

MIKROSKOPOINTI AKTIIVILIETEPROSESSIN TOIMINNAN TARKKAILUSSA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Insinööri (AMK)
Energia- ja ympäristötekniikka
Kevät 2019
Taru Manninen

Tiivistelmä

Tekijä Manninen, Taru	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika Kevät 2019
	Sivumäärä 50+3	
Työn nimi Mikroskopointi aktiivilieteprosessin toiminnan tarkkailussa		
Tutkinto Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Jätevedenpuhdistuksen tavoitteena on suojella purkuvesistöjä jäteveden sisältämillä epäpuhtauksilta. Mikroskopointia voidaan käyttää apuna jätevedenpuhdistusprosessin tehostamisessa sekä häiriötilanteiden ratkaisemisessa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda pohjaa aktiivilietteen mikroskooppiselle tarkkailulle Nokian Vesi Oy:n Kullaanvuoren jätevedenpuhdistamolla sekä etsiä syytä puhdistamon vaahto-ongelmalle.</p> <p>Tarve työlle syntyi Kullaanvuoren puhdistamolla esiintyvistä ajoittaisista vaahto-ongelmasta, jonka ratkaisussa mikroskopoinnin katsottiin voivan olla avuksi. Puhdistamon ilmastusaltaiden pinnalle kertyvä vaahto huonontaa laitoksen puhdistustulosta, vaikeuttaa huoltotöitä ja talvella jäätyessään rikkoo puhdistamon laitteistoa. Työ tehtiin kokoamalla kirjallisuudesta tietoa aktiivilieteprosessin toiminnasta ja ominaisuuksista, minkä jälkeen Kullaanvuoren puhdistamon aktiivilietettä tutkittiin mikroskopimalla noin kuukauden ajan. Lisäksi mitattiin aktiivilietteen lietepitoisuutta sekä kerättiin tietoja puhdistamon käyttötarkkailusta.</p> <p>Työn tuloksena syntyi katsaus Kullaanvuoren puhdistamon aktiivilietteen normaalitilanteesta muun muassa alkueläinten ja tärkeimpien rihmamaisten bakteerien suhteen. Tarkkailuajankohtana puhdistamolla ei ollut varsinaista vaahtoamisongelmaa, mutta sen todennäköiseksi aiheuttajaksi saatiin selville rihmamainen <i>Nocardia</i>-bakteeri. Tämä tulos voidaan vahvistaa vaahto-ongelman taas ilmetessä laitoksella. Jatkossa lietteen mikroskopointia voidaan jatkaa osana puhdistamon normaalia käyttötarkkailua.</p>		
Asiasanat mikroskopointi, aktiivilieteprosessi, jätevesi, jätevedenpuhdistamo		

Abstract

Author Manninen, Taru	Type of publication Bachelor's thesis	Published Spring 2019
	Number of pages 50+3	
Title of publication Microscopy in the Monitoring of Active Sludge Process		
Name of Degree Bachelor's Degree in Energy and Environmental Engineering		
<p>Abstract</p> <p>The main goal of wastewater treatment is to protect bodies of water from wastewater's impurities. Microscopy can be used to optimize wastewater treatment processes and to solve process problems. The purpose of this thesis was to create a base for microscopic monitoring of active sludge in Nokian Vesi Oy's Kullaanvuori wastewater treatment plant and to find a cause for the plant's foaming problem.</p> <p>The need for this thesis was created by the foaming problem in Kullaanvuori wastewater treatment plant which presumably could be solved by microscopic monitoring. The occasional foam build up on the surface of the plant's aeration tanks worsens the plant's treatment results, complicates maintenance and breaks equipment by freezing in the winter. This thesis was made by gathering information about the function and quality of the active sludge process from literature and monitoring the active sludge in Kullaanvuori wastewater treatment plant by microscopy for about four weeks. In addition, the sludge concentration of the active sludge was measured and other process information collected from the plant's self-monitoring data.</p> <p>As a result, a review of Kullaanvuori wastewater treatment plant's normal active sludge process situation was gained. At the monitoring period, there was no actual foaming problem at the treatment plant but the probable cause of the foaming was found to be filamentous bacteria Nocardia. This result can be verified when the foaming problem returns. In the future active sludge microscopy can be included in the normal self-monitoring of the wastewater treatment plant.</p>		
<p>Keywords</p> <p>microscopy, active sludge process, wastewater, wastewater treatment plant</p>		

SISÄLLYS

TYÖSSÄ KÄYTETTYJÄ KÄSITTEITÄ JA LYHENTEITÄ

1	JOHDANTO.....	1
2	JÄTEVEDENPUHDISTUS SUOMESSA.....	2
2.1	Jätevedenpuhdistuksen tavoitteet	2
2.2	Vaatimukset ja velvoitteet	2
2.3	Jäteveden kuormitus.....	3
2.4	Puhdistusmenetelmät	4
2.4.1	Mekaaninen käsittely	4
2.4.2	Kemiallinen käsittely	5
2.4.3	Biologinen käsittely	6
3	KULLAANVUOREN PUHDISTAMO.....	8
3.1	Laitos	8
3.2	Prosessit	8
3.3	Lupaehdot ja näytteenotto	10
3.4	Mitoitus ja kuormitus	10
3.4.1	Tulokuormitus	11
3.4.2	Puhdistustulokset ja vesistökuormitus	12
4	AKTIIVILIETEPROSESSI	14
4.1	Aktiivilieteprosessin kuvaus	14
4.2	Prosessiparametrit.....	15
4.3	Mikrobilajiston muodostuminen	15
4.3.1	Kasvuolosuhteet	16
4.3.2	Aineenvaihduntaprosessit.....	17
4.3.3	Kasvun vaiheet	19
4.4	Flokin koostumus ja muodostuminen	22
4.5	Häiriötilanteet.....	23
4.5.1	Disperssi kasvu.....	23
4.5.2	Pinpoint flokki.....	24
4.5.3	Viskoosi paisuntaliete	24
4.5.4	Rihmamaisten bakteerien aiheuttama paisuntaliete	25
4.5.5	Vaahdonmuodostus	26
4.6	Häiriötilanteiden korjaaminen	27
5	AKTIIVILIETTEEN MIKROSKOOPPINEN TARKKAILU	28

5.1	Flokin koko ja muoto	28
5.2	Alkueläimet	28
5.3	Rihmamaiset bakteerit	30
5.4	<i>Zoogloea</i> -bakteeri	30
5.5	Muut ainekset	30
6	TYÖSSÄ KÄYTETYT MENETELMÄT	31
6.1	Mikroskointi	31
6.2	Lietepitoisuuden määrittäminen	32
7	TULOKSET JA ANALYYSIT	33
7.1	Prosessin toiminta	33
7.2	Vaahdon määrä	34
7.3	Tunnistettut rihmat	36
7.4	Alkueläimet	40
7.5	Flokin tila	43
7.6	Häiriötilanne 21.3.	45
8	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	47
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	1
	Liite 1. Lietetarkkailun tulokset	1
	Liite 2. Lomake aktiivilietteen eliöstön tarkkailuun	2

TYÖSSÄ KÄYTETTYJÄ KÄSITTEITÄ JA LYHENTEITÄ

Aerobinen Hapetta tarvitseva eliö. Systeemi, jossa on hapetta.

Anaerobinen Eliö, joka ei siedä hapetta. Systeemi, jossa ei ole vapaita eikä kemiallisesti sitoutunutta hapetta.

Anoksinen Systeemi, jossa on kemiallisesti sitoutunutta, mutta ei vapaita hapetta.

BOD₇ Biologinen hapenkulutus, veden sisältämän orgaanisen aineksen seitsemän vuorokauden aikana kuluttama happimäärä. Veden sisältämän orgaanisen aineksen määrän mittari.

COD Kemiallinen hapenkulutus, vedessä kuluvan hapen määrä voimakkaalla hapettimella hapetettaessa. Veden sisältämän orgaanisen aineksen määrän mittari.

Flokki Aktiivilietteen sisältämä hiutalemainen muodostelma, joka koostuu bakteereista, erilaisista orgaanisista ja epäorgaanisista aineista sekä bakteerien muodostamista solun ulkopuolisista biopolymeereistä.

Kolloidi Noin 10^{-3} – 10^{-6} mm:n kokoinen hiukkanen, joka ei liiku vedessä ainoastaan painovoiman vaikutuksesta, eikä erotu pitkäänkin aikavälin kuluessa pohjaan tai pinnalle. Suuri osa jäteveden ravintoaineista on kolloidimuodossa.

Mikrobi Mikro-organismi, jota ei voi nähdä paljain silmin. Mikrobeja ovat esimerkiksi bakteerit, alkueläimet, hiivat ja homeet.

1 JOHDANTO

Jätevedenpuhdistuksen jatkuvasti tiukentuvat vaatimukset pakottavat puhdistamot kehittämään toimintaansa ja tuloksiaan. Aktiivilietteen mikroskooppinen tarkkailu osana puhdistamon käyttötarkkailua tuo puhdistamonhoitajalle prosessin toiminnasta arvokasta lisätietoa, jonka avulla prosessia voidaan tehostaa ja parantaa. Mikroskopointi auttaa myös ennakoimaan häiriötilanteita jo ennen kuin ne näkyvät puhdistamon tuloksissa.

Mikroskopoinnista on apua myös prosessin häiriötilanteissa, sillä aktiivilietettä mikroskopimalla voidaan selvittää tarkasti häiriötilanteen aiheuttava eliö. Kun prosessille häiriötä aiheuttava eliö on tunnistettu lietteestä, voidaan sen kasvuolosuhteet selvittää kirjallisuuden avulla. Tämän jälkeen prosessin olosuhteet voidaan muuttaa kyseiselle eliölle epäedullisiksi, jolloin se häviää lietteestä.

Tämän työn toimeksiantajana oli Nokian Vesi Oy:n Kullaanvuoren jätevedenpuhdistamo. Kullaanvuoren puhdistamon ilmastusaltaiden pinnalle kertyy ajoittain paksu kerros tiivistä, ruskeaa vaahtoa, joka selkeytysaltaisiin päästessään huonontaa laitoksen puhdistustulosta. Lisäksi vaahto vaikeuttaa huoltotöitä ja muodostaa talvella jäätyessään altaiden pinnoille jäälauttoja, jotka hajottavat puhdistamon laitteistoa. Työn tarkoituksena oli selvittää mahdollisia syitä puhdistamon ajoittaiselle vaahtoamisongelmalle sekä rakentaa pohjaa Kullaanvuoren puhdistamon lietetarkkailulle.

2 JÄTEVEDENPUHDISTUS SUOMESSA

2.1 Jätevedenpuhdistuksen tavoitteet

Jätevedenpuhdistus perustuu tarpeelle suojella purkuvesistöjä jäteveden sisältä miltä epäpuhtauksilta ja niiden aiheuttamilta haittavaikutuksilta. Jätevesien puhdistus onkin yksi tärkeä osa vesiensuojelua ja sen myötä myös ympäristönsuojelua. (Karttunen 2004, 492.)

Suomen ensimmäiset jätevedenpuhdistamot rakennettiin vuonna 1910 Lahteen ja Helsinkiin. Vilkkaimmillaan jätevedenpuhdistamoiden rakentaminen oli kuitenkin 1960- ja 1970-luvuilla vuonna 1962 voimaan tulleen vesilain myötä. 1980-luvulle tultaessa jätevedenpuhdistamoita oli jo suurimmassa osassa Suomea. Vuonna 2013 yli 50 ihmisen jätevedet käsitteleviä puhdistamoita oli Suomessa noin 450 kappaletta ja arviolta noin 80 % suomalaisista on keskitetyn viemäriverkoston piirissä. (Katko 2016, 105 - 106.)

2.2 Vaatimukset ja velvoitteet

Vuonna 1991 Euroopan yhteisöjen neuvosto antoi yhdyskuntajätevesidirektiivin (91/271/ETY), jonka tarkoituksena on ympäristön suojeleminen yhdyskuntien jätevesien aiheuttamilta haitoilta. Direktiivi sisältää vaatimuksia jätevesien käsittelyn tarkkailulle ja toimeenpanon seurannalle sekä taajamien viemäroinnille. Jätevesien käsittelyn tasolle direktiivi asettaa vaatimuksia kiintoaineen, kokonaisfosforin, kokonaistypen, biologisen hapenkulutuksen (BOD_7) ja kemiallisen hapenkulutuksen (COD) osalta. (Säylä 2015, 9.)

Yhdyskuntajätevesidirektiivi pantiin Suomessa täytäntöön valtioneuvoston päätöksellä (365/1994) vuonna 1994. Myöhemmin päätös korvattiin valtioneuvoston asetuksella yhdyskuntajätevesistä (888/2006). Jätevedenpuhdistuksen vaatimustasot on direktiivissä jaoteltu vesialueiden kuormituksenkestävyyden mukaan. Kaikkialla Suomessa puhdistustulosten on päästävä vähintään direktiivin määrittelemälle haavoittumiselle alttiiden alueiden tasolle. (Säylä 2015, 9.) Tätä tiukempia vaatimuksia sovelletaan, jos se on ympäristönsuojelulain (86/2000) tai sen nojalla annettujen säädösten edellyttämää. (Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 888/2006, 4§.)

Yhdyskuntajätevesiasetuksen mukaan jätevedet on käsiteltävä aina biologisesti tai sitä vastaavalla tavalla ja fosforia on aina poistettava. Typenpoiston tarve sel-

vitetään ympäristölupaprosessissa. Typeä on poistettava, jos poistamisella voidaan parantaa vesistön tilaa. Lisäksi jätevedenpuhdistamon aiheuttamaa kuormitusta ja vaikutuksia purkuvesistöön on tarkkailtava näytteenotolla puhdistamolta lähtevästä vedestä. Vähimmäisvaatimukset lähtevän veden pitoisuudelle ja poistoteholle määräytyvät puhdistamon kokoluokan mukaan. Kokoluokka määritellään asukasvastineluvulla (AVL), joka kuvaa yhden asukkaan tuottamaa keskimääräistä eloperäisen aineen vuorokausikuormitusta. Asukasvastinelukuun vaikuttaa sekä ihmisperäinen että teollisuudesta tuleva orgaaninen kuormitus. (Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 888/2006, 4§; Säylä 2015, 9.)

Yhdyskuntajätevesien puhdistuksen vähimmäistaso määritellään yhdyskuntajätevesiasetuksessa, mutta viralliset velvoitteet puhdistamoille asettaa ympäristölupaviranomainen lupapäätöksessään. Ympäristöluvan velvoitteet ovat tapauskohtaisia, ja varsinkin orgaanisen aineen ja fosforin osalta vaatimukset ovat jo pitkään olleet asetuksen vähimmäisvaatimuksia tiukemmat. Ympäristölupa vaaditaan kaikilta yli 100 AVL:n puhdistamoilta, ja puhdistamon koon kasvaessa myös puhdistusvaatimukset yleensä kasvavat. (Säylä 2015, 9.)

Tulevaisuudessa vaatimukset tulevat tiukkenemaan ja lisääntymään entisestään. Ympäristölle vaarallisten ja haitallisten aineiden sekä vesien laatua heikentävien mikrobien poistovaatimukset tulevat varmasti jatkossa yleistymään ja nykyistenkin poistovaatimusten raja-arvot tiukkenemaan. (Karttunen 2004, 493; Säylä 2015, 10.)

2.3 Jäteveden kuormitus

Jäteveden kuormituksella tarkoitetaan tietyssä ajassa puhdistuslaitokselle tulevaa tai sieltä lähtevää orgaanisen aineen, ravinteiden tai kiintoaineen määrää, joka lasketaan kokonaismääränä asukasta tai vuorokautta kohti. Kuormituksen yksikönä voidaan käyttää esimerkiksi g/as·d tai kg/d. Jäteveden vesistöihin aiheuttama kuormitus on puhdistamoiden ja viemäroinnin rakentamisen ja kehittymisen myötä vähentynyt merkittävästi. Samaan aikaan puhdistamoille tulevan orgaanisen aineen, kokonaistypen ja kokonaisfosforin tulokuormitus on kasvanut. Taulukossa 1 on esitetty keskiarvoja Suomen jätevedenpuhdistamoiden tulevan ja lähtevän veden kuormituksista ja pitoisuuksista sekä puhdistustehoista orgaanisen aineen, kokonaisfosforin ja kokonaistypen osalta.

Taulukko 1. Tulevan ja lähtevän veden keskimääräisiä kuormituksia ja pitoisuuksia Suomen jätevedenpuhdistamoilla vuonna 2013 (Säylä 2015, 17)

Epäpuhtaus	Tuleva jätevesi		Lähtevä jätevesi		Puhdistusteho (%)
	Kuormitus (g/as-d)	Pitoisuus (mg/l)	Kuormitus (g/as-d)	Pitoisuus (mg/l)	
Orgaaninen aine, BHK ₇	76,3	256,0	2,1	7,1	97,2
Kokonaisfosfori, P	2,4	8,0	0,09	0,3	96,0
Kokonaistyppeä, N	15,5	52,1	6,5	21,9	57,9

Tulokuormituksen kasvu johtuu osin asukasmäärän kasvusta jo viemäröidyillä alueilla ja osin ennen viemäriverkostojen ulkopuolella sijainneiden kiinteistöjen liittämistä verkostoon. Viemäriverkostojen ulkopuolisia kiinteistöjä on saatu liitettyä verkostoon erityisesti suurempien keskuspuhdistamoiden ja niiden vaatimien siirtoviemäriinjojen rakentamisen myötä. Lisäksi haja-asutusalueiden jätevesiasetuksen (209/2011) myötä umpi- ja sakokaivo- sekä pienpuhdistamolietteen kuljetus käsiteltäväksi jätevedenpuhdistamoille on tehostunut. (Karttunen 2004, 493 - 494; Säylä 2015, 22, 25.)

Tulevan jäteveden laadussa ja kuormituksessa on huomattavaa vaihtelua eri puhdistamoiden välillä. Tämä johtuu muun muassa puhdistamoille tulevista teollisuusjätevesistä sekä verkoston vuotovesien määrästä. (Karttunen 2004, 494.)

2.4 Puhdistusmenetelmät

Jätevedenpuhdistamoilla käytettävät puhdistusmenetelmät voidaan jakaa mekaanisiin eli fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin menetelmiin. Suurimassa osassa Suomen jätevedenpuhdistamoita pääpuhdistusmenetelmänä on biologis-kemiallinen rinnakkaissaostusprosessi, jossa orgaaninen aine poistetaan biologisesti ja samalla fosfori saostetaan kemiallisesti. Fosforin saostus voidaan tehdä myös ennen biologista prosessia tai sen jälkeen, jolloin puhutaan esi- ja jälkisaostuksesta. Pääpuhdistusmenetelmänä voidaan käyttää myös suorasaostusta, johon kuuluu vain kemiallinen saostus ilman biologista osuutta. Suorasaostuksella ei kuitenkaan saavuteta useimmilla laitoksilla riittävää orgaanisen aineksen poistotehoa. Päämenetelmien rinnalla voidaan käyttää erilaisia esikäsittelyitä ja täydentäviä menetelmiä, kuten esiselkeytystä ja biologista typenpoistoa. (Karttunen 2004, 493, 497, 541.)

2.4.1 Mekaaninen käsittely

Mekaanisia puhdistusmenetelmiä käytetään pääasiassa jätevedessä olevien kiintoaineiden poistamiseen. Mekaanisiin menetelmiin kuuluu muun muassa välipäys, hiekanerotus ja selkeytys. Välppäyksessä vesi johdetaan väljän siivilöiden läpi, jolloin kiinteät jätteet jäävät kiinni siivilöihin. Vesi voidaan johtaa useamman eri sälevälin omaavan väljän läpi. Hiekanerotuksessa taas hiekka, sora ja muut

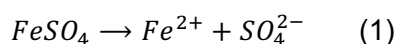
raskaammat ainekset laskeutuvat painovoimaisesti altaan pohjalle, josta ne poistetaan. Hiekanerotus voi olla ilmastettu, jolloin kevyempi orgaaninen aines ei laskeudu hiekan mukana. Ilmastuksen avulla myös jäteveden sisältämä rasva nousee paremmin hiekanerotusaltaan pinnalle, josta se voidaan poistaa. Välppäyksen ja hiekanerotuksen pääasiallisena tavoitteena on estää kiinteiden jätteiden pääsy seuraaviin käsittelyvaiheisiin, joissa ne voisivat vaurioittaa pumppuja sekä muita laitteita. (Karttunen 2004, 53, 503.)

Selkeytyksessä kiintoaines ja muut vettä raskaammat partikkelit laskeutetaan painovoimaa hyväksi käyttäen samalla tavalla kuin hiekanerotuksessa. Selkeytystä käytetään osana aktiivilieteprosessia lietteen erottamiseen puhdistetusta jätevedestä. Lisäksi puhdistamalla voi olla käytössä esiselkeytys, johon vesi johdetaan ennen aktiivilieteprosessia. Sen tarkoituksena on vähentää tulevan veden kiintoainepitoisuutta, orgaanista kuormaa (BOD_7) sekä öljyn ja rasvan määrää. Esiselkeytyksellä kiintoaineesta voidaan poistaa 50 – 70 % ja orgaanisesta aineksesta 25 – 40 %. (Karttunen 2004, 506.)

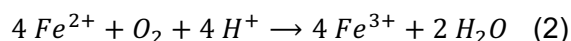
2.4.2 Kemiallinen käsittely

Jäteveden kemiallisella käsittelyllä pyritään poistamaan ravinteita, säätämään prosessin pH:ta sekä desinfioimaan vesistöön johdettavaa vettä. Lisäksi lietteen kunnostuksessa eli sen laskeutumisen ja kuivaamisen edistämiseksi käytetään kemiallisia flokkulantteja eli hiutaloitumista edistäviä aineita.

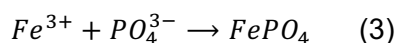
Jäteveden sisältämä epäorgaaninen fosfori poistetaan saostuskemikaalin avulla. Saostuskemikaali muodostaa fosforin kanssa niukkaliukoisen sakan, joka voidaan poistaa laskeuttamalla. Orgaanista fosforia ei voida saostaa kemiallisesti, mutta osa siitä saadaan poistettua kemiallisen saostuksen yhteydessä sen koaguloituessa muodostuvan sakan pinnalle. Fosforin saostamiseen voidaan käyttää muun muassa kalkki- alumiini- ja rautasuoloja. Perinteisesti Suomessa on ollut käytössä ferrosulfaatti ($FeSO_4$) sen edullisen hinnan vuoksi. (Karttunen 2004, 142 - 143.) Ferrosulfaatti liukenee veteen seuraavan kaavan (1) mukaan:



Tämän jälkeen ferro-ioni (Fe^{2+}) hapettuu vedessä ferri-ioniksi (Fe^{3+}) (kaava 2):



Ferri-ioni (Fe^{3+}) reagoi fosfaatti-ionin (PO_4^{3-}) kanssa, ja lopputuotteena syntyy niukkaliukoista rautafosfaattia ($FePO_4$) (kaava 3):



Myös ferrisulfaattia, eli ferrosulfaatin hapettunutta muotoa, käytetään yleisesti jätevedenpuhdistamoilla. Ferrisulfaattia käytettäessä raudan ei tarvitse hapettua prosessissa. (Karttunen 2004, 142 - 143; Kabata 2019.)

Saostuskemikaali voidaan annostella jätevedeen prosessin eri vaiheissa, joko yhdessä tai useammassa kohtaa prosessia. Yleisimmin Suomessa on käytössä rinnakkaissaostus. Rinnakkaissaostuksessa saostuskemikaali lisätään jätevedeen ennen aktiivilieteprosessia, jolloin se vaikuttaa samaan aikaan biologisen puhdistuksen kanssa. Sakka poistetaan jälkiselkeytyksessä yhdessä muun lietemassan kanssa laskeuttamalla. Rinnakkaissaostuksella fosforista saadaan poistettua 75 – 90 %. (Karttunen 2004, 541 - 543.)

Jätevedenpuhdistamoilta poistuva vesi sisältää huomattavan määrän erilaisia taudinaiheuttajia, joiden poistamiseen on viime vuosina alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota. Desinfiointimenetelmistä klooraus on tehokas ja edullinen vaihtoehto, mutta sen ongelmana ovat kloorauksen yhteydessä mahdollisesti syntyvät karsinogeeniset ja mutageeniset yhdisteet. Muita käytettyjä ja tehokkaita menetelmiä ovat otsonointi ja UV-säteily, mutta ne ovat kloorausta kalliimpia toteuttaa. Eri desinfiointimenetelmiä voidaan käyttää myös yhdessä. (Karttunen 2004, 153, 159, 551.)

Lietteen kunnostuksessa käytetään kemiallisia flokkulanteja. Yleensä käytetään orgaanisia polymeereja, jotka muuttavat lietteen rakennetta paremmin laskeutuvaksi ja helpottavat veden erottamista lietteestä. Polymeerejä voidaan käyttää selkeytyksen tehostajina sekä lietteen käsittelyn yhteydessä. (Karttunen 2004, 577 - 578.)

2.4.3 Biologinen käsittely

Biologisella puhdistuksella tarkoitetaan yleisimmin aktiivilietemenetelmää, jossa elävät organismit käyttävät ravinnokseen jäteveden lika-aineita, lähinnä sen sisältämää orgaanista ainesta. Aktiivilieteprosessista on kerrottu enemmän luvussa neljä. Perinteisen aktiivilieteprosessin lisäksi käytössä on erilaisia kiinteäalustaisia prosesseja, joissa lika-aineita hajottavat mikrobit ovat sijoittuneena kiinteille alustoille, joiden ohitse vesi virtaa. Kiinteäalustaisiin prosesseihin kuuluvat muun muassa erilaiset biosuodattimet. (Karttunen 2004, 192.)

Orgaanisen aineen lisäksi jätevedestä voidaan poistaa biologisilla menetelmillä myös ravinteita. Typeä poistuu perinteisellä aktiivilietemenetelmällä 10 – 15 %. Tämä typen poisto perustuu assimilaatioon, jossa lietteen mikrobit käyttävät ammoniumtypeä solujensa rakennusaineena, jolloin typeä sitoutuu lietteeseen. Lisäksi aktiivilieteprosessissa voi tapahtua nitrifikaatiota, jossa ammoniumtyppi hapettuu nitrifikaatiobakteerien toimesta nitriitiksi ja edelleen nitraatiksi. Ammoniumtypen hapettuminen jätevesiprosessissa vähentää hapenkulutusta purkuvesitöissä. Typenpoistoa voidaan tehostaa denitrifikaatiolla, jossa denitrifikaatiobakteerit muuttavat nitraatin typpikaasuksi, joka haihtuu pois prosessista. Denitrifikaation avulla tuestä on mahdollista poistaa 60 – 90 %. Denitrifikaatio vaatii tapahtuakseen anoksiset olosuhteet. Aktiivilieteprosessin biomassassa sitoo aerobisissa olosuhteissa myös 10 – 30 % jäteveden fosforista. (Karttunen 2004, 211 - 213, 215.)

3 KULLAANVUOREN PUHDISTAMO

3.1 Laitos

Kullaanvuoren jätevedenpuhdistamo on rakennettu kemialliseksi laitokseksi vuonna 1974 ja saneerattu vuonna 1988 biologis-kemialliseksi rinnakkaissaostuslaitokseksi. Laitoksen keskimääräinen vuorokausivirtaama on noin 9 800 m³. Puhdistamolle tulee kotitalousjätevesiä 24 000 asukkaalta, ja tämän lisäksi teollisuusjätevesiä muun muassa pintakäsittelylaitoksilta, panimolta ja jätteenkäsittelyasemalta. Sakolietettä puhdistamolle tuli vuonna 2018 noin 7 400 m³. Laitokselle tulevasta BOD₇-kuormituksesta laskettu asukasvastineluku oli 37 200 vuonna 2017. (Koponen 2017.) Lähivuosina Nokialle on tulossa uusi keskuspuhdistamo, joka tulee korvaamaan Kullaanvuoren puhdistamon.

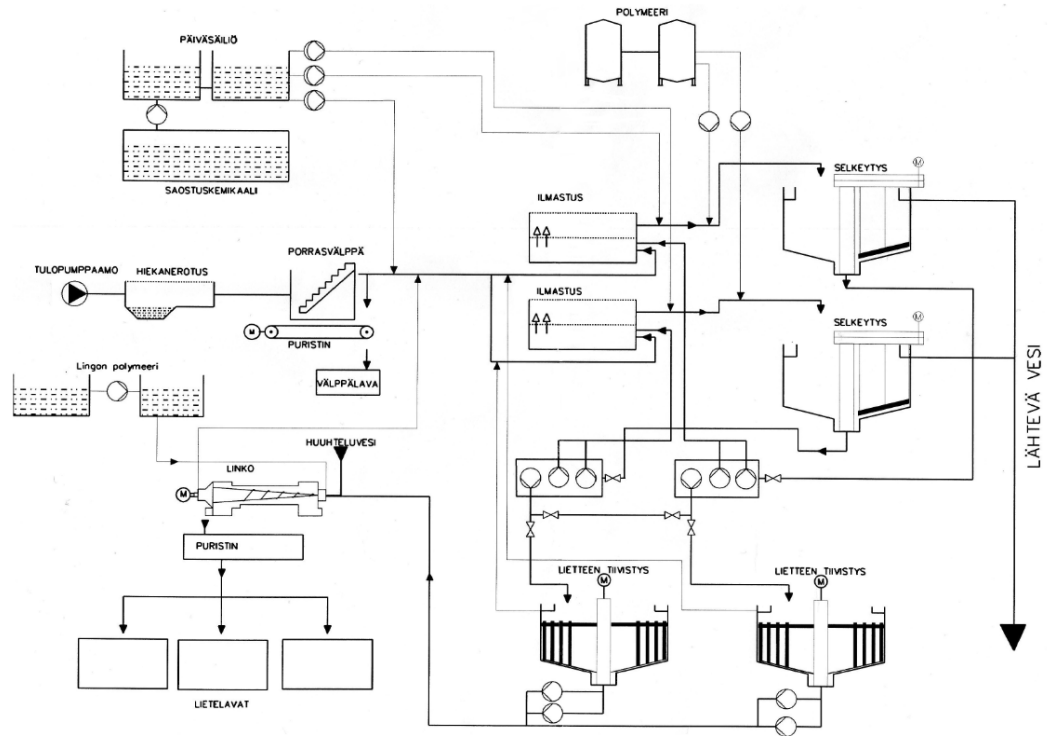
3.2 Prosessit

Kullaanvuoressa on käytössä kaksilinjainen biologis-kemiallinen puhdistusprosessi, jossa orgaaninen aines hajotetaan aktiivilieteprosessin avulla ja fosfori poistetaan saostamalla se saostuskemikaalilla. Saostuskemikaalina Kullaanvuoren puhdistamolla käytetään PIX-105A:ta, joka on sekoitus ferri- ja alumiinisulfaattia. Kokonaistypenpoistoa puhdistamolla ei ole.

Prosessiin kuuluu veden virtaussuunnassa tulopumppaus, hiekanerotus, välppäys, saostuskemikaalin syöttö, ilmastus, selkeytyspolymeerin ja saostuskemikaalin syöttö sekä selkeytys. Selkeytyksestä puhdistettu jätevesi johdetaan Nokianvirtaan (kuva 1).

Heti tulopumppauksen jälkeen oleva hiekanerotusallas on Kullaanvuoressa ilmastamaton. Se tyhjennetään ja puhdistetaan noin kerran vuodessa. Hiekanerotuksen jälkeen vesi johdetaan porrasvälpälle, jossa vedestä poistetaan suurimmat kiinteät partikkelit. Välpän keräämät jätteet johdetaan välpepuristimen avulla lavalle, joka tyhjennetään kaatopaikalle parin kuukauden välein.

Välppäyksen jälkeen jätevedeen syötetään saostuskemikaalia, jonka jälkeen vesi johdetaan ilmastusaltaisiin. Molempien linjojen ilmastusaltaat on jaettu kahteen samankokoiseen osaan, joissa vesi kulkee ensimmäisestä osasta toiseen alituksesta. Ilmastustilavuus on jonkin verran pienempi 1. linjalla (1. linjan tilavuus 1480 m³, 2. linjan 1645 m³), jonka vuoksi sinne johdetaan myös vähemmän vettä, jotta molempien linjojen prosessit toimisivat tasalaatuisesti. Ilmastusaltaiden alkupään pumpataan tulevan jäteveden lisäksi myös palautusliete.



Kuva 1. Kullaanvuoren puhdistamon prosessikaavio (Laiho 2018)

Ilmastusaltaiden hapetuksesta ja sekoituksesta vastaavat altaiden pohjalla olevat lautasilmastimet, joihin johdetaan ilmaa kahdella kompressorilla. Kompressoreita ohjataan altaiden happipitoisuudella, tavoitehappipitoisuus on 2 mg/l ilmastusaltaiden alkupäässä.

Ilmastusaltaista poistuvaan veteen syötetään saostuskemikaalia ja selkeytyspolymeeriä. Polymeeri tehostaa lietteen laskeutumista jälkiselkeytyksessä, johon jätevesi johdetaan ilmastuksen jälkeen. Jälkiselkeytysaltaissa vettä raskaampi liete laskeutuu altaiden pohjalle ja puhdistettu jätevesi poistuu altaista ylivuotona. Puhdistettu vesi johdetaan purkuputkea pitkin Nokianvirtaan.

Kullanvuoressa jälkiselkeytyksessä on käytössä pyöreät altaat, joissa pyörivä kaavin kerää laskeutuneen lietteen altaan keskustaan. Keskustasta liete kulkeutuu painovoimaisesti lietekaivoihin. Lietekaivoista osa lietteestä pumpataan palautuslietteenä takaisin ilmastusaltaiden alkuun ja osa ylijäämalietteenä tiivistämöihin. Tiivistämöissä liete laskeutetaan vielä uudelleen, jolloin siitä poistuu vettä. Tiivistämöiden pohjalta liete pumpataan lingolle kuivattavaksi. Kuivattu liete kuljetetaan Koukkujärven kaatopaikalle kompostoitavaksi. Kullaanvuoren puhdistamolla syntyi noin 5 800 tonnia kuivattua lietettä vuonna 2018.

Kullaanvuoren puhdistamon lieteikä eli lietteen viipymä prosessissa pyritään pitämään lyhyenä, noin 2 – 3 vuorokaudessa. Lieteikää ja lietepitoisuutta säädetään ylijäämälietteen poistolla.

3.3 Lupaehdot ja näytteenotto

Länsi-Suomen aluehallintovirasto on antanut vuonna 2005 Kullaanvuoren puhdistamolle taulukon 2 mukaiset vaatimukset puhdistusteholle sekä poistuvan veden laadulle. Kiintoaineen osalta noudatetaan yhdyskuntajätevesiasetuksen vaatimuksia. Typenpoistovaatimusta laitokselle ei ole asetettu lähivuosina rakennettavan uuden keskuspuhdistamon vuoksi.

Taulukko 2. Vaatimukset lähtevän veden pitoisuuksille ja puhdistusteholle Kullaanvuoren puhdistamolla

	Luparajat	Yhdyskuntajätevesiasetus (888/2006)
BOD7	≤ 10 mg/l ≥ 95 %	≤ 30 mg/l tai ≥ 70 %
Fosfori	≤ 0,3 mg/l ≥ 95 %	≤ 2,0 mg/l tai ≥ 80 %
COD	≤ 60 mg/l ≥ 85 %	≤ 125 mg/l tai ≥ 75 %
Kiintoaine		≤ 35 mg/l tai ≥ 90 %

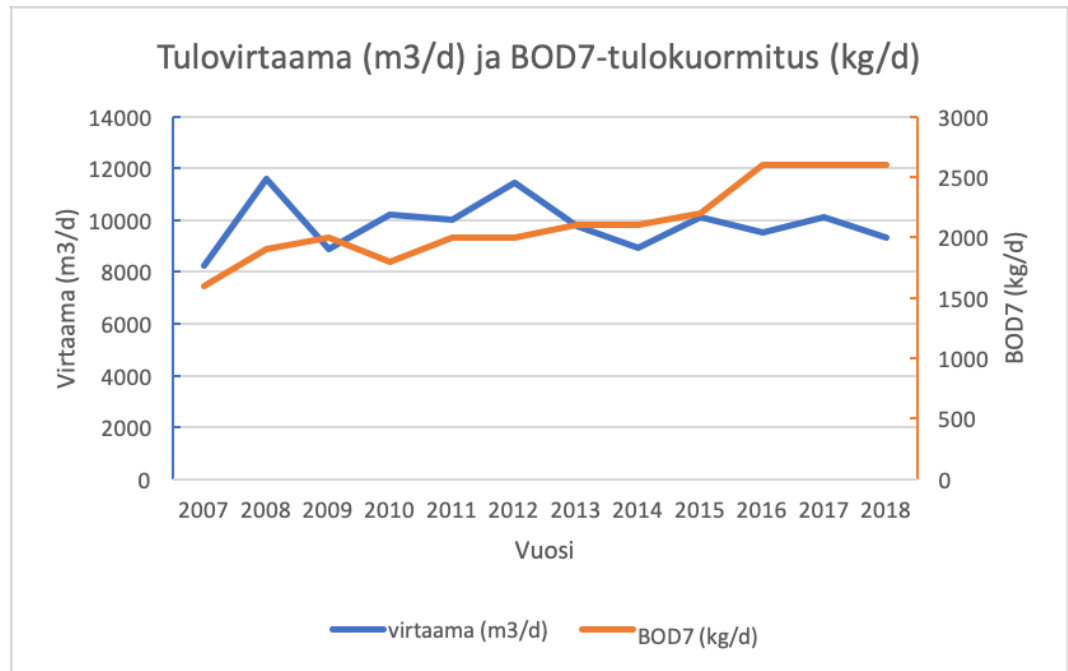
Yhdyskuntajätevesiasetuksessa vaaditaan asukasvastineluvultaan 10 000 – 49 999 laitoksilta 12 hyväksyttyä näytettä vuodessa. Kullaanvuoren puhdistamon ympäristöluvassa näytteitä vaaditaan kuitenkin 24 kappaletta, ja asetuksen mukaan näistä raja-arvot ylittäviä saa olla enintään kolme. (Koponen 2017.) Kullaanvuoren puhdistamolla ympäristöluvan mukaista tarkkailua hoitaa Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys (KVY) ry.

3.4 Mitoitus ja kuormitus

Kullaanvuoren puhdistamon mitoitusvirtaama on 900 m³/h. Mitoituskuorma biologiselle hapenkulutukselle on 1930 kg*BOD₇/d. Seuraavaksi esiteltävät tulo- ja vesistökuormitukset sekä puhdistustulokset on laskettu puhdistamon käyttötarkkailun sekä KVY:n tarkkailutulosten pohjalta.

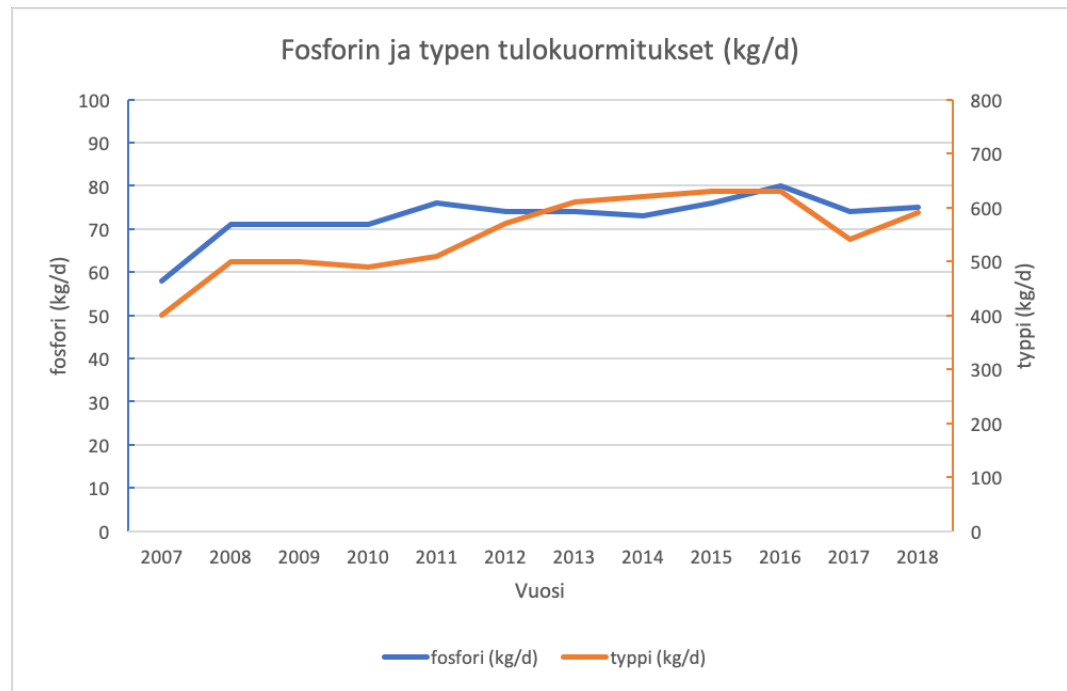
3.4.1 Tulokuormitus

Kullaanvuoren tulokuormitus on vuosien 2007 - 2018 aikana kasvanut pikkuhiljaa niin BOD₇:n, fosforin kuin typenkin osalta tulovirtaaman pysyessä suhteellisen taseisena (kuvat 2 ja 3). Erityisesti kasvua on tapahtunut BOD₇-tulokuormituksessa, mutta senkin kasvu on parin viime vuoden aikana tasaantunut.



Kuva 2. Kullaanvuoren puhdistamon tulovirtaama ja BOD₇-tulokuormitus vuosina 2007-2018

Vuonna 2018 puhdistamon BOD₇-kuorma oli keskimäärin noin 2560 kg*BOD₇/d, ja 23 tarkkailukerralla 24:stä BOD₇-kuormitus ylitti laitoksen mitoituskauoman. Keskimäärin mitoituskauorma ylittyi noin kolmanneksella.



Kuva 3. Kullaanvuoren puhdistamon fosforin ja typen tulokuormitus vuosina 2007-2018

Kullaanvuoren puhdistamon lietekuorma, eli tulevan veden orgaanisen aineen määrän suhde ilmastusaltaan biomassan määrään, oli vuonna 2018 keskimäärin 0,32 kg BOD₇/kg MLSS*d. Puhdistamo on siis lietekuormaltaan normaalikuormitteinen (Karttunen 2004, 519).

3.4.2 Puhdistustulokset ja vesistökuormitus

Taulukossa 3 on tarkasteltu Kullaanvuoren puhdistamon puhdistustuloksia vuonna 2018. Tulokset on esitetty vuosineljänneksittäin, ja raja-arvot ylittävät tulokset on merkitty punaisella. Tulokset pysyivät pääosin vaatimuksissa, vain fosforin pitoisuus ylittyi ensimmäisellä ja kolmannella vuosineljänneksellä. COD, BOD₇ ja kiintoaine pysyivät kaikilta osin raja-arvoissa, samoin kuin fosforin puhdistusteho.

Taulukko 3. Kullaanvuoren puhdistamon puhdistustulokset vuonna 2018 vuosineljänneksittäin

Vuosineljännes	COD		BOD7		Fosfori		Kiintoaine	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
I	53	90	9,5	96	0,35	95	14	95
II	48	89	8,2	96	0,27	95	12	92
III	51	93	8,2	97	0,36	96	15	96
IV	43	94	6,8	98	0,21	98	10	97
Raja-arvot	60	85	10,0	95	0,30	95	35	90

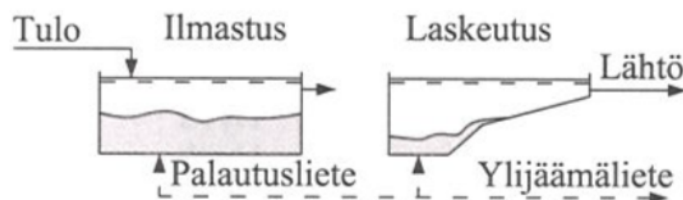
Vuonna 2018 puhdistamolta päästettiin vesistöön keskimäärin 464 kg/d COD_{Cr}, 84 kg/d BOD₇, 2,8 kg/d fosforia ja 397 kg/d typpeä. Vesistökuormitus on pysynyt viime vuosina saman tasoisena, vaikka tulokuormitus onkin kasvanut.

4 AKTIIVILIETEPROSESSI

4.1 Aktiivilieteprosessin kuvaus

Aktiivilieteprosessi perustuu erilaisten mikro-organismien kykyyn puhdistaa jätevettä käyttämällä ravinnokseen sen sisältämiä orgaanisia ja epäorgaanisia aineita. Tärkeässä osassa on myös lietteen kyky muodostaa laskeutumiskelpoisia flokkeja eli hiutalemaisia muodostelmia, jotka mahdollistavat lietteen erottamisen puhdistetusta vedestä jälkiselkeytyksessä. Aktiiviliete muodostuu erilaisista bakteereista ja alkueläimistä. Elävien organismien lisäksi liete sisältää myös esimerkiksi kuolleita mikrobeja sekä joitakin epäorgaanisia aineita. (Hakala 1995; Hakala, Myllymäki & Saarinen 1998.)

Aktiivilieteprosessiin kuuluu vähintään ilmastusallas ja laskeutusallas eli jälkiselkeytys. Ilmastusaltaassa tapahtuu biologinen puhdistusprosessi, jossa noin puolet mikro-organismien ravinnokseen käyttämästä aineksesta sitoutuu aktiivilietteen soluihin ja loput hajoavat hiilidioksidiksi ja vedeksi. Ilmastusaltaissa aktiivilietettä ilmastetaan jatkuvasti johtamalla siihen happipitoista ilmaa, jotta lietteen happipitoisuus saadaan pysymään riittävällä tasolla. Ilmastus pitää myös aktiivilietteen koko ajan liikkeessä estäen sitä laskeutumasta ja samalla huolehtien, että biomassa pääsee kosketuksiin kaikkien lika-aineiden kanssa. (Hakala 1995; Karttunen 2004, 517.)



Kuva 4. Tyypillinen aktiivilieteprosessi (Karttunen 2004, 518)

Ilmastuksesta vesi johdetaan jälkiselkeytykseen, jossa flokkautuneen lietteen annetaan laskeutua painovoimaisesti altaan pohjalle, ja puhdistettu vesi johdetaan ylivuotona pois prosessista. Jälkiselkeytyksessä laskeutunutta lietettä täytyy palauttaa ilmastukseen, jotta ilmastuksen lietepitoisuus pysyisi oikealla tasolla. Tätä lietettä kutsutaan palautuslietteeksi. Lisäksi osa lietteestä poistetaan prosessista ylijäämälietteenä, koska lietteen määrä kasvaa prosessissa jatkuvasti. Palautuk-

sen ja ylijäämän avulla ilmastusaltaassa olevan biomassan määrä pyritään pitämään optimaalisena puhdistusprosessille. Kuvassa 4 on kuvattu tyypillinen aktiivilieteprosessi yksinkertaisimmillaan. (Hakala 1995.)

4.2 Prosessiparametrit

Seuraavassa on esitelty muutamia aktiivilieteprosessin toimintaa kuvaavia prosessiparametreja.

- **Lietekuorma (F/M)** tarkoittaa laitokselle saapuvan orgaanisen aineen määrää suhteessa aktiivilietteen biomassan määrään. Orgaanisen aineen määrä ilmoitetaan BOD:n tai COD:n avulla ja biomassan määrä aktiivilietteen kuiva-ainemääränä. Yksikkönä on tällöin kg/(kg·d). Lietekuormaan voidaan vaikuttaa esisaostuksella sekä ylijäämälietteen määrällä.
- **Lieteikä (SRT)** kertoo biomassan keskimääräisen viipymän prosessissa vuorokausina. Siihen voidaan vaikuttaa ylijäämälietteen poistolla.
- **Lietepitoisuus (MLSS)** kertoo kiinteän aineksen määrän ilmastusaltaassa. Yksikkönä on yleensä g/l.
- **½ h laskeuma-arvo** kuvaa lietteen laskeutuvuutta selkeytyksessä. Korkea laskeuma-arvo voi kertoa joko korkeasta lietepitoisuudesta tai huonosti laskeutuvasta lietteestä. Laskeuma-arvon yksikkönä on ml/l.
- **Lieteindeksillä (SVI)** kuvataan lietteen laskeutuvuutta ½ h laskeuma-arvoa luotettavammin. Lieteindeksi lasketaan jakamalla ½ h laskeuma-arvo lietepitoisuudella, jolloin yksiköksi saadaan ml/g. Mitä pienempi lieteindeksi on, sitä paremmin liete laskeutuu. Lieteindeksin tulisi aina olla alle 150, hyvin toimivassa laitoksessa se on noin 100. Laskeuma-arvon tai lietepitoisuuden ollessa korkea lieteindeksin luotettavuus ei ole hyvä. (Hakala ym. 1998; Karttunen 2004, 521.)

4.3 Mikrobilajiston muodostuminen

Aktiivilietteeeseen valikoituva mikrobilajisto riippuu tulevan jäteveden laadusta sekä ilmastusaltaan olosuhteista. Mikrobilajisto taas määrää muodostuvan flokin rakenteen ja näin ollen myös lietteen laskeutuvuuden selkeytyksessä. Tämän vuoksi aktiivilietteeeseen valikoituvalla mikrobistolla on suuri merkitys prosessin toiminnan kannalta. (Korelin.)

Pääosan aktiivilietteen elävistä organismeista muodostaa erilaiset bakteerit. Tärkeimpiä bakteereita ovat flokki- ja rihmamaiset bakteerit, jotka mahdollistavat flokkien muodostumisen. Bakteereiden lisäksi lietteessä on myös alkueläimiä kuten ameeboja, ripsieläimiä, siimaeläimiä ja rataseläimiä sekä mahdollisesti joitakin kehittyneempiä eliöitä, esimerkiksi matoja. Alkueläimillä on oma tärkeä roolinsa aktiivilietteessä. Ne syövät lietteestä irrallisia, flokkautumattomia bakteereita pienentäen lähtevän veden kiintoainepitoisuutta. Lisäksi ne syövät flokkien pinnalla olevia bakteereita estäen näin flokkeja kasvamasta liian suuriksi. (Hakala 1995.)

Yleisesti ottaen mitä laajempi aktiivilietteen lajikirjo, sitä toimintavarmempi koko biologinen prosessi on, ja sitä paremmin se kestää myös hetkellisiä häiriötilanteita. Jos jäteveden tarjoama ravinto on kovin yksipuolista tai prosessiolosuhteet suosivat esimerkiksi vain tietyn kasvunopeuden omaavia mikrobeja, voi aktiivilietteen lajisto muodostua vain muutamista eri kannoista (kuva 7). (Korelin.)

4.3.1 Kasvuolosuhteet

Aktiivilietteen mikro-organismeilla on hyvin erilaisia vaatimuksia kasvuolosuhteiden suhteen. Tärkeimpiä mikrobilajistoon vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, pH, lieteikä, happipitoisuus sekä tulevan veden tarjoamat ravinteet (Karttunen 2004, 169 - 171). Joihinkin näistä, kuten tulevan veden ominaisuuksiin ja lämpötilaan, ei yleensä pystytä juurikaan vaikuttamaan.

Lämpötilan ja pH:n suhteen jokaisella mikrobilla on oma optimialueensa. Optimialueen ulkopuolelle mentäessä mikrobien kasvunopeus hidastuu, ja tarpeeksi kauas mentäessä mikrobi kuolee. Suurin osa bakteereista kuolee pH:n ollessa alle 4 tai yli 9, optimaalinen pH aktiivilieteprosessissa on 6,5 – 7,5. Sienet, hiivat ja rihmamaiset bakteerit kestävät alhaista pH:ta paremmin kuin flokkibakteerit. Lämpötilan suhteen vaihtelua on lajien välillä enemmän, mutta yleisesti ottaen mikrobien biokemialliset reaktiot hidastuvat kylmässä ja kiihtyvät lämpimässä ympäristössä. Lämpimissä olosuhteissa siis pienempi määrä mikrobeja saa aikaan saman puhdistustuloksen kuin kylmässä. (Karttunen 2004, 170; Glymph 2005, 33 - 34.)

Eri mikrobeilla on erilainen kasvuvauhti. Lieteikä, eli biomassan viipymä prosessissa voidaan kuvitella aikana, joka yksittäisellä mikrobilla menee sen kulkiessa prosessin päästä päähän. Jos tämä aika on lyhyempi, kuin mikrobien kasvuunsa

vaatima aika, se ei ehdi lisääntyä prosessissa vaan ”huuhtoutuu” pois ylijäämälietteen poiston mukana. Esimerkiksi rihmamaisilla bakteereilla optimilieteikä vaihtelee kahdesta yli kahteenkymmeneen vuorokauteen. (Glymph 2005, 31.)

Aktiivilieteprosessi perustuu pääasiassa aerobisten bakteerien toiminnalle, joten riittävän happipitoisuuden varmistaminen on tärkeää. Tarvittavan hapen määrä riippuu saatavilla olevan ravinnon määrästä. Kun ravintoa on saatavilla runsaasti, bakteerit kasvavat nopeasti ja kuluttavat paljon happea, ja päinvastoin ravinnon vähetessä hapentarvekin pienenee. Bakteerit vaativat 0,1 – 0,3 mg/l liuennotta happea toimintaansa. Kuitenkin 2 mg/l pitoisuuden ylläpito ilmastusaltaassa on suositeltavaa, jotta happea riittää varmasti kaikkialle, myös flokkien sisäosiin. (Glymph 2005, 34.)

Mikrobien ravintovaatimukset vaihtelevat huomattavasti eri lajien kesken. Tulevan jäteveden lika-aineita parhaiten hyödykseen käyttävä laji kasvaa muita lajeja nopeammin ja muodostuu pian valtalajiksi. Jotkin bakteerilajit ovat lähes kaikkiruokaisia, kun taas toiset käyttävät ravinnokseen vain tiettyä orgaanista ainetta. Esimerkiksi proteiinipitoisissa jätevesissä viihtyvät muun muassa *Algaligenes*-, *Bacillus*- ja *Flavobacterium*-sukujen bakteerit ja hiilihydraattipitoisissa vesissä esimerkiksi *Sphaerotilus natans* -bakteeri ja *Pseudomonas*-suvun bakteerit. (Korelin.)

Orgaanisten aineiden lisäksi mikrobit tarvitsevat ravinnokseen epäorgaanisia aineita. Yhdyskuntajätevesissä näitä epäorgaanisia aineita, kuten hiiltä, rikkiä, kaliumia, typpeä ja fosforia on yleensä riittävästi biologisen puhdistuksen toteuttamiseksi. Tämän lisäksi jotkin suurina pitoisuuksina mikrobeille myrkylliset yhdisteet voivat matalina pitoisuuksina toimia niille ravinnon lähteenä. Mikrobit voivat myös tottua myrkylliseen yhdisteeseen, jos sen pitoisuutta nostetaan pikkuhiljaa. (Hakala ym. 1998; Karttunen 2004, 169, 171.)

Rihmamaisilla bakteereilla on flokkibakteereihin verrattuna selvästi suurempi tilavuuden ja pinta-alan suhde eli aineensiirtopinta-ala. Rihmamaiset bakteerit pystyvät siis hyödyntämään jäteveden ravinteita ja happea flokkibakteereita tehokkaammin. Tämän vuoksi ne saavat kilpailuetua etenkin niukkaravinteisissa ja –happisissa olosuhteissa. (Hakala ym. 1998.)

4.3.2 Aineenvaihduntaprosessit

Mikro-organismien ravinnokseen käyttämät orgaaniset ja epäorgaaniset aineet esiintyvät vedessä liuenneina, kolloideina tai kiintoaineina. Vain pienet molekyylit

pääsevät kulkeutumaan mikrobien solukalvon läpi, minkä vuoksi suuremmat partikkelit on pilkottava ennen kuin niitä voidaan käyttää hyödyksi. Bakteerin ja ravintoaineen välinen vuorovaikutus voidaan jakaa kuuteen osaan, joista mikä tahansa voi olla puhdistusprosessin nopeutta rajoittava tekijä (Karttunen 2004, 171):

1. aineen kulkeutuminen bakteerin pinnalle vesifaasissa
2. aineen takertuminen bakteerin solukapseliin
3. aineen hydrolyysi eli hajoaminen yksinkertaisiksi molekyyleiksi
4. hydrolyysituotteiden siirtyminen bakteerin soluseinän sisään
5. hydrolyysituotteiden kulkeutuminen solun sisään
6. bakteerin metabolia.

Suurien ravintoainepartikkelien hajottamiseen bakteerit käyttävät erittämiään entsyymeitä. Entsyymit ovat proteiineja, jotka toimivat katalyytteinä erilaisissa biokeemillisissa reaktioissa. Entsyymien toiminta saattaa häiriintyä bakteerien elinosoluhteiden muuttuessa. Esimerkiksi ravinteilla, lämpötilalla, pH:lla ja toksisilla aineilla on vaikutusta niiden toimintaan. Ravinnon hajottamisen lisäksi entsyymeillä on tärkeä rooli useissa solunsisäisissä prosesseissa. (Glymph 2005, 29.)

Metabolia eli aineenvaihdunta voidaan jakaa kahteen osaan, katabolisiin eli hajoitusprosesseihin ja uutta solumateriaalia tuottaviin anabolisiin prosesseihin eli synteeseihin. Mikrobit voidaan jakaa alaluokkiin niiden synteessissä tarvitseman hiilen ja energian lähteiden mukaan (taulukko 4). (Karttunen 2004, 171.)

Taulukko 4. Mikro-organismien jako energian ja hiilen lähteiden mukaan (Karttunen 2004, s. 171)

Luokka	Energian lähde	Hiilen lähde
Autotrofit: - fotoautotrofit - kemoautotrofit	Valo Epäorgaaniset redox-reaktiot	CO ₂ CO ₂
Heterotrofit: - kemoheterotrofit - fotoheterotrofit	Orgaaniset redox-reaktiot Valo	Orgaaninen hiili Orgaaninen hiili

Biologisessa puhdistusprosessissa orgaanisen aineksen poisto perustuu kemoheterotrofisten bakteerien toiminnalle. Kemoheterotrofisilla bakteereilla hiilen läh-

teenä toimii orgaaninen hiili. Energiansa nämä bakteerit saavat orgaanisista redox- eli hapetus-pelkistys –reaktioista. Hapetus-pelkistys –reaktiossa elektroni siirtyy joko osittain tai kokonaan yhdeltä aineelta toiselle. Taulukossa 5 mikrobit on jaoteltu soluhengityksen elektroninsiirtoketjun elektronin viimeisen vastaanottajan eli reaktiossa pelkistyvän aineen mukaan. (Isoaho & Valve 1986, 40; Karttunen 2004, 171 - 172.)

Taulukko 5. Mikro-organismien jako elektronin vastaanottajan mukaan (Karttunen 2004, s. 171)

Hapentarve	Elektronin vastaanottaja	Prosessi
Aerobinen	Happi, O ₂	Aerobinen metabolia
Anaerobinen	Nitraatti, N ₃ ⁻	Denitrifikaatio
	Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	Sulfaatinpelkistys
	Hiilidioksidi, CO ₂	Metaanintuotanto

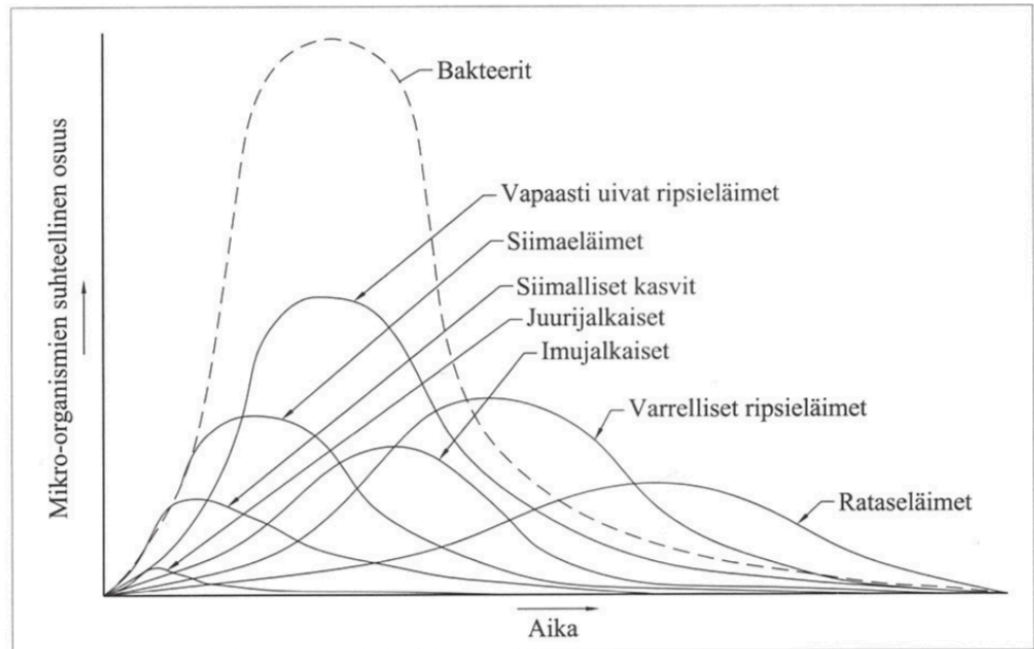
Aerobisissa eli hapellisissa oloissa orgaaninen aines hapettuu ensisijaisesti hapen avulla. Tällöin siis elektronin vastaanottajana toimii happi, joka pelkistyy, ja reaktiotuotteena syntyy vettä. Jos happea ei ole saatavilla, toimii elektronin vastaanottajana järjestyksessä nitraatti, nitriitti, sulfaatti ja hiilidioksidi. Enemmän energiaa vapauttavat reaktiot tapahtuvat aina ennen vähemmän energiaa vapauttavia reaktioita, eli esimerkiksi aerobisissa oloissa orgaaninen aines hapettuu ennen nitrifikaatiota. Tämän vuoksi niin kauan, kun systeemissä on ravintona orgaanisia yhdisteitä, pystyvät heterotrofiset bakteerit lisääntymään nitrifikaatiobakteereita tehokkaammin. Nitrifikaatiobakteerit pääsevätkin toimimaan tehokkaasti vasta, kun orgaaninen aines on kulutettu loppuun, tai systeemissä ei ole enää läsnä vapaata happea. (Isoaho & Valve 1986, 79.)

Käytännössä ilmastetussa prosessissa voi tapahtua yhtä aikaa sekä aerobisia että anaerobisia reaktioita. Flokkien ollessa hyvin tiiviitä voi hapen olla vaikeaa tunkeutua flokin sisälle. Tällöin flokkien sisäosissa voi vallita anaerobiset tai anoksiset olosuhteet, vaikka happea olisikin muuten saatavilla. (Hakala ym. 1998.)

4.3.3 Kasvun vaiheet

Bakteerien yleisin lisääntymistapa on jakaantuminen kahdeksi. Jakautumisväli vaihtelee 20 minuutista muutamiin päiviin. Jos bakteereilla olisi rajattomasti ravintoa ja elintilaa, voisivat ne lisääntyä eksponentiaalisesti. Kuitenkin käytännössä kumpikin näistä tekijöistä muodostuu ennen pitkää kasvua rajoittavaksi tekijäksi. (Karttunen 2004, 173.)

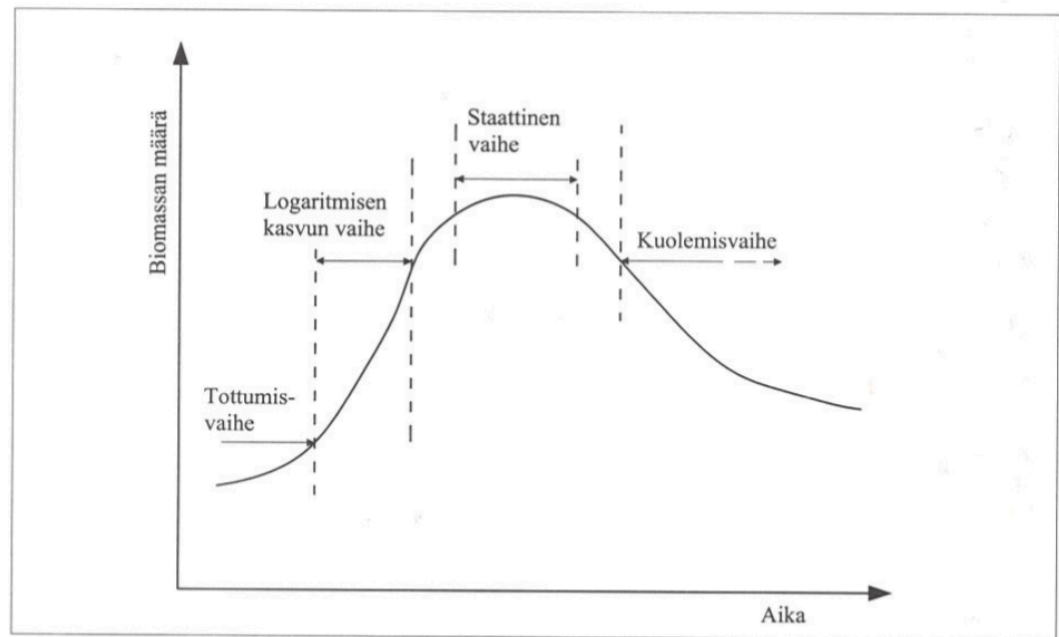
Kaikilla jäteveden sisältämällä mikro-organismeilla on oma kasvukäyränsä, jonka muoto riippuu muun muassa saatavilla olevasta ravinnosta sekä kasvuympäristön olosuhteista. Kuvassa 5 on esitetty eräiden mikrobien kasvukäyriä ajan suhteen aerobisissa olosuhteissa. (Karttunen 2004, 173.)



Kuva 5. Eräiden jäteveden mikro-organismien suhteelliset kasvukäyrät aerobisissa olosuhteissa (Karttunen 2004, 173)

Bakteereiden kasvu voidaan jakaa neljään vaiheeseen (kuva 6). Ensimmäisessä eli tottumisvaiheessa bakteeripopulaatio sopeutuu uuteen elinympäristöön ja ravinnonlähteeseen. Bakteerisolujen määrä ei tässä vaiheessa lisäännä, mutta bakteerimassa alkaa kasvaa. Tottumisvaihe voi kestää tunnista useampaan vuorokauteen. Jos puhdistamon tulokuorma vaihtelee nopeassa tahdissa huomattavan paljon, bakteerit eivät ehdi sopeutua, eivätkä ne näin ollen ala hajottaa jäteveden orgaanista ainetta. (Karttunen 2004, 174; Glymph 2005, 32 - 33.)

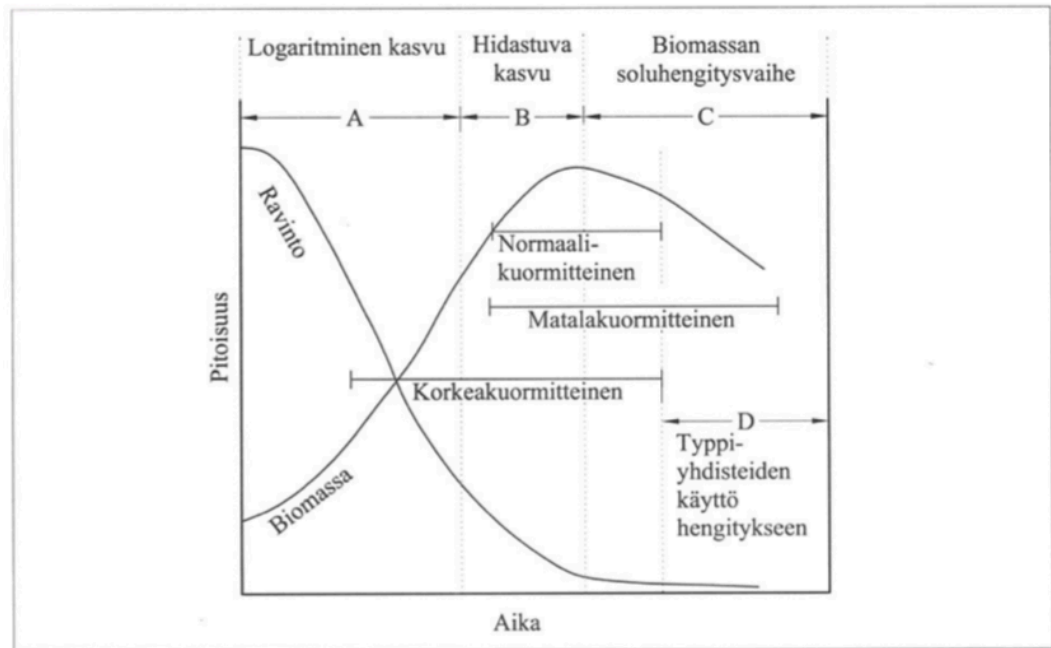
Tottumisvaiheen jälkeen seuraa logaritmisin kasvun vaihe, jossa bakteerit lisääntyvät mahdollisimman nopeasti. Tässä vaiheessa ravintoa hyödynnetään nopeiten. Bakteerit myös liikkuvat vilkkaasti, eivätkä muodosta flokkeja. (Karttunen 2004, 174; Glymph 2005, 32 - 33.)



Kuva 6. Bakteerien kasvukäyrän eri vaiheet (Karttunen 2004, 174)

Logaritmisen kasvun vaiheen jälkeen tulevassa staattisessa tai hidastuvan kasvun vaiheessa ravinnon määrä tai tietty yksittäinen ravinne on muodostunut kasvua rajoittavaksi tekijäksi, joten bakteeripopulaation kasvu hidastuu. Koska ravintoa on enää vähän, alkavat bakteerit muodostaa biopolymeeriä vararavinnokseen ja kerääntyä yhteen flokeiksi. (Karttunen 2004, 174; Glymph 2005, 32 - 33.)

Viimeisenä on kuolemis- eli endogeenivaihe, jolloin bakteerien kuolemisnopeus on suurempi kuin kasvunopeus, koska niiden ravinto on loppunut. Tällöin ravinnonlähteenä aletaan käyttää bakteerimassaa. Jos kuolemisvaihe jatkuu tarpeeksi pitkään, alkavat flokit hajota pienemmiksi. (Karttunen 2004, 174; Glymph 2005, 32 - 33.)



Kuva 7. Eri kuormitteisten laitosten toiminta-alueet sijoitettuna bakteeripopulaation kasvukäyrän vaiheisiin (Karttunen 2004, 175)

Jätevedenpuhdistamoon valikoitunut mikrobisto on pääasiassa yhdessä kasvuvaiheessa riippuen puhdistamon kuormituksen ja biomassan suhteesta. Kuvassa 7 on esitetty eri kuormitteisten laitosten sijoittuminen bakteeripopulaation kasvukäyrälle. Korkeakuormitteisessa laitoksessa bakteerit ovat pääasiassa logaritmisen kasvun vaiheessa, jolloin lietettä syntyy runsaasti. Logaritmisessä kasvun vaiheessa mikrobien taipumus muodostaa flokkeja ei ole hyvä, sillä tässä vaiheessa ravintoa on vielä paljon jäljellä. Matalakuormitteiset laitokset taas sijoittuvat hidastuvan kasvun ja kuolemisvaiheen alueille. Tällöin uutta biomassaa syntyy vain vähän, ja osa biomassasta hajoaa vapauttaen ravinteet takaisin lietteeseen. Myös flokit alkavat hajota tässä vaiheessa. Normaalikuormitteiset laitokset sijoittuvat hidastuvan kasvun vaiheeseen, jolloin bakteerien flokinmuodostuskyky on parhaimmillaan. (Karttunen 2004, 174 - 175.)

4.4 Flokin koostumus ja muodostuminen

Aktiivilietteen kyky muodostaa flokkeja on koko aktiivilieteprosessin toiminnan perusta. Flokit koostuvat bakteereista, alkueläimistä, erilaisista orgaanisista ja epäorgaanisista aineista sekä bakteerien muodostamista solun ulkopuolisista biopolymeereistä. Bakteereita, jotka kykenevät muodostamaan tällaisia biopolymeereja kutsutaan flokkibakteereiksi. Solun ulkopuolinen biopolymeeri on näiden bakteerien vararavintoa, ja se koostuu pääasiassa hiilihydraateista. Kyky muodostaa

biopolymeeria tuo flokkibakteereille suuren kilpailuedun muihin bakteereihin verrattuna. Flokkibakteereihin kuuluu muun muassa *Zoogloea*, *Flavobacterium* ja *Pseudomonas*. (Hakala 1995.)

Flokin muodostuminen on monimutkainen prosessi, eikä kaikkia siihen vaikuttavia mekanismeja tunneta vieläkään täydellisesti. Kuten aiemmin on kerrottu, saatavilla olevan ravinnon määrä ja sen myötä bakteerien kasvuvaihe vaikuttaa niiden taipumukseen muodostaa flokkeja. Tiedetään myös, että flokkien koossa pysymiseen vaikuttaa flokkibakteerien muodostaman biopolymeerin voimakas negatiivinen varaus, joka sitoo flokkien osasia yhteen elektrostaattisesti. Lisäksi rihmamaiset bakteerit tarjoavat flokille tukirangan, jonka ympärille muodostua. Flokki- ja rihmabakteerien määrien ollessa tasapainossa liete muodostaa suuria, tiiviitä ja pysyviä flokkeja, jotka laskeutuvat hyvin. (Hakala 1995; Koivuranta 2016.)

Bakteerien lisäksi eri kationeilla on havaittu olevan vaikutusta flokkien muodostumiseen. Tällaisia kationeita ovat esimerkiksi Ca^{2+} , Mg^{2+} ja Fe^{2+} . Nämä kationit voivat muodostaa yhteyksiä negatiivisesti varautuneiden biopolymeeriosasten välille vahvistaen näin flokkia. Myös joillakin fysikaalis-kemiallisilla tekijöillä, kuten pH:lla, voi olla vaikutusta flokkien muodostumiseen. (Koivuranta 2016.)

4.5 Häiriötilanteet

Flokin muodostuminen on lopulta se, joka määrää puhdistusprosessin onnistumisen. Jos flokin laskeutumisominaisuudet heikkenevät, kasvaa puhdistamolta lähtevän veden kiintoainepitoisuus lietteen ”karatessa” prosessista puhdistetun veden mukana. Tällöin puhutaan paisuntalietteestä eli bulking-ilmiöstä. Tällaisessa tilanteessa ongelmia aiheuttavat vesistökuormituksen hetkellinen kasvu sekä prosessin lietemäärän lasku. Lietemäärän palautuminen normaaliksi saattaa kestää jopa viikkoja. Flokinmuodostuksen häiriöt aiheutuvat useimmiten flokki- ja rihmamaisten bakteerien välisen tasapainon järkkymisestä. Niin näiden bakteerien vähäisyys kuin liiallisuuskin johtavat ongelmiin prosessissa. (Hakala ym. 1998; Koivuranta 2016.)

4.5.1 Disperssi kasvu

Disperssistä kasvusta puhutaan, kun lietteen mikrobit eivät muodosta flokkeja. Mikrobit ovat tällöin lietteessä irtonaisina soluina tai pieninä, halkaisijaltaan 10 - 20 μm , solurykelminä, jotka eivät laskeudu jälkiselkeytyksessä. Tällöin lähtevä

vesi on sameaa. Disperssi kasvu johtuu flokkibakteerien ja niiden muodostaman biopolymeerin vähäisyydestä. Tämä taas voi johtua korkeasta orgaanisesta kuormituksesta, eli runsaasta helposti hajoavan aineksen määrästä tulevassa jätevedessä. Tällöin lietteeseen valikoituu bakteerilajisto, jolla ei ole tarvetta muodostaa vararavintoa eli biopolymeeriä. Toisena mahdollisena syynä on lietteeseen päässeet toksiset tai inhiboivat aineet, jotka ovat estäneet biopolymeerien muodostumisen. (Hakala 1995.)

Disperssiä kasvua ilmenee yleensä vain alhaisen lieteiän (1 - 3 vrk) laitoksissa. Lisäksi sitä voi ilmetä laitoksen käynnistysvaiheessa sekä paisuntalieteongelman jälkeen, kun biomassaa on päässyt karkaamaan prosessista. (Hakala 1995.)

4.5.2 Pinpoint flokki

Pinpoint flokilla eli mikroflokilla tarkoitetaan pieniä ja heikkoja, halkaisijaltaan 50 - 100 µm flokkeja. Lietteessä on usein lisäksi suurempia, hyvin laskeutuvia flokkeja. Lähtevä vesi on sameaa, mutta lieteindeksi on pieni. (Hakala 1995.)

Pinpoint flokin muodostumisen voi aiheuttaa biopolymeerin vähäisyys, joka johtuu liian pitkästä lieteiästä. Tällöin ravinnon määrä lietteessä on vähäinen, ja flokkibakteerit joutuvat käyttämään biopolymeeria vararavintonaan. Toinen syy pinpoint flokin muodostumiselle on rihmamaisten bakteerien häviäminen lietteestä. Silloin flokki menettää tukirakenteensa ja hajoaa pienempiin osiin. (Hakala 1995.)

4.5.3 Viskoosi paisuntaliete

Flokkibakteerien päästessä valloilleen lietteeseen voi muodostua ylenmäärin solunulkoista biopolymeeriä, joka johtaa viskoosiin paisuntalietteeseen. Tällöin liete laskeutuu todella hitaasti, tai ei ollenkaan ja se voi olla koostumukseltaan jopa hyytelömäistä. Pahimmillaan lietepatja voi karata jälkiselkeyttimestä poistuvan veden mukana. Liiallinen biopolymeerin muodostus voi johtua joidenkin ravinteiden tai hivenaineiden puutteesta. Lietteeseen voi myös olla päässyt myrkyllisiä yhdisteitä. (Hakala 1995.)

Yksi viskoosin paisuntalietteen mahdollinen aiheuttaja on *Zoogloea*-bakteeri. Se on flokkibakteeri, jolla on taipumus muodostaa ylenmäärin solunulkoista biopolymeeriä. Sen liiallinen esiintyminen voi johtua suuresta määrästä helposti hajoavaa substraattia ja liukoisia orgaanisia komponentteja tulevassa jätevedessä, korkeasta lietekuormasta, alhaisesta pH:sta ja joidenkin ravinteiden puutoksesta. (Hakala 1995.)

4.5.4 Rihmamaisten bakteerien aiheuttama paisuntaliete

Flokin sisällä kasvaessaan rihmamaiset bakteerit toimivat sille hyödyllisenä tukirankana. Niiden määrän lietteessä kasvaessa liian suureksi, ne voivat kuitenkin aiheuttaa ongelmia muodostaen paisuntalietettä. (Hakala 1995.)

Rihmamaiset bakteerit voivat muuttaa lietteen rakennetta kahdella tavalla. Ensimmäisenä on "interflock bridging", jossa rihmat kasvavat ulos flokista ja työntyvät flokkien väliseen tilaan. Rihmat tekevät flokeista ilmavia ja huonosti laskeutuvia. Toisena on "open floc structure". Siinäkin rihmamaiset bakteerit kasvavat ulos flokeista, mutta flokki myös jatkaa kasvuaan rihmojen päälle. Tällöin flokeista tulee suuria ja löyhiä, niiden sisälle jää paljon vettä, eivätkä ne laskeudu yhtä hyvin kuin normaali flokki. Myös laskeutetun lietteen jälkikäsittely vaikeutuu lietteeseen jäävän ylimääräisen veden takia. (Hakala 1995.)

Rihmamaisten bakteerien aiheuttama paisuntaliete voidaan jaotella kolmeen osaan aiheuttajabakteerien mukaan. Ensimmäisenä on aerobinen paisuntaliete, joksi kutsutaan aerobisten bakteerien, eli vain happea elektronin vastaanottajana käyttävien bakteerien aiheuttamaa paisuntalietettä. Tällaisia bakteereita ovat esimerkiksi *Sphaerotilus natans*, Tyyppi 021N ja Tyyppi 0961, joista *S. Natans* on yleensä vallitsevana kylmissä ja Tyyppi 021N lämpimämmissä olosuhteissa. Aerobista paisuntalietettä aiheuttavat bakteerit saavat kasvetua, kun tulevassa jätevedessä on paljon helposti hajoavaa substraattia, sekä mahdollisesti liuenneen hapen pitoisuuden ollessa riittämättömällä tasolla. Näitä bakteereita voi myös siirrostua lietteeseen viemäreistä. (Hakala ym. 1998.)

Toinen paisuntaliettestä, alhaisen lietekuorman aiheuttama paisuntaliete, johtuu useimmiten *Microthrix parvicellan*, Tyyppi 0092:n ja Tyyppi 0041:n liiallisesta kasvusta. Näiden bakteerien liiallinen kasvu voi johtua tulevan jäteveden runsaasta rasvapitoisuudesta sekä vähäisestä helposti hajoavien aineiden määrästä. Myös denitrifikaation välituotteena syntyvän typpioksidin läsnäolosta prosessissa voi aiheuttaa tämän tyypistä paisuntalietettä. Typpioksidi estää flokkibakteerien kasvua, jolloin rihmamaiset bakteerit saavat kasvetua. (Hakala ym. 1998.)

Kolmantena on sulfideja hapettavien bakteerien aiheuttama paisuntaliete. Ainakin *Beggiatoa*, *Thiothrix* ja mahdollisesti Tyyppi 021N kykenevät hapettamaan sulfideja. Nämä bakteerit saavat kasvetua lietteessä, jossa on paljon helposti hajoa-

via substraatteja sekä pelkistyneitä rikkiyhdisteitä. Happipitoisuuden ollessa alhainen rikkiyhdisteitä voi syntyä myös flokkien sisällä. Myös viemäreistä voi siirrostua sulfidia hapettavia bakteereita. (Hakala ym. 1998.)

4.5.5 Vaahdonmuodostus

Paisuntalietteen lisäksi rihmamaiset bakteerit voivat aiheuttaa ilmastusaltaisiin pysyvää, ruskeaa vaahtoa. Vaahto vaikeuttaa puhdistamon huolto- ja hoitotöitä sekä selkeytykseen päästessään huonontaa puhdistustulosta. (Hakala ym. 1998.)

Vaahtoa aiheuttavat tietyt rihmat, joilla on hydrofobiset eli vettä hylkivät soluseinät. Tämän vuoksi ne pyrkivät jatkuvasti pois vesifaasista. Tärkeimpiä näistä rihmoista ovat *Nocardiat*, erityisesti *Nocardia amarae*. *Nocardia* kasvaa yleensä flokkien sisällä, mutta kun sitä on tarpeeksi paljon alkaa se kasvaa myös ulos flokkeista ja vapaana lietteessä. Tällöin kokonaiset flokit muuttuvat hydrofobisiksi ja alkavat takertua ilmastuksessa muodostuviin ilmakupliin nousten niiden mukana altaan pinnalle. Näin muodostuu paksua ja tiivistä vaahtoa, jossa kiintoaineen ja *Nocardian* pitoisuudet ovat suurempia kuin aktiivilietteessä. (Hakala 1995; Hakala ym. 1998; Jenkins, Richard & Daigger 2003, 135.)

Hydrofobiset aineet sekä esimerkiksi pesuaineista löytyvät hitaasti hajoavat pinta-aktiiviset aineet edistävät *Nocardian* kasvua. Myös rasvat sekä niiden anaerobin hajoaminen esiselkeytyksessä lisäävät *Nocardian* kasvua. Lisäksi esimerkiksi pumppujen aiheuttama mekaaninen rasitus hajottaa bakteerisoluja vapauttaen *Nocardian* tarvitsemia pinta-aktiivisia aineita. *Nocardian* aiheuttaman vaahdonmuodostuksen on havaittu lisääntyvän myös prosesseissa, joissa vesi poistuu ilmastusaltaasta jälkiselkeytykseen pinnan alapuolelta. Tällöin vaahto jää ilmastusaltaaseen ”loukkuun”, eikä pääse poistumaan sieltä veden mukana. Myös vaahdon kierrättämisen prosessissa poistamalla se altaan pinnalta ja johtamalla uudestaan prosessiin on havaittu edistävän *Nocardia*-vaahdon kasvua. (Hakala 1995; Hakala ym. 1998; Jenkins ym. 2003, 136 - 137.)

Nocardia kasvaa suhteellisen hitaasti, ja lieteiän ollessa alle kaksi vuorokautta sitä ei esiinny. Optimilieteikä *Nocardialla* on 2 – yli 20 d, optimilämpötila 15 – 37 °C ja optimi-pH 6,5. *Nocardia* kasvaa ainoastaan aerobisissa olosuhteissa. (Hakala 1995; Hakala ym. 1998.)

4.6 Häiriötilanteiden korjaaminen

Mikrobiston aiheuttamia flokinmuodostumisen häiriötilanteita voidaan korjata spesifisillä ja epäspesifisillä menetelmillä. Spesifisillä menetelmillä tarkoitus on vaikuttaa lietteen mikrobien elinolosuhteisiin ja näin päästä eroon häiriötä aiheuttavasta eliöstä. Epäspesifisillä menetelmillä taas pystytään poistamaan häiriötä aiheuttava eliö, mutta vaikutus on vain väliaikainen, sillä ongelman alkuperäinen syy ei poistu. Spesifiset menetelmät vaativat laitokselta yleensä teknisiä muutoksia, minkä vuoksi ne voivat olla kalliimpia toteuttaa kuin epäspesifiset menetelmät. Epäspesifiset menetelmät ovatkin hyödyllisempiä erityisesti silloin, kun laitoksen tekninen muuttaminen ei ole mahdollista tai kannattavaa, tai kun häiriötilanteet ovat lyhytaikaisia tai kausiluontoisia. (Hakala ym. 1998)

Spesifisiin menetelmiin kuuluvat erilaiset tiettyjä bakteereja suosivat prosessiratkaisut. Esimerkiksi rihmamaisten bakteerien aiheuttaessa ongelmia voidaan flokkibakteerien kasvua tehostaa saattamalla niiden käyttöön enemmän ravinteita ja happea. Spesifisiin menetelmiin kuuluvat myös selektorit. Selektorilla tarkoitetaan ilmastusaltaan osaa tai kokonaan erillistä allasta, jossa tuleva vesi sekoitetaan palautuslietteeseen ennen varsinaiseen ilmastusaltaaseen menoa. Selektoriin pyritään luomaan tiettyjä bakteereita suosivat olosuhteet, joilla prosessin mikrobistoa saadaan valikoitua halutunlaiseksi. Selektorit voivat olla aerobisia, anoksisia tai anaerobisia. (Hakala ym. 1998.)

Epäspesifisillä menetelmillä pyritään poistamaan häiriötilanteen aiheuttava mikrobi esimerkiksi kemikaaleilla. Kloori, vetyperoksidi ja otsoni ovat vahvoja hapettimia, joilla rihmamaisia bakteereita voidaan tappaa aktiivilietteestä. Niiden käytön kanssa tulee kuitenkin olla varovainen, sillä ne voivat tappaa myös aktiivilietteen muun eliöstön. Polymeerin ja epäorgaanisten koagulanttien, kuten ferrikloridin, avulla voidaan parantaa lietteen laskeutuvuutta selkeytyksessä. Näin rihmojen poistuminen prosessista ylijäämälietteen mukana lisääntyy ja mahdollisesti rihmoja myös kuolee niiden joutuessa kemikaalien muodostaman sakan sisään. Lisäksi markkinoilla ja kehitteillä on erilaisia mikrobi- ja entsyymivalmisteita. Mikro-bivalmisteiden tarkoituksena on syrjäyttää lietteestä haitalliset mikrobit, ja entsyymivalmisteilla taas pyritään tappamaan lietteestä tietyt bakteerit hajottamalla niiden soluseinät. (Hakala ym. 1998.)

5 AKTIIVILIETTEEN MIKROSKOOPPINEN TARKKAILU

Aktiivilieteprosessin olosuhteissa tapahtuvat muutokset vaikuttavat suoraan lietteen eliöstöön ja näin ollen myös puhdistustulokseen, kuten edellisessä luvussa on kerrottu. Lietteen säännöllisellä mikroskooppisella tarkkailulla voidaan nämä muutokset huomata jo ennen kuin ne ehtivät huonontaa puhdistustulosta. Tämän lisäksi mikroskopoinnin avulla voidaan ratkaista erilaisia lietteen häiriötilanteita tunnistamalla häiriöiden aiheuttajia, selvittämällä niiden elinolosuhteita ja muuttamalla prosessia niille epäsuotuisaksi.

Aktiivilietettä havainnoitaessa tulee kiinnittää huomiota flokin kokoon ja muotoon, alkueläinten määriin sekä rihmamaisiin bakteereihin. Lisäksi on hyvä huomioida flokkien välistä tilaa. Hyvässä lietteessä flokkien välissä on vain vähän irrallisia bakteereita. Rihmamaisia bakteereita taas tulisi esiintyä flokkien sisällä, mutta ei flokkien välisessä tilassa. Lisäksi voidaan huomioida myös erilaisten epäorgaanisten ainesten, kuten kuitujen, määrää.

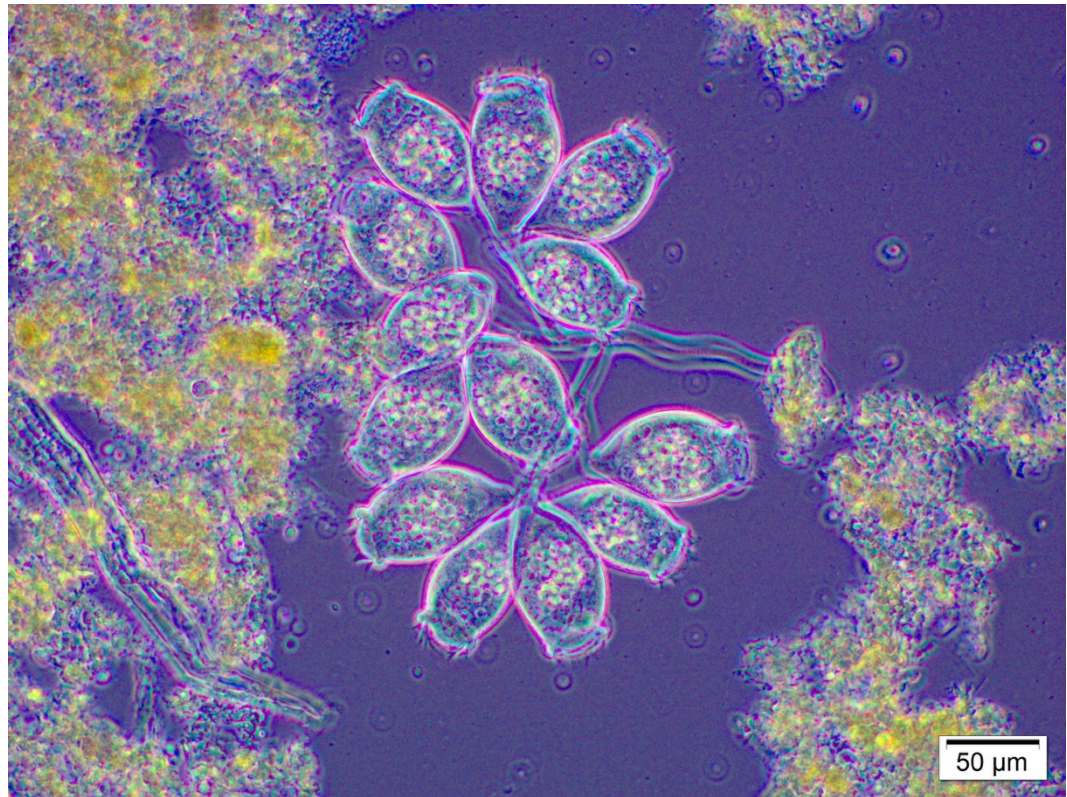
5.1 Flokin koko ja muoto

Flokkien laskeutuminen selkeytyksessä perustuu flokkien ja veden väliseen tiheyseroon. Suuret, repaleiset flokit laskeutuvat huonosti, koska veden pintajännitys hidastaa niitä. Liian pienet flokit taas eivät ole tarpeeksi painavia laskeutuakseen riittävän nopeasti. Hyvin laskeutuvat flokit ovat tasaisia ja tiiviitä, kaikkein parhaimmaksi lietteen laskeutuvuuden kannalta on havaittu pallomainen flokki. Selkeytyksen teho kuitenkin riippuu flokin laskeutuvuuden lisäksi myös lietteen viipymääjasta selkeytysaltaassa, joten niin sanottu hyvä flokki voi olla erinäköinen laitoksesta riippuen. (Hakala ym. 1998.)

5.2 Alkueläimet

Alkueläimistä hyvin toimivaa prosessia indikoi yleensä erilaisten ripsieläinten läsnäolo. Varrelliset ripsieläimet ovat varresta kiinnittyneinä flokkeihin joko yksittäin tai kimpuissa (kuva 8) ja suodattavat ravinnokseen lietteen irtonaisia bakteereita. Myös flokkien välissä uivat vapaasti liikkuvat ripsieläimet syövät näitä irtonaisia bakteereita, ja lisäksi jotkut niistä käyttävät ravinnokseen myös varrellisia ripsieläimiä. Ryömivät ripsieläimet liikkuvat flokkien pinnoilla ja syövät pinnoilla olevia bakteereita estäen näin flokkia kasvamasta liian suureksi ja epäsäännöllisen muotoiseksi. Ripsieläinten määrän äkillinen väheneminen sekä kuolleiden tai epämuodostuneiden ripsieläinten määrän lisääntyminen lietteessä voi kertoa

kuormituksen kohoamisesta, hapen puutteesta tai myrkyllisten aineiden pääsystä prosessiin. Ripsieläinten vaatimat olosuhteet, kuten happipitoisuus ja lieteikä, vaihtelevat jonkin verran eri lajien välillä. (Hakala 1995.)



Kuva 8. Varrellisia ripsieläimiä Kullaanvuoren puhdistamon aktiivilietteessä 4.3.2019. 200x suurennos, faasikontrasti

Pienimpiä aktiivilietteen alkueläimistä ovat siimaeliöt eli flagellaatit. Ne liikkuvat lietessä liikkumasiimansa avulla ja käyttävät ravinnokseen joko lietteen liuenneita tai kiinteitä aineita, kuten irtonaisia bakteereita. Normaalisti siimaeläinten määrä ei pääse kasvamaan kovinkaan suureksi, sillä ne kilpailevat samasta ravinnosta ripsieläinten kanssa. Siimaeläinten suuri määrä voikin indikoida prosessin häiriötilannetta, jonka seurauksena ripsieläinten kasvu on estynyt. Toinen häiriötilannetta indikoiva alkueläinryhmä on amebat, joiden määrä lietteessä saattaa lisääntyä esimerkiksi laitoksen kuormituksen kasvaessa. Amebat käyttävät ravinnokseen lietteen liukoisia aineita. (Hakala 1995.)

Muita hyvin toimivaa prosessia indikoivia alkueläimiä ovat imukat eli suctoriat, rataseläimet eli rotiferat sekä nematodot. Suctoriat ovat ripsieläinten kaltaisia, mutta ripsien sijaan niillä on saalistusnystyjä eli tentakkeleita, joilla ne pyydystävät saaliikseen lähinnä ripsieläimiä. Rotiferat taas ovat monisoluisia ja muita al-

kueläimiä suurempia. Ne suodattavat lietteestä irtonaisia bakteereita ravinnokseen. Nematodat ovat monisoluisia matoja, jotka syövät bakteereita sekä muita alkueläimiä. Nämä alkueläimet vaativat esiintyäkseen suhteellisen pitkän lieteiän ja vakaat olosuhteet. (Hakala 1995.)

Alkueläimiä tarkkailtaessa lajikohtainen tunnistus ei välttämättä ole tarpeellista, mutta joissain tapauksissa se voi tuoda lisätietoa lietteen tilasta.

5.3 Rihmamaiset bakteerit

Rihmamaisten bakteerien kohdalla huomiota tulee kiinnittää erityisesti niiden määrään ja sijaintiin lietteessä. Vähäisissä määrin ja flokkien sisällä rihmamaisen bakteerien esiintymisestä ei ole haittaa, mutta flokkien ulkopuolella ja suurina määrinä ne voivat aiheuttaa ongelmia. Lietteessä voi esiintyä useampaa rihmalajia, mutta tavallisesti vain yksi niistä on vallitseva. Muiden rihmojen määrät ovat vähäisempiä, eivätkä ne siksi ole lietetarkkailun kannalta olennaisia.

Rihmamaisia bakteereita voidaan tunnistaa niiden rakenteen, värjäytymisen ja sijainnin mukaan. Rakenteen osalta voidaan tarkastella rihman pituutta, halkaisijaa ja muotoa, solun kokoa, haarautumista sekä väliseinien ja kuoren olemassaoloa. Erilaisilla värjäysmenetelmillä, kuten Gram- ja Neisser-värjäyksellä, rihmat saadaan eroteltua värjäytyvyyden mukaan. Osa rihmoista voi myös liikkua, ja osa muodostaa rosetteja eli yhteisestä keskustasta säteittäin ulospäin kasvavia muodostumia. Joidenkin rihmojen sisällä voi esiintyä rikki-, PHB- tai Neisser-positiivisia jyväsia. Rihmojen tunnistamista vaikeuttaa se, että niiden ulkomuoto ja värjäytyvyys voivat vaihdella jonkin verran elinympäristön olosuhteiden mukaan. (Hakala ym. 1998.)

5.4 *Zoogloea*-bakteeri

Yksi helposti tunnistettava ongelmien aiheuttaja on *Zoogloea*. Se on flokkibakteeri, jolla on taipumus muodostaa ylenmäärin solunulkoista biopolymeeriä. Se voi esiintyä sormimaisena tai amorfisena muodostelmana. *Zoogloea* voi aiheuttaa viskoosia paisuntalietettä. (Hakala ym. 1998.)

5.5 Muut ainekset

Aktiivilietteessä voi esiintyä myös erilaisia suurempia aineksia ja partikkeleita. Tällaisia ovat esimerkiksi kuidut, rasvahiukkaset ja kasviperäiset partikkelit. (Hakala 1995.)

6 TYÖSSÄ KÄYTETYT MENETELMÄT

Lietteen tarkkailua tehtiin Kullaanvuoren puhdistamolla keväällä 2019 noin neljän viikon ajan ja tarkkailukertoja kertyi yhteensä yhdeksän. Tarkkailupäivät olivat 15.2., 18.2., 22.2., 25.2., 27.2., 4.3., 8.3., 14.3. ja 21.3. Viimeinen tarkkailukerta ei ollut etukäteen suunniteltu, vaan se tehtiin laitoksen häiriötilanteen vuoksi. Jokaisella tarkkailukerralla otettiin lietenäytteet molempien linjojen ilmastuksen loppupäästä. Näytteitä mikroskoipoitiin ja tarvittaessa apuna käytettiin Gram-värjäystä. Ilmastusaltaiden pintavaahdon määrää tarkkailtiin silmämääräisesti, ja kahtena kertana myös sitä mikroskoipoitiin. Kuutena näytteenotokertana lietteestä mitattiin lietepitoisuus. Lisäksi tuloksiin sisällytettiin molempien linjojen lämpötila-, pH-, happipitoisuus- ja virtaamatiedot tarkkailupäiviltä. Tarkat tulokset ovat näkyvissä liitteissä (liite 1).

6.1 Mikroskopointi

Lietteen mikroskopointiin käytettiin tässä työssä valomikroskooppia, jossa oli 4x, 10x, 20x, 40x ja 100x objektiivit sekä mahdollisuus faasikontrastin käyttöön. Eliöstön arvioinnin avuksi laadittiin Rihmaoppaan esimerkin pohjalta tarkkailulomake (liite 2). Flokin kokoa ja rihmojen, alkueläinten ja vaahdon suhteellista määrää arvioitiin kuvan 9 mukaisilla arviointiasteikoilla.

Mikroskopoitavat lietenäytteet otettiin molemmilta linjoilta ilmastuksen loppupäästä. Näytteiden annettiin laskeutua noin 15 minuutin ajan, jonka jälkeen näytteen pohjalta pipetoitiin pieni määrä näytettä objektilevyille. Näytteen päälle asetettiin peitelasi. Näytteitä tarkasteltiin eri suurennoksilla, ja havaitut tulokset merkittiin ylös tarkkailulomakkeelle. Rihmojen tunnistamisen apuna käytettiin Gram-värjäystä.

Flokin koko

yli 500 µm = suuri
 150-500 µm = keskisuuri
 alle 150 µm = pieni

Rihmojen määrä

0 = ei ollenkaan
 0,5 = vähän (rihmoja vain satunnaisesti flokissa)
 1 = muutama (rihmoja on useita, mutta ei joka flokissa)
 1,5 = yleinen (1-5 kpl/flokki)
 2 = hyvin yleinen (5-20 kpl/flokki)
 2,5 = runsas (yli 20 kpl/flokki)
 3 = vallitseva (enemmän rihmaa kuin flokkia)

Alkueläinten määrä

0 = ei havaintoa
 1 = 1 kpl – muutama
 2 = yleinen
 3 = vallitseva

Vaahdon määrä ilmastuksessa

0 = hyvin vähän tai ei ollenkaan
 1 = alle 1/3 altaan pinta-alasta
 2 = puolet
 3 = koko pinta-alalla

Kuva 9. Arviointiasteikot aktiivilietteen eliöstölle

Lietteessä olevien rihmojen ja alkueläinten tunnistamisessa käytettiin apuna Rihmaopasta, Aktiivilietteen mikroskopointiopasta sekä Environmental Leverage – sivustoa.

6.2 Lietepitoisuuden määrittäminen

Ilmastusaltaiden lietepitoisuuden määrittämistä varten ilmastusaltaiden loppupäästä otettiin 1 litran lietenäyte. Näyte kaadettiin suodattimeen, jossa lietteestä eroteltiin vesi alipainepumpun avulla. Suodatinpaperina käytettiin kahta päällekkäistä käsipaperia, jotka punnittiin ennen suodattamista. Suodatettu näyte suodatinpaperineen laitettiin kuivumaan uuniin 105 °C:n lämpötilaan. Kuivattu näyte ja suodatinpaperi punnittiin uudelleen, ja tuloksesta vähennettiin paperin paino, jolloin tulokseksi saatiin ilmastusaltan lietepitoisuus yksikössä g/l. Lietepitoisuuden avulla laskettiin lieteindeksi.

7 TULOKSET JA ANALYSOINTI

7.1 Prosessin toiminta

Taulukossa 6 on esitetty molempien linjojen lieteiän, lietepitoisuuden, ½ h laskeuman ja lieteindeksin keskiarvot sekä vaihteluvälit näytteenoton ajalta. Tulosten perusteella voidaan havaita linjojen olevan hyvin tasapainossa keskenään, ainostaan II linjan ½ h laskeuman vaihteluväli on ollut jonkin verran suurempi kuin I linjalla, mutta ero ei kuitenkaan ole huomattava. Lietteen laskeutuvuudesta kertova lieteindeksi on tarkkailujaksolla ollut molemmilla linjoilla keskimäärin hyvä, I-linjalla tosin hieman suurempi. Hyvin toimivan laitoksen lieteindeksi on noin 100 ml/g.

Taulukko 6. Keskeiset prosessiparametrit näytteenoton ajalta linjoittain

Parametri	Linja I			Linja II		
	Minimi	Keskiarvo	Maksimi	Minimi	Keskiarvo	Maksimi
Lieteikä (d)	2,2	2,3	2,4	2,2	2,3	2,4
Lietepitoisuus (g/l)	2,31	2,47	2,80	2,29	2,43	2,61
1/2h laskeuma (ml/l)	260	280	310	180	280	450
Lieteindeksi (ml/g)	96	112	126	74	102	114

Taulukoissa 7 ja 8 on esitelty molempien linjojen lämpötila-, pH-, happipitoisuus- ja virtaamatiedot näytteenottopäiviltä. Tiedot on kerätty puhdistamon käyttötarkkailusta. Taulukoista voidaan nähdä, että lämpötilan ja pH:n suhteen linjojen välillä ei ole juurikaan eroa. Happipitoisuus heittelee jonkin verran, mutta sekin on ollut molemmilla linjoilla riittävällä tasolla tavoitetasoon (2 mg/l) nähden. Pienempikin happipitoisuus riittäisi ja toisi säästöä energiankulutukseen. Virtaama on II-linjalla ollut keskimäärin lähes 300 m³ suurempi kuin I-linjalla, joka johtuu II-linjan suuremmasta ilmastustilavuudesta. Kaikkiaan puhdistamo on taulukoiden 6, 7 ja 8 perusteella toiminut tarkkailun aikana tasapainoisesti.

Taulukko 7. Lämpötila-, pH-, happipitoisuus- ja virtaamatiedot I-linjalta liete-tarkkailun ajalta

Linja I				
pvm	Lämpötila (°C)	pH	Happi (mg/l)	Virtaama (m3/d)
15.2.	9,7	6,7	5,3	4197
18.2.	9,2	6,8	5,2	4138
22.2.	8,4	6,7	5,3	4508
25.2.	8,8	6,8	2,6	4460
27.2.	8,7	6,7	3,7	5016
4.3.	8,0	6,8	3,4	4600
8.3.	9,0	6,8	3,6	4724
14.3.	8,8	6,7	3,7	4416
keskiarvo	8,8	6,8	4,1	4507

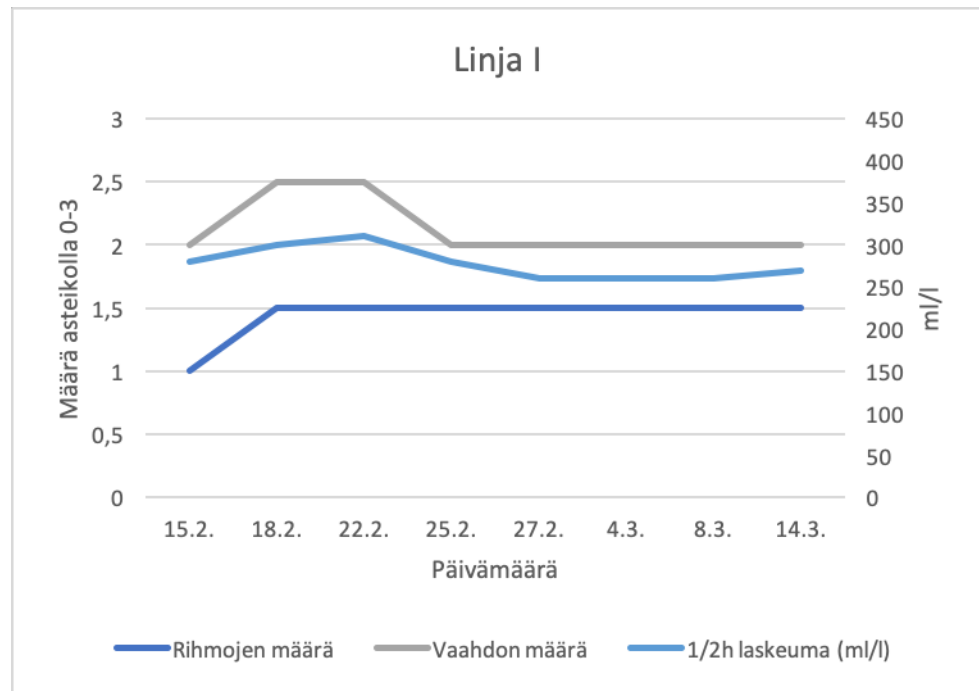
Taulukko 8. Lämpötila-, pH-, happipitoisuus- ja virtaamatiedot II-linjalta lietetarkkailun ajalta

Linja II				
pvm	Lämpötila (°C)	pH	Happi (mg/l)	Virtaama (m3/d)
15.2.	9,5	7,0	4,1	4338
18.2.	9,1	6,9	3,6	4609
22.2.	8,1	6,8	4,7	4643
25.2.	8,5	7,0	2,2	4779
27.2.	8,5	6,8	1,8	5555
4.3.	7,8	7,0	3,6	4549
8.3.	8,7	7,0	3,2	5442
14.3.	8,7	6,9	3,7	4236
keskiarvo	8,6	6,9	3,4	4769

7.2 Vaahdon määrä

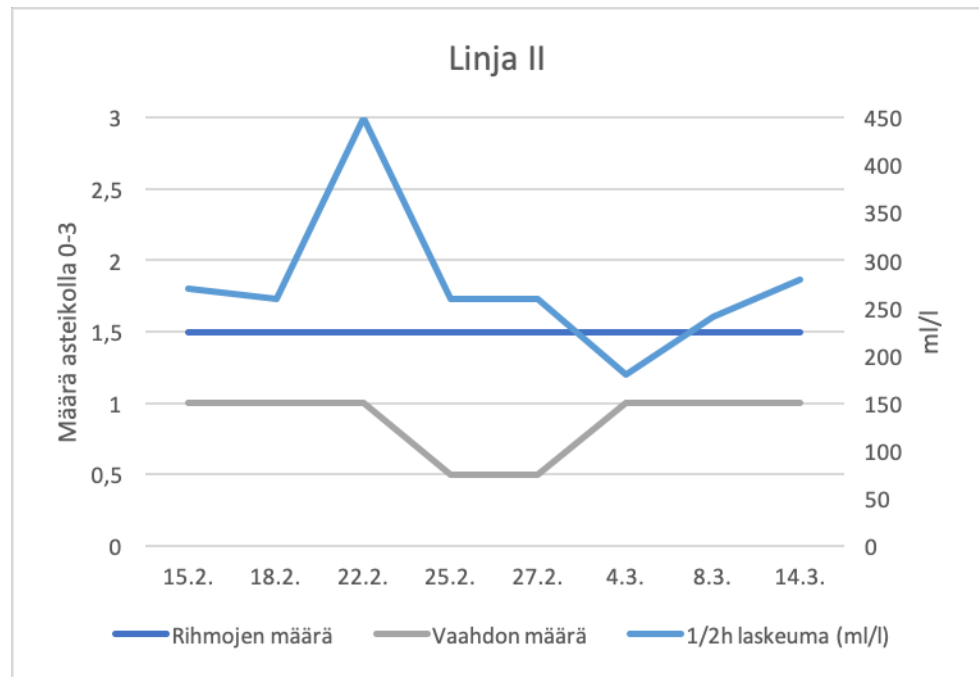
Lietetarkkailun yhteydessä lietteestä arvioitiin ilmastusaltaiden vaahdon määrää, vaikka varsinaista vaahto-ongelmaa tarkkailujaksolle ei sattunutkaan osumaan. Koostumukseltaan I-linjan vaahto oli paksua ja ruskeaa, kuten ongelma-aikoinakin. II-linjan vaahto sen sijaan oli ilmavampaa ja heikosti koossa pysyvää.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty ilmastuksen pintavaahdon ja rihmamaisten bakteerien määrät asteikolla 0 – 3 (arviointiasteikot on avattu kuvassa 9) sekä ½ h laskeuma-arvo linjoittain. ½ h laskeuma-arvoa käytetään tässä kertomassa ilmastusaltaiden lietepitoisuudesta, koska lietepitoisuustuloksia ei ole käytössä jokaiselta tarkkailukerralta.



Kuva 10. Rihmojen ja vaahdon määrä asteikolla 0 - 3 sekä ½ h laskeuma-arvo linjalla I

Linjalla I (kuva 10) vaahdon määrän ja ½ h laskeuman välillä voidaan havaita korrelaatiota 15.2. – 25.2. välisellä ajalla. Sen mukaan ilmastuksen lietepitoisuuden kasvaessa myös vaahdon määrä altaan pinnalla kasvaa. Linjalla II (kuva 11) vaahdon määrä ja ½ h laskeuma ovat kumpikin laskeneet 22.2. – 25.2. välisellä ajalla. Toisaalta taas 27.2. – 4.3. ½ h laskeuma-arvo on laskenut samalla kun vaahdon määrä ilmastuksessa on kasvanut, joten kovin varmoja päätelmiä tästä kuvasta ei voida tehdä. Rihmojen määrä pysyi koko tarkkailuajan suurin piirtein samalla tasolla molemmilla linjoilla, joten vaahdon määrä ja ½ h laskeuma-arvo eivät ainakaan tässä tapauksessa näyttäisi korreloivan rihmojen määrän kanssa. ½ h laskeuma-arvoa ei tosin voida pitää kovin luotettavana lietepitoisuuden mittarina, koska se voi kertoa myös lietteen huonosta laskeutuvuudesta.



Kuva 11. Rihmojen ja vaahdon määrä asteikolla 0 - 3 sekä ½ h laskeuma-arvo linjalla II

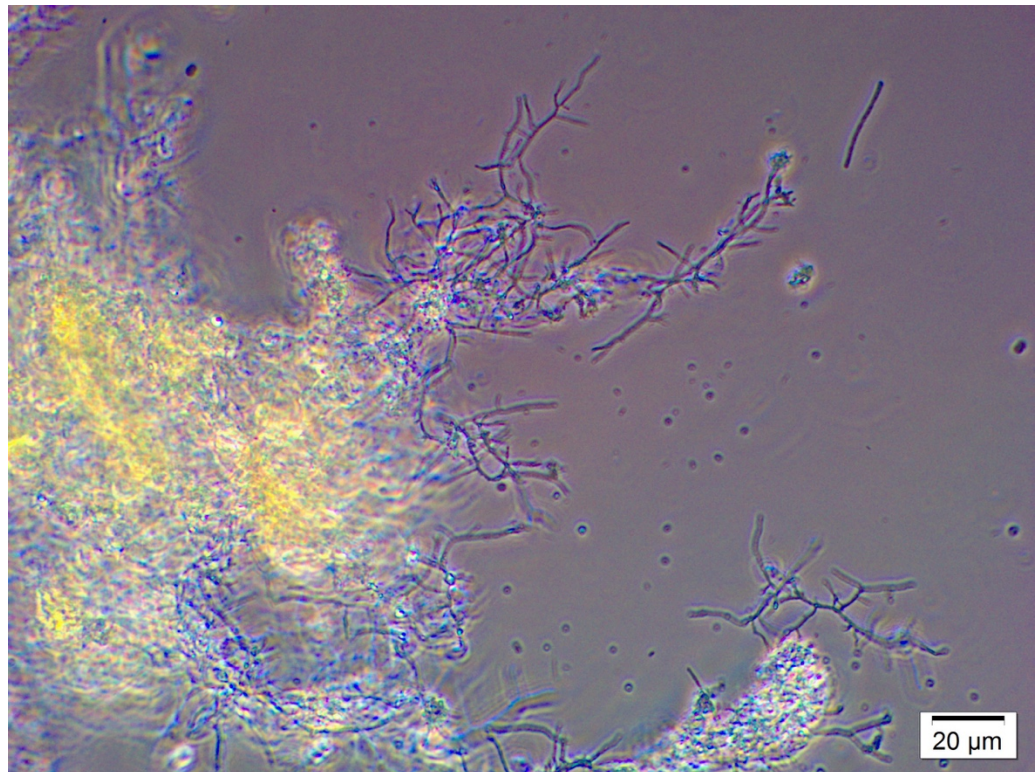
7.3 Tunnistetut rihmat

Molempien linjojen aktiivilietteessä havaittiin mikroskopoitaessa useita eri rihma-maisia bakteereita. Tässä on esitelty niistä kolme mielenkiintoisinta. Molempien linjojen lietteissä havaittiin samanlainen rihma, jolta löytyi seuraavia ominaisuuksia:

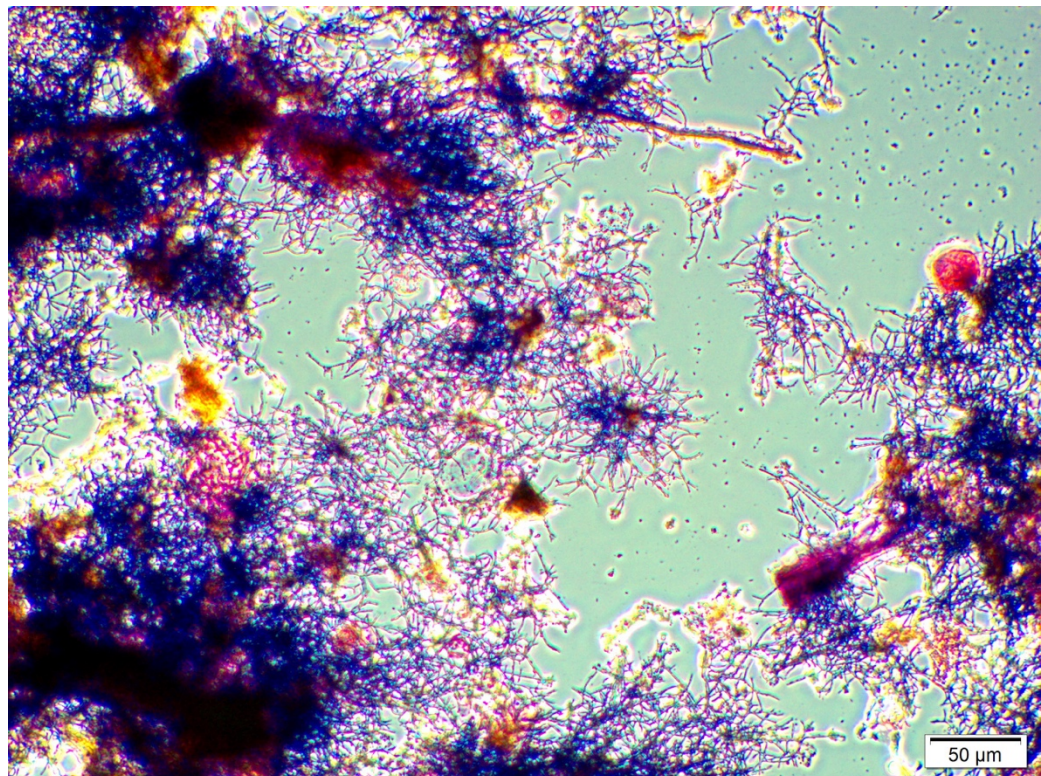
- Gram-positiivinen
- haarautuu
- rihman pituus noin 10 – 30 µm
- solut epäsäännöllisen muotoisia
- esiintyy flokkien sisällä ja irrallisina "pusikkoina"
- ei rikkijyväsiä eikä bakteeripäällikasvustoa.

Näiden ominaisuuksien perusteella ja vertailemalla Rihmaoppaan kuviin rihma tunnistettiin *Nocardiaksi*. *Nocardiaa* esiintyi molemmilla linjoilla jokaisella tarkkailukerralla, ja sitä kasvoi flokkien sisällä sekä ulkopuolella (kuva 12). Sen määrät eivät kuitenkaan olleet kovin suuria. Lisäksi I-linjan pintavaahdon havaittiin koostuvan suurimmaksi osaksi *Nocardiasta* (kuva 13), josta voidaan päätellä laitoksen

ajoittaisten vaahto-ongelmien johtuvan nimenomaan *Nocardia* liikakasvusta. *Nocardiasta* on kerrottu enemmän luvussa 4.5.5.



Kuva 12. *Nocardia* I-linjan aktiivilietteessä 22.2.2019. 400x suurennos, faasikontrasti



Kuva 13. *Nocardia* I-linjan pintavaahdossa 15.2.2019. Gram-värijäys, 200x suurennos, faasikontrasti

Toinen lietteessä havaittu rihma oli seuraavanlainen:

- liikkuva
- taipunut, ei haaraudu
- rihman pituus noin 200 – 300 µm
- irrallisena flokkien välissä
- paljon rikkiyväsiä
- ei bakteeripäällikasvustoa.

Rihmaoppaan ja Environmental Leverage –sivuston avulla rihma tunnistettiin *Beggiatoaksi* (kuva 14). *Beggiatoaa* ei esiintynyt jokaisella näytteenottokerralla eikä suurissa määrin, mutta se indikoi pelkistyneiden rikkiyhdisteiden olemassaolosta prosessissa. Pelkistyneitä rikkiyhdisteitä voi tulla prosessiin tulevan veden mukana esimerkiksi hapettomista viemärilinjaista, tai niitä voi syntyä prosessissa flokkien sisällä happipitoisuuden ollessa alhainen.

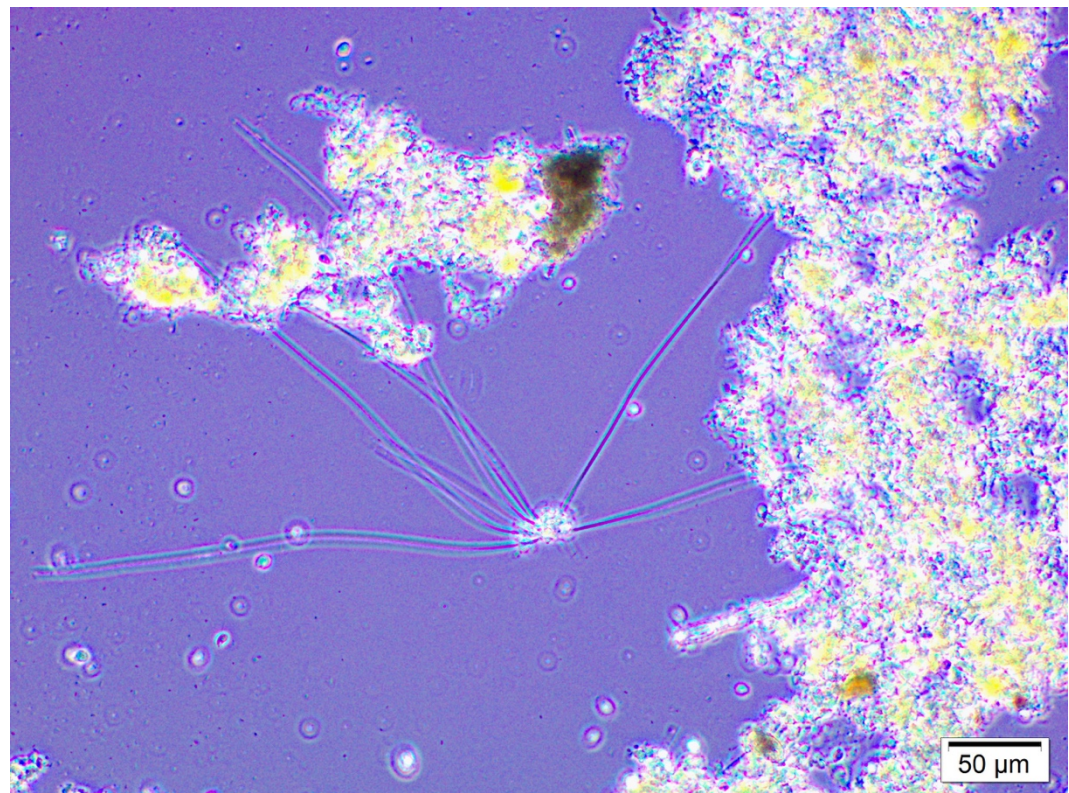


Kuva 14. Beggiatoa I-linjan aktiivilietteessä 14.3.2019. 400x suurennos, faasikontrasti

Kolmannella lietteessä usein havaitulla rihmalla oli seuraavia ominaisuuksia:

- Gram-negatiivinen
- taipunut, välillä kiertynyt, ei haaraudu
- rihman pituus 100 - 500 μm
- työntyy esiin flokeista, muodostaa rosetteja
- satunnaisesti rikkijyväsiä
- ei bakteeripäällikasvustoa.

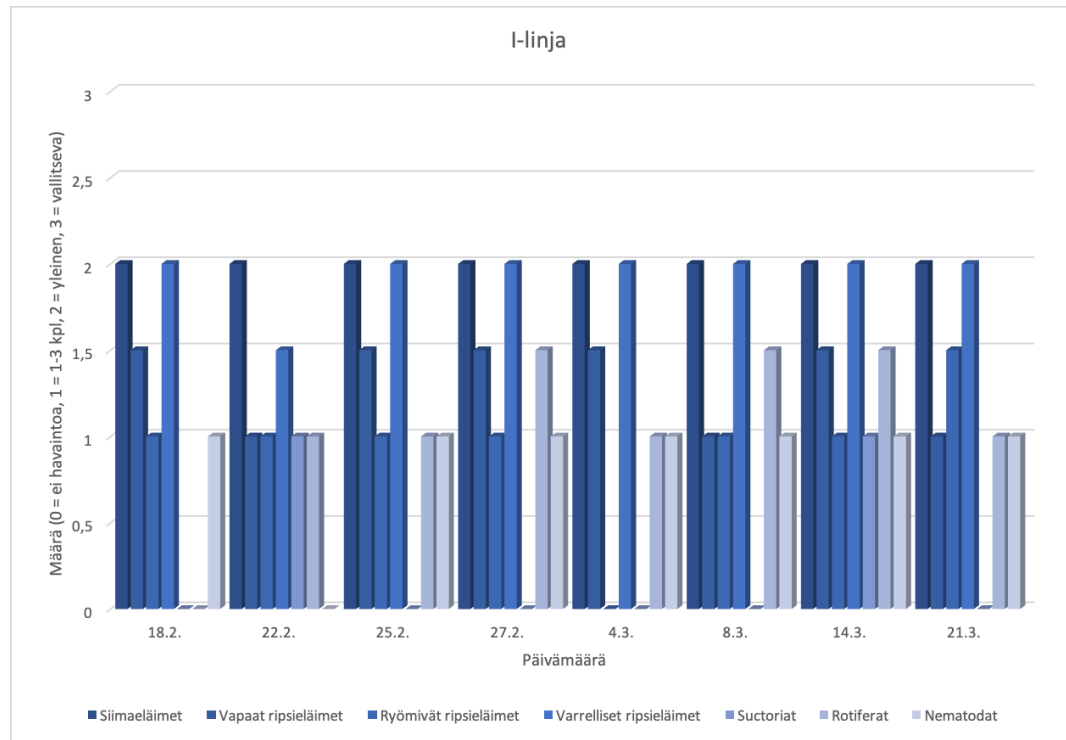
Rihma tunnistettiin Rihmaoppaan avulla todennäköisesti Tyypin 021N:ksi (kuva15). Tyypin 021N:n ulkomuoto vaihtelee melko paljon sen elinolosuhteista riippuen, minkä vuoksi tunnistus jäi hieman epävarmaksi. Tyypin 021N:n määrät Kullaanvuoren lietteessä eivät olleet suuria. Runsaasti esiintyessään se voi kuitenkin aiheuttaa vakavia paisuntalieteongelmia, koska sillä on tapana kasvaa flokkien välisessä tilassa. Tyypin 021N pystyy käyttämään ravinnokseen jäteveden sisältämiä sulfideja eli rikkijyhdisteitä, orgaanisia happoja sekä helposti hajotuvia substraatteja. Sen optimilieteikä on 3,5 – 20 d.



Kuva 15. Tyyppi 021N II-linjan aktiivilietteessä 25.2.2019. 200x suurennos, faasikontrasti

7.4 Alkueläimet

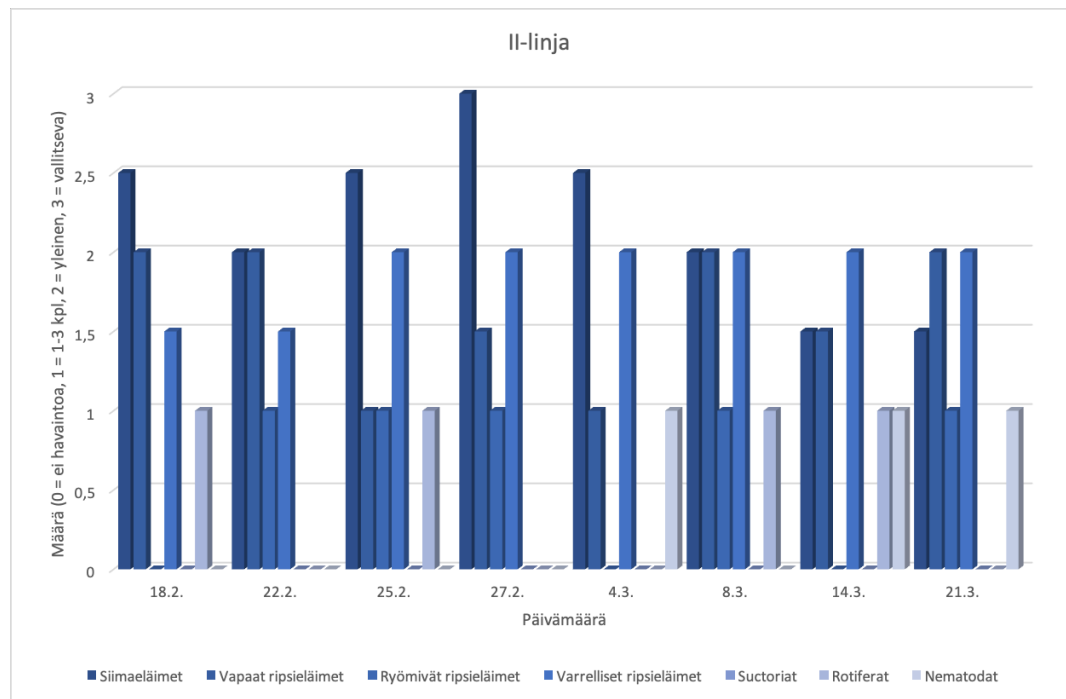
Alkueläinten suhteellisia määriä tarkkailtiin jokaisella näytteenottokerralla asteikolla 0 - 3. Lisäksi tarvittaessa käytettiin välilukemia kuten 1,5. Alkueläinten määrät linjoittain on esitetty kuvissa 16 ja 17.



Kuva 16. Alkueläinten suhteellinen määrä I-linjalla

I-linjalla alkueläinten määrät pysyivät melko samalla tasolla koko tarkkailujakson ajan (kuva 16). Eniten I-linjan lietteessä oli siimaeläimiä ja varrellisia ripsieläimiä. Varrellisia ripsieläimiä esiintyi sekä yksittäin että kimpuissa. Lisäksi jokaisella tarkkailukerralla löytyi vapaita ripsieläimiä ja 4.3. lukuun ottamatta myös ryömiviä ripsieläimiä. Lähes joka kerralla I-linjan lietteestä löytyi myös rotiferoja (kuva 18) ja nematodia. Kahdella tarkkailukerralla, 22.2. ja 14.3., lietteessä havaittiin myös yksi suctorია.

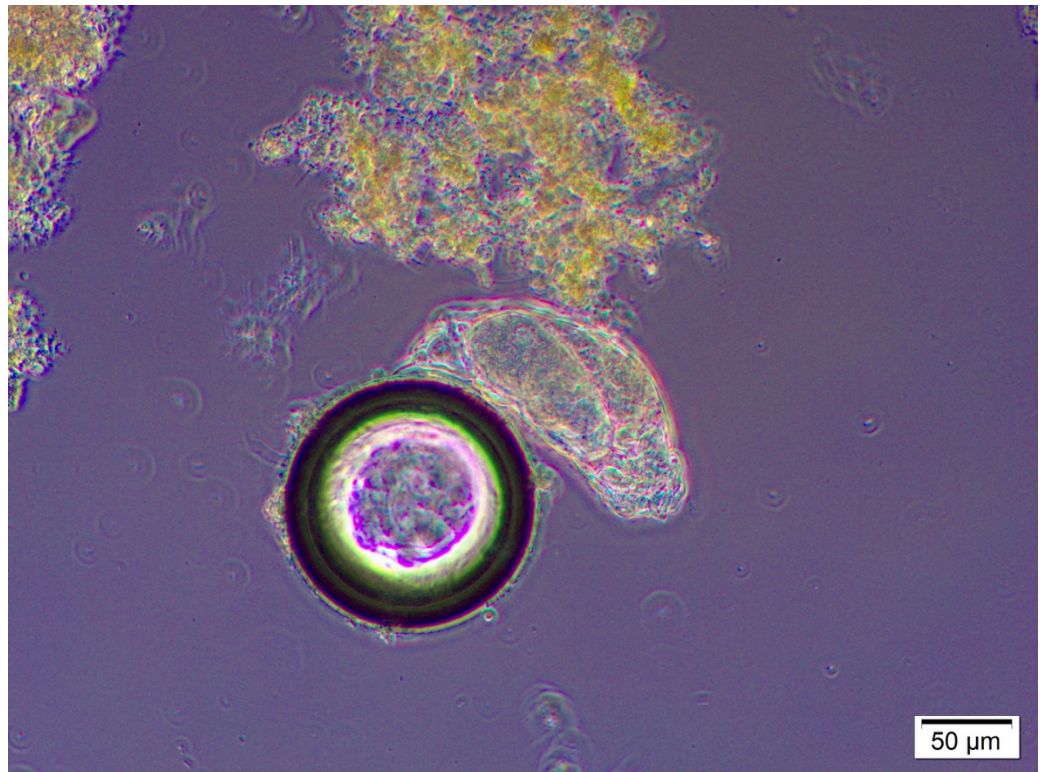
I-linjan alkueläinmäärät pysyivät koko tarkkailujakson ajan suhteellisen tasaisina, mistä voidaan päätellä myös prosessiolosuhteiden olevan tasaisia. Mikään alkueläin ei dominoinut lietettä, mikä on hyvä asia. Myös ripsieläinten, rotiferojen ja nematodien esiintyvyys on indikaattori hyvästä lietteestä.



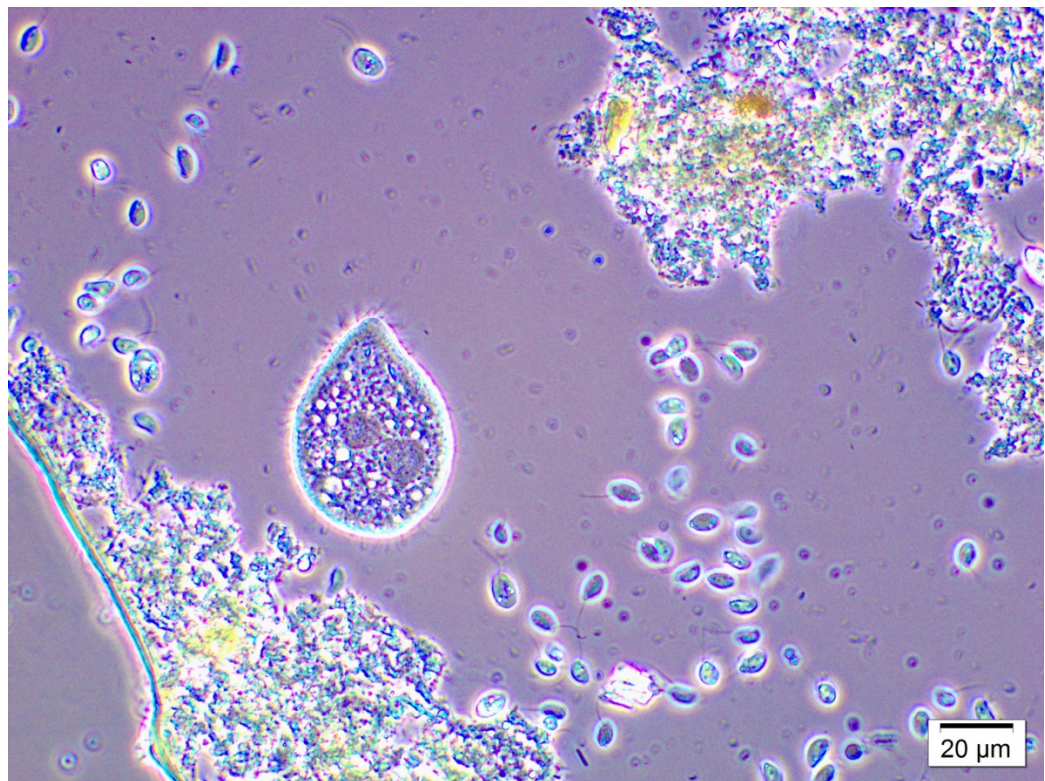
Kuva 17. Alkueläinten suhteellinen määrä II-linjalla

II-linjalla alkueläinten määrissä oli pientä vaihtelua (kuva 17). Siimaeläimet olivat lietteen valtalaji 18.2. ja 25.2 – 4.3. Myös vapaiden ja varrellisten ripsieläinten määrät vaihtelivat jonkin verran, mutta niitä havaittiin kuitenkin jokaisella tarkkailukerralla (kuva 19). Ryömiviä ripsieläimiä ei havaittu kolmella tarkkailukerralla. Rotiferoja havaittiin neljällä ja nematodia kolmella tarkkailukerralla. Suctorioita II-linjan lietteessä ei havaittu kertaakaan.

Siimaeläinten runsas esiintyvyys voi olla merkki lietteen häiriötilanteesta, varsinkin yhdistettynä samanaikaiseen ripsieläinten katoamiseen. II-linjan lietteessä oli kuitenkin samaan aikaan siimaeläinten kanssa myös erilaisia ripsieläimiä, joten mistään vakavasta ei ollut kyse. Siimaeläinten määrä tasaantui 4.3. jälkeen. Ripsieläinten, rotiferojen ja nematodien esiintyvyys indikoi hyvää lietettä, kuten I-linjallakin.



**Kuva 18. Rotifera kiinnittyneenä ilmakuplaan I-linjan aktiivilietteessä
22.2.2019. 200xertainen suurennos, faasikontrasti**

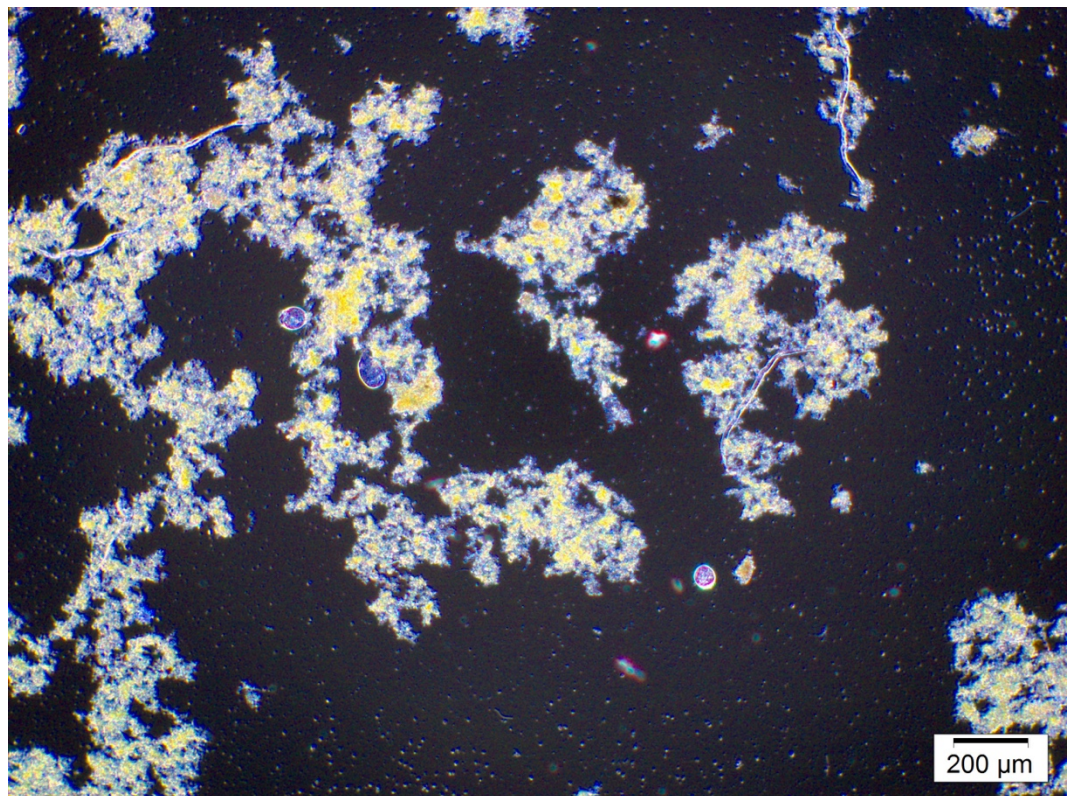


**Kuva 19. Vapaasti liikkuva ripsieläin ja siimaeläimiä II-linjan aktiivilietteessä
18.2.2019. 400x suurennos, faasikontrasti**

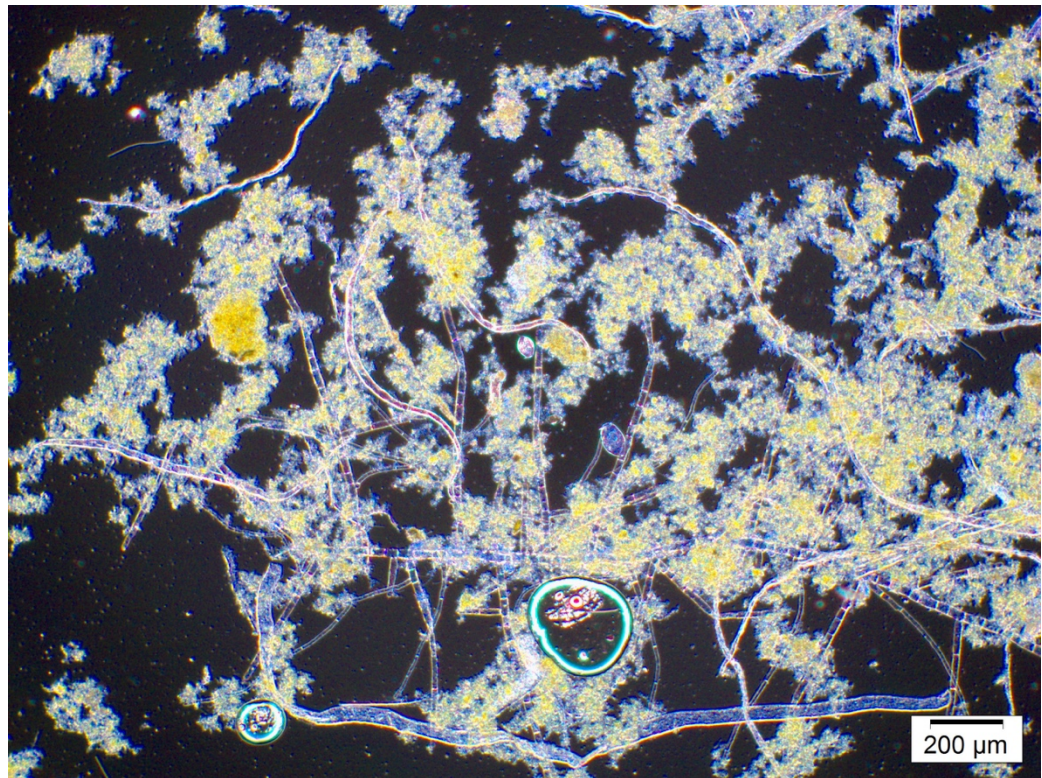
7.5 Flokin tila

Kullaanvuoren aktiivilietteen flokit olivat tarkkailuaikana kooltaan 100 – 500 µm väliltä, eli ne olivat keskikokoisia. Flokkien muoto oli epäsäännöllinen, välillä jopa repaleinen. Flokkien tavanomaisen muodon Kullaanvuoren lietteessä näkee parhaiten kuvasta 20. Paikoitellen lietteessä oli runsaasti kuituja, jotka näkyvät pitkänä, kapeina nauhoina kuvassa 21. Flokit takertuivat kuituihin muodostaen suuria, ilmavia flokkimuodostelmia, jotka todennäköisesti eivät laskeudu selkeytyksessä parhaalla mahdollisella tavalla. Kuituja tulee prosessiin tulevan veden mukana, ja niiden runsas esiintyminen voi johtua välpän riittämättömästä toiminnasta.

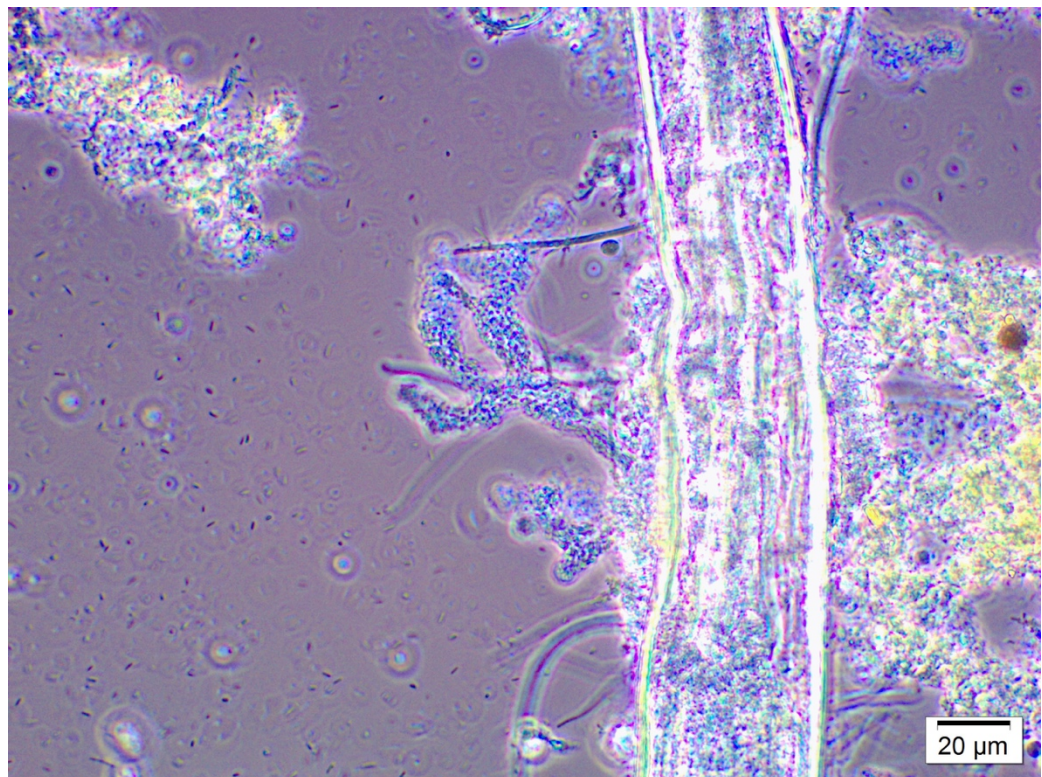
Useampana tarkkailukertana lietteessä havaittiin flokinmuodostajabakteeri *Zoogloea* (kuva 22). Sitä esiintyi sekä amorfisena että sormimaisena muodostelmana. *Zoogloean* määrät eivät kuitenkaan olleet suuria, joten se ei aiheuttanut ongelmia.



Kuva 20. Kullaanvuoren II-linjan aktiivilietettä 4.3.2019. 40x suurennos, faasikontrasti



Kuva 21. Kullaanvuoren II-linjan aktiivilietettä 8.3.2019. 40x suurennos, faasikontrasti



Kuva 22. Sormimaista *Zoogloea* II-linjan aktiivilietteessä 14.3.2019. 400x suurennos, faasikontrasti

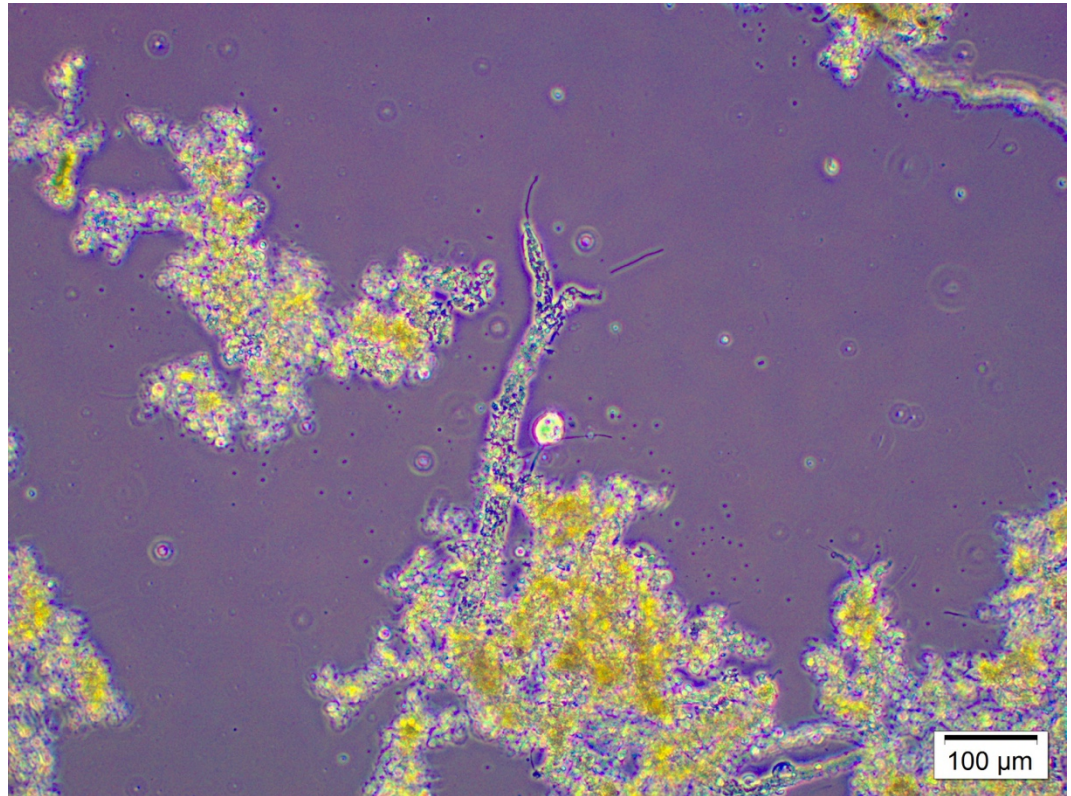
7.6 Häiriötilanne 21.3.

Alun perin näytteenottoa oli tarkoitus jatkaa vain 14.3. saakka. 19.3. illalla kuitenkin havaittiin I-linjan selkeytysaltaan laahaimen pysähtyneen sähkövian vuoksi. Vian korjaamiseksi selkeytysallas jouduttiin tyhjentämään, jolloin ilmastusaltaaseen ei myöskään mennyt tulevaa vettä eikä palautuslietettä. Näytteenoton aikaan 21.3. I-linjan ilmastusallas oli siis ollut noin puolitoista vuorokautta ilman uutta ravinne- ja biomassakuormitusta ja II-linja, jolle kaikki tuleva vesi ohjattiin, oli tuplasti kuormitettuna normaalitilanteeseen verrattuna.

Molempien linjojen lietepitoisuudet mitattiin, ja tuloksiksi saatiin I-linjalla 1,39 g/l ja II-linjalla 3,36 g/l. Tulokset erosivat selvästi normaalitilanteesta. I-linjan keskimääräinen lietepitoisuus aiemmalla näytteenottojaksolla oli 2,47 g/l ja II-linjan 2,43 g/l. Lietepitoisuuksien ero normaaliin johtuu linjojen kuormituksesta. I-linjalla biomassa oli kuluttanut ravinnon lähes loppuun eikä sitä tullut mistään lisää, joten biomassan määrä alkoi vähetä. II-linjalla taas ravintoa oli tarjolla ylenmäärin, joten biomassassa oli logaritmisen kasvun vaiheessa ja lisääntyi mahdollisimman nopeasti, jolloin myös biomassan määrä lisääntyi.

Mikroskooppisesti tarkkailtuna lietteissä ei ollut tapahtunut suuria muutoksia normaalitilanteeseen verrattuna. I-linjalla ryömivien ripsieläinten määrä oli ehkä hiukan normaalia suurempi, mutta muuten alkueläinmäärät olivat samalla tasolla kuin ennenkin. Myös rihmojen määrä oli pysynyt samana. Suurin muutos I-linjalla oli suhteellisen suurien, 200 – 300 µm pitkien, mahdollisesti *Zoogloea* aiheuttamien bakteerimuodostelmien ilmestyminen lietteeseen (kuva 23). Bakteerimuodostelmien syntyminen johtuu alhaisesta ravinnepitoisuudesta, jonka myötä bakteerit alkavat muodostaa biopolymeeriä vararavinnokseen ja takertuvat yhteen.

II-linjalla ei mikroskopoitaessa havaittu ollenkaan muutoksia normaalitilanteeseen verrattuna. Alkueläinten ja rihmojen määrät olivat samalla tasolla kuin ennenkin ja myös flokit olivat samanmallisia. Jos häiriötilanne olisi jatkunut pitempään, olisivat flokit voineet alkaa hajota kummallakin linjalla. I-linjalla ravinnon loppuminen olisi aiheuttanut bakteerien kuolemisen, jolloin flokit eivät enää pysy kasassa. II-linjalla taas jatkuva liian suuri ravintokuormitus olisi aiheuttanut lietteen mikrobiston siirtymisen pysyvästi logaritmisen kasvun vaiheeseen, jolloin bakteereilla ei olisi tarvetta muodostaa flokkeja, vaan ne uisivat vapaina lietteessä.



**Kuva 23. Sormimainen bakterimuodostelma I-linjan aktiivilietteessä
21.3.2019. 100x suurennos, faasikontrasti**

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kullaanvuoren puhdistamo toimi tarkkailujakson 15.2. – 14.3. aikana normaalisti. Linjojen toiminnot olivat tasapainossa keskenään niin prosessiparametrien kuin mikroskooppisen tarkkailunkin perusteella. Työssä saatiinkin hyvä katsaus Kullaanvuoren lietteen normaalitilanteesta. Lisäksi lietteen mikroskopointi häiriötilanteen aikana 21.3. antoi esimerkin tilanteesta, jossa lietteen biomassalla oli käytössään normaalia vähemmän ravintoa.

Kullaanvuoren aktiivilietteen alkueliöstö koostui suurimmaksi osaksi siimaeläimistä sekä erilaisista ripsieläimistä. Lisäksi havaittiin vähäisemmissä määrin rotiferoja, nematodia ja suctorioita, jotka kaikki indikoivat hyvälaatuista lietettä. Flokit olivat keskikokoisia ja muodoltaan epäsäännöllisiä. Paikoitellen lietteessä oli paljon kuituja, jotka tekivät flokeista suuria ja ilmavia, ja näin ollen myös mahdollisesti huonommin laskeutuvia. Lieke oli kuitenkin tarkkailujaksolla lieteindeksin perusteella hyvin laskeutuvaa, joten kuiduista ei voida sanoa olleen haittaa.

Tärkein havainto Kullaanvuoren lietteestä oli rihmamaisen *Nocardia*-bakteerin läsnäolo. *Nocardia*a havaittiin jokaisella tarkkailukerralla molempien linjojen lietteessä, ja lisäksi myös I-linjan ilmastuksen vähäinen pintavaahto koostui käytännössä kokonaan *Nocardia*sta. Tästä voidaan päätellä laitoksen ajoittaisten vaahto-ongelmien johtuvan nimenomaan tästä rihmasta, vaikka tarkkailujakson aikana laitoksella ei ollutkaan varsinaista vaahto-ongelmaa. Jatkossa vaahto-ongelmien taas ilmaantuessa tämä päätelmä voidaan varmistaa mikroskopoimalla.

Kirjassa *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming and Other Solids Separation Problems* (2003, 144 - 156) on esitelty sekä spesifisiä että epäspesifisiä keinoja *Nocardian* poistamiseen aktiivilietteestä. Spesifisistä menetelmistä sekä aerobisella, anoksisella että anaerobisella selektorilla on havaittu oikein suunniteltuna pystyttävän ehkäisemään *Nocardian* kasvua. Rasvojen ja pinta-aktiivisten aineiden on havaittu edistävän *Nocardian* kasvua, joten näiden poistamisella tulevasta jätevedestä voitaisiin sen kasvua vähentää. Epäspesifisistä menetelmistä kloorin syöttämisellä suoraan aktiivilietteen ei ole saatu hyviä tuloksia *Nocardian* poistamisessa, mutta sen sijaan ilmastusaltaan pinnan suihkuttaminen hienojakoisella kloorisumulla on havaintojen perusteella tehokas keino *Nocardia*-vaahdon hajottamisessa. Toinen epäspesifinen vaahtoamista vähentävä keino on kationisten polymeerien lisääminen aktiivilietteen. Nämä polymeerit saavat vapaana lietteessä olevat *Nocardia*-rihmat sitoutumaan flokeiksi, jolloin niiden vaahtoavuus vähenee. Flokkeina ne saadaan

myös helpommin laskeutettua ja poistettua ylijäämälietteen mukana. Kaikilla näillä metodeilla *Nocardia* kuitenkin palaa aina takaisin, jos sitä kierrätetään systeemissä esimerkiksi johtamalla altaiden pinnalta poistettu vaahto takaisin prosessiin.

Muita lietteestä tunnistettuja rihmoja olivat *Beggiatoa* ja Tyyppi 021N, jotka molemmat indikoivat rikkiyhdisteiden olemassaoloa jätevedessä. Rikkiyhdisteitä syntyy hapettomissa oloissa esimerkiksi viemäreissä. Niistä voi muodostua rikkiveytystä, joka aiheuttaa korroosiota sekä on terveysriski puhdistamon työntekijöille. Lisäksi Tyyppi 021N voi runsastuessaan aiheuttaa paisuntalietettä. Lietteessä havaittiin myös pieniä määriä *Zoogloaea*, jonka liikakasvu voi aiheuttaa viskoosia paisuntalietettä.

Työtä aloitettaessa kokemukseni mikroskoppinnista olivat hyvin vähäiset, joka toi haastetta lietetarkkailun suorittamiseen. Tarkkailun edetessä taidot kuitenkin kasvoivat, ja lähes joka kerta lietteestä pystyi havainnoimaan uusia asioita. Näytteistä otettiin mikroskoppinnin yhteydessä paljon kuvia, joiden avulla näytteitä pystyi analysoimaan myös jälkikäteen.

Jatkossa lietteen mikroskopointia kannattaisi jatkaa osana puhdistamon käyttötarkkailua. Tarkkailun apuna voidaan käyttää liitteenä olevaa tarkkailulomaketta sekä tätä opinnäytetyötä. Tässä työssä lietteestä arvioidut alkueläin- ja rihmamäärät ovat kuitenkin subjektiivisia ja tarkkailijasta riippuvaisia, eikä niitä välttämättä voida suoraan verrata toisen tarkkailijan tekemiin arvioihin. Lisäksi tässä työssä vaahdon määrän mittaamiseen käytetty pinta-alan arviointi ei ole käytännöllinen vaahto-ongelman aikana. Ongelma-aikaan vaahdon määrää kannattaisi mitata esimerkiksi altaan pinnalla kelluvalla mittatikulla, jolla saataisiin tietoa vaahtopatjan paksuudesta.

LÄHTEET

Environmental Leverage 2003. Beggiatoa [viitattu 29.3.2019]. Saatavissa:
<http://www.environmentalleverage.com/Beggiatoa.htm>

Glymph, T. 2005. Wastewater Microbiology: A Handbook for Operators. Denver: American Water Works Association.

Hakala, I. 1995. Aktiivilietteen mikroskopointiopas. Turun vesilaitos.

Hakala, I., Myllymäki, J. & Saarinen, R. 1998. Rihmaopas. Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistys.

Isoaho, S. & Valve, M. 1986. Vesikemian perusteet. Helsinki: Otakustantamo.

Jenkins, D., Richard, M. & Daigger, G. 2003. Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming and Other Solids Separation Problems. 3. painos. Florida: CRC Press.

Kabata, L. 2019 Kemiallinen puhdistus. Jätevedenpuhdistus [viitattu 26.3.2019]. Saatavissa:
<https://jatevedenpuhdistus.wordpress.com/jatevedenpuhdistus/puhdistusprosessi/kemiallinen-puhdistus/>

Katko, T. 2016. Finnish Water Services – Experiences in Global Perspective. Helsinki: Finnish Water Utilities Association.

Karttunen, E. 2004. Vesihuolto II. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto ry.

Koivuranta, E. 2016. Optical Monitoring of Flocks and Filaments in the Activated Sludge Process. Väitöskirja. University of Oulu, Faculty of Technology. Acta Universitatis Ouluensis, C Technica 566. Tampere: Juvenes Print.

Koponen, H. 2017. Nokian kaupungin Kullaanvuoren jätevedenpuhdistamon kuormitus- ja käyttötarkkailun vuosiyhteenveto 2017. Tampere: Kokemäenjoen Vesistön Vesiensuojeluyhdistys Ry.

Korelin, A. Jätevedenpuhdistusprosessin säätö ja ohjaus. Helsinki: Ammattienedistämislaitos.

Laiho, A. 2018. Kullaanvuoren puhdistamon prosessikaavio.

Säylä, J. 2015. Yhdyskuntien jätevesien puhdistus 2013. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 34/2015. Suomen ympäristökeskus [viitattu: 5.3.2019]. Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/158957/SYKEra_34_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 888/2006. Suomen laki [viitattu: 5.3.2019]. Saatavissa:

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060888#Pidp447183520>

LIITTEET

Liite 1. Lietetarkkailun tulokset

Alkueläinten määrät

Linja I							
pvm	Siimaeläimet	Vapaat ripsieläimet	Ryömvivät ripsieläimet	Varrelliset ripsieläimet	Suctoriat	Rotiferat	Nematodat
15.2.							
18.2.	2	1,5	1	2	0	0	1
22.2.	2	1	1	1,5	1	1	0
25.2.	2	1,5	1	2	0	1	1
27.2.	2	1,5	1	2	0	1,5	1
4.3.	2	1,5	0	2	0	1	1
8.3.	2	1	1	2	0	1,5	1
14.3.	2	1,5	1	2	1	1,5	1
21.3.	2	1	1,5	2	0	1	1
Linja II							
pvm	Siimaeläimet	Vapaat ripsieläimet	Ryömvivät ripsieläimet	Varrelliset ripsieläimet	Suctoriat	Rotiferat	Nematodat
15.2.							
18.2.	2,5	2	0	1,5	0	1	0
22.2.	2	2	1	1,5	0	0	0
25.2.	2,5	1	1	2	0	1	0
27.2.	3	1,5	1	2	0	0	0
4.3.	2,5	1	0	2	0	0	1
8.3.	2	2	1	2	0	1	0
14.3.	1,5	1,5	0	2	0	1	1
21.3.	1,5	2	1	2	0	0	1

Muut tulokset

Linja I										
pvm	Rihmojen määrä	Vaahdon määrä	Lietepitoisuus	Lietekä	1/2h laskeuma	Lieteindeksi	Lämpötila	pH	Happipitoisuus	Virtaama
15.2.	1	2		2,4	280		9,7	6,7	5,3	4197
18.2.	1,5	2,5	2,39	2,3	300	126	9,2	6,8	5,2	4138
22.2.	1,5	2,5		2,3	310		8,4	6,7	5,3	4508
25.2.	1,5	2	2,39	2,3	280	117	8,8	6,8	2,6	4460
27.2.	1,5	2	2,31	2,2	260	113	8,7	6,7	3,7	5016
4.3.	1,5	2	2,45	2,3	260	106	8,0	6,8	3,4	4600
8.3.	1,5	2		2,2	260		9,0	6,8	3,6	4724
14.3.	1,5	2	2,80	2,3	270	96	8,8	6,7	3,7	4416
21.3.	1,5	2	1,39	3,4			8,0		7,4	4053
keskiarvo	1,4	2,1	2,47	2,3	278	112	8,8	6,8	4,1	4507
(kesiärvossa ei ole mukana 21.3. tiedot)										
Linja II										
pvm	Rihmojen määrä	Vaahdon määrä	Lietepitoisuus	Lietekä	1/2h laskeuma	Lieteindeksi	Lämpötila	pH	Happipitoisuus	Virtaama
15.2.	1,5	1		2,4	270		9,5	7,0	4,1	4338
18.2.	1,5	1	2,47	2,3	260	105	9,1	6,9	3,6	4609
22.2.	1,5	1		2,3	450		8,1	6,8	4,7	4643
25.2.	1,5	0,5	2,32	2,3	260	112	8,5	7,0	2,2	4779
27.2.	1,5	0,5	2,29	2,2	260	114	8,5	6,8	1,8	5555
4.3.	1,5	1	2,44	2,3	180	74	7,8	7,0	3,6	4549
8.3.	1,5	1		2,2	240		8,7	7,0	3,2	5442
14.3.	1,5	1	2,61	2,3	280	107	8,7	6,9	3,7	4236
21.3.	1,5	0	3,36	3,4	280	83	7,6	6,7	1,9	6920
keskiarvo	1,5	0,9	2,43	2,3	275	102	8,6	6,9	3,4	4769
(kesiärvossa ei ole mukana 21.3. tiedot)										

Liite 2. Lomake aktiivilietteen eliöstön tarkkailuun

Aktiivilietteen eliöstön arviointi

Päivämäärä ja tekijä

Näytteen alkuperä

Flokin koko ja muoto

Rihmojen määrä (asteikolla 0-3)

Tunnistetut rihmat

Alkueläimet

Alkueläin	Määrä (asteikolla 0-3)
Ameebat	
Siimaeliöt	
Vapaasti liikkuvat ripsieläimet	
Ryömivät ripsieläimet	
Varrelliset ripsieläimet	
Suctoriat	
Rotiferat	
Nematodat	

Huomioita

Talulukko rihmojen tunnistamiseen

Ominaisuudet	Rihma 1	Rihma 2	Rihma 3
Gram-värjäytyminen (+/-)			
Haarautuminen (kyllä/ei/vale)			
Rihman pituus ja halkaisija (µm)			
Rihman muoto			
Solun koko (µm) ja muoto			
Liikkuvuus (kyllä/ei)			
Päällikasvusto (kyllä/ei)			
Sijainti			
Rikkijyväset (kyllä/ei)			
Kuori (kyllä/ei)			
Väliseinät (kyllä/ei)			
Rosetin muodostus (kyllä/ei)			

Flokin koko

yli 500 µm = suuri
150-500 µm = keskisuuri
alle 150 µm = pieni

Rihmojen määrä

0 = ei ollenkaan
0,5 = vähän (rihmoja vain satunnaisesti flokissa)
1 = muutama (rihmoja on useita, mutta ei joka flokissa)
1,5 = yleinen (1-5 kpl/flokki)
2 = hyvin yleinen (5-20 kpl/flokki)
2,5 = runsas (yli 20 kpl/flokki)
3 = vallitseva (enemmän rihmaa kuin flokkia)

Alkueläinten määrä

0 = ei havaintoa
1 = 1 kpl – muutama
2 = yleinen
3 = vallitseva

Vaahdon määrä ilmastuksessa

0 = hyvin vähän tai ei ollenkaan
1 = alle 1/3 altaan pinta-alasta
2 = puolet
3 = koko pinta-alalla