



Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden
korkeakoulu

Iida Sormanen

Yhdyskuntajätevedenpuhdistamon ohitusvesien fosforikuorman pienentäminen kiekkosuodatuksella

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 29.5.2017

Valvoja: Professori Riku Vahala

Ohjaajat: DI Elina Antila ja TkT Anna Mikola

Tekijä Iida Sormanen

Työn nimi Yhdyskuntajätevedenpuhdistamon ohitusvesien fosforikuorman pienentäminen kiekkosuodatuksella

Koulutusohjelma Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

Pääaine Vesi- ja ympäristötekniikka**Koodi** R902-D

Työn valvoja Professori Riku Vahala

Työn ohjaajat DI Elina Antila ja TkT Anna Mikola

Päivämäärä 29.5.2017**Sivumäärä** 86**Kieli** Suomi

Fosfori on ravinne, jota tarvitaan biomassan ja muiden biologisten organismien kasvuun. Liiasa määrin se aiheuttaa vesistöissä kuitenkin haittoja, kuten rehevöitymistä ja happikatoa. Vaikka jätevedenpuhdistamoiden fosforinpoisto on hyvin tehokasta ja poistoreduktiot yli 90 %, nostavat puhdistamoiden ohitusvedet vesistöjen fosforikuormaa. Monilla jätevedenpuhdistamoilla onkin haettu ratkaisua ohitusvesien käsittelyyn esimerkiksi esisaostuksella, kiekkosuodatuksella, flotaatiolla tai mikrohiekalla tehostetulla selkeytyksellä.

Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon fosforipäästöraja kiristyi vuoden 2017 alussa 0,3 mg/l enimmäispitoisuuteen neljännesvuosikeskiarvona laskettuna. Luparaja ylittyi toisinaan keväällä ohitusvesien takia. Puhdistamolla on vuoden 2016 keväästä asti ollut käytössä esisaostus polyalumiinikloridilla (PAX) ohitusvesien käsittelyyn, mutta esisaostuksen pitkä käynnistymisvaihe jätti riskin fosforiluparajan ajoittaisesta ylittymisestä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kiekkosuodattimen soveltuvuutta ohitusvesien fosforinpoistoon Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla. Kokeet suoritettiin 10 ja 20 µm kankailla, ilman kemikaalilisäystä sekä PAX- ja polymeerilisäyksellä. Koeajoissa tutkittiin kolmea eri ajotapaa: 1) kiekkosuodatin toimisi tertiäärikäsittelynä, 2) suodatin toimisi hybridiperiaatteella eli normaalitilanteessa tertiäärikäsittelynä ja prosessiohituksissa täysin ohitusvesien käsittely-yksikkönä 3) kiekkosuodattimelle johdettaisiin kaikki puhdistamolta lähtevät vedet (puhdistetut jätevedet + ohitusvedet).

Suoritetut koeajot osoittivat, että ohitusvesien käsittely kiekkosuodatuksella vaatisi kemikaalilisäyksen, sillä ilman kemikaalilisäystä kiekkosuodatuksella saadut fosforireduktiot olivat hyvin heikkoja. Optimikemikaaliannostuksella, eli 8 mgAl⁺/l alumiini- ja 3 mg/l polymeerilisäyksellä, päästiin kuitenkin yli 95 % fosforireduktioihin. Ohitusvesien fosforipitoisuus laski keskimäärin 2,1 mg/l pitoisuudesta 0,072 mg/l pitoisuuteen. Yhdistelmäajossa ja tertiäärikäsittelyssä kemikaalilisäyksellä päästiin myös alle 0,1 mg/l fosforipitoisuuksiin. Kemikaalilisäys heikensi kuitenkin suodattimen hydraulista kapasiteettia. Kiekkosuodatuksella ja kemikaalilisäyksellä oli mahdollista poistaa jonkin verran myös jäteveden taudinaiheuttajia, orgaanista ainetta, kiintoainetta ja saemutta.

Koeajojen mukaan muutokset ohitusvesien käsittelyn ja tertiäärikäsittelyn välillä toimivat hyvin. Kiekkosuodatin toimi myös hyvin esisaostuksen rinnalla.

Kokeiden perusteella kiekkosuodatus soveltuu hyvin ohitusvesien käsittelyyn.

Avainsanat Kiekkosuodatus, ohitusvedet, fosforinpoisto

Author Iida Sormanen

Title of thesis Reduction of phosphorus load of by-passed wastewater by disc filtration in a municipal wastewater treatment plant

Degree programme Civil and Environmental Engineering

Major Water and Environmental Engineering**Code** R902-D

Thesis supervisor Professor Riku Vahala

Thesis advisors M.Sc (Tech) Elina Antila and D Sc (Tech) Anna Mikola

Date 29.5.2017**Number of pages** 86**Language** Finnish

Phosphorus is a nutrient that is needed for the growth of biomass and other biological organisms. However, the excessive amount of phosphorus causes harm in the receiving water, such as eutrophication and oxygen depletion. Although wastewater treatment plants (WWTP) remove phosphorus effectively, over 90 %, can by-passed wastewater increase the phosphorus load to the receiving water. Many WWTPs are seeking solutions for by-passed wastewater treatment, such as pre-precipitation, disc filtration, dissolved air flotation and clarification ballasted with microsand.

In Hermanninsaari WWTP the new environmental permit set the phosphorus limit from the beginning of 2017 to 0,3 mg/l, calculated as the quarterly average. This limit is at times surpassed during spring time because of process by-passes. From the spring of 2016 Hermanninsaari WWTP has used polyaluminiumchloride (PAX) to pre-precipitate by-passed wastewater. However, the slow start-up of the system left the risk of exceeding the new environmental permit.

The aim of this study was to assess the feasibility of disc filtration to phosphorus removal of by-passed wastewater in Hermanninsaari WWTP. The study was done with 10 and 20 µm canvases with no chemical addition and with PAX and polymer addition. Three different ways to run the disc filter were studied: 1) disc filter as a tertiary treatment step, 2) in normal process disc filter as a tertiary treatment step and during process by-pass as a by-pass treatment unit 3) combined run, where all wastewater (purified wastewater + by-passed wastewater) are treated in the disc filter unit.

According to the trial runs, the treatment of by-passed water requires chemical addition. Without chemical addition, the phosphorus reductions from the disc filtration were not sufficient. Nonetheless, with the optimal chemical doze of 8 mgAl⁺/l aluminium and 3 mg/l polymer addition, the phosphorus reduction was over 95 %. The total phosphorus concentration decreased on average from 2,1 mg/l to 0,072 mg/l. In the trial runs of combined run and tertiary treatment, a phosphorus level of under 0,1 mg/l was achieved. However, chemical addition reduced the hydraulic capacity of the disc filter. With disc filtration and chemical addition, it was possible to reduce some of the wastewater pathogens, organic substances, suspended solids and turbidity.

The test runs showed that the changes between tertiary treatment and by-passed water treatment performed well. Also, the disc filter functioned well alongside with pre-precipitation.

According to the results from the test runs, disc filtration is a suitable method for by-passed water treatment.

Keywords disc filter, by-passed wastewater, phosphorus removal

Alkusanat

Tämä diplomityö tehtiin vuoden 2016 aikana Porvoon vedelle Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla. Haluan kiittää Porvoon vettä tästä hienosta mahdollisuudesta ja kokemuksesta, jonka aikana opin erittäin paljon.

Haluan kiittää ohjaajiani TkT Anna Mikolaa Aalto-yliopistosta ja DI Elina Antilaa Porvoon vedeltä heidän tuestaan, mielenkiintoisista keskusteluhetkistä sekä kannustuksesta. Erityisesti Annan perusteelliset kommentit ja pohdinnat auttoivat aina eteenpäin sekä koeajoissa että diplomityön kirjoitusprosessissa. Kiitän valvojaani professori Riku Vahalaan hänen arvokkaista kommentistaan ja täydentävistä kysymyksistään diplomityöhöni.

Koko tämän kokemuksen kruunasi Porvoon veden henkilökunta, erityisesti Hermanninsaaren porukka Matias, Riku, Sune, Stefan, Laura, Kari ja Pertti. Työpaikan lämmin ilmapiiri sekä kaikkien avuliaisuus jättivät hyvät muistot reilun puolen vuoden työajasta Hermanninsaarella. Haluan kiittää Porvoon veden toimitusjohtajaa, Risto Saarista, hänen kannustuksestaan ja opetuksistaan. Hänen innostuksensa ja tietämyksensä mm. kiekkosuodatukselta lisäsivät omaa innostustani ja antoivat työlleni paljon sisältöä.

Itselleni ja työlleni mielenkiintoisia antimia olivat jätevedenpuhdistamoiden käyttökokeuksien kerääminen ja puhdistamoiden työntekijöiden haastatteleminen. Haluan kiittää kaikki haastateltavia avusta ja saamistani tiedoista.

Suuri kiitos kuuluu läheisimmilleni, jotka jaksoivat kannustaa minua koko tämän työprosessin ajan. Kiitän miestäni, Tapania, hänen mittaamattomasta tuestaan ja kannustuksestaan. Kiitos myös vanhemmilleni ja sisaruksilleni avusta ja tuesta.

Espoossa 28.4.2017

Iida Sormanen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstrakti	
Alkusanat	
Sisällysluettelo.....	1
Lyhenteet.....	3
Johdanto	4
1 Fosfori jätevesissä	6
1.1 Fosforin vaikutukset ja lähteet vesistöissä	6
1.2 Fosforin olomuodot	8
1.3 Fosforinpoisto jätevedestä.....	9
1.3.1 Kemiallinen fosforinpoisto.....	9
1.3.2 Biologinen fosforinpoisto	11
2 Ohitusvedet.....	12
2.1 Ohitusvesien muodostuminen	12
2.2 Ohitusvesien vaikutukset	12
2.3 Esimerkkejä Euroopasta.....	13
2.4 Ohitusvedet Suomessa	14
3 Ohitusvesien käsittely	17
3.1 Kiekkosuodatus	17
3.1.1 Toimintaperiaate ”sisältä-ulos”-kiekkosuodatuksessa.....	18
3.1.2 Toimintaperiaate ”ulkoa-sisään”-kiekkosuodatuksessa.....	20
3.1.3 Kokemuksia kiekkosuodatuskoeajoista	21
3.1.4 Kokemuksia täyden mittakaavan kiekkosuodatuksesta	26
3.2 Flotaatio	28
3.2.1 Toimintaperiaate.....	28
3.2.2 Kokemuksia ohitusvesien käsittelyssä.....	29
3.3 Mikrohiellä tehostettu selkeytys	31
3.3.1 Toimintaperiaate.....	31
3.3.2 Kokemuksia ohitusvesien käsittelyssä.....	32
3.4 Yhteenveto	34
4 Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamo.....	37
4.1 Prosessi	37
4.2 Hermanninsaaren puhdistamon ohitusvedet	38
4.3 Ympäristölupa ja puhdistustulokset.....	40
5 Kokeellinen osuus	41
5.1 Tavoitteet	41
5.2 Ajotavat.....	41
5.3 Koejärjestelyt	42
5.3.1 Koelaitteisto	44
5.3.2 Ajotapojen toteutus.....	46
5.3.3 Näytteenotto	50
5.3.4 Laboratorioanalyysit	51
5.3.5 Parametrit	52
6 Tulokset.....	53
6.1 Ohitusvesien käsittely	53

6.1.1	Kemikaalioptimointi ja puhdistusteho kemikaalilisäyksellä ohitusvesien käsittelyssä.....	54
6.2	Yhdistelmäajo.....	57
6.2.1	Kemikaalioptimointi ja puhdistusteho kemikaalilisäyksellä yhdistelmäajossa	58
6.3	Tertiäärikäsittely.....	61
6.3.1	Kemikaalioptimointi ja puhdistusteho kemikaalilisäyksellä tertiäärikäsittelyssä.....	61
6.4	Muutos ajotapojen välillä.....	62
6.4.1	Muutos ohitusvesien käsittelystä tertiäärikäsittelyyn	62
6.4.2	Muutos tertiäärikäsittelystä ohitusvesien käsittelyyn	63
6.5	Esisaostus ja kiekkosuodatus	64
6.6	Kiekkosuodatuksen vaikutus jäteveden muihin ominaisuuksiin.....	67
6.7	Kankaat	70
7	Tulosten tarkastelua ja pohdintoja	71
7.1	Kiekkosuodattimen kapasiteetit eri ajotilanteissa	72
7.2	Vertailu muihin ohitusvesien käsittelymahdollisuuksiin	73
7.3	Kiekkosuodatus ja esisaostus	74
7.4	Vaikutus fosforikuormaan.....	74
7.5	Polymeerin vaikutus	76
8	Yhteenvedo.....	78
	Lähteet.....	80

LIITE 1 Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon prosessikaavio

LIITE 2 Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon puhdistustulokset

LIITE 3 PAX XL-100 tuote-esite

LIITE 4 Koeajojen aikataulut

LIITE 5 Koeajon tulokset ohitusvesien käsittelystä ilman kemikaalilisäystä

LIITE 6 Koeajon tulokset ohitusvesien käsittelystä kemikaalilisäyksellä

LIITE 7 Koeajon tulokset yhdistelmäajoista ilman kemikaalilisäystä

LIITE 8 Koeajon tulokset yhdistelmäajoista kemikaalilisäyksellä

LIITE 9 Koeajon tulokset tertiäärikäsittelystä ilman kemikaalilisäystä

LIITE 10 Koeajon tulokset tertiäärikäsittelystä kemikaalilisäyksellä

LIITE 11 Koeajon tulokset ohitusvesien käsittelystä esisaostuksella ja polymeerilisäyksellä

LIITE 12 Koeajon tulokset ohitusvesien käsittelystä esisaostuksella ja PAX- ja polymeerilisäyksellä

LIITE 13 NovaLabin analyysit koeajoista

LIITE 14 Laskelmat kiekkosuodatuksen vaikutuksesta fosforikuormaan

Lyhenteet

AVL-luku

COD_{Cr}

BOD_{7 ATU}

PAX

RIL

Asukasvastineluku

Kemiallinen hapenkulutus

Biologinen hapenkulutus

Polyalumiinikloridi

Rakennusinsinööriliitto

Johdanto

Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamo otettiin käyttöön vuonna 2001 korvaamaan Porvoon kaupungin Kokonniemen puhdistamon ja Porvoon maalaiskunnan vanhan Hermanninsaaren puhdistamon. Uusi puhdistamo on kaksilinjainen aktiivilietelaitos kemiallisella fosforinpoistolla ja käsittelee Porvoon seudulta hieman vajaan 40 000 ihmisten jätevedet sekä pienteollisuuden jätevedet.

Porvoon keskustan sekaviemärointi, alueen huonokuntoiset putket ja meriveden ajoittainen tulviminen verkostoon kasvattavat jätevedenpuhdistamon tulovirtaamaa erityisesti lumien sulamisen ja rankkasateiden aikana. Kun virtaaman nousee yli 2200 m³/h, joudutaan ylimenevä osuus virtaamasta juoksuttamaan aktiivilieteprosessin ohi puhdistetun jäteveden sekaan. Ohijuoksutetun jäteveden osuus laitoksen kokonaisvirtaamasta voi olla pieni, mutta ohitusvesien ravinnekuorman osuus laitoksen kokonaiskuormasta voi olla merkittävä. Vuonna 2016 Hermanninsaaren puhdistamon ohitusvesien osuus laitoksen kokonaisvirtaamasta oli vain noin 3 %, mutta ohitusvesien osuus laitoksen kokonaisfosforikuormasta oli 21 %. Fosfori on merkittävä ravinne vesiympäristöissä ja aiheuttaa suurissa pitoisuuksissa rehevöitymistä ja happikatoa, joille Itämeri on pienen vesimääränsä takia hyvin riskialtis.

Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon vuonna 2015 uusitussa ympäristöluvassa fosforin luparaja laskettiin 0,5 mg/l pitoisuudesta 0,3 mg/l enimmäispitoisuuteen. Uusi luparaja tuli voimaan vuoden 2017 alussa. Ympäristöluvan täyttymistä tarkkaillaan neljännesvuosikeskiarvoina 24 tunnin kokoomanäytteenotoilla ja laskennoissa otetaan huomioon puhdistetun jäteveden sekä ohijuoksutettujen jätevesien ravinnepitoisuudet. Hermanninsaaren puhdistustulokset täyttävät pääosin uuden ympäristöluvan asettamat enimmäisarajat, paitsi ajoittain ensimmäisellä ja toisella vuosineljänneksellä lumien sulamisen aikaan.

Vuoden 2016 alussa puhdistamolle rakennettiin uusi esisaostusjärjestelmä ohitusvesien käsittelyyn. Huippuvirtaamien aikana esiselkeytykseen virtaavaan jäteveeseen on mahdollista syöttää polyalumiinikloridia, mikä laskee ohitusvesien fosforipitoisuutta. Esisaostuksen on kuitenkin katsottu olevan epävarma ohitusvesien käsittelymenetelmä sen hitaan käynnistymisen takia. Esisaostus vaatii henkilökunnalta ennakointia ja sade-ennusteiden seuraamista, jotta esisaostus saadaan päälle tarpeeksi ajoissa ennen todellisten prosessiohitusten alkamista. Lisäksi esisaostuskokeiden aikana saatiin viitteitä siitä, että alumiinipohjainen saostuskemikaali saattaisi heikentää nitrifikaatiota ja siten typenpoistoa.

Ratkaisua ohitusvesien käsittelyyn lähdettiin etsimään kiekkosuodatuksesta. Kiekkosuodatusta käytetään yleisemmin tertiäärikäsittelyinä, mistä on paljon hyviä kokemuksia eri puhdistamoilta. Kiekkosuodatusta ei ole vielä juuri käytössä ohitusvesien käsittelymenetelmänä, mutta lupaavia tuloksia on saatu eri pilot-kokeista sekä muun muassa Arvidstropin puhdistamolta, jossa on käytössä täyden mittakaavan kiekkosuodatuslaitos ohitusvesien käsittelyyn.

Hermanninsaaren puhdistamolla aloitettiin syksyllä 2016 kolmen kuukauden pilot-koeajot Nordic Waterin DynaDisc-kiekkosuodattimella. Koeajoissa tutkittiin kiekkosuodattimen soveltuvuutta puhdistamolla siten, että prosessin normaalitilanteissa se toimisi prosessin tertiäärikäsittelyinä ja korkeavirtaamakausina ohitusvesien käsittely-yksikkönä.

Koeajojen ensisijaisia tavoitteita oli selvittää,

- 1) vaatisiko ohitusvesien käsittely kiekkosuodatuksella kemikaalilisäystä hyvän fosforireduktion aikaansaamiseksi,
- 2) kuinka hyvin fosforireduktioihin kiekkosuodatuksella olisi mahdollista päästä ja kuinka suurilla kemikaalilisäyksillä ja
- 3) miten kiekkosuodattimen vaihto ohitusvesien käsittelyn ja tertiäärikäsittelyn välillä toimisi.

Toissijaisia tavoitteita oli selvittää

- a) suodattimen hydraulinen kapasiteetti eri koeajoissa laitospittakaavan suunnittelun tueksi,
- b) ohjaako hydraulinen kuorma vai kiintoainekuorma suodattimen mitoitusta,
- c) minkälaisia fosforireduktioita olisi mahdollista saada tertiäärikäsittelyssä,
- d) miten kiekkosuodatin vaikuttaisi jäteveden muihin ravinnepitoisuuksiin ja
- e) miten kiekkosuodatuksen ja esisaostuksen yhteiskäyttö toimisi.

Kirjallisuusosiossa tutkittiin myös muita ohitusvesien käsittelymahdollisuuksia; flotatiota ja mikrohiekalla tehostettua selkeytystä. Laajan kirjallisuustaustoitukseen lisäksi työhön kerättiin tietoa ja puhdistustuloksia eri käsittelymahdollisuuksien pilot-kokeista sekä olemassa olevista täyden mittakaavan laitoksista. Käyttökokemuksia saatiin myös haastatteleamalla käyttäjiä. Vertailun tarkoituksena oli arvioida muita vaihtoehtoja ohitusvesien käsittelyyn Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla.

1 Fosfori jätevesissä

1.1 Fosforin vaikutukset ja lähteet vesistöissä

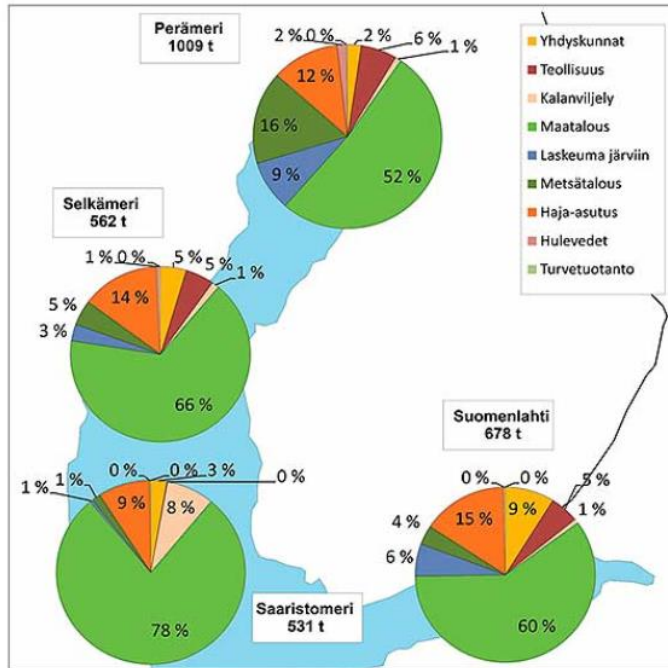
Vesistöjen fosforikuormitus on noin kolminkertaistunut verrattuna kuormitukseen ennen teollistumisen aikaan. Ihmisen toiminta on lisännyt fosforikuormitusta ympäristöön lounin ja maan muokkauksen, lannoitteiden käytön, teollisuuden ja yhdyskuntien kautta. Fosforia päätyy vesistöön myös luonnollisesti kiviaineksen rapautumisesta. (Carpenter 2008) Merkittävät fosforipäästöt ovat peräisin yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesistä sekä maatalouden ja rakennetun ympäristön valumista (Carpenter 2005; Smith et al. 1999).

Fosfori on typen ja hiilen ohella pääraavinne, jota tarvitaan biomassan ja muiden biologisten organismien kasvuun (Smith et al. 1999). Suurissa pitoisuuksissa fosfori ja muut ravinteet aiheuttavat kuitenkin vesistöissä rehevöitymistä, jolla on vaikutusta vesiekosysteemille ja veden käytölle. Rehevöitymisen haittoihin lukeutuvat myrkyllisten sinilevien lisääntyminen (Smith et al. 1999), levien liikakasvu, veden sameutuminen, hajua- ja makuhaitat (Li & Brett 2011), haitat veden puhdistukselle ja veden virkistyskäytön rajoittuminen (Carpenter 2005). Rehevöityminen aiheuttaa myös vesistöjen happikatoa, kun levät hajotessaan kuluttavat happea, mikä puolestaan aiheuttaa kalakuolemia (Carpenter 2008; Schindler et al. 2008). Happikato voi aiheuttaa myös vesistön sisäistä kuormitusta. Sisäisessä kuormituksessa fosfori sitoutuu pohjasedimentteihin, joista se happipitoisuuden laskiessa vapautuu liukoisessa muodossa takaisin veteen kasvien käyttöön. (Li & Brett 2011; Laitinen et al. 2014)

Fosforia pidetään usein vesistöjen minimiravinteena, joka säätelee organismien kasvua (Laitinen et al. 2014). Schindlerin et al. (2008) tutkimuksen mukaan typpeä sitovat syanobakteerit pystyvät sitomaan typpeä ilmakehästä tarpeeksi ylläpitääkseen rehevöitymistä, vaikka ulkoinen typpikuorma puuttuisikin. Tämän perusteella rehevöitymisen estämiseksi ei riitä pelkän typpikuorman pienentäminen, vaan fokus pitäisi olla fosforikuorman pienentämisessä.

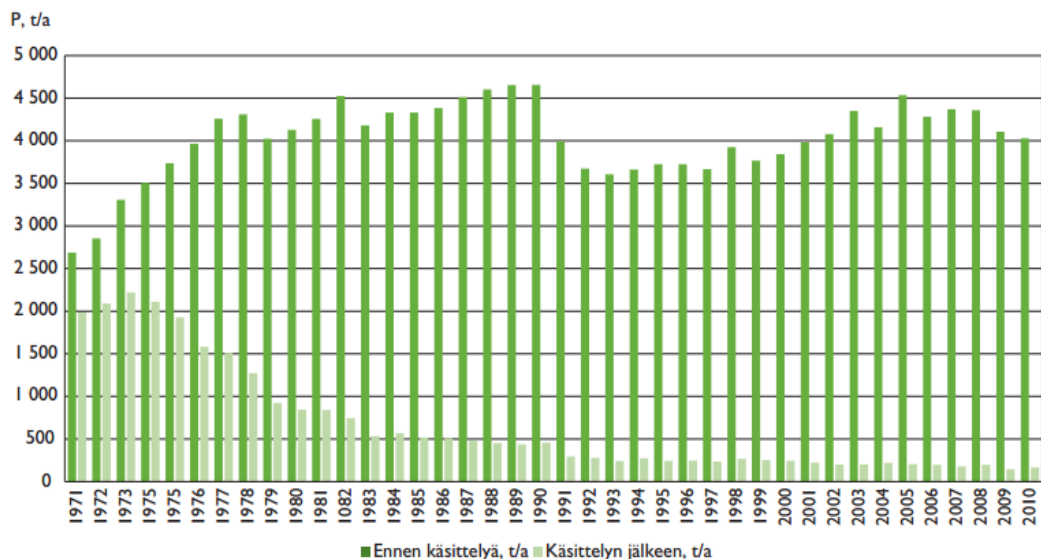
Itämeren suuri valuma-alue, alueen suuri asukasmäärä, pieni vesimäärä ja hidas veden vaihtuminen tekevät Itämerestä hyvin riskialttiin rehevöitymiselle (Helcom 2009). 1950-luvulla kasvavan ravinnekuormituksen vaikutukset Itämerellä alkoivat näkyä leväkasvustoina. Seuraavina vuosikymmeninä Itämeren happitilanne huononi jatkuvan kuormituksen seurauksena. Vuoteen 2000 mennessä pistekuormituksia on saatu vähennettyä merkittävästi, mutta hajakuormitus Itämerellä on vielä merkittävä. (Voss et al. 2010)

Fosforikuorma voi olla peräisin pistekuormituksesta, esimerkiksi jätevedenpuhdistamoista, hajakuormituksesta tai sisäisestä kuormituksesta (Helcom 2009; Smith et al. 1999). Itämeren valuma-alueella fosforikuormat ovat pääosin peräisin pistekuormituksesta, joista suurin osa ovat peräisin yhdyskunnista. Vuonna 2006 Itämeren fosforikuormituksen arvioitiin olevan 28 400 tonnia. (Helcom 2009) Suomen osuus Itämeren fosforikuormasta on noin 10 %. Vuosina 2008–2014 Suomen aiheuttama fosforikuorma Itämereen oli noin 3 900 tonnia vuodessa. Kuvassa 1 nähdään vuosittainen fosforikuorma Itämereen laskettuna vuosien 2008-2012 keskiarvona. Maatalous aiheuttaa yli puolet Itämeren fosforikuormasta. Suomessa yhdyskuntien fosforikuorman osuus kokonaiskuormasta Itämereen oli 2-9 %. (Ympäristöhallinto 2015)



Kuva 1. Suomen fosforikuorma Itämereen vuosien 2008-2012 keskiarvona (t/a) (Ympäristöhallinto 2015).

Suomessa pintavesien ravinnekuormituksen pienentymiseen on vaikuttanut merkittävästi yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistuksen kehittyminen (Räike et al. 2003). Kuvassa 2 nähdään Suomen kaikkien jätevedenpuhdistamoiden yhteenlasketut fosforikuormat ennen ja jälkeen käsittelyn (Säylä & Vilpas 2010). Fosforinpoisto jätevesistä aloitettiin Suomessa 1970-luvulla ja 2000-luvulta lähtien fosforikuorman vähenemä on ollut yli 90 % (Räike et al. 2003; Säylä & Vilpas 2010). Jätevedenpuhdistuksen jälkeen fosforikuorma on noin 150-200 P t/a. (Säylä & Vilpas 2010)



Kuva 2. Suomen yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden yhteenlaskettu fosforikuorma ennen ja jälkeen käsittelyn (Säylä & Vilpas 2010).

1.2 Fosforin olomuodot

Fosforia esiintyy jätevesissä eri fraktioina, joiden esiintyvyyteen ja pitoisuuksiin vaikuttavat eri tekijät, muun muassa alueen teollisuus. Jätevesien fosfori on peräisin ihmisten ja eläinten ulosteesta ja virtsasta, erilaisista fosfaattipitoisista pesuaineista sekä peltojen lannoitteista. (Gu et al. 2011; Tuhkanen et al. 2005) Fosfaatteja käytetään pesuaineissa parantamaan pesutulosta. Fosfaatti sitoo itseensä vedessä olevia magnesium- ja kalsiumioneja, jotka vapaina ollessaan reagoisivat pesuaineen pinta-aktiivisten aineiden kanssa ja huonontaisivat siten pesutulosta. (Tuhkanen et al. 2005)

Fosfori voidaan jakaa kiinteään ja liukoiseen fosforiin 0,45 µm suodattimen läpäisevyyden perusteella (Brartby 2006; Gu et al. 2011). Molemmat sekä kiinteä että liukoinen fosfori voidaan jakaa vielä kolmeen ryhmään riippuen niiden reaktiivisuudesta lämpöön ja happoon. Nämä kolme ryhmää ovat reaktiivinen fosfori, happo-hydrolysoituva fosfori ja orgaaninen fosfori. (Gu et al. 2011) Fosforifraktiot on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Fosforifraktiot (Gu et al. 2011).

Reaktiiviset fosforit reagoivat kolorimetrisissä testeissä ilman edeltävää hydrolyysiä tai hapellista hajoamista. Liukoiset reaktiiviset fosforit ovat usein ortofosfaatteja, jotka voivat esiintyä vapaina ioneina tai kemiallisissa yhdisteissä adsorption tai kompleksoinnin kautta. (Brartby 2006; Gu et al. 2011) Ortofosfaatit esiintyvät eri ionisissa muodoissa, joiden esiintyvyys riippuu veden pH:sta (Brartby 2006). Ortofosfaatit ovat suoraan kasvien käytettävissä biologisessa metaboliassa (Brartby 2006; Gu et al. 2011; Tuhkanen et al. 2005).

Happo-hydrolysoituviin fosforifraktioihin kuuluvat polyfosfaatit ja kondensoituneet fosforit, joita ovat pyrofosfaatit, tripolyfosfaatit, metafosfaatit ja solunsisäiset polyfosfaatit. Nämä fosforifraktiot voidaan muuttaa reaktiivisiin muotoihin happokäsittelyllä. (Gu et al. 2011) Polyfosfaatit ovat kompleksisia molekyyliä, jotka muuttuvat hydrolyysissä vedessä hitaasti ortofosfaateiksi (Tchobanoglous & Burton 1991). Fosfaattien hydrolyysi tapahtuu vesiliuoksissa hitaasti, mutta jätevesissä hydrolyysin on huomattu tapahtuvan

verrattain nopeasti. Metallien aiheuttama katalyyysi, pH, lämpötila, kiintoaine sekä biokatalyyysi vaikuttavat pesuaineissa käytetyn trifosfaatin hydrolysoitumiseen. (Tuhkanen et al. 2005)

Orgaaninen fosfori voidaan jakaa biohajoaviin ja biohajoamattomiin fraktioihin, jotka voivat sisältyä orgaanisissa yhdisteissä solunsisäisiin molekyyliin ja hajoavien solujen elementteihin ja osiin. (Gu et al. 2011) Orgaanista fosfaattia esiintyy usein vähän yhdyskuntien jätevesissä, mutta sitä voi esiintyä paljon teollisuuden jätevesissä (Tchobanoglous & Burton 1991).

Kiinteässä muodossa oleva fosfori voi olla lisäksi kemiallisesti sitoutuneena. Kemiallista fosforia syntyy kemiallisessa fosforinpoistossa, jolloin kemiallinen sidos sisältää fosforimetallisaostumia. Kemiallinen fosfori voi olla myös saostunutta fosfaattia tai kationista fosfaattisaostumaa, kuten kalsium-, magnesium-, rauta-, alumiini- tai hydroksifosfaattia. Saostuskemikaalin ja metallihydroksidien pinnoille voi adsorboitua fosforia, mikä lisää partikkelimaisen reaktiivisen fosforin määrää. (Gu et al. 2011)

Fosforia esiintyy talousjätevesissä usein seuraavissa muodoissa ja pitoisuuksissa: ortofosfaattia 5 mg/l, tripolyfosfaattia 3 mg/l, pyrofosfaattia 1 mg/l ja orgaanista fosforia alle 1 mg/l (Tuhkanen et al. 2005).

1.3 Fosforinpoisto jätevedestä

Fosforia poistetaan jätevedestä nykyisin pääosin kemiallisesti saostamalla raudalla, alumiinilla tai kalkilla. Fosforia on mahdollista poistaa myös biologisesti. Perinteisen fosforinpoiston rinnalle on mahdollista yhdistää esimerkiksi mekaaninen suodatus, jolla on mahdollista poistaa laskeutumaton ja hienojakoista partikkelimaista fosforia. Eri fosforifraktioiden esiintyvyys jätevedessä vaikuttaa siihen, kuinka tehokkaasti eri prosessin vaiheissa fosforia poistuu. (Gu et al. 2011)

Kemiallinen fosforinpoisto on vakiintunut ja luotettava tapa poistaa fosforia tehokkaasti jätevedestä, minkä takia sen käyttö yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla on yleistä. (Wang et al. 2005).

1.3.1 Kemiallinen fosforinpoisto

Kemiallinen fosforinpoisto perustuu liukoisen fosforin saostukseen. Jäteveteen lisätty rauta-, alumiini- tai kalkkisuola muodostaa epäorgaanisen fosforin kanssa vaikealiukoisien, kompleksisten yhdisteiden, joka voidaan erottaa jätevedestä. (Brartby 2006; RIL 2004) Kemiallisen fosforinpoiston tehokkuus riippuu kiintoaineen poistotehokkuudesta, sillä kemiallinen käsittely muuttaa liukoisen fosforin kiinteään muotoon (Gu et al. 2011).

Kemiallinen saostus pureutuu parhaiten ortofosfaatteihin ja partikkelimaiseen fosforiin. Orgaanista fosforia, polyfosfaattia ja muita liukoisia happo-hydrolysoituvia fosforeja saostuu ja adsorboituu koagulantteihin ja/tai flokkeihin jonkin verran, mutta ei yhtä tehokkaasti kuin ortofosfaattia. (Brartby 2006; Gu et al. 2011) Gu et al. (2011) mukaan kemiallinen saostus poistaa liukoista reaktiivista ja happo-hydrolysoituvaa fosforia sekä partikkelimaista orgaanista fosforia. Kemiallinen fosforinpoisto poistaa huonosti liukoista orgaanista fosforia ja partikkelimaista happo-hydrolysoituvaa fosforia.

Osa kondensoituneesta fosforista voi muuttua ortofosfaatiksi biologisessa prosessissa (Brartby 2006). Samoin liukoinen happo-hydrolysoituva fosfori voi muuttua hydrolyysissä ortofosfaatiksi, jolloin se voidaan muuttaa reaktiiviseen partikkelimaiseen muotoon kemiallisesti saostamalla. Kemiallinen saostus lisää reaktiivisen partikkelimaisen fosforin määrää, minkä takia kiintoaineen erottaminen vedestä onkin tärkeä vaihe fosforinpoistossa. (Gu et al. 2011)

Suomessa fosforinpoistossa käytetään yleisimmin ferrosulfaattia, ferrikloridia, eri alumiinsulfaatteja tai kalkkia. Rautasuolan optimi-pH on noin 5,5 ja alumiinisulan 5,6-6. Kalkki soveltuu happamille jätevesille, sillä se nostaa veden pH:ta. Rauta- ja alumiinipohjaiset saostuskemikaalit muodostavat hyvin laskeutuvaa flokkia, minkä takia niiden käyttö on yleistä. Alumiinipohjaiset saostuskemikaalit ovat erittäin tehokkaita, mutta kalliita, minkä takia rautapohjaisten kemikaalien käyttö on suositumpaa. Suomessa käytetään yleisimmin ferrosulfaattia yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla rautapohjaisena saostuskemikaalina. (RIL 2004) Rautasaostuskemikaaleissa rauta voi olla kahden- tai kolmenarvoisena ferro- tai ferrisulfaattina. Kahdenarvoinen ferrosulfaatti tulisi hapettaa jätevedenpuhdistusprosessissa tai ennen sitä kolmenarvoiseksi ferrisulfaatiksi. Ferrisulfaatti muodostaa vahvoja kompleksiyhdisteitä fosforin kanssa. (RIL 2004; Wang et al. 2005)

Saostus voi tapahtua jätevedenpuhdistusprosessin eri vaiheissa suora-, esi-, rinnakkais- tai jälkisaostuksessa. Suorasaostuksessa jätevedenpuhdistusprosessi sisältää saostuskemikaalinsyötön, flokkauksen ja selkeytyksen. Esisaostuksessa saostuskemikaali lisätään ennen esiselkeytystä ja prosessiin kuuluvat lisäksi biologinen prosessi ja jälkiselkeytys. Esisaostuksella saadaan tehostettua biologista puhdistusta pienentämällä ja tasaamalla lietekuormaa ja poistamalla jätevedestä mahdollisia inhiboivia aineita. Lietekuorman pieneminen vähentää myös puhdistusprosessin energiantarvetta, sillä orgaanisen aineen hajoaminen biologisessa prosessissa vaatii energiaa. Rinnakkaissaostuksessa saostuskemikaali lisätään biologiseen prosessiin. Jälkisaostus tapahtuu biologisen prosessin jälkeen. Kemiallinen fosforinpoisto lisää puhdistamalla syntyvän lietteen määrää. Toisaalta kemiallinen liete helpottaa lietteen jatkokäsittelyä, sillä pelkän biologisen lietteen kuivaus on haasteellisempaa. (RIL 2004)

Seuraavaksi käsitellään kemiallisen fosforinpoiston periaate.

1.3.1.1 Koagulointi ja flokkauk

Jäteveden partikkelit voidaan jakaa kokonsa puolesta kiintoaineisiin, jotka ovat suurempia kuin 1 μm , ja kolloideihin, jotka ovat kooltaan alle 1 μm (Crittenden et al. 2005). Näiden partikkeleiden pinnoilla vaikuttavat elektrostaattiset työntövoimat aiheuttavat kolloidisen suspension, jolloin kolloidit esiintyvät vedessä erillisinä hiukkasina, eli dispersoituneina. Tämä stabiili olotila johtuu kolloidien pintavarauksista, kolloidien pinnan hydraatiosta sekä kolloidien massan ja pinta-alan suhteesta. Kolloidien pieni massa suhteessa suureen pinta-alaansa vahvistaa pintavarauksien vaikutusta, mahdollistaa dispersion ja vähentää gravitaation vaikutusta. Tämän takia kolloidit laskeutuvat hyvin hitaasti. (Brartby 2006)

Kolloidisen suspension pysyvyyteen vaikuttavat elektrostaattiset työntövoimat sekä Van der Waalsin vetovoimat. Mikäli hiukkasten zeta-potentiaali, eli kolloidien varauksien suuruudesta kertova arvo, lähenee nollaa, ohenee hiukkasten diffuusiokerros. Tällöin Van

der Waalsin vetovoimat voittavat elektrostaattiset voimat ja hiukkaset voivat yhdistyä. (RIL 2004)

Jäteveden sisältämät pienet kiintoaineet, kolloidit ja liuenneet aineet eivät ominaisuuksiensa vuoksi laskeudu ja niiden erottaminen jätevedestä on ongelmallista ilman kemiallis-fysikaalisia prosesseja. Kemiallinen saostusprosessi voidaan jakaa koagulaatioon ja flokkaukseen. (RIL 2004)

Ensimmäinen vaihe kemiallisessa fosforinpoistossa on koagulaatio, jossa destabiloidaan kiintoaineiden ja kolloidien negatiiviset pintavaraukset ja sähköiset kaksoiskerrokset (Brartby 2006; RIL 2004). Koagulointi jaetaan eri vaiheisiin, joita ovat sähköisen kaksoiskerroksen kokoonpuristuminen, adsorbointi, pintavarausten neutralisoituminen ja siltojen muodostuminen partikkeleiden välille (Crittenden et al. 2005; RIL 2004). Koagulaatiossa käytetyt alumiini- ja rautasuolat hydrolysoituvat vedessä nopeasti ja muodostavat liukenemattomia saostumia. Saostumat neutralisoivat partikkeleiden pintavarausta tai absorboituvat partikkeleiden pinnoille, jolloin ne heikentävät partikkeleiden vastakkaisvoimia tai muodostavat siltoja niiden välille. Tällöin rauta- tai alumiinisuoloilla saadaan destabiloitua partikkeleita. (Crittenden et al. 2005)

Koagulantin syöttämisessä tärkeä vaihe on pikasekoitus, jossa destabilointi tapahtuu ja mikroflokkit syntyvät (Brartby 2006). Mikroflokeista kasvatetaan suurempaa makroflokkia flokkauksen, eli hämmennyksen, avulla. Hämmennys synnyttää nopeusgradientteja veteen ja lisää partikkeleiden törmäyksiä ja kiinnittymistä toisiinsa. Hämmennys voi olla hydraulista tai mekaanista. (Crittenden et al. 2005) Makroflokkit ovat kooltaan laskeutumiskelpoisia ja ne voidaan poistaa vedestä laskeuttamalla, flotaatiolla tai suodattamalla. (Crittenden et al. 2005; RIL 2004) Flokkien muodostumisessa voidaan käyttää apuna polymeerejä, jotka lisätään veteen koaguloinnin jälkeen ja jotka kasvattavat ja vahvistavat syntyviä flokkeja. (Crittenden et al. 2005)

1.3.2 Biologinen fosforinpoisto

Fosforia on mahdollista poistaa myös biologisesti aktiivilieteprosessissa (Oehmen et al. 2007). Menetelmä perustuu eräiden polyfosfaattia keräävien organismien (PAO, engl. phosphate accumulating organisms) kykyyn sitoa itseensä fosforia enemmän kuin solumateriaalin synteesi vaatisi (Oehmen et al. 2007; RIL 2004). PAO:t pystyvät anaerobisissa olosuhteissa ottamaan tarvitsemansa energiansa polyfosfaateista vapauttamalla fosforia soluistaan ja muuntamaan hiililähteitä, muun muassa VFA-rasvahappoja, solunsisäisiksi hiilipolymeereiksi. Aerobisissa olosuhteissa PAO:t käyttävät hiilipolymeerejä energianlähteenään biomassan kasvattamiseen ja fosforin sitomiseen solunsisäisiksi polyfosfaateiksi. Nettofosforinpoisto saadaan poistamalla polyfosfaattia sisältämää lietettä. (Oehmen et al. 2007)

Biologinen ravinteidenpoisto poistaa partikkelimaista happo-hydrolysoituvaa ja reaktiivista fosforia hydrolyysissä ja/tai muuttamalla ne organismeille käyttökelpoiseen muotoon. Prosessi poistaa kuitenkin huonosti liukoista happo-hydrolysoituvaa fosforia ja voi muodostaa liukoista orgaanista fosforia. (Gu et al. 2011) Biologinen fosforinpoisto voi toimiessaan olla ympäristöystävällinen ja edullinen tapa poistaa fosforia jätevedestä. Fosforinpoisto biologisesti on kuitenkin usein epävarmaa ja epästabiilia, mikä tekee siitä epäluotettavan. (Oehmen et al. 2007)

2 Ohitusvedet

2.1 Ohitusvesien muodostuminen

Rankkasateiden ja lumien sulamisen aikana tai muuten poikkeuksellisissa olosuhteissa tulevan jäteveden virtaama voi ylittää reilusti jätevedenpuhdistamon mitoitusvirtaaman tai verkoston kapasiteetin. Tällöin kapasiteetin ylittävä osuus virtaa käsittelemättömänä tai osin käsiteltyinä verkostosta tai jätevedenpuhdistamolta vesistöön. Näitä vesiä kutsutaan ohitusvesiksi. (Castrén 2015; Diaz-Fierros et al. 2002; EPA 2016; Passerat et al. 2011) Ohijuoksutukset ovat yleisimpiä keväällä lumien sulamisen aikaan (Laitinen et al. 2014). Jätevedenpuhdistamoilla biologinen prosessi on usein rajoittava vaihe, joka joudutaan kapasiteetin ylittyessä ohittamaan (Castrén 2015; EPA 2016). Suuret virtaamat voivat huuhtoa aktiivilietteen pois, joten ohijuoksutus saattaa olla prosessin kannalta parempi vaihtoehto (Laitinen et al. 2014). Tällöin ohitusvedet johdetaan purkuvesistöön usein esiselkeytyksen jälkeen (Castrén 2015).

Jätevedenpuhdistamoille saapuvat jätevedet voivat olla peräisin kotitalouksista, teollisuudesta, vuotovesistä ja hulevesistä. Alueen ominaisuudet sekä käytetty viemäröintijärjestelmä vaikuttavat jäteveden lähteiden osuuksiin. (Tchobanoglous & Burton 1991) Viemäröinti voidaan järjestää erillisviemäröintinä tai sekaviemäröintinä. Erillisviemäröinnissä hulevedet ja jätevedet kerätään omiin, erillisiin viemäreihin. Sekaviemäröinnissä jätevedet sekä hulevedet kerätään samaan viemäriin. (EPA 2016; Tchobanoglous & Burton 1991) Monilla vanhoilla keskusta-alueilla viemäröinti on järjestetty sekaviemäröintinä (Passerat et al. 2011). Alueen sekaviemäröinti lisää jätevedenpuhdistamoiden tulevan veden virtaamaa ja lisää ohijuoksutusten riskiä (Laitinen et al. 2014). Sekaviemäröinti kasvattaa myös puhdistamoiden ja vastaanottavien vesistöjen ravinnekuormaa, kun virtaamapiikit irrottavat viemäreiden seinämistä sedimenttiä (Diaz-Fierros et al. 2002).

Verkoston huono kunto voi aiheuttaa maaveden imeytymistä viemäreihin, mikä kasvattaa huleveden osuutta jätevesissä (Diaz-Fierros et al. 2002). Maa- ja hulevesiä pääsee viemäreihin lisäksi putkiliitoksista, huokoisten viemäreiden kautta, putkirikoista ja rikkonaisten kaivojen kautta. Ne lisäävät virtaamaa jätevedenpuhdistamoilla ja kasvattavat ohijuoksutusten riskiä (EPA 2016; RIL 2004). Ohitusvesiä voi syntyä myös jätevedenpumppaamoilla ylivuodon, putki- tai laiterikon yhteydessä, teknisestä viasta tai viemäriin tukkeutumisesta johtuen, saneerauksen takia, sähkönsyötön häiriintymisestä, viemäriin huonosta suunnittelusta tai vandalismista johtuen. (Castrén 2015; EPA 2016)

Ohitusvesi-indeksillä (1) voidaan havainnollistaa verkoston kuntoa, sekavesiviemäröinnin osuutta verkostossa sekä jätevedenpuhdistamon hydraulista ylikuormitusta. Ohitusvesi-indeksillä lasketaan ohitusveden määrää laitoksella. (Castrén 2015)

$$\text{Ohitusindeksi} = \frac{\text{Ohitusvesimäärä (puhdistamon sekä verkoston)}}{\text{käsitelty jätevesimäärä}} * 100 \quad (1)$$

2.2 Ohitusvesien vaikutukset

Ohitusvedet aiheuttavat määränsä ja laatunsa takia haittaa jätevedenpuhdistamoille. Ohitusvedet ovat usein kylmempiä kuin talousjätevedet normaalisti, mikä voi haitata puhdistusprosessia ja hidastaa reaktionopeuksia. (Laitinen et al. 2014) Usein ohitusvedet ovat

ravinnepitoisuukseltaan laimeampia kuin jätevedet normaalisti, mikäli ohitustilanne tapahtuu rankkasateiden aiheuttamina (Castrén 2015).

Ohitusvesien ravinnekuormaan vaikuttavat verkoston kunto, puhdistusprosessi, verkoston kuormitus, ohitusvesien käsittelyaste (Castrén 2015), jätevedenpuhdistamon sekundääriseen puhdistusprosessin kapasiteetti (Mattsson et al. 2012) ja käsittelemättömän jäteveden osuus puhdistamolta lähtevän veden kokonaisvirtaamasta (Gasperi et al. 2012).

Ohitusvedet aiheuttavat purkuvesistöissä veden hygieenisen tilan heikentymistä ja voivat lyhyellä aikavälillä laskea veden happipitoisuutta ja lisätä rehevöitymistä (Castrén 2015; EPA 2016). Ohitusvedet sisältävät käsittelemättömiä tai osin käsiteltyjä yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesiä (EPA 2016). Ne tuovat mukanaan ravinteita, kuten typpeä ja fosforia, orgaanista ainesta, toksisia substansseja, kuten raskasmetalleja ja taudinaiheuttajia, sekä kiintoainetta, joka aiheuttaa sameutta ja heikentää fotosynteesiä (Passerat et al. 2011; Diaz-Fierros et al. 2002). Ohitusvesien aiheuttamat ravinnekuormat ovat usein suurimpia ohitustapahtuman alussa, jonka jälkeen ravinteet laimenevat hulevesien vaikutuksesta (Diaz-Fierros et al. 2002). Mikäli ohitusvedet johtuvat hulevesien aiheuttamista kapasiteetin ylityksistä, ovat esiselkeytetyt ohitusvedet usein fosforipitoisuuksiltaan laimeampia kuin normaaleissa prosessitilanteissa (Mattsson et al. 2012).

2.3 Esimerkkejä Euroopasta

Ohitusvesien vaikutuksia on tutkittu maailmanlaajuisesti muun muassa Euroopassa (mm. Passerat et al. 2011; Hanner et al. 2004; Laitinen et al. 2014) ja Yhdysvalloissa (mm. EPA 2016). Yhdysvalloissa 860 yhdyskunnassa, jossa sekaviemäröinti on käytössä, ohitusvedet ovat etusijalla vesistöjen saastumisen aiheuttajina (EPA 2016).

Pariisissa tutkittiin yhden suuren prosessiohituksen ohitusvesien laatua. Puhdistamon vedet johdetaan Seine-jokeen, joka on vastaanottava vesistö monelle jätevedenpuhdistamolle. Seine-joen ekosysteemi on kärsinyt alueen suuren asukasmäärän ja joen pienen virtaaman yhteisvaikutuksesta. Happikato on ollut yksi saastumisen indikaattori. Pariisin alueella ohitusvesien määriä ja vaikutuksia on saatu pienennettyä kasvattamalla viemäriverkoston kapasiteettia ja parantamalla ohitusvesien käsittelymahdollisuuksia jätevedenpuhdistamolla. (Passerat et al. 2011)

Tutkittu prosessiohitus oli kolmanneksi suurin vuosien 2006-2008 aikana. Neljän tunnin sadejakso aiheutti kuuden tunnin ohijuoksutuksen, jonka aikana Seine-jokeen päätyi 578 705 m³ ohitusvettä. Ohitusvedestä vain noin 11 % oli yhdyskuntien jätevesiä. Ohitustapahtuman aikana ohitusveden kiintoainepitoisuus nousi aluksi hyvin korkealle, minkä jälkeen se vähitellen laski alle keskimääräisen tulevan veden kiintoainepitoisuuden. 86 % ohitusveden kiintoaineesta oletettiin olevan peräisin hulevesistä ja viemäreiden pohjasedimenteistä. (Passerat et al. 2011)

Ruotsissa ohitusvedet voivat olla jopa 10 % jätevedenpuhdistamoiden kokonaisvirtaamasta (Hernebring et al. 2000, sit. Ljunggren et al. 2005). Ruotsissa Malmössä ja Göteborgissa merkittävä osa alueen viemäreistä ovat sekaviemäreitä. Ryan jätevedenpuhdistamolla Göteborgissa vuotuinen ohitusvesien määrä on noin 2-8 % laitoksen kokonaisvirtaamasta. Sjölundan puhdistamolla Malmössä vastaava luku on 1-2 %. Vaikka ohitusvesien osuudet puhdistamoiden kokonaisvirtaamasta ovat pieniä, aiheuttavat ne kuitenkin noin 20-25 % laitosten kokonaisfosforikuormista. (Hanner et al. 2004)

2.4 Ohitusvedet Suomessa

VVY:n selvityksessä arvioitiin Suomen jätevedenpuhdistamoiden ohitusvesien osuuksia jätevesivirtaamista ja ravinnekuormista. Taulukkoon 1 on listattu ohitusvesien osuudet jätevesivirtaamista sekä ravinnekuormista Suomessa vuosina 2010-2012. Ohitusvesien osuudet laitosten jätevesivirtaamista ovat olleet pieniä, mutta osuudet ravinnekuormista ovat olleet suhteellisen suuria. Ohitusvesien paikalliset ja hetkelliset vaikutukset voivat olla huomattavia. (Castrén 2015)

Taulukko 1. Ohitusvedet ja niiden aiheuttamat kuormitukset Suomen jätevedenpuhdistamoilla (muokattu lähteestä Castrén 2015).

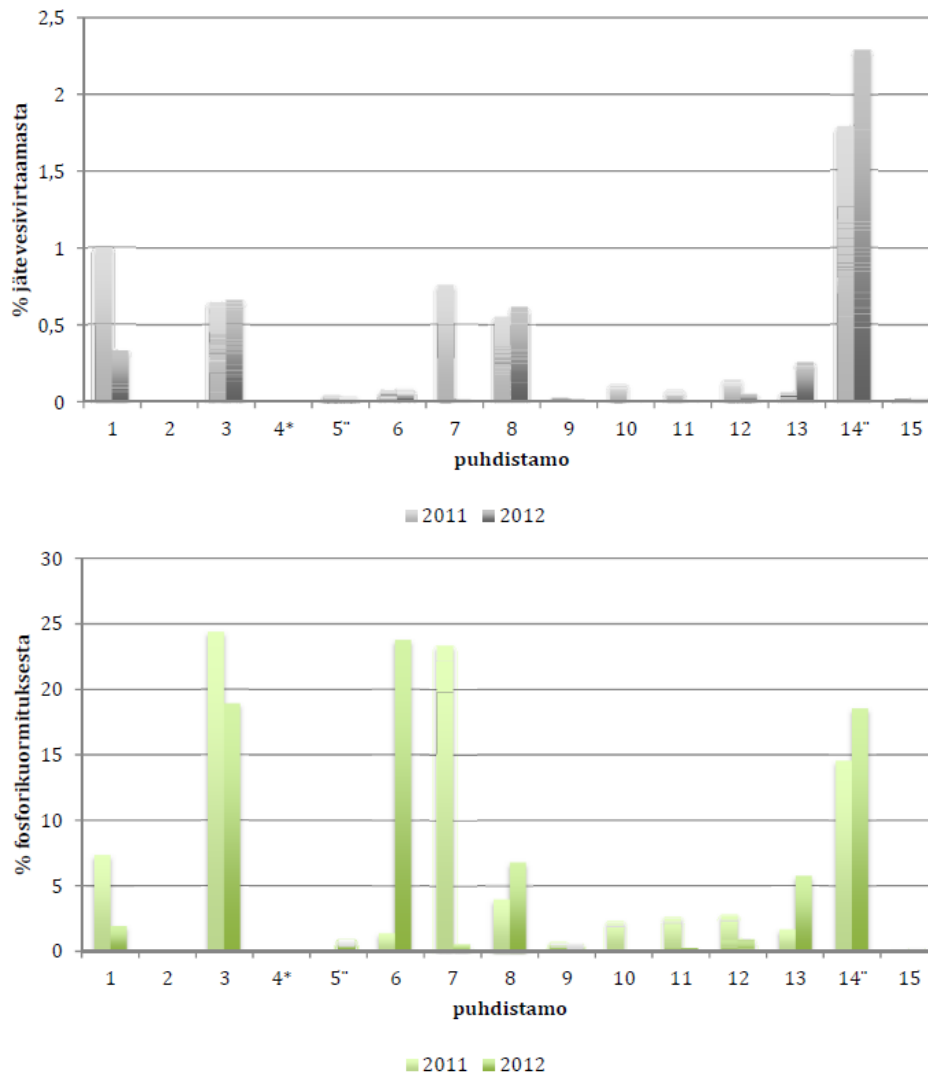
Vuosi	Ohitusten osuus jätevesivirtaamasta %	Ohitusten osuus BHK-kuormasta %	Ohitusten osuus fosforikuormasta %	Ohitusten osuus typpikuormasta %
2010	0,10	4,9	5,11	3,86
2011	0,12	6,9	6,34	3,16
2012	0,13	11,3	9,97	5,07

Castrénin (2015) mukaan Suomen jätevedenpuhdistamoiden yhteenlasketut ohitusvesien aiheuttamat fosforikuormat vesistöihin olivat vuonna 2010 7,7 t/a, 2011 9,29 t/a ja 2012 16,39 t/a.

VVY:n teettämässä raportissa tutkittiin viidentoista suomalaisen puhdistamon ohitusvesiä vuosina 2011 ja 2012. Näiden jätevedenpuhdistamoiden yhteenlaskettu virtaama on noin 59 % koko Suomen jätevesivirtaamasta ja noin 53 % koko biologisen hapenkulutuksen kuormituksesta. (Castrén 2015) Nämä laitokset ovat:

- 1 = HSY Viikinmäen jätevedenpuhdistamo (Helsinki)
- 2 = HSY Suomenojan jätevedenpuhdistamo (Espoo)
- 3 = Turun seudun puhdistamo Oy, Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo
- 4 = Tampereen Vesi, Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo
- 5 = Oulun Vesi, Taskilan jätevedenpuhdistamo
- 6 = Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy, Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo
- 7 = Porin Vesi, Luotsinmäen jätevedenpuhdistamo
- 8 = Kymen Vesi Oy, Mussalon jätevedenpuhdistamo
- 9 = Hämeenlinnan seudun vesi Oy, Paroisten jätevedenpuhdistamo
- 10 = Lahti Aqua Oy, Kariniemen jätevedenpuhdistamo
- 11 = Joensuun Vesi, Kuhasalon jätevedenpuhdistamo
- 12 = Kuopio Vesi, Lehtoniemen jätevedenpuhdistamo
- 13 = Lahti Aqua Oy, Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamo
- 14 = Lappeenrannan Energia Oy, Toikansuon jätevedenpuhdistamo
- 15 = Seinäjoen Vesi Oy, Keskuspuhdistamo

Kuvassa 4 on kuvattu näiden puhdistamoiden ohitusvesien prosenttiosuudet laitosten kokonaisvirtaamista ja fosforikuormista. Ohitusvesimäärien laskussa on otettu huomioon pelkät prosessiohitukset, prosessi- ja verkosto-ohitukset tai prosessiohitukset ja vain suurimmat verkosto-ohitukset, riippuen laitoksesta. (Castrén 2015)



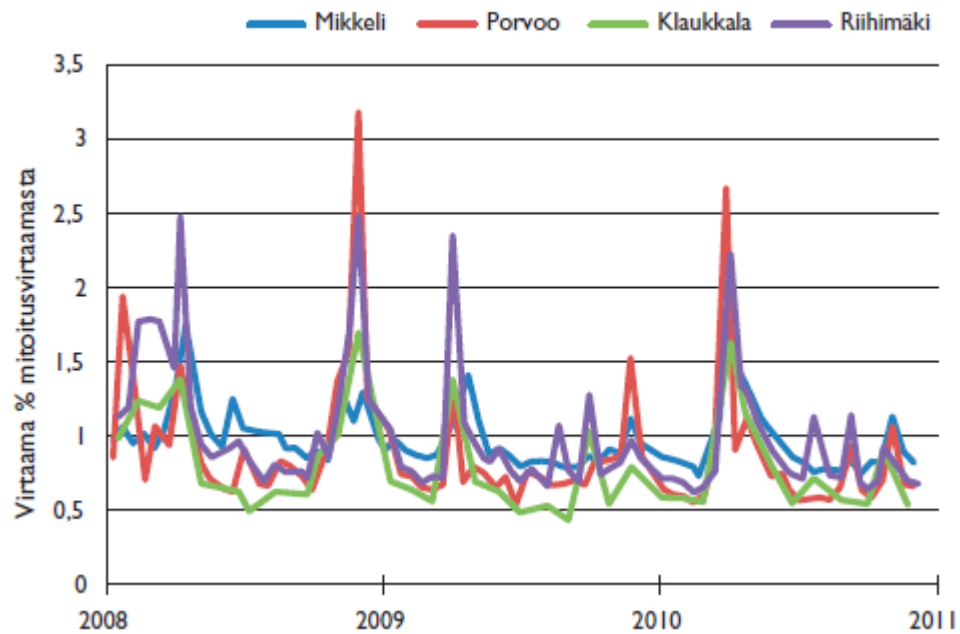
Kuva 4. Puhdistamoiden ohitusvesien osuus kokonaisjätevesivirtaamasta ja fosforikuormituksesta.

* ohitusvesimäärä tarkasteltavina vuosina 0

" ravinne- ja/tai BHK- kuormitustietoja puuttuu (Castrén 2015).

Vuosina 2011 ja 2012 ohitusvesien määrät olivat suhteellisen pieniä jätevedenpuhdistamoiden kokonaisvirtaamasta. Toikansuon jätevedenpuhdistamoa lukuun ottamatta ohitusvesien osuudet jäivät alle yhteen prosenttiin jätevedenpuhdistamoiden jätevesivirtaamasta. Ohitusvesien osuudet kokonaisfosforikuormituksesta vaihtelivat 0 % ja 25 % välillä. (Castrén 2015)

Laitisen et al. (2014) selvityksessä on esitetty Mikkelin, Porvoon, Klaukkalan ja Riihimäen jätevedenpuhdistamoiden tulevan jäteveden virtaaman suhdetta mitoitusvirtaamaan (kuva 5). Suhde vaihteli vuosien 2008-2011 aikana noin 0,4 % ja 3,2 % välillä suurimpien virtaamien ajoittuen keväeseen ja syksyyn. On kuitenkin syytä huomata, että jätevedenpuhdistamon maksimivirtaama, jonka prosessi pystyy vielä käsittelemään, voi olla jopa kaksi kertaa laitoksen mitoitusvirtaaman.



Kuva 5. Virtaaman vaihtelua vuodenaikojen mukaan (Laitinen et al. 2014).

Castrénin (2015) ja Laitisen et al. (2014) mukaan ohitusvesien määrä jätevedenpuhdistamoiden kokonaisvirtaamaan nähden on suhteellisen pieni Suomessa. Castrénin (2015) mukaan ohitusvesien aiheuttamat ravinnekuormat voivat kuitenkin olla merkittäviä jätevedenpuhdistamoiden kokonaiskuormasta ja aiheuttavat laadullisia ongelmia puhdistamoilla ja vastaanottavissa vesistöissä.

3 Ohitusvesien käsittely

Skandinaviassa jätevedenpuhdistamoiden ympäristöluparaja-arvot määritellään laitokselta lähtevien vesien mukaan. Näihin vesiin lukeutuvat myös ohitusvedet. Tämän takia ohitusvesien aiheuttamat fosforikuormat voivat aiheuttaa ympäristöluparajojen ylittymistä monilla laitoksilla. Ratkaisuksi on ehdotettu sekaviemäröinnin erottamista erilliseksi hule- ja jätevesiviemäreiksi, tasausaltaiden rakentamista virtauspiikkien tasaukseksi (Gasperi et al. 2012) tai ohitusvesien erillisiä käsittely-yksiköiden rakentamista. (Mattson et al. 2012) Tasausaltaat ovat kuitenkin investointikustannuksiltaan hyvin kalliita ja lisäksi ne vaativat suuren pinta-alan. Altaiin laskeutuva liete ja hiekka vaativat poistamista tietyin väliajoin. Niiden saaminen takaisin puhdistusprosessiin vaativat pumppausta, mikä kasvattaa kustannuksia ja voi olla paikasta riippuen haasteellista. (Guibelin et al. 1994) Koska kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa vaativat suuret investoinnit ja tasausaltaat lisäksi suuren pinta-alan, on ohitusvesien erillinen käsittely-yksikkö houkuttelevampi vaihtoehto (Mattson et al. 2012).

Ohitusvesien käsittelytekniikan tulisi olla

- joustava,
- kustannustehokas ja kompakti,
- tehokas partikkeleiden poistossa ja
- käynnistymiseltään nopea. (Hanner et al. 2004; Ljunggren et al. 2005)

Hanner et al. (2004) mukaan monella jätevedenpuhdistamolla ohitusvesien käsittely-yksikkö tulisi saada sovitettua olemassa olevaan laitokseen.

Yleisimpiä ohitusvesien käsittelymenetelmiä ovat kiekkosuodatus, flotaatio ja mikrohiekalla tehostettu selkeytys. Hiekkasuodatus on herkkä veden korkeille kiintoainepitoisuuksille (Pöyry 2013; Tahvanainen 2017), minkä takia sen käyttöä ohitusvesien käsittelyssä ei ole käsitelty tässä työssä. Seuraavaksi käsitellään kiekkosuodatuksen, flotaation ja mikrohiekalla tehostetun selkeytyksen toimintaperiaatteita sekä kokemuksia niiden käytöstä.

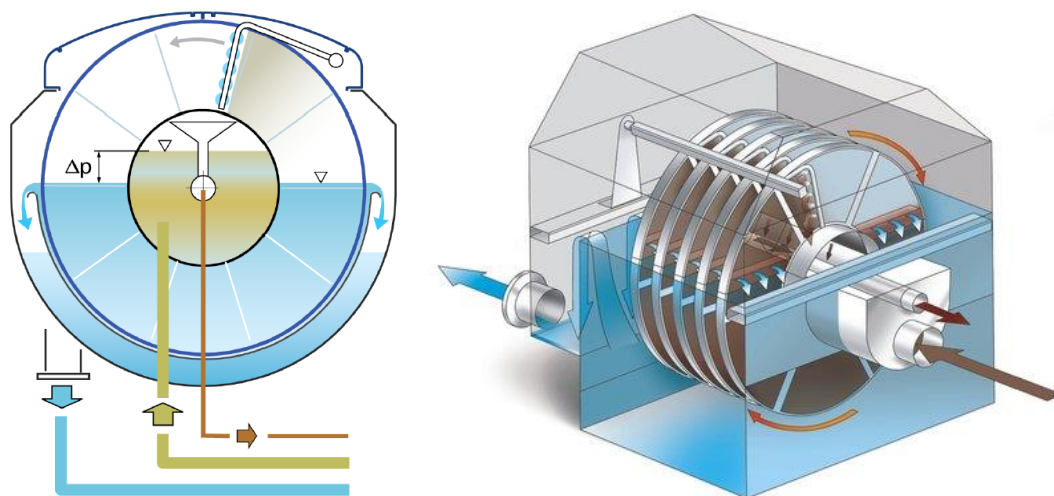
3.1 Kiekkosuodatus

Kiekkosuodatus on ollut käytössä Euroopassa jo vuodesta 1978 ja Yhdysvalloissa vuodesta 1992 ja sen käyttö tertiäärikäsittelynä on yleistynyt jätevedenpuhdistamoilla (Bourgeois et al. 2003). Kiekkosuodatin on kudotusta materiaalista tehty suodatin kiintoaineen poistoon (Veolia Water s.a.). Se soveltuu yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla primääri- ja tertiäärikäsittelyyn, ohitusvesien käsittelyyn (Ljunggren 2006), fosforinpoistoon, muiden suodatinprosessien esikäsittelyyn, levien poistoon, veden kierrätykseen ja uudelleenkäyttöön (Bourgeois et al. 2003) ja teollisuudessa prosessivesien käsittelyyn (Veolia Water s.a.). Kiekkosuodatinta käytetään yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla usein juuri tertiäärikäsittelynä biologisen prosessin jälkeen (Persson et al. 2006), jolloin suodatukseen voidaan yhdistää kemikaalisuodatus (Langer & Schermann 2013). Kiekkosuodattimissa suodatinmateriaaleina voidaan käyttää terästä, nylonia, polyesteriä (Ljunggren 2006), erilaisia kangasmateriaaleja ja -kudoksia sekä muita synteettisiä materiaaleja (Bourgeois et al. 2003). Suodattimien huokoskoko voi vaihdella 10 ja 200 µm välillä (Langer & Schermann 2013).

Kiekkosuodatin voi toimia ”sisältä-ulos”-periaatteella, jolloin suodatinkankaat ovat osittain upotettuina veteen ja vesi virtaa rumpun sisältä suodatinkankaiden läpi altaaseen (Persson et al. 2006). Suodatin voi toimia myös ”ulkoa-sisään”-periaatteella, jolloin kankaat ovat täysin upotettuina veteen ja vesi virtaa altaista suodatinkankaiden läpi rumpuun (Grabbe et al. 1998).

3.1.1 Toimintaperiaate ”sisältä-ulos”-kiekkosuodatuksessa

Kiekkosuodattimen rakenne ja toiminta ”sisältä-ulos”-periaatteella on esitetty kuvassa 6. Kiekkosuodatin koostuu rummusta, kiekkoista ja altaasta, jossa kiekot ovat noin 50-60 % kangaspinta-alastaan upotettuina veteen. Tuleva vesi virtaa painovoimaisesti rumpuun, josta se siirtyy suodatinkiekkoihin. Rumpun ja altaan välisen veden paine-eron ansiosta vesi suotautuu kiekkojen läpi altaaseen, jolloin vedessä oleva kiintoaine pidättyy suodattimien pinnoille. Kun kiintoaineen määrä suodattimien pinnoilla kasvaa, kasvaa veden virtausvastus ja veden pinta rummussa nousee. Kun vesi nousee tarpeeksi korkealle, käynnistyy suodattimien automaattinen pesu, jonka aikana suodatin alkaa pyöriä ja suodattimien pinnoilla oleva kiintoaine ja liete huuhdellaan vastavirtahuuhtelulla pois. Suodatin käyttää suodatettua vettä pesuvedenä ja vaatii noin 1-2 % kokonaisvirtaamasta. Pesuvesi kerätään erilliseen rejektiputkeen, josta se johdetaan pois suodattimilta. Kiekkosuodatin on jatkuvatoiminen, eli kiekkojen pesu ei keskeytä veden suotautumista ja siten puhdistusprosessia. (Ljunggren 2006; Persson et al. 2006; Veolia Waters s.a.) Pesuvesi voidaan johtaa puhdistamoprosessiin (Keski-Saari 2005; Koskela 2017; Pöyry 2013) tai käsitellä omassa käsittely-yksikössä (Nordic Water, s.a.).



Kuva 6. Kiekkosuodattimen toimintaperiaate (vasen kuva Nordic Water, s.a., oikea kuva Huber Technology 2017).

Kiekkosuodattimen puhdistusteho perustuu fyysiseen suotautumiseen, kun vesi virtaa huokoisen suodattimen läpi ja vedessä olevat kiintoainepartikkelit pidättyvät mekaanisesti suodattimien pinnoille (Bourgeois et al. 2003; Persson et al. 2006). Muissa suodatintekniikoissa, kuten hiekkasuodatuksessa, kiintoaineen poisto perustuu lisäksi partikkelien pidättäytymiseen suodattimen sisälle adheesiovaikutuksesta (Persson et al. 2006).

Kiekkosuodattimelle pidättyy partikkeleita, jotka ovat pääosin raekooltaan samankokoisia ja suurempia kuin suodatinkankaiden huokoskoot. Toisaalta on huomattu, että suodattimille voi pidättyä pienempiäkin partikkeleita ja toisaalta suurempia partikkeleita

voi päästä suodattimien läpi. Huokoskokoa suurempien partikkeleiden pääsy suodattimien läpi voi johtua partikkeleiden epäsäännöllisistä muodoista sekä flokin muodostumisesta suodattimien jälkeen. Kiekkosuodattimen pinnoille voi myös pidättäytyä huokoskokoa pienempiä partikkeleita suodatinpinnoille muodostuvan kiintoainekakun ansiosta. Lietekakku usein parantaa suotautumista, kun pienemmät partikkelit pidättäytyvät kiintoainekakkuun. Partikkeleiden erottuminen onkin tehokkainta juuri ennen suodattimien pesua. (Persson et al. 2006) Kängsepp et al. (2016) mukaan kiekkosuodattimen operoiminen onkin suodattimien kemikaalipesun tiheyden optimointia. Kiintoainekakun muodostuminen parantaa suotautumista ja puhdistustuloksia, mutta tukkeutuminen kasvattaa pesutiheyttä ja siten energiankulusta.

Tärkeä tekijä suotautumisen onnistumisessa on flokkien koko ja vahvuus. Partikkelit ja flokit voivat rikkoutua suodattimien pinnoilla, jolloin rikkoutumisessa syntyneet pienet partikkelit läpäisevät suodattimen ja aiheuttavat negatiivista reduktiota pienen kokoluokan partikkeleissa. (Persson et al. 2006) Flokkien kokoa ja rakennetta ja siten kiekkosuodattimen kiintoaineen erotuskykyä voidaan parantaa kemikaalinsyötöllä. Pelkän saostuskemikaalin lisääminen ei usein riitä synnyttämään tarpeeksi vahvaa ja suurta flokkia, vaan prosessi saattaa vaatia myös polymeerin lisäyksen. (Langer & Schermann 2013)

Kiekkosuodattimen suunnitteluun vaikuttavat muun muassa, kuinka suuri osa suodattimien pinnasta on veden alla, suodattimien tukkeutumisherkkyys, suodattimien pesutehokkuus sekä tulevan veden laatu (Ljunggren 2006). Pesutiheys sekä kiekkosuodattimen hydraulinen kapasiteetti riippuvat tulevasta kiintoainekuormasta (Grabbe et al. 1998) sekä suodatinkankaiden huokoskoosta, joka vaikuttaa myös puhdistustulokseen (Persson et al. 2006). Kiekkosuodatinta edeltävät prosessinvaiheet vaikuttavat kiekkosuodattimelle tulevan veden kiintoainekuormaan ja siten kiekkosuodattimen hydrauliseen kapasiteettiin (Grabbe et al. 1998).

Kiekkosuodatuksen etuihin lukeutuvat sen pieni tilantarve, alhainen hinta ja pieni painehäviö verrattuna perinteisiin suodatintekniikoihin. Kiekkosuodatuksessa painehäviö on noin 0,2-0,3 metriä. (Grabbe et al. 1998; Persson et al. 2006) Kiekkosuodatuksessa veden suotautumiseen riittää tulevan ja lähtevän veden hydraulinen korkeusero, joka on noin 0,3 metriä. Kiekkosuodatus vaatii noin 0,3-0,5 metrin hydraulisen nostokorkeuden, jos koko prosessiyksikkö otetaan huomioon. Hiekkasuodatus taas vaatii noin 1,3-1,5 metrin hydraulisen korkeuden suodattimen päälle, mikrohiellä tehostettu selkeytys noin 0,5 metrin ja flotaatio noin 0,35 metrin hydraulisen korkeuden. Hydraulinen korkeus vaikuttaa pumppauksen tarpeeseen ja siten energiakustannuksiin. (Pöyry 2013)

Kiekkosuodattimen tilantarve on noin 55-75 % pienempi kuin perinteisen hiekkasuodattimen (Bourgeois et al. 2003; Persson et al. 2006) ja Persson et al. (2006) mukaan 77 % pienempi kuin flotaation. Hiekkasuodatukseen verrattuna kiekkosuodatuksen energiantarve voi olla suurempi. Kiekkosuodatus vaatii energiaa noin 0,6 kWh, hiekkasuodatin 0,2 kWh ja flotaatio noin 5,7 kWh poistettua kiintoainekilogrammaa kohden. (Persson et al. 2006) Kiekkosuodattimen energiantarve liittyy suodattimien pesuun sekä, mikäli suodatinta edeltää kemikaalilisäys, sekoitukseen ja hämmennykseen (Kängsepp et al. 2016).

Kiekkosuodatuksen haittapuoli on mahdollinen suodatinkankaiden tukkeutuminen, joka johtuu biologisesta kasvusta kankaiden pinnalla (Grabbe et al. 1998; Ljunggren et al. 2005). Kiekkosuodattimen tehoa erottaa kiintoainetta vedestä voidaan parantaa pienentämällä huokoskokoa, mutta tämä kasvattaa usein tukkeutumisen riskiä (Grabbe et al. 1998). Tukkeutumista voidaan estää ja ehkäistä nostamalla suodattimien pesun painetta

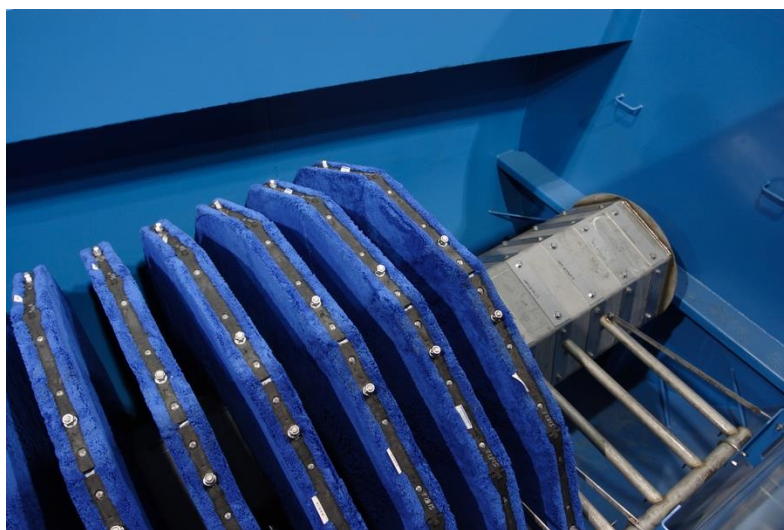
ja happopesemällä kankaita ajoittain (Ljunggren et al. 2005). Koskelan (2017) mukaan kiekkosuodattimien happopesussa käytettyjen kemikaalien määrä on niin pieni, että ne voidaan johtaa kiekkosuodattimelta lähtevän veden mukana. Kiekkosuodatuksen haitta-
puoliin lukeutuu myös sen pieni pintakuorma verrattuna hiekkasuodatuksen. (Grabbe et al. 1998).

Koska fosforin ja kiintoaineen erottuminen riippuvat hyvin paljon vedessä olevan flokin rakenteesta ja koosta, tulisi kiekkosuodatuksen suunnittelussa ottaa huomioon ja pyrkiä minimoimaan pumppujen ja putkien aiheuttamia leikkausjännityksiä flokkien rikkoutumisen estämiseksi. (Ljunggren et al. 2005)

Suomessa pääosa kiekkosuodatinlaitoksista sekä kiekkosuodatinkoeajoista on tehty ”sisältä-ulos”-kiekkosuodattimilla (Kuokkanen 2015; Mäkelä 2016; Rossi 2014; Rytönen 2012; Vesala 2016).

3.1.2 Toimintaperiaate ”ulkoa-sisään”-kiekkosuodatuksessa

Kiekkosuodatuksessa voidaan suodatinmateriaalina käyttää myös tekstiilipohjaisia materiaaleja (kuva 7), jolloin kiekkosuodatin toimii ”ulkoa-sisään”-periaatteella. Tekstiilipintaisia suodattimia tehdään muun muassa fleece-kudoksista, nukkapohjaisista kankaista, jolloin suodatin muistuttaa ryijyä tai turkista, sekä erilaisista kudoksista. (Persson et al. 2006) Kiintoaineen poisto perustuu sekä fyysiseen suotautumiseen, kun huokoskokoja suuremmat partikkelit pidättyvät kankaan pinnalle, sekä kiintoaineen pidättyymiseen suodatinkankaan sisälle, etenkin fleece-kudoksesta tai nukkakankaasta tehdyissä suodattimissa (Grabbe et al. 1998; Persson et al. 2006). Tekstiilipintaista suodatinta voidaan verrata eläimen turkkiin; suodatuksen aikana suodattimen kuidut kulkevat suodatinpintaa pitkin ja muodostavat tiiviin kerroksen, joka pidättää kiintoainetta tehokkaasti (Mecana Umweltechnik s.a.). Tekstiilipintainen suodatin pidättää partikkelikoolta erilaisia kiintoaineita ja soveltuu hyvin vaihtuviin kuormitustilanteisiin. Tekstiilipintaisista suodattimista käytetään yleisesti nimitystä ”Cloth Media Filter” ja ne soveltuvat myös ohitusvesille sekä toisaalta alhaisiin fosforipitoisuuksiin. (Pöyry 2013)



Kuva 7. Esimerkki kangassuodattimesta (Aqua-Aerobic Systems, Inc. 2016).

Tekstiilipintainen suodatin toimii ”ulkoa-sisään”-periaatteella eli vesi virtaa altaaseen, jossa suodatinkankaat ovat täysin upotettuina veteen. Vesi suotautuu suodatinkankaiden läpi rumpuun, johon suodatinkiekot ovat kiinnitettyinä vertikaalisesti. Suotautuessaan

kankaiden läpi vedessä oleva kiintoaine pidättäytyy kankaisiin ja suotautunut vesi poistuu prosessista rummun kautta. (Bourgeois et al. 2003; Grabbe et al. 1998) Osa vedessä olevista suuremmista kiintoainepartikkeleista laskeutuvat ennen suodatinkankaille päätymistä altaan pohjalle, josta ne pumpataan pois puhdistusprosessin alkuun (Bourgeois et al. 2003; Pöyry 2013).

Kun suodattimessa kiintoaineen määrän kasvaa, kasvaa myös suodattimen paine-ero ja veden pinta altaassa alkaa nousta, mikä käynnistää suodattimien pesun. Suodattimen pesussa muuten paikoillaan oleva suodatinrumpu alkaa pyöriä ja suodatinta pestään vastavirtahuuhtelulla ja kiintoaine imetään pois suodattimien pinnoilta. Imun aikana suodattimien kuidut suoristuvat ja pidättäytynyt kiintoaine saadaan imettyä kankaasta pois. (Bourgeois et al. 2003; Pöyry 2013) Huuhteluvedentarve on noin 3-5 % kokonaisvirtaamasta (Pöyry 2013) ja suotautuminen jatkuu pesun aikana (Bourgeois et al. 2003).

Tekstiilipintaista kiekkosuodatinta voidaan myös käyttää ohitusvesien käsittelyyn ja se toipuu hyvin korkeistakin kuormitustilanteista. Suodatin kestää lyhytaikaisesti 100-150 mg/l kiintoainekuormia. Suodattimen toimivuus ja pesuväli riippuvat myös kiintoaineen laadusta; mikäli kiintoaine on laskeutuvaa, pystyy suodatin toimimaan vielä yli 150 mg/l kiintoainekuormituksella. (Pöyry 2013)

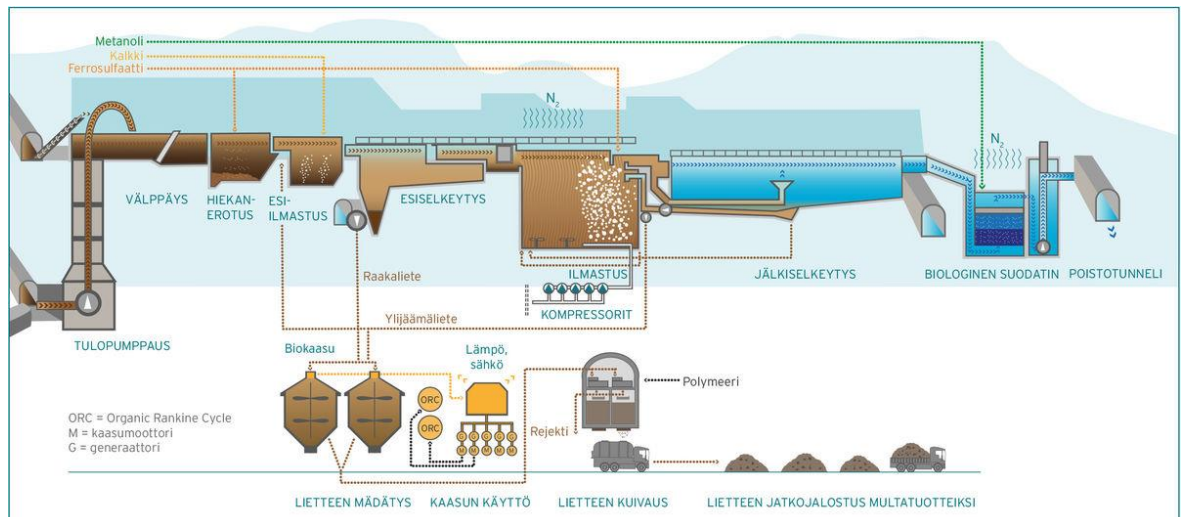
Kiekkosuodatukseen tekstiilipintaisten suodatinkankailla vaikuttavat erinäiset tekijät, kuten suodatinkankaissa käytetty materiaali. Grabbe et al. (1998) huomasivat tutkimuksissaan, että suodatinkankaiden materiaali vaikuttaa puhdistustulokseen, pesutiheyteen, pesussa tarvittavan veden määrään sekä kankaiden tukkeutumiseen. Lämpötila voi taas vaikuttaa saostuskemikaalien reaktioaikoihin ja siten puhdistustuloksiin (Pöyry 2013). Bourgeois et al. (2003) huomasivat, että suodatinkankaiden pinnalle kerääntyvän kiintoainekakun peseminen pois suurella paineella nosti hetkellisesti hieman kiekkosuodattimelta lähtevän veden sameutta. Samoin suurempi hydraulinen kuorma nosti lähtevän veden sameutta, koska kankaiden pesuväli tiheni ja kiintoainekakku peseytyi useammin pois.

Kiekkosuodattimen suodatinkankaisiin kerääntyy käytön aikana vähitellen kiintoainetta, joka ei poistu tavallisen pesun aikana. Tämä lisää painehäviötä, lisää kankaiden pesuun käytetyn imun painetta ja tihentää pesuväliä. Suodatinkankaita voidaan tällöin pestä suuremmalla paineella. (Bourgeois et al. 2003) Pöyryn (2013) selvityksen mukaan suodatinkankaat tulisi pestä manuaalisesti painepesurilla noin 1-2 vuoden välein, mutta ne eivät vaadi normaalisti kemikaalipesua. Suodatinkankaat tulisi vaihtaa noin 5-10 vuoden välein, mistä muodostuu suodattimen suurin käyttökustannus. Energiantarve on vähäinen, sillä energiantarve liittyy suodattimien pesuun ja laskeutuneen kiintoaineen pumppaamiseen altaan pohjalta.

3.1.3 Kokemuksia kiekkosuodatuskoeajoista

3.1.3.1 Viikinmäen jätevedenpuhdistamo, Helsinki

Viikinmäen jätevedenpuhdistamo on Suomen ja Pohjoismaiden suurin jätevedenpuhdistamo 270 000 m³ vuorokausivirtaamalla. Jäteveden puhdistusprosessi on esitetty kuvassa 8. (HSY 2015) Viikinmäen jätevedenpuhdistamon fosforin päästöraja on 0,3 mg/l, mutta on mahdollista, että se tiukentuu tulevaisuudessa tasolle 0,1-0,2 mg/l. (Rossi 2014)



Kuva 8. Viikinmäen jätevedenpuhdistamon prosessikaavio (saatu Laura Rossilta 2017).

Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla on tehty kiekkosuodatuskoeajoja vuosien 2013-2015 aikana jälkisuodatetulla vedellä, jälkisuodatetulla vedellä sekä ohitusvesillä. Vuonna 2015 tehdyt koeajot tehtiin 18 µm kankailla ja vuonna 2014 10 ja 18 µm kankailla. Molemmat koeajot tehtiin ”sisältä-ulos”-kiekkosuodattimilla. (Kuokkanen 2015; Rossi 2014).

Vuoden 2014 kokeiden perusteella alumiinipohjainen saostuskemikaali toimi koeajoissa paremmin fosforin ja kiintoaineen poistoon kuin rautapohjainen saostuskemikaali. Tulevan veden laatu vaihtelu ei vaikuttanut kiekkosuodattimen puhdistustehoon, mutta sen sijaan vaikutti suodattimien pesutiheyteen. Suodattimien huokoskoko ei vaikuttanut merkittävästi puhdistustulokseen, mutta sen sijaan hydraulinen kapasiteetti oli 10 µm suodattimilla pienempi kuin 18 µm suodattimilla. (Rossi 2014)

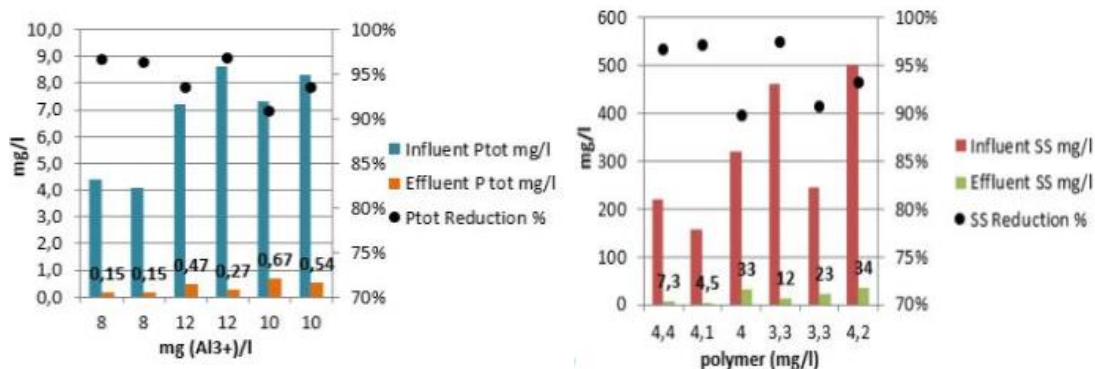
Rossin (2014) mukaan optimikemikaaliannostus on riippuvainen tulevan veden fosforipitoisuudesta, joten kiekkosuodatuksen saostuskemikaalisyötön voisi ohjata tulevan veden fosforimittauksen mukaan ja polymeerisyötön saostuskemikaalisyötön mukaan. Kuokkasen (2015) mukaan polymeeriannostus olisi hyvä linkittää tulevan veden kiintoainepitoisuuteen.

Taulukossa 2 on esitetty Rossin (2014) ja Kuokkasen (2015) määrittelemät optimikemikaaliannostukset sekä tulevan ja lähtevän veden keskimääräiset fosforipitoisuudet. Vuoden 2014 koeajoissa ohitusvesiä simuloitiin suorasaostetulla esiselkeytettyllä jätevedellä ja vuonna 2015 ohitusvesiä simuloitiin karkeavälpätyllä jätevedellä.

Taulukko 2. Viikinmäen jätevedenpuhdistamon kiekkosuodattimen koeajoissa saadut tulokset 20 µm suodattimilla (muokattu lähteestä Rossi 2014).

	Jälkisuodatettu jätevesi (koeajot 2014)	Esiselkeytetty jätevesi (koeajot 2014)	Karkeavälpätty jätevesi (koeajot 2015)
Optimi saostuskemikaaliannostus Al ³⁺ /l	2,0	3,5	8-12
Optimi polymeeriannostus mg/l	1,0	2,0	3,3-4,4
Tulevan veden fosforipitoisuus mg/l	0,15-0,32	1,6	4,0-8,5
Lähtevän veden fosforipitoisuus mg/l	0,056-0,094	0,51	0,15-0,67

Vuoden 2015 ohitusvesipilotoinnin kokonaisfosfori- ja kiintoainetulokset on esitetty kuvassa 9. PAXin lisäys oli 8-12 mgAl³⁺/l ja polymeerin 3,3-4,4 mg/l. (Kuokkanen 2015)



Kuva 9. Vuoden 2015 ohitusvesipilotoinnin kokonaisfosfori- ja kiintoainetulokset kuuden päivän kokoomanäytteistä (Kuokkanen 2015).

Ohitusvesien käsittelyssä kiekkosuodattimelle tulevan veden virtaaman kasvattaminen ja flokkauksen viipymän pieneminen aiheuttivat flokkien pienentymistä, suodatetun veden sameutumista ja laitteiston kapasiteetin pienenemistä. Polymeeriannostusta kasvattamalla, varsinkin ennen virtaaman nostamista, voitiin pienentää ongelmaa. (Kuokkanen 2015)

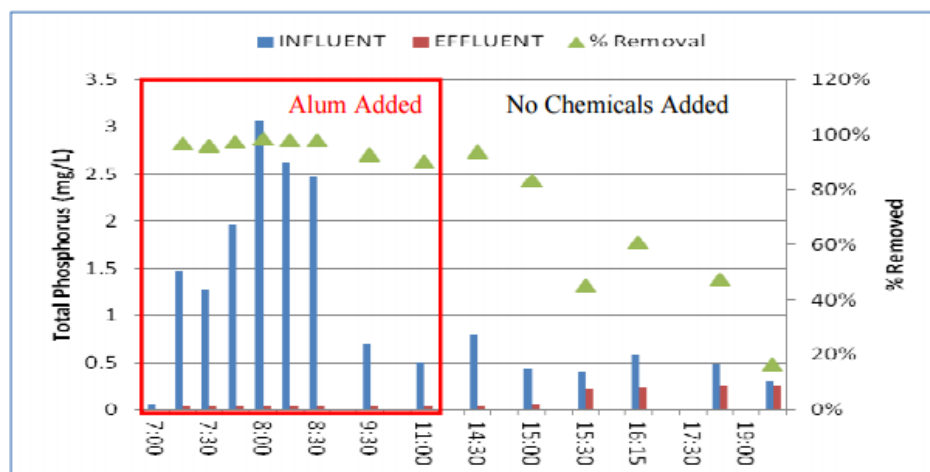
Ohitusvesien käsittelyssä suodattimen hydraulinen kapasiteetti oli pienempi kuin jälkikäsitellyssä. Koeajoissa karkeavälpätyt jätevedet olivat kuitenkin pääosin merkittävästi tyyppillisiä ohitusvesiä väkevempiä, joten koeajojen perusteella ei voitu tehdä suoria johtopäätöksiä ohitusvesien käsittelyn hydraulisesta kapasiteetista. (Kuokkanen 2015)

3.1.3.1 Rushville jätevedenpuhdistamo, Yhdysvallat

Rushvillen jätevedenpuhdistamolla tutkittiin vuonna 2015 tekstiilipintaista ”ulkoa-sisään”-kiekkosuodatinta ohitusvesien käsittelyyn. Laitoksella ohitusvedet ohjataan prosessin ohi esiselkeytyksen jälkeen, jolloin fosforipitoisuus voi nousta 3,0 mg/l pitoisuuteen. Kiekkosuodatuskoeajoissa suodatinmateriaalina toimi Optifiber® PES-14 mikrokuitukangas. Ennen kiekkosuodatusta veteen lisättiin alumiinisulfaattia 4 mg Al³⁺/l ja polymeeriä. Kiekkosuodatusta testattiin viiden eri ohitustilanteen aikana kemikaalilisäyksellä ja ilman kemikaalilisäystä. (Aqua-Aerobic Systems, Inc. 2015)

Ohitusvedet sisälsivät alussa korkeita kiintoainepitoisuuksia sekä orgaanisen aineen pitoisuuksia, jotka laskivat noin 1-2 tunnin kuluttua ohitustapahtuman alusta. Kiintoaineen poistossa ei huomattu merkittäviä eroja ilman kemikaalilisäystä tai kemikaalilisäyksellä vaan kiintoaineen poistoteho pysyi yli 90 % kaikissa koesarjoissa. Kaikissa viidessä ohitustapahtumassa kiekkosuodattimelta lähtevän veden keskimääräinen kiintoainepitoisuus oli 2,0-5,2 mg/l, kun tulevan veden kiintoainepitoisuus oli keskimäärin 24-141 mg/l.

Tulevan veden fosforipitoisuus vaihteli 0,49 ja 3,1 mg/l välillä. Kemikaalilisäyksellä puhdistusteho oli yli 90 %, jolloin veden fosforipitoisuus putosi keskimäärin 0,12 mg/l pitoisuuteen (kuva 10). (Aqua-Aerobic Systems, Inc. 2015)



Kuva 10. Fosforipitoisuudet ja -poistotehot kemikaalilisäyksellä ja ilman ohitustilanteissa (Aqua-Aerobic Systems, Inc. 2015).

3.1.3.1 Merced jätevedenpuhdistamo, Kalifornia, Yhdysvallat

Mercedin jätevedenpuhdistamolla verrattiin kahta eri kiekkosuodatintyyppiä laitoksen tertiäärikäsittelyksi (Knapp & Tucker 2006). Laitoksen puhdistusprosessi koostuu välipäyksestä, esiselkeytyksestä, biologisesta typenpoistosta ja UV-desinfioinnista (City of Merced s.a.). Kiekkosuodattimiksi valikoituivat ”ulkoa-sisään”-tekstiilisuodatin, Aqua Aerobic AquaDisc, ja ”sisältä-ulos”-polyesterisuodatin, Kruger Hydroteck. (Knapp & Tucker 2006)

Puhdistamolla ajettiin suodattimia rinnakkain ilman kemikaalilisäystä sekä kemikaalilisäyksellä. Koeajoissa testattiin suodattimien hydraulista kapasiteettia, suodattimien tehoa eri kiintoainekuormilla ja optimikemikaalimääriä. Suodattimien suoritusta arvioitiin lähtevän veden sameudella ja tavoitteena oli saada lähtevän veden sameus alle 2 NTU. (Knapp & Tucker 2006)

Knapp ja Tucker (2006) huomasivat, että suodattimien suurin ero testiajoissa oli tarvittava kemikaalimäärä sekä saadut puhdistustulokset. Normaaleissa prosessiololoissa, kun tulevan veden kiintoainepitoisuus oli 4-10 mg/l, molemmilla suodattimilla päästiin alle 2 NTU lähtevän veden sameuteen ilman kemikaalilisäystä ja eri pintakuormilla. Suurilla kiintoainepitoisuuksilla, 24-40 mg/l, ja sameudella, 11-17 NTU, molemmissa suodattimissa lähtevän veden sameus nousi 2-4 NTU ilman kemikaalilisäystä.

Suodattimille tulevan veden sameuden ollessa 5-10 NTU kummallakaan suodattimella ei saatu lähtevän veden sameudeksi alle 2 NTU ilman kemikaalilisäystä. Noin 5 mg/l saostuskemikaalilisäyksellä AquaDisk-suodattimella päästiin alle 2 NTU sameuteen pintakuormilla 7-15 m/h. Hydrotech-kiekkosuodattimella saatiin lähtevän veden sameus laskettua alle 2 NTU, mutta noin neljää kertaa suuremmalla kemikaaliannostuksella kuin AquaDisk-kiekkosuodattimella ja jos pintakuorma jäi alle 5 m/h. (Knapp & Tucker 2006)

3.1.3.2 Pättin jätevedenpuhdistamo, Vaasa

Pättin jätevedenpuhdistamo on Vaasan kaupungin sekä osan Mustasaaren ja Maalahden kuntien jätevedenpuhdistamo. Jätevesi puhdistetaan laitoksella biologis-kemiallisesti ja

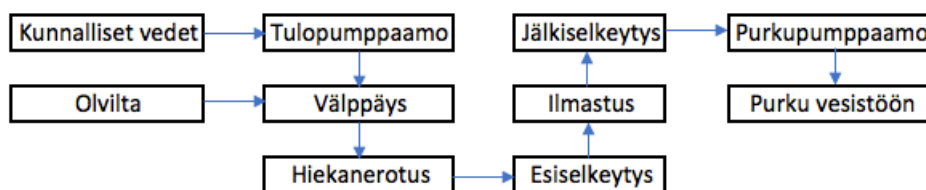
prosessiin kuuluvat välppäys, hiekanerotus, esi-ilmastus, esiselkeytys, ilmastus, jälkiselkeytys ja hiekkasuodatus. Ohitusvesien käsittelyyn on käytössä erillinen flotaatioyksikkö. Laitoksen fosforiluparaja on 0,3 mg/l. (Vaasan Vesi 2015)

Pättin jätevedenpuhdistamolla testattiin ”sisältä-ulos”-kiekkosuodatinta 20 µm suodatin-kankailla laitoksen saneerauksen yhteydessä vuonna 2011. Kiekkosuodatus olisi mahdollisesti voinut korvata jo käytössä olevan flotaatiolaitoksen ohitusvesien käsittelyssä. Kiekkosuodatuksen johdettiin esiselkeytettyä jätevettä ja laitteistoa ajettiin ilman kemikaalilisäystä sekä ferrisulfaatti- ja polymeerilisäyksellä. (Vesala 2016)

Kiekkosuodattimen koeajot eivät onnistuneet toivotun mukaisesti. Alussa suodatin toimi lupaavasti, mutta muutaman viikon käytön jälkeen suodattimet alkoivat tukkeutua ja jätevesilimaa syntyä suodattimien pinnoille. Jätevedenpuhdistamon henkilökunta epäili, että laitteiston pesuri ei kyennyt pesemään suodattimia tarpeeksi tehokkaasti. Laitetoimitajan mukaan ongelma olisi voinut johtua liian pienistä huokosreieistä. (Vesala 2016)

3.1.3.3 Vuohiniemen jätevedenpuhdistamo, Iisalmi

Vuohiniemen jätevedenpuhdistamo käsittelee Iisalmen kaupungin, Vieremän ja Sonkajärven kuntien jätevedet, sekä Olvi Oyj:n panimon esikäsitellyt jätevedet. Prosessikaavio on esitetty kuvassa 11. (Rytkönen 2012)



Kuva 11. Vuohiniemen prosessikaavio (muokattu lähteestä Rytkönen 2012).

Keväällä 2011 Vuohiniemen jätevedenpuhdistamolla tutkittiin ”sisältä-ulos”-kiekkosuodatusta tertiärikäsittelymenetelmänä. Puhdistamon jälkiselkeytysaltaista karkaa ajoittain hienoa, laskeutumaton kiintoainetta, jolloin kiintoaineen, fosforin ja orgaanisen aineen pitoisuudet ylittävät ympäristöluvan asettamat raja-arvot. Pilotoinnissa tapahtui kuitenkin laitteiston vuotamista, jolloin suodattimelle tulevaa jätevettä vuosi lähtevän veden sekaan. Tuloksissa esiintyi täten virheitä. (Rytkönen 2012)

Laitteistoa testattiin noin kymmenen päivän ajan, jonka aikana kiekkosuodatuskoeajoja tehtiin 10 ja 30 µm suodattimilla ilman kemikaalilisäystä, pelkällä polymeerilisäyksellä, pelkällä saostuskemikaalilisäyksellä sekä lisäämällä yhdessä polymeeriä ja saostuskemikaalia. Kemikaaleina käytettiin polyalumiinisulfaattia tai ferrisulfaattia. Polymeerinä keuhkittiin sekä anionista että kationista polymeeriä. pH:ta säädettiin suolahapolla. (Rytkönen 2012)

Koeajoissa huomattiin, että paras puhdistustulos, joka täytti myös ympäristövaatimukset, saatiin lisäämällä yhdessä saostuskemikaalia sekä polymeeriä. Ilman kemikaalilisäystä 10 µm suodattimilla saatiin poistettua kiintoainetta tehokkaasti, mutta seurauksena oli suodattimien tukkeutuminen. 30 µm suodattimilla ei ollut mahdollista poistaa kiintoainetta ja fosforia tehokkaasti ilman kemikaalilisäystä. Pienentämällä virtaamaa saatiin parannettua poistoreduktiota. Pelkällä saostuskemikaalin tai polymeerin lisäyksellä ei saavutettu tarvittavia fosforipitoisuuksia. (Rytkönen 2012)

3.1.4 Kokemuksia täyden mittakaavan kiekkosuodatuksesta

3.1.4.1 Arvidstrop jätevedenpuhdistamo, Ruotsi

Arvidstropin jätevedenpuhdistamo käsittelee alueen 52 000 asukkaan jätevedet. Puhdistusprosessi sisältää välppäyksen, hiekanerotuksen, esiselkeytyksen, biologisen ravinteiden poiston ja jälkiselkeytyksen. Vuoden 2013 kesällä laitoksen ympäristölupa kiristyi fosforin osalta 0,3 mg/l pitoisuuteen, minkä takia laitokselle asennettiin ”sisältä-ulos”-kiekkosuodattimet vuonna 2014. Suodatinkankaat ovat 10 µm ja jätevesi käsitellään ennen suodatinta metallipohjaisella koagulantilla ja polymeerillä. Kiekkosuodattimelle johdetaan jälkiselkeytettyä jätevettä ja ajoittain esiselkeytyksestä lähtevää ohitusvettä, joka sekoittuu jälkiselkeytettyyn jäteveteen ennen kemikaalilisäystä. (Kängsepp et al. 2016)

Kemikaaleina käytetään polyalumiinikloridia (PAX-XL360) ja anionista polymeeriä. Ensimmäisenä vuotena PAX:n syöttö oli 2 mgAl⁺/l ja polymeerin 0,7-1 mg/l sekä kuivina että märkinä kausina. Taulukossa 3 on esitetty laitokselta lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus ennen ja jälkeen kiekkosuodatuksen sekä kuivina ajanjaksoilla sekä korkea-*virtaamakaudella*. (Kängsepp et al. 2016)

Taulukko 3. Kokonaisfosforipitoisuudet ennen ja jälkeen kiekkosuodattimien asennusta (muokattu lähteestä Kängsepp et al. 2016).

	Lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus ennen kiekkosuodatusta mg/l	Lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus kiekkosuodatuksella mg/l
Kuiva kausi	0,16-1,5	0,03-0,2
Korkeavirtaamakausi	0,2-0,8	0,05-0,35

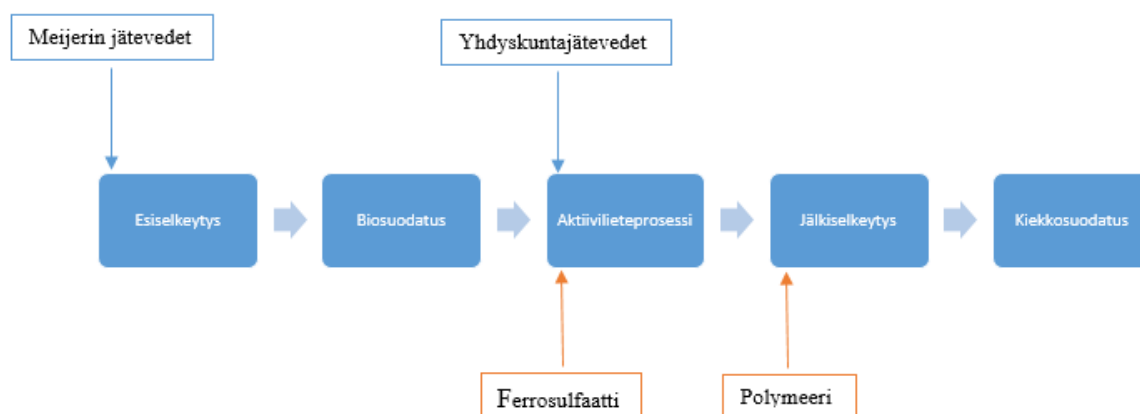
Vuonna 2014 laitoksen tulevista jätevesistä 12 % ohitti biologisen prosessin. Yksittäisessä sadetapahtumassa jopa 50 % tulevasta vedestä voitiin johtaa ohijuoksutuksena kiekkosuodattimille. Pesutiheys oli vuoden aikana keskimäärin noin 30 % ja pesuveden määrä ilman kemikaalilisäystä 0,4-2,5 % ja kemikaalilisäyksellä 1,1-3,6 % tulevan veden virtaamasta. Suodattimet happopestiin noin kuuden viikon välein. (Kängsepp et al. 2016)

Kiekkosuodatuksen kustannuksia olisi mahdollista pienentää poistamalla toinen suodatinyksikkö käytöstä kuivalla säällä, kun ohijuoksutuksia ei tapahdu ja kiintoainekuorma on pieni. Tämä pienentäisi kokonaisenergiakulutusta ja suodattimien tukkeutumistasetta. (Kängsepp et al. 2016)

Kiekkosuodatin vähensi laitoksen herkkyyttä tulevan veden laatuvaihteluille ja biologisen vaiheen kapasiteetille. Kiekkosuodattimen on koettu olevan luotettava ja toimiva ratkaisu fosforin ja kiintoaineen poistoon pienellä energiankulutuksella, noin 34 Wh/m³ eli noin 1,8 kWh poistettua kiintoainekilogrammaa kohden. (Kängsepp et al. 2016)

3.1.4.2 Kirkonkylän jätevedenpuhdistamo, Toholampi

Toholammissa on kaksi jätevedenpuhdistamoa, Kirkonkylän ja Sykäräisen puhdistamot, jotka puhdistavat noin 1450 asukkaan jätevedet (Toholammin kunta 2004-2016). Toholammin alueella sijaitsee Maitokolmion meijeri ja Pramia Plastic Oy, joiden jätevedet johdetaan, Pramia Plastic Oy:n vedet esikäsitteilyn jälkeen, Kirkonkylän puhdistamolle. Puhdistamon prosessi on esitetty kuvassa 12. (Mäkelä 2016)



Kuva 12. Toholammin Kirkonkylän jätevedenpuhdistamon prosessi (muokattu lähteestä Mäkelä 2016).

Toholammin kirkonkylän jätevedenpuhdistamo saneerattiin vuonna 2012, jolloin prosessiin lisättiin tertiäärikäsittelyksi ”sisältä-ulos”-kiekkosuodatin. Kiekkosuodatus varmistaa, ettei huippuvirtaamien aikana lähtevän veden kiintoainepitoisuus kasva liian suureksi. Kiekkosuodattimen suodatinmateriaali on muovia. (Mäkelä 2016)

Mäkelän (2016) mukaan kiekkosuodatin on helppokäyttöinen, mutta sen saavutettava hyöty jää pieneksi. Suodattimien pinnoille kerääntyy vähitellen rautasakkaa ja jätevesiliimaa, minkä takia suodattimet happestaan noin 2-5 viikon välein. Suodatinckennojen vaihtoväli on laitetoimittajan mukaan noin 3-5 vuotta, mistä muodostuu kiekkosuodattimen suurin käyttökustannus.

3.1.4.3 Lapuan Jätevedenpuhdistamo

Lapuan jätevedenpuhdistamo käsittelee Lapuan, vanhan Nurmon keskusta-alueen, Kuortaneen kunnan sekä Atrian lihakylän jätevedet. Laitos käsittää välppäyksen, hiekanerotuksen, esiselkeytyksen, biologisen prosessin sekä jälkisaostuksen. (Lapuan kaupunki 2012) Huippuvirtaamat, tulevan veden laatu vaihtelut, ajovirheet ja laiterikot aiheuttavat ajoittain lietteen karkaamista jälkiselkeytyksestä, mikä vaikeuttaa ympäristöluvan asettamien puhdistusvaatimusten täyttymistä. (Keski-Saari 2015)

Puhdistamolla on ollut vuodesta 2013 käytössä tekstiilipintainen ”ulkoa-sisään”-kiekkosuodatin, joka yhdessä flotaation kanssa toimii prosessin jälkikäsittelyvaiheena. Kiekkosuodatuskoeajoissa testattiin kahta eri suodatinkeuhasta puhdistamon lähtevillä vesillä, mutta myös ensimmäisen vaiheen selkeytyksellä vesillä. Suodattimia testattiin ilman kemikaalilisäystä sekä kemikaalilisäyksellä. Ensimmäisen vaiheen selkeytyksellä vesillä kiintoainereduktio ilman kemikaalilisäystä oli 40-90 % ja alumiinilisäyksellä 95 %, kun tulevan veden kiintoainepitoisuus oli 30-40 mg/l. Koeajoissa kuitenkin huomattiin, että ongelmana erityisesti kemikaalilisäyksellä oli pesuvälin tihentyminen ja suodattimen tukkeutuminen, kun suodattimiin ajettiin ensimmäisen vaiheen selkeytettyjä vesiä. (Perälä 2011)

Valmistajan mukaan kangassuodattimet tulisi uusia noin 5-7 vuoden välein. Huoltotarve suodattimissa on ollut pieni ja suodatin on toipunut hyvin suurista kiintoainekuormista.

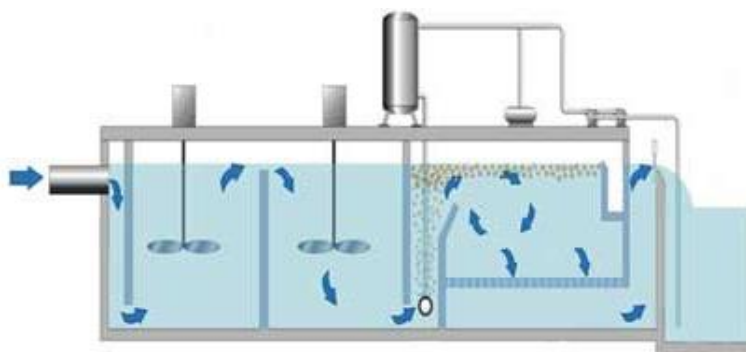
Vuonna 2014 tehdyn seurannan mukaan kiekkosuodatin alensi sameutta 25-67 %. (Keski-Saari 2015)

3.2 Flotaatio

3.2.1 Toimintaperiaate

Flotaatio on selkeyttämismenettely, jossa poistetaan partikkeleita vedestä. Pääasiainen kiintoaineen erottelu jätevedestä on laskeuttaminen, jossa pintakuorma on noin 1-2 m/h. Flotaatiolla saadaan pintakuorma nostettua 5-15 m/h, jopa 15-30 m/h, ja poistettua pienempiä partikkeleita. (Edzwald 2009)

Flotaatiossa vedessä olevat partikkelit nostetaan veden pinnalle kaasun avulla, jolloin vedestä saadaan poistettua kiintoainetta sekä nestemäisiä partikkeleita. Flotaatioallas jaetaan kahteen osaan: kontaktiosaan ja erotteluosaan. Kontaktiosaan veteen lisätään ilmaa altaan pohjalta. (Edzwald 2009) Ilmaa voidaan syöttää normaalipaineisesti suoraan veteen tai dispersiovetenä, jossa ilma on ensin liuotettu veteen painesäiliössä. Flotaatiossa kaasuna käytetään usein ilmaa, jota johdetaan altaan pohjalta pieninä kuplina. (RIL 2004) Flotaation periaate on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Flotaation periaate (Water World 2017).

Saostuskemikaalin lisäyksellä saadaan tehostettua ilmakuplien kiinnittymistä flokkien pinnalle (RIL 2004) ja onkin usein välttämätöntä, jotta partikkeleiden pintavaraukset saadaan stabiloitua (Arnold et al. 1995). Saostuskemikaali syötetään veteen flokkausaltaassa, jonka jälkeen vesi siirtyy kontaktiosaan. Ilmakuplat ja partikkelit törmäilevät ja kiinnittyvät toisiinsa kontaktiosassa muodostaen yhdessä vettä kevyempiä yhdisteitä, jonka jälkeen ne siirtyvät veden mukana erotteluosaan. Erotteluosassa ilmakupla-partikkeliyhdistelmät nousevat altaan pinnalle, josta ne kaavitaan pois. (Edzwald 2009; RIL 2004) Kirkaste poistetaan altaan pohjalta. Noin 10 % puhdistetusta vedestä kierrätetään takaisin flotaatioprosessin alkuun, jota ennen siihen liuotetaan ilmaa paineellisesti. (Edzwald 2009) Syntyvien ilmakuplien koko on 10-100 µm (Edzwald 2009). RIL:n (2004) mukaan optimikoko on 40-70 µm.

Flotaation etuina ovat sen pieni tilantarve laskeutukseen verrattuna, hyvä kiintoaineenpoistotehokkuus, pieni herkkyys tulevan veden kuormitukselle ja syntyvän lietteen korkea kuiva-ainepitoisuus. Flotaatio parantaa myös lähtevän veden happipitoisuutta ja toimii hyvänä kuormituksen tasaajana. (Arnold et al. 1995) Toisaalta menetelmä vaatii paljon energiaa. Flokkien rakenne, pintaominaisuudet ja ilmakuplien koko vaikuttavat flotaation toimivuuteen. (RIL 2004) Ilmakuplien koko vaikuttaa puhdistustulokseen, sillä liian suuret kuplat voivat aiheuttaa flokkien rikkoutumista (Arnold et al. 1995).

3.2.2 Kokemuksia ohitusvesien käsittelyssä

3.2.2.1 Pihlajaniemen jätevedenpuhdistamo, Savonlinna

Pihlajaniemen jätevedenpuhdistamolla Savonlinnassa prosessin viimeisenä vaiheena on kahdeksanlinjainen flotaatiohiekkasuodatus. Hiekkasuodattimet ovat käytössä jatkuvasti ja niitä käytetään biologisesti käsitellyn veden viimeistelyvaiheena. Kevään rankkasateet ja lumien sulamiset kasvattavat puhdistamolle tulevan veden virtaamaa, jolloin ylimenevä virtaama joudutaan johtamaan esiselkeytyksestä biologisen prosessin ohi hiekkasuodattimille. Hiekkasuodattimet ovat herkkiä suurille kiintoainepitoisuuksille ja voivat tukkeutua prosessiohituksissa. Ennen hiekkasuodattimia olevat sameusmittarit käynnistävät tarpeen mukaan flotaation, jolla poistetaan jäteveden kiintoainetta ja estetään hiekkasuodattimien tukkeutuminen. Jälkiselkeytyksestä karkaava kiintoaine ja hiekkasuodattimilta lähtevän veden fosforipitoisuus voivat myös käynnistää flotaation. (Tahvanainen 2017)

Flotaatiossa käytetään polyalumiinisulfaattia (PAX XL-18) tarpeen mukaan tulevan ohitusveden määrän mukaan. Laitoksen kokemusten mukaan flotaatio on ollut toimiva prosessi, jonka käynnistymisvaihe on nopea ja joustava ja kiintoaineen poisto hyvä. (Tahvanainen 2017)

3.2.2.2 Pättin jätevedenpuhdistamo, Vaasa

Pättin jätevedenpuhdistamolla on ollut vuodesta 1998 käytössä flotaatio ohitusvesien käsittelyssä. Puhdistamolla jätevettä voidaan ohittaa kolmessa prosessivaiheessa: ennen puhdistamoa, esiselkeytyksen jälkeen tai jälkiselkeytyksen jälkeen, jolloin jätevesi ohittaa tertiäärikäsitellynä toimivan hiekkasuodatuksen. Yleisin ohitustilanne on ohitus esiselkeytyksen jälkeen. (Kautiainen 2016)

Flotaatiota käytetään sade- ja sulamiskausina biologisen prosessin rinnalla. Flotaatioon syötetään polyalumiinikloridia jälkikäsitellyn jälkeisille ohitusvesille $40\text{-}60\text{ g/m}^3$, esiselkeytyksen jälkeisille $60\text{-}100\text{ g/m}^3$ ja raakajätevedelle $100\text{-}150\text{ g/m}^3$. Flotaation kapasiteetti on pieni, joten sen hyöty jää pieneksi, jos virtaama kasvaa liian suureksi. Lisäksi Pättin puhdistamolla altaat ovat liian matalat puhdistustoiminnan tehostamiseksi. (Vesala 2016)

Flotaation pysäyttämisen jälkeen altaisiin ja muihin osiin jää vettä. Flotaation käynnistyessä uudelleen käyttötaun jälkeen altaisiin jäänyt heikkolaatuinen vesi huonontaa hetkeksi lähtevän veden laatua. (Kautiainen 2016; Vesala 2016)

Pättin jätevedenpuhdistamon henkilökunnan mukaan, mikäli flotaatio on mitoitettu oikein, on se toimiva ratkaisu ohitusvesien käsittelyyn. Flotaatio toimisi paremmin, mikäli se olisi jatkuvasti käytössä. Flotaation suunniteltu automaattinen käynnistys vedenpinnan mukaan ei toimi ja sen käynnistäminen on hidasta. (Vesala 2016).

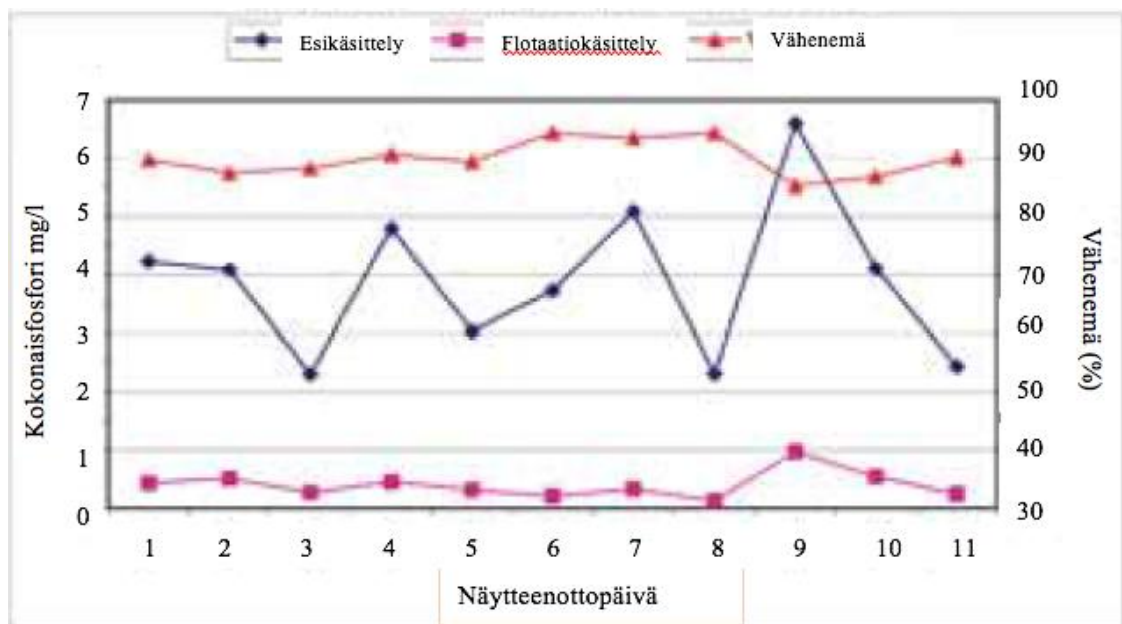
Pättin puhdistamolla henkilökunta on tehnyt muutamia korjauksia flotaation toiminnan parantamiseksi, muun muassa asentaneet taajuusmuuntajat dispersiovesipumppuihin tasan paineen aikaansaamiseksi. (Vesala 2016)

3.2.2.3 Lehtoniemen puhdistamo, Kuopio

Lehtoniemen jätevedenpuhdistamo käsittelee noin 115 000 asukkaan jätevedet. Puhdistusprosessi käsittää mekaanisen puhdistuksen, kemiallisen puhdistuksen ferrisulfaattilla ja aktiivilieteprosessin. Puhdistamolla tutkittiin korkeapaineflotaation soveltuvuutta jätevesien tertiäärikäsittelyyn sekä ohitusvesien käsittelyyn. Veteen syötettiin saostuskemikaalia sekä polymeeriä. Saostuskemikaaleina tutkittiin polyalumiinikloridia (PAX XL-60 ja XL-14) sekä ferrisulfaattia. Kokeissa vertailtiin anionista ja kationista polymeeriä. Optimumkemikaaleilla ja -annoksilla tehtiin pitkät koesarjat, joissa tutkittiin myös dispersioveden kierrätysosuuden muuttamista sekä virtaaman vaihtelun ja siten flokkausajan ja pintakuorman muutosten vaikutuksia tuloksiin. (Koivunen & Heinonen-Tanski 2008)

Pilot-kokeiden perusteella flotaatiolla saatiin hyviä fosforireduktioita sekä tertiäärikäsittelyssä että ohitusvesien käsittelyssä. Flokkausaltaiden sekoitusnopeuksien muutokset tai virtaaman nostaminen eivät vaikuttaneet lähtevän veden tuloksiin. Saostuskemikaalin määrällä ja dispersioveden kierrätysprosentilla oli kuitenkin vaikutusta. Optimituloksiin päästiin 15-20 % dispersioveden kierrätyksellä. (Koivunen & Heinonen-Tanski 2008)

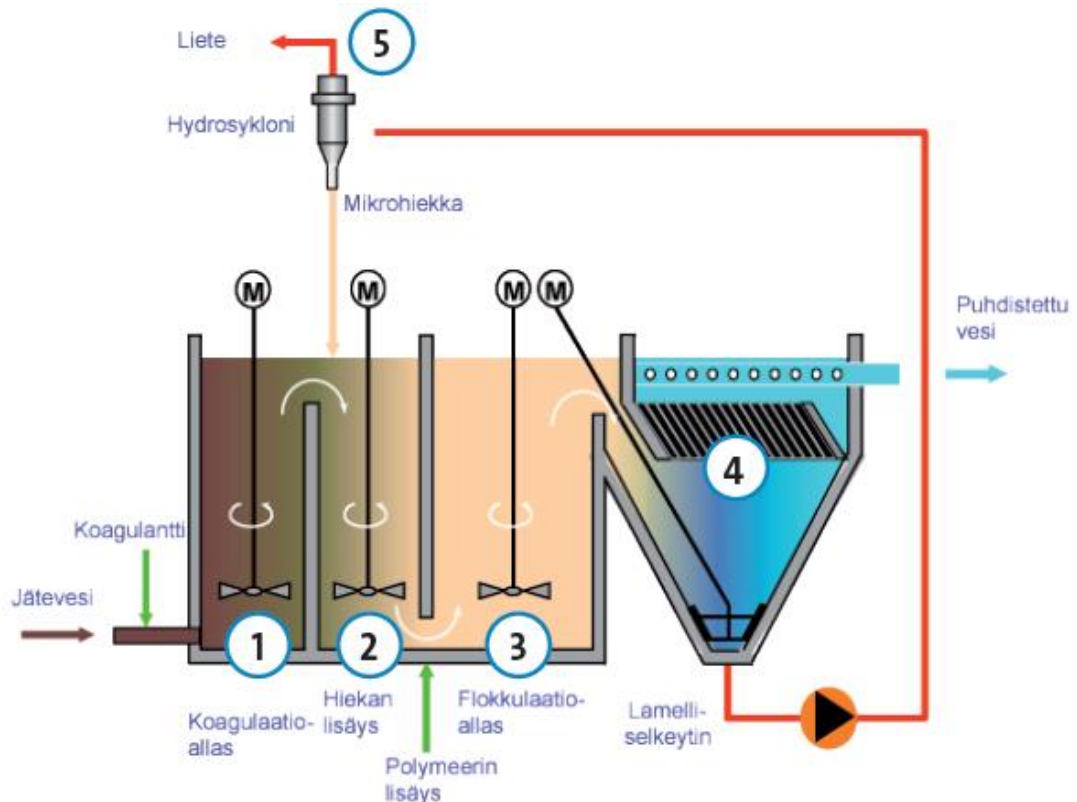
Esiselkeytetyllä vedellä tehdyissä kokeissa saostuskemikaalia lisättiin 12 mgAl⁺/l, jolla saavutettiin 30-80 % kokonaisfosforireduktio, syksyllä jopa 85-94 %. Tulevan veden fosforipitoisuus vaihteli normaalisi noin 2,2 ja 5 mg/l välillä ja flotaatiolla saavutettiin keskimäärin 0,4 mg/l lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus (kuva 14). (Heinonen-Tanski & Koivunen 2005)



Kuva 14. Flotaation vaikutus kokonaisfosforipitoisuuksiin (muokattu lähteestä Heinonen-Tanski & Koivunen 2005).

3.3 Mikrohiellä tehostettu selkeytys

3.3.1 Toimintaperiaate



Kuva 15. Actiflon toimintaperiaate (Aquaflow Oy).

Mikrohiellä tehostettu selkeytys (kuva 15) on mekaaninen/kemiallinen puhdistusprosessi, joka sisältää flokkauksen ja lamellierottelun (Guibelin et al. 1994; Hanner et al. 2004). Mikrohiellan ja lamellin yhdistelmällä saadaan tehostettua flokkien laskeutumista pienellä pinta-alalla ja viipymällä (Gasperi et al. 2012). Jätevesi käsitellään kolmessa eri altaassa ennen lamelliselkeytintä. Ensimmäisessä altaalohkossa jätevetteen lisätään saostuskemikaali ja toisessa lohkoissa mikrohiellä ja polymeeri. Molemmista altaista on veden pikasekoitus. (Aquaflow Oy; Guibelin et al. 1994; Pöyry 2013) Koaguloituneet kiintoainehiukkaset kiinnittyvät mikrohiellan jyväsiin polyelektrolyyttisillä silloilla, jolloin flokkien massat kasvavat. Kasvattamalla flokin massaa saadaan tehostettua partikkeleiden laskeutumista. (Guibelin et al. 1994) Mikrohiellä lisää myös flokin muodostumista sen suuren ominaispinta-alansa ansiosta. Mikrohiellan raekoko on noin 150-180 μm ja sen syöttö noin 3-5 g/m^3 . Viimeisessä lohkoissa, eli flokkauksaltaassa, flokin kokoa kasvatetaan hämmentämällä, jonka jälkeen vesi virtaa lamelliselkeyttimelle. (Aquaflow Oy; Guibelin et al. 1994; Pöyry 2013)

Lamellit ovat altaisiin asennettavat levyjä, joilla muutetaan virtausolosuhteet stabiileiksi jakamalla laskeuttamisallas kapeiksi tiloiksi (RIL 2004). Lamellit kasvattavat myös altaan teoreettista pinta-alaa ja kasvattavat laskeutumismuutosta (Guibelin et al. 1994). Tällöin raskaiden flokkien laminaarinen laskeutuminen tapahtuu varmemmin sekä jatkuvasti alaspäin ilman, että allastilavuutta täytyy suurentaa. (Guibelin et al. 1994; RIL 2004)

Puhdistettu vesi poistuu altaasta ylivuotona. Liette poistetaan altaan pohjalta kaapimalla ja keräämällä lietekartioihin. (Guibelin et al. 1994) Liette ja mikrohiellä erotetaan toisistaan keskipakovoiman avulla hydrosyklonissa, johon se pumpataan lamelliselkeyttimen

altaan pohjalta. Hydrosyklonista mikrohiikka palautetaan takaisin prosessiin ja liete lietteenkäsittelyyn. (Aquaflow Oy)

Tämän prosessiratkaisun etuina ovat pieni tilantarve verrattuna perinteiseen vaakaselkeyttimeen. Lisäksi nopean laskeutumisen ansiosta selkeytyksessä voidaan käyttää korkeaa pintakuormaa, joka on noin 30-80 kertaa suurempi (100 m/h) kuin tavanomainen pintakuorma selkeytyksessä. Veden lämpötila voi vaikuttaa saostuskemikaalin reaktiiviteuteen ja pitäisi ottaa huomioon suunnittelussa. (Pöyry 2013)

3.3.2 Kokemuksia ohitusvesien käsittelyssä

3.3.2.1 Seine Aval jätevedenpuhdistamo, Pariisi

Seine Aval jätevedenpuhdistamo käsittelee Pariisin alueella noin 1,7 miljoonaa jätevesikuutiota päivässä. Puhdistamolla on käytössä Actiflo-yksikkö, eli mikrohiikkalla tehostettu selkeytys, osana puhdistusprosessia sekä osana ohitusvesien käsittelyä. Puhdistusprosessiin kuuluvat mekaaninen puhdistus, esiselkeytys, aktiivilieteprosessi, Actiflo sekä biologinen suodatus, jonka jälkeen puhdistettu jätevesi virtaa Seine-jokeen. Ohitusvedet ohjataan esiselkeytyksen ja aktiivilieteprosessin ohi Actiflolle. Actiflo-prosessissa jätevedeen syötetään ferrikloridia ja polymeeriä tulevan veden sameuteen säädettynä sekä mikrohiikkaa. Ohitusvesien ferrikloridin optimiannostus on 40-90 g/m³, polymeerin 0,5-1 g/m³ ja mikrohiikan (raekoko 100-150 µm) 3,5 kg/m³. (Gasperi et al. 2012)

Actiflon puhdistustehoa tutkittiin kolmena eri päivänä, kun osa jätevedestä ohitti esiselkeytyksen ja aktiivilieteprosessin. Actiflo-yksikköön tulevan veden keskimääräinen fosforipitoisuus oli 4,3-6,5 mg/l ja kiintoainepitoisuus 204-393 mg/l. Tulokset kokonaisfosforin ja ortofosfaatin osalta on esitetty taulukossa 4. (Gasperi et al. 2012)

Taulukko 4. Actiflolle tulevan ja lähtevän veden kokonaisfosfori ja ortofosfaatti Seine Aval jätevedenpuhdistamolla (muokattu lähteestä Gasperi et al. 2012).

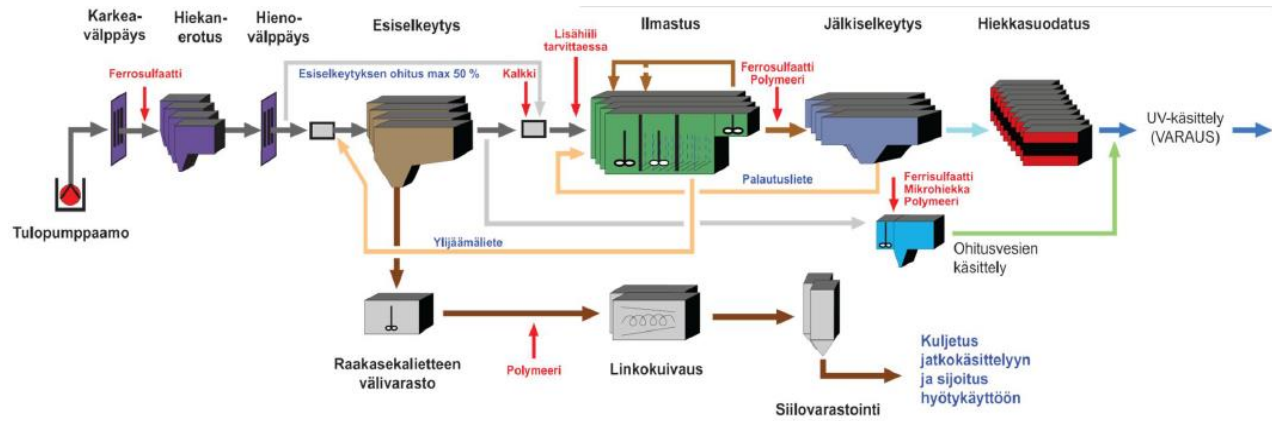
Ohitustapahtumat	Tuleva fosfori mg/l	Lähtevä fosfori mg/l	Reduktio %	Tuleva ortofosfaatti mg/l	Lähtevä ortofosfaatti mg/l	Reduktio %
1	4,4	0,6	86,4	1,1	< 0,1	90,0
2	4,3	0,5	88,4	1,6	< 0,1	93,0
3	6,5	3,7	43,1	2,4	< 0,1	95,0

Ohitustapahtuman 3 huono puhdistustulos johtui alemmasta ferrisulfaatin ja mikrohiikan annostelusta (Gasperi et al. 2012).

Actiflo soveltui hyvin ohitusvesien käsittelyyn ja sillä oli mahdollista poistaa jätevedestä kiintoainetta ja fosforia jopa noin 80 %. Tekniikalla saatiin poistettua jätevedestä myös muita haitallisia mikrosaaiteita. Koska monet metallit ovat kiinnittyneinä kiintoainepartikkeleihin, saatiin Actiflolla poistettua hyvin myös jäteveden metalleja. (Gasperi et al. 2012)

3.3.2.2 Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo, Turku

Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla on käytössä Actiflo-yksikkö ohitusvesien käsittelyyn. Actiflo on toiminnassa vuosittain sateiden ja lumien sulamisten aikaan. (Tuomi 2016) Kakolanmäen puhdistamon prosessikaavio on esitetty kuvassa 16.

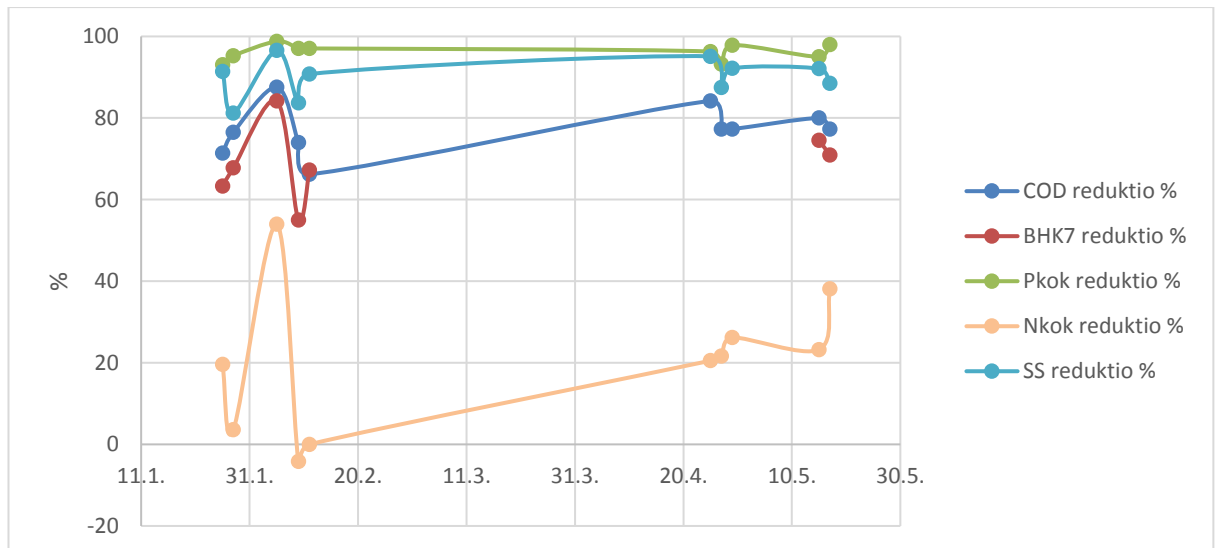


Kuva 16. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon prosessikaavio (Turun Seudun Puhdistamo Oy 2016).

Actiflo valittiin laitokselle alun perin sen kompaktin koon, sen tehokkaan kiintoaineen- ja fosforinpoiston sekä suuren kapasiteetin takia. Puhdistamolla oli myös tärkeää, että ohitusvesien käsittely-yksikkö toimisi tehokkaasti myös pitkän käyttötaun jälkeen, mikä suosi Actiflon valintaan. (Tuomi 2016)

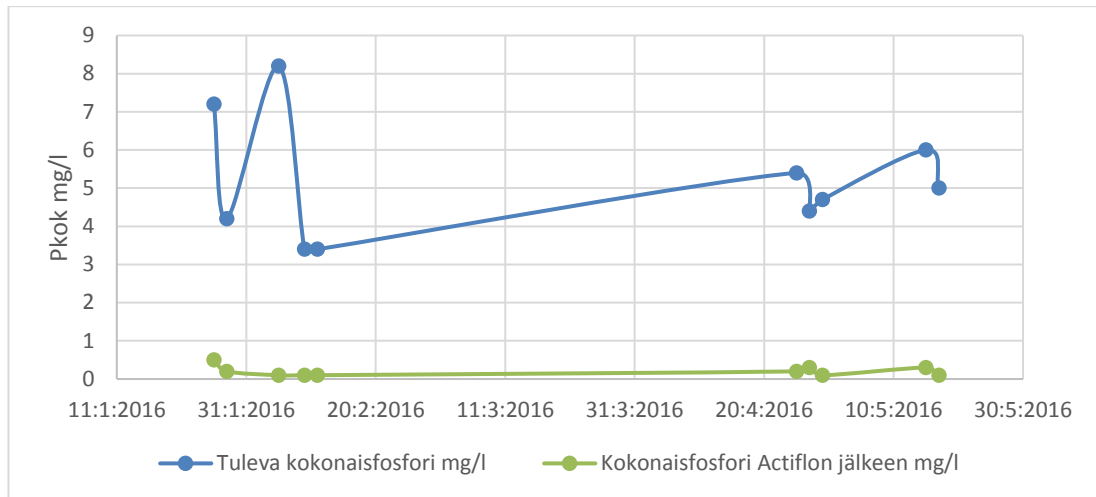
Actiflossa käytetään kemikaaleina ferrisulfaattia (noin 25 g/m³), polymeeriä (noin 4 g/m³) ja mikrohiikkaa (noin 30 g/m³). Kemikaaleja syötetään suhteessa tulevan veden kiintoaineen määrään. Prosessin käynnistys ja sammutus ohjautuvat pinnankorkeuden mukaan ja prosessi on käytännössä heti käyttövalmis. Prosessin käyttökatkokset ovat olleet harvinaisia. (Tuomi 2016)

Kuvassa 17 on kuvattu vuoden 2016 alun prosessin ohitusvilanteiden puhdistustuloksia Actiflolla.



Kuva 17. Actiflon vaikutus ohitusveden ravinteiden poistoreduktioihin (Tuomi 2016).

Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon Actiflo poistaa kiintoainetta ja kokonaisfosforia hyvin tehokkaasti; kiintoainetta noin 80-91 % ja kokonaisfosforia yli 90 %. Ohitusvesien kokonaisfosforipitoisuus kyseisissä ohitusvesissä vaihteli 3,4-8,2 mg/l välillä. Actiflolla kokonaisfosforipitoisuus laski 0,1-0,5 mg/l pitoisuuteen (kuva 18). Actiflolla pystyttiin poistamaan orgaanista ainetta myös tehokkaasti. (Tuomi 2016)



Kuva 18. Ohitusveden kokonaisfosforipitoisuus ja pitoisuus Actiflon jälkeen (Tuomi 2016).

3.3.2.3 Pilot-kokeet Ryan ja Sjölundan puhdistamoilla

Ryan puhdistamolla Göteborgissa ja Sjölundan puhdistamolla Malmössä tutkittiin Actiflon soveltuvuutta ohitusvesien käsittelyyn. Molemmilla puhdistamoilla alueen sekaviemärointi voi aiheuttaa laitoksen hydraulisen kapasiteetin ylittymistä märkinä kautena, jolloin ylimenevä osuus virtaamasta ohittaa sekundääriseen puhdistusprosessiin. (Hanner et al. 2004)

Painavimpien flokkien ja lamelliselkeyttimien ansiosta Actiflo oli hyvin kompakti ja saavutti hyviä puhdistustuloksia. Kokeiden perusteella lähtevän veden arvot laskivat ja taasantuivat noin kymmenen minuutin kuluttua kemikaalisyötön aloittamisesta. Kokeissa huomattiin, että pintakuorma ei vaikuttanut Actiflolla saavutettavaan puhdistustulokseen. Prosessi poisti kokonaisfosforia noin 85 %, kiintoainetta 70-90 % ja organista ainesta 50-60 %. Taulukkoon 5 on listattu saadut keskimääräiset fosforipitoisuudet. Actiflon haittana on kuitenkin sen korkea energiantarve. (Hanner et al. 2004)

Taulukko 5. Keskimääräiset fosforipitoisuudet Actiflo-koeajoissa (muokattu lähteestä Hanner et al. 2004).

	Tuleva kokonaisfosfori mg/l	Kokonaisfosfori Actiflon jälkeen mg/l
Sjölanda, normaalitilanne	3,4	0,5
Sjölanda, normaalitilanne	3,3	0,5
Sjölanda, ohitustilanne	5,0	0,7
Sjölanda, ohitustilanne	3,4	0,3
Rya, ohitustilanne	3,6	0,2

3.4 Yhteenveto

Kokemukset ja tulokset kiekkosuodatuksen puhdistustehoista ovat pääosin lupaavia, mutta sakan ja liman kertymistä suodatinkankaiden pinnalle ja siitä aiheutuvaa tukkeutumista on raportoitu monin paikoin. Tämän takia kiekkosuodatin voi vaatia kemikaalipesua säännöllisin väliajoin kapasiteetin parantamiseksi ja energiankulutuksen pienentämiseksi. Suodattimien tukkeutumiseen, hydrauliseen kapasiteettiin, pesutiheyteen ja puhdistustulokseen vaikuttavat muun muassa suodatinkankaiden materiaali, huokoskoko ja

tulevan veden laatu. Ohitusvesien käsittely voi syödä suodattimen hydraulista kapasiteettia suuren kiintoainepitoisuuden takia. Pieni huokoskoko voi myös pienentää hydraulista kapasiteettia ja lisätä kankaiden tukkeutumista, mutta toisaalta parantaa puhdistustulosta.

Ilman kemikaalilisäystä kiekkosuodattimella on saatu vaihtelevia tuloksia. Osassa pilotoinneissa on saatu hyviä kiintoaine- tai fosforireduktioita ilman kemikaalilisäystä, mutta myös pieniä poistoprosentteja on raportoitu. Kemikaalilisäyksellä ennen kiekkosuodatinta on päästy jopa yli 90 % fosforireduktioihin. Kemikaalilisäyksen on huomattu ajoittain huonontavan kiekkosuodattimen hydraulista kapasiteettia. Puhdistustuloksiin vaikuttavat kemikaalisyöttö ja huokoskoko, mutta myös pintakuorma.

Kiekkosuodattimen suunnittelussa tulisi optimoida kemikaaliannostus, jotta välttyttäisiin flokin muodostumiselta suodattimen jälkeen, mutta toisaalta, jotta saavutettaisiin tarpeeksi vahva flokki hyvän puhdistustuloksen aikaansaamiseksi. Jotta flokki ei rikkoutuisi, tulisi välttää ylimääräistä pumppaamista ja leikkaavia voimia. Myös flokkausajalla on vaikutusta kemikaalien reagoimiseen ja puhdistustulokseen ja sen tulisi siten olla tarpeeksi pitkä. Saostuskemikaaliannostus olisi suositeltavaa linkittää tulevan veden fosforipitoisuuteen ja kohdentaa polymeerin lisäys saostuskemikaalin määrään ja tulevan veden kiintoainepitoisuuteen.

Kiekkosuodattimien käyttö ja pilotoinnit ovat yleistyneet Suomessa viime vuosina. Kiekkosuodatinta ollaan rakentamassa HSY:n uuteen Blominmäen, Pietarsaaren ja Mäntsälän jätevedenpuhdistamoille sekä Jyväskylän Nenänniemen jätevedenpuhdistamolle laajenuksen yhteydessä.

Flotaatiolla ja mikrohiellä tehostetulla selkeytyksellä on mahdollista saavuttaa hyviä fosforireduktioita ohitusvesien käsittelyssä. Ne ovat molemmat kompakteja ratkaisuja, jotka on mahdollista käynnistää ja sammuttaa tarpeen mukaan. Flotaatiossa laitteiston sammuttaminen ohijuoksuusten välillä voi kuitenkin aiheuttaa lietteen kerääntymistä altaaseen, jolloin flotaation käynnistäminen voi nostaa hetkellisesti lähtevän veden kiintoainepitoisuutta, kun pohjalle jäänyt sakka lähtee liikkeelle. Flotaation haittoihin lukeutuu myös sen korkea energiankulutus.

Taulukkoon 6 on koottu kiekkosuodatuksesta, flotaatiosta ja mikrohiellä tehostetusta selkeytyksestä saatuja tuloksia.

Taulukko 6. Kiekkosuodatuksen, flotaation ja mikrohiellä tehostetun selkeytyksen käytöstä ja pilotoinneista saatuja tuloksia.

Puhdistamo	Kemikaaliannokset	Tuloksia	Fosforireduktio
Kiekkosuodatus			
Viikinmäki, Suomi (Kuokkanen 2015; Rossi 2014)	Esiselkeytetylle vedelle 3,5 mgAl ⁺ /l ja 2 mg/l polymeeriä Karkeavälpätylle vedelle 8-12 mgAl ⁺ /l ja 3,3-4,4 mg/l polymeeriä	Fosforipitoisuus 1,6 mg/l esiselkeytetyissä vesissä, 0,51 mg/l kiekkosuodatuksen jälkeen. Fosforipitoisuus karkeavälpätyssä vedessä noin 4-8,5 mg/l, 0,15-0,67 mg/l kiekkosuodatuksen jälkeen.	68 % 83-98 %
Rushville, Yhdysvallat (Aqua-Aerobic Systems, Inc. 2015)	4 mgAl ⁺ /l, polymeeriä	Tulevan veden fosforipitoisuus 0,49-3,1 mg/l, kiekkosuodatuksen jälkeen keskimäärin 0,12 mg/l	76-96 %
Merced, Yhdysvallat (Knapp & Tucker 2006)	4-10 mg/l saostuskemikaalia tekstiilipintaisella suodattimella 6-40 mg/l saostuskemikaalia polyesterisuodattimella	Tulevan veden sameus 5-10 NTU. Tekstiilipintaisella suodattimella mahdollista päästä alle 2,0 NTU sameuteen 7-15 m/h pintakuormalla kemikaalilisäyksellä. Polyesterisuodattimella mahdollista päästä alle 2 NTU kemikaalilisäyksellä, jos pintakuorma alle 5 m/h.	Ei tiedossa
Arvidstorp, Ruotsi (Kängsepp et al. 2016)	2 mgAl ⁺ /l, 0,7-1 mg/l polymeeriä	Kuivina kausina suodattimella 0,03-0,2 mg/l kokonaisfosforipitoisuus, korkeavirtaamakausina 0,05-0,35 mg/l.	66-70 %
Flotaatio			
Pätti, Vaasa (Vesala 2016)	Jälkikäsitteilyn jälkeisille ohitusvesille 40-60 g/m ³ PAX. Esiselkeytyksen jälkeisille ohitusvesille 60-100 g/m ³ PAX. Raakajätevedelle 100-150 g/m ³ PAX.	Ei tiedossa	Ei tiedossa
Lehtoniemi, Kuopio (Koivunen & Heinonen-Tanski 2008)	Esiselkeytetylle vedelle 12 mgAl ⁺ /l	Tulevan veden fosforipitoisuus 2,2-5 mg/l, lähtevän veden fosforipitoisuus 0,4 mg/l flotaation jälkeen.	82-92 %
Mikrohiellä tehostettu selkeytys			
Aval, Pariisi (Gasperi et al. 2012)	Ferrikloridi 40-90 g/m ³ , polymeeri 0,5-1 g/m ³ , mikrohiikka 3,5 g/m ³	Tuleva fosforipitoisuus 4,3-6,5 mg/l, lähtevän veden fosforipitoisuus 0,5-0,6 mg/l.	86-92 %
Kakolanmäki, Turku (Tuomi 2016)	Ferrosulfaatti 25 g/m ³ , polymeeri 4 g/m ³ , mikrohiikka 30 g/m ³	Tuleva fosforipitoisuus 3,4-8,2 mg/l, lähtevän veden fosforipitoisuus 0,1-0,5 mg/l.	85-99 %
Rya ja Sjölund, Ruotsi (Haner et al. 2004)	Ei tiedossa	Tuleva fosforipitoisuus 3,3-5,0 mg/l, lähtevän veden fosforipitoisuus 0,2-0,7 mg/l.	79-96 %

4 Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamo

Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamo on vuonna 2001 käyttöön otettu Porvoon seudun puhdistamo, joka palvelee hieman alle 40 000 asukasta. Puhdistamon asukasvastineluku AVL on 38 600. Puhdistamon jätevedet ovat pääosin asumajätevesiä ja alueen pienteollisuuden jätevesiä. (Aluehallintovirasto 2015)

4.1 Prosessi

Hermannin jätevedenpuhdistamo on kaksilinjainen aktiivilietelaitos kemiallisella fosforinpoistolla. Jätevesi pumpataan puhdistamolle Haikkoon, Koddervikin ja Hamarin pumppaamoilta sekä Kokkonniemen vanhalta jätevedenpuhdistamolta. Taulukkoon 7 on listattu puhdistamon mitoitusvirtaamat ja ravinnekuormat.

Taulukko 7. Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon mitoitusvirtaamat ja ravinnekuormat (muokattu lähteestä Aluehallintovirasto 2015).

Mitoitustuntivirtaama	660 m ³ /h
Mitoitusvuorokausivirtaama	13 200 m ³ /d
Enimmäistuntivirtaama	2 200 m ³ /h
Enimmäisvuorokausivirtaama	37 000 m ³ /d
BOD₇ tulokuorma	2 700 kg/d
Fosforitulokuorma	85 P kg/d
Typpitulokuorma	600 kg N/d
Kiintoaineen tulokuorma	2 700 kg/d

Puhdistamolle tuleva jätevesi johdetaan tulokaivoon, johon johdetaan myös prosessista kerätty pintaliete ja linkojen rejektivedet. Prosessi jakautuu kahdelle linjalle ja siihen kuuluvat tulopumppaamo, välppäys, hiekanerotus, esi-ilmastus, esiselkeytys, aktiivilieteprosessi ja jälkiselkeytys. Prosessikaavio on esitetty liitteessä 1.

Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla on käytössä porraskälpät, jotka poistavat jäteveden mukana kulkeutuvat roskat ja suuremmat kiintoaineet. Välppien säleväli on 3 mm. Välppäyksen jälkeen veteen syötetään ferrosulfaattia 600 kg/d. Välppäystä seuraa hiekanerotus 60 m³ altaissa ja esi-ilmastus 110 m³ altaissa. Esi-ilmastuksella parannetaan veden happitilannetta, flokkien muodostusta ja öljyn ja rasvan erottumista vedestä (RIL 2004). Hiekanerotuksessa jätevedessä oleva hiekka laskeutuu altaan pohjalle, josta hiekka-vesi pumpataan hiekanerottimelle. Hiekka ja vesi erotetaan toisistaan ja hiekka johdetaan roskalavalle. Välpe ja hiekka kuljetetaan jätteenkäsittelylaitokselle poltettavaksi.

Esi-ilmastuksesta jätevesi virtaa vedenjakoon, josta se joko jakautuu esiselkeytysaltaisiin tai jatkaa aktiivilieteprosessiin. Puhdistamolla noin 60–70 % vedenjakoon tulevasta jätevedestä johdetaan suoraan aktiivilieteprosessiin ja 30–40 % esiselkeytykseen. Tällöin jäteveden orgaanisen aineen määrä ei laske liian alhaiseksi ja aktiivilieteprosessiin ei tarvitse syöttää erillistä hiililähdettä. Vedenjaossa syötetään kalkkia 5,8 kg/h kompensoimaan nitrifikaation aiheuttamaa alkaliniteetin ja pH:n alenemista.

Esiselkeytysaltaat ovat 440 m³ pyöreitä altaita, joihin tuleva vesi virtaa altaan keskeltä. Altaiden pohjalla ja pinnalla kiertävät laahaimet. Altaan pohjalla olevat laahaimet kerää-

vät vedestä laskeutuvan lietteen altaan pohjalla olevaan lietekartioon, josta liete pumpataan lingoille. Veden pinnalla kulkevat laahaimet keräävät veden pinnalle syntyvän pintalietteen, joka johdetaan veden tulokaivoon ja takaisin puhdistusprosessiin. Kirkastettu vesi poistuu esiselkeytyksen kehältä ylivuotona ja palaa takaisin vedenjakoon. Esiselkeytetty vesi on mahdollista johtaa vedenjaosta aktiivilieteprosessin ohi suoraan lähtevän veden sekaan.

Biologisessa aktiivilieteprosessissa poistetaan typpi denitrifikaatio-nitrifikaatio-prosessissa. Aktiivilieteprosessin altaat ovat molemmat 4 000 m³ ja koostuvat kahdeksasta lohkokosta, joissa viidessä ensimmäisessä lohkokossa sekoittimet estävät aktiivilietteen laskeutumisen altaiden pohjalle. Kolmesta viiteen ensimmäistä lohkoa ovat anoksisia lohkoja, joissa nitraattityppi muuttuu denitrifikaatiossa typpikaasuksi. Kuudes ja seitsemäs lohko ovat ilmastettuja lohkoja, joissa jätevedessä esiintyvä ammoniumtyppi hapettuu nitrifikaatiossa nitraattitypeksi. Neljättä ja viidettä lohkoa on mahdollista ilmastaa tarpeen mukaan, mikäli ammoniumtyppipitoisuus vedessä nousee liian suureksi.

Osa aktiivilietealtaista lähtevästä lietteestä kierrätetään kahdeksannen lohkon kautta takaisin aktiivilieteprosessin alkuun ensimmäiseen lohkoon. Osa lietteestä poistetaan aktiivilieteprosessista takaisin vedenjakoon. Poistetun ylijäämälietteen määrä määräytyy lieteiän perusteella.

Aktiivilieteprosessin jälkeen vesi virtaa jälkiselkeytykseen, jonka aikana jäteveten syötetään ferrosulfaattia 150 kg/d ja polymeeriä. Ferrosulfaatti tehostaa fosforinpoistoa ja polymeeri parantaa lietteen laskeutumista. Jälkiselkeytysaltaat ovat molemmat 900 m³ ja toiminnaltaan samanlaisia altaita kuin esiselkeytysaltaat. Jätevedestä laskeutunut liete kerätään altaiden pohjalla olevaan lietekartioon, josta liete palautetaan aktiivilieteprosessin alkuun. Jälkiselkeytetty jätevesi virtaa purkupumppaamoon, josta se puretaan kahdeksan kilometriä pitkää purkutunnelia pitkin Itämereen Svartbäckinselälle.

Prosessissa syntyvä liete poistetaan esiselkeytysaltaista. Lietteeseen lisätään polymeeriä, jonka jälkeen liete kuivataan lingoissa. Kuivatettu liete säilötään lietesiloihin. Lietettä syntyy Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla päivässä noin 12 m³. Liete kuljetetaan Riihimäelle, jossa se mädätetään ja kompostoidaan. Mädätyksellä tuotetaan biokaasua.

Vuonna 2016 Hermanninsaareen lisättiin mahdollisuus esisaostukseen polyalumiinikloridilla. Menetelmästä on kerrottu enemmän seuraavassa kappaleessa.

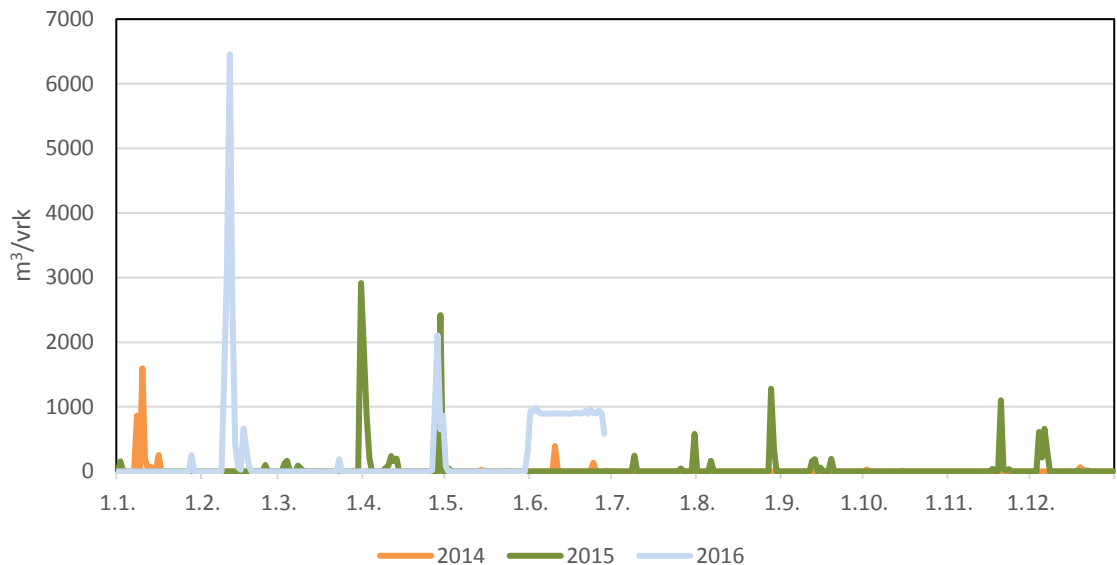
4.2 Hermanninsaaren puhdistamon ohitusvedet

Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon aktiivilieteprosessin hydraulinen kapasiteetti on noin 1100 m³/h. Mikäli aktiivilieteprosessin kapasiteetti ylittyy, voi seurauksena olla aktiivilietteen huuhtoutuminen altaista ja typenpoiston heikentyminen. Suurien virtaamien aikana aktiivilieteprosessin kapasiteetin ylityksessä ylimenevä virtaama joudutaan juoksuttamaan aktiivilieteprosessin ohi. Ohijuoksutettu jätevesi virtaa esiselkeytyksen jälkeen puhdistamon lähtevän veden sekaan.

Jäteveden ohitukset ajoittuvat pääosin keväälle lumien sulamisen aikaan, mutta ohijuoksutuksia voi tapahtua muinakin vuodenaikoina. Alueen sekaviemäröinti, huonokuntoiset putket ja meriveden tulviminen verkostoon aiheuttavat ajoittain suuria tulovirtaamia jätevedenpuhdistamolle ja lisäävät ohijuoksutuksen riskiä. Porvoon seudun viemäriver-

kosto koostuu vietto-, seka-, paine- ja hulevesiviemäreistä. Sekaviemäröinnin osuus kokonaisviemäröinnistä on noin 2 % eli 11 km kokonaisuudessaan. (Porvoon kaupunki 2015)

Kuvassa 19 on kuvattu Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon ohitusvirtaamia vuosilta 2014, 2015 ja osittain 2016.



Kuva 19. Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon ohitusvesivirtaamat vuosina 2014, 2015 ja 2016.

Taulukossa 8 on esitetty vuosien 2011-2015 ohitukset vuositasolla ja niiden osuus tulovirtaamasta.

Taulukko 8. Ohitusvesien määrät vuositasolla ja niiden osuus tulovirtaamasta vuosina 2011-2015 (muokattu lähteestä Nieminen 2017)

Vuosi	Ohitus, m ³ /a (% tulovirtaamasta)
2011	242 482 (5,3)
2012	251 349 (5,0)
2013	104 885 (2,5)
2014	8 055 (0,12)
2015	17 363 (0,39)
2016	42 977 (0,96)

Ohitustilanteiden ajoittuminen vaihtelee vuosittain. Vuosina 2011 ja 2012 ohitusvesien määrät olivat korkeat, yli 5 % tulovirtaamasta. Vuonna 2014 tapahtui prosessin ohituksia verrattain vähän ja ne ajoittuivat pääosin tammikuulle. Vuonna 2015 ohituksia tapahtui pitkin vuotta, joskin suurimmat ohitukset ajoittuivat loppukeväälle. Vuoden 2016 alussa jätevesiä jouduttiin ohittamaan suuria määriä, jopa noin 6500 m³/vrk. Myös touko-kesäkuun aikana verrattain suuria määriä tulevasta jätevedestä ohitti aktiivilieteprosessin.

Vaikka ohitusvesien osuus kokonaisvirtaamasta on usein pieni, voi niiden aiheuttama fosforikuorma olla suuri. Vuoden 2016 helmikuussa ohitusvesiä muodostui hyvin paljon saateiden ja lumien sulamisen vuoksi. Tällöin ohitusvesien osuus kokonaisvirtaamasta oli noin 3 %, mutta osuus fosforikuormasta 21 %.

Prosessin ohitusvesien hallintaan rakennettiin vuoden 2016 alussa uusi esisaostusjärjestelmä pohjautuen Maija Renkosen diplomityöhön. Työssään Renkonen (2014) vertaili eri saostuskemikaalien fosforinpoistotehoa Hermanninsaaren jätevesillä ja optimoi kemikaaliannostuksen. Tutkimusten pohjalta esisaostuskemikaaliksi valikoitui polyalumiinikloridi (PAX XL-100) 100 g/m³ syötöllä. Rakennetussa uudessa esisaostusjärjestelmässä huippuvirtaamien aikana jäteveeten on mahdollista syöttää PAXia poistamaan fosforia ja kolloidista orgaanista ainesta. Tarkoituksena on, että huippuvirtaamien aikana ohitusvesien fosforipitoisuus saataisiin tarpeeksi alhaiseksi vastaamaan uuden ympäristöluvan asettamia fosforipitoisuuksia. Kemikaali syötetään esiselkeytykseen menevään jäteveeteen. Esiselkeytyksen jälkeen osa jätevedestä ohittaa aktiivilieteprosessin.

4.3 Ympäristölupa ja puhdistustulokset

Hermanninsaaren puhdistamon ympäristölupa uusittiin vuonna 2015 Länsi-Suomen ympäristölupaviraston asetettujen ehtojen mukaan (taulukko 9). Päätös annettiin 5.2.2015, Nro 10/2015/2, Dnro ESAVI/353/04.08/2012. Päätöksen mukaan fosforin lupaehdot kiristyivät ja enimmäispitoisuus asetettiin vuoden 2017 alusta 0,3 mg/l ja vähimmäisteho 95 %. Aiemmassa ympäristöluvassa vastaavat ehdot olivat 0,5 mg/l ja 93 %.

Taulukko 9. Hermanninsaaren ympäristölupa (Aluehallintovirasto 2015)

	Enimmäispitoisuus mg/l	Vähimmäisteho %
BOD₇ ATU, O₂	10	95
COD_{Cr}	60	90
Kokonaisfosfori	0,3	95
Kokonaistyyppi	15	70

Hermanninsaaren puhdistamon ympäristölupaehtojen täyttymistä tarkkaillaan neljännesvuosikeskiarvoina. Typen osalta lupaehto on määritelty poistotehon ja jäännösarvon vuosikeskiarvona. Neljännesvuosikeskiarvot määritellään tarkkailuohjelman mukaisesti kuuden 24-tunnin näytteenoton tuloksista, joista lasketaan fosforin osalta keskiarvot tulevalle, esiselkeytylle ja lähtevälle jätevedelle.

Liitteessä 2 on esitetty vuosien 2011-2016 puhdistustuloksia vuosineljännesten mukaan. Fosforipitoisuus on koholla usein kahden ensimmäisen vuosineljänneksen aikana. Vuosina 2011-2013 vesistöön menevän veden fosforipitoisuus nousi yli 0,3 mg/l toisen vuosineljänneksen tarkkailussa. Vuosina 2013 ja 2016 fosforipitoisuus nousi 0,31 ja 0,34 mg/l pitoisuuksiin myös ensimmäisen vuosineljänneksen aikana. Muina vuosineljänneksinä fosforipitoisuus on kuitenkin ollut 0,11-0,3 mg/l.

5 Kokeellinen osuus

5.1 Tavoitteet

Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla tutkittiin kiekkosuodatuksen soveltuvuutta puhdistamon ohitusvesien käsittelyyn. Koeajot tehtiin Nordic Waterin DynaDisc-kiekkosuodattimella ajanjaksolla 1.8.-28.10.2016. Koeajoissa etsittiin ajotapaa, jolla ohitusvesien kokonaisfosforipitoisuus saataisiin leikattua alle uuden ympäristöluvan asettamaan 0,3 mg/l pitoisuuteen. Koeajojen tarkoituksena oli nähdä, kuinka hyvin tuloksiin olisi mahdollista päästä ja kuinka tehokkaasti kiekkosuodatin toimisi. Tarkempi kemikaaliopintimointi jäisi tehtäväksi, mikäli kiekkosuodatin rakennettaisiin Hermanninsaaren puhdistamolle.

Kiekkosuodatin valittiin ohitusvesien käsittelyn pilotointiin aikaisempien positiivisten kokemusten takia. Aikaisempien tutkimusten mukaan kiekkosuodattimella on mahdollista saada merkittäviä fosforireduktioita, se on kompakti ratkaisu ja sen energiantarve sekä kemikaalinsyöttö ovat maltillisia. (mm. Grabbe et al. 1998; Kuokkanen 2015; Kängsepp et al. 2016; Persson et al. 2006; Rossi 2014) Tarkasteltavista vaihtoehtoista kiekkosuodatin oli lupaavin vaihtoehto.

Hermanninsaaren puhdistamon puhdistustulokset ovat erittäin hyviä, mutta erityisesti kahdelle ensimmäiselle vuosineljännekselle sattuvat prosessiohitukset nostavat vesistöön menevän veden kokonaisfosforipitoisuutta. Vuosina 2011-2016 vesistöön menevän veden fosforipitoisuus vaihteli 0,15 ja 0,47 mg/l välillä. 0,3 mg/l fosforipitoisuus ylittyi kyseisinä vuosina pääosin toisena ja myös ensimmäisenä vuosineljänneksenä eli tammi-kesäkuussa.

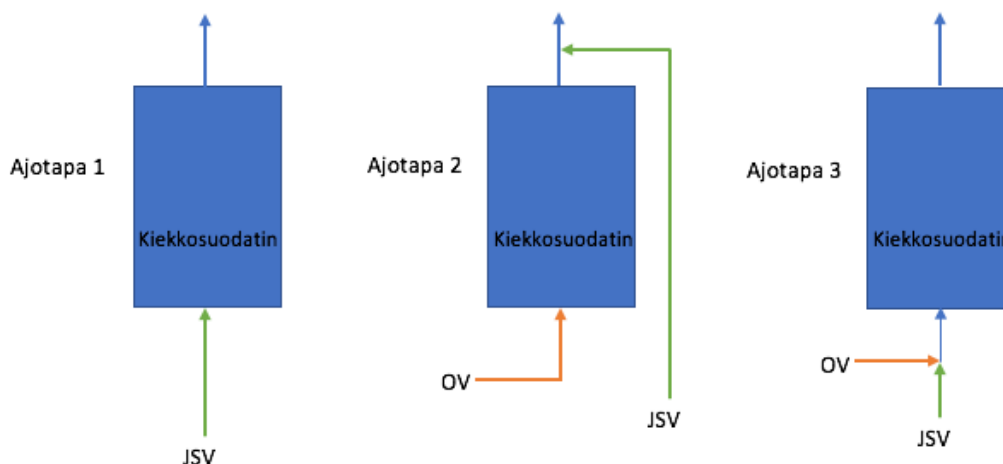
5.2 Ajotavat

Koeajoja tehtiin 10 ja 20 µm suodatinkankailla. Kokeita tehtiin ilman kemikaalilisäystä sekä lisäämällä ennen kiekkosuodatinta jäteveteen polymeeriä sekä yhdessä polyalumiinikloridia (PAX) ja polymeeriä.

Ohitusvesien käsittelyssä tutkittiin kolmea eri ajotapaa, jolla kiekkosuodatinta olisi mahdollista toteuttaa ja ajaa Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla:

- 1) kiekkosuodatin toimisi tertiäärikäsittelynä
- 2) suodatin toimisi puhdistamolla hybridiperiaatteella eli normaalisti suodatin toimisi tertiäärikäsittelynä, mutta ohitustilanteissa suodatin muutettaisiin ohitusvesikäsittely-yksiköksi
- 3) kaikki puhdistamolta lähtevät vedet (puhdistetut jätevedet + ohitusvedet) johdettaiisiin kiekkosuodattimelle.

Ajotapojen prosessikaavio on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Ajotavat kiekkosuodattimella. Normaalitilanteessa (ajotapa 1) suodatin toimii tertiäärikäsitteilynä, ajotapa 2:ssa suodatin muutetaan ohitusvesien käsittely-yksiköksi ja ajotapa 3:ssa suodattimelle johdettaisiin ohitusvedet sekä jälkiselkeytetty vedet. JSV = jälkiselkeytetty jätevedet, OV = ohitusvedet.

Kiekkosuodatuskoeajossa tutkittiin myös esisaostuksen ja kiekkosuodatuksen yhteiskäyttöä. Ensimmäisessä ajossa jäteveeten lisättiin polymeeriä ennen kiekkosuodatinta. Toisessa koeajossa jäteveeten lisättiin PAXia ja polymeeriä ennen kiekkosuodatinta. Tällöin kiekkosuodatus kemikaalilisäyksellä voisi toimia esisaostuksen rinnalla ennen kuin esisaostus alkaisi vaikuttaa jätevesiin.

Suodattimen kapasiteetti eri ajotilanteissa oli tärkeä selvityskohde mahdollisen tulevan laitosmittakaavan suunnittelun tueksi. Kapasiteetin osalta tutkittiin myös, rajoittaako hydraulinen kuorma vai kiintoainekuorma kiekkosuodattimen kapasiteettia. Kapasiteetti kahdessa eri ajotilanteessa (pelkkä ohitusvesi / ohitusvesi + puhdistettu jätevesi) oli tärkeä tutkimuskohde, sillä kapasiteetti vaikuttaa kiekkosuodatinyksikön tarvittavaan kokoon.

Koejakson aikana ei tapahtunut todellisia prosessiohituksia, jolloin kiekkosuodatusta olisi pystytty kokeilemaan todellisilla ohitusvesillä ja olisi pystytty testaamaan todellista käyttötilannetta. Koeajoissa ohitusvesiä simuloitiin esiselkeytettyllä jätevedellä.

5.3 Koejärjestelyt

Kiekkosuodatuskoelaitteisto sijoitettiin Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla lähtöpumppaamon eteen. Suodattimelle asennettiin kaksi pumppua; toinen linjan kaksi esiselkeytysaltaan lähtevän veden kaivoon ja toinen puhdistetun jäteveden purkupumppaamolle menevään veden kaivoon. Pumpuista tulevat putket yhdistyivät kuvan 21 mukaisesti yhteen putkeen, joka jatkoi koeajolaitteistolle. Tällä järjestelyllä kiekkosuodattimelle oli mahdollista ajaa jälkiselkeytettyä vettä, esiselkeytettyä vettä tai molempia yhtä aikaan. Esiselkeytetyn veden putkeen asennettiin virtausmittari, jolloin yhdessä koelaitteistossa olevan virtausmittarin kanssa voitiin vaihdella esiselkeytetyn ja jälkiselkeytetyn veden suhteellisia osuuksia.



Kuva 21. Kiekkosuodatuskoelaitteisto Hermanninsaaren puhdistamolla.

Kiekkosuodatin pyöri yöllä pienellä virtaamalla puhdistetulla jätevedellä ilman kemikaalilisäystä. Koeajot pitivät ajoittaa päiväsaikaan. Yöllä laitokselle tulevan veden virtaama on hyvin alhainen, mikä aiheuttaa veden pinnan laskua esiselkeytysaltaan lähtevän veden kaivossa, josta pumpattiin ”ohitusvettä” kiekkosuodattimelle. Tällöin riskinä oli, että vedenpinta laskisi niin alas, että pumppu pyörisi tyhjänä ja voisi rikkoutua. Myös kemikaaliannostus olisi voinut aiheuttaa ongelmia yöaikaan. Kemikaalipumput eivät olleet kytettyinä tulevan veden virtaamaan, joten kemikaalien yliannostus ja kankaiden tukkeutuminen olisivat olleet mahdollisia, mikäli veden virtaama olisi laskenut tai loppunut. Lisäksi polymeerisäiliön koko ei olisi riittänyt yön ajaksi. Koska Hermanninsaaren puhdistamo ei ole täysimiehitetty laitos ja kiekkosuodatinkoelaitteistoa ei ollut mahdollista kytkeä puhdistamon automaatiojärjestelmään, pitivät koeajot rajoittaa päiväsaikaan.

Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla on käytössä kationinen polymeeri Zetag 8165 lietteen kuivatukseen. Samaa polymeeriä lisätään myös puhdistusprosessissa jäteveteen ennen jälkiselkeytysaltaita, mikä edistää lietteen laskeutumista. Kiekkosuodatuksessa testattiin laitoksella käytössä olevaa polymeeriä sekä anionista polymeeriä, Superfloc A-100PWG. Laitetoimittajan tekemien laboratoriomittakaavan saostuskokeiden perusteella anioninen polymeeri flokkasi paremmin puhdistamon jätevesiä. Laitetoimittaja arvioi, että anioninen polymeeri toimisi siksi paremmin kiekkosuodatuksessa kuin laitoksen oma polymeeri. Koeajot PAX- ja polymeerilisäyksillä aloitettiin anionisella polymeerillä, mutta lopussa siirryttiin käyttämään laitoksen omaa kationista polymeeriä parempien tulosten takia. Taulukkoon 10 on listattu polymeerien tiedot.

Taulukko 10. Koeajoissa käytettyjen anionisen ja kationisen polymeerien ominaisuudet.

	A-100 PGW	Zetag 8165
Kemiallinen koostumus	Anioninen polyakryyliamidi	Kationinen polyakryyliamidi
Varaus	Matala	Keskikorkea
Suhteellinen moolimassa	Suuri	Hyvin suuri
Lioksen pH (25 C)	0,5 %:n liuoksessa 7,0-9,0	1 %:n liuoksessa 3,6-4,6
Bulkkitiheys, kg/l	0,78	0,7
Viskositeetti 25 C:ssa, cps		
0,10 %	100	650
0,25 %	259	1200
0,50 %	500	3000

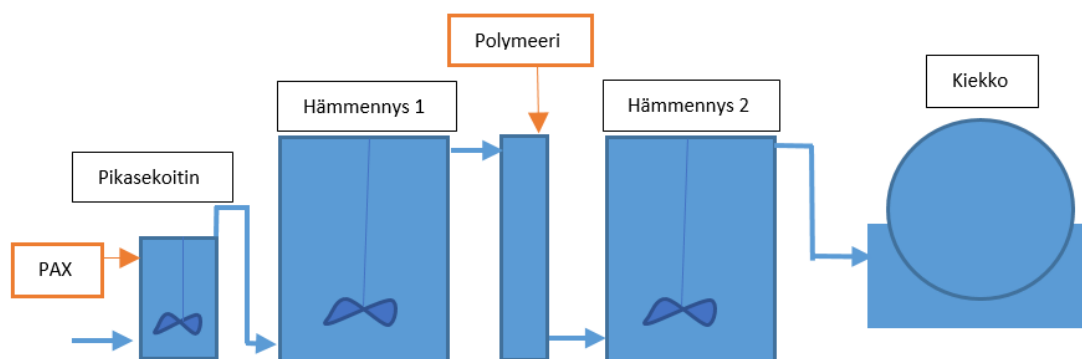
Saostuskemikaalina kiekkosuodatuksessa käytettiin polyalumiinikloridia (PAX XL-100), jonka tuotetiedot on esitetty liitteessä 3. Hermanninsaaren puhdistamolla on käytössä kyseinen kemikaali esisaostuksessa, joten kemikaaliannostus kiekkosuodattimelle tehtäisiin PAX-kemikaalisiilosta, mikäli kiekkosuodatin rakennettaisiin Hermanninsaareen.

5.3.1 Koelaitteisto

Kiekkosuodatuksen pilot-laitteisto oli rakennettu merikonttiin ja sisälsi pikasekoitussäiliön, kaksi hämmennysallasta ja yhden 2,4 metriä halkaisijaltaan oleva kiekkosuodattimen. Kiekkosuodattimen eteen oli rakennettu vielä noin 0,7 m³ allas, josta vesi siirtyi suoraan rummulle ja rummulta suodatinkankaille.

Kiekkosuodatuksen pilot-laitteiston prosessi on esitetty kuvassa 22. Prosessin alussa olevaan pikasekoitusaltaaseen syötettiin PAX. Pikasekoitusaltaasta jätevesi johdettiin ensimmäisen hämmennysaltaan pohjalle, josta se ylivuodon kautta siirtyi hämmennysaltaiden välitilaan. Ylivuodon johdosta välitilaan syntyi hydraulista sekoittumista. Hämmennysaltaiden välitilaan syötettiin polymeeri. Välitilasta vesi siirtyi toiseen hämmennysaltaaseen pohja kautta. Toisen hämmennysaltaan tilavuutta voitiin säätää padolla, jolloin altaan tilavuus vaihteli 1,3-2,1 m³ välillä. Patoa säädettiin niin, että vedenpinta välitilassa olisi sopivalla korkeudella ensimmäisestä hämmennysaltaasta tulevan veden suhteen, jolloin hydraulinen sekoittuminen ja polymeerin sekoittuminen tasaisesti jäteveteen olisi paras mahdollinen.

Toisesta hämmennysaltaasta vesi siirtyi ylivuotona putkeen, joka johti veden rummulle johtavaan altaaseen. Hämmennysaltaat olivat varustettuina lapasekoittimilla ja pikasekoitus potkurisekoittimella. Suodatinkankaat olivat noin 60 % veden peittäminä. Suodatettu vesi poistui ylivuotona lähtevän veden putkeen. Altaiden tilavuudet, säädetyt sekoitusnopeudet ja viipymät ovat listattu taulukkoon 11.



Kuva 22. Kiekkosuodatuksen pilot-laitteiston prosessikaavio.

Taulukko 11. Pikasekoitus- ja hämmennysaltaiden parametrit.

	Pikasekoitusallas	Hämmennysallas 1	Hämmennysallas 2
Tilavuus m ³	0,13	1,9	1,8
Sekoitusnopeus 1/s		0,14	0,05
Viipymä, Q = 20 m ³ /h	23 s	5,7 min	5,4 min
Viipymä, Q = 60 m ³ /h	8 s	1,9 min	1,8 min

Kemikaaliannostelupumput eivät olleet säädettävissä virtaaman mukaan, vaan molemmat säädettiin manuaalisesti. Puhdistamon käyttämä polymeeri jouduttiin laimentamaan 0,2 % pitoisuudesta 0,1 % pitoisuuteen, sillä 0,2 % polymeeri oli liian paksua kalvopumpun pumpattavaksi.

Pilot-laitteistoon sisältyi myös automaatiokeskus, jonka kautta säädettiin muun muassa virtaamaa ja hämmennysaltaiden sekoitusasetuksia. Kiekkosuodatin koostui kymmenestä kangaskasetista, joista oli toimitettu sekä 10 että 20 µm suodatinkankaat.

Jäteveden mukana kulkeutuva kiintoaine pidättäytyi suodatinkankaisiin, mikä alkoi vähitellen tukkia suodatinkankaita ja padottaa suodatinkankaille tulevaa vettä. Tällöin painero suodattimessa kasvoi ja vedenpinta rummussa nousi. Kankaiden pesua säätelivät pinnankorkeusanturit, jotka olivat kytkettyinä suodattimelle menevään altaaseen. Vedenpinnan nousu keskimmäisen pinnankorkeusanturin kohdalle käynnisti kankaiden pesun. Pesun aikana kiekko alkoi pyöriä ja pesuvesipumppu pumppasi suodatettua vettä pesusuuttimille 7,5 bar paineella ja 0,7 l/s vesisyötöllä. Pesun aikana vedenpinta rummussa laski ja pesu pysähtyi vedenpinnan laskiessa alimman pinnankorkeusanturin alapuolelle. Pesun aloittamiseen ja pysäyttämiseen tarkoitettujen pinnankorkeusanturien ero tulisi olla laite-toimittajan mukaan noin 10-15 cm, jotta kankaat peseytyisivät kunnolla. Pilot-laitteistossa anturit olivat asennettuina niin, että alimman ja keskimmäisen anturin ero oli noin 11 cm ja keskimmäisen ja ylimmän anturin ero 13 cm. Paine-ero suodatinkankaissa vaihteli pesun aikana 5 ja 16 cm välillä. Pesuvesi tippui pesuvesikouruun, josta se johdettiin painovoimaisesti sakokaivolietaltaaseen.

Mikäli kiekkosuodattimen kapasiteetti ylittyi, vedenpinta rummussa ei laskenut pesusta huolimatta. Tällöin suodatinkankaat menivät tukkoon ja vedenpinta rummussa nousi. Vedenpinnan noustessa vesi virtasi lopulta rummulle menevässä altaassa sijaitsevaan ylivuotokouruun, jolloin ylin pinnankorkeusanturi antoi hälytyksen automaatiokeskukselle. Ylivuodossa paine-ero oli noin 30 cm. Hälytys sulki tulevan veden venttiilin, jolloin tulevan veden virtaus loppui. Kemikaalipumput eivät olleet kytketty tulevan veden virtaamaan, joten ylivuototilanteessa oli mahdollista, että tapahtui kemikaalien yliannostus.

Suotautuneen veden altaaseen oli asennettu jatkuvatoiminen kiintoainemittari, jota voitiin käyttää apuna sopivan kemikaaliannostuksen löytämiseen. Kiintoainemittari oli mallia Solitax sc Hach Lange. Se perustuu yhdisteltyyn infrapuna-absorptio ja hajavalon tekniikkaan, jossa sameushiukkasista sivusuunnassa hajaantuva valo mitataan sameusanturissa 90 ° kulmassa (Hach 2016). Kiintoainemittari mittasi jäteveden sameutta.

Kiekkosuodatuksen suodatinkankaat olivat punottua polyesterikangasta. Molemmat suodatinkankaat, 10 ja 20 µm, jouduttiin happopesemään koejakson aikana tukkeutumisen vuoksi. Happopesu tehtiin tyhjentämällä suodatinallas ja suihkuttamalla kankaisiin 10 % suolahappoa, jonka jälkeen kankaat huuhdeltiin vedellä. Tämän jälkeen kankaisiin suihkutettiin 10 % natriumhypokloriittia, joka pestiin vaikutusajan jälkeen pois. Suolahapolla saatiin irrotettua kankaisiin jäänyt kiintoaine ja liete ja natriumhypokloriitilla poistettiin kankaiden bakteerikasvustoa.

5.3.2 Ajotapojen toteutus

Taulukossa 12 on esitetty tehdyt koeajot ja luvuissa 5.3.2.1-5.3.2.8 on esitetty eri ajotapojen toteutus tarkemmin.

Taulukko 12. Kiekkosuodattimella tehdyt koeajot.

Ohitusvedet	10 µm kankaat <ul style="list-style-type: none"> - ilman kemikaalia - polymeerilisäyksellä - PAX- ja polymeerilisäyksellä 20 µm kankaat <ul style="list-style-type: none"> - ilman kemikaalia - PAX- ja polymeerilisäyksellä
Jälkiselkeytetyt vedet	10 µm kankaat <ul style="list-style-type: none"> - ilman kemikaalia 20 µm kankaat <ul style="list-style-type: none"> - ilman kemikaalia - PAX- ja polymeerilisäyksellä
Yhdistelmä	20 µm kankaat <ul style="list-style-type: none"> - ilman kemikaalilisäystä, kun puolet vedestä ohitusvettä ja puolet jälkiselkeytettyä vettä - PAX- ja polymeerilisäys, kun ohitusveden osuus kokonaisvirtaamasta on 10-50 %
Vaihto ajotapojen välillä	20 µm kankaat <ul style="list-style-type: none"> - vaihto ohitusvesien käsittelystä tertiäärikäsittelyyn - vaihto tertiäärikäsittelystä ohitusvesien käsittelyyn
Kiekkosuodatin ja esisaostus	10 µm kankaat <ul style="list-style-type: none"> - polymeerin lisäys kiekkosuodattimella 20 µm kankaat <ul style="list-style-type: none"> - PAX- ja polymeerilisäys kiekkosuodattimella

5.3.2.1 Ohitusvesien käsittely

Kiekkosuodattimen koeajot aloitettiin ohitusvesillä 10 µm suodatinkankailla ilman kemikaalilisäystä. Ideaalitalanteessa kiekkosuodattimen pienen huokoskoon ansiosta ohitusvedestä saataisiin poistettua kiintoainetta ja siten partikkelimuotoista fosforia tehokkaasti ilman kemikaalilisäystä. Koeajot aloitettiin 26 m³/h vakiovirtaamalla. Tulevasta ja läh-

tevästä vedestä otettiin kolme näytettä 1,5-2 tunnin välein. Suodattimen kapasiteettia tutkittiin nostamalla vähitellen virtaamaa, kunnes suodatin pesi jatkuvasti. Virtaaman nostamisen aikana otettiin kaksi näytettä maksimivirtaamalla. 10 µm kankailla otettiin kaksi näytettä myös virtaaman noston aikana ennen maksimivirtaamaa. Samalla tutkittiin, vaikuttaako virtaus puhdistustehoon. Samat koejakson toistettiin 20 µm kankailla.

Koska 10 µm kankailla tehdyissä koeajoissa saatiin negatiivisia kiintoainereduktioita, toistettiin koesarja vakiovirtaamalla vielä uudestaan 10 µm kankailla. Kokeissa kiekkoille tulevasta ja lähtevästä vedestä otettiin myös kokoomanäytteet seitsemän tunnin ajalta. Tulevan veden yksittäiset näytteet otettiin myös esiselkeytetyn veden kokoomanäytteenottimella. Näytteisiin oli kuitenkin tullut hyvin suuria kiintoainepartikkeleita eli kyseiset näytteet eivät edustaneet todellista kiekolle tulevaa vettä. Laitoksella on aikaisemminkin ollut ongelmia esiselkeytetyn veden kokoomanäytteenottimen kanssa. Laitoksen henkilökunnan tutkimusten mukaan esiselkeytetyn veden lähtökaivon syntyy vahvaa turbulenttista virtaamaa, mikä ajoittain irrottaa kaivon seinämistä ja pohjasta suuria kiintoainepartikkeleita, mikä voi vääristää erityisesti yksittäisten näytteiden tulosta. Tulevan veden kokoomanäytteen kiintoainepitoisuus oli myös hyvin korkea. Vertailun vuoksi 20 µm kankailla tehdyistä koeajoista otettiin myös kokoomanäyte tulevasta ja lähtevästä vedestä.

5.3.2.2 Ohitusvesien käsittely kemikaalilisäyksellä

Kiekkosuodatuksen puhdistustehoa tutkittiin PAX- ja polymeerilisäyksellä. 10 µm suodatinkankailla testattiin myös pelkän polymeerin syöttöä. Pelkällä polymeerilisäyksellä oli tarkoitus tutkia, saataisiinko polymeerillä poistettua kiintoaineeseen sitoutunutta fosforia merkittävästi. Mikäli fosforireduktio olisi merkittävä, tutkittaisiin pelkän polymeerin lisäystä myös 20 µm kankailla.

10 µm kankailla tehtyjen koeajojen tulosten mukaan pelkällä polymeerin syötöllä ei ollut vaikutusta fosforireduktioon, joten kokeita päätettiin jatkaa PAXin ja polymeerin lisäyksellä. Koesuunnitelman mukaan kemikaalilisäystä olisi kokeiltu molemmilla kangasko' oilla. PAX- ja polymeerilisäyksellä 10 µm kankaat menivät kuitenkin hetkessä tukkoon, joten kunnollisia koeajoja PAX- ja polymeerilisäyksillä ei saatu tehtyä. Kokeita päätettiin jatkaa 20 µm kankailla.

Kokeet aloitettiin etsimällä optimikemikaaliannostus, jolla saataisiin mahdollisimman hyvä fosforireduktio ilman, että PAXia syötetään yli tarpeen. PAX on kallis kemikaali ja suurissa pitoisuuksissa haitallinen vesiympäristölle, joten kemikaaliannostuksen optimoinnissa oli tärkeää minimoida jäännösalmiinin määrä kiekkoilta lähtevässä vedessä. Koeajoissa tutkittiinkin, kuinka hyvin fosforituloksiin olisi mahdollista päästä ja kuinka paljon PAXia voi syöttää ilman, että lähtevässä vedessä esiintyy merkittävästi jäännösalmiinia.

Kemikaalioptimointi tehtiin anionisella polymeerillä, jolla tehtiin myös yhden kuuden tunnin koeajo optimikemikaaliannoksella. Koeajo tehtiin 20 m³/h vakiovirtaamalla, jonka aikana otettiin kolme näytettä kahden tunnin välein sekä kokoomanäyte tulevasta ja lähtevästä jätevedestä. Sama koeajo toistettiin laitoksen kationisella polymeerillä. Tulokset osoittivat, että laitoksen kationinen polymeeri soveltui paremmin kiekkosuodatukseen Hermanninsaaren jätevesillä, joten kiekkosuodatuskokeita jatkettiin laitoksen polymeerillä.

Optimikemikaaliannostuksella tutkittiin myös kiekkosuodattimen hydraulista kapasiteettia nostamalla virtaamaa, kunnes suodatin pesi jatkuvasti. Maksimivirtaamalla otettiin kaksi näytettä noin tunnin välein.

5.3.2.3 Yhdistelmäajot

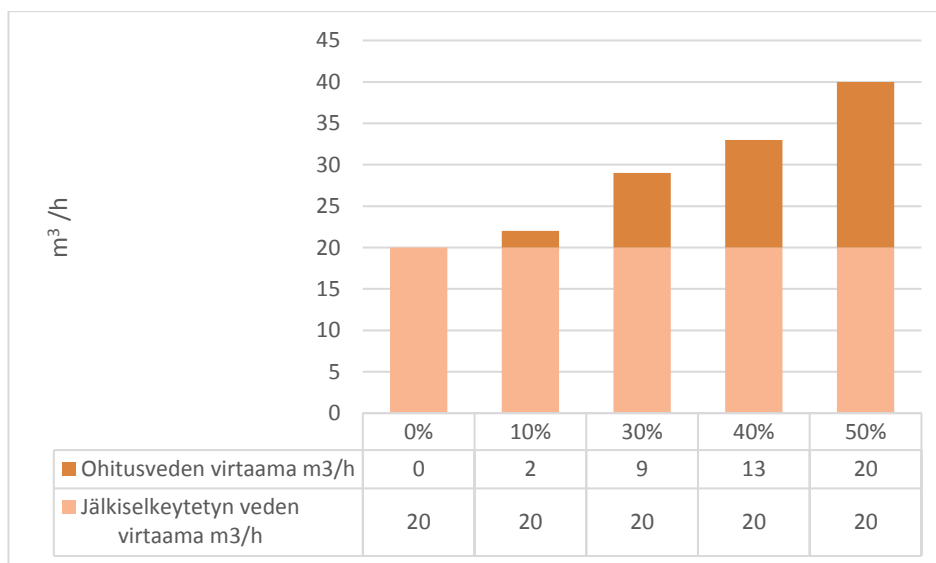
Kiekkosuodattimella tehtiin myös yhdistelmäajoja (ajotapa 3), joissa simuloitiin tilannetta, jossa kiekkosuodattimelle johdettaisiin kaikki laitokselta lähtevät jätevedet, niin ohitusvedet kuin puhdistetun jätevedet. Arvioiden mukaan huippuvirtaamatilanteissa ohitusvedet voivat muodostaa jopa puolet laitokselta lähtevistä vesistä. Yhdistelmäajossa tutkittiin erityisesti, kasvaako kiekkosuodattimen kapasiteetti, mikäli puolet vedestä on puhdistettua jätevettä ja siten kiintoainekuorma pienempi. Yhdistelmäajot tehtiin 20 µm kankailla.

Koeajossa tutkittiin fosforireduktiota ilman kemikaalilisäystä ja kemikaalilisäyksellä huippuvirtaamatilanteessa, jolloin kiekkosuodattimelle tulevasta vedestä puolet olisi ohitusvettä ja puolet puhdistettua jätevettä. Kokeet tehtiin ilman kemikaalilisäystä vakiovirtaamalla neljän ja puolen tunnin ajan, jonka aikana otettiin kolme näytettä tulevasta ja lähtevästä vedestä puolentoista tunnin välein. Suodattimen kapasiteettia tutkittiin nostamalla virtaama maksimiinsa ja ottamalla kaksi näytettä tunnin välein.

5.3.2.4 Yhdistelmäajot kemikaalilisäyksellä

Yhdistelmäajossa simuloitiin tilannetta, jossa puhdistetun jäteveden virtaama suodattimelle olisi vakio ja suodattimelle alkaisi virrata ohitusvettä 10 %, 30 %, 40 % ja viimein 50 % koko suodattimelle tulevan veden määrästä. 50 % osuudessa virtaama olisi maksimivirtaama, jolloin kankaat pesisivät 100 % ajasta.

Yhdistelmäajo kemikaalilisäyksellä aloitettiin optimoimalla kemikaaliannostus vedelle, josta puolet oli ohitusvettä ja puolet puhdistettua jätevettä. Optimointi tehtiin 20 m³/h virtaamalla. Optimiannoksella tutkittiin suodattimen hydraulista kapasiteettia nostamalla virtaama maksimiinsa, joka 50 % osuudessa oli 40 m³/h. Kuvassa 23 on esitetty yhdistelmäajon periaate ja virtaamat ohitusvesien osuuksien mukaan.



Kuva 23. Yhdistelmäajon osuudet ja virtaamat.

Kemikaalinsyötön optimointi tehtiin myös 10 ja 30 % ohitusveden osuuksille 22 ja 29 m³/h virtaamalla. Optimikemikaaliannoksilla tehtiin koeajo, jossa puhdistetun jäteveden virtaama pidettiin vakiona 20 m³/h ja esiselkeytetyn veden osuutta vaihdettiin 10 ja 50 % välillä. Jokaisesta yhdistelmästä otettiin kaksi näytettä tulevasta ja lähtevästä vedestä. Koelaitteiston polymeerisäiliö rajoitti koeajon kestoa ja yhdistelmäajot jouduttiin jakamaan kahdelle päivälle. Yhden päivän aikana ohitusvesien osuutta tutkittiin 10 ja 30 % osuuksilla ja toisena 40 ja 50 % osuuksilla. 10 % esiselkeytetyn veden osuudella näytteenottoväli oli 1,5 tuntia ja 30 % osuudella 1 tunti 15 minuuttia korkeammasta virtaamasta johtuen. 50 % esiselkeytetyn veden ajossa tulevan ja lähtevän veden näytteet otettiin 45 minuutin välein ja 40 % ajossa tunnin välein. Kiekkosuodattimelta lähtevästä vedestä otettiin kokoomanäytteet.

5.3.2.5 Tertiäärikäsitteily

Hermanninsaarella normaalitilanteessa, kun prosessiohituksia ei ole, kiekkosuodatin toimisi laitoksen tertiäärikäsitteilynä ilman kemikaalilisäystä. Molemmilla sekä 10 että 20 µm kankailla tutkittiin kiekkosuodattimen puhdistustehoa sekä kapasiteettia ilman kemikaalilisäystä. Kokeet tehtiin 26 m³/h vakiovirtaamalla, jonka aikana otettiin kolme näytettä 1,5-2 tunnin välein tulevasta ja lähtevästä vedestä. Suodattimen maksimivirtaamalla otettiin kaksi näytettä. 10 µm kankailla otettiin kaksi näytettä myös virtaaman noston aikana ennen maksimivirtaamaa.

5.3.2.6 Tertiäärikäsitteily kemikaalilisäyksellä

Hermanninsaaren puhdistamolla puhdistetun jäteveden kokonaisfosforipitoisuus on pääosin 0,1-0,2 mg/l eli tarvetta kemikaalilisäykselle tertiäärikäsitteilyssä ei tällä hetkellä ole. Koejakson aikana päätettiin kuitenkin tutkia, kuinka paljon laitoksen puhdistetusta jätevedestä olisi vielä mahdollista poistaa kiekkosuodattimella kemikaalilisäyksellä. Kemikaalioptimointi tehtiin 20 m³/h virtaamalla. Optimiannostuksella tehtiin koeajo, jonka aikana otettiin kaksi näytettä 20 m³/h virtaamalla ja kaksi näytettä laitteen maksimivirtaamalla. Samalla otettiin kokoomanäyte tulevasta ja lähtevästä vedestä.

5.3.2.7 Vaihto ajotapojen välillä

Kiekkosuodatuksen pilot-kokeissa tutkittiin kiekkosuodattimen vaihtoa tertiäärikäsitteilyn ja ohitusvesien käsitteilyn välillä. Koeajoissa tutkittiin, kuinka vaihto ohitusvesien käsitteilystä takaisin tertiäärikäsitteilyksi näkyy kiekkosuodattimen lähtevässä vedessä. Kemikaalien käyttö ja likaisen esiselkeytetyn jäteveden käsitteily voi jättää suodatinkankaiden pinnalle lietettä, joka voi mahdollisesti karata lähtevän veden mukaan, kun suodatin muutetaan takaisin tertiäärikäsitteilyksi. Kun kiekkosuodatin muutettiin ohitusvesien käsitteilystä tertiäärikäsitteilyksi, tarkkailtiin lähtevän veden kiintoainemittaria, mitattiin kolmesti tulevasta ja lähtevästä vedestä kiintoainepitoisuus tunti muutoksen jälkeen ja tarkkailtiin lähtevää vettä visuaalisesti.

Kiekkosuodattimen muutosta tertiäärikäsitteilystä yhdistelmäkäsitteilyyn ja siten reagoitinopeutta veden fosfori- ja kiintoainepitoisuuden nousuun tutkittiin myös. Simuloinnin alussa kiekkosuodattimelle virtasi puhdistettua jätevettä 20 m³/h virtaamalla ilman kemikaalilisäystä, jolloin otettiin näyte kiekkosuodattimelle tulevasta ja lähtevästä vedestä. Suodattimelle alettiin johtaa ohitusvettä 20 m³/h virtaamalla, mikä nosti kokonaisvirtaaman 40 m³/h. Samalla aloitettiin kemikaalinsyöttö 5 mg/l alumiinilisäyksellä ja 2,5 mg/l

polymeerilisäyksellä. Suodattimelle tulevasta ja lähtevästä vedestä otettiin näytteet 15, 30 ja 60 minuutin kuluttua ohitusvesien virtauksen aloittamisesta.

5.3.2.8 *Esisaostus ja kiekkosuodatus*

Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla on käytössä esisaostus PAX:lla. Esisaostus pu-reutuu ohitusvesiin verrattain hitaasti, minkä takia Hermanninsaaren puhdistamolla tutkittiin kiekkosuodattimen ja esisaostuksen yhteiskäyttöä siirtymävaiheessa, kun esisaostus aloitetaan ja PAX alkaa vaikuttaa. Ensimmäinen esisaostusjakso aloitettiin 18.8. Kiekkosuodatuskokeet tehtiin 10 µm suodatinkankailla 0,5 mg/l polymeerilisäyksellä. Ensimmäisenä päivänä esisaostuksen aloittamisesta otettiin kolme näytettä kuuden ensimmäisen tunnin aikana. Ajotavassa tutkittiin, säilyisikö ja esiintyisikö esiselkeytetyssä vedessä vielä PAXin synnyttämiä mikroflokkeja, jotka yhdessä kiekkosuodattimella lisätyn polymeerin kanssa muodostaisivat makroflokkia, joka saataisiin pidättymään suodatinkankaalle.

Toinen esisaostusjakso aloitettiin 26.10.2016. Kiekkosuodatuskoeajot tehtiin kahden ensimmäisen päivän aikana esisaostuksen aloittamisesta, jotta esisaostus ehtisi pureutua ja saataisiin pidempiaikainen seurantajakso esisaostuksen ja kiekkosuodatuksen yhteisvaikutuksesta. Kokeet tehtiin 20 µm kankailla. Kiekkosuodattimella syötettiin PAXia ja polymeeriä. Ajotapa simuloi mahdollista tilannetta, jossa esisaostus toimisi ohitusvesien ensisijaisena käsittelymenetelmänä ja kiekkosuodatus ohitusvesien käsittelynä siirtymävaiheessa, kun esisaostus ei ole vielä ehtinyt vaikuttamaan ohitusvesiin.

Liitteessä 4 on listattu tehdyt koeajot, niiden pituudet ja ajankohdat. 10 µm kankaat olivat hyvin herkät tukkeutumiselle ohitusvesien käsittelyssä, minkä takia kokeita tehtiin pääosin 20 µm kankailla. Jokaiselle koeajolle laskettiin fosfori- ja kiintoainereduktiot sekä ajotavan maksimikapasiteetti.

5.3.3 **Näytteenotto**

Koejakson alussa tulevan veden näytteet otettiin pilot-laitteistossa tulevan veden putkessa olevasta näytteenottohanasta (kuva 24). Koejakson alussa saatujen tulosten perusteella kuitenkin epäiltiin, että osa jäteveden kiintoaineesta jäisi putkeen tai näytteenottohanaan näytteenottohanan muodon ja sijoittumisen takia. Tällöin tulevan veden näytteen kiintoaine- ja fosforipitoisuus saattoivat olla pienempiä kuin todellisuudessa kiekkosuodattimelle menevässä vedessä. Pian koejakson aloittamisen jälkeen tulevan veden näytteenotto siirrettiin ja näytteet otettiin suoraan esiselkeytysaltaan lähtevän veden kaivosta ja jälkiselkeytysaltaiden ylivuotokouruista.



Kuva 24. Tulevan veden näytteenottohana kiekkosuodatuskoelaitteistossa.

Koejakson aikana otettiin kahdesti tulevan veden näyte samaan aikaan esiselkeytysaltaan lähtevän veden kaivosta ja kiekkosuodattimen tulevan veden näytteenottohanasta. Eroa näiden näytteiden välillä ei juuri ole, kuten taulukosta 13 voidaan päätellä.

Taulukko 13. Esiselkeytetyn veden kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuuksien ero, kun näytteenotto esiselkeytysaltaan lähtevän veden kaivosta ja kiekkosuodatuskoelaitteiston näytteenottohanasta.

	Kokonaisfosfori mg/l	Kiintoaine mg/l
Kaivo 6.9.	1,3	56
Hana 6.9.	1,3	53
Kaivo 3.10.	2,1	73
Hana 3.10.	2,1	67

Kiekkosuodattimelta lähtevän veden näyte otettiin suotautuneen veden ylivuotokourusta.

Näytteet tulevasta ja lähtevästä vedestä otettiin samanaikaisesti ensin tulevasta vedestä, jonka jälkeen vasta lähtevästä vedestä. Näytteidenottoväli määriteltiin virtaaman mukaan niin, että vesi ehtisi vaihtumaan koelaitteistossa näytteidenoton välissä vähintään kerran. Vakiovirtaamilla tehdyissä kokeissa virtaaman ollessa 20-26 m³/h näytteidenottoväli oli noin 1,5-2 tuntia.

Kaikissa koejoissa pyrittiin ottamaan tulevan veden kokoomanäyte. Esiselkeytetyn veden kokoomanäytteenottimessa oli paikoin ongelmia, minkä takia kaikista tuloksista ei ole tulevan veden kokoomanäytettä. Kiekkosuodattimelta lähtevän veden kokoomanäytteet otettiin ohitusvesien käsittelyssä ilman kemikaalilisäystä ja kemikaalilisäyksellä vakiovirtaaman koeajoissa. Myös yhdistelmäajoissa ja tertiäärikäsitteilyssä kemikaalilisäyksillä otettiin lähtevän veden kokoomanäytteet.

Tulevan veden kokoomanäytteet otettiin laitoksen virallisilla kokoomanäytteenottimilla. Esiselkeytetyn veden kokoomanäytteenotin otti näytteet linjan kaksi esiselkeytetyn veden tulokanavasta. Jälkiselkeytetyn veden kokoomanäytteenotin otti näytteet molempien linjojen jälkiselkeytetystä vedestä. Kiekkosuodattimelta lähtevän veden kokoomanäytteet otettiin suotautuneen veden altaasta. Tulevan ja lähtevän veden kokoomanäytteenottimet ottivat näytteet 20 minuutin välein.

5.3.4 Laboratorioanalyysit

Laboratorioanalyysit tehtiin pääosin Hermanninsaaren käyttölaboratoriossa. Ilman kemikaalilisäystä kiekkosuodattimen tulevasta ja lähtevästä vedestä sekä tulevasta kokoomanäytteestä tutkittiin kokonaisfosfori ja kiintoaine. Kemikaaliannostuksen optimointi tehtiin lähtevän veden online kiintoainemittarin avulla ja kokonaisfosforia sekä jäännösaluumiinia mittaamalla. Optimiannoksella tehtyjen pidempien koeajojen näytteistä analysoitiin:

- kokonaisfosfori
- liukoinen fosfori
- liukoinen alumiini
- pH
- lämpötila
- kiintoaine.

Kokonaisfosfori, liukoinen fosfori, liukoinen alumiini ja typenfraktiot tehtiin Hach Langen kyvetitesteillä. Kiintoaine analysoitiin standardin SFS-EN 872 mukaisesti.

Kaikista ajotavoista yhdestä näytekerrasta lähetettiin näytteet NovaLabille, joka tekee myös Hermanninsaaren puhdistamon viralliset seuranta-analyysit. Kiekkosuodattimelle tulevasta ja lähtevästä vedestä mitatut analyysit ja niiden menetelmät on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Novalab Oy:llä tehdyt analyysit.

Määrittäminen	Laatu	Menetelmä
BHK7(atu)*)	mg/l	SFS-EN 1899-1
KHT(Cr)*)	mg/l	ISO 15705(2002)
Kokonaisfosfori*)	mg/l	SFS-EN ISO15681-2 0
Liukoinen kokonaisfosfori	mg/l	SFS-EN ISO15681-2
Kiintoaine*)	mg/l	SFS-EN 872 GFA
Liukoinen alumiini	mg/l	ICP-OES
Sameus	NTU	SFS-EN ISO 7027
Suol.p.enterok.	pmy/100ml	SFS-EN ISO 7899-2e
E. coli*)	mpn/100ml	ISO 9308-2:2012
Absorbanssi 254	nm	1 cm kyveti
Transmittanssi 254nm	%	

Kyseisistä näytekerroista mitattiin myös nitraatti-, nitriitti-, ammoniumtyppi Hermanninsaaren käyttölaboratoriossa.

Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolta ei tällä hetkellä vaadita jätevesien hygienisointia. Kiekkosuodattimen vaikutusta desinfioimismahdollisuuksiin sekä vaikutusta E. kolibakteerien ja suolistoperäisten enterokokkisen esiintyvyyteen tutkittiin, mikäli hygienisointi joskus tulisi vaatimukseksi laitoksella. UV-hygienisoinnin soveltuvuutta voidaan arvioida veden UV-transmittanssin ja sameuden avulla. UV-absorbanssi ja -transmittanssi kuvaavat veden kykyä läpäistä UV-valoa. (USEPA 2006)

5.3.5 Parametrit

Laboratorioanalyysien lisäksi eri ajotilanteista laskettiin kiintoainekuorma ja pesutiheys. Kiintoainekuorma kuvaa kankaille tulevaa kiintoainemäärää pinta-alaa kohden tunnissa (2).

$$Kiintoainekuorma \left(\frac{g}{m^2 \cdot h} \right) = \frac{Q}{A} \times SS \text{ in} \quad (2)$$

missä Q = tuleva virtaama (m³/h)
 A = suodatinkankaiden pinta-ala (m²)
 SS in = tulevan veden kiintoainepitoisuus (g/m³)

Kiekkosuodattimen pesusykliillä saadaan kuvaa suodattimen pesuvedentarpeesta ja rejektiveden määrästä. Pesutiheys laskettiin ottamalla aikaa ja laskemalla pesutiheys kaavan 3 mukaan.

$$Pesutiheys (\%) = \frac{t_{pesu}}{t_{kok}} \times 100 \% \quad (3)$$

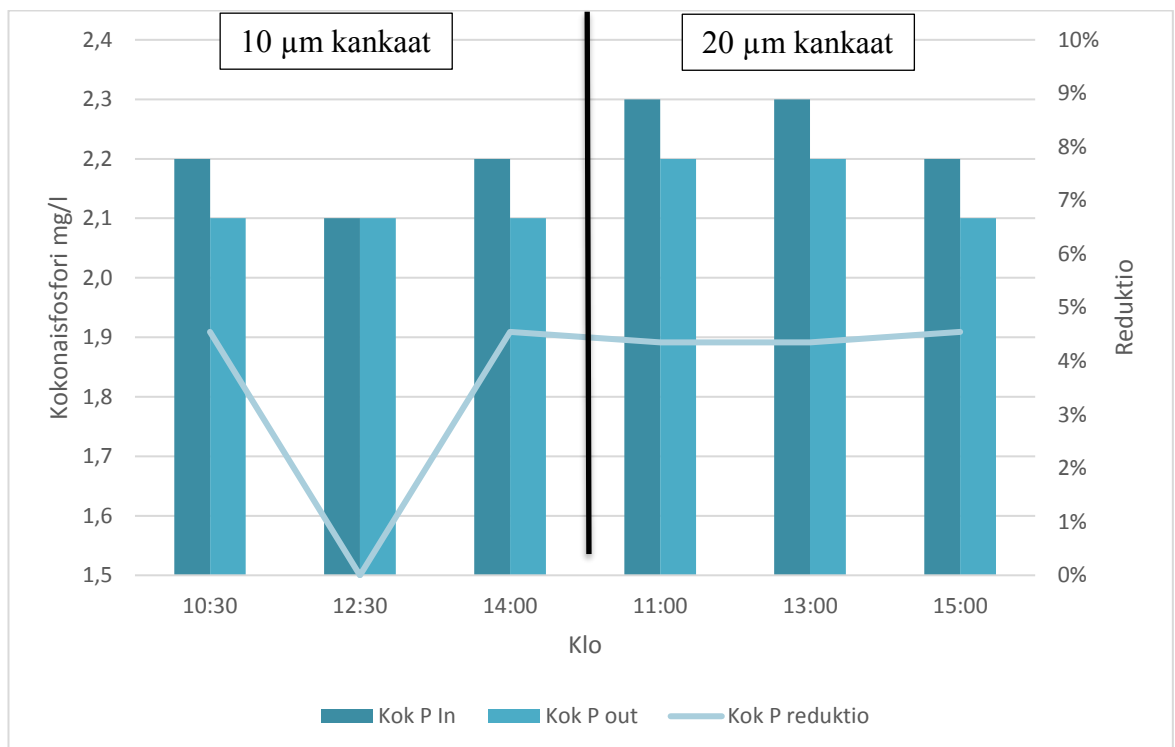
missä t(pesu) = kankaiden pesemiseen kuluva aika (s)
 t(kok) = koko pesusykliin kuluva aika (s)

6 Tulokset

Koejakson aikana Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamo toimi normaalisti ilman merkittäviä prosessiohituksia. Esiselkeytetyn veden kokonaisfosforipitoisuus oli kokeiden aikana noin 1,5-3 mg/l ja jälkiselkeytetyn veden noin 0,09-0,28 mg/l.

6.1 Ohitusvesien käsittely

Kuvassa 25 on esitetty ohitusvesillä vakiovirtaamalla tehtyjen koeajojen fosforitulokset ja -reduktiot ilman kemikaalilisäystä 10 ja 20 µm kankailla 26 m³/h virtaamalla. Tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 5.



Kuva 25. Kokonaisfosforitulokset ohitusvesillä ilman kemikaalilisäystä. 10 ja 20 µm kankaat. 26 m³/h.

Ilman kemikaalilisäystä kiekkosuodattimen kyky poistaa esiselkeytetystä vedestä kiintoainetta ja siten partikkelimuotoista fosforia oli heikkoa molemmilla suodatinko'oilla (kuva 25). Esiselkeytetyn veden kiintoaine oli silmin katsottuna hyvin hienojakoista ja laskeutui näytepullossa hyvin hitaasti, mikä selittää heikon pidättäytymisen suodatinkankaisiin. Fosforireduktiot 10 µm kankailla vaihtelivat -4 ja 11 % välillä ja lähtevän veden kokonaisfosfori 1,5 ja 2,7 mg/l välillä. 20 µm kankailla fosforireduktio oli 4-7 % ja lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus 2,1-2,7 mg/l.

Osassa 10 µm kankailla saaduista näytteistä lähtevän veden kiintoainepitoisuus oli jopa korkeampi kuin tulevassa vedessä. 10 µm kankailla tehdyillä kokeilla tulevan veden näytteet otettiin näytteenottohanasta eikä suoraan esiselkeytysaltaan lähtevän veden kaivosta, mikä on voinut aiheuttaa epätarkkuutta tulevan veden näytteissä. Myös epätarkkuudet kiintoaineanalyysien teossa ja vaihtelut tulevan veden kiintoainepitoisuuksissa kokeiden aikana ovat voineet aiheuttaa negatiivisia kiintoainereduktioita.

Kokoomanäytteiden tulokset on esitetty taulukossa 15.

Kuva 15. Kokoomanäytteiden tulokset ohitusvesillä ilman kemikaalilisäystä. 10 ja 20 µm kankaat. 26 m³/h.

	Kokooma tuleva kokonaisfosfori	Kokooma lähtevä kokonaisfosfori	Kokooma tuleva kiintoaine	Kokooma lähtevä kiintoaine
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
29.8. 7 h, 10 µm	2,5	1,7	153	80
28.9. 6 h, 20 µm	2,2	2,0	86	73

Kankaiden kapasiteettien, niin virtaamien kuin kiintoainekuormien, erot olivat pienet, joskaan ei merkittävä. Kiekkosuodattimen kapasiteetti 10 µm kankailla ei ollut aivan yksiselitteinen, sillä kokeiden alussa suodattimen pesupumpun taajuusmuuntaja rikkoutui. Tämän takia kankaiden pesu ei käynnistynyt joka kerta. Ensimmäisenä päivänä, kun koe-laitteistossa nostettiin virtaamaa, vesi meni ylivuotoon 52 m³/h virtaamalla, jolloin kiintoainekuorma oli keskimäärin 610 g/m²/h. Toisena päivänä vasta 70 m³/h virtaamalla ja noin 730 g/m²/h kiintoainekuormalla kankaat pesivät jatkuvasti. On mahdollista, että ensimmäisen päivän kapasiteetin testauksessa pesuvesipumppu ei ole toiminut ja kankaat ovat siksi tukkeutuneet ja vesi mennyt ylivuotoon. 20 µm kankailla maksimivirtaama oli 70 m³/h, jolloin kiintoainekuorma oli keskimäärin 780-820 g/m²/h.

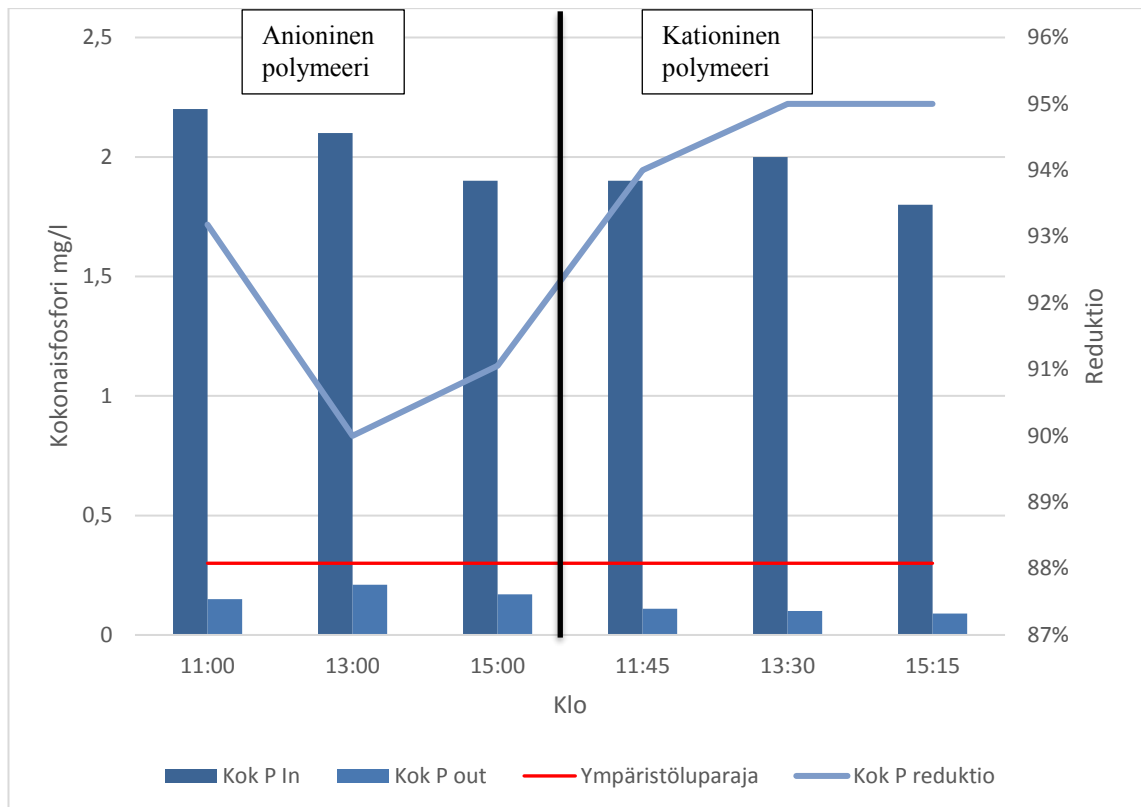
6.1.1 Kemikaalioptimointi ja puhdistusteho kemikaalilisäyksellä ohitusvesien käsittelyssä

Koeajot kemikaalilisäyksellä aloitettiin anionisella polymeerillä. Anionisella polymeerillä tehdyt kemikaalioptimoinnin tulokset on esitetty taulukossa 16. Kemikaalilisäyksellä tehtyjen koeajojen tulokset on esitetty liitteessä 6.

Taulukko 16. Kemikaalioptimoinnin tulokset ohitusvesillä anionisella polymeerillä. 20 µm kankaat. 20 m³/h.

PAX	Alumiinilisäys	Polymeerilisäys	Kok P In	Kok P Out	Kok P reduktio	Jäännösalmiini
ml/m ³	mgAl ⁺ /l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l
23	3	1	1,7	0,63	63 %	< 0,02
23	3	2	1,7	0,57	67 %	< 0,02
31	4	2	1,6	0,45	72 %	< 0,02
39	5	2	1,8	0,57	69 %	< 0,02
39	5	2,5	1,5	0,38	75 %	< 0,02
46	6	2	1,6	0,25	84 %	< 0,02
46	6	3	1,6	0,23	86 %	< 0,02
62	8	3	1,9	0,19	90 %	< 0,02

8 mgAl⁺/l alumiinilisäys (62 ml PAX/m³) ja 3 mg/l polymeerilisäys poistivat fosforia tehokkaasti, jolloin päästiin hieman alle 0,2 mg/l kokonaisfosforipitoisuuteen. Kyseisellä kemikaaliannostuksella tehtiin koeajo vakiovirtaamalla, jonka aikana otettiin kolme yksittäistä näytettä sekä kokoomanäyte tulevasta ja lähtevästä vedestä. Sama koeajo suoritettiin laitoksen omalla kationisella polymeerillä. Tulokset fosforin osalta on esitetty kuvassa 26 ja kokoomanäytteet tulevasta ja lähtevästä vedestä taulukossa 17.

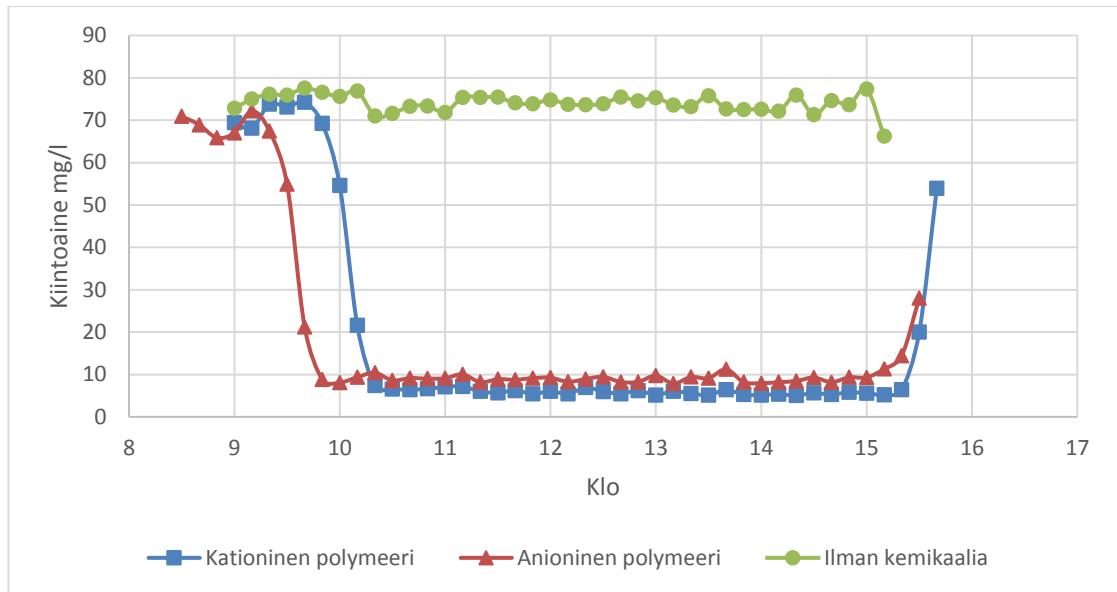


Kuva 26. Kokonaisfosforitulokset ohitusvesillä optimikemikaalisyötöllä anionisella ja kationisella polymeerillä. Alumiinilisäys 8 mg/l ja polymeerilisäys 3 mg/l. 20 µm kankaat. 20 m³/h.

Taulukko 17. Kokoomanäytteiden tulokset ohitusvesillä 8 mgAl⁺/l alumiini ja 3 mg/l polymeerilisäyksellä. 20 µm kankaat. 20 m³/h.

	Kokooma tuleva fosfori mg/l	Kokooma lähtevä fosfori mg/l	Kokooma tuleva kiintoaine mg/l	Kokooma lähtevä kiintoaine mg/l
Anioninen polymeeri 26.9. 6 h	2,1	0,18	96	31
Kationinen polymeeri 27.9. 5,5 h	2,1	0,072	94	16

Kuvassa 27 on esitetty lähtevän veden kiintoainemittarin tulokset ilman kemikaalilisäystä sekä 8 mg/l alumiini- ja 3 mg/l polymeerilisäyksellä molemmilla polymeereillä. Kuvassa näkyy, kuinka lähtevä veden kiintoainepitoisuus laskee ensin kemikaalisyötön vaikutuksesta ja kuinka se lähtee taas nousuun kemikaalisyötön loputtua. Ilman kemikaalilisäystä suodattimelta lähtevän veden kiintoainepitoisuus on noin 70-75 mg/l ja kemikaalilisäyksellä laskee noin 10 mg/l pitoisuuteen. Anionisella polymeerillä lähtevän veden kiintoainepitoisuus on hieman korkeampi kuin kationisella polymeerillä tehdyssä koeajossa. Molemmissa koeajoissa lähtevän veden kiintoaine kuitenkin pysyi suhteellisen tasaisena eikä kiintoaineessa esiintynyt poikkeamia viiden tunnin koeajon aikana.



Kuva 27. Kiekkosuodattimelta lähtevän veden kiintoainemittarin tulokset. Ohitusvedet, ilman kemikaalilisäystä ja 8 mg/l alumiini- ja 3 mg/l polymeerilisäyksellä. 20 μm kankaat. 20 m^3/h .

Tulosten perusteella laitoksen oma kationinen polymeeri toimisi paremmin kiekkosuodatuksessa puhdistamon jätevesillä. Tällöin kiekkosuodattimelta lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus laski välille 0,081-0,11 mg/l (kuva 25). Fosforireduktio oli yli 90 % ja kiintoainereduktio 54-70 %. Kiekkosuodatuskokeita päätettiin jatkaa laitoksen omalla kationisella polymeerillä.

Yli 30 m^3/h virtaamalla kankaat pesivät jatkuvasti. 35 m^3/h virtaamalla, jolloin kiintoainekuorma oli noin 400-420 $\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ ja kankaiden pesitiheys 100 %, puhdistustulos pysyi kuitenkin hyvänä.

Kuvassa 28 nähdään kiekkosuodattimelle tulevan esiselkeytetyn veden ja suodattimelta lähtevän veden visuaalinen ero optimikemikaalilisäyksellä. Kiekkosuodattimelta lähtevä vesi oli hyvin kirkasta ilman silminnähtävää kiintoainetta.



Kuva 28. Kiekkosuodattimelle tulevaa ohitusvedet (vasen pullo) ja lähtevää vettä 8 mg Al^+/l ja 3 mg/l polymeerilisäyksillä (oikea pullo).

Pian näytteenoton jälkeen lähtevän veden näytteeseen alkoi syntyä oranssia sakkaa (kuva 29). Kyseinen sakka oli todennäköisesti hapettunutta rautaa, joka oli peräisin prosessin

saostuksessa käytetystä ferrosulfaatista. Rautasakka nosti lähtevän veden kiintoainepitoisuutta, mikä antaa hieman vääristyneen kuvan kiekkosuodattimen kyvystä poistaa kiintoainetta.

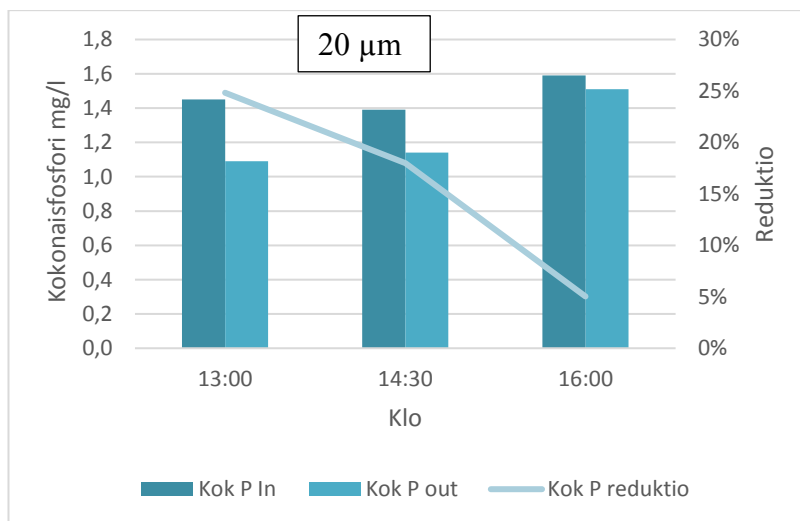


Kuva 29. Rautasakan muodostuminen kiekkosuodattimelta lähtevään esiselkeytettyyn veteen (vasen kuva). Oikeassa kuvassa kiintoainepapereita kiekkosuodattimelle tulevasta esiselkeytetystä vedestä (paperit ylhäällä) ja kiekolta lähtevästä vedestä (paperit alhaalla).

PAXin syöttämistä niin, että lähtevässä vedessä esiintyisi merkittävästi jäännösalmiinia, tutkittiin 9 ja 10 mg/l alumiinilisäyksellä (70 ja 77 mg/l PAX) ja 3-4 mg/l polymeerilisäyksellä. Molemmilla alumiinilisäyksillä lähtevässä vedessä alkoi esiintyä jäännösalmiinia 0,023-0,17 mg/l. Lisäksi fosforitulos ei parantunut merkittävästi. 8 mg/l alumiinilisäyksellä ja 3 mg/l polymeerilisäyksellä fosforireduktio oli 94-97 %. Kun alumiinilisäys nostettiin 10 mg/l, fosforireduktio oli 95-96 %.

6.2 Yhdistelmäajo

Kuvassa 30 on esitetty vakiovirtaamalla tehtyjen koeajojen fosforitulokset ja -reduktiot ilman kemikaalilisäystä 20 µm kankailla ja 26 m³/h vakiovirtaamalla, kun puolet vedestä on ohitusvesiä ja puolet jälkiselkeytettyä jätevetä. Tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 7.



Kuva 30. Kokonaisfosforitulokset, kun puolet vedestä ohitusvetä ja puolet puhdistettua jätevetä. Ilman kemikaalilisäystä. 20 µm kankaat. 20 m³/h.

Ilman kemikaalilisäystä fosforireduktiot yhdistelmätilanteessa olivat samaa tasoa kuin esiselkeytetyllä vedellä. Reduktiot eivät olleet merkittäviä ja olivat fosforin kohdalla 5-25 % ja kiintoaineen tapauksessa -16–18 %. Kyseisellä ajotavalla kiekkosuodattimen hydraulinen kapasiteetti oli 80 m³/h, jolloin kiintoainekuorma oli keskimäärin noin 770 g/m²/h.

6.2.1 Kemikaalioptimointi ja puhdistusteho kemikaalilisäyksellä yhdistelmäajossa

Kemikaalioptimointi aloitettiin yhdistelmällä, jossa puolet kiekkosuodattimelle tulevasta vedestä oli esiselkeytettyä jätevettä ja puolet puhdistettua jätevettä. Optimoinnin tulokset on esitetty taulukossa 18. Kemikaalilisäyksellä tehtyjen koeajojen tulokset on esitetty liitteessä 8.

Taulukko 18. Kemikaalioptimointitulokset, kun puolet vedestä on ohitusvettä ja puolet puhdistettua jätevettä. 20 µm kankaat. 20 m³/h virtaama.

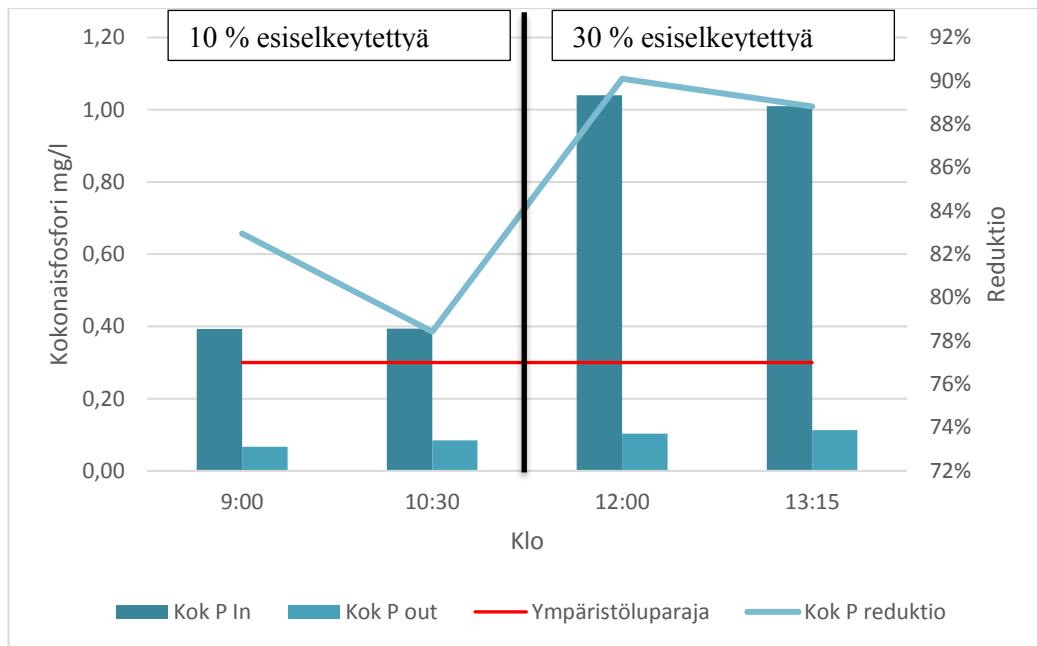
PAX	Alumiinilisäys	Polymeerilisäys	Kok P In	Kok P Out	Kok P reduktio	Jäännösalmiini
ml/m ³	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%	mg/l
15	2	2	1,3	0,24	81 %	< 0,02
23	3	2	1,3	0,16	87 %	< 0,02
31	4	2,5	1,1	0,088	92 %	< 0,02
39	5	2,5	1,2	0,081	93 %	< 0,02
46	6	2,5	1,1	0,063	94 %	0,02
46	6	3	1,2	0,051	96 %	< 0,02
54	7	3	1,2	0,052	96 %	0,04

5 mg/l alumiinilisäyksellä ja 2,5 mg/l polymeerilisäyksellä tutkittiin kiekkosuodattimen kapasiteettia nostamalla virtaamaa. Yli 35 m³/h virtaamalla kankaat pesivät jatkuvasti. 10 ja 30 % osuuksilla tehtiin vielä kemikaalioptimoinnit, jonka tulokset on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19. Kemikaalioptimointitulokset, kun esiselkeytetyn veden osuus on 10 ja 30 % kokonaisvirtaamasta. 20 µm kankaat.

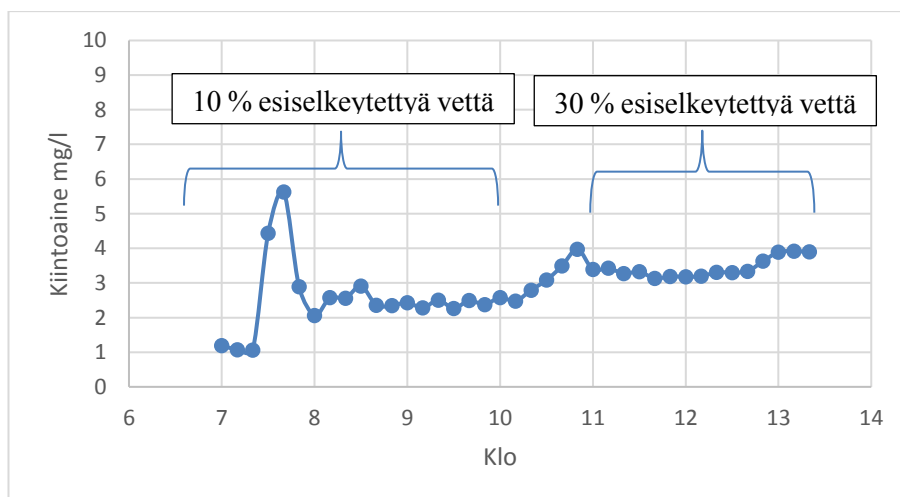
Esiselkeytetyn veden osuus	Virtaama	Alumiinilisäys	Polymeerilisäys	Kok P In	Kok P Out	Kok P reduktio	Jäännösalmiini
	m ³ /h	mgAl ⁺ /l	mg/l	mg/l	mg/l	%	mg/l
10 %	22	1	1	0,40	0,10	74 %	< 0,02
10 %	22	1	2	0,36	0,087	76 %	0,023
10 %	22	2	2	0,35	0,064	82 %	< 0,02
30 %	29	2	2	0,90	0,12	87 %	< 0,02
30 %	29	3	2	0,89	0,088	90 %	< 0,02

10 ja 30 % esiselkeytetyn veden osuuksilla tehdyn koeajon kokonaisfosforitulokset on esitetty kuvassa 31. Kiekolta lähtevän veden näytteet vaihtelivat 0,067 ja 0,11 mg/l välillä eli ympäristöluvan asettama 0,3 mg/l kokonaisfosforiraja alitettiin selkeästi.



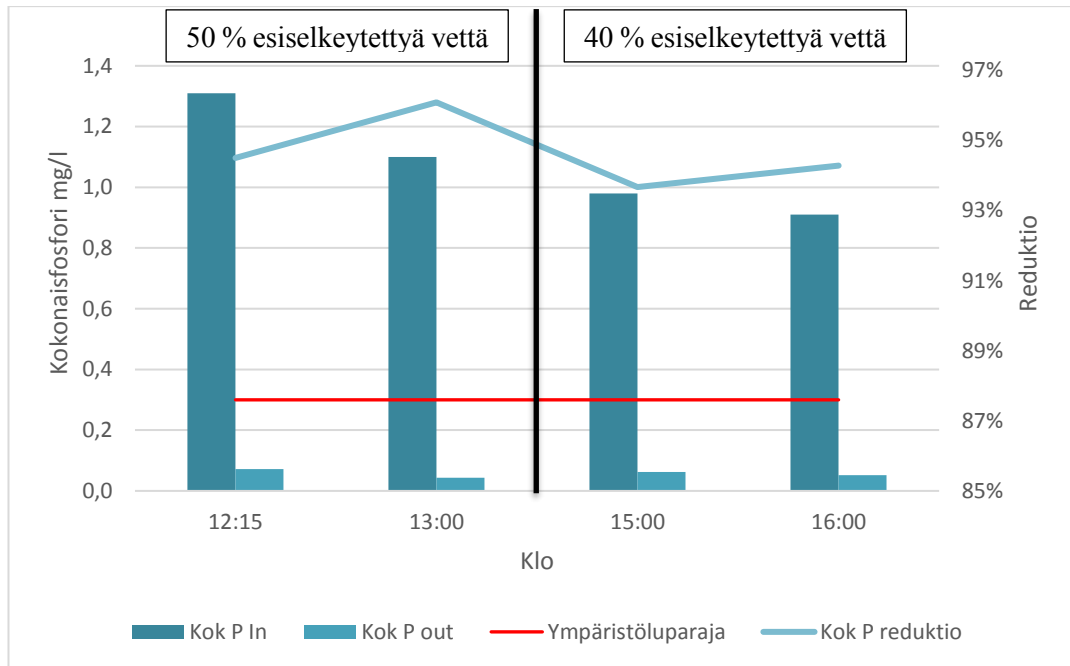
Kuva 31. Fosforitulokset yhdistelmäajosta. 10 % esiselkeytetyn veden ajossa 2 mg/l alumiini- ja polymeerilisäys, 30 % esiselkeytetyn veden ajossa 3 mg/l alumiini- ja 2 mg/l polymeerilisäys. 20 µm kankaat. 22-29 m³/h.

Kuvassa 32 nähdään kiekkosuodattimelta lähtevän veden jatkuvatoimisen kiintoainemittarin tulokset koeajon aikana. Virtaaman ja kemikaaliannoksen muuttaminen näkyvät pieninä kiintoainepiikkeinä puoli kahdeksan ja puoli yhdentoista aikaan. Piikkejä lukuun ottamatta lähtevän veden kiintoaine pysyi 2-4 mg/l pitoisuudessa. Koeajon aikana ei ollut mahdollista saada tulevasta vedestä kokoomanäytettä, mutta lähtevästä vedestä otettiin kokoomanäyte viiden tunnin ajalta. Lähtevän veden kokoomanäytteen kokonaisfosforipitoisuus oli 0,12 mg/l ja kiintoainepitoisuus 6,4 mg/l.



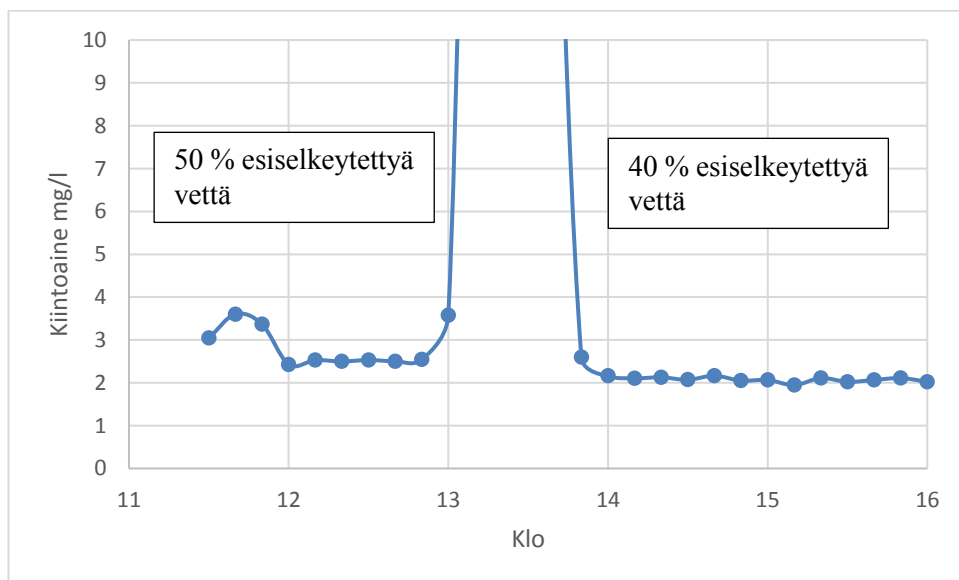
Kuva 32. Online-kiintoainemittarin tulokset 10-30 % esiselkeytetyn veden osuuksilla.

40 ja 50 % esiselkeytetyn veden osuuksilla tehdyn koeajon kokonaisfosforitulokset on esitetty kuvassa 33 ja kiintoainemittarin tulokset kuvassa 34. Kiekkosuodattimelta lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuudet vaihtelivat 0,043 ja 0,072 mg/l välillä ja kiintoaine 8 ja 11 mg/l välillä.



Kuva 33. Fosforitulokset yhdistelmäajosta. 40 % esiselkeytetyn veden ajossa 4 mg/l alumiini- ja 2 mg/l polymeerilisäys, 50 % esiselkeytetyn veden ajossa 5 mg/l alumiini- ja 2,5 mg/l polymeerilisäys. 20 µm kankaat. 33-40 m³/h.

Koeajon aikana kemikaalinsyöttö piti hetkellisesti lopettaa polymeerin loppumisen takia, minkä takia kiintoainekuvaajassa 33 näkyy hetkellinen kiintoainepiikki. Kiintoainepiikki on leikattu kuvaajassa tarkan kuvan saamiseksi.

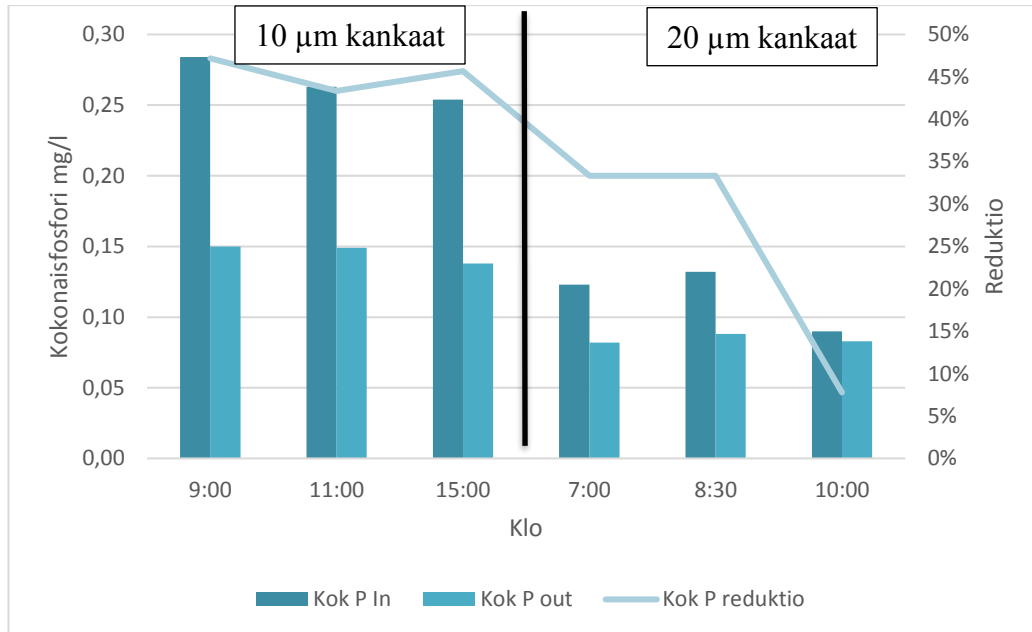


Kuva 34. Online-kiintoainemittarin tulokset 40-50 % esiselkeytetyn veden osuuksilla.

Koejakson aikana lähtevän veden kokoomanäytteen kokonaisfosforipitoisuus oli 0,058 mg/l ja kiintoainepitoisuus 9,6 mg/l. Kokoomanäytteenotin pysäytettiin hetkeksi kesken kokeiden kemikaalinsyötön keskeytymisen ajaksi.

6.3 Tertiäärikäsittely

Kuvassa 35 on esitetty jälkiselkeytetyillä vesillä vakiovirtaamalla tehtyjen koeajojen fosforitulokset ja -reduktiot ilman kemikaalilisäystä 10 ja 20 µm kankailla 26 m³/h virtaamalla. Tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 9.



Kuva 35. Kokonaisfosforitulokset jälkiselkeytetyllä vedellä ilman kemikaalilisäystä. 10 ja 20 µm kankaat. 26 m³/h.

Koejaksojen aikana puhdistetun jäteveden kokonaisfosforipitoisuus oli alle 0,3 mg/l eli alle uuden ympäristöluparajan asettaman rajan. 10 µm kankailla tehtyjen koeajojen aikana jälkiselkeytetyn veden fosfori- ja kiintoainepitoisuudet olivat hieman korkeammat kuin 20 µm kankailla tehtyjen kokeiden aikana, jolloin tulevan veden kokonaisfosforipitoisuus oli vain 0,09-1,1 mg/l ja kiintoainepitoisuus 2,8–3,6 mg/l. Kiekkosuodattimella on kuitenkin mahdollista leikata fosforia 10 µm kankailla vielä 34-47 % ja 20 µm kankailla 8-33 %. Kiekkosuodattimelta lähtevän veden kiintoainepitoisuus oli yhtä näytettä lukuun ottamatta kaikissa näytteissä alle määritysrajan eli 2,0 mg/l.

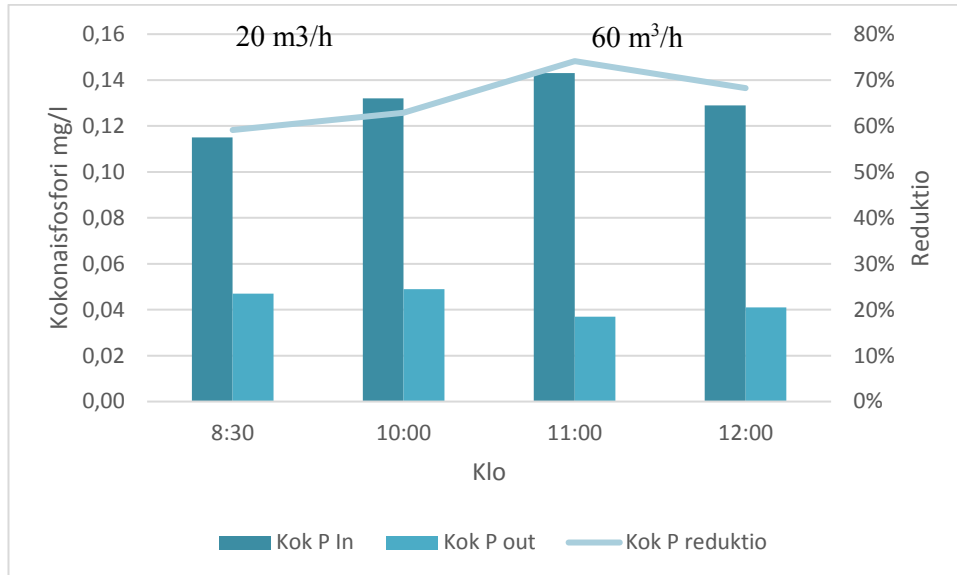
6.3.1 Kemikaalioptimointi ja puhdistusteho kemikaalilisäyksellä tertiäärikäsittelyssä

Kemikaalioptimointi tehtiin 20 m³/h virtaamalla. Kemikaalioptimoinnin tulokset on esitetty taulukossa 20. Kemikaalilisäyksellä tehtyjen koeajojen tulokset on esitetty liitteessä 10.

Taulukko 20. Kemikaalioptimoinnin tulokset jälkiselkeytetyllä vedellä. 20 µm kankaat. 20 m³/h.

Alumiinilisäys	Polymeerilisäys	Kok P In	Kok P Out	Kok P reduktio	Jäännös-alumiini
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%	mg/l
1	1	0,10	0,056	45 %	0,032
1	2	0,11	0,059	48 %	< 0,02
2	2	0,13	0,041	68 %	0,051

Optimoinnin aikana kiekolle tulevan veden kokonaisfosforipitoisuus oli hyvin alhainen ja jo 1 mg/l alumiinilisäys näkyi pienenä jäännösalmiiniipitoisuutena lähtevässä vedessä. Pitoisuus oli kuitenkin alhainen, joten 1 mg/l alumiinilisäyksellä ja 1 mg/l polymeerilisäyksellä tehtiin viiden tunnin mittainen koeajo virtaaman nostolla. Kuvassa 36 on esitetty koeajon kokonaisfosforitulokset ja taulukossa 21 kokoomanäytteiden tulokset.



Kuva 36. Kokonaisfosforitulokset jälkiselkeytetyllä vedellä optimikemikaalisuotolla. Alumiinilisäys 1 mg/l ja polymeerilisäys 1 mg/l. 20 µm kankaat. 20-60 m³/h.

Taulukko 21. Kokoomanäytteenoton tulokset viiden tunnin ajalta jälkiselkeytetyllä vedellä, 1 mg/l alumiinilisäyksellä ja 1 mg/l polymeerilisäyksellä. 20 µm kankaat. 20-60 m³/h.

	Kokooma tuleva fosfori mg/l	Kokooma lähtevä fosfori mg/l	Kokooma tuleva kiintoaine mg/l	Kokooma lähtevä kiintoaine mg/l
20.10. 5,5 h	0,13	0,046	2,4	2,0

Kemikaalilisäyksellä fosforireduktiot olivat yli 60 %, jolloin lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus oli 0,037-0,049 mg/l. Koeajon aikana tulevan veden kiintoainepitoisuus vaihteli alle 2,0 mg/l ja 3,4 mg/l välillä. Kahdessa näytteessä kemikaalilisäys aiheutti negatiivista kiintoainereduktiota, mikä viittaisi liian suuren kemikaaliannostukseen. Lähtevän veden kiintoainepitoisuus oli kuitenkin negatiivisesta reduktiosta huolimatta maksimissaan 2,7 mg/l ja kokoomanäytteessä 2,0 mg/l.

6.4 Muutos ajotapojen välillä

6.4.1 Muutos ohitusvesien käsittelystä tertiäärikäsittelyyn

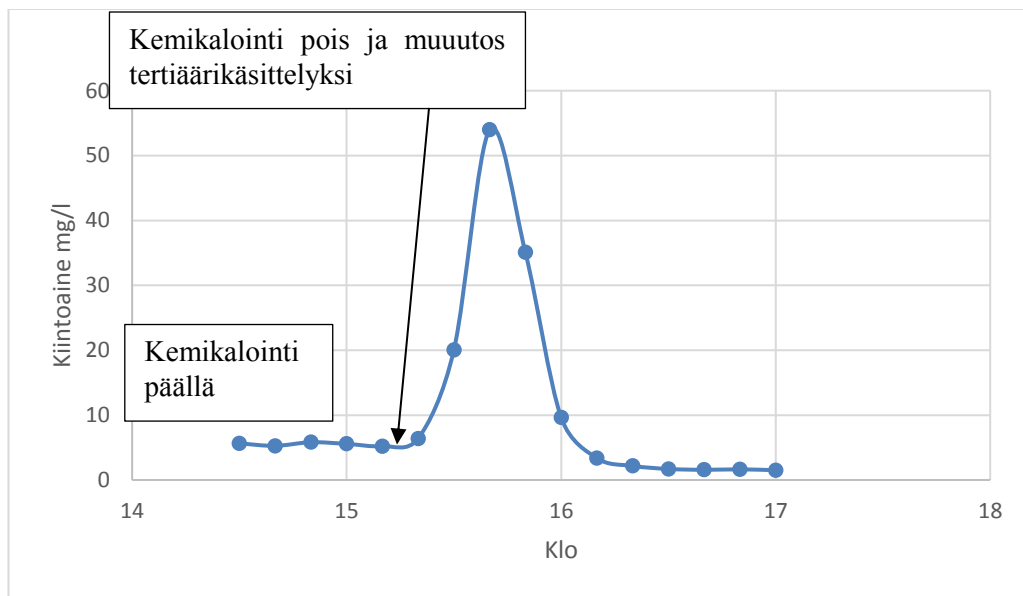
Taulukossa 22 on koottu jälkiselkeytetyn veden kiintoainepitoisuudet ilman kemikaalilisäystä tunti siitä, kun kiekkosuodatin on muutettu ohitusvesien käsittelystä tertiäärikäsittelyksi.

Taulukko 22. Kiintoainepitoisuus jälkiselkeytetystä vedessä ilman kemikaalilisäystä tunti muutoksesta tertiäärikäsittelyksi 20 µm kankaat. 20 m³/h.

	Tuleva kiintoaine	Lähtevä kiintoaine
	mg/l	mg/l
27.9.	3,5	3,1
25.10.	4,2	4,0
26.10.	3,8	3,2

Tertiäärikäsittelyssä ilman kemikaalilisäystä (kappale 7.3) jälkiselkeytetyn veden kiintoaine laski kiekkosuodattimella 2,8-3,6 mg/l pitoisuudesta alle määrittärajän eli 2,0 mg/l. Tähän nähden lähtevän veden kolmessa näytteessä kiintoainepitoisuus oli hieman koholla (3,1-4,0 mg/l).

Kuvassa 37 nähdään lähtevän veden kiintoainemittarin tulokset, kun ohitusvesien käsittelyssä lopetettiin kemikaalisyöttö ja suodatin muutettiin tertiäärikäsittelyksi. Ohitusvesien käsittelyssä oli lisätty 8 mg/l alumiinia ja 3 mg/l polymeeriä. Muutosvaiheessa noin 50 minuutin aikana tapahtui kiintoainepiikki, jonka aikana lähtevän veden kiintoainepitoisuudet olivat noin 10-kertaisia. Tämän jälkeen lähtevän veden kiintoainepitoisuus laski tyypilliselle jälkiselkeytetyn veden tasolle, alle 2 mg/l pitoisuuteen. Muissakin koejoissa nähtiin samanlaista kiintoaineen laskua. Kiekkosuodattimelta lähtevässä vedessä ei ollut visuaalisesti havaittavissa sameutta. Tehtyjen kokeiden perusteella vaihtaminen ohitusvesien käsittelyyn ja tertiäärikäsittelyyn välillä toimii hyvin eikä aiheuta suuria kiintoainepiikkejä kiekkosuodattimen lähtevässä vedessä.



Kuva 37. Lähtevän veden kiintoainemittarin mittaustulokset. Muutos ohitusvesien käsittelystä tertiäärikäsittelyksi. Ohitusvesien käsittelyssä 8 mg/l alumiini- ja 3 mg/l polymeerilisäys. 20 µm kankaat. 20 m³/h.

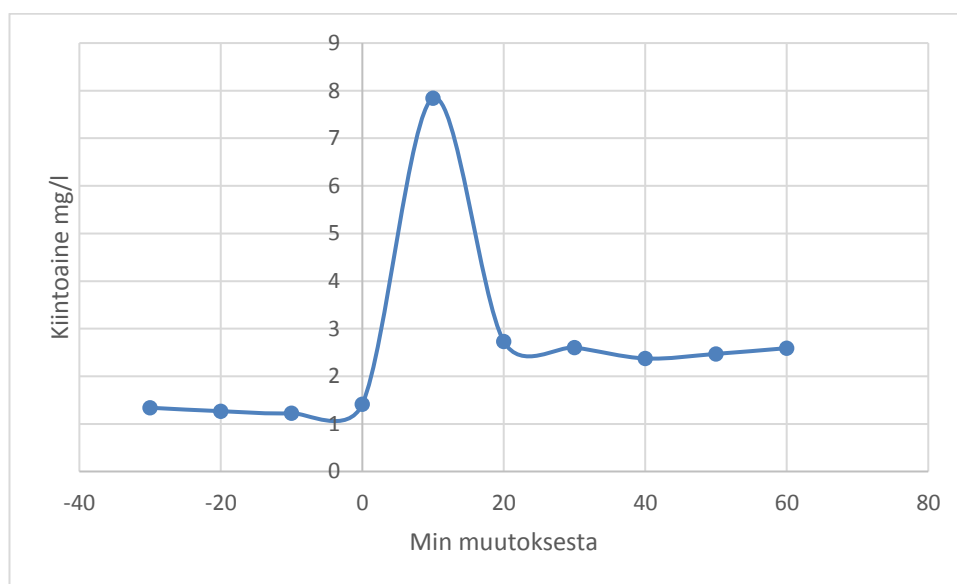
6.4.2 Muutos tertiäärikäsittelystä ohitusvesien käsittelyyn

Taulukossa 23 on esitetty kokonaisfosfori- ja kiintoainetulokset muutostilanteessa, jossa kiekkosuodatin muutettiin tertiäärikäsittelystä yhdistelmäksittelyksi, jolloin kiekkosuodattimelle virtasi puolet ohitusvettä ja puolet jälkiselkeytettyä vettä.

Taulukko 23. Kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuudet ohitusvesien lisäämisen vaikutuksesta. 5 mg/l alumiinilisäys, 2,5 mg/l polymeeri. 20 µm kankaat. 40 m³/h.

	Kok P In	Kok P Out	Kiintoaine In	Kiintoaine Out
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Jälkiselkeytetty vesi	0,103	0,09	3,6	1,4
15 min muutoksesta	1,32	0,07	49	9
30 min muutoksesta	1,34	0,054	49	11
60 min muutoksesta	1,03	0,046	49	8

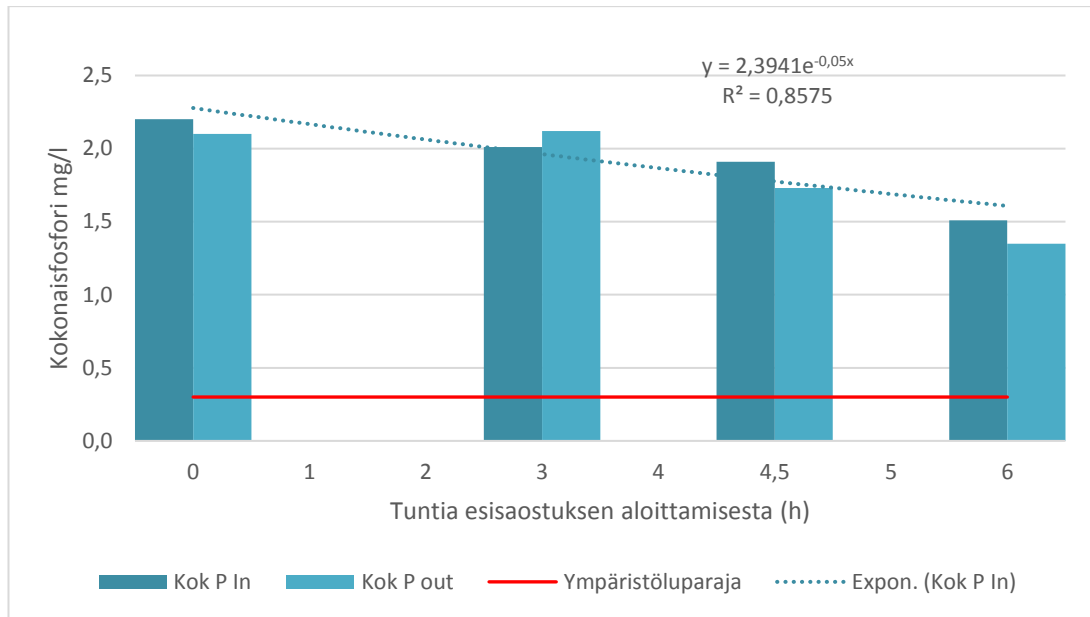
Laboratoriossa tehtyjen fosfori- ja kiintoaineanalyysien mukaan kiekkosuodattimelta lähtevän veden kiintoainepitoisuus kasvaa 1,4 mg/l pitoisuudesta 8-11 mg/l pitoisuuteen, kun suodattimelle aletaan johtaa myös ohitusvettä. Lähtevän veden kiintoaine- ja fosforipitoisuus vaikuttavat kuitenkin pysyvän samalla tasolla 15, 30 ja 60 minuutin näytteissä eli merkittävää pitoisuuspiikkiä ei ollut havaittavissa. Lähtevän veden kiintoainemittarin tulokset indikoivat kuitenkin hetkellistä piikkiä noin 10 minuuttia ohitusvesien syöttämisen aloittamisesta (kuva 38). Piikki on toisaalta hyvin nopea ja kiintoainepitoisuus stabiloituu 20 minuuttia muutoksesta noin 2-3 mg/l pitoisuuteen.



Kuva 38. Lähtevän veden kiintoainemittarin mittaustulokset. Muutos tertiäärikäsittelystä yhdistelmään, jossa puolet tulevasta vedestä ohitusvettä. 5 mg/l alumiini- ja 2,5 mg/l polymeerilisäys. Virtaus yhteensä 40 m³/hm, 20 µm kankaat.

6.5 Esisaostus ja kiekkosuodatus

Esisaostuksen ja kiekkosuodatuksen yhteiskäytön kokonaisfosforitulokset 10 µm kankailla ja 0,5 mg/l polymeerilisäyksellä on esitetty kuvassa 39. Tulokset koeajosta löytyy liitteestä 11.



Kuva 39. Esiselkeytetyn veden kokonaisfosforin muutos ja kiekkosuodatuksen vaikutus esisaostuksen aikana. 0,5 mg/l polymeerilisäys. 26 m³/h virtaama, 10 µm kankaat.

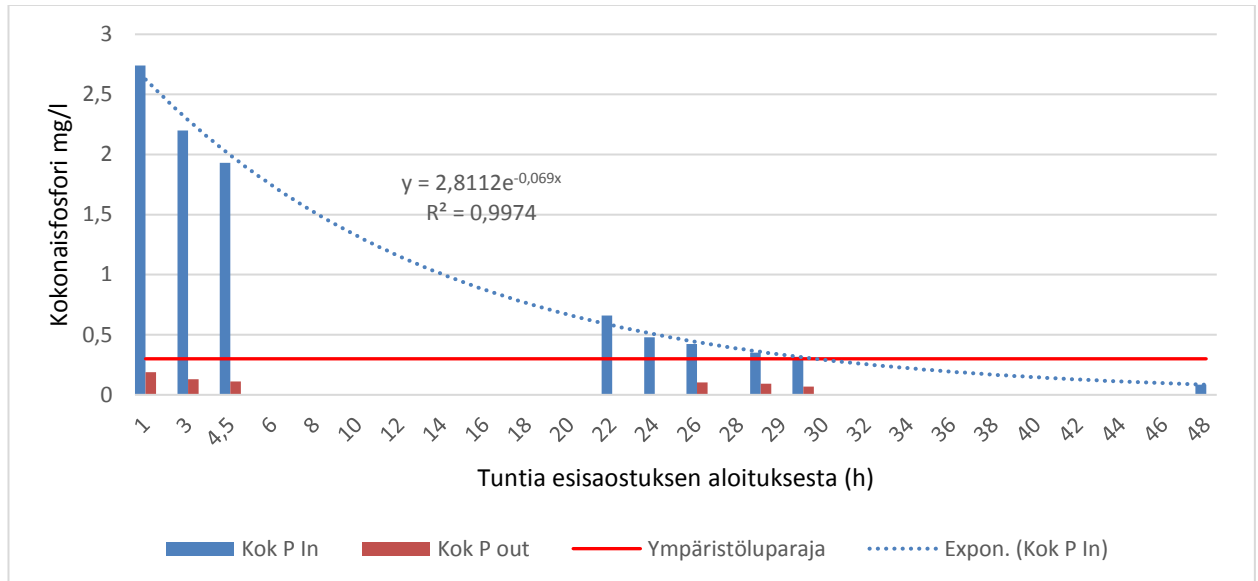
Kuuden tunnin aikana esiselkeytetyn veden kokonaisfosforipitoisuus laski noin 0,5 mg/l. Kiekkosuodattimella ei kuitenkaan saatu leikattua esiselkeytetyn veden kokonaisfosforipitoisuutta merkittävästi vaan suodatetun veden fosforipitoisuus pysyi yli 1,2 mg/l. Lakkennallisesti kyseisen ajan virtaamalla veden viipymä esiselkeytysaltaassa olisi noin kolme tuntia eli kyseisen kokeen aikana vesi olisi ehtinyt vaihtua kahdesti esiselkeytysaltaassa. Altaassa voi kuitenkin tapahtua niin sanottua ”oikovirtaamaa”, jolloin PAX ei pääsee vaikuttamaan koko vesimäärään vaan esiselkeytysaltaaseen virtaa kemikaalilisäyksestä huolimatta kemikalioimatonta jätevettä (Renkonen 2014).

Pelkällä polymeerilisäyksellä kiekkosuodatuksella ei saatu poistettua fosforia merkittävästi. Polymeerilisäys oli suhteellisen pieni, koska koelaitteiston virtausmittari näytti noin 2,5-kertaa pienempää virtaamaa kuin mitä todellisuudessa suodattimelle virtasi ja siten polymeerilisäys oli myös 2,5-kertaa pienempi kuin mitä oli tarkoitus.

Esisaostuksen ja kiekkosuodatuksen yhteiskäytön kokonaisfosforitulokset 20 µm kankailla ja PAX- ja polymeerilisäyksellä on esitetty kuvassa 40. Tulokset koeajoista löytyvät liitteestä 12. Kokeita on tehty vain päiväsaikaan, minkä takia kokeissa tulee pidempiä jaksoja ilman näytteenottoa.

Kokeiden perusteella esisaostuksen vaikutus alkaa näkyä veden fosforipitoisuudessa jo tuntien päästä esisaostuksen aloittamisesta. Neljän ja puolen tunnin päästä esisaostuksen aloittamisesta esiselkeytetyn veden fosforipitoisuus on laskenut noin 1 mg/l. Fosforipitoisuuden lasku oli nopeampaa kuin ensimmäisessä esisaostuskokeessa suuremman virtaaman takia. Noin vuorokauden kuluttua esiselkeytetyn veden kokonaisfosforipitoisuus laskee 0,3-0,5 mg/l pitoisuuteen, 29,5 tunnin kuluttua 0,32 mg/l ja 48 tunnin kuluttua 0,084 mg/l pitoisuuteen. Myös pH laski esiselkeytetyssä vedessä esisaostuksen aikana noin 7,1:sta 6,5:een ja kiintoaine 66 mg/l pitoisuudesta 25 mg/l pitoisuuteen.

Kuvan 40 mukaan esiselkeytetyn veden kokonaisfosfori laskee eksponentiaalisesti ajan suhteen. Kuvassa on myös esitetty kiekkosuodattimella käsitellyn veden kokonaisfosforipitoisuus. Saadun tutkimuksen mukaan kokonaisfosfori olisi laskenut kyseisessä ajossa alle 0,3 mg/l pitoisuuteen noin 31 tunnin kuluttua esisaostuksen aloituksesta.



Kuva 40. Esiselkeytetyn veden kokonaisfosforin muutos esisaostuksessa ja kiekkosuodattimen vaikutus. Ensimmäisen viiden tunnin aikana otetuissa näytteissä alumiinilisäys 6 mg/l ja polymeeriliäys 3 mg/l. 27, 28,5 tunnin kohdalla alumiinilisäys 2 mg/l, polymeeriliäys 1,5 mg/l. 29,5 tunnin kohdalla alumiinilisäys 1 mg/l, polymeeriliäys 1 mg/l. 20 m³/h virtaus, 20 µm kankaat.

Edellisenä päivänä ennen esisaostuksen aloittamista tehtiin koeajot kiekkosuodattimella 6 mg/l alumiinilisäyksellä ja 3 mg/l polymeeriliäyksellä, jolloin kokonaisfosforipitoisuus putosi 0,18-0,21 mg/l pitoisuuteen. Esisaostuksen aikana tehtiin ensimmäisen viiden tunnin aikana sama koeajo samalla kemikaalilisäyksellä. Tulokset on esitetty taulukossa 24. Esisaostuksella ja kemikaalilisäyksellä kiekkosuodattimella saatiin lähtevälle vedelle 0,11–0,19 mg/l kokonaisfosforipitoisuus.

Taulukko 24. Kokonaisfosforitulokset ilman esisaostusta ja esisaostuksen kanssa. Kiekkosuodattimella 6 mg/l alumiinilisäys ja 3 mg/l polymeeriliäys. Esiselkeytetty vesi. 20 µm. 20 m³/h.

Tuntia esisaostuksen aloittamisesta	Kok P In mg/l	Kok P Out mg/l
-24	2,8	0,21
-21,5	3,0	0,21
-19	3,0	0,18
-2	2,9	
1	2,7	0,19
3	2,2	0,13
4,5	1,9	0,11

Seuraavan vuorokauden alussa esiselkeytetyn veden fosforipitoisuus oli laskenut 0,66 mg/l. Esiselkeytetyn veden alhaisen fosforipitoisuuden takia kiekkosuodattimella lisättiin enää 2 mg/l alumiinia ja 1,5 mg/l polymeeriä. Päivän lopussa kiekkosuodattimella lisättiin enää vain 1 mg/l alumiinia ja 1 mg/l polymeeriä. Kiekkosuodattimelta lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus oli tällöin 0,068-0,10 mg/l.

Saatujen tutkimusten perusteella kiekkosuodatus yhdessä PAX – ja polymeeriliäyksellä toimii hyvin siirtymävaiheessa, kun esisaostus alkaa vaikuttaa ohitusvesiin. 0,3 mg/l fos-

foripitoisuuden saavuttamiseksi kemikaalitarve kiekkosuodattimella esisaostuksen aikana olisi todennäköisesti paljon pienempi kuin koeajon aikana lisätty kemikaalimäärä. Taulukon 25 mukaan ensimmäisen 4,5 tunnin aikana esisaostuksen aloittamisesta kiekolta lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus laski 0,11-0,19 mg/l pitoisuuteen, kun edellisenä päivänä ilman esisaostusta samalla kemikaalilisäyksellä päästiin 0,18-0,21 mg/l fosforipitoisuuteen.

Kuvassa 41 nähdään esiselkeytettyä vettä ennen esisaostuksen aloittamista ja 30 tuntia esisaostuksen jälkeen, kun fosforipitoisuus oli laskenut 0,32 mg/l pitoisuuteen ja 28 mg/l kiintoainepitoisuuteen. Esisaostus toimii tehokkaasti, mutta sen haittapuolina ovat sen suuri kemikaalitarve, kun kaikki esiselkeytetty vesi joudutaan käsittelemään PAXilla. Sen vaikutusaika on myös suhteellisen hidas. Ohitustilanteissa tuleva virtaama on kuitenkin suurempi kuin kyseisinä koepäivinä, joten esisaostuksen vaikutusaika voi olla todellisuudessa lyhempi.

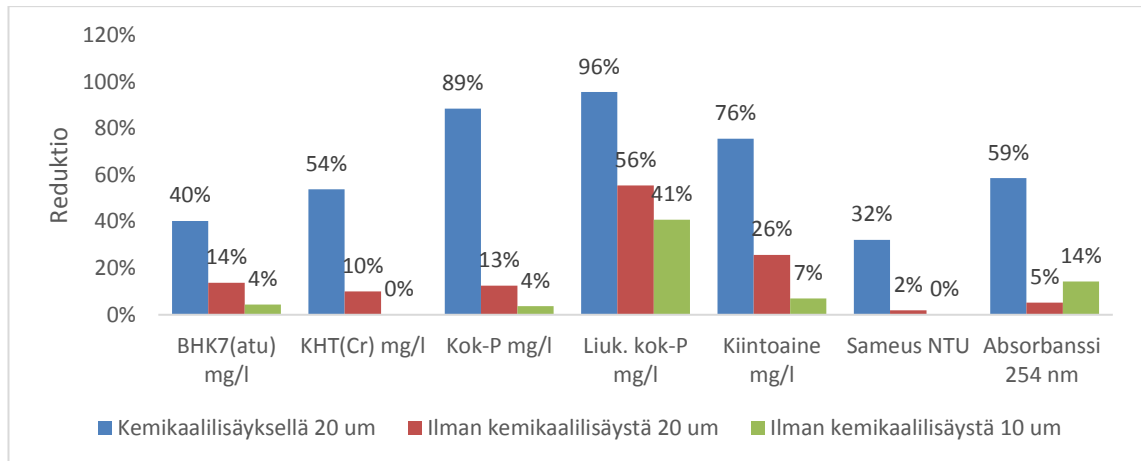


Kuva 41. Esiselkeytettyä jätevettä. Vasemmalla ennen esisaostuksen aloittamista, oikealla 30 tuntia esisaostuksen aloittamisen jälkeen.

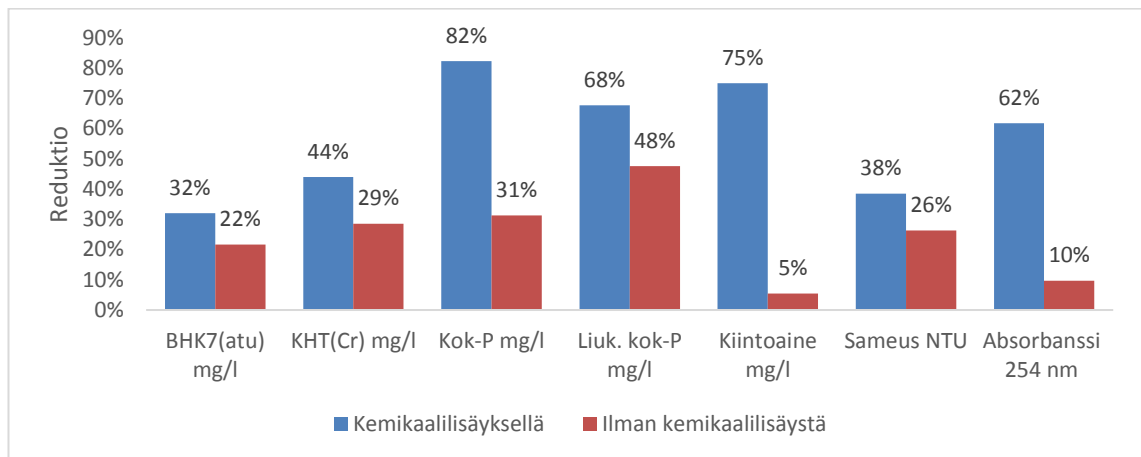
6.6 Kiekkosuodatuksen vaikutus jäteveden muihin ominaisuuksiin

NovaLabilla tehdyt laajemmat analyysit on esitetty liitteessä 13.

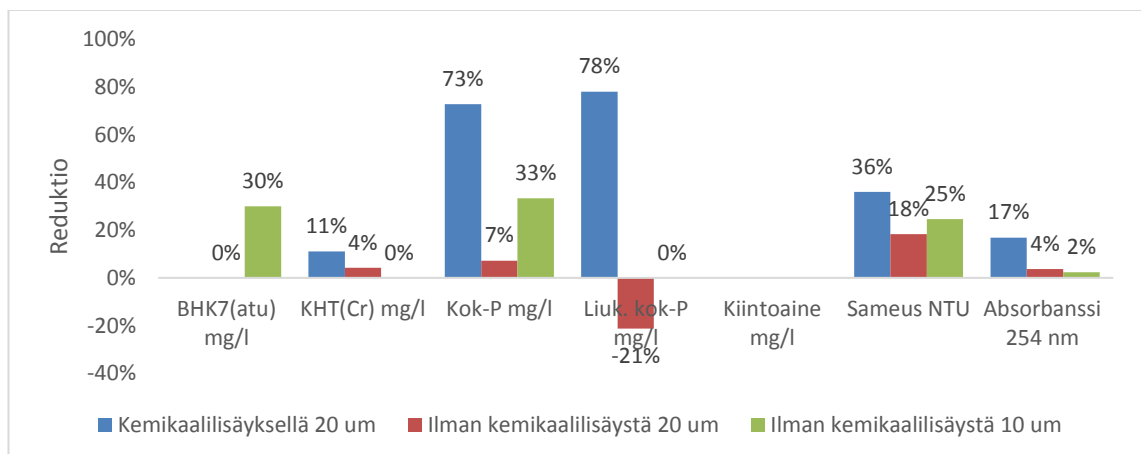
Ilman kemikaalilisäystä kiekkosuodattimella oli hyvin vähän vaikutusta jäteveden biologiseen tai kemialliseen hapenkulutukseen, kokonaisfosforiin, kiintoaineeseen, sameuteen, absorbanssiin tai taudinaiheuttajiin. Kemikaalilisäys paransi kiintoaineen poistoa, mikä edisti myös orgaanisen aineksen, fosforin ja sameuden reduktioita. Typen fraktioihin kiekkosuodatus ei vaikuttanut kemikaalilisäykselläkään. Reduktiot ilman kemikaalilisäystä ja kemikaalilisäyksellä esiselkeytettyllä vedellä, vedellä, jossa puolet on esiselkeytettyä vettä ja puolet jälkiselkeytettyä vettä, sekä jälkiselkeytettyllä vedellä on esitetty kuvissa 42-44.



Kuva 42. Esiselkeytetyn jäteveden parametrien muutos kiekkosuodattimella ilman kemikaalilisäystä sekä 8 mg/l alumiinilisäyksellä ja 3 mg/l polymeerilisäyksellä. 20 µm kankaat.



Kuva 43. Jäteveden, jossa puolet esiselkeytettyä vettä ja puolet puhdistettu jätevettä, parametrien muutos kiekkosuodattimella ilman kemikaalilisäystä sekä 5 mg/l alumiinilisäyksellä ja 2,5 mg/l polymeerilisäyksellä. 20 µm kankaat.



Kuva 44. Jälkiselkeytetyn jätevettä parametrien muutos kiekkosuodattimella ilman kemikaalilisäystä sekä 1 mg/l alumiinilisäyksellä ja 1 mg/l polymeerilisäyksellä. 20 µm kankaat.

Erot reduktioissa 10 ja 20 µm kankailla ovat hyvin pienet ja jäävät selkeästi pienemmiksi kuin kemikaalilisäyksellä. Vaikka kemikaalilisäys parantaa biologisen hapenkulutuksen

reduktiota esiselkeytetyssä vedessä, ylittävät pitoisuudet kuitenkin ympäristöluvan määrittelevät raja-arvot. Kemiallisen hapenkulutuksen pitoisuus alittaa ympäristöluvan asettaman raja-arvon yhdistelmätilanteissa, joissa esiselkeytetyn veden määrä on 10-50 % koko vesimäärästä.

Jälkiselkeytetyllä vedellä kaikissa ajotavoissa lähtevän veden kiintoaine oli alle määritysrajan. Kemikaalilisäyksellä lähtevän veden biologinen hapenkulutus oli myös alle määritysrajan. Jälkiselkeytetyn veden käsittelyssä reduktiot jäävät suhteellisen pieniksi kemikaalilisäykselläkin, koska jälkiselkeytetty vesi oli lähtökohtaisesti hyvin puhdasta ja ravinnepitoisuudet alhaisia.

Esiselkeytetyn veden kohdalla veden sameus ja kiintoaine kemikaalilisäyksestä huolimatta pysyivät korkealla ja UV-transmittanssi nousi vain 31 prosenttiin. Yhdistelmätilanteissa lähtevän veden sameus vaihteli 3-16 NTU ja UV-transmittanssi 46-58 %. Esiselkeytetystä vedestä muodostuva rautasakka lisää sameutta ja vähentää UV-absorbanssia.

Kiekkosuodatin ei itsessään poistanut merkittävästi taudinaiheuttajia, mutta kemikaalilisäyksellä oli vaikutusta *E. kolibakteerien* ja suolistoperäisten enterokokkien esiintyvyyteen (taulukko 25). Suolistoperäisten enterokokkien vähenemä esiselkeytetyssä vedessä oli ilman kemikaalilisäystä alle 0,4 logaritmiyksikköä ja kemikaalilisäyksellä noin 2 logaritmiyksikköä. Vastaavasti jälkiselkeytetyssä vedessä vähenemä oli negatiivinen ilman kemikaalilisäystä ja kemikaalilisäyksellä noin yksi logaritmiyksikköä. *E. kolibakteerien* poistuma esiselkeytetyssä vedessä oli kemikaalilisäyksellä noin yksi logaritmiyksikköä, jälkiselkeytetyssä vedessä ilman kemikaalilisäystä alle 0,08 logaritmiyksikköä ja kemikaalilisäyksellä noin yksi logaritmiyksikköä. Esiselkeytetyssä vedessä ilman kemikaalilisäystä *E. kolibakteereita* ei poistunut.

Taulukko 25. Kiekkosuodatuksen vaikutus suolistoperäisten enterokokkien ja E.colin esiintyvyyteen. Ylhäällä esiselkeytetty vesi, alhaalla jälkiselkeytetty vesi. 20 µm kankaat.

	Ilman kemikaalilisäystä		8 mg/l alumiini, 3mg/l polymeeri	
	In	Out	In	Out
Suol.p.enterok.	10000	4200	820	< 10
E. coli pmy/100ml	>240 000	>240 000	>240 000	31 000

	Ilman kemikaalilisäystä		1 mg/l alumiini, 1 mg/l polymeeri	
	In	Out	In	Out
Suol.p.enterok.	590	930	3400	300
E. coli pmy/100ml	19000	16000	22000	2800

Verrattuna viimeaikaisiin annettuihin ympäristölupamääräyksiin, jossa fekaalisten koliformien ja enterokokkien osalta poistuman tulee olla vähintään keskimäärin 90 % verrattuna puhdistamolle tulevan jäteveden pitoisuuteen (Vesilaitosyhdistys 2015) kiekkosuodatin voisi riittää hygienisointiin kemikaalilisäyksellä.

Euroopan Unionin uimavesidirektiivin mukaan toimenpideraja yksittäisissä valvontatutkimuksissa sisämaan uimavesissä on suolistoperäisille enterokokeille 400 pmy/mpn/100 ml ja rannikon uimavesille 200 pmy/mpn/100 ml. *E. kolibakteereille* vastaavat arvot ovat 1 000 ja 500 pmy/mpn/100 ml. (STTV 2008) Taulukon 25 ja liitteen 13 tulosten mukaan kemikaalilisäyksellä kiekkosuodattimelta lähtevän veden suolistoperäiset enterokokkien

määrä oli < 10 ja 300 pmy/100 ml välillä ja E. kolibakteerien 2 800 ja 31 000 pmy/100 ml välillä. E. kolibakteerien määrä ylittää kaikissa näytteissä selvästi uimavesidirektiivin asettamat enimmäisarvot.

6.7 Kankaat

Kiekkosuodattimen pesuvedestä ei ollut mahdollista ottaa näytteitä koejakson aikana. Pesuveden avulla olisi voitu laskea massatase ja arvioida, kuinka paljon kankaisiin kerääntyy lietettä. Kuvassa 45 nähdään suodatinkankaat puhtaina ja juuri asennettuina sekä käytön jälkeen likaisina. Visuaalisten havaintojen mukaan kankaisiin kerääntyy pesusta huolimatta jonkin verran lietettä erityisesti kasettien päätyihin ja reunoihin. Tämä voi pitkän käytön jälkeen vaikuttaa kiekkosuodattimen kapasiteettiin ja vaikuttaa kankaiden pesutarpeeseen.



Kuva 45. Suodatinkankaat puhtaina ja likaisina.

7 Tulosten tarkastelua ja pohdintoja

Kiekkosuodattimella saadut tulokset ohitusvesien käsittelyssä kemikaalilisäyksellä olivat erittäin hyvät. Ohitusvesien käsittelyssä optimikemikaaliannostus oli maltillista (8 mgAl⁺/l alumiini- ja 3 mg/l polymeerilisäys) ja kaikissa optimikemikaaliannostuksella tehdyissä koeajoissa kiekkosuodattimelta lähtevän veden kokonaisfosfori jäi alle 0,12 mg/l pitoisuuteen. Virtaaman nostaminen maksimiinsa ei vaikuttanut puhdistustehoon. Kiekkosuodattimen muuttaminen ohitusvesien käsittelyyn oli nopeaa ja vaikutukset lähtevässä vedessä alkoivat näkyä muutamissa kymmenissä minuuteissa. Myös vaihtaminen ohitusvesien käsittelyn ja tertiäärikäsittelyn välillä ei kokeiden perusteella aiheuta ongelmia lähtevän veden laadun kannalta. Todellinen vaikutus nähdään kuitenkin käytössä mahdollisten pitkien ohitusvesien käsittelyjaksojen jälkeen.

Ilman kemikaalilisäystä kiekkosuodattimella ei ollut mahdollista poistaa fosforia ja kiintoainetta tehokkaasti ja lähtevän veden fosforipitoisuudet olivat moninkertaiset verrattuna uuden ympäristöluvan määrittelemään 0,3 mg/l enimmäisfosforipitoisuuteen. Tämä tulos vastasi aikaisempien kiekkosuodatuskoeajojen tuloksia Vuohiniemen (Rytkönen 2012) ja Mercedin (Knapp & Tucker 2006) puhdistamoilta.

Riippuen vastaanottavasta vesistöstä sekä ympäristöluvan asettamasta vähimmäispoistumasta, kiekkosuodatin voisi mahdollisesti riittää jäteveden hygienisoimiseen. Menetelmä voi olla kuitenkin epävarma ja vaatisi ainakin lisätutkimuksia. Kiekkosuodatuksen vaikutus muihin jäteveden parametreihin, kuten biologiseen ja kemialliseen hapenkulutukseen, kiintoaineeseen, sameuteen, absorbanssiin tai taudinaiheuttajiin, ei ollut yhtä selkeä ja merkittävä kuin vaikutus jäteveden fosforipitoisuuteen.

Koejakson aikana ei tapahtunut todellisia ohitustilanteita, minkä takia kemikaalitarvetta ja kiekkosuodattimen käyttäytymistä todellisessa käyttötilanteessa ei voitu tutkia. Ohitusvedet voivat olla laadultaan erilaisia ja ovatkin usein laimeampia ja kylmempiä, kuin mitä pilot-kokeilla tehdyt esiselkeytetyt jätevedet olivat. Hermanninsaaren puhdistamon vuoden 2015 toisen vuosineljänneksen tarkkailutuloksissa kahden näytteenottopäivän aikana tapahtui biologisen prosessin ohitusta. Kyseisinä näytteenottopäivinä esiselkeytetyn veden kokonaisfosforipitoisuus oli 1,3 ja 1,7 mg/l ja muina päivinä, kun ohituksia ei ole tapahtunut, fosforipitoisuus oli 2,1-3,2 mg/l. Laimeammat vedet vaativat pienemmän kemikaalisyötön, mutta toisaalta alhainen lämpötila voi heikentää kemikaalien reagointia ja siten kiekkosuodatuksen toimivuutta. Koejaksojen aikana kiekkosuodattimelle tulevan veden lämpötila oli noin 11-15 celsiusastetta. Vuonna 2015 puhdistamon vesien lämpötila oli 7-17 celsiusastetta eli ajoittain paljon kylmempiä kuin koeajoissa.

Kemikaalien reagoimiseen vaikuttaa lämpötilan lisäksi myös veden pH. Veden pH:lla on vaikutusta etenkin PAXin toimivuuteen. Alumiinipohjaisille saostuskemikaaleille optima pH on 5,6-6 (RIL 124-2, 2004). Puhdistetun jäteveden pH oli hieman yli 6,5 ja esiselkeytetyn veden pH noin 7,0. PAXin saostumista olisi mahdollista parantaa säätämällä veden pH:ta, mutta suuressa mittakaavassa tämä nostaisi käyttökustannuksia ja vaikeuttaisi prosessinohjausta.

Flokin muodostuminen kiekkosuodatuksessa on tärkeä vaihe, jotta flokki olisi tarpeeksi suurta ja vahvaa jäädäkseen suodatinkankaille. Flokin muodostumiseen vaikuttavat kemikaaliannostus, sekoitus- ja hämmennysnopeudet ja mahdolliset leikkaavat voimat. Koelaitteistossa sekoitusnopeuksia pidettiin vakioina, joten optimointia olisi mahdollista hakea vielä sekoitusnopeuksia säätämällä. Ljunggren et al. (2005) ja Rytkösen (2012)

mukaan kiekkosuodatuksen suunnittelussa tulisi ottaa huomioon ja pyrkiä minimoimaan pumppujen ja putkien aiheuttamia leikkausjännityksiä flokkien rikkoutumisen estämiseksi. Vastaavaa huomattiin myös Hermanninsaaren koeajoissa. Koelaitteistossa veteen aiheutui leikkaavaa voimaa, kun vesi virtasi hämmennysaltaista ylivuotopadon kautta putkeen ja siitä suodattimelle, mikä aiheutti ajoittain flokin rikkoutumista.

7.1 Kiekkosuodattimen kapasiteetit eri ajotilanteissa

Vaikka kiekkosuodattimen puhdistusteho kemikaalilisäyksellä oli hyvä, söi kemikaalilisäys merkittävästi suodattimen hydraulista kapasiteettia puolittaen sen ohitusvesien käsittelyssä sekä vesissä, joissa puolet oli ohitusvettä ja puolet puhdistettua jätevettä. Tertiäärikäsittelyssä hydraulinen kapasiteetti putosi noin kolmasosan. Kiekkosuodattimen mitoittavaksi tekijäksi nousee ohitusvesien käsittelyn kapasiteetti. Kemikaalilisäys lisää investointikustannuksia, koska se lisää tarvittavaa suodatinpinta-alaa ja kasvattaa siten kiekkosuodatinlaitoksen kokoa. Investointikustannuksia lisäävät myös tarvittavat pikasekoitus- ja hämmennysaltaat.

Taulukossa 26 on koottu eri ajotapojen hydraulisia kapasiteetteja maksimivirtaamina sekä kiintoainekuormina. Maksimivirtaama on virtaama, jolloin kankaat pesevät 100 % ajasta.

Taulukko 26. Kapasiteetit ohitusvesillä ilman kemikaalilisäystä 10 ja 20 µm kankailla.

	Maksimivirtaama m ³ /h	Maksimikiintoainekuorma g/m ² /h
Ohitusvedet, ei kemikaalilisäystä		
10 µm	52–65	600–670
20 µm	70	780–820
Ohitusvedet, kemikaalilisäys		
20 µm	35	400–420
Yhdistelmäajo, ei kemikaalilisäystä		
20 µm	80	766–780
Yhdistelmäajo, kemikaalilisäys		
20 µm	40	291–305
Tertiäärikäsittely, ei kemikaalilisäystä		
10 µm	70	58
20 µm	90	55–57
Tertiäärikäsittely, kemikaalilisäys		
20 µm	60	15–36

Saatujen tulosten perusteella vaikuttaa, että suodattimen kapasiteettia ohjaa enemmän virtaama kuin kiintoainekuorma. Ilman kemikaalilisäystä maksimivirtaama oli kaikissa koeajoissa 20 µm kankailla 70–90 m³/h. Kemikaalilisäyksellä maksimivirtaama oli 35–60 m³/h. Kiintoainekuorma ilman kemikaalilisäystä oli 55–820 m³/h ja kemikaalilisäyksellä 15–420 m³/h. Kiintoainekuormissa oli siis enemmän hajontaa kuin virtaamissa. Pienemällä huokoskoolla maksimivirtaama ja kiintoainekuorma olivat pienempiä esiselkeyteyllä vedellä. Jälkiselkeyteyllä vedellä kiintoainekuorma oli sama molemmilla kangasko'illa, mutta maksimivirtaaman välillä oli 20 m³/h eroa.

Hydraulinen kapasiteetti ohitusvesien ja yhdistelmäajon, jossa puolet tulevasta vedestä oli ohitusvettä, välillä ei ollut merkittävä. Ohitusvesillä hydraulinen kapasiteetti kemikaalilisäyksellä oli 35 m³/h ja yhdistelmällä 40 m³/h. Tämän perusteella kiekkosuodattimen vaatima pinta-ala ja siten myös investointikustannukset olisivat pienempiä, jos kiekkosuodatinyksikkö rakennettaisiin hybridiperiaatteella, jolloin suodattimelle johdettaisiin

vain ohitusvettä tai jälkiselkeytettyä vettä. Valittavaan ajotapaan vaikuttavat kuitenkin myös muut tekijät, kuten tekniset rajoitteet ja prosessinohjauksen helppous. Arvidstropin puhdistamolla kiekkosuodattimelle johdetaan kaikki vedet ja tulokset ovat olleet hyvin lupaavat (Kängsepp et al. 2016).

Hermanninsaaren koeajojen tuloksissa ja kokemuksissa on yhtäläisyyksiä muihin kokemuksiin ja koeajoihin. Lapuan ja Viikinmäen jätevedenpuhdistamoiden kiekkosuodatuskoeajojen mukaan suodattimen kapasiteetti oli pienempi esiselkeytetyillä ja karkeaväl-pätyillä jätevesillä kuin puhdistetulla jätevedellä (Kuokkanen 2015; Rossi 2014; Perälä 2011). Vuohiniemen puhdistamon kokemusten mukaan suodatinkankaiden pienemmällä huokoskoolla on mahdollista saavuttaa parempia puhdistustuloksia, mutta toisaalta pieni huokoskoko lisää kankaiden tukkeutumista (Rytkönen 2012). Myös Persson et al. (2006) mukaan suodatinkoko vaikuttaa puhdistustulokseen. Hermanninsaaren koeajoissa ei huomattu merkittävää eroa eri suodatinkankaiden puhdistustulosten välillä, mutta vaikutus hydrauliseen kapasiteettiin oli huomattavissa (Rossi 2014). Hermanninsaaren koeajot vastaavat hyvin myös muun kirjallisuuskatsauksen mukaisia löydöksiä tulevan kiintoai-nekuorman ja huokoskoon vaikutuksista hydrauliseen kapasiteettiin, pesutiheyteen ja kankaiden tukkeutumiseen.

7.2 Vertailu muihin ohitusvesien käsittelymahdollisuuksiin

Verrattuna muihin ohitusvesien käsittelymahdollisuuksiin, eli mikrohiekalla tehostettuun selkeytykseen ja flotaatioon, kiekkosuodattimen etuina ovat sen käyttömahdollisuus ja hyöty myös ilman kemikaalilisäystä sekä sen pieni painehäviö. Kiekkosuodatuksella on mahdollista vähentää jälkiselkeytetystä jätevedestä fosforia ilman kemikaalilisäystä, alhaisilla kustannuksilla ja energiakulutuksella sekä hyvällä toimintavarmuudella. Koeajojen perusteella suodattimen pesutiheys ja siten energiakulutus on alhainen tertiäärikäsitelyssä ilman kemikaalilisäystä. Arvidstropin puhdistamon kokemusten mukaan energia-kustannuksia on mahdollista vähentää entisestään käyttämällä vain toista suodatinyksikköä, kun ohitustilanteita ei esiinny ja mikäli laitoksella on enemmän kuin yksi suodatin-linja käytössä (Kängsepp et al. 2016).

Mikrohiekalla tehostetun selkeytyksen ja flotaation etuihin lukeutuvat toisaalta se, että ne voidaan tarvittaessa helposti käynnistää ja sulkea käyttötauon pitämiseksi (Tahvanainen 2017; Tuomi 2016; Vesala 2016). Kiekkosuodatin vaatii aina kemiallisen pesun, mikäli se sammutetaan. Flotaation käytössä on kuitenkin raportoitu lietteen kerääntymistä altaan pohjalle ja muihin osiin yksikön sammuttamisen yhteydessä, jolloin yksikön käynnistäminen tauon jälkeen voi huonontaa hetkellistä lähtevän veden laatua (Vesala 2016).

Tarvittavat kemikaalimäärät ovat samaa suuruusluokkaa kiekkosuodatuksessa, mikrohiekalla tehostetussa selkeytyksessä ja flotaatiossa. Kaikissa menetelmissä fosforinpois-totehokkuudet ovat myös hyviä ja alle 0,5 mg/l fosforipitoisuuksiin on päästy monin paikoin. Kiekkosuodattimen vaatima pinta-ala on kuitenkin suhteellisen suuri kemikaalili-säyksellä ja suodatinkankaat vaativat ajoittain kemikaalipesua. Muiden puhdistamoiden kokemusten mukaan kiekkosuodattimen vaativan happopesun tiheys voi olla jopa kuusi viikkoa (Kängsepp et al. 2016; Mäkelä 2016), mikä lisää kiekkosuodattimen käyttökus-tannuksia. Myös pesusuuttimien mahdollinen tukkeutuminen voi lisätä kiekkosuodatti-men huoltotarvetta ja käyttökustannuksia. Kiekkosuodattimen mitoitus, ohitusvesien määrä ja kemikaaliannostus vaikuttavat kuitenkin tarvittavaan kemiallisen pesun tihey-teen sekä kankaiden ja suuttimien tukkeutumiseen.

7.3 Kiekkosuodatus ja esisaostus

Mikäli kiekkosuodatin rakennetaan Hermanninsaaren puhdistamolle ohitusvesien käsittelyyn, vaatisi suodatin kemikaalilisäyksen sekä pikasekoitus- ja hämmennysaltaat. Esisaostus on mahdollista pitää kiekkosuodattimen rinnalla, mutta PAXin syöttäminen pelkäästään kiekkosuodattimella tuo mukanaan etuja. Tällä hetkellä esisaostukseen syötetään PAXia 100 g/m^3 . Esisaostuksessa PAXia syötetään vakiomäärä riippumatta ohitukseen menevän osuuden suuruudesta. Kiekkosuodattimella kemikaalimäärää voidaan säätää suhteessa ohitukseen menevän veden osuuteen. Maksimivirtaamalla, jossa puolet jätevedestä menee ohitukseen, kiekkosuodattimella päästiin alle $0,1 \text{ mg/l}$ fosforipitoisuuteen $5 \text{ mg Al}^+/l$ (54 g/m^3 PAX) alumiinilisäyksellä ja $2,5 \text{ mg/l}$ polymeerilisäyksellä. Todellisuudessa tarvittava kemikaalimäärä olisi varmasti pienempi laimeampien ohitusvesien takia. Pienemmilläkin kemikaaliannostuksilla, esimerkiksi $2 \text{ mgAl}^+/l$ alumiini- (24 g/m^3 PAX) ja 2 mg/l polymeerilisäyksellä olisi mahdollista päästä alle $0,3 \text{ mg/l}$ fosforipitoisuuteen. Arvidstropin puhdistamolla kiekkosuodatuksella on päästy $0,05\text{-}0,35 \text{ mg/l}$ fosforipitoisuuksiin $2 \text{ mgAl}^+/l$ alumiinilisäyksellä ja $0,7\text{-}1 \text{ mg/l}$ polymeerin syötöllä tulevan veden fosforipitoisuuden ollessa $0,2\text{-}0,8 \text{ mg/l}$ (Kängsepp et al. 2016).

Pilot-kokeiden perusteella kiekkosuodattimen käynnistymisvaihe on nopea ja suodatinta on joustava käyttää, kun taas esisaostuksessa voi kestää yli vuorokausi, että ohitusvesien kokonaisfosforipitoisuus laskee alle $0,3 \text{ mg/l}$ pitoisuuden. Lisäksi alumiinipohjaiset kemikaalit saattavat häiritä nitrifikaatiota ja siten typenpoistoa. Vuoden 2014 alussa Hermanninsaaren puhdistamolla tehtyjen esisaostuskokeiden aikana huomattiin, että esisaostus nosti huomattavasti lähtevän veden ammoniumtyppipitoisuutta. Vuoden 2016 kesän ja syksyn aikana esisaostuksen käytössä ei kuitenkaan huomattu olevan vaikutusta biologiseen prosessiin. Jätevesien alhainen lämpötila saattaa aiheuttaa herkkyttä nitrifikaatiobakteereiden toimintaan, jolloin esisaostuksen vaikutus voi näkyä herkemmin biologisen prosessin toiminnassa. Kiekkosuodatuksessa PAXin syöttö voidaan siirtää suodattimelle, jolloin voidaan eliminoida PAXin mahdollinen haitta muille prosessinvaiheille. Koska PAX on kallis kemikaali, voi kemikaalisyötön siirtäminen kiekkosuodattimelle vähentää kemikaalikustannuksia.

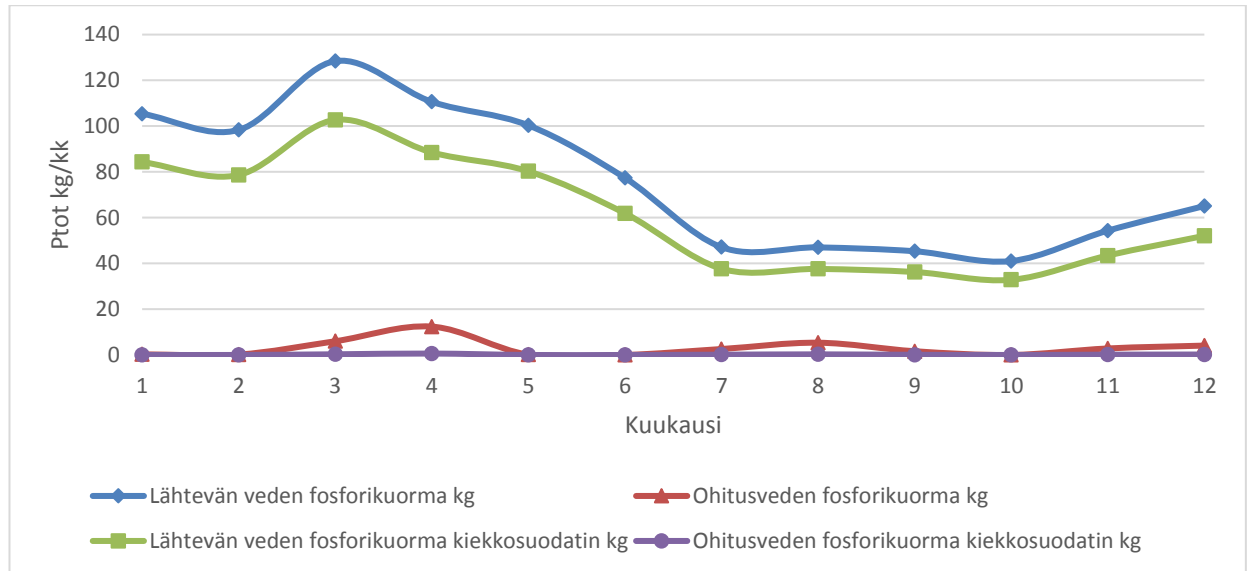
7.4 Vaikutus fosforikuormaan

Kiekkosuodatuskoeajojen aikana ei tapahtunut kunnollisia ohitustapahtumia, jonka avulla kiekkosuodatuksen vaikutusta Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon fosforikuormaan olisi voitu laskea. Kiekkosuodatuksen laskennallista vaikutusta vesistön fosforikuormaan laskettiin vuosien 2015 ja 2016 tietojen perusteella kuukausitasoilla, vuosineljänneksillä sekä vuositasoilla. Laskelmissa oletettiin esiselkeytetyn ja jälkiselkeytetyn veden kokonaisfosforipitoisuudet vakioiksi vuosineljänneksien keskiarvojen mukaan, lukuun ottamatta näytteenottopäivien tuloksia. Fosforikuormat laskettiin päivittäisten virtaamien mukaan.

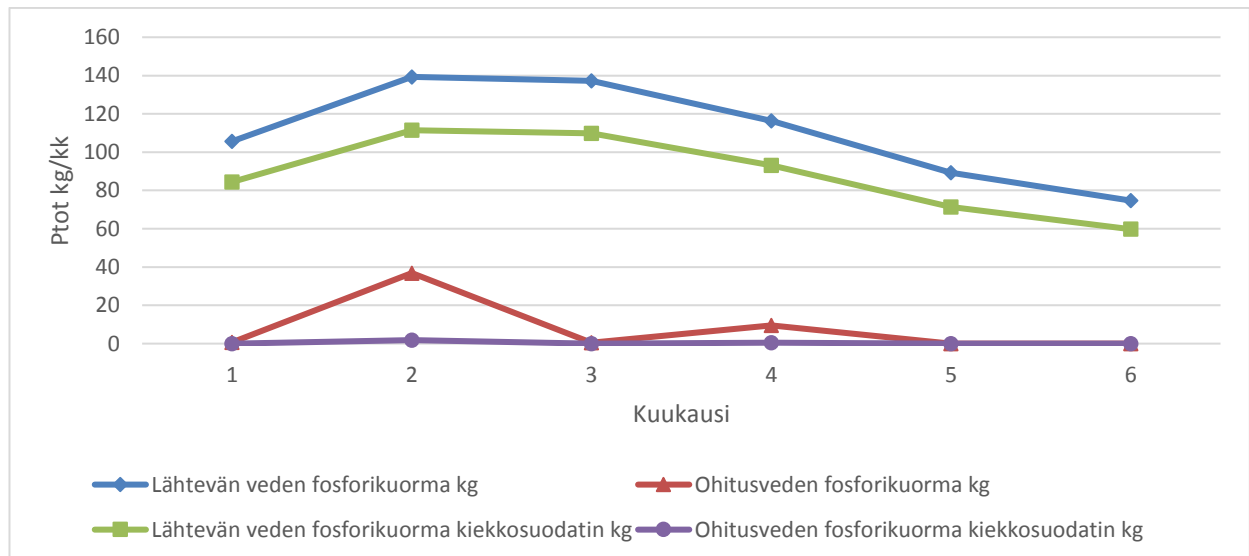
Fosforikuormien laskelmissa käytettiin oletusta, että kaikki jätevedet (ohitusvedet + jälkiselkeytettyt vedet) johdetaan kiekkosuodattimelle. Fosforireduktiot laskettiin erikseen molemmille jätevesifraktioille ja molemmille asetettiin vakio fosforinpoistoreduktio. Laskelmissa käytettiin oletusta, että tertiäärikäsittelyssä, kun prosessiohituksia ei olisi, kiekkosuodatin pyörisi ilman kemikaalilisäystä. Kemikaalisyöttö kytkettäisiin päälle vasta ohitusvesien kohdalla. Pilot-kokeissa tertiäärikoeajoissa $20 \mu\text{m}$ kankailta ilman kemikaalilisäystä jälkiselkeytetyn veden kokonaisfosforipitoisuus oli keskimäärin $0,11 \text{ mg/l}$ ja fosforireduktio suodattimella $8\text{-}33 \%$. Fosforikuorman laskennoissa käytettiin

koeajojen tulosten keskiarvoa 20 %. Ohitusvesitapahtumissa jälkiselkeytetyn veden fosforireduktio pidettiin 20 %, vaikka todellisuudessa kemikaalilisäys nostaisi reduktiota. Ohitusvesien fosforikuormalaskennoissa käytettiin koeajoissa saatujen fosforireduktioiden keskiarvoa 95 %.

Vuoden 2015 ja 2016 lähtevän veden ja ohitusvesien fosforikuormat on esitetty kuukausitasolla kiekkosuodatuksella ja ilman kuvissa 46-47. Laskelmat on esitetty liitteessä 14. Lähtevän veden ja ohitusvesien fosforikuormat muodostavat yhdessä vesistöön menevän fosforikuorman.

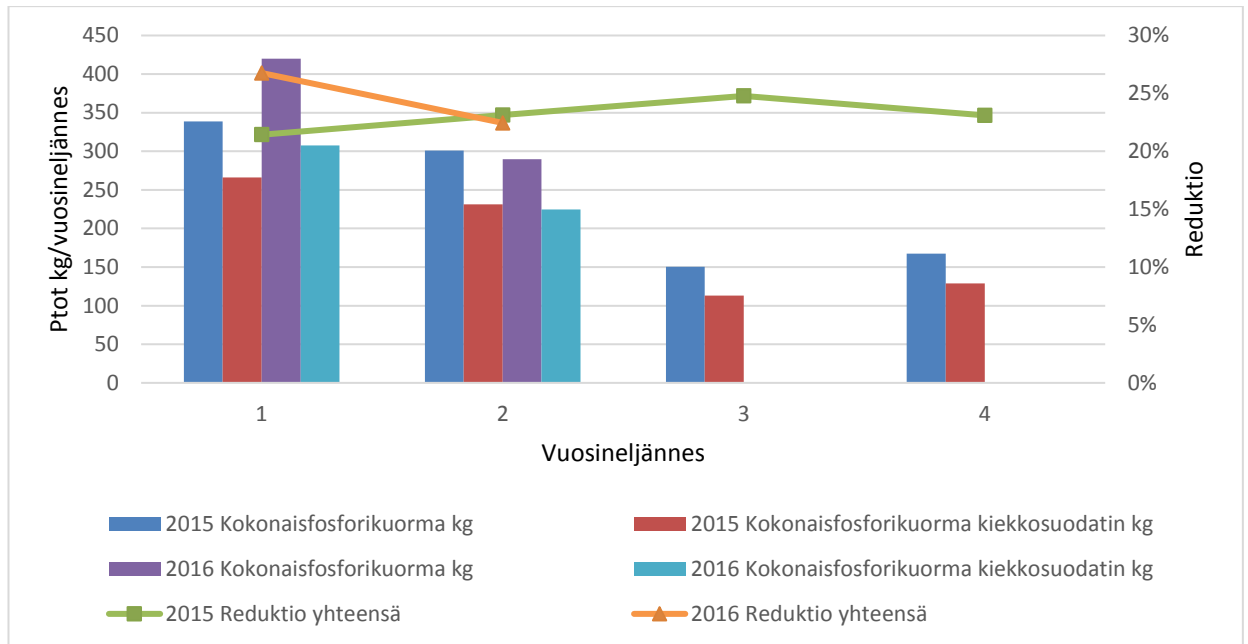


Kuva 46. Vuoden 2015 kuukausittaiset lähtevän veden ja ohitusvesien fosforikuormat kiekkosuodatuksella ja ilman.



Kuva 47. Vuoden 2016 kuukausittaiset lähtevän veden ja ohitusvesien fosforikuormat kiekkosuodatuksella ja ilman.

Vuosineljänneksellä katsottuna kiekkosuodatuksella saataisiin vähennetty mereen menevää fosforikuormaa noin 65-112 kg (kuva 48).



Kuva 48. Vuosien 2015 ja 2016 vuosineljännesten kokonaisfosforikuormat kiekkosuodatuksella ja ilman.

Kiekkosuodatuksella on mahdollista leikata tehokkaasti ohitusvesien aiheuttamia kuormituspiikkejä ja laskea myös jälkiselkeytetyn veden fosforikuormia. Vuoden 2015 tiedoilla laskettuna kiekkosuodatus voisi vähentää vuodessa 218 kg fosforikuormaa vesistöön ja vuoden 2016 tiedoilla puolessa vuodessa 178 kg. Jälkiselkeytetylle vedelle asetettiin laskelmissa vakio 20 % poistoreduktio, mutta todellisuudessa poistoreduktio voi olla suurempi korkeampien kuormitusten ja kemikaalilisäyksien aikaan. Ohitusvesien fosforireduktio laskettiin myös vakioksi, 95 %. Kiekkosuodatuksella on kuitenkin myös mahdollista saavuttaa lupaehtojen mukainen fosforipitoisuus myös pienemmällä kemikaaliannostuksella ja poistoreduktiolla.

7.5 Polymeerin vaikutus

Polymeerin valinnalla ja syötöllä on suuri merkitys kiekkosuodatuksessa. Polymeeri vaikuttaa yhdessä PAXin kanssa flokin muodostumiseen ja siten puhdistustuloksiin, mutta myös pesutiheyteen ja suodattimen kapasiteettiin. Liian pienillä polymeerimäärillä syntyvä flokki oli liian pientä ja saattoi muuttua liejumaisesti, mikä aiheutti hyvin pitkiä suodattimen pesuaikoja. Kiekkosuodatinta ei voinut ajaa pelkällä PAX-lisäyksellä vaan PAXia lisättäessä piti myös lisätä polymeeriä. Ilman polymeeriä suodatin meni hetkessä tukkoon. Koejakson aikana polymeerin lisäys keskeytyi muutamia kertoja PAXin lisäämisen yhteydessä, jolloin kankaiden tukkeutuminen näkyi heti. Laitetoimittajalla oli myös samanlaisia kokemuksia.

Polymeerin valinta vaikutti fosfori- ja kiintoainereduktioihin, mutta myös pesutiheyteen ja kankaiden kapasiteettiin. Anionisella polymeerillä kankaat pesivät tiheämmin ja kankaiden kapasiteetti oli alhaisempi kuin kationisella polymeerillä.

Kiekkosuodatuksella tehtiin kokeita myös pelkällä polymeerilisäyksellä. Kyseisissä koeajoissa näytti siltä, että pelkän polymeerin lisääminen ei vaikuttanut kiintoaine- ja fosforireduktioihin. Myöhemmin kokeiden edetessä kävi ilmi, että kiekkosuodatuskoelaitteistossa oleva virtausmittari näytti väärää lukemaa, joka oli noin 2,5-kertaa pienempi kuin

todellinen virtaus. Pelkällä polymeerillä tehdyissä kokeissa polymeerin lisäys oli todellisuudessa hyvin pieni, maksimissaan 0,8 mg/l, mikä on vaikuttanut pieniin fosforireduktioihin.

Hermanninsaaren puhdistamolla esiselkeytetyn veden korkea liukoisen fosforin pitoisuus vaikuttaa myös tarvittaviin kemikaaleihin ja pelkän polymeerin syötön riittävyteen. Koejakson aikana esiselkeytetyn veden liukoisen fosforin pitoisuus vaihteli 0,15 ja 0,98 mg/l välillä. Ohitusvedet ovat usein laimeampia ja mikäli ohitusvedet yhdistetään jälkiselkeytettyjen vesien kanssa, laskee tämä edelleen kiekkosuodattimelle tulevan veden liukoisen fosforin määrää. Mikäli kiekkosuodatin rakennetaan Hermanninsaareen, voidaan pelkän polymeerin lisäämisen puhdistusteho tutkia tarvittaessa eri ajotavoilla.

8 Yhteenveto

Porvoon Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon uusitun ympäristöluvan mukaan fosforin luparaja kiristyi 0,5 mg/l enimmäispitoisuudesta 0,3 mg/l pitoisuuteen vuoden 2017 alusta. Keväälle ajoittuvat huippuvirtaamat ja niistä aiheutuvat biologisen prosessin ohitukset aiheuttavat kuitenkin ajoittain uuden luparajan ylittymistä ensimmäisellä ja toisella tarkkailuvuosineljänneksellä. Laitoksella on ollut vuoden 2016 kevästä asti käytössä esi-saostus ohitusvesien käsittelyyn. Parantaakseen kuitenkin toimintavarmuuttaan ohitusvesien aikaan Hermanninsaaren puhdistamolla tutkittiin kiekkosuodattimen soveltuvuutta ohitusvesien käsittelyyn ja toteutettiin kolmen kuukauden kiekkosuodatuskoeajot.

Kiekkosuodatuskoeajojen perusteella kiekkosuodatin soveltuu hyvin ohitusvesien käsittelyyn Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamolla. Ilman kemikaalilisäystä kiekkosuodatuksella ei ollut kuitenkaan mahdollista saavuttaa merkittäviä fosforireduktioita, eli ohitusvesien käsittely vaatisi laitoksella aina kemikaalilisäyksen ennen suodatinta. Optimikemikaaliannostuksella, eli 8 mgAl⁺/l alumiinilisäyksellä ja 3 mg/l polymeerin lisäyksellä, oli mahdollista saavuttaa yli 95 % fosforireduktio ohitusvesissä. Tällöin ohitusvesien fosforipitoisuus laski keskimäärin 1,8-2,7 mg/l pitoisuudesta 0,081-0,11 mg/l pitoisuuteen.

Mikäli kiekkosuodatinyksikkö rakennettaisiin Hermanninsaaren puhdistamolle, toimisi suodatin todennäköisesti prosessin normaalitilanteissa, kun prosessiohituksia ei esiintyisi, laitoksen tertiäärikäsittely-yksikkönä. Prosessiohituksissa suodattimelle virtaisi joko vain ohitusvettä tai ohitusvettä ja jälkiselkeytettyä jätevettä sekoittuneena. Koeajoissa yksi ensisijaisista tavoitteista oli selvittää, kuinka vaihto tertiäärikäsittelyn ja ohitusvesien käsittelyn välillä toimisi. Kemikaalien käyttö ja likaisten ohitusvesien käsittely voi jättää suodatinkankaiden pinnalle lietettä, joka voi karata lähtevän veden mukana, kun suodatin muutetaan takaisin tertiäärikäsittelyksi. Tulosten mukaan vaihto ohitusvesien käsittelystä tertiäärikäsittelyyn ei aiheuttanut merkittäviä kiintoainepitoisuuksia tai sameutta suodattimelta lähtevässä vedessä. Myös vaihto tertiäärikäsittelystä ohitusvesien käsittelyyn oli joustavaa ja suodattimelta lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuus pysyi jatkuvasti reilusti alle 0,3 mg/l pitoisuuden.

Kemikaalilisäys paransi merkittävästi kiekkosuodatuksen puhdistustehoa, mutta se pienensi toisaalta suodattimen hydraulista kapasiteettia. Ohitusvesien käsittelyssä tämä merkitsi hydraulisen kapasiteetin pienenemistä puoleen verrattuna kapasiteettiin ilman kemikaalilisäystä. Koeajojen perusteella ei voida kuitenkaan varmasti sanoa, ohjaako tuleva kiintoainekuorma vai virtaama suodattimen kapasiteettia. Kiintoainekuormissa oli kuitenkin enemmän hajontaa kuin virtaamissa, mikä viittaisi siihen, että virtaama ohjaisi suodattimen kapasiteettia.

Hermanninsaaren puhdistamon lähtevän veden fosforipitoisuus on yleisesti noin 0,1-0,2 mg/l tasoa eli tarvetta kemikaalilisäykselle tertiäärikäsittelyssä ei tällä hetkellä ole. Kiekkosuodatuksella oli kuitenkin mahdollista saada 8-46 % fosforireduktio ilman kemikaalilisäystä ja 59-74 % fosforireduktio kemikaalilisäyksellä.

Vaikka kiekkosuodatin poisti fosforia erittäin tehokkaasti, sen vaikutus jäteveden muihin ravinnepitoisuuksiin ei ollut yhtä merkittävä. Kemikaalilisäys paransi kiintoaineen poistoa, mikä edisti myös orgaanisen aineksen, fosforin ja sameuden reduktioita. Typenfraktioihin kiekkosuodatuksella ei ollut vaikutusta. Taudinaiheuttajien osalta kemikaalilisäys

paransi E. kolibakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien reduktioita, mutta E. kolibakteerien määrä ylitti kaikissa näytteissä Euroopan Unionin uimavesidirektiivin asettamat enimmäisarvot.

Kiekkosuodatinta on mahdollista ajaa rinnakkain esisaostuksen kanssa. Esisaostus ei kuitenkaan poista tarvetta kemikaalilisäykselle ennen kiekkosuodatinta. Kiekkosuodatuksella olisi mahdollista poistaa prosessin esisaostus, mikä vähentäisi kemikaalitarvetta, lisäisi toimintavarmuutta ja estäisi saostuskemikaalin mahdollisia haittavaikutuksia nitrifikaatioon.

Lähteet

Aluehallintovirasto. 2015. Päätös, Nro 10/2015/2, Dnro ESAVI/353/04.08/2012. Annettu julkipanon jälkeen 5.2.2015. Hermanninsaaren jätevedenpuhdistamon ympäristöluvan lupamääräysten tarkistaminen, Porvoo.

Aqua-Aerobic Systems, Inc. 2016. AquaDisk: Cloth media filter with OptiFiber [verkkojulkaisu]. [Viitattu 9.6.2016]. Saatavissa:

<http://www.aqua-aerobic.com/index.cfm/products-systems/filtration/aquadisk/>

Aqua-Aerobic Systems, Inc. 2015. The evaluation of OptiFiber PES-14® cloth media filtration for application in combined sewer overflow treatment [verkkodokumentti].

[Viitattu 7.7.2016]. Saatavissa: <http://buyersguide.pennwell.com/Shared/User/pr0607b7e3fd704a5a97984546ff0a376f.pdf>

Aquaflow Oy. Actiflo-laitos tertiääri- ja ohitusvesien käsittelyyn. Hangan vesi- ja viemärilaitos, Suursuon jätevedenpuhdistamo [verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.6.2016]. Saatavissa: <http://spotidoc.com/doc/3482218/actiflo--hanko--suursuon-j%C3%A4tevedenpuhdistamo>

Arnold, S.R. & Grubb, T. P. & Harvey, P. J. 1995. Recent applications of dissolved air flotation pilot studies and full scale design. Water Science and Technology, vol. 31:3-4, s. 327-340. [http://dx.doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00227-E](http://dx.doi.org/10.1016/0273-1223(95)00227-E)

Bourgeois, K. N. & Riess, J. & Tchobanoglous, G. & Darby, J. L. 2003. Performance evaluation of a cloth-media disk filter for wastewater reclamation. Water Environment Research, vol. 75:6, s. 532-538.

Bratby, J. 2006. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. 2nd edition. Seattle, WA: IWA Publishing. ISBN 978-1-68015-590-7

Carpenter, S.R. 2005. Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus. PNAS [verkkolehti], vol. 102:29, s. 10002-10005. [Viitattu 28.1.2017]. Saatavissa: <http://www.pnas.org/content/102/29/10002.long> doi: 10.1073/pnas.0503959102

Carpenter, S.R. 2008. Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. PNAS [verkkolehti], vol. 15:32, s. 11039-11040. [Viitattu 11.1.2017]. Saatavissa: http://spokanriver.net/wp-content/uploads/2011/03/Carpenter_PNAS.pdf doi: 10.1073/pnas.0806112105

Castrén, J. 2015. Selvitys jätevesiohituksista. Helsinki: Suomen Vesilaitosyhdistys ry. [Viitattu 20.6.2016]. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 35 [verkkojulkaisu], 26 s. Saatavissa: http://www.vvy.fi/files/4255/Selvitys_jatevesiohituksista.pdf ISSN 2242-7279. ISBN 978-952-6697-03-1 (pdf).

City of Merced. S.a. Wastewater treatment plant [verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.7.2016]. Saatavissa: https://www.cityofmerced.org/depts/pw/wastewater_system/wwtp/#page-body

Crittenden, J. C. & Trussel, R. R. & Hand, D. W. & Howe, K. J. & Tchobanoglous, G. 2005. Water treatment: Principles and design (2nd ed.). Hoboken, N.J: Wiley.

- Diaz-Fierros, F. T & Puerta, J. & Suarez, J. & Diaz-Fierros F. V. 2012. Contaminant loads of CSOs at the wastewater treatment plant of a city in NW Spain. *Urban Water*. Vol 4:3, s. 291-299. [http://dx.doi.org.libproxy.aalto.fi/10.1016/S1462-0758\(02\)00020-1](http://dx.doi.org.libproxy.aalto.fi/10.1016/S1462-0758(02)00020-1)
- Edzwald, J. K. 2009. Dissolved air flotation and me. *Water Research*, vol 44:7, s. 2077-2106. <http://dx.doi.org.libproxy.aalto.fi/10.1016/j.watres.2009.12.040>
- EPA. 2016. United States Environmental Protection Agency. National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES). Municipal wastewater [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.2.2017]. Saatavissa: <https://www.epa.gov/npdes/municipal-wastewater>
- Gasperi, J. & Laborie, B. & Rocher, V. 2012. Treatment of combined sewer overflows by ballasted flocculation: Removal study of a large broad spectrum of pollutants. *Chemical Engineering Journal*, vol 211–212, s. 293–301
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.09.025>
- Grabbe, U. & Seyfried, C. F. & Rosenwinkel, K. H. 1998. Upgrading of wastewater treatment plants by cloth-filtration using an improved type of filter cloth. *Water, Science & Technology*, vol. 37:9, s. 143-150.
- Gu, A. Z. & Liu, L. & Neethlings, J. B. & Stensel, H. D. & Murthy, S. 2011. Treatability and fate of various phosphorus fractions in different wastewater treatment processes. *Water science and technology*, vol 63:4, s. 804-810.
- Guibelin, E. & Delsalle, F. & Biot, P. 1994. The Actiflo process: A highly compact and efficient process to prevent water pollution by stormwater flows. *Water Science and Technology*, vol 30:1, s. 87-96.
- Hach. 2016. Solitax sc käyttöopas. 07/2016, Edition 5. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.11.2016]. Saatavissa:
https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewi0ooqgyYnQAhXHJSwKHRhRC-ZIQFggkMAI&url=http%3A%2F%2Fuk.hach.com%2Fasset-get.download.jsa%3Fid%3D51271083851&usq=AFQjC-NEI3nQHH70jEwcBsWdLXkauFG6j3w&sig2=q-qoJyl_JaW-WopOnzLQNnA&bvm=bv.137132246,d.bGg
- Hanner, N. & Mattson, A. & Gruvberger, C. & Nyberg, U. & Aspegren, H. & Fredriksson, O. & Nordqvist, A. & Andersson, B. 2004. Reducing the total discharge from a large WWTP by separate treatment of primary effluent overflow. *Water Science and Technology*, vol 50:7, s. 157-162.
- Heinonen-Tanski, H. & Koivunen, J. 2005. Korkeapaineflotaatio ja peretikkahappodesinfiointi jäteveden käsittelyssä. *Vesitalous* nro 3. s. 18-23.
- Helcom. 2009. Eutrophication in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. *Balt. Sea Environ. Proc.* [verkkojulkaisu], no. 115B. [Viitattu 28.1.2017]. Saatavissa: <http://www.helcom.fi/Lists/Publications/BSEP115B.pdf>

- Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut. 2015. Viikinmäen jätevedenpuhdistamo [verkkojulkaisu]. [Viitattu 7.7.2016]. Saatavissa: <https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/jatevedenpuhdistus/Viikinmaki/Sivut/default.aspx>
- Hernebring, C., Andréasson, M., Forsberg B. 2000. Rapportering av årlig bräddning 1994–98. Erfarenheter från kommuner inom utvalda län. VA-FORSK Rapport 200014.
- Huber Technology. 2017. Huber disc filter RoDisc [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.2.2017]. Saatavissa: <http://www.huber.de/products/screens-and-fine-screens/ultra-fine-screens/huber-disc-filter-rodiscr.html>
- Keski-Saari, O. 2015. Erilainen jäteveden tertiäärikäsittely – Flotaatio ja Pile Fabric-kiekkosuodatus. Vesitalous nro 4. s. 41-45.
- Knapp, T. & Tucker, D. 2006. Side-by-side pilot testing of two disc filter manufacturers at city of Merced wastewater treatment plant. WEFTE, s. 3378-3386.
- Koivunen, J. & Heinonen-Tanski, H. 2008. Dissolved air flotation (Daf) for primary and tertiary treatment of municipal wastewaters. Environmental Technology, vol. 29: 1, s. 101-109. Doi: 10.1080/09593330802009410. ISSN: 0959-3330
- Kuokkanen, A. 2015. Kiekkosuodatuksen koeajot 2015. Jälki- ja ohitusvesien käsittely Dynadisc®-kiekkosuodattimella. Sisäinen raportti. Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut, HSY.
- Kängsepp, P. & Väänänen, J. & Örning, K. & Sjölin, M. & Olsson, P. & Rönnerberg, J. & Walleback, F. & Cimbritz, M. & Pellicer-Nàcher, C. 2016. Performance and operating experiences of the first Scandinavian full-scale Discfilter installation for tertiary phosphorus polishing with preceding coagulation and flocculation. Water Practice & Technology, vol 11:2. doi: 10.2166/wpt.2016.040
- Laitinen, J. & Nieminen, J. & Saarinen, R. & Toivikko, S. 2014. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT). Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Suomen ympäristö 3/2014 [verkkojulkaisu]. [Viitattu 20.6.2016]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/43199/SY_3_2014.pdf?sequence=1 ISSN 1238-7312 (pain.) ISSN 1796-1637 (verkkoj.).
- Langer, M. & Schermann, A. 2013. Performance evaluation of a cloth-media disk filter for wastewater reclamation. Feasibility of the microsieve technology for advanced phosphorus removal. Project acronym: OXERAM 2. Kompetenz zentrum wasser Berlin.
- Lapuan kaupunki. 2012. Vesihuollon kehittämissuunnitelma [verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.7.2016]. Saatavissa: <http://www.lapua.fi/files/Tiedostot/Vesihuollonkehittamissuunnitelma.pdf>
- Li, B. & Brett, M.T. 2011. The impact of alum based advanced nutrient removal processes on phosphorus bioavailability. Water research, vol 46:3, s. 837-844. <http://dx.doi.org.libproxy.aalto.fi/10.1016/j.watres.2011.11.055>

- Ljunggren, M. 2006. Micro screening in wastewater treatment – an overview. Vatten [verkkolehti], vol 62:2, s. 171-177. [Viitattu 4.7.2016]. Saatavissa: http://www.tidskriftenvatten.se/mag/tidskriftenvatten.se/dircode/docs/48_article_2139.pdf
- Ljunggren, M. & Nilsson, B. & Strube, R. & Jönsson, L. & Jansen, J. L. C. 2005. Microscreening for stormwater treatment. Vatten [verkkolehti], vol 61:2, s. 109-114. [Viitattu 11.7.2016]. Saatavissa: http://tidskriftenvatten.se/mag/tidskriftenvatten.se/dircode/docs/48_article_2652.pdf
- Mattson, A. & Nivert, G. & Heinonen, M. 2012. Direct precipitation on demand at large Scandinavian WWTPs reduces the effluent phosphorus load. Water Science and Technology, vol 65:12, s. 2106-2111. doi: 10.2166/wst.2012.126
- Mecana Umwelttechnik. s.a. Pile Cloth Media Filtration [verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.6.2016]. Saatavissa: http://www.mecana.ch/images/sampledData/PDF/Downloads/PCMF_englisch/Englisch/Pile_Cloth_Media_Filtration_brochure_0715A_k.pdf
- Nieminen, J. 2017. Hermanninsaaren jvp:n kuormitustarkkailu. Vuosiyhteenveto 2016.
- Nordic Water, s.a. Disc filters. High capacity on a small footprint [verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.11.2016]. Saatavissa: http://www.nordicwater.com/wp-content/uploads/2016/04/S1401_DynaDisc-Brochure_EN_A4_web.compressed.pdf
- Oehmena, A. & Lemos, P. C. & Carvalhoa, G. & Yuanb, Z. & Kellerb, J. & Blackallb, L. L. & Reisa, M. 2007. Advances in enhanced biological phosphorus removal: from micro to macro scale. Water Research, vol 41:11, s. 2271–2300. doi:10.1016/j.watres.2007.02.030
- Passerat, J. & Ouattaraa, N. K. & Mouchelb, J.-M. & Rocherc, V. & Servais, P. 2011. Impact of an intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River. Water Research, vol 45:2. <http://dx.doi.org.lib-proxy.aalto.fi/10.1016/j.watres.2010.09.024>
- Persson, E. & Ljunggren, M. & la Cour Jansen, J. & Strube R. & Jönsson, L. 2006. Disc filtration for separation of flocs from a moving bed bio-film reactor. Water Science & Technology, vol. 53:12, s. 139–147. doi: 10.2166.
- Perälä, M. 2011. Mecana cloth filtration jäteveden jälkikäsittelyksi? Koeajot teknisen mittakaavan koelaitteella. Lapuan Jätevesi Oy.
- Porvoo kaupunki. 2015. Porvoo kaupungin vesihuollon kehittämissuunnitelma 2015-2020 [verkkojulkaisu]. [Viitattu 7.7.2016]. Saatavissa: http://www.porvoo.fi/library/files/5673e45eed6b97a9470032df/KESU2014_Kaup.hall.1.6.2015.pdf
- Pöyry Finland Oy. 2013. Lappeenrannan Lämpövoima Oy, Jäteveden jälkikäsittelymenetelmät [verkkojulkaisu]. [Viitattu 7.7.2016]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B955EFCF5-AFC8-44E1-9817-88B717A099EB%7D/99069>

- Renkonen, M. 2014. Esisaostuksen mahdollisuudet aktiivilieteprosessin kuormitusvaihteluiden hallinnassa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, kemian tekniikan korkeakoulu. Espoo. 114 s.
- RIL. 2004. 124-2 Vesihuolto II. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 684 s. ISBN 951-758-438-5.
- Rossi, L. 2014. Enhancing phosphorus removal by disc filtration – a case study from Viikinmäki wastewater treatment plant. Diplomityö. Aalto-yliopisto, kemian tekniikan korkeakoulu. Espoo. 110 s.
- Räike, A. & Pietiläinen, O.-P. & Rekolainen, S. & Kauppila, P. & Pitkänen, H. & Niemi, J. & Raateland, A. & Vuorenmaa, J. 2003. Trends of phosphorus, nitrogen and chlorophyll a concentrations in Finnish rivers and lakes in 1975–2000. *Science of the Total Environment*, vol 310:1, s. 47-59. [http://dx.doi.org.libproxy.aalto.fi/10.1016/S0048-9697\(02\)00622-8](http://dx.doi.org.libproxy.aalto.fi/10.1016/S0048-9697(02)00622-8)
- Rytkönen, M. 2012. Kiintoaineen poiston tehostaminen kiekkosuodatuksella Iisalmen jätevedenpuhdistamolla. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Kuopio. 70 s.
- Schindler, D.W. & Hecky, R. E. & Findlay, D. L. & Stainton, M. P. & Parker, B. R. & Paterson, M. J. & Beaty, K. G. & Lyng, M. & Kasian, S. E. M. 2008. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *PNAS* [verkkolehti]. Vol. 105:32, s. 11254–11258. [Viitattu 11.1.2017]. Saatavissa: <http://www.pnas.org/content/105/32/11254.long> doi: 10.1073/pnas.0805108105
- Smith, V.H. & Tilman, G.D. & Nekola J.C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*. Vol 100:1. s. 179-196. DOI: 10.1016/S0269-7491(99)00091-3
- STTV. 2008. Soveltamisopas uimavesiasetukseen 177/2008. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus 177/2008 yleisten uima- rantojen uimaveden laatuvaatimuksista ja valvonnasta [verkkójulkaisu]. [Viitattu 18.2.2017]. Saatavissa: https://www.valvira.fi/documents/14444/22511/Uimavesiasetuksen_soveltamisopas_11032008.pdf
- Säylä, J. & Vilpas, R. 2010. Yhdyskuntien jätevesien puhdistus 2010. Suomen Ympäristökeskuksen Raportteja, nro. 21. Helsinki [verkkójulkaisu]. [Viitattu 11.1.2017]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39681/SY-KEra_21_2012.pdf?sequence=1 ISBN 978-952-11-40 (PDF) ISSN 1796-1726 (verkköj.)
- Tchobanoglous, George & Burton, Franklin L. 1991. Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse. New York: McGraw-Hill. ISBN 0-07-041690-7.
- Toholammin kunta. 2004-2016. Viemäri liikennelaitos [verkkójulkaisu]. [Viitattu 12.07.2016]. Saatavissa: <http://www.toholampi.fi/index.php?sivu=viemariliikelaivos>
- Tuhkanen, T. & Aho, J & Merta, E. 2005. Haja-asutuksen ravinnekueormituksen vähentäminen – Ravinnesampo. Osa 2: Maito huonejätevesien käsittely. Suomen ympäristö

763 [verkkojulkaisu]. [Viitattu 13.7.2016]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40686/SY_763.pdf?sequence=1 ISBN 952-11-1979-9 (nid.) ISBN 952-11-1980-2 (PDF) ISSN 1238-7312

Turun Seudun Puhdistamo Oy. 2016. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon toiminta [verkkojulkaisu]. [Viitattu 29.4.2017]. Saatavissa: <http://www.turunseudunpuhdistamo.fi/toiminta>

USEPA, 2006. Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule. EPA 815-R-06-007. November 2006. EPA, Washington DC, USA. 436 p [verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.12.2016] Saatavissa: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=600006T3.txt>

Wang, X.J. & Xia, S.Q. & Chen, L. & Zhao, J.F. & Renault, N.J. & Chovelon, J.M. 2005. Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor. Process Biochemistry, vol 41:4, s. 824-828. <http://dx.doi.org.libproxy.aalto.fi/10.1016/j.procbio.2005.10.015>

Water World. 2017. Clarifying treatment: dissolved air flotation provides alternative for treating raw water with light particles [verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.2.2017]. Saatavissa: <http://www.waterworld.com/articles/print/volume-29/issue-8/editorial-features/clarifying-treatment.html>

Vaasan Vesi. 2015. Pättin jätevedenpuhdistamo [verkkojulkaisu]. [Viitattu 11.7.2016]. Saatavissa: <http://www.vaasanvesi.fi/pattin-puhdistamo>

Voss, M. & Dippner, J. W. & Humborg, C. & Hüdler, J. & Korth, F. & Neumann, T. & Schernewski, G. Venohr, M. 2011. History and scenarios of future development of Baltic Sea eutrophication. Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol 92: 3, s. 307-322.

Veolia Water. s.a. Hydrotech Discfilter 220-series [verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.7.2016]. Saatavissa: http://www.kruger.dk/krugeras/ressources/filles/1/8215_2901_Hydrotechskivefilter_HSF2200-w.pdf

Vesilaitosyhdistys. 2015. Suomen suurin puhdistetun jäteveden hygienisointilaitos on avattu Lahteen [verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.2.2017]. Saatavissa: http://www.vvy.fi/ajankohtaista/suomen_suurin_puhdistetun_jateveden_hygienisointilaitos_on_avattu_lahteen.4411.news

Ympäristöhallinto. 2015. Itämeren fosforikuorma Suomesta [verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.7.2016]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Itameren_fosforikuorma_Suomesta\(31444\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Itameren_fosforikuorma_Suomesta(31444))

Haastattelut

Kautiainen, Erkki. 2016. Vaasan Vesi, Pättin jätevedenpuhdistamo. Valimontie 2 B, 65100 Vaasa. Puhelinhaastattelu 11.7.2016.

Koskela, Anna. 2017. Asiakkuuspäällikkö, kuntasektori. Hyxo Oy, Palokorvenkatu 2, 04250 Kerava. Haastattelu sähköpostitse huhtikuussa 2017.

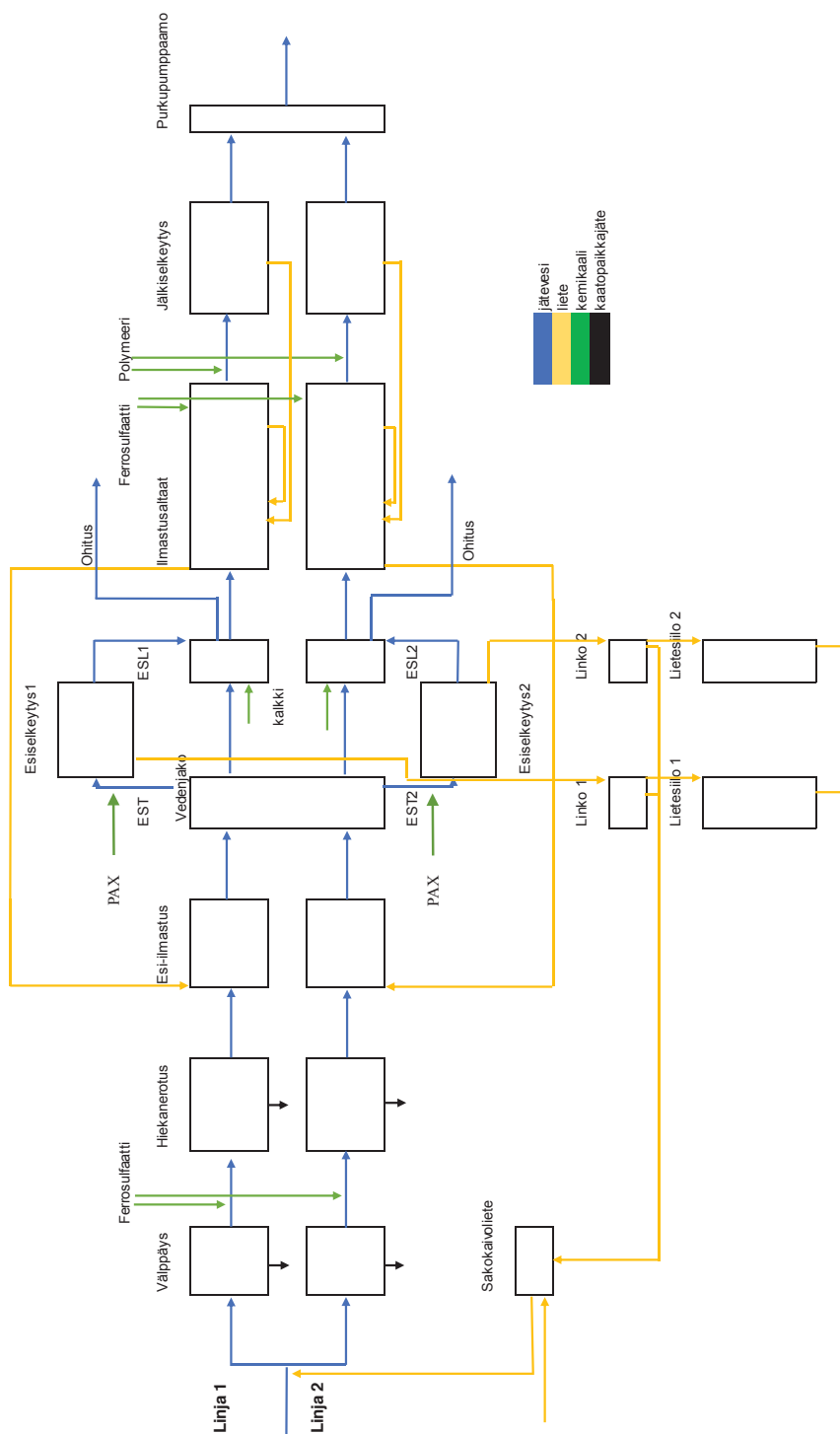
Lindqvist, Jan. 2016. Käyttömestari. Hangon kaupunki, Suursuon jätevedenpuhdistamo. Santalantie 2, 10900 Hanko. Haastattelu sähköpostitse heinäkuussa 2016.

Mäkelä, Jani. 2016. Laitoksen hoitaja. Toholammin kunta, Toholammin jätevedenpuhdistamo. Puhelinhaastattelu 11.7.2017.

Tahvanainen, Paavo. 2017. Käyttökemisti. Savonlinnan kunta, Pihlajaniemen jätevedenpuhdistamo. Vääräsaarenkatu 4, 57130 Savonlinna. Puhelinhaastattelu 22.2.2017.

Tuomi, Jouko. 2016. Prosessi-insinööri. Turun Seudun Puhdistamo Oy, Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo. Polttimonkatu 2, 20100 Turku. Haastattelu sähköpostitse heinäkuussa 2016.

Vesala, Milla. 2016. Käyttöpäällikkö. Vaasan Vesi, Pättin jätevedenpuhdistamo. Valimontie 2 B, 65100 Vaasa. Haastattelu sähköpostitse kesä-heinäkuussa 2016.



Hermanninsaaren prosessikaavio (muokattu lähteestä Renkonen 2014).

LIITE 2

Hermanninsaaren puhdistustuloksia vuosineljänneksillä 2011-2016 (koottu puhdistamon kuormitustarkkailutiedoista).

	BOD₇ATU		COD_{CR}		Kiintoaine		Kok. P		Kok.N	
	mg O ₂ /l	%	mg O ₂ /l	%	mg/l	%	mg P/l	%	mg N/l	%
Luparaja	10	95	60	90			0,5	93	70	
2011 / 1	4	98	33	94	6	98	0,27	97	15	78
2011 / 2	7,7	96	40	91	19	94	0,47	94	9	79
2011 / 3	4,2	98	28	95	4	99	0,15	98	10	83
2011 / 4	7,2	96	36	91	8	96	0,3	94	11	72
2012 / 1	5	98	34	92	9	96	0,2	96	14	69
2012 / 2	7,8	97	36	93	16	95	0,44	94	8	79
2012 / 3	3,2	99	28	96	6	99	0,17	98	10	83
2012 / 4	3,3	99	31	95	5	99	0,21	98	9	82
2013 / 1	4,3	99	33	96	8	98	0,31	97	12	82
2013 / 2	7,8	97	42	93	14	97	0,33	96	9	81
2013 / 3	3,4	99	28	95	5	99	0,15	98	12	79
2013 / 4	3,7	99	31	95	5	99	0,17	98	15	70
2014 / 1	4	98	29	94	4,8	98	0,15	98	14	69
2014 / 2	1,7	99	25	96	2,4	99	0,11	99	14	75
2014 / 3	2,2	99	26	96	2,7	99	0,15	98	11	82
2014 / 4										
2015 / 1	3,5	99	2,9	95	6	98	0,25	96	11	74
2015 / 2	4,2	99	35	94	5,9	99	0,29	96	18	66
2015 / 3	3,2	99	29	95	2,9	99	0,17	98	11	82
2015 / 4	1,8	99	23	96	1,3	> 99	0,14	98	11	82
2016 / 1	6,6	98	37	94	9,9	98	0,34	95	13	72

KEMIRA PAX-XL100

Polyaluminum Chloride Solution

KEMIRA PAX-XL100, a mid-basicity polyaluminum chloride, is an effective coagulant for treatment of both potable and wastewater. KEMIRA PAX-XL100 is based on highly charged aluminum, enabling less of it to do more. This results in lower dosages and therefore reduces sludge volumes and pH adjustment demands.

Product specification

Appearance	Yellowish liquid
Aluminum (Al ³⁺)	9,3 ± 0,3 %
Al ₂ O ₃	17,6 ± 0,6 %
Basicity	43 ± 2 %
Density (20°C)	1,39 ± 0,03 g/cm ³

Typical analysis

Active substance	Approx. 3,4 mol/kg
Iron (Fe _{tot})	<0,01 %
Chloride (Cl ⁻)	21 ± 1 %
Viscosity (20°C)	40 ± 10 mPas
pH (20°C)	<1
Start of crystallization	-20°C

Quality

KEMIRA PAX-XL100 is a coagulant that meets the European standard Chemicals used for treatment of water intended for human consumption EN 883 2004 type 1.

Dosing

Dosing by diaphragm metering pumps of non-corrosive material is suitable. KEMIRA PAX-XL100 should be dosed without dilution.

Storage

Storage tanks and piping should be constructed of suitable non-corrosive material such as fiberglass or cross-linked polyethylene. KEMIRA PAX-XL100 is mildly corrosive and will attack most metals over a period of time. KEMIRA PAX-XL100 has a recommended shelf life of 8 months. As with any chemical, it is recommended to clean the storage tank every year. The first delivery of any product should be made into a clean storage facility to ensure optimum performance and storage.

If outside storage, tank and piping should be insulated and heat-traced.

Safe handling

The handling of any chemical requires care. Anyone responsible for using or handling KEMIRA PAX-XL100 should familiarise themselves with the full safety precautions outlined in our Safety Data Sheet.

Delivery

Transport by road 3264, CORROSIVE LIQUID, ACIDIC, LIQUORAL, O.S. (polyaluminum chloride), class 8, P III, (E).

Please check our Safety Data Sheet for other means of transportation.

Kemira makes this information available as an accommodation to its customers and it is intended to be solely a guide in customer's evaluation of the products. You must test our products, to determine if they are suitable for your intended uses and applications, as well as from the health, safety and environmental standpoint. You must also instruct employees, agents, contractors, customers or any third party which may be exposed to the products about all applicable precautions. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee and is subject to change without notice. You assume full liability and responsibility for compliance with all information and precautions, and with all laws and statutes, ordinances and regulations of any governmental authority applicable to the processing, transportation, delivery, unloading, discharge, storage, handling, sale and use of each product. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with patents covering any material or its use.

Kemira Oyj

Porkkalankatu 3
P.O.Box 330
FI-00101 Helsinki
Finland

Tel +358 10 8611
www.kemira.com

LIITE 4 (1/2)

Kiekkosuodatuskoeajojen aikataulu ja koeajojen kestot

	Päivämäärä		Koeajon kesto
Kangaskoko 10 µm			
Esiselkeytetty vesi	3.8., 29.8. 4.8., 16.8.	Ei kemikaalia - Tasainen virtaama - Maksimivirtaama	5 h + 7 h 5 h + 5,5 h
Jälkiselkeytetty vesi	2.8. 5.8., 16.8.	Ei kemikaalia - Tasainen virtaama - Maksimivirtaama	6 h 5 h + 5,5 h
Esiselkeytetty vesi	9.8.-10.8.	Polymeeri - optimointi	5 h + 1 h
Esiselkeytetty vesi	30.8.-1.9. 5.9. 6.-7.9.	PAX + polymeeri - optimointia Kankaiden pesu - optimointia	3 h + 2 h + 1 h 4 h + 5 h
Esiselkeytetty vesi	18.8.	Esisaostus, polymeerilisäys	6 h
Esiselkeytetty vesi	28.9. 29.9.	Ei kemikaalia - Tasainen virtaama - Maksimivirtaama	6 h 3 h
Jälkiselkeytetty vesi	24.10.	Ei kemikaalia - Tasainen virtaama - Maksimivirtaama	3 h 2 h
Yhdistelmä, 50% esiselkeytettyä vettä	20.10. 21.10.	Ei kemikaalia - Tasainen virtaama - Maksimivirtaama	4,5 2,5
Esiselkeytetty vesi	9.9., 12.-14.9. 26.9.	PAX + anioninen polymeeri - Optimointi - Ajo optimiannoksella	4,5 + 5 h + 5,5 h + 2 h 6 h
Esiselkeytetty vesi	27.9., 25.10. 29.9., 7.10. 6.10., 17.10. 3.10.	PAX + kationinen polymeeri - Ajo optimiannoksella - Kemikaaliannoksen testaamista - Ajo maksimivirtaamalla - Maksimi PAXin syötöllä	5,5 h + 6 h 4 h + 3 h 2,5 h + 2 h 8,5 h
Yhdistelmä, 10-50% esiselkeytettyä vettä	15.-16.9., 19.-20.9., 22.9.	PAX + anioninen polymeeri - Optimointia ja ajoja	5 h + 3 h + 2h + 2 h + 4 h
Yhdistelmä, 40-50% esiselkeytettyä vettä	4.-5.10. 6.10., 11.10.	PAX + kationinen polymeeri - Optimointi + maksimivirtaaman etsiminen - Ajo optimiannoksella	3 h + 6 h 4,5 h + 2 h

LIITE 4 (2/2)

Yhdistelmä, 10-30 % esiselkeytettyä vettä	10.10., 18.10. 19.10.	PAX + kationinen polymeeri - Optimointi - Ajo optimiannoksella	7 h + 2 h 4,5 h
Jälkiselkeytetty vesi	18.10. 20.10.	PAX + kationinen polymeeri - Optimointi - Ajo optimiannoksella - Ajo maksimivirtaamalla	3 h 3 h 2 h
Esiselkeytetty vesi	26-27.10.	Esisaostus, PAX + polymeeri suodattimella	5 h + 5,5 h

LIITE 5

Koeajot ohitusvesillä ilman kemikaaliliisystä. Tulokset vakiovirtaamalla ja maksimivirtaamalla.

Kankaiden koko µm	Virtaama m ³ /h	Päivämäärä	Kok P In mg/l	Kok P out mg/l	Kok P reduktio %	Kiintoaine In mg/l	Kiintoaine Out mg/l	Kiintoaine Reduktio %	Kiintoaine kuorma g/m ² /h	Pesutiheys %
10	26	3.8.	2,2	2,1	5 %	55	53	5 %	254	19 %
10	26	3.8.	2,1	2,1	0 %	48	48	-1 %	219	20 %
10	26	3.8.	2,2	2,1	5 %	62	56	10 %	286	22 %
10	39	4.8.	2,6	2,7	-4 %	64	64	0 %	443	31 %
10	52	4.8.	2,7	2,7	-1 %	62	78	-26 %	572	44 %
10	52	4.8.	2,5	2,3	7 %	70	60	14 %	645	100 %
10	26	16.8.	1,7	1,7	2 %	62	56	10 %	286	25 %
10	52	16.8.	1,7	1,7	0 %	46	50	-9 %	424	40 %
10	52	16.8.	1,8	1,6	9 %	65	75	-15 %	599	43 %
10	65	16.8.	1,7	1,7	1 %	52	76	-46 %	599	100 %
10	65	16.8.	1,6	1,5	6 %	58	67	-16 %	668	100 %
20	26	28.9.	2,3	2,2	4 %	67	61	9 %	309	28 %
20	26	28.9.	2,3	2,2	4 %	80	54	33 %	369	25 %
20	26	28.9.	2,2	2,1	5 %	81	67	17 %	373	27 %
20	70	29.9.	2,9	2,7	7 %	63	58	8 %	782	100 %
20	70	29.9.	2,7	2,6	4 %	66	60	9 %	819	100 %

LIITE 6 (1/2)

Koeajot ohitusvesillä anionisella polymeerillä ja PAXilla optimikemikaaliannoksella. 20 µm kankaat.

Virtaama m3/h	Pvm	PAX g/m3	Alumiinilisäys mg/l	Polymeerilisäys mg/l	Kok P In mg/l	Kok P out mg/l	Kok P reduktio %	Liuk. fosfori In mg/l	Liuk. fosfori Out mg/l
20	26.9.	86	8	3	2,2	0,15	93 %	0,4	< 0,01
20	26.9.	86	8	3	2,1	0,21	90 %	0,024	< 0,01
20	26.9.	86	8	3	1,9	0,17	91 %	0,47	< 0,01

pH In	pH Out	Liuk. alumiini In mg/l	Liuk. alumiini Out mg/l	Kiintoaine In mg/l	Kiintoaine Out mg/l	Kiintoaine reduktio %	Kiintoainekuorma g/m2/h	Pesutiheys %
7	6,86	0,228	< 0,02	61	27	56 %	216	49 %
7,1	6,94	< 0,02	< 0,02	64	16	75 %	227	47 %
7,05	6,84	0,215	< 0,02	78	35	55 %	277	51 %

Koeajot ohitusvesillä laitoksen kationisella polymeerillä ja PAXilla optimikemikaaliannoksella. Tulokset vakiovirtaamalla ja maksimivirtaamalla. 20 µm kankaat.

Virtaama m3/h	Pvm	PAX g/m3	Alumiinilisäys mg/l	Polymeerilisäys mg/l	Kok P In mg/l	Kok P out mg/l	Kok P reduktio %	Liuk. fosfori In mg/l	Liuk. fosfori Out mg/l
20	27.9.	86	8	3	1,9	0,11	94 %	0,29	< 0,01
20	27.9.	86	8	3	2	0,1	95 %	0,16	< 0,01
20	27.9.	86	8	3	1,8	0,089	95 %	0,44	< 0,01
35	6.10.	86	8	3	2,2	0,081	96 %	0,41	< 0,01
35	6.10.	86	8	3	2,7	0,086	97 %	0,98	< 0,01

pH In	pH Out	Liuk.alumiini In mg/l	Liuk.alumiini Out mg/l	Kiintoaine In mg/l	Kiintoaine Out mg/l	Kiintoaine reduktio %	Kiintoaine kuorma g/m2/h	Pesutiheys %
7,05	6,88	< 0,02	< 0,02	50	23	54 %	177	29 %
7,04	6,87	< 0,02	< 0,02	56	23	59 %	199	29 %
7,04	6,88	0	< 0,02	71	21	70 %	252	25 %
7,1	6,95	< 0,02	< 0,02	68	26	62 %	422	100 %
7,08	6,91	0,091	< 0,02	64	19	70 %	397	100 %

LIITE 6 (2/2)

Koeajot ohitusvesillä kationisella polymeerillä ja PAXilla maksimikemikaaliannoksella. 20 µm kankaat. 20 m³/h.

Päivämäärä	PAX g/m ³	Alumiinilisäys mg/l	Polymeerilisäys mg/l	Kok P In mg/l	Kok P out mg/l	Kok P reduktio %	Liukoinen fosfori In mg/l	Liukoinen fosfori Out mg/l
3.10.	97	9	4	2	0,089	96 %	0,29	< 0,01
3.10.	97	9	4	2	0,089	96 %	0,31	< 0,01
3.10.	108	10	3	2,1	0,083	96 %	0,73	< 0,01
3.10.	108	10	3	2	0,097	95 %	0,36	< 0,01
3.10.	108	10	4	2,1	0,083	96 %	0,35	< 0,01

pH In	pH Out	Liukoinen alumiini In mg/l	Liukoinen alumiini Out mg/l	Kiintoaine In mg/l	Kiintoaine Out mg/l	Kiintoaine reduktio %	Kiintoainekuorma g/m ² /h	Pesutiheys %
7,06	6,82	< 0,02	0,023	74	19	74 %	262	45 %
7,11	6,8	< 0,02	0,173	76	17	78 %	270	39 %
6,99	6,79	0,028	0,12	73	15	79 %	259	35 %
7,05	6,81	0,065	0,119	73	13	82 %	259	34 %
7	6,82	0,064	0,233	62	11	82 %	220	44 %

LIITE 7

Koeajot ilman kemikaalilisäystä vesillä, jossa 50 % esiselkeytettyä vettä, 50 % jälkiselkeytettyä vettä. Vakiovirtaama ja maksimivirtaamalla. 20 µm kankaat.

Virtaama m ³ /h	Päivämäärä	Kok P In mg/l	Kok P out mg/l	Kok P reduktio %	Kiintoaine In mg/l	Kiintoaine Out mg/l	Kiintoaine Reduktio %	Kiintoaine g/m ² /h	Pesutiheys %
26	20.10.	1,5	1,1	25 %	49	51	-3 %	226	16 %
26	20.10.	1,4	1,1	18 %	44	51	-16 %	203	17 %
26	20.10.	1,6	1,5	5 %	47	47	0 %	217	15 %
80	21.10.	1,6	1,5	11 %	55	45	18 %	780	100 %
80	21.10.	1,6	1,4	12 %	54	51	6 %	766	100 %

LIITE 8

Koeajot kemikaaliliisäyksellä vesillä, jossa esiselkeytettyä vettä 10-50 % ja 10-90 % jälkiselkeytettyä vettä. 20 µm kankaat.

Esiselkeytetyn veden osuus	Virtaama m ³ /h	Päivämäärä	PAX g/m ³	Alumiiniliisäys mg/l	Polymeeriliisäys mg/l	Kok P In mg/l	Kok P out mg/l	Kok P reductio %	Liuk. fosfori In mg/l	Liuk. fosfori Out mg/l
10 %	22	19.10.	22	2	2	0,39	0,067	83 %	0,041	< 0,01
10 %	22	19.10.	22	2	2	0,39	0,085	78 %	0,038	< 0,01
30 %	29	19.10.	32	3	2	1,0	0,10	90 %	0,012	< 0,01
30 %	29	19.10.	32	3	2	1,0	0,11	89 %	< 0,01	< 0,01
50 %	40	6.10.	54	5	2,5	1,3	0,072	95 %	0,072	< 0,01
50 %	40	6.10.	54	5	2,5	1,1	0,043	96 %	0,043	< 0,01
40 %	33	6.10.	43	4	2	0,98	0,062	94 %	0,17	< 0,01
40 %	33	6.10.	43	4	2	0,91	0,052	94 %	0,015	< 0,01

pH In	pH Out	Liukoinen alumiini In mg/l	Liukoinen alumiini Out mg/l	Kiintoaine In mg/l	Kiintoaine Out mg/l	Kiintoaine reductio %	Kiintoainekuorma g/m ² /h	Pesutiheys %
6,84	6,76	< 0,02	0,02	13	4,5	65 %	51	38 %
6,72	6,86	< 0,02	0,02	9,0	2,5	72 %	35	40 %
6,81	6,81	< 0,02	< 0,02	32	8,8	72 %	165	53 %
6,73	6,76	< 0,02	< 0,02	33	7,6	77 %	170	49 %
6,84	6,74	< 0,02	< 0,02	41	9,3	77 %	291	100 %
6,84	6,77	< 0,02	0,02	43	11	74 %	305	100 %
6,87	6,83	< 0,02	< 0,02	30	8,0	73 %	176	70 %
6,85	6,82	< 0,02	< 0,02	34	8,0	76 %	199	72 %

LIITE 9

Koeajot jälkiselkeytyillä vesillä ilman kemikaalilisäystä. Tulokset vakiovirtaamalla ja maksimivirtaamalla.

Kankaiden koko	Virtaama m ³ /h	Päivämäärä	Kok P In mg/l	Kok P out mg/l	Kok P reductio %	Kiintoaine In mg/l	Kiintoaine Out mg/l	Kiintoaine Reduktio %	Kiintoainekuorma g/m ² /h	Pesutiheys %
10	26	2.8.	0,28	0,150	47 %	7,8	2,2	72 %	36	30 %
10	26	2.8.	0,26	0,149	43 %	8,8	< 2,0		40	29 %
10	26	2.8.	0,25	0,138	46 %	4,5	< 2,0		21	
10	26	16.8.	0,15	0,103	30 %	3,6	< 2,0		17	10 %
10	52	16.8.	0,15	0,097	33 %	3,0	< 2,0		28	26 %
10	52	16.8.	0,15	0,098	35 %	3,0	< 2,0		28	28 %
10	70	16.8.	0,16	0,103	36 %	4,6	< 2,0		57	69 %
10	78	16.8.	0,16	0,108	34 %	4,2	< 2,0		58	100 %
20	26	24.10.	0,12	0,082	33 %	2,8	< 2,0		13	7 %
20	26	24.10.	0,13	0,088	33 %	3,2	< 2,0		15	9 %
20	26	24.10.	0,09	0,083	8 %	3,2	< 2,0		15	10 %
20	90	24.10.	0,09	0,081	14 %	3,6	< 2,0		57	100 %
20	90	24.10.	0,10	0,086	12 %	3,4	< 2,0		54	100 %

LIITE 10

Koeajot jälkiselkeytyyllä vedellä laitoksen kationisella polymeerillä ja PAXilla optimikemikaaliannoksella. Tulokset vakiovirtaamalla ja maksimivirtaamalla. 20 µm kankaat.

Virtaama m ³ /h	Päivämäärä	PAX		Alumiinilisäys mg/l	Polymeerilisäys mg/l	Kok P In mg/l	Kok P out mg/l	Kok P reductio %	Liukoinen fosfori In mg/l	Liukoinen fosfori Out mg/l
		g/m ³	11							
20	20.10.		11	1	1	0,12	0,047	59 %	0,041	< 0,01
20	20.10.		11	1	1	0,13	0,049	63 %	0,025	< 0,01
60	20.10.		11	1	1	0,14	0,037	74 %	0,031	< 0,01
60	20.10.		11	1	1	0,13	0,041	68 %	0,027	< 0,01

pH In	pH Out	Liukoinen alumiini In mg/l	Liukoinen alumiini Out mg/l	Kiintoaine In mg/l	Kiintoaine Out mg/l	Kiintoaine reductio %	Kiintoainekuorma g/m ² /h	Pesutiheys %
6,65	6,76	< 0,02	0,027	2,2	2,5	-14 %	8	14 %
6,66	6,7	< 0,02	< 0,02	1,8	2,7	-50 %	6	15 %
6,68	6,72	< 0,02	0,033	3,4	2,7	21 %	36	100 %
6,71	6,72	< 0,02	0,023	1,4	1,3	7 %	15	100 %

LIITE 11

Koeajot ohitusvesillä laitoksen kationisella polymeerillä esisaostuksen kanssa. 26 m³/h virtaama, 10 µm kankaat.

Virtaama m ³ /h	Tuntia esisaostuksen aloituksesta h	Päivämäärä	Polymeerilisäys mg/l	Kok P In mg/l	Kok P out mg/l	Kok P reduktio %	Kiintoaine In mg/l	Kiintoaine Out mg/l	Kiintoaine Reduktio %	Kiintoainekuorma g/m ² /h	Pesutiheys %
26	-0,5	18.8.	-	2,2	2,1	5 %	42	48	-14 %	194	35 %
26	3	18.8.	0,5	2,0	2,1	-5 %	46	50	-9 %	212	52 %
26	4,5	18.8.	0,5	1,9	1,7	9 %	46	50	-9 %	212	50 %
26	6	18.8.	0,5	1,5	1,4	11 %	44	49	-11 %	203	50 %

LIITE 12

Koeajot ohitusvesillä laitoksen kationisella polymeerillä ja PAXin lisäyksellä kiekkosuodattimella esisaostuksen kanssa. 20 m³/h virtaama, 20 µm kankaat.

Virtaama m ³ /h	Tuntia esisaostuksen aloituksesta h	Päivämäärä	PAX ml/m ³	Alumiinilisäys mg/l	Polymeerilisäys mg/l	Kok P In mg/l	Kok P out mg/l	Kok P reduktio %	Liuk P in mg/l	Liuk P out mg/l
20	-2	26.10.		-	-	2,9			0,62	<0,01
20	1	26.10.	46	6	3	2,7	0,19	93 %	0,75	<0,01
20	3	26.10.	46	6	3	2,2	0,13	94 %	0,40	<0,01
20	4,5	26.10.	46	6	3	1,9	0,11	94 %	0,28	<0,01
20	22	27.10.		-	-	0,66			<0,01	<0,01
20	24	27.10.		-	-	0,48			<0,01	<0,01
20	26	27.10.	15	2	1,5	0,42	0,10	76 %	<0,01	<0,01
20	28,5	27.10.	15	2	1,5	0,35	0,093	74 %	<0,01	<0,01
20	29,5	27.10.	8	1	1	0,32	0,068	78 %	<0,01	<0,01
20	48	28.10.		-	-	0,084			<0,01	<0,01

pH in	pH out	Liuk Alumiini IN mg/l	Liuk Alumiini out mg/l	Kiintoaine In mg/l	Kiintoaine Out mg/l	Kiintoaine Reduktio %	Kiintoainekuorma g/m ² /h	Pesutiheys %
7,13				66				
7,04	7	0,043	<0,02	63	24	62 %	223	54 %
6,96	6,89	0,028	<0,02	61	25	59 %	216	48 %
6,92	6,89	0,024	<0,02	65	26	60 %	230	49 %
6,63				45				
6,63				44				
6,62	6,66	0,269	<0,02	32	21	34 %	113	69 %
6,67	6,62	<0,02	<0,02	32	13	59 %	113	62 %
6,63	6,65	0,024	<0,02	28	16	43 %	99	59 %
6,46				25				

LIITE 13 (1/3)

NovaLabin tulokset ohitusvesistä 8 mg/l alumiini- ja 3 mg/l polymeerilisäyksellä, 20 µm kankailla. 20 m³/h.

	Kationinen polymeeri			Anioninen polymeeri		
	In	Out	Reduktio	In	Out	Reduktio
BHK7(atu) mg/l	57	34	40 %	39	28	28 %
KHT(Cr) mg/l	180	83	54 %	190	94	51 %
Kok-P mg/l	2,2	0,25	89 %	2,2	0,23	90 %
Liuk. kok-P mg/l	0,53	0,023	96 %	0,91	0,019	98 %
Kiintoaine mg/l	74	18	76 %	82	23	72 %
Liuk. alumiini mg/l	<0.01	0,064		<0.01	0,014	
Sameus NTU	59	40	32 %	70	27	61 %
Suol.p.enterok.	820	< 10		>2400	30	
E. coli pmy/100ml	>240 000	31 000		1000	1300	-30 %
Absorbanssi 254 nm	1,225	0,506	59 %	1,25	0,72	42 %
Transm.254nm %	6	31		5,6	19	

NovaLabin tulokset ohitusvesistä ja yhdistelmästä ilman kemikaalilisäystä, 10 ja 20 µm kankailla. 26 m³/h.

	Ohitusvedet, 10 µm			Ohitusvedet, 20 µm			50 % Esiselkeytettyä vettä 50 % jälkiselkeytettyä vettä, 20 µm		
	In	Out	Reduktio	In	Out	Reduktio	In	Out	Reduktio
BHK7(atu) mg/l	91	87	4 %	73	63	14 %	37	29	22 %
KHT(Cr) mg/l	210	210	0 %	200	180	10 %	140	100	29 %
Kok-P mg/l	2,7	2,6	4 %	2,4	2,1	13 %	1,6	1,1	31 %
Liuk. kok-P mg/l	0,22	0,13	41 %	0,36	0,16	56 %	0,042	0,022	48 %
Kiintoaine mg/l	100	93	7 %	97	72	26 %	55	52	5 %
Liuk. alumiini mg/l				<0.01	<0.01		<0.01	0,022	
Sameus NTU	89	89	0 %	54	53	2 %	38	28	26 %
Suol.p.enterok. mpn/100ml				10000	4 200	58 %	33000	26000	21 %
E. coli pmy/100ml				>240000	>240000		>240 000	>240 000	
Absorbanssi 254 nm	6,3	5,4	14 %	1,16	1,1	5 %	0,775	0,7	10 %
Transm.254nm %	0,00005	0,00004	20 %	7	7,9	-13 %	17	20	-18 %

NovaLabin tulokset yhdistelmänäytteistä kemikaalilisäyksellä 20 µm kankailla.

	50 % Esiselkeytettyä vettä 50 % jälkiselkeytettyä vettä			40 % Esiselkeytettyä vettä 60 % jälkiselkeytettyä vettä		
	In	Out	Reduktio	In	Out	Reduktio
Alumiinilisäys mg/l	5			4		
Polymeerilisäys mg/l	2,5			2		
BHK7(atu) mg/l	25	17	32 %	18	13	28 %
KHT(Cr) mg/l	100	56	44 %	80	40	50 %
Kok-P mg/l	1,3	0,23	82 %	1	0,21	79 %
Liuk. kok-P mg/l	0,062	0,02	68 %	0,055	0,018	67 %
Kiintoaine mg/l	44	11	75 %	35	8,6	75 %
Liuk. alumiini mg/l	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	
Sameus NTU	26	16	38 %	20	9,4	53 %
Suol.p.enterok.				150	< 10	
E. coli pmy/100ml				>240 000	15000	
Absorbanssi 254 nm	0,89	0,34	62 %	0,765	0,288	62 %
Transm.254nm %	13	46		17	52	-206 %

NovaLabin tulokset yhdistelmänäytteistä kemikaalilisäyksellä 20 µm kankailla.

	30 % Esiselkeytettyä vettä 70 % jälkiselkeytettyä vettä			10 % Esiselkeytettyä vettä 90 % jälkiselkeytettyä vettä		
	In	Out	Reduktio	In	Out	Reduktio
Alumiinilisäys mg/l	3			2		
Polymeerilisäys mg/l	2			2		
BHK7(atu) mg/l	22	11	50 %	9,2	4,1	55 %
KHT(Cr) mg/l	78	42	46 %	42	31	26 %
Kok-P mg/l	0,96	0,087	91 %	0,43	0,065	85 %
Liuk. kok-P mg/l	0,036	0,015	58 %	0,043	0,012	72 %
Kiintoaine mg/l	35	9,4	73 %	12	7	42 %
Liuk. alumiini mg/l	<0.01	<0.01		<0.01	0,037	
Sameus NTU	21	7,4	65 %	6,7	3,1	54 %
Suol.p.enterok.	2600	< 10		690	< 10	
E. coli pmy/100ml	>240000	30000		>240000	21000	
Absorbanssi 254 nm	0,633	0,32	49 %	0,465	0,24	48 %
Transm.254nm %	23	48		34	58	

LIITE 13 (3/3)

NovaLabin tulokset jälkiselkeytetystä vedestä ilman kemikaalilisäystä ja kemikaalilisäyksellä 10 ja 20 µm kankailla.

	10 µm, ilman kemikaalilisäystä			20 µm, ilman kemikaalilisäystä			20 µm, 1 mg/l alumiini- ja 1 mg/l polymeerilisäys		
	In	Out	Reduktio	In	Out	Reduktio	In	Out	Reduktio
BHK7(atu) mg/l	3	2,1	30 %	2	2	0 %	2	<1.5	
KHT(Cr) mg/l	29	29	0 %	24	23	4 %	27	24	11 %
Kok-P mg/l	0,18	0,12	33 %	0,14	0,13	7 %	0,21	0,057	73 %
Liuk. kok-P mg/l	0,081	0,081	0 %	0,033	0,04	-21 %	0,073	0,016	78 %
Kiintoaine mg/l	5,4	<2		2,2	<2		3,3	<2	
Liuk. alumiini mg/l				<0.01	<0.01		<0.01	0,043	
Sameus NTU	1,3	0,98	25 %	1,2	0,98	18 %	1,5	0,96	36 %
Suol.p.enterok.				590	930	-58 %	3400	300	91 %
E. coli pmy/100ml				19000	16000	16 %	22000	2800	87 %
Absorbanssi 254 nm	0,86	0,84	2 %	0,217	0,209	4 %	0,226	0,188	17 %
Transm.254nm %	14	15	-7 %	60,6	61,8	-2 %	59	65	

LIITE 14 (1/2)

Kiekkosuodatimen laskennallinen vaikutus vuoden 2015 fosforikuoriin kuukausi-, vuosineljännes- ja vuositasolla.

		Kiekkosuodatus							
		Jälkiselkeytetystä vedestä 20 % reduktio, ohituksesta 95 %							
		Lähtevän veden fosforikuori- ma kg	Ohitusveden fosforikuori- ma kg	Kokonaisfos- forikuori- ma kg	Ohitusveden osuus kokonaisfosforikuori- masta	Lähtevän veden fosforikuori- ma kg	Ohitusveden fosforikuori- ma kg	Kokonaisfosfori kuorma kg	Reduktio yhteensä
Kuukausi									
1		105	0,3	106	0 %	84	0,0	84	20 %
2		98	0,2	99	0 %	79	0,0	79	20 %
3		128	6,0	134	4 %	103	0,3	103	23 %
4		111	12,4	123	10 %	89	0,6	89	28 %
5		100	0,1	100	0 %	80	0,0	80	20 %
6		77	0,0	77	0 %	62	0,0	62	20 %
7		47	2,6	50	5 %	38	0,1	38	24 %
8		47	5,4	52	10 %	38	0,3	38	28 %
9		45	1,6	47	3 %	36	0,1	36	23 %
10		41	0,0	41	0 %	33	0,0	33	20 %
11		54	2,9	57	5 %	43	0,1	44	24 %
12		65	4,1	69	6 %	52	0,2	52	24 %
Vuosineljännes									
1		332	6,5	339	2 %	266	0,3	266	21 %
2		288	12,5	301	4 %	231	0,6	231	23 %
3		141	9,6	151	6 %	113	0,5	113	25 %
4		160	7,0	167	4 %	128	0,3	129	23 %
Vuosi									
		920	36	956	4 %	736	1,8	738	23 %

LIITE 14 (2/2)

Kiekkosuodattimen laskennallinen vaikutus vuoden 2016 fosforikuoriin kuukausi-, vuosineljännes- ja puolivuositasolla.

2016

		Kiekkosuodatus								
		Jälkiselkeytetystä vedestä 20 % reductio, ohituksesta 95 %								
		Lähtevän veden fosforikuorma ma kg	Ohitusveden fosforikuorma kg	Kokonaisfosforikuorma kg	Ohitusveden kokonaisfosforikuorma masta	Lähtevän veden fosforikuorma kg	Ohitusveden fosforikuorma kg	Kokonaisfosforikuorma kg	Ohitusveden fosforikuorma kg	Reduktio yhteensä
<i>Kuukausi</i>										
1		106	0,6	106	1 %	84	0,03	84	20 %	
2		139	37	176	21 %	111	1,84	113	36 %	
3		137	0,4	138	0 %	110	0,02	110	20 %	
4		116	9,5	126	8 %	93	0,47	94	26 %	
5		89	0,0	89	0 %	71	0	71	20 %	
6		75	0,0	75	0 %	60	0	60	20 %	
<i>Vuosineljännes</i>										
1		382	38	420	9 %	306	2	308	27 %	
2		280	9	290	3 %	224	0	225	22 %	
<i>Puolivuosi</i>										
		663	47	710	7 %	530	2	532	25 %	