



OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY of OULU

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

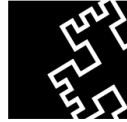
**NANOSELLULOOSAT TEOLLISEN  
AKTIIVILIETTEEN LASKEUTUMISEN APUNA**

Juha Sahi

PROESSTEKNIikka

Kandidaatintyö 511

Elokuu 2015



OULUN YLIOPISTO  
UNIVERSITY of OULU

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**NANOSELLULOOSAT TEOLLISEN  
AKTIIVILIETTEEN LASKEUTUMISEN APUNA**

Juha Sahi

Ohjaaja: Terhi Suopajarvi

PROSESSITEKNIikka

Kandidaatintyö 511

Elokuu 2015

# TIIVISTELMÄ

## OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma (kandidaatintyö, diplomityö) Prosessitekniikan koulutusohjelma		Pääaineopinnojen ala (lisensiaatintyö)	
Tekijä Sahi, Juha		Työn ohjaaja yliopistolla Suopajarvi T, TKT	
Työn nimi Nanoselluloosat teollisen aktiivilietteen laskeutuksen apuna.			
Opintosuunta Kuitu- ja partikkelitekniikka	Työn laji Kandidaatintyö	Aika Elokuu 2015	Sivumäärä 24
<p>Tiivistelmä</p> <p>Aktiivilieteprosessi on yleisesti käytössä oleva vedenpuhdistusprosessi, jossa lietteen bakteerit ja pieneliöt hajottavat jäteveden orgaanista ainesta. Bakteerien ja pieneliöiden toiminta alkaa ilmastusaltaassa, jossa veteen lisätään niiden tarvitsemää happea. Puhdistunut vesi erotetaan lietteestä selkeytysaltaassa, jota ennen veteen lisätään flokkulanttia, joka yhdistää lietteen epäpuhtaudet saaden ne laskeutumaan altaan pohjalle. Osa lietteestä palautetaan takaisin kiertoon ilmastusaltaaseen, jotta mikrobien määrä olisi riittävä, ja osa poistetaan jatkokäsittelyyn, jotta lietteen määrä pysyy vakiona. Puhdistettu vesi johdetaan vesistöihin. Aktiivilieteprosessin ongelma on haastava vedenpoisto, eli veden erottaminen aktiivilietteestä on vaikeaa.</p> <p>Flokkulanteina käytetään öljypohjaisia synteettisiä polymeerejä. Öljypohjaisten flokkulanttien käyttö vedenpuhdistuksessa ei ole kestävä kehityksen mukaista toimintaa, vaan toivottavaa olisi käyttää uusiutuvista luonnonmateriaaleista valmistettuja flokkulanteja, kuten nanoselluloosaa. Ympäristöystävällisesti valmistetut nanoselluloosapohjaiset materiaalit ovat myös öljypohjaisia materiaaleja tehokkaampia ja halvempia valmistaa.</p> <p>Työn tavoitteena oli tutkia, voidaanko nanoselluloosa flokkulanteilla korvata kationisen öljypohjaisen flokkulantin käyttöä biolietteiden vedenpoistossa. Tutkimus suoritettiin SVI kokeilla vertaamalla nanoselluloosan vaikutusta lietteen laskeutumiseen ferrillä ja kaupallisella referenssipolymeerillä saatuihin tuloksiin sekä LumiFuge laitteistolla, jolla selvitettiin lietteen valonläpäisykykyä ja paisuntaa sekä lietekakkujen korkeuksia. Tutkittava liete haettiin Stora Enson Oulun tehtaalta.</p> <p>Tuloksista nähtiin, että liete laskeutui hyvin vain referenssipolymeerillä. Nanoselluloosaa käyttämällä ei päästy lähelle polymeerillä saatuihin tuloksiin.</p>			
Muita tietoja			

# SISÄLLYSLUETTELO

## TIIVISTELMÄ

## SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto .....	4
2 Kirjallisuuskatsaus .....	6
2.1 Sellu- ja paperitehtaan vesienkäsittely .....	6
2.2 Nanofibrilliselluloosa .....	7
2.3 Nanoselluloosa flokkulanttina.....	8
3 Tutkimuksen suorittaminen.....	10
3.1 Käytetyt materiaalit .....	10
3.1.1 Flokkulantit ja koagulantti .....	10
3.1.2 Aktiivilietteet .....	11
3.2 Lietetilavuuden (SVI) mittaaminen.....	11
3.3 LumiFuge mittaukset .....	12
4 Tulosten tarkastelu .....	14
4.1 SVI mittaukset.....	14
4.2 LumiFuge mittaukset .....	15
5 Johtopäätökset ja suositukset .....	21
6 Yhteenveto .....	22
7 Lähdeluettelo.....	23

# 1 JOHDANTO

Aktiivilieteprosessin avulla teollisista tai kunnallisista jätevesistä poistetaan epäpuhtauksia. Aluksi saostuskemikaalilla, kuten ferrosulfaatilla, saostettu jätevesi johdetaan esiselkeytysaltaaseen, josta pohjalle laskeutuneet epäpuhtaudet pumpataan lietteen käsittelyyn. Jätevesi johdetaan seuraavaksi ilmastusaltaaseen, jossa veteen sekoittuu bakteereja ja pieneliöitä sisältävää aktiivilietettä. Ilmastusaltaassa veteen lisätään bakteerien ja pieneliöiden lisääntymiseen tarvitsemää happea. Bakteerit ja pieneliöt hajottavat vesien sisältämää orgaanista ainesta ravinnokseen, jonka vuoksi aktiivilieteprosessi toimiakseen tarvitsee jatkuvasti uutta jätevettä puhdistettavakseen. Ilmastusaltaalta vedet ohjataan selkeytysaltaalle, ja vesiin lisätään koagulanttia tai flokkulanttia, jolloin pienet epäpuhtaudet yhdistyvät isommiksi kokonaisuuksiksi, jolloin ne erottuvat vedestä painamalla selkeytysaltaan pohjalle ja vesi voidaan johtaa vesistöihin.

Jätevedet sisältävät heikosti laskeutuvia partikkeleja, jonka vuoksi vesiin lisätään saostuskemikaaleja eli flokkulantteja ja koagulantteja. Flokkulantit ovat erilaisia polymeerejä, jotka muodostavat yksittäisten partikkelien kanssa verkostoja, jolloin isot kokonaisuudet laskeutuvat helpommin selkeytysaltaan pohjalle. Koagulantit ovat yleensä rauta- tai alumiinipohjaisia sulfaatteja, jotka neutraloivat partikkelien välisiä varauksia, jolloin ne pääsevät kosketuksiin toistensa kanssa. Sekoitettaessa vettä, takertuvat partikkelit toisiinsa, jolloin muodostuu suurempia kokonaisuuksia, jotka erottuvat helpommin selkeytysaltaan pohjalle.

Vesien puhdistuksessa käytetyt flokkulantit ovat yleensä öljypohjaisia polymeerejä. Öljypohjaisten materiaalien korvaaminen uusiutuviista luonnonvaroista valmistetuilla materiaaleilla on ympäristöystävällistä ja kestävän kehityksen mukaista toimintaa. Nanoselluloosan raaka-aine, puusta ja kasveista saatava selluloosa, ei lopu eikä raaka-ainetuotanto kilpaile ruoantuotannon kanssa. Nanoselluloosamateriaalien ominaisuudet, kuten lujuus, suuri ominaispinta-ala ja kalvojen muodostuskyky, antavat mahdollisuuden moniin potentiaalisiin sovelluksiin, kuten käytettäväksi rakennusmateriaaleissa, päällysteissä ja pinnoitteissa sekä paperiteollisuudessa paperin ja kartongin

valmistuksessa. Myös teollisen aktiivilietteen laskeutumisen apuna nanoselluloosan odotetaan toimivan.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia, voidaanko nanoselluloosa flokkulanteilla korvata kationisen öljypohjaisen flokkulantin käyttöä biolietteiden vedenpoistossa. Tutkimus suoritettiin SVI kokeilla sekä LumiFuge laitteistolla.

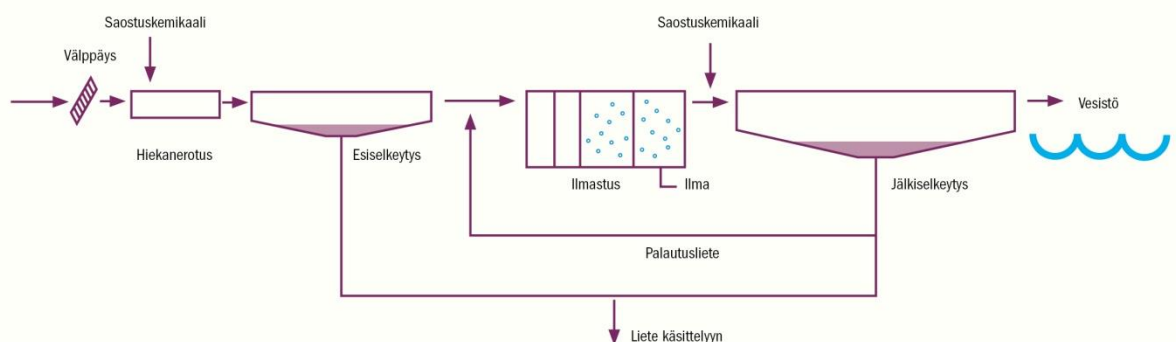
## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 Sellu- ja paperitehtaan vesienkäsittely

Sellu- ja paperitehtaalla vettä käytetään kaikissa päävaiheissa, kuten pesuissa, keitoissa ja seulonnoissa ja paperikoneissa. Jätevedet sisältävät prosessissa käytettyjä kemikaaleja ja puuta alkuperäisessä tai muuttuneessa muodossa (ligniini, tärkkelys, alkoholi). (Pajari 2014)

Vedet käsitellään aktiivilietemenetelmällä, jossa bakteerit ja pieneliöt hajottavat jäteveden sisältämää orgaanista ainetta. Aluksi vedet johdetaan esiselkeytysaltaaseen ja saostuskemikaalia, kuten polymeeriä, lisäämällä saadaan pienet epäpuhtaudet yhdistettyä suuremmiksi, jolloin ne vettä raskaampina painuvat altaan pohjalle, josta ne pumpataan lietteen käsittelyyn. Tämän jälkeen vedet johdetaan ilmastusaltaalle, jossa bakteerit ja pieneliöt hajottavat liuenneita epäpuhtauksia. Ilmastusaltaaseen syötetään happea, jota bakteerit ja pieneliöt tarvitsevat elääkseen ja lisääntyäkseen. Seuraavaksi vedet johdetaan selkeytysaltaaseen ja vesiin lisätään myös saostuskemikaalia. Selkeytysaltaassa aktiiviliete laskeutuu altaan pohjalle, joista osa palautetaan takaisin kiertoon ilmastuksen kautta ja osa pumpataan jatkokäsittelyyn ja puhdistetut vedet johdetaan vesistöihin. (Kinnunen 2013) Kuvassa 1 on esitetty aktiivilieteprosessin periaatekuva.

Aktiivilieteprosessin kaaviokuva



Kuva 1. Aktiivilieteprosessi (Vesilaitosyhdistys 2015).

Aktiiviliete koostuu erilaisista mikro-organismeista, kuten bakteereista ja pieneliöistä. Kun mikro-organismit yhdistyvät toistensa kanssa muodostaen isompia flokkeja, syntyy

lietettä. Tärkeimmät tästä lietteestä mitattavat parametrit ovat lietekuorma ja lieteikä. Lietekuormalla tarkoitetaan tulevien jätevesien orgaanisen aineksen määrää suhteessa aktiivilietemäärään eli ravinnon suhdetta bakteereihin. Lieteikä on aika, jonka aktiiviliete kiertää keskimäärin prosessissa. Kuormituksen ollessa normaali, lieteikä on yleensä 5–10 vuorokautta ja sitä säädetään lietteen poistoa lisäämällä tai vähentämällä. (Kinnunen 2013)

Flokkauskemikaaleina käytetään yleensä koagulantteja, kuten rautapohjaisia sulfaatteja ja klorideja, tai flokkulantteja, kuten anionisia tai kationisia polymeerejä. Koagulantit neutraloivat yksittäisten partikkelien välisiä varauksia, jolloin partikkelit pääsevät lähentymään toisiaan ja törmäillessään muodostavat suurempia partikkelikokonaisuuksia. Flokkulantit kiinnittyvät yksittäisiin partikkeleihin eri kohdistaan, jolloin muodostuu harvarakenteisia verkostoja. Käytettävät koagulantit ja flokkulantit ovat kalliita, jolloin vedenpuhdistuksen käyttökustannukset kasvavat. Öljypohjaisten materiaalin korvaaminen uusiutuvista luonnonvaroista valmistetuilla materiaaleilla on kestävä kehityksen mukaista toimintaa ja ympäristöystävällisempää. (Johansson 2013)

Aktiivilieteprosessien yksi yleinen ongelma on rihmamaisten bakteerien liiallisesta kasvusta johtuva lietteen heikko laskeutuminen. Rihmamaiset bakteerit estävät lieteflokkeja pääsemästä lähelle toisiaan, jolloin liete jää vetiseksi eikä tiivisty jälkiselkeyttimessä kunnolla. Tätä ilmiötä kutsutaan Bulking -ilmiöksi. Ilmiön kaltaisia ongelmia voivat aiheuttaa esimerkiksi puhdistusprosessin väärä ajotapa tai vääränlaiset bakteerit. (Kinnunen 2013)

## **2.2 Nanofibrilliselluloosa**

Selluloosa on kasvien ja puiden soluseinämien rakennusaine ja siitä valmistetaan esimerkiksi paperia. Paperituotteissa selluloosakuitujen pituudet ovat millimetrien mittaisia. Nanofibrilliselluloosaa valmistetaan pilkkomalla selluloosakuituja pienemmäksi mekaanisesti esimerkiksi fluidisaattorissa, jolloin fibrillien leveys on yleensä alle 50 nanometriä ja pituus useita mikrometrejä. Nanofibrillit liittyvät helposti yhteen suuremmiksi kasaumiksi, sillä kuitujen pinnalla on vapaita hydroksyyliiryhmiä, jotka muodostavat vetysidoksia. Pinnan varaus voi muuttua, jos mekaanisen käsittelyn lisäksi kuitujen fibrilloitumisen helpottamiseksi käytetään kemiallista käsittelyä.

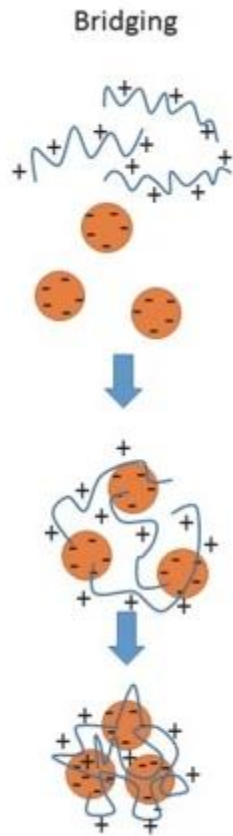


Vapaiden hydroksyyliyhmiensä vuoksi selluloosa on hydrofiilinen eli vettä suosiva materiaali. (Kangas, 2014)

Nanoselluloosa on ominaisuuksiltaan ainutlaatuinen materiaali. Se on ympäristöystävällinen luonnonmateriaali ja biohajoava sekä siten myös yhteensopiva biologisten materiaalien kanssa. Lujana ja jäykkänä materiaalina sitä voidaan käyttää rakennusmateriaaleissa ja pakkausmateriaaleissa. Kalvoja muodostavana ja suuren ominaispinta-alan omaavana sekä vettä imevänä, pidättävänä ja vettä hallitusti luovuttavana aineena se soveltuu hyvin erilaisiin päällysteisiin ja pinnoitteisiin sekä siitä voidaan tehdä ohuita kalvoja moniin eri käyttötarkoituksiin, kuten elektronisiin näyttöihin. Myös lääke-, kosmetiikka- ja elintarviketeollisuudessa nanoselluloosaa voidaan käyttää paksuntajana, koostumuksen säätäjänä, lämpötilankeston parantajana sekä stabilointiaineena. (Kangas, 2014)

### **2.3 Nanoselluloosa flokkulanttina**

Jätevesienpuhdistuksessa nanoselluloosa on uusi kokeilu, eikä siitä ole vielä paljoa tutkimustietoa. Laboratorio-kokoluokan tutkimuksissa on havaittu, että nanoselluloosapohjaiset materiaalit voivat tulevaisuudessa olla kilpailukykyisiä vaihtoehtoja nykyisille synteettisille materiaaleille toimintatehokkaampien ominaisuuksiensa ja ympäristöystävällisen valmistuksensa vuoksi. Jätevedenpuhdistuksessa nanoselluloosan suuri aktiivinen pinta-ala edesauttaa puhdistusprosessia. (Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2014) Yhden mahdollisen mallin mukaan positiivisesti varautunut kationinen nanofibrilliselluloosa muodostaa siltoja useamman kuin yhden epäpuhtauspartikkelin kanssa yhdistäen partikkelit suuremmiksi kokonaisuuksiksi (Suopajarvi, 2015). Kuvassa 2 on esitetty mahdollinen toimintaperiaate flokkulointimekanismille.



Kuva 2. Nanoselluloosan flokkulointimekanismi (Suopajärvi, 2015).

## 3 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

### 3.1 Käytetyt materiaalit

#### 3.1.1 Flokkulantit ja koagulantti

Kationiset nanoselluloosaflokkulantit (CNFC 1 ja CNFC 2) valmistettiin deionisoituun veteen hajotetuista valkaistuista koivuselluarkeista. Selluloosasta valmistettiin dialdehydi–selluloosaa (DAC) perjodaattihapetuksella kahdella eri aldehydipitoisuudella.

DAC 1 (aldehydipitoisuus 1,68 mmol/g): Punnittiin dekanterilasiin 6 g abs. sellua ja lisättiin ionivaihdettua vettä niin, että kokonaisvesimääräksi tuli 600 ml. Peitettiin astia alumiinifoliolla, lisättiin näytteeseen 4,92 g natriumperjodaattia ( $\text{NaIO}_4$ ) ja sekoitettiin näytettä kolmen tunnin ajan 55 °C lämpötilassa.

DAC 2 (aldehydipitoisuus 2,84 mmol/g): Valmistettiin kuten DAC 1 lämpötilan ollessa 75 °C.

Sekoituksen jälkeen näytteet suodatettiin suodatinpaperille ja pestiin suodatettua massaa kaatamalla massakakun läpi noin litra ionivaihdettua vettä. Lopuksi suodatettu massa punnittiin ja pienestä näytteestä määritettiin kuiva-aine pitoisuus pika-analysaattorilla.

Dialdehydiselluloosista valmistettiin kationiset nanoselluloosat (CNFC) reaktiolla aminoguanidiinin kanssa.

CNFC 1: Punnittiin dekanterilasiin 7,44 g aminoguanidiinia ( $\text{CH}_6\text{N}_4$ ) ja 200 ml ionivaihdettua vettä. Säädettiin pH 4,5:een 0,1 M NaOH -liuoksella. Lisättiin näytteeseen 4 g abs. DAC 1:a (12,93 g) ja lisättiin vettä, kunnes liuoksen tilavuus oli 400 ml ja peitettiin dekanterilasi parafilmillä ja annettiin reagoida 72 tuntia.

CNFC 2: Valmistettiin kuten CNFC 1, mutta käytettiin DAC 2:a 4 g abs. (20,22 g) ja 12,56 g aminoguanidiinia ( $\text{CH}_6\text{N}_4$ ).

Aminoguanidiinireaktion jälkeen näytteet suodatettiin suodatinpaperille ja pestiin suodatetut massat kaatamalla massakakun läpi noin 3 litraa ionivaihdettua vettä alipaineen avulla. Punnittiin suodatetut massat ja otettiin massoista pienet näytteet (noin 0,5 g), joista määritettiin kuiva-ainepitoisuudet pika-analysointilaitteilla.

Fibrillointi: Säädettiin CNFC 1 kuiva-ainepitoisuus 1 %:iin lisäämällä vettä. Sekoitettiin näytettä Ultra Turrax:lla ja fibrilloitiin näytteet MicroFluidizer Processor M 110 EH laitteistolla 2000 bar paineessa käyttäen 200 µm ja 87 µm kammioita. Saaduista nanoselluloosista otettiin pieni näyte (noin 1,5 g) kuppiin kuiva-ainemääritystä varten ja laitettiin kuppi uuniin (105 °C).

Tutkimuksessa käytettiin myös kaupallista referenssipolymeeriä flokkulanttina ja ferrosulfaattia koagulanttina.

### 3.1.2 Aktiivilietteet

Flokkaustutkimus suoritettiin Stora Enson Oulun tehtaan aktiivilietteillä, joiden ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Lieteparametrit.

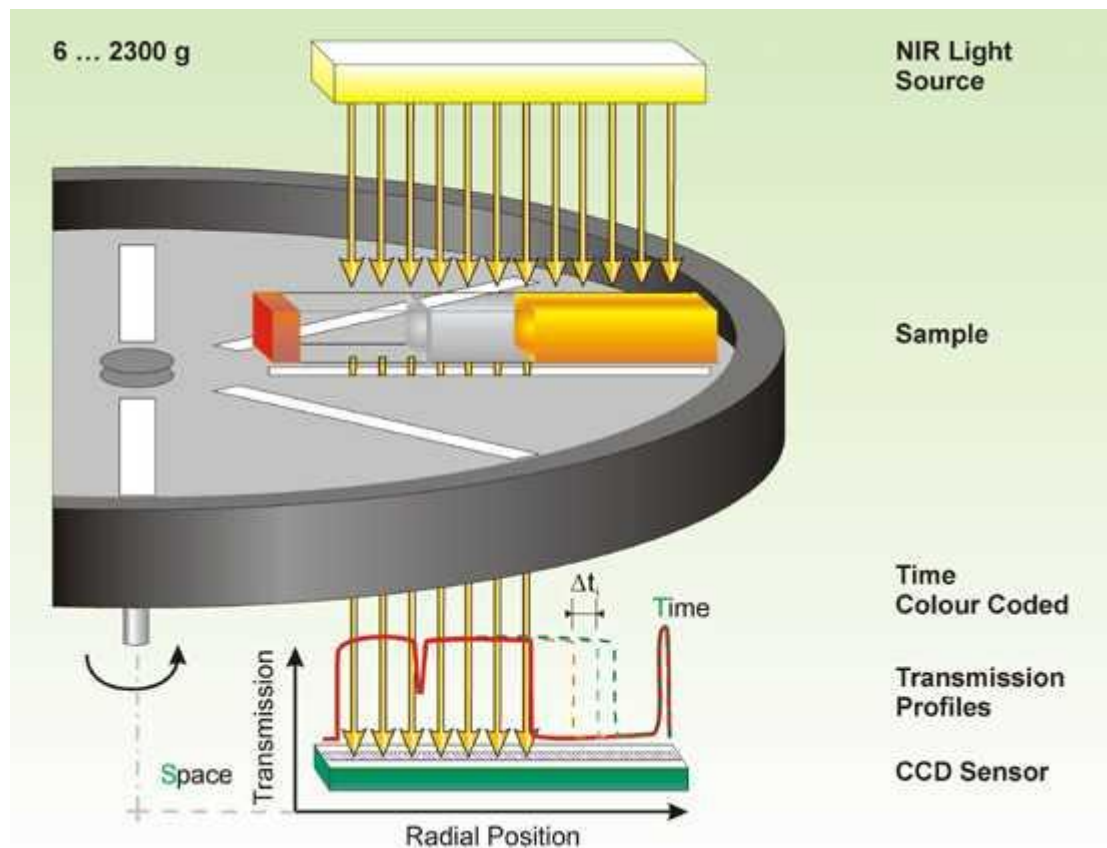
	pH	Johtokyky [mS/cm]	Kiintoaine (TSS) [mg/l]	Kokonaiskiintoaine (TS) [mg/l]
Liete 1	7,51	2,33	5225	6818
Liete 2	7,55	2,31	5199	6673

### 3.2 Lietetilavuuden (SVI) mittaaminen

Lietetilavuus (SVI) mitattiin lisäämällä litran mittalasiin 1 litra lietettä, johon oli sekoitettu minuutin ajan (500 rpm) vettä ja eri määriä polymeeriliuoksia, nanosellua tai koagulanttia. Veden lisäys tehtiin, jotta lietteen kiintoaineen määrä pysyisi vakiona. Koagulanttina käytettiin ferrosulfaattia. Lietteen annettiin laskeutua 30 minuuttia ja mitattiin, kuinka paljon lietteen kiintoaineet laskeutuivat (SVI).

### 3.3 LumiFuge mittaukset

LumiFuge on sentrifugi, joka erottaa nesteestä kiintoaineet keskipakoisvoiman avulla. Tutkittavaa näytettä lisätään pieni määrä kyvetteihin, jotka asetellaan LumiFugen sisään ympyränmuotoon suuaukko keskikohtaan päin. Näytteitä pyöritetään käyttäjän tietokoneohjelmaan asettamalla kierrosnopeudella ja lämpötilassa, jolloin kiintoaineet painuvat kyvettien pohjalle. Kyvetit valaistetaan lähi-infrapunavalolla ja tietokoneohjelma piirtää jokaiselle näytteelle kuvaajan valon läpäisyn mukaan. Kuvaajista nähdään esimerkiksi näytteen sameus tietyllä ajanhetkellä, kakun eli kyvetin pohjalle laskeutuneen kiintoaineen korkeus ja laskeutumisnopeus. (LUMiFuge 2015). Kuvassa 3 on esitetty LumiFugen toimintaperiaate. Näytekyvetit asetetaan horisontaalisesti roottorilla oleville näytepaikoille. Roottorin yläpuolella on NIR valonlähde ja roottorin alapuolella oleva CCD sensori mittaa näytteen valaisseen valon määrää 10 s välein. Valonläpäisyn mukaan näytteille piirretty laskeutumisprofiilit, joista nähdään valonläpäisyprosentit ja laskeutumisnopeudet sekä voidaan laskea paisuntaprosentit.



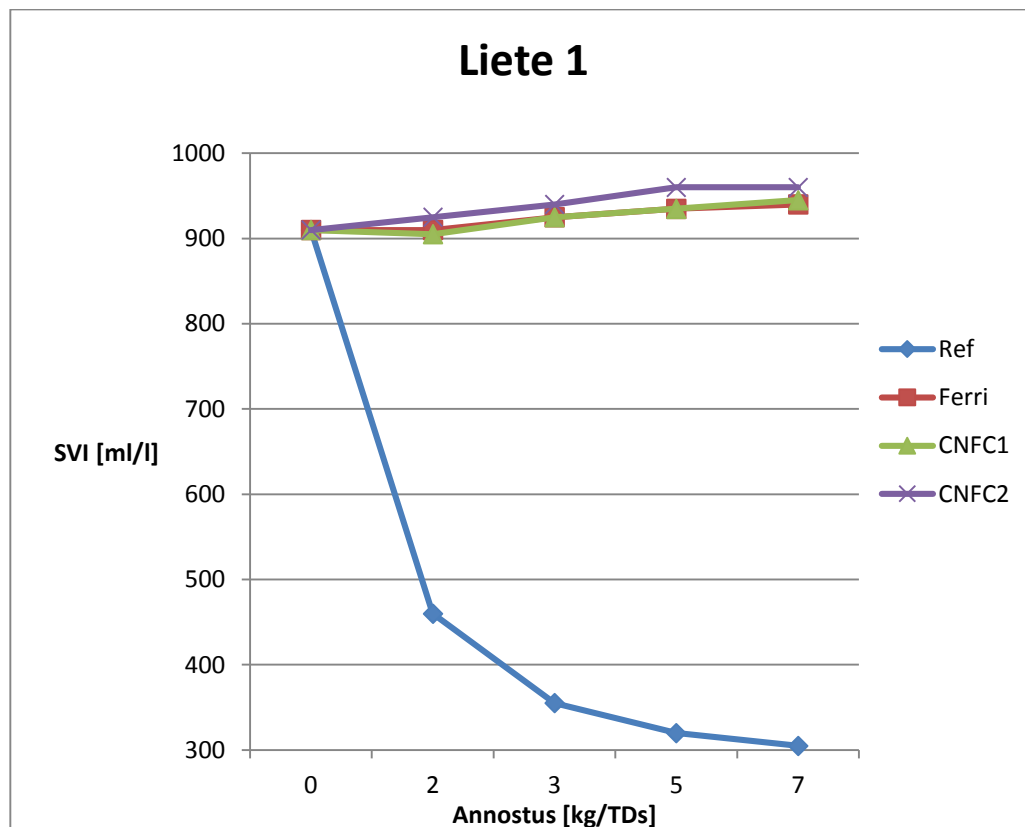
Kuva 3. LumiFugen toimintaperiaate (PS Prozesstechnik GmbH, 2015).

Tässä työssä LumiFuge ohjelmoitiin pyörimään aluksi 3000 rpm, jonka jälkeen nopeus laskettiin 400 rpm. Ohjelman piirtämistä kuvaajista nähtiin kyvetin pohjan sijainti, kakun korkeus suurella kierrosnopeudella (3000 rpm) ja kakun korkeus pienemmällä kierrosnopeudella (400 rpm) eli paisunnan jälkeen. Lisäksi katsottiin valonläpäisykyky tietyllä ajanhetkellä.

## 4 TULOSEN TARKASTELU

### 4.1 SVI mittaukset

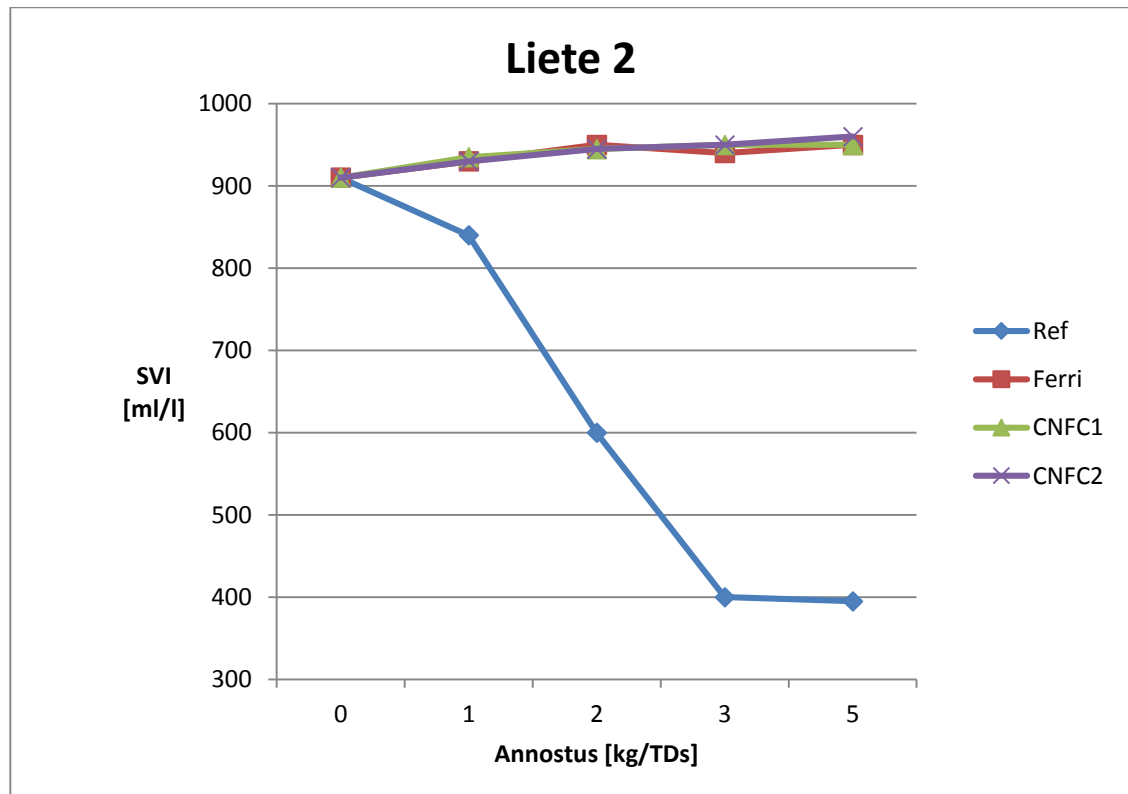
Kuvassa 4 on esitetty lietteen 1 lietetilavuudet annostuksen suhteen. Kuvaajasta nähdään, että annostuksen lisääntyessä SVI pienenee vain referenssipolymeeriä käytettäessä. Annostuksen ollessa 2 kg/TDs pienenee SVI noin puoleen verrattuna nolla-annostukseen. SVI pienenee vielä 3 kg/TDs annostuksella noin 100 ml/l, mutta 5 kg/TDs ja 7 kg/TDs annostuksilla SVI:n pieneneminen on vähäistä, alle 20 ml/l. Ferrosulfaattia ja nanoselluja käytettäessä SVI pysyy lähes samana tai kasvaa hieman annostuksen lisääntyessä verrattuna nolla-annostukseen.



Kuva 4. Liette 1 SVI mittaukset.

Kuvassa 5 on esitetty lietteen 2 lietetilavuudet annostuksen suhteen. Kuten lietteellä 1, myös lietteellä 2 vain referenssipolymeeriä käytettäessä SVI pienenee. Annostuksella 1 kg/TDs SVI pienenee noin 50 ml/l verrattuna nolla-annostukseen ja annostuksilla 2 kg/TDs ja 3 kg/TDs SVI pienenee molemmilla noin 200 ml/l. 5 kg/TDs annostus ei

merkittävästi vaikuta SVI:n suuruuteen. Ferrosulfaattia ja nanoselluja käytettäessä SVI kasvaa hieman annostuksen lisääntyessä, noin 20–50 ml/l.



Kuva 5. Lietteen 2 SVI mittaukset.

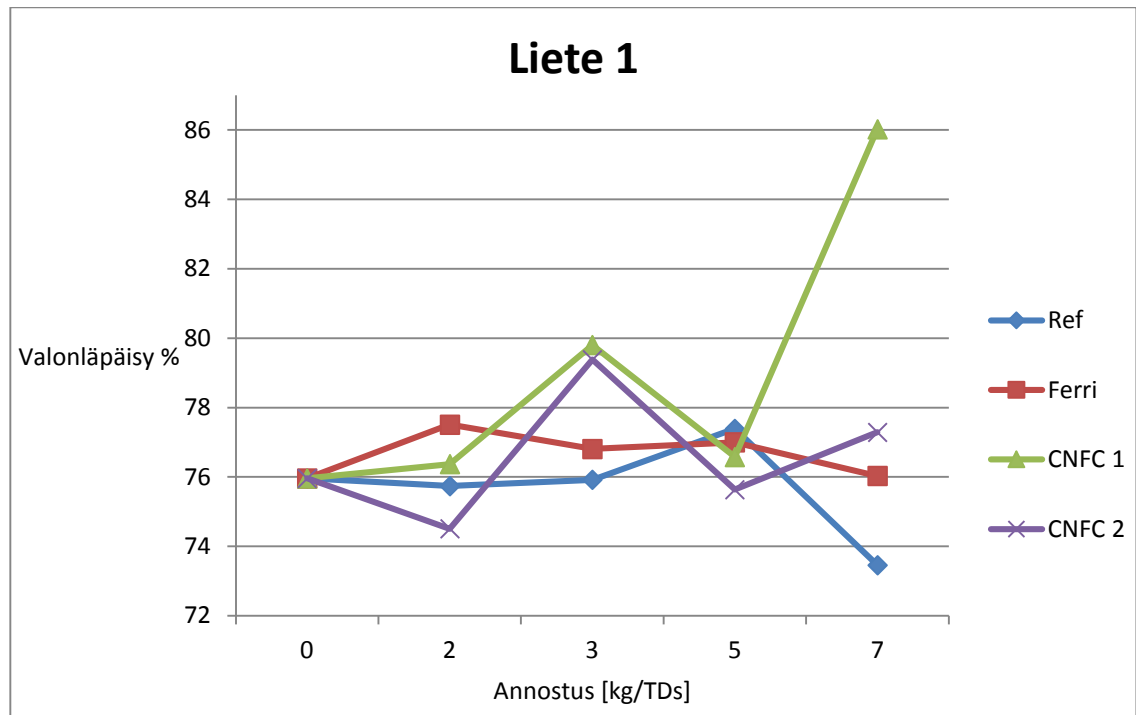
## 4.2 LumiFuge mittaukset

Kuvissa 6 ja 7 on esitetty molempien lietteiden valonläpäisevyyden prosenttiosuudet (Valonläpäisy %) annostuksen funktiona, eli kuinka paljon valoa meni näytteen läpi. Valonläpäisevyyden arvot on otettu ajanhetkellä 200 sekuntia. Mitä suurempi valonläpäisy % on, sitä paremmin näyte on laskeutunut.

Kuvasta 6 havaitaan, että lietteellä 1 nolla-annostuksella valonläpäisy on noin 76 % ja annostusten kasvaessa valonläpäisyprosentit vaihtelevat 76 %:n ylä- ja alapuolella. Referenssipolymeerillä valonläpäisy pysyy lähellä 76 % annostuksen lisääntyessä, mutta annostuksella 7 kg/TDs valonläpäisy laskee lähelle 73 %. Myös ferrosulfaattia käytettäessä valonläpäisy vaihtelee vain vähän eri annostuksilla välillä 76–77,5 %. Nanoselluilla valonläpäisy vaihtelee suuremmin eri annostuksilla. Käytettäessä CNFC 1:ä valonläpäisy on noin 76 % annostuksilla 0, 2 ja 5 kg/TDs, mutta annostuksella 3

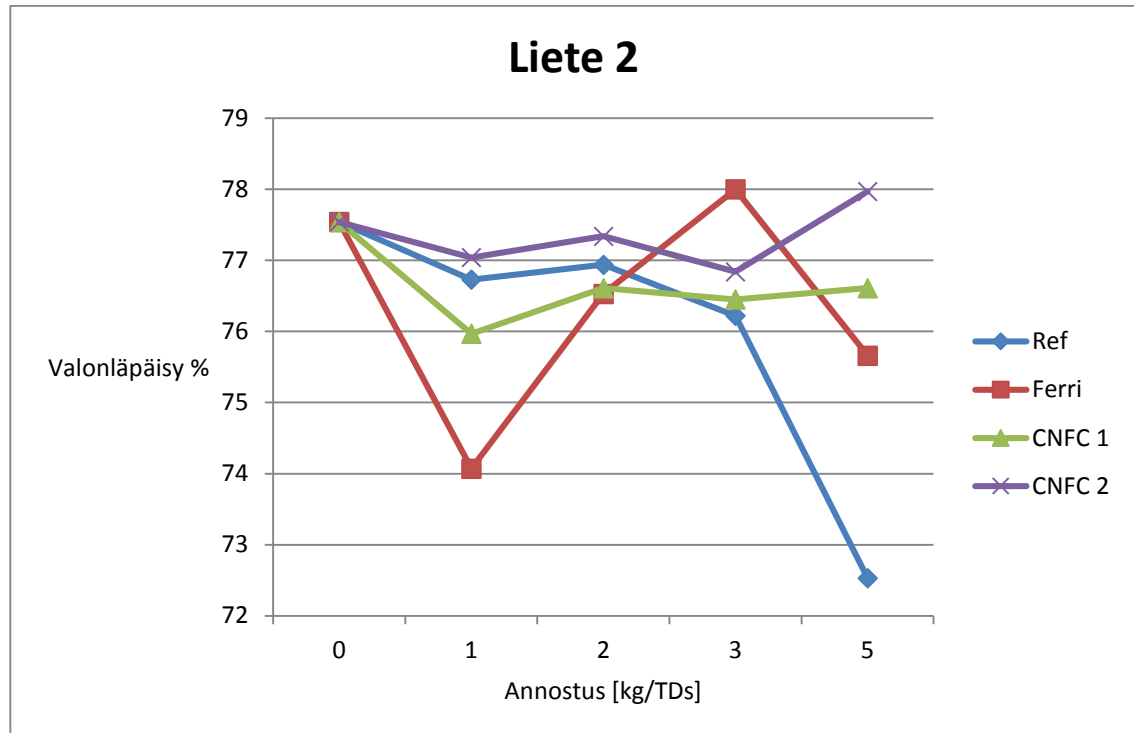


kg/TDS valonläpäisy on lähes 80 % ja annostuksella 7 kg/TDs valonläpäisy on noin 86 %.



Kuva 6. Lietteen 1 valonläpäisevyys.

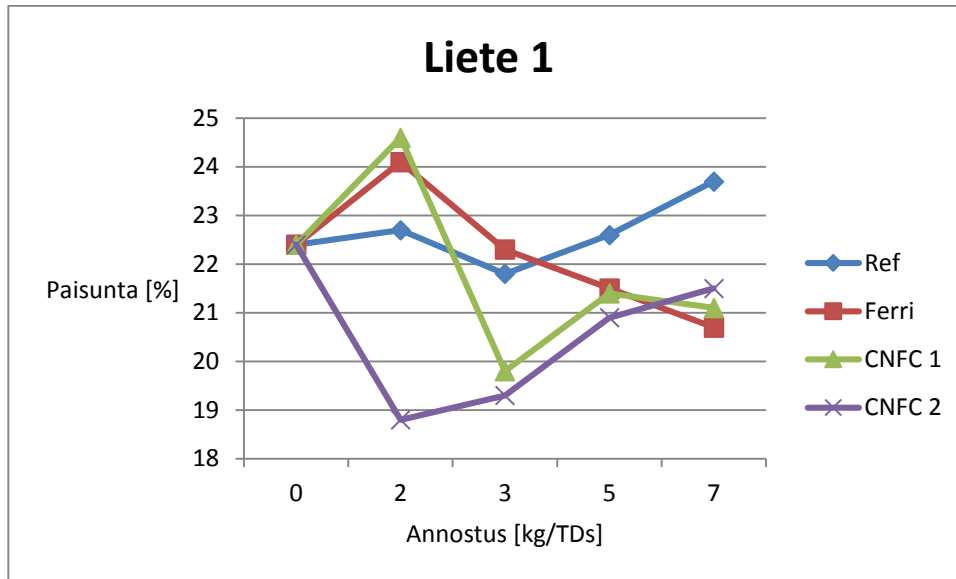
Kuvaan 7 on kuvattu lietteen 2 valonläpäisytulokset. Kuvaajasta havaitaan, että nolla-annostuksella valonläpäisy on noin 77,5 %. Referenssipolymeeriä käytettäessä annostuksen lisääntyessä 3 kg/TDs, laskee valonläpäisy vähän yli yhden prosenttiin nolla-annostukseen verrattuna. 5 kg/TDs annostuksella valonläpäisy laskee noin 72,5 %:iin. Ferrosulfaattia käytettäessä annostuksella 1 kg/TDs laskee valonläpäisy 74 %:iin ja annostuksella 2 kg/TDs nousee yli 76 %:iin ja annostuksella 3 kg/TDs nousee noin 78 %:iin ja annostuksella 5 kg/TDs laskee alle 76 %:iin. CNFC 1:ä käytettäessä annostuksen kasvaessa valonläpäisy laskee noin 1–1,5 % vaihdellen välillä 76–76,5 %. CNFC 2:a käytettäessä valonläpäisy vaihtelee eri annostuksilla vain noin puoli prosenttia nolla-annostukseen verrattuna.



Kuva 7. Lietteen 2 valonläpäisevyys.

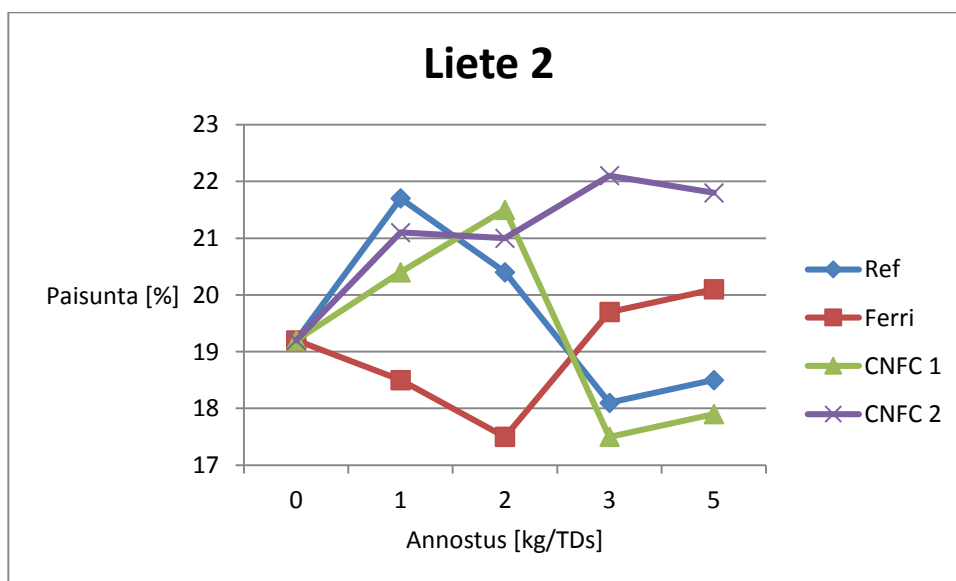
Paisunnan prosenttiosuudet kertovat kuinka paljon liete palautuu takaisin nesteeseen, eli kuinka tiiviiksi liete on muodostunut. Paisunnan ollessa suurta, sisältää liete paljon vettä eli vesi ei ole poistunut lietteestä, jolloin flokki on löysää. Eri aineiden vaikutuksia veden poistuvuuteen voidaan siis vertailla paisunnan prosenttiosuuksia vertaamalla.

Kuvissa 8 ja 9 on esitetty lietteiden paisuntamäärät prosentteina annostuksen suhteen. Kuvaajasta 5 nähdään, että lietteellä 1 nolla-annostuksella paisunta on hieman yli 22 %. Referenssipolymeeriä käytettäessä paisunta pysyy annostuksen lisääntyessä noin 22 %:ssa ja nousee 7 kg/TDs annostuksella noin 23,5 %:iin. Ferrosulfaattia käytettäessä annostuksella 2 kg/TDs paisunta on noin 24 % ja suuremmilla annostuksilla laskee melko tasaisesti alle 21 %:iin. CNFC 1:ä käytettäessä paisunnat vaihtelevat paljon pienemmillä annostuksilla, välillä 19,5–24,5 % tasoittuen suuremmilla annostuksilla noin 21 %:iin. Käytettäessä CNFC 2:a, laskee paisunta alle 19 %:iin annostuksella 2 kg/TDs ja suuremmilla annostuksilla nousee melko tasaisesti yli 21 %:iin.



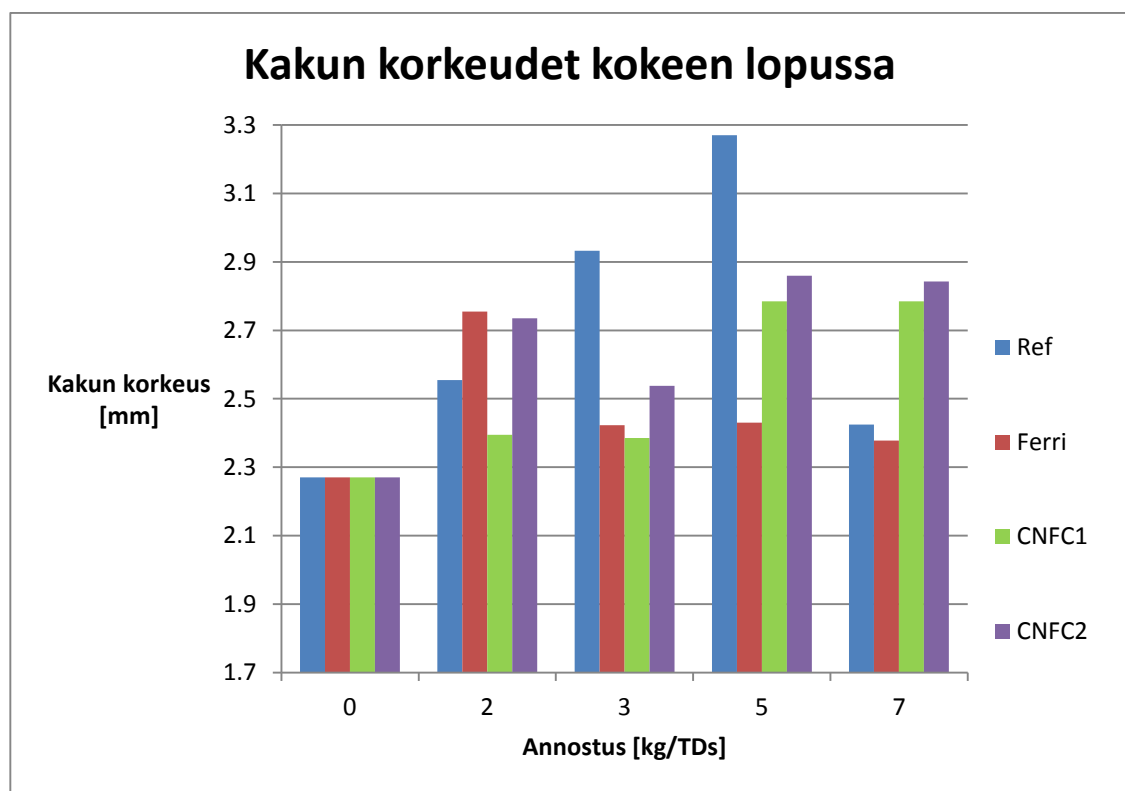
Kuva 8. Lietteen 1 paisunta.

Kuvasta 9 havaitaan, että lietteellä 2 nolla-annostuksella paisunta on noin 19 %. Referenssipolymeeriä käytettäessä paisunta on noin 21,5 % annostuksella 1 kg/TDs ja laskee suuremmilla annostuksilla (3 ja 5 kg/TDs) lähelle 18 %:a. Ferrosulfaattia käytettäessä paisunta vaihtelee välillä 17,5–20 % käyden alimmillaan annostuksella 2 kg/TDs ja korkeimmillaan suuremmilla annostuksilla. CNFC 1:ä käytettäessä paisunta kasvaa 21,5 %:iin pienemmällä annostuksilla ja suuremmilla laskee alle 18 %:iin. CNFC 2:a käytettäessä paisunta kasvaa pienemmällä annostuksilla noin 21 %:iin ja suuremmilla annostuksilla paisunta on noin 22 %.



Kuva 9. Lietteen 2 paisunta.

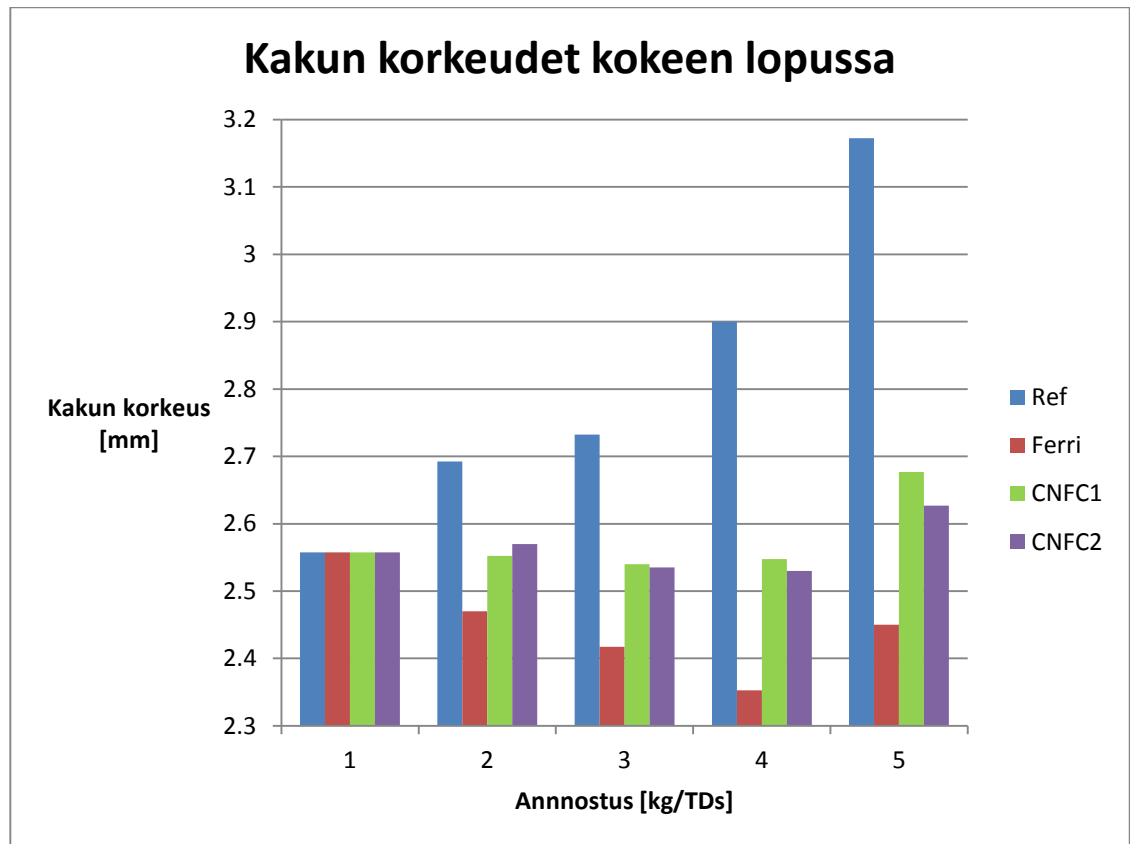
Kuvassa 10 on esitetty kakun korkeudet kierrosnopeudella 3000 rpm ja kokeen lopussa lietteellä 1. Kuvaajasta nähdään, että referenssipolymeeriä käytettäessä annostuksen kasvaessa välillä 0–5 kg/TDs kakkujen korkeudet. Annostuksen ollessa 7 kg/TDs laskee kakun korkeus lähelle nolla-annostuksen lukemia. Ferrosulfaattia käytettäessä kakun korkeus nousee annostuksella 2 kg/TDs ja suuremmilla annostuksilla pysyy lähellä nolla-annostuksen korkeutta. CNFC 1:ä käytettäessä pienillä annostuksilla kakun korkeus nousee vain vähän ja suuremmilla annostuksilla huomattavasti enemmän. CNFC 2:a käytettäessä kakun korkeus nousee jo pienillä annostuksilla reilusti, eikä merkittävästi muutu annostuksen lisääntyessä.



Kuva 10. Kakkujen korkeudet kokeen lopussa, liete 1.

Kuvasta 11 havaitaan, että lietteellä 2 kakkujen korkeudet nolla-annostuksella ovat noin 0,3 mm suuremmat kuin lietteellä 1. Referenssipolymeeriä käytettäessä kakun korkeus kasvaa annostuksen lisääntyessä. Ferrosulfaattia käytettäessä kakun korkeus laskee noin 0,2–0,3 mm annostuksen kasvaessa. CNFC 1:ä käytettäessä kakun korkeus pysyy pienillä annostuksilla lähes samana nolla-annostuksen lukemiin verrattuna ja korkeus kasvaa vasta suuremmilla annostuksilla. CNFC 2:a käytettäessä kakun korkeus muuttuu vähiten,

alle 0,1 mm, ja vasta annostuksella 5 kg/TDs kakun korkeus nousee enemmän, silloinkin vain noin 0,1 mm.



Kuva 11. Kakkujen korkeudet kokeen lopussa, liete 2.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

SVI mittaustulosten perusteella vain referenssipolymeeriä lisäämällä saatiin molemmat lietteet laskeutumaan hyvin. Muita aineita lisäämällä lietteet laskeutuivat saman verran kuin pelkällä vesilisäyksellä tai vähän huonommin.

Paisunta tulokset ovat hyvin erilaiset riippuen lietteestä. 1 lietteellä CNFC 1:n paisunta on pienintä (alle 19 %) 2 ja 3 kg/TDs annostuksella. Myös CNFC 2 poistaa vettä lietteestä hyvin 3 kg/TDs annostuksella. Toisella lietteellä ferrosulfaatti (annostuksella 2 kg/TDs), CNFC 1 (3-5 kg/TDs) ja polymeeri (3-5 kg/TDs) lisäyksellä paisunta on alle 19 %.

Kokeellisista tuloksista nähdään, että nanoselluloosia ja ferrosulfaattia lisäämällä vain lietteellä 2 pienillä annostuksilla kakkujen korkeudet ovat pienemmät kuin nolla-annostuksella eli vettä on poistunut lietteestä. Polymeeriä käytettäessä kakkujen korkeudet kasvavat, mutta SVI tulosten perusteella polymeerin avulla liete saadaan laskeutumaan hyvin, jolloin vesi saadaan erotettua helposti. Näillä tuloksilla nanoselluloosan käyttöä biolietteiden vedenpoistossa ei voida suositella. Polymeerillä saadut tulokset ovat parhaat, joten suositellaan käytettävän polymeeriä.

## 6 YHTEENVETO

Nanoselluloosilla saaduista tuloksista vain kakkujen korkeudet olivat vertailukelpoisia polymeerillä saatuihin tuloksiin nähden ja vain lietteellä 2 ja vain 1-3 kg/TDs annostuksilla. Kuitenkin näillä annostuksilla ja samalla lietteellä laskeutuskokeesta saadut tulokset olivat huonoja, lähellä pelkällä vesilisäyksellä saavutettuja arvoja. Tämän työn tulosten perusteella nanoselluloosalla ei kannattaisi korvata kaupallista referenssi polymeeriä biolietteiden vedenpoistossa.

## 7 LÄHDELUETTELO

Pajari Juhani, 2014. Aktiivilietelaitoksen happitason säätö. Opinnäytetyö: Oulun ammattikorkeakoulu. 55 s.

Kinnunen Jari, 2013. Jätevedenpuhdistus rinnakkaissaostuslaitoksella – esimerkkinä Kinnulan jätevedenpuhdistamo. Opinnäytetyö: Oulun seudun ammattikorkeakoulu. 55 s.

Vesilaitosyhdistys, 2015. Vesihuolto, linkit, lainsäädäntö, Aktiivilieteprosessin kaaviokuva [verkkodokumentti]. Helsinki: Vesilaitosyhdistys. Saatavissa: [http://www.vvy.fi/vesihuolto\\_linkit\\_lainsaadanto/jatevedet/jatevesien\\_puhdistaminen/jatevedenpuhdistus/aktiivilieteprosessi](http://www.vvy.fi/vesihuolto_linkit_lainsaadanto/jatevedet/jatevesien_puhdistaminen/jatevedenpuhdistus/aktiivilieteprosessi) [viitattu 15.5.2015]

Johansson Tommi, 2013. Käänteisosmoosin esikäsittelymenetelmät. Opinnäytetyö: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 41 s.

Kangas Heli, 2014. Opas selluloosananomateriaaleihin. VTT TECHNOLOGY 199 Espoo: VTT. 89 s. ISBN 978-951-38-8194-8

Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2014. Uutiset, Uusia vedenpuhdistusmahdollisuuksia nanoselluloosasta [verkkodokumentti]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavissa: [http://www.lut.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/h33vOeufOQWn/content/uusia-vedenpuhdistusmahdollisuuksia-nanoselluloosasta](http://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/uusia-vedenpuhdistusmahdollisuuksia-nanoselluloosasta) [viitattu 22.6.2015].

Suopajarvi Terhi, 2015. Functionalized Nanocelluloses in Wastewater treatment Applications. Väitöskirja, Oulun yliopisto. 80 s.

LUMiFuge, 2015. Product info, Principle of Operation [verkkodokumentti]. Berlin: LUM GmbH. Saatavissa: <http://www.lumifuge.com/product-info/> [viitattu 15.5.2015].



PS Prozesstechnik GmbH, 2015. Working principle of LUMiFuge [verkkodokumentti].  
Basel: PS Prozesstechnik GmbH. Saatavissa: <http://www.ps-prozesstechnik.com/en/component/content/article/42-lum/59-lumifuge-funktionsprinzip.html> [viitattu 2.6.2015].