



KALVOBIOREAKTORIPROSESSIN LIETTEENKÄSITTELY YHDYS- KUNTIEN JÄTEVEDENPUHDIS- TAMOILLA

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Ville Venejärvi	
Työn nimi Kalvobioreaktoriprosessin lietteenkäsittely yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla	
Päiväys	23.2.2015
Sivumäärä/Liitteet	69/16
Ohjaaja Yliopettaja Pasi Pajula	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Ramboll Finland Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää eroaako kalvobioreaktoriprosessin eli MBR-prosessin (membrane bioreactor) lietteen laskeutuvuus- ja kuivattavuusominaisuudet perinteisen aktiivilieteprosessin (CAS-prosessi) lietteistä. Työssä pyrittiin myös selvittämään onko MBR-lietteessä laskeutumaton aine, joka saattaisi jäädä prosessin rejektivesikiertoon, esimerkiksi käytettäessä painovoimaista lietteen sakeutusta. Lisäksi kirjallisuustiedon perusteella pyrittiin selvittämään lietteen kuivattavuutta, sopivaa polymeeriannosta kuivauksessa sekä, onko MBR-prosessissa biologisen lietteenkasvu vähäisempää kuin perinteisessä aktiivilieteprosessissa.</p> <p>Lietteen laskeutuvuus- ja kuivattavuusominaisuuksia tutkittiin Parikkalan kunnallisella jätevedenpuhdistamolla olleen MBR-pilot-laitoksen ja puhdistamon pääprosessin lietteiden avulla. Testit suoritettiin loka- ja marraskuun aikana vuonna 2014. Kaikki testit suoritettiin puhdistamon pääprosessin (perinteinen aktiiviliete) sekä MBR-pilotin lietteille. Laskeutuvuutta tutkittiin määrittämällä lietteille laskeutuvuusominaisuuksia kuvaava lieteindeksi (DSVI). Kuivattavuutta tutkittiin CST-testin, painesuodatuskokeen sekä kartiosuodatuskokeen avulla. Kaikki testit suoritettiin ilman polymeerin tai muun apuaineen syöttöä lietteeseen.</p> <p>MBR-lietteen todettiin DSVI tuloksien perusteella olevan hieman huonommin laskeutuvaa kuin perinteisen aktiivilieteprosessin liete. Myös kuivattavuus, ilman apuaineita, oli MBR-lietteellä heikompi. Laskeutustestien selkeytetystä vedestä tehtyjen kiintoainemäärityksien perusteella MBR lietteessä havaittiin hieman suuremmat kiintoainepitoisuudet kuin perinteisessä aktiivilietteessä. Määrät eivät kuitenkaan olleet merkittäviä. Kirjallisuusselvityksen perusteella MBR-prosessin lietteenkasvu voi olla hieman perinteistä aktiivilieteprosessia alhaisempi. Kirjallisuustiedon perusteella voidaan myös todeta, että MBR-lietteen kuivauksessa päästään samoihin tai lähes samoihin kuivaustuloksiin CAS-lietteeseen verrattaessa, nostamalla kuivauksen syötettävän polymeerin annostusta hieman suuremmaksi kuin CAS-lietteen kuivauksessa.</p>	
Avainsanat kalvobioreaktori, MBR-prosessi, lietteenkäsittely, lietteen kasvu, lietteen kuivattavuus, lietteen laskeutuvuus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author Ville Venejärvi			
Title of Thesis Settleability And Dewaterability of the Sludge from a Membrane Bioreactor Process			
Date	23 February 2015	Pages/Appendices	69/16
Supervisor Mr Pasi Pajula, Principal Lecturer			
Client Organisation Ramboll Finland Oy			
<p>Abstract</p> <p>The first aim of this thesis was to research the differences between the sludge from a conventional activated sludge process (CAS) and a membrane bioreactor (MBR) in terms of dewaterability and settleability. The second aim was to determine the cumulation of nonsettleable particles in the MBR process. Differences in a sludge yield, dewaterability and optimal polymer dosing in the CAS process and the MBR process were also studied by a literature research.</p> <p>The tests were done at Parikkala's municipal wastewater treatment plant where MBR pilot was fed by the same influent as the main wastewater treatment process during October and November 2014. All the tests were done simultaneously for the sludge from the main process (CAS process) and the sludge from the MBR pilot plant. The sludge settleability was studied by determining a diluted sludge volume index (DSVI). The dewaterability was studied by a CST (Capillary suction time), pressure filtration test and a filterability test. All the tests were done without adding any polymer or other auxiliary substances.</p> <p>From DSVI results it was found that the settleability of the MBR-sludge was slightly weaker when compared to the CAS. The supernatant of the MBR-sludge had a bit higher solids concentration than the CAS. However, this difference was not significant. Also the dewaterability of the MBR sludge was weaker than the sludge from the CAS process. Based on the literature research it can be concluded that sludge yield in the MBR process could be slightly lower than in the CAS process with the same sludge age and the same dewatering result as the CAS can be reached in the MBR sludge by a slightly higher polymer dosage.</p>			
Keywords membrane bioreactor, sludge treatment, sludge yield, sludge dewaterability, sludge settleability			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty Ramboll Finland Oy:n toimeksiannosta vuoden 2014 syyskuun ja vuoden 2015 helmikuun välisenä aikana. Haluan kiittää Ramboll Finland Oy:tä erittäin mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Erityisesti haluan kiittää projektipäällikkö Anna Mikolaa työni aktiivisesta ja rakentavasta ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää suunnitteluinsinööri Ilari Lignelliä, toimistopäällikkö Jyri Rautiaista sekä kaikkia muita minua opastaneita Rambollilaisia. Haluan kiittää myös Lappeenrannan teknillistä yliopistoa mahdollisuudesta käyttää heidän laboratoriotaan ja sen laitteistoa opinnäytetyön teossa.

Savonia-ammattikorkeakoululta haluan kiittää kaikkia minua opintojeni aikana opettaneita opettajia. Erityiskiitoksen ansaitsevat opinnäytetyöni ohjannut yliopettaja Pasi Pajula sekä laboratoriotyöskentelyssä ja erilaisissa laboratoriomäärityksissä, opinnäytetyön teon aikana minua avustanut projektinsinööri Maarit Janhunen.

Viimeiseksi, erityisen suuren kiitoksen ansaitsee perheeni, joka on jaksanut ymmärtää ja tukea minua, ajoittain runsaasti aikaavieneiden opintojeni aikana.

Kuopiossa 23.2.2015

Ville Venejärvi

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	KALVOBIOREAKTORIT YHDYSKUNTIEN JÄTEVEDENPUHDISTUKSESSA.....	9
2.1	Kalvot ja kalvosuodatus.....	9
2.1.1	Kalvopaine-ero, vuo ja permeabiliteetti.....	10
2.1.2	Kalvotyypit ja -materiaalit	10
2.2	Kalvobioreaktoriprosessi	12
2.2.1	Lietepitoisuus ja lieteikä.....	14
2.2.2	Kalvojen tukkeutuminen ja puhdistus	15
2.3	Kalvobioreaktoriprosessi: Edut ja haasteet.....	18
3	JÄTEVEDENPUHDISTAMON LIETTEET	21
3.1	Eri lietejakeet ja niiden muodostuminen	21
3.1.1	Primääriliete	22
3.1.2	Kemiallinen liete.....	23
3.1.3	Sekundääriliete	23
3.2	Lietteen ominaisuudet MBR-prosessissa.....	24
3.2.1	EPS-aineet.....	25
3.2.2	Flokkikoko	27
3.3	Biologisen lietteen kasvu MBR-prosessissa.....	28
4	LIETTEIDEN KÄSITTELY JÄTEVEDENPUHDISTAMOILLA	33
4.1	Käsittelyn tarve.....	33
4.2	Lietteen tiivistys.....	34
4.2.1	Laskeutustiivistys	35
4.2.2	Flotaatiotiivistys	36
4.3	Lietteen kuivaus.....	37
4.3.1	Lingot.....	39
4.3.2	Suotonauhapuristin	40
4.3.3	Ruuvipuristin.....	40
4.4	MBR-lietteen laskeutuvuus ja kuivattavuus	41
5	PARIKKALAN JÄTEVEDENPUHDISTAMO, MBR-PILOTTI SEKÄ KÄYTETYT MENETELMÄT	44
5.1	Parikkalan jätevedenpuhdistamo.....	44
5.1.1	Jätevedenpuhdistamon pääprosessi.....	44

5.1.2	MBR-pilotti.....	45
5.2	Käytetyt menetelmät.....	47
5.2.1	SVI ja DSVI	47
5.2.2	CST (Capillary suction time).....	48
5.2.3	Kartiosuodatuskoe.....	49
5.2.4	Painesuodatuskoe	50
6	TULOKSET	52
6.1	Laskeutuvuus	52
6.2	Kuivattavuus.....	53
7	TULOSTEN TARKASTELU.....	59
7.1	Laskeutuvuus	59
7.2	Kuivattavuus.....	60
8	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	64
	LÄHTEET	66
	LIITE 1: HAVAITTUJA LIETTEEN KASVUN ARVOJA MBR- JA CAS-PROSESSEISSA	
	LIITE 2: KUIVAINTOIMITTAJILLE LÄHETETTY KYSELY	
	LIITE 3: TUTKIMUSSUUNNITELMA	
	LIITE 4: MITTAUSPÖYTÄKIRJA, KUIVA- JA KIINTOAINEPITOISUUDET	
	LIITE 5: PAINESUODATINTESTIEN KUVAAJAT	

1 JOHDANTO

Jätevedenpuhdistamoiden ympäristölupien edellyttämät vaatimukset puhdistustehoille sekä vesistöön johdettaville ainepitoisuuksille ovat tiukentuneet viime vuosina jatkuvasti ja samanlainen trendi vaikuttaisi jatkuvan myös tulevaisuudessa. Tähän asti vaatimuksiin on vastattu tyypillisesti lisäämällä käsittelyprosesseja perinteisen painovoimaiseen lietteen ja veden erotukseen perustuvan aktiiviliete-prosessin perään. Tyypillisesti tällainen niin sanottu tertiäärikäsittely on toteutettu hiekkasuodatuk-sella, mutta myös mm. flotaatiota on käytetty. Viime vuosikymmenten aikana yhdyskuntien jäteve-denpuhdistuksessa on yleistynyt tekniikka, jossa veden ja lietteen erotus toteutetaan kalvosuodatuk-sen avulla. Tällaista aktiiviliete-prosessia kutsutaan kalvobioreaktoriksi (MBR-prosessi, membrane bio-reactor). MBR-prosessi on maailmalla ollut käytössä jo yli 30 vuotta, mutta sen laajempaa käyttöä ovat rajoittaneet menetelmän suuret investointi- ja käyttökustannukset. Kehitystyön johdosta pro-cessin kustannukset ovat kuitenkin laskeneet vuosien aikana sellaisiksi, että MBR-prosessista on tul-lut varteenotettava vaihtoehto mietittäessä ratkaisua tiukentuviin puhdistusvaatimuksiin.

Suomen ensimmäinen MBR-laitos on jo suunnitteilla ja sen käyttöönotto tapahtuu todennäköisesti vuosien 2016 tai 2017 aikana. Myös Ruotsiin ollaan suunnittelemassa MBR-prosessiin perustuvaa jä-tevedenpuhdistamo, joka olisi toteutuessaan yksi maailman suurimmista MBR-laitoksista. MBR-prosessin puhdistustulokset ovat yleensä erinomaisia verrattuna perinteiseen aktiiviliete-prosessiin. Tämä on seurausta siitä, että kalvot pidättävät käytännössä lähes kaiken kiintoaineksen toisin kuin perinteisessä aktiiviliete-prosessissa, jossa jälkiselkeytyksen pintaan nouseva aines poistuu puhdiste-tun jäteveden mukana purkuvesistöön.

MBR-prosessista poistettava liete poikkeaa laadultaan ja ominaisuuksiltaan perinteisen aktiiviliete-pro-cessin lietteestä johtuen kalvosuodatuksesta sekä tyypillisesti perinteistä aktiiviliete-prosessia suu-remmasta prosessin lietepitoisuudesta ja lieteiästä. Prosessista poistettavan MBR-lietteen ominaisuu-det on tunnettava, jotta jätevedenpuhdistamoille osataan suunnitella toimiva ja kustannustehokas lietteenkäsittelyprosessi. Lietteiden tehokkaan jatkokäsittelyn kannalta keskeisiä lietteiden ominaisuuksia ovat laskeutuvuus sekä kuivattavuus.

Tässä opinnäytetyössä pyritään selvittämään millainen on MBR-prosessista poistettavan ylijäämäliet-teiden laskeutuvuus sekä kuivattavuus suhteessa perinteisen aktiiviliete-prosessin lietteeseen tutkimalla MBR-pilotin sekä täyden mittakaavan perinteisen aktiiviliete-prosessin lietteitä. MBR-lietteiden laskeu-tuvuutta ja kuivattavuutta selvitetään myös kirjallisuudesta löytyvän tiedon perusteella. Työssä pyri-tään selvittämään myös, onko MBR-prosessista poistettavassa lietteessä laskeutumaton aine, joka jäisi mahdollisesti kiertämään puhdistusprosessiin rejektivesien kautta. Kirjallisuudesta löytyvän tiedon perusteella pyritään lisäksi selvittämään onko biologisen lietteiden kasvussa ja lietteiden kuivauk-sessa käytettävän polymeerin syöttömäärissä eroa MBR- ja perinteisen aktiiviliete-prosessin välillä.

Tässä työssä MBR- ja perinteisen aktiiviliete-prosessin lietteiden laskeutuvuutta ja kuivattavuutta tutkit-tiin Parikkalan kunnallisella jätevedenpuhdistamolla marras-joulukuussa 2014. Kokeet suoritettiin paitsi Parikkalan puhdistamolla sijainneelle MBR-pilotprosessille myös nykyisen perinteisen aktiivi-

lietelaitoksen pääprosessin lietteille. Näin ollen eri lietteiden laskeutuvuus- ja kuivattavuusominaisuuksia voitiin vertailla keskenään.

Lietteiden laskeutuvuutta testattiin määrittämällä lietteille laskeutuvuutta kuvaavat lieteindeksit (SVI ja DSVI). Lieteindeksi kuvaa sitä, kuinka suuren tilavuuden yksi lietegramma vie, kun sitä on laskeutettu 30 minuuttia ja näin ollen sen perusteella voidaan arvioida, kuinka hyvin lietteen painovoimainen laskeutus on toteutettavissa.

Kuivattavuutta puolestaan tutkittiin CST-testillä (Capillary suction time), painesuodatuskokeella sekä kartiosuodatuskokeella. CST-testissä mitataan lietteestä pois imeytyvän nesteen etenemistä huokoisessa suodatinpaperissa, jolloin sen perusteella voidaan arvioida, kuinka nopeasti vesi erottuu lietteestä ja näin ollen sen kuivattavuutta. Painesuodatustestit tehtiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston laboratoriossa Outotechin valmistamalla Labox 100-painesuodatuslaitteella. Laite mittasi automaattisesti syntyvän suodoksen määrän sekä suodatuspaineen. Suodatinkakuista määritetyn kuivaainepitoisuuden ja automaattisten mittausten avulla pystyttiin arvioimaan lietteiden kuivattavuutta. Kartiosuodatuskoe perustuu lietteen painovoimaiseen suodatukseen suodatinpaperin läpi. Varsinaisesti sillä tutkitaan lietteen suodatettavuutta, mutta tässä työssä sen avulla pyrittiin arvioimaan lietteen kuivattavuutta.

2 KALVOBIOREAKTORIT YHDYSKUNTIEN JÄTEVEDENPUHDISTUKSESSA

2.1 Kalvot ja kalvosuodatus

Kalvobioreaktoriprosessissa käytettävien puoliläpäisevien kalvojen toiminta perustuu siihen, että suodatettaessa käsiteltävää jätevettä tietyt komponentit läpäisevät kalvon muiden pidättyessä kalvon pintaan. Kalvosuodatuksella saadaan vedestä erotettua molekyylikokoisia, kolloidisia ja tarvittaessa jopa ionikokoisia epäpuhtauksia. (Puhto 2009, 11.) Kalvon erotuskyky riippuu olennaisesti sen huokoskoosta. Huokoskoon perusteella suodatuskalvot voidaan jakaa neljään luokkaan, jotka ovat mikro-, ultra- ja nanosuodatus sekä käänteis-osmoosi. Kalvot voidaan luokitella myös pienimmän molekyyli­massan perusteella, jonka kalvo pystyy pidättämään. Molekyyli­massan yksikkö on Dalton (Da) ja 1 Da vastaa yhden vety­atomien massaa. (Judd ja Judd 2011, 55–56.)

Yhdyskuntajätevesien puhdistuksessa käytettävät kalvot toimivat yleensä mikro- tai ultrasuodatus­alueella huokoskoon ollessa tyypillisesti välillä 0,01–0,4 µm. Näin ollen kalvoilla saadaan erittäin tehokkaasti eroteltua kiinto­aines sekä bakteerit. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 321.) On kuitenkin havaittu, että huokoskoon ollessa 0,2 µm tai pienempi suodatuksessa erottuvat bakteerien lisäksi käytännöllisesti katsoen myös kaikki virukset (Rosenberg ym. 2001, 413). Kalvon erotustehokkuus on huokoskoon lisäksi riippuvainen kalvon huokoisuudesta sekä materiaalista (Krzeminski 2013, 15).

Mikrosuodatuksella saadaan tyypillisesti suodatettua makromolekyyli­jä, joiden molekyyli­massa on suurempi kuin n. 50 000 Da, kun taas ultrasuodatuksella vastaava arvo on n. 5 000 Da (Puhto 2009, 11). Käytettävien kalvojen huokos­koko vaikuttaa osaltaan suodatuksessa tarvittavaan paine-eroon, jonka avulla vesi saadaan suodatettua kalvon läpi. Kuvassa 1 on havainnollistettu eri suodatinkalvojen erotuskykyä.

Suodatus- prosessi	ST mikroskooppi		Pyyhkäisy­elektroni- mikroskooppi		Optinen mikroskooppi		Paljain silmin havaittava	
	Ionit		Molekyylit		Makro- molekyylit		Mikro- partikkelit	
	0.001µm		0.01µm		0.1µm		1.0µm	
	10µm		100µm		1000µm			
Aineiden kokoluokat	Liuenneet suolat		Kolloidit		Suspendoitunut kiintoaine		Rantahiikka	
			Virukset		Bakteerit		Giardia Cyst	
Suodatus- prosessi	Käänteis- osmoosi		Ultra- suodatus		Mikro- suodatus		Partikkeli- suodatin	
	Nano- suodatus						Hiukset	

Kuva 1. Eri kalvosuodatusprosessien erotuskyky (Puhto 2009, 12)

2.1.1 Kalvopaine-ero, vuo ja permeabiliteetti

Kalvosuodatuksen keskeisimmät käsitteet ovat

- kalvopaine-ero (TMP-paine)
- vuo (FLUX)
- sekä permeabiliteetti (Judd ja Judd 2011, 66).

Tyypillisesti suodatusprosessissa veden virtaus kalvon läpi saadaan aikaan paine-eron avulla, joka vallitsee kalvopinnan eri puolilla (Krzeminski 2013, 19). Tätä paine-eroa kutsutaan kalvopaine-eroksi tai TMP-paineeksi (transmembrane pressure). TMP-paine saadaan aikaan joko pumpaamalla tai painovoimaisesti. Suodatukseen vaadittavan TMP-paineen perusteella kalvot voidaan jakaa korkean paineen ja matalan paineen kalvoihin. Jätevesien puhdistuksessa käytettävät mikro- ja ultrasuodatuskalvot kuuluvat yleensä matalan paineen kalvoihin. (ASCE 2012, 534.) Kalvobioreaktorissa TMP-paine on tyypillisesti 0,2–0,5 bar (Krzeminski 2013, 23).

Suodatuksessa permeaatin määrä ilmaistaan vuon avulla, joka määritellään yleensä virtaamana kalvovyökyksen pinta-alaa kohden aikayksikössä. Vuo on voimakkaasti riippuvainen TMP-paineesta sekä kalvon hydraulisesta kokonaisvastuksesta, joka aiheutuu itse kalvosta sekä kalvon tukkeutumisesta aiheutuvasta vastuksesta. Kalvon aiheuttama vastus riippuu suuresti käytettävän kalvon huoko-koosta, mutta myös mm. kalvon valmistusmateriaalista sekä huokoisuudesta, eli huokosten pinta-alan suhteesta kalvon kokonaispinta-alaan. (Judd ja Judd 2011, 66–67.) Lisäksi suodatettavuuteen vaikuttaa olennaisesti myös suodatettavan aineen viskositeetti. Viskositeetin noustessa suodatettavuus huononee ja päinvastoin. Koska viskositeetti on riippuvainen lämpötilasta, vaikuttaa suodatettavan aineen lämpötila keskeisesti suodatettavuuteen. Kalvon tukkeutumista käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.2.2. Kalvosuodatusprosessia voidaan ohjata joko pitämällä vuo vakiona säätelämällä TMP-painetta tai vaihtoehtoisesti pitämällä TMP-paine vakiona, jolloin vuon määrä vaihtelee. Ensimmäinen ohjaustapa on yleisemmin käytössä. (ASCE 2012, 534.)

Permeabiliteetti eli kalvon läpäisykyky määritetään vuon ja TMP-paineen avulla. Koska permeabiliteetti ottaa huomioon vuon ja TMP-paineen, kuvaa se hyvin kalvon sen hetkistä suorituskykyä ja kuntoa, jolloin sen avulla on mahdollista optimoida prosessia ja esimerkiksi arvioida milloin kalvojen pesu on tarpeen suorittaa. (Puhto 2009, 15.)

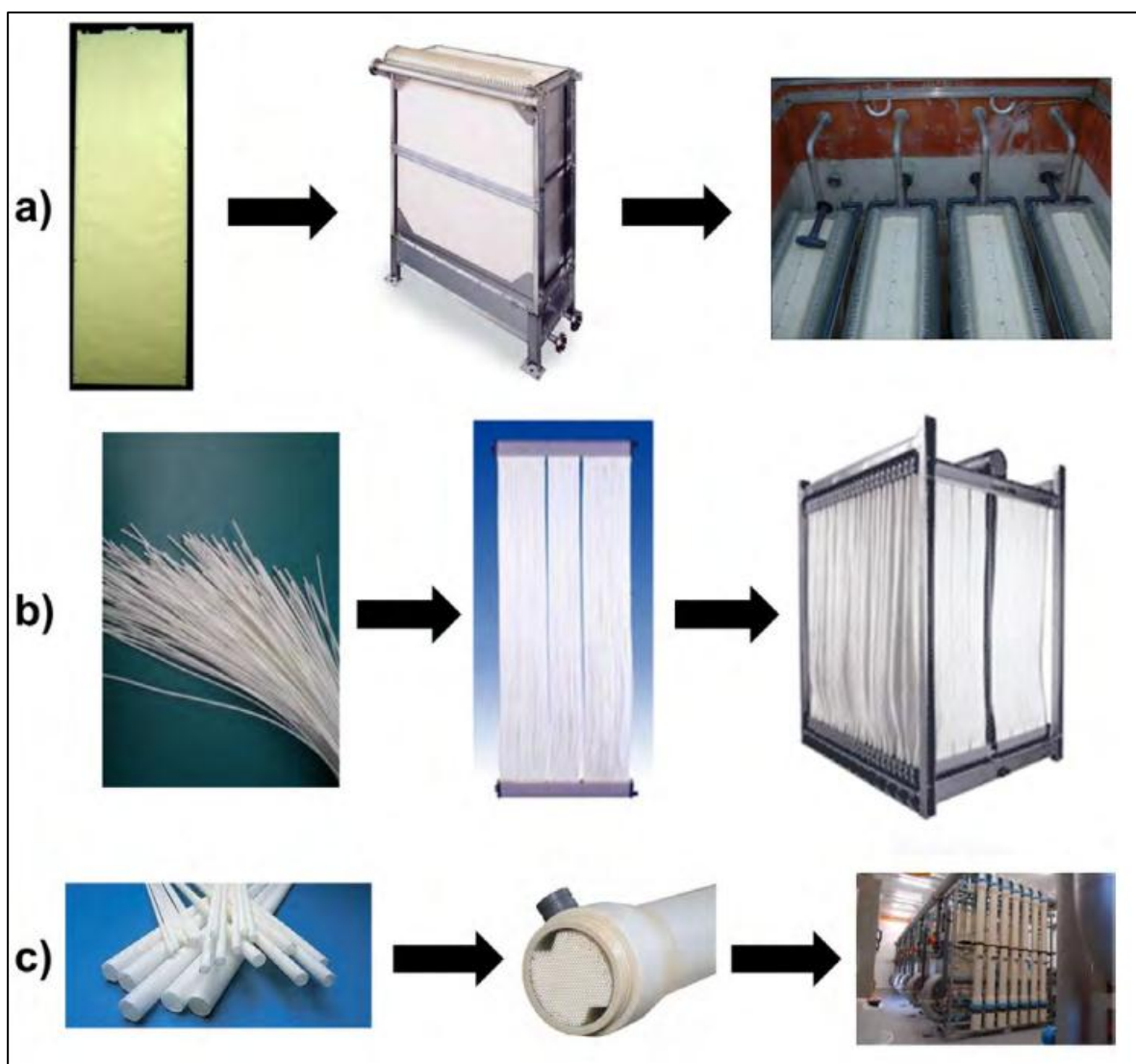
2.1.2 Kalvotyypit ja -materiaalit

Kalvojen geometrialla, asennustavalla sekä niiden sijainnilla ja asennolla veden virtaukseen nähden on suuri merkitys prosessin toiminnan kannalta. Näiden seikkojen lisäksi suodatusprosessiin vaikuttaa se, kuinka yksittäiset kalvot on asennettu ja sijoitettu kalvomoduuliin. Kalvojen muodostaman kalvomoduulin on oltava sellainen, että kalvopinnan tehokas (ilma)puhdistus on mahdollinen. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kalvojen välisten etäisyyksien on oltava kalvomoduulissa riittäviä. Toisaalta kalvomoduuleissa tulee pyrkiä mahdollisimman suureen pakkaustiheyteen, joka määritellään suodatuspinta-alaan tilavuusyksikköä kohden. (Judd ja Judd 2011, 63–64.)

Kalvobioreaktorissa käytettävät suodatinkalvot voidaan jakaa

- tasomaisiin kalvoihin (flat sheet),
- onttokuitukalvoihin (hollow fibre) sekä
- putkimaisiin kalvoihin (multi tubular) (Judd ja Judd 2011, 64).

Nykyisin suosittavassa kalvobioreaktoriprosessissa, jossa kalvomoduulit upotetaan suoraan aktiivilietteeseen, käytetään tasomaisia kalvoja ja onttokuitukalvoja. Putkimaisia kalvoja käytetään prosessissa, jossa suodatinyksikkö on erillään aktiivilietteestä. Kuvassa 2 on esitetty edellä mainitut kalvotyypit ja niistä muodostetut kalvomoduulit. Tasomaisissa ja onttokuitukalvoissa suodatus tapahtuu ulkoa-sisälle ja putkimaisissa kalvoissa päinvastoin (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 323).



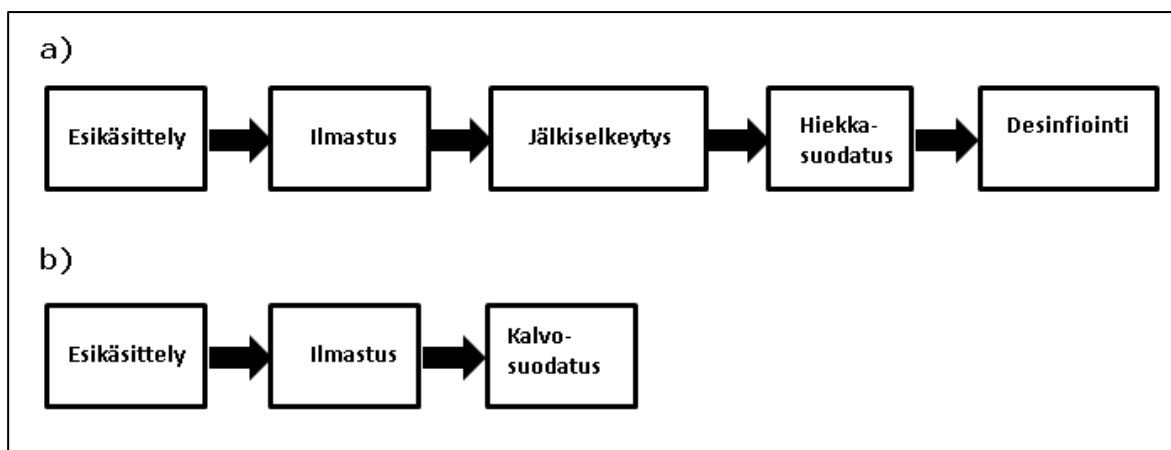
KUVA 2. Kalvomoduuleita, joissa tasomaisia kalvoja (a), onttokuitukalvoja (b) ja putkimaisia kalvoja (c) (Krzeminski 2013, 18)

Kalvot voidaan luokitella valmistusmateriaalin perusteella polymeerisiin ja keraamisiin kalvoihin. Myös metallisia kalvoja on markkinoilla, mutta niiden käyttö rajautuu erikoissovelluksiin, eikä niitä käytetä kunnallisessa jätevedenpuhdistuksessa. (Judd ja Judd 2011, 58.) Yleisemmin jätevedenpuhdistuksessa käytettävä kalvot valmistetaan orgaanisesta materiaalista, kuten selluloosapohjaisesta

tai muunnelluista polymeereistä (Puhto 2009, 13). Ensimmäiset markkinoille tulleet kalvot olivat yleensä valmistettu selluloosa-asetaatista (CA), polysulfoonista (PS) tai polypropyleenistä (PP), mutta nykyisin valmistusmateriaalina suositaan polyvinyyliideenifluoridia (PVDF) tai polyeteenin (PE) muunnelmia (Judd ja Judd 2011, 59). Erityisesti PVDF on jätevedenpuhdistukseen hyvin soveltuva materiaali, sillä se ei tukkeudu kovin helposti verrattaessa sitä muista materiaaleista valmistettuihin kalvoihin (Puhto 2009, 13).

2.2 Kalvobioreaktoriprosessi

Kalvobioreaktoriprosessi eli MBR-prosessi (membrane bioreactor) on aktiivilieteprosessi, jossa lietteen ja veden erotus tapahtuu kalvosuodatuksen avulla. MBR-prosessissa käytettävillä suodatuskalvoilla siis korvataan perinteisessä aktiivilieteprosessissa eli CAS-prosessissa (conventional activated sludge) käytettävät jälkiselkeytysaltaat. Näin ollen aktiivilietteen laskeutuvuusominaisuudet eivät ole enää prosessin kannalta rajoittava tekijä. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 320.) Lisäksi kalvosuodatuksen ansiosta vedestä saadaan poistettua käytännössä kaikki kiintoaines ja sameus sekä suuri osa patogeeneistä, jolloin lähtevän veden hygienisointi ei ole välttämättä tarpeen (Yang 2013, 32). Fosforin kemiallinen saostus voidaan tehdä MBR-prosessissa perinteisen aktiivilieteprosessin tavoin rinnakkaissaostuksena. Liukoisessa muodossa olevat aineet läpäisevät kalvon, joten esimerkiksi saostuksessa saostumatta jääneen liuenneen fosforin poistoon voidaan tarvittaessa käyttää MBR-prosessissakin kalvosuodatuksen jälkeistä viimeistelevää käsittelyä, kuten hiekkasuodatusta. Saostuskemikaalina voidaan käyttää sekä rauta- että alumiinisuoloja. Kuvassa 3 havainnollistetaan perinteiseen aktiivilieteprosessiin perustuvan jätevedenkäsittelyn sekä MBR-prosessin eroja.



KUVA 3. Perinteinen aktiivilieteprosessi, jossa tertiäärikäsittelynä hiekkasuodatus (a) sekä MBR-prosessi (b)

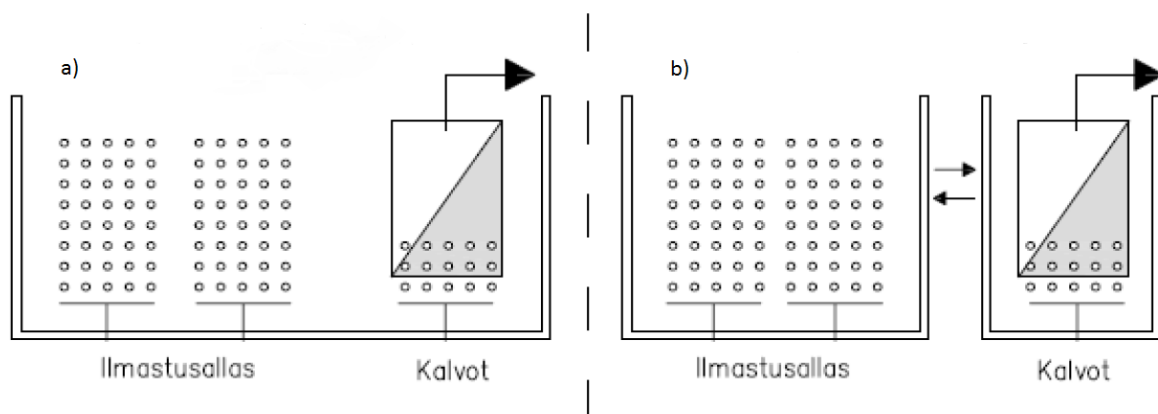
Perinteisen aktiivilieteprosessin tavoin MBR-prosessi vaatii tehokkaan esikäsittelyn. On kuitenkin huomattu, että useinkaan perinteisessä puhdistusprosessissa käytettävä esikäsittely, erityisesti välipäys, ei ole riittävän tehokas MBR-prosessiin. (Judd ja Judd 2011, 159.) Suurempien kiintoaineiden poistaminen vedestä ennen kalvosuodatusta on tärkeää, koska joutuessaan kosketuksiin kalvon kanssa, ne voivat saada aikaan kalvon rikkoutumisen. (Puhto 2009, 17). Kalvoille erityisen vahingolliseksi ovat osoittautuneet hiukset. Käytettäessä onttokuitukalvoja, hiukset sotkeentuvat kalvoihin ja

niitä alkaa kerääntyä etenkin kalvomoduulien yläosiin. Näitä kasaantumia ei yleensä saada poistetuksi vastavirtapesulla ja niiden poistaminen muillakin menetelmillä on usein haastavaa. (Radjenovic, Matosic, Mijatovic, Petrovic ja Barcelo 2008, 53.) Näin ollen MBR-prosessissa suositellaan käytettäväksi sävelililtään pienempiä välppiä. Esimerkiksi Saksassa useilla MBR-laitoksilla on käytössä välpät, joissa säleet ovat sekä vertikaalisesti että horisontaalisesti (ristikko) sävelälin ollessa 0,5–1 mm. Ennen näitä ristikkovälppiä on prosessissa karkeammat sävelililtään 3–6 mm olevat välpät. (Judd ja Judd 2011, 159.) Hienovälppäys on mahdollista toteuttaa myös levynauhavälppiä tai rumpusiivilän avulla, joissa välpeen erotus tapahtuu pyöreiden reikien avulla.

MBR-prosessin hapellisten ja anoksisten vaiheiden keskinäinen järjestys bioreaktorissa on prosessi-kohtainen ja määräytyy pitkälti puhdistustavoitteiden mukaan aivan kuten perinteisessä aktiivilieteprosessissakin. Denitrifikaatioon tarvittavat anoksiset vaiheet on mahdollista sijoittaa ennen tai jälkeen ilmastettujen osioiden. Myös biologiseen fosforin poistoon tarkoitettu anaerobinen vaihe on mahdollista toteuttaa MBR-prosessissa. (Radjenovic ym. 2008, 40.) MBR-prosessin anoksisiin tai anaerobisiin lohkoihin tuleviin palautuslietevirtoihin on kuitenkin kiinnitettävä enemmän huomiota kuin perinteisessä aktiivilieteprosessissa. Palautuslietettä kierrätetään tyypillisesti kalvosuodatuslohkosta, jossa happipitoisuus on erittäin korkea, jolloin lietteen happipitoisuutta täytyy saada laskettua ennen anoksisiin tai anaerobisiin lohkoihin kierrättämistä anoksisten tai anaerobisten olojen säilyttämiseksi. Tämä voi tapahtua esimerkiksi erillisessä Deox-altaassa, jossa lietteessä olevan ylimääräisen hapen annetaan kulua loppuun.

Suodatuskalvojen sijainnin perusteella MBR-prosessit voidaan eritellä prosessiin, jossa kalvot ovat upotettuina suoraan aktiivilietteeseen ja prosessiin, jossa suodatusyksikkö on erillinen ja lietettä kierrätetään jatkuvasti suodatinyksikön kautta. (ASCE 2012, 62.) Ensimmäiset MBR-prosessit perustuivat viimeisenä mainittuihin erillisiin suodatusyksiköihin, mutta nykyään rakennettavissa MBR-prosesseissa upotettaviin kalvovyksiköihin perustuva ratkaisu on yleisempi (Lousada Ferreira 2011, 12). Suurin yksittäinen syy tähän on upotettaviin kalvovyksiköihin perustuvan prosessin huomattavasti alhaisempi energiankulutus ja näin ollen parempi soveltuvuus suuren mittakaavan toteutuksiin (Judd ja Judd 2011, 112). Tästä johtuen tässä työssä tarkastellaan ainoastaan suoraan aktiivilietteeseen upotettaviin kalvovyksiköihin perustuvaa MBR-prosessia.

Kalvovyksiköt on mahdollista upottaa joko suoraan ilmastusaltaaseen tai heti sen jälkeiseen erilliseen altaaseen (Krzeminski 2013, 22; kuva 4). Mikäli kalvot sijoitetaan erilliseen altaaseen, lietettä kierrätetään kalvosuodatusaltaista takaisin aktiiviliettealtaisiin tyypillisesti yli 300 %, mutta usein kierrätysuhde on jopa 400–500 % tulovirtaamaan nähden. Tällaista erillistä lietteenkierrätystä ei tarvita, jos kalvot upotetaan suoraan ilmastusaltaisiin. (Puhto 2009, 16.) Suoraan ilmastusaltaaseen upotettujen suodatusyksiköiden kohdalla joillain laitoksilla on kuitenkin ilmennyt ongelmia käyttö- ja kunnossapitotöiden kohdalla sekä prosessin ohjauksessa. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 324).



KUVA 4. MBR-prosessi, jossa kalvot ovat upotettuna suoraan ilmastusaltaaseen (a) sekä prosessi, jossa kalvot ovat erillisessä altaassa (b) (muokattu lähteestä Puhto 2009, 16).

Tarvittavien kalvosuodatuslaitteiden lukumäärä riippuu tulovirtaamasta ja -kuormasta, mutta huollon ja kalvojen pesun kannalta miniminä voidaan pitää kahta allasta. Jokaisessa altaassa voi olla yksi tai useampi kalvosuodatusyksikkö. Kalvoyksiköissä kalvojen läpi suodatettu vesi eli permeaatti pumpataan suodatetun veden altaaseen. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 324.) Permeaattia voidaan tuottaa myös staattisen paineen avulla, joka aiheutuu kalvoyksiköiden yläpuolella olevan aktiivilietteen aiheuttamasta paineesta. Painovoimaisen suodatuksen ja kalvojen kehittymisen ansioista MBR-prosessin energiankulutus onkin laskenut ja se on oleellisesti vaikuttanut prosessin suosion kasvuun. (Lousada Ferreira 2011, 12.)

Suodatuksen aikana kalvojen pinnalle pyrkii kertymään kiintoainetta, joka heikentää kalvon suorituskykyä. Kiintoaineen kertymistä kalvon pintaan ja näin ollen kalvon tukkeutumista pyritään ennaltaehkäisemään kalvojen voimakkaalla ilmastuksella. Yleensä ilmapuhdistukseen käytetään karkeakuplailmastimia, jotka asennetaan kalvomoduulin pohjalle. (Yang 2013, 21.) MBR-prosessin suurin energiankulutus aiheutuukin ilmastuksesta, johtuen juuri kalvojen vaatimasta ilmapuhdistuksesta sekä prosessin suuresta lietepitoisuudesta.

2.2.1 Lietepitoisuus ja lieteikä

Kuten aiemmin mainittiin, lietettä ei MBR-prosessissa tarvitse laskeuttaa, jonka vuoksi prosessissa voidaan käyttää perinteistä aktiivilieteprosessia suurempaa lietepitoisuutta. Lietepitoisuuden kasvessa sen laskeutuvuus heikkenee, jonka vuoksi perinteisen aktiivilieteprosessin lietepitoisuutta ei yleensä kasvateta suuremmaksi kuin 6 g/l ja joissain tapauksissa lietepitoisuuden on oltava vieläkin alhaisempi, vain 3–4 g/l. MBR-prosessissa sopivaksi lietepitoisuudeksi puolestaan on osoittautunut noin 8–15 g/l. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 320–321.) Mikäli prosessin lietepitoisuutta kasvatetaan liikaa, on seurauksena tiettyjä ongelmia. Ensiksikin aktiivilietteeseen alkaa kertyä inerttiä ainesta, joka näkyy lietteen epäorgaanisen osan lisääntymisenä suhteessa lietteen orgaanisen aineksen määrään. Toiseksi liian korkea lietepitoisuus saattaa lisätä kalvojen tukkeutumista. Kolmas ja mahdollisesti merkittävin seuraus, joka aiheutuu lietepitoisuuden kasvusta, on hapensiirtotehokkuuden heikentyminen ja näin ollen ilmastuksen tarpeen lisääntyminen. (Judd ja Judd 2011, 87.)

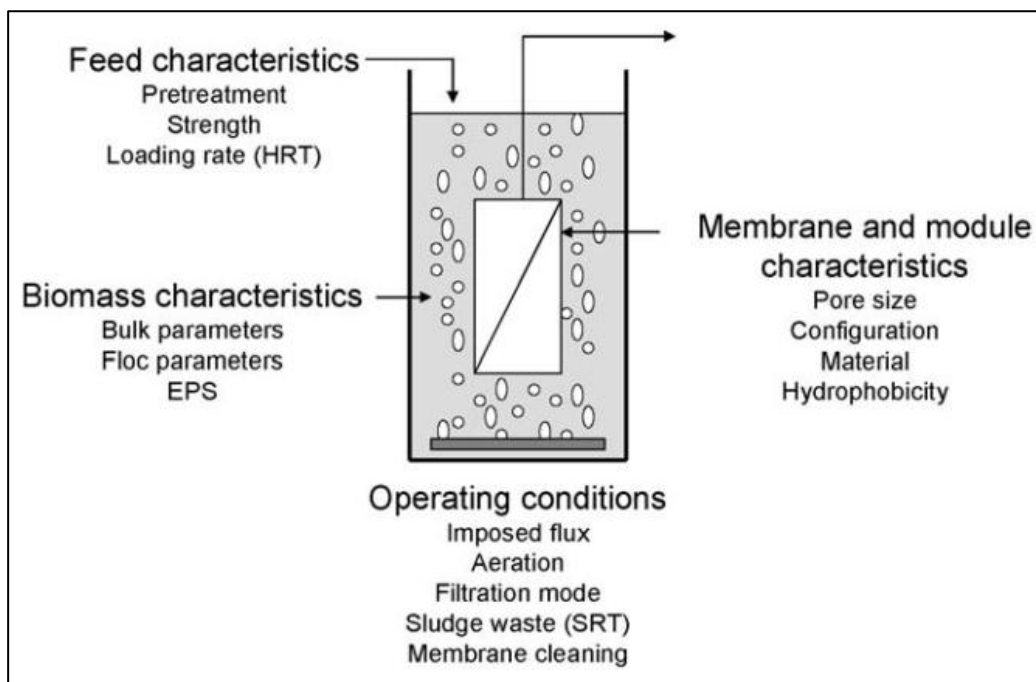
Korkeammasta lietepitoisuudesta johtuen myös lieteikä voi MBR-prosessissa olla pidempi kuin perinteisessä aktiivilieteprosessissa. Aktiivilieteprosessin toimiessa lietepitoisuudella 2,5 g/l, on lieteikä yleensä noin 8 d ja vastaavasti lietepitoisuudella 12–15 g/l noin 40 d. (Judd ja Judd 2011, 87). Vertaamalla MBR-prosessia ja perinteistä aktiivilieteprosessia, keskeisin seikka johon MBR-prosessin korkeampi lieteikä vaikuttaa, on lietteentuotto ja näin ollen prosessista poistettavan ylijäämälietteen määrä (Puhto 2009, 18). Lietteentuottoa käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.3.

Aiemmin MBR-laitoksia ajettiin huomattavasti nykyistä suuremmilla lieteikäillä ja lieteikä saattoi olla jopa 100 d, jolloin prosessin lietepitoisuus nousi noin 30 g/l tasolle. Nykyisin suositaan alhaisempaa lieteikää, jolloin päästään helpommin käsiteltäviin lietepitoisuuksiin (n. 10–15 g/l). Tästä operointikehityksestä johtuen myös kalvojen tukkeutuminen ja pesutarve näyttäisi vähentyneen. (Le-Clech, Chen ja Fane 2006, 18.)

2.2.2 Kalvojen tukkeutuminen ja puhdistus

MBR-prosessissa suodatuksen aikana kalvon pintaan ja/tai sen huokosiin kertyy partikkeleita, jonka seurauksena kalvon suodatuskyky heikkenee. Tällaista kalvon tukkeutumista kutsutaan ns. fouling-ilmiöksi. Kalvojen tukkeutumista pidetään suurimpana MBR-prosessin heikkoutena. Kalvojen tukkeutumista on tutkittu paljon, mutta se on edelleen keskeinen ongelma MBR-prosessin kehittymisen kannalta. (Le-Clech ym. 2006, 18.) Kalvojen tukkeutuminen näkyy kasvavana TMP-paineena tai vähenevänä vuona eli permeaatin määränä, riippuen prosessin ajotavasta (Radjenovic ym. 2008, 47).

Kalvon tukkeutumiseen vaikuttavat kolme päätekijää ovat tulevan jäteveden ja biomassan ominaisuudet, kalvon ominaisuudet sekä MBR-prosessin olosuhteet. Näin ollen MBR -prosessin suodatuksen tehokkuuteen vaikuttaa merkittävimmin prosessin aktiivilietteen suodatettavuus, joka määräytyy biomassan, tulevan jäteveden sekä prosessin ajotavan keskinäisestä vuorovaikutuksesta. Yhtä ja yleispätevää tekijää kalvojen tukkeutumiselle ei kuitenkaan ole ja eri tekijöiden vaikutus tukkeutumiseen vaihtelee lähteestä riippuen. (Krzeminski 2013, 24.) Kuvassa 5 on havainnollistettu tukkeutumiseen vaikuttavia tekijöitä.



KUVA 5. Tukkeutumiseen vaikuttavat tekijät (Le-Clech ym. 2006)

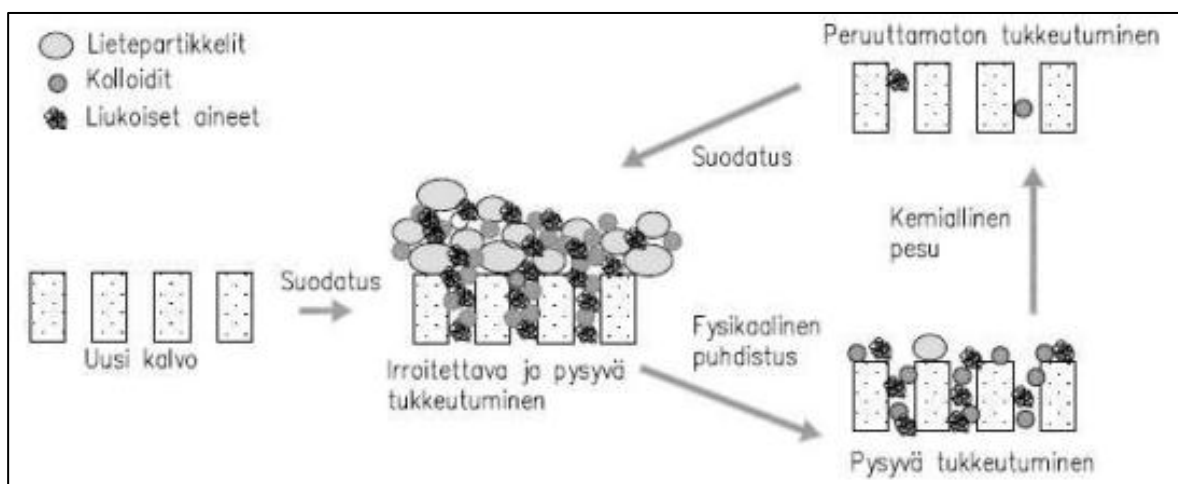
Kuvaa 5 tulkittaessa voidaan ajatella niin, että käytännössä kaikki seikat MBR-prosessin suunnittelussa, operoinnissa sekä tulevassa jätevedessä vaikuttavat jollain tavalla kalvojen tukkeutumiseen. Vaikutus voi olla joko suora tai välillinen. Suoraan kalvon tukkeutumiseen vaikuttavat luonnollisesti kaikkien sellaisten aineksien määrä ja laatu, jotka ovat kosketuksissa kalvoon joko sen ympärillä tai sisällä. Välillisesti tukkeutumiseen vaikuttavat kaikki seikat, jotka vaikuttavat aktiivilietteen laatuun. Tällainen tekijä on esimerkiksi lämpötila, joka vaikuttaa suoraan aktiivilietteen laatuun ja näin ollen välillisesti sen suodatettavuuteen. (Lousada Ferreira 2011, 17.)

Lieteikää pidetään erittäin merkittävänä tekijänä kalvojen tukkeutumisen kannalta, koska se vaikuttaa erittäin voimakkaasti biomassan ominaisuuksiin ja näin ollen myös suodatettavuuteen. On esimerkiksi havaittu, että pudottamalla prosessin lieteikä 10 päivästä 2 päivään, kalvojen tukkeutuminen on ollut jopa 10 kertaa runsaampaa. Lietetiän kasvun myötä myös prosessin lietepitoisuus kasvaa, josta voidaan päätellä, ettei myöskään lietepitoisuuden kasvu välttämättä lisää kalvojen tukkeutumista. (LeClech ym. 2006, 37.) Ylärajan käytettävälle lietepitoisuudelle kuitenkin asettaa, kuten kappaleessa 2.2.1 kerrottiin, lietepitoisuuden kasvusta johtuva hapensiirtotehokkuuden heikkeneminen, jolloin ilmastuksen intensiteettiä on kasvatettava ja näin ollen prosessin energiankulutus kasvaa.

Yksittäisistä parametreista erityisesti solun ulkoisilla polymeereillä eli EPS-aineilla (extracellular polymeric substances) on havaittu olevan suuri merkitys kalvojen tukkeutumiselle. EPS-aineet ovat makromolekyylejä, jotka toimivat rakennusaineena erilaisille mikrobisille yhdistelmille. EPS-aineet voidaan jakaa solun pinnalle sitoutuneeseen EPS-ainekseen sekä aktiivilietteessä vapaana olevaan liukoiseen EPS-ainekseen, jota kutsutaan usein SMP-aineksi (soluble microbial products). (LeClech ym. 2006, 32.) EPS-ainetta tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 3.2.1.

Kalvojen tukkeutuminen voidaan jakaa kahteen tyyppiin: pintatukkeutumiseen ja huokostukkeutumiseen. Pintatukkeutuminen aiheutuu, kun kalvon pintaan kertyy kiintoainetta tukkien huokokset, jolloin myös kalvojen suodatuspinta-ala pienenee. Huokostukkeutuminen aiheutuu pääasiassa liukoista orgaanista aineista, jotka tukkivat kalvon huokokset. Tällöinkin suodatuspinta-ala pienenee. (Puhto 2009, 22.)

Kalvojen tukkeutumista voidaan jaotella myös sen mukaan, kuinka vaikea tukkeutuminen on poistaa. Tällöin voidaan puhua kolmesta eri tukkeutumisesta: irrotettavasta (removable), pysyvästä (irremovable) ja peruuttamattomasta (irreversible) tukkeutumisesta. Irrotettava tukkeutuminen aiheutuu lähinnä pintatukkeutumisesta ja se saadaan helposti poistettua mekaanisella puhdistuksella (esim. vastavirtapesu). Pysyvä tukkeutuminen aiheutuu puolestaan pääsääntöisesti huokostukkeutumisesta sekä suodatuksessa tiukasti kalvoon kiinnittyneistä aineksista ja sen poistamiseksi kalvoille on suoritettava kemiallinen pesu. Sellaista tukkeutumista, jota ei saada poistettua millään puhdistusmenetelmällä, kutsutaan peruuttamattomaksi tukkeutumisiksi. (Meng ym. 2009, 1492; Puhto 2009, 23.) Kuvassa 6 on esitetty eri tukkeutumisasteet sekä niiden puhdistusmenetelmät. Kuvasta näkyy myös pintatukkeutumisen ja huokostukkeutumisen ero. Kalvon huokosiin tarttuneet kolloidiset ja liukoiset ainekset aiheuttavat huokostukkeutumisen, kun taas kalvon pinnalle kertynyt aines on pintatukkeutumista.



KUVA 6. Erilaiset kalvon tukkeutumisasteet ja niiden poistamiseen vaadittava pesu (Puhto 2009, 23)

Fouling-ilmiö on syytä erottaa kalvojen kannalta vakavammasta clogging-ilmiöstä. Clogging-ilmiöllä tarkoitetaan kiintoaineen aiheuttamaa kalvojen välisen tilan ja/tai suodatusmoduulien ilmastusaukkojen tukkeutumista. (Lousada Ferreira 2011, 16.) Tämä aiheutuu tyypillisesti heikosti biohajoavan tai biohajoamattoman aineksen kertymisestä lietteeseen. Tällaisia ovat esimerkiksi muovit ja hiukset. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 344.) Clogging-ilmiön minimoimiseksi tehokas jäteveden esikäsittely on ensiarvoisen tärkeää (Judd ja Judd 2011, 112).

Edellä mainituista seikoista johtuen kalvojen säännöllinen pesu on tarpeen riittävän suodatustehokkuuden ylläpitämiseksi. Kuten aiemmin mainittiin, kalvojen pesu voidaan suorittaa joko mekaanisena pesuna tai kemiallisena pesuna. (Bugge ja Andersen 2009, 4.) Mekaanisia pesuja ovat pääasiassa

suodatusjakson jälkeinen relaksaatiovaihe (jolloin suodatusta ei tapahdu) sekä vastavirtapesu (permeaattia pumpataan normaalin suodatussuunnan vastaisesti). Vastavirtapesua ei kuitenkaan voida tehokkaasti suorittaa tasomaisille kalvoille. (Le-Clech ym. 2006, 41.)

Vastavirtapesun on havaittu olevan tehokas poistamaan irrotettavan huokostukkeutumisen aiheuttamia partikkeleita, kuljettaen ne huokosesta takaisin bioreaktoriin poistaen samalla myös osan pintatukkeutumisesta. Joissain tapauksissa on vastavirtapesulla saatu poistettua myös clogging-ilmioistä aiheutuneita tukoksia, joko osittain tai kokonaan. Vastavirtapesun tehokkuuteen vaikuttavat keskeisesti pesujen tiheys, kesto ja intensiteetti. Kalvojen relaksaatiovaiheen on todettu parantavan kalvojen suodatuskykyä huomattavasti. Relaksaatiovaiheen aikana tukkeutumista aiheuttavat ainekset pääsevät irtautumaan kalvosta. Relaksaatiovaiheessa ilmapuhdistus on syytä pitää käynnissä, jotta puhdistus toimisi mahdollisimman tehokkaasti. (LeClech ym. 2006, 41.) Vastavirtapesu ja relaksaatiovaihe ovat ns. peruspesuja, eli ne suoritetaan jokaisen suodatusjakson jälkeen (Puhto 2009, 27). Käytettäessä vastavirtapesua suodatusjakso voi olla esimerkiksi 600 s, jonka jälkeen suoritetaan vastavirtapesu (esim. 45 s). Tasomaisien kalvojen suodatusjakso voi olla esimerkiksi 10 minuuttia, jota seuraa relaksaatiovaihe. (Radjenovic ym. 2008, 53). Peruspesujen lisäksi kalvoille on tehtävä kemikaalipesuja.

Suodatuksen aikana kalvojen pinnoille alkaa kerääntyä ainesta, joka ei poistu vastavirtapesun tai relaksaatiovaiheen avulla. Tällöin, fyysikaalisen puhdistuksen sijasta, on syytä suorittaa kemiallinen pesu. Kemiallinen pesu suoritetaan lisäämällä vastavirtapesuveteen sopivaa kemikaalia. Ainakin suuremmilla kalvotoimittajilla (Kubota, Zenon, Mitsubishi jne.) on kemikaalipesuja varten laadittu oma ”resepti”, millaisella kemikaalilla ja kuinka kemikaalipesu tulisi suorittaa. Onttokuitukalvoilla kemikaalipesujen sykli vaihtelee päivittäin suoritettavista pesuista muutaman kuukauden välein tehtäviin pesuihin. Päivittäin tehtävissä kemikaalipesuissa käytettävät pitoisuudet ovat alhaisempia kuin ns. huoltopesuissa (maintenance cleaning), joita suoritetaan yleensä kerran viikossa. Tyypillisesti 1–2 kertaa vuodessa kalvoille suoritetaan ns. palautuspesu (recovery cleaning), jonka avulla pyritään poistamaan tukkeutumista, joka ei poistu huoltopesuissa. Näin ollen palautuspesuissa käytetään huoltopesuja suurempaa kemikaalipitoisuutta. Peruspesut kestävät yleensä n. 30 minuuttia ja palautuspesut n. 2–4 h. Tasomaisten kalvojen pesuntarve on huomattavasti vähäisempi. (Le-Clech ym. 2006, 41; Puhto 2009, 27.)

2.3 Kalvobioreaktoriprosessi: Edut ja haasteet

MBR-prosessin keskeisimmät edut, verrattaessa perinteiseen aktiivilieteprosessiin, ovat mahdollisuus operoida prosessia suuremmalla lietepitoisuudella sekä erittäin hyvä puhdistustulos. van Haandelin ja van der Lubben (2012, 321 & 353) mukaan tilanteet, jolloin MBR-prosessin käyttö voi olla perusteltua, ovat seuraavat:

- Tilaa on rajallisesti. MBR-prosessin vaatima tila on sekä pinta-alaltaan, että tilavuudeltaan pienempi kuin perinteisen aktiivilieteprosessin, johtuen korkeammasta lietepitoisuudesta sekä jälkiselkeytysaltaiden tarpeettomuudesta.

- Tiukat puhdistusvaatimukset tai mikäli puhdistettua vettä on tarkoitus käyttää uudelleen. MBR-prosessissa jätevedestä poistuvat käytännössä kaikki kiintoainekset ja bakteerit. Kiintoaineksen mukana saadaan poistettua myös siihen sitoutunut orgaaninen typpi ja -fosfori.
- Olemassa olevan aktiivilieteprosessin kapasiteettia täytyy kasvattaa.
- Puhdistettaessa suolapitoisia jätevesiä. Suolapitoisessa jätevedessä flokit jäävät usein pieniksi ja hajoavat helposti, jolloin niiden laskeuttaminen voi olla haasteellista.
- Vaikeuksia orgaanisen aineksen (COD) poistossa. Kalvosuodatuksessa saadaan poistettua vain COD-ainekset, jotka absorboituvat lietteeseen tai on riittävän suurikokoista (esim. suurikokoinen kolloidi). Varsinaisesti MBR-prosessin tehokas orgaanisen aineksen poisto perustuu pidempään lieteikään. Samanlainen lieteikä on toki mahdollista myös perinteisessä aktiivilieteprosessissa, mutta lietteen karkaaminen jälkiselkeytyksestä voi muodostua ongelmaksi lietteen laskeutuvuuden heikentyessä.
- Lietteen laskeutuksessa on ongelmia.

Suurimpina haasteina MBR-prosessissa ovat kalvojen tukkeutuminen sekä suhteellisen suuret käyttökustannukset. Tukkeutumisen minimoimiseksi ja pesuntarpeen vähentämiseksi on tehty lukuisia tutkimuksia ja monia erilaisia tekniikoita on kokeiltu. Tämä kehitystyö jatkuu edelleen. MBR - prosessin suuremmat käyttökustannukset johtuvat pääosin suuremmasta bioreaktoreiden sekä kalvomoduulien ilmastuksen tarpeesta. (Leiknes 2010, 197.) Kuten aiemmin kerrottiin, biologisen prosessin suurempi ilmastustarve johtuu prosessin korkeammasta lietepitoisuudesta ja kalvomoduulien tehokkaalla ilmastuksella taas pyritään ehkäisemään kalvojen tukkeutumista. MBR-prosessin investointikustannukset ovat pudonneet viimeisten 20 vuoden aikana reilusti, johtuen kalvojen hintojen laskusta ja on odotettavissa, että niiden hinnat laskevat myös tulevaisuudessa (Krzeminski 2013, 21). Taulukkoon 2 on koottu MBR-prosessin keskeisiä etuja ja haittoja.

TAULUKKO 1. MBR-prosessin etuja ja haasteita (Krzeminski 2013, 22; van Haandel ja van der Lubbe 2012, 353–354.)

Edut	Haitat
- Erinomainen puhdistustulos ja väh. osittainen desinfiointi	- Kalvojen tukkeutuminen
- Pieni tilantarve	- Tukkeutumisen ehkäisyyn vaatima suuri energiankulutus
- Korkea lietepitoisuus	- Korkeat käyttökustannukset (energiankulutus, pesukemikaalit)
- Mahdollisuus korkealle tilakuormalle ja lyhyelle hydrauliselle viipymälle (kompakti suunnittelu)	- Kalvojen vaihto (kalvojen elinikä rajallinen)
- Pitkä lieteikä	- Säännölliset kemikaalipesut
- Helppo nostaa olemassa olevan prosessin kapasiteettia	- Vaatii tehokkaan esikäsittelyn
- Ei rajoituksia lietteen laskeutuvuudelle	

Yhteenvedon voidaan todeta, että prosessin lietepitoisuus on avainparametri MBR-prosessissa. Suuri osa MBR-prosessilla saavutettavista eduista johtuu nimenomaan mahdollisuudesta operoida prosessia korkeammalla lietepitoisuudella ja näin ollen pidemmällä lieteikäällä. Nämä seikat, yhdessä kalvosuodatuksen kanssa, vaikuttavat prosessissa olevan aktiivilietteen laatuun ja näin ollen myös prosessista poistettavan ylijäämälietteen määrään ja ominaisuuksiin.

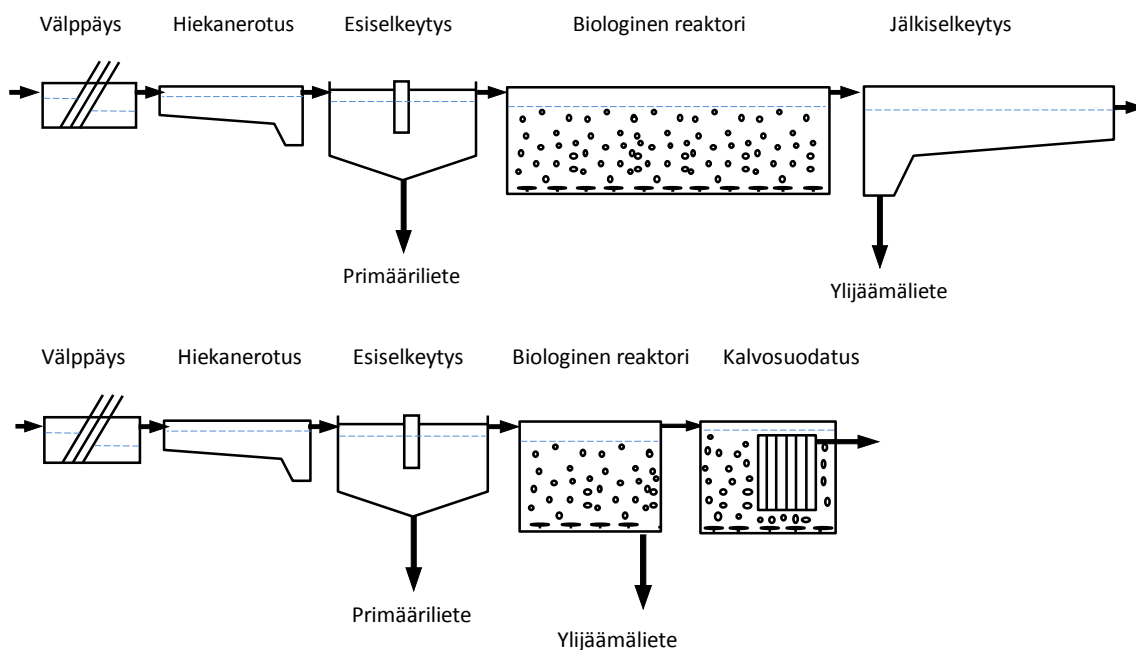
3 JÄTEVEDENPUHDISTAMON LIETTEET

3.1 Eri lietejakeet ja niiden muodostuminen

Eri jätevedenpuhdistamoiden prosesseista poistettavat lietteet ja muut kiintoaineet, kuten välpe ja hiekka, vaihtelevat laadultaan ja määrältään riippuen puhdistusprosessista sekä tulovirtaamasta (Turovskiy ja Mathai 2006, 31). Tässä työssä ei tarkastella välpe- ja hiekkajakeita, sillä ne ovat hyvin samankaltaisia MBR-prosessissa ja perinteisessä aktiivilieteprosessissa, lukuun ottamatta MBR-prosessin hienovälpejakeita, jota ei tyypillisesti CAS-prosessissa muodostu. Tyypillisesti jätevedenpuhdistamoilla lietettä muodostuu esikäsittelyn sekä biologisen ja kemiallisen käsittelyn yhteydessä. MBR-laitoksilla ei välttämättä ole erillistä esiselkeytystä, jolloin prosessista poistetaan lietettä ainoastaan biologisesta ja/tai kemiallisesta puhdistusvaiheesta. Tilanne on sama myös joillain pienillä perinteiseen aktiivilieteprosessiin perustuvilla laitoksilla.

Lietteet koostuvat, alkuperästä riippuen, ulosteen aineksista, kuiduista, hienoista kiviaineksista (mm. siltti), ruuan tähteistä, biologisista flokeista, orgaanisista kemiallisista yhdisteistä ja epäorgaanisista aineksista, kuten raskasmetalleista ja hivenaineista. Jätevesilietteet voidaan jaotella primääri- eli raakalietteeseen, sekundäärilietteeseen (biologinen liete) ja kemialliseen lietteeseen. Prosessista poistettavat lietteet käsitellään kuitenkin usein samoissa lietteenkäsittelyprosesseissa, jolloin käsitte-lyyn menevä liete on edellä mainittujen yhdistelmä eli sekalietettä. (Turovskiy ja Mathai 2006, 31–32.)

Biologisesta prosessista poistettavaa lietettä kutsutaan usein ylijäämalietteeksi, koska biomassan kasvun sekä usein kemiallisen saostuksen vuoksi prosessin lietemäärä nousee ja näin ollen ylimääräistä lietettä joudutaan poistamaan prosessista määrääjoin. Näin biologisen prosessin lietepitoisuus, lieteikä sekä lietekuorma saadaan pidettyä halutunlaisena. Ylijäämaliete poistetaan perinteisessä aktiivilieteprosessissa tyypillisesti laskeutuksen jälkeen jälkiselkeytysaltaista tai vaihtoehtoisesti se johdetaan ilmastusaltaista esiselkeytykseen, josta se poistetaan sekalietteenä yhdessä primäärilietteen kanssa. MBR-prosessista ylijäämaliete poistetaan ilmastusaltaasta tai kalvosuodatusaltaasta. CAS-prosessista ja MBR-prosessista tyypillisesti poistettavat lietejakeet on esitetty kuvassa 7. Poistettavan biologisen lietteen määrä riippuu suuresti lietteenkasvusta, jota käsitellään kappaleessa 3.4.



KUVA 7. Primääri- ja ylijäämälietteen tyypilliset poistopaikat CAS-prosessissa (yllä) sekä MBR-prosessissa (alla)

3.1.1 Primääriliete

Monilla jätevedenpuhdistamoilla on käytössä esiselkeytyks, jolla jätevedestä saadaan poistettua vettä raskaampaa kiintoainesta. Tyypillisellä aktiivilietelaitoksella esiselkeytyksestä poistettavan primäärilietteen määrä on noin 50 % prosessista poistettavan kokonaislietteen kuivapainosta. Primäärilietteen kuiva-ainepitoisuus (TS) on tyypillisesti välillä 2–7 %. (Turovskiy ja Mathai 2006, 32). Primääriliete on tyypillisesti harmaata sekä limaista ja se yleensä haisee todella voimakkaasti (Metcalf & Eddy 1991, 769).

Useilla laitoksilla eri prosesseista tulevat rejektivedet johdetaan esiselkeytyksen ylävirran puolelle, joka voi osaltaan vaikuttaa primäärilietteen muodostumismäärään ja laatuun. Näitä rejektivesiä voi tulla esim. lietteen kuivaimista sekä sakeutuksesta. Joillain laitoksilla myös biologisen puhdistusvaiheen ylijäämäliete johdetaan esiselkeyttimelle, josta se poistetaan sekalietteenä yhdessä primäärilietteen kanssa. Ennen esiselkeytyks tapahtuvat kemikaalilisäykset (esim. kalkki tai alumiini- tai rautasuolat) fosforin poiston, pH:n noston tai koagulaation vuoksi kasvattavat primäärilietemäärää. Tällöin myös inertin aineksen osuus lietteessä kasvaa. (WEF 2012, 71.)

Tyypillisesti primääriliete käsitellään laitoksen lietteenkäsittelyprosesseissa, joihin voi kuulua sekä sakeutus, että stabilointi. Laitoksesta riippuen se voidaan käsitellä yhdessä biologisen lietteen kanssa tai molemmat voidaan käsitellä erikseen. (WEF 2012, 71.) Verrattuna biologiseen tai kemialliseen lietteeseen, primääriliete on yleensä helpommin kuivattavaa (Turovskiy ja Mathai 2006, 32). Primäärilietteen laatu ja määrä eivät merkittävästi eroa MBR-prosessin ja perinteisen aktiivilieteprosessin välillä. MBR-laitoksilla jäteveden esikäsitelyssä käytetään kuitenkin yleensä myös pienemmän sälevalin omaavia hienovälppiä, jolloin esiselkeytykseen tulevan karkean kiintoaineksen määrä on vähäisempi.

3.1.2 Kemiallinen liete

Kemikaaleja käytetään jäteveden puhdistuksessa mm. fosforin kemialliseen saostukseen. Tähän tarkoitukseen yleisesti käytettyjä ovat kalkki sekä alumiini- ja rautapohjaiset kemikaalit. Monilla laitoksilla kemikaalit lisätään biologisen puhdistusvaiheen yhteydessä, jolloin saostuksen lopputuotteet sekoittuvat biologiseen lietteeseen. Monilla laitoksilla saostuskemikaalia syötetään myös ennen tertiärikäsittelyä toimivia selkeyttäjiä tai suodattimia. (Turovskiy ja Mathai 2006, 32–33.) Puhdas kemiallinen liete on yleensä tummaa ja sen pinta saattaa olla punertava, mikäli se sisältää runsaasti rautaa. Kemiallisen lietteen haju on epämiellyttävä, muttei kuitenkaan yhtä paha kuin primäärilietteen. (Metcalf & Eddy 1991, 769.)

3.1.3 Sekundääriliete

Sekundäärilietettä eli biologista lietettä muodostuu prosessin biologisessa vaiheessa. Sekundääriliete koostuu inertistä kiintoaineksesta, biomassasta sekä biomassan hajoamistuotteista. (WEF 2012, 71.) Biologista lietettä muodostuu siis, kun mikrobit käyttävät liukoista ja kolloidista orgaanista ainesta ravinnokseen, joka taas mahdollistaa mikrobien ja biomassan kasvun aktiivilietteessä (Turovskiy ja Mathai 2006, 32). Inertin kiintoaineen, biomassan ja biomassan hajoamistuotteiden keskinäinen suhde lietteessä määräytyy tulevan jäteveden laadun, ennen biologista vaihetta olevien prosessien (mm. esiselkeytys, hienovälppäys) sekä biologisen prosessin ajotavan ja olosuhteiden (mm. lieteikä, pH, lämpötila) perusteella. (WEF 2012, 71.)

Biologinen liete on yleensä ruskeaa ja ryynimäistä. Tuoreena lietteellä pitäisi olla ns. ”maamainen” tuoksu. Biologinen liete kuitenkin pilaantuu helposti, jolloin siitä lähtee epämiellyttävä mätänemisen haju. Tällöin myös lietteen väri muuttuu tummemmaksi. Mikäli liete on väriltään hyvin vaaleaa, voi se olla merkki liian heikosta ilmastuksesta biologisessa prosessissa. (Metcalf & Eddy 1991, 769.)

Biologinen liete on yleensä hankalammin kuivattavaa kuin primääriliete, koska biologisen lietteen kiintoaineksesta suurin osa on kevyitä biologisia flokkeja (Turovskiy ja Mathai 2006, 32). Tämän lisäksi biologisella lietteellä voidaan sanoa olevan kolme muuta haasteita aiheuttavaa ominaisuutta:

- Biologisesti epästabiili: riippuen lieteistä, biologinen liete voi sisältää runsaasti biologisesti hajoavaa ainesta. Tässä tapauksessa se alkaa mädäntyä muutamien tuntien sisällä ilmastuksen keskeyttämisestä.
- Huono hygieeninen laatu: biologisessa lietteessä on runsaasti erilaisia bakteereja, viruksia ja muita taudinaiheuttajia.
- Alhainen kiintoainepitoisuus: biologisen lietteen kiintoainepitoisuus on yleensä alhainen, noin välillä 0,4–1,5 %, riippuen käytettävästä lietteen ja veden erotustavasta. Tästä aiheutuu tarve käsitellä tilavuudeltaan suuria lietemääriä. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 71.)

3.2 Lietteen ominaisuudet MBR-prosessissa

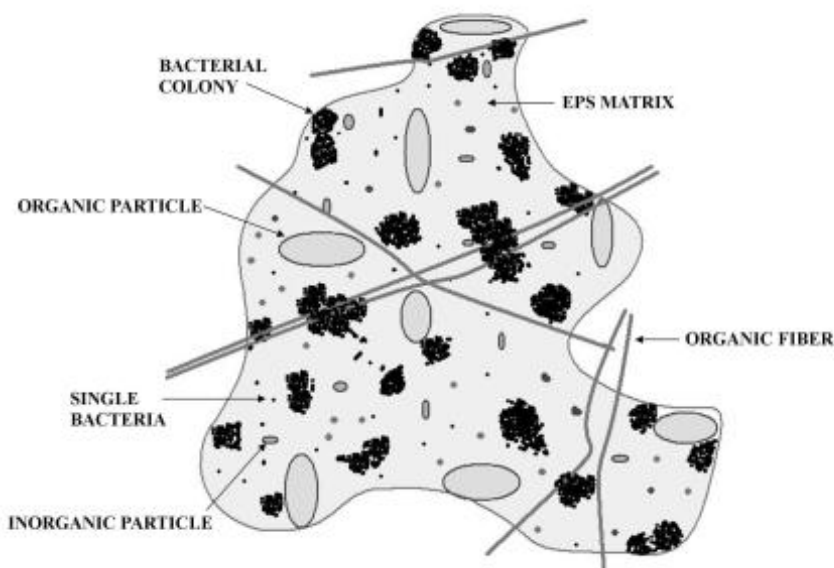
Käsittelyn ja loppusijoituksen toteuttamiseksi mahdollisimman tehokkaasti, on käsiteltävän lietteen ominaisuuksien tunteminen tärkeää. Lietteen ominaisuuksiin vaikuttaa useat eri tekijät, kuten

- käsiteltävän jäteveden alkuperä,
- jäteveden käsittelyprosessi,
- käsittelyprosessin olosuhteet sekä
- puhdistusprosessin ja lietteenkäsittelyn sivuvirrat. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 392; Turovskiy ja Mathai 2006, 44.)

Tässä työssä lietteen ominaisuuksia tarkastellaan ainoastaan biologisen lietteen osalta, sillä MBR-prosessin ja perinteisen aktiivilieteprosessin keskeisin ero on nimenomaan biologisessa käsittelyvaiheessa. Biologinen liete koostuu siis biologisesta prosessista poistettavasta lietteestä. MBR-prosessin aktiivilietteen ominaisuuksia tarkastellaan kirjallisuustiedon perusteella.

MBR-prosessin kalvosuodatukseen perustuva lietteen erotus sekä erilainen lieteikä ja lietekuorma aiheuttavat muutoksia lietteen ominaisuuksissa verrattuna perinteiseen aktiivilieteprosessiin (Massé, Spérandio ja Cabassud 2006, 2414). Näiden lisäksi myös kalvojen puhdistukseen käytettävä voimakas karkeakuplailmastus vaikuttaa lietteen ominaisuuksiin MBR-prosessissa (Merlo, Trussel, Hermanowicz ja Jenkins 2004, 2).

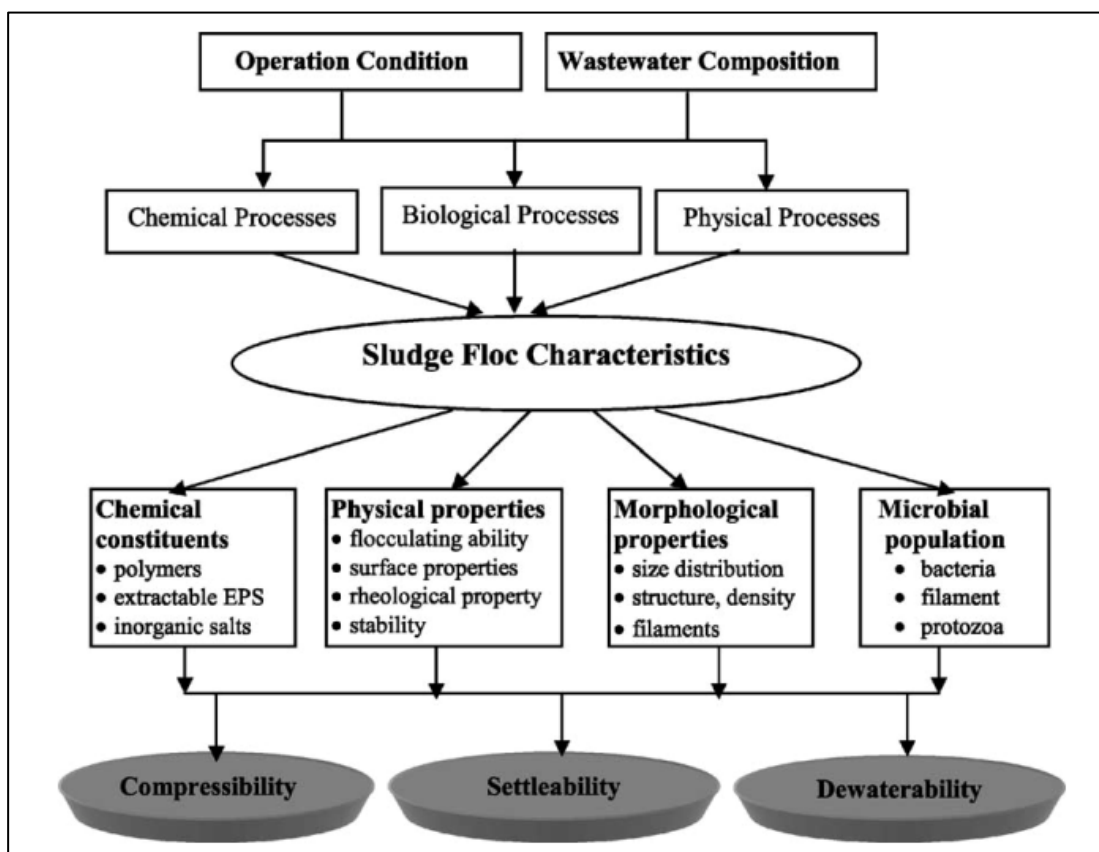
Aktiivilieteprosessissa mikro-organismit esiintyvät pääasiassa flokkeina. Flokit koostuvat kiintoainesta, joka sisältää erilaisia mikro-organismeja sekä orgaanisia ja epäorgaanisia partikkeleita sitoutuneena polymeereistä koostuvaan väliaineeseen eli EPS-aineeseen (kuva 8). (Jin, Wilén ja Lant 2003, 221.)



KUVA 8. Lieteflokin rakenne, jossa näkyy yksittäisiä bakteereja, bakteeripesäkkeitä, orgaanisia ja epäorgaanisia partikkeleita, orgaanisia kuituja sekä EPS väliaine (Vistisen Bugge ja Andersen 2009, 7)

On helppo ymmärtää, että useilla lieteflokkien ominaisuuksilla on suoria ja/tai epäsuoria vaikutuksia aktiivilietteen ominaisuuksiin (Jin ym. 2003, 221). Kuvassa 9 havainnollistetaan flokkien ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä sekä flokkien erilaisia kemiallisia, fysikaalisia, morfologisia sekä biologisia ominaisuuksia.

Kuvasta 9 nähdään, että flokin ominaisuuksiin vaikuttavat ympäröivät olosuhteet, käsiteltävän jäteveden koostumus sekä jätevedenpuhdistukseen käytettävät prosessit. Flokeilla on useita eri ominaisuuksia, mutta on todettu, että suurimmat vaikutukset aktiivilietteen ominaisuuksiin on flokkien EPS-aineiden määrällä, pinnan ominaisuuksilla (mm. hydrofobisuus), kokojakaumalla, tiheydellä sekä rihmojen määrällä ja pituudella (Jin ym. 2003, 221–222).



KUVA 9. Kaaviokuva flokin ominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä sekä flokin ominaisuuksista (Jin ym. 2003, 222.)

3.2.1 EPS-aineet

Flokkien kemiallisista ominaisuuksista, EPS-aineilla on kenties suurin merkitys aktiivilietteen laatuun. EPS-aineet ovat monimutkainen sekoitus polymeerejä, joita muodostuu mikrobien aineenvaihdunnasta, bakteerien hajoamistuotteista sekä adsorboitumalla jäteveden orgaanisesta aineksesta (Wilén, Jin, Lant 2003, 2127). EPS-aineet ovat siis erilaisia polysakkarideja, proteiineja, nukleiinihappoja, lipidejä sekä muita polymeerisiä yhdisteitä, joita on sekä mikrobisolujen ulkopuolella, että mikrobien välisissä tyhjiissä tiloissa. Näiden aineiden vaikutukset ovat moninaiset, joista keskeisin on toimia sideaineena bakteereille ja muille flokin aineksille ja näin ollen olla muodostaa keskeinen osa flokin rakenteesta. Lisäksi se muodostaa bakteerien ympärille suojaavan kalvon sekä pidättää vettä

flokin rakenteeseen. (Le-Clech ym. 2006, 32.) EPS-aineet ovat hydrofobisia ja ne vuorovaikuttavat veden kanssa geelin tavoin (Wilén ym. 2003, 2127).

EPS-aineiden vaikutusta MBR-prosessin suodatukseen on tutkittu paljon ja niiden osuuden fouling-ilmioon on havaittu olevan merkittävä. Lisäksi niillä on havaittu olevan vaikutusta myös lietteen laskeutuvuuteen ja kuivattavuuteen. (Jin ym. 2003, 233; Merlo ym. 2004, 7.)

Merlo ym. (2004, 6) havaitsivat MBR-lietteen EPS-aineiden pitoisuuden olevan samalla lieteiällä alhaisempia kuin CAS-prosessin. Tämä ero oli suurimmillaan alhaisilla lieteiällä, mutta pitoisuudet laskevat molemmilla lietteillä lieteiän kasvaessa. Lieteiällä 2 d MBR-lietteen EPS-pitoisuus oli noin 130 mg/gVSS ja CAS-lietteen puolestaan 346 mg/gVSS, kun taas lieteiällä 10 d pitoisuudet olivat 79 mg/gVSS MBR-lietteessä ja 94 mg/gVSS. Massé ym. (2006, 2411) havaitsivat myös EPS-pitoisuuksien olevan molemmissa lietteissä korkeimmillaan alhaisella lieteiällä. MBR-lietteen EPS-pitoisuus laski tasolta 45–70 mg/gVSS tasolle 20–40 mg/gVSS, kun lieteikä nousi 10 päivästä 53 päivään. He eivät kuitenkaan havainneet samalla lieteiällä merkittäviä eroja MBR- ja CAS-lietteen EPS-pitoisuuksien välillä. Ouyang ja Liu (2009, 1332) raportoivat EPS-pitoisuuden olevan MBR-lietteellä 52 mg/gVSS lieteiän ollessa 10 d ja vastaavasti lieteiällä 40 d pitoisuus oli 19 mg/gVSS.

Dvorák, Gómez, Dvoráková, Ruzicková ja Wanner (2011, 6874) tutkivat lietepitoisuuden vaikutusta MBR-lietteen EPS-pitoisuuteen. He totesivat, ettei lietepitoisuudella ole vaikutusta EPS-pitoisuuteen, mikäli lieteikä pysyy samanlaisena. Lietekuorman lasku (lieteiän kasvu) aiheutti kuitenkin EPS-pitoisuuksien tippumisen, joka johtuu todennäköisesti siitä, että ravinnon vähentyessä mikrobit alkavat käyttämään EPS aineita aineenvaihduntaansa. Al-Halbouni ym. (2008, 1478) tutkivat EPS-pitoisuuksia Nordkanalin MBR-laitoksella Saksassa ja havaitsivat pitoisuuksissa suurta kausittaista vaihtelua. Kesäajan EPS-pitoisuudet (17 mg/TSS) olivat jopa alle puolet talviajan pitoisuuksista (51 mg/TSS). Al-Halbouni ym. (2008, 1475) arvelevat lisääntyneen EPS-aineen tuoton kylmänä kautena johtuvan enemmän EPS-aineita tuottavien mikrobien, kuten filamenttisten bakteerien, suhteellisen lisääntymisenä.

EPS-aineiden määrään biologisessa lietteessä vaikuttaa siis keskeisesti lieteikä ja lietekuorma. Yleensä MBR-prosessia operoidaan CAS-prosessia korkeammalla lieteiällä, jolloin MBR-lietteen EPS-pitoisuudet ovat tyypillisesti alhaisempia. Taulukossa 2 esitetään kootusti eri tutkimuksissa saatuja EPS-pitoisuuksia MBR- ja CAS-prosesseille.

TAULUKKO 2. MBR- ja CAS-lietteissä havaittuja EPS-pitoisuuksia

Prosessi	Lietepitoisuus (g/l)	Lieteikä (d)	EPS (mg/gVSS)	Lähde
MBR	8,0	10	79	Merlo ym. (2004)
MBR	1,9	10	45–70	Massé ym. (2006)
MBR	6,0	53	20–40	Massé ym. (2006)
MBR	2,0	10	52	Ouyang ym. (2009)
MBR	5,9	40	19	Ouyang ym. (2009)
MBR	10	50	63–109	Dvorák ym. (2011)
CAS	3	10	94	Merlo ym. (2004)
CAS	1,6	9,2	35–65	Massé ym. (2006)
CAS	3,2	32	14–43	Massé ym. (2006)

3.2.2 Flokkikoko

Vertailtaessa MBR- ja CAS-prosessin aktiivilietteen flokkikokoa, on havaittu MBR-lietteen flokkikoon olevan pienempää. MBR-lietteen flokkikokojakaumassa on havaittu selkeästi kaksi piikkiä (5–20 ja 240 μm). Pienemmän kokoluokan piikin aiheuttaa pienien partikkeleiden, kolloidien ja vapaiden bakteerien tehokas pidättyminen kalvosuodatuksen vuoksi. (Judd ja Judd 2011, 130.) Tämän havaitsivat mm. Massé ym. (2006), joiden kokojakauman piikit olivat 1–10 μm ja 60–250 μm . He havaitsivat myös lieteiän nousun aiheuttavan flokkikoon pienentymisen. Keskimääräinen flokkikoko oli lieteiällä 10 d 12–220 μm ja lieteiällä 30 d 70–100 μm . Lieteiän kasvun flokkikokoa pienentävästä vaikutuksesta raportoivat myös Lee, Khang ja Shin (2003) sekä Ouyang ja Liu (2009).

Ahmed, Cho, Lim, Song ja Ahn (2007) havaitsivat tutkimuksessaan, että flokkikokojakauman pienimpien (n. 1 μm) partikkeleiden suhteellinen osuus kasvaa lieteiän lyhentyessä. Smith, Judd, Stephenson ja Jefferson (2003) saivat tutkimuksessaan MBR-lietteen keskimääräiseksi flokkikooksi 97,5 μm , kun CAS-lietteen vastaava oli 428 μm . Bae ja Tak (2005) raportoivat MBR-lietteen flokkikoon vaihtelevan pääosin välillä 10–40 μm , keskimääräisen flokkikoon ollessa 25 μm . Taulukkoon 3 on koottu eri tutkimuksissa havaittuja MBR- ja CAS-lietteiden keskimääräisiä flokkikokoja.

TAULUKKO 3. MBR- ja CAS-lietteiden keskimääräisiä flokkikokoja

Prosessi	Lieteikä (d)	Keskim. flokkikoko (μm)	Lähde
MBR	10	69	Ouyang ym. (2009)
MBR	40	65	Ouyang ym. (2009)
MBR	10	120–220	Massé ym. (2006)
MBR	37	70–100	Massé ym. (2006)
MBR	20	25	Bae ja Tak (2005)
MBR	20	5	Lee ym. (2003)
MBR	40	6	Lee ym. (2003)
MBR	10	83	Zhang ym. (2015)
MBR	30	98	Smith ym. (2003)
CAS	30	428	Smith ym. (2003)
CAS	35	122	Jin ym. (2003)
CAS	10	95	Zhang ym. (2015)

Suuret vaihtelut flokkikoossa eri MBR-prosesseissa johtuu eroista ilmastuksessa, biomassassa sekä tulevassa jätevedessä. Ilmastuksella on kaksi tarkoitusta biologisessa puhdistusvaiheessa. Sen täytyy pitää liuenneen hapen pitoisuus lietteessä riittävänä mikrobien toiminnalle sekä hoitaa aktiivilietteen riittävä sekoitus. Sekä liuenneella hapella, että sekoitustehokkuudella on vaikutusta flokkikokoon. Selvää riippuvuutta liuenneen hapen pitoisuuden ja flokkikoon välille ei kuitenkaan ole havaittu.

Myös lietteenkierrätysuhde vaikuttaa flokkikokoon. Wisniewski ja Grasmick (1998) tutkivat palautussuhteen vaikutusta flokkikokoon erilliseen suodatusyksikköön perustuvassa MBR-prosessissa ja havaitsivat flokkien hajoavan pääasiassa kierrätettäessä lietettä. Ilman palautuslietevirtaamaa ainoastaan 15 % flokeista oli alle 100 μm , kun taas palautuslietekierrolla 98 % flokeista oli alle 100 μm . Stricot, Filali, Lesage, Spérandio ja Cabassud (2010, 2118) tutkivat hydrodynaamisten ominaisuuksien vaikutusta flokin rakenteeseen ja havaitsivat voimakkaan leikkausrasituksen aiheuttavan flokkien murtumisen. Näin ollen palautuslietekierrolla sekä lietteen sekoituksella on siis flokkikokoa pienentävä vaikutus.

Flokkikoosta voidaan siis sanoa, että tyypillisesti se on MBR-lietteessä pienempää kuin CAS-prosessissa johtuen pienien partikkeleiden pidättymisestä lietteeseen kalvosuodatuksen ansiosta sekä voimakkaan ilmastuksen aiheuttamasta flokkien rikkoutumisesta. Lietetiän vaikutus flokkikokoon voi myös aiheuttaa eroa MBR- ja CAS-lietteen välille, johtuen MBR-prosessin mahdollisesta pidemmästä lieteiästä. Eroa voi tulla myös MBR-prosessin suuremman lietekierron vuoksi.

3.3 Biologisen lietteen kasvu MBR-prosessissa

Biologinen liete on aktiivilieteprosessin biologisessa prosessissa muodostuvaa biomassaa. Se sisältää myös orgaanista sekä hajoamatonta epäorgaanista ainesta, joka ei ole poistunut esiselkeytyksessä. Näin ollen nämä aineet sekoittuvat bioreaktorin biomassaan. Biologisen prosessin orgaaninen kuor-

mitus onkin tärkein yksittäinen lietteen kasvuun vaikuttava tekijä, joten prosessin esiselkeytyksen biologista hapenkulutusta (BOD) tai kemiallista hapenkulutusta (COD) aiheuttavan aineksen poistoteho vaikuttaa keskeisesti lietteen muodostumiseen. Tyypillisesti esiselkeytyksen poistoteho kiintoaineelle on noin 50–65 %, BOD-poistotehon ollessa yleensä noin 50 %. (Turovskiy ja Mathai 2006, 34–36.) Ilman esiselkeytystä toimivilla laitoksilla kaikki tulovirtaaman sisältämä kiintoaine ja BOD-aine tulevat suoraan biologiseen prosessiin.

MBR-prosessissa, kuten CAS-prosessissakin, on tärkeää kyetä arvioimaan bioreaktorissa muodostuvan lietteen määrää ja näin ollen prosessista poistettavan biolietteen määrää. Tämän arvion tekemisen kannalta tärkeitä parametreja ovat: prosessin orgaanisen aineksen (BOD tai COD) poistoteho, biomassan määrä reaktorissa ja inertin kiintoaineen määrä tulovirtaamassa. (Turovskiy ja Mathai 2006, 36.)

Biologisessa prosessissa mikrobien lisääntymisen yhteydessä mikrobit hapettavat orgaanisia ja epäorgaanisia aineksia. Tuotetun biomassan ja siihen käytetyn aineksen suhdetta kutsutaan lietteen kasvuksi. Lietteen kasvun kuvaamisessa on käytössä lukuisia eri orgaanisen aineksen määrää kuvaavaa parametria, mutta yleisimmin käytettyjä ovat BOD ja COD. Tällöin lietteen kasvun yksikkö on siis gVSS/gBOD tai gVSS/gCOD, joka siis kertoo, kuinka paljon uutta biomassaa muodostuu poistettua BOD tai COD grammaa kohden. (Metcalf & Eddy 2003, 534.)

Mikäli lietteen kasvu on todettu mittaamalla, käytetään kasvusta termiä ”havaittu kasvu” (observed yield), Y_{obs} . Havaittu kasvu, Y_{obs} , ottaa siis huomioon todellisen lietteenkasvun lisäksi myös mikrobien hajoitusnopeuden. Y_{obs} on syytä erottaa mikrobien nettokasvusta, joka mittaa vain aktiivisten mikroorganismien määrää prosessissa, eikä näin ollen ota huomioon mikrobien aineenvaihdunnan vuoksi häviävää biomassaa. Likimääräinen prosessista poistettavan biologisen lietteen määrä voidaan laskea kaavalla 1. (Metcalf & Eddy 2003, 534.)

$$P_{x,VSS} = \frac{Y_{obs}Q(S_0 - S)}{1000 \frac{g}{kg}}, \quad (1)$$

jossa $P_{x,VSS}$ = prosessista poistettava lietemäärä (kgVSS/d)
 Y_{obs} = havaittu kasvu (gVSS/gCOD tai gVSS/gBOD)
 Q = tulovirtaama (m^3/d)
 S_0 = tuleva orgaaninen (BOD tai COD) kuorma (g/m^3) ja
 S = prosessista poistuva orgaaninen kuorma (g/m^3).

Biologisesta prosessista poistettava kokonaislietemäärä saadaan, kun kaavan 1 antamaan tulokseen lisätään tulovirtaaman mukana tuleva haihtumaton kiintoaine sekä vähennetään prosessista puhdistetun veden mukana lähtevä kiintoaine. Tämä voidaan ilmaista kaavan 2 mukaisesti. (Turovskiy ja Mathai 2006, 36.) Rinnakkaissaostuslaitoksissa biologisen prosessin lietteentuottoon vaikuttaa lisäksi saostuksesta aiheutuva lietteen muodostuminen, joka täytyy ottaa huomioon arvioitaessa tällaisen laitoksen kokonaisylijäämälietemäärää.

$$WAS = P_{x,VSS} + I_0 - E_t, \quad (2)$$

jossa WAS = biologisesta prosessista poistettava kokonaislietemäärä (kgTSS/d)

I_0 = tulokuorman sisältämä haihtumaton kiintoaine (kg/d) ja

E_t = lähtevän veden mukana lähtevä kiintoaine (kgTSS/d).

Lietteen kasvuun, Y_{obs} , vaikuttaa keskeisesti lieteikä, SRT (solids retention time). Lieteikä kuvaa aikaa, jonka lietepartikkelit pysyvät prosessissa ja se ilmoitetaan päivinä. Lieteiän kasvaessa lietteen kasvu vähenee, biomassan määrä vähenee mikrobien endogeenisen hengityksen seurauksena ja näin ollen myös tarvittava prosessista poistettava lietemäärä vähenee. Prosessissa, jossa lietettä ei ole merkittävästi varastoituneena selkeytysaltaisiin, lieteikä voidaan laskea kaavan 3 mukaisesti. (Turovskiy ja Mathai 2006, 36–38.)

$$SRT = \frac{X}{WAS}, \quad (3)$$

jossa SRT = Lieteikä (d) ja

X = Lietemäärä bioreaktorissa (kgVSS)

WAS = Prosessista poistettu lietemäärä (kgTSS/d).

Lieteikä vaikuttaa suoraan prosessin lietekuormaan, joka on mikrobeille tulevan ravinnon määrä suhteessa prosessin biomassan määrään. Lieteiän kasvaessa lietekuorma laskee ja päinvastoin. Näin ollen lieteiän vaikutus lietteen kasvuun on kenties helpommin ymmärrettävissä lietekuorman kautta. Lietekuorman alentuessa mikrobeille tulevan ravinnon määrä laskee ja mikrobit joutuvat käyttämän yhä suuremman osan tulevasta ravinnosta solujen ylläpitoon, jolloin kasvuun käytettävän ravinnon määrä vähenee ja täten myös biomassan kasvu vähenee (Low ja Chase 1998, 852).

Kaavan 1 parametreista, havaittua kasvua, Y_{obs} lukuun ottamatta, kaikki ovat yleensä tunnettuja ja niitä mitataan säännöllisesti jätevedenpuhdistamojen toiminnan tarkkailun yhteydessä. Näin ollen prosessista poistettavan biologisen lietteen määrän laskentaan ja arviointiin tarvitaan tietoa MBR-prosessin lietteen kasvusta. Usein MBR-prosessin lietteentuoton sanotaan olevan vähäisempää kuin CAS-prosessissa, johtuen pidemmästä lieteikästä. Tyypillinen lietteen kasvun vaihteluväli perinteiselle aktiivilieteprosessille on 0,3-0,5 gVSS/gCOD (Turovskiy ja Mathai 2006, 37).

Smith ym. (2002, 3) tutkivat lietteenkasvua MBR- ja CAS-prosessissa eri lieteikäillä (8–30 d). He havaitsivat MBR-prosessin lietteenkasvun olevan hieman alhaisempi kuin CAS-prosessissa, mutta totesivat eron olevan merkittävä ainoastaan lieteiän ollessa alhainen. Jo lieteikäällä 20 d, ero oli käytännössä merkityksetön, kun MBR-prosessin lietteenkasvu oli 0,15 g VSS/g COD ja CAS-prosessissa 0,16 g VSS/g COD. Massé ym. (2006, 2408) havaitsivat myös, ettei samalla lieteikäällä operoidessa lietteenkasvussa ole merkittäviä eroja MBR- ja CAS-prosessin välillä. Heidän tutkimuksessaan lietteenkasvu oli CAS-prosessissa lieteikäällä 9,2 d 0,302 g VSS/g COD ja lieteikäällä 32 d 0,244 g VSS/g

COD. Vastaavasti MBR-prosessissa lietteenkasvu oli lieteiällä 10 d 0,310 g VSS/g COD ja lieteiällä 37,2 d 0,220 g VSS/g COD. He havaitsivat kuitenkin, että operoidessa MBR-prosessia erittäin pitkällä lieteiällä (110,3 d), lietteenkasvu putosi tasolle 0,13 gVSS/gCOD, joka on hyvin lähellä tulosta, jonka Spérandio ja Espinosa (2008, 86) saivat omassa tutkimuksessaan (SRT 110 d, Y_{obs} 0,13 gVSS/gCOD). Al-Malack (2006, 54) tutki MBR-prosessin lietteenkasvua 4–20 d lieteiällä ja havaitsi lietteenkasvun olevan samassa vaihteluvälissä kuin CAS-prosessienkin.

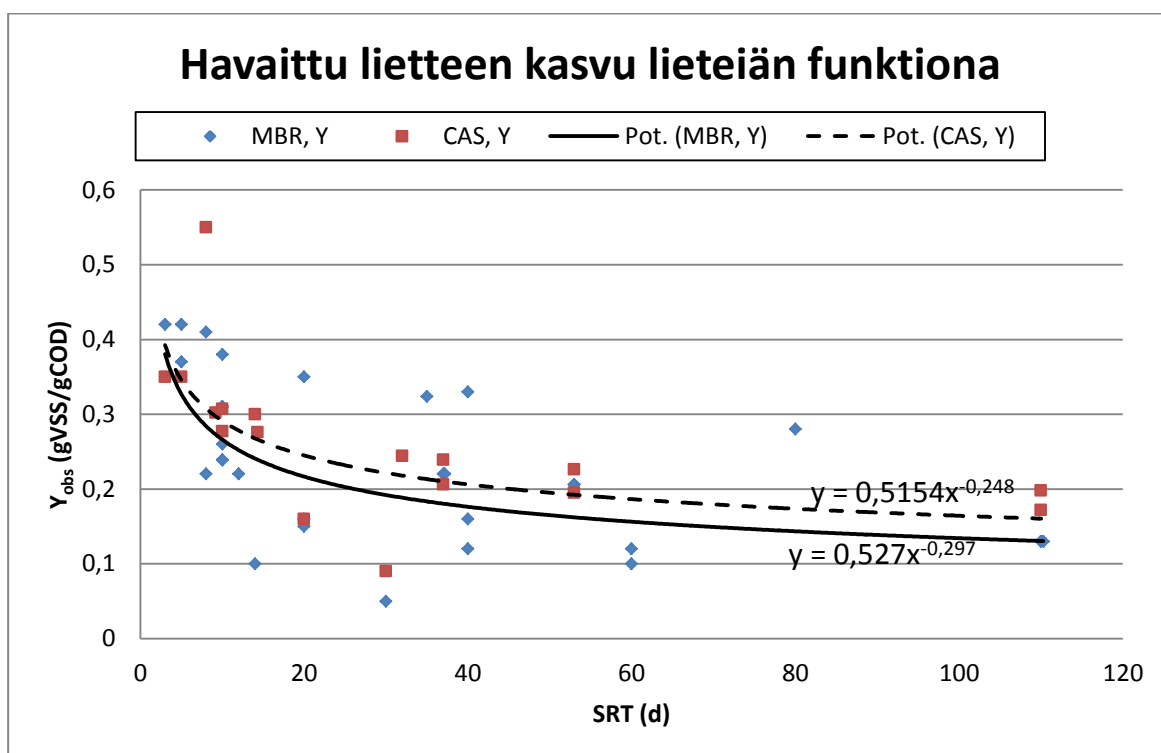
Lee ym.(2006, 285) raportoivat pienemmästä MBR-prosessin lietteenkasvusta verrattuna CAS-prosessiin. Heidän tutkimuksessaan lietteenkasvu oli lieteiällä 20 d 0,16 gVSS/gCOD ja lieteiällä 60 d 0,10 gVSS/gCOD, joka on selvästi alhaisempi kuin tyypillisessä CAS-prosessissa. Ng ja Hermanowicz (2005, 986) tulivat tutkimuksessaan tulokseen, että MBR-prosessin lietteenkasvu (0,42 gVSS/gCOD) oli suurempaa kuin CAS-prosessissa (0,35 gVSS/gCOD), lieteiän ollessa 5 d. Samanlaisen lietteenkasvun (0,41 gVSS/gCOD) MBR-prosessille havaitsivat myös Snider-Nevin, Adams, Suresh ja Zhou (2013, 661).

Huang, Gui ja Qian (2001, 1004) tutkivat mikrobien nettokasvua sekä hajotusnopeutta MBR-prosessissa ja huomasivat mikrobien nettokasvun olevan samaa tasoa, mutta hajotusnopeuden merkittävästi suurempaa kuin CAS-prosessissa. Syyksi he arvelivat MBR-prosessin voimakkaampaa ilmastusta, joka saattaa kiihdyttää mikrobien aineenvaihduntaa ja näin ollen hajotusnopeutta. Saman seikan havaitsivat myös Smith ym. (2002, 4). MBR-prosessin alhaisemmasta lietteenkasvusta verrattuna CAS-prosessiin raportoivat myös Teck, Loong, Sun ja Leckie (2009, 40), Ouyang ja Liu (2009, 1331) sekä Kraume, Bracklow, Vocks ja Drews (2005, 4). Kraume ym. (2005, 4) raportoivat kuitenkin, ettei täyden mittakaavan MBR-laitoksissa Markranstädtissä ja Rödingenissä Saksassa ole havaittu merkittävää lietteenkasvun alenemista lieteiän ollessa alle 30 d vaan merkittävään lietteen-tuoton vähenemiseen tarvittaisiin selkeästi korkeampi lieteikä.

Lämpötilalla on keskeinen ja moninainen vaikutus biologiseen toimintaan. Se vaikuttaa mikrobien aineenvaihdunnan lisäksi myös mm. kaasujen liukenemiseen veteen ja vaikuttaa näin ollen mikrobien toimintaan myös tätä kautta. (Metcalf & Eddy 2003, 585.) Arévalo, Ruiz, Pérez ja Gómez (2014, 45) tutkivat aktiivilietteen lämpötilan vaikutusta lietteen kasvuun MBR-prosessissa ja havaitsivat, että lämpötilan ollessa 25 °C oli lietteenkasvu, Y_{obs} , 0,201 gVSS/gCOD ja lämpötilassa 15 °C vastaavasti 0,334 gVSS/gCOD.

MBR-prosessin biologisen lietteen kasvu vaihtelee siis erittäin paljon eri tutkimuksien välillä ja selkeää johtopäätöstä siitä, onko MBR-prosessin lietteenkasvu alhaisempaa kuin CAS-prosessin, ei voida tehdä. Mikäli CAS-prosessia ajetaan perinteisesti käytettyä lietepitoisuutta (n. 3–5 g/l) suuremmilla pitoisuuksilla (6–7 g/l), on mahdollista, että lietettä varastoituu jälkiselkeytysaltaiden pohjalle jo merkittävässä määrin. Kun lieteiän laskennassa otetaan huomioon tämä lietemäärä voi CAS-prosessinkin todellinen lieteikä olla hyvin lähellä MBR-prosesseissa käytettyä. Liitteessä 1 ja kuviossa 1 on esitetty kootusti eri tutkimuksissa saatuja tuloksia lietteenkasvusta, Y_{obs} . Kuvioista 1 nähdään, että tulosten perusteella keskimääräinen lietteenkasvu MBR-prosessissa eri lietei'illä voi olla hieman alhaisempi kuin CAS-prosessissa. MBR-prosesseista saatujen tulosten suuren vaihtelun vuoksi kovin

tarkkaa johtopäätöstä ei kuitenkaan voida tehdä. Yhteenvedona voidaan siis todeta, että ainakin korkeaan biologisen lietteen kasvun arviointiin voidaan käyttää samoja menetelmiä kuin CAS-prosessissakin, varsinkin toimittaessa alhaisella lieteiällä.



KUVIO 1. Eri tutkimuksissa havaittuja lietteenkasvumääriä, Y_{obs} lieteiän, SRT funktiona

4 LIETTEIDEN KÄSITTELY JÄTEVEDENPUHDISTAMOILLA

4.1 Käsittelyn tarve

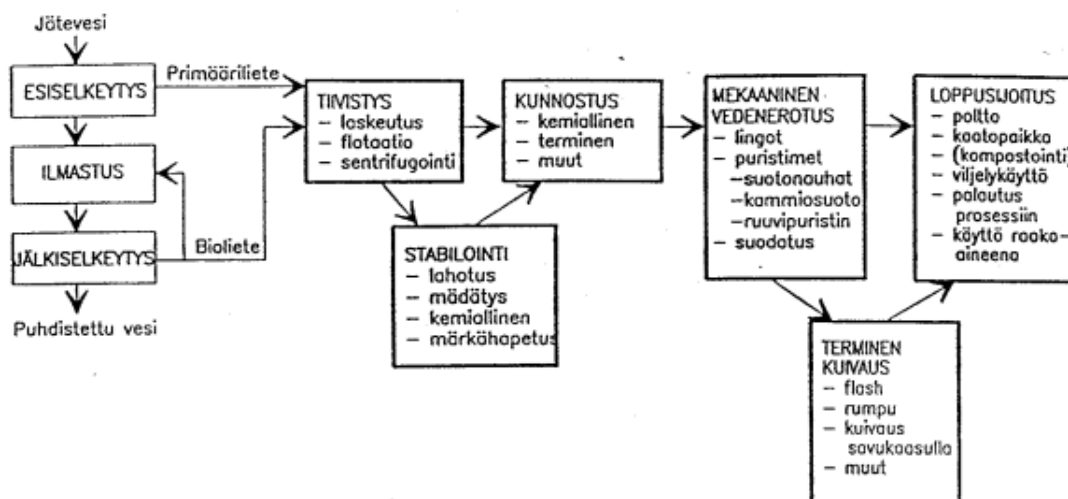
Aktiivilieteprosessilla saadaan jätevedestä tehokkaasti poistettua kiintoainetta, orgaanista ainesta sekä ravinteita, mutta samaan aikaan prosessista poistettavat lietteet aiheuttavat uuden ongelman, joka vaatii käsittelyä. Tämän lietteen käsittely ja loppusijoitus muodostaa merkittävän osan jätevedenpuhdistamon kustannuksista. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 391.) Lietteenkäsittelyn kustannukset voivat olla jopa 40–50 % laitoksen kuluista (WEF 2012, 6). Näin ollen lietteen prosessointi, uudelleen käyttö ja loppusijoitus on tehtävä mahdollisimman kustannustehokkaasti. Lisäksi lietteenkäsittelyssä on huomioitava voimassa olevat viranomais määräykset sekä lait.

Valtakunnallisesti lietteiden määrät ovat kasvaneet Suomessa viime vuosikymmeninä runsaasti. Tämä kasvu johtuu mm. viemäriverkoston laajentumisesta, puhdistusprosessien tehostumisesta sekä kiristyneistä ympäristövaatimuksista. Lietteiden kuiva-ainepitoisuudet vaihtelevat tyyppillisesti välillä 2–30 %, riippuen puhdistusprosessista, lietteenkäsittelytekniikoista ja lietteen laadusta. (Lohiniva, Mäkinen ja Sipilä 2001, 6-19.)

Lietteen käsittelyllä tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla pyritään muuttamaan lietteen laatua ja määrää (Kaupunkiliitto 1980, 75). Lietteenkäsittelyn tarkoituksena on vähentää kuljetus- ja jatkokäsittelykustannuksia, hajuhaittoja sekä lietteessä olevia ympäristölle tai terveydelle haitallisia aineita (esim. patogeeneit ja raskasmetallit). Joissain tapauksissa tavoitteena voi olla myös joidenkin arvokkaiden aineiden talteenotto. Lietteet sisältävät mm. lannoitekäytössä hyödynnettäviä hivenaineita ja ravinteita. (Lohiniva ym. 2001, 37.) Käsitellyn lietteen laatuvaatimukset määräytyvät suurelta osin sen jatkokäytön perusteella. Tällaista jatkokäyttöä voi olla esimerkiksi maatalouskäyttö tai viherrakentaminen.

Erilaisia lietteenkäsittelytekniikoita on lukuisia ja käytetyt tekniikat vaihtelevat erikokoisissa laitoksissa. Eri käsittelyvaiheiden järjestys ja lukumäärä voi vaihdella kulloisenkin tarpeen mukaan. Lietteen käsittelyprosesseja päätettäessä, on valittavana toiminnaltaan ja päämäärältään erilaisia käsittelyvaiheita (kuva 10). Näitä ovat mm. seuraavat:

- sakeutus/tiivistys
- stabilointi (esim. lahotus tai mädätys)
- hygienisointi
- kunnostus (esim. kemiallinen tai terminen)
- kuivaus
- poltto (Kuntaliitto 1980, 75).



KUVA 10. Eri vaihtoehtoja lietteenkäsittelylle ja loppusijoitukselle (Lohiniva ym. 2001, 38)

Lietteen sakeutus tai tiivistys sekä kuivaus ovat käsittelyprosesseja, joita käytetään hyvin yleisesti suomalaisilla jätevedenpuhdistamoilla. Muiden yllä mainittujen menetelmien käyttö vaihtelee runsaasti eri puhdistamojen välillä. Seuraavaksi käydään läpi yleisimmät lietteen tiivistys- ja kuivausmenetelmät.

4.2 Lietteen tiivistys

Tiivistyksen tarkoituksena on kasvattaa lietteen kiintoainepitoisuutta sekä vähentää sen tilavuutta poistamalla lietteessä olevaa vettä. Tiivistyksellä pyritään vähentämään seuraavien lietteenkäsittelyvaiheiden kustannuksia sekä lisäämään niiden tehokkuutta. Esimerkiksi lietteen kiintoainepitoisuuden noustessa 1 %:sta 2 %:iin pienenee lietteen tilavuus puoleen. Jos taas kiintoainepitoisuus saadaan nostettua 5 %:iin vähenee lietteen tilavuus viidennekseen alkuperäisestä. Mahdollisten stabilointi- ja käyttökustannukset, lietteen välivarastoinnin tarve sekä kuivauksen vaatima kapasiteetti vähenevät huomattavasti lietteen tilavuuden pienentyessä. Tiivistysprosessin suunnittelussa on huomioitava mm.

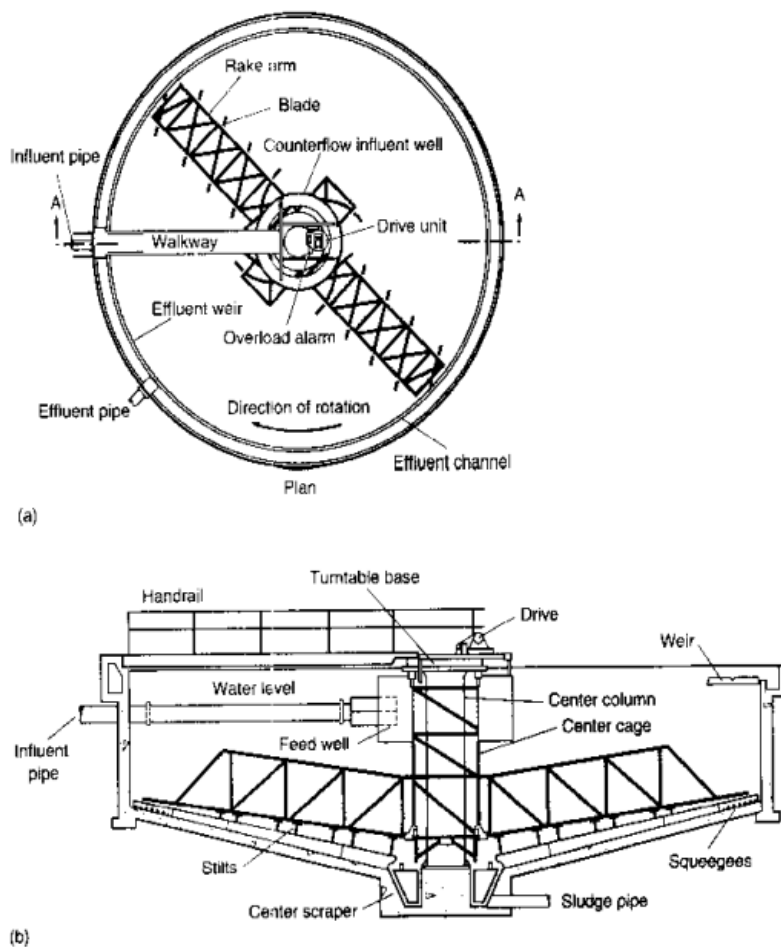
- tulevan sekä sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuus ja määrä,
- tilarajoitukset,
- energiankulutus sekä
- käytön vaativuus ja huollon tarve. (WEF 2012, 251; Turovskiy ja Mathai 2006, 81.)

Jätevedenpuhdistusprosessin biologisesta vaiheesta poistettava ylijäämäliete on tyypillisesti tiivistyksen kannalta haastavampi kuin esiselkeytyksestä poistettava raakaliete. Lietteen tiivistys on tyypillisesti ensimmäinen lietteen käsittelyvaihe, mutta sen käyttö on mahdollista myös esimerkiksi stabiloinnin tai kunnostuksen jälkeen. (Kaupunkiliitto 1980, 79; WEF 2012, 251.) Yleisimmät lietteen tiivistyksessä käytettävät menetelmät ovat laskeutustiivistys, flotaatiotiivistys sekä mekaaniset tiivistimet, kuten lingot, suotonauhatiivistimet ja ruuvipuristimet. Joillain laitoksilla lietteen sakeutus tapahtuu selkeytyksen lietepesässä. (WEF 2012, 251.) Suotonauhoja ja linkoja käytetään Suomessa lähinnä lietteenkuivaimina, joten niitä käsitellään lietteen kuivauksen yhteydessä. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi laskeutustiivistyksen ja flotaatiotiivistyksen pääperiaatteet.

4.2.1 Laskeutustiivistys

Erillinen jatkuvatoiminen gravitaatioon perustuva laskeutustiivistys otettiin Yhdysvaltojen kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla käyttöön 1950-luvun alkupuolella, johon saakka lietteentiivistys tapahtui esiselkeyttimien yhteydessä. Laskeutustiivistys on edelleen käytetyin tekniikka lietteen kiintoainepitoisuuden kasvattamiseen. Nykyisin, varsinkin biologisen lietteen tiivistyksessä, käytetään enenevässä määrin muita, tehokkaampia menetelmiä. (WEF 2012, 251–254.)

Laskeutustiivistämöt (kuva 11) ovat yleensä pyöreitä betonisia altaita. Tiivistykseen tuleva liete johdetaan altaan keskelle, jonka jälkeen lietteen annetaan laskeutua painovoimaisesti. Laskeutunut ja tiivistynyt liete poistetaan pumppaamalla altaan pohjalta ja selkeytynyt vesi (rejektivesi) poistuu yli vuotokouruihin, joista se tyypillisesti johdetaan puhdistusprosessin alkuun. Tiivistämössä on tyypillisesti pohjakaapimet ja usein myös pintalietteen poistoon tarkoitettu pintakaavin. Laskeutustiivistämö voidaan jakaa kolmeen vyöhykkeeseen. Alimpana on tiivistyneen lietteen vyöhyke (lietepatja) ja ylimpänä selkeytyneen veden vyöhyke. Välissä on sedimentaatiovyöhyke, jonne lietteensyöttö tapahtuu. Tiivistämössä biologisen lietteen flokkirakenne muuttuu, flokkien hajotessa yläpuolisen liememassan aiheuttaman puristuksen vuoksi. (Metcalf & Eddy 1991, 804; WEF 2012, 254.)



KUVA 11. Laskeutustiivistämön periaatekuva: (a) pohjakuva ja (b) leikkaus A-A (Metcalf & Eddy 2003, 1492)

Laskeutustiivistämöiden halkaisijat vaihtelevat suuresti, mutta tyypillisesti ne ovat 10–24 m. Tyypillinen reunasyvyys on 2,5–4 m ja pohjan kaltevuus 1:4–1:6. (Turovskiy ja Mathai 2006, 81.) Lietepatjan korkeus on hyvä olla 1,2–1,8 m. Kuiva-ainekuorman tulisi olla 25–200 kgTS/m²/d, riippuen lietteen laadusta. Sopiva hydraulinen kuormitus käsiteltäessä biologista lietettä on 4–8 m³/m²/d, kun taas käsiteltäessä pelkästään primäärilietettä sopiva hydraulinen kuorma on 15,5–31 m³/m²/d. Sekalietteelle hydraulinen kuorma voi olla 6–12 m³/m²/d. (Turovskiy ja Mathai 2006, 85; WEF 2012, 256–257.) Viipymä laskeutustiivistämössä on yleensä 6–12 h (Lohiniva ym. 2001, 38).

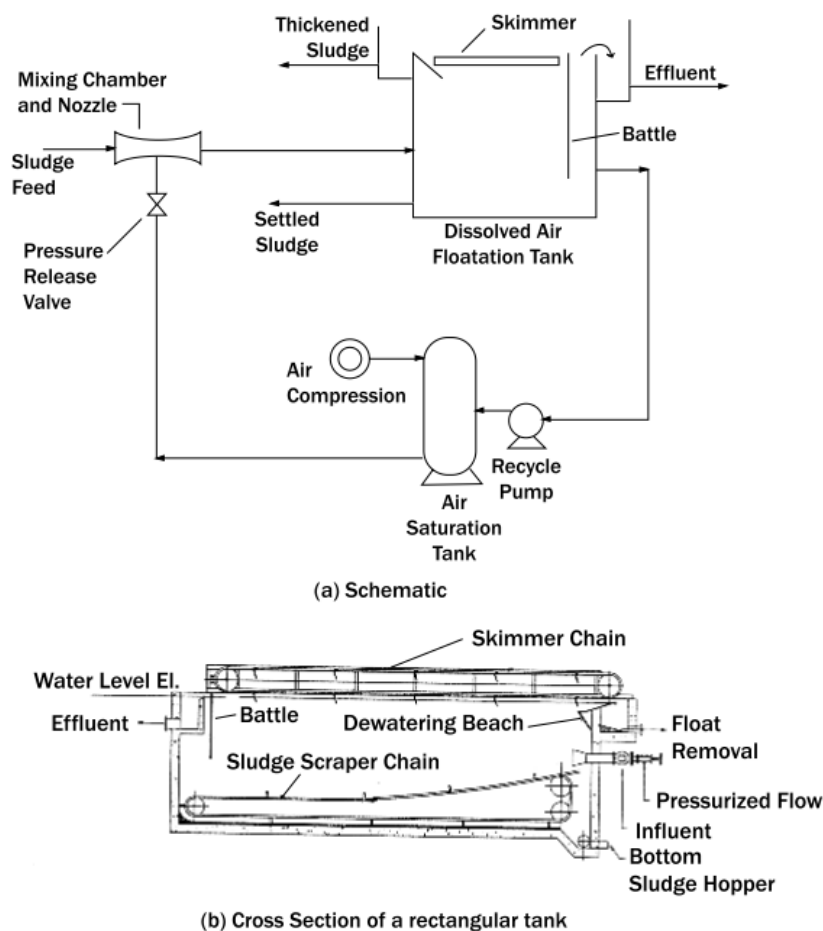
Laskeutustiivistyksen etuina voidaan pitää pieniä käyttökustannuksia ja lisäksi ne ovat usein melko helppohoitoisia. Haittoja puolestaan ovat suuri tilantarve sekä mahdolliset hajuongelmat. (Lohiniva ym. 2001, 39.) Hyvin toimivasta laskeutustiivistämöstä rejektiveden mukana karkaavan kiintoaineen osuus on noin 5 %. Laskeutustiivistyksellä saavutettava kuiva-ainepitoisuus käsiteltäessä biologista lietettä on noin 2–3 %, kun primäärilietteellä saavutettava kuiva-ainepitoisuus on noin 4–8 %. Sekalietteellä vastaava arvo vaihtelee tyypillisesti välillä 2–7 %. (Metcalf & Eddy 1991, 808; Turovskiy ja Mathai 2006, 85; WEF 2012, 251.) Käsiteltäessä puhdasta biologista lietettä, ei laskeutustiivistyksellä päästä välttämättä jatkokäsittelyn kannalta riittävän korkeisiin pitoisuuksiin, jolloin tarvitaan tehokkaampia menetelmiä, kuten flotaatiota, suotonauhaa, ruuvipuristinta tai jopa linkoa.

4.2.2 Flotaatiotiivistys

Lietteentiivistyksessä käytettävässä flotaatiomenetelmässä (DAF, dissolved air flotation) (kuva 12) liete erotetaan vedestä kierrätysveteen (dispersiovesi) paineen alaisena liuotetun ilman avulla. Dispersiovesisäiliössä veteen liuotetaan ilmaa, jonka jälkeen se johdetaan flotaatioyksikköön. Flotaatioyksikön paine on hyvin lähellä ilmakehän painetta, joten dispersiovedessä liuenneena oleva ilma vapautuu pieninä kuplina lietteeseen. Noustessaan ylöspäin ilmakuplat tarttuvat lietepartikkeleihin muodostaen kasaumia joiden tiheys on veden tiheyttä alhaisempi. Näin ollen nämä lietekasaumat nousevat altaan pinnalle, josta ne poistetaan ketjukaapimella lietekouruun. Myös altaan pohjalla tarvitaan usein pohjakaapimet, joilla saadaan poistettua raskaammat partikkelit, jotka vajoavat altaan pohjalle. (WEF 2012, 260–268.)

DAF-menetelmä on erittäin tehokas biologisen lietteen tiivistyksessä, mutta myös primäärilietettä ja kemiallista lietettä pystytään menetelmällä tiivistämään (Metcalf & Eddy 1991, 804; Turovskiy ja Mathai 2006, 88). DAF-menetelmää voidaan käyttää apukemikaalin syötöllä tai ilman. Tyypillisin apukemikaali on polymeeri ja sen on havaittu tehostavan prosessin toimintaa merkittävästi. DAF-menetelmän etuina voidaan pitää seuraavia seikkoja:

- tiivistys voidaan tehdä käyttämällä polymeeriä tai ilman
- hyvä tiivistystulos sekä primäärilietteelle, että biologiselle lietteelle
- lietettä voidaan syöttää prosessiin suurella virtaamalla
- rejektiveden BOD pitoisuudet ovat alhaiset.



KUVA 12. Flotaatiivivestyksen periaatekuva (a) sekä poikkileikkaus (b) (Turovskiy ja Mathai 2006, 89)

DAF-menetelmässä sallittu kuiva-aine-kuorma vaihtelee riippuen syötettävästä polymeerimäärästä. Ilman polymeerin syöttöä kuiva-ainekuorma voi olla primäärilietteelle $4\text{--}6\text{ kg/m}^2/\text{h}$, biologiselle lietteelle $2\text{--}4\text{ kg/m}^2/\text{h}$ ja sekalietteelle $3\text{--}6\text{ kg/m}^2/\text{h}$. DAF-prosessin hydraulinen kuormitus voi olla niinkin korkea kuin $330\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, mutta suositeltu kuormitus on $30\text{--}120\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. Sallittuun hydrauliseen kuormitukseenkin vaikuttaa merkittävästi käytettävä polymeeriannostus. DAF-prosessin erotusaste on yleensä vähintään 90 %, mutta hyvin toimivalla prosessilla, käsiteltäessä ainoastaan biologista lietettä, voi erotusaste olla jopa 99 %. DAF-prosessin tiivistetyn lietteen minimipitoisuutena voidaan pitää 4 %, joka on havaittu saavutettavan myös biologiselle lietteelle ilman polymeerilisäystä. Joillain laitoksilla on päästy, ilman polymeerin syöttöä, jopa yli 6 % pitoisuuteen. Primääri- ja sekalietteillä saavutettavat pitoisuudet ovat luonnollisesti hieman korkeampia. (WEF 2012, 270-273; Turovskiy ja Mathai 2006, 91–92.) Tiivistetty liete johdetaan yleensä seuraavaksi kuivaukseen.

4.3 Lietteen kuivaus

Lietteenkuivauksella tarkoitetaan fysikaalista yksikköprosessia, jolla vähennetään lietteen vesipitoisuutta. Lietteen kuivauksen tarkoituksenmukaisuus perustuu tyypillisesti johonkin seuraavista seikoista:

- lietteen kuljetuskustannukset lopulliseen sijoituspaikkaan vähenevät huomattavasti lietteen tilavuuden pienentyessä

- kuivattu liete on huomattavasti helpompaa käsitellä kuin ainoastaan tiivistetty liete
- ylimääräisen veden poisto voi joissain tapauksissa vähentää lietteestä aiheutuvia hajuhaittoja. (Metcalf & Eddy 1991, 855-856.)

Lietteen kuivaus eroaa tiivistyksestä sen lopputuotteen ominaisuuksien perusteella. Lietteen tiivistyksessä lietteen kuiva-ainepitoisuus kasvaa, mutta se käyttäytyy ja virtaa edelleen kuin neste. Lietteen kuivauksessa lietettä käsitellään siten, että se käyttäytyy kuin kiinteä aine, eikä vapaasti virraten. (WEF 2012, 474.)

Kaikissa kuivausmenetelmissä muodostuu kahta eri jaetta: lietekakkua ja rejektivettä, joka on siis erotettu lietteestä. Lietteen kuivauksen tehokkuutta arvioidaan pääsääntöisesti kahden mitattavan parametrin avulla. Nämä ovat kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus sekä erotustehokkuus. Kuivatussa lietteessä haihtuvan kiintoaineen määrä suhteessa suspendoituneeseen kiintoaineeseen on hyvin pieni, joten lietteen kiintoaineen ja kuiva-aineen määrät ovat käytännössä samat. Kuivaimien erotusaste on yleensä vähintään 90 %, mutta parhaimmillaan se voi olla jopa 99 %. Ne kiintoaineet, jotka eivät erotu kuivaimella jatkavat matkaansa rejektiveden mukaan tyypillisesti puhdistusprosessin alkuun. Kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuuden ja erotusasteen perusteella voidaan siis laskea rejektiveden mukana lähtevän kiintoaineen määrä.

Erilaisten lietteiden kuivattavuus vaihtelee suuresti. Esimerkiksi biologinen liete on tyypillisesti melko hankalaa kuivattavaa, kun taas primäärilietteen kuivaus on yleensä melko helppoa. Suurimmat tekijät, joka aiheuttavat eroa eri lietteiden välille, on lietteen kiintoaineen ominaisuudet sekä kuinka vesi on sitoutuneena kiintoaineeseen. Iso osa biologisen lietteen vedestä on kiinnittyneenä bakteerisoluihin tai on kemiallisesti sidottuna solurakenteisiin. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että mitä enemmän kuivattavassa lietteessä on biologista lietettä sitä hankalampaa sen kuivaus on. Lietteen kuivattavuuteen vaikuttavat kuitenkin useat eri tekijät, kuten

- kuivaukseen syötettävän lietteen kuiva-ainepitoisuus,
- hydraulinen kuormitus,
- kuiva-ainekuormitus,
- lietteen sisältämien partikkeleiden koko,
- mahdollinen lietteen kunnostus ennen kuivausta (esim. kemiallinen tai terminen),
- lietteen lämpötila,
- partikkeleiden varaus,
- lietteessä olevan veden ominaisuudet
- lietteen sisältämien kuitujen ja rihmamaisten organismien määrä
- ilman lämpötila ja kosteus (jos kuivaus lietelavoilla),
- sekä lietteen pH. (WEF 2012, 476.)

Biologisen lietteen kuivattavuuteen vaikuttaa voimakkaimmin lietteen kiintoainepitoisuus, viskositeetti, partikkelikoko sekä EPS-aineet (Lund 2010, 28). On havaittu, että partikkelikoko vaikuttaa keskeisesti lietteen kuivattavuuteen. Erityisesti kuivattavuuteen vaikuttaa kaikkein pienimpien partikkeleiden määrä. Myös veden esiintymismuodolla on vaikutusta kuivattavuuteen. Veden esiintyminen liet-

teessä voidaan karkeasti jakaa kahteen eri tyyppiin: "sidottuun" ja "vapaaseen" veteen. Vapaa vesi voidaan helposti erottaa lietteestä tiivistyksellä tai mekaanisella kuivaimella. Sidottu vesi puolestaan on kiinnittyneenä tiukasti lietteen flokkirakenteisiin sekä partikkeleiden välisiin tiloihin ja sen erottaminen mekaanisesti on hyvin hankalaa. (Jin, Wilen ja Lant 2004, 115-116.)

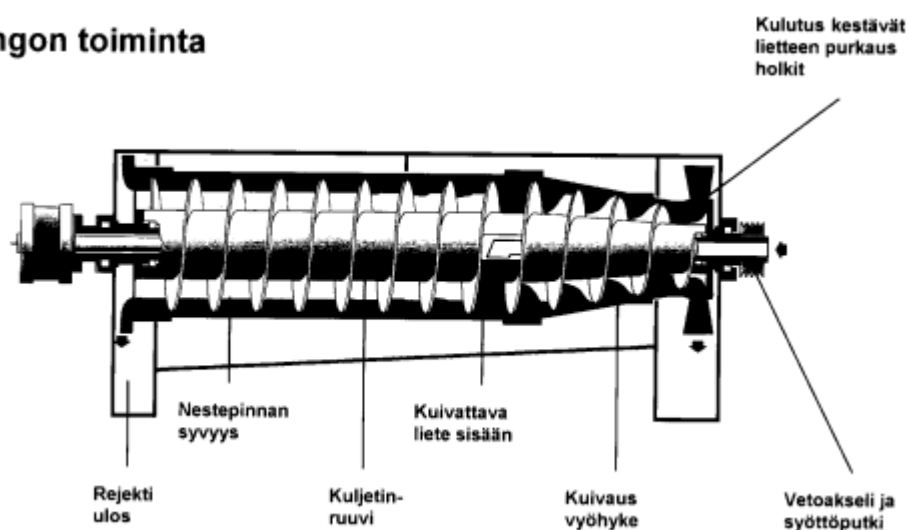
Lietteen kuiva-ainepitoisuus pyritään tyypillisesti kuivauksella nostamaan noin 20–25 %:iin (Lohiniva 2001, 52). Lähes aina lietteen kemiallisella kunnostuksella saadaan parannettua kuivaustulosta ja usein se on edellytyksenä yllämainitun kuiva-ainepitoisuuden saavuttamiseksi. Kemiallinen kunnostus nostaa kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuutta, mutta lisäksi se tyypillisesti myös parantaa kuivaimen erotusastetta. Tyypillisesti kemiallinen kunnostus tehdään orgaanisilla polymeereillä, mutta myös epäorgaanisia alumiini- ja rautasuoloja sekä kalkkia käytetään kemiallisessa kunnostuksessa (WEF 2012, 476). Kemiallisen kunnostuksen tarkoituksena on sitoa lietteessä olevia partikkeleita ja näin ollen parantaa niiden vedenluovutusominaisuuksia. Sen avulla pyritään myös tasaamaan kuivaukseen tulevan lietteen laatuvaihteluita, jolloin tasainen ja mahdollisimman hyvin hallittu lietteenkäsittely on helpompaa. (Lohiniva ym. 2001, 49–50.)

Tyypillisesti lietteet kuivataan nykyisin jätevedenpuhdistamoilla mekaanisesti. Mekaanisista kuivaimista käytetyimpiä ovat lingot, suotonauhapuristimet sekä ruuvipuristimet. Joillain laitoksilla lietteen kuivaus perustuu luonnollisiin prosesseihin, kuten veden haihtumiseen.

4.3.1 Lingot

Lingot ovat nykyään yleisesti käytetty kuivaintyyppi, etenkin suuremmilla puhdistamoilla. Lingossa on toisesta päästä kartionmuotoinen pyörivä rumpuosa, jonka sisällä on hieman poikkeavalla nopeudella pyörivä ruuvikuljetin (kuva 13). Keskipakovoiman avulla vedestä erottuva liete kuljetetaan ruuvikuljettimella rumpun kapeampaan päähän, josta se poistetaan, yleensä lingon alaosasta. Rejektivesi poistuu lingon toisesta päästä. (RIL 2004, 568.)

Lingon toiminta

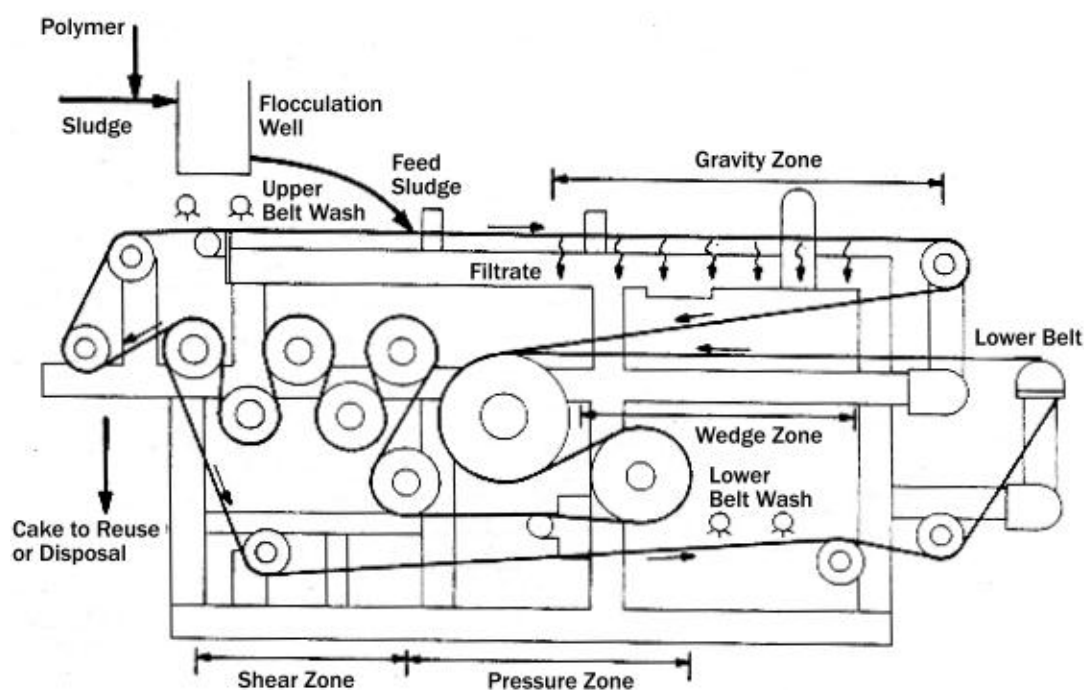


KUVA 13. Periaatekuva linkokuivaimesta (Lohiniva ym. 2001, 54)

Lingon erotusaste on tyypillisesti välillä 90–96 % ja kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus noin 15–30 %. Molemmat arvot riippuvat kuitenkin suuresti käsiteltävän lietteen laadusta sekä polymeeriannostuksesta, joka on tyypillisesti noin 2–8 g/kgTS. (Turovskiy ja Mathai 2006, 110.)

4.3.2 Suotonauhapuristin

Suotonauhapuristin (kuva 14) on kuivain, jossa on kaksi liikkuvaa huokoista viiraa ja se sisältää painovoimaisen suodosvaiheen sekä mekaaniseen puristukseen perustuvan suodatusvaiheen. Ennen lietteen johtamista kuivaukseen siihen syötetään yleensä polymeeriä. Tämän jälkeen liete syötetään ylemmän viiran päälle, jossa tapahtuu painovoimainen suodatus. Lietteä kulkeutuessa alemmalle viiralle, jolloin se joutuu viirojen väliin ja siihen aiheutuu mekaanista puristusta. (RIL 2004, 567; Turovskiy ja Mathai 2006, 110.)

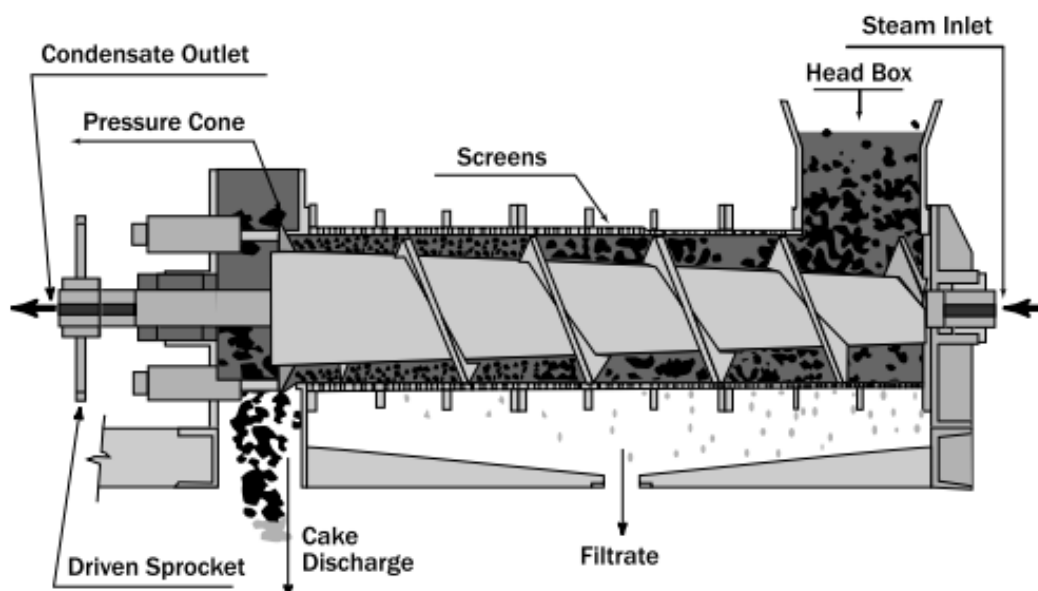


KUVA 14. Suotonauhapuristimen periaatekuva (Turovskiy ja Mathai 2006, 111)

Suotonauhapuristimen erotusaste on noin 91–98 % (yleensä yli 96 %) ja kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus noin 15–30 %. Polymeeriannostus on yleensä noin 2–12 g/kgTS, riippuen käsiteltävän lietteen laadusta ja alkuperästä. (Lohiniva ym. 2001, 57; Turovskiy ja Mathai 2006, 114.)

4.3.3 Ruuvipuristin

Ruuvipuristin (kuva 15) on kuivain, jonka sisällä oleva ruuvi sekä kuljettaa, että kuivaa käsiteltävää lietettä. Rei'itetyn sylinterin sisällä pyörivä ruuvi puristaa lietettä sylinterin seinämiä vasten, jolloin vesi poistuu sylinterin läpi ja poistuu rejektivetenä. Ruuvipuristimeen syötettävään lietteeseen ei välttämättä aina tarvita polymeerilisäystä.



KUVA 15. Ruuvipuristimen periaatekuva (Turovskiy ja Mathai 2006, 130)

Ruuvipuristimen erotusaste on yleensä vähintään 95 % ja saavutettava kuiva-ainepitoisuus noin 20–30 %. Tyypillinen polymeerin syöttömäärä on noin 4–6 g/kgTS. (Turovskiy ja Mathai 2006, 130.)

4.4 MBR-lietteen laskeutuvuus ja kuivattavuus

EPS- ja SMP-aineiden, lietepitoisuuden sekä ilmastuksen tehokkuuden vaikutusta fouling-ilmiöön on MBR prosessissa tutkittu runsaasti, kun taas tutkimuksia, joissa MBR-lietteen kuivattavuutta tai laskeutuvuutta on selvitetty, löytyy huomattavasti vähemmän. Kuten aiemmin todettiin, MBR-prosessilla voi olla mahdollista vähentää prosessin lietteentuottoa suhteessa CAS-prosessiin, mutta MBR-lietteen käsittelyn on väitetty olevan hankalampaa kuin CAS-prosessin lietteiden. Lietteiden tiivistymis- ja laskeutumisominaisuuksia kuvataan yleensä lieteindeksillä (SVI, sludge volume index) tai laimennetulla lieteindeksillä (DSVI, diluted sludge volume index). Kuivattavuuden arviointiin voidaan käyttää laboratorio- tai pilot-mittakaavan kokoisia kuivaimia tai yksinkertaisimmillaan CST-laitteistoa (capillary suction time). SVI, DSVI sekä CST-laitteisto esitellään tarkemmin kappaleessa 5.3.

Merlo ym. (2006, 5) tutkivat MBR- ja CAS-prosessien lietteen laskeutuvuutta ja totesivat, että MBR-prosessin DSVI-arvot olivat suurempia kuin CAS-prosessin. MBR-prosessin DSVI-arvot vaihtelivat välillä 190–400 ml/g ja CAS-prosessin 71–200 ml/g. He epäilevät MBR-lietteen suurempien arvojen johtuvan rihmamaisten bakteerien suuremmasta määrästä. Massé ym. (2006, 2413) raportoivat, ettei MBR- ja CAS-lietteiden DSVI-arvot eroa juurikaan toisistaan. He kuitenkin havaitsivat, että laskeutustestissä erottuvan vesifaasin sameus on MBR-lietteessä huomattavasti suurempi kuin CAS-lietteessä ja sakeus lisääntyi entisestään lieteiän kasvaessa. Zhang ym. (2015, 127) tutkivat lietteen laskeutuvuutta neljällä täyden mittakaavan kunnallisella jätevedenpuhdistamolla, joiden joukossa oli yksi MBR-laitos ja kolme CAS-laitosta. Heidän tuloksissaan kahden CAS-prosessin (SVI = 60–100 ml/g) lietteen laskeutuvuus oli MBR-prosessia (100–120 ml/g) parempaa, kun taas yhden CAS-prosessin (150–230 ml/g) lietteen laskeutuvuus oli MBR-prosessin lietteitä heikompaa. Pollice ym.

(2007, 7) tutkivat MBR-lietteen DSVI-arvoja lietei'illä 20, 40 ja 80 d ja havaitsivat DSVI-arvon olevan alhaisin lietei'illä 40 d.

Aiemmin tässä työssä todettiin EPS-aineiden vaikuttavan lietteen kuivattavuuteen. Merlo ym. löysivät selvän korrelaation EPS-aineiden ja CST-arvon välillä sekä MBR-, että CAS-prosessissa. EPS-aineiden määrän lisääntyessä myös CST-arvojen havaittiin kasvavan. Heidän tutkimuksessaan MBR-lietteen kiintoainekorjatut CST-arvot olivat hieman pienempiä kuin CAS-prosessin, joka johtui todennäköisesti juuri CAS-lietteen suuremmasta EPS-ainepitoisuudesta. He havaitsivat kuitenkin, että ilman polymeerilisäystä MBR-lietteen CST-arvot ovat suurempia, mutta ero tasoittui polymeeriannoksen kasvaessa tasolle 3–4 g/kgTSS. Ilman polymeeriä MBR-lietteen CST-arvo oli noin 3,7 s l/gTSS, kun CAS-lietteen vastaava arvo oli noin 2,4 s l/gTSS. Polymeerisyötön ollessa 3 g/kgTSS, oli MBR-lietteen CST-arvo noin 0,5 s l/gTSS ja CAS-lietteen noin 0,4 s l/gTSS. Gugliemi, Chiarani, Prakash Saroj ja Andreottola (2010, 663) myös havaitsivat vastaavanlaisen korrelaation EPS-aineiden ja CST-arvojen välillä. Zhang ym. (2015, 127) raportoivat myös samankaltaisista CST-arvoista MBR- ja CAS-lietteille.

Gugliemi ym. (2010, 663–664) tekivät painesuodatintestejä, joilla he tutkivat MBR-lietteen kuivattavuutta eri polymeeriannoksilla ja suodatuspaineilla. He tulivat tulokseen, etteivät eri suodatuspaineilla (7, 11 ja 15 bar) tehdyillä testeillä saavutetut lietteen kuiva-ainepitoisuudet eronneet merkittävästi toisistaan. Aivan pienimmillä polymeeriannostuksilla (1–3 g/kgTSS) lietteen kuiva-ainepitoisuus jäi melko alhaiseksi (n. 13–17 %). Polymeeriannostuksen noustessa tasolle 10 g/kgTSS, nousi lietteen kuiva-ainepitoisuus noin 20 %:iin. EUROMBRA:n (2005, 23) projektissa tutkittiin 17 (3 MBR-laitosta) täyden mittakaavan laitoksen lietteenkuivaustuloksia ja tultiin johtopäätökseen, etteivät MBR-lietteen kuivaustulokset eroa CAS-lietteen kuivauksen tuloksista.

Tässä työssä tehtiin kysely (liite 2) kuivaintoimittajille, jolla pyrittiin selvittämään MBR-lietteen kuivattavuutta täyden mittakaavan laitoksissa. Kyselyyn saatiin vastauksia kolmelta kuivainvalmistajalta. Kaikki kuivainvalmistajat kertoivat MBR-lietteen kuivauksessa tarvittavan polymeerimäärän olevan suurempi kuin CAS-prosessissa. Laitetoimittajien ilmoittamat polymeerimäärät MBR-lietteelle olivat noin 10–25 % suurempia kuin CAS-lietteille. Vastauksissa kaksi kuivaintoimittajaa ilmoitti MBR-lietteen kuivaustulosten (kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus) olevan hieman huonompia kuin CAS-prosessin. Yksi valmistaja puolestaan ilmoitti, etteivät he ole havainneet merkittävää eroa MBR- ja CAS-lietteiden kuivaustulosten välillä, jos MBR-lietteen kuivauksessa käytetään noin 1 kg/t-liettettä enemmän polymeeriä.

Huber Technology (2015) tutki ruuvipuristimen toimivuutta MBR-lietteen kuivauksessa Saksassa Monheimin kunnallisella jätevedenpuhdistamolla. Syötettävän lietteen kuiva-ainepitoisuus oli 1 % ja sitä ei sakeutettu/tiivistetty ennen kuivaimelle johtamista. Kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuudet polymeeriannoksilla 6,6, 8,8 ja 7,3 g/kgTS olivat 24,5, 23,8 ja 22,3 %. He testasivat lietteen kuivausta myös tiivistetylle lietteelle ja huomasivat, ettei sen lietteen kohdalla päästy yhtä korkeisiin kuiva-ainepitoisuuksiin (22,6–23,9 %) vaikka polymeeriannostus oli korkeampi 11,5–12,5 g/kgTS.

GEA Westfalia (2015) on mitannut lietteen kuivaustuloksia ja polymeeriannostuksia puhdistamoilla, joissa lietteen kuivaus on toteutettu lingolla. Kanadan Albertassa sekä Alankomaiden Eemshavenissa lietteen kuivaus on toteutettu ilman polymerointia. Molemmilla laitoksilla saavutettu kuiva-ainepitoisuus on noin 15 %. Saksassa Nordkanalin jätevedenpuhdistamolla on päästy jopa kuiva-ainepitoisuuksiin 25,0–26,5 % polymeeriannostuksella 8–12 g/kg.

Yhteenvedona kyselyllä saatujen sekä kirjallisuudesta löytyvän tiedon perusteella voidaan todeta, että MBR-liete eroaa hieman käsiteltävyydeltään CAS-lietteestä. MBR-lietteen laskeutuvuus voi olla hieman huonompaa kuin CAS-lietteen ja selkeytyneen veden sameus suurempaa. MBR-prosessin lietteen laskeutuvuus ei vaikuta varsinaiseen jätevedenpuhdistukseen, koska jälkiselkeytystä ei tarvita, mutta mikäli lietteenkäsittelyssä käytetään perinteistä gravitaatioon perustuvaa sakeuttamoa, lietteen laskeutuvuudella on merkitystä. Mikäli lietettä tiivistetään painovoimaisesti ja selkeytyneeseen veteen jää merkittäviä määriä kiintoainetta, voi tämä aines jäädä kiertämään puhdistusprosessiin ja näin ollen päästä rikastumaan ja aiheuttaa ongelmia prosessissa. On kuitenkin muistettava, että MBR-prosessin suuremman lietepitoisuuden vuoksi, prosessista poistettavan lietteen kiintoainepitoisuus on usein suurempi kuin CAS-lietteen ja sen johtaminen ilman erillistä tiivistystä suoraan kuivaimelle on mahdollista. Ramboll Finland Oy:n vuonna 2014 Saksassa ja Ranskassa tekemien MBR-laitoskierrosten perusteella useilla MBR-laitoksilla ei ole erillistä lietteen tiivistystä ennen kuivausta, vaan liete johdetaan suoraan kuivaimelle. Laitoskierroksella selvisi myös, että lietteenkuivausta voi olla mahdollista tehostaa sekoittamalla hienovälpeitä ylijäämälietteeseen. Nordkanalin laitoksella on päästy tällä tavoin jopa 26 %:n kuiva-ainepitoisuuteen.

Tässä raportissa esitellään seuraavaksi Parikkalan jätevedenpuhdistamolla toiminut MBR-pilotti sekä Parikkalan jätevedenpuhdistamon pääprosessi. Lietteiden laskeutuvuutta ja kuivattavuutta tutkittiin pilotista sekä pääprosessista otettujen lietenäytteiden perusteella.

5 PARIKKALAN JÄTEVEDENPUHDISTAMO, MBR-PILOTTI SEKÄ KÄYTETYT MENETELMÄT

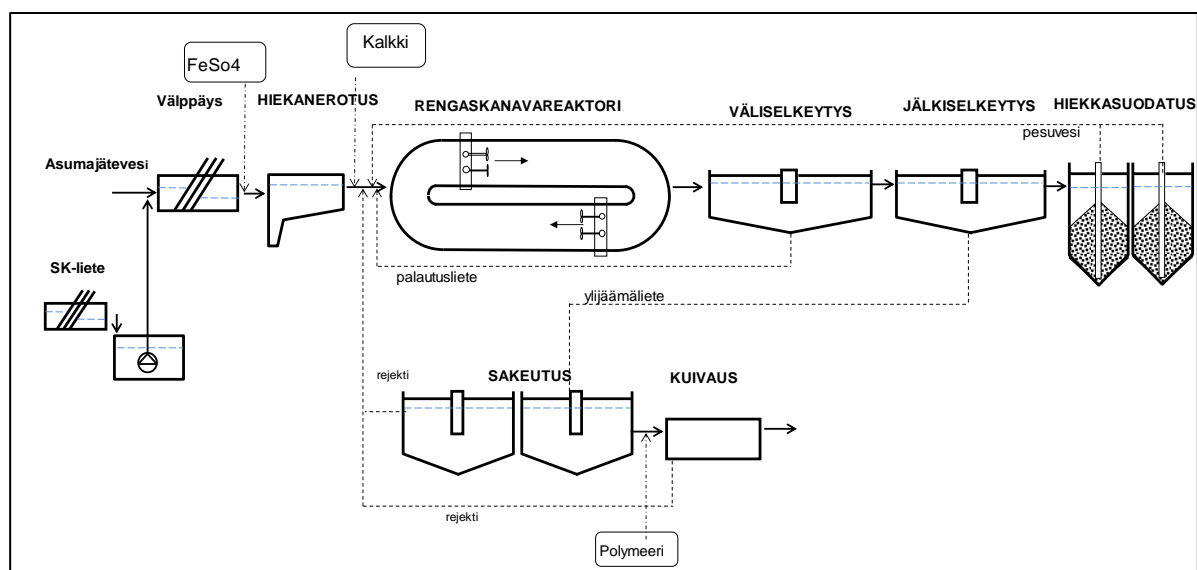
5.1 Parikkalan jätevedenpuhdistamo

Tässä opinnäytetyössä lietteiden kuivattavuutta ja laskeutuvuutta tutkittiin Parikkalan kunnallisella jätevedenpuhdistamolla marras- ja joulukuun aikana 2014. Jätevedenpuhdistamolla oli Alfa Lavalin omistama MBR-pilot-laitos, jonka ajosta vastasi Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tutkittavia lietenäytteitä otettiin jätevedenpuhdistamon pääprosessista (CAS-prosessi) sekä MBR-pilotista. Parikkalan jätevedenpuhdistamolla käsitellään Parikkalan kunnan keskustaajaman sekä entisen Saaren Akonpohjan jätevedet. Puhdistamolle tuleva jätevesi on tavanomaista yhdyskuntien jätevettä, eikä merkittävää teollisuuskuormaa ole.

5.1.1 Jätevedenpuhdistamon pääprosessi

Ensimmäisenä puhdistamolle tuleva jätevesi välppätään. Välppäyksen jälkeen veteen syötetään ferrosulfaattia (FeSO_4) ja vesi johdetaan ilmastettuun hiekanerotukseen. Hiekanerotuksen jälkeen veteen syötetään kalkkia pH:n säätämiseksi, jonka jälkeen vesi johdetaan prosessin biologiseen osaan, rengaskanavareaktoriin. Ilmastuksen jälkeen vesi johdetaan väliselkeytykseen, josta palautusliete pumpataan bioreaktorin alkuun. Selkeytynyt vesi johdetaan jälkiselkeytykseen ja siinä selkeytynyt vesi edelleen tertiäärikäsittelyyn toimivaan hiekkasuodattimeen. (Ramboll Finland Oy 2013, 5)

Ylijäämäliete poistetaan jälkiselkeysaltaan pohjasta ja pumpataan kahteen painovoimaiseen sakeuttamoon. Sakeuttamoissa tiivistetty liete johdetaan lietteen kuivauksessa käytettävälle suotonauhapuristimelle. Sako- ja umpikaivolietteet välppätään ja johdetaan lietevarastoon, josta ne pumpataan puhdistusprosessin alkuun. Jätevedenpuhdistamon periaatteellinen prosessikaavio on esitetty kuvassa 16. (Ramboll Finland Oy 2013, 5)



KUVA 16. Parikkalan kunnan jätevedenpuhdistamon prosessikaavio (Ramboll Finland Oy 2013)

Pääprosessin lietenäytteet otettiin puhdistamon ilmastusaltaasta (rengaskanavareaktorista). DSVI-määrityksessä tarvittava laimennusvesi otettiin laitoksen lähtevästä vedestä hiekkasuodatuksen jälkeä. Lietenäytteiden kiintoainepitoisuus vaihteli välillä 5,8–6,0 kg/m³. Lieteikä Parikkalan jätevedenpuhdistamolla oli perinteiselle aktiivilieteprosessille poikkeuksellisen korkea, ollen noin 80 d. Lietenäytteen VS/TS-suhde oli keskimäärin 0,67. Pääprosessin pH oli testipäivinä noin 6,7–7. Lietenäytteet lämmitettiin huoneenlämpöiseksi (n. 20 °C) ennen testien suorittamista, jotta vertailu eri prosessien lietteiden välillä olisi mahdollista.

5.1.2 MBR-pilotti

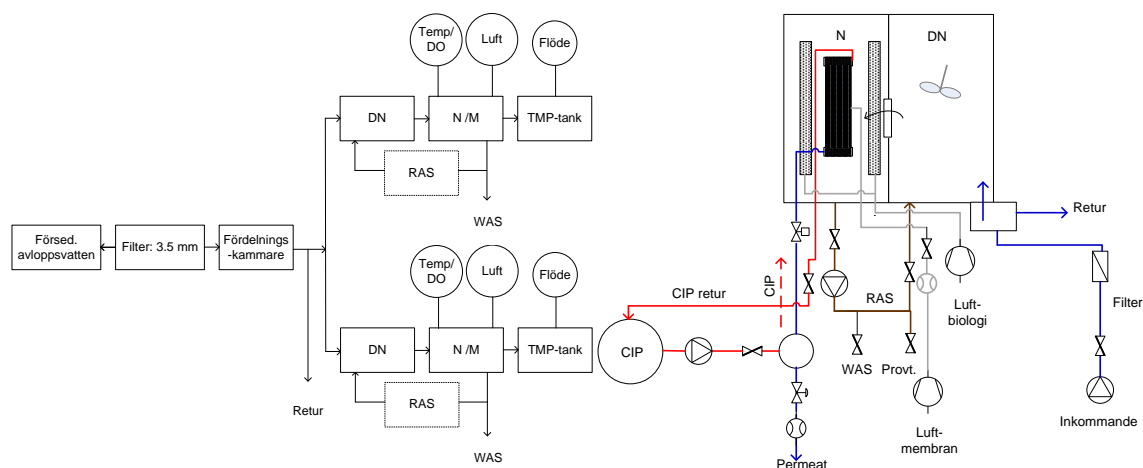
Parikkalan jätevedenpuhdistamolla olleeseen MBR-pilottiin (kuvat 17 ja 18) syötettiin esikäsiteltyä jätevettä Parikkalan jätevedenpuhdistamolta. Pilotissa käytössä olleet kalvot olivat Alfa Lavalin valmistamia tasomaisia mikro-suodatuskalvoja (hollow sheet). Pilottiin tuleva jätevesi johdetaan aluksi 3,5 mm hienoväljän (filter) läpi (kuva 19), jonka jälkeen vesi johdetaan jakoaltaaseen. Jakoaltaasta jätevesi jakaantuu kahteen käsittelylinjaan (A ja B), joista toiseen syötettiin saostuskemikaalia (ferri-sulfaatti) ja toiseen ei. Saostuskemikaalin syöttö tapahtui B-linjan denitrifikaatiolohkoon. Molempiin linjoihin syötettiin lipeää pH:n säätämiseksi. Molemmat käsittelylinjat koostuvat kahdesta lohkoista. Ensimmäinen lohko (DN-lohko) on anoksinen denitrifikaation aikaansaamiseksi. Toinen lohko toimii nitrifikaatio- ja kalvosuodatuslohkona (N/M-lohko). Palautusliete (RAS) pumpataan nitrifikaatioaltaasta denitrifikaatiolohkoon. Ylijäämäliete (WAS) poistetaan palautuslietelinjasta. Kalvosuodatus toimii painovoimaisesti ja puhdistettu vesi (permeaatti) johdetaan TMP-tankkeihin, joista vesi johdetaan purkuun. Kalvojen kemiallista pesua varten pilotissa on pesukemikaalisäiliö (CIP), josta vesi johdetaan kemikaalipesun aikana kalvoille.



KUVA 17. Parikkalan jätevedenpuhdistamolla ollut MBR-pilot-kontti



KUVA 18. Näkymä MBR-pilot-kontin sisään



KUVA 19. MBR-pilotin periaatteellinen prosessikaavio (Alfa Laval)

MBR-pilotin lietenäytteet otettiin molempien linjojen ylijäämälietteenpoistoputkesta. Lietteen poisto tapahtui manuaalisesti venttiilin avulla. DSVI-määrittelyssä käytetty laimennusvesi otettiin pilotin permeaattilinjasta. Lietteikäs prosessissa oli testien aikana keskimäärin noin 42 d. Ylijäämälietteen kiintoainepitoisuus vaihteli A-linjassa välillä $7,5\text{--}8,1 \text{ kg/m}^3$ ja B-linjassa $7,1\text{--}8,4 \text{ kg/m}^3$. VS/TS-suhde oli A-linjan ylijäämälietteessä keskimäärin noin 0,76 ja B-linjassa noin 0,66. Pilotin A-linjan pH oli testien ajan 6,2–6,4 ja B-linjan 6,2–6,4, lukuun ottamatta viimeistä testipäivää, jolloin lipeän syöttöhäiriön vuoksi A-linjan pH oli 5 ja B-linjan 5,5. Suhteessa suurempi orgaanisen aineksen määrä A-linjassa johtuu B-linjan saostuskemikaalin aiheuttamasta epäorgaanisen aineksen suuremmasta

määrästä. Lietenäytteet annettiin lämmitettyä huoneenlämpöiseksi (n. 20 °C) ennen testien aloittamista eri lietteiden tulosten vertailun helpottamiseksi.

5.2 Käytetyt menetelmät

MBR-pilotin ja pääprosessin lietteitä tutkittiin rinnakkain, jotta saataisiin selvitettyä, onko MBR-lietteen ja CAS-lietteen välillä eroa laskeutuvuudessa ja kuivattavuudessa. Ennen testejä laadittiin tutkimussuunnitelma (liite 3), jonka mukaan liete-testit suoritettiin. Lietteen kuiva-ainepitoisuus ja hehkutushäviö määritettiin standardin SFS 3008 mukaisesti. Kiintoainepitoisuus määritettiin standardin SFS-EN 872 mukaan. Standardista poiketen suodattimia ei kuivattu lämpökaapissa ennen varsinaista lietteen suodatusta. MBR-lietenäytteet laimennettiin siten, että lietteen osuus oli 10 ml ja tislattua vettä 40 ml. Pääprosessin liete laimennettiin siten, että lietettä oli 25 ml ja tislattua vettä 25 ml. Näin suodatusaika pysyi kohtuullisena. Kiinto- ja kuiva-aine sekä hehkutushäviö määritykset tehtiin Savonia ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan laboratoriossa. Kaikki kuiva-aine ja kiintoainemäärityksien tulokset on esitetty liitteessä 4.

Lietteen laskeutuvuutta tutkittiin SVI (sludge volume index)- sekä DSVI (diluted sludge volume index)-määrityksillä. Laskeutusastioiden pinnasta otettiin näyte mittalasiin ja näytteestä tehtiin kiintoainemääritys. Lietteen kuivattavuutta tutkittiin paikan päällä puhdistamalla CST-laitteella ja kartiosuodatuskokeella sekä painesuodattimella Lappeenrannan teknillisen yliopiston kemiantekniikan laboratoriossa. Painesuodatuskokeet tehtiin erillisenä päivänä, yleensä päivä sen jälkeen, kun muut testit oli tehty puhdistamalla ja lietenäytteet niihin noudettiin Parikkalasta samana päivänä. Missään testissä ei käytetty polymeeriä tai muuta apuainetta.

5.2.1 SVI ja DSVI

SVI kuvaa lietteen laskeutumis- ja tiivistysominaisuuksia. SVI on yhden lietegramman (kuivapaino) viemä tilavuus kun sitä on laskeutettu 30 minuutin ajan mittalasiin. Lieteindeksin suuri arvo osoittaa lietteen heikkoja laskeutumisominaisuuksia ja tällöin poistettavan lietteen käsittely voi hankaloitua. Hyvin laskeutuvan lietteen SVI-indeksi on alle 100 ml/g. Välillä 100–200 ml/g liete on lievässä paisuntatilassa ja kun indeksi on yli 200 ml/g, on liete selvästi paisuntatilassa. SVI lasketaan kaavan 4 mukaisesti.

$$SVI = \frac{L}{MLSS'} \quad (4)$$

jossa L on laskeutetun lietteen viemä tilavuus (ml/l)
MLSS on lietepitoisuus (g/l).

SVI on kuitenkin melko epätarkka menetelmä arvioitaessa lietteen todellisia laskeutuvuutta ja tiivistysominaisuuksia. Tämä johtuu siitä, että sen tulos on voimakkaasti riippuvainen alkuperäisestä lietekonsentraatiosta. Laskeutuvuuden arvioinnin tulisi kuitenkin olla riippumaton testatun lietteen lietepitoisuudesta. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 263.) SVI indeksi määritetään tässä työssä,

koska se on hyvin yleisesti käytössä jätevedenpuhdistamoilla, mutta sen perusteella ei tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä, vaan tarkemmin laskeutuvuutta arvioidaan DSVI:n perusteella.

DSVI perustuu havaintoon, että lietteen tilavuuden ollessa 30 minuutin laskeutuksen jälkeen alle 25 % alkuperäisestä tilavuudesta, on laskennallinen SVI arvo käytännössä vakio, eikä näin ollen enää riippuvainen alkuperäisestä lietekonsentraatiosta. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 263). Verrattuna SVI:in, DSVI kuvaa siis paremmin kiintoaineen ja nesteen toisistaan erottumisen tehokkuutta (Albertson 2005, 23).

DSVI:n määrittämisessä lietettä siis laimennetaan prosessista poistuvalla, puhdistetulla jätevedellä, kunnes 30 minuutin laskeutuksen jälkeen lietteen tilavuus on noin 200 ml/l. Laskeutus on aluksi hyvä suorittaa useammalla mittalasiilla samanaikaisesti. Jokaiseen mittalasiin tehdään eri laimennussuhteella valmistettavat testilietteet ja laskeutuksen jälkeen katsotaan, millä laimennussuhteella päästään lähimmäksi tavoitearvoa. DSVI –arvo (ml/g) voidaan laskea kaavasta 5.

$$DSVI = \frac{SV_{30}}{DF * MLSS'} \quad (5)$$

jossa SV_{30} on laimennetun, 30 minuuttia laskeutetun lietteen tilavuus (ml/l)
 DF on laimennuskerroin (0,1–0,9)
 $MLSS$ on lietepitoisuus (g/l).

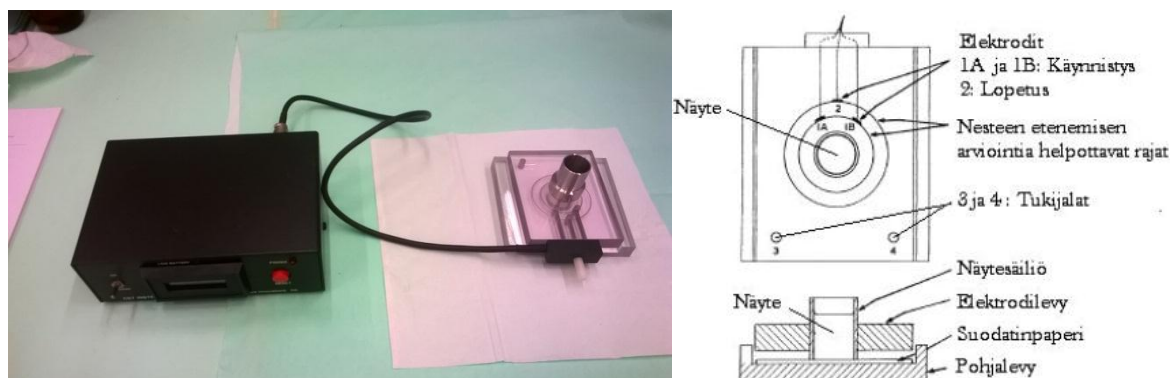
SVI:n ja DSVI:n laskennassa tarvitaan lietepitoisuus, joka määritettiin sekä pilot-laitoksesta että pääprosessista. Laskeutuksen jälkeen mitta-astian pinnasta otettiin kolmena testikertana näytteet, joista selvitettiin mahdollisesti pintaan nousevan aineksen esiintyminen tekemällä näytteelle kiintoainemääritys. Näitä pintanäytteitä otettiin sekä pääprosessin laskeutusastioista että pilot-laitosten laskeutusastioista. Näytettä otettiin laskeutusastian pinnasta 30 minuutin laskeutuksen jälkeen pienellä mittalasiilla 50 ml, josta määritettiin kiintoainepitoisuus standardin SFS 3008 mukaisesti.

5.2.2 CST (Capillary suction time)

CST-menetelmässä (capillary suction time) mitataan lietteestä pois imeytyvän nesteen etenemistä huokoisessa suodatinpaperissa. Nesteen imeytyminen suodatinpaperiin tapahtuu näytteessä olevan ja suodatinpaperissa etenevän nesteen välille muodostuvan paine-eron vaikutuksesta, joka johtuu suodatinpaperin aiheuttamasta kapillaarisesta imuvoimasta. Varsinaisesti CST-laite (kuva 20) mittaa siis lietteen suodattavuutta, mutta sitä käytetään yleisesti lietteen kuivattavuuden arviointiin. Mikäli liete on helposti kuivattavaa, neste vapautuu siitä nopeasti ja tällöin CST-testin tulokset ovat pieniä. Vaikeasti kuivattavilla lietteillä tilanne on päinvastainen. (Nieminen 2009, 4.)

CST-testin heikkoutena on tuloksen riippuvuus testattavan lietteen kiintoainepitoisuudesta sekä käytettävän suodatinpaperin ja laitteen ominaisuuksista. Tulosten vertailu eri laitteilla ja eri lietteillä saatujen tulosten välillä on näin ollen kyseenalaista. (Nieminen 2009, 4.)

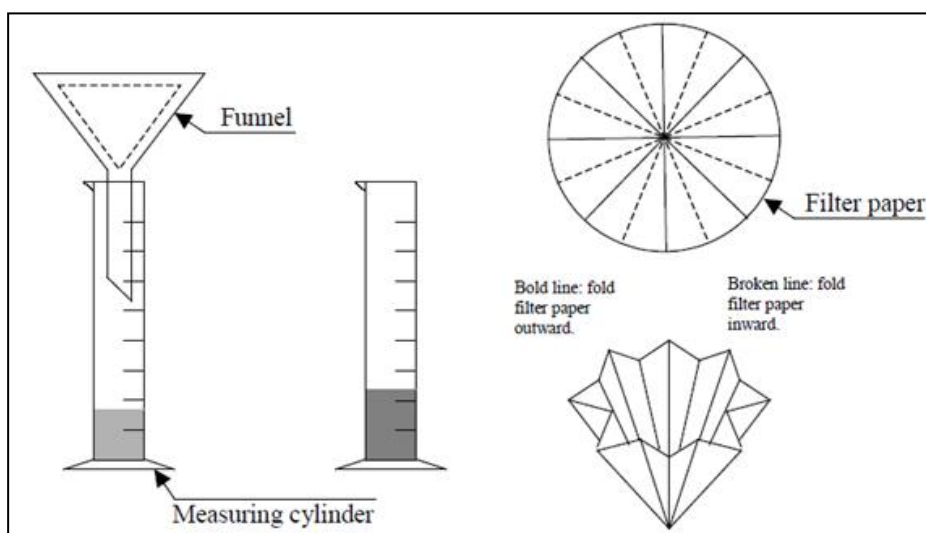
Tässä työssä CST-testit suoritettiin rinnakkain sekä pilot-laitoksen että pääprosessin lietteille. Jokaiselle lietteelle tehtiin jokaisella testikerralla kolme rinnakkaista testiä, koska testin tulos saattaa vaihdella jonkin verran myös toistettaessa testi samalla lietteellä. CST-testi tehtiin standard methods 2710 G standardin mukaisesti. CST-testit tehtiin Parikkalan jätevedenpuhdistamolla Venture Innovations Inc. Model I-laitteella. Suodatinpaperina käytettiin Part No. IFP-9054-suodatinpaperia, joka vastaa Whatman No. 17 kromatografiapaperia. Suodatinpaperit olivat valmiiksi leikattu laitteeseen sopiviin 7 x 9 cm paloihin.



KUVA 20. CST-laite ja sen elektrodilevyosan rakenne (Nieminen 2009, 5)

5.2.3 Kartiosuodatuskoe

Työssä tehtävä kartiosuodatuskoe (kuva 21) perustuu erään laitetoimittajan käyttämään menetelmään ja sen avulla voidaan arvioida kuinka voimakkaasti vesi on sitoutuneena lietteeseen. Menetelmää käytetään lähinnä lietteen suodatettavuuden arviointiin, mutta tässä työssä sen perusteella pyritään arvioimaan lietteen kuivattavuutta ja mahdollisesti vahvistamaan muista kuivattavuustesteistä saatuja tuloksia. Testissä suodatinpaperi taitellaan kartiosuppilon sisään, suppilo laitetaan mittalasiin ja 50 ml liettä kaadetaan suodatinpaperille. Tämän jälkeen luetaan mittalasiin suodattuvan veden määrä 5 minuutin ajan minuutin välein. Tarkempi menetelmän kuvaus on esitetty liitteenä olevan tutkimussuunnitelman (liite 3) liitteessä 1. Alkuperäisestä ohjeesta poiketen suodatinpaperina käytettiin MN 640 d-suodatinpaperia.



KUVA 21. Kartiosuodatuskokeeseen tarvittavat välineet ja kokeen periaate

5.2.4 Painesuodatuskoe

Painesuodatintestissä käytettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston, Outotechin valmistamaa Labox 100 painesuodatinta (kuva 22). Painesuodatustestissä lietettä paineistetaan suodattimen läpi seuraamalla samanaikaisesti suodatuspainetta ja suodoksen määrää. Laite mittaa molempia seurattavia parametreja automaattisesti ja tallentaa tiedot sähköisenä. Mittaustietojen perusteella piirrettävien aikasarjojen perusteella voidaan arvioida, kuinka hyvin vesi vapautuu lietteestä missäkin paineessa. Tämän perusteella voidaan arvioida lietteen kuivattavuutta sekä suodatukseen perustuvan kuivauksen soveltuvuutta MBR-lietteelle. Painesuodatustesti jakautuu kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä lietettä syötetään suodatuskammioon ja suodatuspaine luodaan pumpulla. Toisessa vaiheessa kammiota suljetaan ja sitä paineistetaan hydraulisesti. Toisessa vaiheessa uutta lietettä ei enää mene suodatuskammioon ja tällöin kammiossa oleva liete kuivautuu ja varsinainen lietekakku pääsee muodostumaan. Molempien vaiheiden suodatuspainetta ja aikaa voidaan muunnella. Liete pumpattiin aluksi sekoittimella varustettuun lietesäiliöön, josta lietettä pumpattiin suodatinkammioon. Testien välisen sekä puristusvaiheen ajan lietettä kierrätettiin pumpaamalla erillisessä loopissa.

Painesuodatintesti suoritettiin sekä pääprosessin että pilotin B-linjan lietteille kahdella eri suodatusohjelmalla. Jokaisella testikerralla testi tehtiin molemmille lietteille kahdella eri suodatusohjelmalla, jotka on esitetty taulukossa 4. Lisäksi pilotin lietteelle tehtiin yhdellä testikerralla suodatuskoe, jossa puristusvaihe oli kestoaltaan 15 minuuttia, puristusaine 10 bar ja suodatusvaihe samanlainen kuin ohjelmassa 1. Suodattimena laitteessa käytettiin laitteeseen tarkoitettua Outotechin valmistamaa Aino K13 suodatinta. Jokaisen kokeen jälkeen suodattimelle muodostunut lietekakku punnittiin ja siitä otettiin näyte. Näytteestä määritettiin lietekakun kuiva-ainepitoisuus Savonia ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan laboratoriossa seuraavana päivänä. Molempien lietteiden suodoksesta otettiin jokaisella testikerralla näytteet dekanteriin. Näiden perusteella arvioitiin silmämääräisesti pilotin ja pääprosessin suodosten sameutta.



KUVA 22. Työssä käytetty painesuodatin. Suodatuskammio on keskellä oleva valkoinen lieriö, jonne liete johdettiin suodatusvaiheessa oikealla näkyvän putken kautta.

TAULUKKO 4. Painesuodatuskokeissa käytetyt suodatusohjelmat

	Ohjelma 1	Ohjelma 2
Suodatusvaihe		
- Paine, bar	2	4
- Kesto, min.	3	3
Puristusvaihe		
- Paine, bar	10	10
- Kesto, min.	7,5	7,5

6 TULOKSET

6.1 Laskeutuvuus

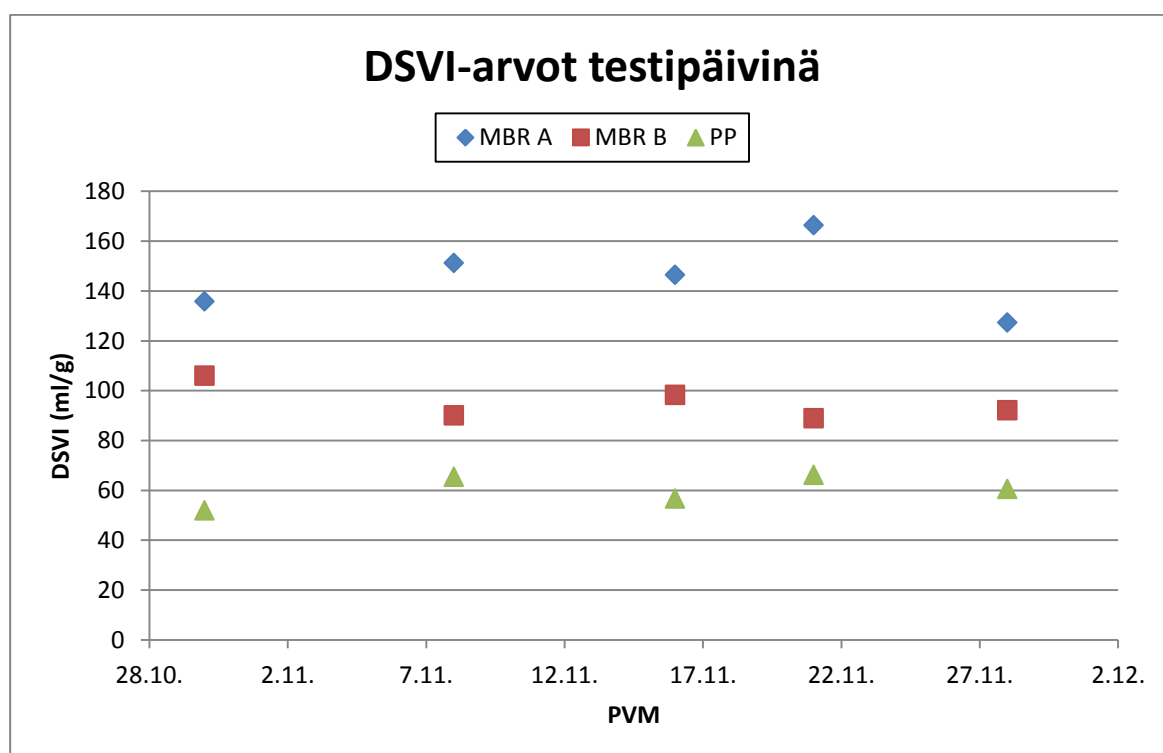
Taulukossa 5 on esitetty testipäivien pilotin A ja B linjojen sekä puhdistamon pääprosessin (PP) puolen tunnin laskeutustulokset sekä SVI-arvot ja taulukossa 6 laimennettujen lietenäytteiden laimennuskertoimen, puolen tunnin laskeuma sekä DSVI-arvo. Kuviossa 2 on esitetty eri lietenäytteiden DSVI-arvot eri testipäivinä. Taulukossa 7 on esitetty laskeutustestien pinnasta otettujen näytteiden kiintoainepitoisuudet. SVI-arvot laskettiin kaavalla 4 ja DSVI-arvot kaavalla 5.

TAULUKKO 5. Laimentamattomien lietteiden laskeumat (SV_{30}) sekä SVI_{30} -arvo

PVM	MBR A		MBR B		PP	
	SV_{30}	SVI_{30}	SV_{30}	SVI_{30}	SV_{30}	SVI_{30}
8.11.	990	125	990	117	400	68
16.11.	1000	129	990	139	400	68
21.11.	990	132	990	137	390	67
28.11.	990	120	990	124	380	66

TAULUKKO 6. Laimennettujen lietenäytteiden laimennuskertoimet, laskeumat sekä $DSVI_{30}$ -arvot

PVM	MBR A			MBR B			PP		
	Df	SV_{30}	$DSVI_{30}$	Df	SV_{30}	$DSVI_{30}$	Df	SV_{30}	$DSVI_{30}$
30.10.	0,20	220	136	0,20	195	106	0,7	220	52
8.11.	0,15	180	151	0,25	190	90	0,6	230	65
16.11.	0,15	170	147	0,30	210	98	0,6	200	57
21.11.	0,2	250	166	0,30	220	89	0,6	230	66
28.11.	0,2	210	127	0,30	220	92	0,6	210	61



KUVIO 2. DSVI-määrittysten tulokset eri testipäivinä

TAULUKKO 7. Laskeutustestien pintanäytteiden kiintoainepitoisuus

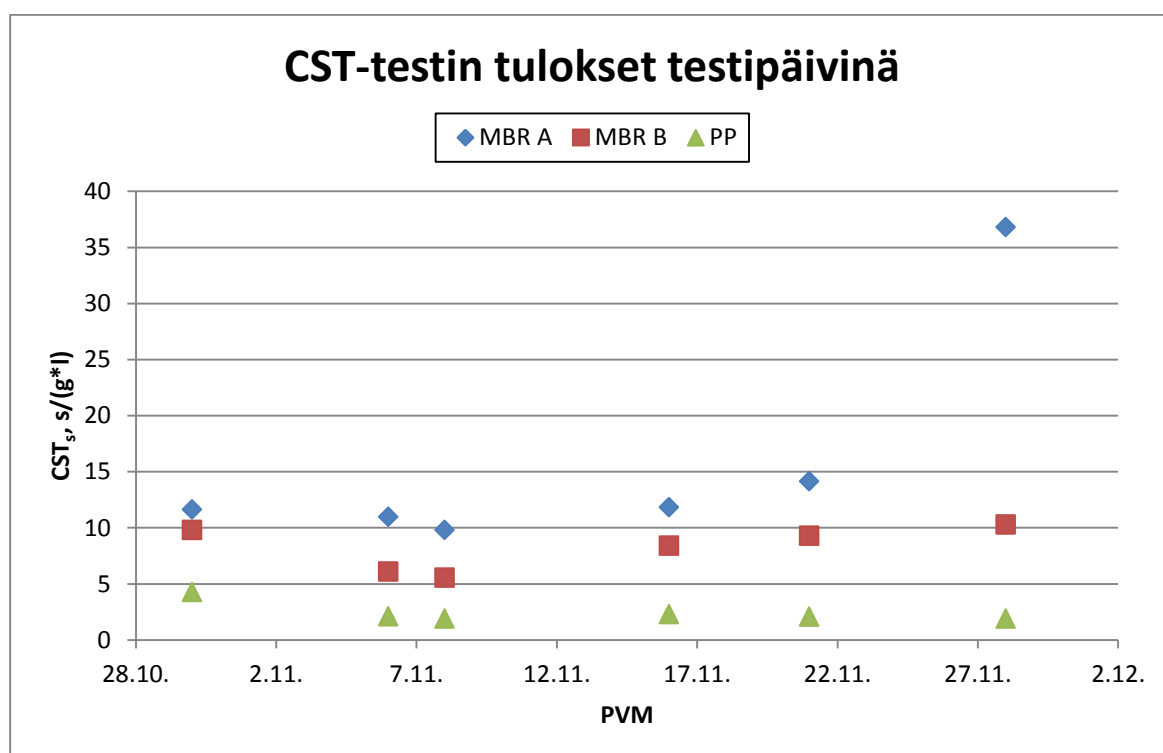
	MBR A	MBR B	PP
PVM	g/l	g/l	g/l
16.11.	0,07	0,21	
21.11.	0,09	0,22	0,05
28.11.	0,37	0,18	0,06

6.2 Kuivattavuus

Taulukossa 8 on esitetty CST-testin tulokset. CST-arvo on suoraan laitteen antama tulos ja CST_s -arvo puolestaan on kiintoainekorjattu arvo. Kuviossa 3 on esitetty CST_s -arvot pilotin A ja B linjojen lietteille sekä pääprosessin lietteelle.

TAULUKKO 8. CST-testin tulokset CST-arvoina sekä kiintoainekorjattuina CST_s -arvoina

PVM	MBR A		MBR B		PP	
	CST (s)	CST_s , s/(g*l)	CST (s)	CST_s , s/(g*l)	CST (s)	CST_s , s/(g*l)
30.10.	108,8	11,6	93,0	9,8	40,3	4,3
6.11.	102,1	11,0	64,0	6,1	26,8	2,1
8.11.	92,3	9,8	61,3	5,5	25,6	1,9
16.11.	106,1	11,8	74,3	8,4	28,0	2,3
21.11.	120,9	14,2	81,8	9,3	26,6	2,1
28.11.	318,1	36,8	96,3	10,3	25,5	1,9

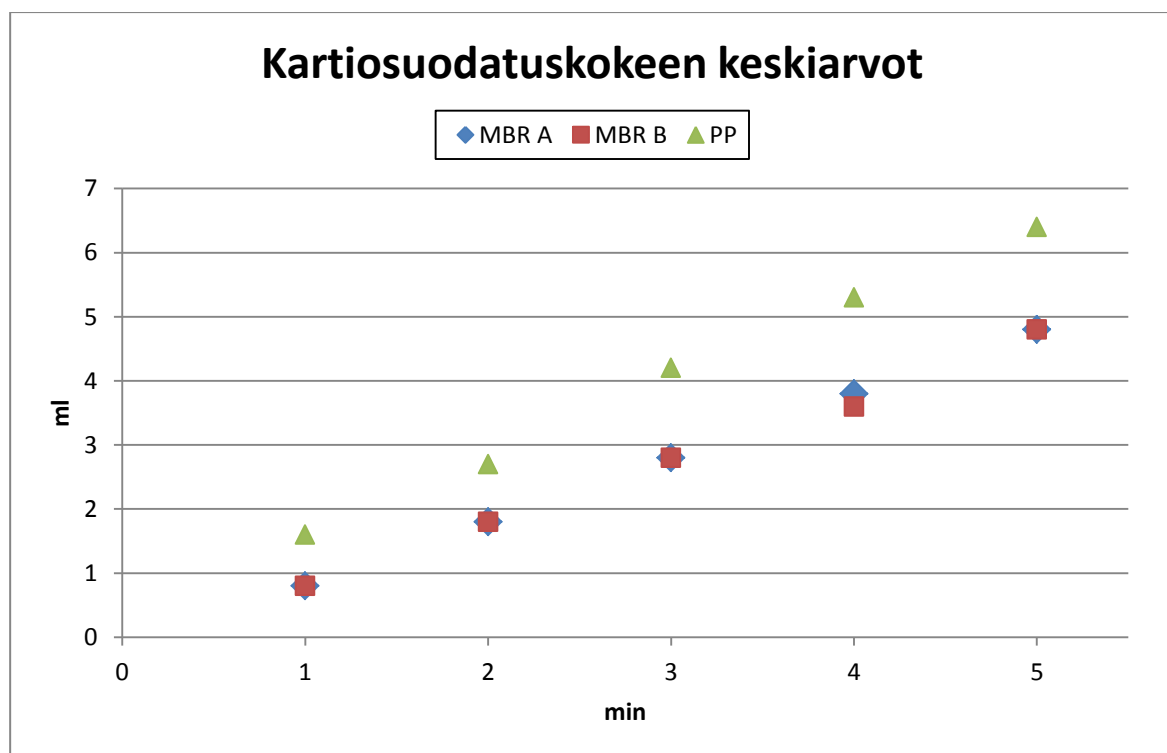


KUVIO 3. CST-testin kiintoainekorjatut tulokset testipäivinä

Taulukossa 9 on esitetty kartiosuodatuskokeen tulokset pilotin A ja B linjojen sekä pääprosessin lietteille. Kuviossa 4 on esitetty kaikkien testikertojen kartiosuodatuskokeiden keskimääräiset minuutin välein luetut arvot jokaisen lietteen osalta.

TAULUKKO 9. Kartiosuodatuskokeiden minuutin välein luetut suodoksen määrät testipäivinä

PVM	t (min)	MBR A	MBR B	PP
		Suodos (ml)	Suodos (ml)	Suodos (ml)
30.10.	1	2	0	3
	2	3	1	4
	3	4	2	4
	4	5	3	5
	5	7	5	5
8.11.	1	0	1	1
	2	2	2	2
	3	3	3	4
	4	4	4	5
	5	5	5	6
16.11.	1	1	1	2
	2	2	2	3
	3	3	4	5
	4	4	5	6
	5	5	6	7
21.11.	1	1	1	1
	2	2	2	2
	3	3	2	3
	4	5	3	5
	5	6	4	6
28.11.	1	0	1	1
	2	0	2	3
	3	1	3	5
	4	1	3	6
	5	1	4	8



KUVIO 4. Kartiosuodatuskokeen testipäivien tuloksista lasketut keskimääräiset suodosmäärät eri suodatusajalla

Taulukossa 10 on esitetty painesuodatuskokeiden eri ohjelmilla saadut suodosmäärät sekä saavutetut kakun kuiva-ainepitoisuudet testipäivinä. Kuvioissa 5–6 on esitetty graafisesti painesuodatuskokeiden eri lietteiden suodosmäärät sekä saavutetut kuiva-ainepitoisuudet molemmilla suodatusohjelmilla.

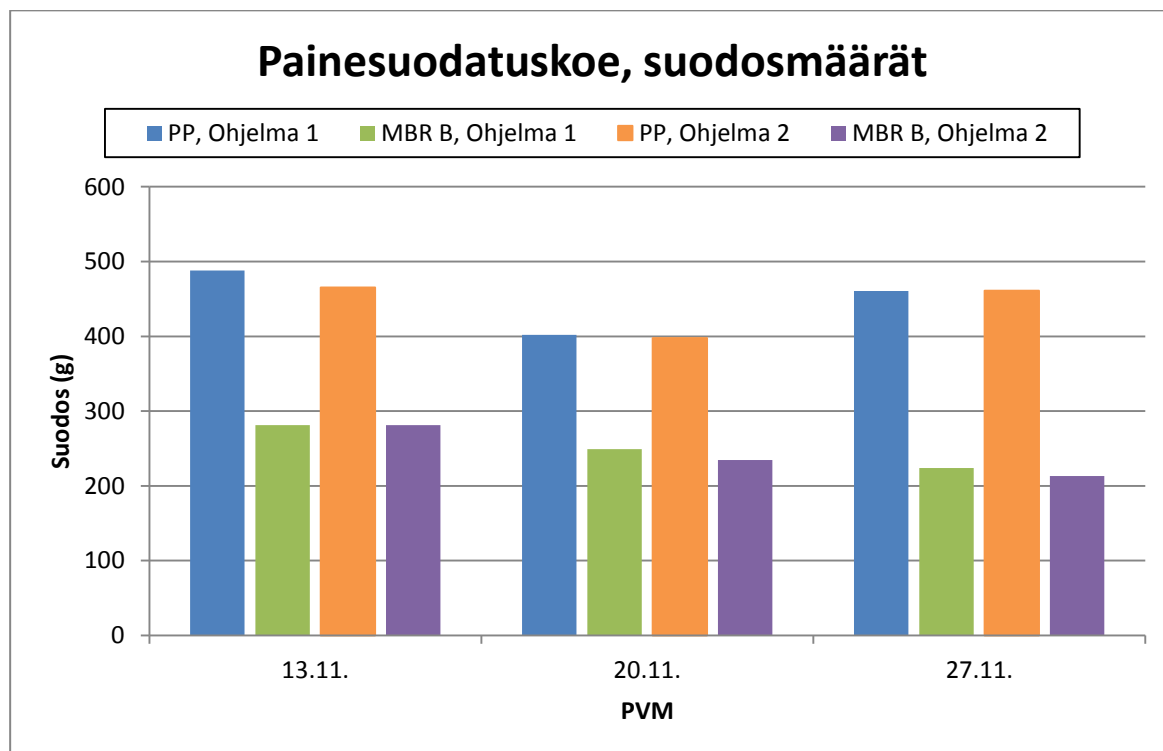
TAULUKKO 10. Painesuodatuskokeiden suodosmäärät, kakun paino sekä kuiva-ainepitoisuus (TS %) eri suodatusohjelmilla testipäivinä

PVM	Ohjelma Nro.	PP			MBR B		
		Suodos (g)	Märkä kakku (g)	TS %	Suodos (g)	Märkä kakku (g)	TS %
13.11.	1	488,0	13,1	16,5	281,0	26,9	7,7
	2	465,2	13,6	15,2	281,4	28,9	6,4
20.11.	1	401,9	14,9	11,8	248,9	40,0	4,5
	2	397,5	17,0	11,1	234,6	41,5	4,7
	1*				304,8	13,7	13,7
27.11.	1	460,4	9,6	20,7	223,7	45,1	4,5
	2	461,2	12,3	14,9	213,3	50,9	4,5
	1**				228,3	30,6	6,1

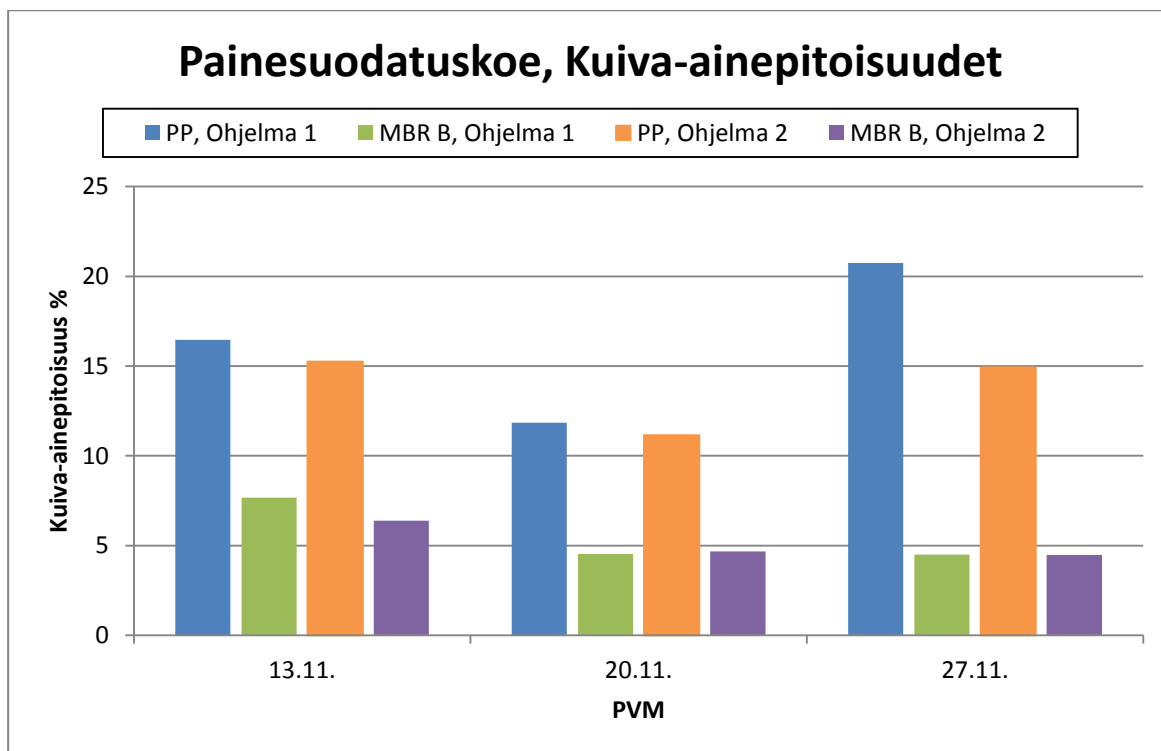
* Puristusvaihe 15 min.

** Puristusvaihe 10 min.

Kuviossa 5 on esitetty painesuodatuskokeiden suodosmäärät ja kuviossa 6 saavutetut kuiva-ainepitoisuudet molemmilla suodatusohjelmilla pilotin ja pääprosessin lietteille testipäivinä. Taulukossa 10 esitetyt pidemmän puristusvaiheen kokeiden suodoksia tai kuiva-kuiva-ainepitoisuuksia ei esitetä kuvioissa 5 ja 6.

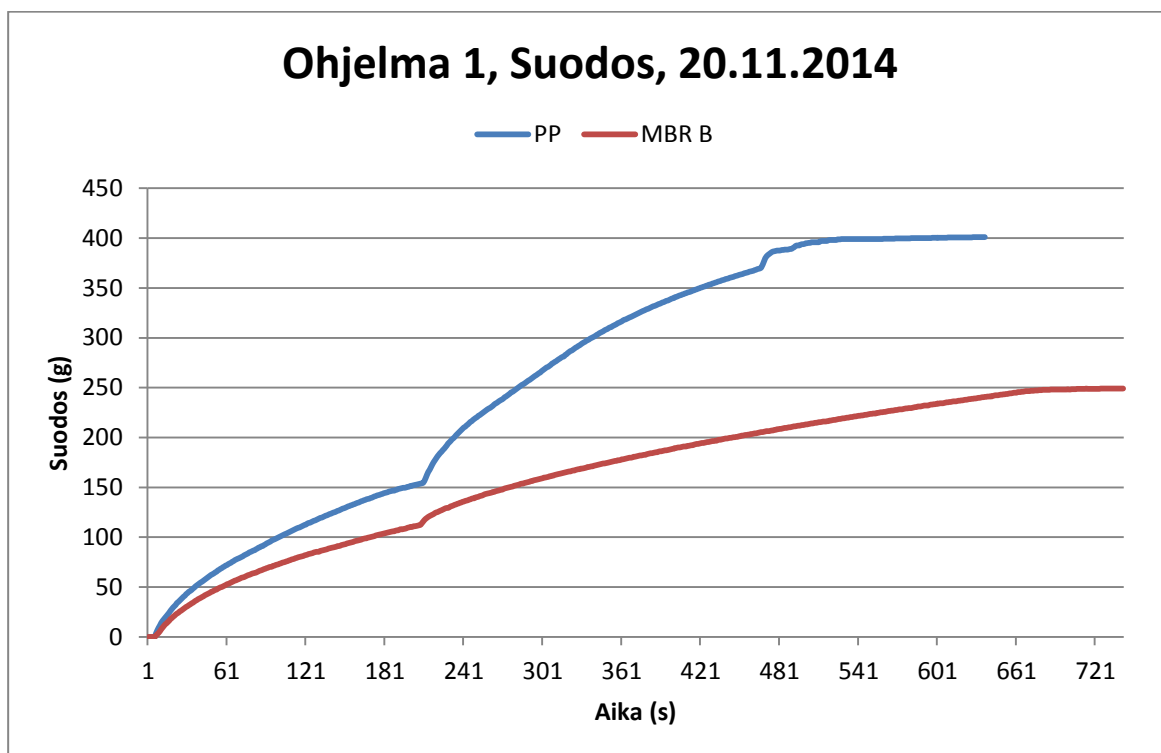


KUVIO 5. Painesuodatuskokeiden suodosmäärät eri lietteillä ja suodatusohjelmilla

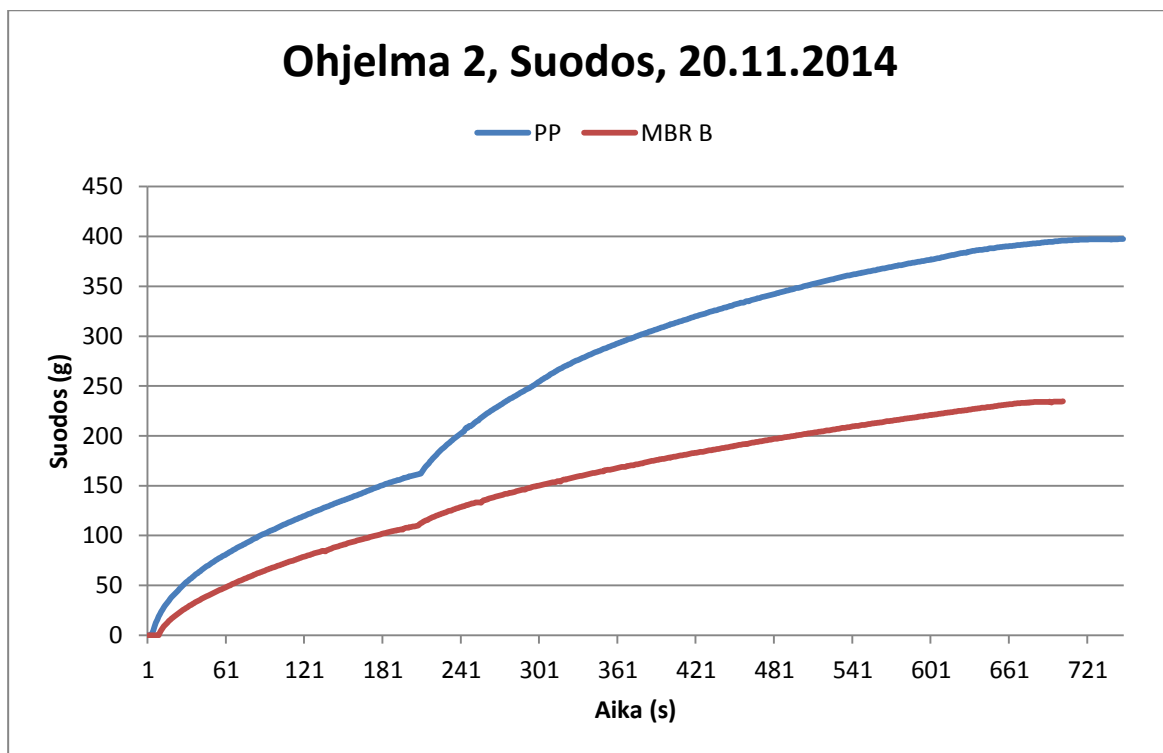


KUVIO 6. Painesuodatuskokeissa saavutetut kuiva-ainepitoisuudet eri lietteillä ja suodatusohjelmilla

Kuviossa 7 on esitetty suodoksen muodostuminen ajan funktiona 20.11 suoritetujen painesuodatuskokeiden aikana suodatusohjelmalla 1 ja kuviossa 8 suodatusohjelmalla 2. Kaikkien testipäivien suodosmäärän kuvaajat on esitetty liitteessä 5.

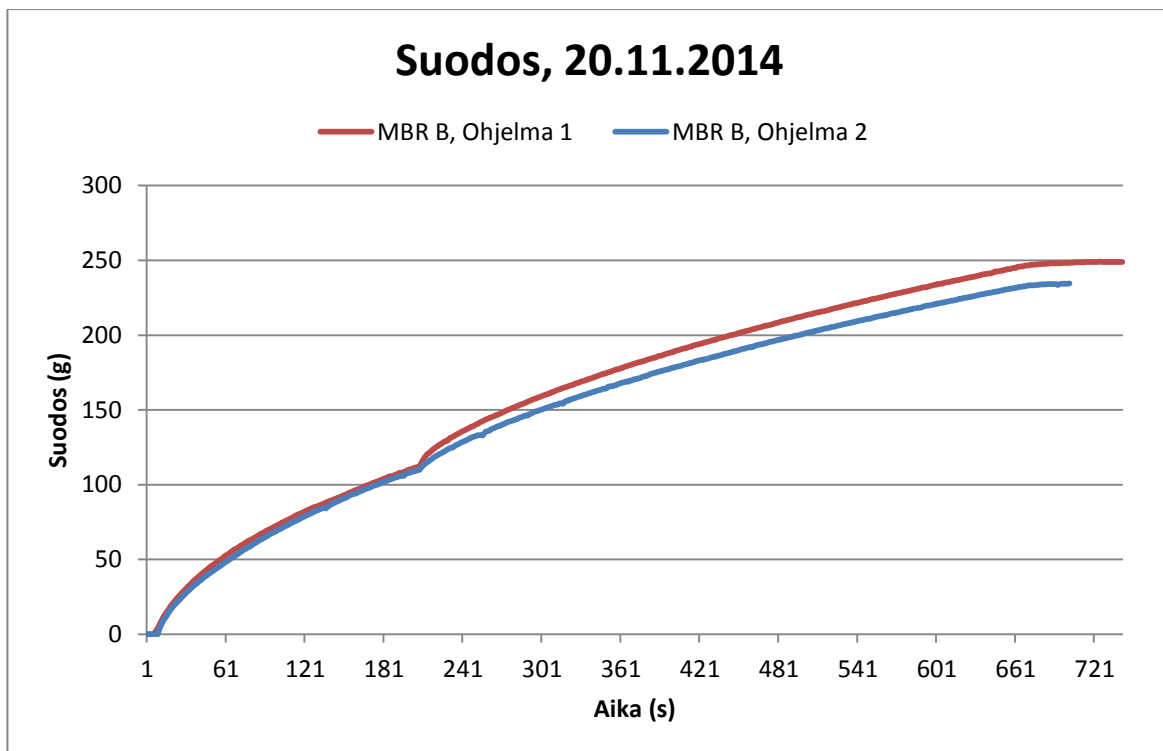


KUVIO 7. Suodoksen muodostuminen ajan funktiona MBR B- ja PP-lietteille suodatusohjelmalla 1

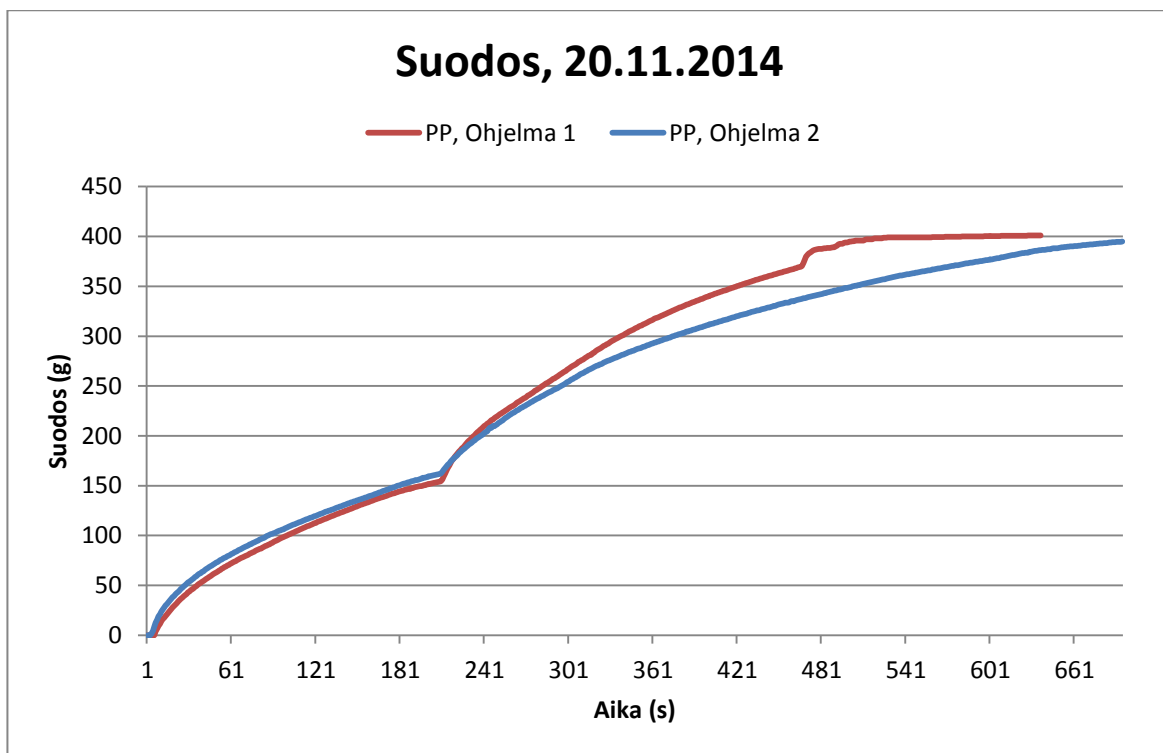


KUVIO 8. Suodoksen muodostuminen ajan funktiona MBR B- ja PP-lietteille suodatusohjelmalla 2

Kuviossa 9 on esitetty suodoksen muodostuminen ajan funktiona MBR B-lietteelle ja kuviossa 10 PP-lietteelle suodatusohjelmilla 1 ja 2.



KUVIO 9. Suodoksen muodostuminen ajan funktiona MBR B-lietteellä



KUVIO 10. Suodoksen muodostuminen ajan funktiona PP-lietteellä

7 TULOSTEN TARKASTELU

7.1 Laskeutuvuus

MBR- ja CAS-lietteiden laskeutuvuutta testattiin Parikkalan jätevedenpuhdistamolla yhteensä viitenä päivänä. Laskeutuvuutta testattiin määrittämällä lietteille lieteindeksit, SVI ja DSVI. Laimentamaton (SVI) MBR-liete ei käytännössä laskeutunut ollenkaan. Tämä johtuu todennäköisesti suuremmasta lietepitoisuudesta MBR-lietteessä. Lietepitoisuuden huomioivat DSVI-määrytykset puolestaan osoittivat MBR-pilotin B-linjan lietteen laskeutuvuusominaisuuksien olevan paremmat kuin linjan A-lietteen. Saostuskemikaalilisäys B-linjaan lisää lietteen epäorgaanista ja paremmin laskeutuvaa osuutta, joka näkyy näin ollen myös DSVI-arvoissa. Parhaat laskeutusominaisuudet olivat kuitenkin CAS-lietteellä, jonka DSVI-arvot olivat alhaisimmat. MBR-lietteen CAS-lietettä heikommat laskeutusominaisuudet voivat johtua mm. MBR-lietteen mahdollisesti suuremmasta rihmamaisten bakteerien määrästä, pienemmästä flokkikoosta sekä erilaisesta flokkirakenteesta.

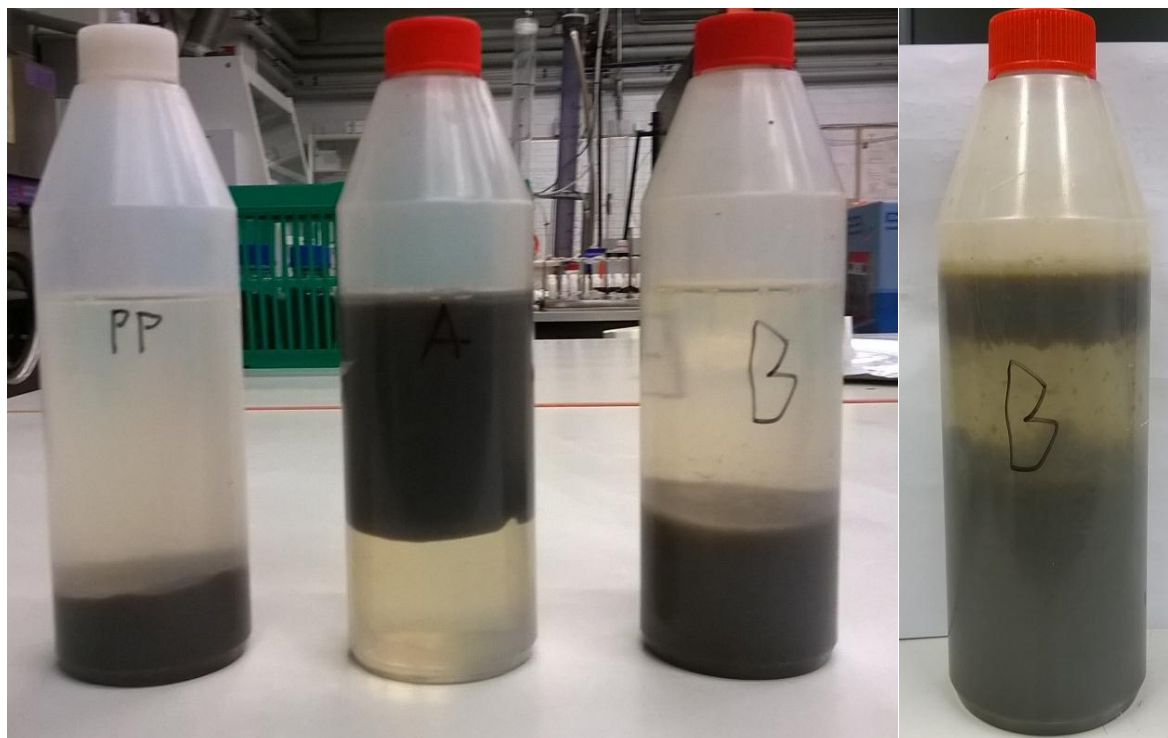
Määritetyt DSVI-arvot MBR B-lietteelle (n. 89–106 ml/g) ovat samaa tasoa Guerran (2010, 65), Pollicen ym. (2007, 7) sekä Gugliemin ym. (2010, 5) raporttoimien DSVI-arvojen kanssa. Saostuskemikaaloidun MBR-lietteen voidaan tämän tutkimuksen perusteella sanoa olevan laskeutusominaisuuksiltaan saostamatonta lietettä parempaa. Lisäksi tämän tutkimuksen perusteella voidaan sanoa CAS-lietteen laskeutusominaisuuksien olevan hieman parempia kuin MBR-lietteen.

Laskeutusastioiden pinnasta otettujen näytteiden ja niistä tehtyjen kiintoainepitoisuusmäärytyksien perusteella voidaan sanoa MBR-lietteessä mahdollisesti olevan hieman enemmän laskeumatonta kiintoainesta kuin CAS-lietteessä. Sama oli havaittavissa myös silmämääräisen tarkastelun perusteella. Tuloksista ei kuitenkaan voida tehdä tarkkaa johtopäätöstä menetelmän epätarkkuudesta johtuen. Menetelmä ei esimerkiksi ota huomioon lainkaan selkeytyneen veden sisältämiä kolloidisia aineita, jotka näkyvät vedessä sameutena, mutta läpäisevät ainakin osittain kiintoainemäärytyksessä käytetyn suodattimen. Vastaavia tuloksia on kuitenkin saatu muissakin tutkimuksissa. Massé ym. (2006, 2413) havaitsivat laskeutuksella selkeytetyn veden olevan MBR-lietteessä huomattavasti sameampaa kuin CAS-lietteessä. Samaa tulokseen tulivat myös Merlo ym. (2004, 10). Tämä voi olla seurausta kalvosuodatuksen vuoksi prosessiin jäävistä pienistä mikro-organismeista ja muista pienistä vettä kevyemmistä partikkeleista, jotka CAS-prosessissa poistuvat puhdistetun veden mukana.

Laskeutustesteissä ei kuitenkaan havaittu selvää lietepatjan nousua astian pintaan, josta Merlo ym. (2004, 11) raportoivat. Sen sijaan näytepulloissa ilmiö havaittiin sekä MBR A-, että MBR B-lietteillä (kuva 23). Vastaavaa ei havaittu CAS-lietteellä. Tästä ei kuitenkaan voi johtaa kunnollisia päätelmiä, koska olosuhteet näytepullossa ovat suljetun tilan vuoksi täysin erilaiset kuin normaalit prosessiolosuhteet.

MBR-prosessin biologisen lietteen tiivistys perinteisessä painovoimaisessa tiivistämössä voi olla kyseenalaista. MBR-prosessista poistettavan lietteen kiintoainepitoisuus on usein suurempaa kuin CAS-prosessin vastaava ja mikäli sakeutuksella lietteen kiintoainepitoisuutta ei saada nostettua riittävästi,

voi saavutettu hyöty lietteen kuivauksen kannalta olla hyvin pieni. Lisäksi on mahdollista, että sakeuttamosta karkaa vettä kevyempiä partikkeleita, jotka palautuvat rejektiveden mukana puhdistusprosessiin ja näin ollen ajan myötä rikastuvat prosessissa. Perinteisen sakeutuksen tehokkuutta voi olla kuitenkin mahdollista parantaa esim. polymeroinnilla tai hienovälpeen sekoittamisella ylijäämälietteen sekaan.



KUVA 23. MBR A- (vasemmalla) ja MBR B-lietteissä (oikealla) havaittiin näytepulloissa lietepatjan pintaan nousua. Kuvassa näkyy myös CAS-lietenäyte (PP).

7.2 Kuivattavuus

MBR-lietteen ja CAS-lietteen kuivattavuutta tutkittiin CST-testin, kartiosuodatuskokeen sekä painesuodatintestin avulla. CST-testin perusteella MBR B-lietteen kuivattavuus oli parempaa kuin saostamattoman A-linjan lietteen. Kiintoainekorjatut CST_5 -arvot olivat MBR B-lietteessä noin 5,5–10,3 s/(g*I), kun MBR A-lietteen vastaavat arvot olivat tyypillisesti 9,8–14,2 s/(g*I). Lisäksi, viimeisenä testipäivänä lipeän syöttöhäiriön vuoksi pilotin lietteissä tapahtunut pH:n lasku näkyy selvänä piikkinä MBR A-lietteen CST_5 -arvossa, kun taas MBR B-lietteen CST_5 -arvossa se ei näkynyt lainkaan.

Parhaimmat CST_5 -arvot olivat CAS-lietteellä ollen välillä 1,9–4,3 s/(g*I). MBR-lietteiden heikot CST_5 -tulokset voivat johtua MBR-lietteen mahdollisesti pienemmästä flokkikoosta CAS-lietteeseen verrattuna. MBR-lietteen heikot CST_5 -arvot voivat selittyä osittain myös mm. sen alhaisemmalla pH:lla, suuremmalla rihmamaisten bakteerien määrällä tai EPS-aineiden erilaisella koostumuksella.

Merlo ym. (2006, 7) löysivät selvän korrelaation CST-tuloksien ja EPS-aineiden pitoisuuden välille. On myös havaittu, että EPS-aineet eivät ole samanlaisia kaikissa aktiivilietteissä ja niiden pintarakente on usein kaksiosainen. Toinen kerroksista muodostuu heikosti kiinnittyneestä EPS-aineesta (loosely bound EPS) ja toinen tiukasti kiinnittyneestä EPS-aineesta (tightly bound EPS) (Zhang ym.

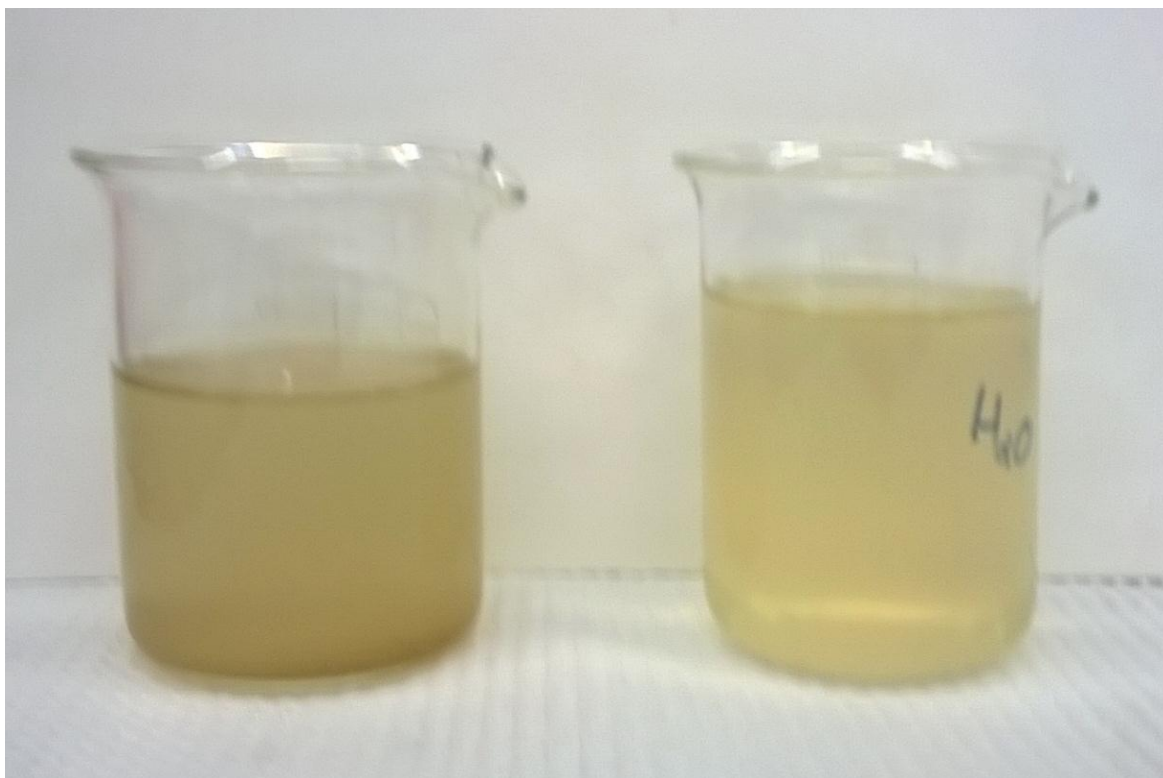
2015, 124–134). Li ja Yang (2007, 1029) havaitsivat nimenomaan heikosti kiinnittyneen EPS-aineksen määrän vaikuttavan lietteen kuivattavuuteen. Vaikka MBR-lietteen EPS-ainepitoisuus onkin todennäköisesti hieman pienempi kuin CAS-lietteen, voi MBR-lietteen heikosti kiinnittyneen EPS-aineksen määrä olla CAS-lietettä suurempi. Näin ollen voi olla mahdollista, että MBR-lietteessä vettä voi olla suhteessa enemmän sitoutuneena lietepartikkeleihin kuin CAS-lietteessä.

Taulukosta 10 sekä kuvioista 5-6 nähdään, että sekä suodoksen määrä että kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus ovat MBR B-lietteessä alhaisempia kuin CAS-lietteessä. CAS-lietteen suodatinkakku oli silminnähden kuivempi verrattaessa MBR-lietteen suodatinkakkuun (kuva 24). Tämä ero on todennäköisesti seurausta pienemmästä partikkelikoosta MBR B-lietteessä. Tämän seurauksena suodattimen huokokset saattavat tukkeutua helpommin ja näin ollen veden ja lietteen erottuminen heikentyy. Kuvioista 7 ja 8 on nähtävissä, että MBR-lietteen suodattuminen on hitaampaa heti suodatuksen alusta lähtien ja suodoksen muodostumisnopeuden ero kasvaa suodatusajan kuluessa. MBR-lietteen mahdollisesti pienemmät ja tiheimmät partikkelit voivat muodostaa suodattimen pinnalle CAS-lietettä tiiviimmän kakun ja näin ollen puristusvaiheessa suodoksen muodostumisnopeus hidastuu CAS-lietettä nopeammin.

Lietteiden painesuodatuskokeiden suodoksen laadussa oli myös havaittavissa eroavaisuutta CAS- ja MBR-lietteiden välillä. Silmämääräisesti tarkasteltuna MBR-lietteen suodokset olivat hieman sameampia kuin CAS-lietteen (kuva 25). Syy on todennäköisesti, että MBR-lietteen pienemmät partikkelit sekä kalvosuodatuksen vuoksi lietteeseen pidäytyvät kolloidiset hiukkaset yksinkertaisesti läpäisevät suodattimen aiheuttaen sameamman suodoksen.



KUVA 24. CAS-lietteen (vasemmalla) sekä MBR-lietteen (oikealla) suodatinkakut



KUVA 25. Painesuodatuskokeen suodokset MBR-lietteellä (vasemmalla) ja CAS-lietteellä (oikealla)

CAS-lietteen suodatuksessa havaittiin jokaisella testikerralla, että suodatusohjelmalla 1 puristusvaiheen loppupuolella veden suotautumisessa tapahtui porrasmainen nousu (kuvio 10). Vastaavaa ei havaittu MBR-lietteellä, eikä suodatusohjelmalla 2 myöskään CAS-lietteelle. Tämä ilmiö voi olla seurausta siitä, että kovemman suodatuspaineen (ohjelma 2) aikana lietekakku puristuu tiiviimmäksi kuin alhaisemmalla suodatusvaiheen paineella (ohjelma 1). Puristusvaiheessa löyhemmän lietekakun rakenne saattaa murtua tai kakku saattaa liikahtaa esim. kitkavoimien muutoksien seurauksena, jolloin siitä vapautuu nopeasti suhteellisen paljon vettä. Myös epätasainen painejakauma suodattinkammiossa puristusvaiheessa saattaisi saada aikaan tällaisen rakenteen murtumisen tai liikkumisen.

Kuviosta 10 nähdään, että CAS-lietteen suodatusvaiheessa suodosta muodostuu enemmän ohjelmalla 2 kuin ohjelmalla 1, mutta puristusvaiheessa suodatusohjelmalla 1 muodostuvan suodoksen määrä nousee ohjelman 2 suodost määrää suuremmaksi. Suodatusvaiheen kovempi paine saattaa puristaa suodattimen huokokset ”tiukemmin” tukkoon kuin alhaisemmalla paineella, suuremman paineen riittäessä kuitenkin suodatusvaiheessa tuottamaan enemmän suodosta. Puristusvaiheessa tiukemmin tukkeutuneen suodattimen läpi suotautuva vesi on kuitenkin vähäisempää kuin alhaisemmassa suodatuspaineessa muodostuneiden, todennäköisesti hieman vähemmän tukkeutuneen suodattimen.

Kartiosuodatuskokeessa MBR A- ja MBR B-lietteiden välillä ei havaittu eroavaisuuksia. Sen tulokset, vertailtaessa MBR- ja CAS-lietteitä, ovat kuitenkin samansuuntaisia CST- ja painesuodatustestien tulosten kanssa. CAS-lietteen suodattavuus testin perusteella oli jokaisella testikerralla hieman parempaa kuin MBR-lietteiden.

Kaikkien testien perusteella voidaan sanoa, että ilman polymeerin annostelua tai muiden apuaineiden käyttöä, CAS-lietteen kuivattavuus on parempi kuin MBR-lietteen. On kuitenkin muistettava, ettei lietteenkuivausta yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla käytännössä koskaan toteuteta ilman polymeerin syöttöä kuivattavaan lietteeseen. Lietteen kuivattavuus paranee huomattavasti polymeeroinnin ansiosta ja sen avulla voidaan tasoittaa MBR- ja CAS-lietteiden kuivaustuloksissa olevia eroja. Kuten kappaleessa 4.4 todettiin, MBR-lietteen kuivauksessa joudutaan usein turvautumaan CAS-lietteen kuivauksessa käytettyjä polymeeriannoksia suurempiin polymeerimääriin. Tämä lisää luonnollisesti kemikaalikustannuksia, mutta tämän tutkimuksen perusteella voidaan olettaa sillä saatavan hyödyn olevan helposti perusteltavissa, koska kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuuksissa voidaan tällöin päästä CAS-lietteen kanssa samalle tasolle. Kaikkien kuivattavuutta testaavien testien perusteella voidaan lisäksi todeta, että MBR-liete ilman saostuskemikaalilisäystä on heikommin käsiteltävissä kuin MBR-liete johon syötetään saostuskemikaalia.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä oli tarkoitus selvittää yhdyskuntien jätevesienpuhdistuksessa käytettävän kalvobio-reaktoriprosessin (MBR-prosessi) aktiivilietteen laskeutuvuus- ja kuivattavuusominaisuuksia verrattuna perinteisen aktiivilieteprosessin (CAS-prosessi) aktiivilietteeeseen. MBR-prosesseja on käytössä yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla jo mm. Pohjois-Amerikassa sekä Keski-Euroopassa. Pohjoismaissa MBR-prosesseja ei vielä ole, mutta ensimmäinen on tulossa Suomeen lähivuosina ja MBR-prosessiin perustuvaa laitosta ollaan suunnittelemassa myös Ruotsiin. MBR-prosessin kalvosuodatukseen perustuva lietteen ja veden erotus johtaa väistämättä muutoksiin aktiivilietteen ominaisuuksissa, jolloin myös lietteen laskeutuvuus sekä kuivattavuus voivat poiketa perinteisen prosessin aktiivilietteestä. Kun lisätään vielä, että lietteenkäsittelyn kustannukset saattavat olla jopa yli 40 % jätevedenpuhdistamon kokonaiskustannuksista, lienee sanomattakin selvää, että MBR-prosessista poistettavan lietteen riittävän tehokkaasta käsiteltävyydestä on varmistuttava.

Kirjallisuudessa usein esitetään MBR-prosessissa lietteenkasvun olevan CAS-prosessia vähäisempää, mutta väittämä perustuu usein CAS-prosessiin, jota ajetaan tyypillisiä suomalaisia prosesseja alhaisemmalla liete-pitoisuudella sekä lieteiällä. Lietteenkasvu MBR-prosessissa pyrittiin selvittämään kirjallisuustutkimuksen perusteella. Aineistona käytettiin lähinnä Euroopassa, Yhdysvalloissa sekä Aasiassa tehtyjä tutkimuksia ja tarkastelussa painotuttiin tutkimuksiin, joissa CAS- ja MBR-prosesseja on ajettu suurin piirtein samoilla lieteiällä. Lisäksi kirjallisuustutkimuksella pyrittiin selvittämään MBR-lietteen keskeisempiä ominaisuuksia (partikkelikoko ja EPS-aineet).

Tehdyn kirjallisuusselvityksen perusteella MBR-prosessissa voi olla noin 10–20 % alhaisempi biologisen lietteenkasvu kuin CAS-prosessissa, ajettaessa prosesseja samalla lieteiällä. Kirjallisuudesta löytyneiden eri tutkimuksien tulokset lietteenkasvusta kuitenkin vaihtelivat paljon, joten selkeää loppulemaa siitä, onko lietteenkasvu MBR-prosessissa vähäisempää, ei voida tehdä. MBR-lietteen ominaisuudet poikkeavat tarkasteltujen parametrien osalta CAS-lietteestä. MBR-lietteen partikkelikoko on keskimäärin pienempää kuin CAS-lietteen. Erityisesti erittäin pienten partikkeleiden (<100 µm) lukumäärä MBR-lietteessä on huomattavasti suurempi kuin CAS-lietteessä. MBR-lietteen EPS-pitoisuus oli puolestaan MBR-lietteessä keskimäärin alhaisempi kuin CAS-lietteessä.

Käytännön testit toteutettiin vertailemalla Parikkalan kunnallisella jätevedenpuhdistamolla olleen MBR-pilotin sekä puhdistamon pääprosessin (CAS-prosessi) lietteiden käsiteltävyyttä. MBR-pilotti oli kaksilinjainen, joista toiseen syötettiin saostuskemikaalina ferrisulfaattia. Tällöin myös saostuskemikaalin vaikutusta MBR-lietteen käsiteltävyyteen saatiin testattua. Missään testeissä ei käytetty polymeeriä tms. apuaineita. Lietteiden laskeutuvuutta testattiin määrittelemällä lietteille laskeutuvuutta kuvaava lieteindeksi (DSVI). Laskeutusastioiden pinnalta otettiin vesinäyte, josta määritettiin kiintoainepitoisuus mahdollisten lietteessä olevien, vettä kevyempien partikkeleiden havaitsemiseksi. Lietteen kuivattavuutta testattiin CST-testin, painesuodatuskokeen sekä kartiosuodatuskokeen avulla. Lisäksi lietteenkuivainvalmistajille lähetetyn kyselyn avulla pyrittiin selvittämään kuivauksen toimivuutta suuremman mittakaavan testeissä sekä heidän referenssikohteissa.

Testien perusteella voidaan todeta, että ilman apuaineiden käyttöä MBR-lietteen laskeutuvuus- sekä kuivattavuusominaisuudet olivat CAS-lietettä heikompia. Yhtäläillä voidaan todeta, että saostetun MBR-lietteen laskeutuvuus- ja kuivattavuusominaisuudet olivat saostamatonta lietettä parempia. CAS-lietteen DSVI-arvot olivat selkeästi alhaisempia kuin saostetun MBR-lietteen. Tämä voi johtua esim. MBR-lietteen rihmamaisten bakteerien suuremmasta määrästä. Myös lietteen laskeutuvuutta voidaan tarvittaessa tehostaa polymeroinnilla tms. apuaineella. CST-testin, kartiosuodatuskokeen ja painesuodatuskokeen perusteella voidaan päätellä, että kirjallisuudesta sekä kuivainvalmistajilta saatu tieto siitä, että MBR-lietteen kuivauksessa tarvitaan suurempi määrä polymeeriä pitää paikkansa. MBR-laitoksilla maailmalla lietteen kuivaukseen käytetään niin ruuvipuristimia kuin linkojakin ja molemmilla on mahdollista päästä riittäviin kuivaustuloksiin. Todetaan vielä, että niin lietteen laskeutuvuutta kuin kuivattavuuttakin voidaan mahdollisesti parantaa hienovälpeen sekoittamisella lietteeseen.

Opinnäytetyön teon aikana esille tulleina lisätutkimustarpeina voidaan ehdottaa kuivattavuuden testausta täyden mittakaavan lietteenkuivaimella/kuivaimilla, jolloin voitaisiin tarkemmin arvioida lietteen kuivattavuutta. Samalla olisi syytä selvittää optimi polymeeriansostus MBR-lietteelle. Lisäksi tutkimusta, jossa selvitetään tarkemmin eri kuivaintyyppien soveltuvuutta MBR-lietteelle, voidaan pitää tarpeellisena. Myös MBR-prosessin todellisen lietteentuoton selvittäminen olisi tarpeellista. Tämän voisi toteuttaa esim. kyselyllä, jolla selvitetäisiin toiminnassa olevien MBR-laitosten lietemäärät, joita voitaisiin verrata saman kokoluokan perinteisiin aktiivilietelaitoksiin.

LÄHTEET

- ALBERTSON, Orris E. 2005. Activated sludge bioselector processes: History, benefits, arrangement, design, experiences, troubleshooting, research needs. Enviro Enterprises, Inc. LaBarge, WY. [Viitattu 2015-02-05.] Saatavissa: <http://orrisealbertson.com/files/2012/05/BioselectorProcesses-May2005.pdf>
- AL-HALBOUNI, Djamila, TRABER, Jacqueline, LYKO, Sven, WINTGENS, Thomas, MELIN, Thomas, TACKE, Daniela, JANOT, Andreas, DOTT, Wolfgang ja HOLLENDER, Juliane 2008. Correlation of EPS content in activated sludge at different sludge retention times with membrane fouling phenomena. *Water research* 42 (2008), 1475-1488. [Viitattu 2015-01-14.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/watres
- AL-MALACK, Muhammad H. 2006. Determination of biokinetic coefficient of an immersed membrane bioreactor. *Journal of membrane science* 271 (2006), 47-58. [Viitattu 2015-01-23.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/memsci
- ARÉVALO, J., RUIZ, L.M., PÉREZ, J. ja GOMÉZ, M.A. 2014. Effect of temperature on membrane bioreactor performance working with high hydraulic and sludge retention time. *Biochemical engineering journal* 88 (2014), 42-49. [Viitattu 2015-01-22.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/bej
- ASCE 2012. Membrane technology and environmental applications. Reston [Virginia]: American society of civil engineers.
- DVORÁK, Lukás, GÓMEZ, Marcel, DVORÁKOVÁ, Markéta, RUZICKOVÁ, Iveta ja Wanner Jirí 2011. The impact of different operating conditions on membrane fouling and EPS production. *Bioresource technology* 102 (2011) 6870-6875. [Viitattu 2015-01-14.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/biortech
- EUROMBRA 2009. D30 – Completion of study of filterability (SRF) and dewaterability (CST) for AS and MBR plants: pilot scale belt press tests. Membrane bioreactor technology (MBR) with an EU perspective for advanced municipal wastewater treatment strategies for the 21st century. Project no: 018480. [Viitattu 2015-02-02.] Saatavissa: <http://www.mbr-network.eu/mbr-projects/downloads-reports-details.php?VID=171>
- GEA WESSTFALIA, KERÄNEN, Janne 2015-01-21. MBR-lietteen kuivattavuus [sähköposti]. Vastaanottaja Ville Venejärvi.
- GERMAIN, E. ja STEPHENSON T. 2005. Biomass characteristics, aeration and oxygen transfer in membrane bioreactors: their interrelations explained by a review of aerobic biological process. *Reviews in environmental science and bio/technology* (2005) 4, 223-233. [Viitattu 2015-01-16.] Saatavissa: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/1022/3/Biomass%20Characteristics%202005.pdf>
- GUGLIEMI, Giuseppe, CHIARANI, Daniele, PRAKASH SAROJ, Devandra ja ANDREOTTOLA, Gianni 2010. Sludge filterability and dewaterability in a membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. *Desalination* 250 (2010), 660-665. [Viitattu 2015-02-02.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/desal
- GUERRA, Laura 2010. Evaluation of bassuary wastewater treatment plant after upgrading with membrane bioreactor technology. Lund University. Water and environmental engineering. Department of chemical engineering. Diplomityö. [Viitattu 2015-02-02.] Saatavissa: <http://www.chemeng.lth.se/exjobb/E606.pdf>
- HARPER, WF, BERNHARD, M ja NEWFIELD, C 2006. Membrane bioreactor biomass characteristics and microbial yield at very low mean cell residence time. Verkköjulkaisu. [Viitattu 2015-01-23.] Saatavissa: www.wrc.org.za

- HUANG, Xia, GUI, Ping ja QIAN, Yi 2001. Effect of sludge retention time on microbial behavior in a submerged membrane bioreactor. *Process biochemistry* 36 (2001), 1001-1006. [Viitattu 2015-01-22.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/procbio
- HUBER TECHNOLOGY, MOISIO, Ari 2014-01-15. MBR-lietteen kuivattavuus [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Ville Venejärvi.
- JIN, Bo, WILÉN, Britt-Marie ja LANT, Paul 2003. A comprehensive insight into floc characteristics and their impact on compressibility and settleability of activated sludge. *Chemical engineering journal* 95 (2003), 221-234. [Viitattu 2015-01-12.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/cej
- JIN, Bo, WILEN, Britt-Marie ja LANT, Paul 2004. Impacts of morphological, physical and chemical properties of sludge on dewaterability of activated sludge. *Chemical engineering journal* 98 (2004), 115-126. [Viitattu 2015-02-02.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/cej
- JUDD, Simon ja JUDD, Claire 2011. *MBR Book. Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment*. 3. painos. Oxford: Elsevier.
- KRAUME, Matthias, BRACKLOW, Ute, VOCKS, Martin ja DREWS, Anja 2005. Nutrients removal in MBRs for municipal wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.* 51 (2005), 391-402. [Viitattu 2015-01-23.] Saatavissa: <http://www.ime-medawater-rmsu.org/archive/projects/ZERO-M%20project/reports/10%20Membrane%20bioreactor/Nutrients%20Removals%20in%20MBRs.pdf>
- KRZEMINSKI, Pawel 2013. Activated sludge filterability and full-scale membrane bioreactors operation. Warsaw university of technology. Chemical and process engineering. Diplomityö. [Viitattu 2014-10-16.] Saatavissa: http://www.citg.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/CITG/Gezondheidstechniek/doc/Proefschriften/Proefschrift_Pawel_Krzeminski.pdf
- KAUPUNKILIIITTO 1980. Jätevedenpuhdistamoiden suunnittelu. Kaupunkiliiton julkaisu B 87. Helsinki: Kirjapaino Oy Nova.
- LE-CLECH, Pierre, CHEN, Vicki, FANE ja Tony A.G. 2006. Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment. *Journal of membrane science* 284 (2006), 17-53. [Viitattu 2014-10-14.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/memsci
- LEIKNES, Tor Ove 2010. Membrane bioreactors. Julkaisussa: PEINEMANN, Klaus-Viktor ja NUNES, Suzana Pereira (toim.) *Membrane technology. Membranes for water treatment*. Weinheim: WILEY-VCH, 193-223.
- LI, X.Y., YANG, S.F. 2007. Influence of loosely bound extracellular polymeric substances (EPS) on the flocculation, sedimentation and dewaterability of activated sludge. *Water research* 41 (2007), 1022-1030. [Viitattu 2015-02-06.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/watres
- LOHINIVA, Elina, MÄKINEN, Tuula ja Sipilä, Kai 2001. Lietteiden käsittely: Uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT tiedotteita-208. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [Viitattu 2015-01-29.] Saatavissa: <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf>
- LOUSADA-FERREIRA, Maria 2011. Filterability and sludge concentration in membrane bioreactors. New university of Lisbon. Environmental engineer, branch environment. Väitöskirja. [Viitattu 2014-10-16.] Saatavissa: http://ocw.tudelft.nl/courses/watermanagement/wastewater-treatment/readings/additional-reading-material/?jumpurl=uploads%2Fmedia%2FFilterability_and_Sludge_Concentration_in_Membrane_Bioreactors.pdf&juSecure=1&mimeType=application%2Fpdf&locationData=11289%3Att_content%3A60117&juHash=56fc010313fea8d6711a9215c114006cd736aa11
- LOW, Euan W. ja CHASE, Howard A. 1998. The effect of maintenance energy requirements on biomass production during wastewater treatment. *Water research* Vol. 33 (1999), 847-853.
- MASSÉ, Anthony, SPÉRANDIO, Mathieu ja CABASSAUD, Corinne 2006. Comparison of sludge characteristics and performance of a submerged membrane bioreactor and an activated sludge process at

- high solids retention time. *Water Research* 40 (2006), 2405-2415. [Viitattu 2015-01-09.] Saatavissa: www.Elsevier.com/locate/waters
- MERLO, Rion P., TRUSSELL, Shane, HERMANOWICZ, Slawomir W. ja JENKINS, David 2004. Physical, chemical and biological properties of submerged membrane bioreactor and conventional activated sludges. *Water Environmental Federation*. [Viitattu 2015-01-09.] Saatavissa: http://www.ce.berkeley.edu/~hermanowicz/other/MERLO_WEFTEC2004.pdf
- METCALF & EDDY 1991. *Wastewater engineering: Treatment, reuse and disposal*. International edition. 3. painos. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- METCALF & EDDY 2003. *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. 4. painos. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- NG, How ja HERMANOWICZ, Slawomir 2005. Membrane bioreactor operation at short solids retention times: performance and biomass characteristics. *Water research* 39 (2005), 981-992. [Viitattu 2015-01-22.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/watres
- NIEMINEN, Jenni 2009. Mäddämölietteen kuivattavuuden määrittäminen CST (capillary suction time) –laitteella. Teknillinen korkeakoulu. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Yhd-73.3125 Vesitekniikan erikoistyö.
- OUYANG, Ke ja LIU Junxin 2009. Effect of sludge retention time on sludge characteristics and membrane fouling of membrane bioreactor. *Journal of environment sciences* 21 (2009), 1329-1335. [Viitattu 2015-01-14.] Saatavissa: www.jesc.ac.cn
- POLLICE, A., LAERA, G., GIORDANO, C., SATURNO, D., MININNI, G. ja MASI, S. 2007. Biomass de-waterability, filterability and settleability in a membrane bioreactor operated with different sludge ages. *Water practice & technology vol 2 1 No 1*. IWA Publishing 2007. [Viitattu 2015-02-02.] Saatavissa: <http://www.iwaponline.com/wpt/002/0010/0020010.pdf>
- PUHTO, Eeva 2009. Kalvosuodatustekniikan soveltuminen yhdyskuntajätevesien käsittelyn tehostamiseen. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. [Viitattu 2014-10-16.] Saatavissa: <http://civil.aalto.fi/fi/midcom-serveattachmentguid-1e388d46c8da1d688d411e3a7a359e2bfc806370637/puhto2009.pdf>
- RADNEJOVIC, Jelena, MATOSIC, Marin, MIJATOVIC, Ivan, PETROVIC, Mira ja BARCELO, Damia 2008. Membrane bioreactor (MBR) as an advanced wastewater treatment technology. *Hdb env chem vol. 5, part S/2* (2008), 37-101 [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2014-10-20.] Saatavissa: http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/RADJENOVIC%202008%20MBR%20as%20an%20Advanced%20Wastewater%20Treatment%20Technology.pdf
- RAMBOLL FINLAND OY 2013. Parikkalan jätevedenpuhdistamon ympäristölupahakemus.
- RAMBOLL FINLAND OY 2014. Yhteenveto Saksan ja Ranskan MBR-laitoskierrokselta
- RIL 2004. RIL 124-2-2004 Vesihuolto 2. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.
- ROSENBERG, S, KRUGER, U, WITZIG, R, MANZ, W, SZEWEK, U ja KRAUME, M 2002. Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal waste water. *Water research* 36 (2002), 413-420. [Viitattu 2014-10-15.] Saatavissa: www.Elsevier.com/locate/waters
- SMITH, S., JUDD, S., STEPHENSON, T. ja JEFFERSON, B. (2003) Membrane bioreactors – hybrid activated sludge or a new process? [Viitattu 2015-01-15.] Saatavissa: <http://www.ceic.unsw.edu.au/centers/membrane/imstec03/content/papers/ENMB/imstec051.pdf>
- SNIDER-NEVIN, Jeffrey, ADAMS, Nick, SURESH, Kiran ja ZHOU, Hongde 2013. Evaluation of membrane bioreactors with short sludge retention times on performance, biomass characteristics and membrane fouling. *Water environment federation* 2013.
- STRICOT, M., FILALI, A., LESAGE, N., SPÉRANDIO, M. ja CABASSUD, C 2010. Side-stream membrane bioreactors: influence of stress generated by hydrodynamics on floc structure, supernatant

- quality and fouling propensity. *Water research* 44 (2010), 2113-2124. [Viitattu 2015-01-16.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/watres
- SPÉRANDIO M. ja ESPINOSA, M.C. 2008. Modelling an aerobic submerged membrane bioreactor with ASM models on a large range of sludge retention time. *Desalination* 231 (2008), 82-90. [Viitattu 2015-01-22.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/desal
- TAE-HYUN, Bae ja TAE-MOON, Tak 2005. Interpretation of fouling characteristics of ultrafiltration membranes during the filtration of membrane bioreactor mixed liquor. *Journal of membrane science* 264 (2005), 151-160. [Viitattu 2015-01-15.] Saatavissa www.elsevier.com/locate/memsci
- TUROVSKIY, Izrail ja MATHAI, P.K. 2006. *Wastewater sludge processing*. Hoboken [New Jersey]: John Wiley & Sons, Inc.
- VAN HAANDEL, Adrianus ja VAN DER LUBBE, Jeroen 2012. *Handbook of biological wastewater treatment: Design and optimisation of activated sludge systems*. 2. painos. Lontoo: IWA Publishing.
- VISTISEN BUGGE, Thomas ja ANDERSEN, Morten 2009. *Characterization of sludge in a submerged membrane bioreactor*. Aalborg university. Chemistry and environmental engineering. Diplomityö. [Viitattu 2014-10-16.] Saatavissa: http://projekter.aau.dk/projekter/files/17651714/Characterization_of_Sludge_in_a_Submerged_Membrane_Bioreactor.pdf
- WATER ENVIRONMENT FEDERATION 2012. *Solids process design and management*. Alexandria [Virginia]: Water environment federation.
- WILÉN, Britt-Marie, JIN, Bo, LANT ja Paul 2003. The influence of key chemical constituents in activated sludge on surface and flocculating properties. *Water research* 37 (2003), 2127-2139. [Viitattu 2015-01-12.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/watres
- YANG, Jixiang 2013. *Membrane bioreactor for wastewater treatment*. [Viitattu 2014-10-15.] Saatavissa: www.bookboon.com
- ZHANG, Weijun, YANG, Peng, XIAO, Ping, XU, Shiwei, LIU, Yuanyuan, LIU, Fei ja WANG, Dongsheng 2015. Dynamic variation in physicochemical properties of activated sludge floc from different WWTPs and its influence on sludge dewaterability and settleability. *Colloids and surfaces a: Physicochemical and engineering aspects* 467 (2015), 124-134. [Viitattu 2015-01-16.] Saatavissa: www.elsevier.com/locate/colsurfa

LIITE 1: HAVAITTUJA LIETTEEN KASVUN ARVOJA MBR- JA CAS-PROSESSEISSA

Prosessi	SRT	Yield (gVSS/gCOD)	Lähde
MBR	3,0	0,42	Harper ym.
MBR	5,0	0,37	Huang ym.
MBR	5,0	0,42	Ng ym.
MBR	8,0	0,41	Snider-Nevin ym.
MBR	8,0	0,22	Smith ym.**
MBR	10,0	0,24	Khor ym.
MBR	10,0	0,31	Sperandio ym.
MBR	10,0	0,38	Huang ym.
MBR	10,0	0,31	Masse ym.
MBR	10,0	0,24	Teck ym.
MBR	10,0	0,26	Ouyiang ym.
MBR	12,0	0,22	Kraume ym.
MBR	14,0	0,10	Smith ym.
MBR	20,0	0,16	Lee ym.
MBR	20,0	0,15	Smith ym.
MBR	20,0	0,35	Huang ym.
MBR	24,0	0,18	Kraume ym.
MBR	30,0	0,05	Smith ym.
MBR	35,0	0,32	Arevalo ym.
MBR	37,0	0,22	Sperandio ym.
MBR	37,2	0,22	Masse ym.
MBR	40,0	0,12	Lee ym.
MBR	40,0	0,33	Huang ym.
MBR	40,0	0,16	Ouyiang ym.
MBR	53,0	0,21	Sperandio ym.
MBR	53,0	0,21	Masse ym.
MBR	60,0	0,10	Lee ym.
MBR	60,0	0,12	Pollice ym.
MBR	80,0	0,28	Huang ym.
MBR	102,0	0,02	Kraume ym.
MBR	110,0	0,13	Sperandio ym.
MBR	110,3	0,13	Masse ym.
Cas	3,0	0,35	Harper ym.
Cas	5,0	0,35	Ng ym.
Cas	8,0	0,55	Smith ym.
Cas	9,2	0,30	Masse ym.
Cas	10,0	0,31	Sperandio ym.
Cas	10,0	0,28	Sperandio ym.
Cas	12,0	0,28	Kraume ym.
Cas	14,0	0,30	Smith ym.
Cas	14,3	0,28	Masse ym.
Cas	20,0	0,16	Smith ym.
Cas	24,0	0,26	Kraume ym.
Cas	30,0	0,09	Smith ym.
Cas	32,0	0,24	Masse ym.
Cas	37,0	0,24	Sperandio ym.
Cas	37,0	0,21	Sperandio ym.
Cas	53,0	0,23	Sperandio ym.
Cas	53,0	0,20	Sperandio ym.
Cas	102,0	0,07	Kraume ym.
Cas	110,0	0,20	Sperandio ym.
Cas	110,0	0,17	Sperandio ym.

QUESTIONNAIRE:

SUBMERGED MEMBRANE BIOREACTOR'S (MBR) EXCESS SLUDGE DEWATERABILITY

We are designing a membrane bioreactor plant for municipal wastewater treatment in Finland. We have done some pilot tests where we examine sludge dewaterability by CST and bench scale filter press. The tests were made parallel to the MBR -pilot and the full scale conventional activated sludge process, using no polymer or any other auxiliary substances.

The MBR-process is becoming more popular also in the Nordic countries. First MBR-plants are about to be built in Finland and Sweden in near future and it seems that there is plenty of interest for new more efficient technologies. MBR-processes have been studied quite thoroughly in the past years, but there are still quite much unclarity concerning about the MBR-process sludge treatment. For that reason we would like to clarify the differences of the MBR- and conventional activated sludge at full scale systems in terms of sludge dewatering. Your expertise and experiences in sludge dewatering could possibly help us when choosing sludge dewatering systems to MBR-plants. It would be very helpful if you could answer the following few questions.

1. Do the dewatering results differ between MBR- and conventional activated sludge? What are the main reasons for the difference?
2. Are there differences in the filtrate quality (NTU, P, N, SS) when dewatering MBR- or conventional activated sludge?
3. Are there differences at required polymer dosages when dewatering MBR- or conventional activated sludge? Is a same polymer type usable for both processes?
4. Which plants do you have experience on dewatering MBR-sludge? What are the dewatering results?
5. Have you done any public research concerning MBR-sludge treatment?

Thank you for your answers!

You can email your answers to

ville.venejarvi@Ramboll.com



TUTKIMUSSUUNNITELMA

Parikkalan kalvobioreaktori –pilotlaitosten lietteen las-
keutuvuus ja kuivattavuus verrattuna perinteiseen aktii-
vilieteprosessiin

SISÄLTÖ

1	LÄHTÖKOHDAT	2
2	TAVOITTEET	3
3	MENETELMÄT	4
3.1	SVI ja DSVI	4
3.2	CST –testi.....	5
3.3	Kartiosuodatuskoe	6
3.4	Painesuodatin	6
4	TUTKIMUKSEN SUORITUS JA AIKATAULU	7
	LÄHTEET	8
	LIITE 1: KARTIOSUODATUSKOE	9

1 LÄHTÖKOHDAT

Tutkimuksen aiheena on tutkia kalvobioreaktori –prosessin eli MBR –prosessin vaikutusta prosessista poistettavan ylijäämälietteen jatkokäsittelyyn. Tutkimuksen kohteena oleva MBR –pilot-laitos sijaitsee Parikkalan kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla. Pilotlaitoksen ja puhdistamon pääprosessin aktiivilietteitä testataan rinnakkain, jolloin tulokset ovat mahdollisimman hyvin vertailukelpoisia. Tämä tutkimus on osa laajempaa opinnäytetyötä, jossa tutkitaan myös MBR –prosessin aktiivilietteen ominaisuuksia sekä saostuskemikaalien vaikutusta lietteeseen sekä prosessin lietteentuottoa.

MBR –laitokset ovat yleistyneet maailmalla viimeisen 15-20 vuoden aikana runsaasti, johtuen prosessin pienentyneestä energiankulutuksesta. Täyden mittakaavan laitoksia ei kuitenkaan ole pohjoismaissa vielä ainuttakaan ja prosessin soveltuvuutta pohjoismaisiin oloihin on viime aikoina tutkittu runsaasti. Parikkalan pilotlaitoksen avulla tehtävien tutkimusten tavoitteena onkin selvittää mm. prosessin toimivuutta erittäin alhaisessa lämpötilassa.

MBR –prosessissa lietteen ja veden erotukseen ei käytetä laskeutusta, kuten perinteisessä aktiivilieteprosessissa vaan vesi-lietesuspension erotus tapahtuu puoliläpäisevän kalvon läpi suodattamalla. Koska lietettä ei tarvitse laskeuttaa, ei lietteen laskeutuvuusominaisuudet ole enää puhdistusprosessin kannalta rajoittava tekijä. Tästä johtuen, MBR –prosessissa lietepitoisuus voi olla suurempi kuin perinteisessä aktiivilieteprosessissa. MBR –prosessissa käytettävät kalvot erottavat vedestä lähes kaiken kiintoaineksen sekä bakteerit. Näin ollen MBR –prosessin aktiivilietteen partikkeleiden kokoja-kauma on pienempi kuin perinteisen aktiivilieteprosessin. Nämä seikat saattavat vaikuttaa prosessin ylijäämälietteen jatkokäsittelyyn.

2 TAVOITTEET

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää:

- Millainen on MBR -pilotlaitosten ylijäämälietteen laskeutuvuus verrattuna laitoksen pääprosessin (perinteinen aktiivilieteprosessi) ylijäämälietteeseen?
- Onko MBR -prosessin ylijäämälietteessä vettä kevyempiä partikkeleita, jotka jäävät lietettä laskeutettaessa veden pinnalle?
- Millainen on MBR -pilotlaitosten ylijäämälietteen kuivattavuus verrattuna laitoksen pääprosessin (perinteinen aktiivilieteprosessi) ylijäämälietteeseen?
- Mikä on MBR -lietteen orgaanisen aineksen suhteellinen määrä verrattuna laitoksen pääprosessin (perinteinen aktiivilieteprosessi) ylijäämälietteeseen?

Tutkimuksen tavoite on siis selvittää vaikuttaako MBR -prosessi negatiivisesti lietteen jatkokäsittelyyn. Lisäksi lietteestä selvitetään hekutushäviö, jolloin saadaan tieto lietteen orgaanisen aineen määrästä. Vaikka varsinaisessa MBR -prosessissa lietettä ei tarvitse laskeuttaa, on laskeutuvuus tärkeä ominaisuus mm. lietteen sakeutuksessa. Yhdessä kirjallisuustiedon kanssa, tutkimustulosten perusteella pyritään arvioimaan myös millainen kuivaustekniikka soveltuu MBR -lietteelle parhaiten.

Tässä tutkimuksessa ei varsinaisesti tutkita minkään yksittäisen seikan (esim. eri saostuskemikaalien) vaikutusta lietteen käsiteltävyyteen, mutta mikäli pilot -laitoksien ajotavassa, kemikaalien syöttömäärissä tai itse kemikaaleissa tapahtuu muutoksia tutkimuksen aikana, otetaan ne huomioon tuloksia analysoidessa. Lisäksi tuloksia analysoidessa huomioidaan laitoksen henkilökunnan mahdollisesti tekemät laskeutustestit sekä laitoksien jatkuvatoimisista mittauksissa saatava tieto.

3 MENETELMÄT

Lietteen laskeutuvuutta arvioidaan tekemällä pilot –laitoksien sekä laitosten pääprosessien lietteille laskeutuvuustestit, joiden perusteella lietteille määritetään lieteindeksit. Määritettävät lieteindeksit ovat SVI (sludge volume index) ja DSVI (distilled sludge volume index). Lietteen kuivattavuutta testataan CST –testillä (Capillary suction time), kartiosuodatuskokeella sekä laboratorio mittakaavan painesuodattimella. Lietteestä määritetään hehkutushäviö (VSS) ja kiintoainepitoisuus (TS) lietteen orgaanisen aineksen suhteellisen määrän selvittämiseksi. Kiintoainepitoisuutta tarvitaan myös CST –testien tuloksien analysoinnissa.

Näytteet otetaan pilot –laitoksista ylijäämälietteen poistoputken kautta ja pääprosessien näytteet otetaan aktiivilietealtaan viimeisestä lohokosta juuri ennen sen johtamista selkeytykseen.

3.1 SVI ja DSVI

SVI kuvaa lietteen laskeutumis- ja tiivistysominaisuuksia. SVI on yhden lietegramman (kuivapaino) viemä tilavuus kun sitä on laskeutettu 30 minuutin ajan mittalasissa. Lieteindeksin suuri arvo osoittaa lietteen heikkoja laskeutumisominaisuuksia ja tällöin poistettavan lietteen käsittely voi hankaloitua. Hyvin laskeutuvan lietteen SVI-indeksi on alle 100 ml/g. Välillä 100 - 200 ml/g liete on lievässä paisuntatilassa ja kun indeksi on yli 200 ml/g, on liete selvästi paisuntatilassa. SVI lasketaan kaavan 1 mukaisesti.

$$SVI = \frac{L}{MLSS'} \quad (1)$$

jossa L on laskeutetun lietteen viemä tilavuus (ml/l)
MLSS on lietepitoisuus (g/l).

SVI on kuitenkin melko epätarkka menetelmä arvioitaessa lietteen todellisia laskeutuvuus ja tiivistysominaisuuksia. Tämä johtuu siitä, että sen tulos on voimakkaasti riippuvainen alkuperäisestä lietekonsentraatiosta. Laskeutuvuuden arvioinnin tulisi kuitenkin olla riippumaton testatun lietteen liete-pitoisuudesta. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 263.) SVI indeksi määritetään tässä tutkimuksessa, koska se on hyvin yleisesti käytössä jätevedenpuhdistamoilla, mutta sen perusteella ei tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä vaan tarkemmin laskeutuvuutta arvioidaan DSVI:n perusteella.

DSVI perustuu havaintoon, että lietteen tilavuuden ollessa 30 minuutin laskeutuksen jälkeen alle 25 % alkuperäisestä tilavuudesta, on laskennallinen SVI arvo käytännössä vakio, eikä näin ollen enää riippuvainen alkuperäisestä lietekonsentraatiosta. (van Haandel ja van der Lubbe 2012, 263). Verrattuna SVI:in, DSVI kuvaa siis paremmin kiintoaineen ja nesteen toisistaan erottumisen tehokkuutta (Albertson 2005, 23).

DSVI:n määrittämisessä lietettä siis laimennetaan prosessista poistuvalla, puhdistetulla jätevedellä, kunnes 30 minuutin laskeutuksen jälkeen lietteen tilavuus on noin 200 ml/l. Laskeutus on aluksi hyvä suorittaa useammalla mittalasiilla samanaikaisesti. Jokaiseen mittalasiin tehdään eri laimennussuhteella valmistettavat testilietteet ja laskeutuksen jälkeen katsotaan, millä laimennussuhteella päästään lähimmäksi tavoitearvoa. DSVI –arvo (ml/g) voidaan laskea kaavasta 2.

$$DSVI = \frac{SV_{30}}{DF * MLSS'} \quad (2)$$

jossa SV_{30} on laimennetun, 30 minuuttia laskeutetun lietteen tilavuus (ml/l)
 DF on laimennuskerroin (0,1-0,9)
 MLSS on lietepitoisuus (g/l).

SVI:n ja DSVI:n laskennassa tarvitaan lietepitoisuus, joka määritetään sekä Pilot –laitoksesta, että pääprosessista. Laskeutuksen jälkeen mitta-astian pinnasta otetaan näytteet, joista määritetään mahdollisesti pintaan nousevan aineksen esiintyminen suodattamalla. Näitä pintanäytteitä otetaan sekä pääprosessin laskeutusastioista, että pilot –laitosten laskeutusastioista.

SVI ja DSVI määrittämisä varten tarvitaan seuraavat laitteet ja tarvikkeet:

- mittalaseja (1 l), 3 kpl
- lämpökaappi 105 ± 5 °C
- laboratoriovaaka, tarkkuus 0,1 mg
- imusuppilo, imupullo ja tyhjiöpumppu
- kuitusuodattimet (esim. Whatman GF/A, huokoskoko n 10 µm)

3.2 CST –testi

CST –menetelmässä (capillary suction time) mitataan lietteestä pois imeytyvän nesteen etenemistä huokoisessa suodatinpaperissa. Nesteen imeytyminen suodatinpaperiin tapahtuu näytteessä olevan ja suodatinpaperissa etenevän nesteen välille muodostuvan paine-eron vaikutuksesta, joka johtuu suodatinpaperin aiheuttamasta kapilaarisesta imuvoimasta. Varsinaisesti CST mittaa siis lietteen suodattavuutta, mutta sitä käytetään yleisesti lietteen kuivattavuuden arviointiin. Mikäli liete on helposti kuivattavaa, neste vapautuu siitä nopeasti ja tällöin CST –testin tulokset ovat pieniä. Vaikeasti kuivattavilla lietteillä tilanne on päinvastainen. (Nieminen 2009, 4.)

CST –testin heikkoutena on tuloksen riippuvuus testattavan lietteen kiintoainepitoisuudesta sekä käytettävän suodatinpaperin ja laitteen ominaisuuksista. Tulosten vertailu eri laitteilla ja eri lietteillä saatujen tulosten välillä on näin ollen kyseenalaista.

Tässä tutkimuksessa CST –testit suoritetaan aina rinnakkain sekä pilot-laitoksen, että pääprosessin lietteille. Jokaiselle lietteelle tehdään aina vähintään kolme rinnakkaista testiä, koska testin tulos

saattaa vaihdella jonkin verran myös toistettaessa testi samalla lietteellä. CST –testi suoritetaan standard methods standardin mukaisesti. CST –testin tulosten laskentaa varten tarvittava TS –arvo määritetään standardin SFS-EN 872 mukaan. TS –määrittystä varten sekä CST –testejä varten lietteistä otetaan näytteet ja TS –määrittys sekä CST –testit suoritetaan Savonian laboratoriossa.

CST –testiin tarvitaan seuraavat tarvikkeet ja laitteet:

- CST –testilaite
- kromatografipaperi, Part No. IFP-9054 tai Whatman No. 17 tai vastaava.

3.3 Kartiosuodatuskoe

Työssä tehtävä kartiosuodatuskoe perustuu erään laitetoimittajan käyttämään menetelmään ja sen avulla voidaan arvioida kuinka voimakkaasti vesi on sitoutuneena lietteeseen. Menetelmää käytetään lähinnä lietteen suodatettavuuden arviointiin, mutta tässä tutkimuksessa sen perusteella pyritään arvioimaan lietteen kuivattavuutta ja mahdollisesti vahvistamaan muista kuivattavuustesteistä saatuja tuloksia. Testin suoritustapa on kerrottu liitteessä 1. Liitteessä esitetyn suoritustavasta poiketen suodoksen määrä kirjataan ylös minuutin välein testin aikana, eikä ainoastaan testiajan (5 min.) loppuksi.

Kartiosuodatuskokeeseen tarvitaan seuraavat tarvikkeet:

- suppilo
- mittalasi (100 ml)
- Whatman 42 suodatinpaperi (d=150)

3.4 Painesuodatin

Painesuodatintestissä käytetään Lappeenrannan teknillisen yliopiston Labox 100 painesuodatinta. Painesuodatustestissä lietettä paineistetaan suodattimen läpi seuraamalla samanaikaisesti suodatuspainetta ja suodoksen määrää. Laite mittaa molempia seurattavia parametreja automaattisesti ja tallentaa tiedot sähköisenä. Mittaustietojen perusteella piirrettävien aikasarjojen perusteella voidaan arvioida, kuinka hyvin vesi vapautuu lietteestä missäkin paineessa. Tämän perusteella voidaan arvioida lietteen kuivattavuutta sekä suodatukseen perustuvan kuivauksen soveltuvuutta MBR –lietteelle. Painesuodatintesti suoritetaan sekä pääprosessin, että pilotin lietteille kahdella erillisellä suodatuspaineella. Suodatinkakuista otetaan näytteet, joista määritetään TS –pitoisuus Savonian laboratoriossa. Käytettävän painesuodattimen kuvaus on esitetty liitteessä 2.

4 TUTKIMUKSEN SUORITUS JA AIKATAULU

Lietteen testauksia tehdään viikoittain ja kaikki testit suoritetaan jokaisena testauspäivänä. Paikalla puhdistamoilla tehtävät kokeet ovat:

- SVI ja DSVI
- MLSS
- Laskeutusastian pinnasta määritettävä kiintoainepitoisuus
- sekä kartiosuodatuskoe.

Painesuodatinkoe tehdään Lappeenrannassa Lappeenrannan teknillisen yliopiston laboratoriossa sovittuina päivinä. Lietteen hehkutushäviön ja TS –arvon määrittäminen sekä CST -testit tehdään Savonian laboratoriossa. Painesuodatinkoetta, CST -testiä sekä hehkutushäviö ja TS –arvon määrittämistä varten tarvittavat lietenäytteet otetaan puhdistamoilta sekä pääprosessista, että pilot –laitoksista. Painesuodatuskokeen kakusta otetaan myös näytteet, joiden kuiva-ainepitoisuus määritetään Savonian laboratoriossa.

Alustavat kokeiden suorituspäivät ovat seuraavat:

- Viikko 44
 - Torstai 30.10, Parikkala
- Viikko 45
 - Torstai 6.11, Parikkala
 - Lauantai 8.11, Parikkala
- Viikko 46
 - Perjantai 31.10, Parikkala
- Viikot 45-47
 - Parikkala (päivät päätetään myöhemmin)

Lappeenrannan yliopiston painesuodatin testipäivät päätetään myöhemmin.

LÄHTEET

Albertson, Orris 2005. Activated sludge bioselector process: History, benefits, arrangement, design, experiences, troubleshooting, reseach needs. [Viitattu 2014-10-9.] Saatavissa:
<http://orrisealbertson.com/files/2012/05/BioselectorProcesses-May2005.pdf>

Nieminen, Jenni 2009. Mädättämölietteen kuivattavuuden määrittäminen CST (capillary suction time) – laitteella. Teknillinen korkeakoulu. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Vesitekniikan erikoistyö.

van Haandel, A.C. ja van der Lubbe, J.G.M. 2012. Handbook of biological wastewater treatment: Design and optimisation of activated sludge systems. 2. painos. Lontoo: IWA Publishing.

LIITE 1: KARTIOSUODATUSKOE

The filterability of the sludge indicates how well the sludge binds solids in the wastewater and thus how easily the clean water can flow through the membranes. The filterability also indicates the quality of the sludge. If the filterability is low the water flow through the membranes is also limited. If too much water is sucked through the membranes when filterability is low the membranes will get fouled faster than they should in normal use. A filterability test is described below. Use only Whatman 42 filter paper with diameter of 150 mm.

- 1 Fold the filter paper into 16 symmetrical sections as shown in the next figure.
- 2 Place the filter into the funnel and place the funnel with the filter paper to one of the gauge glasses.
- 3 Take a 50 ml sample of sludge from the MBRs and pour it carefully onto the filter in the funnel. Let the water filter through the paper with gravity.
- 4 After 5 minutes the amount of filtered water can be read from the gauge glass.

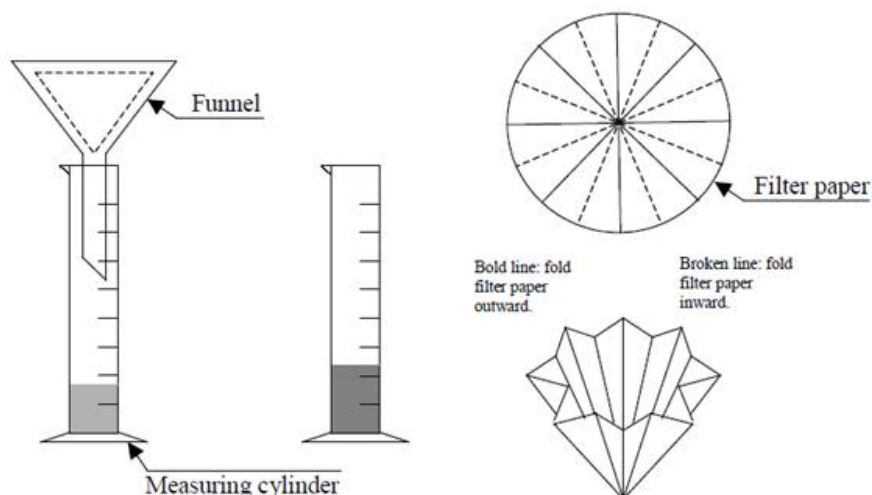


Figure 1. Equipments for the filterability test.

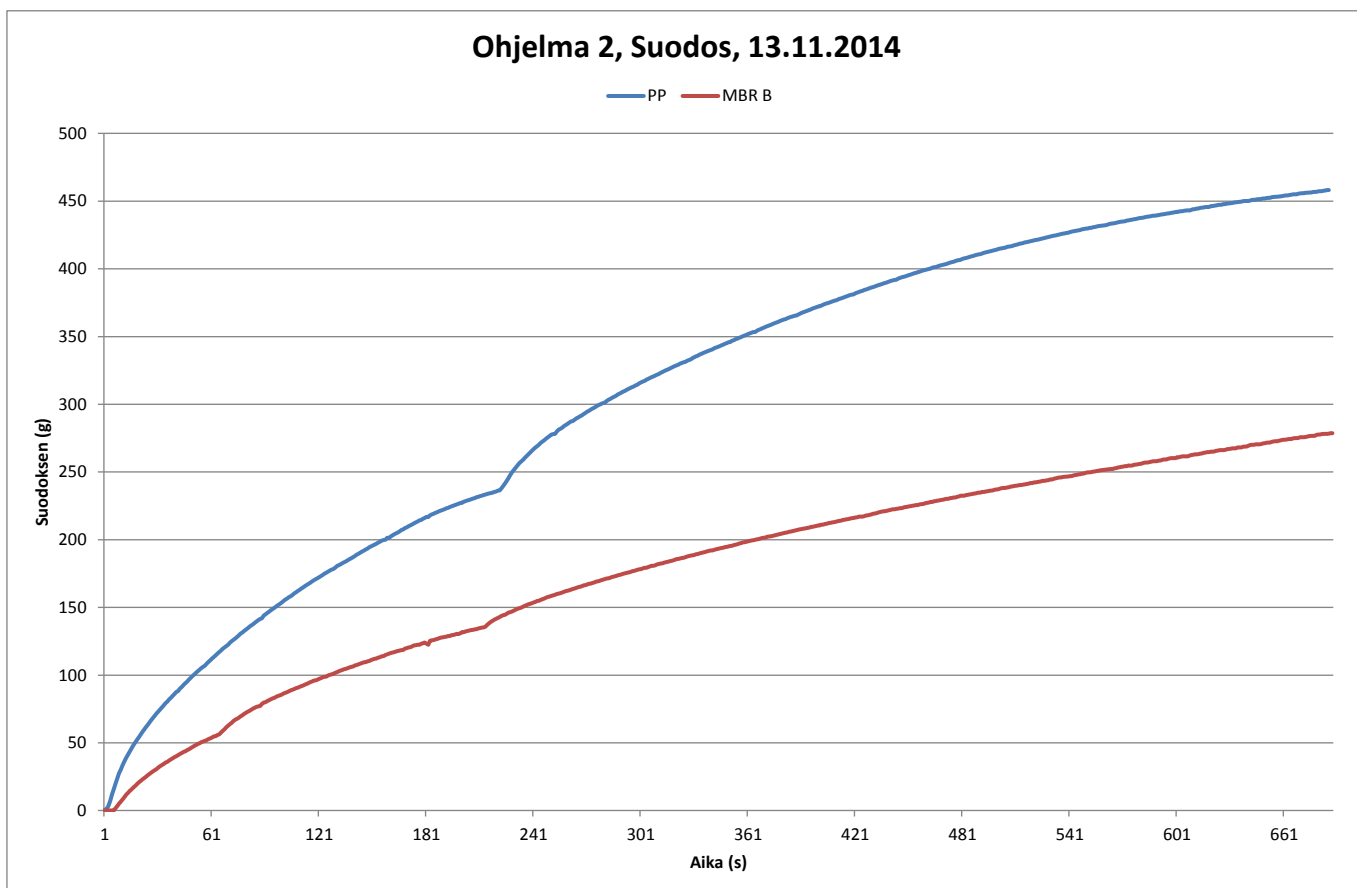
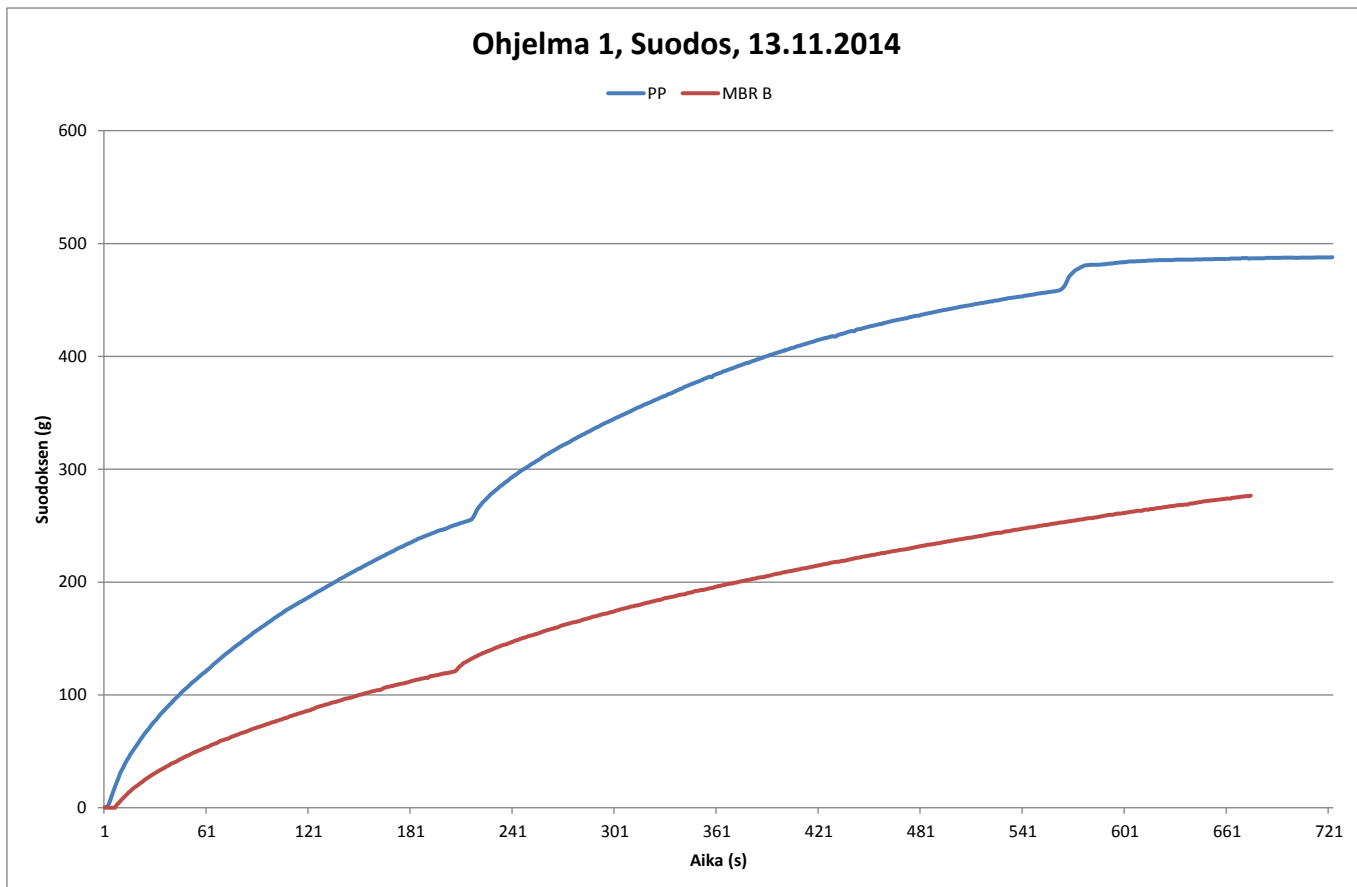
Filterability test results scale:

0 – 2 ml	Very poor filterability.
2 – 4 ml	Poor filterability.
4 – 6 ml	Average filterability.
6 – 8 ml	OK filterability.
8 – 10 ml	Good filterability.
< 10 ml	Excellent filterability

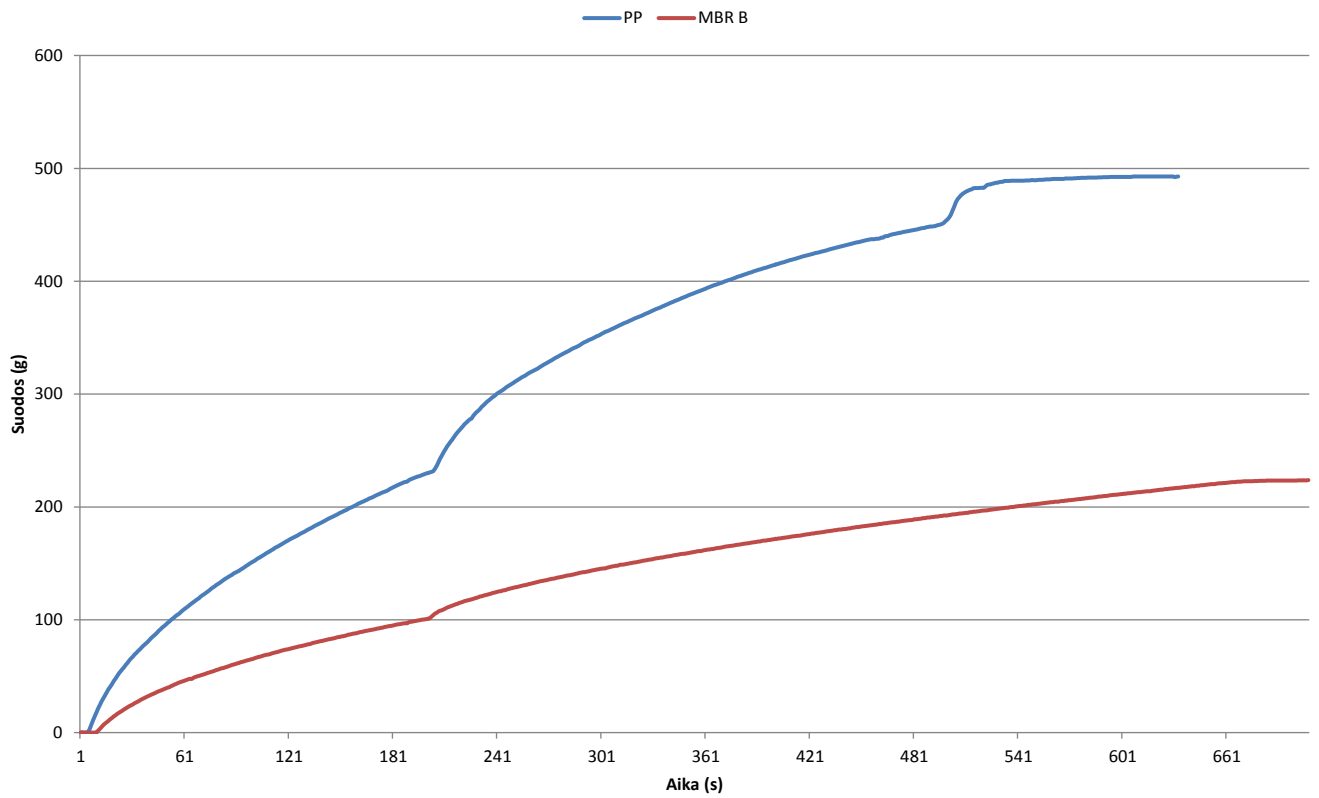
LIITE 4: MITTAUSPÖYTÄKIRJA, KUIVA- JA KIINTOAINEPITOISUUDET

MILSS PVM	MBR A				MBR B				PP								
	Suodatinpaperi /maija + suod.inpaperi	Suodatinpaperi + kiintoaine	Kiintoaine (g)	Lietepitoisuus (g/l)	Suodatinpaperi /maija + suod.inpaperi	Suodatinpaperi + kiintoaine	Kiintoaine (g)	Lietepitoisuus (g/l)	Suodatinpaperi /maija + suod.inpaperi	Suodatinpaperi + kiintoaine	Kiintoaine (g)	Lietepitoisuus (g/l)	Keskiarvo				
6.11.	0,124	0,164	0,040	8,0	0,123	0,170	0,047	9,5	0,123	0,269	0,146	5,8	5,8				
8.11.	48,876	48,953	0,076	7,6	47,767	44,583	0,084	0,0	41,186	41,485	0,299	6,0	5,8				
8.11.	42,902	42,984	0,082	8,2	44,499	45,835	0,070	8,4	45,712	45,855	0,143	5,7	5,9				
13.11.	42,934	43,057	0,122	8,2	45,765	41,286	0,068	7,0	50,854	50,994	0,140	5,6	5,6				
13.11.	48,924	49,008	0,084	8,4	41,218	41,218	0,069	6,8	44,557	44,660	0,103	4,1	5,6				
16.11.	0,855	0,932	0,078	7,8	0,849	0,918	0,069	6,9	0,853	1,000	0,147	5,9	5,8				
16.11.	0,854	0,931	0,077	7,7	0,854	0,925	0,071	7,1	0,854	0,999	0,144	5,8	5,8				
20.11.					0,852	0,925	0,036	7,2	0,854	0,995	0,141	5,7	5,7				
20.11.					0,852	0,888	0,036	7,4	0,854	0,995	0,141	5,7	5,7				
21.11.	0,855	0,929	0,074	7,4	0,852	0,889	0,038	7,6	0,854	0,996	0,142	5,7	5,7				
21.11.	0,854	0,892	0,038	7,6	0,850	0,882	0,033	6,5	0,854	0,998	0,144	5,8	5,8				
27.11.					0,856	0,974	0,036	7,2	0,856	1,001	0,145	5,8	5,8				
27.11.					0,854	0,935	0,082	8,2	0,854	0,986	0,132	5,3	5,3				
28.11.	0,853	0,936	0,083	8,3	0,854	0,929	0,080	8,0	0,852	0,986	0,134	5,4	5,3				
28.11.	0,855	0,937	0,082	8,2	0,855	0,934	0,079	7,9	0,854	0,997	0,144	5,7	5,8				
									0,856	1,001	0,145	5,8	5,8				
PVM	Näyte	Upokas nro	Upokas (g)	Näyte + upokas (g)	Näyte (k) + upokas (g)	Haittunut vesi (g)	Haittunut vesi (l)	Näyte (h) + upokas (g)	Näyte (g)	TS (g)	TS (g/l)	Keskiarvo TS (g/l)	VS (g)	VS (g/l)	Keskiarvo VS (g/l)	VS/TS	Keskiarvo VS/TS
30.10.	MBR A 1	19	36,269	68,731	36,600	32,132	0,032	36,350	32,462	0,330	10,283	10,42	0,249	7,752	7,88	0,754	0,76
30.10.	MBR A 2	13	28,894	62,908	29,244	33,664	0,034	28,980	34,014	0,350	10,388		0,264	7,839	7,88	0,754	
30.10.	MBR A 3	25	30,011	62,405	30,351	32,054	0,032	30,093	32,394	0,340	10,591		0,258	8,049	7,88	0,755	
30.10.	MBR B 1	6	30,845	64,745	31,222	33,523	0,034	30,964	33,900	0,377	11,249		0,258	7,693	7,61	0,684	
30.10.	MBR B 2	7	30,242	62,372	30,596	31,776	0,032	30,356	32,130	0,354	11,125	11,20	0,240	7,540	7,61	0,678	0,68
30.10.	MBR B 3	3	38,293	73,003	38,679	34,324	0,034	38,418	34,709	0,385	11,228		0,261	7,607	7,61	0,677	
30.10.	PP 1	4	31,079	62,565	31,271	31,294	0,031	31,146	31,487	0,193	6,155		0,126	4,017	3,96	0,653	
30.10.	PP 2	21	37,836	74,777	38,057	36,719	0,037	37,912	36,941	0,221	6,030	6,05	0,145	3,962	3,96	0,657	0,66
30.10.	PP 3	1	36,758	70,445	36,958	33,487	0,033	36,827	33,687	0,200	5,958		0,131	3,906	3,96	0,656	
8.11.	MBR A 1	9	28,611	57,661	28,900	28,761	0,029	28,679	29,051	0,289	10,059	9,95	0,221	7,691	7,59	0,765	0,76
8.11.	MBR A 2	17	30,577	63,109	30,894	32,216	0,032	30,653	32,533	0,317	9,846	10,40	0,241	7,484	6,89	0,760	
8.11.	MBR B 1	20	30,363	62,861	30,696	32,165	0,032	30,477	32,498	0,333	10,347		0,219	6,821	6,89	0,659	
8.11.	MBR B 2	8	28,888	57,348	29,183	28,166	0,028	28,987	28,460	0,294	10,449		0,196	6,959	6,89	0,666	0,66
8.11.	PP 1	25	30,009	60,0197	30,2091	29,8106	0,029	30,077	30,011	0,201	6,729	6,60	0,132	4,431	4,33	0,659	
8.11.	PP 2	14	29,905	57,927	30,085	27,842	0,028	29,967	28,022	0,180	6,469		0,118	4,224	4,33	0,653	0,66

LIITE 5: PAINESSUODATINTESTIEN KUVAAJAT



Ohjelma 1, Suodos, 27.11.2014



Ohjelma 2, Suodos, 27.11.2014

