemikaali Chargepac12:lla tehtyjen kokeiden tulosten perusteella laskeutusajan muutoksella ei ole vaikutusta saostuman muodostumiseen. Tuloksista nähdään kahden eri laskeutusajan antavan samansuuntaisia tuloksia eri

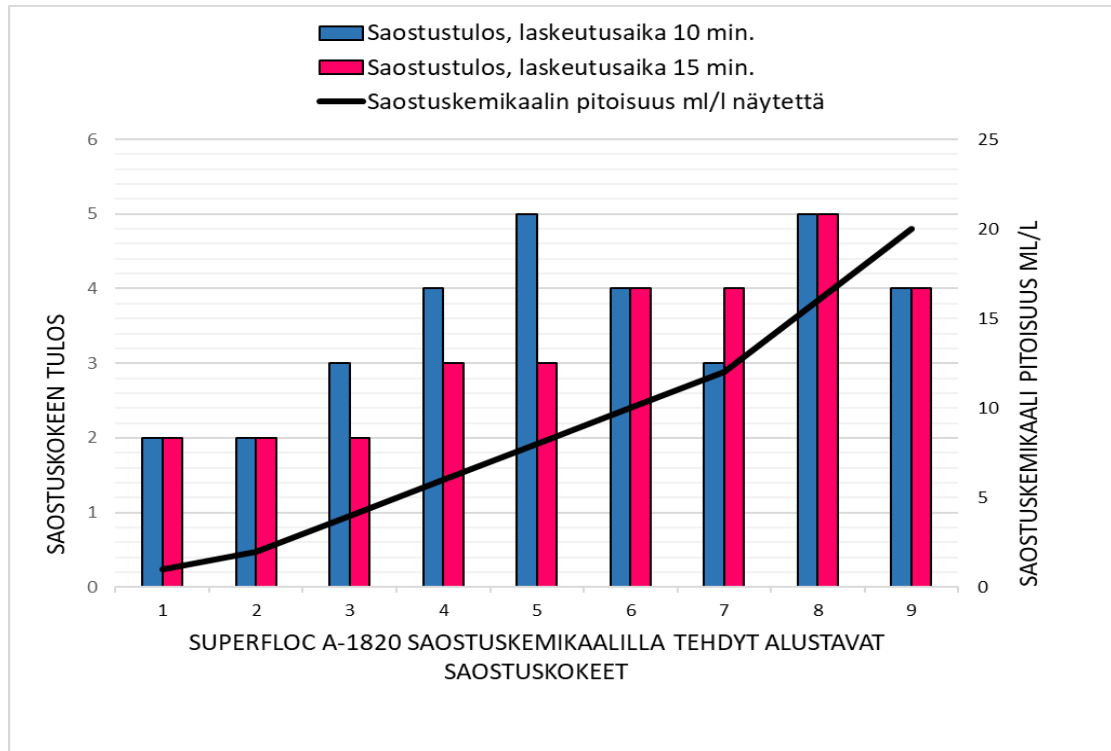
saostuskemikaalipitoisuuksissa. Kuvassa 17 nähdään, että laskeutusajan muutoksen vaikutukset saostuman muodostumiseen.



Kuva 17. Saostuskemikaali Chargepac12:lla tehdyt saostuskokeet laskeutusajoilla 10 minuuttia ja 15 minuuttia. Tulokset perustuvat visuaaliseen tarkasteluun.

Laskeutusajan merkitsevyyttä saostusprosessiin tutkittiin varianssianalyysin avulla. Yksisuuntainen anova-analyysi tehtiin normaalijakautuneille ja toisistaan riippumattomille toistokokeille. Varianssianalyysin p-arvo oli 0,9, jolloin laskeutusajan muutoksella ei ole tilastollista merkitsevyyttä 95 prosentin luottamustasolla.

Superfloc A-1820-saostuskemikaalilla saatuja koetuloksia tarkastellessa huomattiin laskeutusajan muutoksella olevan vaikutus muodostuvan saostuman määrään ja rakenteeseen (kuva 18).



Kuva 18. Superfloc A-1820-saostuskemikaalilla tehtyjen alustavien saostuskokeiden tulokset. Saostuskemikaalipitoisuuden ja laskeutusajan muutoksen vaikutus saostuman syntymiseen

Tarkastellessa laskeutusajan muutoksen vaikutusta muodostuvan saostuman kokoon ja määrään, voidaan kuvaa 21 katsoessa huomioida, että laskeutusajalla 10 min on saavutettu kolmessa kemikaalipitoisuudessa parempi saostustulos kuin laskeutusajalla 15 min Toisiinsa verrattavia tuloksia on saatu 8 kokeessa, kun kokeita on tehty 18. Samankaltaisia tuloksia on saatu laajalla pitoisuusalueella eri laskeutusajoilla. Yksisuuntainen varianssianalyysi (anova) antoi p-arvon 0,01. P-arvo kertoo, että saostuskokeiden tulokset 10 min ja 15 min laskeutusajoilla eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan luottamustasolla 95 %.

5.4 Esikäsiteltävän kanaalijäteveden laatu

Kanaalijäteveden epäpuhtauspitoisuudet vaihtelevat prosessiolosuhteista riippuen. Saostumisprosessia suunniteltaessa on tärkeää tutkia kanaalijäteveden laatu. Veden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet ovat lähtökohhta vedenkäsittelyn suunnittelulle. Laadulliset lähtökohdat määrittävät esikäsittelyn tarpeen ja siihen soveltuvan saostuskemikaalin. [3, s. 358; 2 s.8]

Kun käsittelemättömän kanaalijäteveden laatu tunnetaan, voidaan sitä verrata esikäsitellyn kanaalijäteveden epäpuhtauspitoisuuksiin ja seurata laadullisten tavoitteiden toteutumista esikäsittelyprosessissa. Savukaasulauhteen käsittelyalueen lattiakanaaleista kerätyistä jätevesinäytteiden laadusta tehtiin ulkopuolisessa laboratorioissa analyyskejä. Analyysien tulokset taulukossa 10.

Taulukko 10. Käsittelemättömän kanaalijäteveden laatua määrittävien analyysien tulokset.

Suure	Yksikkö	Sekoittamaton, käsittelemätön kanaalijätevesi	Sekoitettu, käsittelemätön kanaalijätevesi
ph		5,6	7,3
Sähkönjohtavuus	mS/cm	347	1120
Elohopea	µg/l	<0,13	9,4
Tina	µg/l	<20	38
Arseeni	µg/l	0,9	6,1
Kadmium	µg/l	49	750
Kromi	µg/l	2,3	7,9
Kupari	µg/l	40	69
Lyijy	µg/l	63	300
Nikkeli	µg/l	120	29
Sinkki	µg/l	2700	12000

Kanaalijätevesinäytteiden analyysituloksista nähdään odotetusti jäteveden laadun vaihtelevan myös näytteen keräystavasta riippuen. Kiintoaineena ja kolloidissa muodossa esiintyvät epäpuhtaudet laskeutuvat lattiakanaaleiden pohjalle ja lähempänä pintaa oleva kanaalivesi on laadultaan puhtaampaa. Kanaalijäteveden heterogeenisyydestä johtuen, edustavan näytteen kerääminen vaatii jäteveden sekoitusta. Ennen prosessin parametrien pysyvää säätämistä, saostuskokeita olisi syytä tehdä useita sarjoja laajemmalla ajanjaksolla kerätyillä jätevesinäytteillä.

5.5 Kanaalijäteveden esikäsittelylaitteiston koeajo

Koeajosta tehtyjen analyysien tuloksia verrattaessa jäteveden sisältämiin enimmäispitoisuuksiin, näyttää saostuskemikaali saostaneen kaikkia raskasmetalleja prosessiolosuhteissa. Koeajotilanteen kanaalijäteveden lähtölaatu on kuitenkin puhtaampi kuin purkkikokeina tehtyjen saostuskokeiden näytteen laatu. Koeajotilanteessa esikäsittelyn kanaalijäteveden lähtölaatu oli viemäröinti kelpoisen jäteveden laatuista. Käsittelemättömän ja esikäsittelyn kanaalijäteveden analyysitulokset ennen koeajon käynnistämistä ja yhden tunnin koeajon jälkeen. Tulokset taulukossa 11.

Taulukko 11. Prosessiolosuhteissa suoritetun koeajon analyysien tulokset. Analyysit teetettiin ulkopuolisessa laboratoriossa käsittelemättömästä ja käsitellystä kanaalijätevedestä koeajon aikana.

Suure	Yksikkö	Käsittelemätön kanaalijätevesi	Esikäsitelty kanaalijätevesi	Jäteveden sallitut enimmäispitoisuudet
ph		8.5	8.8	6–11
Sähkönjohtavuus	mS/cm	121	87,9	-
Elohopea	µg/l	<0,13	< 0,13	10
Tina	µg/l	<20	<20	-
Arseeni	µg/l	3,3	0,9	100
Kadmium	µg/l	5,8	2,1	10
Kromi	µg/l	10	6,4	1000
Kupari	µg/l	91	42	2000
Lyijy	µg/l	80	25	500
Nikkeli	µg/l	8,7	5,8	500
Sinkki	µg/l	510	130	3000

Koeajotilanteesta otetut näytteet eivät olleet täysin vertailukelpoisia keskenään, koska käsittelemätön kanaalijätevesinäyte on otettu koeajotilanteen alkaessa ja näyte permeaatista on kerätty 1 tunnin koeajon jälkeen. Esikäsiteltävän jätevedenlaatu on voinut vaihdella esikäsitelyprosessin aikana, johtuen kanaalijäteveden pinnan korkeuden muutoksista. Esikäsiteltävän jäteveden näyte olisi hyvä kerätä samalla ajanhetkellä kuin esikäsitellyn jäteveden näyte vertailukelpoisten tulosten saamiseksi. Koeajon aikana tarkasteltiin myös visuaalisesti saostussäiliöön muodostuvaa saostumaa (kuva 23).



Kuva 19. Vantaan Energian savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijäteveden esikäsittelylaitteiston koeajon aikana saostussäiliön pinnalle muodostunutta saostumaa.

Näkyvää saostumaa oli saostus säiliössä hetkittäin. Muodostuneet saostumat eivät vastanneet määrältään tai kokonsa puolesta laboratorio-olosuhteissa tehtyjen kokeiden muodostamaa saostumaa.

6 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli saada olemassa olevasta kanaalijätevedenkäsittelylaitteistosta toimintavarma kanaalijäteveden esikäsittelyprosessi. Toimintavarmalla prosessilla tarkoitetaan prosessia, joka täyttää jätevedelle asetetut laatuvaatimukset eikä esikäsittelylaitteiston käyttö kuormita henkilöstöä tarpeettomasti. Esikäsittelemättömän kanaalijäteveden analyysit osoittivat kanaalijäteveden laadun vaihtelun olevan suurta, kanaalijätevesi on jopa hetkittäin viemäröinnin raja-arvot alittava jätevesijae. Laboratoriomittakaavan saostuskokeissa selvitettiin kahden saostuskemikaalin kykyä saostaa raskasmetalleja kanaalijätevedestä. Saostuskokeiden tuloksia ja raskasmetallianalyysien tuloksia verrattaessa todettiin, että näillä saostuskemikaaleilla ei päästy laadullisesti tyydyttävään lopputulokseen kadmiumin ja sinkin saostuksen suhteen. Prosessiolosuhteissa suoritetun koeajon laadullinen raskasmetallianalyysi antoi rohkaisevia tuloksia saostusprosessin toimivuudesta, mutta tuloksia ei voida pitää täysin vertailukelpoisina esikäsiteltävän jäteveden laadullisten parametrien vaihtelevuudesta johtuen.

Koska kadmiumin ja sinkin saostumisen tapahtuu pH-alueella 9,1–9,8, pitäisi saostumista tutkia vielä laboratoriomittakaavan saostuskokeilla, joissa jätevesinäytteen pH-arvo säädetään alkaliselle tasolle. Näissä saostuskokeissa olisi oleellista teettää raskasmetallianalyysijä, että voidaan todentaa kadmiumin ja sinkin saostuminen kanaalijätevedestä. Referenssiksi olisi esikäsiteltävän jäteveden laatua tärkeää tutkia ennen saostuskokeita. Jos saostuskokeita jatketaan, olisi kustannustehokasta lähestyä kemikaalitoimittajia toimivan saostuskemikaalin löytämiseksi. Saostusprosessin rinnalle voitaisiin myös harkita haihdutusmenetelmää jäteveden konsentroimiseksi tai kalvosuodatustekniikkaa epäpuhtauksien poistamiseen. Jätevoimalaitoksen olosuhteet huomioon ottaen, uusien menetelmien ja laitteiden lisäämisen prosessiin voi olla tilan ja henkilökunnan vähäisyyden vuoksi haaste. Savukaasulauhteen käsittelyalueen kanaalijätevesien osalta on taloudellisesti ja teknisesti järkevää tutkia mahdollisuutta johdattaa kanaalijätevesi esimerkiksi savukaasulauhteen käsittelyprosessiin ja sitä kautta palauttaa prosessin lisävedeksi. Raskasmetallipitoisuuksien hallintaan

sopisi tässä tapauksessa esimerkiksi ultrasuodatus- tai aktiivihiihisiuodatusmenetelmä. Kanaalijätevesijakeen liittäminen olemassa olevaan prosessivesikiertoon on käyttökuormittavuudeltaan kevyempi vaihtoehto, kuin esikäsittelylaitteiston jatko kehittäminen.

Insinööriyö toimii hyvänä lähtökohtana kanaalijäteveden esikäsittelyn kehittämistyössä. Kanaalijätevesijakeelle löydettiin vaihtoehtoisia käsittelytapoja, joilla saavutetaan säästöjä prosessiveden käsittelyssä ja kulutuksessa sekä henkilöstön kuormituksessa.

Lähteet

- 1 Isoaho, Simo & Valve, Matti. 1986. Vesikemian perusteet. 2., tarkistettu painos. Helsinki: Otakustantamo.
- 2 Leppisaari, Joonas. 2017. Koagulaation ja flokkulaation optimointi teollisuuden pesujäteveden käsittelyssä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Trepo-tietokanta.
- 3 Bratby, John. 2016. Coagulation and Flocculation in water and wastewater treatment. 3.ed. E-kirja. London: IWA publishing.
- 4 Jätevoimala antaa roskalle uuden elämän. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/jatevoimala-antaa-roskalle-uuden-elaman/>>. Luettu 13.11.2021.
- 5 Selvitys polttolaitosten savukaasupesureiden jätevesien ja lietteiden laadusta, hyötykäytöstä ja siihen liittyvästä luvituksesta. 2016. Verkkoaineisto. Energiateollisuuden ympäristöpooli. <https://energia.fi/files/1442/Savukaasupesurit_raportti_201216.pdf>. Luettu 3.12.2021.
- 6 Vedenkäsittelyn laskurit. 2022. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- 7 Teollisuusjätevesi sopimus, jätevoimala. 2017. HSY. Helsinki.
- 8 Vantaan Energian jäteveden jatkokäsittely. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- 9 Vedenkäsittelyn toiminnankuvaus. 2014. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- 10 Vaarallinen jäte. Verkkoaineisto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. <<https://www.hsy.fi/jatteet-ja-kierratys/lajittelu/vaarallinen-jate>>. Luettu 2.1.2022.
- 11 Jäteveden kustannukset. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- 12 Vuorinen, Jani. 2021. Konseptipääällikkö. Adven Oy. Vantaa. Sähköposti 1.3.2022.

- 13 LAB:in alueen toiminnan kuvaus. 2014. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- 14 Analyysiraportti, prosessijätevesi. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy. Luettu 7.10.2021.
- 15 Kanaalijätevedet, tarkkailusuunnitelma. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- 16 Laimio, Johanna. 2021. Laboratorioinsinööri. Vantaan Energia Oy, Vantaa. Sähköposti. 12.7.2021.
- 17 Koivuniemi, Jenni. 2016. Teollisuuden jätevesien puhdistukseen liittyvän uuden teknologian kaupallistaminen. Insinööriyö. Savonia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 18 Ojaniitty, Kaisa. 2020. Savukaasulauhduttimen lauhdevesien käsittely ja hyötykäytön kehittäminen. Diplomityö. Tampereen yliopisto. Trepo-tietokanta.
- 19 Uusitalo, Mikko. 2018. Raskasmetallien saostusmenetelmän pH-optimointi. Insinööriyö. Turun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 20 Agglomeraatio. 2021. Verkkoaineisto. Tieteentermipankki. <<https://tieteentermipankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:agglomeraatio>>. Luettu 1.11.2021.
- 21 Kähkönen, Eelis. 2017. Polymeerit lietteen kuivauksessa. Verkkoaineisto. Kemira Oy. <<https://skvsy.fi/wp-content/uploads/2019/11/Polymeerit-lietteenkuivauksessa-Eelis-K%C3%A4hk%C3%B6nen-Kemira-Oyj-1.11.2017.pdf>>. Kemira. Luettu 7.11.2021.
- 22 Polymers for water treatment. Verkkoaineisto. Kemira Oy. <<https://www.kemira.com/products/chemical-flocculants/>>. Luettu 7.11.2021.
- 23 Kanaalivesilaitteiston käyttömäärä. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Vantaan Energia Oy.
- 24 Huhtiniemi, Sami. 2021. Application specialist. Solenis Finland Oy. Tampere. Sähköposti. 7.12.2021.
- 25 Vuorinen, Jani. 2021. Konseptipäällikkö. Adven Oy. Vantaa. Sähköposti 16.12.2021.

- 26 Chemical Flocculants. Verkkoaineisto. Kemira Oy.
<<https://www.kemira.com/products/chemical-flocculants/>>. Luettu 6.12.2021.
- 27 Kartsalo, Juha. Aluemyyntipäällikkö. 2020. Kemira Oy. Helsinki. Sähköposti 4.11.2020.
- 28 Siivonen, Kari. 2011. Saostuskemikaalien testaus jätevedenpuhdistusprosessissa. Insinööri työ. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 29 Taavitsainen, Veli-Matti. Koesuunnittelun peruskurssi. Oppimateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.