

Tekniikan kandidaatintyö

Elintarviketeollisuuden jäteveden käsittely ja haitta- aineiden raja-arvot

Lappeenranta 2021

Niilo Kasanen

TIIVISTELMÄ

LUT-yliopisto

Tekijä: Niilo Kasanen

Otsikko: Elintarviketeollisuuden jäteveden käsittely ja haitta-aineiden raja-arvot

Kevät 2021, Lappeenranta

33 sivua, 1 kuva, 10 taulukkoa

Työn ohjaajat: Apulaisprofessori Eveliina Repo, Hyxo Pinja Kilpeläinen, Hyxo Antti Mattila

Avainsanat: Elintarviketeollisuus, jäteveden käsittely, haitta-aineet, raja-arvot, seuranta, talteenotto

Tämän työn tavoitteena oli selvittää elintarviketeollisuuden jätevesien haitta-aineet ja niiden raja-arvot, kuten myös niille soveltuvia jäteveden käsittelyprosesseja. Työ oli kirjallisuuskatsaus.

Yleisimmät haitta-aineet jätevesissä ovat orgaaniset aineet ja ravinteet. Ympäristöluvassa elintarviketeollisuuden toimijoille päätetään raja-arvot, jotka voivat olla tiukempia kuin laissa. Näitä arvoja seurataan tiheästi, jotta ylimääräisiä päästöjä ei pääse ympäristöön tai viemäristöön. Erillisillä näytteenotoilla seurataan puhdistamojen tehoa ja vesistöjen tilaa.

Jäteveden käsittelyssä käytetyimmät prosessit ovat nitrifikaatio-denitrifikaatio-, aktiivilieteprosessi ja kemiallinen saostus. Suomessa MBBR-prosessi ei ole kovin käytetty menetelmä, vaikka se on todella monipuolinen menetelmä. MBBR-prosessia voidaan käyttää orgaanisten aineiden ja ravinteiden poistoon.

Suomessa ravinteiden talteenotto jätevirroista on heikolla tasolla ja ravinteita käytetään suurimmaksi osaksi vain maaparannusaineiden tuottamiseen. Typen talteenottoa ei toteuteta samassa määrin fosforiin verrattuna, koska typpeä saadaan suoraan ilmakehästä. Puhdistamoilla lietteen käsittelyä pidetään tällä hetkellä vain pakollisina kuluerinä.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	2
1 Johdanto	5
2 Haitta-aineet	6
3 Raja-arvot.....	9
4 Vedenkäsittely.....	12
5 Haitta-aineiden seuranta.....	19
5.1 Päästöjen tiedottaminen	23
5.2 Vesistönäytteet	24
6 Fosforin talteenotto	25
7 Typen talteenotto.....	28
8 Johtopäätökset.....	29
9. Lähdeluettelo.....	31

LYHENTEET

MBBR Moving bed biofilm reactor

BOD/BHK Biological oxygen demand

COD Chemical oxygen demand

1 Johdanto

Suomessa syntyy joka vuosi noin 500 miljardia litraa jätevettä (Säylä, 2015), ja tämä luku tulee kasvamaan tulevaisuudessa väkiluvun kasvaessa. Jätevedet sisältävät haitallisia aineita ympäristölle ja myös ihmisille, kuten patogeenejä ja erilaisia bakteereja. Suurimpia ongelmia mitä jätevesissä on, ovat niiden suuret ravinnekuormat, jotka aiheuttavat ongelmia puhdistamoille ja vesistöille. Suuret ravinne kuormat aiheuttavat tukoksia puhdistamoilla, syövät käsittelykapasiteettia ja ravinnepäästöt lisäävät rehevöitymistä vesistöissä, mikä huonontaa vesistön ekosysteemin tilaa ja vedessä elävien eliöitten hapen saantia.

Vastuullisuus ja ekologinen ajattelu ovat kasvavia trendejä teollisuudessa ja yritysmaailmassa, joten päästöjen tarkkailu ja niiden vähentäminen ovat merkittäviä tavoitteita teollisuudessa. Päästölakien tiukentuminen ja jätevesien laatuksien tiukentuminen vaativat yhä tehokkaampia käsittelymenetelmiä ja suurempaa kierrätystasoa jätevesien ravinteiden suhteen, joka on tällä hetkellä heikolla tasolla. Ravinteiden talteenotossa varsinkin fosforin hyötykäyttö on tärkeää sillä tämänhetkiset mineraalifosforivarat maapallolla kestävät 60–120 vuotta (Kangas, Vesiyhdistys et al. 2019).

Elintarviketeollisuus on suurimpia ravinnekuormituksen lähteitä teollisuudessa ja synnytti vuonna 2014 VAHTI-järjestelmän mukaan jätevettä 641 tonnia, joka oli noin 0,2 % sivuvirroista. Elintarviketeollisuus pitää sisällään mm. teurastamot, panimot, kalanjalostamot, ja maitoteollisuuden. Suurimpia sivuvirtoja mitä elintarviketeollisuus synnyttää on jätevedestä syntyvä liete, joka sisältää suuria määriä haitta-aineita ja rehevöittäviä ravinteita. Vuonna 2014 lietettä syntyi 45044,3 tonnia, joka on noin 11,5 % sivuvirroista. (Berg 2016)

Tämän tutkimustyön tavoitteena on selvittää elintarviketeollisuuden jätevesien haitta-aineiden vaikutuksia ympäristöön ja näiden raja-arvojen kriteerit ja eroavatko nämä elintarviketeollisuuden eri toimijoilla. Työssä esitellään erilaisia jäteveden käsittelytekniikoita ja niiden vaikutuksia veden laatuun. Lisäksi työssä tarkastellaan MBBR-menetelmän (Moving

bed biofilm reactor) soveltuvuutta jätevedenkäsittelyssä, erilaisia ravinteiden talteenottomenetelmiä ja niiden hyötykäyttömahdollisuuksia.

2 Haitta-aineet

Tyypillisimmät haitta-aineet, joita elintarviketeollisuuden tuottamat jätevedet sisältävät ovat mm. hiilihydraatteja, proteiineja, happoja, emäksiä, pesuaineita, suoloja ja säilöntäaineita. Korkeat BOD-arvot (Biological oxygen demand), kiintoaineet, fosforin ja typen konsentraatiot ja pH-arvojen vaihtelevuus ovat myös tyypillisiä piirteitä elintarviketeollisuuden jätevesissä. (Vesilaitosyhdistys, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä 2018)

BOD-arvo kuvaa happea kuluttavan orgaanisen aineen määrää jätevedessä. Korkeat BOD-arvot jätevedessä voivat aiheuttaa viemäriverkostossa metaanin nopean muodostumisen ja suuri määrä happea kuluttavaa orgaanista ainesta vaikeuttaa vedenkäsittelyprosessia. Suuret BOD-määrien vaihtelut voivat johtaa bakteerien lisääntymiseen ja tästä voi aiheutua lietettä, joka tasoittuu huonosti. Jätevesi voi myös sisältää suuria määriä orgaanista aineita, joka hajoaa vain vaivoin. Tämän tyyppistä orgaanista ainesta kuvaa COD-arvo (Chemical oxygen demand) ja COD/BOD-suhde. (Vesilaitosyhdistys, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä 2018)

Elintarviketeollisuuteen kuuluvat maatalous ja lihatuotanto ovat suurimpia ravinnekuormituksen lähteitä, etenkin fosforin ja typen kannalta. Vuonna 2014 elintarviketeollisuus tuotti sivuvirtoja 390939,4 tonnia, joista maatalous ja lihatuotanto tuotti yhteensä noin 65 % (Berg, 2016). Jäteveden mukana kulkeutuvat fosfori ja typpi vaikuttavat vesistöjen levämäärän suuruuteen. Suurin ongelma fosfori- ja typpipäästöissä on niiden päätyminen vesistöihin, joka aiheuttaa vesistön rehevöitymistä. Levä massan kasvu vaikuttaa hapenkulutuksen määrän kasvuun. Hapenkulutuksen kasvu vaikuttaa vesistöjen muihin eliöihin ja voi myös aiheuttaa esimerkiksi kalakuolemia. Hapenkulutuksen kasvu aiheuttaa ajan myötä myös vesistön sisäistä kuormitusta. Fosfori ja typpi toimivat rehevöitymisen pääravinteina,

joten on tärkeää määrittää vesistön minimiravinne, sillä minimiravinteiden määrä säätelee levämassojen suuruutta. Vesistöissä minimiravinteena voi olla typpi, fosfori tai molemmat. (Laitinen and Nieminen, 2014)

Typpi ja fosfori eivät ole välttämättä haitallisia vedenkäsittelyprosessille, sillä näitä aineita tarvitaan aktiivilieteman muodostamiseen, mutta suuret määrät rasittavat puhdistuslaitosta. Viemäriin johdetut jätevedet, jotka sisältävät suuria pitoisuuksia ravintoaineita, voivat olla syy jäteveden käsittelyn kustannusten nousuun. Jätevesipuhdistamojen kapasiteetti ei aina ole riittävä suurille ravintoainekuormille. Jos tulevan jäteveden fosforipitoisuudet vaihtelevat paljon, aiheuttaa tämä vaikeuksia ylläpitää fosforin arvot tasaisena. Suuret typpikuormat lisäävät altaan kapasiteetin tarvetta ja joskus myös vaativat hiilen lisäystä ja alkalisointia. (Vesilaitosyhdistys, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä 2018)

Kiintoaineille on hyvin tarpeellista määrittää raja-arvokonsentraatiot, jotta voidaan estää kiintoaineksen kertyminen viemäristöön, tukoksien syntyminen ja kiintoaineen aiheuttamat vahingot pumppaamoille. Varsinkin elintarviketeollisuuden jätevesissä on suuret kiintoainekuormitukset ja konsentraatiot. Yleensä viemäristöön johdettavilla jätevesillä kiintoaineiden raja-arvo on 300–500 mg/l, mutta raja-arvon määrittelyyn vaikuttaa kiintoaineen koostumus ja ominaisuudet. Kiintoaineen koostumus määrittelee sen vaikutuksen prosessissa. Koostumusta pitää myös seurata biologisen hajoamisen näkökulmasta. Jos kiintoaineen koostumus ei ole biologisesti hajoava, voi tämä vaikuttaa aktiivilietteen laskeutumisominaisuuksiin, lietteen kuivumiseen ja lietteen käyttömahdollisuuksiin. Kiintoaineiden määrään teollisuusjätevedessä on kiinnitettävä huomiota, sillä lietteen käsittelykustannukset ovat nousseet merkittävästi viime vuosina. (Vesilaitosyhdistys, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä 2018)

Taulukossa I on esitetty valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista liite 1A

Taulukko I Aineet, joita ei saa päästää pintaveteen eikä vesihuoltolaitoksen viemäriin.
(Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista 2006/1022)

N:o	Nimi	CAS-numero	Yksilöity vaaralliseksi aineeksi
1)	1,2-dikloorietaani (1,2-etyleenikloridi)	107-06-2	
2)	Aldriini	309-00-2	
3)	Dieldriini	60-57-1	
4)	Endriini	72-20-8	
5)	Isodriini	465-73-6	
6)	DDT	ei ole	
	(Para-para-DDT)	50-29-3	
7)	Heksaklooribentseeni	118-74-1	X
8)	Heksaklooributadieeni	87-68-3	X
9)	Heksakloorisykloheksaani	608-73-1	X
	Gamma-isomeeri, lindaani	58-89-9	
10)	Hiilitetrakloridi	56-23-5	
11)	Pentakloorifenoli	87-86-5	
12)	Tetrakloorieteeni (Tetrakloorietyyleeni)	127-18-4	
13)	Triklooribentseeni	12002-48-1	
	1,2,4-trikloorientseeni	120-82-1	
14)	Trikloorieteeni (trikloorietyyleeni)	79-01-6	
15)	Trikloorimetaani (kloroformi)	67-66-3	

3 Raja-arvot

Jäteveden raja-arvot ovat sidottu eri ympäristöä koskeviin lakeihin. Myös haitta-aineet ovat määritelty laissa. Raja-arvot eroavat päästetäänkö jätevedet viemäristöön vai vesistöön. Vesistöön päästettävän jäteveden aineiden arvot eivät saa ylittää vesistön ympäristölaatumormeja, jotka ovat laissa määritelty.

Elintarviketeollisuuden toimijoiden jätevesille asetettavat raja-arvot vaihtelevat. Raja-arvoihin vaikuttaa eniten toimijoiden tuottamien jätevesien laatu ja määrä. Arvoihin vaikuttaa myös jätevesien viipymä viemäriverkostossa, kuten myös viemäriverkoston rakenne ja rakennusmateriaali. Jätevedet, jotka sisältävät tiettyjä ominaisuuksia, voivat ajan kuluessa aiheuttaa korroosiota verkostossa. Korroosiota aiheuttavat mm. alhaiset pH-arvot ja korkeat lämpötilat. Lisäksi raja-arvojen asettamiseen vaikuttaa jätevesipuhdistamon puhdistuskapasiteetti. (Vesilaitosyhdistys, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä 2018)

Valtioneuvoston ympäristönsuojelu asetuksen 2014/713 §42 mukaan vesihuoltolaitoksen viemäristöön johdettaville teollisuusjätevesille päästöraja-arvot ja muut raja-arvot määrätään ympäristöluvassa ja ilmoituspäätöksessä, jos jätevesi sisältää asetuksen liite 1 sisältäviä aineita. (Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 2014/713 § 42) Ympäristölupa päätöksessä annettuihin raja-arvoihin vaikuttaa minne päästöt johdetaan ja onko jätevesiä esikäsitelty. Jätevesisopimuksessa raja-arvoja voidaan vielä tiukentaa.

Taulukossa II on esitetty Valtioneuvoston ympäristönsuojelu asetuksen liite 1 sisältävät aineet.

Taulukko II Tärkeimmät pilaantumista aiheuttavat aineet päästöraja-arvoja asetettaessa.
(Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 2014/713)

N:o	Päästöt ilmaan	Päästöt vesiin
1)	Rikin oksidit ja muut rikkiyhdisteet	Orgaaniset halogeeniyhdisteet ja aineet, jotka vesiympäristössä voivat muodostaa sellaisia yhdisteitä
2)	Typenoksidit ja muut typpiyhdisteet	Organofosforiyhdisteet
3)	hiilimonoksidi	Orgaaniset tinayhdisteet
4)	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	Aineet ja valmisteet, joilla osoitetaan olevan karsinogeenisiä, mutageenisia tai lisääntymiseen vaikuttavia ominaisuuksia
5)	Metallit ja niiden yhdisteet	Pysyvät hiilivedyt ja pysyvät sekä biokertyvät myrkylliset orgaaniset aineet
6)	Hiukkaset	Syanidit ja fluoridit
7)	Asbesti, suspendoituneet hiukkaset ja kuidut	Metallit ja sen yhdisteet
8)	Kloori ja sen yhdisteet	Arseeni ja sen yhdisteet
9)	Fluori ja sen yhdisteet	Biosidit ja kasvinsuojeluaineet
10)	Arseeni ja sen yhdisteet	Suspendoituneet aineet
11)	Syanidit	Rehevöitymistä aiheuttavat aineet, erityisesti nitraatit ja fosfaatit
12)	Aineet ja valmisteet, joilla osoitetaan olevan karsinogeenisiä, mutageenisia tai lisääntymiseen vaikuttavia ominaisuuksia	Happitasapainoon epäedullisesti vaikuttavat aineet
13)	Polyklooratut dibentsodioksiinit ja dibentsofuraanit	-

Taulukossa III on esitetty jäteveden haitta-aineiden enimmäispitoisuudet ja puhdistuksen vähimmäistehot, vesistöön johdettaessa. Tiedot ovat peräisin yritys A:n ympäristöluvasta, jonka on myöntänyt aluehallintovirasto.

Taulukko III. (Aluehallintovirasto, 2018)

Päästösuure	Enimmäispitoisuus	Vähimmäisteho
BOD _{7ATU}	100 mg O ₂ /l	70 %
COD _{Cr}	150 mg O ₂ /l	75 %
Kiintoaine	35 mg/l	90 %
Kokonaisfosfori	2 mg/l	80 %
Kokonaistyyppi	15 mg/l	70 %

Taulukossa IV on esitetty jäteveden haitta-aineiden raja-arvo enimmäispitoisuudet viemäristöön esikäsittelyn jälkeen. Tiedot ovat peräisin Yritys B:n ympäristöluvasta, jonka on myöntänyt aluehallintovirasto.

Taulukko IV. (Aluehallintovirasto 2020)

Päästösuure	Enimmäispitoisuus
BOD _{7ATU}	1500 mg/l
COD _{Cr}	600 mg/l
Kokonaistyyppi	250 mg/l
Kokonaisfosfori	40 mg/l
Rasvat	150 mg/l
Kiintoaine	800 mg/l
pH	6–10

Taulukossa V on esitetty yritys C:n haitta-aineiden raja-arvot ja virtausmäärät. Jätevedet eivät saa ylittää kyseisiä arvoja esikäsittelyn jälkeen. Tiedot ovat peräisin yritys C:n ympäristöluvasta, jonka on myöntänyt aluehallintovirasto.

Taulukko V. (Aluehallintovirasto 2018)

Jätevesimäärä	m ³ /kk m ³ /d m ³ /h	12 000 600 25
Biologinen hapenkulutus, BHK ₇	mg/l Tarkkailukerta kg/d Vuosikeskiarvo kg/d	2 000 350 200
Kokonaisfosfori	mg/l kg/d	20 4
Kokonaistyppe	mg/l kg/d	300 30
Kiintoaine	mg/l kg/d	2 000 200
Rasva	mg/l kg/d	50 5
Lämpötila	°C	40
pH	Maksimi Minimi	10 5,5

Taulukossa VI on esitetty yritys D:n meijeri toiminnan jäteveden raja-arvot. Ne eroavat merkittävästi yritys B:lle ja yritys C:lle asetetuista raja-arvoista. Tiedot ovat peräisin yritys D:n ympäristöluvasta.

Taulukko VI. (Aluehallintovirasto 2015)

Rasvapitoisuus	400 mg/l
Kiintoaine	900 mg/l

4 Vedenkäsittely

Jätevedenkäsittely on tarpeellista, jos yritys ei onnistu pääsemään annettuihin raja-arvoihin tai rajoituksiin, jotka ovat annettu ympäristöluvassa tai jätevesisopimuksessa. Annetut

päästörajoitukset voivat koskea jäteveden laatua tai sen määrää. Esikäsittelyn tarve riippuu päästörajoituksista, mutta teollisuusjätevesissä esikäsittely on tarpeellista, jos jätevesi sisältää suuria kuormia tai konsentraatioita orgaanista ainesta (BOD, COD), typpeä, fosforia, kiintoaineita, rasvoja ja öljyjä. Käsittelyä vaatii myös ne jätevedet, joissa on joko alhainen tai korkea pH-arvo, korkea lämpötila tai suurta vaihtelua jäteveden kuormituksessa tai virtausnopeudessa. Jäteveden jälkikäsittelyä tarvitaan, jos ympäristöluvassa annettuihin pitoisuuksiin ei päästä biologis-kemiallisessa osassa. Jälkikäsittelyssä voidaan myös parantaa tarvittaessa lähtevän jäteveden hygieenisiä ominaisuuksia. Jos jätevesi sisältää haitta-aineita tai myrkyllisiä aineita, joita ei voida esikäsitellä riittävästi paikan päällä, pitää jätevesi ohjata sopivalle jätevedenpuhdistamolle. Myrkylliset haitta-aineet pitää aina kerätä erikseen ja siirtää puhdistamolle, joka on tarkoitettu myrkyllisten aineiden käsittelylle. (AFRY Finland Oy, 2020)

Typen poistossa voidaan käyttää kaksivaiheista biologista typenpoisto menetelmää, nitrifikaatio-denitrifikaatio. Jätevedessä orgaaniseen ainekseen sitoutunut typpi hajoaa ammonium-ioniksi hydrolyysireaktion vaikutuksesta. Tämän jälkeen menetelmän ensimmäisessä vaiheessa nitrifikaatiobakteerit reagoivat ammonium-ionien kanssa ja hapettavat typen muodon nitriitiksi ja siitä nitraatiksi. Nitrifikaatiobakteerien kasvuun vaikuttaa ammoniumionit ja happi. Koska hapella on suuri vaikutus nitrifikaatiovaiheen tehokkuudelle, prosessi tapahtuu ilmastusaltaassa, jossa voidaan pitää nitrifikaatiobakteereille happipitoisuudet sopivalla tasolla. Prosessitehokkuuteen vaikuttavat altaan koko, lieteikä, alkaliteetti, pH-arvo ja lämpötila. Prosessin nopeus ja typenpoisto vaikeutuu lämpötilan laskiessa alle 12 °C. Nitrifikaatiota käyttää noin 18 % Suomen puhdistamoista (Suomen vesilaitosyhdistys ry 2016). Toisessa vaiheessa denitrifikaatio bakteerit pelkistävät ensimmäisessä vaiheessa syntyneet nitraatti-ionit typpikaasuksi hapettomissa olosuhteissa. Toinen vaihe vaatii anoksisen altaan, jotta bakteerit käyttävät nitraatin sisältämän hapen, eikä ilmassa olevaa happea. Denitrifikaatio vaiheen jälkeen jatkamalla typen poistoa aktiivilietemenetelmällä, voidaan päästä 90 % typenpoistoon. (Laitinen, Nieminen et al. 2014)

Fosforinpoistossa yleisin menetelmä Suomessa on kemiallinen saostus, ja sitä käyttää 97 % kaikista puhdistamoista ja 98 % kokonaisvirtaamasta (Suomen vesilaitosyhdistys ry 2016).

Fosforia voidaan poistaa jätevedestä esi-, rinnakkais- tai jälkikäsittelevä vaiheessa. Kemiallisessa saostuksessa käytetään rautapohjaista kemikaalia, joka voidaan lisätä tulevaan jäteveeseen ennen tai jälkeen ilmastusallasta. (Laitinen, Nieminen et al. 2014) Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla jälkisaostuksessa on käytetty kemikaalina ferrisulfaattia ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_2$). Jälkisaostuksessa prosessin täytyy olla toimiva, sillä prosessin tehokkuus määrittelee fosforin pitoisuuden päästöissä, joten fosforin pitoisuus on hyvä saostaa pieneksi. Jälkisaostus voidaan suorittaa yksivaiheisena, mutta puhdistustulosten varmistamiseksi ja käyttövarmuutta lisäten, prosessi voidaan suorittaa kahdessa tai kolmessa vaiheessa. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut - kuntayhtymä 2015)

Taulukossa VII esitetään valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä liite A:n taulukon 2 esittämät vähimmäisvaatimukset ravinteiden poistolle jäteveden käsittelyssä. Kokonaisfosforilla ja -tyyppä tarkoitetaan kaikkia mahdollisia kemiallisia yhdisteitä, jossa ainetta on.

Taulukko VII. (Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 888/2006)

Muuttuja	Pitoisuus	Poistoteho vähintään	Määritysmenetelmä
Kokonaisfosfori	3 mg/l (alle 2 000 avl) 2 mg/l (2 000–100 000 avl) 1 mg/l (yli 100 000 avl)	80 %	Molekyyliabsorptiospektrofotometria
Kokonaistyyppi	15 mg/l (10 000–100 000 avl) 10 mg/l (yli 100 000 avl)	70 %	Molekyyliabsorptiospektrofotometria

Orgaanisen aineen käsittelyssä voidaan käyttää biologis-kemiallista käsittelyä. Suomessa yleisin käytetty menetelmä on aktiivilietemenetelmä. Suomessa aktiivilietemenetelmää käyttää

94 % puhdistamoista. Muita käytössä olevia biologis-kemiallisia prosesseja, ovat biologinen suodatin, bioroottori ja biosuodin. (Suomen vesilaitosyhdistys ry 2016) Aktiivilietemenetelmällä poistetaan orgaanista ainesta, typpeä ja fosforia. Menetelmän yksikköprosessit koostuvat ilmastuksesta, fosforin rinnakkaissaostuksesta ja jälkiselkeytyksestä. (Laitinen, Nieminen et al. 2014)

Aktiivilietemenetelmä on jatkuva, biologinen prosessi, joka toteutetaan aerobisissa olosuhteissa. Prosessi tuottaa korkealaatuista jätevettä ja sille on tunnusomaista mikro-organismien suspensio, jotka ovat suhteellisen homogeenisessa tilassa jäteveden kanssa ilmastusjärjestelmän aiheuttaman sekoittumisen ansiosta. Jäteveden ja mikro-organismien seosta kutsutaan sekalipeäksi. Pohjimmiltaan mikro-organismit hapettavat liukoiset ja suspendoituneet orgaaniset yhdisteet hiilidioksidiksi ja vedeksi hapen ansiosta. Osa orgaanisesta aineesta syntetisoituu uusiksi soluiksi tai käytetään jo olemassa olevien solujen kasvamisen tukemiseen. Käsittelyprosessi sisältää alustavan ja usein ensisijaisen käsittelyn ennen ilmastusallasta. (Corbitt 1989, s. 6.99) Jätevesipuhdistamoilla usein ilmastusaltaassa suoritetaan myös samalla nitrifikaatio, jossa nitrifikaatiobakteerit typpi muutetaan nitraatti muotoon. Seuraavassa vaiheessa jätevesi johdetaan anoksiseen altaaseen, jossa nitraatti reagoi denitrifikaatiobakteerien vaikutuksesta typpikaasuksi. Viimeisessä vaiheessa jätevesi johdetaan anaerobiseen altaaseen, jossa tehdään fosforin kemiallinen saostus. (Laitinen, Nieminen et al. 2014)

Taulukossa VIII on esitetty Valtioneuvoston yhdyskuntajätevesi asetuksen liite A taulukon 1 sisältämät vaatimukset.

Taulukko VIII Jätevesien biologisen käsittelyn vähimmäisvaatimukset. (Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 888/2006)

Muuttuja	Pitoisuus	Poistoteho vähintään	Määrittymenetelmä
Biologinen hapen kulutus (BHK ₇ 20 °C:ssä ilman nitrifikaatiota)	30 mg/l O ₂	70 %	Homogenoitu, suodattamaton, selkeyttämätön näyte. Liuenneen hapen määrittäminen ennen ja jälkeen 7 vuorokauden inkubointia 20°C ± 1° C:ssa pimeässä. Nitrifikaation estoaineen lisäys.
Kemiallinen hapen kulutus	125 mg/l O ₂	75 %	Homogenoitu, suodattamaton, selkeyttämätön näyte. Kaliumdikromaatti hapettimena.
Kiintoaine	35 mg/l	90 %	Edustavan näytteen suodatus 0,45 mikrometrin suodatuskalvolla. Kuivaus 105°C:ssa ja punnitus.

MBBR-prosessi eli biologinen kantoaineprosessin ideana on ottaa käyttöön aktiivilietemenetelmän ja biosuodatinprosessin parhaimmat puolet ilman näiden prosessien huonoja puolia. Toisin kuin monet muut biofilmireaktorit, prosessi hyödyntää koko altaan kapasiteetin biomassan kasvatukseen, kuten aktiivilietemenetelmä. Prosessi eroaa aktiivilietemenetelmästä siinä, että prosessi ei tarvitse lietekiertoa, kuten monissa muissa biofilmireaktoreissa. Tämä onnistuu, sillä MBBR-prosessialtaan vedessä leijuu vapaana monia pieniä muovisia kantoainekappaleita, joiden ympärille biomassaa kasvaa. Prosessi soveltuu parhaiten ravinteiden ja orgaanisen aineksen käsittelyyn, ja prosessia voidaan käyttää varsinkin

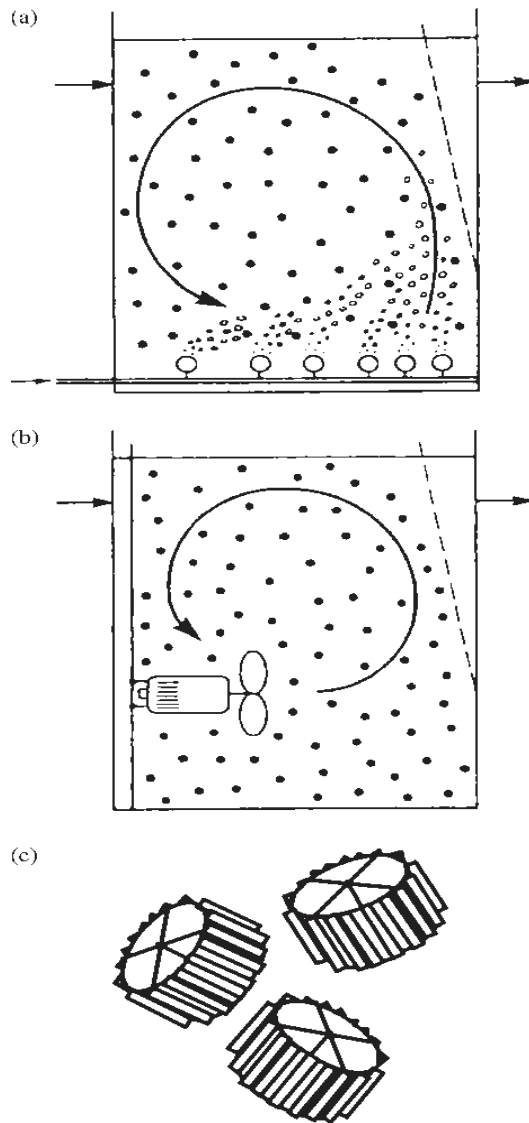
elintarviketeollisuuden jätevesien käsittelyyn. (Odegaard 2006) Suomen puhdistamoilla on tällä hetkellä muutamia täysmittaisia toteutuksia ja maailmalla on satoja. Suomessa menetelmää eniten käytetään jäteveden jälkikäsittelyä, jotta voidaan parantaa orgaanisten ja ravinneaineiden pitoisuuksia. (Suomen vesilaitosyhdistys ry 2016)

Alkuperäiset ja myös eniten käytetyt kantoainekappaleet on valmistettu korkeatiheyksisestä polyeteenistä, jotka ovat pienen sylinterin muotoisia, ja sylinterin sisällä on risti ja ulkopuolella on eviä. Kantoainekappaleet pidetään reaktorin sisällä seulan avulla reaktorin ulostulossa. (Odegaard 2006) MBBR-prosessiallas täytetään noin 67 % altaan tilavuudesta kantoainekappaleilla. Jos käytetään K1- mallia ja jos käytetään K2-mallia, suositellaan että altaan tilavuudesta käytetään alle 70 %. Prosessissa voidaan käyttää vähemmän kappaleita, mikäli se on arvioitu riittävän käsittelyyn. (HEINESS, ØDEGAARD 2001)

Biologisella kantoaineprosessilla on huomattava etu, sillä vain ylimääräinen biomassa on erotettava, kun taas aktiivilietemenetelmässä tämä ratkaistaan lietekierrolla. Reaktoria voidaan käyttää aerobisiin, anoksiisiin tai anaerobisiin prosesseihin. Aerobisissa prosesseissa kantoainekappaleiden liikehdintä perustuu ilman aiheuttamaan agitaatioon, kun taas anoksisissa tai anaerobisissa prosesseissa liikehdinnän aiheuttaa erillinen potkuri altaassa. Kantoaineprosessia voidaan käyttää moneen eri käyttötarkoitukseen, mutta alun perin prosessin suurin käyttötarkoitus oli typenpoisto, kun aihe oli suuri kiinnostuksen kohde vedenkäsittelyssä. Prosessia voidaan käyttää BOD- ja COD-aineen poistoon, nitrifikaatioon tai typenpoistoon. Prosessia voidaan myös hyödyntää esikäsittelyä tai jälkikäsittelyä esimerkiksi aktiivilieteprosessille. Jos prosessia käytetään esi- tai jälkikäsittelyä, sitä hyödynnetään nitrifikaationa tai denitrifikaationa. (Odegaard 2006) Tarvittaessa fosforia voidaan poistaa lisäämällä jälkikäsittelyyn kemikaalien lisäyksen ja flokkuloinnin. Asettamalla monta MBBR-allasta peräkkäin voidaan toteuttaa biologinen fosforinpoisto. (HEINESS, ØDEGAARD 2001)

Prosessissa biofilmiin sisään tulevien ja ulos menevien yhdisteiden diffuusiolla ja biofilmin paksuudella on suuri merkitys. Sopiva biofilmi on ohut ja tasaisesti levittäytynyt

kantoainekappaleiden pintojen ympärille, koska substraatin tunkeutumiskyvykyys on tyypillisesti alle 100 μm . (Odegaard 2006)



Kuva 1

a) Aerobinen MBBR-prosessi. b) Anaerobinen MBBR-prosessi. c) K1-mallinen kantoainekappale.

(Odegaard 2006)

5 Haitta-aineiden seuranta

Ympäristösuojelulain 168§:n mukaan alueelle on tehtävä valvontasuunnitelma, jonka valtion viranomaisen ja kunnan ympäristönsuojeluviranomaisen laativat. Valvontasuunnitelma sisältää tiedot kyseisen alueen ympäristöstä ja toiminnan harjoittamisesta syntyvistä vaaroista, suunnitelman tulee myös sisältää tiedot valvonnan keinoista ja voimavaroista. Valvonnan toteuttamisesta pitää olla myös kuvaus ja perusteet riskinarvioinnista. Laadittu suunnitelma pitää tarkastaa määräajoin. (Ympäristönsuojelulaki 2014/527 § 168)

Valtion viranomaisen ja kunnan ympäristösuojeluviranomaisen laativat myös valvontaohjelman. Valvontaohjelma sisältää tiedot ilmoituksenvaraisista, luvanvaraisista ja rekisteröitävien toimintojen määräaikaistarkastuksista ja niiden muusta säännöllisestä valvonnasta. Ohjelman on sisällettävä tiedot valvonnan kohteesta ja kohteeseen käytettävistä valvontatoimista ja ohjelma tulee pitää ajan tasalla. (Ympäristönsuojelulaki 2014/527 § 168) Ohjelman täytyy sisältää myös kuvaus edellisen kauden valvontaohjelman tavoitteiden toteutumisesta (Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 2014/713 § 30).

Vesiympäristölle vaaralliset ja haitalliset aineet asetuksen liitteessä 3 on esitetty vaatimukset analyysimenetelmille ja tulosten tulkinnalle. Asetus määrää tarkkailutiheydet myös asetuksen liitteissä esitetyille aineille. (Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 2014/713)

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista liite 3

Taulukko IX 2006/1022 liite 3:sta. (Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista 2006/1022)

	Analyysimenetelmiä ja tulosten tulkintaa koskevat vaatimukset
1.	Tässä liitteessä tarkoitetaan

a)	mittausepävarmuudella ei-negatiivista muuttujaa, joka kuvaa niiden määrällisten arvojen hajontaa, jotka mittasuurelle on osoitettu käytettyjen tietojen perusteella;
b)	määrittämisrajalla ilmoitettua toteamisrajan monikertaa sellaisella määritettävän yhdisteen pitoisuudella, joka voidaan kohtuullisesti määrittää hyväksyttävällä tarkkuudella ja täsmällisyydellä;
c)	toteamisrajalla ulostulosignaalia tai pitoisuutta, jonka ylittyessä voidaan vahvistaa tietyllä luottamustasolla, että näyte eroaa nollanäytteestä, joka ei sisällä tutkittavaa yhdistettä.
	Edellä b alakohdassa tarkoitettu määrittämisraja voidaan laskea käyttämällä sopivaa normia tai näytettä, ja määrittämisrajaksi voidaan ottaa kalibrointikäyrän alhaisin kalibrointipiste. Tällöin nollanäytettä ei oteta huomioon.
2.	Kaikki analyysimenetelmät, mukaan luettuina laboratorio-, kenttä- ja online-menetelmät, joita käytetään vesienhoidon järjestämisestä annetun lain 9 §:ssä tarkoitetuissa kemiallisen seurannan ohjelmissa, validoidaan ja dokumentoidaan EN ISO/IEC-17025 -standardin tai muiden kansainvälisellä tasolla hyväksytyjen vastaavien standardien mukaisesti.
3.	Pintaveden tarkkailussa ja vesiympäristölle vaarallisten ja haitallisten aineiden pitoisuuden määrittämisessä päästöissä ja huuhtoutumisissa tulee käyttää SFS-, EN- tai ISO- standardien mukaisia menetelmiä tai niitä tarkkuudeltaan ja luotettavuudeltaan vastaavia menetelmiä. Aineen pitoisuus voidaan arvioida myös laskennallisesti, jos edellä tarkoitettuja menetelmiä ei ole käytettävissä.
4.	Kaikkien käytettävien analyysimenetelmien suorituskykyä koskevien vähimmäisvaatimusten perustana on mittausepävarmuus, joka on enintään 50 prosenttia ($k = 2$) arvioituna aineen ympäristölaatu normin tasolla, sekä määrittämisraja, jonka arvo on enintään 30 prosenttia kyseisen ympäristölaatu normin arvosta. Jos tiettyä parametria varten ei ole sopivaa ympäristölaatu normia tai jos käytettävissä ei ole analyysimenetelmää, joka täyttää edellä määritetyt suorituskykyä koskevat vähimmäisvaatimukset, seuranta suoritetaan käyttäen parhaita käytettävissä olevia tekniikoita, joista ei aiheudu kohtuuttomia kustannuksia.
5.	Jos fysikaalis-kemiallisten tai kemiallisten mittaussuureiden määrät tietyssä näytteessä ovat alle määrittämisrajan, käytetään keskiarvojen laskemisessa mittaustuloksena puolta määrittämisrajan arvosta. Jos laskettu keskiarvo edellä tarkoitetuista mittaustuloksista on alle määrittämisrajan, arvon ilmoitetaan olevan alle määrittämisrajan. Tulokset, jotka jäävät alle yksittäisten aineiden määrittämisrajan, merkitään kuitenkin nollassa niissä tapauksissa, joissa mittaussuureet ovat tietyn fysikaalis-kemiallisten parametrien tai kemiallisten mittasuureiden ryhmän kokonaissummaa, mukaan luettuina niiden aineenvaihduntatuotteet ja hajoamis- ja muuntumistuotteet.

a)	Jos laskettuun keskiarvoon, joka on saatu käyttämällä parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa, josta ei aiheudu kohtuuttomia kustannuksia, viitataan 5 kohdan nojalla maininnalla ”alle määrittäjärajan”, ja tämän tekniikan mukainen määrittäjäraja on korkeampi kuin ympäristölaatuvaatimus, mitattavan aineen osalta saatua tulosta ei oteta huomioon.
6.	Laboratoriot tai niiden alihankkijat osoittavat pätevyytensä fysikaalis-kemiallisten tai kemiallisten mittaussuureiden analysoinnissa seuraavin tavoin:
a)	osallistumalla pätevyyden testausohjelmaan, joka kattaa 2 kohdassa tarkoitettuja mittaussuureiden analyysimenetelmät pitoisuustasoilla, jotka ovat edustavia vesienhoidon järjestämisestä annetun lain 9 §:n mukaisesti toteutettujen kemiallisten seurantaohjelmien suhteen; ja
b)	analysoimalla käytettävissä olevia vertailumateriaaleja, jotka ovat edustavia sellaisten kerättyjen näytteiden suhteen, jotka sisältävät asianmukaisia pitoisuustasoja suhteessa 4 kohdassa tarkoitettuihin ympäristölaatuvaatimuihin. Edellä a alakohdassa tarkoitettuja pätevyyden testausohjelmia saavat järjestää akkreditoidut organisaatiot tai kansainvälisesti tai kansallisesti tunnustetut organisaatiot, jotka täyttävät ISO/IEC guide 43–1 -julkaisun tai muiden kansainvälisellä tasolla hyväksytyjen vastaavien standardien vaatimukset. Tulokset, jotka saadaan osallistumisesta näihin ohjelmiin, arvioidaan ISO/IEC guide 43–1 -julkaisussa, ISO-13528 -standardissa taikka muissa kansainvälisellä tasolla hyväksytyissä vastaavissa standardeissa esitettyjen arviointijärjestelmien perusteella.

Velvoitetarkkailussa vaaditaan, että jätevesipuhdistamolla mitataan tulevasta ja lähtevästä jätevedestä pH, BOD, COD, kiintoaine, alkaliteetti, sähkönjohtavuus, kokonaisfosfori ja kokonaistyyppi. Kokonaisfosforin ja -typen lisäksi käsitellystä jätevedestä pitää mitata liukoinen fosfori ja ammoniumtyppi. Lisäksi jos puhdistamolle on erikseen määrätty typenpoistovaatimus, pitää nitraatti- ja nitriittityypipitoisuus mitata. Myös jäteveden saostuksessa käytetyn kemikaalin pitoisuus lähtevästä jätevedestä on mitattava. (YLVA-OHJE JÄTEVEDENPUHDISTAMOIDEN TOIMINNAN HARJOITTAJILLE, 2020)

Puhdistamoille tulevien ja lähtevien päästöjen tiedot viedään ympäristöhallinnon YLVA-tietojärjestelmään. Järjestelmään tallennetaan velvoitetarkkailussa tarvittavat tiedot ja erikseen vaaditut tiedot. YLVA:an on ilmoitettava, jos jätettä viedään puhdistamolta muualle käsiteltäväksi tai hyödynnettäväksi, kuten esimerkiksi kompostointiin tai mädätykseen. Tietojärjestelmästä löytyy EWC-koodit kuvailemaan eri jätteitä, ja tarvittaessa koodin loppuun

sijoitetaan tietty kirjain, joka kertoo jätteen käsittely tilanteesta. (YLVA-OHJE JÄTEVEDENPUHDISTAMOIDEN TOIMINNANHARJOITTAJILLE, 2020)

Taulukossa X esitetään näytteiden sallittu määrä, jotka eivät täytä taulukon VIII lueteltuja puhdistusteho kriteerejä orgaanisten aineiden (BOD, COD) ja kiintoaineiden suhteen biologisessa käsittelyssä.

Taulukko X 888/2006 liite B kohta 4. (Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä, 888/2006)

Kunakin vuonna otettujen näytteiden lukumäärä (kpl)	Sallittu enimmäismäärä näytteitä, jotka eivät täytä raja-arvoja
4-7	1
8-16	2
17-28	3
29-40	4
41-53	5
54-67	6
68-81	7
82-95	8
96-110	9
111-125	10
126-140	11
141-155	12
156-171	13
172-187	14
188-203	15
204-219	16
220-235	17
236-251	18
252-268	19
269-284	20
285-300	21
301-317	22
318-334	23
335-350	24
351-365	25

5.1 Päästöjen tiedottaminen

Jätevesipuhdistamoiden pitää ilmoittaa tarvittavat tiedot päästöistä, jotka johdetaan vesistöihin. Vesistöön johdettaessa pitää myös ilmoittaa puhdistamon viikkovirtaama (m^3/vk) ja kokonaiskuormitus vesistöön (kg/lupajakson pituus). Muita virtaustietoja mitä lisäksi vaaditaan ovat johtamisvuorokaudet ja jaksovirtaama. Johtamisvuorokaudet tarkoittavat lupajakson vuorokausien määrää ja jaksovirtaamassa huomioidaan virtaaman tilavuus vesistöön jakson aikana. Jaksovirtaamaa ilmoitettaessa on otettava huomioon, jos puhdistamolla on suoritettu ohituksia tai jos verkostossa on tapahtunut ylivuotoja. Päästöosiossa ilmoitetaan vesistöön kohdistunut kokonaiskuormitus lupajakson aikana. Kokonaiskuormituksessa pitää myös ottaa huomioon ohitusten ja ylivuotojen määrät, kun ilmoitetaan kiintoaineen, ammoniumtyypen, CODdikromaatin, BOD₇ATU:n, kokonaisfoforin ja -tyypen kuormitus määrät. Puhdistamot ilmoittavat vielä vesistöpäästöihin liittyen jätevesikäsitelyssä päästyyn keskimääräiseen puhdistusprosenttiin lupajakson aikana. (YLVA-OHJE JÄTEVEDENPUHDISTAMOIDEN TOIMINNANHARJOITTAJILLE, 2020)

Toiminnanharjoittajan tulee myös täyttää vesistöön johdettavien päästöjen lisäparametrit, jos jätevesien laatu täyttää kriteerit. Lisäparametrit täytyy ilmoittaa, jos jätevesi sisältää vesiympäristölle vaaralliseksi ja haitallisiksi yksilöityjä aineita, jotka ovat esitetty vesiputedirektiivissä ja valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (2006/1022) liitteessä 1 kohdassa C1. Liitteessä 1 kohdassa D esitetään myös vesiympäristölle vaaralliset ja haitalliset aineet, jotka ovat määriteltä kansallisessa menettelyssä. Asetuksessa ilmoitetaan myös ympäristölaatonormit liitteessä kyseisille aineille 1 kohdassa C2. Lisäparametreihin on myös lisättävä kuormitustiedot E-PRTR-asetuksen aineista, jos näitä tietoja ei ole ilmoitettu laskentajaksoittain. E-PRTR-asetuksen liitteessä II on taulukko näistä haittayhdisteistä ja -aineista, joista täytyy ilmoittaa. Taulukko sisältää kokonaistypen ja -fosforin, joita ei tarvitse lisäparametreihin ilmoittaa, sillä nämä

kuormitusmäärät ilmoitetaan laskentajaksoittain. (YLVA-OHJE
JÄTEVEDENPUHDISTAMOIDEN TOIMINNAN HARJOITTAJILLE, 2020)

5.2 Vesistönäytteet

Vesistöihin näytteenotossa näytteitä otetaan pintavesistä, pohjavesistä ja kaloista. Kalanäytteenotolle ovat tietyt kalalajit, joista tutkitaan haitallisten ja vaarallisten aineiden pitoisuuksia. Suomessa sisävesillä ja rannikoilla seurataan ja verrataan ahvenen laatunormeja analyyseissa, ja avomerellä seurantalajina on silakka. Pintavedelle, pohjavedelle, silakalle ja ahvenelle on määritelty ympäristölaatu normit valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista haitallisista aineista liitteen 1 kohdan C2 taulukossa. (Kangas 2018)

Kun kalanäytteitä analysoidaan, kalanäyte preparoidaan. Ennen preparointia pyydystetyt kalanäytteet ovat säilytettynä pakastimessa -70 °C lämpötilassa, mutta korkeintaan -25 °C lämpötilassa. Ennen preparointia kalanäyte otetaan pois pakastimesta ja annetaan sulaa noin vuorokauden verran. Preparoinnissa kala avataan vetämällä viilto peräaukosta leukaan. Kalanäytteestä kirjataan ylös kalan ikä, sukupuoli, pituus ja paino. Kalan ikämääritystä varten näytteestä otetaan erilliset näytteet kiduskannesta ja otoliitit. Paino punnitaan 0,1 gramman tarkkuudella ja pituus mitataan 0,5 cm tarkkuudella. Orgaanisiin analyyseihin tarvitaan noin 20 grammaa näytettä. Kun pyritään selvittämään orgaanisten aineiden osuus kalanäytteissä, kerätään kokoomanäyte, joka on 20–30 kala yksilöä, kalojen koon mukaan. Jos pyydystettyjen kalojen koko on pieni, tarvitaan kaloja enemmän. Kalanäytteitä analysoitaessa, jokainen näyteyksilö otetaan huomioon ja niistä lasketaan orgaanisten aineiden keskimääräinen pitoisuus. Testin tuloksien varmistamiseksi kokoomanäytteitä kerätään 2–3 kappaletta. (Kangas 2018)

Pohjavesistä näytettä ottaessa on otettava huomioon vesistön pohjan rakenne ja näytteen ottoon on saatava lupa alueen omistajalta. Näytteitä kerätään myös mm. pohjavesikaivoista ja lähteistä. Pohjavesinäytteitä otetaan siihen tarkoitetuilla havaintoputkilla, jotka sijoitetaan vesistöön

veden alle. Yksittäisen putken halkaisija on noin 52 millimetriä. Ensimmäiseksi näytteet pyritään ottamaan näytteenottopumpulla. (Kangas 2018) Pohjavesiä tulee tarkkailla 1–4 kertaa vuoden aikana. Pohjavesinäytteiden määrään vuoden aikana vaikuttaa vesistön merkitys, päästöjen laatu vesistöön johdattaessa ja vesistön syvyys. Määrään myös vaikuttaa otettujen näytteiden tulokset. Jatkuvien tulosten perusteella näytteenottojen määrää voidaan vähentää tai lisätä. Tähän päätökseen kuitenkin tarvitaan muutaman vuoden edestä tuloksia, jotta voidaan perustella tarkkailutiheyden vähentäminen tai lisääminen. (Vuoristo, Gustafsson et al. 2010)

Pintavesistö näytteen syvyyteen vaikuttaa mistä vesistöstä näyte otetaan. Eri vesistötyypeille on olemassa suositellut näytteenottosyvyydet. Pintanäytettä otettaessa järvestä suositellaan, että näytesyvyys olisi yhden metrin pinnan alla. Rannikkovesi näytteissä on suositeltu näyte otettavan yksi metri pohjasta ja yksi metri pinnan alapuolelta. Jos näytteessä haitta-aineiden pitoisuus ylittää ympäristölaatunormin, on tällöin otettava ylimääräinen näyte keskisyvyydestä, jotta voidaan varmistaa näytteen oikea analyysi. Keskisyvyys näytettä myös suositellaan järvistä otettaville näytteille, jos ensimmäinen näyte on ylittänyt ympäristölaatunormin. Joesta otettaville näytteille, suositeltava syvyys on yksi metri pinnasta. Vesistöinäytteissä käytetään SFS-käsikirja 147:2010 Veden laatu. Osa 1: Näytteenottomenetelmät standardikokoelmaa. Kuitenkin näytteenottomenetelmistä voidaan antaa tarkemmat ohjeet näytteenotosta. Pintavesinäytteitä voidaan ottaa pullonoutimella, joka vähentää näytteen likaantumisen riskiä, sillä pullonoudin sijoittaa analysoitavan näytteen heti näytepulloon. Näytteiden lisäksi vesistöstä otetaan rinnakkaisnäytteitä, joilla voidaan varmistaa näytteen laatu ja puhtaus. (Kangas 2018)

6 Fosforin talteenotto

Mineraalifosforivarantojen riittävyys on arvioitu kestävän tämänhetkisellä käytöllä 60–120 vuotta. Suurimmat fosforivarat ovat Marokossa ja sitten Kiinassa. Suomen puhdistamoille päätyy noin 4000 tonnia fosforia vuoden aikana. (Kangas, Vesiyhdistys et al. 2019) Fosforia on mahdollista ottaa talteen vedenkäsittelyprosessin eri vaiheista. Fosforia voidaan ottaa talteen

käsittelystä lähtevästä vedestä, käsittelyn aikana, rejektivesistä, kuivatusta lietteestä ja poltetun lietteen tuhkasta. Tosin Suomen lainsäädäntö kieltää lietteen tuhkan käyttöä suoraan lannoitekäyttöön. Lähtevästä jätevedestä kuitenkin fosforia ei oteta talteen, sillä se ei olisi kannattavaa, koska on arvioitu, että fosforin pitoisuus lähtevässä vedessä on liian alhainen. Jäteveden lietteestä poistetaan fosforia yli 95 % Suomessa. Fosforia sisältävän lietteen suurimmat käyttökohteet Suomessa on viherrakentaminen ja maatalous. Suomen hallituksella on tavoitteena, että vähintään 50 % lannoitteista tulisi ravinteiden talteenotosta vuoteen 2025 mennessä. (Berninger, Pihl et al. 2017)

Suurin osa Suomen puhdistamoista käyttää kemiallista saostusta, joko raudalla tai alumiinilla. Fosforia voidaan myös poistaa biologisella poistolla, mutta Suomessa tätä menetelmää käyttää vain muutama puhdistamo. Kemiallisesti saostamalla talteenotettu fosfori on huonompi ravinnekehde kasveille kuin biologisesti käsitelty tämä johtuu siitä, että saostettu fosfori on kiinnittynyt metalliyhdisteisiin. Suurin fosforipitoisuus saostetussa yhdisteessä, jota käytetään lannoitteessa, on monoammoniumfosfaatti ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$). Yhdisteen mitattu fosfori pitoisuus on 21–24 % ja teoreettinen fosfori pitoisuus puhtaassa tuotteessa on 27 %. (Suomen vesilaitosyhdistys ry 2016)

Suomessa eniten käytetty fosforin kierrätysmenetelmä on lietteen suora lannoitekäyttö ja menetelmän täysmittaisia toteutuksia on Suomessa satoja. Fosforia itsessään ei eroteta lietteestä, vaan puhdistamoilla syntynyt liete käsitellään ja hygienisoidaan. Liete voidaan käsitellä kompostoinnilla, kemiallisella käsittelyllä, termisellä kuivauksella ja termofiilisellä mädätyksellä. (Suomen vesilaitosyhdistys ry 2016) Menetelmän huonoja puolia ovat lietteen muut sisältämät haitta-aineet, jotka siirtyvät lannoitteeseen ja kemiallisesti saostetun fosforin ravinnekäytettävyyden. Ainoastaan noin 10 % saostetusta fosforista pääsee kasvien käyttöön. Lietekäsittelyn tehtävänä on poistaa haitta-aineet, mutta kuitenkin käsittelymenetelmät eivät onnistu poistamaan kaikkia haitta-aineita. (Berninger, Pihl et al. 2017)

Termofiilisessä mädätyksessä liete suljetaan anoksiseen reaktoriin, joka on 50–55 °C lämpötilassa. Mädätyksessä bakteerit tuhoavat orgaaniset aineet käyttämällä niitä ravinnokeksi,

josta syntyy biokaasuja. Termofiilisen mädätyksen jälkeen liete kuivataan, jolloin lietettä voidaan lain puitteissa käyttää lannoitteena. Kuivatus suoritetaan tyypillisesti mekaanisesti. Suomessa kuitenkin mesofiilinen mädätys on paljon käytetympi menetelmä lietteen käsittelyssä. Mesofiilinen mädätys tarvitsee kuitenkin erillisen hygienisoinnin, jotta lietettä voidaan hyötykäyttää sen sijaan termofiilinen mädätys hygienisoi lietteen riittävän hyvin, eikä lietettä tarvitse enää käsitellä. Korkeamman lämpötilan vaikutuksesta myös termofiilinen prosessi kestää lyhyemmän ajan ja tuottaa enemmän biokaasuja. (Kangas, Lund et al. 2011)

Lietteen kemiallisiin käsittelyihin kuuluu kalkkistabilointi. Prosessissa lietteeseen lisätään kalkkia ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), joka nostaa lietteen pH-arvon 11:sta tai emäksisemmäksi. Prosessi stabiloi lietteen ja tappaa patogeeneja, mutta ei tuhoa orgaanisia aineita vaan prosessi pysäyttää bakteerien toiminnan. Kalkkistabilointi tarvitsee enemmän kalkkia kuin kunnostus prosessi, jossa parannetaan lietteen vedenpoisto-ominaisuuksia. Lopulta fosforin määrä määrittelee, kuinka suuren määrän kalkkia tarvitaan stabiloimaan lietteen. Kalkkistabilointi on yksivaiheinen ja helposti hallittava prosessi, jonka lopputuote kelpaa maanparannusaineksi. (Corbitt, 1989)

Lietteen loppukäsittelyssä kompostoinnin tarkoitus on poistaa orgaanista ainesta lietteestä. Käsittely tapahtuu aerobisissa olosuhteissa, jossa bakteerit käyttävät orgaanista ainetta ravinnokseen. Tyypillisesti kompostointi toteutetaan aumoissa ja käsittely voidaan tehdä vaiheissa. Kompostointi on aerobinen prosessi, jonka on tarkoitus stabiloida liete vähentämällä orgaanisten aineiden pitoisuuksia, ravinteiden talteenotto ja patogeenejen eliminointi. (Suomen vesilaitosyhdistys ry, 2016) Kompostoinnille on monta erilaista menetelmää, kuten tunneli-, rumpu-, torni- ja membraanikompostointi (Pöyry Environment Oy 2007). Peräkkäiset vaiheet, jotka liittyvät kompostointiin ovat valmistelu, mädätys, kovettuminen ja viimeistely. Pilkkoutumisvaihe kestää muutamia päiviä tai viikkoja, jonka jälkeen voidaan edetä seuraavaan vaiheeseen. Eksotermista reaktiota voidaan kasvattaa sekoittamalla kompostia, jotta orgaanista ainetta tuhoavat bakteerit saavat lisää happea. Kovettuminen seuraavana vaiheena kestää muutaman viikon hajoamisnopeuden laskiessa. Viimeisessä vaiheessa komposti viimeistellään, jossa kiinteät jakeet poistetaan kompostoidusta lietteestä. (Corbitt 1989)

Käytettävä fosforin talteenottomenetelmä riippuu mistä vaiheesta jätevesiliete otetaan. Jos liete otetaan mädätyksen tai kuivauksen jälkeen, niin tähän tilanteeseen soveltuisi pyrolyysi, Airprex tai Mephrec menetelmät. Pyrolyysissä liete sijoitetaan reaktoriin, jossa reaktori kuumennetaan 450–650 °C lämpötilaan hapettomissa olosuhteissa. Liete kuivuu ja orgaaniset aineet muuttuvat pyrolyysireaktion vaikutuksesta pyrolyysikaasuksi, -höyryksi ja -hiiliksi. Tehtyjen kokeiden perusteella jätevesilietteen prosessiaika on 15–30 minuuttia, mutta prosessiin käytettävä aika myös määrittää lietteen hiiltemisasteen. Menetelmän yleisin tavoite on pyrolyysihiilen tuottaminen, johon fosfori päätyy. Pyrolyysihiiltä voidaan käyttää maanparannusaineena, polttoaineena ja suodatusmateriaalina. (Pöyry Finland Oy 2019)

Suomessa fosfori kulkee lietteen mukana, eikä itse fosforin talteenottomenetelmiä käytetä jätevesipuhdistamoilla. Suurin osa maailmassa olevista talteenottomenetelmistä soveltuu fosforin biologiselle prosessille ja huomattava enemmistö Suomen puhdistamoista käyttää kemiallista saostamista fosforin poistossa. Fosforin talteenotto jätevesipuhdistamoilla vaatisi prosessi ja infrastruktuuri muutoksia puhdistamoilla, jotta talteenottoa voisi toteuttaa monipuolisemmin. (Suomen vesilaitosyhdistys ry 2016)

7 Typen talteenotto

Typen talteenotosta ei puhuta yhtä paljon kuin fosforin talteenotosta, mutta typen myös kierrätyksellä olisi myös paljon merkitystä. Typpeä käytetään moniin eri prosesseihin ja eri teollisuuden aloilla. Typen määrä ei ole kriittisessä tilassa maapallolla, sillä ilmakehä sisältää valtavia määriä typpeä kaasuna. Typen kierrätyskäytön tehokkuus on 80 %. Talteen otettu typpi, jota ei hyödynnetä, menee hukkaan sivuvirtoina, energiankäyttönä ja ravinne päästönä (Kangas, Vesiyhdistys et al. 2019). Typen talteenotto jätevesistä ei ole puhuttu aihe kuin fosforin talteenotto. Tämä johtuu siitä, että typpi aineena ei ole talteenoton suurin motiivi, sillä typpeä saamme suoraan kerättyä maapallon ilmakehästä. Suurimpina motiiveina talteenotossa on

puhdistamoiden energiakulutuksen vähentäminen ja typpipäästöjen pienentäminen luontoon. Energiahävikkiä syntyy puhdistamoilla tapahtuvassa typen sisäisessä kierrossa (Gasum Biovakka Oy, 2016) ja energiaa kuluu huomattavia määriä myös tällä hetkellä käytössä olevissa typenpoistoprosesseissa (Suomen vesilaitosyhdistys ry 2016).

Typen talteenottoa toteutetaan Suomessa tällä hetkellä Haber-Bosch menetelmällä, joka vaatii paljon energiaa typen tuottamiseen. Typpeä saadaan myös erottamalla sitä vedestä elektrolyysin avulla. Näitä typpivirtoja käytetään esimerkiksi teollisuudessa ja maaparannusaineissa. (Suomen vesilaitosyhdistys ry 2016) Haber-Bosch menetelmä kuluttaa noin 10 kilowattituntia(kWh) yhtä tuotettua typpi kilogrammaa kohti, jonka on arvioitu käyttävän noin 2 % koko maailman energiankulutuksesta (Kangas, Vesiyhdistys et al. 2019).

Typpeä voidaan kerätä strippaus menetelmällä, joka myös soveltuu typenpoistoon ja on helppo ja edullinen prosessi. Prosessissa jäteveden sisältämä ammoniumtyppi stripataan ammoniakiksi. Strippauksessa pH-arvoa nostetaan, nestefaasia lämmitetään, josta se johdetaan strippaustorniin ja sitten ammoniumtyppi stripataan nestefaasista kaasufaasiin ammoniakkinä. (Xiang, Liu et al. 2020) Prosessin tehokkuuteen vaikuttaa myös ilmavirran nopeus (Corbitt 1989). Kun olosuhteet ovat oikeat, voidaan teoriassa tpestä saada talteen jopa 60–75 %. Typen talteenottoa rejektivedestä kokeiltiin strippausmenetelmällä ympäristöministeriön RAKI-ohjelmassa, jonka päätoteuttajana toimi Gasum Biovakka Oy. Hankkeessa tutkittiin jätevesitypen talteenottoa ja sen hyödyntämistä kierrätysravinteena Turun biokaasulaitoksella. Tutkimuksessa pH-arvo oli 9,5 ja lämpötila oli noin 80 °C, josta onnistuttiin tuottamaan 2,5–3,0 % ammoniumvettä. Näillä olosuhteilla ja parametreilla typpeä saatiin talteen noin 500 kg päivässä. Kokeessa tuotettu ammoniumvesi oli laadullisesti puhdasta ja tuote soveltuu suoraan lannoitevalmistukseen. (Gasum Biovakka Oy, 2016)

Tämän työn tavoitteena oli selvittää elintarviketeollisuuden jätevesien haitta-aineet ja niiden raja-arvot, kuten myös niille soveltuvia jäteveden käsittelyprosesseja. Lisäksi esiteltiin elintarviketeollisuudelle tyypilliset haitta-aineiden ja niiden vaikutukset ympäristölle, viemäristölle, puhdistamoille ja miten niitä käsitellään. Työ oli kirjallisuuskatsaus.

Haitta-aineisiin kuuluvat orgaaniset aineet (BOD, COD), kiintoaineet, rasvat ja ravinteet. Jäteveden pH-arvojen vaihtelevuus on myös ongelma jätevesissä. Näille raja-arvoille on annettu enimmäispitoisuudet laissa, kuten myös käsittelyn vähimmäisvaatimukset. Ympäristöluvassa päätetään raja-arvot elintarviketeollisuuden toimijoille, jotka voivat olla tiukempia kuin laissa. Jätevesisopimuksessa voidaan vielä näitä arvoja tiukentaa. Näitä arvoja seurataan tiheästi, jotta ylimääräisiä päästöjä ei pääse ympäristöön tai viemäristöön. Puhdistamoilla on erilliset järjestelmät, jotka mittaavat haitta-aineiden pitoisuuksia. Erillisillä näytteenotoilla seurataan puhdistamojen tehoa ja vesistöjen tilaa.

Jäteveden käsittelyssä käytetyimmät prosessit ovat nitrifikaatio-denitrifikaatio-, aktiivilieteprosessi ja kemiallinen saostus. Suomessa MBBR-prosessi ei ole kovin käytetty menetelmä, vaikka se on todella monipuolinen menetelmä. Tämän prosessin etu on, että MBBR-prosessissa ei ole lietekiertoa, vaan ylimääräinen biomassa erotetaan. Prosessilla voidaan poistaa myös typpeä, fosforia ja sitä voidaan käyttää esikäsittely- ja jälkikäsittelyprosessina.

Suomessa ravinteiden talteenotto on heikolla tasolla ja jätevesilietettä käytetään suurimmaksi osaksi vain maaparannusaineiden tuottamiseen. Suomessa ravinteiden käytetyin kierrätysmenetelmä jäteveden ravinteista on lietteen suora lannoitekäyttö. Ravinteiden saatavuus kasveille on huono, koska fosfori käsitellään suurimmaksi osaksi kemiallisesti saostamalla Suomessa. Maailmalla käytetyimmät talteenotto prosessit ovat tarkoitettu biologiselle fosforinpoistolle. Typen talteenottoa ei toteuteta samassa määrin, koska typpeä on saatavilla suoraan ilmakehässä. Puhdistamoilla lietteiden käsittelyä pidetään tällä hetkellä vain pakollisina kuluerinä.

Jatkotutkimuksissa olisi hyvä tarkastella ja kehittää tämänhetkisiä vedenkäsittely- ja ravinteiden talteenottomenetelmiä ja uusia kierrätystuotteita. Kierrätyksen tasoa olisi hyvä parantaa

Suomessa ja katsoa ravinteiden talteenottoa mahdollisuutena toisin kuin vaan pakollisena kulueränä.

9. Lähdeluettelo

VESILAITOSYHDISTYS and HELSINGIN SEUDUN YMPÄRISTÖPALVELUT - KUNTAYHTYMÄ, 2018. Finnish Industrial Wastewater Guide.

Laitinen, J., Nieminen, J., 2014. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot 84.

Robert A. Corbitt, 1989. Standard Handbook Of Environmental Engineering.

BERG, J., 2016. ETL:n jäte- ja sivuvirtaselvitys 206.

BERNINGER, K., PIHL, T., KASANEN, P., MIKO-LA, A., TYNKKYNNEN, O. and VAHALA, R., 2017. Jätevesien fosfori hyötykäyttöön.

HELSINGIN SEUDUN YMPÄRISTÖPALVELUT -KUNTAYHTYMÄ, 2015. Fosforin jälkisaostuksen ja talteenoton esiselvitys Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla RAKI-ohjelman Jälkifosfori-hankkeen loppuraportti. Helsinki: Helsingin seudun ympäristöpalvelut - kuntayhtymä.

KANGAS, A., LUND, C., LIUKSIA, S., ARNOLD, M., MERTA, E., KAJOLINNA, T., CARPÉN, L., KOSKINEN, P. and RYHÄNEN, T., 2011. Energiatehokas lietteenkäsittely. Suomen ympäristökeskus.

KANGAS, A., VESIYHDISTYS and YMPÄRISTÖMINISTERIÖ, 2019. Ravinteiden talteenoton yleiskatsaus.

LAITINEN, J., NIEMINEN, J., SAARINEN, R. and TOIVIKKO, S., Mar 20, 2014-last update, Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT) - Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot [Homepage of Ympäristöministeriö], [Online].

Available: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/43199>.

ODEGAARD, H., 2006. Innovations in wastewater treatment: –the moving bed biofilm process. Water science and technology, **53**(9), pp. 17–33.

SÄYLÄ, J., 2015. Yhdyskuntien jätevesien puhdistus.

SUOMEN VESILAITOSYHDISTYS RY, 2016. Teknis-taloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa. Helsinki: Suomen vesilaitosyhdistys ry.

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista, 2006/1022

Ympäristönsuojelulaki 2014/527

Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 888/2006

Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta 2014/713

YLVA-OHJE JÄTEVEDENPUHDISTAMOIDEN TOIMINNANHARJOITTAJILLE. 2020.

KANGAS, A., 2018. Vesiympäristölle vaarallisia ja haitallisia aineita koskevan lainsäädännön soveltaminen. Ympäristöministeriö.

VUORISTO, H., GUSTAFSSON, J., HELMINEN, H., JOKELA, S., LONDESBOROUGH, S., MANNIO, J., MEHTONEN, J., MONONEN, P., NAKARI, T., OJANEN, P., RUOPPA, M., SILVO, K. and SAINIO, P., 2010. *Haitallisten aineiden tarkkailu Päästöt ja vaikutukset vesiin*. Ympäristöhallinto.

GASUM BIOVAKKA OY, 2016. Jätevesityypen talteenotto ja hyödyntäminen kierrätysravinteena KiertoTyppi -hanke Loppuraportti. Ympäristöministeriö.

XIANG, S., LIU, Y., ZHANG, G., RUAN, R., WANG, Y., WU, X., ZHENG, H., ZHANG, Q. and CAO, L., 2020. New progress of ammonia recovery during ammonia nitrogen removal from various wastewaters. *World journal of microbiology & biotechnology*, **36**(10), pp. 144.

HEINESS, H. and ØDEGAARD, H., 2001. Biological phosphorus and nitrogen removal in a sequencing batch moving bed biofilm reactor, 2001, Pergamon Press, pp. 233-240.

AFRY FINLAND OY, 2020. John Nurminen Foundation Guidelines for the Management of Industrial Wastewaters Project BEST. BEST.

PÖYRY FINLAND OY, 2019. Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen. Helsinki: Suomen vesilaitosyhdistys ry.

PÖYRY ENVIRONMENT OY, 2007. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky. Maa- ja metsätalousministeriö.

ALUEHALLINTOVIRASTO, 2020. Elintarvikkeita ja maitotuotteita valmistavan laitoksen ympäristöluvan muuttaminen, Kouvola.

ALUEHALLINTOVIRASTO, 2018. Elintarvike- ja virvoitusjuomatehtaan jätevesien johtaminen, Toholampi.

ALUEHALLINTOVIRASTO, 2018b. isavi_paatosis_1_2018_1-2018-1-12

ALUEHALLINTOVIRASTO, 2015. 320-2015-1-Päätös Arla Oy.