

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SAOSTUSKEMIKAALIEN HUOLTOVARMUUDEN VARAUTUMISSUUNNITELMA

Alva-yhtiöt Oy

TEKIJÄ Milja Auranen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Milja Auranen			
Työn nimi Saostuskemikaalien huoltovarmuuden varautumissuunnitelma			
Päiväys	3.4.2022	Sivumäärä/Liitteet	54/4
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Alva-yhtiöt Oy			
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia varautumissuunnitelma Alva-yhtiöt Oy:lle talousveden tuotannossa käytettävien saostuskemikaalien huoltovarmuuden parantamiseksi. Alva-yhtiöt Oy on Jyväskylän kaupungin omistama vesi- ja energiayhtiö. Työn tarkoituksena oli arvioida tilaajan toimintaa saostuskemikaalien huoltovarmuuden osalta ja koota lähdemateriaalista tilaajan toimintaa koskevat keskeiset asiat tiiviiksi varautumissuunnitelmaksi. Työn tarve perustui vuonna 2020 valmistuneeseen selvitykseen, jonka mukaan vesilaitosten on varauduttava entistä paremmin saostuskemikaalien toimitushäiriöihin. Varautumissuunnitelman laatiminen aloitettiin nykytilanteen arviolla. Vedentuotannon kokonaiskuvaa ja laitojen merkittävyyttä tarkasteltiin tuotantomäärien perusteella. Muilta osin arvio keskittyi saostuskemikaaleja käytäviin kahteen laitokseen. Arvioitavia asioita olivat laitosten varastoinnin tilanne säiliötilavuuden ja materiaalien osalta. Lisäksi kartoitettiin kemikaalin annostelulinjastojen materiaalit ja annostelupumppujen ominaisuudet. Nykytilanteen arviossa tarkasteltiin myös laitosten prosessia kokonaisuutena ja mahdollisuutta optimoida saostusta apukemikaalien avulla. Lisäksi pohdittiin mahdollisuutta kasvattaa tekopohjaveden tuotannon kapasiteettia. Nykytilanteen arvion perusteella laadittiin toimenpidesuunnitelma saostuksen huoltovarmuuden parantamiseksi. Osana työtä kokeiltiin myös vaihtoehtoisten kemikaalien annostuksia toisen laitoksen raakavedelle. Työn lähdemateriaalina käytettiin kirjallisuutta ja verkkojulkaisuja sekä tilaajan antamia aineistoja ja henkilökunnan haastatteluja. Lisäksi hyödynnettiin talousveden tuotantoa ja kemikaaliturvallisuutta koskevaa keskeistä lainsäädäntöä. Suunnittelun pohjana hyödynnettiin vuonna 2022 julkaistua yleistä suunnitteluohjeistusta. Työn tuloksena saatujen havaintojen perusteella huoltovarmuuden parantaminen edellyttää useita toimenpiteitä, joita on vietävä määrätietoisesti eteenpäin. Nykytilanteen arvion perusteella tehtiin johtopäätökset tilaajan laitoksille sopivista vaihtoehtoisista kemikaaleista ja tekniikoista. Suosituksia annettiin käytännön toimenpiteistä sekä sopimusteknisistä ja viranomaistyöhön liittyvistä asioista. Työssä todettiin tarve jatkaa saostuskemikaalien annostusten optimointia sekä kehittää toimintaa varastoinnin ja tekopohjavesilaitoksen säätövaran osalta. Työssä onnistuttiin löytämään tilaajan kannalta olennaiset asiat saostuskemikaalien huoltovarmuuden parantamiseksi. Tilaaja sai käyttöönsä tiiviin yhteenvedon toiminnan nykytilanteesta sekä suositelluista konkreettisista toimenpiteistä. Tuloksia voidaan käyttää Alva-yhtiöt Oy:ssä saostuskemikaalien huoltovarmuuden parantamiseen.			
Avainsanat Kemiallinen saostus, huoltovarmuus, varautuminen			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology	
Author Milja Auranen	
Title of Thesis Contingency Plan: The Security of Supply of Coagulation Chemicals	
Date 3 April 2022	Pages/Appendices 54/4
Client Organisation /Partners Alva-yhtiöt Oy	
<p>Abstract</p> <p>The objective of this thesis was to make a contingency plan concerning the security of supply of coagulation chemicals used in drinking water production. The thesis was commissioned by Alva-yhtiöt Oy. The company produces water and energy and is owned by the city of Jyväskylä. The aim was to evaluate the current state of the security of supply and to collect key aspects from the source material into a contingency plan. The need for the thesis emerged as a result of a report published in 2020. The report states that the security of supply of coagulation chemicals must be improved.</p> <p>The first stage was to evaluate the current state of the security of supply. The general view of water production and the criticality of water treatment plants were assessed by researching production volumes. The focus was then placed on water treatment plants that utilize coagulation chemicals. The water production processes were evaluated to determine the criticality of coagulation chemicals. The possibility to optimize the coagulation process with flocculant aids was also assessed. The capacities and the materials of chemical tanks and dosing systems were surveyed. The possibility to increase the production of artificial groundwater was also taken into consideration. Based on the evaluation of the current state, a contingency plan to improve the security of supply was made. Material was gathered from literature, internet sources and design guidelines. Legislation concerning water production and chemical security was studied. Material was also provided by the commissioner. The personnel of the commissioner were interviewed and laboratory-scale tests were ran as part of the thesis.</p> <p>As a result, it was concluded that several measures must be taken to improve the security of supply. Based on the evaluation of the current state, conclusions on suitable alternative chemicals and techniques were made. Recommendations were given on both practical and administrative measures. This includes developing storage capacity and improving the possibility to adjust the production of artificial groundwater. It is also recommended that the testing to optimize chemical doses continues. The thesis was successful in terms of finding the essential factors. The commissioner received a tight-knit summary of the current state of the security of supply and of the practical measures that must be taken. The results can be utilized to improve the security of supply of coagulation chemicals at Alva-yhtiöt Oy.</p>	
<p>Keywords chemical coagulation, contingency plan, security of supply</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	VESIHUOLLON JÄRJESTÄMINEN	7
2.1	Vastuut ja yhteiskunnallinen merkitys.....	7
2.2	Varautuminen ja riskienhallinta	8
3	SAOSTUS OSANA VEDENKÄSITTELYPROSESSIA.....	10
3.1	Talousveden tuotantoprosessi.....	10
3.2	Kemiallinen saostus.....	11
3.3	Tyypillisimmät saostuskemikaalit talousveden tuotannossa	13
3.4	Vaihtoehtoiset tekniikat	14
4	VEDENKÄSITTELYKEMIKAALIEN HUOLTOVARMUUS SUOMESSA.....	17
4.1	Huoltovarmuus	17
4.2	Saostuskemikaalien tuotanto ja saatavuus	18
4.3	Toimenpiteet huoltovarmuuden turvaamiseksi kansallisella tasolla	19
4.4	Saostuskemikaalien käyttö muilla toimialoilla	20
5	HUOLTOVARMUUDEN PARANTAMINEN ALVA-YHTIÖT OY:SSÄ.....	21
5.1	Alva-Yhtiöt Oy	21
5.2	Nykytilanteen arvio	21
5.2.1	Laitokset	21
5.2.2	Käytössä olevat kemikaalit ja niiden kriittisyys yksikköprosesseille ja vedentuotannolle ...	22
5.2.3	Varastointi.....	23
5.2.4	Annostelupumput ja kemikaalilinjastot	23
5.2.5	Alvan prosesseihin sopivat vaihtoehtoiset kemikaalit ja tekniikat.....	23
5.3	Kustannusvaikutukset.....	23
6	TOIMENPIDESUUNNITELMA	24
6.1	Tarvittavat sopimukset	24
6.2	Varastointi.....	24
6.3	Kemikaalilaadun vaihtaminen.....	26
6.3.1	Teoreettiset annostukset vaihtoehtoisille kemikaaleille	26
6.3.2	Kokeilut laboratorio-olosuhteissa	27
6.3.3	Muun kemikaloinnin annostustarve ja muutokset selkeytetyn veden laadussa	32
6.3.4	Muutokset annostelulinjastoissa ja pumppauksessa	33

6.3.5	Muutokset instrumentoinnissa ja automaatioissa	35
6.3.6	Koeajotarve.....	35
6.4	Kirjallisten ohjeiden laatiminen ja tiedotus	35
6.5	Viranomaishyväksyntä muutokselle	36
6.6	Muutoksen harjoittelu.....	36
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	37
	LÄHTEET	39
	LIITE 1: LAITOSKOHTAINEN NYKYTILANTEEN ARVIO (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN).....	42
	LIITE 2: TOIMENPIDE-EHDOTUKSET (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN).....	46
	LIITE 3: TEOREETTISET ANNOSTUKSET VAIHTOEHTOISILLE KEMIKAALEILLE (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN).....	47
	LIITE 4: HÄIRIÖTILANTEEN TOIMINTAKORTTI (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)	48
KUVALUETTELO		
	KUVA 1. Hyvän vesihuollon tekijät (AFRY Finland Oy 2021, 3).....	8
	KUVA 2. Pintaveden käsittelyprosessi (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 263).....	10
	KUVA 3. Kalvosuodatintyyppit ja poistettavat epäpuhtaudet (Aquadren Technologies julkaisuaika tuntematon)	15
	KUVA 4. Huoltovarmuusorganisaation rakenne (Huoltovarmuuskeskus julkaisuaika tuntematon).....	17
	KUVA 5. Laitosten tuotantomäärät vuonna 2021	22
	KUVA 6. Raakavesi (Auranen 2022).....	28
	KUVA 7. Koe-erät 1A–1D laskeutuksen jälkeen (Auranen 2022).....	28
	KUVA 8. Koe-erät 2E–2H laskeutuksen jälkeen (Auranen 2022).....	29
	KUVA 9. Koe-erät 3A ja 4A laskeutuksen jälkeen (Auranen 2022).....	29
	KUVA 10. Koe-erät P1-P6 laskeutuksen jälkeen (Auranen 2022).....	30
	KUVA 11. Saostuskemikaalien suhteellisia nostokorkeuksia (AFRY Finland Oy 2022, 11)	34

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on laatia saostuskemikaalien huoltovarmuuden varautumissuunnitelma toimeksiantajayritykselle. Saostuskemikaalien merkitys vedentuotannolle on huomattava. Suomessa 48 % talousveden tuotannosta perustuu prosessiin, joka hyödyntää saostuskemikaaleja. Saostuskemikaalien huoltovarmuuteen on alettu kiinnittää viime vuosina entistä enemmän huomiota. Laukaisevana tekijänä huoltovarmuuden parantamiselle on toiminut Porissa vuonna 2017 tapahtunut tulipalo, jonka myötä Suomesta poistui merkittävä ferrosulfaatin lähde. Ferrosulfaattia hyödynnetään useiden rautapohjaisten vedenkäsittelykemikaalien raaka-aineena.

Vuonna 2020 valmistuneen selvityksen mukaan saostuskemikaalien huoltovarmuutta tulee parantaa sekä kansallisella tasolla, että vesihuoltolaitosten toimesta. Selvityksen mukaan saostuskemikaalien käytön vähentäminen tai niiden käytöstä kokonaan luopuminen ei tule kysymykseen. Alkuvuodesta 2022 julkaistiin suunnitteluohjeet, joiden avulla vesihuoltolaitos voi parantaa omaa varautumisen tasoa. Keskeisiä toimenpiteitä huoltovarmuuden parantamiseksi ovat varastointikapasiteetin lisääminen ja vaihtoehtoiseen saostuskemikaaliin siirtyminen. Laitoksen toiminnan ei pitäisi olla yhden kemikaalin varassa. Kansallisella tasolla korostuu laitosten välinen yhteistyö ja vaihtoehtoisten raaka-ainelähteiden tunnistaminen sekä tuotantoon ja varastointiin liittyvien haasteiden ratkaiseminen.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Jyväskylän kaupungin omistama vesihuolto- ja energiayhtiö Alva-yhtiöt Oy. Suunnittelussa sovelletaan vuonna 2022 valmistunutta yleistä ohjeistusta. Suunnitelmassa keskitytään konkreettisiin toimenpiteisiin, joiden avulla toimeksiantaja voi parantaa saostuskemikaalien huoltovarmuutta. Tavoitteena on, että opinnäytetyö koostaa saostuskemikaalien huoltovarmuuden parantamiseen liittyvät keskeiset pääkohdat käytännönläheiseksi varautumissuunnitelmaksi. Työssä arvioidaan aluksi toimeksiantajan nykytilannetta saostuskemikaalia käyttävien laitosten osalta. Arviossa kiinnitetään huomiota vedentuotannon kokonaisuvaan, saostuskemikaalien varastoinnin tilaan, laitosten prosesseihin sekä kemikaalien riittävyyteen normaalikulutustilanteessa. Nykytilanteen arvion perusteella vedetään johtopäätökset laitoksille sopivista vaihtoehtoisista kemikaaleista ja tekniikoista. Seuraavassa vaiheessa laaditaan toimenpidesuunnitelma, jossa annetaan suositus toimenpiteistä huoltovarmuuden parantamiseksi. Suosituksia annetaan varastoinnin, laitteiston sekä sopimusten suhteen. Vaihtoehtoisille kemikaaleille määritellään teoreettiset annostukset ja niiden toimivuutta kokeillaan resurssien puitteissa laboratorio-olosuhteissa. Lisäksi laaditaan häiriötilanteen toimintakortti saostuskemikaalin saatavuushäiriöitä varten. Lopuksi esitetään ehdotuksia jatko-toimenpiteistä, joilla työssä annettuja suosituksia voidaan viedä eteenpäin.

2 VESIHUOLLON JÄRJESTÄMINEN

Suomen vesivarallisuus on maailman kärkeä (Katko 2013, 91). Runsaat vesivarat mahdollistavat elintason nousun ja väestön kasvun. Laadukkaalla talousvedellä on myös positiivinen vaikutus ihmisten terveydentilaan. (RIL 124-1. Vesihuolto I 2003, 15–20). Talousveden saattaminen kaikkien käyttöön edellyttää vesihuollon järjestämistä. Suomessa vesihuollon kehitys alkoi 1800-luvun lopulla. Keskeisenä ohjauskeinona on toiminut vesihuoltoon liittyvän lainsäädännön kehittäminen. (Katko 2013, 31).

2.1 Vastuut ja yhteiskunnallinen merkitys

Toimiva ja luotettavasti järjestetty vesihuolto on yksi yhteiskunnan peruspilareista. Talousvettä hyödyntävät kansalaisten lisäksi useat yhteiskunnan peruspalvelut, terveydenhuolto sekä elinkeinoelämä. Laadukkaalla talousveden tuotannolla ja jakelulla varmistetaan näiden palveluiden toimivuus. Suomessa 90 % kotitalouksista käyttää vesihuoltolaitosten jakelamaa talousvettä. Kotitalouksista 85 % jätevedet johdetaan viemäriverkostoon ja sitä kautta keskitettyyn jätevedenkäsittelyyn. (Silfverberg 2017, 1). Vesihuolto on tyypillisesti kunnan vastuulla. Tähän velvoittaa vesihuoltolaki, jonka mukaan kunnan on tehtävä tarvittavat toimenpiteet vesihuollon järjestämiseksi. Vesihuollon järjestämisen perusteena voivat olla suuren asukasjoukon tarve sekä terveydelliset tai ympäristönsuojeluun liittyvät syyt. (Vesihuoltolaki 119/2001, 6 §). Vesihuoltolaitosten lisäksi Suomessa toimii useita vesiosuuskuntia. Vedenhankinta voidaan järjestää myös kiinteistökohtaisesti. Vesiosuuskunnat ja kiinteistökohtaiset ratkaisut ovat tyypillisesti käytössä vesihuoltolaitosten toiminta-alueen ulkopuolisilla alueilla. (Silfverberg 2017, 1).

Tällä hetkellä Suomessa toimii noin 1100 vesihuoltolain veloitteiden piiriin kuuluvaa laitosta. Näistä noin 80 kpl lasketaan suuriksi laitoksiksi. Suuret laitokset toimittavat vettä yli miljoona kuutiometriä vuodessa. Keskisuuria laitoksia on noin 280 kappaletta. Keskisuuret laitokset toimittavat vettä 100 000–1 milj. kuutiometriä vuotta kohti. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021, 8).

Vesihuollon tulee täyttää sosiaalisia, teknisiä, taloudellisia ja ympäristöllisiä kriteerejä (Silfverberg 2017, 5). Kuvassa 1 on esitetty hyvän vesihuollon tekijät. Turvallisuuden ja toimintavarmuuden kohdalla keskeisiä teemoja ovat riskienhallinta ja erityistilanteisiin varautuminen. Turvallinen ja toimintavarma vesihuolto täyttää terveyteen ja turvallisuuteen liittyvät vaatimukset. Ratkaisevassa asemassa on korkealaatuinen riskienhallinta. (AFRY Finland Oy 2021, 4).



KUVA 1. Hyvän vesihuollon tekijät (AFRY Finland Oy 2021, 3)

Toimintaympäristössä tapahtuvat muutokset aiheuttavat tulevaisuudessa haasteita myös vesilaitoksille. Ilmastonmuutoksen myötä sään ääri-ilmiöt lisääntyvät. Kuivuuden myötä raakaveden saatavuus voi heikentyä. Rankkasateiden lisääntyminen voi vaikuttaa raakaveden laatuun. Runsaiden sateiden myötä vesistöön huuhtoutuvien ravinteiden määrä kasvaa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021, 14). Pohjoismaissa, Pohjois-Amerikassa ja muualla Euroopassa on jo havaittu orgaanisen aineen pitoisuuden nousua pintavesissä (Eikebrokk, Liltved, Vogt 2004, 47–50). Tulevaisuudessa väestönkasvu keskittyy kasvukeskuksiin ja niiden lähialueille. Tämä tarkoittaa myös talousveden tuotannon entistä voimakkaampaa keskittymistä. Tuotannon keskittyessä suuriin laitoksiin myös investointitarpeet kasvavat. (Silfverberg 2017, 9).

2.2 Varautuminen ja riskienhallinta

Talousveden tuotantoa ja jakelua koskevassa lainsäädännössä keskeisessä asemassa on varautuminen poikkeustilanteisiin. Poikkeustilanne voi tarkoittaa häiriötä talousveden laadussa, jakeluun tai laitokseen liittyvää teknistä häiriötä tai yhteiskunnallista poikkeustilannetta. Vesihuoltolain vuoden 2014 päivityksen yhteydessä häiriötilanteisiin varautuminen nostettiin aiempaa suurempaan rooliin. Päivityksessä korostettiin erityisesti riskien arviointia ja varautumissuunnitelmien laatimista. (Silfverberg 2017, 4). Vesihuoltolain (119/2001) 15 § mukaan ”Vesihuoltolaitos vastaa verkostoihinsa liitettyjen kiinteistöjen vesihuoltopalvelujen saatavuudesta häiriötilanteissa”. Samassa pykälässä todetaan myös, että vesihuoltolaitoksen on laadittava suunnitelma häiriötilanteita varten ja pidettävä suunnitelma ajan tasalla.

Terveydensuojelulaissa todetaan, että toiminnanharjoittajalla on velvollisuus kartoittaa toiminnasta aiheutuvat terveydelliset riskit. Riskeihin vaikuttavia tekijöitä on seurattava omavalvonnan avulla. Laissa korostetaan myös terveyshaittojen synnyn ehkäisyä. (Terveydensuojelulaki 763/1994, 2 §).

Valvontatoimissa keskeistä on terveyttä uhkaavien riskien arviointi ja hallinta. Riskiarvio laaditaan yhdessä viranomaisen ja toiminnanharjoittajan kanssa. (Terveydensuojelulaki 20 §).

Valmiuslaki velvoittaa vesihuoltolaitoksia toimittamaan vettä oman toiminta-alueensa ulkopuolelle poikkeustilanteissa. Päätöksen tekee maa- ja metsätalousministeriö. Ministeriön päätöksellä voidaan myös poiketa vesilain mukaisen vedenotto-oikeudesta, jos vedensaannin turvaaminen sitä edellyttää. (Valmiuslaki 1552/2011, 44 §).

Talousveden tuotannon riskien hallintaan on kehitetty WSP-riskinhallintajärjestelmä. WSP (Water Safety Plan) on rakennettu WHO:n suosittelman mallin pohjalta ja se on SFS-EN 15975–2 standardin mukainen. Järjestelmä on maksuton ja toimii verkossa. Verkkotyökalun avulla vesilaitokset voivat arvioida ja tunnistaa tuotantoprosessiin liittyviä riskejä raakavesilähteeltä kuluttajalle asti. (Sosiaali- ja terveysministeriö julkaisuaika tuntematon).

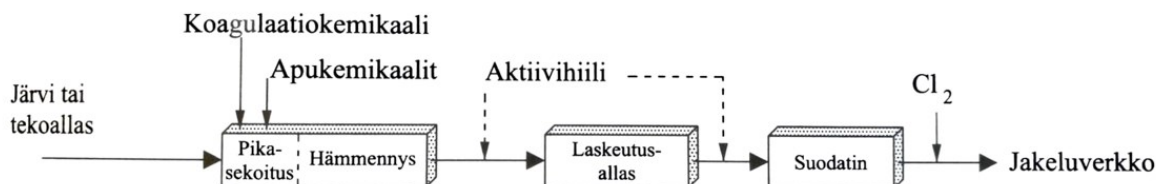
3 SAOSTUS OSANA VEDENKÄSITTELYPROSESSIA

Kemiallinen saostus on yksi vedentuotannon kriittisistä prosesseista. Suomessa merkittävä osa vedentuotantolaitoksista hyödyntää prosessissaan kemiallista saostusta. Kemiallisen saostuksen pääasiallinen tehtävä on poistaa raakavedestä orgaanista ainetta. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 4). Orgaaninen aines aiheuttaa veteen hajua, makua ja väriä ja sen poistaminen on edellytys laadukkaan talousveden tuotannolle. Kemiallisen saostuksen avulla saadaan vedestä poistettua myös muita epäpuhtauksia, kuten mikrobeja. (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 133).

3.1 Talousveden tuotantoprosessi

Vedenkäsittelyn tavoitteena on tuottaa laadukasta, terveydelliset, tekniset ja esteettiset kriteerit täyttävää talousvettä (RIL 124-1. Vesihuolto I 2003, 42). Talusvesiasetus määrittelee talusvedeksi jaettavan veden laatukriteerejä sekä omavalvontaa. Asetuksen mukaan talusvedessä ei saa olla terveyshaittaa aiheuttavia loisia tai pieneliöitä tai muita terveyshaittaa aiheuttavia aineita. Asetuksessa todetaan myös, että veden syövyttävyyden ja saostumien syntyminen jakeluverkostossa on esitettävä. (Talusvesiasetus 1352/2015, 4 §). Väriin, hajun ja maun osalta vesi ei saa olla käyttäjien kannalta poikkeavaa (Talusvesiasetus, Liite 1).

Vedenkäsittelyprosessi ja valitut yksikköprosessit riippuvat raakaveden lähteestä. Suomessa raakaveden lähteinä käytetään pohjavettä ja pintavettä. Raakaveden laadussa voi olla suuria vaihteluita ja käsittelyn tarve määräytyy sen mukaan. (RIL 124-1. Vesihuolto I 2003, 43–44). Tyypillisin raakaveden lähde Suomessa on pohjavesi (Huoltovarmuuskeskus 2020, 12). Pohjavettä muodostuu, kun maahan satanut tai sulanut vesi suotautuu painovoiman vaikutuksesta maakerrosten läpi. Pohjavettä muodostuu erityisesti harjuihin ja suuriin reunamuodostumiin. (RIL 124-1. Vesihuolto I 2003, 99). Pohjaveden laatu on usein parempaa pintaveteen verrattuna ja käsittely talusvesikäyttöön sopivaksi yksinkertaisempaa. (RIL 124-1. Vesihuolto I 2003, 46). Pohjavettä voidaan muodostaa myös keinotekoisesti tekopohjavetenä. Tekopohjavettä voidaan valmistaa edistämällä veden luonnollista imeytymistä pohjavesiesiintymään. Tämä voidaan toteuttaa imeyttämällä pintavettä maaperään. Tekopohjavettä voidaan valmistaa myös ranta-, allas- tai kaivoimeytyksen avulla. (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 288–292).



KUVA 2. Pintaveden käsittelyprosessi (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 263)

Kuvassa 2 on esitetty pintavesilaitoksen prosessikaavio. Kuvassa esitettyjen vaiheiden lisäksi prosessi voi sisältää myös muita yksikköprosesseja. Tyypillisimpiä vaiheita talousveden tuotantoprosessissa ovat:

- Kemiallinen saostus: Saostuksen avulla poistetaan raakavedestä sameutta aiheuttavia partikkeleita sekä humusta. Kemiallista saostusta käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.2.
- Otsonointi: Otsonoinnin avulla poistetaan väriä ja makua aiheuttavia aineita, rautaa, mangaania, torjunta-aineita, kemikaaleja ja levätoksiineja. Vaihe toteutetaan johtamalla veteen kaasumaista otsonia. Otsoni reagoi vedessä orgaanisten ja epäorgaanisten yhdisteiden kanssa. Otsonoinnilla on myös desinfioiva vaikutus.
- Hiekkasuodatus: Vaiheen tavoitteena on poistaa kiinteitä epäpuhtauksia ja saostuksesta jääneitä flokkeja. Pohjavesilaitoksilla hiekkasuodatuksen avulla voidaan poistaa rautaa, mangaania ja humusta. Suodatus perustuu suodatinmateriaalin kykyyn pidättää epäpuhtauksia.
- Aktiivihiiisuodatus: Aktiivihiiisuodatuksen avulla vedestä poistetaan hajua ja makua aiheuttavia yhdisteitä, orgaanisia epäpuhtauksia ja hiiliyhdisteitä sekä levämyrkyjä. Vesi johdetaan rakeisesta aktiivihiilestä rakennetun kerroksen läpi, jolloin epäpuhtaudet kiinnittyvät rakeiden pinnalle. (Lahti, Vieno, Kaunisto 2011, 41–42)
- Desinfiointi: Desinfioinnilla varmistetaan veden mikrobiologinen laatu. Tavoitteena on tehdä vaarattomiksi tautia aiheuttavat mikrobit, jotka ovat päässeet muun prosessin läpi. Desinfiointi voidaan toteuttaa UV-valon, otsonoinnin tai kloorikemikaalien avulla. Desinfioinnissa voidaan käyttää myös näiden menetelmien yhdistelmää. (Norsk Vann, Suomen Vesilaitosyhdistys ry ja Svenskt Vatten 2019, 13–14).
- Alkalointi: Alkaloinnin tavoitteena on nostaa veden puskurikykyä. Puskurikyky tarkoittaa veden kykyä neutraloida happoja (AFRY Finland Oy 2022, 15). Alkalointi voidaan toteuttaa suodattamalla vesi kalkkikivikerroksen läpi tai lisäämällä veteen alkaloivaa kemikaalia, kuten kalsiumhydroksidia. Alkalointi nostaa veden pH-arvoa. (Lahti ym 2011, 42).
- Kovuuden säätö: Kovuus kuvaa veden sisältämien kivennäisaineiden, pääasiassa kalsiumin ja magnesiumin, määrää. Liiallinen kovuus voi aiheuttaa vaikeasti poistettavia saostumia. Toisaalta liian pehmeä vesi voi aiheuttaa metalliputkien syöpymistä. Kovuuden säädöllä pyritään pitämään kovuuden taso optimaalisena. (Suomen ympäristökeskus 2021). Suomessa vesi on tyypillisesti pehmeää ja kovuutta joudutaan nostamaan kalsiumia tai magnesiumia sisältävillä kemikaaleilla. (Lahti ym 2011, 42).

3.2 Kemiallinen saostus

Pintavesilaitoksilla raakavetenä käytettävä vesi voi sisältää useita epäpuhtauksia. Vedelle ominaista on hyvä liuotuskyky. Tämä altistaa veden epäpuhtauksille (Kemira 2020, 16). Epäpuhtaudet esiintyvät vedessä suspendoituneina aineina, kolloideina ja liuenneina aineina. Epäpuhtaudet voivat olla peräisin mineraaleista, kuten savesta, hiekasta ja siltistä tai orgaanisista aineista, kuten humuksesta ja hajoamistuotteista. Lisäksi vesi voi sisältää useita mikro-organismeja. Tyypillisimpiä mikro-organismeja ovat bakteerit, virukset, plankton ja levä (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 133). Suomessa pintavedet ovat usein humuspitoisia ja vaativat täydellisen kemiallisen käsittelyn. Pintavesille on tyypillistä myös laadun vaihtelu vuodenaikojen mukaan. (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 343).

Kemiallisen saostuksen tavoitteena on poistaa raakavedestä orgaanista ainetta. Luonnollisesta orgaanisesta aineesta käytetään lyhennettä NOM (Natural organic matter). NOM:ia syntyy biologisen

aktiivisuuden ja luonnollisen hajoamisen seurauksena. NOM:ia voi huuhtoutua veteen myös ympäröivästä maastosta. (Crittenden, Hand, Howe, Tchobanoglous, Trussel 2012, 53–54). NOM vaikuttaa näkyvimmin veden esteettiseen laatuun. Se voi aiheuttaa epämiellyttävää väriä, hajua ja makua (Kemira 2020, 17). Lisäksi NOM tarjoaa kasvualustan vedessä esiintyville mikrobeille (Huoltovarmuuskeskus 2020, 8). NOM:in tiedetään myös reagoivan desinfiointissa käytettävien kemikaalien kanssa. Desinfiointikemikaalien ja NOM:in väliset reaktiot voivat synnyttää karsinogeenisiä yhdisteitä. NOM voi myös lisätä desinfiointikemikaalin kulutusta. NOM:illa on kyky kasvattaa metallien ja hydrofobisten orgaanisten kemikaalien, kuten torjunta-aineiden, liukoisuutta, jolloin niiden poistaminen vedenkäsittelyprosessissa on vaikeampaa. Saostusvaiheessa NOM vaikuttaa erityisesti saostuskemikaalien kulutukseen. Suuri NOM-pitoisuus kuluttaa enemmän kemikaalia. NOM:illa voi olla heikentävä vaikutus myös aktiivihiihiisuodatukseseen. NOM adsorboituu aktiivihiihen pinnalle, jolloin hiilen kyky adsorboida epäpuhtauksia heikkenee. Kalvotekniikoissa ongelmaksi voi muodostua kalvon likaantuminen ja huokosten tukkeutuminen NOM:in takia. Vedenjakeluverkostossa NOM voi edesauttaa korroosiota ja liman kasvua. (Crittenden ym 2012, 54).

Orgaanisen aineen määrää vedessä kuvaa TOC-pitoisuus. TOC on lyhenne sanoista total organic carbon. (Kemira 2020, 18) TOC-pitoisuus kuvaa vedessä olevan orgaanisen aineen määrää hiilipitoisuutena (Valvira 2020, 32). TOC-pitoisuudelle ei ole määritelty enimmäisarvoa talousvesiasetuksessa. Asetuksessa kuitenkin todetaan, että vedessä ei saa esiintyä epätavallisia muutoksia. TOC-pitoisuus tulee määrittää, jos laitos toimittaa vettä yli 10 000 m³/vrk. (Valvira 2020, 46). TOC:n pitoisuudesta on kuitenkin olemassa suosituksia. Enimmäispitoisuudeksi suositellaan 4 mg/l (Valvira 2020, 32).

Saostuskemikaalien vaikutus perustuu niiden kyvyille neutraloida negatiivisesti varautuneiden partikkeleiden varaus. Luonnonvesissä esiintyvien partikkeleiden nettovaraus on tyypillisesti negatiivinen, jolloin partikkelit hylkivät toisiaan ja pysyvät veteen dispersoituneena. Partikkelien varaukseen vaikuttaa pH. Negatiivinen varaus kasvaa, kun pH:n arvo kasvaa. Saostuskemikaalit ovat positiivisesti varautuneita. Kun kemikaali lisätään raakaveteen, negatiivisesti varautuneiden partikkelien varaus saadaan neutraloitua. Tyypillisimpiä kemikaaleja ovat rauta- ja alumiini-suolat. Veteen lisättäessä ne muodostavat hydroksideja ja polymeeri-ioneja, jotka pystyvät sitoutumaan pieniin partikkeleihin. Kun negatiivinen varaus on neutraloitu, voivat pienet partikkelit muodostaa suurempia kokonaisuuksia, flokkeja. (Kemira 2020, 174–180).

Saostusprosessi on monivaiheinen. Ensimmäinen vaihe on pikasekoitus. Saostuskemikaali lisätään raakaveteen, jota sekoitetaan tehokkaasti. Pikasekoituksen kesto on lyhyt, muutamista sekunneista muutamiin kymmeneen sekuntiin. Pikasekoituksessa muodostuu kooltaan pieniä flokkeja. Pikasekoitusta seuraa hämmennys, jossa flokkien kokoa kasvatetaan. (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 58). Hämmennysvaiheessa vettä sekoitetaan muutamista minuuteista kymmeneen minuutteihin rauhallisella nopeudella, jotta muodostuneet flokit eivät hajoa (Kemira 2020, 190; RIL 124-4. Vesihuolto II 2004, 58). Hämmennysvaihetta seuraa selkeytys, jossa flokit poistetaan vedestä. Selkeytys voidaan toteuttaa joko laskeutuksen tai flotaation avulla. Laskeutuksessa vettä raskaammat flokit painuvat painovoiman vaikutuksesta laskeutusaltaan pohjalle. (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 77). Floataatiossa veteen johdetaan ilmakuplia, jotka kiinnittyvät flokkeihin ja nostavat ne flotaatioaltaan pinnalle (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 97).

Saostuskemikaalin annosteluun vaikuttavat monet tekijät. Kemikaalin annosteluun vaikuttaa merkittävästi raakaveden pH-arvo. Partikkelien negatiivinen nettovaraus on korkea, kun pH on korkea. Kemikaalia tarvitaan tällöin enemmän, jotta negatiivinen nettovaraus saadaan neutraloitua. Veden pH on sidoksissa myös alkaliteettiin. Korkean alkaliteetin vesissä myös pH on korkea. Taloudellisesta näkökulmasta voi olla järkevää lisätä veteen vahvaa happoa ennen saostusta, jolloin saostuskemikaalia voidaan annostella vähemmän. Vesi, jonka alkaliteetti on matala, voi vaatia alkaliteetin nostoa ennen saostusta. Alkaliteetin nosto voidaan toteuttaa lisäämällä veteen hiilidioksidia, lipeää tai kalkkia. Veden lämpötila vaikuttaa veden pH-arvoon, optimaaliseen saostus pH-arvoon ja jäännösmetallikonsentraatioon. Lämpötilan lasku nostaa veden viskositeettia, joka vaikuttaa hidastavasti flokkien muodostumis- ja laskeutumisenopeuteen. Lämpötilan laskiessa jäännösalmiinin pitoisuus pienenee, optimaalinen saostus pH kasvaa, flokit muodostuvat ja laskeutuvat hitaammin. Flokkien koon kasvattamista kylmässä vedessä voidaan edesauttaa apukoagulanttien avulla. Polyalumiinikloridien ja rautapohjaisten kemikaalien on todettu soveltuvan paremmin kylmille vesille, kuin alumiinisulfaatin. Sulfaattia sisältävien kemikaalien avulla saadaan muodostettua flokkeja, jotka laskeutuvat paremmin. Flotaatioon soveltuvat useammat kemikaalit. Erotettavien flokkien koko voi flotaatiossa olla pienempi. Kemikaalilaaduksi voidaan tällöin valita myös pieniä flokkeja tuottavat saostuskemikaalit (Kemira 2020, 196–199).

3.3 Tyypillisimmät saostuskemikaalit talousveden tuotannossa

Saostuskemikaalit luokitellaan vedentuotannon kannalta kriittisiksi kemikaaleiksi. Suomessa noin puolet, 48 %, talousvedestä tuotetaan laitoksilla, jotka käyttävät saostuskemikaaleja. Saostuskemikaaleja käytetään pintavesilaitoksilla ja joissain tapauksissa tekopohjavesilaitoksilla. Vuonna 2018 vesilaitokset kuluttivat yhteensä 11 450 tonnia rauta- ja alumiinipohjaisia saostuskemikaaleja. Ferrisulfaattia kulutettiin 10 000 tonnia, alumiinisulfaattia 250 tonnia ja polyalumiinikloridia 1200 tonnia. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 8–12).

Taulukossa 1 on esitetty tyypillisimpiä saostuskemikaaleja ja niiden keskeisiä ominaisuuksia. Kemikaalien ominaisuudet on huomioitava varautumissuunnitelmassa, koska niillä on vaikutusta sekä prosessiin, että varastointiin. Eräs keskeinen tekijä on optimaalinen saostus-pH. Alumiinipohjaiset kemikaalit vaativat rautapohjaisia kemikaaleja korkeamman pH:n. Optimaalisen pH:n saavuttaminen voi edellyttää raakaveden pH:n säätöä ennen kemiallista saostusta. Eroja on myös kemikaalien annostelumäärissä. Alumiinipohjaisia kemikaaleja annostellaan pääsääntöisesti vähemmän. Annosteluun vaikuttaa kemikaalin metallipitoisuus sekä raakaveden TOC-pitoisuus (AFRY Finland Oy 2022, 21).

Kemikaalien tiheys sekä materiaalivaatimukset vaikuttavat säiliöiden mitoittamiseen ja suunnitteluun. Varastoinnissa on huomioitava myös kemikaalin jäätymispiste, joka vaikuttaa varastosäiliön sijoitukseen.

TAULUKKO 1. Saostuskemikaalien ominaisuuksia (Mukailtu lähteistä Huoltovarmuuskeskus 2020, 21–24; AFRY Finland Oy 2022, 2)

	Ferrisulfaatti	Ferrikloridi	Alumiinisulfaatti	Polyalumiinikloridi
Rakennekaava	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	FeCl_3	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{Cl}_3$
Olomuoto	Punaruskea neste	Tummanruskea neste	Kirkas/Vaaleanruskea neste	Kellertävä neste
Metallipitoisuus	12,50 %	13,80 %	4 %	7,2-12,5 %
pH	<1	<1	n. 2	n. 1,5
Jäätymispiste	-20 °C	-20 °C	-10 °C	-30 °C
Tiheys (20 C)	1570 ± 0,05 kg/m ³	1420 kg/m ³	1290 ± 30 kg/m ³	1310-1390 ± 30 kg /m ³
Viskositeetti	40 ± 10 mPas (20 °C, kylläinen liuos)	5-15 mPas (20 °C)	15-25 mPas (20 °C)	20-40 mPas (20 °C)
Materiaalivaatimukset	Muovi, lasikuituvahvisteinen polyesteri, titaani, kumioitu tai haponkestävä teräs	Muovi, lasikuituvahvisteinen polyesteri, titaani, kumioitu teräs	Muovi, kumioitu tai haponkestävä teräs	Muovi, lasikuituvahvisteinen polyesteri, titaani tai kumioitu teräs
Varastointi	Suosittelava varastointiaika max 12 kk	Suosittelava varastointiaika max 12 kk	Suosittelava varastointiaika max 12 kk	Suosittelu varastointiaika 8-12 kk
Saostus-pH	4,5-5,5	4-6	6-7	6,5-6,7
Ominaiskulutus järvivedelle	50-100 g/m ³		45-80 g/m ³	30-60 g/m ³
Orgaanisen aineen poistoteho	65 %		50 %	60 %
Raja-arvo jäännösmetallille (Talousvesiasetus)	200 µg/l Fe	200 µg/l Fe	0,2 mg/l Al	0,2 mg/l Al
Muuta	Saattaa tarvita lisäksi hapon tai emäksen annosteluun, riippuu raakaveden alkaliteetista	Voimakkaasti korrodoivaa	Lisää sulfaatin pitoisuutta 20-50 mg/l (Pintavesilaitokset)	Voi syövyttää metalleja

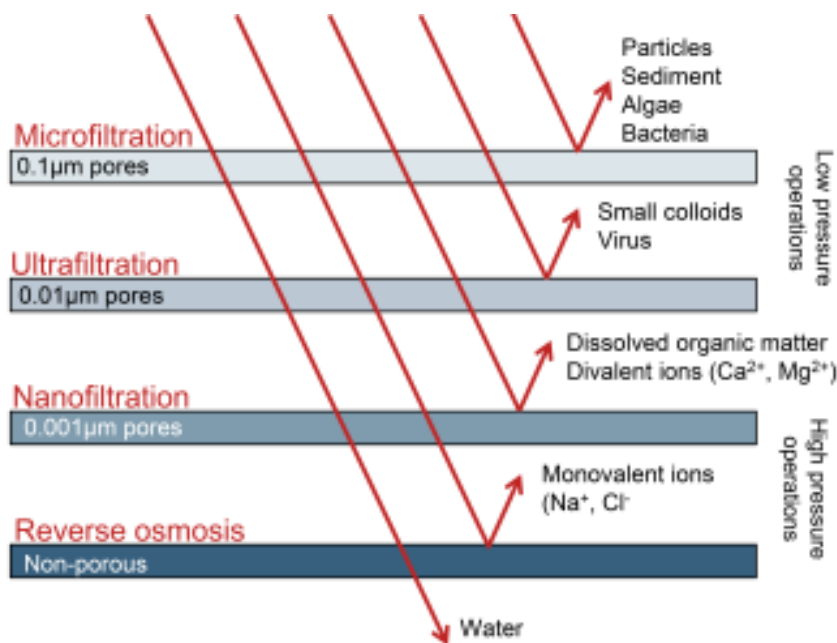
3.4 Vaihtoehtoiset tekniikat

Saostusprosessi voidaan korvata tai toteuttaa useilla erilaisilla tekniikoilla. Osalla tekniikoista saostuskemikaalien käytöstä voidaan luopua kokonaan ja osa vähentää kemikaalien kulutusta. Saostuskemikaalien tuotannossa voidaan hyödyntää vaihtoehtoisia raaka-ainelähteitä sekä valmistustekniikoita.

Tekopohjaveden käytöllä voidaan kemiallisesta saostuksesta parhaassa tapauksessa luopua kokonaan (Huoltovarmuuskeskus 2020, 47). Tekopohjaveden valmistus perustuu maaperän kykyyn suodattaa epäpuhtauksia raakavedestä. Luonnollisen pohjavesiesiintymän antoisuutta voidaan lisätä imeyttämällä maaperään pintavettä. Maaperän kerrokset toimivat hidassuodattimena ja epäpuhtaudet pidättyvät maaperän rakeisiin. Puhdistustulokseen vaikuttaa käytetyn raakaveden laatu. Laadukkaasta pintavedestä saadaan laadukasta tekopohjavettä. Usein hyvin hoidettu ja oikein mitoitettu tekopohjavesilaitos tuottaa laatukriteerit täyttävää vettä. (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 289–290). Tekopohjaveden kohdalla haasteeksi voivat muodostua imeytykseen soveltuvien alueiden ja sopivan raakavesilähteen löytyminen. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 47).

Saostuskemikaaleja voidaan valmistaa vaihtoehtoisista raaka-ainelähteistä tai kiertotalouteen perustuvilla vaihtoehtoisilla valmistustekniikoilla. Rautapohjaisten kemikaalien raaka-aineena voidaan hyödyntää esimerkiksi kaivosteollisuuden rautapitoisia sivuvirtoja. Sivuvirroista saatava raaka-aine on joko nestemäisessä tai kiinteässä muodossa. Tässä vaihtoehdossa tulee kiinnittää erityistä huomiota raaka-aineen laatuun. Nestemäisten jakeiden kohdalla rautapitoisuuden on oltava riittävän korkea. Mahdolliset epäpuhtaudet on myös poistettava. Potentiaalisia raaka-ainelähteitä ovat Hannukaisen kaivokselta saatava magnetiitti, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi ferrisulfaatin valmistuksessa. Saostuskemikaalien tuotannossa voitaisiin hyödyntää myös Kokkolassa sijaitsevan Bolidenin sinkkitehtaan tuotannon sivuvirtana saatavaa jarsiittia sekä Talvivaaran kaivoksella syntyvää rautapitoista liuosta. Ferrikloridia voidaan valmistaa romuraudan ja erilaisten kemikaalien, kuten kloorikaa-sun ja happojen, välisillä reaktioilla. Menetelmä mahdollistaisi ferrikloridin paikallisen tuotannon kiertäysraaka-aineista. Vaihtoehtoisista raaka-ainelähteistä ja tekniikoista on tehtävä vielä lisäselvityksiä. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 26).

Orgaanisen aineen poistoon voidaan hyödyntää kalvosuodatustekniikoita. Kalvosuodatuksessa käsiteltävä vesi ajetaan paineen avulla huokoisen puoliläpäisevän kalvon läpi. Kalvon kyky pidättää erityyppisiä epäpuhtauksia riippuu huokosten koosta. Kalvotekniikat jaetaan huokoskoon perusteella neljään kategoriaan: mikro-, ultra- ja nanosuodatukseseen sekä käänteisosmoosiin. (Crittenden ym 2012, 821–822). Kuvassa 3 on esitetty kalvotekniikoiden avulla poistettavia epäpuhtauksia sekä eri kalvotyyppien huokoskokoja. Kuvasta voidaan nähdä, että ultra- ja nanosuodatuksella sekä käänteisosmoosilla voidaan poistaa jopa viruksia.



KUVA 3. Kalvosuodatintyytit ja poistettavat epäpuhtaudet (Aquadren Technologies julkaisuaika tuntematon)

Kalvotekniikoista orgaanisen aineen poistoon soveltuvat parhaiten ultra- ja nanosuodatus.

Nanosuodatuksen avulla saostuskemikaalin käytöstä voidaan joissain tapauksissa luopua kokonaan. Orgaanisen aineen poistoteho nanosuodatuksessa vaihtelee 60–90 % välillä. Tiukkoja kalvoja käytettäessä saostuskemikaalin tarve poistuu. Ultrasuodatuksessa on huomioitava, että vesi vaatii esikä-

sittelyä ennen suodatukseen johtamista. Orgaanisesta aineesta saadaan ultrasuodatuksella poistettua 65–75 %, kun esikäsitteilyä käytetään kemiallista saostusta, jota seuraa selkeytys. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 39–40). Saostuskemikaalista ei siis voida kokonaan luopua ultrasuodatusta käytettäessä. Kalvosuodatustekniikoissa ongelmia voi aiheuttaa kalvojen tukkeutuminen. Tukkeutumista aiheuttaa erityisesti vedessä oleva orgaaninen aines sekä rauta (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 121). Mikro-organismit voivat muodostaa biofilmiä kalvon pinnalle. Tukkeutumista voidaan ehkäistä kalvojen riittäväällä huuhtelulla ja puhdistamisella. (Crittenden ym 2012, 862).

Ioninvaihtotekniikoita on käytetty talousveden valmistuksessa veden pehmentämiseen (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 409). Ioninvaihto perustuu vedessä olevien ionien, kationien ja anionien, vaihtamiseen. Vaihtaminen tapahtuu kiinteän ioninvaihtomassan avulla. (RIL 124-2. Vesihuolto II 2004, 160). Orgaanisen aineen poistamiseen käytetään tyypillisesti anionista hartsia. Hartsiin perustuvia ioninvaihtotekniikoita ovat esimerkiksi SIX[®]- ja MIEX[®]- prosessit. SIX[®]-tekniikka mahdollistaa saostuskemikaalista luopumisen. MIEX[®]-tekniikkaa käytetään tyypillisesti alumiinisaostuksen esikäsitteilyä. Tekniikoiden orgaanisen aineen poistoteho vaihtelee 40–85 % välillä. Molemmat tekniikat ovat patentoituja, mikä voi rajoittaa käytettävyyttä. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 43–46).

4 VEDENKÄSITTELYKEMIKAALIEN HUOLTOVARMUUS SUOMESSA

Talousveden tuotannossa käytettävien saostuskemikaalien valmistus pohjautui Suomessa pitkään Porissa sijaitsevan titaanioksiditehtaan sivuvirtana syntyneeseen ferrosulfaattiin. Jopa 90 % Suomen vesihuollossa käytettävien saostuskemikaalien raaka-aineena käytettävästä ferrosulfaatista saatiin Porista. Vuonna 2017 tapahtunut tulipalo osoitti järjestelmän haavoittuvuuden, kun merkittävä ferrosulfaatin lähde poistui. Vuonna 2020 valmistuneen selvityksen mukaan talousveden tuotannon jatkuvuuden turvaamiseksi vesihuoltolaitosten on varauduttava entistä paremmin myös saostuskemikaalien saatavuushäiriöihin. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 4).

4.1 Huoltovarmuus

Huoltovarmuus käsitteenä määritellään seuraavasti: ”Huoltovarmuus tarkoittaa kykyä selviytyä häiriötilanteissa ja kriisioloissa mahdollisimman vähin erityisjärjestelyin ja haitoin”. Huoltovarmuuden luominen perustuu riskien kartoittamiseen ja ennalta varautumiseen. Huolellisen riskiarvioinnin ja suunnittelun perusteella ryhdytään toteuttamaan tarpeellisiksi katsottuja toimenpiteitä huoltovarmuuden luomiseksi. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi varmuusvaraston perustamista. Suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota resurssien jakamiseen. Poikkeustilanteessa resurssien hyödyntäminen voi vaatia säännöstelyä. (Huoltovarmuuskeskus julkaisuaika tuntematon).

Varautumisesta säädetään valmiuslaissa. Lain mukaan valtion alaisuudessa toimivilla tahoilla ja kunnilla on velvollisuus varautua poikkeusoloihin valmiussuunnitelmien ja etukäteisvalmisteluiden avulla niin, että ne selviytyvät tehtävistään mahdollisimman hyvin. (Valmiuslaki, 12 §).

Suomessa varautumista koordinoi Huoltovarmuuskeskus. Keskus toimii työ- ja elinkeinoministeriön alaisuudessa. Kuvassa 4 on esitetty huoltovarmuusorganisaation rakenne. Organisaatio on jaettu seitsemään sektoriin, jotka edustavat yhteiskunnan eri toimintoja. Sektoreihin kuuluu 22 poolia, jotka hoitavat elinkeinoelämän operatiivista varautumista. (Sanastokeskus TSK 2017, 75–76)



KUVA 4. Huoltovarmuusorganisaation rakenne (Huoltovarmuuskeskus julkaisuaika tuntematon)

Vesihuoltoalan varautumista edistää ja tukee vesihuoltopooli. Vesihuoltopooli kuuluu terveydenhuoltosektoriin. Sen toimintaa ohjaa poolitoimikunta, joka koostuu vesihuoltolaitosten, kuntien, Huoltovarmuuskeskuksen ja vesihuoltoa ohjaavien ja valvovien ministeriöiden ja viranomaisten edustajista. Poolin toiminnassa on vahvasti mukana myös Vesilaitosyhdistys, joka jakaa vesihuoltopoolin laatimia oppaita ja muita julkaisuja. (Vesilaitosyhdistys julkaisuaika tuntematon). Huoltovarmuuskeskuksen (julkaisuaika tuntematon) mukaan vesihuoltopooli

- seuraa, suunnittelee ja valmistelee alan huoltovarmuuden kehittämistä
- ylläpitää huoltovarmuuden kannalta kriittisten organisaatioiden rekisteriä
- ohjaa ja seuraa oman alansa varautumista
- järjestää koulutus- ja harjoitustilaisuuksia
- teettää huoltovarmuutta edistäviä tutkimuksia
- tuottaa oppaita häiriötilanteiden varalle
- muodostaa alan huoltovarmuuden tilannekuvan
- tekee esityksiä tarvittavista kehityshankkeista.

4.2 Saostuskemikaalien tuotanto ja saatavuus

Rauta- ja alumiinipohjaisten saostuskemikaalien valmistus edellyttää luotettavaa raaka-ainelähdettä. Tuotannossa hyödynnetään kiertotaloutta ja usein tuotantolaitokset sijoitetaan vesikemikaalien valmistuksessa hyödynnettäviä sivuvirtoja tuottavien teollisuuslaitosten yhteyteen. Saostuskemikaalien valmistukseen tarvitaan rauta- tai alumiinipohjaisen raaka-aineen lisäksi rikki- tai suolahappoa. Rautapohjaisten kemikaalien raaka-aineen tyypillisin lähde on titaanioksidin valmistuksessa syntyvä ferrosulfaatti tai ferrikloridi. Alumiinipohjaisten kemikaalien kannalta kriittisempi raaka-aine on happo. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 15).

Vuonna 2017 tapahtuneen Venator Oy:n titaanioksiditehtaan palon myötä Suomesta poistui merkittävä ferrosulfaatin lähde. Porissa sijaitsevan tehtaan sivuvirtana syntynyttä ferrosulfaattia hyödynnettiin Kemira Oyj:n vesikemikaalitehtaalla vedenkäsittelykemikaalien valmistamiseen. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 16). Kemira Oyj:lle myönnettiin vuonna 2018 ympäristölupa, joka mahdollistaa kaatopaikalle vuosien saatossa läjitetyn ferrosulfaatin hyödyntämisen. Luvan mukaan ferrosulfaattia voidaan kaivaa enintään 200 000 t/a vuoden 2023 loppuun asti (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2018). Kemira arvioi vuonna 2019 kaatopaikalle läjitetyn ferrosulfaatin riittävän yli viideksi vuodeksi. Porin tehtaan lisäksi Kemira Oyj valmistaa vedenkäsittelykemikaaleja Harjavallassa ja Sastamalassa sijaitsevilla tuotantolaitoksissa. Harjavallan laitos valmistaa alumiinisulfaattia 100 000 t/a kapasiteetilla. Sastamalan laitoksessa valmistetaan polyalumiinikloridituotteita, joita tuotetaan 25 000 t/a. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 16–17).

Toinen merkittävä vesikemikaalien valmistaja ja toimittaja Suomessa on vuonna 2013 perustettu Voda Nordic Oy. Yrityksen perustamisen taustalla on vaikuttanut tarve ja halu monipuolistaa Suomen vesikemikaalimarkkinoita. Yrityksellä on kaksi tuotantolaitosta Suomessa. Ferrikloridin valmistus

aloitettiin Raahessa vuonna 2016 ja ympäristöluvan mukainen tuotantovolyymi on 10 000 t/a. Vuonna 2021 aloitettiin ferrisulfaatin tuotanto Kokkolassa. Kokkolan tehtaan tuotantovolyymi on ympäristöluvan mukaan 30 000 t/a. Rautakemikaalien raaka-aineena hyödynnetään Ruotsissa ja Norjassa louhittua rautaoksidia. Oman tuotannon lisäksi Voda Nordic Oy tuo maahan sekä alumiini- että rautapohjaisia saostuskemikaaleja useasta eri lähteestä. (Jantunen 2022).

Lähimmät ulkomaiset saostuskemikaalien tuotantolaitokset sijaitsevat Ruotsissa ja Norjassa. Kemira Oyj:llä on tuotantolaitokset Norjassa ja Ruotsissa. Ruotsissa sijaitseva laitos valmistaa rauta- ja alumiinipohjaisia kemikaaleja. Laitoksen kapasiteetti rautapohjaisten kemikaalien osalta on 230 000 t/a ja alumiinipohjaisten osalta 70 000 t/a. Kemiran tuotantolaitoksen lisäksi Ruotsissa toimii kaksi Feralco AB:n yksikköä, jotka valmistavat rauta- ja alumiinipohjaisia kemikaaleja. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 17).

Euroopassa saostuskemikaaleja tuotetaan 80 eri tuotantolaitoksessa 31 tuottajan toimesta. Raaka-aineista 70 % saadaan muiden teollisuustoimintojen sivuvirroista. Saostuskemikaaleja tuotetaan Euroopassa vuositasolla 4 miljoonaa tonnia. (INCOPA julkaisuaika tuntematon).

4.3 Toimenpiteet huoltovarmuuden turvaamiseksi kansallisella tasolla

Saostuskemikaalien huoltovarmuuden turvaamiseksi on mahdollista perustaa varmuus- ja turvavarastoja valtion tuella. Valtion varmuusvarastoissa pidetään sellaisia raaka-aineita ja tuotteita, jotka ovat välttämättömiä väestön toimeentulolle, elinkeinoelämän toiminnalle ja maanpuolustusta tukevalle tuotannolle. Varaston ottaminen käyttöön edellyttää valtioneuvoston päätöstä. (Laki huoltovarmuuden turvaamisesta 1390/1992, 3 §). Varmuusvarasto voidaan ottaa käyttöön vain poikkeustilanteissa (Huoltovarmuuskeskus 2020, 20). Turvavaraston toiminnasta ja varastoinnista vastaa kaupallinen toimija. Huoltovarmuuskeskus ja turvavarastoija laativat sopimuksen varaston perustamisesta (Turvavarastolaki 970/1982, 3 §). Varastoitu tavara on yrityksen omistuksessa ja toimintaa valvoo Huoltovarmuuskeskus (Turvavarastolaki, 10 §). Myös turvavaraston käyttöönotto edellyttää lupaa. Luvan myöntää työ- ja elinkeinoministeriö. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 20). Turvavaraston perustamiseen ja ylläpitämiseen myönnetään korkotukilainaa (Turvavarastolaki, 5 §).

Saostuskemikaalien huoltovarmuutta voidaan parantaa hajauttamalla tuotantoa useaan yksikköön. Tuotannon keskittäminen yhteen tuotantolaitokseen muodostaa huoltovarmuuden kannalta riskin. Sama riski koskee myös raaka-aineiden varastointia. Tällä hetkellä saostuskemikaalien raaka-aineiden varastointi on keskittynyt vain 2–4 paikkaan. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 19).

Vesilaitokset voivat parantaa huoltovarmuutta lisäämällä omaa varastointia. Käytössä olevan saostuskemikaalin lisäksi voidaan varastoida kemikaalien raaka-aineita. Tämä vaihtoehto vaatii tuotantolaitoksen, jotta raaka-aine saadaan jalostettua saostuskemikaaliksi. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 19). Vesihuoltolaitokset voivat myös perustaa yhteistyössä hankintarenkaita, joilla turvataan kriittisen kemikaalin saanti. Vuonna 2020 aloitettiin hanke, jonka tavoitteena oli turvata ferrosulfaatin saanti jätevedenpuhdistamoilla. Hankkeen myötä perustettiin hankintarengas, jonka jäseninä on keskeisiä jätevedenpuhdistamoita. Hankintarengas ylläpitää varmuusvarastoa, jossa on ferrosulfaattia jäsenien puolen vuoden tarpeeseen. (Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy 2021).

4.4 Saostuskemikaalien käyttö muilla toimialoilla

Saostuskemikaalien käyttöä yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla on selvitetty vuonna 2014. Selvityksessä mukana olleiden 57:n puhdistamon käsittelemä jätevesimäärä kattaa noin 65 % koko Suomen puhdistamoilla käsitellystä jätevesimäärästä. Eniten käytettiin rautapohjaisia kemikaaleja. Ferrosulfaatin kulutus vuositasolla oli 29 500 t/a. Ferrisulfaattia käytettiin 16 800 t/a. Alumiinipohjaisten kemikaalien kulutus oli huomattavasti pienempää. Alumiinisulfaattia kulutettiin 1508 t/a ja polyalumiinikloridia 1140 t/a. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 13).

Saostuskemikaaleja hyödynnetään myös teollisuudessa. Rautapohjaisten kemikaalien pääasiallisia käyttäjiä ovat kunnalliset vesihuoltolaitokset. Teollisuuden osuus rautapohjaisten kemikaalien kokonaiskulutuksesta on n. 15 %. Ferrosulfaattia hyödynnetään rehu-, kaivos- ja sementtiteollisuudessa. Lisäksi ferrisulfaattia käytetään kattila- ja prosessivesien valmistuksessa. Puunjalostusteollisuus hyödyntää sekä alumiini- että rautapohjaisia kemikaaleja joko raaka-aineena tai jätevesien käsittelyssä. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 11–15).

5 HUOLTOVARMUUDEN PARANTAMINEN ALVA-YHTIÖT OY:SSÄ

Tässä luvussa käsitellään saostuskemikaalien huoltovarmuuden parantamista Alva-yhtiöt Oy:ssä. Suunnittelun pohjana toimii vuonna 2022 julkaistu ohjeistus Suunnitteluohjeet kemiallisen saostuksen toimintavarmuuden parantamiseksi vesihuollossa. Ohjeistuksen on laatinut AFRY Finland Oy ja sen on julkaissut Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Nykytilanteen määrittäminen ja toimenpidesuunnitelma mukautuvat ohjeistuksessa suositeltuja vaiheita.

5.1 Alva-yhtiöt Oy

Alva-yhtiöt Oy on Jyväskylän kaupungin omistama yhtiö. Yhtiön päätuotteita ovat lämpö, sähkö ja vesi. Yhtiö toimii Jyväskylän seudulla sekä tytäryhtiön kautta myös Viitasaarella. Alva-yhtiöt Oy toimittaa vettä myös vesiosuuskunnille. Yhtiö tuotti vuonna 2021 noin 8,9 Mm³ vettä. Jätevedet puhdistetaan Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:ssä. Alva-yhtiöt Oy:llä on käytössään ISO 14001-ympäristöjärjestelmä ja yritys noudattaa toiminnassaan kestävän kehityksen periaatteita. (Alva-yhtiöt Oy 2021).

Jyväskylä on keskeinen kaupunkiseutu ja väestömäärän arvioidaan kasvavan tulevaisuudessa. Vuonna 2030 Jyväskylän kaupungissa arvioidaan olevan 150 000 asukasta. Kasvun ennustetaan keskittyvän erityisesti kantakaupungin ja Keljon sekä Palokka-Puuppolan alueelle. Vedenkulutusennusteen mukaan Jyväskylän vedenkulutus vuonna 2030 on noin 29 000 m³/d. (Jyväskylän kaupunki 2015, 14–16). Vuonna 2021 vettä tuotettiin noin 24 000 m³/d. (Alva-yhtiöt Oy 2022).

5.2 Nykytilanteen arvio

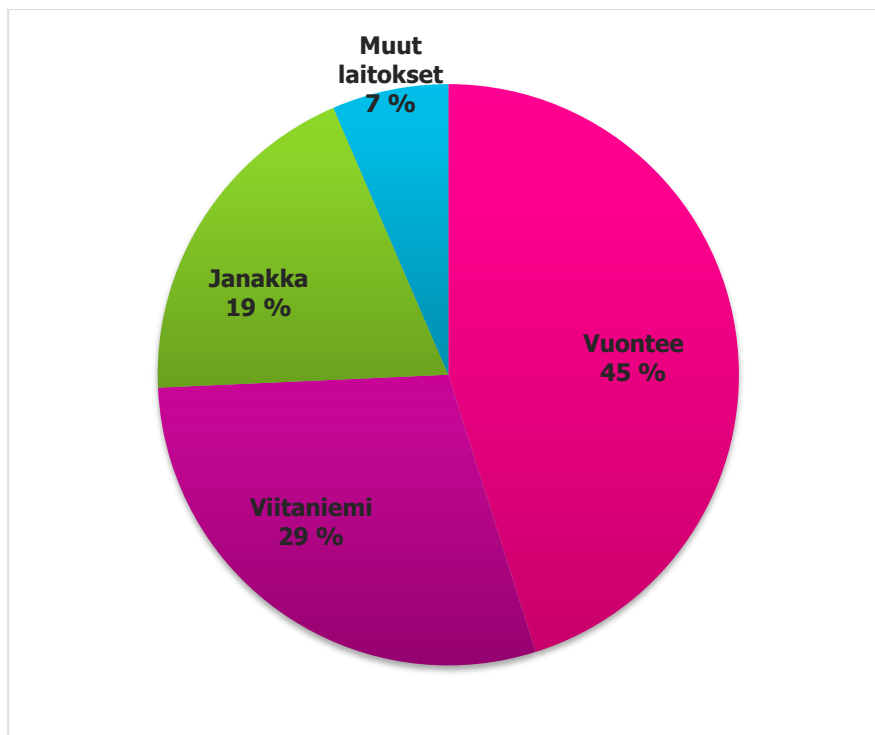
Nykytilanteen arviossa tarkasteltiin Alva-yhtiöt Oy:n tämänhetkistä tilannetta saostuskemikaaleja käyttävien laitosten osalta. Saostuskemikaaleja käytetään kahden laitoksen vedenkäsittelyssä ja nykytilanteen arviossa keskityttiin näihin laitoksiin. Muiden laitosten merkittävyyttä vedentuotannon kannalta arvioitiin tuotantomäärien näkökulmasta. Laitoskohtaiset nykytilanteen arviot on esitetty liitteessä 1 (Vain tilaajan käyttöön).

5.2.1 Laitokset

Talousvettä tuotetaan yhteensä 7 laitoksella. Lisäksi vettä ostetaan Muuramesta. Taulukossa 2 on esitetty laitosten vuoden 2021 tuotantomäärät vuosi- ja vuorokausitasolla sekä laitosten kapasiteetit. Kuvassa 5 on esitetty laitosten tuotantomäärät prosenttiosuuksina. Tuotantomäärien perusteella voidaan todeta, että vedentuotanto pohjautuu pääosin kolmeen suureen laitokseen, jotka tuottavat noin 93 % talousvedestä. Neljän pienemmän laitoksen osuus vedentuotannosta on noin 7 %. Laitoksista suurin on Laukaassa sijaitseva Vuonteen tekopohjavesilaitos, jonka prosessissa ei käytetä saostuskemikaaleja. Viitaniemen pintavesilaitos käyttää raakavetenään Tuomiojärven vettä. Janakan laitoksella raakaveden lähteenä toimii sekä pintavesi, että Kaivovedellä tuotettu tekopohjavesi. Viitaniemen ja Janakan laitosten prosesseihin kuuluu kemiallinen saostus. Lopuilla laitoksilla hyödynnetään pohjavettä. Näiden laitosten prosessissa ei hyödynnetä saostuskemikaaleja.

TAULUKKO 2. Laitoksilla tuotettu vesi vuonna 2021 (Mukailtu lähteistä Tuotanto ja ostot, Alva-yhtiöt Oy 2022; Jyväskylän kaupungin vesihuollon kehittämissuunnitelma 2014)

Tuotantolaitos	Tuotantomäärä m ³ / a	Tuotantomäärä m ³ /vrk	Ottamokapasiteetti m ³ /vrk
Vuontee	4014500	10000–15000	20000
Viitaniemi	2592700	4000–12000	12000
Janakka	1710900	5000–7000	10000
Pohjaveden hankinta	575700		



KUVA 5. Laitosten tuotantomäärät vuonna 2021

5.2.2 Käytössä olevat kemikaalit ja niiden kriittisyys yksikköprosesseille ja vedentuotannolle

Kahdella laitoksella käytössä olevia saostuskemikaaleja arvioitiin vedentuotannon kannalta. Tarkastelussa arvioitiin kemikaalien kriittisyyttä laitosten yksikköprosesseille sekä vedentuotannolle. Arvioinnissa huomioitiin myös valmius optimoida saostusprosessia muiden kemikaalien, kuten lipeän, polymeerin ja hiilidioksidin avulla.

Tarkastelussa todettiin, että saostuskemikaalit ovat kriittisiä laitosten prosessien kannalta. Laitosten prosesseissa käytetään raakavetenä pintavettä, joka vaatii saostuskäsittelyn. Lähtökohtaisesti laitoksia ei voida ajaa ilman saostusvaihetta (Tyrväinen 2022). Huoltovarmuuden kannalta on edullista, että laitoksilla on käytössä eri metalleihin pohjautuvat kemikaalit. Muun kemikaloinnin osalta todettiin, että molemmilla laitoksilla on valmius esialkalointiin joko hiilidioksidin tai lipeän avulla. Polymeerin syöttöön ei ole valmiutta kummallakaan laitoksella.

5.2.3 Varastointi

Varastoinnin osalta määriteltiin laitosten nykyisten kemikaalisäiliöiden tilavuudet ja materiaalit. Lisäksi arvioitiin säiliömateriaalin soveltuvuutta vaihtoehtoisille kemikaaleille. Tarkastelussa kartoitettiin myös mahdollisuutta ja tarvetta sijoittaa ylimääräisiä kemikaalisäiliöitä laitosten yhteyteen. Varastokapasiteetin lisäksi arvioitiin kemikaalin riittävyttä normaalikulutustilanteessa. Normaalikulutus-tilanteen laskennassa käytettiin laitosten virtaamien viiden vuoden keskiarvoja ja saostuskemikaalin keskimääräistä kulutusta kuutiometriä kohti.

5.2.4 Annostelupumput ja kemikaalilinjat

Muita arvioitavia tekijöitä olivat kemikaalilinjastojen materiaalit sekä käytössä olevien annostelupumppujen kapasiteetti ja soveltuvuus eri kemikaaleille. Erityistä huomiota kiinnitettiin pumppujen kapasiteettiin ja materiaaleihin. Annosteluputkistojen osalta arvioitiin myös linjaston alttiutta jäätymiselle.

Annostelulinjojen materiaalien perusteella estettä vaihtoehtoisten saostuskemikaalien käytölle ei ole. Käytössä olevien pumppujen voidaan olettaa sopivan myös vaihtoehtoisten kemikaalien pumppaamiseen.

5.2.5 Alvan prosesseihin sopivat vaihtoehtoiset kemikaalit ja tekniikat

Edellä arvioitujen tietojen perusteella vedettiin johtopäätökset Alvan saostuskemikaaleja käyttävien laitosten nykytilanteesta. Arvion perusteella määriteltiin laitoksille soveltuvat vaihtoehtoiset kemikaalit ja tekniikat. Arviossa pohdittiin myös mahdollisuutta lisätä tekopohjaveden käyttöä. Lisäksi kartoitettiin mahdollisuutta ajaa laitos alas, jos kyseessä on lyhytaikainen häiriö. Kehityskohteita löydettiin Vuonteen laitoksen säätövaran parantamisen ja varastointikapasiteetin osalta. Kehityskohteiden lisäksi määriteltiin valmiusaika saostuskemikaalilaadun vaihtamiselle.

Kappaleessa 3.4 esiteltujen muiden vaihtoehtoisten tekniikoiden käyttöönotto ei ole varteenotettava vaihtoehto. Kalvosuodatustekniikat sekä ioninvaihtoon ja elektrokoagulaatioon perustuva saostus vaatii suuria investointeja ja mahdollisesti koko prosessin muuttamista. Kunnossapidon kannalta patentoitujen tekniikoiden, kuten SIX® ja MIEX®, käyttö voi aiheuttaa riskin, koska varaosat ja huolto voivat olla vain tietyn yrityksen hallinnassa.

5.3 Kustannusvaikutukset

Kemikaalilaadun vaihtaminen ja siihen varautuminen voi aiheuttaa investointitarpeita. Kustannuksia voi syntyä varmuusvarastoinnin järjestämisestä sekä rinnakkaisten kemikaalinannostelujärjestelmien rakentamisesta. Kemikaalien hinnoissa voi olla myös eroja. Vaihtoehtoisten kemikaalien testaaminen ja koeajot vaativat myös resursseja laitosten omalla henkilökunnalla tai ulkopuolisella konsultilla teettävän työn muodossa. Automaatioon ja instrumentaatioon tehtävät muutokset aiheuttavat myös kustannuseriä.

6 TOIMENPIDESUUNNITELMA

Tässä kappaleessa käsitellään saostuskemikaalin vaihtoon varautumista käytännön tasolla sekä suositeltavia toimenpiteitä huoltovarmuuden parantamiseksi. Toimenpidesuunnitelmassa annetaan ohjeita yleisellä tasolla sekä laitospohjaisia suosituksia. Laitospohjaisia suosituksia on esitetty liitteessä 2 (Vain tilaajan käyttöön).

6.1 Tarvittavat sopimukset

Vaihtoehtoiseen kemikaaliin siirtymisen tulee tapahtua mahdollisimman sujuvasti. Tämä tulee huomioida myös hankintasopimuksia tehdessä. Yleensä kemikaalitoimittajan kanssa laaditaan sopimus tietyn kemikaalin toimittamisesta. Uusia sopimuksia tehdessä on suositeltavaa sopia myös vaihtoehtoisen saostuskemikaalin toimittamisesta. Vesihuoltolaitoksen kannalta on edullista kirjata sopimukseen oikeus vaihtaa toiseen kemikaalitoimittajaan poikkeustilanteissa. Vaihdon sujuvuuden kannalta on tärkeää luoda yhteydet kemikaalitoimittajiin jo ennakkoon (AFRY Finland Oy 2022, 6). Uusien sopimusten laatimisessa voidaan käyttää apuna SOPIVA-suosituksia ja valmiita SOPIVA-lausekkeita (Huoltovarmuuskeskus 2020, 24). Huoltovarmuuskeskus (julkaisuaika tuntematon) on antanut seuraavia suosituksia kumppanuuksia koskien:

Suositus 24: Organisaation tuotannolle kriittiset kumppanit, alihankkijat ja resurssit on tunnistettu

Suositus 25: Sopimuksissa on vaatimukset toiminnan jatkuvuuden hallinnan toteuttamiselle

Suositus 26: Kriittisen toiminnan jatkuvuuden hallintavelvoite on ulotettu keskeiseen toimittajaverkoston

Suositus 27: Yhteistoiminta kumppanien kanssa häiriö- ja erityistilanteiden hallitsemiseksi on organisoitu ja vastuutettu

Sopimusten osalta haasteeksi voi muodostua kemikaalimarkkinoiden kaupallinen luonne. Toissijaisilla kemikaalitoimittajilla ei välttämättä ole intressiä laatia ennakkoon sopimuksia, joissa veloitetaan kemikaalin toimittamiseen ilman olemassa olevia ostoja (Tyrväinen 2022).

6.2 Varastointi

Saostuskemikaalien toimitushäiriöihin voidaan varautua kasvattamalla laitosten omaa varastointikapasiteettia. Kemikaalia tulee varastoida sen verran, että laitoksen toimintaa voidaan ylläpitää neljä viikkoa ilman uuden kemikaalierän toimitusta. (AFRY Finland Oy 2022, 4). Laitosta tulee voida ajaa niin, että talousvesiasetuksen laatuvaatimukset ja tavoitteet täyttyvät.

Pitkäaikaisissa saostuskemikaalin toimitushäiriöissä on varauduttava vaihtoehtoisen saostuskemikaalin käyttöön. Laitoksille suositellaan kahta erillistä säiliötä saostuskemikaaleille. Tämä mahdollistaa vaihtoehtoisen kemikaalin hankkimisen ennen kuin ensisijainen saostuskemikaali loppuu. Varastot voidaan sijoittaa laitokselle tai laitoksen ulkopuolelle. Keskeistä on kuitenkin se, että vesihuoltolaitos omistaa ja hallinnoi varmuusvaraston käyttöä itse. Varmuusvarastointi voidaan järjestää myös usean laitoksen yhteistyönä, jolloin omistus ja hallinnointi on esimerkiksi hankintarenkaan käsissä. (AFRY Finland Oy 2022, 4).

Varastokapasiteetin määrittelyssä tulee huomioida logistiikka. Saostuskemikaaleja toimitetaan säiliöautoilla, joilla kuljetettavien kemikaalien koko vaihtelee 20–47 tonnin välillä. Varastoinnille ei ole kemikaalien säilyvyyden tai varastointimääräysten kannalta ylärajaa. Säiliökoon valintaan vaikuttaa käytetty kemikaali ja sen tiheys sekä kemikaalin toimituserän koko. Yleisessä suunnitteluohjeessa suositellaan, että säiliön koko valitaan kemikaalin toimituserän mukaan. Säiliökoon tulisi olla 1,5 kertaa toimituserän koko. Taulukossa 3 on esitetty suositeltavat säiliökoot saostuskemikaaleille, kun laitokselle toimitetaan 20 tonnin erä (nuppikuorma). Alumiinisulfaatin tiheys on pienin, jolloin myös sen varastointitilavuus on suurin. Jos laitoksella varaudutaan kaikkien kemikaalien käyttöön, on varastokoko valittava alumiinisulfaatin tiheyden mukaan. Tällöin varaston minikoko on 23 m³. (AFRY Finland Oy 2022, 5-8).

TAULUKKO 3. Suositellut säiliökoot nuppikuormalle (AFRY Finland Oy 2022, 8)

		Ferrisulfaatti	Ferrikloridi	Alumiinisulfaatti	Polyalumiinikloridi
Tiheys	tn/m ³	1,57	1,42	1,29	1,39
Toimituserä	tn	20	20	20	20
	m ³	13	14	16	14
Tarvittava säiliökoko (1,5 x toimituserä)	m ³	19	21	23	22

Taulukossa 4 on esitetty suositeltavat säiliökoot laitoksille, joille toimitetaan suurin mahdollinen kuorma, 47 tonnia saostuskemikaalia (Täysperävaunu). Varaston minimikooksi suositellaan 55 m³, jos laitoksella varaudutaan kaikkien kemikaalien käyttöön.

TAULUKKO 4. Suositellut säiliökoot täysperävaunuormalle (AFRY Finland Oy, 8)

		Ferrisulfaatti	Ferrikloridi	Alumiinisulfaatti	Polyalumiinikloridi
Tiheys	tn/m ³	1,57	1,42	1,29	1,39
Toimituserä	tn	47	47	47	47
	m ³	30	33	36	34
Tarvittava säiliökoko (1,5 x toimituserä)	m ³	45	50	55	51

Saostuskemikaalien varastoinnissa tulee huomioida varastointiin ja kemikaaliturvallisuuteen liittyvät määräykset. Saostuskemikaalit ovat terveydelle haitallisia ja syövyttäviä kemikaaleja. Saostuskemikaalit eivät ole palavia, myrkyllisiä tai räjähdysvaarallisia. Saostuskemikaaleilla ei ole ympäristölle vaarallisia ominaisuuksia. Päätyminen ympäristöön on kuitenkin estettävä. Erityistä huomioita tulee kiinnittää vuotojen hallintaan sekä kemikaalin purkupaikalla, että varastosäiliöiden rakenteissa. Säiliöiden yhteyteen on rakennettava varoaltaat tai vallitila. (AFRY Finland Oy 2022, 6–7). Saostuskemikaaleille suositellaan tuplavaipallisia PE-säiliöitä tai PE-säiliön ja varoaltaan yhdistelmää. Varoaltaan tulee kattaa koko varastosäiliön tilavuus. Edellä mainitut ratkaisut ovat myös kustannustehokkaita. (AFRY Finland Oy 2022, 12).

Purkupaikalla kemikaalivuotoja voidaan hallita putkistojen tai varoaltaan avulla. Toinen keskeinen tekijä varastoinnin suunnittelussa on työturvallisuus. Kemikaalivarastojen käytön ja kunnossapidon

tulee olla kaikissa tilanteissa turvallista. (AFRY Finland Oy 2022, 6–7). Laitoksen käyttöhenkilökunnalla tulee olla selkeä ohjeistus vaarallisten kemikaalien käyttöä, käsittelyä ja varastointia varten. Toiminnanharjoittajan vastuulla on käyttöhenkilökunnan koulutus ja ohjeiden noudattamisen valvonta. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012, 64§). Suunnittelun apuna voidaan hyödyntää TUKES:n opasta Vaarallisten kemikaalien käsittely ja varastointi. Opas on vapaasti saatavilla verkossa.

Mahdollisuudet ferrisulfaatin hankintarenkaan perustamiseksi on myös syytä kartoittaa. Hankintarenkaan potentiaalisia jäseniä ovat esimerkiksi suuret laitokset, joiden toiminta edellyttää saostuskemikaalien käyttöä. Yhteinen varasto voisi toimia samalla periaatteella kuin jätevedenpuhdistamoiden hankintarengas. Tällöin varastossa olisi riittävästi ferrisulfaattia jäsenlaitosten toimintaan halutulle aikavälille.

6.3 Kemikaalilaadun vaihtaminen

Pitkäaikaisissa saostuskemikaalin toimitushäiriöissä on varauduttava vaihtoehtoisen saostuskemikaalin käyttöön. Tässä kappaleessa käsitellään saostuskemikaalin vaihtamista käytännön tasolla. Saostuskemikaalilaadun vaihtaminen edellyttää useita ennakkoon suoritettavia toimenpiteitä. Tavoitteena on, että vaihto tapahtuu mahdollisimman sujuvasti. Jotta tavoite saavutetaan, on seuraavissa kappaleissa esitetyt toimenpiteet suoritettava etukäteen. Kemikaalien annostuksia määriteltiin tämän työn yhteydessä teoreettisella tasolla sekä rajoitetusti käytännön kokeiluilla.

6.3.1 Teoreettiset annostukset vaihtoehtoisille kemikaaleille

Kaikille nestemäisille saostuskemikaaleille määritettiin teoreettiset annostukset raakaveden TOC-pitoisuuden perusteella. Lisäksi arvioitiin kemikaalin kulutusta vuorokausi- ja kuukausitasolla. Alvan omavalvonnassa TOC määritellään NPOC-pitoisuutena. NPOC kuvaa raakaveden TOC-pitoisuutta ilman haihtuvia yhdisteitä (VOC). NPOC- ja TOC-pitoisuuksien ero on Alvalla käytännössä havaittu hyvin pieneksi. (Puttonen 2022). Kemikaalin annostus riippuu kemikaalin metallipitoisuudesta ja raakaveden TOC-pitoisuudesta (AFRY Finland Oy 2022, 21). Rautapohjaisten kemikaalien annostuksen laskenta aloitettiin määrittämällä tarvittava määrä rautaa suhteessa TOC-pitoisuuteen kuutiometrissä raakavettä. Tarvittava rautamäärä laskettiin kaavalla

$$Fe = TOC * 1,745 \quad 1$$

missä Fe on tarvittava raudan määrä yksikössä g/m^3 ja TOC on TOC:n pitoisuus yksikössä g/m^3 . Saatu grammamäärä jaettiin kemikaalin metallipitoisuudella, jolloin saatiin tarvittava kemikaaliannostus yksikössä g/m^3 .

Alumiinipohjaisten kemikaalien annostus laskettiin samoja vaiheita noudattaen. Laskennassa poikkeavaa on alumiinin ja TOC:n suhde. Tarvittava alumiinimäärä laskettiin kaavalla

$$Al = TOC * 0,55 \quad 2$$

missä Al on tarvittava alumiinin määrä grammoina yksikössä g/m^3 ja TOC TOC:n pitoisuus yksikössä g/m^3 .

Kaavat johdettiin yleisen suunnitteluohjeistuksen esimerkkilaskelmista. Tulokset ovat teoreettisia. Todellinen annostus on määriteltävä laboratoriokokeiden ja laitosmittakaavassa suoritettavien koeajojen avulla. Teoreettisten annostusten avulla voidaan arvioida vaihdon kustannusvaikutuksia sekä kemikaalin riittävyyttä normaalikulutustilanteessa. Laitosten teoreettiset annostukset on esitetty liitteessä 3 (Vain tilaajan käyttöön).

6.3.2 Kokeilut laboratorio-olosuhteissa

Saostuskemikaalien eri annostuksia testattiin käytännössä astiakokeiden avulla. Tämän työn yhteydessä kokeiltiin kahden eri kemikaalin annostuksia samalle raakavedelle. Kokeet suoritettiin Janakan laitoksen pintavedelle rauta- ja alumiinipohjaisilla kemikaaleilla. Myös muiden saostuskemikaalien annostusten testaaminen astiakokeiden avulla on suositeltavaa. Kokeita on syytä suorittaa myös Viitanien laitoksen raakavedellä sekä Janakan sekavedellä.

Kokeet suoritettiin nelipaikkaisella flokkulaattorilla. Kemikaaleina käytettiin Kemira Oyj:n PIX-322 ferrisulfaattia (jatkossa PIX) ja PAX-XL 100 polyalumiinikloridia (jatkossa PAX). Kemikaaleista valmistettiin laimennokset koetta varten. Lisäksi kokeissa käytettiin natriumhydroksidiliuosta (jatkossa lipeä) pH:n säätämiseen. Pintavedestä mitattiin 0,5 l koe-eriä lasidekkoihin. Dekat asetettiin magneettisekoittajan päälle ja sekoitus säädettiin tehokkaaksi. Kemikaali annosteltiin veteen ja pH säädettiin lipeän avulla halutulle tasolle. Vedestä mitattiin jatkuvasti pH-arvoa. Pikasekoitusta jatkettiin 5 min, jonka jälkeen dekka siirrettiin flokkulaattoriin hämmennykseen. Koe-erää hämmennettiin 20 min ajan nopeudella 10–13 RPM. Hämmennyksen jälkeen koe-eriä laskeutettiin 30 min ajan. Laskeutuksen jälkeen koe-eristä arvioitiin silmämääräisesti flokin ominaisuuksia. Erityistä huomiota kiinnitettiin flokin kokoon, sakan määrään, laskeutuvuuteen sekä flokin liikkuvuuteen. Koe-eristä valittiin silmämääräisesti parhaat laboratorioanalyysia varten. Koe-asetelma vastaa laitoksen raakavedellä aiemmin toteutettuja kokeita.

Taulukossa 5 on esitetty kokeillut PIX-annostukset (g/m^3) sekä koe-erään annostellun PIX-laimennoksen määrät. PIX laimennettiin pitoisuuteen 2 %_{vol}. Eri annostuksia kokeiltiin Ramboll Finland Oy:n suositusten mukaan.

TAULUKKO 5. PIX-annostukset

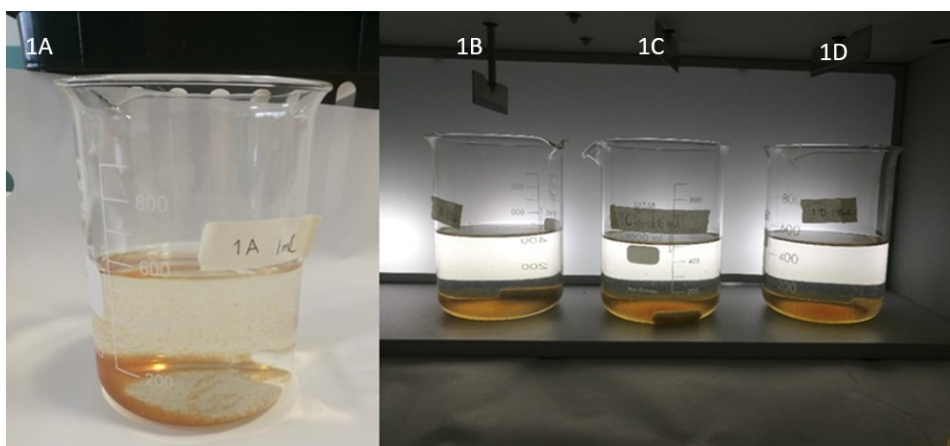
Koe-erä	Tavoite	Annostus
	g/m^3	ml PIX _{Vol-2%} /0,5 l
1A	60	1
1B	80	1,3
1C	100	1,6
1D	120	1,9
2E	140	2,2
2F	160	2,5
2G	180	2,9
2H	200	3,2

Raakavesi arvioitiin silmämääräisesti kellertävän väriseksi. Vedessä ei ole silmin havaittavissa kiinteitä epäpuhtauksia. (Kuva 6). Raakaveden lämpötila kokeiden alussa vaihteli 3,4–9,1 °C asteen välillä.



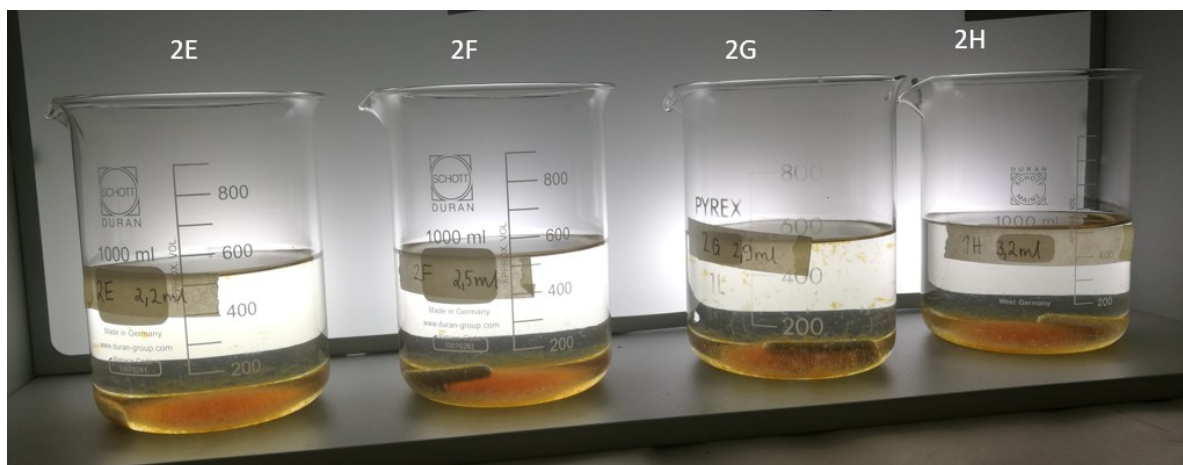
KUVA 6. Raakavesi (Auranen 2022)

Sarjassa 1 pH säädetiin noin arvoon 4,4. Kuvassa 7 on esitetty sarjan 1 (koe-erät 1A–1D) saostumat laskeutuksen jälkeen. Tarkastelussa todettiin, että näytteiden 1A ja 1B flokki oli pientä ja huonosti laskeutuvaa. Erässä 1C flokki oli isompaa ja huonosti laskeutuvaa. Erissä 1B–1D flokkia kellui myös pinnalla. Erässä 1D flokit eivät laskeutuneet täysin, mutta kuitenkin paremmin, kuin erissä 1B ja 1C. Sarjasta 1 laboratorioanalyysiin valittiin koe-erät 1C ja 1D.



KUVA 7. Koe-erät 1A–1D laskeutuksen jälkeen (Auranen 2022)

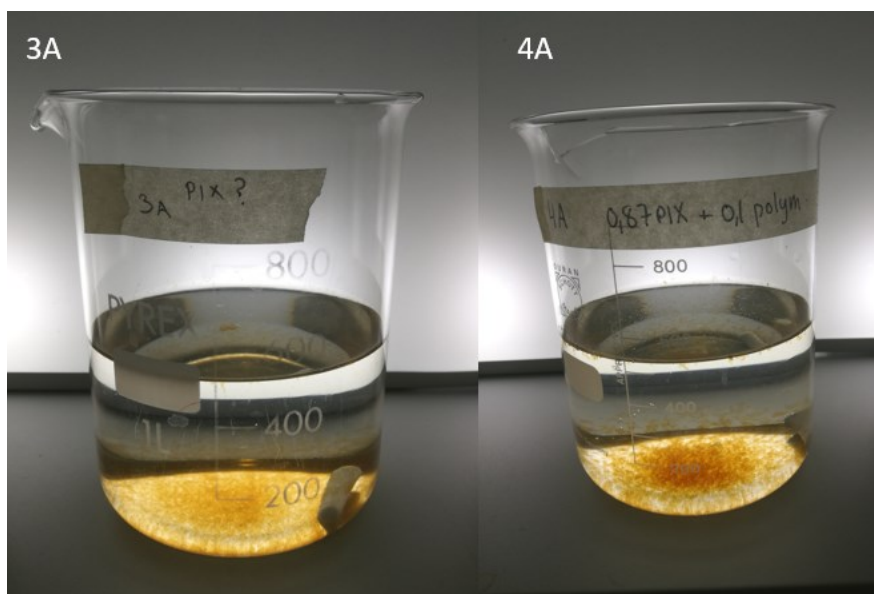
Sarjassa 2 pH säädettiin noin arvoon 4,4. Kuvassa 8 on esitetty sarjan koe-erät laskeutuksen jälkeen. Kaikissa erissä havaittiin flokkeja pinnalla. Erissä 2E ja 2F flokki ei laskeutunut täysin ja flokkia leijaili koko erässä. Erän 2G flokin todettiin olevan herkästi liikkuvaa. Tässä erässä flokki alkoi nousemaan pintaan laskeutuksen jälkeen. Koe-erän 2H todettiin olevan parhaiten laskeutunut. Sarjasta 2 laboratorioanalyysiin valittiin kaikki koe-erät.



KUVA 8. Koe-erät 2E–2H laskeutuksen jälkeen (Auranen 2022)

Sarjassa 3 kokeiltiin annostella PIX:iä, kunnes saavutetaan haluttu pH-arvo. Tässä kokeessa pH:n arvoksi haluttiin noin 4,7. PIX annosteltiin mittapipetillä koe-erään tippa kerrallaan. Kun tavoiteltu pH oli saavutettu, kirjattiin PIX:n menekki ylös. Menettely vastaa tapaa, jolla laitosta normaalisti ajetaan. Koe-erässä muodostuneen sakan todettiin laskeutuvan hyvin (Kuva 9). Pinnalla ja pinnan alla oli myös jonkin verran flokkeja. Koe-erä 3A valittiin laboratorioanalyysiin.

Sarjassa 4 tutkittiin polymeerin vaikutusta flokin muodostumiseen. PIX:iä annosteltiin, kunnes saavutettiin haluttu pH-arvo. Tässä tapauksessa pyrittiin arvoon 4,4. PIX:n lisäyksen jälkeen koe-erään annosteltiin polymeeri. Laskeutuksen jälkeen todettiin erässä olevan paljon isoja flokkeja. Sakka laskeutui pohjalle hyvin, mutta joitakin flokkeja leijui myös pinnalla ja pinnan alla (Kuva 9). Koe-erä 4A valittiin myös laboratorioanalyysiin.



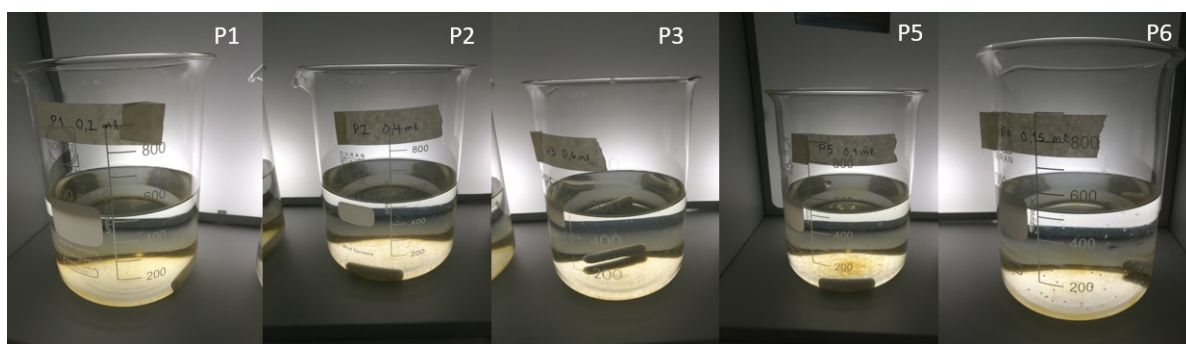
KUVA 9. Koe-erät 3A ja 4A laskeutuksen jälkeen (Auranen 2022)

Taulukossa 6 on esitetty PAX-kokeissa käytetyt annostukset (g/m^3) sekä koe-erään annostellun PAX-laimennoksen määrä. PAX laimennettiin pitoisuuteen 10 %_{vol}. Tässä sarjassa pH nostettiin PIX-sarjoja korkeammalle. PAX:n optimaalinen saostus-pH on noin 6,5–6,7. Kokeissa pH pyrittiin nostamaan tasolle 6,6. Keväällä 2021 toteutetuissa PAX-kokeissa kokeiltiin 2 ml annostusta, joka vastaa noin 556 gramman annostusta kuutiometrissä raakavettä. Annostuksen todettiin olevan liian suuri. (Ramboll Finland Oy 2021, 14;22). Tässä kokeessa kokeiltiin huomattavasti pienempiä annostuksia.

TAULUKKO 6. PAX-annostukset

Koe-erä	Annostus	Annostus
	g/m^3	ml PAX _{Vol-10%} /0,5 l
P1	56	0,2
P2	111	0,4
P3	167	0,6
P4	222	0,8
P5	28	0,1
P6	42	0,15

Kuvassa 10 on esitetty koe-erät P1–P6 laskeutuksen jälkeen (pois lukien erä P4). Sakan todettiin olevan kaikissa erissä pientä ja hienojakoista. Erässä P1 flokin koko oli pienin, sakkaa oli kuitenkin tässä erässä eniten. Erissä P2-P4 sakkaa oli vähän. Erän P1 todettiin olevan onnistunein. Erien P1-P4 perusteella annostusta päätettiin kokeilla vielä pienemmillä arvoilla. Erän P5 todettiin olevan hyvin laskeutunut. Pinnalla ja pinnan alla leijaili muutamia flokkeja. Erässä P6 flokki oli vaalea ja hienoa. Flokki jäi leijaillemaan eikä laskeutunut kunnolla. Sarjasta P laboratorioanalyyysiin valittiin erät P1 ja P6.



KUVA 10. Koe-erät P1-P6 laskeutuksen jälkeen (Auranen 2022)

Sekä PIX- että PAX-kokeilla saatiin saostumista aikaan. Raakavesi kirkastui silmämääräisesti tarkasteltuna hyvin. Eroja syntyi erityisesti flokkien koon ja laskeutuvuuden suhteen. Kokeissa todettiin, että pH:n säätäminen lipeällä on haastavaa. Suuremmilla PIX ja PAX annostuksilla myös lipeää kului enemmän. PAX-kokeissa pH:n säätäminen koettiin PIX-kokeita hieman haastavammaksi.

Taulukossa 7 on esitetty laboratorioanalyyseiden tulokset. Raakaveden TOC on määritelty NPOC-pitoisuutena. Pitoisuudet ovat pintaveden keskimääräisiä arvoja.

TAULUKKO 7. Saostuskokeiden tulokset

Näyte	Sameus FNU	Fe _{kok} mg/l	Fe _{liuk} mg/l	Al _{kok} mg/l	Al _{liuk} mg/l	TOC mg/l
Raakavesi	1,37	0,204	-	0,086	-	9,62
1C	1,46	1,969	0,248	-	-	3,5
1D	1,51	2,167	0,209	-	-	3,3
2E	1,44	2,246	0,166	-	-	3,1
2F	1,27	2,246	0,163	-	-	3,1
2G	1,46	2,417	0,189	-	-	3,1
2H	1,21	1,969	0,150	-	-	2,9
3A	1,06	1,173	0,271	-	-	4,7
4A	1,28	-	-	-	-	4,6
P1	0,95	0,032	0,000	1,045	0,018	4,2
P5	1,82	0,002	0,062	0,953	0,048	7,1

Parhaat tulokset PIX-kokeissa (1C-4A) saavutettiin koe-erässä 2H. Erän TOC-pitoisuus oli sarjan pienin. Annostus tässä koe-erässä vastasi 200 g/m³. Kokeiltu annostus oli sarjan suurin. Ferrisulfaatin ominaiskulutus pintavedelle vaihtelee välillä 50–300 g/m³ (Taulukko 1). Koe-erän annostus 200 g/m³ asettuu vaihteluvälin yläpäähän. TOC:n suositeltu enimmäisarvo 4 mg/l toteutuu lähes kaikissa erissä. Erissä 3A ja 4A pitoisuus ylittyy. Polymeerin lisäys (koe-erä 4A) ei parantanut tulosta. Kokonaisraudan osalta talousvesiasetuksen enimmäisarvo 200 µg/l ylittyy kaikissa koe-erissä. Liukoisen raudan osuus alittaa useassa näytteessä enimmäisarvon. Poikkeuksena näytteet 1C, 1D ja 3A, joissa liukoisen raudan pitoisuus ylittää enimmäisarvon. Sameus oli suuremmilla annostuksilla pääsääntöisesti pienempi. Myös TOC-pitoisuus pieneni annostuksen kasvaessa.

PAX-kokeissa (P1 ja P5) paras tulos saavutettiin koe-erässä P1. TOC:n pitoisuus on lähellä suositeltua enimmäisarvoa. Annostus tässä erässä vastasi 56 g/m³. Pienemmällä annostuksella (28 g/m³) tulokset ovat selvästi huonompia. Kokonaisalumiinin määrä on molemmissa näytteissä huomattava ja ylittää talousvesiasetuksen enimmäisarvon 200 µg/l. Liukoisen alumiinin osuus on molemmissa näytteissä pieni ja alittaa enimmäisarvon. Raudan pitoisuus jää reilusti alle talousvesiasetuksen enimmäisarvon 200 µg/l. Koe-erän P1 sameus oli kaikista eristä pienin.

Tehtyjen kokeiden perusteella parhaat tulokset saavutettiin PIX:n avulla annostuksella 200 g/m³. PAX:n osalta tulokset jäivät heikoiksi ja annostuksen optimointia on syytä jatkaa. Parempi tulos saatiin annostuksella 56 g/m³, joka vastasi myös pintaveden TOC-pitoisuuden perusteella laskettua teoreettista optimiannostusta. Annostusta kokeiltiin myös suuremmilla määrillä, mutta tulokset olivat silmämääräisesti heikkoja ja näytteitä ei analysoitu.

Laboratorio-olosuhteissa tehdyissä kokeissa tuloksiin voivat vaikuttaa koeolosuhteet. Kokeissa valmistetut koe-erät olivat pieniä. Laskeutumisen osalta eroja voi olla vaikea saada esiin astian pienestä koosta johtuen. Saostusreaktion pH:n säätämisessä koetut haasteet liittyivät koe-erän pieneen liuostilavuuteen. PAX:n optimaalinen saostus-pH on hyvin lähellä neutraalia, joka saattoi vaikeuttaa pH:n säätämistä. Näytteeseen saattoi jäädä hienojakoista sakkaa, joka vaikutti analyysituloksiin. Useassa koe-erässä havaittiin sakan nousevan pinnalle. Ilmiö saattaa liittyä ilman liukoisuuteen eri

lämpötiloissa. Raakavesi oli kokeiden alussa kylmää ja lämpötila nousi loppua kohti, jolloin myös ilmaa haihtui enemmän. Ilman haihtumisessa syntyneet kuplat saattoivat nostaa myös flokkia pintaan. Kokeet suoritettiin kylmän veden aikaan, jolla saattoi olla vaikutus osittain heikkoihin tuloksiin. Hidassekoitus (flokkin kasvattaminen) ja laskeutus vaativat kylmässä vedessä pidemmän ajan (Kemira 2020, 218–219). Tuloksia tarkastellessa on muistettava, että saostusta seuraa useita yksikköprosesseja, joilla on vaikutus veden laatuun.

6.3.3 Muun kemikaloinnin annostustarve ja muutokset selkeytetyn veden laadussa

Saostuskemikaalilaadun vaihtaminen vaikuttaa myös muun kemikaloinnin tarpeeseen. Talousveden tulee täyttää jokaista saostuskemikaalia käytettäessä talousvesiasetuksessa annetut laatuvaatimukset ja tavoitteet. Siirtymän aikana vedenlaatua on syytä tarkkailla tehostetusti. Valvontaa voidaan suorittaa näytteenoton avulla. Näytteenoton ohella prosessiin sijoitettuja jatkuvatoimisia mittauksia, kuten pH ja sameus, on syytä seurata tehostetusti.

Taulukkoon 8 on koottu keskeisimpiä prosessissa tapahtuvia muutoksia, kun ferrisulfaatti vaihdetaan toiseen nestemäiseen saostuskemikaaliin. Alumiinipohjaisiin kemikaaleihin siirryttäessä on kiinnitettävä erityistä huomiota jäännösalmiinin määrään. Vaihdoilla voi olla vaikutus myös veden mikrobiologiseen laatuun, jos orgaanisen aineen poistoteho heikkenee. Tämä voi kasvattaa desinfiointikemikaalin annostelun tarvetta. Ferrikloridiin siirryttäessä on huomioitava kloridin korrodoivat ominaisuudet, jotka ovat sulfaattia voimakkaammat.

Taulukko 8. Keskeiset muutokset siirryttäessä ferrisulfaatista vaihtoehtoiseen kemikaaliin (Mukaiilu lähteistä AFRY Finland Oy 2022, 25; Talousvesiasetus 683/2017)

Kemikaali	Ferrikloridi	Alumiinisulfaatti (nestemäinen)	Polyalumiinikloridi
Kemikaalin annostus	Ei merkittävää muutosta	Kasvaa hieman	Vähenee
Alkalointikemikaalin ja hiilidioksidin annostus	Alkalointi: ei merkittävää muutosta CO₂: ei merkittävää muutosta	Alkalointi: vähenee hieman CO₂: ei merkittävää muutosta	Alkalointi: vähenee CO₂: vähenee
Muutokset selkeytetyn veden laadussa	Sulfaatin sijaan vedessä kloridia, joka korrodoivampaa	- Alumiinipitoisuus kasvaa - pH muuttuu (saostuksen optimaalinen pH korkeampi) - Heikompi orgaanisen aineen poistoteho	
Vaikutukset muuhun prosessiin	Talousveden alkaliteetin nosto korkeammalle kloridin korrodoivien ominaisuuksien takia	- Muutokset alkalointitarpeessa - Desinfiointikemikaalin tarve kasvaa jos orgaanisen aineen poistoteho heikkenee	
Muuta huomioitavaa		Jäännösalmiinin pitoisuus (Talousvesiasetus: alle 200 µg/l) Voidaan hallita saostuskemikaalin annostuksen optimoinnilla ja sekoitusolosuhteilla	

Taulukkoon 9 on koottu keskeisimpiä prosessissa tapahtuvia muutoksia, kun siirrytään polyalumiinikloridista toiseen nestemäiseen saostuskemikaaliin. Rautapohjaiseen kemikaaliin vaihdettaessa orgaanisen aineen poistoteho usein paranee. Tästä syystä desinfiointikemikaalia voidaan annostella vähemmän. Saostuskemikaalin ja esialkaloinnin annostus kasvaa vaihdettaessa polyalumiinikloridi vaihtoehtoiseen saostuskemikaaliin.

TAULUKKO 9. Keskeiset muutokset siirryttäessä polyalumiinikloridista vaihtoehtoiseen kemikaaliin (Mukailtu lähteistä AFRY Finland Oy 2022, 23; Talusvesiasetus 683/2017)

Kemikaali	Ferrikloridi	Ferrisulfaatti	Alumiinisulfaatti
Kemikaalin annostus	Kasvaa	Kasvaa	Kasvaa
Alkalointikemikaalin ja hiilidioksidin annostus	Alkalointi: kasvaa CO₂: kasvaa	Alkalointi: kasvaa CO₂: kasvaa	Alkalointi: kasvaa CO₂: kasvaa
Muutokset selkeytetyn veden laadussa	- Orgaanisen aineen poistoteho paranee - pH matalampi - ei vaaraa - jäännösalmiiniasta	- Orgaanisen aineen poistoteho paranee - pH matalampi - ei vaaraa - jäännösalmiiniasta - kloridin sijaan vedessä sulfaattia, joka korrodoi vähemmän	Kloridin sijaan vedessä sulfaattia, joka korrodoi vähemmän
Vaikutukset muuhun prosessiin	pH:n säätö ja loppuprosessin alkalointitarve muuttuu Desinfiointitarve vähenee, jos orgaanisen aineen poistoteho parempi		Ei merkittäviä muutoksia
Muuta huomioitavaa	Rautapohjaista kemikaalia voi todellisuudessa annostella vähemmän → saavutetaan kuitenkin sama laatu, kuin alumiinipohjaista kemikaalia käytettäessä		Jäännösalmiinin pitoisuus (Talusvesiasetus: alle 200 µg/l) Voidaan hallita saostuskemikaalin annostuksen optimoinnilla ja sekoitusolosuhteilla

6.3.4 Muutokset annostelulinjastoissa ja pumppauksessa

Vaihtoehtoiseen saostuskemikaaliin siirtyminen voi edellyttää rinnakkaisten annostelujärjestelmien rakentamista (Huoltovarmuuskeskus 2020, 64). Annostelulinjastoja suunniteltaessa tulee huomioida saostuskemikaalien erilaiset ominaisuudet ja kemikaaliturvallisuutta koskeva lainsäädäntö. Annostelulinjojen tulee täyttää sekä kemikaaliturvallisuuteen, että työturvallisuuteen liittyvät vaatimukset. Uusia linjastoja suunniteltaessa voidaan hyödyntää TUKES:n opasta Kemikaaliputkistojen turvallisuusvaatimukset (AFRY Finland Oy 2022, 14). Opas on vapaasti saatavilla verkossa.

Vaarallista kemikaalia sisältävien putkistojen vaatimuksista on annettu määräyksiä Valtioneuvoston asetuksessa vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista. Putkistojen tulee täyttää painelaitelaimen mukaisen luokituksen I vaatimustaso (PED-luokka I). Raken-
nusosiin tai maahan upotettavat putket on suojattava korroosiota, mekaanista kulumista sekä tarvittaessa jäätymistä vastaan. Tämä voidaan toteuttaa suojakourujen tai -putkien avulla. Jäätymistä voidaan ehkäistä eristämällä putki. Putkistossa olevien venttiilien osalta todetaan, että tarvittaessa putkistossa on oltava ylipaineventtiili. Ylipaineventtiili on asennettava, jos neste ei pääse purkautumaan esteettä sulkuventtiiliin tai muun laitteen takia. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista, 47–48 §). Asetuksen 60 § mukaan putkistoihin tulee merkitä sisältö (kemikaalilaatu) ja virtaussuunta.

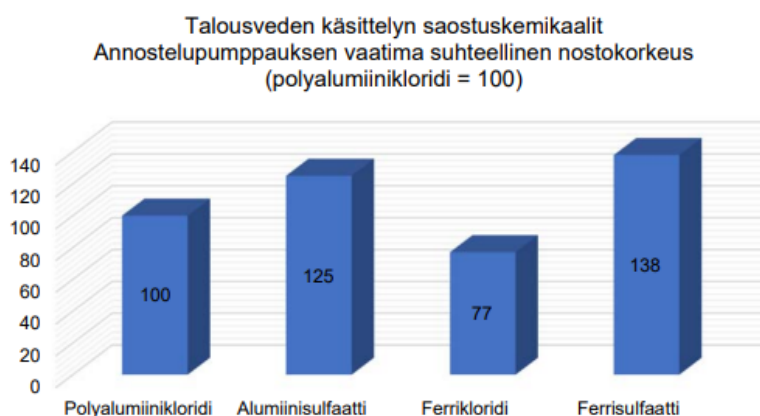
Saostuskemikaalit eroavat toisistaan tiheyden, viskositeetin ja syövyttävyyden suhteen (Taulukko 1). Tämä asettaa vaatimuksia etenkin materiaalien suhteen. Muovi soveltuu kaikkien saostuskemikaalilinjastojen materiaaliksi ja on suositeltavaa, että mahdollisten rinnakkaisten annostelulinjojen mate-

riaaliksi valitaan muovi. Tämä mahdollistaa osaltaan siirtymisen kaikkiin nestemäisiin saostuskemikaaleihin. PVC-muovi on tyypillisin annostelulinjastoissa käytetty materiaali. PVC:n heikkouksia ovat auringon valon ja kylmyyden aiheuttama haurastuminen sekä kierrätyksen aiheuttamat haasteet. PVC:n lisäksi annostelulinjat voidaan tehdä PE- tai PP-materiaaleista. Kloridia sisältävät kemikaalit ovat syövyttäviä ja tämä ominaisuus tulee huomioida, jos annostelulinjasto rakennetaan teräksestä tai haponkestävästä teräksestä. Tällöin materiaali on pinnoitettava kumilla. Annostelulinjaston materiaalin lisäksi on kiinnitettävä huomiota tiivisteiden materiaaliin. (AFRY Finland Oy 2022, 13).

Myös annostelupumppauksen suunnittelussa on huomioitava saostuskemikaalien erilaiset ominaisuudet. Kemikaalit eroavat toisistaan annostelutarpeen, tiheyden ja viskositeetin suhteen ja nämä tekijät vaikuttavat myös pumppaukseen. Pumppauksessa erityistä huomiota tulee kiinnittää seuraaviin asioihin:

- Pumpun annostelupäähän kohdistuva paineisku
- Painehäviö annostelulinjastossa
- Putken paineluokka
- Pumpun paineentuottokapasiteetti
- Pumpun nostokorkeus (AFRY Finland Oy 2022, 12–13).

Kuvassa 11 on esitetty saostuskemikaalien vaatimia suhteellisia nostokorkeuksia, kun polyalumiinikloridin vaatima nostokorkeus on 100. Nostokorkeus ja putkikoko pysyvät samana (AFRY Finland Oy 2022, 11). Kuvasta voidaan nähdä, että ferrisulfaatti vaatii suhteellisesti suurimman nostokorkeuden. Ferrisulfaatin tiheys on saostuskemikaaleista suurin. Myös viskositeetti on muihin kemikaaleihin verrattuna suuri. (Taulukko 1). Kuvan perusteella voidaan olettaa, että ferrisulfaattia käyttävien laitteiden pumppujen kapasiteetti riittää myös muiden saostuskemikaalien pumppaamiseen. Pumppujen kapasiteetti on syytä selvittää, kun siirrytään polyalumiinikloridista tiheämpiin kemikaaleihin.



KUVA 11. Saostuskemikaalien suhteellisia nostokorkeuksia (AFRY Finland Oy 2022, 11)

6.3.5 Muutokset instrumentoinnissa ja automaatiassa

Saostusprosessin keskeisimpiä mittauksia ovat pH:n ja kemikaalin annostelun mittaukset. Saostuskemikaalien optimaalinen saostus-pH poikkeaa toisistaan ja tämä tulee huomioida myös pH-mittauksissa. Rautapohjaisten kemikaalien saostus-pH on alhaisempi, kuin alumiinipohjaisten kemikaalien (Taulukko 1). Käytössä olevien pH-mittausten säätöalueet on suositeltavaa tarkistaa. Tarvittaessa on varauduttava rinnakkaisen pH-mittauksen käyttöönottoon. Annostelupumpuissa on usein virtaamamittaus valmiina, jolloin erillistä kemikaalin annostelun mittausta ei tarvita (AFRY Finland Oy 2022, 13).

Automaatiojärjestelmään on tehtävä muutoksia etukäteen, jotta vaihto tapahtuu mahdollisimman sujuvasti. Automaatiojärjestelmään tehtävissä muutoksissa on syytä huomioida seuraavat asiat:

- Eri kemikaalien vaatimat säätöalueet (optimaalinen saostus-pH)
- Eri kemikaalien annostustarve (Annostuksen vaihteluväli esillä automaatiojärjestelmässä)
- Eri kemikaaleille soveltuvat ylä- ja alahälytysrajat (pH)
- Muun kemikaloinnin syöttömahdollisuus valmiina automaatiojärjestelmässä (esialkalointi)

Automaatiojärjestelmään tehtävissä muutoksissa voidaan soveltaa nykyisiä käytänteitä. Esimerkiksi kemikaalin annostelu säädetään manuaalisesti automaatiojärjestelmästä.

Vaihtoehtoiseen kemikaaliin siirtyminen vaatii automaation avulla tehtävien toimien lisäksi manuaalisesti tehtäviä toimenpiteitä, kuten venttiilien kääntöjä. Laitoksen henkilökunnalla tulee olla selkeä ohjeistus kaikista vaihtoon liittyvistä toimenpiteistä. Mittalaitteet, pumput ja venttiilit on merkittävä asianmukaisesti ja selkeästi. (AFRY Finland Oy 2022, 14–15).

6.3.6 Koeajotarve

Osana varautumista on syytä toteuttaa laitosmittakaavaiset koeajot kaikilla vaihtoehtoisilla kemikaaleilla. Koeajojen avulla voidaan määrittää saostuskemikaalin todellinen annostus sekä vaihdon vaikutukset muuhun prosessiin. Vaihtoehtoisten saostuskemikaalien optimaalinen annostus on määritettävä käytännössä astiakokeiden avulla ennen laitosmittakaavaisten koeajojen suorittamista.

6.4 Kirjallisten ohjeiden laatiminen ja tiedotus

Laajamittaista saostuskemikaalien saatavuushäiriötä varten laadittiin häiriötilanteen toimintakortti. Toimintakortissa käydään läpi häiriötilanteen eteneminen ja siihen liittyvät toimenpiteet. Toimintakorttiin sisällytettiin myös tarvittavat toimenpiteet tiedottamiseen ja viranomaisyhteistyöhön liittyen. Toimintakortti on esitetty liitteessä 4 (Vain tilaajan käyttöön). Toimintakortti laadittiin Vesilaitosyhdistyksen toimintakorttimallien pohjalta.

Häiriötilanteissa vastuu tiedottamisesta on vesilaitoksella, kun kyseessä on häiriö, joka ei aiheuta terveydellistä haittaa. Häiriö voi olla esimerkiksi jakeluhäiriö tai veden esteettisen laadun heikkeneminen. Terveystä, ympäristöä tai omaisuutta uhkaavissa tilanteissa tiedostusvastuu on viranomaisilla ja vesilaitoksella. Kriisitilanteissa korostuu eri osapuolien välinen yhteistyö. (Huoltovarmuusorganisaatio 2019, 24). Tiedottamisen suunnittelussa voidaan hyödyntää Huoltovarmuusorganisaation

opasta Vesihuoltolaitoksen häiriötilanne- ja kriisiviestintäohje. Kemikaalilaadun vaihtamisesta on suositeltavaa laatia valmiit tiedotepohjat. Kirjallisten tiedotteiden lisäksi on syytä kartoittaa myös muut keskeiset tiedotuskanavat, kuten sosiaalinen media (Huoltovarmuuskeskus 2020, 65).

6.5 Viranomaishyväksyntä muutokselle

Kemikaalilaadun vaihtaminen edellyttää hyväksyntää viranomaiselta (Huoltovarmuuskeskus 2020, 65). Terveysturvallisuudessa annetaan määräyksiä talousvetä toimittavan laitoksen toiminnan muuttamisesta. Laissa todetaan, että hakemus muutokselle on tehtävä viimeistään 30 vuorokautta ennen muutoksen toteuttamista. Muutos voidaan toteuttaa vasta, kun hakemus on hyväksytty. Hakemuksen käsittelee kunnan terveysturvallisuusviranomainen. Hakemus lähetetään terveysturvallisuusviranomaisen toimesta tiedoksi myös vedenjakelualueen aluehallintovirastolle, elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle sekä kuntien terveysturvallisuusviranomaisille. Edellä mainituille tahoille on varattava tilaisuus antaa lausunto hakemuksesta. (Terveysturvallisuuslaki, 18 §). On suositeltavaa, että viranomaishyväksyntä haetaan etukäteen kaikille prosessiin soveltuville vaihtoehdoille kemikaaleille. Poikkeustilanteen sattuessa kemikaalilaatu voidaan tällöin vaihtaa sujuvasti toiseen.

Kemikaalilaadun vaihtamisessa on huomioitava myös vaarallisten kemikaalien käsittelyä ja varastointia koskeva lainsäädäntö. Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015 antaa määräyksiä koskien kemikaalien varastointia. Saostuskemikaalit ovat terveydelle vaarallisia ja niiden käsittely ja varastointi edellyttää joko ilmoitusta pelastuslaitokselle tai lupahakemusta Turvallisuus- ja kemikaalivirastolle. (Huoltovarmuuskeskus 2020, 67). Ilmoitus pelastuslaitokselle riittää tapauksissa, jossa toiminta on vähäistä. Laajamittainen teollinen käsittely ja varastointi edellyttää kemikaaliturvallisuuslain 23 § tarkoitettua lupaa. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta, 8§). Toiminnan laajuuden arviointiin on laadittu ohjeistus. Arvioinnissa määritetään kemikaalien enimmäisvarastointimäärät sekä vaaraluokat, -kategoriat ja – lausekkeet. Lisäksi määritellään suhdeluku. Suhdeluku voidaan laskea verkotyökalun avulla. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto julkaisuaika tuntematon). Vaihtoehdoisen saostuskemikaalilaadun varastointi edellyttää lausuntoa tarkastuslaitokselta. Lausunnossa otetaan kantaa, soveltuuko säiliö uuteen käyttötarkoitukseen. (AFRY Finland Oy 2022, 7).

6.6 Muutoksen harjoittelu

Saostuskemikaalin vaihtamista poikkeustilanteessa on syytä harjoitella myös käytännössä (Huoltovarmuuskeskus 2020, 4). Kemikaalilaadun vaihtamisen harjoittelu voidaan toteuttaa esimerkiksi osana vesilaitoksen yleistä varautumisharjoittelua.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Nykytilanteen arvion perusteella toimeksiantajan tilanne saostuskemikaalien suhteen on pääasiassa hyvä. Talousveden tuotannosta löytyy joustoa lyhytaikaisten häiriöiden ajaksi. Huoltovarmuuden kannalta on hyvä asia, että saostuskemikaalia käyttävät laitokset hyödyntävät eri metalleihin pohjautuvia kemikaaleja prosessissaan. Tarkastelussa todettiin, että edellytykset vaihtoehtoiseen kemikaaliin siirtymiselle ovat hyvät. Siirtymä edellyttää kuitenkin useita ennakkoon suoritettavia toimenpiteitä, jotta vaihto sujuu kitkattomasti. Nykytilanteen arvioissa löydettiin kehityskohteita liittyen varastointiin ja tekopohjavesilaitoksen säätövaraan. Keskeinen kehityskohde on myös vaihtoehtoisten kemikaalien annostusten määrittely. Pintavesilaitoksilla on käytössä ferrisulfaatti ja polyalumiinikloridi ja kaikille vaihtoehtoisille kemikaaleille ei ole määritelty annostuksia. Tämän työn yhteydessä kemikaaleille määritettiin teoreettiset annostukset, joiden pohjalta käytännön kokeita muiden kemikaalien osalta voidaan lähteä toteuttamaan.

Toimenpidesuunnitelmassa annettiin suosituksia huoltovarmuuden parantamiseksi. Häiriötilanteisiin varautumista ja sen edellyttämiä toimenpiteitä on lähdettävä toteuttamaan määrätietoisesti. Kappaleessa 6 esitetyt toimenpiteet voidaan edistää seuraavilla tavoilla:

- Saostuskemikaalien saatavuushäiriöihin liittyvä varautuminen voidaan ottaa osaksi yrityksen yleistä varautumista. Hallinnollisten ja operatiivisten toimenpiteiden toteuttamisen vastuu voidaan jakaa nykyisten käytänteiden mukaan. Varautumistoimenpiteiden edistämistä varten voidaan nimittää vastuuhenkilö. Vastuuhenkilö lähtee viemään kappaleen 6 toimenpidesuosituksia eteenpäin.
- Optimaalisten annostusten määrittämistä vaihtoehtoisille kemikaaleille on jatkettava. Kokeiluja on tehtävä molempien laitosten raakavesillä kaikilla nestemäisillä saostuskemikaaleilla. Tämän työn yhteydessä todettiin annostuksen optimoinnin olevan osittain haastavaa ja aikaa vievää. Työtä voidaan jatkaa esimerkiksi teettämällä opinnäytetyö, joka keskittyy ainoastaan saostuskemikaalien annostuksien optimointiin.
- Häiriötilanteita varten on laadittava selkeät ohjeistukset saostuskemikaalin vaihdon edellyttämistä käytännön toimenpiteistä. Ohjeistuksien lisäksi vaihtoa on harjoiteltava ennakkoon.
- Vesilaitosten välistä yhteistyötä saostuskemikaalien saatavuushäiriöiden osalta on lisättävä. Tämä voi tarkoittaa tiedon ja kokemusten jakamista. Mahdollisuudet saostuskemikaalin hankintarenkaan perustamiseksi on myös syytä kartoittaa.
- Vaihtoehtoisten kemikaalien käytölle tulee hakea hyväksyntä kaupungin terveydensuojeluviranomaiselta ennakkoon. Hyväksynnän edellyttämät toimenpiteet on syytä selvittää yhdessä viranomaisen kanssa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia käytännönläheinen varautumissuunnitelma saostuskemikaalien huoltovarmuuden parantamiseksi. Työssä onnistuttiin poimimaan toimeksiantajan kannalta keskeiset kohdat suunnitteluohjeistuksesta ja soveltamaan ohjeistuksessa annettuja suosituksia. Haastavinta työn teossa oli laajuuden määrittely. Työssä käsiteltiin useita eri aihealueita ja rajojen asettaminen työn laajuudelle oli haastavaa. Varautuminen saostuskemikaalilaadun vaihtoon edellyttää toimenpiteitä usealla eri osa-alueella. Toimenpiteitä on tehtävä prosessin optimoinnin, varastoinnin, automaation ja instrumentaation, pumppaustekniikan sekä sopimusten ja viranomaisyhteistyön suhteen.

Moni osio on onnistunut, mutta instrumentoinnin ja automaation sekä pumppaustekniikan osalta työ jäi muistilistan kaltaiseksi. Työtä voidaan kuitenkin pitää hyvänä pohjana saostuskemikaalien huoltovarmuuden parantamiselle.

Ammatillisen kehityksen kannalta työn parasta antia olivat kokemus pitkäjänteisestä työskentelystä sekä projektin läpi saattamisesta. Työskentelyn lomassa teoriaosaaminen käsitellyistä aihealueista kasvoi huomattavasti. Sain hyvän kuvan saostusprosessin taustalla vaikuttavista tekijöistä ja vesihuoltolaitoksen varautumiseen liittyvistä asioista. Työn eteneminen oli omasta näkökulmasta sujuvaa ja yhteistyö toimeksiantajan ja ohjaavan opettajan kanssa oli mutkatonta.

LÄHTEET

AFRY Finland Oy 2022. Suunnitteluohjeet kemiallisen saostuksen toimintavarmuuden parantamiseksi vesihuollossa. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 74. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. https://www.vvy.fi/site/assets/files/6395/saostuksen_suunnitteluohjeet_28012022.pdf.

AFRY Finland Oy 2021. Hyvän vesihuollon kriteerit. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 65. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. https://www.vvy.fi/site/assets/files/5496/hyvan_vesihuollon_kriteerit.pdf. Viitattu 5.1.2022.

Alva-Yhtiöt Oy 2021. Yhteiskuntavastuuraportti 2020. Pdf-tiedosto. Julkaistu 1.6.2021. <https://www.alva.fi/app/uploads/1/2021/06/Alva-yhteiskuntavastuuraportti-2020.pdf>. Viitattu 14.1.2022.

Aquarden Technologies julkaisuaika tuntematon. Kalvosuodatintyytit ja poistettavat epäpuhtaudet. Kuva. <https://aquarden.com/technologies/membrane-filtration/>. Viitattu 15.1.2022.

Auranen, Milja 2022. Raakavesi. Valokuva. 31.1.2022. Jyväskylä: Milja Aurasen kokoelmat.

Auranen, Milja 2022. Koe-erät 1A–1D laskeutuksen jälkeen. Valokuva. 31.1.2022. Jyväskylä: Milja Aurasen kokoelmat.

Auranen, Milja 2022. Koe-erät 2E–2H laskeutuksen jälkeen. Valokuva. 31.1.2022. Jyväskylä: Milja Aurasen kokoelmat.

Auranen, Milja 2022. Koe-erät 3A ja 4A laskeutuksen jälkeen. Valokuva. 31.1.2022. Jyväskylä: Milja Aurasen kokoelmat.

Auranen, Milja 2022. Koe-erät P1-P6 laskeutuksen jälkeen. Valokuva. 1.2.2022. Jyväskylä: Milja Aurasen kokoelmat

Crittenden, John C, Hand, David W, Howe, Kerry J, Tchobanoglous, George, Trussel, R Rhodes 2012. MWH's Water treatment principles and design 3rd edition.

Eikebrokk, Björnar, Liltved Helge, Vogt Rolf D, 2004. NOM increase on Northern European source waters: Discussion of possible causes and impacts on coagulation/contact filtration processes. Artikkel. Water Science & Technology Water Supply 12/2004, 46–54. https://www.researchgate.net/publication/237377122_NOM_increase_in_Northern_European_source_waters_Discussion_of_possible_causes_and_impacts_on_coagulationcontact_filtration_processes. Viitattu 5.1.2022.

Etelä-Suomen Aluehallintovirasto 2018. Ferrisulfaattitehtaan ja kaatopaikan muuttaminen sekä toiminnan aloittamislupa. Päätös Nro 251/2018/1. Dnro ESAVI/11337/2018. Ympäristölupapäätös. Viitattu 14.1.2021.

Grundfos julkaisuaika tuntematon. DDA 12-10 FCM-PVC/V/C-F-31U2U2. Verkojulkaisu. <https://product-selection.grundfos.com/products/service-special/dosing-service-special/dda-12-10-fcm-pvcvc-f-31u2u2-99263320?tab=variant-specifications>. Viitattu 15.2.2022.

Huoltovarmuuskeskus julkaisuaika tuntematon. Huoltovarmuusorganisaation rakenne. Kuva. <https://www.varmuudenvuoksi.fi/vuosikertomus-2013/huoltovarmuusneuvosto/huoltovarmuusorganisaatio>. Viitattu 12.1.2022.

Huoltovarmuuskeskus 2020. Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen Suomen vesihuollossa. Kansallinen selvitys lyhyen ja pitkän aikavälin vaihtoehtoista. https://www.vvy.fi/site/assets/files/3226/kemiallisen_saostuksen_huoltovarmuuden_parantaminen.pdf. Viitattu 7.1.2022.

- Huoltovarmuuskeskus julkaisuaika tuntematon. Sektori ja poolit. Verkkojulkaisu. <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/toimialat/terveydenhuolto/sektori-ja-poolit>. Viitattu 12.1.2022.
- Huoltovarmuuskeskus julkaisuaika tuntematon. SOPIVA-esite. Verkkojulkaisu. https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/d12f974dd7816360746a5a6343b7ceadeb60ceab/sopiva_esite.pdf. Viitattu 14.3.2022.
- Huoltovarmuuskeskus julkaisuaika tuntematon. Usein kysyttyä. Verkkojulkaisu. <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/usein-kysyttya>. Viitattu 12.1.2022.
- Huoltovarmuusorganisaatio 2019. Vesihuoltolaitoksen häiriötilanne ja kriisiviestintäohje. Verkkojulkaisu. <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/b6cd0344817606ae7183cd13ed8685a0c5984e8c/vesilaitosyhdistys-kriisiviestinta-ohje-sa-hkoinen.pdf>. Viitattu
- INCOPA – European inorganic coagulants producers, julkaisuaika tuntematon. Pdf-tiedosto. https://www.incopa.org/wp-content/uploads/2019/02/2018-CEFIC_INCOPA-A5_LEAFLET_V16-HQ_Spreads.pdf. Viitattu 11.1.2022.
- Jantunen, Aija 2022. Tekninen johtaja. Voda Nordic Oy. Palaveri Alvan kanssa 16.12.2021. Yksityinen sähköpostiviesti. 10.2.2022. Viestin saaja: Milja Auranen
- Jyväskylän kaupunki 2014. Jyväskylän kaupungin vesihuollon kehittämissuunnitelma 2013–2030. Pdf-tiedosto. Julkaistu 31.10.2014. http://www2.jkl.fi/kaavakartat/vesihuolto/vesihuollonkehittamissuunnitelma/vesihuollon_kehittamissuunnitelma_31102014.pdf. Viitattu 12.1.2022.
- Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy 2021. Vuosikertomus 2020. https://www.js-puhdistamo.fi/wp-content/uploads/2021/06/14629-JSJP-Vuosikertomus-2020_web.pdf. Viitattu 20.1.2022.
- Katko, Tapani S. 2013. Hanaa! Suomen vesihuolto – kehitys ja yhteiskunnallinen merkitys. Helsinki: Suomen Vesilaitosyhdistys ry.
- Kemira Oyj 2020. Handbook about water treatment. Käsikirja. <https://www.kemira.com/insights/water-handbook-2020/>. Viitattu 13.1.2022.
- Kuitunen, Antero 2021 & 2022. Käyttö- ja kunnossapitopäällikkö. Alva-yhtiöt Oy. Henkilökohtainen tiedoksianto
- Lahti, Heidi, Kaunisto, Tuija & Vieno, Niina 2011. Talousveden käsittelykemikaalit ja standardisointi. Vesi-instituutin raportteja 3. <https://www.samk.fi/wp-content/uploads/2016/06/20110302raporttikansi.pdf>. Viitattu 12.1.2022.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2021. Kansallisen vesihuoltouudistuksen ohjelma. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2021:7. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163046/MMM_2021_7.pdf?sequence=4&isAllowed. Viitattu 4.1.2022.
- Norsk Vann, Suomen Vesilaitosyhdistys Ry, Svenskt Vatten 2019. Työkalu taudinaiheuttajien poistotehon arviointiin vedentuotantoketjussa. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 54. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. https://www.vvy.fi/site/assets/files/4765/tyokalu_taudinaiheuttajien_poistotehon_arviointiin_vedentuotantoketjussa_2__painos.pdf. Viitattu 7.2.2022.
- Olkkonen, Sami 2021. Erikoisammattimies. Alva-yhtiöt Oy. Pivelan kemikaalilinjat. Yksityinen sähköpostiviesti. 1.12.2021. Viestin saaja: Milja Auranen
- Prominent 2006. Magneettitoiminen annostelupumppu gamma/L, GALa. Käyttöopas. <https://www.prominent.at/resources/OperatingInstructions/Finnish/9602/985277-BA-G-008-03-15-FI-Niederdruckpumpe-gamma-L-FI.pdf>. Viitattu 15.2.2022.
- Puttonen, Marja-Liisa 2022. Tuotantoinsinööri. Alva-yhtiöt Oy. Henkilökohtainen tiedoksianto

- Ramboll Finland Oy 2021. Janakan vedenottamon saostuskokeet 4/2021. Raportti. Jyväskylä: Alva-yhtiöt Oy.
- RIL 124-1. Vesihuolto I. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RIL 124-2. Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Sanastokeskus TSK 2017. Kokonaisturvallisuuden sanasto. Verkkajulkaisu. https://turvallisuuskomitea.fi/wp-content/uploads/2018/02/Kokonaisturvallisuuden_sanasto.pdf. Viitattu 5.1.2022.
- Silfverberg, Paul 2017. Vesihuollon suuntaviivat 2020-luvulle. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 44. Vesilaitosyhdistys. https://valtioneuvosto.fi/documents/1410837/1516651/Vesihuollon+suuntaviivat+2020-luvulle_final_20170622.pdf/cb687a80-dd57-4733-88c7-f3962e4bf9f4. Viitattu 4.1.2022.
- Sosiaali- ja terveysministeriö, julkaisuaika tuntematon. Talusveden toimenpideohjelma - Water Safety Plan. Verkkajulkaisu. <https://stm.fi/talusveden-toimenpideohjelma>. Viitattu 5.1.2022.
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talusveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151352?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=talusvesi>. Viitattu 5.1.2022.
- Suomen ympäristökeskus 2021. Kovaa vai pehmeää vettä. Verkkajulkaisu. Vesi.fi- verkkopalvelu. <https://www.vesi.fi/vesitieto/kovaa-vai-pehmeaa-vetta/>. Viitattu 7.2.2022.
- Terveydensuojelulaki 763/1994. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763>. Viitattu 5.1.2022.
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto julkaisuaika tuntematon. Toiminnan luvanvaraisuuden selvittäminen. Verkkajulkaisu. <https://tukes.fi/teollisuus/kemikaalilaitokset/toiminnan-laajuuden-maarittaminen>. Viitattu 3.2.2022.
- Turvavarastolaki 970/1982. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1982/19820970>. 5.1.2022.
- Tyrväinen, Jukka 2022. Vanhempi asiantuntija. Alva-yhtiöt Oy. Henkilökohtainen tiedoksianto
- Valmiuslaki 1552/2011. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20111552>. Viitattu 5.1.2022.
- Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120856#L4P60>. Viitattu 28.2.2022.
- Valvira 2020. Talusvesiasetuksen soveltamisohje. Osa II Säännökohtaiset soveltamisohjeet. https://www.valvira.fi/documents/14444/6739502/Talusvesiasetuksen_soveltamisohje_osa_2.pdf/ba3128f8-8697-8132-9834-65a2920a3492. Viitattu 5.1.2022.
- Valvira 2020. Talusvesiasetuksen soveltamisohje. Osa III Enimmäisarvojen perusteet. https://www.valvira.fi/documents/14444/6739502/Talusvesiasetuksen_soveltamisohje_osa_3.pdf/b9faedd0-cd83-fd94-09e2-452e7e7ee123. Viitattu 5.1.2022.
- Vesihuoltolaki 119/2001. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20010119>. Viitattu 4.1.2022.
- Vesilaitosyhdistys ry julkaisuaika tuntematon. Vesilaitoksen häiriötilanteiden toimintakorttimallit. Verkkajulkaisu. <https://www.vvy.fi/vesilaitosyhdistys/vesihuoltopooli/varautumisopas-esittely/>. Viitattu 22.3.2022.
- Vesilaitosyhdistys ry julkaisuaika tuntematon. Vesihuoltopooli. Verkkajulkaisu. <https://www.vvy.fi/vesilaitosyhdistys/vesihuoltopooli/>. Viitattu 6.1.2022.

LIITE 1: LAITOSKOHTAINEN NYKYTILANTEEN ARVIO (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

LIITE 2: TOIMENPIDE-EHDOTUKSET (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

LIITE 3: TEOREETTISET ANNOSTUKSET VAIHTOEHTOISILLE KEMIKAALEILLE (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

LIITE 4: HÄIRIÖTILANTEEN TOIMINTAKORTTI (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

