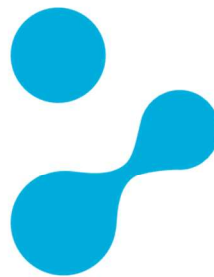


samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ELLINOORA HÖGERMAN

Vaihtoehtoisen saostuskemikaalin vaikutukset saostuksessa ja jälki- prosessissa

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN TUTKINTO-OH-
JELMA
2024

TIIVISTELMÄ

Högerman, Ellinoora: Vaihtoehtoisen saostuskemikaalin vaikutukset saostuksessa ja jälkiprosessissa
Opinnäytetyö, AMK
Energia- ja ympäristötekniikka
Kesäkuu 2024
Sivumäärä: 42

Opinnäytetyössä testattiin vaihtoehtoista saostuskemikaalia Pori Energian Ait-taluodon voimalaitoksen raakavedessä. Kattilalaitoksien vedenkäsittely on erittäin tarkkaa ja veden on täytettävä tiukat laatuvaatimukset. Voimalaitoksella on ollut ongelmia vedenlaadun kanssa erityisesti tulva-aikoina, jolloin voimalaitoksella raakavetenä käytettävä Kokemäenjoen vesi on ollut erityisen epäpuhdasta.

Vaihtoehtoisen saostuskemikaalin testausta varten suoritettiin kuppikokeita flokkulaattorilla, jonka avulla varmistettiin kemikaalin toimivuus vedessä, sekä selvitettiin tarvittava annosmäärä ja pH-vaste.

Kokeiden tulokset olivat todella hyviä ja vaihtoehtoinen saostuskemikaali toimi Kokemäenjoen vedessä huomattavasti paremmin, mitä käytössä oleva kemikaali. Testien perusteella vaihtoehtoisen saostuskemikaalin käyttöönotto on suositeltavaa ja sitä tulisi harkita.

Avainsanat: vedenpuhdistus, saostus, vesikemia

ABSTRACT

Högerman, Ellinoora: The effects of an alternative precipitant in the precipitation and post-process

Bachelor's thesis

Energy and Environmental Engineering

June 2024

Number of pages: 42

In the thesis, an alternative precipitation chemical was tested at Pori Energia's Aittaluoto power plant. The water treatment of the water used in the boiler is very precise and the water must meet strict quality standards. The power plant has had problems with water quality, especially during times of flooding. During these times, the water has been impure.

To test the alternative precipitation chemical, cup tests were performed with a flocculator, which ensured the functionality of the chemical in water, as well as the required dosage amount and pH response.

The results of the tests were really good, and the alternative precipitation chemical worked significantly better in the Kokemäenjoki river water than the current chemical. Based on the tests, the introduction of an alternative precipitation chemical is recommended and should be considered.

Keywords: water purification, precipitation, water chemistry

ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyön toimeksiantajaa Pori Energia Oy:tä todella mielenkiintoisesta aiheesta ja työhön liittyvien kokeiden mahdollistamisesta. Eri-tyinen kiitos työni ohjaajalle, käyttöinsinööri Kimmo Kurikalle. Kiitos Juho Silvastille, vesienkäsittely- ja LVI-mestarille kaikesta siitä, mitä hän on minulle voimalaitoksen vesienkäsittelystä opettanut. Suuri kiitos kuuluu myös Kemira Oyj:n laborantille Jonna Vanhaselle käytännön kokeiden toteuttamisesta ja hyvästä opetuksesta, sekä aluemyyntipäällikkö Maria Luhtalalle yhteistyöstä ja tuesta kokeisiin liittyen. Eri-tyinen kiitos tukena, opettajana ja voimalaitosmaailmassa esikuvana toimineelle käyttömestari Veli-Matti Koivuselle. Kiitos myös koko Aittaluodon voimalaitoksen käytölle, sekä sähköautomaation henkilöstölle tuesta ja avusta. Kiitos jokaiselle, joka mahdollisti ja auttoi opinnäytetyön toteuttamisessa.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 PORI ENERGIA OY	6
2.1 Aittaluodon voimalaitos	7
2.2 Kaanaan voimalaitos	8
2.3 Tytäryhtiöt ja osakkuusyhtiöt	8
3 AITTALUODON VOIMALAITOKSEN TOIMINTA	9
4 KOKEMÄENJOEN TILANNE JA SEN MUUTOKSET	11
4.1 Kokemäenjoen veden laatu	11
4.2 Jokivesi voimalaitokselle	14
5 VEDENPUHDISTUSPROSESSI JA SAOSTUSKEMIKAALIEN TOIMINTA VEDENPUHDISTUSPROSESSISSA	16
5.1 Saostusprosessi	17
5.2 Saostuskemikaalien käyttö yleisesti	18
5.3 Saostuskemikaalien toiminta	18
6 AITTALUODON VOIMALAITOKSEN VEDENPUHDISTUSPROSESSI	20
6.1 Mekaaninen vedenkäsittely	20
6.2 Saostuslaitos	21
6.2.1 Flokkaus	21
6.2.2 Flotaatio	22
6.3 Hiekkasuodattimet	24
6.4 Suolanpoistolinjat ja humussuodin	25
6.4.1 Humussuodin	25
6.4.2 Kationisuodin	26
6.4.3 Anionisuodin	26
6.4.4 Sekavaihdin	27
7 VERTAILTAVIEN SAOSTUSKEMIKAALIEN OMINAISUUDET	27
7.1 Polyalumiinikloridi	27
7.2 Ferrisulfaatti	28
7.3 Ferrisulfaatin edut Kokemäenjoen vedessä	29
8 KÄYTÄNNÖN KOKEIDEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	31
8.1 Ensimmäisen vaiheen kokeet	32
8.2 Toisen vaiheen kokeet	34
8.3 Täyden mittakaavan kokeet	36
9 KUSTANNUKSET	38
10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	39
LÄHTEET	41

1 JOHDANTO

Pori Energia Oy tuottaa Porissa sähköä, prosessihöyryä ja lämpöä Kaanaan ja Aittaluodon voimalaitoksilla. Lisäksi Pori Energia Oy tarjoaa monia eri energiapalveluja, kuten jäähdytystä ja tuulivoimapalveluja Satakunnassa. Opinnäytetyö käsittelee Aittaluodon voimalaitoksen vedenkäsittelyprosessia, erityisesti saostusta ja siihen liittyneitä ongelmia.

Saostusprosessissa käytössä olevasta vedestä poistetaan epäpuhtauksia käyttämällä apuna jotain saostuskemikaalia. Aittaluodon voimalaitoksella on ollut ongelmana heikko vedenlaatu, erityisesti runsas permanganaatin määrä, joka implikoi siitä, että saostusprosessi ei ole toiminut optimaalisesti. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää vaihtoehtoisen saostuskemikaalin vaikutuksia ja sitä, miten pohjaltaan täysin erilainen kemikaali saostaa käytössä olevaa raakavettä.

2 PORI ENERGIA OY

Porin kaupunki omistaa Pori Energia Oy:n kokonaan. Pori Energian liiketoiminta kattaa sähkön, lämmön, jäähdytyksen ja prosessienergian tuotannon, käynnissäpito- ja tuulivoimapalvelut, sekä lämmön ja viilennyksen jakelun. Pori Energia myy pääasiallisesti Satakunnan alueella energiaa ja energia-alan palveluja. (Pori Energia, 2023, s. 32)

Pori Energian tuottama kaukolämpö tuotetaan Porissa kahdella voimalaitoksella, Kaanaassa, sekä Aittaluodossa. Näillä voimalaitoksilla tuotetaan lämmön lisäksi myös sähköä. Sähkön ja lämmön yhteistuotanto hyödyntää polttoainetta erillistuotantoa enemmän ja hyötysuhde on korkeampi. Polttoaineet laitoksille tuodaan pääasiassa noin sadan kilometrin säteellä Porista. (Pori Energia, n.d.^a)

2.1 Aittaluodon voimalaitos

Aittaluodon voimalaitos sijaitsee Kokemäenjoen rannassa Porin keskustassa. Laitoksella tuotetaan kaukolämpöä Poriin, sekä Ulvilaan, prosessihöyryä Aittaluodon teollisuusalueen yrityksille, sekä Kupariteollisuuspuiston yrityksille ja sähköä Pori Energian asiakkaille. Voimalaitoksella on kaksi leijukerroskattilaa, joiden lämpöteho on yhteensä 206 MW. Leijukerroskattiloiden polttoaineena käytetään kotimaista puuta. Sähkö tuotetaan 15,6 MW generaattorilla. Laitoksen kaukolämpöteho on noin 100 MW. Aittaluodosta operoidaan Porin kaukolämpöverkoston ja huippulämpökattiloita. (Pori Energia, n.d.^a)

Aittaluodon voimalaitoksella on ympärivuotisessa käytössä uudempi kattila, A-kattila, jonka lämpöteho on 80 MW. Kattila otettiin käyttöön vuonna 2020. Kattilan yhteyteen rakennettiin savukaasulauhdutin, joka on teholtaan 20 MW. Kylmän ajanjakson aikana, sekä revision aikana Aittaluodossa on ollut ajossa toinen leijukerroskattila, RT-kattila, joka on teholtaan noin 90 MW. Kahden kattilan ajo kylmän ajanjakson aikana on varmistanut kaukolämmön tuottamisen Porin alueelle. Alla olevassa kuvassa (kuva 1) nähdään Aittaluodon voimalaitos. Kuvassa etualalla näkyy A-kattila ja sen takana RT-kattila, sekä voimalaitoksen vanha osa.



Kuva 1. Aittaluodon voimalaitos (Pori Energia).

2.2 Kaanaan voimalaitos

Kaanaan voimalaitos sijaitsee Meri-Porissa, Venatorin tehdasalueella. Voimalaitos on Porin Prosessivoima Oy:n omistama. Porin Prosessivoima Oy on Pohjolan Voima Oy:n tytäryhtiö. Biovoimalaitos valmistui vuonna 2008. Pori Energian henkilöstö vastaa voimalaitoksen käytöstä sekä kunnossapidosta. Laitoksella tuotetaan sähköä, kaukolämpöä Pori Energian kaukolämpöverkoon, sekä energiaa alueen teollisuudelle. Polttoaineena voimalaitoksella on mahdollista käyttää turvetta, puuta, hiiltä ja esikäsiteltyä hyvälaatuista kierrätyspolttoainetta. Voimalaitoksen generaattorin sähköteho on 78 MW. Kaukolämpöteho on noin 100 MW. (Pori Energia, n.d.^a)

Kaanaan voimalaitoksella on ympärivuotisessa käytössä yksi kiertoleijupeti-kattila, jonka lämpöteho on noin 180 MW. Alla olevassa kuvassa (kuva 2) nähdään kuva Kaanaan voimalaitoksesta. Voimalaitos näkyy sinisen väreissä kuvan etualalla.



Kuva 2. Kaanaan voimalaitos (Pori Energia).

2.3 Tytäryhtiöt ja osakkuusyhtiöt

Pori Energia omistaa täysin kaksi tytäryhtiötä, Pori Energia Sähköverkot Oy:n, sekä Tuulia Palvelut Oy:n. Pori Energia Sähköverkot Oy toimittaa ja jakelee

sähköä verkkoalueellaan. Tuulia Palvelut Oy tuottaa tuulivoima-alan palveluita. Lisäksi Pori Energian osakkuusyhtiöitä ovat Suomen Teollisuuden Energiapalvelut STEP Oy, Voimapato Oy, Kolsin Voima Oy ja One1 Oy. (Pori Energia, 2023, s. 32)

3 AITTALUODON VOIMALAITOKSEN TOIMINTA

Aittaluodon voimalaitoksessa käytetään raakavetenä Kokemäenjoen vettä. Joen laatu on sellaista, että siitä saadaan puhdistettua prosessin vaatimusten mukaista kemiallisesti puhdistettua vettä (kempu-vettä). Kemiallisesti puhdistettua vettä syötetään mm. suolanpoistolijnjoille, minkä jälkeen se on täyssuolanpoistettua lisävettä. (Vesi-Ihminen, 2018^a, s. 4). Lisäveden tulee olla lisäveden laatuvaatimusten mukaista. Lisävettä käytetään kattilakierrossa, sekä Poriin kaukolämpöverkostossa.

Aittaluodossa vesi kiertää kattilakierrossa ympärivuotisesti A-kattilassa. Lisäksi vesi kiertää satunnaisesti öljykäyttöisessä apukattilassa ja talven kylmimpinä aikoina, sekä revision aikana RT-kattilassa. Kattilaveden laatu on oltava ensiluokkaista, jotta kattiloiden putkistoja pystytään suojaamaan. Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) nähdään lisäveden ohjearvoja saksalaisen luokitustieteen VGB mukaan.

Taulukko 1. Lisäveden ohjearvot VGB:n mukaan (KL-Lämpö, 2021).

Silikaatti	mg SiO ₂ /l	< 0,02
Rauta	mg Fe/l	< 0,02
Kupari	mg Cu/l	< 0,003
Na ja K	mg/l	< 0,01
pH		6,5 - 7,5
Johtokyky	µS/cm	< 0,1
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	< 3
Kokonaiskovuus	mval/l	< 0,02

Alla olevassa taulukossa (taulukko 2) nähdään Aittaluodon voimalaitoksen lisäveden parametrejä.

Taulukko 2. Aittaluodon voimalaitoksen lisäveden parametrit (KL-lämpö, 2021).

Johtokyky	mS/m	< 0,008
Silikaatti	µg/l	< 5
Natrium	µg/l	< 3
Rauta	µg/l	< 5
TOC	µg/l	< 200
Kloridi	µg/l	< 3
Sulfaatti	µg/l	< 3

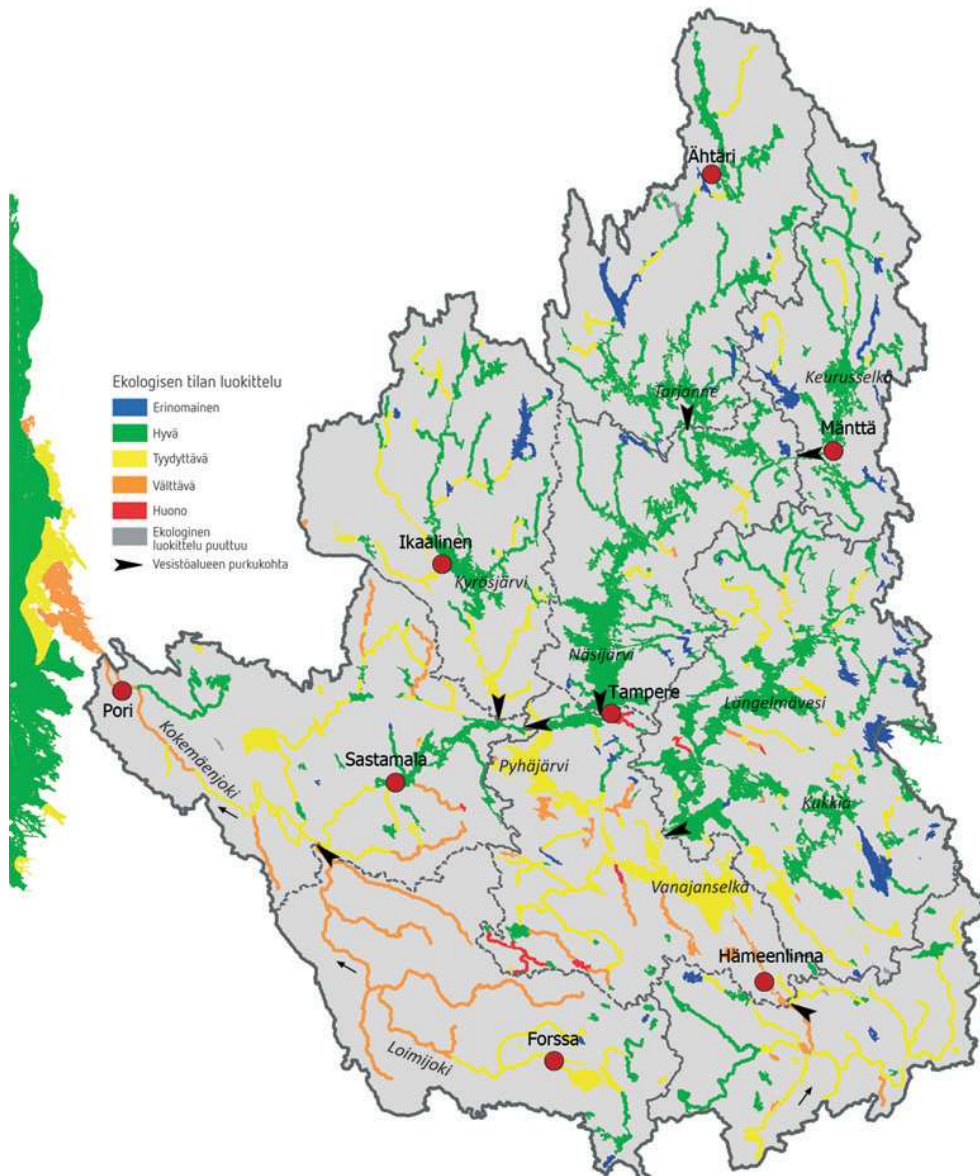
Erytisesti Aittaluodon voimalaitoksen lisäveden parametrien taulukosta huomataan, kuinka pieniä pitoisuuksia epäpuhtauksia lisävedessä sallitaan. Jo pienet muutokset arvoissa vaativat toimenpiteitä, sillä muuten kattilan putkistoihin voi muodostua kerrostumia, saostumia tai syöpymiä.

4 KOKEMÄENJOEN TILANNE JA SEN MUUTOKSET

4.1 Kokemäenjoen veden laatu

Kokemäenjoki luokitellaan Suomen yhdeksi merkitsevimmistä jokivesistöistä. Se on viidenneksi suurin jokivesistö. Joen kokonaispituus on 112 km ja pudotuskorkeus on 57,5 m. Kokemäenjoki alkaa Vammalasta Liekoveden luusuasta, josta se kulkee Äetsän, Huittisten, Kokemäen ja Harjavallan kautta Poriin. Joki laskee Pihlavanlahden kautta Selkämereen. (ELY-keskus. n.d.)

Jokiveden laatu on muuttunut suuresti historian aikana. Heikointa laatu oli 1970-luvulla, jolloin veden laatu oli jopa erittäin huonoa. Suurena syynä tähän olivat joen varrella toimivat selluloosatehtaat. Ne lopettivat toimintansa 1980-luvun puolessa välissä, jolloin myös Kokemäen joen veden laatu parantui selvästi. Nykyisin joen veden laatu on sen yläosissa hyvä, mutta alaosissa tyydyttävä. Laatu kuitenkin vaihtelee erityisesti runsaiden sateiden ja sulavesien aikana, jolloin vesi on hyvin sameaa ja ravinnepitoisuudet nousevat. (ELY-keskus, n.d.). Alla olevassa kuvassa (kuva 3) nähdään Kokemäenjoen vesistöalueen ekologinen luokitus vuodelta 2013. Ekologisen tilan luokitus vertaa joen tilaa sen luonnolliseen tilaan, eli tarkastelussa on joen biologinen laatu (Suomen ympäristökeskus, 2019).

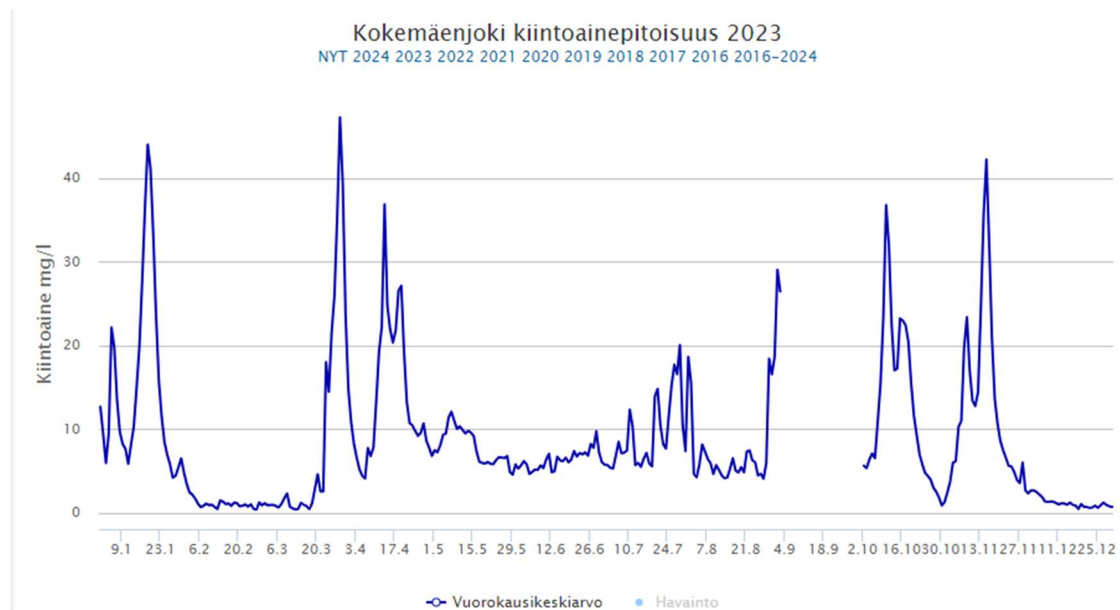


Kuva 3. Kokemäenjoen vesistöalueen ekologinen luokitus (Suomen ympäristökeskus ja ELY-keskukset, 2013).

KVVY (Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys) tarkkailee joen veden tilaa ja muutoksia. Tarkkailua on tehty aina 1970-luvulta asti. Kokemäenjoen veden laadun heikkeneminen joen keskivaiheilla johtuu Loimijoen runsasravinteisten ja sameiden vesien yhtymisestä Kokemäenjokeen. Vaikka Kokemäenjoen veden laatu on kohentunut ajan saatossa, arvioidaan se yhä joen alaosissa välttäväksi. Isoimmat haasteet vesien tilan parantamiselle tuovat maataloudesta ja haja-asutuksesta aiheutuvat kuormitukset. Ne tulisi saada vähentymään. (KVVY, n.d.)

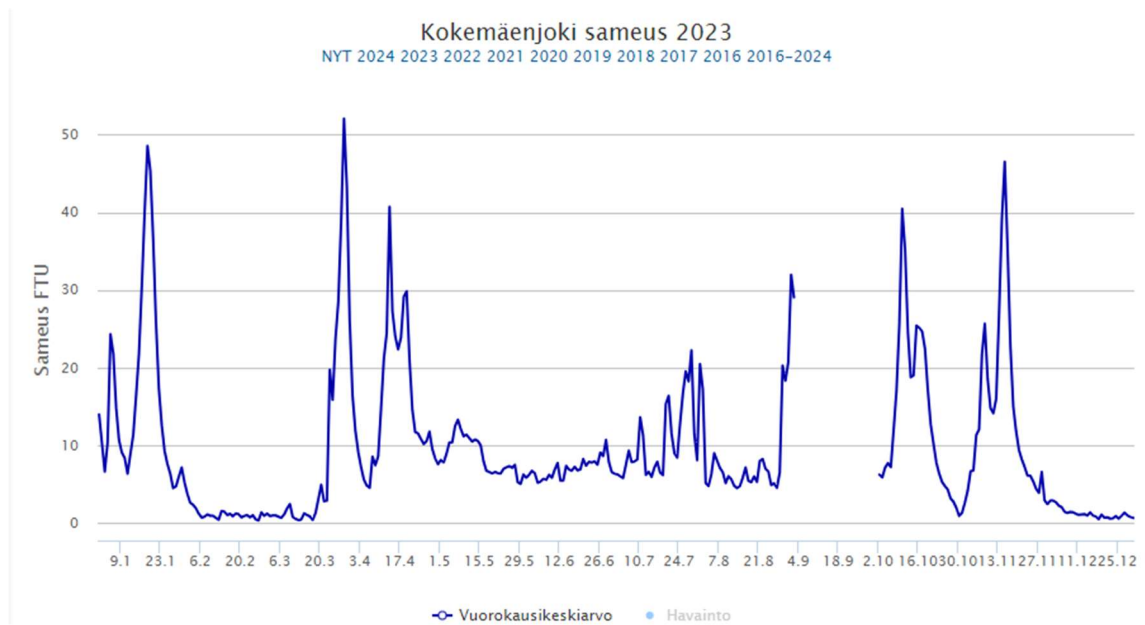
Kokemäenjoen veden laatu on jatkuvien mittausten ja tarkkailun alla. Porissa vedenlaatumittari on asennettu kaupungin keskustan alueelle. Mittaukset aloitettiin vuonna 2016. (Vesimittari, n.d.). Alla olevassa taulukossa (taulukko 3) nähdään Kokemäenjoen kiintoainepitoisuus vuonna 2023. Kiintoaineksen määrässä on selvä nousu alkuvuodesta, sekä maaliskuun ja huhtikuun aikana. Tämä selittyy sulavesien runsaana valumisena jokeen. Seuraavaksi kiintoaineksen määrän nousu tapahtuu lokakuussa ja marraskuussa, kun syksyn sateet aiheuttavat valumia ja jokeen ei ole vielä muodostunut sitä suojaavaa jääkerrosta.

Taulukko 3. Kokemäenjoen kiintoainepitoisuus 2023 (Vesimittari).



Alla olevassa taulukossa (taulukko 4) nähdään Kokemäenjoen sameus vuonna 2023. Sameus nousee yhtäläisesti talven sulavesien aikaan, sekä syksyn sateiden aikaan. Yhdessä kiintoaineen ja sameuden nousemisen kanssa nousevat joessa myös fosforipitoisuus, typpipitoisuus, nitraattityppipitoisuus ja orgaanisen kokonaishiilen pitoisuus (Vesimittari, 2023). Juuri nämä sulavesien, sekä sadevesien ja jäätömän ajan vedenlaadun heikkenemiset aiheuttavat ongelmia voimalaitoksen vedenkäsittelyssä, erityisesti saostuksessa ja suolanpoistossa.

Taulukko 4. Kokemäenjoki sameus 2023 (Vesimittari).



4.2 Jokivesi voimalaitokselle

Aittaluodon voimalaitoksella käsitellyn täyssuolapoistetun veden laatu on ollut huonoa ja koko vedenkäsittelyprosessin toiminta on ollut epäluotettavaa. Veden laatu on heitellyt ja ero raja-arvoihin on ollut ajoittain huima korkean sulfaatti- ja kiintoainepitoisuuden vuoksi. Prosessin kannalta isoin haaste on ollut Kokemäenjoen veden laadun suuri vaihteluväli. (Vesi-Ihminen, 2018^a, s. 1, 4–5)

Vaikka Kokemäenjoen tilanne on historian saatossa parantunut, on joen laatu yhä Porin kohdalla heikko. Tilanne huononee oleellisesti keväisin ja syksyisin, jolloin Aittaluodon voimalaitoksen vedenpuhdistuksessa on ollut huomattavia haasteita ja täydellinen puhtaus on ollut mahdotonta saavuttaa. Tilanne on ollut erityisen huono leutoina talvina, jolloin Kokemäenjokeen ei ole muodostunut pysyvää jääkantta. Tällöin vedenlaatu on ollut huonoa läpi talven, kun vesisateet ja sulavedet pääsevät jatkuvasti valumaan jokeen. Hetkelliset heikon vedenlaadun aiheuttamat ongelmat pystytään korjaamaan ja niihin voidaan vaikuttaa. Pidempiaikaiset syksyn tai kevään mittaiset jaksot taas aiheuttavat pysyviä ongelmia voimalaitokselle, jos vettä ei saada puhdistettua laatuvaatimusten mukaisesti.

Järvivedet ja jokivesi eroavat huomattavasti toisistaan, sillä järvivedet läpikäyvät huomattavan seurannon biologisen ja orgaanisen aineen kasvun suhteen, kun taas jokivedessä merkitsee enemmän se, miten savi, kiintoaine, siltti, siliikaatit ja niiden mukanaan liikuttamat mineraalit vaihtelevat eri olosuhteissa. Joen alajuoksulla tai rauhallisen virtauksen kohdissa veden vaihtelut muistuttavat järviveden laadun vaihteluita. Kokemäenjoessa liikkuu paljon kiintoainetta, mutta sen lisäksi myös sulfaattia, sillä alueella on sulfaattimaaperä. (Vesi-Ihminen, 2018^a, s. 5). Alla olevassa taulukossa (taulukko 5) nähdään Aittaluodossa käytetyn raakaveden laatu vedenkäsittelyn kannalta keskeisien parametrien osalta vuosilta 2017–2018 ja vuodelta 2003, jolloin voimalaitoksella suoritettiin takuuajoja.

Taulukko 5. Kokemäenjoen laatu, sekä takuuajon aikainen laatu. Aittaluodon raakavesi. (Vesi-Ihminen, 2018^a)

Raakavesi		2017-2018	Takuuajo 2003
pH		6,7 – 7,4	7,0
johtokyky	µS/cm	110 – 134	100
KMnO ₄	mg/l	34 – 50	35
kovuus	°dH	1 – 2	-
SiO ₂	mg/l	1,0 – 4,2	-
rauta	mg/l	0,5 – 2,0	-
kiintoaine	mg/l	1,5 – 16,0	-
sameus	FNU	3,2 – 32,0	4,3
kloridi	mg/l	3,4 – 6,3	5,6
väri	mg/l Pt	40 – 100	40
TOC	mg/l	9,0 – 11,0	-
SO ₄	mg/l	10,0 – 24,0	17,0
Ca	mg/l	6,3 – 8,0	6,2
Na	mg/l	4,0 – 12,0	8,0

Parametrit ja niiden merkitys:

- pH kuvaa luonnon veden CO₂/HCO₃ tasapainoa ja biologista tuotantoa.
- Johtokyky kuvaa vedessä olevia liuenneita, ionisoituneita yhdisteitä.
- KMnO₄ ja TOC kuvaavat orgaanisen aineen määrää.
- Kiintoaine ja sameus kertovat kiintoaineen ja kolloidin määrästä. Eli kertovat eroosiosta ja miten paljon maa-ainesta on veteen huuhtoutunut.

- Silikaatti, rauta, kalsium jne. maa-aineksen mukana kulkevia.
(Vesi-Ihminen, 2018^a, s. 4)

Taulukko tuo esiin raakaveden suuren laatuvaihtelun erityisesti kiintoaineen, sameuden ja sulfaattipitoisuuden suhteen. Laatu voi jokivedessä vaihdella hyvinkin nopeasti, eikä laatuvaihtelu välttämättä ole aina ennustettavissa. Äkilliset muutokset veden laadussa vaativat aina kemikaalien syötön muutoksia, jotka saadaan alueelleen vasta kokeiluiden jälkeen. Kemikaalin syötön muutokset näkyvät prosessissa viiveellä, joten muutokset tulee tehdä hallitusti ja vesiarvojen seurantaan on hyvä tällöin panostaa erityisen paljon.

5 VEDENPUHDISTUSPROSESSI JA SAOSTUSKEMIKAALIEN TOIMINTA VEDENPUHDISTUSPROSESSISSA

Lämpövoimalaitosten vedenkäsittely on aina ollut laitosten elinehto, koska se estää likaantumista, eroosiota, korroosiota ja pintojen rikkoutumista. Laitosten ja teholuokkien kasvaessa myös laatuvaatimukset kasvavat. Yhä korkeammat lämpötilat ja paineet vaativat puhtaampaa vettä, sillä jo pienten epäpuhtauksien aiheuttamat vauriot korostuvat vaativissa olosuhteissa. (Pure Water Group, n.d.)

Yhä useammin voimalaitokset sijoitetaan jokien suistoille tai rannikolle, joiden vesistä voimalaitokset ottavat veden, joka puhdistetaan voimalaitoksen tarpeita vastaavaksi. Vedet sisältävät alueesta riippuen eri mineraaleja ja epäpuhtauksia, jotka käyttäytyvät jokainen omalla tavallaan kuumissa olosuhteissa. Esimerkiksi kalsium ja magnesium liuoksessa tuottavat hiilidioksidia ja saostumia, jotka pahimmillaan tuottavat jopa lietettä kattilan pinnoille. Silikaatti taas on todella liukeneva ja voi kulkeutua jopa höyryn mukana kattilassa ja turbiinissa. (Pure Water Group, n.d.). Vedenpuhdistusprosessi esimerkiksi jokivedestä lisävesilaatuiseksi vedeksi on monivaiheinen ja mutkikas prosessi, mikä vaatii jatkuvaa tarkkailua ja kehittämistä. Apuna käytetään monia eri

menetelmiä ja kemikaaleja. Saostusprosessi on yksi vedenpuhdistusprosessin tärkeimmistä osista. Ilman onnistunutta saostusta on mahdotonta tehdä puhdasta vettä, sillä saostuksesta eteenpäin siirtyneet epäpuhtaudet kulkeutuvat usein suoraan kattilaan tai pahimmillaan jopa turbiiniin asti, koska jälkiprosessin puhdistusmenetelmät eivät kykene poistamaan karanteita epäpuhtauksia. Prosessin monimutkaisuutta ja tarkkuuta kuvaa se, miten ruskeasta jokivedestä, joka sisältää roskia ja satoja epäpuhtauksia saadaan vettä, joka on täysin kirkasta ja ei sisällä paljoakaan muuta, kuin H₂O-molekyylejä.

5.1 Saostusprosessi

Saostuksessa veden epäpuhtauksia kootaan suuremmiksi partikkeleiksi eli hiutaleiksi jonkin saostuskemikaalin avulla. Saostuskemikaali on epäorgaanista kemikaalia ja sen toiminta perustuu alumiinisuoloihin tai rautasuoloihin. Muodostuneet partikkelit poistetaan vedestä jollain puhdistusmenetelmällä, kuten suodatuksella, flotaatiolla tai selkeytyksellä. (Vesilaitosyhdistys, 2020, s. 8). Flotaatio on todella vanha erotuksen menetelmä, jota käytettiin jo 1900-luvun alussa. Silloin vedestä erotettiin epäpuhtauksia kaasukuplien avulla, kun taas nykyään apuna käytetään ilmakuplia. (Fuerstenau, ym., 2007, s. 3).

Aittaluodossa saostuksessa muodostuneet partikkelit poistetaan flotaation avulla ylijuoksutuksena. Saostuskemikaalista muodostuvat alumiiniflokkit taas jäävät hiekkasuodattimiin ja ne poistetaan suotimista vastavirtahuuhtelun avulla.

Se, miten saostus toteutuu, riippuu käytettävästä saostuskemikaalista, sen annostuksesta, veden pH:sta, sekoituksesta ja lämpötilasta. Lisäksi saostukseen vaikuttaa orgaanisen aineen koostumus, hydrofobisuus, partikkelikoko ja varaustilasto. Saostusprosessi itsessään perustuu moniin eri ilmiöön, kuten adsorptioon, kompleksien muodostumiseen, varausten neutralointiin ja tarttumiseen. (Vesilaitosyhdistys, 2020, s. 9)

Voimalaitoksella saostukseen tuleva vesi lämmitetään noin 21 °C:een. Veden pH:n säätö on asetettu 5,8–6,2 ja säätävänä kemikaalina jo aikaisemmin mainittu lipeä. Useimmiten pH on tasolla 5,85. Kemikaalin vaihto voi vaatia myös pH-tason säätöä, jotta vaihtoehtoinen kemikaali toimisi mahdollisimman optimaalisesti. Sameus pyritään pitämään noin 0,5 NTU:n tasolla.

5.2 Saostuskemikaalien käyttö yleisesti

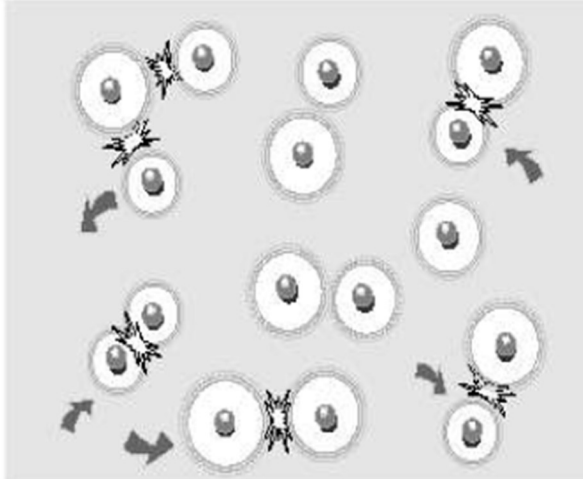
Saostukseen käytetään kemikaaleja monissa eri vedenpuhdistusprosesseissa, kuten talousveden tuotannossa tai jätevesien puhdistamisessa. Käytettävät kemikaalit ovat hyvin kriittisiä puhtaan veden tuotannossa. Niitä voidaan käyttää poistamaan humusta tai fosforia. Porin Venatorin titaanioksiditehdas tuotti ennen paloa rautapohjaisessa saostuskemikaalissa käytettävää ferrosulfaattia. Nykyisin saostuskemikaalien tuotanto pohjautuu kiertotalouteen. (Vesilaitosyhdistys, 2020, s. 8)

Metallikoagulantit ovat hyvin perinteisiä ja yleisiä metallisaostuskemikaaleja. Niiden käyttäminen saostuksessa on vaaratonta, kustannukset ovat matalia ja valinta on helppoa, sillä kemikaaleja ei ole montaa. (Vesi-lhminen, 2018^a, s. 6).

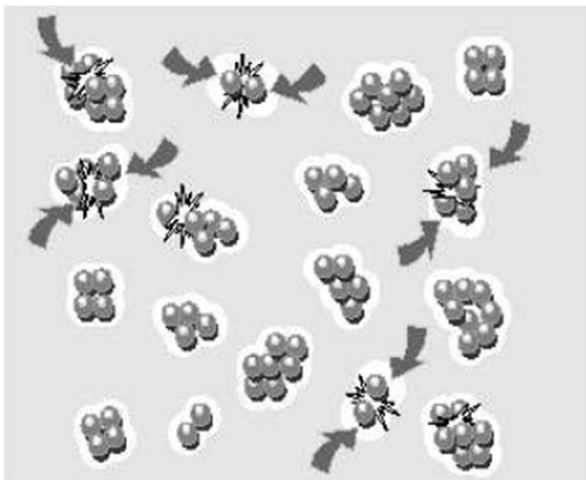
5.3 Saostuskemikaalien toiminta

Koagulointi tarkoittaa yleisesti saostumista, hyytymistä tai hiutaleen muodostumista. Saostusprosessissa koaguloinnilla tarkoitetaan sähköisen kaksoiskerroksen neutralointia kolloidin ympäriltä. Tällöin kolloidin zeta-potentiaali pienenee tarpeeksi, jotta hiukkanen agglomeroituu, eli kasautuu. Koagulaatioon voidaan käyttää rauta- tai alumiinipohjaisia saostuskemikaaleja, tai siihen voidaan käyttää kationisia polymeerejä, jotka omaavat pienen molekyylipainon. Saostuskemikaaleja ja polymeerejä on mahdollista käyttää myös yhdessä. Yhdessä käytettynä kationiset polymeerit neutraloivat varauksia ja kasvattavat näin muodostuneen flokin kokoa, sekä myös vähentävät rauta- tai alumiinipohjaisen saostuskemikaalin syöttötarvetta. (Vesi-lhminen, 2018^a, s. 6).

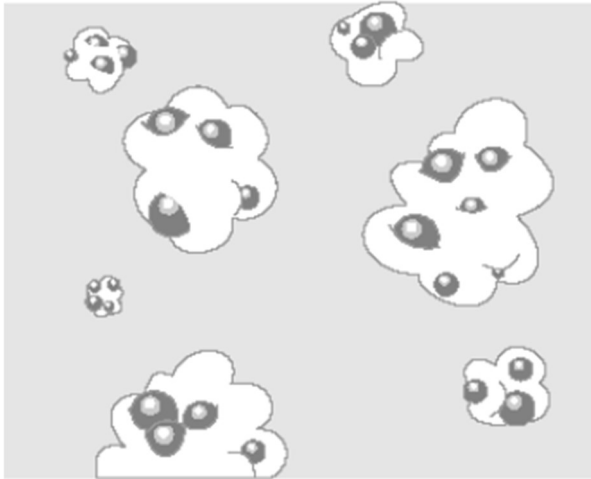
Alla olevissa kuvissa (kuvat 4–6) havainnoidaan yksinkertaisesti pintavarauksien neutralointia, yhteenliittymien muodostumista ja niiden kiintymistä sakkään.



Kuva 4. Varautuneet partikkelit hylkivät toisiaan (Vesi-Ihminen, 2018^b).



Kuva 5. Kun varaukset on poistettu, partikkelit törmäävät ja muodostavat yhteenliittymiä (Vesi-Ihminen, 2018^b).



Kuva 6. Yhteenliittymät pyyhkiytyvät sakan sekaan, josta ne poistetaan esimerkiksi ylijouksutuksella (Vesi-Ihminen, 2018^b).

Aittaluodon voimalaitoksella on käytetty kevät- ja syystulvien aikana saostuksen apuna polymeeriä. Ilman polymeerin käyttöä yhteenliittymiä ei ole muodostunut tarpeeksi tehokkaasti veden ollessa hyvin epäpuhdasta. Epäpuhtaudet ovat tällöin päässeet etenemään prosessissa ja aiheuttaneet ongelmia. Alumiinipohjaisen saostuskemikaalin vaihto rautapohjaiseen voisi mahdollistaa myös polymeerin käytöstä luopumisen, mikä toisi kustannussäästöjä ja vähentäisi kemikaalien määrää prosessissa. Esimerkiksi STEP Oy:n Kaanaan vesilaitoksella on voitu luopua kokonaan polymeerin syötöstä, kun saostuskemikaali muutettiin alumiinipohjaisesta rautapohjaiseen (STEP Oy, 2023).

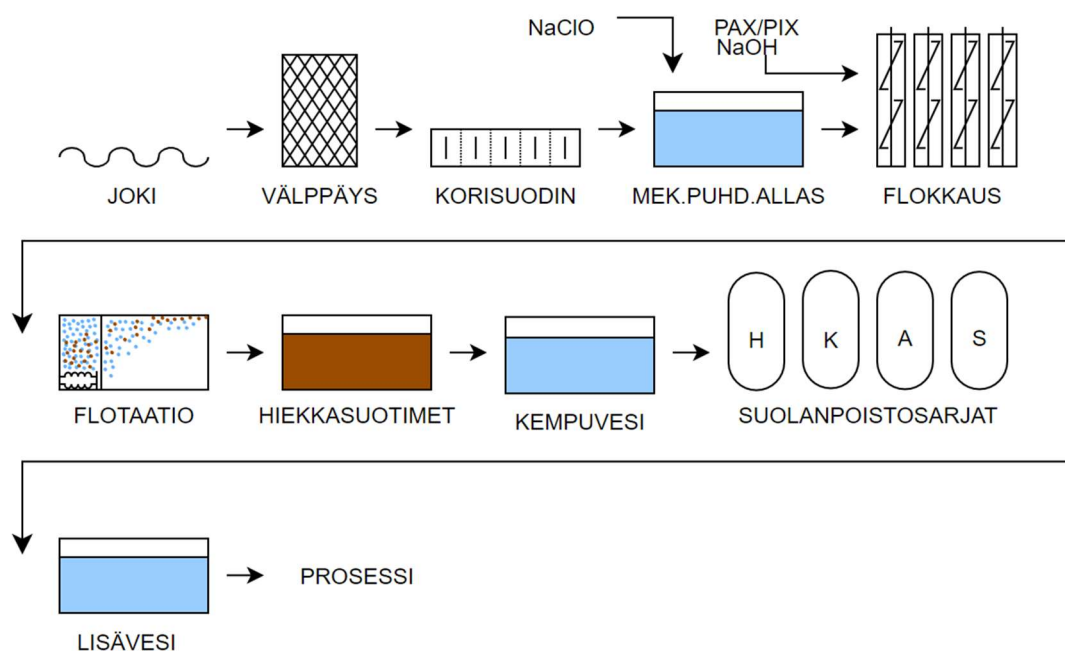
6 AITTALUODON VOIMALAITOKSEN VEDENPUHDISTUSPROSESSI

6.1 Mekaaninen vedenkäsittely

Mekaaninen vedenkäsittely tarkoittaa vedenkäsittelyprosessin alkupäässä olevaa karkeaa käsittelyä, jossa vedestä poistetaan isoimmat roskat ja partikkelit väljän tai suotimen avulla. Aittaluodon voimalaitoksella on Kokemäenjoen rannassa oma rantapumppaamo, josta vettä pumpataan voimalaitokselle. Rantapumppaamolla on kolme pumppua. Vesi kulkee pumppuille mekaanisen

väljän läpi, joka kerää suurimmat roskat, kalat ja muut partikkelit, joita veden mukana tulee.

Rantapumput pumppaavat raakaveden kemiallisen vedenkäsittelyn altaaseen. Ennen allasta on 115 µm tiheä korisuodin (KL-lämpö, 2021, s. 58), joka suodattaa pienemmät partikkelit vedestä. Altaaseen syötetään natriumhypokloriittia (NaClO), joka tappaa orgaanisen aineksen vedestä. Veden vapaan kloorin pitoisuus tulisi pitää 0,1–0,3 mg/l. Vapaan kloorin määrä mitataan erillisen mittarin avulla satunnaisesti. Alla olevassa kuvassa (kuva 7) nähdään Aittaluodon vedenpuhdistusprosessi kokonaisuudessaan.



Kuva 7. Aittaluodon vedenkäsittelyprosessi yksinkertaisesti kuvattuna.

6.2 Saostuslaitos

6.2.1 Flokkaus

Flokkaus, eli flokkulaatio, on prosessi, jossa vedessä olevat epästabiilit hiukaset kasataan yhteen. Prosessissa käytetään apuna nopeaa sekoittamista, joka aiheuttaa flokkien tarttumisen toisiinsa. (Bratby, J., 2016, s. 6 ja 315). Aittaluodossa flokkusaltaita on neljä kappaletta ja ne ovat yhteydessä toisiinsa.

Jokaisessa altaassa on mekaaninen hämmennin, jotka pyörivät ensimmäisestä altaasta katsottuna nopeasta hitaimpaan pyörimisnopeuteen. Pyörimisnopeuden muutoksella pystytään takaamaan flokkikoon tasainen kasvu. Altaissa olevat sekoittimet mahdollistavat erillisen flokkulantin eli polymeerin annostelun ilman erillistä sille tarkoitettua sekoitinta. Polymeerin syöttö kasvattaa flokin kokoa ja sitä voidaan käyttää apuna tilanteissa, jossa Kokemäenjoen veden laatu heikkenee merkittävästi, eli esimerkiksi tulva- tai sade-eroosion aikana. (Vesi-Ihminen, 2018^a, s. 5–6)

Aittaluodon voimalaitoksella flokkausaltaissa on saostuskemikaalina käytössä alumiinipohjainen polyalumiinikloridi. Kemikaali ei ole toiminut optimaalisesti, eikä se ole kyennyt saostamaan vettä täysin puhtaaksi erityisesti kevään ja syksyn aikana.

Käytettävän saostuskemikaalin annostus on keskimäärin 0,54 mg Al/TOC ja 0,16 mg Al/KMnO₄. Annostusmäärä on normaali, mutta käytettävä kemikaali ei ole paras mahdollinen. Kemikaalin syöttöä voi lisätä, mutta asteittain, sillä muuten liukoisen alumiinin osuus voi kasvaa ioninvaihdon kannalta liian suureksi (> 0,2 mg/l). Polymeeriä voidaan syöttää alumiinipohjaisen saostuskemikaalin apuna, mutta rautapohjaisen kemikaalin käyttöönottoa tulisi harkita. (Vesi-Ihminen, 2018^a, s. 8). Rautapohjaiseen kemikaaliin siirtymistä on siis suositeltu jo vuonna 2018 tehdyn selvityksen perusteella.

6.2.2 Flotaatio

Flotaatio on prosessi, jossa erotellaan materiaaleja toisistaan hyödyntämällä materiaalien erilaisia pintaominaisuuksia ja materiaalin käyttäytymistä veden kanssa. Erottaminen tapahtuu esimerkiksi pienten ilmakuplien avulla, jotka kylläyttävät materiaalin veden pinnalle, josta se saadaan poistettua. (Gao, Z. 2020, s. 4 ja 6). Aittaluodossa flotaatioaltaita on kaksi kappaletta ja ne ovat rinnakkain, mutta erillään. Vesi tulee flotaatioaltaisiin syvistä flokkausaltaista kourua pitkin. Altaiden välissä on kaksi rinnakkaista nousukartiota, joissa on dispersioveden sekoitussuuttimet. Liette poistuu flotaatioaltaan pinnalta kouruja pitkin

viemäriin. Lietteen oikea-aikainen poistaminen on tärkeää, jotta lietekerros ei kasva liian suureksi, jolloin kerroksen alaosasta pääsee karkaamaan flokkia takaisin saostetun veden sekaan. Flotaatioaltaisiin saapuva vesi kulkee noususolan kautta selkeytystilaan. Noususolassa veteen sekoitetaan suuttimien avulla dispersiovesi, joka on veden ja paineilman kylläistä liuosta. Paineilma vapautuu dispersiovedestä ja ilman mikrokuplat tarttuvat muodostuneisiin flokkihiutaleisiin, jota kuplat kuljettavat kohti pintaa. Näin flotaatioaltaan pinnalle muodostuu lietekerros, joka poistetaan ylijuuksutuksella viemäriin ja vesi pääsee kirkastumaan, kun se virtaa alaspäin. (Vesi-Ihminen, 2018^a, s. 9). Alla olevassa kuvassa (kuva 8) nähdään Aittaluodon voimalaitoksen kaksi flotaatioalasta.



Kuva 8. Aittaluodon voimalaitoksen flotaatioaltaat. Pinnalla näkyy ylijuuksulla poistettavat epäpuhtaudet. Vaaleammat kohdat pinnalla ovat ilmakuplia.

Ylijuoksutuksesta huolimatta flotaatioaltaiden pohjalle kertyy sakkaa. Flotaatioaltaat tulee aika-ajoin tyhjentää ja pestä, jotta sakan kertyminen ei pääse vaikuttamaan prosessiin. Samalla pestään myös syvät flokkausaltaat ja flokkausaltaiden sekoittimet. Altaat tulee pestä vähintään kaksi kertaa vuodessa, aina kevät- ja syystulvien jälkeen.

6.3 Hiekkasuodattimet

Hiekalla täytetyt suodatinaltaat suodattavat niiden läpi valuvan veden. Vesi kulkeutuu painovoiman avulla hiekkapatjan läpi. Suodatus perustuu hiekan raekoiden kykyyn sitoa kiintoaineita ja kolloideja kemiallisten ja fysikaalisten ilmiöiden avulla. Tärkein mekanismi hiekkasuodatuksessa on fysikaalinen adsorptio. Hiekka on raekooltaan suhteellisen isoa, mutta se kykenee poistamaan todella pieniä 20–40 µm kokoisia partikkeleita vedestä. Suodatuksen onnistuminen perustuu sopivaan lineaariseen suodatusnopeuteen. Liian suuri suodatusnopeus johtaa epäpuhtaaseen tulokseen, mutta alinta toimivaa virtausnopeutta ei ole. Tärkeää on myös suodattimien puhdistus, eli huuhtelut. Huuhtelut voidaan suorittaa vedellä tai vesi-ilmaseoksen avulla. Huuhteluissa on tärkeää varmistaa se, että hiekkapatjasta poistuu kaikki kiintoainekset ja huuhtelut ovat oikein ajoitettuja. Jotta huuhtelu olisi onnistunut, tulisi hiekkapatjan paisua ainakin 10 %. Hiekkapatjan paisumisen aikana huuhteluveden virtauksen lisäksi huuhtelua tehostaa hiekkapartikkeleiden hankautuminen toisiinsa. (Vesilminen, 2018^a, s. 10)

Aittaluodossa hiekkasuodattimia on yhteensä kolme kappaletta, joista kaksi on jatkuvassa ajossa. Käytössä olevat hiekkasuodattimet suodattavat veden kemiallisesti puhdistetun veden säiliöön, joka sijaitsee hiekkasuodattimien alapuolella. Kolmas hiekkasuodatin on ollut rikkoutumisen vuoksi poissa käytöstä. Hiekkasuodattimien huuhtelussa on ollut aikaisemmin ongelmia, jolloin huuhtelu ei ole poistanut kaikkea kiintoainesta.

Hiekkasuodatettu, eli kemiallisesti puhdistettu vesi ei ole täyttänyt Aittaluodon voimalaitoksen vaadittua laatua. Erityisesti tavoitearvot ylittää orgaaninen aine (KMnO_4). Orgaanisen aineen tavoitearvo on $< 10 \text{ mg/l}$ ja sen tulisi toteutua jatkuvasti. Tässäkin tapauksessa saostuskemikaalin vaihto alumiinipohjaisesta rautapohjaiseen, sekä pH-tason pudottaminen parantaisi prosessin toimintaa. (Vesi-lhminen, 2018^a, s. 11)

6.4 Suolanpoistolinjat ja humussuodin

Aittaluodossa suolanpoisto toteutetaan suolanpoistolinjoilla. Käytössä on vahva kationi, heikko anioni ja vahva anioni. Kationi ja anionivaihtimen perässä on sekavaihdin, joka toimii ns. poliisivaihtimena. Suolanpoistolinjoilla on virtausmäärään perustuvat ajojaksot, minkä jälkeen linjat elvytetään. Suolanpoistolinjojen toiminta perustuu hartsien ioninvaihtoreaktioihin. Elvytyksien aikana hartseihin ajotilanteessa sitoutuneet ionit poistetaan hartseista hapon tai lipeän avulla. Kationivaihtimet elvytetään hapolla (H_2SO_4) ja anionivaihtimet elvytetään lipeällä (NaOH). (Vesi-lhminen, 2018^a, s. 11)

Suolanpoiston avulla pystytään vaihtamaan anionit, kationit, ionisoituneet orgaaniset aineet ja ionisoituneet polymeerit. Sen avulla ei kuitenkaan pystytä vaihtamaan liuenneita kaasuja, likaa, ruostetta, mikrobeja, öljyä, sokeria ja osaa humuksesta. (KL-lämpö, 2021, s. 73)

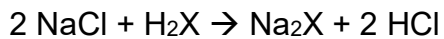
6.4.1 Humussuodin

Humussuodin on suodattimena ennen varsinaista suolanpoistolinjaa. Humussuodin poistaa orgaanista ainesta ja helpottaa näin suolanpoistolinjojen toimintaa. Suodattimessa on vahvaa anionihartsia, joten orgaanisen aineen lisäksi se pystyy poistamaan myös kloridia (Cl^-) suuremman selektiivisyyden omaavia epäorgaanisia anioneita, jotka se korvaa kloridilla. Virtaus kulkee humussuodattimen läpi myötävirtaprosessin tapaan ns. suolasyklissä. Humussuodattimen hartsit elvytetään suolalla (NaCl) ja elvytysvirtaus kulkee samaan suuntaan kuin käyttövirtaus. (Vesi-lhminen, 2018^a, s. 16)

6.4.2 Kationisuodin

Kationivaihtimessa käytetään kationihartseja. Ne kykenevät ottamaan vedestä positiivisesti varautuneet suolat eli kationit, kuten rauta-, alumiini-, kalsium-, magnesium- ja natriumionit. Ionien tilalle kationihartsi luovuttaa vetyionin, eli H-ionin. (Pori Energia Oy, n.d.^b, s. 9)

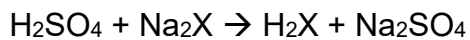
Kationivaihtimen käyttöjakso:



(natrium jää hartsiin)

(Huhtinen ym., 2022, s. 31)

Kationivaihtimen elvytysjakso:

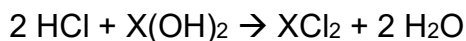


(Huhtinen ym., 2022, s.31)

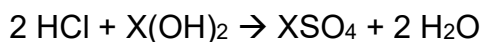
6.4.3 Anionisuodin

Anionisuotimissa käytetään anionihartseja. Heikon anionivaihtimen hartsit kykenevät ottamaan vedestä negatiivisesti varautuneet suolat, eli vahvojen happojen happotähdeionit. Näitä ovat kloridi-, sulfaatti- ja nitraatti-ionit. Ionien tilalle anionihartsi luovuttaa hydroksyyli-ioneja, eli OH-ioneja. (Pori Energia Oy, n.d.^b, s. 10)

Anionivaihtimen käyttöjakso:



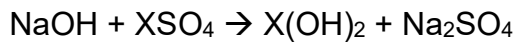
(kloridi jää hartsiin)



(sulfaatti jää hartsiin)

(Huhtinen ym., 2022, s.31)

Anionivaihtimen elvytysjakso:



(Huhtinen ym., 2022, s.31)

6.4.4 Sekavaihdin

Sekavaihdin poistaa vedestä ne ionit, joita kationi, tai anionivaihdin ovat päästäneet lävitse. Sekavaihtimessa on seos kahta eri massaa, vahvaa anionimassaa ja kationimassaa. Vaihdin elvytetään sekä lipeällä, että hapolla. Elvytystä varten vaihtimen massat erotetaan toisistaan vastavirtahuuhtelun avulla, jolloin kevyempi anionimassa asettuu pinnalle ja painavampi kationimassa pohjalle. Elvytyksen jälkeen massat sekoitetaan ja vaihdin voidaan ottaa takaisin ajoon. (Pori Energia Oy, n.d.^b, s. 10)

7 VERTAILTAVIEN SAOSTUSKEMIKAALIEN OMINAISUUDET

7.1 Polyalumiinikloridi

Polyalumiinikloridi on yleinen ja tehokas kemikaali saostukseen. Se on Suomessa toiseksi suosituin ja sitä on saatavilla todella monena eri tuotteena. Polyalumiinikloridi ei ole esihydrolysoituna niin riippuvainen pH:sta ja lämpötilasta, kuin monet muut saostuskemikaalit. Se kykenee poistamaan orgaanisesta aineesta noin 60 %. Huomattavaa kemikaalin käytössä on kuitenkin sen aiheuttama korroosioriski useille metalleille, kuten haponkestävälle teräkselle. (Vesilaitosyhdistys, 2020, s. 16–17)

Yleinen kemiallinen rakenne polyalumiinikloridille:



(Vesilaitosyhdistys, 2020, s. 16)

Mitä useampia OH-ryhmiä suola sisältää, sitä vähemmän kemikaalin syöttö veteen muuttaa veden pH:ta. Myös veden alkalointitarve pienenee ja kloridin määrä vähenee. Kloridin määrän vähentyminen pienentää myös polyalumiinikloridin korrodoivaa vaikutusta. Kemikaalin saostus pH:n alue on laaja, 4,5–9,5, mutta sen optimaalinen alue on 6,5–6,7. Syötön määrä järivedelle noin 30–60 g/m³. (Vesilaitosyhdistys, 2020, s. 16). Alla olevassa taulukossa (taulukko 6) nähdään polyalumiinikloridin teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 6. Polyalumiinikloridin tekniset ominaisuudet (Vesilaitosyhdistys, 2020).

Polyalumiinikloridi, tekniset ominaisuudet	
Rakennekaava	Al ₂ (OH) ₃ Cl ₃ (saatavilla erilaisia rakenteita)
Ulkomuoto	Kellertävä neste
Metallipitoisuus	n. 7,2–12,5 % (riippuu polymerointiasteesta)
pH	n. 1,5
Jäätymispiste	-30 °C
Standardi	SFS-EN 883:2005 (talousvesi)
Käyttöturvallisuus	Vaurioittaa vakavasti silmiä. Voi syövyttää metalleja.
Materiaalivaatimukset	Muovi, lasikuituvahvisteinen polyesteri, titaani tai kumioitu teräs
Varastointi	Suosittelut varastointiaika max 8–12 kk (riippuu laadusta) Suositeltu varastointilämpötila 0–30 °C

7.2 Ferrisulfaatti

Ferrisulfaatti eli rauta(III)sulfaatti on Suomessa suosituin ja käytetyin saostuskemikaali. Myös sitä on saatavilla monena eri tuotteena. Kemikaali on hyvin tehokas orgaanisen aineen poistamiseen, kunhan syötön määrä on riittävää, sillä se kykenee poistamaan orgaanisesta aineesta noin 65 %. Kemikaali toimii optimaalisemmin lämpimillä vesillä ja sen saostus pH on 4,5–5,5, mutta optimaalinen alue on 4,5–5. Ferrisulfaattia käytettäessä lietettä syntyy enemmän, kuin polyalumiinikloridia käytettäessä, mutta määrä ei eroa paljoa. Tämä tulee kuitenkin ottaa huomioon esimerkiksi ylijuuksutuksessa. Kemikaalista aiheutuva jäännösrauta saadaan hallittua oikealla syötön määrällä ja muuttamalla saostuksen pH-tasoa. Syötön määrä järivedelle noin 50–100 g/m³ ja jokivedelle noin 140–300 g/m³. (Vesilaitosyhdistys, 2020, s. 14). Alla olevassa taulukossa (taulukko 7) nähdään ferrisulfaatin teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 7. Ferrisulfaatin tekniset ominaisuudet (Vesilaitosyhdistys, 2020).

Ferrisulfaatti, tekniset ominaisuudet	
Rakennekaava	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
Ulkomuoto	Punaruskea neste
Metallipitoisuus	11,2 % (jätevesi) – 12,5 % (talousvesi)
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	38–42 % (jätevesi) – 43–46 % (talousvesi)
pH	<1
Jäätymispiste	-20 °C
Standardi	SFS-EN 890: 2012 (talousvesi)
Käyttöturvallisuus	Haitallista nieltynä. Voi syövyttää metalleja. Vaurioittaa vakavasti silmiä. Ärsyttää ihoa.
Materiaalivaatimukset	Muovi, lasikuituvahvisteinen polyesteri, titaani, kumioitu tai haponkestävä teräs
Varastointi	Suosittelava varastointiaika max 12 kk. Suositeltava käyttö- ja varastointilämpötila yli 0 °C

7.3 Ferrisulfaatin edut Kokemäenjoen vedessä

Kokemäenjoen SO_4 pitoisuus on ajoittain hyvin suurta jokea ympäröivien sulfaattipitoisten maiden vuoksi. Sulfaatti raakavedessä laajentaa saostuksen pH:ta alaspäin ja mahdollistaa alhaisen pH-tason käytön, jossa vain rautakemikaalit toimivat. Sulfaatti siis laajentaa pH-tasoa, mutta vie tason kauemmas alumiinin toiminnasta. (Vesi-Ihminen, 2018^b, s. 53). Kuten polyalumiinikloridin ja ferrisulfaatin teknisistä ominaisuuksista nähtiin, polyalumiinikloridin pH alue oli ferrisulfaattia korkeampi. Ferrisulfaatin voidaan siis olettaa toimivan polyalumiinikloridia paremmin saostavana kemikaalina juuri Kokemäenjoen vedessä ja erityisesti juuri tulva-aikoina (runsaan sulfaattipitoisuuden aikoina) jolloin vedenpuhdistuksessa on ollut suurimmat ongelmat.

Aittaluodon prosessissa on ollut ongelmia myös jälkisaostumisen kanssa. Jälkisaostuminen tarkoittaa haitallista ja hallitsematonta saostumista prosessissa. Useimmiten jälkisaostuminen tapahtuu kationivaihtimessa, kun orgaaninen aines saostuu sinne pH:n tippuessa alas. Alumiini taas saostuu, kun lämpötila nousee. Saostuminen tapahtuu yleensä kationivaihtimeen tai esisuodattimeen. Jälkisaostuminen aiheuttaa tukkeita prosessiin, likaa ioninvaihtohartseihin ja lisää orgaanisen aineksen ja liukoisten metallien määrää vedessä. Aittaluodossa saostuksesta karkaava alumiini ja orgaaninen aines,

sekä kovuus yhdessä kationivaihtimeen ajettavan elvytyskemikaalin, eli rikkihapon kanssa aiheuttavat jälkisaostumista. (Vesi-Ihminen, 2018^b, s. 58–59, 61). Jälkisaostumista tapahtuu siis pääasiassa silloin, kun olosuhteet eivät ole saostukselle optimaaliset. Myös rautapohjaisen kemikaalin kanssa voi tapahtua jälkisaostumista. (Silvast, 2024). Jälkisaostumiseen vaikuttaa kuitenkin saostuskemikaalin lisäksi orgaanisen aineen määrä, joka Kokemäenjoen vedessä on suuri erityisesti tulvien aikaan. Rautapohjainen kemikaali poistaa Vesi-Ihminen (2018^a, s. 8) mukaan tällaisia määriä orgaanista ainesta tehokkaammin, kuin alumiinipohjainen.

Suurin ongelma Aittaluodon voimalaitoksen vedenpuhdistuksessa on kuitenkin ollut korkea permanganaattiluku. Permanganaattiluku kertoo veden sisältämän orgaanisen aineen määrästä (KL-lämpö, 2021, s. 22). Tämä luku kertoo siitä, että saostus ei toimi kunnolla, eikä käytössä oleva saostuskemikaali kykene saostamaan kaikkea vedessä olevaa ainesta. Aines pääsee siis jatkamaan saostusprosessissa eteenpäin ja aiheuttaa ongelmia jatkoprosessissa. Rautapohjaisen saostuskemikaalin käyttäminen voisi tuoda apua myös tähän ongelmaan, sillä alumiinipohjainen saostuskemikaali ei analyysien perusteella toimi optimaalisesti.

Vaihtoehtoinen saostuskemikaali voisi siis toimia paremmin niin saostuksessa, kuin myös jälkiprosessin ongelmissa. Kemikaali saostaisi tehokkaammin ja suojaisi ioninvaihtoprosessia ja ehkäisisi hartsien likaantumista, jolloin lisäveden laatu paranisi ja se olisi tasalaatuisempaa ympäri vuoden. Tämä ehkäisisi myös hartsien uusimisen tarvetta, joka toisi kustannussäästöjä ja lisäisi suolanpoistolinjoiden toimintavarmuutta. Lisäveden puhtaampi laatu vaikuttaisi koko voimalaitoksen prosessiin ja sen osiin, sekä Porin ja Ulvilan kaukolämpöverkoston kuntoon ja kestämiseen. Pitkällä aikavälillä putkistojen tehokkaampi suojaaminen toisi kustannussäästöjä ja epäpuhtaan veden aiheuttamilta ongelmilta välttyttäisiin.

8 KÄYTÄNNÖN KOKEIDEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Käytännön kokeissa selvitettiin vaihtoehtoisen saostuskemikaalin syöttömäärä ja tutkittiin, miten kemikaali reagoi käytettävän raakaveden kanssa. Syöttömäärä saatiin selville tekemällä kuppikokeita Aittaluodon voimalaitoksen raakavedestä. Kuppikokeet ovat flokkulaatio- ja koagulaatiokokeita, jotka suoritetaan Kemira-flokkulaattorilla (Kemira, 2022, s. 1). Näytteet analysoitiin Kaanaassa Eurofins:n laboratoriossa. Alla olevassa kuvassa (kuva 9) nähdään käytössä ollut flokkulaattori.



Kuva 9. Kemiran flokkulaattori.

Kuhunkin flokkulaattorilasiin laitettiin litra raakavettä, jonka jälkeen sinne syötettiin ferrisulfaattia (PIX) ja sitten lipeää. Ferrisulfaattia syötettiin eri kuppeihin monin eri annostuksin, minkä jälkeen haettiin eri pH-tasoja 5 %:lla lipeällä. Näin saatiin haettua tietyn PIX-annoksen, eli ferrisulfaattiannoksen, pH-vaste, eli kuinka paljon lipeää tulee syöttää tietyllä PIX-annoksella käytössä olevaan raakaveteen. Testissä käytettiin apuna polymeeriä, mikä lyhensi laskeutumisaikaa 30 minuutista 10 minuuttiin. Kummallakin testikerralla vedestä otettiin myös ns. nollanäyte, johon ei lisätty mitään kemikaalia. Tämä nollanäyte kertoo raakaveden laadun, kuten lämpötilan ja pH:n. Myös nollanäyte analysoitiin

sameuden, permanganaatin, jäännösalmiinin ja -raudan osalta. Kun testiko-
keet oli saatu suoritettua, oikeat kokeet suoritettiin päinvastaisessa järjestyk-
sessä, eli siinä järjestyksessä, kuin kemikaalit prosessissa todellisuudessa
syötetään.

Kustakin näytekupista otettiin kolme eri näytettä. Suodattamaton näyte per-
manganaattilukua varten, sekä kaksi suodatettua näytettä alumiini- sekä rau-
tajäämää varten. Näytteet suodatettiin hiekkasuotimia vastaavalla 0,45 µm:n
suodattimella. Lisäksi näytteistä analysoitiin sameus perinteisellä sameusmit-
tarilla, että UVabs menetelmällä.

8.1 Ensimmäisen vaiheen kokeet

Ensimmäiset kuppikokeet suoritettiin sekä ferrisulfaatilla, että polyalumiiniklo-
ridilla (PAX), jotta saatiin vertailua vaihtoehtoisesta, sekä jo käytössä olevasta
saostuskemikaalista. Ensimmäisen vaiheen tulokset olivat todella hyviä. Rau-
tapohjainen saostuskemikaali toimi alumiinipohjaista kemikaalia huomatta-
vasti paremmin Kokemäenjoen vedessä. Ferrisulfaatti toimi vedessä todella
hyvin jopa yleistä syöttömäärää pienemmällä annostuksella. Alla olevassa tau-
lukossa (taulukko 8) nähdään tiettyyn PIX-annokseen syötetty lipeämäärä,
sekä haetut pH-tasot, jotka ensimmäisessä vaiheessa ferrisulfaatilla olivat 4,6,
4,8 ja 5, sekä polyalumiinikloridilla 5,85, eli Aittaluodon saostuksen pH-taso.

Taulukko 8. Ensimmäisen vaiheen PIX-syöttömäärä, sekä lipeän syöttömäärä ja haluttu pH-taso.

Näyte nro	pH:n säätö		Kemikaali	Annos ppm	Annos µl	Haluttu pH	Loppu pH	C
	5% NaOH µl/l	H ₂ SO ₄ µl/l						
1	46		PIX 322	75	47,7	4,6	4,59	
2	164		PIX 322	100	63,7		4,58	
3	280		PIX 322	125	79,6		4,61	
4	65		PIX 322	75	47,7	4,8	4,82	
5	193		PIX 322	100	63,7		4,82	
6	300		PIX 322	125	79,6		4,81	
7	75		PIX 322	75	47,7	5	4,99	
8	205		PIX 322	100	63,7		5,06	
9	316		PIX 322	125	79,6		5,01	
10	370		PAX 14	136	99,2	5,85	5,84	
Nolla							7,27	22,3

Alla olevassa taulukossa (taulukko 9) nähdään kokeista analysoidut sameus-
tasot, permanganaattiluku, jäännösalmiini, sekä jäännösrauta. Ongelmana
alumiinipohjaisella saostuskemikaalilla on ollut korkea permanganaattiluku, jo-
ten kokeissa haettiin sellaista annostusta, jolla permanganaattiluku olisi mah-
dollisimman matala. Tällöin orgaaninen aines on saostunut tehokkaimmin. Tu-
loksista huomataan, että parhaat tulokset saatiin pH tason ollessa 4,6 ja 5.
Tällöin permanganaattiluku on matalin ja jäännösraudan määrä on hallin-
nassa. Tavoitearvo permanganaattiluvulle on saostetussa vedessä alle 10 mg
KMnO₄/l (KL-lämpö, 2021, s. 22). Ehdoton maksimiraja permanganaattiluvulle
on 12 mg KMnO₄/l. Rautajäämien pitoisuusrajana 0,1 mg/l. (Silvast, J. 2024).

Taulukko 9. Ensimmäisen vaiheen kokeiden analysoidut tulokset.

	suod. 0,45µm			Jäännös, 0,45µm suod	
	Uvabs nm	Sameus NTU	Permanganaatti mg/l	Al mg/l	Fe mg/l
1	0,057	1,23	13,34	0,073	0,166
2	0,046	0,84	12,07	0,070	0,146
3	0,042	0,86	10,16	0,080	0,135
4	0,059	1,79	14,61	0,060	0,133
5	0,049	0,95	10,8	0,058	0,104
6	0,04	1,32	10,8	0,076	0,103
7	0,061	1,87	15,88	0,061	0,117
8	0,051	0,93	11,43	0,044	0,083
9	0,042	0,79	10,16		0,110
10	0,04	2,82	15,24	0,028	0,022
Nolla	0,417	14,4	50,81	0,182	0,342

Alla olevassa kuvassa (kuva 10) nähdään saostusprosessia flokkulaattorissa. Vasemmalla puolella näkyy sekoitusvaiheessa oleva raakavesi PIX-kemikaalilla ja oikealla puolella on sekoitusvaiheessa oleva raakavesi PAX-kemikaalilla. Kemikaalit on syötetty hieman eri aikaan, joten ero ei ole täysin realistinen, mutta kuvasta huomataan ferrisulfaatin tehokkuus verrattuna polyalumiinikloridiin. Flokki on suurempaa ja selkeämpää, vesi ei ole niin sameaa ja saostumisen erottaa silmälläkin todella selvästi.



Kuva 10. Saostusprosessi flokkulaattorissa. Vasemmalla PIX (rauta) ja oikealla PAX (alumiini).

8.2 Toisen vaiheen kokeet

Toisessa vaiheessa kokeet tehtiin korkeammilla PIX-annoksilla, kuin ensimmäisessä vaiheessa. Myös toisen vaiheen tulokset olivat todella hyviä. Tuloksista huomattiin, että ferrisulfaatti todella saostaa voimalaitoksen raakavettä hyvinkin tehokkaasti jopa eri annostasoilla ja eri pH-tasoilla. Alla olevassa taulukossa (taulukko 10) nähdään toisessa vaiheessa syötetyn

saostuskemikaalin määrä, sekä haettua pH-tasoa vastaava syötetyn lipeän määrä. Toisessa vaiheessa haetut pH-tasot olivat 4,7, 4,8, 4,9, ja 5.

Taulukko 10. Toisen vaiheen PIX-syöttömäärä, sekä lipeän syöttömäärä ja haluttu pH-taso.

Näyte nro	pH:n säätö 5% NaOH µl/l	H ₂ SO ₄ µl/l	Kemikaali -	Annos ppm	Annos µl	Haluttu pH	Loppu pH	C
1	192		PIX 322	100	63,7	4,7	4,7	
2	309		PIX 322	125	79,6		4,72	
3	428		PIX 322	150	95,4		4,69	
4	653		PIX 322	200	127,2		4,69	
5	433		PIX 322	150	95,4	4,8	4,82	
6	208		PIX 322	100	63,7	4,9	4,88	
7	320		PIX 322	125	79,6		4,97	
8	440		PIX 322	150	95,4		4,89	
9	670		PIX 322	200	127,2		4,89	
10	443		PIX 322	150	95,4	5	5,4	
11	707		PIX 322	200	127,2		4,99	
Nolla							7,44	21,9

Alla olevassa taulukossa (taulukko 11) nähdään toisen vaiheen kokeista analysoidut sameustasot, permanganaattiluku, jäännösalmiini, sekä jäännösrauta. Toisen vaiheen tuloksista nähdään, että PIX toimi parhaiten pH:n ollessa 4,7 tai 5. Tällöin permanganaattiluku oli matalin ja jäännösraudan määrä oli hallinnassa. Tuloksista huomataan, että ferrisulfaatin annosmäärän nostaminen ei vaikuta jäännösraudan määrään sitä nostavasti. Itseasiassa jos prosessissa on ongelmana suuri jäännösraudan määrä, tilanne saadaan usein korjattua nostamalla saostuskemikaalin annosmäärää, vaikka se kuulostaakin nurinkuriselta (Luhtala, M. 2024).

Taulukko 11. Toisen vaiheen kokeiden analysoidut tulokset.

	suod. 0,45µm			Jäännös, 0,45µm suod	
	Uvabs	Sameus	Permanganaatti	Al	Fe
	nm	NTU	mg/l	mg/l	mg/l
1	0,049	1,02	12,5	0,060	0,118
2	0,045	1,04	10,5	0,054	0,103
3	0,039	0,82	9,6	0,062	0,105
4	0,037	0,93	9,9	0,040	0,100
5	0,041	1,17	10,5	0,041	0,102
6	0,049	1,07	12,5	0,046	0,118
7	0,045	0,94	15,16	0,043	0,096
8	0,039	0,98	12,8	0,039	0,096
9	0,039	1,07	12,5	0,035	0,104
10	0,044	0,88	12,1	0,120	0,082
11	0,037	0,83	8,3	0,058	0,084
Nolla	0,389	9,03	48,2	0,042	0,342

8.3 Täyden mittakaavan kokeet

Flokkulaattoreilla suoritettavat kokeet olivat todella lupaavia ja tulokset olivat suhteellisen tasaisia. Mahdollisesti tulevia täyden mittakaavan kokeita varten valittiin sellaiset pisteet, joiden tulokset olivat hyviä ja jotka olivat analyysien keskitasolla syöttömäärän ja pH-tason suhteen. Nämä pisteet olivat pH 4,7 ja PIX-annosmääränä 125 ppm, sekä pH 5 ja PIX-annosmääränä 125 ppm. Näistä annosmääristä olisi hyvä lähteä joko suurentamaan, tai pienentämään annosmäärää prosessissa riippuen siitä, miten kemikaali toimii. Myös pH-tason säätöön jää näin sopivasti varaa. Pisteiden tiedot näkyvät alla olevissa taulukoissa (taulukko 12 ja 13). Jälkimmäisessä pH viiden analyysissä ei ole näytemäärän virheellisyyden vuoksi analysoitu alumiinijäämää.

Taulukko 12. Ensimmäinen koeajopiste, pH-taso 4,7 ja PIX-syöttömäärä 125 ppm.

Näyte nro	pH:n säätö		Kemikaali	Annos ppm	Annos µl	Loppu pH	suod. 0,45µm			Jäännös, 0,45µm suod	
	5% NaOH	H2SO4					Uvabs nm	Sameus NTU	Permanganaatti mg/l	Al mg/l	Fe mg/l
	µl/l	µl/l									
2	309		PIX322	125	79,6	4,72	0,045	1,04	10,5	0,054	0,103

Taulukko 13. Toinen koeajopiste, pH-taso 5 ja PIX-syöttömäärä 125 ppm.

Näyte nro	pH:n säätö		Kemikaali	Annos ppm	Annos µl	Loppu pH	suod. 0,45µm		Jäännös, 0,45µm suod		
	5% NaOH µl/l	H2SO4 µl/l					Uvabs nm	Sameus NTU	Permanganaatti mg/l	Al mg/l	Fe mg/l
9	316		PIX 322	125	79,6	5,01	0,042	0,79	10,16		0,110

Mahdollisia täyden mittakaavan kokeita varten tulee huomioida saostuksen matalampi pH-taso. Tämä voi vaatia pH-tason noston ennen hiekkasuodattimia, sillä voimalaitokselta asiakkaalle lähtevän talousveden tulee olla tietyn pH-ajan sisässä. Lisäksi huomioon tulee ottaa lietteen määrän kasvaminen, jolloin flotaation ylijuoksutusta olisi suotavaa lisätä. Tämä takaa sen, että paksumpi lietepatja pääsee varmasti ylijuoksusta viemäriin, eikä flokkipatjalta pääse karkaamaan epäpuhtauksia takaisin veteen. Alla olevassa taulukossa (taulukko 14) nähdään ferrisulfaatin annosmäärät laskettuna eri raakaveden virtausmäärille, kun flokkulantin annosmäärä on 125 ppm, eli 79,6 µl.

Taulukko 14. PIX-annosmäärät eri raakavesien virtauksille.

Raakaveden virtaus	PIX annosmäärä l/h
15 kg/s	4,30
17 kg/s	4,87
19 kg/s	5,44
21 kg/s	6,02
23 kg/s	6,59
25 kg/s	7,16
27 kg/s	7,74
29 kg/s	8,31
31 kg/s	8,88
33 kg/s	9,46
35 kg/s	10,03
37 kg/s	10,60
39 kg/s	11,18
41 kg/s	11,75

Testiajoja varten voimalaitokselle täytyy luoda väliaikainen syöttöpaikka sekä saostuskemikaalille, että jälkilipeän syötölle. Saostuslaitoksella on tilaa ferrisulfaattikontille, joka saadaan sijoitettua väliaikaiseen valuma-altaaseen lähelle syöttöpaikkaa. Sopiva syöttöpaikka sijaitsee raakavesiputkessa, noin metri polyalumiinikloridin syöttöyhteen jälkeen. Paikka on putkisekoittajan jälkeen, mutta kemikaali ehtii sekoittumaan veteen, koska putki laskee monen metrin matkan syöttöpaikan jälkeen alaspäin flokkausaltaan pohjalle. Syöttöpumpun tulee olla tarpeeksi tehokas ja ferrisulfaatille sopiva. Pumpun olisi hyvä pystyä syöttämään ainakin 30 l/h, jotta kemikaalia varmasti saadaan tarpeeksi prosessiin ja talviajan runsaat virtausmäärät eivät tuottaisi ongelmia. Jälkilipeän sopiva syöttöpaikka taas on heti flotaatioaltaiden jälkeen, hiekka-suotimille vievässä kourussa. Syöttö voidaan toteuttaa esimerkiksi manuaalisella pumpulla lipeäkanisterista vakiosyötöllä, jos veden virtaus pidetään vakiona. Toinen vaihtoehto on hankkia automaattisesti pH-tason mukaan säätyvä pumppu. Kummassakin tapauksessa flotaatioaltaiden jälkeiseen kouruun tulee asentaa pH-mittari, jotta pH-taso saadaan säädettyä sopivalle tasolle.

9 KUSTANNUKSET

Polyalumiinikloridi on ferrisulfaattia kalliimpaa kemikaalia. Polyalumiinikloridia tarvitsee kuitenkin useammassa tapauksissa syöttää vähemmän, kuin ferrisulfaattia, joten se voi joissain tapauksissa olla kustannuksiltaan halvempi vaihtoehto. Aittaluodossa polyalumiinikloridia on kuitenkin jouduttu syöttämään kohtuuttoman suuri määrä. Kokeiden perusteella ferrisulfaattia taas voitiin syöttää verrattain pienellä annoksella ja kemikaali toimi silti todella hyvin.

Ferrisulfaatin tarkempi syöttömäärä selviää mahdollisten testiajojen perusteella. Kuppikokeiden annosmäärän perusteella tehtyjen laskelmien mukaan tämänhetkisillä kemikaalien hinnoilla ferrisulfaatin käyttö tulisi kuitenkin halvemmaksi, kuin polyalumiinikloridin. Tämän lisäksi huomioon tulee ottaa mahdollinen jälkilipeän syöttö, joka aiheuttaa lisäkustannuksia. Jälkilipeän syöttö

ei kuitenkaan nosta kustannuksia kohtuuttomasti, joten ferrisulfaatin käyttöönotto olisi myös kustannusnäkökulmasta suotavaa. Puhdas vedenlaatu tuo kuitenkin pitkän aikavälin säästöä myös voimalaitoksen muissa osissa ja koko kaukolämpöverkossa.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Ferrisulfaatti toimi käytössä olevassa raakavedessä huomattavasti paremmin, mitä polyalumiinikloridi. Tulokset rautapohjaisella kemikaalilla olivat todella hyviä jo suhteellisen pienellä annosmäärällä, kun taas alumiinipohjaista kemikaalia on jouduttu syöttämään runsaasti heikommalla tuloksella. Suurin ongelma vesikemiassa on ollut runsas permanganaattiluku, joka saatiin kuppikoikoiden perusteella raja-arvoihin. Myös alumiini- sekä rautajäämät olivat analyysien perusteella hallinnassa.

Ferrisulfaatin saostus-pH oli alempi, kuin polyalumiinikloridin. Asiakkaalle lähtevän talousveden pH tulee olla tietyn raja-arvon sisällä, joten saostuksen jälkeiseen pH:n nostoon kannattaa varautua. Saostuksen alempi pH on kuitenkin vaihtoehtoisella kemikaalilla etu, koska Kokemäenjokea ympäröivät sulfaattimaat alentavat väkisin saostuksen pH-tasoa. Myös lietteen määrä voi kasvaa, joten flotaatioaltaiden ylijuoksutusta tulee lisätä, jos kemikaalia vaihdetaan.

Alumiinipohjaisesta saostuskemikaalista luopuminen voisi korjata vedenpuhdistuksen ongelmat ja edesauttaa veden puhtauden raja-arvoihin pääsyä erityisesti tulva-aikoina, jolloin vedenlaatu on ollut heikkoa. Veden riittävä puhtaus auttaa koko voimalaitoksen toiminnassa suojaten koko kattilalaitosta, turbiinia ja kaukolämpöverkkoa. Pidempi käyttöikä ja laitteiston parempi suojaaminen tuo myös kustannussäästöjä, mitä laskelmien mukaan kemikaalin vaihto jo itsessään toisi.

Polyalumiinikloridin vaihtaminen ferrisulfaattiin on kokeiden perusteella vahvasti suositeltua. Kemikaalin vaihtoa varten suositellaan vähintään ajettavaksi koeajojakso, jossa kemikaalin vaikutukset prosessissa nähdään käytännössä ja syöttömäärät saadaan varmistettua. Koeajojakson vesianalyyseistä saadaan selville optimaalisin ajotapa ja annosmäärä, jolloin esimerkiksi rautajäämä ja permanganaattiluku ovat pienimmillään.

LÄHTEET

Bratby, J. (2016). Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. IWA Publishing.

ELY-keskus. (n.d.) Kokemäenjoki on yksi Suomen merkittävimmistä jokivesistöistä. Veden laatu ja virtaama. Haettu 23.3.2024 osoitteesta <https://www.kokemaenjoki.fi/kokemaenjoki/veden-laatu-ja-virtaama>

ELY-keskus. (n.d.). Kokemäenjoki on yksi Suomen merkittävimmistä jokivesistöistä. Yleistiedot. Haettu 23.3.2024 osoitteesta

Fuerstenau, M., Graeme, J. & Roe-Hoan, Y. (2007). Froth flotation a century of innovation. Littleton, Colo. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

Gao, Z. (2020). Surface Chemistry of Flotation. Frontiers Media SA. <http://doi.org/10.3389/978-2-88966-209-8>

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. (2022) Voimalaitostekniikka. Täyssuolanpoisto.

KL-lämpö. (2021). Voimalaitoksen vesikoulu Pori Energia. Koulutusmateriaali Aittaluodon voimalaitokselle.

Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys. (n.d.). Kokemäenjoen vedenlaadun muutokset. Haettu 24.3.2024 osoitteesta <https://kvvy.fi/kokemaenjoen-vedenlaadun-muutokset/>

Luhtala, M. (2024). Henkilökohtainen keskustelu Kemira Oyj:n aluemyyntipäällikön, Maria Luhtalan, kanssa.

Pori Energia Oy. (2022). Vuosikertomus 2022. https://www.porienergia.fi/globalassets/vuosiraportit/vuosiraportit-2022/pe_vuosikertomus_2022_a4_valmis.pdf

Pori Energia Oy. (n.d.^a). Porilaisen kaukolämmön alkuperä. Haettu 25.3.2024 osoitteesta <https://www.porienergia.fi/lampo/tietoa-kaukolammosta/ymparisto--alkupera>

Pori Energia Oy. (n.d.^b). Veravan voimalaitoskoulutus.

Pure Water Group. (n.d.). Power Plants. Ultra Pure Water treatment for Power Plants. Haettu 12.6.2024 osoitteesta [Power Plants • Pure Water Group](#)

Silvast, J. (2024). Henkilökohtainen keskustelu Pori Energia Oy:n vesienkäsittely ja LVI-mestarin, Juho Silvastin, kanssa.

STEP Oy. (2023). Vierailu STEP Oy:n Kaanaan vesilaitokselle.

Suomen ympäristökeskus, ELY-keskukset. (2013). Kokemäenjoen vesistöalueen ekologinen luokitus. https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2016/05/ekologinen_luokitus_2013_kartta_nettiin.jpg

Suomen ympäristökeskus. (2019). Suomen vesien tila-arvio: Järvien ja jokien tila pääosin ennallaan, rannikkovesien tila heikentynyt. [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Suomen_vesien_tilaarvio_Jarvien_ja_jokie\(51384\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Suomen_vesien_tilaarvio_Jarvien_ja_jokie(51384))

Vesi-Ihminen. (2018^a). Vedenkäsittely katselmusraportti.

Vesi-Ihminen. (2018^b). Pori Energian vesikoulutus. Koulutusmateriaali Aittaluodon ja Kaanaan voimalaitoksille.

Vesilaitosyhdistys. (2020). Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen Suomen vesihuollossa. https://www.vvy.fi/site/assets/files/3226/kemiallisen_saostuksen_huoltovarmuuden_parantaminen.pdf

Vesimittari. (n.d.). Kokemäenjoki. Haettu 24.3.2024 osoitteesta <https://wwwi2.ymparisto.fi/i2/vesimittari/L3500001/index.html>