

Elsa Valta

**JÄTEVEDENPUHDISTAMON  
TOIMINNAN OPTIMOINTI  
ESIKÄSITTELYN  
SANEERAUKSELLA**

Mikrosiivilöinnin käyttö jäteveden esikäsittelyssä

Diplomityö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastajat:  
Professori Jukka Rintala ja  
Yliopisto-opettaja Hannele Auvinen  
Helmikuu 2021



# ABSTRACT

Elsa Valta: Optimization of a wastewater treatment plant by pretreatment renovation – Use of microsieving for wastewater pretreatment

Tampere University

Master's Degree Program in Environmental and Energy Technology

Master of Science Thesis, 59 pages

February 2021

---

The load of municipal wastewater treatment plant increases due to population growth and urban development. This has sped up the need for increase of capacity of the treatment plants and the development of purification techniques especially because the space for expansion is often limited. An alternative method to increase the treatment capacity is to decrease the loading of the biological process with functioning pretreatment. In the last decades microsieving has been studied as an alternative to traditional pre-clarification. Microsieving removes solids and organic material from the wastewater physically. Microsieving is still a very little used technology in Finland but for example in Norway the technique is in use in several wastewater treatment plants.

In this master's thesis the optimization of the wastewater treatment plant was studied by using microsieving as the pretreatment method. The target plant was the Alheda wastewater treatment plant in the city of Pietarsaari, where a need for renovation has occurred as the sludge formed in the activated sludge process does not have time to settle in the clarification and too much solids escape to the post-treatment. The aim of the study was to examine the operation of the treatment plant's biological and post-treatment processes using the traditional key figures used in the design of wastewater treatment plants. The intention was to find out how the treatment plant process works with different removal efficiencies of the total suspended solids and biological oxygen demand achieved by microsieving. The results obtained in the computational part were compared with the guide values given in the literature and the results given by the treatment plant model.

The pilot experiments were performed with two different microsieving equipment to map the removal efficiencies of TSS and BOD with different flows, microsieving fabric pore sizes and polymers. Depending on the polymer used, the fabric pore size, the flow and the surface load of the filter cloth, both equipment achieved the TSS removal efficiency of about 25–60 % and the BOD removal efficiency of about 20–50 %. The results correspond to the values reported in the literature in similar studies. The polymer dosages used in the experiments (1,5–4 mg/l) also correspond to the polymer consumption reported in the literature. It can be concluded from the results that microsieving appears to work at the Alheda wastewater treatment plant and is a potential alternative to the pretreatment technology.

To compare the operation of the biological process and post-treatment, the key figures were calculated at six different inflows (700–3 000 m<sup>3</sup>/h) when TSS removal efficiency was 30–60 % and BOD removal efficiency 20–40 %. Each scenario has an estimate of how incoming wastewater should be led in the process at a given inflow. The key figures calculated with the computation program corresponded to low-load and normal-load activated sludge plants. The results of the treatment plant model were parallel but corresponded better to a plant with normal loadings. This due in the fact that the sludge content used in the model was significantly lower than the sludge concentrations used in the computation program.

Based on the results of the work it is not profitable to increase the flow to the biological process by more than 800 m<sup>3</sup>/h in the current situation as the values of the post-clarification sludge load exceed the recommended values even at lower sludge concentrations. The amount of water introduced into the biological process should be reduced to smaller value such as 700 m<sup>3</sup>/h and the sludge content should not exceed 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>. Based on the treatment plant model it would be possible to further reduce the sludge content.

Keywords: microsieving, wastewater treatment, wastewater, primary treatment

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Pietarsaaren Veden Alhedan jätevedenpuhdistamolle, jonka esikäsittely tullaan saneeraamaan muutaman seuraavan vuoden aikana. Vanhan puhdistamon yhteyteen ollaan suunnittelemassa uutta esikäsittelyrakennusta, jonka avulla puhdistamon biologisen prosessin kapasiteetin tulisi riittää nykyistä paremmin ja ilmasuutalaiden laajentamiselta voidaan välttyä.

Tässä työssä esikäsittelytekniikaksi tarkasteltiin mikrosiivilöintiä, joka on vielä melko vähän käytetty jätevedenpuhdistustekniikka erityisesti Suomessa. Työn tarkoituksena oli selvittää, miten mikrosiivilöinti vaikuttaa puhdistamon prosessien toimintaan ja puhdistustulokseen. Toivon, että työn tuloksena saatuja päätelmiä ja alkuarvoja voidaan hyödyntää puhdistamolla uuden esikäsittelyrakennuksen käyttöönotossa ja mikrosiivilöiden toiminnan optimoinnissa. Lisäksi toivon, että työ tuo lisää tietämystä mikrosiivilöiden käytöstä jätevedenpuhdistusprosessissa.

Haluan kiittää ohjaajiani professori Jukka Rintalaa ja yliopisto-opettaja Hannele Auvista ohjauksesta ja työn kommentoinnista diplomityöprosessin aikana. Haluan kiittää myös lähiesimiestäni Jukka Jokihaaraa kaikesta työhön liittyvästä avusta ja tuesta. Erityisesti haluan kiittää Pietarsaaren Veden Andreas Svarvaria työn mahdollistamisesta ja kommentoinnista prosessin aikana. Kiitän myös Maija Sihvosta avusta puhdistamomallin käytössä sekä muusta tuesta työn etenemisen aikana. Suuri kiitos myös perheelleni ja ystäväilleni, jotka ovat tukeneet minua opinnoissa ja elämässä kukin omalla tavallaan.

Tampereella, 8.2.2021

Elsa Valta

# SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	1
2 YHDYSKUNTAJÄTEVEDEN KOOSTUMUS JA KÄSITTELY .....	3
2.1 Yhdyskuntajäteveden koostumus .....	3
2.2 Jäteveden käsittely Suomessa .....	5
2.3 Yhdyskuntajäteveden esikäsittelyn tavoitteet.....	7
2.3.1 Esiselkeytys .....	7
2.3.2 Esiselkeytyksen tehostaminen .....	9
3 MIKROSIIVILÖINTI JÄTEVEDEN ESIKÄSITTELYSSÄ.....	10
3.1 Mikrosiivilöinnin periaate .....	10
3.2 Mikrosiivilöinnin tehostaminen polymeereillä .....	13
3.2.1 Polymeerit ja koagulantit.....	13
3.3 Mikrosiivilöinnin poistotehot.....	14
3.4 Ravinteiden poistoteho .....	16
3.5 Mikrosiivilöinnin edut esiselkeytykseen verrattuna.....	17
4 TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO .....	21
4.1 Kohdelaitos .....	21
4.2 Tuleva ja lähtevä jätevesi .....	22
4.3 Pilot-kokeet mikrosiivilöillä.....	24
4.4 Laskentamalli .....	26
4.4.1 Ilmastus .....	29
4.4.2 Jälkiselkeytys.....	30
4.4.3 Jälkikäsittely.....	30
4.5 Puhdistamomalli.....	31
5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	33
5.1 Mikrosiiviläkokeiden tulokset .....	33
5.1.1 Kokeiden tulosten vertailu .....	35
5.2 Mikrosiivilöinnin vaikutukset ilmastuksen kapasiteettiin .....	37
5.2.1 Skenaario 1: Tuleva virtaama 700 m <sup>3</sup> /h.....	37
5.2.2 Skenaario 2: Tuleva virtaama 800 m <sup>3</sup> /h.....	39
5.2.3 Skenaario 3: Tuleva virtaama 1 000 m <sup>3</sup> /h.....	40
5.2.4 Skenaario 4: Tuleva virtaama 1 250 m <sup>3</sup> /h.....	41
5.2.5 Skenaario 5: Tuleva virtaama 2 000 m <sup>3</sup> /h.....	42
5.2.6 Skenaario 6: Tuleva virtaama 3 000 m <sup>3</sup> /h.....	43
5.3 Mikrosiivilöinnin vaikutukset jälkiselkeytyksen kapasiteettiin.....	44
5.3.1 Skenaario 1: Tuleva virtaama 700 m <sup>3</sup> /h.....	44

5.3.2	Skenaariot 2-6: Tuleva virtaama 800–3 000 m <sup>3</sup> /h.....	46
5.4	Mikrosiivilöinnin vaikutukset jälkikäsittelyn kapasiteettiin .....	47
5.4.1	Skenaariot 1-2: Tuleva virtaama 700-800 m <sup>3</sup> /h .....	47
5.4.2	Skenaario 3: Tuleva virtaama 1 000 m <sup>3</sup> /h.....	47
5.4.3	Skenaario 4: Tuleva virtaama 1 250 m <sup>3</sup> /h.....	49
5.4.4	Skenaario 5: Tuleva virtaama 2 000 m <sup>3</sup> /h.....	50
5.4.5	Skenaario 6: Tuleva virtaama 3 000 m <sup>3</sup> /h.....	52
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	54
7	LÄHTEET.....	57

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

AVL		asukasvastineluku
BMP		metaanintuottopotentialiaali, <i>Biochemical Methane Potential</i>
BOD		biologinen hapenkulutus, <i>Biochemical Oxygen Demand</i>
CEPT		esikäsitellyn tehostaminen kemikaaleilla, <i>Chemically Enhanced Primary Treatment</i>
COD		kemiallinen hapenkulutus, <i>Chemical Oxygen Demand</i>
DS		kuiva kiintoaine, <i>Dry Solids</i>
$L_{MLSS}$		lietekuorma
$L_v$		tilavuuskuorma
N		typpi
	$N_{kok}$	kokonaistyyppi
P		fosfori
	$P_{kok}$	kokonaisfosfori
Q		vuorokausivirtaama
	$Q_{kesk}$	keskimääräinen vuorokausivirtaama
	$Q_{max}$	maksimivuorokausivirtaama
q		tuntivirtaama
	$q_{kesk}$	keskimääräinen tuntivirtaama
	$q_{mit}$	mitoitustuntivirtaama
	$q_{max}$	maksimituntivirtaama
$S_{MLSS}$		lietetilavuuskuorma
SRT		lieteikä, <i>Sludge Retention Time</i>
SS		suspendoitunut kiintoaine, <i>Suspended Solids</i>
SVI		lieteindeksi, <i>Sludge Volume Index</i>
TSS		suspendoitunut kokonaiskiintoaine, <i>Total Suspended Solids</i>
$v_p$		pintakuorma
VS		haihtuva kiintoaine, <i>Volatile Solids</i>
WAS		ylijäämäliete, <i>Waste Activated Sludge</i>

# 1 JOHDANTO

Kaupunkien asukaslukujen ja samalla nykyisten jätevedenpuhdistamoiden kuormituksen kasvu ovat kiihdyttäneet puhdistamoiden kapasiteetin kasvattamisen tarvetta sekä jätevedenpuhdistuksessa käytettävien tekniikoiden kehittymistä. Rakennuspinta-alaa on usein vähän, joten puhdistuskapasiteettia on nostettava ilman suuria laajennuksia. Tehokkaampien puhdistustekniikoiden kehittämistä ovat kiihdyttäneet halu ympäristön tilan parantamiseksi erityisesti purkuvesistöjen alueilla sekä kiristyneet puhdistusvaatimukset ja ympäristölupaehdot. Nykypäivänä kiinnostus puhdistamoiden hiilijalanjäljen pienentämiseen ja kiertotalouden edistämiseen motivoivat puhdistamoita uudenlaisten ja tehokkaampien puhdistustekniikoiden käyttöönottoon. (Rusten & Ødegaard 2006; Paulsrud et al. 2014 & Väänänen et al. 2016.)

Yksi vaihtoehto puhdistuskapasiteetin kasvattamiseksi on biologisen prosessin kuormituksen pienentäminen toimivalla esikäsitteilyllä. Toimiva esikäsitteily pienentää lisäksi biologisen prosessin allastilavuutta sekä ilmastuksen energiankulutusta. (Väänänen et al. 2016.) Viime vuosikymmeninä perinteiselle esiselkeytykselle vaihtoehtoisena tekniikkana on tutkittu mikrosiivilöintiä, joka on osoittautunut toimivaksi puhdistusmenetelmäksi useissa tutkimuksissa (Rusten & Ødegaard 2006; Franchi & Santoro 2015; Rusten et al. 2016; Väänänen et al. 2016; Rusten et al. 2017). Mikrosiivilöinnissä jätevesi virtaa suodatinkankaan lävitse, jolloin kiintoaineet erotetaan kankaan pinnalle ja puhdistettava vesi johdetaan eteenpäin prosessissa. Suodatinkankaan pinnalle kerääntynyt kiintoaine siirtyy lietteenkeräysastiaan kankaan pyöriessä. (Franchi & Santoro 2015.)

Mikrosiivilöinnillä poistotehot ovat olleet samaa suuruusluokkaa esiselkeytyksen poistotehojen kanssa. Esimerkiksi Rusten & Ødegaard (2006) ja Franchi & Santoro (2015) saavuttivat tutkimuksissaan EU:n yhdyskuntajätevesidirektiivin (91/271/ETY) vaatimukset biologisen hapenkulutuksen (20 %) ja kiintoaineen (50 %) poistotehoista. Saneeraus- ja laajennustarpeessa olevilla puhdistamoilla esiselkeytys on mahdollista korvata mikrosiivilöillä, jolloin vältetään uusien esiselkeytysaltaiden rakentamiselta. Mikrosiivilöiden käyttöönoton takia käytöstä poisjääneet esiselkeytysaltaat voidaan ottaa biologisen prosessin käyttöön ja näin kasvattaa puhdistuskapasiteettia. (Paulsrud et al. 2014.) Suomessa on paljon saneeraustarpeessa olevia, 1960–1970 luvuilla rakennettuja jäteveden-



puhdistamoita, joilla rakennuspinta-alaa on usein vähän jäljellä. Mikrosiivilöinti on puhdistustekniikkana varteenotettava niin uusilla kuin saneeraustarpeessakin olevilla jätevedenpuhdistamoilla.

Mikrosiivilöinnin vaikutusta jätevedenpuhdistamoiden hiilijalanjälkeen, energiatehokkuuteen sekä lietteiden ja ravinteiden talteenottoon ja hyödyntämiseen on tarkasteltu vähän. Suomessa mikrosiivilöinti on tekniikkana uusi, mutta Pohjoismaissa esimerkiksi Norjassa tekniikka on käytössä useilla jätevedenpuhdistamoilla. Suomessa mikrosiivilöinti on otettu käyttöön Ilmajoen ja Joutsenon jätevedenpuhdistamoilla.

Tässä diplomityössä tutkittiin jätevedenpuhdistamon toiminnan optimointia käyttäen esikäsittelytekniikkana mikrosiivilöintiä. Työn pilot-kokeissa oli käytössä nauhasiivilät, joten mikrosiivilästä puhuttaessa tarkoitetaan nauhasiivilää. Tavoitteena oli tarkastella puhdistamon biologisen prosessin ja jälkikäsittelyn toimintaa perinteisten puhdistamoiden mitoituksessa käytettyjen tunnuslukujen avulla. Tarkoituksena oli selvittää, miten mikrosiivilöinti vaikuttaa puhdistamon prosessien toimintaan ja puhdistustulokseen. Laskentamallin tuloksia verrattiin kirjallisuudessa annettuihin ohjearvoihin sekä mallinnusohjelmalla luodun puhdistamomallin tuloksiin.

Työn kohdelaitoksena oli Pietarsaaren Veden Alhedan jätevedenpuhdistamo, joka on otettu käyttöön vuonna 1979. Puhdistamon esikäsittelyprosessi tullaan saneeraamaan muutaman seuraavan vuoden aikana ja Pietarsaaren Vesi on saanut sen toteuttamiseksi tukea ympäristöministeriöltä. Laajemmin ajateltuna mikrosiivilöiden käyttöönotto puhdistamolla tuottaa käyttökokemuksia mikrosiivilöinnistä Suomessa tilanteessa, jossa merkittävä osa kuormituksesta, noin 20–30 %, on peräisin teollisuudesta. Pietarsaaren jätevedenpuhdistamo on Suomen mittakaavassa kohtuullisen suuri referenssikohde mikrosiivilöinnille, mikä saattaa jossakin määrin vaikuttaa tekniikan yleistymiseen Suomessa.

## 2 YHDYSKUNTAJÄTEVEDEN KOOSTUMUS JA KÄSITTELY

Suomessa muodostuu vuosittain noin 500 milj. m<sup>3</sup> yhdyskuntajätevevettä eli asukasta kohden noin 300 l/d. Tästä noin 90 l on peräisin vuotovesistä. Suomen yhdyskuntien jätevesimäärä on vähentynyt viime vuosina veden kulutusta pienentäneiden saneeraustoimien ansiosta. Lisäksi viemäriverkoston ulkopuolelta tulevat sade- ja kuivatusvesivuodot ovat vähentyneet korjaustoimien ansiosta. (SYKE 2015.) Sekaviemäröidyillä alueilla hulevedet johdetaan samaan viemäriverkostoon jätevesien kanssa, jolloin ne vaikuttavat yhdyskuntajäteveden koostumukseen (Friedler et al. 2013).

### 2.1 Yhdyskuntajäteveden koostumus

Yhdyskuntajätevesi koostuu pääasiassa kotitalouksien jätevesistä ja jätevedenpuhdistamon viemäröntialueen verkkoon liittyneen teollisuuden jätevesistä. Kotitalouksien jätevesi jaetaan mustiin ja harmaisiin jätevesiin. Mustat jätevedet koostuvat WC-jätevesistä ja harmaat jätevedet keittiössä, peseytymisessä, pyykinpesussa ja siivouksessa muodostuvista jätevesistä. Suurin osa jätevesistä, noin 70 %, on harmaita jätevesiä ja loput 30 % on mustia jätevesiä. Yleensä kaikki jätevesi käsitellään yhdessä jätevedenpuhdistamolla. (Friedler et al. 2013.)

Yhdyskuntajäteveden määrä ja koostumus vaihtelevat huomattavasti eri jätevedenpuhdistamoilla (Taulukko 1). Viinikanlahden, Raholan ja Lempäälän jätevedenpuhdistamoilla päivittäin käsiteltävä jätevesikuormitus vastaa laskennallisesti yhteensä noin 230 000 asukkaan jätevesikuormitusta (Taulukko 1). Viinikanlahden puhdistamon kuormituksessa on mukana Lempäälän pohjoisosan jätevedet. (Tampereen Vesi 2012.)

**Taulukko 1.** Kolmen pirkanmaalaisen jätevedenpuhdistamon tulevan jäteveden virtaama ja kuormitus vuonna 2010 sekä tyypilliset suomalaiselle jätevedenpuhdistamolle tulevat kuormitukset.

Parametri	Viinikanlahti <sup>b</sup>	Rahola <sup>b</sup>	Lempäälä <sup>b</sup>	Tyypillinen pitoisuus <sup>a</sup>
Q <sub>kesk</sub> (m <sup>3</sup> /d)	50 100	15 300	4 500	e.i
BOD (mg/l)	208	301	244	125 - 175
COD (mg/l)	447	621	622	300 - 450
SS (mg/l)	345	373	378	150 - 200
P <sub>kok</sub> (mg/l)	6	10	9	6 - 8
N <sub>kok</sub> (mg/l)	40	58	62	25 - 40
AVL (hlö)	148 600	65 100	15 700	e.i

e.i: ei ilmoitettu, a: Karttunen (2004), b: Tampereen Vesi (2012) (muokattu)

Ihmisten vedenkäyttöön vaikuttavat henkilökohtaiset vuorokausirytmit ja vedenkäyttötottumukset. Vedenkäyttöön liittyy myös sosioekonomisia ja kulttuurillisia eroja: länsimaissa käytetään yleisesti ottaen enemmän vettä kuin kehittyvissä maissa. (Friedler et al. 2013.) Lisäksi yhdyskuntajäteveden koostumukseen vaikuttaa alueen asukkaiden ruokavalio. Esimerkiksi Suomessa viimeisten vuosikymmenten aikana lisääntyneestä lihan- ja muiden paljon proteiinia sisältävien ruokien syönnistä johtuen puhdistamoilla on havaittu typpikuormituksen kasvua. Ruokavaliotrendit näkyvät siis puhdistamoille tulevan jäteveden laadussa. (VVY 2016.)

Jäteveden määrää ja koostumusta arvioitaessa sekä erityisesti virtaamahuippuja määritettäessä on otettava huomioon niiden vaihtelu vuodenajasta, viikonpäivästä ja vuorokauden ajasta riippuen. Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoita ja viemäriverkostoja suunniteltaessa yleensä oletetaan, että jäteveden määrä on sama kuin käytetyn vesijohtoveden määrä, joten jätevesivirtaaman vaihtelu vastaa vesijohtoveden käytön vaihtelua. Jäteveden vaihtelussa on kuitenkin vesijohtoveden käyttöön verrattuna havaittavissa tasaantumista ja virtaamahuippujen siirtymistä myöhempään ajankohtaan. Usein puhdistamoille tulevat jäteveden virtaamahuiput ovat siis vaikeampia kuin vesijohtoveden virtaamahuiput. Tätä selittää jätevesiverkoston muoto ja koko, sillä viemäriputket ovat suurempia vesijohtoputkiin verrattuna, jolloin jätevettä varastoituu hetkellisesti verkostoon aiheuttaen viivästymistä ja tasoittaen näin puhdistamolle päätyvää virtaamaa. (Karttunen 2004.) Yleensä vedenkäytön huiput ajoittuvat aamuisin välille 6:00–10:00 ja iltaisin välille 19:00–23:00, jolloin myös puhdistamolle tuleva virtaama on suurempi kuin muina aikoina. Viikonloppuisin asutusalueiden vedenkäyttö on yleensä arkipäiviä suurempaa. (Friedler et al. 2013.)

Puhdistamoille tulevan jäteveden määrään ja koostumukseen vaikuttavat merkittävästi myös alueen teollisuuden viemäriverkostoon johdettavat jätevedet sekä hule- ja vuotovedet. Teollisuuden vedenkäyttö ja teollisuusjäteveden koostumus vaihtelee mm. teollisuusalasta, tehtaan suuruudesta, vuodenajasta, vuorokausi- ja viikkorytmistä sekä käytetyistä raaka-aineista riippuen. (Karttunen 2004.) Valtioneuvoston asetuksen (888/2006) mukaan tiettyjen teollisuudenalojen, joiden jätevesien kuormitus vastaa vähintään AVL 4 000 on haettava jätevesipäästöilleen vesilain mukainen vesioikeuden lupa. Asetuksen (888/2006) mukaan teollisuusjätevesien johtamista yleiseen viemäriin, teollisuusjätevesistä aiheutuvaa kuormitusta sekä sen vaikutuksia vesiympäristöön tulee tarkkailla.

## 2.2 Jäteveden käsittely Suomessa

Yhdyskuntajätevedellä on useita ympäristölle haitallisia ominaisuuksia ja jäteveden käsittelyn tarve lähteekin vesistöön joutuvien epäpuhtauksien määrän ja niiden haitallisten vaikutusten vähentämisestä purkuvesistöissä. Yhdyskuntajätevesien puhdistuksessa pyritään poistamaan mahdollisimman tehokkaasti kiintoainesta, orgaanista ainesta, ravinteita sekä rasvoja ja öljyjä. Näin saavutetaan yleensä hyvä tulos myös bakteerien ja muiden mahdollisten patogeenien poistamisessa. Lähivuosina jätevesistä tullaan poistamaan yhä enenevässä määrin vesien laatua heikentäviä sekä ympäristölle haitallisia ja vaarallisia aineita kuten esimerkiksi mikromuoveja. (Karttunen 2004; SYKE 2019.)

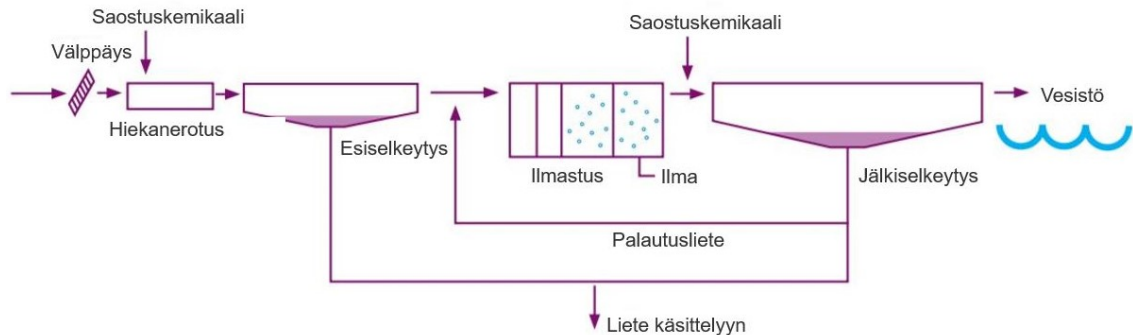
Suomessa yhdyskuntien jätevesiä on puhdistettu yleisesti 1960–1970-luvulta lähtien, jolloin suurin osa yhdyskuntajätevedenpuhdistamoista on rakennettu (VVY 2014). Tällä hetkellä Suomessa on Vesilaitosyhdistyksen (2020) mukaan noin 350 ympäristöluvanvaraista yhdyskuntajätevedenpuhdistamoita (AVL > 100). Jätevedenpuhdistamot voidaan jakaa kolmeen luokkaan niiden koon perusteella: pienet puhdistamot (AVL < 10 000), keskisuuret puhdistamot (AVL 10 000–100 000) ja suuret puhdistamot (AVL > 100 000). Noin 75 % Suomen puhdistamoista on pieniä, 20 % keskisuuria ja loput 5 % suuria puhdistamoita. Vesilaitosyhdistyksen (2016) selvityksen mukaan 290 jätevedenpuhdistamon jätevesimäärästä yli 60 % käsitellään suurilla puhdistamoilla, runsas 30 % keskisuurilla puhdistamoilla ja vain alle 5 % pienillä puhdistamoilla. (VVY 2016.) Suomen yhdyskuntajätevedenpuhdistamoille tulevasta biologisesta hapenkulutuksesta (BOD) saadaan jätevedenpuhdistusprosessissa poistettua n. 98 %, fosforista (P) n. 96 % ja typestä (N) n. 66 % (Taulukko 2).

**Taulukko 2.** Suomen yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden kuormitustiedot vuodelta 2017. Arvot on laskettu puhdistamoiden velvoitetarkkailutiedoista. (SYKE 2019.)

Parametri	Käsittlemätön jätevesi t/a	Käsitelty jätevesi t/a	Kuormituksen vähenemä %
BOD <sub>7-ATU</sub>	159 400	3 590	~ 98
P	4 260	155	~ 96
N	32 670	11 090	~ 66

Suomessa useimmilla puhdistamoilla on aktiivilietemenetelmään perustuva mekaanis-biologis-kemiallinen jätevedenpuhdistusprosessi, joka koostuu esikäsittelystä, biologisesta prosessista ja jälkikäsittelystä (Kuva 1). Prosessissa kiinteät aineet erotellaan mekaanisesti, fosfori saostetaan kemiallisesti ja typpi sekä orgaaninen aines poistetaan biologisesti. (VVY 2014.) Jätevedenpuhdistusprosessissa muodostuu muun muassa orgaanista ainesta ja ravinteita sisältävää lietettä noin 900 000 tonnia vuodessa. Noin 70 %

lietteestä mädätetään ja siitä valmistetaan lannoitteita maatalouden ja viherrakentamisen käyttöön. (VVY 2020.)



**Kuva 1.** Aktiivilieteprosessin kaaviokuva (VVY 2014).

Esikäsitteily koostuu yleensä välppäyksestä, hiekkanerotuksesta ja esiselkeytyksestä. Välppäyksen tarkoituksena on poistaa tulevasta jätevedestä suurikokoisimmat kiinteät partikkelit. Välppät voidaan jakaa karkea- (> 6 mm), hieno- (0,5–6 mm) ja mikrovälppiin (< 0,5 mm) niiden aukkokoon perusteella. Mitä tiheämpi välppä, sitä pienemmät partikkelit saadaan erotettua jätevedestä. (Metcalf & Eddy 2014.)

Hiekkanerotuksella jätevedestä poistetaan hiekkaa, soraa ja kiviä painovoimaisesti laskeuttamalla. Kiinteät partikkelit voivat vahingoittaa puhdistamon pumppuja ja muita laitteita. (Karttunen 2004.) Hiekkanerotus koostuu kolmesta vaiheesta: hiekan erottamisesta, pesusta ja kuivatuksesta. Pesun tarkoituksena on poistaa hiekasta sen mukana laskeutunut orgaaninen aines, joka voidaan kierrättää käsittelyprosessin alkuun. (Metcalf & Eddy 2014.)

Esiselkeytyksen tavoitteena on poistaa tulevasta jätevedestä laskeutuvia kiintoaineita, öljyä ja rasvaa sekä osa orgaanisesta kuormituksesta. Toimiva esiselkeytys voi parhaimmillaan poistaa jätevedestä 50–70 % kiintoainesta (TSS) ja 25–40 % biologisesta hapenkulutuksesta (BOD). Näin voidaan alentaa biologisen käsittelyn kuormitusta. (Metcalf & Eddy 2014.) Esiselkeytystä käsitellään tarkemmin luvussa 2.3.1.

Esikäsitteilyn jälkeen jätevesi johdetaan ilmastusaltaaseen, jossa tapahtuu varsinainen jätevedenpuhdistus aktiivilietemenetelmällä. Aktiivilieteprosessissa mikrobit käyttävät jäteveden sisältämää orgaanista ainesta ravintonaan muodostaen biomassaa, aktiivilietettä. Mikrobin hapensaanti sekä jäteveden sekoitus mahdollistetaan ilmastimien avulla. Ilmastuksesta jätevesi ja muodostunut liete johdetaan jälkiselkeytykseen. Osa muodostuneesta lietteestä palautetaan jälkiselkeytyksestä takaisin ilmastusaltaiden alkupäähän, jotta mikrobin määrä pysyy riittävänä prosessin optimaalisen toiminnan kannalta. (MacKenzie 2010.)

Jälkiselkeytyksessä ilmastuksessa muodostunut liete laskeutetaan altaan pohjalle, josta liete johdetaan joko takaisin prosessiin palautuslietteenä tai eteenpäin lietteenkäsittelyyn. Joillain puhdistamoilla jälkiselkeytetty vesi johdetaan suoraan purkuvesistöön, mutta veden laadun parantamiseksi se voidaan johtaa jälkikäsittelyyn. Tyypillisiä jälkikäsittelymenetelmiä ovat mm. erilaiset hiekka- ja biologiset suodattimet sekä desinfiointi. (Karttunen 2004; MacKenzie 2010.)

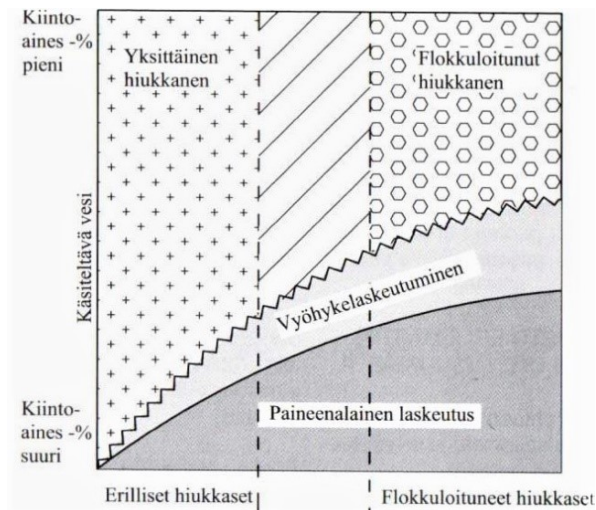
## 2.3 Yhdyskuntajäteveden esikäsittelyn tavoitteet

Kuten luvussa 2.2 mainittiin, jäteveden esikäsittelyllä poistetaan jätevedestä kiinteitä partikkeleita, orgaanista ainesta, ravinteita sekä rasvoja ja öljyjä. Esikäsittelyn tarkoituksena on vähentää biologisen jätevedenpuhdistusprosessin kuormitusta. (MacKenzie 2010.)

Jätevedenpuhdistamon energiatehokkuuden kannalta tehokas kiintoaineen ja biologisen hapenkulutuksen poisto esikäsittelyssä on tärkeää. Jäteveden kiintoaineilla on usein korkea energia-arvo, joka voidaan hyödyntää esimerkiksi anaerobisen mädätyksen tai termisten konversioprosessien kautta. Lisäksi hapenkulutusta aiheuttavien ainesosien poistaminen esikäsittelyssä vähentää biologisen prosessin ilmastustarvetta ja näin ollen vähentää energiankulutusta. Toimivalla esikäsittelyllä voidaan myös vähentää ilmastusaltaiden lukumäärän tarvetta, sillä ilmastusaltaiden tilavuuteen vaikuttaa muun muassa tuleva virtaama sekä BOD-kuormitus. Tämä voi olla merkittävä tekijä erityisesti puhdistamon saneerausvaiheessa, jolloin rakennuspinta-alaa on usein niukasti jäljellä. Esikäsittelyn tehokkuuden parantamisella on todettu olevan merkittäviä vaikutuksia koko jätevedenpuhdistusprosessin toiminnan ja kestävyuden kannalta. (Metcalf & Eddy 2014.)

### 2.3.1 Esiselkeytys

Esiselkeytys on yleisin yksikköprosessi jätevedenpuhdistuksen esikäsittelyssä. Välipäyksen ja hiekanerotuksen jälkeen tapahtuva esiselkeytys perustuu kiintoaineiden painovoimaiseen laskeutumiseen jäteveden virtausta hidastamalla. Laskeutuksen tehokkuus riippuu kiintoaineiden laskeutumisnopeudesta, johon vaikuttavat jäteveden viskositeetti sekä lämpötila. Painovoimainen laskeutus voidaan jakaa neljään kategoriaan: erillis-, flokkulentti-, vyöhyke- ja puristuslaskeutukseen (Kuva 2). Kahta ensimmäistä laskeutustyyppiä kutsutaan vapaaksi laskeutumiseksi ja kahta jälkimmäistä kutsutaan estetyksi laskeutumiseksi. Usein laskeutusaltaissa tapahtuu kaikkia neljää laskeutusta, mutta flokkulenttilaskeutuminen on tyypillisin ilmiö. (Karttunen 2004; MacKenzie 2010; Metcalf & Eddy 2014.)



**Kuva 2.** Painovoimaisen laskeutumisen vyöhykkeet käsiteltävän veden kiintoaineprosentin mukaan (Karttunen 2004).

Erillislaskeutuksessa yksittäinen hiukkanen laskeutuu toisista riippumatta vakionopeudella selkeytysaltaan pohjalle. Flokkulentissa laskeutumisessa hiukkaset flokkuloituvat laskeutuessaan. Tällöin flokin koko, muoto ja laskeutumisenopeus vaihtelevat jatkuvasti. Laskeutumisenopeus kasvaa, kun jäteveden sisältämien flokkien konsentraatio on pieni. Flokkuloitumisen seurauksena flokkien koko myös kasvaa, mikä kasvattaa entisestään laskeutumisenopeutta. Vyöhyke- ja puristuslaskeutusta tapahtuu silloin, kun jäteveden hiukkaskonsentraatio on suuri ( $> 1\,000\text{ mg/l}$ ) ja laskeutuvat flokit törmäilevät muihin flokkeihin. Vyöhykelaskeutumisessa flokkien vertikaalinen laskeutumisenopeus hidastuu mitä enemmän niiden konsentraatio jätevedessä kasvaa. Paineenalaisessa laskeutumisessa hiukkaskonsentraatio on niin suuri, että laskeutumista ei tapahdu ilman painetta. Tällaista tapahtuu joskus paksun lietekerroksen alimmissa osissa. (MacKenzie 2010; Karttunen 2004.) Tyypillisesti laskeutusaltat ovat suorakulmaisia tai pyöreitä. Liete laskeutuu altaan pohjalle, josta se kerätään lietelaahaimilla altainen pohjalla oleviin lietetaskuihin. Selkeytynyt jätevesi poistuu altainen yläosassa olevasta ylivuotokourusta. (MacKenzie 2010; Metcalf & Eddy 2014.)

Esiselkeytyksen optimaaliseen toimintaan vaikuttavat jäteveden viipymä ja virtausnopeus sekä laskeutusaltainen syvyys. Pidempi viipymäaika lisää flokkien muodostusta sekä niiden laskeutumista. Yksittäisten hiukkasten määrä kuitenkin vähenee ajan myötä, jolloin viipymäajan pidentämisellä ei ole enää merkittävästi vaikutusta laskeutuksen tehokkuuteen. Laskeutunut liete on biologisesti aktiivista ja liian pitkä viipymäaika mahdollistaa lietteen anaerobisen hajoamisen. Hapettomissa olosuhteissa tapahtuvan hajoamisen seurauksena vapautuu kaasuja, jotka nostavat jo laskeutunutta ainesta takaisin ylöspäin alentaen laskeutuksen tehokkuutta. Lisäksi jäteveden virtauksen tulee olla tarpeeksi

hidas, jotta laskeutunut materiaali ei nouse takaisin jätevesivirtaan. Jos laskeutusallas on liian syvä, flokit eivät ehdi laskeutua määrättyssä viipymääjassa. (MacKenzie 2010.)

Esiselkeytyksellä voi parhaimmillaan poistaa 30–70 % kiintoaineesta ja 25–40 % BOD:sta (Galil & Rebhun 1990; Morrissey & Harleman 1992; Metcalf & Eddy 2014). Poon & Chu (1999) mukaan esiselkeytyksessä poistuu noin 30 % fosforista, 15 % typestä ja 50 % öljystä ja rasvoista. Ravinteiden vähenemät ovat pieniä eikä pelkällä esiselkeytyksellä saavuteta Valtioneuvoston asetuksen (888/2006) asettamia vähimmäispoistotehovaatimuksia fosforille (80 %) ja typelle (70 %).

### 2.3.2 Esiselkeytyksen tehostaminen

Jätevesi sisältää pintavaraukseltaan negatiivisia kolloidisia partikkeleita, joiden koko vaihtelee välillä 0,001–1 µm. Kolloidien poistaminen painovoimaisesti laskeuttamalla vaatii usein pitkän viipymääjan. Tämän vuoksi esiselkeytystä tehostetaan usein kemiallisen koagulaatio-flokkulaation avulla, jossa jäteveteen lisätään saostuskemikaaleja ja/tai polymeerejä. (Metcalf & Eddy 2014.) Polymeereistä ja koagulanteista on kerrottu tarkemmin luvussa 3.2.1.

Kemiallinen koagulaatio-flokkulaatio koostuu kahdesta vaiheesta. Koagulaatiossa kolloidiset partikkelit tehdään epävakaaiksi, jolloin isompien partikkeleiden muodostuminen on mahdollista. Toisessa vaiheessa, flokkulaatiossa, partikkelit liittyvät yhteen Brownin liikkeen, differentiaalisen laskeutuksen tai sekoituksen ansiosta. Flokkulaation tarkoituksena on muodostaa flokkeja, jotka voidaan poistaa jätevedestä painovoimaisen laskeutuksen avulla. (Metcalf & Eddy 2014.)

Tehostetun esiselkeytyksen hyödyt riippuvat käytetyistä kemikaaleista ja niiden käyttömääristä, sekoitusajoista sekä koko prosessin ajotavasta. Parhaimmillaan kemiallinen saostus voi poistaa jopa 70–90 % kiintoaineesta ja 50–80 % BOD:sta. (Poon & Chu 1999; Metcalf & Eddy 2014.) Saostuskemikaalien käytöllä voidaan saavuttaa 65–95 % fosforinpoistoteho, kun taas typestä poistuu noin 35–40 %. Öljystä ja rasvoista poistuu tehostetun esiselkeytyksen avulla noin 70–80 %. (Poon & Chu 1999; Wang et al. 2009.)



## 3 MIKROSIIVILÖINTI JÄTEVEDEN ESIKÄSITTELYSSÄ

Kaupunkien väestömäärien ja siten yhdyskuntajätevesien kasvu kuormittavat monia jätevedenpuhdistamoita. Puhdistamoilla ei aina ole tilaa laajentaa ja esimerkiksi perinteisten, uusien esiselkeytysaltaiden rakentaminen voi olla kallista. Ongelmana on siis käsittelykapasiteetin kasvattaminen puhdistamoa laajentamatta. Yksi keino kapasiteetin kasvattamiseen on biologisen puhdistusprosessin kuormituksen vähentäminen uusilla esikäsittelymenetelmillä. (Väänänen et al. 2016.)

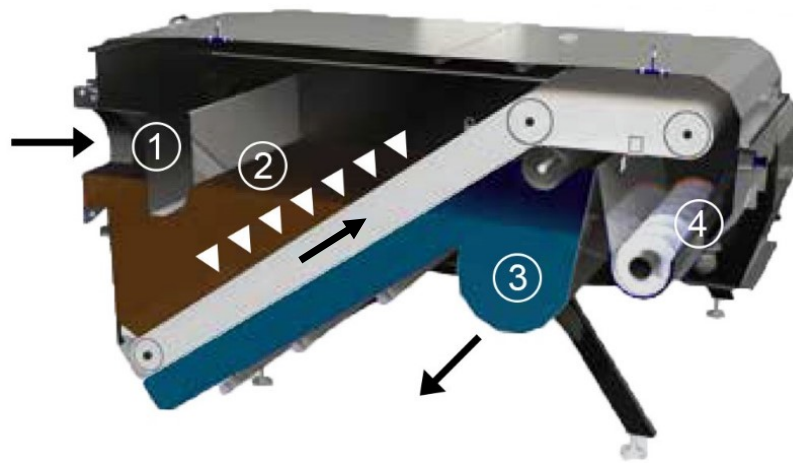
Mikrosiivilöinti, josta käytetään myös nimitystä viirasuodatus, on potentiaalinen esikäsittelymenetelmä, jolla voidaan korvata perinteinen esiselkeytys (Väänänen et al. 2016.). Yhdyskuntajätevesien käsittelyssä mikrosiivilöintiä käytetään kiintoaineen ja orgaanisen aineksen erottamiseen jätevedestä esi- ja jälkikäsittelyssä sekä hulevesien käsittelyprosesseissa (Ljunggren 2006). Tässä luvussa keskitytään mikrosiivilöinnin käyttöön jätevedenpuhdistamon esikäsittelyssä.

Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla esikäsittelyyn on hankittu mikrosiivilälaitteistot ja olemassa olevat esiselkeytysaltaat on otettu biologien puhdistusprosessin käyttöön. Mikrosiivilöinnillä on saatu hyviä puhdistustuloksia jätevedenpuhdistuksen esikäsittelyssä ja monissa tutkimuksissa on todettu mikrosiivilöiden tehostaneen TSS:n ja BOD:n erotusta perinteiseen esiselkeytykseen verrattuna. (Rusten & Ødegaard 2006; Sutton et al. 2008; Paulsrud et al. 2014; Franchi & Santoro 2015.)

### 3.1 Mikrosiivilöinnin periaate

Mikrosiivilöinnissä jäteveden kiintoainepartikkelit erotetaan fysikaalisesti suodatinkankaan pinnalle. Jätevesi virtaa painovoimaisesti suodatinkankaan lävitse, jolloin jätevedestä poistettavat kiintoainepartikkelit jäävät kankaalle ja puhdistettava vesi virtaa prosessissa eteenpäin. Suodatinkankaan pyöriessä sille kerääntyneet kiintoainepartikkelit kulkeutuvat lietteenkeräysastiaan. Liette voidaan edelleen käsitellä tiivistys- ja kuivatusosassa, jolloin saadaan kiintoainepitoisuudeltaan 20–30 % lietettä tai liete voidaan siirtää suoraan lietteenkäsittelyyn, jolloin sen kiintoainepitoisuus on 2–8 %. Suodatinkangas pestään irrottamalla kiintoainepartikkelit paineilman tai -veden avulla. Öljy ja rasva saadaan tehokkaimmin poistettua kuumen veden kuin paineilman avulla. (Franchi & Santoro 2015.)

Mikrosiivilät jaetaan rakenteen perusteella rumpu-, kiekko- ja nauhasiivilöihin (Kuva 3) (Väänänen 2017). Puhdistettava jätevesi virtaa tulokammioon (kohta 1), jonka jälkeen vesi suodattuu suodatinkankaan läpi (kohta 2). Siivilöity vesi siirtyy lähtevän veden putkeen (kohta 3). Suodatinkangas kuljettaa muodostuneen lietteen ruuvikuljettimelle, josta se siirtyy lietteenkeräysastiaan (kohta 4). Mikrosiivilä sijoitetaan yleensä välppäyksen ja hiekanerotuksen jälkeen, jolloin suodatinkangasta kuluttavat terävät partikkelit, kuten esimerkiksi hiekanjyvät sekä muovin- ja puunpalaset, saadaan erotettua jätevedestä (Ljunggren 2006; Astola 2020).

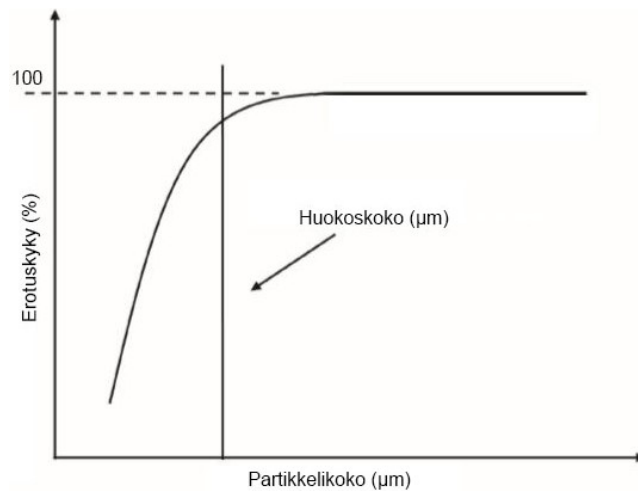


**Kuva 3.** Nauhasiivilätyyppinen mikrosiivilä (Salsnes Filter 2017, muokattu). Numeroidut kohdat: 1. Jäteveden tulokammio. 2. Suodatinkangas, joka liikkuu nuolen osoittamaan suuntaan. 3. Lähtevän veden putki. 4. Ruuvikuljetin.

Suodatinkangas on yleensä valmistettu polyesteristä ja sen tyypilliset huokoskoot vaihtelevat 50–500  $\mu\text{m}$  välillä (Franchi & Santoro 2015). Myös huokoskooltaan pienempiä ja suurempia suodatinkankaita on saatavilla. Yleisin yhdyskuntajäteveden esikäsittelyssä käytetty suodatinkankaan huokoskoko on 350  $\mu\text{m}$ . Markkinoilla saatavilla olevien mikrosiivilöiden suodatuspinta-ala vaihtelee 0,1–2,2  $\text{m}^2$  välillä. Mikrosiivilät ovat modulaarisia ja niiden lukumäärällä voidaan kasvattaa puhdistamon käsittelykapasiteettia. (Rusten et al. 2017.)

Suodatinkankaan huokoskokoa suuremmat jäteveden partikkelit jäävät suodatinkankaalle, jossa ne vähitellen muodostavat lietematon. Lietematto tehostaa suodatusprosessia, sillä se poistaa myös suodatinkankaan huokoskokoa pienempiä partikkeleita. Lietematon muodostumisen takia suodatuksen tehokkuus on suurimmillaan juuri ennen suodatinkankaan pesua. Pienet partikkelit eivät kuitenkaan vaikuta suuresti tulevan ja

lähtevän jäteveden kiintoainemassaan. (Ljunggren 2006; Franchi & Santoro 2015; Rusten et al. 2017.) Mikrosiivilän erotuskyky kasvaa partikkelikoon ollessa suurempi kuin suodatinkankaan huokoskoko (Kuva 4).



**Kuva 4.** Jäteveden kiintoainepartikkeleiden erotuskyky partikkelikoon funktiona (Ljunggren 2006, muokattu).

Lietematon muodostuminen vähentää virtaaman määrää, joten suodatinkankaan tulee pyöriä hydraulisen kapasiteetin ylläpitämiseksi. Kangas pestään automaattisesti joko jokaisen suodatusjakson välissä tai jatkuvasti kankaan pyöriessä. Mikrosiivilää voidaan operoida joko määrättyllä suodatinkankaan nopeudella ja muuttuvalla vedenpinnan korkeudella tai määrättyllä vedenpinnankorkeudella ja muuttuvalla suodatinkankaan nopeudella. Jälkimmäinen menetelmä on yleisempi ja siinä vedenpinnan noustessa suodatinkankaan pyörimisnopeus kasvaa. Suodatinkankaan nopeus riippuu tällöin virtaamasta ja jätevedestä poistettavan kiintoaineen määrästä. (Franchi & Santoro 2015; Rusten et al. 2017.)

Yhdyskuntajätevesien koostumus vaihtelee puhdistamoiden välillä, joten pilot-kokeiden avulla voidaan luotettavimmin arvioida kyseiselle puhdistamolle sopivaa suodatinkankaan huokoskokoä sekä muita mikrosiivilän toimintaan vaikuttavia parametrejä. Sopivan suodatinkankaan huokoskoon ja mikrosiivilän valintaan vaikuttavat tulevan jäteveden määrä ja laatu, erityisesti kiintoainepitoisuus ja flokkien muodostuminen, TSS:n ja BOD:n poistoteho sekä puhdistus- ja huoltotoimenpiteiden tarve. Jos huokoskoko on esimerkiksi liian pieni, suodatinkangas tukkiutuu helposti rasvasta ja öljystä, jolloin sitä tulee pestä useammin. Puhdistamolle tulevien virtaamien määrittämisellä varmistetaan mikrosiivilöiden kapasiteetin riittäminen puhdistustavoitteiden saavuttamiseksi. (Ljunggren 2006; Metcalf & Eddy 2014.) Suuri poistoteho ei siis ole tärkein parametri mikrosiivilöiden toiminnan suunnittelussa ja huokoskoon valinnassa. Suunnittelussa tulee huomioida

myös prosessiolosuhteet, mikrosiivilän optimaalinen toimintakyky sekä puhdistuksesta ja huollosta aiheutuvat käyttökustannukset.

### 3.2 Mikrosiivilöinnin tehostaminen polymeereillä

Mikrosiivilöinnin, kuten esiselkeytyksenkin, tehokkuutta voidaan parantaa kemiallisesti polymeerin ja/tai koagulantin lisäyksellä (CEPT = Chemically Enhanced Primary Treatment). Kemikaaleja käytetään erityisesti, jos puhdistettavan jäteveden ominaisuudet eivät sovi mikrosiivilöintiin tai jos tavoitteena on poistaa niin paljon kiintoainetta kuin mahdollista. (Rusten et al. 2017.) Lisäksi tertiärikäsittelyssä on huomattu, että koagulanteilla aikaansaadut flokit eivät ole tarpeeksi vahvoja kestääkseen mikrosiivilän aiheuttaman rasituksen, jolloin flokkeja voidaan vahvistaa polymeerilisäyksellä (Ljunggren 2006).

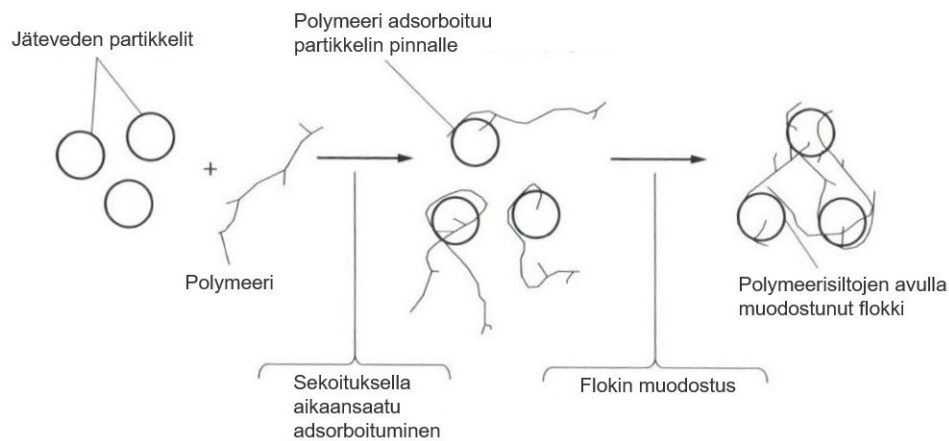
Kemikaalilisäyksellä parannetaan erityisesti TSS:n ja COD:n poistotehoja. Korkeat poistotehot ovat hyödyllisiä erityisesti silloin, kun puhdistamon tavoitteena on tuottaa mahdollisimman paljon energiaa lietteestä saatavalla biokaasulla. Samalla vähennetään ilmastuksen energiankulutusta ja parannetaan puhdistamon energiatehokkuutta. (Rusten et al. 2017.)

Yksinkertaisin tapa on lisätä polymeeriä suoraan jäteveeseen ennen mikrosiivilöintä. Norde Follon jätevedenpuhdistamolla Norjassa tutkimuksissa käytettiin kationista, korkean molekyylipainon omaavaa polymeeriä ja TSS:n poistotehot kasvoivat noin 20 prosenttiyksikköä. Ilman polymeeriä mikrosiivilöinnillä saavutetut TSS:n poistotehot vaihtelivat 40–50 % välillä ja polymeerilisäyksen jälkeen TSS:n poistotehot olivat 60–70 % välillä. Puhdistustehokkuuden paraneminen on tärkeää etenkin, jos mikrosiivilöinti on ainoa jätevedenpuhdistuksen esikäsittelyprosessi. (Rusten et al. 2017.)

#### 3.2.1 Polymeerit ja koagulantit

Koagulantti on kemikaali, joka tekee kolloidisista partikkeleista epävakaita ja mahdollistaa flokkien muodostumisen. Tyypillisimpiä koagulantteja ovat metallisuolat, kuten alumiinin ja raudan suolat. Flokkulantti on kemikaali, joka parantaa flokkien muodostusta. Flokkulantteina käytetään yleensä polymeerejä. Useimmiten jätevedenpuhdistuksessa käytetään joko alumiinisulfaattia ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ ) tai ferrikloridia ( $\text{FeCl}_3$ ) yhdessä anionisen polymeerin kanssa. Jäteveden vaihtelevien ominaisuuksien takia erilaisten kemikaalien käyttöä ja määriä tulee testata pilot-kokeiden avulla. (MacKenzie 2010; Metcalf & Eddy 2014.)

Polymeerit eli polyelektrolyytit voidaan jakaa luonnollisesti esiintyviin ja synteettisesti valmistettuihin polymeereihin. Lisäksi polymeerit voidaan jakaa niiden varauksen perusteella anionisiin, kationisiin ja neutraaleihin polymeereihin. Polymeerit voivat muodostaa partikkeleista flokkeja kolmella eri tavalla: neutraloimalla niiden varausta, muodostamalla polymeerisiltoja partikkeleiden välille tai näiden yhdistelmällä. Jäteveden sisältämät partikkelit ovat yleensä negatiivisesti varautuneita, jolloin käytetään kationisia polymeerejä. Tällöin polymeeri adsorboituu partikkelin pinnalle ja neutraloi sen varauksen. Polymeerisiltojen muodostuksessa käytetään anionisia tai neutraaleja polymeerejä, jotka kiinnittyvät partikkeleiden pinnalle muodostaen flokkeja (Kuva 5). Käytettäessä suuren molekyylipainon omaavia kationisia polymeerejä, partikkelit voidaan neutraloida ja niiden välille muodostaa siltoja. (Metcalf & Eddy 2014.)



**Kuva 5.** Flokin muodostus polymeerin avulla (Metcalf & Eddy 2014, muokattu).

### 3.3 Mikrosiivilöinnin poistotehot

Arviot mikrosiivilöinnillä saavutettavista TSS:n, COD:n ja BOD:n poistotehoista ovat yleensä kokemusperäisiä. Poistotehoihin vaikuttavat puhdistamolle tulevan jäteveden laatu, kuormitus, mikrosiivilän suodatinkankaan huokoskoko, lietematon muodostuminen suodatinkankaan pinnalle sekä polymeerin ja/tai koagulantin lisäys. (Ljunggren 2006; Rusten et al. 2017.) Mikrosiivilän poistotehoja on tutkittu yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla erilaisilla kuormituksilla ja suodatinkankaan huokoskoilla (Taulukko 3).

**Taulukko 3.** Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden poistotehoja mikrosiivilällä kolmella suodatinkankaan huokoskoolla ja eri kuormituksilla.

Jätevedenpuhdistamo	Kuormitus m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -h	Suodatinkankaan huokoskoko µm	TSS:n poistoteho %	BOD:n poistoteho %	COD:n poistoteho %
Australia <sup>a</sup>	e.i.	350	38	20	23
Australia <sup>a</sup>	e.i.	250	44	e.i.	e.i.
Guldholmstranda, Norja <sup>b</sup>	116	350	78	e.i.	e.i.
Oslo, Norja <sup>c</sup>	22	33	41	e.i.	31
Strømmen, Norja <sup>d</sup>	46	350	34	e.i.	24
Strømmen, Norja <sup>d</sup>	63	350	22	e.i.	19
Strømmen, Norja <sup>d</sup>	146	350	59	e.i.	39
Tromssa, Norja <sup>b</sup>	25	350	90	80	e.i.
UC Davis, CA USA <sup>a</sup>	150	350	54	e.i.	e.i.

e.i.: ei ilmoitettu, a: Franchi & Santoro (2015), b: Rusten & Ødegaard (2006), c: Rusten et al. (2016), d: Rusten et al. (2017). b, c, d & a(USA): kokeet on tehty jätevedenpuhdistamoiden olosuhteissa markkinoilla olevilla mikrosiivilillä. c & b: tulokset on ilmoitettu kertainäytteiden keskiarvoina. d: tulokset on ilmoitettu kokeen aikana kerättyjen kokoomanäytteiden keskiarvona. Muiden kokeiden näytteenottoa ei raportoitu. Kokeet suoritettiin ilman polymeerilisäyksiä.

Poistotehoissa on pilot-kokeiden välillä paljon eroja, sillä jäteveden laatu, kuormitus, ajo-parametrit ja vedenpinnan korkeus vaihtelevat puhdistamoiden välillä. TSS:n poistoteho vaihtelee 350 µm suodatinkankaalla keskimäärin noin 20–90 % välillä ja COD:n poistoteho 20–40 % välillä. Australiassa 350 µm suodatinkankaalla saavutettiin 20 % BOD:n poistoteho, muissa tutkimuksissa Tromssaa lukuun ottamatta BOD:a ei mitattu. Tromssan jätevedenpuhdistamolla saavutettuja suuria poistotehoja (90 % TSS ja 80 % BOD) selittävät alhainen kuormitus ja paksu lietematto suodatinkankaan pinnalla (Rusten & Ødegaard 2006). Rusten et al. (2016) saavuttivat 33 µm suodatinkankaalla ja 22 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-h kuormituksella 41 % TSS:n ja 31 % COD:n poistotehot. Tässä tutkimuksessa lietematon ei annettu syntyä suodatinkankaalle. Suuriin poistotehoihin pääseminen vaatii usein lietematon muodostumista ja kohtalaista kuormitusta (Rusten & Ødegaard 2006; Rusten et al. 2017).

Kuten luvussa 3.2 on kerrottu, jäteveden käsittelyä voidaan tehostaa kemikaaleilla (CEPT). Mikrosiivilillä saavutettuja TSS:n poistotehoja on tutkittu yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla erilaisilla polymeereillä, kuormituksilla ja suodatinkankaan huokoskoilla (Taulukko 4).

**Taulukko 4.** Polymeerilisäyksen jälkeiset poistotehot mikrosiivilillä kolmella yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla.

Jätevedenpuhdistamo	Kuormitus (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -h)	Suodatinkankaan huokoskoko (µm)	Polymeeri ja annostus (mg/l)	TSS:n poistoteho (%)
Australia <sup>a</sup>	e.i.	350	Kationinen polymeeri, 2	72
Australia <sup>a</sup>	e.i.	250	Kationinen polymeeri, 2	74
Bangsund, Norja <sup>b</sup>	25	250	Pemcat 163, 1	66
Ås, Norja <sup>c</sup>	43	350	Kationinen polymeeri, 1,77	70
Ås, Norja <sup>c</sup>	41	250	Kationinen polymeeri, 0,98	60

e.i.: ei ilmoitettu, a: Franchi & Santoro (2015), b: Rusten & Ødegaard (2006), c: Rusten et al. (2017). b & c: kokeet on tehty jätevedenpuhdistamoiden olosuhteissa markkinoilla olevilla mikrosiivilöillä. c: tulokset on ilmoitettu kokeen aikana kerättyjen kokoomanäytteiden keskiarvona. a & b: kokeiden näytteenottoa ei raportoitu.

Kokeiden perusteella TSS:n poistoteho 1–2 mg/l polymeerilisäyksellä olisi noin 60–70 %. Polymeerin lisäyksellä mikrosiivilöillä saavutetaan noin 20 % parempia poistotehoja kuin ilman polymeeriä (Rusten & Ødegaard 2006; Franchi & Santoro 2015; Rusten et al. 2017). Lisäksi Franchi & Santoro (2015) raportoivat artikkelissaan, että 350 µm suodatinkankaalla saavutettiin 41 % BOD:n ja 46 % COD:n poistotehot. Muissa tutkimuksissa BOD:n ja COD:n poistotehoja ei mitattu. Ilman polymeerilisäystä BOD:n poistoteho oli 20 % ja COD:n 23 % (Taulukko 3). Tämän tutkimuksen perusteella myös BOD:n ja COD:n poistotehot paranevat polymeerilisäyksellä.

### 3.4 Ravinteiden poistoteho

Jos mikrosiivilöitä käytetään jätevedenpuhdistuksen esikäsittelyssä ennen varsinaista biologista puhdistusprosessia, on tärkeää ottaa huomioon ravinteiden poistuminen jätevedestä. Biologiset jätevedenpuhdistusprosessit vaativat toimiakseen biologisesti hajoavaa orgaanista ainesta ja ravinteita, erityisesti typpeä ja fosforia. Ravinteiden liiallinen poistoteho mikrosiivilöinnillä tulee ottaa huomioon erityisesti sellaisilla puhdistamoilla, joissa on käytössä aktiivilieteprosessi, biologinen fosforinpoisto tai typenpoisto esidenitrifikaatiolla. Suuret partikkelit ovat hitaasti hajoavia, joten suodatinkankaan huokoskoolla ja sen puhdistamisella voidaan vaikuttaa erilaisten partikkeleiden pidättymiseen mikrosiivilöillä. Lisäksi pienemmät partikkelit pidättäytyvät mikrosiivilölle, jos lietematon anne-

taan muodostua suodatinkankaalle. Ongelmana on, kuinka pieni hiukkaskoko on optimaalisin partikkeleiden poistoon ilman negatiivisia vaikutuksia biologisiin puhdistusprosesseihin. (Paulsrud et al. 2014; Rusten et al. 2016.)

Optimaaliseen poistettavaan partikkelikokoon vaikuttavat valittu biologinen puhdistusprosessi, jäteveden koostumus, lieteikä sekä jäteveden lämpötila. (Rusten et al. 2016.) Newcombe et al. (2011) mukaan 15–20 µm suodatinkankaan huokoskoko on optimaalisin partikkeleiden poistoon ennen aktiivilieteprosessia, biologista fosforinpoistoa ja typenpoistoa. Yleisin yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla käytetty suodatinkankaan huokoskoko on kuitenkin 350 µm (Rusten et al. 2017).

Väänänen et al. (2016) tutkivat mikrosiivilöiden ravinteidenpoistotehoa ja saavuttivat 30, 40 ja 100 µm suodatinkankaan huokoskoilla noin 20 % fosforinpoistotehon. 2–4 mg/l polymeerilisäyksen jälkeen fosforinpoistoteho oli 50–90 %. Franchi & Santoro (2015) raportoivat, että Australiassa tehdyssä kokeessa fosforia ei poistunut juuri lainkaan ilman polymeerilisäystä ja 2 mg/l polymeerilisäyksen jälkeen fosforinpoistoteho oli noin 16 %. Suodatinkankaan huokoskoko oli 350 µm. Jos puhdistuksen tehostuksessa käytetään polymeerin lisäksi koagulanttia, esimerkiksi 10–20 mg/l polyalumiini- tai ferrikloridia, fosforia saattaa poistua liikaa biologista puhdistusprosessia ajatellen (Väänänen et al. 2016). Väänänen et al. (2016) saavuttivat yli 95 % fosforinpoistotehon käyttäessään 1–5 mg/l polymeeriä ja 5–20 mg/l alumiinikloridia tai 10–30 mg/l ferrikloridia. Suuria fosforinpoistotehoja voi osaltaan selittää suuret kemikaaliannostukset, jotka eivät välttämättä ole optimaalisia ja kustannustehokkaita yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla. Fosforia tarvitaan biologisessa prosessissa noin 0,5–1 mg/l (Väänänen et al. 2016).

Ohjausjärjestelmällä prosessia voidaan ohjata siten, että saavutetaan biologisille puhdistusprosesseille optimaaliset ravinnepitoisuudet. Tähän voidaan vaikuttaa suodatinkankaan huokoskoolla, suodatinkankaan pyörimisnopeudella, vedenpinnan korkeudella sekä polymeeri- ja koagulanttiannostuksilla. Jätevettä voidaan myös johtaa mikrosiivilöiden ohitse tietty prosenttiosuus tulevasta jätevesivirtaamasta, jolloin voidaan myös vaikuttaa puhdistusprosessin ravinnepitoisuuksiin. Lisäksi toiminnassa olevien mikrosiivilöiden määrää voidaan muuttaa. Mikrosiivilöiden toiminnan optimointi vaatii lähes kaikissa tapauksissa pilot-kokeita, sillä puhdistamoille tulevan jäteveden määrä ja koostumus vaihtelevat alueittain. (Väänänen et al. 2016; Rusten et al. 2017.)

### **3.5 Mikrosiivilöinnin edut esiselkeytykseen verrattuna**

Esiselkeytykseen verrattuna mikrosiivilöinnin etuna pidetään pienempää tilan sekä rakentamisen tarvetta. Mikrosiivilät vievät noin yksi kymmenesosa esiselkeytysaltaiden



vaatimasta pinta-alasta. Maan alle rakennetut esiselkeytsaltaat ovat myös kalliimpia, sillä mikrosiivilöiden tarvitsemat perustukset eivät vaadi yhtä paljon betonia kuin esiselkeytsaltaiden perustukset. (Franchi & Santoro 2015.) Lisäksi useiden tutkimusten perusteella esikäsitellyn BOD:n ja TSS:n poistotehot ovat parantuneet, kun perinteinen esiselkeytys on korvattu mikrosiivilöillä (Akervold 2004; Berg 2004; Misund et al. 2004; Ødegaard 2005; Rusten & Ødegaard 2006, Paulsrud et al. 2014 mukaan). Poistotehoihin vaikuttaa suuresti lietematon muodostuminen suodatinkankaan pinnalle, joten jos lietemattoa ei pääse muodostumaan, poistotehot jäävät alhaisemmiksi (Ljunggren 2006).

Esiselkeytyksen toiminta riippuu tulevan jäteveden koostumuksesta, virtaamasta sekä esiselkeytsaltaiden koosta ja muodosta. Laskeutuksessa halutun kokoisten kiintoainepartikkeleiden erottaminen jätevedestä ennen biologista puhdistusprosessia on lähes mahdotonta. Mikrosiivilöillä voidaan rajata puhdistusprosessin hiukkasten kokoa suodatinkankaan huokoskoolle ja ohjausjärjestelmällä, kuten luvussa 3.4 on mainittu. (Rusten et al. 2016.)

Puhdistamon koosta, prosesseista ja tulevasta jätevedestä riippuen biologinen prosessi voi kuluttaa jopa 50–80 % koko puhdistamon energiankulutuksesta. Mikrosiivilöinnin avulla biologisen prosessin energiankulutusta voidaan pienentää aktiivilieteprosessiin päätyviä TSS- ja BOD-pitoisuuksia pienentämällä. Tällöin ilmastuksen tarve on alhaisempi ja energiaa kuluu vähemmän. Syntyvää lietettä ei myöskään tarvitse jatkotiivistää, jos liete kuivataan laitteen puristussyksikössä siivilöinnin jälkeen. Tällöin säästetään myös lietteenkäsittelykustannuksissa. (Franchi & Santoro 2015.)

Muodostuva liete voidaan käyttää biokaasuksi. Paulsrud et al. (2014) tutkivat mikrosiivilöistä ja esiselkeytsaltaista saatavan primäärilietteen DS- (kuiva kiintoaine), VS- (haihtuva kiintoaine) ja COD-pitoisuuksia sekä metaanintuottopotentiaalia (BMP test = Biomethane Potential test) norjalaisilta jätevedenpuhdistamoilta kerätyillä kerta-äytteillä. Mikrosiivilälietteiden BMP:n keskiarvo oli 345 NmL CH<sub>4</sub>/g VS ja primäärilietteiden BMP:n keskiarvo oli 287 NmL CH<sub>4</sub>/g VS. Esiselkeytyksen primäärilietteen alhaisempaa tulosta saattaa osittain selittää se, että säilytyksen aikana osa lietteestä alkaa hydrolysoitua jäteveden sekaan. Tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että mikrosiivilöillä tuotetun lietteen metaanintuottopotentiaali anaerobisessa mädättämössä on korkeampi kuin esiselkeytsaltaista saatavan primäärilietteen metaanintuottopotentiaali. (Paulsrud et al. 2014.)

Mikrosiivilöiden rakentaminen ja käyttö tuottavat esiselkeytysaltaiin verrattuna vähemmän CO<sub>2</sub>-päästöjä, jolloin puhdistamon hiilijalanjäljestä tulee pienempi. Ympäristövaikutukset ovat pienemmät erityisesti siksi, että perustuksiin tarvitaan vähemmän betonia. (Paulsrud et al. 2014; Franchi & Santoro 2015.)

Pohjoisamerikkalaisen kunnallisen jätevedenpuhdistamon esiselkeytysaltaan ja mikro-siivilän hiilijalanjälkiä on verrattu taulukossa 5. Vertailun ajanjakso on 20 vuotta ja yksikönä on hiilidioksidiekvivalentti. Mikro-siivilän energiantarve on tosin hieman suurempi esiselkeytysaltaan energiantarpeeseen verrattuna. Tämä aiheutuu suodatinkankaan pyörimisen, paineilmapuhdistimen ja kierrepuristimen vaatimasta sähkönkulutuksesta. Ottaen huomioon koko esiselkeytysaltaan ja mikro-siivilän elinkaari 20 vuoden ajalta, mikro-siivilän hiilijalanjälki on noin 36 % pienempi kuin esiselkeytysaltaan hiilijalanjälki. Uusiutuvan energian käytöllä ja puhdistamoiden energiaomavaraisuudella mikro-siivilöiden käytön hiilijalanjälkeä voidaan pienentää.

**Taulukko 5.** Esiselkeytysaltaan (virtaama 315 m<sup>3</sup>/h) ja mikro-siivilän hiilijalanjäljen vertailu 20 vuoden ajalta (Salsnes Filter 2017, muokattu).

<b>Esiselkeytysallas</b>	Hiilijalanjälki (kg CO <sub>2</sub> e)
Altaiden harjateräkset ja betoni	195 033
Kaapimien uusiminen	98 495
Energiantarve (kaapimet, pumput ja vedenpoisto)	428 560
<b>Yhteensä</b>	<b>722 088</b>
<b>Mikrosiivilä</b>	Hiilijalanjälki (kg CO <sub>2</sub> e)
Kammio, viiramatto ja ympäröivä infrastruktuuri	4 418
Viiramatton vaihdot	2 920
Energiantarve (suodatinkangas, paineilmapuhdistin ja kierrepuristin)	452 720
<b>Yhteensä</b>	<b>460 058</b>

Mikrosiivilöiden käytöllä vältetään suurilta rakennuskustannuksilta ja esiselkeytykseen verrattuna mikro-siivilöillä on pienemmät pääoma- ja käyttökustannukset (Franchi & Santoro 2015). Rusten & Ødegaard (2006) arvioivat mikro-siivilöiden hinnan olevan vain noin 50 % esiselkeytysaltaiin verrattuna, kun otetaan huomioon investointikustannukset ja vuotuiset kokonaiskustannukset, mukaan lukien käyttö- ja ylläpitokustannukset. Suurimmat käyttö- ja ylläpitokulut aiheutuvat suodatinkankaan vaihtamisesta. Suodatinkankaan vaihtoväli on puhdistamolle tulevasta jätevedestä riippuen noin 1–3 vuotta. Hiekka ja karkeat partikkelit kuluttavat suodatinkankaan pintaa. (Astola 2020.)

Kaupunkien väestömäärien kasvaessa puhdistamoiden käsittelykapasiteettia tulee usein suurentaa, jolloin laajentamisvaiheessa mikro-siivilöitä voidaan hankkia helposti lisää. Laajennustarpeessa olevilla puhdistamoilla esiselkeytys voitaisiin korvata mikro-sii-

vilöillä, jolloin ei juurikaan tarvita lisää rakennuspinta-alaa ja vältetään uusien esiselkeytysaltaiden rakentamiselta. Tämän jälkeen esiselkeytysaltaat voidaan ottaa biologisen puhdistusprosessin käyttöön ja näin laajentaa sen kapasiteettia. (Paulsrud et al. 2014.)

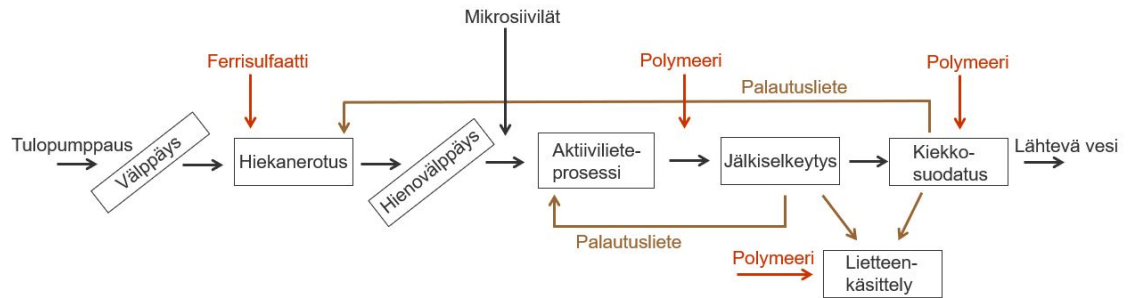
## 4 TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

Diplomityössä tarkasteltiin perinteiselle esiselkeytykselle vaihtoehtoisena tekniikkana mikrosiivilöintiä. Työssä hyödynnettiin kahden eri valmistajan mikrosiivilöiden pilot-koikeista saatuja TSS:n ja BOD:n poistotehoja. Mikrosiivilöitä testattiin eri huokoskoon kan-kailla sekä erilaisilla polymeereillä ja polymeeriannostuksilla. Tavoitteena oli optimoida jätevedenpuhdistamon toimintaa mikrosiivilöintiin perustuvaa esikäsitteilyä hyödyntäen. Työssä määritettiin laskentamallin ja puhdistamomallin avulla aktiivilieteprosessin, jälki-selkeytyksen ja jälkikäsitteilyn toimintaa eri tulovirtaamilla nykyisessä sekä kuormitus-enusteen mukaisessa tilanteessa. Mallien tuloksia verrattiin toisiinsa sekä kirjallisuudessa esitettyihin ohjearvoihin.

### 4.1 Kohdelaitos

Tässä työssä kohdelaitoksena on Pietarsaaren Veden Alhedan jätevedenpuhdistamo, joka on otettu käyttöön vuonna 1979. Puhdistamo sijaitsee Alholmassa Pietarsaaren keskustan pohjoispuolella. Puhdistamon asukasvastineluku on noin 32 000 ja vuonna 2025 asukasvastineluvun on arvioitu olevan noin 41 400.

Puhdistamon prosessi koostuu tällä hetkellä kaksivaiheisesta välppäyksestä, hiekanerok-duksesta, aktiivilieteprosessista, jälkiselkeytyksestä ja kiekkosuodatukselta (Kuva 6). Puhdistamolla ei ole esiselkeytystä. Puhdistamolla on havaittu saneeraustarve, sillä tu- lokuormitus on kasvanut ja aktiivilieteprosessissa muodostunut liete ei ehdi laskeutua selkeytyksessä. Tällöin jälkikäsitteilyyn karkaa liikaa kiintoainetta. Nykyisen puhdistamon yhteyteen suunnitellaan uutta esikäsitteilyä, jonka avulla aktiivilieteprosessin nykyisen kapasiteetin tulisi riittää paremmin. Perinteiselle esiselkeytykselle vaihtoehtoisena tek- niikkana tarkasteltiin mikrosiivilöintiä. Tavoitteena oli, että uusi esikäsitteilyprosessi ja mikrosiivilöinti pienentäisi merkittävästi BOD- ja TSS-kuormaa, jolloin ilmastus- ja sel- keytyslaitteita ei tarvitsisi laajentaa. Mikrosiivilät asennetaan hiekanerotuksen jälkeen en- nen aktiivilieteprosessia (Kuva 6). Tavoitteena oli myös tehostaa puhdistamon energian- käyttöä, sillä ilmastusaltaat kattavat suuren osan puhdistamon energiankulutuksesta. Mikrosiivilöiden avulla puhdistamolla pyritään myös tehokkaampaan ravinteiden talteen- ottoon, erityisesti rakennusvaiheen pienempään hiilijalanjälkeen esiselkeytykseen ver- rattuna ja koko laitoksen tehokkaampaan energiankäyttöön. Nämä asiat vaikuttivat osal- taan puhdistamon ympäristöministeriöltä myöntämän tuen saamiseen esikäsitteilypro- sessin saneeraamiseksi.



**Kuva 6.** Alhedan jätevedenpuhdistamon nykyinen prosessikaavio. Tulevaisuudessa mikrosiivilät asennetaan välppäyksen ja hiekanerotuksen jälkeen, jolloin hienovälppäyksestä luovutaan.

## 4.2 Tuleva ja lähtävä jätevesi

Alhedan jätevedenpuhdistamolle johdetaan Pietarsaaren ja Uudenkaarlepyyn kaupunkien sekä Luodon ja Pedersören kuntien viemäroityjen alueiden jätevedet. Puhdistamon keskimääräinen tulovirtaama vuosina 2016–2019 oli 9 960 m<sup>3</sup>/d (Taulukko 6). Kuormitustietojen perusteella puhdistamon tulokuormitus ei ole muuttunut merkittävästi. Pietarsaaren alueella on käytössä sekaviemärointi, jolloin lumien sulamisvesistä ja sateista syntyvät vuosittaiset vaihtelut aiheuttavat hieman vaihtelua virtaamiin. Lisäksi hulevedet saavat aikaan puhdistamolla äkillisiä virtaamahuippuja, jotka aiheuttavat ohijuokсутusta. Puhdistamon maksimi vuorokausi- ja tuntivirtaamat ovat huomattavasti keskimääräistä tulovirtaamaa suurempia (Taulukko 6).

**Taulukko 6.** Alhedan jätevedenpuhdistamon keskimääräinen tulokuormitus vuosina 2016–2019. Tiedot on koottu kuormitus- ja käyttötarkkailun vuosiyhteenvedoista.

Parametri	2016	2017	2018	2019
Q <sub>kesk</sub> (m <sup>3</sup> /d)	10 798	9 812	9 050	10 172
Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /d)	32 293	20 775	21 413	22 193
q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /h)	1 640*	1 038	1 090	1 240
BOD <sub>7-ATU</sub> (kg/d)	2 129	2 109	2 103	2 105
P <sub>kok</sub> (kg/d)	60	60	61	57
N <sub>kok</sub> (kg/d)	497	537	494	505
COD <sub>Cr</sub> (kg/d)	4 640	4 698	4 678	5 058
SS (kg/d)	2 232	2 289	2 466	3 136

\*Virtaamamittari oli ollut epäkunnossa ja todellisen maksimi tuntivirtaaman (q<sub>max</sub>)

oletetaan olleen > 2 000 m<sup>3</sup>/h.

Puhdistamolle on laadittu kuormitusennuste vuoteen 2025 (Taulukko 7). Maksimivirtaaman ei ole oletettu merkittävästi kasvavan, sillä jatkossa vuotovesien määrää pyritään rajoittamaan.

**Taulukko 7.** Alhedan jätevedenpuhdistamon kuormitusennuste vuoteen 2025.

<b>Parametri</b>	<b>2025</b>
AVL (as.)	41 430
Q <sub>kesk</sub> (m <sup>3</sup> /d)	10 800
Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /d)	25 000
q <sub>kesk</sub> (m <sup>3</sup> /h)	450
q <sub>mit</sub> (m <sup>3</sup> /h)	900
q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /h)	1 400
BOD <sub>7-ATU</sub> (kg/d)	2 900
COD <sub>Cr</sub> (kg/d)	7 100
SS (kg/d)	3 560
P (kg/d)	91
N (kg/d)	5 807

Yhdyskuntajätevesien lisäksi puhdistamolle johdetaan teollisuuslaitosten jätevesiä. Merkittävimpiä teollisuusjätevesiä ovat teurastamon, einestuotteiden valmistuksen, jätehuoltoyhtiöiden, pesulan, hiomapaperitehtaan, perunan pesu- ja kuorintatehtaan, rehutehtaan ja muovialan yrityksen tuottamat jätevedet. Yhteensä teollisuusjätevedet muodostavat noin 20–30 % puhdistamolle tulevasta orgaanisesta kuormasta. Teollisuuslaitosten jätevesien metallipitoisuudet ovat vähäisiä puhdistamon tarkkailutulosten perusteella. Tyypillisesti teollisuuslaitosten jätevesiä tarkkaillaan 12 kertaa vuodessa ja niistä aiheutuva kuormitus vaihtelee vuoden- ja vuorokaudenaikojen mukaan (Luku 2.1).

Puhdistamolle tuodaan myös umpikaivolietettä sekä pienpuhdistamoiden lietteitä. 2000-luvulla näiden määrä on vaihdellut välillä 11 000–16 000 m<sup>3</sup>/a. Lietteiden kuormitus on mukana puhdistamon tulokuormituksessa ja ne edustavat noin 10 % puhdistamon kokonaiskuormituksesta (LSSAVI 2013). Luvuissa on mukana myös sakokaivolietteiden määrä. Sakokaivolietteiden vastaanotto puhdistamolla on lakkautettu vuonna 2016 ja ne viedään Kokkolan biokaasulaitokselle.

Lähtevän jäteveden käsittelytulosten tulee täyttää neljännesvuosikeskiarvoina lasketuna ympäristöviranomaisen puhdistamolle asettamat pitoisuuden ja käsittelytehon raja-arvot (Taulukko 8). BOD:n ja fosforin osalta puhdistamon poistotehon tulee olla vähintään 95 % ja COD:n ja TSS:n osalta vähintään 90 %.

**Taulukko 8.** Alhedan jätevedenpuhdistamon ympäristölupaehdot (LSSAVI 2013).

Parametri	Pitoisuus enintään mg/l	Poistoteho vähintään %
BOD <sub>7-ATU</sub>	10	95
COD <sub>Cr</sub>	70	90
SS	20	90
P <sub>tot</sub>	0,3	95
N <sub>tot</sub>	e.r.	60*

e.r.: ei raja-arvoa, \*: Tavoitteellinen typenpoistoteho lasketaan vuosikeskiarvona vain siltä ajalta, jolloin tulevan jäteveden lämpötila on vähintään 12 °C.

### 4.3 Pilot-kokeet mikrosiivilöillä

Mikrosiivilöinnin toiminnan ja tehokkuuden tutkimiseksi Alhedan jätevedenpuhdistamolla suoritettiin pilot-kokeita kahdella eri mikrosiivilälaitteistolla keväällä 2020. Laitteistot oli koottu kontteihin jätevedenpuhdistamon pihalle (Kuva 7). Kokeiden tarkoituksena oli kar-  
toittaa mikrosiivilöillä saavutettavia TSS:n ja BOD:n poistotehoja eri virtaamilla, mikrosiiviläkankaan huokoskoilla ja polymeereillä sekä ilman polymeeriä.

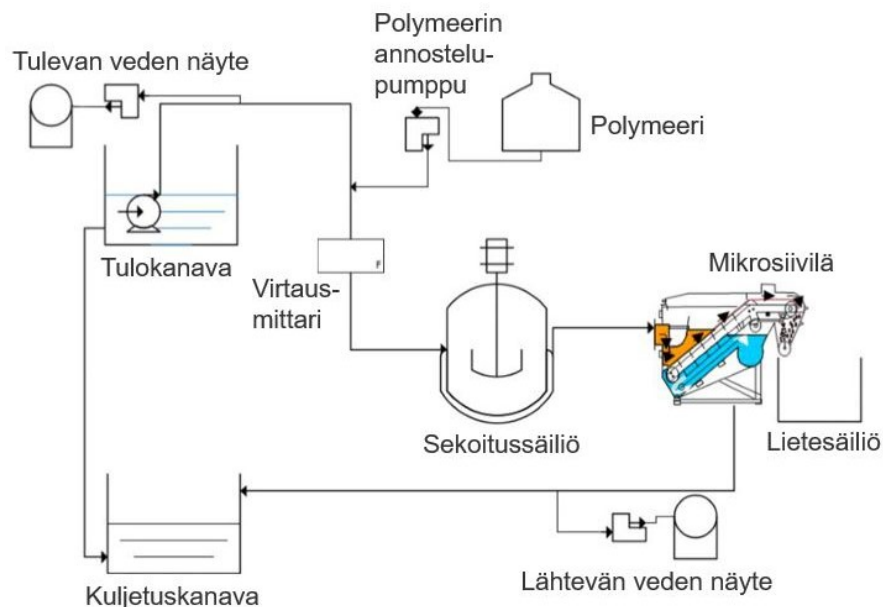


**Kuva 7.** Kokeissa käytetty mikrosiivilälaitteisto 1.

Kokeessa 1 mikrosiivilälaitteisto oli Salsnes Filter SF 1000 (laitteisto 1) ja mikrosiiviläkankaan huokoskoot olivat 210 µm ja 500 µm. Polymeerit olivat Zetag 8165 (7 g/m<sup>3</sup>),

Zetag 7563 ( $5 \text{ g/m}^3$ ) ja Zetag 8140 ( $1,5 \text{ g/m}^3$ ). Kokeessa 2 mikrosiivilälaitteisto oli Nordic Water Sobyte Belt Filter TD (laitteisto 2) ja mikrosiiviläkankaan huokoskoot olivat  $120 \mu\text{m}$  ja  $300 \mu\text{m}$ . Polymeerit olivat Zetag 8140 ( $2 - 6 \text{ g/m}^3$ ), Zetag 7563 ( $2 - 4 \text{ g/m}^3$ ) ja Kemira A100 ( $2 - 4 \text{ g/m}^3$ ). Koeajoissa käytetyt polymeeriannostukset on esitetty suluissa. Kaikki Zetag-sarjan polymeerit ovat kationisia ja molekyyllipainoltaan korkeita polymeerejä. Kemira A100 -polymeeri on anioninen, korkean molekyyllipainon polymeeri.

Koeajolaitteistot (Kuva 8) käsittivät polymeerin lisäyksen, sekoituksen, jatkuvatoimisen mikrosiivilöinnin sekä automaattiset näytteenottimet ennen ja jälkeen suodatuksen. Tulevana jätevetenä käytettiin välpättyä ja hiekanerotettua jätevettä, joka pumpattiin sekoitussäiliöön. Polymeeri syötettiin tulevan veden putkeen ennen sekoitussäiliötä. Tulevan veden putki oli varustettu virtaamamittarilla. Käsiteltävä jätevesi kulki mikrosiivilän läpi ja suodatettu vesi poistettiin lähtevän veden putkeen. Kiintoaines jäi mikrosiiviläkankaalle, josta se poistui lietesäiliöön.



**Kuva 8.** Mikrosiivilän koeajolaitteistojen prosessikaavio (Haugan & Astola 2020, muokattu).

Koeajolaitteistojen tulevasta ja lähtevästä jätevedestä otettiin kokoomanäytteet ajojen aikana automaattisilla näytteenottimilla. Laitteiston 1 näytteistä analysoitiin TSS-,  $\text{BOD}_{7\text{-ATU}}$ - ja  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ -arvot ja laitteiston 2 näytteistä analysoitiin TSS-, ja  $\text{BOD}_{7\text{-ATU}}$ -arvot. Lietteitä ei analysoitu. Analyysit tehtiin ulkopuolisessa, akkreditoidussa laboratoriossa.

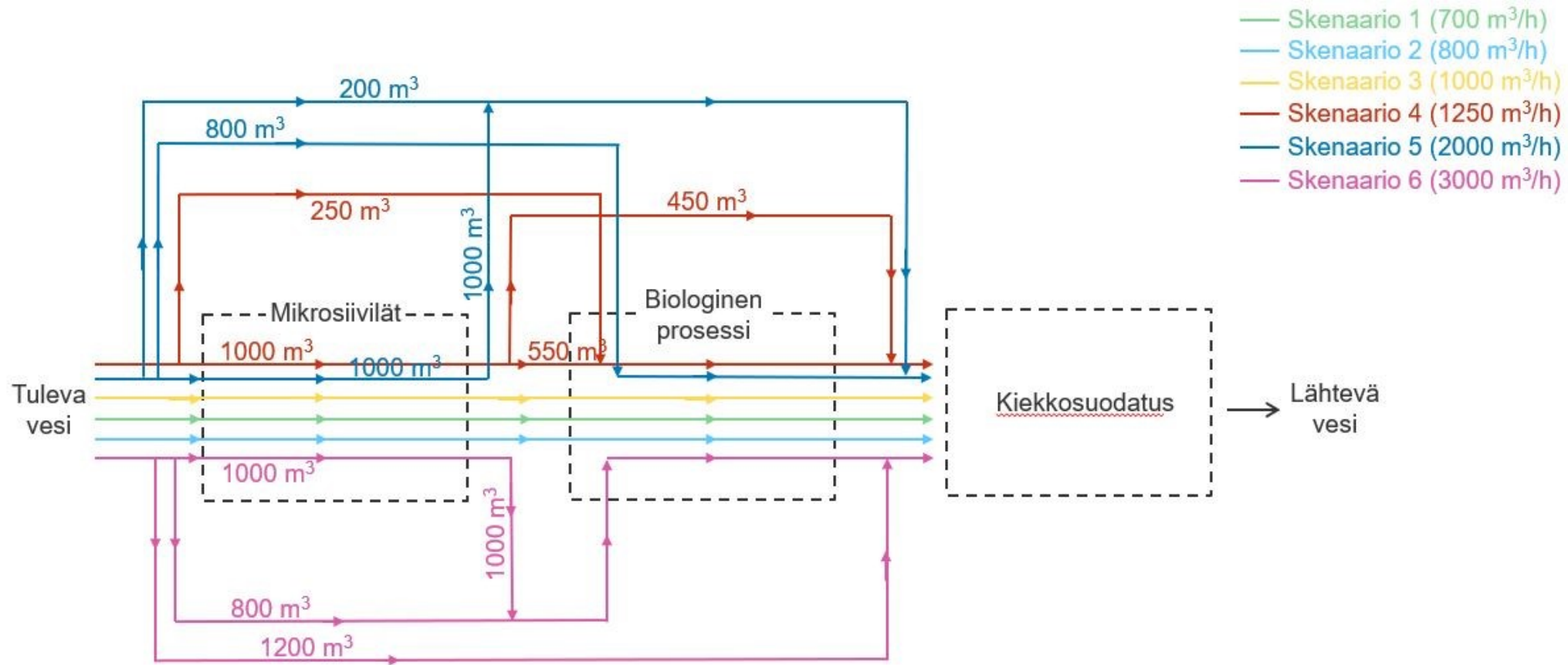


## 4.4 Laskentamalli

Biologisen prosessin (ilmastus ja jälkiselkeytys) ja jälkikäsittelyn toimintaa tarkasteltiin laskentamallilla puhdistamon nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa. Laskentamallin lähtötietoina käytettiin vuosien 2016–2019 keskimääräistä tulokuormitusta (Taulukko 6) ja vuoden 2025 kuormitusennusteen tulokuormitusta (Taulukko 7). Prosessin toiminnan vertailemiseksi tunnusluvut laskettiin kuudella eri tulovirtaamalla ja pilot-kokeiden perusteella valituilla TSS:n ja BOD:n poistotehoilla. Valitut tulovirtaamat olivat 700 m<sup>3</sup>/h, 800 m<sup>3</sup>/h, 1 000 m<sup>3</sup>/h, 1 250 m<sup>3</sup>/h, 2 000 m<sup>3</sup>/h ja 3 000 m<sup>3</sup>/h. Virtaamat valittiin puhdistamon käyttötarkkailutietojen perusteella 1 250 m<sup>3</sup>/h ollessa keskimääräinen tulovirtaama ja 3 000 m<sup>3</sup>/h maksimivirtaama. Tämä maksimivirtaama on havaittu suurien hulevesistä aiheutuvien virtaamahuippujen aikaan. Puhdistamolle tulevien hulevesien määrän oletetaan kuitenkin tulevaisuudessa pienenevän merkittävästi, kun Pietarsaaren kaupunki saneeraa sekaviemäröidyt alueet. Puhdistamo varautuu kuitenkin myös suuriin virtaamahuippuihin.

Alkuvaiheessa mikrosiivilöinti toteutetaan kapasiteetille 1 000 m<sup>3</sup>/h, minkä pitäisi riittää tavanomaisissa kuormitustilanteissa. Puhdistamon maksimivirtaamat ovat olleet noin 3 000 m<sup>3</sup>/h, mutta keskimääräinen virtaama on tuntitasolla noin 500 m<sup>3</sup>/h. Koska mikrosiivilät ovat puhdistamolla uutta tekniikkaa ja 1 000 m<sup>3</sup>/h kapasiteetti kattaa esikäsittelytarpeet suurimman osan vuodesta, ensimmäisessä vaiheessa on päädytty tarkastelemaan tätä virtaamaa. Rakennukseen jää tilavaraus mikrosiivilöinnin laajentamiselle tulevaisuudessa.

Kuudessa skenaariossa on arvio siitä, miten tuleva jätevesi tulisi johtaa prosessissa tietyllä virtaamalla (Kuva 9). Jos puhdistamolle tuleva virtaama on suurempi kuin mikrosiivilöiden kapasiteetti (1 000 m<sup>3</sup>/h), osa jätevedestä johdetaan mikrosiivilöiden ohi suoraan ilmastukseen tai kiekkosuodattimille. Taulukossa 9 on esitetty laskentamallissa käytetyt arvot.



**Kuva 9.** Tulevan jäteveden johtaminen puhdistusprosessissa eri skenaarioissa. Biologisen prosessin kapasiteetti on 800 m<sup>3</sup>/h ja tätä suuremmat virtaamat johdetaan biologisen prosessin ohi suoraan kiekkosuodattimille.

**Taulukko 9.** Laskentamallissa käytetyt arvot.

Parametri	Arvo
Lietteentuottokvatio (kgTSS/kgBOD)	1,1
Ilmastusaltaiden tilavuus (m <sup>3</sup> )	1 825
Q <sub>ka</sub> , nykyinen tilanne (m <sup>3</sup> /d)	10 400
Q <sub>ka</sub> , kuormitusennuste (m <sup>3</sup> /d)	10 800
Tuleva BOD, nykyinen tilanne (kg/d)	2 100
Tuleva BOD, kuormitusennuste (kd/d)	2 900
Tuleva TSS, nykyinen tilanne (mg/l)	2 700
Tuleva TSS, kuormitusennuste (mg/l)	3 600
Ilmastusaltaiden lietepitoisuus <sub>1</sub> (kgMLSS/m <sup>3</sup> )	8
Ilmastusaltaiden lietepitoisuus <sub>2</sub> (kgMLSS/m <sup>3</sup> )	5
Lieteindeksi, SVI <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /kg)	200
Lieteindeksi, SVI <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /kg)	150
Jälkiselkeytysaltaiden pinta-ala (m <sup>2</sup> )	980
Jälkiselkeytysaltaiden keskisyvyys (m)	3,3

Kokemusperäisesti on todettu, että puhdistamon biologinen prosessi toimii tällä hetkellä parhaiten, kun tulovirtaama on noin 800 m<sup>3</sup>/h. Tällöin jälkiselkeytyksen pintakuorma on noin 0,8 m/h. Esikäsitteilyn saneerauksen ja mikrosiivilöiden asentamisen jälkeen lietteen laskeutuvuuden oletetaan parantuvan, jolloin myös biologiseen prosessiin voitaisiin johdattaa esimerkiksi 1 000 m<sup>3</sup>/h jätevettä. Biologiseen prosessiin johdettavan jäteveden BOD-pitoisuuden pieneneminen mikrosiivilöiden avulla mahdollistaa ilmastusaltaiden lietepitoisuuden pienentämisen, jolloin myös jälkiselkeytyksen kiintoainekuorma pienenee. BOD-kuorman pieneneminen vaikuttaa myös lietteentuottoon ja sitä kautta tarvittavaan ylijäämälietteenpoistoon, jotka myös pienenevät. Näin on mahdollista kasvattaa lieteikää, mikä yleisesti ottaen vaikuttaa positiivisesti lietteen laskeutuvuusominaisuuksiin. Jos biologiseen prosessiin johdettava virtaama olisi 1 000 m<sup>3</sup>/h, pintakuorma olisi noin 1 m/h. Teoreettisesti optimaalisen pintakuorman vaihteluväli on 0,7–1,3 m/h tyypillisen arvon ollessa 1 m/h (Karttunen 2004). Jälkiselkeytyksen toiminnan tarkastelussa käytetään myös muita parametreja, kuten lietetilavuuskuormaa (Luku 4.4.2).

Tilanteissa (Kuva 9), joissa puhdistamolle tulevan jäteveden virtaama on > 800 m<sup>3</sup>/h, jätevettä joudutaan johtamaan biologisen prosessin ohi suoraan jälkikäsitteilyyn kiekko-suodattimille. Oletettavasti mikrosiivilöiltä tuleva jätevesi on puhtaampaa kuin mikrosiivilöiden ohi johdettu jätevesi, jolloin mikrosiivilöiden läpi johdettu jätevesi ohjataan suoraan kiekko-suodattimille. Tilanteissa, joissa mikrosiivilöiden kapasiteetti (1 000 m<sup>3</sup>/h) ylittyy, mikrosiivilöiden ohitse johdettava jätevesi ohjataan suoraan ilmastukseen. Jos ilmastuksen kapasiteetti (800 m<sup>3</sup>/h) ylittyy, jätevesi johdetaan suoraan kiekko-suodattimille.

Näissä tapauksissa pyritään johtamaan kiekkosuodattimille ohitettu jätevesi ensisijaisesti mikrosiivilöiden läpi, jolloin jätevesi on hieman puhtaampaa. Jätevesien johtamisen tarkoituksena virtaamahuippujenkin aikana on kaikissa tilanteissa saada kiekkosuodattimille laadultaan mahdollisimman puhdasta jätevettä.

#### 4.4.1 Ilmastus

Ilmastuksen toimintaa arvioitiin lietekuorman, lieteiän ja tilavuuskuorman perusteella. Lietekuorma kuvaa ilmastusaltaaseen tulevan orgaanisen aineen määrää vuorokaudessa ilmastusaltaassa olevaa lietteen kuiva-ainegrammaa kohti (Kaava 1). Matalakuormitteisessa aktiivilietelaitoksessa lietekuormitus on tyypillisesti 0,1–0,2 gBOD/gMLSS\*d ja normaalikuormitteisessa laitoksessa 0,3–0,7 gBOD/gMLSS\*d. (Karttunen 2004.)

$$L_{MLSS} \text{ (lietekuorma)} = \frac{Q \cdot BOD}{V_{ilmastus} \cdot MLSS} \quad (1)$$

, Q on puhdistamolle tuleva virtaama (m<sup>3</sup>/d), BOD on orgaanisen aineen kuorma (g/m<sup>3</sup>), V<sub>ilmastus</sub> on ilmastusaltaiden tilavuus (m<sup>3</sup>) ja MLSS on kiintoaineen määrä ilmastusaltaassa (g/m<sup>3</sup>).

Lieteillä kuvataan lietteen viipymää biologisessa puhdistusprosessissa (Kaava 2). Matalakuormitteisen aktiivilietelaitoksen lieteikä on tyypillisesti > 7 d ja normaalikuormitteisen laitoksen 2–6 d. (Karttunen 2004; Metcalf & Eddy 2014.)

$$\text{SRT (lieteikä)} = \frac{V_{ilmastus} \cdot MLSS}{WAS} \quad (2)$$

, V<sub>ilmastus</sub> on ilmastusaltaiden tilavuus (m<sup>3</sup>), MLSS on kiintoaineen määrä ilmastusaltaassa (g/m<sup>3</sup>) ja WAS on ylijäämälietteen määrä (kgMLSS/d).

Tilavuuskuorma kuvaa tulevan orgaanisen kuormituksen suhdetta ilmastusaltaan tilavuuteen (Kaava 3). Tilavuuskuorma on matalakuormitteisessa laitossa noin 1 200–2 000 g/m<sup>3</sup>d ja normaalikuormitteisessa laitoksessa noin 4 000 g/m<sup>3</sup>d. (Karttunen 2004; Metcalf & Eddy 2014.)

$$L_V \text{ (tilavuuskuorma)} = \frac{Q \cdot BOD}{V_{ilmastus}} \quad (3)$$

, Q on puhdistamolle tuleva virtaama (m<sup>3</sup>/d), BOD on orgaanisen aineen kuorma (g/m<sup>3</sup>) ja V<sub>ilmastus</sub> on ilmastusaltaiden tilavuus (m<sup>3</sup>).

#### 4.4.2 Jälkiselkeytyks

Jälkiselkeytyksen toimintaa arvioitiin pintakuorman ja lietetilavuuskuorman perusteella. Jälkiselkeytyksaltaan pintakuorma kuvaa kiintoainekuormitusta selkeytyksaltaassa (Kaava 4). Tyypillinen pintakuorman vaihteluväli jälkiselkeytyksessä on 0,7–1,3 m/h. (Karttunen 2004.)

$$v_p \text{ (pintakuorma)} = \frac{Q}{A_{\text{jälkiselkeytyks}}} \quad (4)$$

,  $Q$  on jälkiselkeytykseen tuleva virtaama ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ja  $A_{\text{jälkiselkeytyks}}$  on jälkiselkeytyksaltaiden pinta-ala ( $\text{m}^2$ ).

Lietetilavuuskuorma kuvaa jälkiselkeytyksaltaaseen tulevan kiintoaineen määrää ottaen huomioon myös lieteepitoisuuden ja sen laskeutuvuuden (Kaava 5).

$$S_{MLSS} \text{ (lietetilavuuskuorma)} = S_h \cdot C_{MLSS} \cdot SVI \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

,  $S_h$  on hydraulinen pintakuorma ( $\text{m}/\text{h}$ ),  $C_{MLSS}$  on selkeytyksaltaan lieteepitoisuus ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) ja  $SVI$  on lieteindeksi ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ).

Lietetilavuuskuormat on laskettu lieteindeksin ollessa  $200 \text{ m}^3/\text{kg}$  ja  $150 \text{ m}^3/\text{kg}$ . Tällä hetkellä puhdistamon lieteindeksin keskiarvo on noin  $200 \text{ m}^3/\text{kg}$ , mutta sen oletetaan laskevan mikrosiivilöiden käyttöönoton myötä, jolloin myös lietteen laskeutuvuuden odotetaan parantuvan.

#### 4.4.3 Jälkikäsitely

Jälkikäsitelyyn päätyvän kiintoaineen määrää arvioitiin eri jätevesijakeilla lasketun painotetun keskiarvon avulla kussakin skenaariossa. Kiekkosuodattimille päätyvän jäteveden kiintoainepitoisuuden sekoitussuhde vaihtelee puhdistamolle tulevan virtaaman mukaan. Esimerkiksi tulovirtaaman ollessa  $> 2000 \text{ m}^3/\text{h}$ , osa jätevedestä joudutaan johtamaan mikrosiivilöiden ohi suoraan kiekkosuodattimille. Käyttötarkkailutietojen perusteella jälkiselkeytyksestä kiekkosuodattimille tuleva kiintoainepitoisuus on pienimmillään ollut noin  $50 \text{ mg}/\text{l}$ . Työssä on oletettu, että jälkiselkeytyksestä tuleva kiintoainepitoisuus on kaikissa skenaarioissa  $50 \text{ mg}/\text{l}$ .

Kiekkosuodattimet on mitoitettu siten, että normaalitilanteessa niille tuleva TSS-pitoisuus olisi  $< 30 \text{ mg}/\text{l}$ , mutta mitoituksessa on varauduttu hetkellisiin  $500 \text{ mg}/\text{l}$  TSS-pitoisuuksiin. Puhdistamolla on kuitenkin havaittu tätäkin suurempia TSS-pitoisuuksia kiekkosuodattimilla. Tavoitteena on, että jäteveden kiintoainepitoisuus kiekkosuodattimille johdettaessa



4 800 kg/d ja kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa COD-pitoisuutena on käytetty 7 100 kg/d. Puhdistamomallissa mikrosiivilöiden BOD:n poistoteho määritettiin valitulla TSS:n poistoteholla (50 %) (Luku 5.1.1), jolloin BOD:n poistoteho oli noin 30 %. Puhdistamomallissa käytetty ilmastusaltaan lietepitoisuus oli 3,2 kgMLSS/m<sup>3</sup>, joka on hieman pienempi kuin laskentamallissa käytetyt lietepitoisuudet (Taulukko 9). Puhdistamomallilla oli myös mahdollista tarkastella tilannetta, jossa mikrosiivilät eivät ole käytössä puhdistamalla.

Puhdistamomallilla simuloitiin samat skenaariot (Kuva 9) kuin laskentamallissa, mutta ajot suoritettiin ainoastaan mikrosiivilöiden TSS:n poistotehon ollessa 50 %. Tällöin mikrosiivilöiden BOD:n poistoteho oli noin 30 %. Nämä vastaavat laitetoimittajan ilmoittamia alustavia poistotehoja mikrosiivilälle. Tärkeimmät puhdistamomallista saatavat tiedot jokaisesta skenaariosta olivat: mikrosiivilöiden BOD:n poistoteho, lieteikä, ilmastuksen liete kuorma ja tilavuuskuorma, jälkiselkeytyksen pintakuorma ja kiintoainekuorma sekä kiekkosuodattimille tulevan ja sieltä lähtevän jäteveden kiintoainepitoisuus.

## 5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Mikrosiiviläkokeiden tulokset

Laitteistolla 1 ajettiin kuusi koetta (Taulukko 10). Käytetyt suodatinkankaiden huokoskoot olivat 210 ja 500  $\mu\text{m}$ . Käytetyt polymeerit olivat Zetag 8165 (1), Zetag 7563 (2) ja Zetag 8140 (3). Suluissa oleva numero vastaa taulukossa 10 esitettyjen polymeerien perässä olevaa numeroa. Yksi ajo suoritettiin ilman polymeeriä. Näytteet olivat kokoomanäytteitä. Kunkin ajopäivän aikana otettiin yksi näyte. Laitteiston 1 koeajojen kestoja eikä koeajoissa käytettyjä virtaamia ja pintakuormia raportoitu.

Laitteiston 1 TSS:n poistoteho oli 500  $\mu\text{m}$  kankaalla kahdella polymeerillä (1 ja 2) 61–79 % (Taulukko 10). BOD:n poistoteho oli noin 42 % ja COD:n poistoteho oli 52–60 %. 210  $\mu\text{m}$  kankaalla ja polymeerillä 3 TSS:n poistoteho oli 47–88 %, BOD:n poistoteho oli 19–61 % ja COD:n poistoteho oli 34–72 %.

Laitteiston 1 koeajoissa huomattiin, että prosessin optimoimiseksi ja puhdistustulosten saavuttamiseksi polymeeriannostus polymeereillä 1 ja 2 oli 5–7  $\text{g}/\text{m}^3$ . Polymeeriannostus oli liian suuri ja kustannustehoton. Polymeerillä 3 kulutus oli 1,5  $\text{g}/\text{m}^3$ , joka on huomattavasti pienempi ja kustannustehokkaampi kuin kahden ensimmäisen polymeerin kulutus. Ilman polymeeriä 210  $\mu\text{m}$  kankaalla suoritettulla koeajolla TSS:n poistoteho oli noin 29 % ja COD:n poistoteho oli noin 7 % (Taulukko 10). Laitteiston 1 tulosten perusteella riittäviin poistotehoihin päästään parhaiten polymeerin lisäyksellä. Ilman polymeeriä poistotehot jäävät alhaisiksi.



**Taulukko 10. Mikroosiiviläitteiston 1 tulevan ja lähtevän jäteveden TSS-, BOD- ja COD-arvot sekä niiden poistotehot.**

Poly- meeri ja kulutus	Kan- gas	Vir- taama	Pinta- kuorma	Tuleva TSS	Läh- tevä TSS	Pois- toteho	Tuleva BOD	Läh- tevä BOD	Pois- toteho	Tuleva COD	Läh- tevä COD	Pois- toteho
mg/l	µm	m <sup>3</sup> /h	m/h	mg/l	mg/l	%TSS	mg/l	mg/l	%BOD	mg/l	mg/l	%COD
Kationi- nen poly- meeri 1, 7	500	e.i.	e.i.	360	77	78,6	e.i.	e.i.	e.i.	480	190	60,4
Kationi- nen poly- meeri 2, 5	500	e.i.	e.i.	310	120	61,3	190	110	42,1	420	200	52,4
Kationi- nen poly- meeri 3, 1,5	210	e.i.	e.i.	430	230	46,5	220	86	60,9	660	430	34,8
Kationi- nen poly- meeri 3, 1,5	210	e.i.	e.i.	290	150	48,3	120	97	19,2	440	290	34,1
Kationi- nen poly- meeri 3, 1,5	210	e.i.	e.i.	410	48	88,3	220	99	55	540	150	72,2
Ei poly- meeriä	210	e.i.	e.i.	410	290	29,3	e.i.	e.i.	e.i.	540	500	7,4

e.i.: ei ilmoitettu

Laitteistolla 2 ajettiin 20 koetta (Taulukko 11). Käytetyt suodatinkankaiden huokoskoot olivat 120 ja 300 µm. Käytetyt polymeerit olivat Zetag 7563 (2), Zetag 8140 (3) ja Kemira A100 (4). Suluissa oleva numero vastaa taulukossa 11 esitettyjen polymeerien perässä olevaa numeroa. Näytteet olivat kokoomanäytteitä. Kunkin ajopäivän aikana otettiin 2–3 näytettä. Koeajojen kestoja ei raportoitu.

Laitteistolla 2 tulevan jäteveden virtaama oli 20–50 m<sup>3</sup>/h ja pintakuorma 50–125 m/h (Taulukko 11). Laitteiston 2 TSS:n poistoteho oli 300 µm kankaalla ja käytetyillä polymeereillä (2, 3 ja 4) 11–60 % ja BOD:n poistoteho oli 7–50 %. 120 µm kankaalla ja polymeerillä 3 TSS:n poistoteho oli 21–48 % ja BOD:n poistoteho oli 16–30 %.

Ilman polymeeriä 300 µm kankaalla suoritettulla koeajolla TSS:n poistoteho oli noin 40 % ja BOD:n poistoteho oli noin 41 % (Taulukko 11). Ilman polymeeriä 120 µm kankaalla suoritettulla koeajolla TSS:n poistoteho oli 13–85 % ja BOD:n poistoteho oli 5–42 %.

Myös laitteiston 2 tulosten perusteella riittäviin poistotehoihin päästään parhaiten polymeerilisäyksellä. Ilman polymeeriä 120 µm kankaalla saavutettuja korkeita TSS:n (85 %) ja BOD:n (42 %) poistotehoja (Taulukko 11) voi selittää tulevan jäteveden laadun vaihtelu, veden lämpötila, lietematon muodostuminen suodatinkankaan pinnalle tai jokin muu

raportoimatta jäänyt ajo-olosuhteisiin vaikuttava asia. Ilman polymeerilisäystä mikroosiivilyn optimaalinen toiminta ja riittävien poistotehojen saavuttaminen saattavat jäädä saavuttamatta muun muassa tulevan veden laadun vaihtelevuuden takia.

**Taulukko 11. Mikroosiiviläitteiston 2 tulevan ja lähtevän jäteveden TSS-, BOD- ja COD-arvot sekä niiden poistotehot.**

Polymeeri ja kulutus	Kangas	Virtaama	Pinta-kuorma	Tuleva TSS	Lähtevä TSS	Poistoteho	Tuleva BOD	Lähtevä BOD	Poistoteho
mg/l	µm	m <sup>3</sup> /h	m/h	mg/l	mg/l	%TSS	mg/l	mg/l	%BOD
Ei polymeeriä	300	50	125	520	310	40	410	240	41
Kationinen polymeeri 3, 4	300	50	125	700	280	60	420	210	50
Kationinen polymeeri 3, 2	300	25	62,5	420	320	24	280	230	18
Kationinen polymeeri 3, 4	300	25	62,5	350	240	31	230	170	26
Kationinen polymeeri 3, 2	300	48	120	410	290	29	220	200	9
Kationinen polymeeri 3, 4	300	28	70	430	370	14	280	220	21
Kationinen polymeeri 2, 4	300	45	112,5	440	390	11	280	230	18
Kationinen polymeeri 2, 2	300	45	112,5	270	220	19	150	140	7
Kationinen polymeeri 2, 4	300	25	62,5	310	250	19	200	150	25
Kationinen polymeeri 2, 2	300	25	62,5	340	210	38	200	160	20
Kationinen polymeeri 2, 2	300	25	62,5	570	370	35	260	220	15
Anioninen polymeeri 4, 2	300	48	120	450	380	16	280	220	21
Anioninen polymeeri 4, 2	300	48	120	640	530	17	350	320	9
Anioninen polymeeri 4, 4	300	24	60	420	350	17	230	210	9
Ei polymeeriä	120	24	60	2400	350	85	260	220	15
Ei polymeeriä	120	30	75	550	480	13	450	260	42
Kationinen polymeeri 3, 4	120	22	55	570	450	21	310	260	16
Ei polymeeriä	120	22	55	410	300	27	190	180	5
Kationinen polymeeri 3, 6	120	20	50	470	320	32	180	130	28
Kationinen polymeeri 3, 2	120	22	55	420	220	48	200	140	30

### 5.1.1 Kokeiden tulosten vertailu

Huolimatta tulevan jäteveden vaihtelusta molemmilla laitteistoilla saavutettiin käytetystä polymeeristä, suodatinkankaan huokoskoosta, virtaamasta sekä pintakuormasta riippuen noin 25–60 % TSS:n poistoteho ja noin 20–50 % BOD:n poistoteho. Tulokset vastaavat kirjallisuudessa raportoituja arvoja vastaavanlaisissa tutkimuksissa (Taulukko 4). Rusten & Ødegaard (2006) raportoivat TSS:n poistotehon keskiarvoksi 66 % ja Rusten

et al. (2017) 60–70 %. Franchi & Santoro (2015) raportoivat 72–74 % TSS:n poistotehon ja 41 % BOD:n poistotehon.

Kirjallisuudessa ilmoitetut poistotehot (Taulukko 4) ovat TSS:n osalta noin 10 % suurempia kuin tämän työn kokeissa saavutetut poistotehot. Tämä voi johtua jäteveden laadusta ja sen vaihtelusta, suodatinkankaan huokoskoosta, käytetyistä virtaamista ja pintakuormista sekä muista ajo-olosuhteista, joita ei ole raportoitu. Tutkimuksissa ilmoitetut polymeerin kulutukset (1–2 mg/l) vastaavat tämän työn kokeissa käytettyjä polymeeriannostuksia. Laitteiston 2 kokeessa käytettiin myös 4 ja 6 mg/l polymeeriannostuksia. Liian suuri polymeerin kulutus ei myöskään paranna poistotehoja. Kokeissa huomattiin, että suurempi annostus ei merkittävästi parantanut käsittelytuloksia ja polymeeriannostuksen kasvattaminen nostaisi puhdistamon käyttökustannuksia merkittävästi. Esimerkiksi 2 mg/l polymeerin kulutuksella saavutettiin laitteiston 2 kokeessa 48 % TSS:n poistoteho ja 6 mg/l polymeerin kulutuksella vain 32 % TSS:n poistoteho. Virtaamat, pintakuormat ja tulevan TSS:n pitoisuudet olivat lähes samat. Tulosten epävarmuutta lisää myös se, että kokeet ajettiin parin viikon aikana useilla eri asetuksilla (virtaama, suodatinkankaan tiheys, kemikaalit), minkä vuoksi esimerkiksi kuormitustilanteet eivät kaikissa ajoissa ole välttämättä vertailukelpoisia. Jos kutakin tilannetta olisi ajettu kauemmin, olisivat ajot keskenään vertailukelpoisempia.

Laitteistolla 2 kationinen polymeeri 2 (Zetag 7563) toimi pienemmillä polymeeriannostuksilla kuin laitteistolla 1. Laitteistolla 2 saavutettiin kyseisellä polymeerillä (annostus 2–4 mg/l) ja 300 µm suodatinkankaan huokoskoolla 11–38 % TSS:n poistotehot, kun taas laitteistolla 1 saavutettiin 500 µm suodatinkankaalla ja 5 mg/l polymeeriannostuksella 61 % TSS:n poistoteho. Laitteiston 1 suodatinkankaan huokoskoko kyseisellä polymeerillä tehdyssä ajossa oli 200 µm suurempi kuin laitteiston 2. Tämä vaikuttaa polymeerin kulutuksen kasvuun, jos poistotehot halutaan pitää korkeina. Lisäksi tulevan jäteveden laatu ja lämpötila ovat voineet vaihdella suuresti laitteistojen kokeiden aikana, jolloin sama polymeeri voi toimia paremmin toisella laitteistolla. Kationinen polymeeri 3 (Zetag 8140) toimi hyvin sekä laitteistolla 1 (kulutus 1,5 mg/l) että laitteistolla 2 (kulutus 2–4 mg/l). Mikroosiivilöiden käyttöönotossa puhdistamolla kannattaa testata ensimmäisenä kationista polymeeriä 3, jota käytetään tällä hetkellä myös kiekkosuodattimilla.

Edellä mainituissa tutkimuksissa pintakuormat (25–43 m/h) ovat laitteiston 2 kokeisiin (55–125 m/h) verrattuna huomattavasti pienempiä. Esimerkiksi laitteiston 2 kokeessa virtaaman ollessa 45 m<sup>3</sup>/h ja pintakuorman 112,5 m/h, TSS:n poistoteho oli 19 %, kun taas virtaaman ollessa 25 m<sup>3</sup>/h ja pintakuorman 62,5 m/h, TSS:n poistoteho oli 35–38 %. Laitteiston 2 kokeen sekä kirjallisuudessa raportoiduista tuloksista päätellen pienemmillä pintakuormilla ja virtaamilla saavutetaan parempia poistotehoja.

Alhedan jätevedenpuhdistamon tulevan jäteveden koostumus ja virtaama vaihtelevat vuorokauden sekä vuodenajan mukaan. Oletettavasti yöaikaan vedenkulutus pienenee, jolloin puhdistamolle tuleva virtaama sekä pintakuorma ovat pienempiä. Pietarsaaren alueen jätevesiverkosto on sekaviemäroity, jolloin hulevedet aiheuttavat puhdistamolle äkillisiäkin virtaamahuippuja. Tällöin puhdistamolle tuleva virtaama kasvaa, mutta samalla tulevan jäteveden TSS- ja BOD-pitoisuudet laimenevat. Voisi siis olettaa, että mikrosiivilöinnin poistotehot vaihtelevat vuorokaudenajan mukaan. Lietematon muodostuminen suodatinkankaan pinnalle voi olla haastavampaa pienillä virtaamilla ja pintakuormilla. Tällöin voidaan pienentää suodatinkankaan pyörimisnopeutta ja puhdistusväliä, jolloin poistotehot pysyvät yöaikaankin riittävinä. Jos mikrosiivilöiden käyttöönoton myötä havaitaan, että biologisen prosessin ravinnepitoisuudet eivät ole riittävät, ei välttämättä haittaa, että yöaikaan suodatinkankaan pinnalle ei muodostu kunnan lietemattoa. Näin mikrosiivilöiden läpi pääsee enemmän orgaanista ainesta ja biologiseen prosessiin saadaan lisää ravinteita.

Laitteiston 1 ja 2 tuloksista on haastavaa tehdä suoria johtopäätöksiä mikrosiivilöiden toiminnasta sekä TSS:n ja BOD:n poistotehoista, sillä virtaamat, pintakuormat ja tulevan jäteveden laatu vaihtelevat suuresti. Kokeet kestivät molemmilla laitteistoilla noin kaksi viikkoa. Rusten & Ødegaard (2006), Franchi & Santoro (2015) ja Rusten et al. (2017) eivät raportoineet kokeidensa kestoja. Pidemmät ja kattavammat koeajot nostavat kustannuksia eivätkä siltikään välttämättä tuo merkittävästi lisäarvoa tuloksille. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että mikrosiivilöinti vaikuttaisi toimivan Alhedan jätevedenpuhdistamolla ja se on potentiaalinen vaihtoehto puhdistamon esikäsitteilytekniikaksi. Työn laskennalliseen osuuteen valittiin kokeiden perusteella seuraavat TSS:n ja BOD:n poistotehot: TSS:n poistoteho 30–60 % ja BOD:n poistoteho 20–40 %.

## **5.2 Mikrosiivilöinnin vaikutukset ilmastuksen kapasiteettiin**

Ilmastuksen toimintaa analysoitiin laskennallisesti tyypillisten aktiivilieteprosessin mitoituksessa käytettyjen tunnuslukujen avulla (Luku 4.4.1). Jokainen puhdistamolle tulevasta virtaamasta riippuva skenaario käsiteltiin erikseen (Kuva 9). Laskentamallin tuloksia verrattiin kirjallisuuden arvojen lisäksi puhdistamomallin tuloksiin.

### **5.2.1 Skenaario 1: Tuleva virtaama 700 m<sup>3</sup>/h**

Skenaariossa 1 puhdistamolle tulevan jäteveden virtaama on 700 m<sup>3</sup>/h ja kaikki vesi voidaan johtaa normaalisti prosessin läpi (Kuva 9). Virtaaman ollessa pieni, lietekuorman arvot ovat 0,1–0,2 gBOD/gMLSS\*d lietepitoisuuden ollessa 8 tai 5 kgMLSS/m<sup>3</sup> sekä ny-

kyisessä että kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa (Taulukko 12). Mikroosiivilöiden BOD:n poistotehon ollessa 40 %, ilmastuksen lietekuorma on hieman pienempi kuin alhaisemmilla BOD:n poistotehoilla. Tällöin suodatinkankaalle jäävien partikkeleiden osuus on suurempi ja orgaanista ainesta siirtyy vähemmän eteenpäin prosessissa. Kirjallisuudessa nämä arvot vastaavat matalakuormitteista aktiivilietelaitosta (Karttunen 2004).

**Taulukko 12.** Ilmastuksen tunnusluvut skenaariossa 1 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

Nykyinen tilanne										
BOD:n poistoteho	BOD (vii-ro-rojen läpi)	Q (vii-ro-rojen oh)	BOD (vii-ro-rojen oh)	BOD (il-mas tus)	Ylijäämälietteen määrä	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8)	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5)	Lieteikä, (lietepit. 8)	Lieteikä, (lietepit. 5)	Tilavuuskuorma, L <sub>v</sub>
%	kg/d	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/d	gBOD/gMLSS* d	gBOD/gMLSS* d	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei vii-roja	0	700	2100	130	2300	0,14	0,23	6	4	1200
20	1680	0	0	100	1800	0,12	0,18	8	5	900
30	1470	0	0	90	1600	0,10	0,16	9	6	800
40	1260	0	0	80	1400	0,09	0,14	11	7	700
Kuormitusennuste										
BOD:n poistoteho	BOD (vii-ro-rojen läpi)	Q (vii-ro-rojen oh)	BOD (vii-ro-rojen oh)	BOD (il-mas tus)	Ylijäämälietteen määrä	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8)	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5)	Lieteikä, (lietepit. 8)	Lieteikä, (lietepit. 5)	Tilavuuskuorma, L <sub>v</sub>
%	kg/d	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/d	gBOD/gMLSS* d	gBOD/gMLSS* d	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei vii-roja	0	700	2900	170	3100	0,20	0,32	5	3	1600
20	2320	0	0	140	2600	0,16	0,25	6	4	1300
30	2030	0	0	120	2200	0,14	0,22	7	4	1100
40	1740	0	0	100	1900	0,12	0,19	8	5	1000

Lietepitoisuudella 8 kgMLSS/m<sup>3</sup> lieteikä vaihtelee nykyisessä tilanteessa 8–11 päivän välillä mikroosiivilöiden BOD:n poistotehosta riippuen. Jos lietepitoisuus on nykyisessä tilanteessa 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>, lieteikä laskee 5–7 päivään. Kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa lieteikä on 6–8 päivää lietepitoisuudella 8 kgMLSS/m<sup>3</sup> ja 4–5 päivää lietepitoisuudella 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>. Lieteiän arvot vastaavat matalakuormitteista (> 7 d) ja normaalikuormitteista (2–6 d) laitosta.

Vaikka lietekuorma nykyisillä lietepitoisuuksilla (8 kgMLSS/m<sup>3</sup>) on matalakuormitteisen laitoksen rajoilla ja lieteikäkin saadaan puhdistamalla teoriassa kaikissa tilanteissa juuri suositeltavaa minimiaikaa (2 d) pidemmäksi, mahdollistaa BOD-kuormituksen leikkaaminen joko lieteiän pidentämisen tai lietepitoisuuden alentamisen nykytilanteeseen verrattuna.

Tilavuuskuorman arvot ovat lähes jokaisessa tilanteessa  $< 1\ 200\ \text{g/m}^3\text{d}$ , joka on matalakuormitteiselle laitokselle asetettu alarajan suositusarvo. Kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa ilman mikrosiivilöitä tai mikrosiivilöiden BOD:n poistotehon ollessa 20 %, päästään  $> 1\ 200\ \text{g/m}^3\text{d}$  tuloksiin.

Kuten luvussa 5.3 nähdään, on nykyinen jälkiselkeytys mitoitukseltaan tiukka. Lietepitoisuuden alentaminen sekä lietteen laskeutuvuusominaisuuksien parantaminen ja lieteiän pitäminen minimissään esimerkiksi tasolla 5 d ovat jälkiselkeytyksen toiminnan kannalta suositeltavia.

Puhdistamomallilla lietepitoisuudella  $3,2\ \text{kgMLSS/m}^3$  lietekuorma on sekä nykyisessä ( $0,4\ \text{gBOD/gMLSS}^*\text{d}$ ) että kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa ( $0,5\ \text{gBOD/gMLSS}^*\text{d}$ ) selvästi korkeampi kuin laskentamallin arvoissa. Puhdistamomallin arvot vastaavat normaalikuormitteista aktiivilietelaitosta (Karttunen 2004). Puhdistamomallissa lieteikä on kummassakin tilanteessa 2 d. Puhdistamomallin tilavuuskuorman arvo nykyisessä tilanteessa on  $800\ \text{g/m}^3\text{d}$  ja kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa  $1200\ \text{g/m}^3\text{d}$ . Nämä vastaavat laskentamallin arvoja. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että ilmastusaltaan lietepitoisuutta alentamalla lietekuorman arvo nousee ja lieteikä lyhenee. Tilavuuskuorman arvot pienenevät alhaisemmilla lietepitoisuuksilla ja pienemmillä mikrosiivilöiden BOD:n poistotehoilla.

### **5.2.2 Skenaario 2: Tuleva virtaama $800\ \text{m}^3/\text{h}$**

Skenaariossa 2 puhdistamolle tulevan jäteveden virtaama on  $800\ \text{m}^3/\text{h}$  ja kaikki vedet voidaan edelleen johtaa koko prosessin läpi (Kuva 9). Virtaaman ollessa vain  $100\ \text{m}^3/\text{h}$  suurempi kuin skenaariossa 1, ilmastukselle lasketut tunnusluvut pysyvät lähes samoina kuin skenaariossa 1 (Taulukko 13). Arvot vastaavat matalakuormitteista tai normaalkuormitteista aktiivilietelaitosta. Puhdistamomallin tulokset vastaavat myös skenaarion 1 (Luku 5.2.1) arvoja.

**Taulukko 13.** Ilmastuksen tunnusluvut skenaariossa 2 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

Nykyinen tilanne										
BOD:n poistoteho	BOD (viirojen läpi)	Q (viirojen ohi)	BO D (viirojen ohi)	BOD (ilmasutus)	Ylijäämälietteen määrä	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8)	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5)	Lie-teikä, (lietepit. 8)	Lie-teikä, (lietepit. 5)	Tilavuuskuorma, Lv
%	kg/d	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/d	gBOD/gMLSS*	gBOD/gMLSS*	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei viiroja	0	800	2100	110	2300	0,14	0,23	6	4	1200
20	1680	0	0	90	1800	0,12	0,18	8	5	900
30	1470	0	0	80	1600	0,10	0,16	9	6	800
40	1260	0	0	70	1400	0,09	0,14	11	7	700

Kuormitusennuste										
BOD:n poistoteho	BOD (viirojen läpi)	Q (viirojen ohi)	BO D (viirojen ohi)	BOD (ilmasutus)	Ylijäämälietteen määrä	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8)	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5)	Lie-teikä, (lietepit. 8)	Lie-teikä, (lietepit. 5)	Tilavuuskuorma, Lv
%	kg/d	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/d	gBOD/gMLSS*	gBOD/gMLSS*	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei viiroja	0	800	2900	150	3200	0,20	0,32	5	3	1600
20	2320	0	0	120	2600	0,16	0,25	6	4	1300
30	2030	0	0	110	2200	0,14	0,22	7	4	1100
40	1740	0	0	90	1900	0,12	0,19	8	5	1000

### 5.2.3 Skenaario 3: Tuleva virtaama 1 000 m<sup>3</sup>/h

Skenaariossa 3 puhdistamolle tulevan jäteveden virtaama on 1 000 m<sup>3</sup>/h ja kaikki vesi voidaan johtaa mikrosiivilöiden läpi. Osa vedestä joudutaan kuitenkin ohittamaan biologisen prosessin ohi (Kuva 9). Ilmastukselle lasketut tunnusluvut pysyvät edelleen lähes samoina kuin skenaarioissa 1 ja 2 (Taulukko 14).

**Taulukko 14.** Ilmastuksen tunnusluvut skenaariossa 3 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

Nykyinen tilanne										
BOD:n poistoteho	BOD (viirojen läpi)	Q (viirojen ohii)	BOD (viirojen ohii)	BOD (ilmastus)	Ylijäämälietteen määrä	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8)	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5)	Lietekä, (lietepit. 8)	Lietekä, (lietepit. 5)	Tilavuuskuorma, L <sub>v</sub>
%	kg/d	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/d	gBOD/gMLSS*d	gBOD/gMLSS*d	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei viiroja	0	1000	2100	110	2300	0,14	0,23	6	4	1200
20	1680	0	0	90	1800	0,12	0,18	8	5	900
30	1470	0	0	80	1600	0,10	0,16	9	6	800
40	1260	0	0	70	1400	0,09	0,14	11	7	700
Kuormitusennuste										
BOD:n poistoteho	BOD (viirojen läpi)	Q (viirojen ohii)	BOD (viirojen ohii)	BOD (ilmastus)	Ylijäämälietteen määrä	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8)	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5)	Lietekä, (lietepit. 8)	Lietekä, (lietepit. 5)	Tilavuuskuorma, L <sub>v</sub>
%	kg/d	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/d	gBOD/gMLSS*d	gBOD/gMLSS*d	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei viiroja	0	1000	2900	150	3200	0,20	0,32	5	3	1600
20	2320	0	0	120	2600	0,16	0,25	6	4	1300
30	2030	0	0	110	2200	0,14	0,22	7	4	1100
40	1740	0	0	90	1900	0,12	0,19	8	5	1000

Puhdistamomallin lietekuorma pysyy samalla tasolla kuin skenaarioissa 1 ja 2 (Luku 5.2.1) ja on korkeampi kuin laskentamallin arvot. Puhdistamomallilla arvot vastaavat normaalikuormitteista aktiivilietelaitosta (Karttunen 2004). Skenaariossa 3 lieteikä on kummassakin tilanteessa yksi päivä. Puhdistamomallin tilavuuskuorman arvo nykyisessä tilanteessa on 600 g/m<sup>3</sup>d ja kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa 900 g/m<sup>3</sup>d. Tilavuuskuorman arvot ovat pienempiä kuin laskentamallin arvot. Arvot ovat myös pienemmät kuin skenaarioissa 1 ja 2.

#### 5.2.4 Skenaario 4: Tuleva virtaama 1 250 m<sup>3</sup>/h

Skenaariossa 4 puhdistamolle tulevan jäteveden virtaama on 1 250 m<sup>3</sup>/h ja osa vedestä joudutaan ohittamaan prosessissa (Kuva 9). Puhdistamolle tulevan virtaaman kasvaessa myös lietekuorman arvot kasvavat (Taulukko 15). Lietekuorman arvot nykyisessä tilanteessa ovat noin 0,2 gBOD/gMLSS\*d lieteitoisuuden ollessa 8 kgMLSS/m<sup>3</sup>. Jos lieteitoisuus saadaan nykyisessä tilanteessa laskettua 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>, lietekuorma nousee 0,3–0,4 gBOD/gMLSS\*d. Kirjallisuudessa arvot vastaavat normaalikuormitteista aktiivilietelaitosta. Kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa lietekuorman arvot ovat noin 0,3–0,5 gBOD/gMLSS\*d, jotka vastaavat normaalikuormitteista aktiivilietelaitosta.



**Taulukko 15. Ilmastuksen tunnusluvut skenaariossa 4 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.**

Nykyinen tilanne										
BOD:n poistoteho	BOD (viirojen läpi)	Q (viirojen ohii)	BO D (viirojen ohii)	BOD (ilmasutus)	Ylijäämälietteen määrä	Lietekuorma, LMLSS (lietepit. 8)	Lietekuorma, LMLSS (lietepit. 5)	Lieteikä, (lietepit. 8)	Lieteikä, (lietepit. 5)	Tilavuuskuorma, $L_v$
%	kg/d	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/d	gBOD/gMLSS*d	gBOD/gMLSS*d	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei vii-roja	0	1250	2100	110	2300	0,14	0,23	6	4	1200
20	1344	250	420	170	1900	0,23	0,36	8	5	1800
30	1176	250	420	160	1800	0,21	0,33	8	5	1700
40	1008	250	420	150	1600	0,19	0,31	9	6	1500

Kuormitusennuste										
BOD:n poistoteho	BOD (viirojen läpi)	Q (viirojen ohii)	BO D (viirojen ohii)	BOD (ilmasutus)	Ylijäämälietteen määrä	Lietekuorma, LMLSS (lietepit. 8)	Lietekuorma, LMLSS (lietepit. 5)	Lieteikä, (lietepit. 8)	Lieteikä, (lietepit. 5)	Tilavuuskuorma, $L_v$
%	kg/d	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/d	gBOD/gMLSS*d	gBOD/gMLSS*d	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei vii-roja	0	1250	2900	150	3200	0,20	0,32	5	3	1600
20	1856	250	580	240	2700	0,31	0,50	5	3	2500
30	1624	250	580	220	2400	0,29	0,46	6	4	2300
40	1392	250	580	200	2200	0,27	0,43	7	4	2100

Skenaarioihin 1–3 verrattuna lieteiät laskevat noin yhden päivän verran. Lieteiän arvot vastaavat matalakuormitteista (> 7 d) ja normaalikuormitteista (2–6 d) laitosta. Tilavuuskuorman arvot ovat sekä nykyisessä tilanteessa että kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa korkeampia kuin skenaarioissa 1–3. Arvot (1 500–2 500 g/m<sup>3</sup>d) vastaavat kuitenkin edelleen matalakuormitteista aktiivilietelaitosta.

Puhdistamomallilla lietekuorma on sekä nykyisessä että kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa 0,4 gBOD/gMLSS\*d. Kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa arvot vastaavat laskentamallin arvoja lietepitoisuudella 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>. Puhdistamomallin arvot vastaavat normaalikuormitteista aktiivilietelaitosta (Karttunen 2004). Puhdistamomallissa lieteikä on kummassakin tilanteessa yksi päivä ja tilavuuskuorman arvo nykyisessä tilanteessa on 500 g/m<sup>3</sup>d ja kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa 800 g/m<sup>3</sup>\*d. Tilavuuskuorman arvot ovat pienempiä kuin laskentamallin arvot.

### 5.2.5 Skenaario 5: Tuleva virtaama 2 000 m<sup>3</sup>/h

Skenaariossa 5 puhdistamolle tulevan jäteveden virtaama on 2 000 m<sup>3</sup>/h ja ilmastukseen johdettava vesi ei mene mikrosiivilöiden läpi (Kuva 9). Lietekuorman arvot vastaavat täl-

löin skenaarion 1 (Luku 5.2.1) arvoja sekä nykyisessä että kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa (Taulukko 16). Vaikka skenaarion 5 tulovirtaama on paljon suurempi kuin skenaarion 1 (Luku 5.2.1), lietekuorman arvot pysyvät lähes samoina (Taulukko 16). Tämä johtuu luultavasti siitä, että puhdistamolle tuleva jätevesi on laimeaa esimerkiksi sadevesistä johtuen.

**Taulukko 16.** Ilmastuksen tunnusluvut skenaariossa 5 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

Nykyinen tilanne									
	Q (viiror- jen ohi)	BOD (viiror- jen ohi)	BOD (il- mas- tus)	Ylijäämä- lietteen määrä	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8)	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5)	Lieteikä, (lietepit. 8)	Lieteikä, (lietepit. 5)	Tilavuus- kuorma, L <sub>v</sub>
	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/ d	gBOD/gMLSS* d	gBOD/gMLSS* d	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei viirorja	2000	2100	110	2300	0,14	0,23	6	4	1200
Viirat	1000	1050	60	1200	0,07	0,12	13	8	600
Kuormitusennuste									
	Q (viiror- jen ohi)	BOD (viiror- jen ohi)	BOD (il- mas- tus)	Ylijäämä- lietteen määrä	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8)	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5)	Lieteikä, (lietepit. 8)	Lieteikä, (lietepit. 5)	Tilavuus- kuorma, L <sub>v</sub>
	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/ d	gBOD/gMLSS* d	gBOD/gMLSS* d	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei viirorja	2000	2900	150	3200	0,20	0,32	5	3	1600
Viirat	1000	1450	80	1600	0,10	0,16	9	6	800

Skenaarioihin 1–3 verrattuna lieteiät ovat pidempiä. Lietepitoisuudella 8 kgMLSS/m<sup>3</sup> lieteikä on nykyisessä sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa 13 tai 9 päivää. Jos lietepitoisuus lasketaan 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>, lieteikä laskee 8 tai 6 päivään. Lieteiän arvot vastaavat parhaiten matalakuormitteista (> 7 d) laitosta. Tässäkin skenaariossa tilavuuskuorman arvot ovat < 1 200 g/m<sup>3</sup>d.

Puhdistamomallin tulokset vastaavat edellisen skenaarion (Luku 5.2.4) arvoja lietekuorman ja lieteiän osalta. Puhdistamomallin tilavuuskuorman arvo on nykyisessä tilanteessa 400 g/m<sup>3</sup>d ja kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa 500 g/m<sup>3</sup>\*d. Tilavuuskuorman arvot pienenevät entisestään ja ovat pienempiä kuin laskentamallin arvot.

### 5.2.6 Skenaario 6: Tuleva virtaama 3 000 m<sup>3</sup>/h

Skenaariossa 6 puhdistamolle tulevan jäteveden virtaama on 3 000 m<sup>3</sup>/h ja ilmastukseen johdettava vesi ei mene mikrosiivilöiden läpi (Kuva 9). Ilmastuksen tunnusluvut tässä skenaariossa (Taulukko 17) ovat samaa suurusluokkaa kuin skenaariossa 5 (Luku 5.2.5).

**Taulukko 17. Ilmastuksen tunnusluvut skenaariossa 6 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.**

<b>Nykyinen tilanne</b>									
	Q (vii- ro- jen ohi)	BOD (vii- ro- jen ohi)	BOD (ilmas- tus)	Ylijäämä- lietteen määrä	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8)	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5)	Lieteikä, (lietepit. 8)	Lieteikä, (lietepit. 5)	Tila- vuus- kuorma, L <sub>v</sub>
	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/d	gBOD/gMLSS*d	gBOD/gMLSS*d	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei viiroja	3000	2100	110	2300	0,14	0,23	6	4	1200
Viirat	2000	1400	70	1500	0,10	0,15	9	6	800
<b>Kuormitusennuste</b>									
	Q (vii- ro- jen ohi)	BOD (vii- ro- jen ohi)	BOD (ilmas- tus)	Ylijäämä- lietteen määrä	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8)	Lietekuorma, L <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5)	Lieteikä, (lietepit. 8)	Lieteikä, (lietepit. 5)	Tila- vuus- kuorma, L <sub>v</sub>
	m <sup>3</sup> /h	kg/d	g/m <sup>3</sup>	kgMLSS/d	gBOD/gMLSS*d	gBOD/gMLSS*d	d	d	g/m <sup>3</sup> *d
Ei viiroja	3000	2900	150	3200	0,20	0,32	5	3	1600
Viirat	2000	1933	100	2100	0,13	0,21	7	4	1100

Lietekuormituksen osalta puhdistamomallin tulokset vastaavat skenaarioiden 4–5 (Luvut 5.2.4 ja 5.2.5) arvoja. Tässä skenaariossa puhdistamomallin lieteikä laskee kuitenkin alle yhden päivän. Puhdistamomallin tilavuuskuorman arvo on nykyisessä tilanteessa 200 g/m<sup>3</sup>d ja kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa 400 g/m<sup>3</sup>\*d. Tilavuuskuorman arvot pienenevät entisestään ja ovat pienempiä kuin laskentamallin arvot.

### 5.3 Mikrosiivilöinnin vaikutukset jälkiselkeytyksen kapasiteettiin

Jälkiselkeytyksen toimintaa analysoitiin laskennallisesti tyypillisten jälkiselkeytyksen mitoituksessa käytettyjen tunnuslukujen avulla (Luku 4.4.2). Jälkiselkeytyksen tarkastelussa käytettiin seuraavia skenaarioita: skenaariossa 1 jälkiselkeytykseen johdetaan 700 m<sup>3</sup>/h jätevettä ja skenaarioissa 2–6 800 m<sup>3</sup>/h. Laskentamallin tuloksia verrattiin kirjallisuuden arvojen lisäksi puhdistamomallin tuloksiin.

#### 5.3.1 Skenaario 1: Tuleva virtaama 700 m<sup>3</sup>/h

Skenaariossa 1 puhdistamolle tulevan jäteveden virtaama on 700 m<sup>3</sup>/h, jolloin kaikki vesi päätyy ilmastuksen kautta jälkiselkeytykseen (Kuva 9). Pintakuorman arvo on 0,7 m/h (Taulukko 18) ja sen perusteella selkeytysaltaan kuormitus on alhainen ja teoriassa biologiseen prosessiin johdettavan jäteveden määrää voitaisiin nostaa.

**Taulukko 18.** Jälkiselkeytyksen tunnusluvut skenaariossa 1 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

Nykyinen ja kuormitusennusteen mukainen tilanne						
Pinta- kuorma, $v_p$	Kiintoaine- kuorma (liete- pit. 8)	Kiintoaine- kuorma (liete- pit. 5)	Lietetila- vuus- kuorma, $S_{MLSS}$ (liete- pit. 8, SVI 200)	Lietetilavuus- kuorma, $S_{MLSS}$ (lietepit. 5, SVI 200)	Lietetilavuus- kuorma, $S_{MLSS}$ (lietepit. 8, SVI 150)	Lietetilavuus- kuorma, $S_{MLSS}$ (lietepit. 5, SVI 150)
m/h	kg/m <sup>2</sup> h	kg/m <sup>2</sup> h	m/h	m/h	m/h	m/h
0,7	5,7	3,6	1,1	0,7	0,9	0,5

Lietepitoisuuden ollessa 8 kgMLSS/m<sup>3</sup>, lietetilavuuskuorman arvo on 1,1 m/h lieteindeksillä 200 m<sup>3</sup>/kg ja 0,8 m/h lieteindeksillä 150 m<sup>3</sup>/kg. Lietetilavuuskuorman arvo tulisi olla väliltä 0,25–0,7 m/h (Karttunen 2004). Puhdistamon lieteindeksi on korkea, sillä liete ei laskeudu selkeytyksessä kunnolla. Jos lieteindeksi saadaan laskemaan tasolle 100 m<sup>3</sup>/kg, lietetilavuuskuorma laskisi tasolle 0,6 m/h ja olisi kirjallisuudessa (Karttunen 2004) ilmoitetuissa rajoissa (0,25–0,7 m/h)

Lietepitoisuuden ollessa 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>, lietetilavuuskuorman arvo on 0,7 m/h lieteindeksillä 200 m<sup>3</sup>/kg ja 0,5 m/h lieteindeksillä 150 m<sup>3</sup>/kg. Tällä lietepitoisuudella lietetilavuuskuorman arvot ovat kirjallisuudessa (Karttunen 2004) ilmoitetuissa rajoissa. Jos lieteindeksi saadaan laskemaan tasolle 100 m<sup>3</sup>/kg, lietetilavuuskuorma laskisi 0,4 m/h ja teoreettisesti liete laskeutuisi paremmin selkeytyksessä.

Puhdistamomallin pintakuorman arvo on sama kuin laskentamallin arvo 0,7 m/h. Puhdistamomallin kiintoainekuorma on nykyisessä tilanteessa 2,2 kg/m<sup>2</sup>\*h ja kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa 2,4 kg/m<sup>2</sup>\*h. Arvot ovat selvästi pienempiä kuin laskentamallin arvot, mutta johtuvat puhdistamomallin ilmastusaltaan huomattavasti alhaisemmasta lietepitoisuudesta (3,2 kgMLSS/m<sup>3</sup>).

Puhdistamolla, jossa biologisen osan kapasiteetti on rajoittava tekijä, on käsittelytuloksen optimointi käytännössä tasapainoilua lietteenlaskeutuvuus ominaisuuksien (lieteikä) ja jälkiselkeytyksen kuormituksen kesken. Kuten luvussa 5.2 on kerrottu, ilmastusaltaiden lietepitoisuus on mikrosiivilöitä käytettäessä mahdollista laskea tasolle 5 kgMLSS/m<sup>3</sup> ilman lieteiän heikkenemistä. Tarkastelun perusteella tämä vaikuttaisi tulevaisuudessa hyvältä lähtökohdalta ilmastuksen tavoiteltavalle lietepitoisuudelle.

### 5.3.2 Skenaariot 2-6: Tuleva virtaama 800–3 000 m<sup>3</sup>/h

Skenaarioissa 2–6 puhdistamolle tuleva virtaama vaihtelee 800–3 000 m<sup>3</sup>/h välillä (Kuva 9). Kokemusperäisesti on havaittu, että ilmastus toimii tällä hetkellä parhaiten, kun tulo-  
virtaama on suurimmillaan noin 800 m<sup>3</sup>/h, joten skenaarioissa 2–6 ilmastukseen johde-  
taan 800 m<sup>3</sup>/h jätevedtä.

Skenaarioissa 2–6 pintakuorman arvo on 0,8 m/h (Taulukko 19). Kuten skenaariossa 1  
(Taulukko 18), myös skenaarioissa 2–6 pintakuorman perusteella selkeytsaltaan kiin-  
toainekuormitus on alhainen ja teoriassa biologiseen prosessiin johdettavan jäteveden  
määrää voitaisiin nostaa.

**Taulukko 19.** Jälkiselkeytyksen tunnusluvut skenaariossa 2-6 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

Nykyinen ja kuormitusennusteen mukainen tilanne						
Pinta- kuorma, v <sub>p</sub>	Kiintoaine- kuorma (liete- pit. 8)	Kiintoaine- kuorma (liete- pit. 5)	Lietetilavuus- kuorma, S <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8, SVI 200)	Lietetilavuus- kuorma, S <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5, SVI 200)	Lietetilavuus- kuorma, S <sub>MLSS</sub> (lietepit. 8, SVI 150)	Lietetilavuus- kuorma, S <sub>MLSS</sub> (lietepit. 5, SVI 150)
m/h	kg/m <sup>2</sup> h	kg/m <sup>2</sup> h	m/h	m/h	m/h	m/h
0,8	6,5	4,1	1,3	0,8	1,0	0,6

Lietepitoisuuden ollessa 8 kgMLSS/m<sup>3</sup>, lietetilavuuskuorman arvo 1,3 m/h lieteindeksillä  
200 m<sup>3</sup>/kg ja 1,0 m/h lieteindeksillä 150 m<sup>3</sup>/kg. Lietetilavuuskuorman arvo tulisi olla väliltä  
0,25–0,7 m/h. Jos lieteindeksi saadaan laskemaan tasolle 100 m<sup>3</sup>/kg, lietetilavuus-  
kuorma laskisi 0,6 m/h ja olisi kirjallisuudessa ilmoitetuissa rajoissa (0,25–0,7 m/h).

Lietepitoisuuden ollessa 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>, lietetilavuuskuorman arvo 0,8 m/h lieteindeksillä  
200 m<sup>3</sup>/kg ja 0,6 m/h lieteindeksillä 150 m<sup>3</sup>/kg. Tällä lietepitoisuudella lietetilavuuskuor-  
man arvot ovat lähellä kirjallisuudessa (Karttunen 2004) ilmoitettuja rajoja (0,25–0,7  
m/h). Jos lieteindeksi saadaan laskemaan tasolle 100 m<sup>3</sup>/kg, lietetilavuuskuorma laskisi  
0,4 m/h ja teoreettisesti liete laskeutuisi paremmin selkeytyksessä.

Puhdistamomallin pintakuorman arvo on sama kuin laskentamallin arvo 0,8 m/h. Ske-  
naarioissa 2–6 puhdistamomallin kiintoainekuorma nykyisessä tilanteessa vaihtelee vä-  
lillä 0,7–2,2 kg/m<sup>2</sup>\*h ja kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa välillä 1,1–2,4  
kg/m<sup>2</sup>\*h. Kuten skenaariossa 1 (Luku 5.3.1), arvot ovat pienempiä kuin laskentamallin  
arvot, mutta johtuvat puhdistamomallin ilmastusaltaan huomattavasti alhaisemmasta lie-  
tepitoisuudesta (3,2 kgMLSS/m<sup>3</sup>).

Tarkastelut on tehty siten, että biologisen prosessin kapasiteetti on 800 m<sup>3</sup>/h. Jos biolo-  
giseen prosessiin johdettavaa virtaamaa nostettaisiin esimerkiksi tasolle 900 m<sup>3</sup>/h, jälki-  
selkeytyksen lietetilavuuskuorman arvot nousevat edelleen yli suositusarvojen (0,25–0,7

m/h). Jos lietteen laskeutuvuutta saadaan parannettua tulevaisuudessa ja lieteindeksi olisi  $< 150 \text{ m}^3/\text{kg}$ , biologiseen prosessiin johdettavan veden määrää voitaisiin teoreettisesti nostaa  $> 800 \text{ m}^3/\text{h}$ .

## 5.4 Mikrosiivilöinnin vaikutukset jälkikäsittelyn kapasiteettiin

Jälkikäsittelyyn kiekkosuodattimille tulevan jäteveden kiintoainepitoisuutta arvioitiin eri jätevesijakeilla lasketun painotetun keskiarvon avulla skenaariossa 1–6 (Luku 4.4.3). Kiekkosuodattimille tulevan veden kiintoainepitoisuuteen vaikuttavat mikrosiivilöiden TSS:n poistoteho, biologisen osan toiminta ja kiekkosuodattimille eri reittejä johdettavien jätevesien sekoitussuhde.

### 5.4.1 Skenaariot 1-2: Tuleva virtaama 700-800 m<sup>3</sup>/h

Skenaarioissa 1 ja 2 kaikki puhdistamolle tuleva jätevesi on johdettu mikrosiivilöiden ja biologisen osan kautta kiekkosuodattimille (Kuva 9). Kiekkosuodattimille tulevan veden kiintoainepitoisuus on 50 mg/l ja niiltä lähtevän veden kiintoainepitoisuus on 15 mg/l sekä nykyisessä että kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa. TSS:n poistoteho on noin 94–95 %. Puhdistustulos täyttää sille ympäristöluvassa asetut ehdot lähtevän veden kiintoainepitoisuudelle (20 mg/l) ja poisteholle (90 %) (Taulukko 8).

Puhdistamomallin mukaan skenaarioissa 1 ja 2 kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus nykyisessä tilanteessa on 5–6 mg/l ja niiltä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 2 mg/l. Tällöin TSS:n poistoteho on 99 %. Kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on 44 mg/l ja niiltä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 13 mg/l. Tällöin TSS:n poistoteho on 96 %. Puhdistamomallin mukaan kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on pienempi kuin laskentamallissa ja siten puhdistamon TSS:n poistotehokin on korkeampi.

### 5.4.2 Skenaario 3: Tuleva virtaama 1 000 m<sup>3</sup>/h

Skenaariossa 3 kaikki kiekkosuodattimille tuleva vesi (1 000 m<sup>3</sup>/h) on johdettu mikrosiivilöiden läpi, mutta osa on ohitettu biologisen prosessin ohi (Kuva 9). Mikrosiivilöiden TSS:n poistotehosta riippuen nykyisessä tilanteessa kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on 61–76 mg/l (Taulukko 20). Pitoisuudet ovat alle asetetun tavoitteen ( $\leq 100 \text{ mg/l}$ ). Lähtevän veden TSS-pitoisuus on 18–23 mg/l. Mikrosiivilöiden TSS:n poistotehon ollessa 50–60 %, ympäristölupaehdot täyttyvät sekä lähtevän veden kiintoainepitoisuuden (18–20 mg/l) että poistotehon (92–93 %) osalta. TSS:n poistotehovaatimus täyttyy myös mikrosiivilöiden TSS:n poistotehon ollessa 30–40 %. Tällöin poistoteho on

91–92 %. Ilman mikrosiivilöitä kiekkosuodattimille tuleva TSS-pitoisuus on 92 mg/l ja lähtevän veden TSS-pitoisuus on 28 mg/l. Ympäristölupaehdot eivät täyty, sillä poistotehokin on alle 90 % (89 %).

**Taulukko 20.** Kiekkosuodattimille tulevan ja sieltä lähtevän jäteveden TSS-pitoisuudet skenaariossa 3 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

<b>Nykyinen tilanne</b>				
	Kiekkosuodattimille viirojen ja biologisen osan läpi	Kiekkosuodattimille viirojen läpi	Kiekkosuodattimille	Lähtevä vesi
TSS:n poistoteho	TSS	TSS	TSS	TSS
%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ei viiroja	50	260	92	28
30	50	182	76	23
40	50	156	71	21
50	50	130	66	20
60	50	104	61	18

<b>Kuormitusennuste</b>				
	Kiekkosuodattimille viirojen ja biologisen osan läpi	Kiekkosuodattimille viirojen läpi	Kiekkosuodattimille	Lähtevä vesi
TSS:n poistoteho	TSS	TSS	TSS	TSS
%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ei viiroja	50	330	106	32
30	50	231	86	26
40	50	198	80	24
50	50	165	73	22
60	50	132	66	20

Mikrosiivilöiden TSS:n poistotehosta riippuen kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on 66–86 mg/l eli se on alle asetetun tavoitteen ( $\leq 100$  mg/l). Lähtevän veden TSS-pitoisuus on 20–26 mg/l. Ympäristölupaehdot täyttyvät kiintoainepitoisuuden osalta mikrosiivilöiden TSS:n poistotehon ollessa 60 %. TSS:n poistotehovaatimus täyttyy kaikilla tarkastelluilla mikrosiivilöiden TSS:n poistotehoilla. Poistoteho on 92–94 %. Ilman mikrosiivilöitä kiekkosuodattimille tuleva TSS-pitoisuus on 106 mg/l ja lähtevän veden TSS-pitoisuus on 32 mg/l. Ympäristölupaehdot eivät täyty kiintoainepitoisuuden osalta, mutta poistotehovaatimus täyttyy poistotehon ollessa 90 %.

Puhdistamomallin mukaan skenaariossa 3 kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on nykyisessä tilanteessa 19 mg/l ja niiltä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 6 mg/l.

Tällöin TSS:n poistoteho on 98 %. Kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on 27 mg/l ja niiltä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 8 mg/l. Tällöin TSS:n poistoteho on 98 %. Puhdistamomallin mukaan kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on pienempi kuin laskentamallissa ja se on alle asetetun tavoitteen ( $\leq 100$  mg/l). Puhdistamomallin perusteella puhdistustulos täyttää sille ympäristöluvassa asetut ehdot lähtevän veden kiintoainepitoisuudelle (20 mg/l) ja poisteholle (90 %) (Taulukko 8).

#### **5.4.3 Skenaario 4: Tuleva virtaama 1 250 m<sup>3</sup>/h**

Skenaariossa 4 osa kiekkosuodattimille tulevasta vedestä ohittaa mikrosiivilät ja osa biologisen prosessin (Kuva 9). Skenaarioon 3 verrattuna (Luku 5.4.2) kiekkosuodattimille tulevan ja sieltä lähtevän veden TSS-pitoisuudet eivät muutu merkittävästi nykyisessä eikä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa. TSS:n poistotehovaatimus täyttyy kaikilla tarkastelluilla mikrosiivilöiden TSS:n poistotehoilla poistotehon ollessa 90–94 % välillä. Kiintoainepitoisuuden osalta ympäristölupaehdot täyttyvät vain nykyisessä tilanteessa mikrosiivilöiden TSS:n poistotehon ollessa 60 %. Ilman mikrosiivilöitä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 32 tai 38 mg/l. Ympäristölupaehdot eivät täyty nykyisessä tilanteessa poistotehon ollessa 88 %. Kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa poistotehovaatimus täyttyy poistotehon ollessa 90 %.



**Taulukko 21.** Kiekkosuodattimille tulevan ja sieltä lähtevän jäteveden TSS-pitoisuudet skenaariossa 4 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

Nykyinen tilanne					
	Kiekkosuodattimille viirojen ja biologisen osan läpi	Kiekkosuodattimille viirojen läpi	Kiekkosuodattimille viirojen ohi, biologisen osan läpi	Kiekkosuodattimille	Lähtevä vesi
TSS:n poistoteho	TSS	TSS	TSS	TSS	TSS
%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ei viiroja	50	208	50	107	32
30	50	146	50	84	25
40	50	125	50	77	23
50	50	104	50	69	21
60	50	83	50	62	19
Kuormitusennuste					
	Kiekkosuodattimille viirojen ja biologisen osan läpi	Kiekkosuodattimille viirojen läpi	Kiekkosuodattimille viirojen ohi, biologisen osan läpi	Kiekkosuodattimille	Lähtevä vesi
TSS:n poistoteho	TSS	TSS	TSS	TSS	TSS
%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ei viiroja	50	264	50	127	38
30	50	185	50	98	30
40	50	158	50	89	27
50	50	132	50	79	24
60	50	105	50	70	21

Puhdistamomallin mukaan skenaariossa 4 kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus nykyisessä tilanteessa on 28 mg/l ja niiltä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 8 mg/l. Tällöin TSS:n poistoteho on 97 %. Kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on 40 mg/l ja niiltä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 12 mg/l. Tällöin TSS:n poistoteho on 96 %. Tulokset vastaavat skenaarion 3 (Luku 5.4.2) puhdistamomallin tuloksia ja puhdistustulokset täyttävät ympäristöluvan ehdot.

#### 5.4.4 Skenaario 5: Tuleva virtaama 2 000 m<sup>3</sup>/h

Skenaariossa 5 osa kiekkosuodattimille tulevasta vedestä ohittaa sekä mikrosiivilät että biologisen prosessin, osa mikrosiivilät ja osa biologisen prosessin (Kuva 9). Skenaarioihin 3 ja 4 (Luvut 5.4.2 ja 5.4.3) verrattuna kiekkosuodattimille tulevan ja sieltä lähtevän veden TSS-pitoisuudet eivät muutu merkittävästi nykyisessä eikä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa (Taulukko 22). Ympäristölupaehdot täyttyvät kiintoainepitoisuu-

den osalta mikrosiivilöiden TSS:n poistotehon ollessa 50–60 %. TSS:n poistotehovaatimus täyttyy kaikilla tarkastelluilla mikrosiivilöiden TSS:n poistotehoilla poistotehon ollessa 91–93 % välillä. Ilman mikrosiivilöitä lähtevän veden kiintoainepitoisuus ja puhdistamomallin TSS:n poistoteho eivät täytä ympäristölupaehtoja nykyisessä eikä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa. Lähtevän veden kiintoainepitoisuus on > 20 mg/l ja TSS:n poistoteho on 89 %.

**Taulukko 22.** Kiekkosuodattimille tulevan ja sieltä lähtevän jäteveden TSS-pitoisuudet skenaariossa 5 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

Nykyinen tilanne					
	Kiekkosuodattimille viirojen ja biologisen osan ohi	Kiekkosuodattimille viirojen läpi	Kiekkosuodattimille viirojen ohi, biologisen osan läpi	Kiekkosuodattimille	Lähtevä vesi
TSS:n poistoteho	TSS	TSS	TSS	TSS	TSS
%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ei viiroja	130	130	50	98	29
30	130	91	50	79	24
40	130	78	50	72	22
50	130	65	50	66	20
60	130	52	50	59	18
Kuormitusennuste					
	Kiekkosuodattimille viirojen ja biologisen osan ohi	Kiekkosuodattimille viirojen läpi	Kiekkosuodattimille viirojen ohi, biologisen osan läpi	Kiekkosuodattimille	Lähtevä vesi
TSS:n poistoteho	TSS	TSS	TSS	TSS	TSS
%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ei viiroja	165	165	50	119	36
30	165	115	50	94	28
40	165	99	50	86	26
50	165	82	50	78	23
60	165	66	50	69	21

Puhdistamomallin mukaan skenaariossa 5 kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus nykyisessä tilanteessa on 35 mg/l ja niiltä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 10 mg/l. Tällöin TSS:n poistoteho on 96 %. Kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on 50 mg/l ja niiltä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 15 mg/l. Tällöin TSS:n poistoteho on 95 %. Arvot vastaavat skenaarioiden 1–4 puhdistamomallin tuloksia ja puhdistustulokset täyttävät ympäristöluvan ehdot.

### 5.4.5 Skenaario 6: Tuleva virtaama 3 000 m<sup>3</sup>/h

Kuten skenaariossa 5 (Luku 5.4.4), skenaariossa 6 osa kiekkosuodattimille tulevasta vedestä ohittaa sekä mikrosiivilät että biologisen prosessin, osa mikrosiivilät ja osa biologisen prosessin (Kuva 9). Tulovirtaama on paljon suurempi kuin skenaariossa 5 ja sekä kiekkosuodattimille tulevan veden että sieltä lähtevän veden TSS-pitoisuudet ovat korkeammat (Taulukko 23). Pitoisuudet ylittävät asetetun tavoitteen ( $\leq 100$  mg/l).

Ympäristöluvan ehdot eivät täyty kiintoainepitoisuuden eikä TSS:n poistotehovaatimuksen osalta millään tarkastelluilla mikrosiivilöiden TSS:n poistotehoilla poistotehon ollessa 82–84 % välillä nykyisessä sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

Kuten skenaariossa 5, ilman mikrosiivilöitä lähtevän veden kiintoainepitoisuus ja puhdistamon TSS:n poistoteho eivät täytä ympäristölupaehtoja nykyisessä eikä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa. Lähtevän veden kiintoainepitoisuus on  $> 20$  mg/l ja TSS:n poistoteho on 81 % kummassakin tilanteessa.

**Taulukko 23.** Kiekkosuodattimille tulevan ja sieltä lähtevän jäteveden TSS-pitoisuudet skenaariossa 6 nykyisessä tilanteessa sekä kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa.

Nykyinen tilanne					
	Kiekkosuodattimille viirojen ja biologisen osan ohi	Kiekkosuodattimille viirojen läpi	Kiekkosuodattimille viirojen ohi, biologisen osan läpi	Kiekkosuodattimille	Lähtevä vesi
TSS:n poistoteho	TSS	TSS	TSS	TSS	TSS
%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ei viiroja	173	87	50	167	50
30	173	61	50	154	46
40	173	52	50	150	45
50	173	43	50	146	44
60	173	35	50	141	42
Kuormitusennuste					
	Kiekkosuodattimille viirojen ja biologisen osan ohi	Kiekkosuodattimille viirojen läpi	Kiekkosuodattimille viirojen ohi, biologisen osan läpi	Kiekkosuodattimille	Lähtevä vesi
TSS:n poistoteho	TSS	TSS	TSS	TSS	TSS
%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ei viiroja	220	110	50	207	62
30	220	77	50	190	57
40	220	66	50	185	55
50	220	55	50	179	54
60	220	44	50	174	52

Puhdistamomallin mukaan skenaariossa 6 kiekkosuodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on nykyisessä tilanteessa 31 mg/l ja niiltä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 9 mg/l.

Tällöin TSS:n poistoteho on 97 %. Kuormitusennusteen mukaisessa tilanteessa kiekko-suodattimille tulevan veden TSS-pitoisuus on 46 mg/l ja niiltä lähtevän veden TSS-pitoisuus on 14 mg/l. Tällöin TSS:n poistoteho on 96 %. Arvot vastaavat skenaarioiden 1–5 puhdistamomallin tuloksia ja puhdistustulokset täyttävät ympäristöluvan ehdot.

Puhdistamomallin tulokset ovat laskentamallin tuloksiin verrattuna hyvin samansuuntaisia. Absoluuttiset arvot eroavat kuitenkin hieman laskentamallin tuloksista. Tässä korostuu puhdistamomallin kalibroinnin ja validoinnin tärkeys, jota ei puhdistamomallia luodessa ole päästy tekemään täysipainoisesti puutteellisista lähtötiedoista johtuen. Alhedan jätevedenpuhdistamon prosessiautomaatiojärjestelmä on otettu käyttöön vasta keväällä 2020.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän työn tavoitteena oli tarkastella Pietarsaaren Veden Alhedan jätevedenpuhdistamon biologisen prosessin ja jälkikäsitteilyn toimintaa perinteisten puhdistamoiden mitoituksessa käytettyjen tunnuslukujen avulla. Tarkoituksena oli selvittää, miten mikrosiivilöinti vaikuttaa puhdistamon prosessien toimintaan ja puhdistustulokseen. Työssä hyödynnettiin laskentamallin lisäksi puhdistamomallia, jonka tuloksia verrattiin laskentamallin arvoihin.

Koeajolaitteistoilla mikrosiivilöillä saavutettiin noin 25–60 % TSS:n poistoteho ja noin 20–50 % BOD:n poistoteho. Työn laskennallista osuutta varten luotiin 6 skenaariota, jotka perustuivat puhdistamolle tulevaan tulovirtaamaan (Kuva 9). Laskentamallin arvot vastasivat matalakuormitteista ja normaalikuormitteista aktiivilietelaitosta. Puhdistamomallin tulokset olivat samansuuntaisia laskentamallin tuloksiin verrattuna. Puhdistamomallin tulokset vastasivat tilavuuskuormaa lukuun ottamatta paremmin normaalikuormitteista laitosta. Tämä johtuu osittain siitä, että puhdistamomallin biologisen prosessin lietepitoisuus oli huomattavasti alhaisempi (3,2 kgMLSS/m<sup>3</sup>) kuin laskentamallissa käytetyt lietepitoisuudet (8 ja 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>).

Tuloksista päätellen mikrosiivilöillä saavutettava BOD-kuormituksen vähentäminen mahdollistaa biologisen prosessin lietepitoisuuden alentamisen nykytilanteeseen verrattuna. Jälkiselkeytyksen paremman toiminnan kannalta on suositeltavaa, että lietepitoisuutta alennetaan. Lieteikä olisi hyvä saada pidennettyä nykyisestä 2 päivästä esimerkiksi 5 päivään.

Työn tarkastelut tehtiin siten, että puhdistamon biologisen prosessin kapasiteetti on 800 m<sup>3</sup>/h. Laskentamallilla tehtyjen tarkasteluiden perusteella biologiseen prosessiin johdettavaa virtaamaa ei nykyisessä tilanteessa ole kannattavaa nostaa yli 800 m<sup>3</sup>/h, sillä jälkiselkeytyksen lietetilavuuskuorman arvot nousevat yli suositusarvojen 5 kgMLSS/m<sup>3</sup> lietepitoisuuksillakin. Tulosten perusteella nykytilanteessa olisi syytä harkita biologiseen prosessiin johdettavan virtaaman pienentämistä esimerkiksi tasolle 700 m<sup>3</sup>/h. Tällä virtaamalla jälkiselkeytyksen lietetilavuuskuorman arvot pysyvät tavoiterajoissa (< 0,7 m/h) kaikissa tarkastelluissa skenaarioissa lietepitoisuudella 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>. Myös ilmaston lietekuorman ja tilavuuskuorman arvot kasvavat ja vastaavat paremmin normaalikuormitteista laitosta kuin nykyisessä tilanteessa. Puhdistamomallin tulosten perusteella lietepitoisuus voisi olla alhaisempi kuin 5 kgMLSS/m<sup>3</sup>. Puhdistamomallin lietepitoisuudella (3,2 kgMLSS/m<sup>3</sup>) lietekuorman sekä lietetilavuuskuorman arvot ovat korkeammat kuin

laskentamallin ja lieteikä laskee 2–5 päivään. Tulevaisuudessa, jos lietteen laskeutusominaisuuksia saadaan parannettua esikäsitellyn saneerauksella ja mikrosiivilöiden käyttönotolla, biologiseen prosessiin johdettavan veden määrää on teoreettisesti mahdollista nostaa tasolta 700–800 m<sup>3</sup> tasolle 900–1 000 m<sup>3</sup>/h.

Mikrosiivilöiden käyttöönoton alkuvaiheeseen hankittava kapasiteetti (1 000 m<sup>3</sup>/h) on puhdistamon virtaamatietojen perusteella riittävä. Keskimääräinen tuntivirtaama ( $q_{\text{kesk}}$ ) on vuoden 2025 kuormitusennusteen mukaan 450 m<sup>3</sup>/h ja maksimi tuntivirtaama ( $q_{\text{max}}$ ) 1 400 m<sup>3</sup>/h (Taulukko 7). Vuosina 2016–2019 puhdistamon  $q_{\text{max}}$  on vaihdellut välillä 1 038–1 640 m<sup>3</sup>/h (Taulukko 6) ja nämä virtaamahuiput ovat todennäköisesti aiheutuneet alueen hulevesistä. Tällaisten virtaamahuippujen aikana jätevesi johdetaan kuvan 9 mukaan, jolloin mikrosiivilöiden ohi johdettava jätevesi johdetaan biologiseen prosessiin ja kiekkosuodattimille suoraan johdettu jätevesi on kulkenut mikrosiivilöiden läpi. Kiekkosuodattimien oletetaan kestävän lyhytaikaiset, normaalia suuremmat jäteveden kiintoainepitoisuudet.

Mikrosiivilöintiin näyttäisi soveltuvan koeajoissa käytetyistä polymeereistä parhaiten kationinen polymeeri Zetag 8140, joka on puhdistamolla tällä hetkellä käytössä myös kiekkosuodattimilla. Polymeeriannostus suositellaan pitämään alhaisena ja se tulisi aloittaa esimerkiksi kulutuksella 1,5–2 g/m<sup>3</sup>. Tarvittaessa annostusta voidaan nostaa, mutta tällöin kemikaalin kulutus ja käyttökustannukset laitoksella nousevat.

Työn tulosten perusteella mikrosiivilöiden käyttöönoton ja toiminnan optimoinnin yhteydessä suositellaan, että biologiseen prosessiin johdettavan jäteveden määrä olisi korkeintaan 700 m<sup>3</sup>/h. Puhdistamolle tulevien virtaamahuippujen aikana tätä suuremmat jätevesimäärät suositellaan johdettavaksi mikrosiivilöiden kautta biologisen prosessin ohi kiekkosuodattimille. Jos mikrosiivilöiden kapasiteetti ylittyy, ohitettu jätevesi tulisi ensisijaisesti johtaa biologiseen prosessiin. Tällöin mikrosiivilöiden läpi johdettu, ohitettua jätevettä puhtaampi vesi, suositellaan johdettavaksi kiekkosuodattimille. Näin kiekkosuodattimille tuleva jätevesi on mahdollisimman puhdasta myös suurilla tulovirtaamilla ja teoreettisesti niiden tulisi toimia paremmin. Työssä esitetty ehdotus (Kuva 9) tulevan jäteveden johtamisesta puhdistusprosessissa eri skenaarioissa toimii ohjekaaviona myös pienemmällä biologisen prosessin kapasiteetilla.

Mikrosiivilöiden käyttöönotossa on suositeltavaa tehdä koeajoja eri virtaamilla ja polymeeriannostuksilla (Taulukko 24). Jokaista tilannetta tulisi ajaa tulosten luotettavuuden parantamiseksi vähintään vuorokausi. Jätevedestä otetaan näytteet automaattisella näytteenottimella virtaamapainotettuna vuorokauden kokoomanäytteenä ennen ja jälkeen mikrosiivilöiden. Näytteistä määritetään laboratoriossa TSS-, BOD-, COD-, P- ja N-

arvot, joiden perusteella pystytään arvioimaan mikrosiivilöiden edellä mainittujen yhdisteiden poistotehoja. Jatkuvatomina mittauksina tulee seurata jäteveden virtaamaa ja pintakuormaa.

**Taulukko 24.** Koeajo-ohjelma mikrosiivilöiden käyttöönottoon ja toiminnan optimointiin puhdistamolla.

Virtaama mikrosiivilöiden läpi m <sup>3</sup> /h	Polymeeri- annostus (Zetag 8140) g/m <sup>3</sup>	Ajoaika d	Näytteistä tehtävät laboratorioanalyysit
250	1,5	1	TSS-, BOD-, COD-, P- ja N- arvot
	2	1	
	2,5	1	
	3	1	
500	1,5	1	TSS-, BOD-, COD-, P- ja N- arvot
	2	1	
	2,5	1	
	3	1	
750	1,5	1	TSS-, BOD-, COD-, P- ja N- arvot
	2	1	
	2,5	1	
	3	1	
1000	1,5	1	TSS-, BOD-, COD-, P- ja N- arvot
	2	1	
	2,5	1	
	3	1	
1250	1,5	1	TSS-, BOD-, COD-, P- ja N- arvot
	2	1	
	2,5	1	
	3	1	

Mikrosiivilöiden sekä samalla koko puhdistamon toimintaan vaikuttavat muun muassa mikrosiivilöillä käytettävä polymeeri ja sen annostus, mikrosiivilöiden suodatinkankaan pyörimisnopeus ja puhdistusvälit, tulevan jäteveden koostumus ja määrä sekä biologiseen prosessiin johdettavan veden määrä. Puhdistusprosessin optimointi voi viedä aikaa useita viikkoja ja tämän työn tuloksena saavutetut johtopäätökset toimivat alkuarvoina, joilla puhdistamon prosessia voidaan lähteä ajamaan mikrosiivilöiden käyttöönoton jälkeen.

## 7 LÄHTEET

Akervold, K. S., 2004, Primary treatment project 6: Operational experiences from sieve plants – Case Bergen, City of Bergen, Water and Wastewater.

Astola, J., 2020, Pilot-koe tulosten palaveri, 15.5.2020, Sarlin Oy Ab.

Berg, I., 2004, Primary treatment project 5: Operational experiences from existing plants – Case Tromsø. Evaluation of three sieve plants in the municipalities of Tromsø and Lenvik, City of Tromsø, Water and Wastewater.

Euroopan yhteisön neuvoston direktiivi yhdyskuntajätevesien käsittelystä (91/271/ETY), 1991, Yhdyskuntajätevesidirektiivi, Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=LEGISSUM:I28008>

Franchi, A. & Santoro D., 2015, Current status of the rotating belt filtration (RBF) technology for municipal wastewater treatment, Water Practice & Technology, Vol. 10:2, 319-327 s.

Friedler, E., Butler, D. & Alfiya, Y., 2013, Wastewater composition, julkaisussa Larsen, T. A., Udert, K. M. & Lienert J., 2013, Source separation and decentralization for wastewater management, IWA Publishing, Ashland, USA, 520 s.

Galil, N. & Rebhun, M., 1990, Primary chemical treatment minimizing dependence on bioprocess in small treatment plants, Water Science & Technology, Vol. 22, 203-210 s.

Haugan, G. & Astola, J., 2020, Test report from pilot testing, Sarlin Oy Ab, Ei saatavissa.

Karttunen, E., 2004, RIL 124-2 Vesihuolto II, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki, Suomi, 684 s.

Ljunggren, M., 2006, Micro screening in wastewater treatment – An overview, Vatten, Vol. 62, 171-177 s.

MacKenzie, D. L., 2010, Water and Wastewater Engineering, McGraw-Hill, New York, USA, 1296 s.

Metcalf & Eddy, 2014, Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5. painos, McGraw-Hill Education, New York, USA, 1058 s.

Misund, A. K., Fjorden, S. & Jacobson, J., 2004, Experiences from primary treatment plants using sedimentation, Report: Asplan Viak Sør.



Morrissey, S. P. & Harleman, D. R. F., 1992, Retrofitting conventional primary treatment plants for chemically enhanced primary treatment in the USA, *Chemical Water & Wastewater Treatment II*, 401-416 s.

Newcombe, R., Lopp, M., Higby, T., Martini, R. & Rusten, B., 2011, Particle size separation implications on COD removal before BNR: A case study, *Proceedings of the Water Environment Federation*, Vol. 1, 477-484 s.

Ødegaard, H., 2005, Primary treatment, Norwegian State Pollution Control Agency, SFT TA-2088/2005.

Paulsrud, B., Rusten, B. & Aas, B., 2014, Increasing the sludge energy potential of wastewater treatment plants by introducing fine mesh sieves for primary treatment, *Water Science & Technology*, Vol. 69:3, 560-565 s.

Poon, C. S. & Chu, C. W., 1999, The use of ferric chloride and anionic polymer in the chemically assisted primary sedimentation process, *Chemosphere*, Vol. 39:10, 1573-1582 s.

Rusten, B. & Ødegaard, H., 2006, Evaluation and testing of fine mesh sieve technologies for primary treatment of municipal wastewater, *Water Science & Technology*, Vol. 54:10, 31-38 s.

Rusten, B., Rathnaweera, S. S., Rismyhr, E., Sahu, A. K. & Ntiako, J., 2017, Rotating belt sieves for primary treatment, chemically enhanced primary treatment and secondary solids separation, *Water Science & Technology*, Vol. 75:11-12, 2598-2606 s.

Rusten, B., Razafimanantsoa, V. A., Andriamiarinjaka, M. A., Otis, C. L., Sahu, A. K. & Bilstad, T., 2016, Impact of fine mesh sieve primary treatment on nitrogen removal in moving bed biofilm reactors, *Water Science & Technology*, Vol. 73:2, 337-344 s.

Salsnes Filter, 2017, Salsnes Filter esittelymateriaali, Saatavissa (viitattu 21.5.2020): <https://www.sarlin.com/assets/Tuotteet/liitteet/Esite-Salsnes-suodattimet-jaeteveden-puhdistukseen.pdf>

Suomen ympäristökeskus (SYKE), 2015, Yhdyskuntien jätevesien puhdistus 2013, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 34/2015, Suomen ympäristökeskus, Helsinki, Saatavissa (viitattu 2.3.2020): [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/158957/SYKEEra\\_34\\_2015.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/158957/SYKEEra_34_2015.pdf?sequence=1)

Suomen ympäristökeskus (SYKE), 2019, Yhdyskuntien jätevesien kuormitus vesiin, Suomen ympäristökeskus, Helsinki, Saatavissa (viitattu 9.3.2020): [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Vesihuoltoraportit/Yhdyskuntien\\_jatevesien\\_kuormitus\\_vesiin](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesihuoltoraportit/Yhdyskuntien_jatevesien_kuormitus_vesiin)

Sutton, P. M., Rusten, B., Ghanam, A., Dawson, R. & Kelly, H., 2008, Rotating belt screens: an attractive alternative for primary treatment of municipal wastewater, WEFTEC 2008, Chicago, 1671-1687 s.

Tampereen Vesi, 2012, Pirkanmaan Keskuspuhdistamo: ympäristövaikutusten arviointiselostus, Saatavissa (viitattu 13.8.2020): [https://www.keskuspuhdistamo.fi/wp-content/uploads/2015/10/YVA1\\_5.2.2013.pdf](https://www.keskuspuhdistamo.fi/wp-content/uploads/2015/10/YVA1_5.2.2013.pdf)

Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä, 2006, 888/2006, Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060888#Pidp446864400>

Vesilaitosyhdistys (VVY), 2020, Ammattiasiaa jätevesistä, Saatavissa (viitattu 16.9.2020): <https://www.vvy.fi/vesihuolto/jatevesista-eksperteille/#osio-1-1511881740-8473-1>

Vesilaitosyhdistys (VVY), 2016, Teknis-taloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa, Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 42, Helsinki, Saatavissa (viitattu 16.9.2020): [https://www.vvy.fi/site/assets/files/1666/jatevedenkasittelyn\\_teknis-taloudellinen\\_selvitys\\_21042016.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/1666/jatevedenkasittelyn_teknis-taloudellinen_selvitys_21042016.pdf)

Vesilaitosyhdistys (VVY), 2014, Puhtaan veden tekijät: Jätevesien puhdistaminen Suomessa, Saatavissa (viitattu 16.9.2020): [https://www.vvy.fi/site/assets/files/1086/vvy\\_puhtaan\\_veden\\_tekijat\\_netti.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/1086/vvy_puhtaan_veden_tekijat_netti.pdf)

Väänänen, J., 2017, Microsieving in municipal wastewater treatment: Chemically enhanced primary and tertiary treatment, PhD Thesis, Department of Chemical Engineering, Lund University.

Väänänen, J., Cimbritz, M. & La Cour Jansen, J., 2016, Microsieving in primary treatment: effect of chemical dosing, Water Science & Technology, Vol. 74:2, 438-447 s.

Wang, H., Li, F., Keller, A. A. & Xu, R., 2009, Chemically enhanced primary treatment (CEPT) for removal of carbon and nutrients from municipal wastewater treatment plants: A case study of Shanghai, Water Science & Technology, Vol. 60:7, 1803-1809 s.