

Sanna Heikkinen

Lietelingon ajon optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Insinöörityö

17.4.2016

Tekijä Otsikko	Sanna Heikkinen Lietelingon ajon optimointi
Sivumäärä Aika	40 sivua + 1 liite 17.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Bio- ja elintarviketekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Mikko Halsas Käyttöinsinööri Katri Toivainen Käyttöinsinööri Päivi Flink Tuotantomestari Pertti Nuutinen
<p>Insinöörityön tavoitteena oli selvittää dekanterilingon ajon optimointimahdollisuuksia. Työ tehtiin Nesteen Porvoon jalostamon jätevesilaitokselle, missä käsitellään kaikki öljynjalostamon alueen vedet. Koska jätevesilaitoksella syntyvät lietteet sisältävät hiilivety-yhdisteitä, ne täytyy kuljettaa poltettavaksi Ekokemin tuotantolaitokselle Riihimäelle. Opinnäytetyössä haluttiin tutkia koeajojen avulla, voisiko optimaalisilla ajoarvoilla pienentää linkouksessa syntyvän lietekakun vesipitoisuutta ja kuljetuksesta syntyviä kustannuksia.</p> <p>Työn kokeellinen osuus haluttiin suorittaa mahdollisimman yksinkertaisena normaaleissa prosessiolosuhteissa, koska lingottavan lietteen laatu ja koostumus voi olla hyvin vaihtelevaa. Koeajot suoritettiin kahdessa kolmen päivän jaksossa, joista ensimmäisessä oli mukana kaikki jätevesilaitoksella syntyvät lietteet, mutta toista jaksoa varten altaiden pohjalietteet eli ”hiekat” erotettiin pois syöttövirrasta. Molemmissa jaksoissa koeajopäiville valittiin lietteelle eri syöttömäärät ja jokaisena päivänä suoritettiin samanlaiset polymeeriannostelun muutokset. Muutoksien jälkeen vietiin laboratorioon analysoitavaksi näytteet lingon kakusta ja rejektistä kiintoaine-, kuivajäännös- sekä vesipitoisuuksien määrittystä varten. Jokaisen testipäivän aluksi otettiin vertailunäyte lingon lietsyötöstä.</p> <p>Koetuloksista ilmeni, että valmistajan lupaama kuiva-ainepitoisuus saavutettiin lingolla koejaksojen aikana lähes kaikilla ajoarvoilla. Kokeiden perusteella ei löytynyt ideaalista suoraviivaista ajomallia, koska mitattavien parametrien vähäisyyden ja syöttöaineksen laatumuutosten takia prosessia on operoitava tilannekohtaisesti.</p>	
Avainsanat	Jätevesiliete, lietteen kuivaus, dekanterilinko

Author Title	Sanna Heikkinen Optimizing the Operation of the Decanter Centrifuge
Number of Pages Date	40 pages + 1 appendix 17 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Food Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Mikko Halsas, Senior Lecturer Katri Toivainen, Plant Engineer Päivi Flink, Plant Engineer Pertti Nuutinen, Production Master
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to survey a possibility to optimize the operation of the decanter centrifuge. The project was implemented at the sewage treatment plant of Neste Porvoo refinery where all waters in the area of the oil refinery are processed. As the sludges generated in the sewage treatment plant contain hydrocarbon compounds, they must be transported to Ekokem Corporation Riihimäki to be burned. In this research, it was investigated with test runs if the water content of the sludge cake originated in decantation could be reduced and furthermore, if the transport costs could be cut as well with the optimal control parameters.</p> <p>The experimental part of the thesis was wished to be executed as simple as possible in normal process conditions because the quality and the composition of the centrifugized sludge could be very diverse. The test runs were performed in two periods of three days in which the first period accompanied all the sludges generated in the sewage treatment plant, but for the second period the bottom sludges or sands of the basins were separated from the feed flow. For the test run days, different feed rates were selected in both periods and in each day, the modification of the batching polymer was similar. After the changes, the samples of the sludge cake and the reject of the decanter were taken to the laboratory for the determination of the solid matter, dry residue and water content. The comparison sample of the sludge feed of the decanter centrifuge was taken in the beginning of each test run day.</p> <p>As the experimental data shows, the dry matter content promised by the manufacturer was achieved during the test periods in almost all control parameters. Based on these experiments, the ideal straightforward running pattern was not discovered because due to the minor quantity of the measured parameters and the quality variations of the feed material, the process must be operated as the situation requires.</p>	
Keywords	Sewage sludge, sludge dewatering, decanter centrifuge

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	1
2	Yhdyskuntajätevesien biologinen puhdistus ja lietteen käsittely	1
2.1	Yhdyskuntajätevesien biologinen puhdistus	1
2.2	Lietteenkäsittely	2
2.2.1	Yleistä	2
2.2.2	Käsiteltävän lietteen ominaisuudet	3
2.2.3	Lietteen sakeutusmenetelmät	3
2.2.4	Lietteen kuivatusmenetelmät	7
3	Öljyisen jäteveden puhdistus	10
3.1	Yleistä	10
3.2	Emulsiot	11
3.3	Rasvaiset jätevedet	12
3.4	Porvoon jalostamon jätevesilaitos	12
4	Jätevesilietteen käsittely Porvoon jalostamon jätevesilaitoksella	14
4.1	Lietejakeet	14
4.2	Lietteenkäsittely	15
4.2.1	Rumpusiivilä	15
4.2.2	Tiivistin	15
5	Lietelinko FC-7504	16
5.1	Toimintaominaisuudet	17
5.2	Lingon säätö	18
6	Linkouksen ajoparametrit ja optimointi	20
6.1	Syöttö	20
6.2	Polymeeri	20
6.3	Erokierrosluku (Δn) ja momentti (T)	22

6.4	Nestesäde	22
7	Työn tausta ja tavoitteet	23
7.1	Työn tausta	23
7.2	Työn tavoitteet	24
8	Materiaalit ja menetelmät	24
9	Tulokset ja tulosten tarkastelu	26
10	Yhteenveto ja pohdintaa	35
10.1	Yhteenveto	35
10.2	Pohdintaa	37
	Lähteet	39
	Liite 1. Tulokset	

Lyhenteet

AD	Nesteen jalostamolla käytettävä lyhenne avoaltaalle.
API	American Petroleum Institute. Kansallinen kauppayhdistys, joka edustaa Amerikan öljy- ja kaasuteollisuuden kaikkia osapuolia. Kehittänyt API-tekniologiaa altaiden ja separaattoreiden muodossa öljyn erottamiseksi vedestä.
CPI	The Corrugated Plate Interceptor. Separaattori öljyn erottamiseen vedestä, missä aaltomaisista levyistä koostuva pakka päästää veden virtaamaan läpi, mutta patoaa öljyn.
DADMAC	DiAllyyliDiMetyyliAmmoniumKloridi. Poly-DADMAC on kationinen polymeeri, jolla on korkea varaustiheys.
DSC	Differential Speed Control. Kierroserosäädin, joka ylläpitää lingon rummussa optimaalisen määrän lietettä vaihtelevista lietepitoisuuksista tai syöttövirtauksista huolimatta.
FC	Nesteen jalostamolla käytettävä lyhenne dekanterilingolle.
NEXBTL	Next generation Biomass To Liquid. Nesteen oma uusiutuvien polttoaineiden teknologia.
O/W	Oil in Water. Emulsiossa öljy on pisaroina kantavana faasina toimivassa vedessä.
VFD	Variable Frequency Drive. Taajuusmuuttajakäyttöinen säätöjärjestelmä, joka säätää aurinkopyöräakselin kierrosluvun kautta lingon rummun ja kuljettimen välistä kierroserolukua.
W/O	Water in Oil. Emulsiossa vesi on pisaroina kantavana faasina toimivassa öljyssä.

1 Johdanto

Tämä työ on tehty Nesteen Porvoon jalostamon Tuotantolinja Ympäristön alaisuuteen kuuluvalla jätevesilaitokselle, missä käsitellään kaikki jalostamon alueen sekä viereisen Borealis Polymers Oy:n eri viemäreiden kautta kulkevat sekä imuautoilla kerätyt vedet. Kilpilahden teollisuusalueen laajuus sekä ilmasto- ja prosessiolosuhteet huomioon ottaen käsiteltävät jätevedet ovat sekä määrältään että laadultaan hyvinkin vaihtelevia, mikä vaikuttaa suoranaisesti myös jätevesilaitoksella eri vaiheissa syntyvien lietteiden käsittelyyn. Työn tarkoituksena on optimoida jätevesilietteen kuivaukseen käytettävän dekanterilingon ajoa ja löytää käyttäjille yhteneväinen ajomalli, joka voisi tuoda mukanaan myös kustannussäästöjä. Työssä käsitellään jätevesien ja jätevesilietteiden käsittelyä yleisesti sekä öljynjalostusteollisuudessa Porvoon jalostamolla. Tämän lisäksi työssä perehdytään tarkemmin Porvoon jalostamon jätevesilietteenkäsittelyprosessiin, erityisesti lietelingon toimintaominaisuuksiin, säätömahdollisuuksiin ja ajoparametreihin.

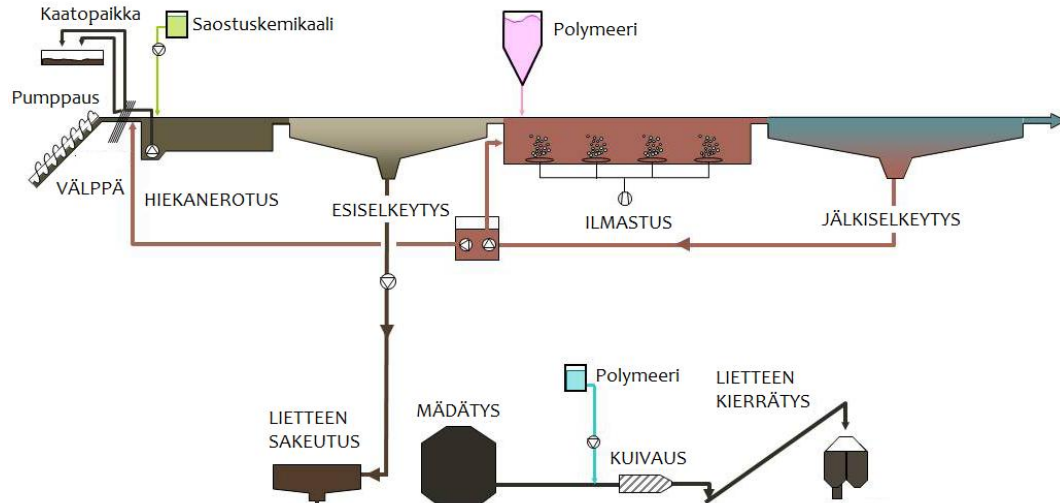
Työn lähtökohtana on suunnitella lietelingolle koeajot, joissa syötön koostumusta ja ajoparametreja muuttamalla voidaan testata lingon toimivuutta tämän hetkiselä ajotavalla ja sen ulkopuolella molemmissa ääripäissä. Lietelinkoa on ajettu vuosia kokemuspohjalta ja kukin käyttäjä omalla tyylillään. Koska kuivattu liete kuljetetaan vähintään kolmesti viikossa Ekokemin Riihimäen tuotantolaitokselle poltettavaksi ja kustannukset määräytyvät painon mukaan, on ideaalisen ajomallin löytymisen tavoitteena tasaisen ajon ja käyttäjien ajonhallinnan helpottamisen lisäksi myös kuivemmaksi lingotun lietteen mukanaan tuomat kustannussäästöt.

2 Yhdyskuntajätevesien biologinen puhdistus ja lietteen käsittely

2.1 Yhdyskuntajätevesien biologinen puhdistus

Jäteveden biologinen puhdistamo (kuva 1) saa nimensä pääpuhdistusmenetelmänsä mukaan, eli puhdistamalla voi olla täydentävinä menetelminä myös fysikaalisia ja kemiallisia prosesseja. Suomen yleisin yhdyskuntajätevesien puhdistusmenetelmä on biologis-kemiallinen rinnakkaissaostus, jossa biologinen eloperäisten jätteiden poisto ja kemiallinen saostusprosessi tapahtuvat yhtäaikaaisesti samoissa allasyksiköissä, mutta saostus voidaan toteuttaa myös esi- tai jälkisaostuksena. Yhdyskuntien jätevesistä puhdistetaan kiinteiden aineiden lisäksi vesistöissä happikatoa aiheuttavia ja rehevöitymistä

edistäviä orgaanisia aineksia, fosforia ja typpeä, jotka ovat pääsääntöisesti peräisin ihmisen ulosteista ja virtsasta. Ympäristöviranomaiset asettavat jätevesien puhdistusprosessille viralliset tavoitteet ja poistettaville aineille raja-arvopitoisuudet. (1, s. 18–19; 2, s. 9–11.)



Kuva 1. Tyypillinen keskiuuren kunnan jätevedenpuhdistamon prosessikaavio (2, s. 10).

Käytetyin biologinen puhdistusmenetelmä on aktiivilieteprosessi, jossa jätevesi johdetaan aktiivilietettä eli biomassaa ja mikrobeja sisältävään ilmastusaltaaseen. Ilmastuksen tarkoituksena on mikrobien hapensaannin varmistamisen lisäksi jatkuva sekoittaminen, joka tehostaa pieneliöiden kykyä käyttää ravinnokseen epäpuhtauksia. Aktiiviliete erotetaan vedestä puhdistusprosessin seuraavassa vaiheessa selkeytysaltaassa. Osa lietteestä palautetaan ilmastusaltaaseen, jotta lietteen määrä ja mikrobien ikä pysyisi vakiona, ja osa poistetaan prosessista lietteen käsittelyyn. (1, s. 21.)

2.2 Lietteenkäsittely

2.2.1 Yleistä

Biologisen puhdistusmenetelmän olennainen osa on prosessissa syntyvän lietteen saattaminen haitattomaan muotoon, ja lietteiden käsittelyyn kuluukin merkittävä osa koko puhdistusprosessin kustannuksista. Orgaanisen aineksen hajoamisen jatkuminen este-

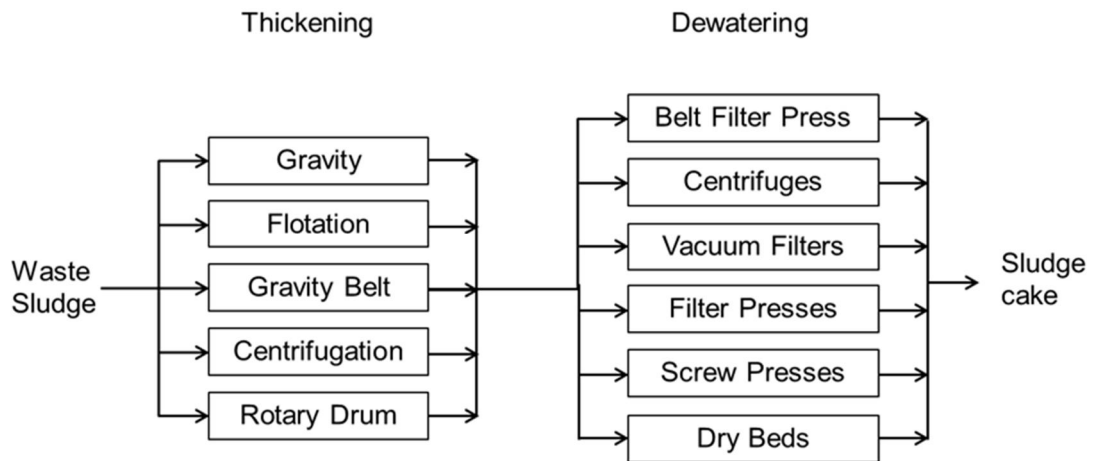
tään erottamalla lietteestä vettä, joka palautetaan takaisin puhdistusprosessiin. Liete voidaan jatkokäsittellä biologisesti aerobisesti tai anaerobisesti, jolloin saadaan viherrakentamisessa ja kaatopaikkojen peitekerroksissa hyödynnettäviksi kelpaavia multamaisia tuotteita. Anaerobinen prosessi eli mädätys hajottaa osan lietteen orgaanisesta aineksesta ja tuhoaa taudinaiheuttajia. Mädätyksessä syntyvä, pääosin metaania sisältävä, biokaasu kerätään talteen ja voidaan hyödyntää lämpö- ja sähköenergiana. Sakeutettu liete kuivataan tavallisimmin koneellisesti esimerkiksi lietelingolla, jolloin saadaan pienennettyä lietteen tilavuutta sekä helpotettua kuljetusta ja jatkokäsittelyä. (2, s. 22; 3; 4, s. 709.)

2.2.2 Käsittävän lietteen ominaisuudet

Jätevesien käsittelystä syntyvä liete sisältää eri puhdistusvaiheissa erottuvaa kiintoainesta, biologisen vaiheen biomassan ylijäämaliettä sekä vettä. Lietteiden vesi voidaan jakaa kolmeen ryhmään, joista vapaa kiintoaineesta irrallaan oleva vesi on helpoimmin erotettavissa. Kiintoainekseen pintajännitysilmion avulla sitoutunut kapillaarivesi saadaan irtoamaan vapaaseen veteen kasvattamalla lietepartikkelien kokoa saostusaineiden ja flokkulanttien avulla. Jäljelle jäävä vesimäärä on bakteerisolujen solunsisäistä vettä, joka määrää kuivatun lietteen eli kakun teoreettisen kuiva-ainepitoisuuden, koska sen poistaminen vaatisi solujen hajotusta. Epäorgaanisen ja hyytelömäisen lietteen sekä ylijäämäaktiivilietteen erilaiset fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet vaikuttavat vedenpoistolla saavutettavaan konsentraatioon. (5, s. 26.12- 26.20.)

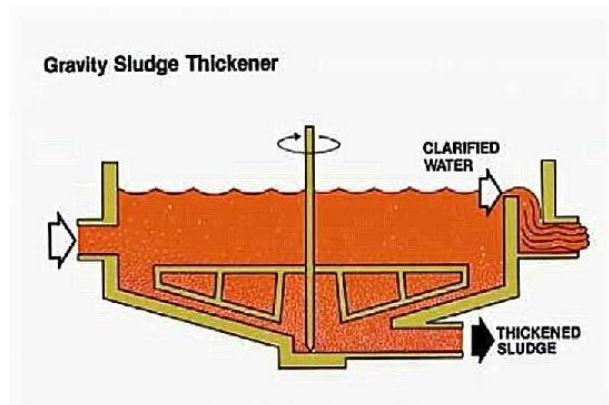
2.2.3 Lietteiden sakeutusmenetelmät

Biologisessa jäteveden puhdistuksessa syntyvän lietteiden vesimäärän pienentämiseen on useita biologisia ja fysikaalis-kemiallisia menetelmiä, jotka jaotellaan vedenpoistotehokkuutensa mukaan lietteiden saostus- ja kuivausmenetelmiin (kuva 2). Lietetyypin lisäksi käsittelyprosessin valintaan vaikuttaa jäljelle jäävälle kuivatulle kakulle valittu loppukäsittelymenetelmä. Sakeutusmenetelmillä saadaan poistettua lietteiden vapaa vesi, joka voi olla jopa 70 % vesimäärästä, jolla saadaan pienennettyä lietemäärää jopa puoleen alkuperäisestä. (4, s. 709; 5, s. 26.2.)



Kuva 2. Tavanomaisimmat lietteenkäsittelyvaihtoehdot (5,s. 26.2).

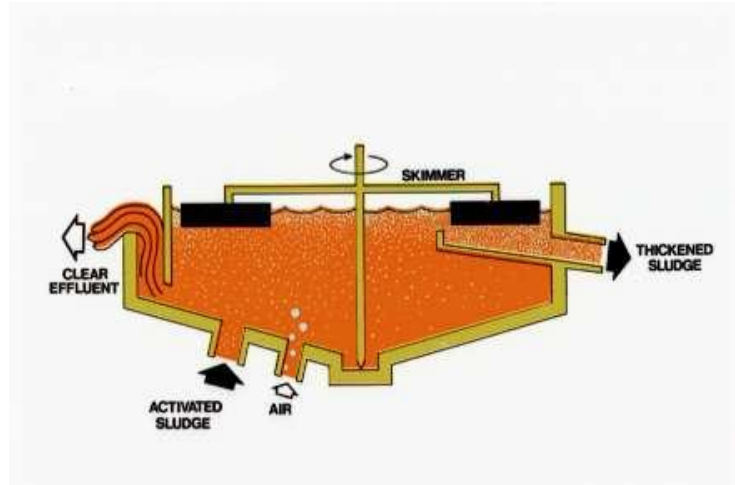
Painovoimasaostuksessa (kuva 3) kiintoaine erottuu painovoiman avulla selkeyttään lietteen sisältämän jätevesiprosessiin palautettavan veden. Toimivuuden kannalta on oleellista, että lietteen nestefaasin ominaispaino ja tiheys ovat pienemmät kuin kiintoaineen. Painovoimasaostuksen nopeuttamiseksi voidaan apuna käyttää kemiallista käsittelyä, jolloin lietteen kiintoaineen partikkelikokoa kasvatetaan pintavaraukseen perustuvilla flokkulanteilla. (5, s. 26.3- 26.4.)



Kuva 3. Painovoimasaostin (6).

Flotaatiosaostuksessa lietteen sekaan syötetään liuennutta ilmaa sisältävää vettä. Nesteestä vapautuessaan ilmakuplat muodostavat flokkeja lietteen kanssa ja nousevat altaan pinnalle pois kaavittavaksi. Tämä saostusmenetelmä on yleensä painovoimasaostusta tehokkaampi ja soveltuu hyvin hyytelömäisille lietteille, kuten aktiivilietteille, joiden

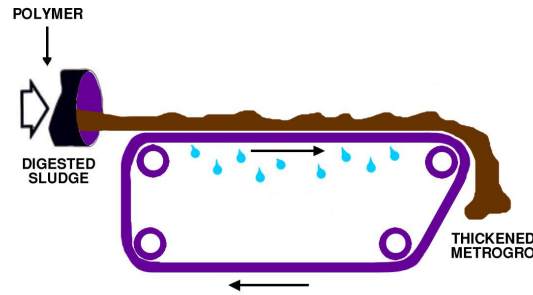
kiintoaineen ja nesteen ominaispainot ovat samaa suuruusluokkaa. Myös flotaatiosaostus (kuva 4) toteutetaan usein käyttämällä lisäksi kemikaaliapuvaineita, kuten epäorgaanisia alumiinisuoloja tai orgaanisia polyelektrolyyttejä. (5, s. 26.4- 26.5; 7, s. 498- 501.)



Kuva 4. Flotaatiosaostin (6).

Ruostumattomasta teräksestä valmistetun verkkomaisesta lieriöstä muodostuvan rumpusiivilän saostus perustuu horisontaalisesti pyörivän akselin aikaan saamaan pyörimisnopeuteen. Lietteen vesi pääsee virtaamaan rumpusiivilän läpi, ja sakeutettu, yleensä kemiallisesti orgaanisella polymeerillä käsitelty liete etenee rumpun sisäpuolella toiseen päähän asti. Lietteen viipymäaika rumpussa säädellään rumpun pyörimisnopeudella sekä lietettä kuljettavan siirtoruuvien kaltevuudella. Rumpusaostin soveltuu hyvin lietteille, jotka ovat kokonaan tai osittain biologisia. (5, s. 26.5- 26.6; 7, s. 501.)

Painovoima-hihnasakeutin (kuva 5) poistaa lietteen vapaan veden painovoimaan perustuen, mutta pinnalla kulkevan hihnan avulla vapautuu myös sitoutunutta kapillaarivettä. Hihnassa on jaksoittaisesti kaavinosa, jotka vierittävät lietettä päästämällä vapaan veden hihnan avoimille jaksoille. Sakeutus ei vaadi painetta tai vakuumia, koska ristikkomainen rakenne saa hihnan alapuolisen kapillaariveden leikkautumaan parantaen vedenpoistoa, jota voidaan optimoida myös hihnan pyörimisnopeudella ja -kulmalla. (5, s. 26.6- 26.8; 7, s. 502.)



Kuva 5. Painovoima-hihnasakeutin (6).

Lietteiden sakeuttaminen keskipakovoimaan perustuen toteutetaan useimmiten dekantterisentrifugilla, mutta vaihtoehtoina ovat myös korilinko ja kiekkosuutinsentrifugi. Dekantterisentrifugissa lingon kori pyörii hieman sisällä pyörivää ruuviirrintä nopeammin, jolloin jakelusuuttimista sisään syötetty liete tiivistyy keskipakovoiman ansiosta korin seinämiä vasten ja ruuvi avustaa sakeutetun lietteen kulkeutumaan ulos lingon korin seinämiä pitkin. Dekantterilingon monipuoliset säätömahdollisuudet syötön määrän, lingon pyörimisnopeuden, lingon ja syöttökuljettimen välisen nopeuseron, lämpötilan, saostuskemikaalin määrän ja lingon korin nestepinnan syvyyden suhteen mahdollistavat ominaisuuksiltaan hyvin erityyppisten lietteiden sakeutuksen. Korilinko soveltuu vain pienille lietemäärille, koska sakeuttaminen tapahtuu panosprosessimaisesti eli täyden korin tyhjennys vaatii lingon ja syötön pysäytyksen. Liete syötetään korin alaosasta, jolloin liete muodostaa pyörivän korin aiheuttaman keskipakovoiman ansiosta kiintoainekerroksen korin seinämille ja vesi virtaa korin reunojen yli. Myös korilinkousprosessiin on tavallisesti kytkettynä polymeerisyöttö kiintoaineen talteenoton parantamiseksi. Kiekkosentrifugi eli separaattori sisältää kartiomaisia kiekkoja, jotka on pinottu jättäen väleihin kapeat kanavat, joiden välistä ylhäältä syötetyn lietteen kiintoainees ohjautuu pyörimisestä johtuvan keskipakovoiman avulla separaattorin ulkokehän kautta ulos ja vesi kulkeutuu lietteen alitse sentrifugin keskiosan kautta poistettavaksi. Separaattori soveltuu erityisesti lietteille, jotka eivät sisällä karkeaa kiintoainetta, koska korkeiden gravitaatiovoimien vuoksi syöttö annostellaan ilman polymeeriä. (5, s. 26.8- 26.10; 7, s. 502, 509.)

Koska saostettavien lietteiden laatu vaikuttaa sakeutusmenetelmän valintaan ja tätä kautta myös mahdollisten apukemikaalien määrään, vaihtelevat menetelmillä saavutettavat lietteiden kiintoainepitoisuudet välillä 2,5- 11 %. Koska lietteen myöhemmän käsittelyn kustannukset laskevat lietteen konsentraation kasvaessa, vedenpoistoa jatketaan tyyppillisesti sakeutuksen jälkeisellä kuivatuksella. (5, s. 26.1- 26.2; 7, s. 500.)

2.2.4 Lietteen kuivatusmenetelmät

Lietteen kuivatuksen tarkoituksena on poistaa mahdollisimman paljon saostuksessa lietteen sekaan jäänyttä vettä sekä saada aikaan kakku, jonka kuiva-ainepitoisuus on mahdollisimman suuri. Kuivatus on tavallisesti jätevesien puhdistusprosessin viimeinen osaprosessi ja menetelmän valitaan vaikuttavat esimerkiksi kuivattavan kiintoaineen ominaisuudet sekä lietteen lopullinen käytöstä poistamistapa. Lietteen kuivattaminen jätevedenpuhdistamolla on taloudellisempaa kuin märän kakun kuljettaminen loppusijoituspaikalle, laitehankinnoista ja käytöstä aiheutuvista kuluista huolimatta. (4, s. 732; 5, s. 26.10.)

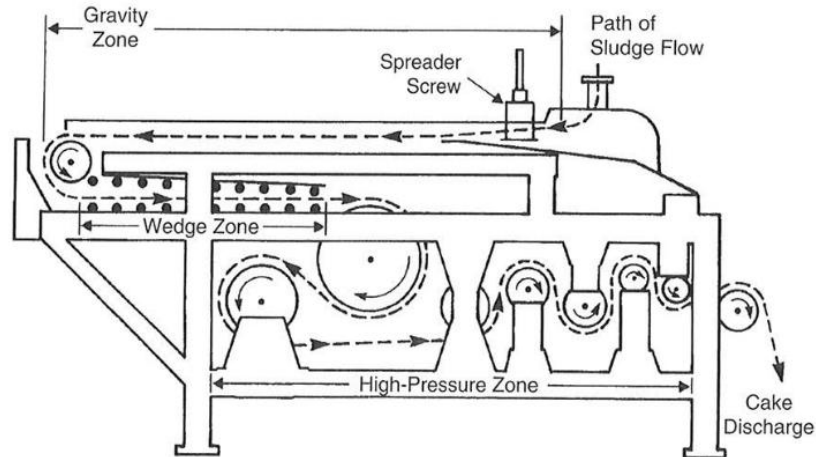
Korkean kapasiteetin, suljetun tiiviin rakenteen ja suhteellisen helpon operoinnin takia sentrifugointia käytetään lietteen sakeutuksen lisäksi myös kuivatusmenetelmänä. Käytötarkoitusta varten sopivan lingon valintaa helpottaa valmistajien tarjoamat lukuisat vaihtoehdot ominaisuuksien ja säätöjen suhteen. (5, s. 26.12; 7, s. 509.)

Alipainesuodatus (kuva 6) on ollut vuosikausia yleinen menetelmä sekä kunnallisten että teollisuuden jätevedenpuhdistamoiden lietteiden kuivatuksessa ja lisäksi lukuisissa muissa teollisuuden prosessisovelluksissa, esimerkiksi paperi- ja kaivosteollisuudessa. Imusuodatuksessa umpinainen sylinterimäinen siivilä pyörii akselinsa ympäri uponneena osittain alla sijaitsevan sammion lietteeseen. Alipaine imee lietteen kuiva-aineen suodattimen ulkopintaan päästäen veden poistumaan siivilän läpi. Kakkukerrosta poistetaan siivilän pinnalta kaapimen tai vesisuihkun avulla. Suodatusta voidaan säätää suodattimen tyypillä ja huokoisuudella, alipaineen määrällä sekä siivilärummun pyörimisnopeudella ja lietteeseen uppoamissyvyydellä. (5, s. 26.12- 26.14; 7, s.514- 517.)



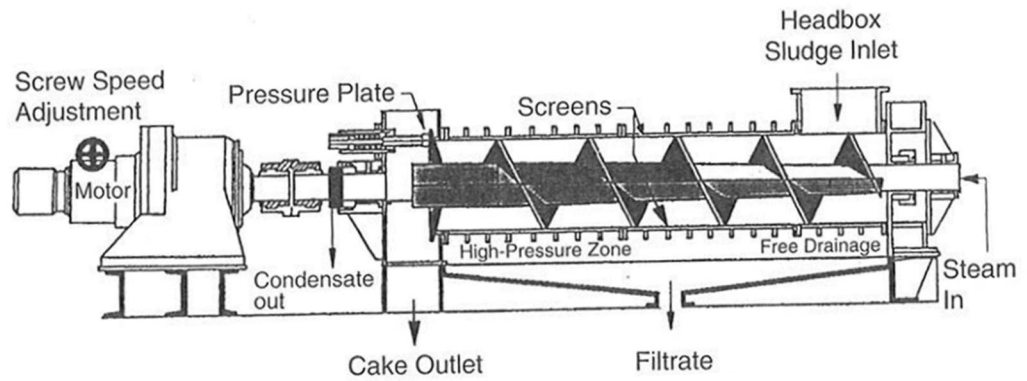
Kuva 6. Alipainesuodatus (8).

Myös suotonauhapuristinta eli viirapuristinta (kuva 7) käytetään lietteiden kuivatuksen lisäksi erityisesti paperiteollisuudessa. Liete ohjataan viirapuristimen kahden suodatinhihnan väliin, jolloin vesi puristuu hihnojen läpi ja kuivattu lietekakku kulkeutuu hihnojen päähän talteen otettavaksi. Puristuksen aiheuttaman paineen lisäksi vedenpoistoa avittaa myös painovoima ja lietteen kemiallinen käsittely ennen kuivatusta. (5, s. 26.12; 7, s. 520- 522.)



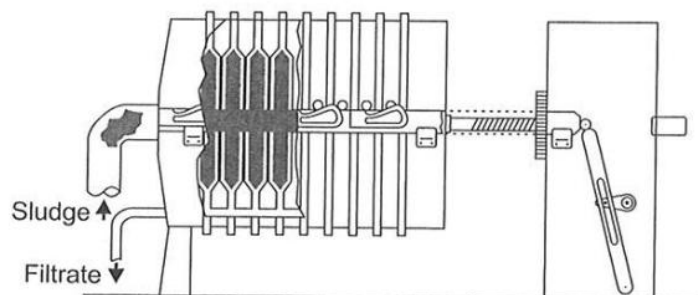
Kuva 7. Suotonauhapuristin (7).

Ruuvipuristimet (kuva 8) sopivat sakeutetun tai jo muilla menetelmillä kuivatun lietteen lisäkuivaukseen. Liete syötetään painelaatikon sisällä olevan ruuvin yläpuolelta, jolloin liete lähtee etenemään pyörivän ruuvin avulla alkupään vapaan kuivatuksen alueelta loppupään korkean paineen alueen kautta kakun poistoon ja vesi suodattuu matkalla ruuvia ympäröivän siivilän lävitse. Hyvän kuivatuslopputuloksen aikaansaamiseksi puristettavan lietteen olisi hyvä sisältää kokoonpuristuvaa kiintoainesta. Tämän vuoksi ruuvipuristin on suosittu ja toimiva ratkaisu paperiteollisuudessa jätevesien sisältämän kuitumäärän takia. (5, s. 26.14- 26.16; 7, s. 523.)



Kuva 8. Ruuvipuristin (7).

Suodatuspuristimen (kuva 9) vedenpoisto perustuu lietteen pumppaamiseen paineella kohtisuorasti puristimen kiinteän ja liikkuvan pään väliin puristettuja suodinlevyjä vasten. Lietteiden kuivatus tapahtuu sykleissä eli kyseessä on panosprosessi, minkä vuoksi menetelmä ei ole kovin yleisesti käytössä. Puristussuodatuksessa lietteiden kuiva-ainetta kertyy suodatinlevyjen väleihin jääviin kammioihin veden virratessa pois ja lietevirtauksen hiipuessa laite on pysäytettävä kakun poistamiseksi. (5, s. 26.16- 26.18.)



Kuva 9. Suodatuspuristin (7).

Kuivausalusta on energiatehokas ja taloudellinen kuivatusmenetelmä monenlaisille lietteille. Kuivattava liete levitetään 20- 30 cm paksuiseksi kerrokseksi rajatulle alueelle, jonka alla on viemärintijärjestelmä vesien keräämistä varten ja yläpuolella kaapimet kakun talteenottoon. Kuivausalustan päällä käytetty ohut hiekkakerros, veden vapautumista edistävät kemikaalit ja lietteiden kääntely kuivauksen aikana voivat nopeuttaa vedenpoistoa. Vaikka menetelmä kuivattaa lietettä paremmin kuin monet mekaaniset me-

netelmät, on kuivausolustalla paljon maapinta-alaa ja suotuisat ilmasto-olosuhteet vaativana sekä ympäristöön mahdollisesti hajuhaittoja levittävänä menetelmänä omat rajoituksensa sijoituspaikan suhteen. (5, s. 26.18- 26.20; 7, s. 523- 524.)

Lietteen kuivatus nostaa lietetyypistä ja kuivatusmenetelmästä riippuen lietekakun kiintoainepitoisuuden välille 9- 37 %. Epäorgaaniset teollisuuden lietteet hävitetään maaperään yleensä kosteampana lietteenä kuin kuivemmasta kakusta multamaiseksi loppusijoitustuotteeksi käsiteltävät orgaaniset lietteet. (7, s. 525- 528.)

3 Öljyisen jäteveden puhdistus

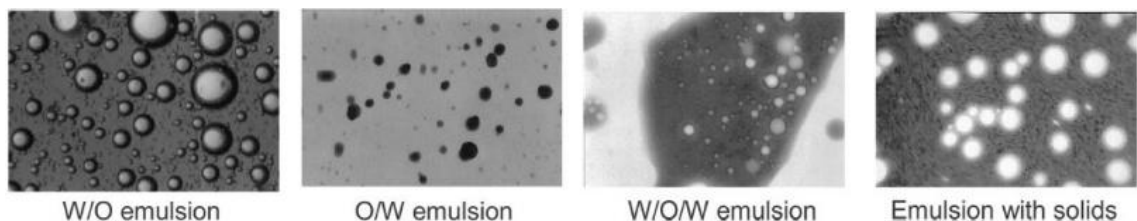
3.1 Yleistä

Öljynjalostamoilla syntyy hyvin erilaisia jätevesiä, esimerkiksi jäähdytysvesiä (80–85 %), sadevesiä, laattavesiä, lauhteita, suolanpoiston jätevesiä, happo- tai emäspesujen jätevesiä ja saniteettivesiä, jotka ohjataan omien viemäreidensä kautta jätevesien puhdistusprosessin eri vaiheisiin. Uusiutuvan NEXBTL-biodieselin valmistuksessa raaka-aineena käytettävät kasviöljyt sekä eläinrasvat puhdistetaan jalostamon omalla esikäsittelylaitoksella, mistä voi prosessihäiriöissä syntyä suuriakin määriä rasvaisia jätevesiä. Jätevesien sisältämä öljy tai rasva voi olla jätevesivirrassa vapaana, liuenneena tai veden kanssa emulsiona. Raakaöljyteollisuudessa jätevedenpuhdistusjärjestelmät sisältävät yleensä jätevesien salaojitus- ja keräilyjärjestelmän ja painovoimaan perustuvan öljyn ja veden erotuslaitteiston sekä apulaitteiston öljyn ja kiintoaineen poistoa varten. Edellä mainittujen lisäksi tarvitaan käsittely-yksiköt vedestä erotettujen kemiallisten liuosten ja muiden jätteiden käsittelyyn sekä myrkyllisten jätteiden kontrollointiin. Suurin osa jätevesien sisältämästä öljystä ja kiintoaineksesta erotetaan primäärivaiheessa fysikaalisesti ja osin myös kemiallisesti. Biologinen sekundäärivaihe poistaa vedestä tuhoamalla ja hapettamalla jäljellä olevia orgaanisia ja liuenneita epäpuhtauksia. Öljyisille jätevesille on myös muita puhdistusmenetelmiä, kuten aktiivihilliadsorptio ja suodatus, joista ensimmäinen sopii suljettuna prosessina aromaattisia hiilivetyjä sisältävien jätevesien käsittelyyn. Omat haasteensa vesien puhdistukseen menetelmästä riippumatta tuovat erilaisten öljyjen veden kanssa muodostamat emulsiot. (5, s. 35.38- 35.41; 9.)

3.2 Emulsiot

Teollisissa prosesseissa syntyy ajoittain vettä ja öljyä sisältäviä emulsioita, joiden seassa on myös muita aineita, kuten kiintoainetta, likaa, metallipartikkeleita sekä emulgointiaineita. Koska öljynjalostamoilla syntyy monenlaisia jäteöljyjä, ovat emulsiot hyvin erilaisia ja niiden hajottaminen voi olla hankalaa. Öljy vedessä -emulsiossa (O/W, oil in water) öljy on dispergoituneena jatkuvana faasina toimivaan veteen ja vesi öljyssä -emulsiossa (W/O, water in oil) vesi on pisaroina öljyssä (kuva 10). Emulsion stabiiliuteen vaikuttavat tekijät, kuten dispergoituneen aineen pisarakoko, ionisaatio, adsorptio ja kitkakontakti, on eliminoitava tai neutralisoitava emulsiorakenteen murtamiseksi. (5, s. 27.1-27.2.)

Öljyinen jätevesi on O/W-emulsio, jossa vesi voi sisältää mitä tahansa öljytyyppejä useissa eri pitoisuuksissa. Käsittelyprosessissa vapaat öljyt erotetaan painovoimaan perustuvalla erottelulaitteistolla, jossa öljy nousee pintaan Stokesin lain mukaisesti. Öljyteollisuudessa on yleisesti käytössä API-separaattori (American Petroleum Institute Separator), missä jätevesi virtaa horisontaalisesti suorakulmaisessa altaassa tai kaukalossa sekä CPI-separaattori (The Corrugated Plate Interceptor), missä jätevesi ohjataan altaan pohjalla rinnakkain olevien poimuisten levyjen läpi. Molemmissa erotustavoissa pinnalle noussut öljy kuoritaan talteen jatkokäsittelyä varten. Emulgoituneen öljyn erotus tapahtuu kemiallisella käsittelyllä flotaatioprosessissa, jossa kemikaalien avulla flokkuloitu öljy ja kiintoaines nousee veteen lisättyjen ilmakuplien avulla pinnalle jatkokäsittelyyn kuorittavaksi. Flotaatio-erottelussa on valittavissa useita eri toteutusvaihtoehtoja emulsiotyypistä riippuen. Vapaan öljyn erottamisen jälkeen voidaan käyttää myös ultrasuodatusta, jossa hydrofiiliset kalvot pidättävät öljyn, kun taas jätevesi virtaa kalvojen läpi. (5, s. 27.4-27.18.)



Kuva 10. Erilaisia öljyemulsioita (10).

Öljyisistä jätevesistä talteen kerättävät jäteöljyt ovat W/O-emulsioita, joissa pääainesosana on öljy. Nämä erityyppisiä öljyjä ja lietteitä sisältävät viskoosit nesteet voidaan hajottaa kemiallisin ja fysikaalisin menetelmin, esimerkiksi lämmityksen ja linkouksen

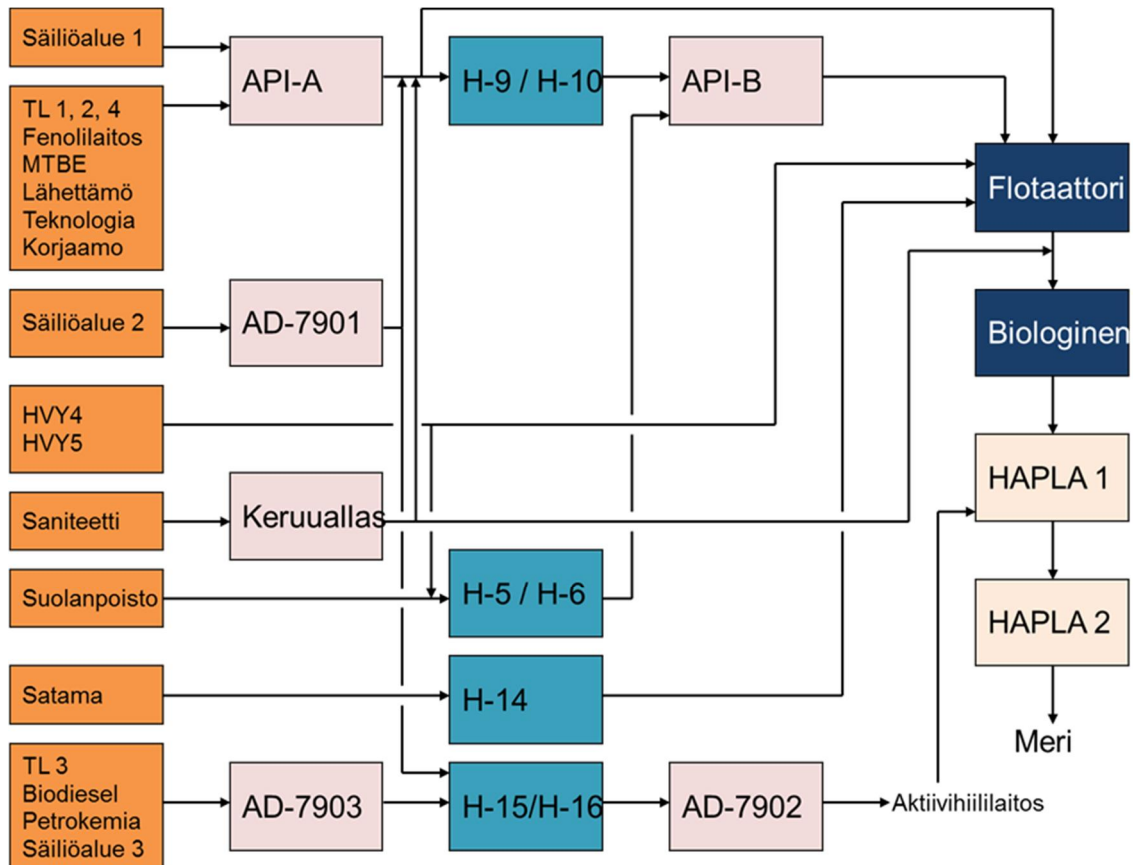
avulla. Saostusaineet ja flokkulantit ovat yleensä tarpeellisia öljyn ja veden erottamiseksi stabiileista emulsioista, kuten öljyisten jätevesien puhdistuksessa syntyvistä öljykuorinoista, koska fysikaalisten menetelmien suorituskyky ei yksinään ole riittävä. (5, s. 27.5.)

3.3 Rasvaiset jätevedet

Esikäsitteilylaitoksen raaka-aineena käytetään tyydyttymättömiä kasvirasvoja ja tyydyttyneitä eläinrasvoja, eli jätevesiin kulkeutuu sekä helposti veteen liukenevia öljymäisiä komponentteja että helposti erottuvia vahamaisia rasvoja, jotka voivat muodostaa veden kanssa vaikeasti hajotettavan pysyvän emulsion. Prosessivesien mukana jätevesilaitokselle kulkeutuvan rasvan määrä on vähäinen, mutta raaka-ainesäiliöiden vesitysvesien, rasvalaivojen tankinpesuvesien sekä esikäsitteilylaitoksen erinäisten pesuvesien aiheuttama rasvakuorma voi olla ongelmallinen etenkin häiriötilanteissa. Jätevesilaitoksen pH:n säätämiseen käytettävä lipeä voi muodostaa runsaan rasvamäärän kanssa saippuamaisen rasvakakun, mikä vaikeuttaa laitoksen vedenpuhdistuskykyä muun muassa heikentämällä mikrobien hapensaantia biologisessa puhdistuksessa ja vaikeuttaa lietteenkäsittelyprosessia aiheuttamalla tukkeumia erityisesti rumpusiivilällä ja dekanteriliggolla. (9.)

3.4 Porvoon jalostamon jätevesilaitos

Porvoon jalostamon jätevesiä käsitellään sekä kemiallis-biologisesti aktiivilietelaitoksella että adsorptioon perustuvalla aktiivihiihilaitoksella. Jätevedenpuhdistuslaitoksella käsitellään kaikki öljynjalostamon alueen ja vieressä sijaitsevan Borealis Polymers Oy:n petrokemian tehtaiden viemäreihin joutuneet tai imuautolla prosesseista tuodut jätevedet, laattavedet, pohjavedet sekä saniteettivedet (kuva 11). Aktiivihiihilaitokselle ohjataan alueen aromaattisia hiilivetyjä sisältävät vedet, joiden puhdistus on turvallisempaa suljetussa prosessissa. Jätevesilaitoksen toiminta on ympäristönsuojelulain ja -asetusten sekä ympäristöluvan alaista, eli ympäristölle erityisen haitallisia tai vaikeasti vaarattomaksi käsiteltäviä jätteitä ja ongelmajätteitä ei vesienpuhdistuslaitokselle johdeta. (11; 12.)



Kuva 11. Porvoon jalostamon jätevesien alkuperä ja virtauskaavio (11, liite1).

Aktiivihiililaitokseen kuuluu kaksi puskurisäiliötä, joilla tasataan tulevia vesivirtoja ja puhdistetaan vettä öljystä viipymän ja lämmityksen avulla. Öljynerotusaltailla jätevesien puhdistus tapahtuu painovoimaan perustuen ja mekaanisesti eli kiintoainesta laskeutuu altaan pohjalle, vesi virtaa välistä jatkokäsittelyyn ja pinnalle noussut öljy kuoritaan kaapimilla jäteöljykäsittelyyn. API- ja AD-altailta sekä säiliöistä vesi johdetaan hiekkasuotimille, joissa vedestä tarttuu kiintoainesta suodatusmateriaalina toimivien antrasiittirakeiden pinnalle. Seuraavaksi vesi kiertää sykloniperiaatteella toimivan hiekanerotussäiliön kautta, jossa edellisestä vaiheesta mahdollisesti veteen karannut hiekka otetaan talteen. Aktiivihiiliasorberit poistavat jätevedestä myös liuenneet hiilivedyt, jotka tarttuvat aktiivihiilen huokoiseen pintaan veden päästessä läpi. Aktiivihiili vaihdetaan adsorbereista säännöllisesti ja regeneroidaan uudelleenkäytettäväksi polttamalla 700–800 °C:n uunissa. (12.)

Aktiivilietelaitos käsittelee suurimman osan jätevesilaitokselle johdetuista jätevesistä. Puhdistusprosessi alkaa mekaanisella puhdistuksella hiekan- ja öljynerotusaltailla, joiden toimintaperiaate on sama kuin aktiivihiililaitoksen altailla. Lietelaitoksen käytössä on

neljä puskurisäiliötä, joiden kautta osa jätevesivirrasta kiertää jatkuvasti. Altailta ja säiliöistä jätevesi ohjataan kemialliseen puhdistusvaiheeseen flotaattorille, jossa veden sekaan syötetään ferrisulfaattia saostamaan epäpuhtauksia ja polymeeriä flokin muodostumisen parantamiseksi. Flotaattorin jatkuvatoiminen yhdistetty pinta- ja pohjalaahain kerää dispersioveden avulla pinnalle nousseen flokin sekä pohjalle painuneen raskaamman sakan lietteenkäsittelyyn. Biologiseen vaiheeseen johdettavan veden pH säädetään tarvittaessa natriumhydroksidin avulla ilmastusaltaiden mikrobimassalle sopivaksi eli neutraalille alueelle. Ilmastusaltaissa biomassa käyttää orgaanisen hiilen lähteenä jäteveden epäpuhtauksia, mutta lisäravinteeksi syötetään fosforihappoa (0,1 mg/l). Ilmastus- sekä erillisen hapenliuotuslaitteiston avulla varmistetaan mikrobien hapensaanti sekä veden sekoittuminen. Seuraavassa vaiheessa aktiiviliete erotetaan painovoimaan perustuen jätevedestä selkeytysaltailla, joita ennen seokseen lisätään laskeutuvuuden parantamiseksi polymeeriä. Selkeytysaltailta puhdistettu vesi virtaa ylitteenä eteenpäin ja pohjalle laskeutunut aktiiviliete pumpataan osittain takaisin ilmastusaltaille ja osittain ylijäämälietteenä lietteenkäsittelyyn. (11.)

Ennen mereen johtamista sekä aktiivihiih- että aktiivilietelaitoksen puhdistetut jätevedet virtaavat kahden erillisen jälkihapetusaltaan kautta. Näiden hapetuslammikoiden tarkoituksena on nostaa veden happipitoisuutta ilmastimilla, mutta mikrobit hajottavat orgaanisia yhdisteitä vielä tässä viimeisessäkin vaiheessa. (11; 12.)

4 Jätevesilietteen käsittely Porvoon jalostamon jätevesilaitoksella

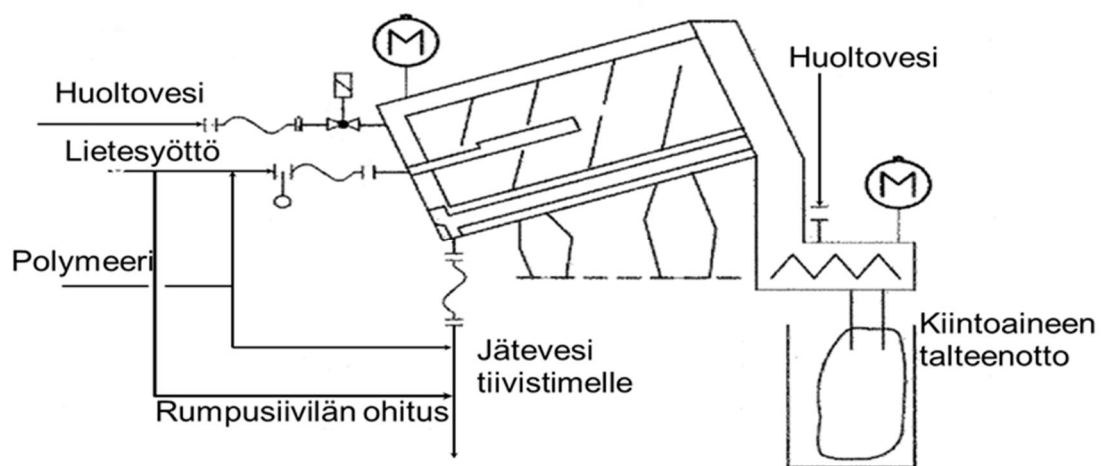
4.1 Lietejakeet

Dekantterilingolla FC-7504 käsitellään jäteveden biologisen puhdistusprosessin flotaatiovaiheesta syntyviä pinta- ja pohjalietteitä sekä selkeytysaltaiden pintalietettä ja ilmastusaltaisiin palautettavasta aktiivilietteestä poistettavaa ylijäämälietettä. Öljyn- ja hiekanerotusaltaiden pohjalietteet voidaan ohjata tiivistimen kautta lingolle FC-7504 tai vaihtoehtoisesti vaahdonkeruusäiliön kautta lingoille FC-7501 ja/tai FC-7502, jotka toimivat myös lingon FC-7504 varalaitteena. Aktiiviliete sisältää mikro-organismien lisäksi muuta orgaanista ainesta, jätevetä, epäorgaanista kiintoainetta sekä polymeeriä ja flotaattorin pinta- ja pohjalietteet sisältävät epäpuhtauksien lisäksi ferrisulfaattia sekä polymeeriä. Flotaation pinta- ja pohjalietteiden sekä ylijäämälietteen laatua voidaan tarkkailla näytteenottopisteistä ennen tiivistintä. (11, s. 14–15; 13, s. 1; 14, s. 1–4.)

4.2 Lietteenkäsittely

4.2.1 Rumpusiivilä

Rumpusiivilän (kuva 12) tarkoituksena on poistaa biologisesta puhdistusprosessista tulevista lietteistä linkousvaihetta hankaloittavat kuitumaiset jakeet sekä karkeat partikkelit. Lietteen flokkulointia varten syötettävän polymeerin annostelu voidaan valita lietetyypin ja operointikokemusten perusteella annosteltavaksi ennen siivilää tai sen jälkeen. Lietemäärälaskelmiin verrattuna siivilä on reilusti ylimitoitettu ja tarvittaessa sen on myös ohitettavissa. (13, s. 2.)



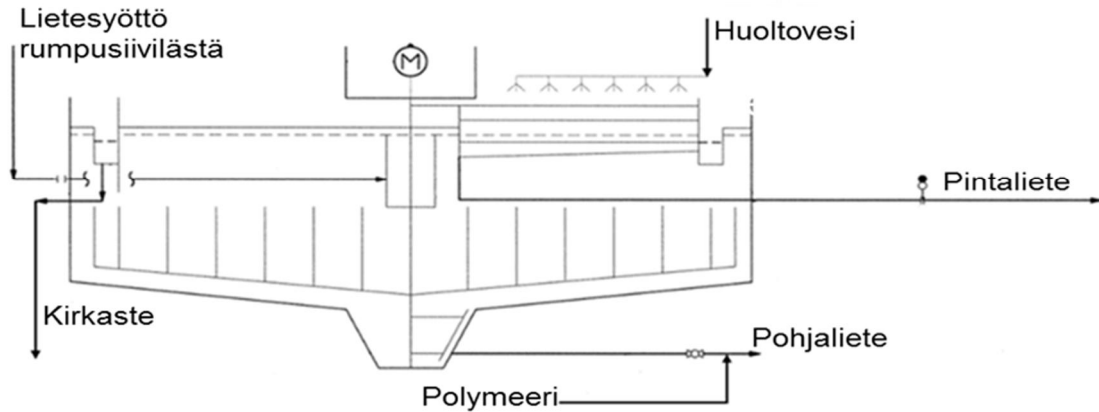
Kuva 12. Rumpusiivilä (14).

Liete johdetaan siivilän pyörivän rummun sisäiseen tuloputkeen, josta siirtoruuvi kuljettaa karkean kiintoaineksen keräilysuppilon kautta säkitettäväksi jätekonttiin. Jätevesi poistuu siivilärummun rei'istä, jotka pidetään puhtaina rumpua vasten pyörivän harjan avulla. Rumpusiivilää huuhdellaan jaksottaisesti erillisellä huuhteluviedellä. Siivilältä jätevesi ohjataan tiivistimelle ja rejekti eli kiintoainekset jätetään jätesäkilliseen roska-astiaan. (13, s. 2.)

4.2.2 Tiivistin

Gravitaatiosaostimessa eli tiivistimessä (kuva 13) käsiteltävä liete jakaantuu painovoiman perustuen kolmeen jakeeseen: kirkasteeseen sekä pinta- ja pohjalieteteisiin, joiden lietemäärälaskelmien mukaiset osuudet ovat noin 44 %, 26 % ja 30 %. Kirkaste ohjataan takaisin jätevesilaitokselle flotaatiovaiheeseen uudelleen käsiteltäväksi. Tiivistimellä

syntyvä pintaliete pumpataan pintalietesäiliön kautta pohjalietteen sekaan ja syntyvä lieteos on lingon FC-7504 syöttöaines. (13, s. 2- 3.)



Kuva 13. Tiivistin (14).

Porvoon jalostamon jätevedenpuhdistamolla tiivistin on rakenteeltaan, kuten gravitaatiotiivistimet yleensä, pyöreä hitaasti pyörivällä hämmentimellä ja pintakaapimella varustettu allas. Jatkuvatoimiselle tiivistimelle ohjattua lietemäärää voidaan tarkkailla flotaattorin pohja- ja pintalietepumppujen sekä biologisen vaiheen ylijäämälietteen syöttöpumppujen painelinjoissa olevien virtausmittausten avulla. Hydrauliseksi kuormaksi tiivistimelle on mitoitettu 100 m³/h. Pinta- ja pohjalietelinjojen näytteenottopisteistä voidaan tarkkailla lietteen laatua. Tiivistimeltä lingoille lähtevän lietteen kiintoainepitoisuus on noussut noin 5 %:iin saapuneen lietteen 0,5- 1,0 %:sta eli kiintoainetta on keskimäärin 50 grammaa litrassa. Polymeeri syötetään tiivistimeltä lähtevään lietelinjaan, joka toimii linkojen lietepumppujen imutukkina. (5, s. 26.3- 26.4; 13; 14, s. 3; 15.)

5 Lietelinko FC-7504

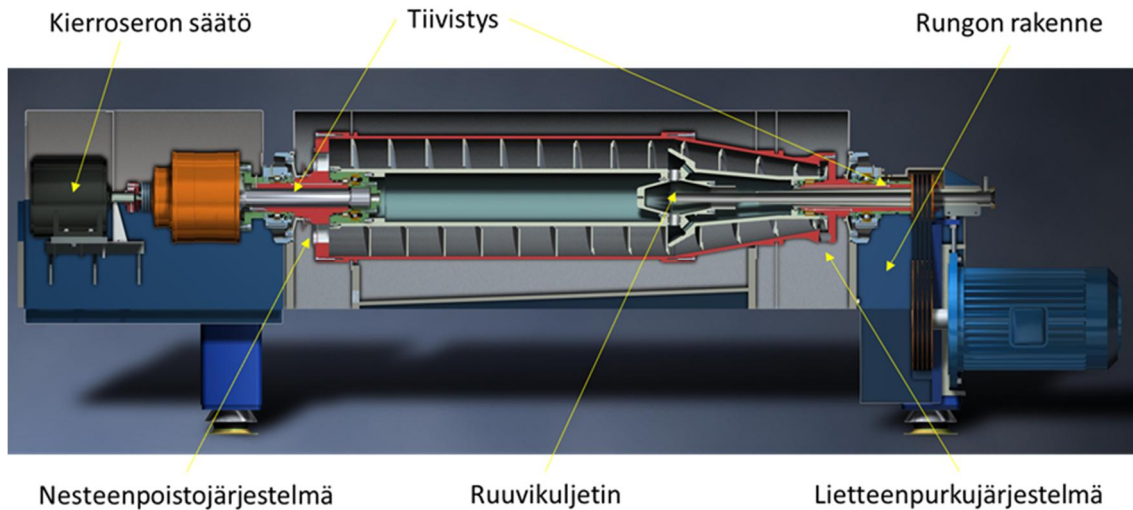
Dekantterilingon optimaalisen toiminnan kannalta vaaditaan syötöksi tarpeeksi tiivistynyt lietepatja, minkä vuoksi linkous ei ole välttämättä jatkuvatoimista. Lietepumppujen pysähtyessä järjestelmä aloittaa automaattisesti lingon huuhtelun kuumalla vedellä (maksimissaan 20 m³/h). Huuhteluohjelman jälkeen syöttöpumput on käynnistettävä uudelleen. Lietteen kiintoaineen ja veden erottamiseksi käytettävä polymeeri voidaan syöttää lingon syöttöpumppujen yhteiseen painelinjaan, tiivistimen pohjalinjaan tai vaahdonkeruusäiliön pohjalinjaan. Lingon suurin rakenteellinen lingottavan lietteen

tiheys on 1,4 kg/l ja sakeutettu liete on kuiva-ainepitoisuudeltaan 15- 20 %, ja se kuljetaan lietesiihosta Ekokemin Riihimäen kaukolämmön tuotantolaitokselle poltettavaksi. Linkouksessa syntyvä rejektivesi ohjataan takaisin jätevesilaitoksen biologiseen puhdistusvaiheeseen. (14, s. 4; 15.)

Koska liete sisältää hiilivetyjä, on jätevesilietelingolla FC-7504 oma kaasunsyöttöjärjestelmä sekä mekaaniset akselitiivisteet syöttöputken ympärillä ja molemmissa päissä runkoa. Lingon kaasutiiviyys varmistetaan kaasunsyöttöyksiköllä, joka seuraa jokaiselle tiivisteelle virtaavan kaasun määrää sekä painetta. Koska tiivistekaasuna käytetään inerttikaasua tyyppiä, on linko- ja lietesiihothuoneissa happianalyysaattorit mahdollisten vuotojen varalta, vaikka typhen matala virtaus tai paine lingolla aiheuttavat hälytyksen ja lukituksen. (14, s. 5; 15; 16, s. 48.)

5.1 Toimintaominaisuudet

Dekantterilinko (kuva 14) FC-7504 saostaa ja kuivaa lietettä pyörimisliikkeen aiheuttaman kiihtyvyyden avulla. Pyörivän rummun ja kuljetinruuvien välille jätetään vaihdelaatikon avulla kierroslukueroa, mikä aiheuttaa maan vetovoimaa tuhansia kertoja suurempia G-voimia. Lingon rumpu pyörii aina kuljetinruuvia nopeammin ja erotustehokkuus kasvaa kierrosluvun kasvaessa. Liete kiihtyy pikkuhiljaa rummun kanssa samaan kierroslukuun, jolloin se laskeutuu keskipakovoiman vaikutuksesta rummun sisäseinämälle erottuen koko rummun lieriöpinnalla. Kuljetinruuvi siirtää lietettä kartiopäätyyn ja lieteporttien kautta ulos rummista. Neste poistuu rejektiaukoista, jotka on varustettu säädettävillä patolevyillä, eli neste ja sakka virtaavat lingossa vastakkaisiin suuntiin. Patolevyillä linkoon saadaan korkeampi nestepinta ja jaetut tilat toimivat kuin kaksi yhtyvää astiaa, mikä mahdollistaa kiintoainehiukkasille pidemmän laskeutumisaajan. Koska liete puristuu nesteen aiheuttaman hydrostaattisen paineen takia ennen poistumistaan patolevyä vasten, saadaan aikaiseksi kuivempi kakku ja puhtaampi rejekti eli ylite. Lingon ruuvi pyörii samaan suuntaan kuin vaippa, jonka on pyörittävä aina nuolen osoittamaan suuntaan, mutta planeettavaihteiston aurinkopyörän akseli voi pyöriä kumpaan suuntaan tahansa. (15; 16, s. 13–16.)



Kuva 14. Dekanterilinko (17).

5.2 Lingon säätö

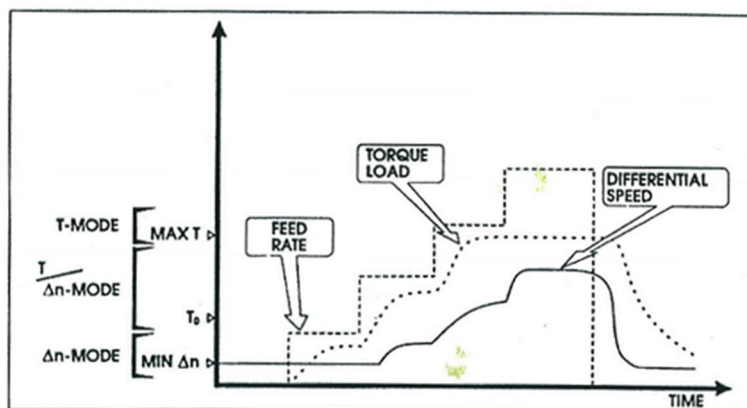
Linko on varustettu automaattisella VFD-säätöjärjestelmällä (Variable Frequency Drive), joka koostuu sähkömoottorista, taajuusmuuttajasta ja DSC-säätimestä (Differential Speed Control). Taajuusmuuttaja ohjaa moottorin kierroslukua ja pyörimissuuntaa DSC-säätimeltä saamansa kierroslukuviestin perusteella. DSC-säädin (kuva 15) tarvitsee tiedot vaihdelaatikon välityssuhteista ja aurinkopyöräakselin sekä rummun kierrosluvuista määrätäkseen kierroseron ja ohjatakseen koko järjestelmää laskemalla mitatun kierroseron ja kuljettimen momentin perusteella kierroslukuviestin. (16, s. 16–18.)

DSC-säädin on kierroslukusäädin, joka muuttaa ruuvikuljettimen momenttikeruun perusteella ruovin kierroseroa (Δn) pitäen syötön virtausmäärästä ja lietepitoisuudesta riippumatta lingon rummussa optimaalisen määrän lietettä. Rummun sisäinen lietemäärä muuttaa kuljetinruovin vääntömomenttia, joka yleensä nousee kierroseron pienetessä parantaen lietteen kuiva-ainepitoisuutta, mutta huonontamalla ylitteen eli rejektin puhtautta. Momentti vastaavasti pienenee kierroseron kasvaessa, koska liete ohjautuu nopeammin ulos lingosta, mutta oikeanlaisilla asetuksilla DSC-säädin osaa etsiä lietteen kuivuuden ja rejektin puhtauden suhteen edullisimman kompromissin. (14, s. 6; 16, s. 115–117.)



Kuva 15. DSC-säätimen ohjauspaneeli

DSC-säätimen toimintaa tarkistaessa tai testauksessa on mahdollista valita manuaalikäyttö, jolloin kierroseroluvuksi jää valintahetkellä voimassa ollut asetusarvo eikä säätöä tapahdu. Kuvassa 16 esitetty DSC-säätimen toimintaperiaatekuvaaja havainnollistaa, kuinka säädin valitsee automaattikäytössä kolmesta ohjaustilasta automaattisesti momentista riippuen suurimman kierroseron vaativan tilan. Δn -tila eli vakiokierroserotila on aktiivisena, jos nestevirtausta ja momenttia ei ole. Tällöin asetusarvona on säätimen pienin sallima kierrosero (MIN Δn), joka ei muutu pienellä syötöllä, vaikka momentti hieman kasvaakin. Momentti (Torque) suurenee syötön kasvaessa, ja saavuttaessaan ennalta valitun asetusarvon eli käynnistysmomentin (T_0) siirtyy säädin T/ Δn -tilaan pyrkien pitämään vakiosuhteen momentin ja kierroseron välillä, kasvattamalla jälkimmäistä. Vakio-momenttitilassa eli T-tilassa asetusarvona on vaihdelaatikon perusteella valittu DSC:n sallima suurin momentti (MAX T), jonka säädin pyrkii pitämään vakiona lisäämällä kierroseroa. T/ Δn -tila saadaan kytkettyä pois valitsemalla maksimimomenttia suurempi käynnistysmomentti, jolloin linkoa voidaan ajaa vakiokierroseron tai vakiomomentin mukaan, mikä on kokemuksen mukaan useimmiten suositeltavin tapa. (16, s. 119–122.)



Kuva 16. DSC-säätimen toimintaperiaatekuva (16, s. 121).

6 Linkouksen ajoparametrit ja optimointi

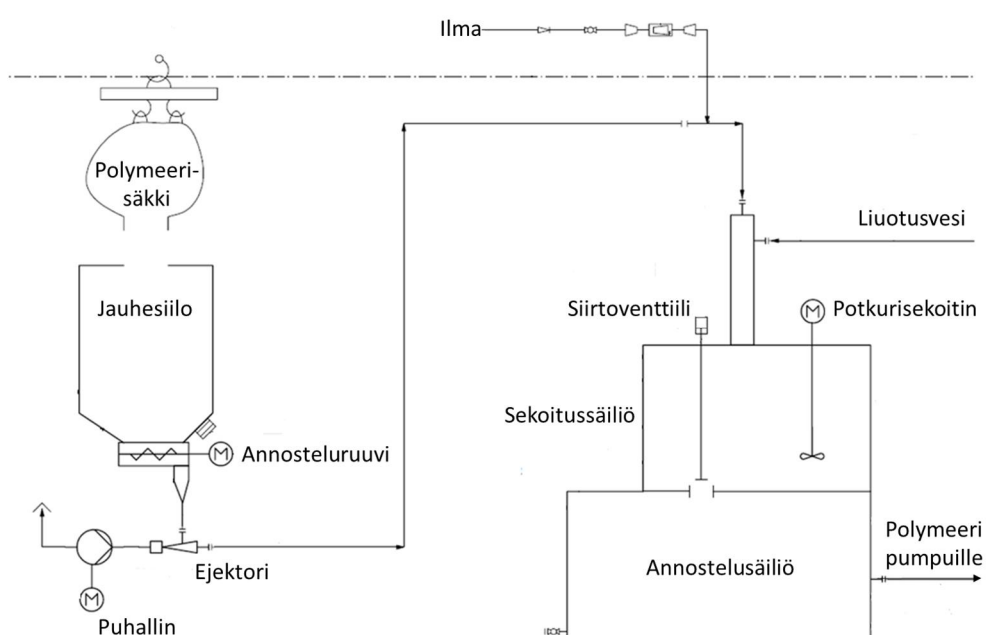
6.1 Syöttö

Lingolle ohjattava syöttö on tiivistimen pohja- ja pintalietteiden seos, joka ohjataan syöttöputkesta lieriö- ja kartiopinnan liittymäkohtaan. Syötettävän lietteen määrä on maksimissaan 30 m³/h, mutta säädetään halutuksi syöttöpumppujen kierroslukua ohjaavalla virtaussäädöllä. Dekanterilingon erotusaste paranee syöttömäärän pienetessä. (13; 16.)

6.2 Polymeeri

Porvoon jalostamon jätevedenpuhdistamolla käytetään sekä kemiallis-biologisessa jäteveden puhdistuksessa että biologisen ja öljyisen lietteen linkouksikäsitelyssä flokkulointiaineena BTC:n (BASF The Chemical companyn Euroopan myyntiorganisaation) jauhe- maista ZETAGÒ 8185 -polymeeriä. Tämä polyakryyliamidi on kationinen, eli jauheella ja siitä runsaan veden kanssa valmistetulla viskoosilla polymeeriliuoksella on positiivinen varaus. Jauhe on hajutonta ja mautonta, mutta voi toistuvassa kontaktissa aiheuttaa ärsytystä iholla, silmissä tai hengityselimissä. Polymeerijauhe muodostaa pölyä ja muuttuu kastuessaan erittäin liukkaaksi eli käsiteltäessä on käytettävä suojaruustusta sekä vältettävä liiallista pölynmuodostusta. Lietelingolle annosteltava polyelektrolyyttiliuos on 0,1-0,2 %:n vesiliuos, jonka avulla voidaan kasvattaa lietteen partikkelien kokoa, jolloin ne erottuvat helpommin. (14, s. 6; 15; 18.)

Jätevesilaitoksella on käytössä kaksi polymeeriasemaa (kuva 17) liotusta ja annostelua varten. Molemmilla asemilla polymeerijauhe puretaan 1 m³:n säkeistä noin 1,4 m³:n jauhesiiloihin, joissa matalan pinnan hälytys kertoo kemikaalin lisästarpeesta. Jauhe liotetaan lämpimään (20-50 °C) veteen liotus- ja annostelulaitteistoissa syöttämällä jauhetta ruuvisyöttimellä liotussäiliöön, johon on valmiiksi ajettu vettä sen verran, että sekoituspotkurien lavat ovat peittyneet ja potkurit käynnistyneet. Haluttu liuosväkevyys säädetään muuttamalla ruuvisyöttimen käyntiaikaa, ja veden annostelu loppuu, kun annostilavuus on saavutettu. Liotussäiliöstä polymeeriliuos siirretään varastosäiliöön, josta liuos pumpataan käyttökohteisiin epäkeskoruuvipumpuilla. (19.)



Kuva 17. Polymeeriaseman periaatekuva (19).

BTC Europe toimii osana BASF:n maailman johtavaa kemikaalitoimitusverkostoa myyden ja markkinoiden lukuisia kemikaaleja teollisuuden eri osa-alueille Euroopassa. Vesienkäsittelyteollisuuteen on tarjolla erilaisia flokkulantteja ja saostusaineita, joita voidaan käyttää yksistään tai erikoiskäsittelyiden lisäaineena veden selkeytyksessä, suspensioiden saostuksessa tai lietteen kuivauksessa. Vesienkäsittelyprosesseihin on tarjolla anionisia, kationisia ja ionittomia polymeerejä joko jauheena, emulsiona tai vesiliuoksena. Ionittomat flokkulantit sekä negatiivisesti varautuneet anioniset polymeerit ovat polyakryyliamideja, joiden moolimassa voi vaihdella matalasta erittäin korkealle. Kationi-

sisä flokkulointiaineissa on polyakryyliamidien lisäksi tarjolla moolimassaltaan vaihtelevia polyetyleeni-iminejä, polyamiineja sekä poly-DADMAC:ja (DiAllyyliDiMetyyliAmmoniumKloridi). (20.)

6.3 Erokierrosluku (Δn) ja momentti (T)

Jätevesilietelinkoa voidaan ajaa DSC-säätimen avulla joko momentti- tai erokierroslukusäädöllä, joista jälkimmäinen on yleisesti ottaen aina käytössä. Erokierrosluku kertoo lingon rummun ja kuljetusruuvien pyörimisnopeuksien välisen eron kierroslukuna (rpm). Kierroslukueron pienetessä vääntömomentti ja lietteen kuiva-ainepitoisuus kasvaa, mutta rejektin laatu voi huonontua. Erokierrosluku on säädettävissä lingon paikallispaneelista ja on näkyvillä automaatiojärjestelmässä. Erokierrosluvun lisäksi lingon rummun kierrosluvun avulla keskipakoisvoima voidaan sovittaa halutulle käyttökohteelle. Erotusaste on parempi suuremmilla kierrosluvuilla, koska suuremmat voimat saavat aikaa pienempiä lietepartikkeleita. (15; 16.)

Erokierrosluku voidaan määrittää värähtelylaskennan avulla, jolloin luku saadaan mittaamalla lingon luota kuultavien ja tuntuvien värähtelyaaltojen määrä yhden minuutin aikana. Kun tiedetään aurinkopyörän akselin pyörimissuunta ja -nopeus sekä vaipan pyörimisnopeus, voidaan erokierrosluku selvittää myös laskennallisesti:

$$\nabla_n = \frac{n_r - (-n_a)}{169} = \frac{n_r + n_a}{169}, \quad (1)$$

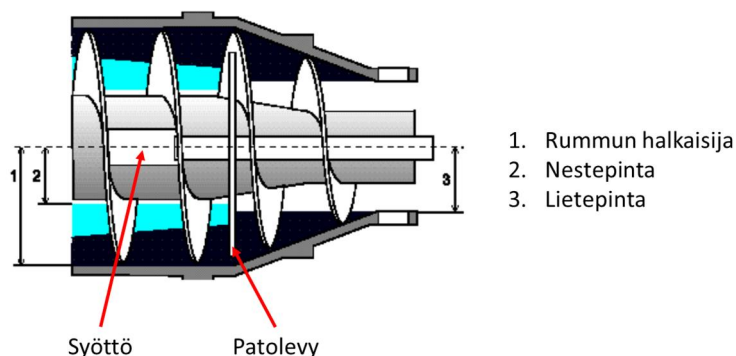
jossa \tilde{N}_n on erokierrosluku (rpm), n_r on vaipan pyörimisnopeus (rpm), n_a on aurinkopyörän pyörimisnopeus (rpm) ja luku 169 on jätevesilietelingon vaihteistovakio. (15.)

Momenttiasetusarvo (MAX T) on valittu vaihdelaatikon mukaan momentin ylikuormitusongelmien välttämiseksi, eli momentin avulla automatiikka kontrolloi lingon syöttövirtausta ja antaa hälytysten avulla tietoa käyttäjille, ettei linkoa ajettaisi tukkoon. (16.)

6.4 Nestesäde

Pato- eli säätölevyjien (kuva 18) avulla voidaan muuttaa lingon nestekerrosta, jolloin saadaan optimaalinen suhde nesteen puhtausasteen ja lietteen kuivuuden välille. Selkey-

tyssyvyyttä nostettaessa liete muuttuu kuivemmaksi, koska korkeampi nestekerros helpottaa laskeuttamaan kiintoaineita, jotka voivat irtoilla liian paksuksi kasvaneen kakku-kerroksen pinnasta. Rejektin puhtaus kuitenkin kärsii kakun kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa, eli nestesäteen valitsemisessa joutuu tekemään kompromissin lingottavan lietteen koostumuksesta huolimatta. (14, s. 6; 16, s. 35; 17; 21, s. 18–123.)



Kuva 18. Nestepinnan säätäminen lingossa patolevyllä (17).

7 Työn tausta ja tavoitteet

7.1 Työn tausta

Lietteen linkoukseen liittyvistä lukuisista muuttujista johtuen lietelingon ajaminen on ollut panostoisista ja ajoarvoiltaan hyvinkin vaihtelevaa. Lingon syöttöaineena pääsääntöisesti toimivan tiivistimen pohjalietteen koostumus voi jätevesilaitoksella vallitsevista olosuhteista riippuen vaihdella huomattavasti. Pohjalietteen sekaan satunnaisesti pumpattava tiivistimen pintaliete on pääsääntöisesti vettä tai vetistä lietettä, mikä pienentää huomattavasti lingon syötön kiintoainepitoisuutta. Lingotun lietteen kiintoaines eli kakku kerätään lietesiiloon, joka tyhjennetään kolme kertaa viikossa, maanantaisin, keskiviikkoin ja perjantaisin. Jos jätevesilaitokselta kertyy vähäisiä määriä lietettä tai lietesiiilo on täynnä, voi linkous olla pysähdyksissä vuorokaudesta kahteen. Koska syötön laatu on vaihtelevaa, ei vakiintuneita joka tilanteessa toimivia ajoarvoja ole löydetty. Viime vuosina lingon toiminnasta ja ajamisesta on järjestetty enemmän koulutusta, jonka pohjalta myös ohjeistusta ajoarvojen suhteen on tarkennettu.

Selkeämpien tuloksien toivossa päätettiin suorittaa koeajo mahdollisimman yksikertaisena valitsemalla vain kolme muuttujaa: lietteen syöttömäärä, polymeerin syöttömäärä

sekä syötön koostumus. Ajatus syötön koostumuksen muuttamisesta testiajojen yhteydessä heräsi, kun rumpusiivilän huollon aikana öljyn- ja hiekanerotuslaitteiden pohjalietteet ohjattiin varotoimenpiteenä tiivistimeltä vaahdonkeruusäiliöön eli niin kutsuttuja hiekoja ei uskallettu ajaa ilman karkeaa erotusta lietelingon syöttöön, vaan ne erotettiin omaksi jakeeksi ja kuljetettiin pelkän säiliössä tapahtuneen painovoimaisen veden erotuksen jälkeen sellaisenaan Ekokemille. Koeajot päätettiin suorittaa vertailun vuoksi samoilla syöttö- sekä polymeerimäärillä pohjalietteiden kanssa ja ilman; syötön laatu voi vaihdella joka tapauksessa molemmissa koeajojaksoissa jatkuvasti. Syöttömäärien muutoksissa päätettiin lähteä testaamaan lingon kuivauskykyä kokemuksen perusteella optimaalisimman ajoalueen lisäksi ajoparametrien ääripäissä.

Tiivistimen pintaliete päätettiin jättää koeajojen ulkopuolelle, koska se on koostumukseltaan hyvin vetistä ja ajetaan lingolle panosajona satunnaisesti vain pintalietekaivon täyttyä. Tiivistin toimii pääsääntöisesti todella hyvin eikä pintalietettä juurikaan muodostu, mutta veden mukana pintalietekaivoon voi kulkeutua tiivistimen pinnalle erottuvia keveitä hiilivety-yhdisteitä.

7.2 Työn tavoitteet

Koeajojen tavoitteena on etsiä optimaalisia ajoarvoja lietteen linkoukseen ja sen myötä tarkentaa ohjeistusta sekä kehittää ajomallia tasaisemmaksi. Lingottu kiintoaine sisältää hiilivetyjä eikä näin ollen kelpaa maanrakennusaineeksi, kuten kunnallisen puolen jätevesiliete. Ekokemin Riihimäen tuotantolaitokselle poltettavaksi kuljetettava liete-kakku laskutetaan painon mukaan, eli ajoarvojen optimoinnilla haetaan myös mahdollisesti kuivemman kiintoaineksen kautta tulevia kustannussäästöjä. Kustannusten kannalta merkittävä on myös flokkulointiaineena käytettävän polymeerin syöttömäärä, joka pyritään mahdollisuuksien mukaan minimoimaan jo nykyisellä ajotavalla. Työn haasteena ovat syötön laadunvaihtelun aiheuttamat hallitsemattomat muutokset sekä niiden mahdollinen tuloksia vääristävä vaikutus.

8 Materiaalit ja menetelmät

Koska lingolle syötettävä liete voi olla laadultaan hyvinkin vaihtelevaa, päätettiin koeajot suorittaa mahdollisimman yksinkertaisena selkeämpien tulosten toivossa. Koeajot jaet-

tiin kahteen kolmen päivän jaksoon, joiden välissä erotettiin lingon syötöstä toiseen säiliöön altaiden pohjilta tulevat raskaammat lietteet ja hiekat. Lietesyötön koostumuksen muuttumisen ja täysin samanlaisten koeajoarvojen kautta toivottiin tuloksiin ajon optimoinnin kannalta tärkeää vertailtavaa dataa. Jokaiselle koeajopäivälle valittiin kiinteät lietteen syöttömäärät 9, 11 sekä 13 t/h ja muuttuvana tekijänä oli polymeerin syöttömäärä, jota annosteltiin päivän aikana minimimäärästä maksimiin eli 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 sekä 1,1 m³/h.

Lietelingolla ajoarvojen muutoksien vasteaika on kohtalaisen lyhyt, joten näytteet otettiin noin tunnin kuluttua muutoksen tekemisestä. Koeajopäivän aamuina otettiin lingon syötöpumpulta näyte tiivistimen pohjalietteestä ennen polymeeriannostelun aloittamista ja jokaisen polymeerin syöttömäärän noston jälkeen otettiin lingolta näytteet kakusta ja rejektistä. Syöttö- sekä rejektinäytteet otettiin yhden litran lasiseen näytepulloon ja kakunäyte kannelliseen noin litran kokoiseen peltipurkkiin. Kokeen alussa päätettiin, että lingon koeajon näytteidenoton hoitaa yksi henkilö, jolloin pystyttiin kirjaamaan ylös myös aistinvaraisia arvioita näytteistä silmämääräisesti tarkastelemalla. Syötöstä ja rejektistä analysoitiin kiintoainepitoisuus ja kakusta kuivajäännös sekä vesi.

Koeajopäiviltä otettiin automaatiojärjestelmästä talteen dataa lingon mittauksista, joiden perusteella voi tehdä johtopäätöksiä lingon toimivuudesta. Mittauksissa näkyy lingolle syötettävän lietteen sekä polymeerin määrän lisäksi normaalijossakin seurattavat momentti, rummun nopeus sekä nopeusero, syöttö- sekä vaihteistopäänlaakerien lämmöt sekä lietsiilon pinnanmittaus. Etenkin momentin perusteella pystyy melko hyvin tekemään päätelmiä syötön kiintoainepitoisuudesta ja näin ollen lingon toimivuudesta eli erotuskyvystä.

Kiintoaineenmääritys tehdään Nesteen laboratoriossa raaka-, jäte- ja purkuvesistä suodattamalla näyte lasikuitusuodattimen läpi vakuumi- tai painesuodatuslaitteen avulla, minkä jälkeen suodatinpaperi kuivataan 105 °C ± 2 °C:n lämpötilassa ja suodatinpaperille jääneen jäännöksen massa punnitaan. Vertailususpensionä käytetään mikrokiteistä selluloosaa ja saannon tulee olla 90–110 %. Kiintoaineen pitoisuus lasketaan kaavasta

$$p = \frac{1000 \times (b-a)}{v} , \quad (2)$$

jossa p on kiintoaineen pitoisuus (mg/l), b on suodattimen massa suodatuksen jälkeen (mg), a on suodattimen massa ennen suodatusta (mg) ja V on näytteen tilavuus (ml). Yli 2 mg/l olevat tulokset ilmoitetaan kahden numeron tarkkuudella. (22.)

Lietteen karakterisoinnissa Nesteen laboratorio määrittää nestemäisistä, tahnamaisista ja kiinteistä lietteistä gravimetrisesti kuiva-aine- ja vesipitoisuuksia, jotka lasketaan liete-näytteen massan muutoksesta ennen ja jälkeen $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$:n lämpötilassa tapahtuvan vakiopainoon kuivatusta. Kuiva-ainepitoisuus w_{dr} (m-% tai g/kg) ja vesipitoisuus w_w (m-% tai g/kg) lasketaan kaavoista

$$w_{dr} = \frac{(m_c - m_a)}{(m_b - m_a)} \times f \quad (3)$$

sekä

$$w_w = \frac{(m_c - m_a)}{(m_b - m_a)} \times f, \quad (4)$$

joissa m_a on tyhjän näyteastian paino (g), m_b on näyteastian sekä kostean näytteen paino (g), m_c on näyteastian sekä kuivatun vakiopainoisen näytteen paino (g) ja f on muunto-kerroin ($f=100$, mikäli tulokset ilmoitetaan m-%; $f=1000$, mikäli tulokset ilmoitetaan g/kg). Lingon syötön kuiva-ainepitoisuuden perusteella voidaan arvioida lingolle syötettävän lietteen määrää sekä sekaan syötettävän flokkulantin, polymeerin, määrää. Kakun kuiva-ainepitoisuuden perusteella voidaan seurata lingon toimivuutta veden ja kiintoaineen erotuskyvyn avulla. (23.)

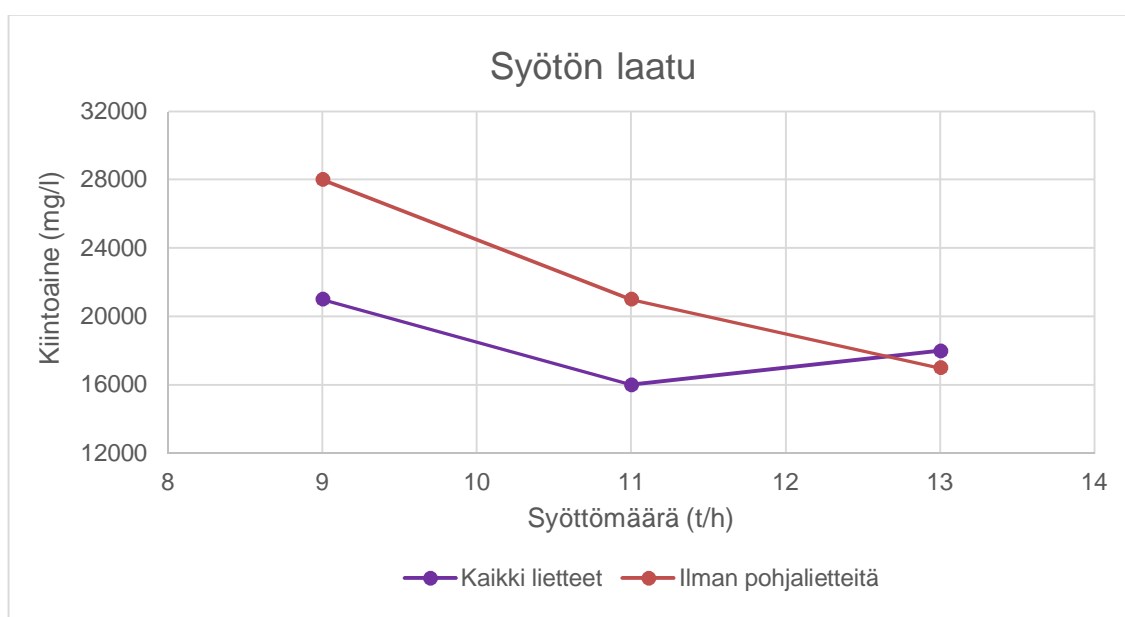
9 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Ensimmäinen kolmen päivän koeajojakso ajettiin lingon normaalilla syöttökoostumuksella, missä on mukana kaikki lietteet tiivistimen vesimäistä pintalietettä lukuun ottamatta. Toinen koeajojakso ajettiin samoilla ajoparametrimuutoksilla, mutta ilman altaiden pohjalietteitä. Näytteenotto pyrittiin toistamaan mahdollisimman identtisenä ja näytteenoton yhteydessä kirjattiin joka kerralla ylös myös silmämääräiset arviot muutoksista.



Kuva 18. Pullonäytteet neljänneltä koeajopäivältä. Vasemmassa laidassa syöttönäyte ja loput viisi päivän aikana kerättyjä rejektinäytteitä polymeerimäärän noston mukaisessa järjestyksessä (0,3–1,1 m³/h).

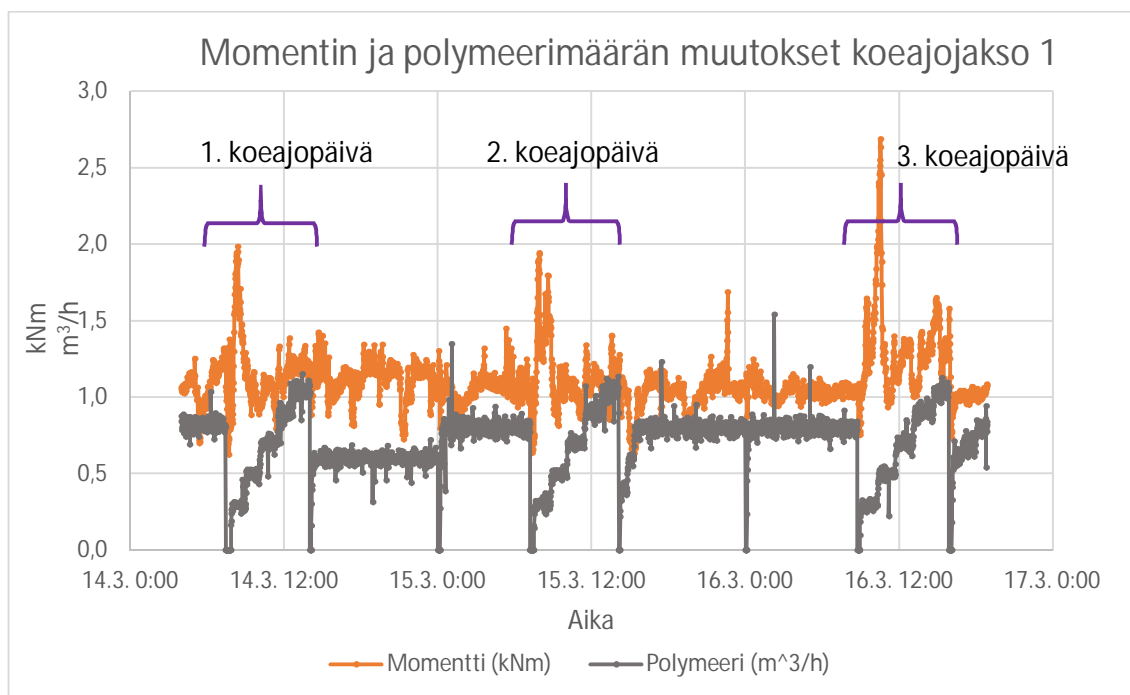
Laboratoriohenkilökunta analysoi näytteet Nesteen Porvoon jalostamon keskuslaboratoriossa sekä teknologiakeskuksen laboratoriossa. Peltipurkkeihin kerätyt kakkunäytteet säilytettiin viileässä, etteivät ne ehtineet kuivua analysointivuoroa odotellessa.



Kuva 19. Lietesyötön kiintoainepitoisuuden muutos koeajojakson aikana.

Lietesyötöstä analysoitu kiintoainepitoisuus (kuva 19) ei vaihdellut merkittävästi ensimmäisen koeajojakson aikana, jolloin syötössä oli kaikki lietteet. Jakson pienimmän ja suurimman pitoisuuden välillä on eroa vain viisi (5) grammaa litraa kohden, minkä uskottiin

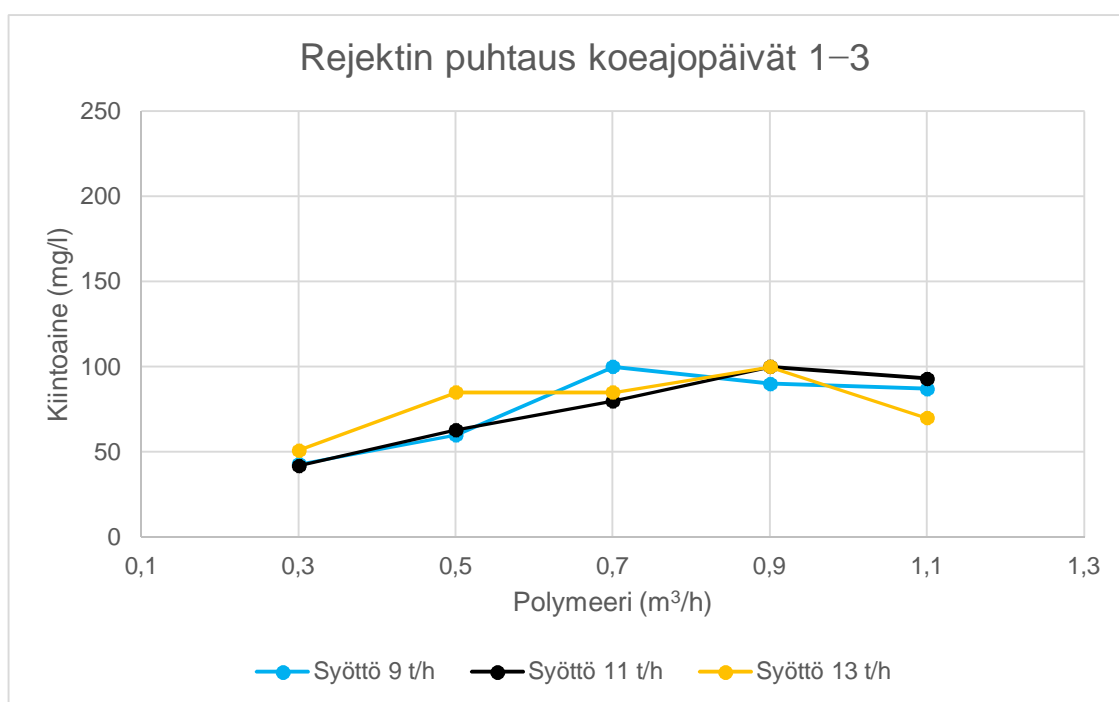
olevan merkitykseltään isommassa mittakaavassa koeajopäiviä keskenään vertailtaessa häviävän pieni. Toisen koeajojakson aikana lingon syötöstä poistettiin altaiden pohjalietteet, mutta kiintoainepitoisuus pysytteli samalla tasolla kuin ensimmäisen jakson aikana. Neljännen koeajopäivän aamuna linkous oli ollut pari tuntia pysähdyksissä eli liete oli hetken aikaa ehtinyt kasaantua tiivistimen pohjalle, mikä näkyi hieman korkeampana kiintoainepitoisuutena. Muina koeajopäivinä linkous oli ollut käynnissä ympäri vuorokauden ja ennen koeajojen alkua linkous oli pysähdyksissä vain lingon huuhtelun ajan. Polymeeri annosteltiin tiivistimen pohjalinjaan eli lietepumpun imupuolelle, minkä vuoksi linkous oli katkaistava jokaisen koeajopäivän aluksi, että saatiin puhdas syöttönäyte.



Kuva 20. Polymeeriannostelun ja momentin muutokset ensimmäisen koeajojakson aikana.

Syöttöaines oli ollut jo pidemmän aikaa melko vähäistä tai vesimäistä, koska jätevesilaitoksella tilanne oli ollut kevään aikana rauhallinen eikä ylimääräiset kuohunnat olleet aiheuttaneet lietemäärässä muutoksia. Lietteen alhaisempi kiintoainepitoisuus oli huomattavissa myös lingon ajoparametreissa ennen koeajoja ja niiden aikana, koska momentti pysytteli pääsääntöisesti alarajan (1 kNm) tuntumassa ja kakkua kertyi lietesiloon heikonlaisesti. Momentin tavoitearvo on 2 kNm, mitä suuremmilla momenteilla lingon DSC-säädin alkaa nostaa lingon kierroserolukua pitääkseen momentin tavoitearvossa. Kuvassa 20 on piirrettynä ensimmäisen koeajojakson aikainen polymeerin annostelumää-

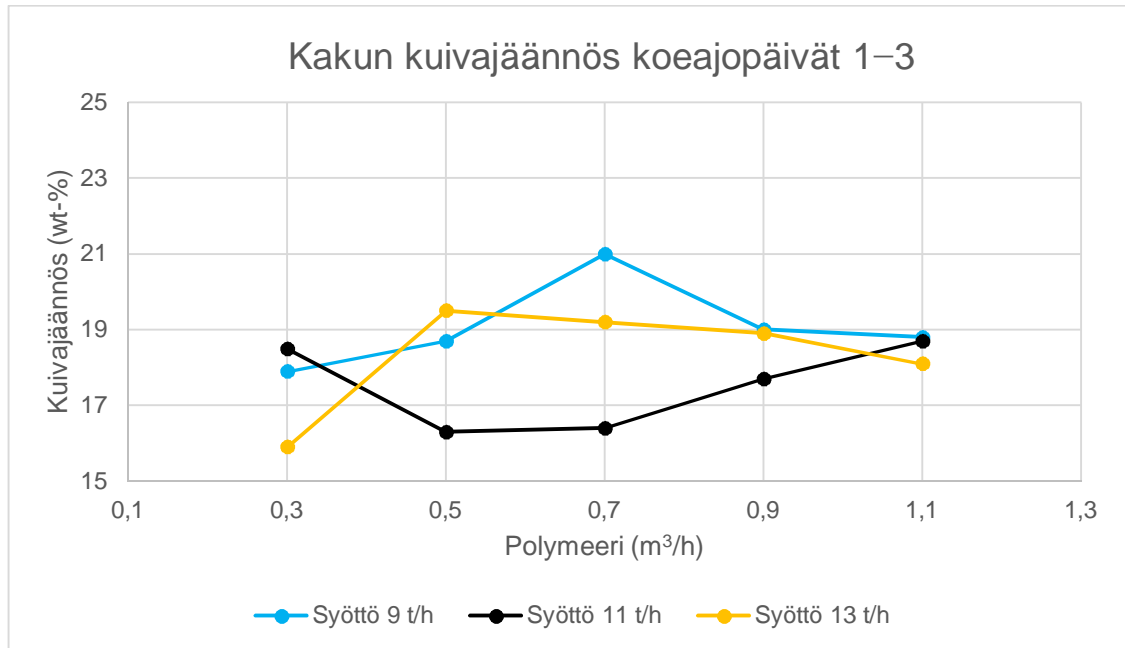
rän sekä momentin mittausdata, josta on nähtävissä selkeät momentin nousupiikit kolmen ensimmäisen koeajopäivän alussa pienimmällä polymeerimäärällä. Koeajopäivien välissä linkoa ajettiin normaalisti, eli pidemmän aikaa samalla polymeeriannostelulla, mikä näkyy myös tasaisempuna momenttina. Kolmantena koeajopäivänä momentti oli keskimäärin korkeampi kuin kahtena ensimmäisenä päivänä, mutta kuvaajasta on nähtävissä suurempaa huojuntaa, minkä voi aiheuttaa korkeamman syöttömäärän mukanaan tuoma ajon epävakaisuus. Aiemmat käyttökokemukset ovat osoittaneet linkouksen olevan tasaisempaa pienemmillä syöttömäärillä.



Kuva 21. Rejektin kiintoainepitoisuus ensimmäisen koeajojakson aikana, mukana kaikki lietteet.

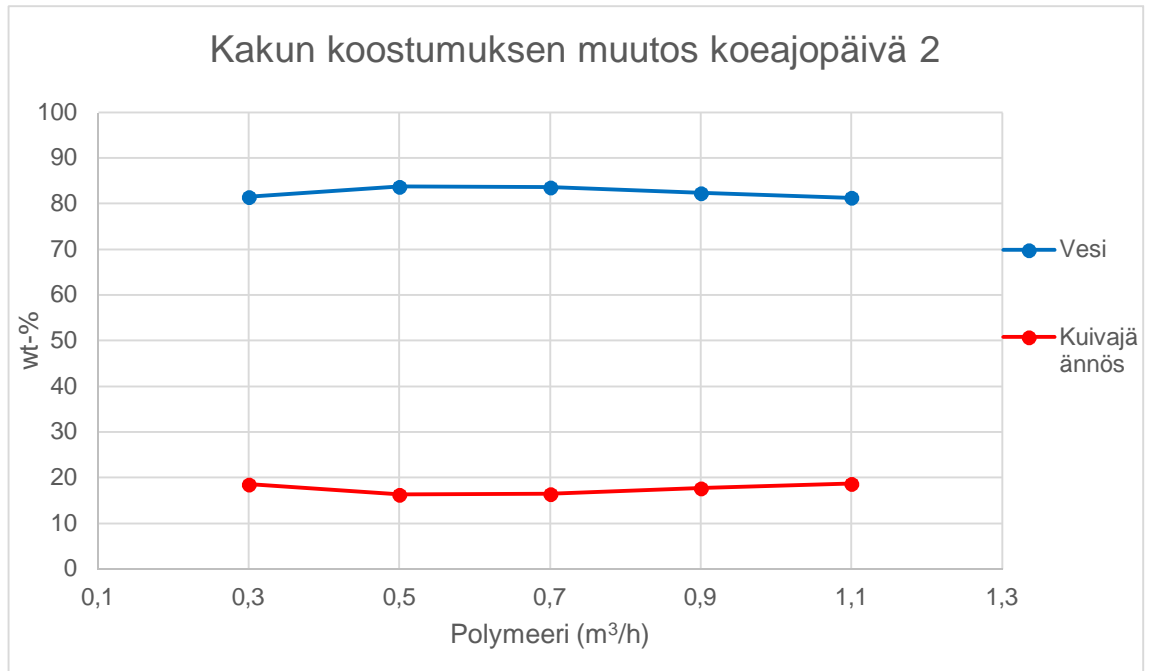
Ensimmäisen koeajojakson aikana mitatut rejektin kiintoainepitoisuudet (kuva 21) noudattivat syötön määrästä riippuen samansuuntaista trendikäyrää, etenkin pienimmillä ja suurimmilla polymeeriannosteluilla. Pienimmällä annostelulla rejektivesinäyte oli silmämääräisestikin tarkasteltuna kirkkain jokaisella syöttömäärällä. Isompien kiintoainepartikkeleiden määrä oli todella vähäinen kaikissa näytteissä, mutta rejektin väri muuttui selkeästi rusehtavaksi kiintoainepitoisuuden nousun myötä. Suurimmalla polymeerimäärällä kiintoainepitoisuus lähti laskemaan uudestaan alaspäin, mutta silmämääräisesti tarkastelemalla näytteet olivat sameita. Luultavammin sameus aiheutui liian korkeasta annostelumäärästä eikä polymeeriliuos enää flokkuloitunut täysin lietteen kanssa kakuksi, vaan kulkeutui osaksi suoraan ylitteen puolelle.

Puhdasta rejektiä haettaessa voidaan näiden testausten perusteella todeta, että polymeeriä kannattaa annostella lingon syöttöön mahdollisimman vähän, ainakin vähäisellä tai vesimäisellä lietesytöllä. Jos linkouksen tavoitteena olisi vain saada mahdollisimman vähäisen kiintoainemäärän sisältävä ylite, olisi ensimmäisen koeajojakson tuloksista luettavissa selkeät kustannussäästöt.



Kuva 22. Kakun kuivajäännös ensimmäisen koeajojakson aikana, mukana kaikki lietteet.

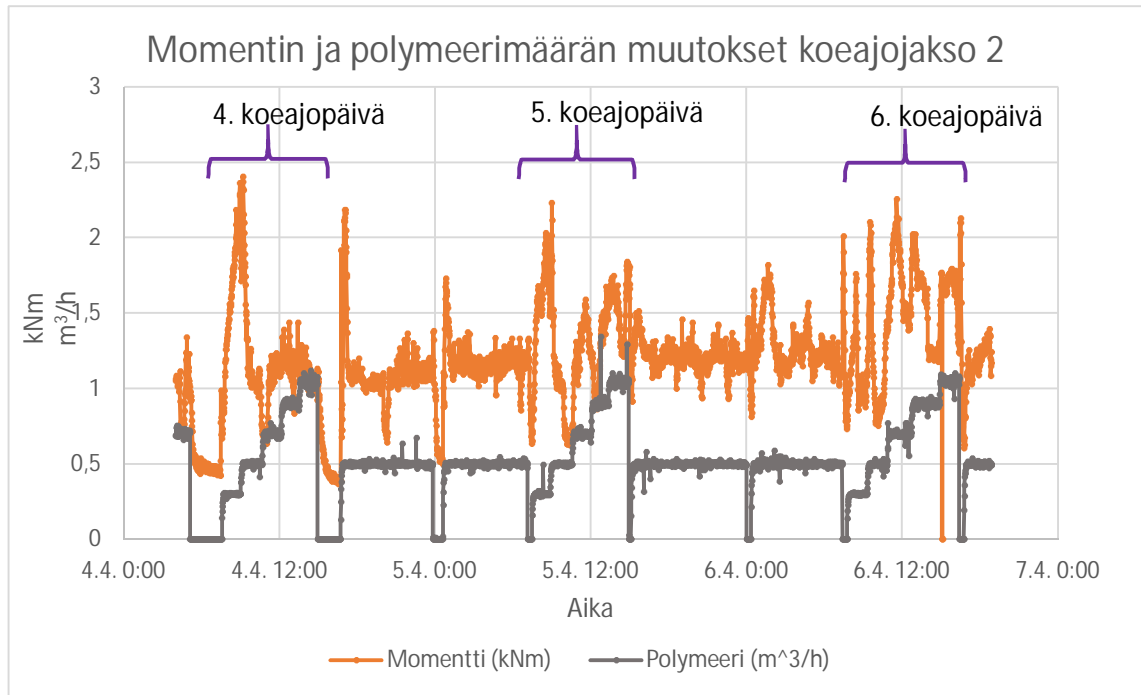
Kakun kuivajäännöskäyrät (kuva 22) esittävät, kuinka keskimmaisella syöttömäärällä (11 t/h) polymeerimäärän lisääminen aiheutti ensin nousua kakun vesipitoisuudessa ja kuivajäännös lähti nousuun vasta suurimmilla annosteluilla, mikä oli päinvastaista kahteen muuhun ensimmäisen jakson koeajopäivään verrattuna. Pienemmällä skaalalla tarkasteltaessa näyttää, että massaprosenteissa olisi suuriakin eroavaisuuksia, mutta todellisuudessa muutokset ääripäiden välillä jäävät viiden prosenttiyksikön sisälle, mikä ei ole merkittävää kustannussäätöjen kannalta tarkasteltuna. Tämä ilmenee hyvin, kun sekä vesipitoisuus että kuivajäännös piirretään samaan kuvaajaan jokaiselta koeajopäivältä erikseen, esimerkkinä toisen koeajopäivän tulokset (kuva 23).



Kuva 23. Kakun kuivajäännöksen ja vesipitoisuuden muutos toisena koeajopäivänä.

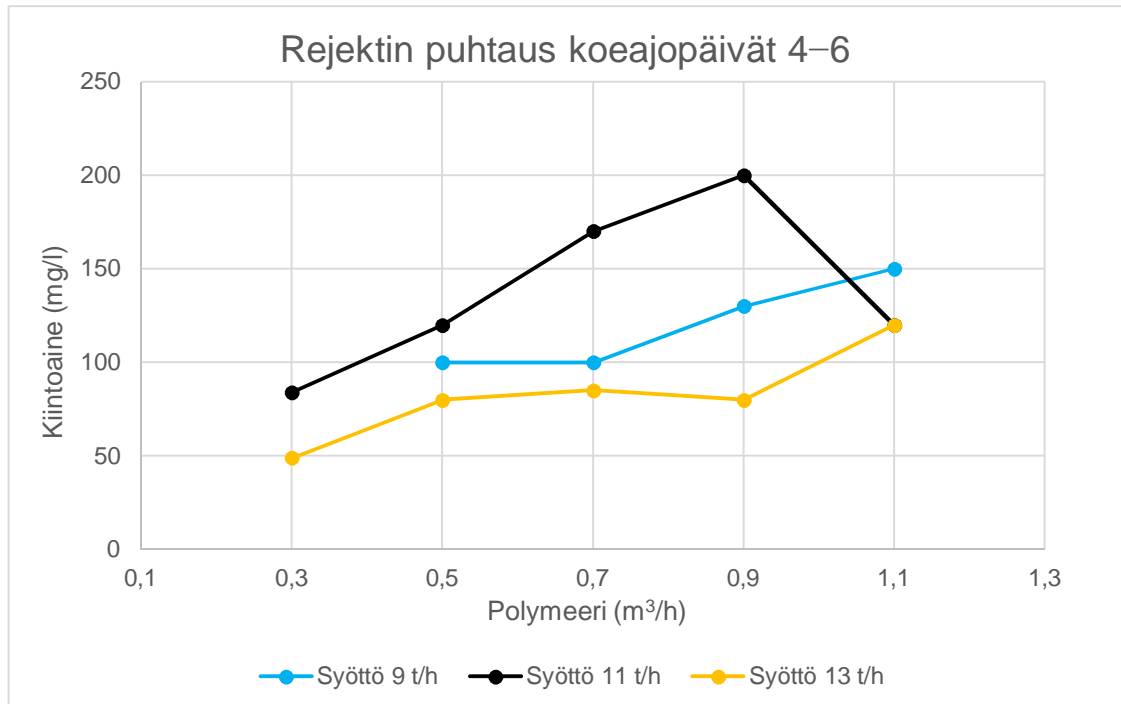
Ensimmäisen koeajojakson tuloksista voi kuitenkin päätellä, että lingon syöttömäärän muuttuessa polymeerin annostelumäärä on arvioitava uudelleen. Pienimmällä ja suurimmalla syötöllä kakku oli kuivinta polymeeriannostelun keskivaiheilla, kun taas keskimmaisella syöttömäärällä annostelun ääripäissä. Kakun määrä vaihteli koeajopäivien aikana jonkin verran, eli puolen litran näytteen kasaan saamisen kesto vaihteli 10–30 minuutin välillä. Silmämääräisesti kakku näytti joko kosteammalta tai todella kuivalta, mutta laboratorioanalyysiin verrattuna aistinvaraisiin määrittelyksiin ei kakkunäytteiden kohdalla ole täysin luottamista.

Rejeki- ja kakkunäytteitä vertailtaessa tulee hyvin ilmi linkouksen teoria eli ylitteen puhkaus kärsii kakun vesipitoisuuden pienetessä. Toisen koeajopäivän tulokset tosin sovitvat tätä teoriaa vastaan, mutta toisaalta keskimmaisella syöttömäärällä kuivajäännöksen muutokset koeajojen aikana ovat kaikista pienimmät eli kakun vesipitoisuuden määrä vaihteli vain 2,4 prosenttiyksikön sisällä. Polymeerin annostelumäärällä ei ole suurta vaikutusta kakun vesipitoisuuteen, eikä selkeää suuntausta vesipitoisuuden nousuun polymeerimäärän kasvaessa löytynyt näiden koeajojen perusteella. Ylen määrin flokkulointiainetta ei kuitenkaan kannata annostella, koska se on kallista eikä sitä hyödytä ajaa ylitteen puolelle.



Kuva 24. Polymeeriannostelun ja momentin muutokset toisen koeajojakson aikana.

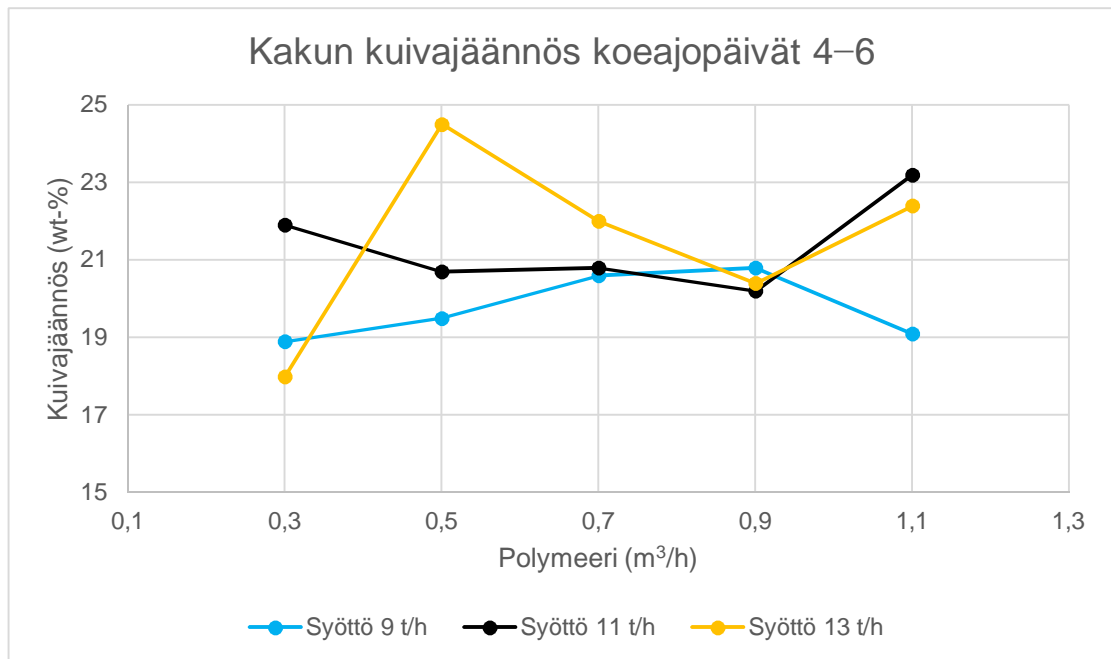
Toisen koeajojakson ajalta kerätty mittausdata (kuva 24) näyttää hyvin samankaltaiselta kuin ensimmäisellä jaksolla. Lietteen määrä oli pysynyt alhaisena tai vesimäisenä myös koeajojen välisenä aikana, eli syöttöaineen koostumus ei juurikaan muuttunut koeajojaksoille muuten kuin pohjalietteet erottamalla. Myös koeajopäivien väliseltä ajalta on luetavissa, että momentti nousi hetkellisesti korkeammalle tasolle aina lingon huuhtelun jälkeen. Suuremmilla syöttömäärillä momentti heitteli melko paljon koeajojen aikana verrattuna välille jääviin tasaisen syöttövirtauksen ajoihin, mutta selkeästi lähemmäksi tavoitearvoa päästään suuremmilla polymeeriannosteluilla. Ensimmäiseen koeajojaksoon verrattuna momentti pysytteli aavistuksen paremmalla tasolla, etenkin viidennen ja kuudennen koeajopäivän välisellä tasaisen ajon jaksolla. Neljännen koeajopäivän alkuun osuva isompi momenttipiikki korreloi suoranaisesti koeajojakson korkeimman kiintoainepitoisuuden sisältävän syöttönäytteen kanssa. Tämä oli ainoa koeajopäivä, jolloin lienkous oli ollut hetkellisesti pysähdyksissä eli liete oli ehtinyt tiivistyä muutaman tunnin ennen koeajojen aloittamista.



Kuva 25. Rejektin kiintoainepitoisuus toisen koeajojakson aikana, ilman pohjalietteitä.

Toisen koeajojakson rejektinäytteiden kiintoainepitoisuuskäyrät (kuva 25) muodostuivat hyvin pitkälti sanakaltaisiksi kuin ensimmäisinä koeajopäivinä kaikkien lietteiden kanssa. Ainoastaan neljännen koeajopäivän pienimmän polymeeriannostelun näyte oli täysin skaalan ulkopuolella, mikä johtui selkeästi siitä, että linkous oli ollut pysähdyksissä muutamien tunteiden ennen testiajojen aloittamista. Syötön koostumus oli siis päivän alussa sen verran tiiviimpää, ettei pieni polymeerimäärä flokannut kakkuaan kaikkea kiintoainesta ja se karkasi reiluna määränä ylitteen puolelle. Tämä oli huomattavissa myös silmämääräisesti, sillä neljännen koeajopäivän ensimmäinen rejektinäyte oli täysin musta (kuva 18). Koska ensimmäisen näytteen poikkeavan tuloksen syy oli ajotavassa, päätettiin se jättää pois kuvaajasta.

Molemmilla jaksoilla kiintoaineen määrä kasvaa polymeerisyöttöä lisäämällä, mutta ilman pohjalietteitä ajettaessa rejektin kiintoainepitoisuus oli pääsääntöisesti korkeammalla tasolla kuin kaikkien lietteiden linkouksessa. Silmämääräisesti tarkasteltuna molempien jaksojen rejektinäytteet noudattivat pääsääntöisesti samaa linjaa eli olivat pienimmillä polymeerimäärillä kirkkaimpia. Näytteiden väri muuttui lisäysten myötä ruskeammaksi ja korkeimmilla polymeeriannosteluilla sameaksi.



Kuva 26. Kakun kuivajäännös toisen koeajojakson aikana, ilman pohjalietettä.

Toisella koeajojaksolla kakkunäytteiden kuivajäännöstuloksista piirretyt kuvaajat (kuva 26) ovat syöttömäärilleen hyvin samansuuntaiset kuin ensimmäisellä koeajojaksolla. Keskimmaisella syötöllä vesipitoisuus lähti kasvamaan polymeerin lisäyksen myötä ja vain suurin annostelu sai kuivajäännöksen nousemaan yli lähtötason. Silmämääräiset tarkastelut pitivät paikkansa vain pienimmällä syöttömäärällä, koska kakku näytti lisäyksen jälkeen kuivemmalta. Viidennen ja kuudennen päivän kakkunäytteiden aistinvarainen arviointi kakun kuivuudesta erosi analyysien mitatuista, eli pienellä skaalalla liikuttaessa on todella vaikeaa nähdä eroavaisuuksia kakun koostumuksen muutoksista pelkästään silmin. Suurimmalla syötöllä saatiin toisen koeajojakson pienin ja suurin kakun kuivajäännös, mikä voi selittyä koko koeajojen epävakaimmilla ajoparametreilla. Momentin huojuminen laidasta toiseen saattoi vääristää myös tuloksia, koska näyte oli aikataulutettu haettavaksi noin tunti polymeeriannostelun noston jälkeen, eikä vakaan näköistä linkousta näyttänyt piirtojen mukaan olevan missään vaiheessa päivää. Toisaalta keskimmaisella syötöllä kuivajäännöstuloksissa ei ole suuria eroavaisuuksia, vaikka momenttitrendin mukaan linkous ei ole ollut kovinkaan tasaista.

Kuten kuvasta 26 on luettavissa, kakun vesipitoisuus jäi ilman pohjalietettä ajettaessa keskimäärin pienemmäksi kuin ensimmäisellä koeajojaksolla (kuva 23). Toisellakin jaksolla veden määrän muutokset olivat pääsääntöisesti prosentuaalisesti melko vähäisiä, ainoastaan suurimmalla syöttömäärällä saadut tulokset aiheuttavat hajontaa. Isoimmilla

syöttömäärillä ja suurimmalla polymeeriannostelulla kakun vesipitoisuus oli koeajojen pienimpiä, mutta rejektinäytteet olivat sameita ja tummahkoja. Vaikka rejektin puhtaus ei ole pääasiallinen tavoite linkouksessa, on luultavammin näytteisiin sameuden aiheuttaneen polymeerin ajaminen ylitteen puolelle hieman haaskausta.

Kakun määrän muodostumista on hankala laskea, koska lietesiihosta mitataan vain pintaa, joka elää jatkuvasti linkouksen ollessa päällä. Mahdollisia kustannussäästöjä laskettiin muutaman todella karkean esimerkin avulla, koska ei voida verrata keskenään kullakin syöttö- ja polymeerimäärällä syntyvää kakun määrää. Lietekakun kuljetuskustannusten kannalta muutaman prosenttiyksikön muutoksilla ei ole merkittävää vaikutusta, koska säästötkin jäävät silloin vain muutamaan prosenttiin. Lietteen kuljetus poltettavaksi Ekokemille on vuositasolla suuri menoerä ja haettavien kustannussäästöjen haluttaisiin olevan merkittävä, jolloin prosentuaalisesti osuuden tulisi olla alle viiden sijasta kymmenien tasolla.

10 Yhteenveto ja pohdintaa

10.1 Yhteenveto

Koska ennen ensimmäisen koeajojakson alkua lingon momentti oli pysytellyt viikon verran alarajalla (noin 1 kNm) ja kakkua oli kertynyt lietesiihoon normaalia huonommin, pysyttiin päättämään tiivistimeen kertyneen lietteen olevan määrältään vähäistä tai koostumukseltaan vesimäistä. Ei kuitenkaan lähdetty keräämään paksumpaa lietesyöttöä linkouksen lopettamisella, koska haluttiin koeajotilanteen olevan mahdollisimman vähän etukäteen järjestetty ja näin paremmin vastaavan normaalia prosessia, missä olosuhteet ovat harvoin ennalta arvattavat. Onneksi prosessiolosuhteet eivät juurikaan muuttuneet koeajojaksojen välillä ja toisella jaksolla lähtötilanne oli hyvin samankaltainen. Prosessikuvauksen mukaan tiivistin sakeuttaa lietteen kiintoainepitoisuuden 1 %:sta 5 %:iin. Tähän verrattuna syöttöaines ei näytteiden mukaan lietteen vähäisestä määrästä johtuen ollut juurikaan ehtinyt tiivistyä, mikä tukee ajoarvojen perusteella tehtyä havaintoa.

Kun lingon käyttäytymistä seurattiin eri syöttömäärillä, varmistui etukäteen parhaaksi ajateltu ajotapa vakaimmaksi. Lingolle on prosessisuunnittelussa tilattu maksimikapasiteetiltaan 30 t/h painavat syöttöpumput, joita ajetaan pääsääntöisesti lähes nolllatehoilla. Koeajojen suurimmalla syötöllä ajettaessa tulokset olivat kuitenkin ihan hyvällä tasolla,

vaikka momenttia seurattaessa linkous oli todella epävakaa. Myös valmistaja on suositellut viime vuosien linkokoulutuksissa pienemmällä syöttömäärällä ajamista paremman linkoustuloksen saavuttamiseksi.

Rejektin puhtautta tarkkaillaan säännöllisesti kenttäkierroksilla silmämääräisesti, jolloin kiintoainepitoisuutta arvioidaan lähinnä värin perusteella. Jos rejekti on todella tummaa, lisätään yleensä polymeerin määrää. Rejektin puhtaus ei kuitenkaan ole lingon ajon optimoinnin kannalta tärkein parametri, koska ylitevesi ajetaan uudelleen jätevesilaitoksen kiertoon takaisin ja yleensä kuivemman kakun aikaansaamiseksi rejektin laatu kärsii. Toki ylitteen puhtaus on lingon momentin ja lietteestä syntyvän kakun määrän perusteella helpoimpia näkyviä merkkejä linkouksen toimivuudesta. Koeajojen perusteella puhtain rejekti saavutettiin pienimmällä polymeeriannostelulla, mutta tulosta voi vääristää lingon huuhtelu jokaisen koeajopäivän aamuna eli alhaisimmalla polymeerimäärällä ajettiin aina puhtaimmalla lingolla. Tästä syystä kokeet olisi ollut hyvä satunnaistaa.

Prosessikuvauksen ja valmistajan mukaan lingolla tulisi päästä noin 15–20 %:n kiintoainepitoisuuteen. Tähän verrattuna koko koeajon tulokset ovat varsin hyvällä tasolla, koska keskimäärin kuivajäännös oli lähempänä 20 prosenttia. Kun altaiden pohjalietteet jätettiin pois syötöstä, laski kakun keskimääräinen vesipitoisuus kaikilla syöttömäärillä. Polymeerin annostelumäärien vaikutuksesta kakun kuivuuteen ei voinut vetää suorja johtopäätöksiä, koska syöttömäärän ja momentin vaihtelut muuttivat selkeästi lingon käyttäytymistä sekä lietesytöstä muodostuvan kakun määrää. Koeajojen perusteella voitaisiin sanoa, että lingolla saadaan lietteestä jo nykytilanteessa irti suurin mahdollinen vesimäärä eli nykyinen ajomalli vaikuttaa toimivalta. Koeajot ideaalisten ajoarvojen hakemista varten haluttiin suorittaa, koska sellaisia ei ole koskaan aiemmin tehty, mutta optimoinnin suhteen ei näistä koeajoista saanut tarkkoja ohjeistuksia tulevaisuutta varten. Linkoa on ajettava jatkossakin tilanteen mukaan tarkkailemalla ajoarvoja, joista tärkeimpinä kakun ja rejektin laatu sekä momentti. Ainoastaan polymeerin kohdalla täytyy huomioida se, ettei annostelua nosteta suotta paremman momentin saavuttamiseksi, koska ainakin syötöllä, jossa on pienempi kiintoainepitoisuus, lähtee polymeeri lopulta karkaamaan rejektin puolelle.

Tarkemmat kustannuslaskelmat päätettiin jättää tekemättä, koska tuloksia tarkasteltaessa huomattiin kakun kuiva-ainepitoisuuden olevan jo nykyisellään hyvällä tasolla. Koeajoista ei myöskään löytynyt selkeitä optimaalisia ajoarvoja, joista olisi voinut vetää johtopäätökset kustannustehokkaimmalle ajomallille. Lingolla päästään koeajojen mukaan

jo nykyisellään parhaimmillaan valmistajan lupaamaa kuiva-ainepitoisuutta kuivempaan lietekakkuun.

10.2 Pohdintaa

Tuloksien valossa jatkokokeiden ajaminen lingolla ei ole lähitulevaisuudessa suunnitelmassa. Koska seurattavia parametreja on vähänlaisesti ja syöttöaineksen laatu vaihtelee, on erilaisten testien järjestäminen lingolle hankalasti suunniteltavissa. Näiden koeajojen perusteella voisi tulevaisuudessa kokeilla lingota eripaksuista lietettä eli kerättäisiin tiivistimen pohjalle sakeampaa syöttöä esimerkiksi pysäyttämällä linkous ennalta määrätyiksi ajoiksi ennen kokeita. Tämä voi olla haasteellista järjestää, jos prosessiolosuhteet eivät ole todella vakaat. Jätevesilaitos voi kuohahtaa hyvinkin nopeasti, jos jalostamolta pääsee väärää prosessivirtoja vesien sekaan, ja tällaisissa häiriötilanteissa lietettä voi olla äkkiä todella suuria määriä. Toinen kokeilun arvoinen asia voisi olla polymeerimäärän muutosten tekeminen satunnaisessa järjestyksessä koeajojen aikana. Näissä kokeissa oli selvästi nähtävissä, että testipäivien ensimmäiset näytteet olivat pääsääntöisesti hyvällä tasolla, vaikka polymeerimäärät olivat todella matalat niin sanottuun normaalitasoon verrattuna. Luultavammin tämä johtuu siitä, että linko huuhdeltiin jokaisen koeajopäivän aamuna, että saataisiin polymeeritön syöttönäyte ja kokeet päästäisiin aloittamaan jotakuinkin samalta viivalta. On vaikea uskoa, että linkous toimisi ideaalisesti pidempää jaksoa pienimmällä polymeeriannostelulla ajettuna.

Yksi ajon optimointiin liittyvä kokeilun arvoinen asia tulevaisuudessa voisi olla lingon erilaisten säätöpalojen eli patolevyjen vaihtamisen vaikutus kuivaustulokseen. Lietelingossa on ollut vuosia samanlaiset prosessisuunnittelun ja valmistajan aikoinaan yhdessä valitsemat keskimääräiselle lietteen laadulle tarkoitetut niin sanotut perusosat. Toisaalta pelkkä jätevesiliete tuskin vaihtelee laadultaan niin paljon, että tällä saavutettaisiin sen suurempia muutoksia nykytilanteeseen verrattuna. Ajokokemuksia säätöpalojen vaihtamisesta löytyy toiselta dekanterilingolta, jolla puhdistetaan kiintoainepitoista hylkyöljyä tai kuivataan isomman lingon huoltojen ajan jätevesilietettä eli syötön koostumus voi vaihdella todella suuresti. Näistä kokeiluista on monenlaisia lopputulemia, joissa linko on saattanut toimia todella hyvin pitkän aikaa patolevyjen vaihtamisen jälkeen, mutta myöhemmin ajaminen on pahimmassa tapauksessa muuttunut mahdottomaksi. Ehkä pel-

kästään jätevesilietekäytössä olevalle lingolle optimaalisten säätöpalojen löytyminen kokeilemalla voisi olla helpompaa tasalaatuisemman syöttöaineksen takia, mutta parantaisiko tämäkään käytännössä lingon kuivaustehokkuutta.

Lietteen kuljetuksesta ja poltosta syntyvät kustannukset ovat vuositasolla iso menoerä, mutta lingon ajoa on hankalaa parantaa nykyisestä, koska kakun kuiva-ainepitoisuudessa päästään jo tällä hetkellä parhaimmassa tapauksessa valmistajan lupaamaa tasoa korkeammalle. Samasta syystä ei koeajojen perusteella voi tehdä tarkennuksia nykyiseen lingon ajo-opasteeseen. Tulosten tarkastelun yhteydessä keskusteltiin kuitenkin lietteen käsittelyn muista mahdollisista kustannussäästöihin liittyvistä muutoksista, kuten in-line- tai on-line-analysointilaitteista sekä mahdollisesta lämmityksellä viimeistellystä kuivauksesta. Pari eri valmistajaa on suositellut jätevesilaitoksen käyttöinsinöörille lietteen kuivauksen optimointilaitetta, joka mittaa reaaliaikaista dataa ja operoi automaattisesti ajoparametreja, jotta voitaisiin saada aikaan kuivempi kakku. Tuskin tämäkään laite pystyy ihmeisiin eli optimoimaan prosessia niin pitkälle, että lingolla saavutetaan rakenteellisista edellytyksistä tai rajoituksista muodostettua kuiva-ainepitoisuustasoa kuivempaa lietekakua. Koska lietettä lingotaan koeajojen perusteella lingon kuivauskapasiteetin ääri rajoilla, nousi esiin mahdollinen lämmityksen avulla saavutettava kuivempi kakku. Voisiko mahdollisesti syötön lämmittämällä irrota linkouksen aikana enemmän vettä tai voisiko jo lingotusta kakusta irrota vettä vielä lietesiiilossa lämmön ja hydrostaattisen paineen avulla? Molemmissa vaihtoehdoissa olisi luultavasti monenlaisia haasteita ja prosessin tai tuotannollisten seikkojen kannalta ehkä jopa esteitä. Ideoiden vieminen käytännön toteutuksen tasolle vaikuttaisi todella mielenkiintoiselta, mutta tällaisen mittaluokan muutoksia vaativiin kokeiluihin ei ole mahdollista lähteä mukaan ilman perusteellista suunnittelua. Jo käynnissä olevan aktiivilietelaitoksen uudistushankkeen myötä myös lietteen käsittelyyn liittyvät kysymykset pysyvät varmasti keskusteluissa mukana jatkosakin.

Lähteet

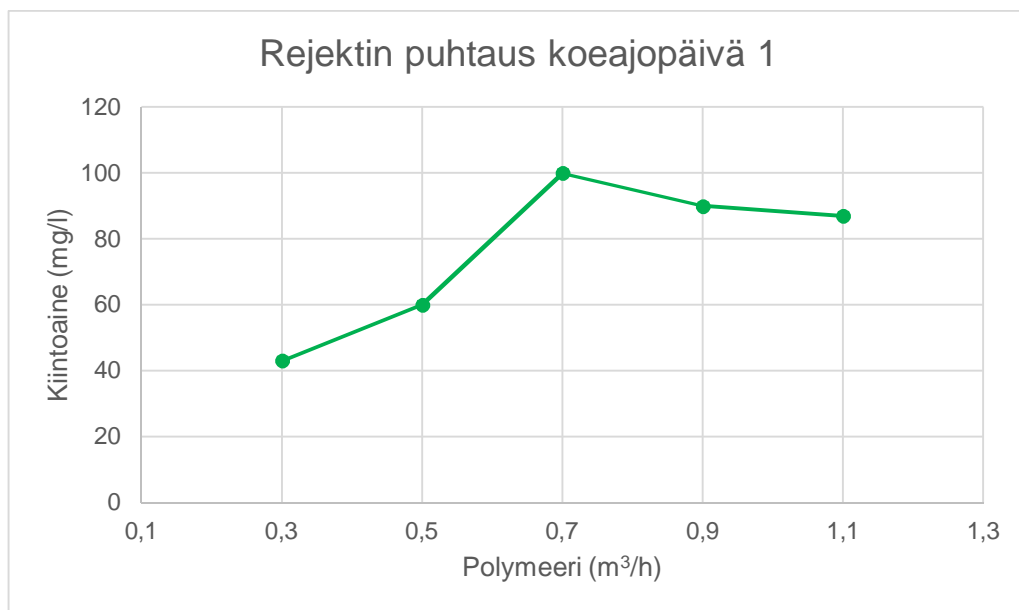
- 1 Alander, Timo. 2007. Koskisen Oy:n jätevesien käsittelyn tehostaminen. Tutkin-
totyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 2 Säylä, Jonne & Vilpas, Riikka. 2012. Yhdyskuntajätevesien puhdistus 2010.
Suomen ympäristökeskuksen raportteja 21/2012. Helsinki: Suomen ympäristö-
keskus. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=139267&lan=fi>>. Lu-
ettu 5.2.2013.
- 3 Näin puhdistamme jätevedet. 2011. Verkkodokumentti. Helsingin seudun ympä-
ristöpalvelut. <[http://www.hsy.fi/vesi/jatevedenpuhdistus/nainpuhdistammejate-
vedet/Sivut/default.aspx](http://www.hsy.fi/vesi/jatevedenpuhdistus/nainpuhdistammejate-
vedet/Sivut/default.aspx)>. Muokattu 20.12.2011. Luettu 5.2.2013.
- 4 Droste, Ronald L. 1997. Theory and practice of water and wastewater treat-
ment. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- 5 Flynn, Daniel J. 2009. The Nalco water handbook. 3rd edition. New York:
McGraw-Hill.
- 6 Treatment of solid waste. Verkkodokumentti. Madison Metropolitan Sewerage
District. <<http://www.madsewer.org/SolidWasteTreatment.htm>>. Luettu
1.3.2013.
- 7 Eckenfelder, W. Wesley Jr. 2000. Industrial water pollution control. 3rd edition.
New York: McGraw-Hill.
- 8 Filtracija tekućina. 2008. Verkkodokumentti. Marex d.o.o. <[http://www.ma-
rex.hr/filtracija_tekucina.html](http://www.ma-
rex.hr/filtracija_tekucina.html)>. Luettu 1.3.2013.
- 9 Flink, Päivi. 2016. Rasvaisten vesien käsittely flotaatiolla. Insinööriyö. Metro-
lia Ammattikorkeakoulu. Kemianteeniikan koulutusohjelma.
<[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104322/Rasvaist.pdf?se-
quence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104322/Rasvaist.pdf?se-
quence=1)>.
- 10 Emulsion. 2012. Verkkodokumentti. Oilfield Wiki, The Oilfield Encyclopedia.
<<http://www.oilfieldwiki.com/wiki/Emulsion>>. Muokattu 4.11.2012. Luettu
26.2.2013.
- 11 Toivainen, Katri. 2014. Aktiivilietelaitoksen käsikirja. Toiminnankuvaus OQD-
1684. Versio 8. Neste Porvoon jalostamo.
- 12 Solanpää, Saara. 2015. Aktiivihiihllaitoksen käsikirja. Toiminnankuvaus OQD-
1676. Versio 7. Neste Porvoon jalostamo.
- 13 Keski-Sipilä, Matti. 2011. Lietteiden keruu- ja käsittelyjärjestelmä, vaihe 1. Pro-
sessisuunnittelu Neste Jacobs. Porvoo.

- 14 Kurvinen, Jukka & Solanpää, Saara. 2014. Lietteiden käsittelyn prosessikuvaus. Toiminnankuvaus OQD-4066. Versio 1. Neste Porvoon jalostamo.
- 15 Pokela, Heikki. 2003. Linkojen FC-7501, FC-7502 ja FC-7504 toimintaohje. Operointiohje OQD-1686. Versio 3. Neste Porvoon jalostamo.
- 16 Alfa Laval. 2002. Tekniset tiedot dekanterilinko CHNX 438B-31EG. Käyttöohje. Espoo.
- 17 Söderlund, Thomas. 2013. Dekanterilingot: toiminta, käyttökohteet ja optimointi. Koulutusmateriaali. Alfa Laval.
- 18 BTC Europe. 2011. Käyttöturvallisuustiedote. ZETAGÒ 8185. Päivitetty 21.5.2010.
- 19 Keski-Sipilä, Matti. 2012. Polymeerin liuotus ja annostelu. Prosessisuunnittelu Neste Jacobs. Porvoo
- 20 BTC Europe. 2013. Verkkosivut. <<http://www.btc-europe.com/en/>>. Luettu 18.3.2013.
- 21 Green, Don W. & Perry, Robert H. 2008. Perry's chemical engineers' handbook. 8th edition. New York: McGraw-Hill.
- 22 Mielikäinen, Erika. 2013. Veden laatu. Kiintoaineen määrittäminen. Suodatus lasikuitusuodattimella. Menetelmäohje OQD-1548. Versio 4. Tutkimus ja kehitys Neste Porvoon jalostamo.
- 23 Pesonen, Mari. 2013. Lietteiden karakterisointi. Kuiva-aineen ja vesipitoisuuden määrittäminen. Menetelmäohje OQD-16057. Versio 1. Tutkimus ja kehitys Neste Porvoon jalostamo.

Tulokset

Taulukko 1. Ensimmäinen koeajopäivä: syöttö 9 t/h, kaikki lietteet. Kiintoainemääritys syötöstä ja rejektistä.

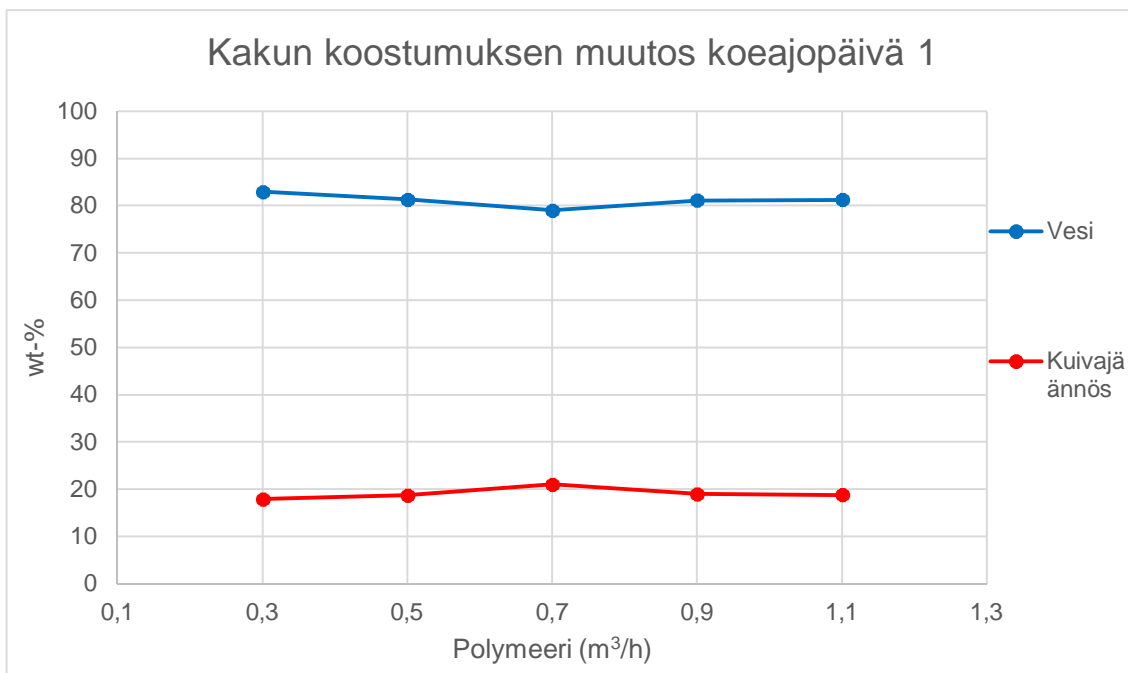
	Kiintoaine (mg/l)	Polymeeri (m ³ /h)
Syöttö (9 t/h)	21000	0
Rejekti	43	0,3
	60	0,5
	100	0,7
	90	0,9
	87	1,1



Kuva 27. Rejektin kiintoainepitoisuuden muutos ensimmäisen koeajopäivän aikana.

Taulukko 2. Ensimmäinen koeajopäivä: syöttö 9 t/h, kaikki lietteet. Kuivajäännöksen ja veden määritys kakusta.

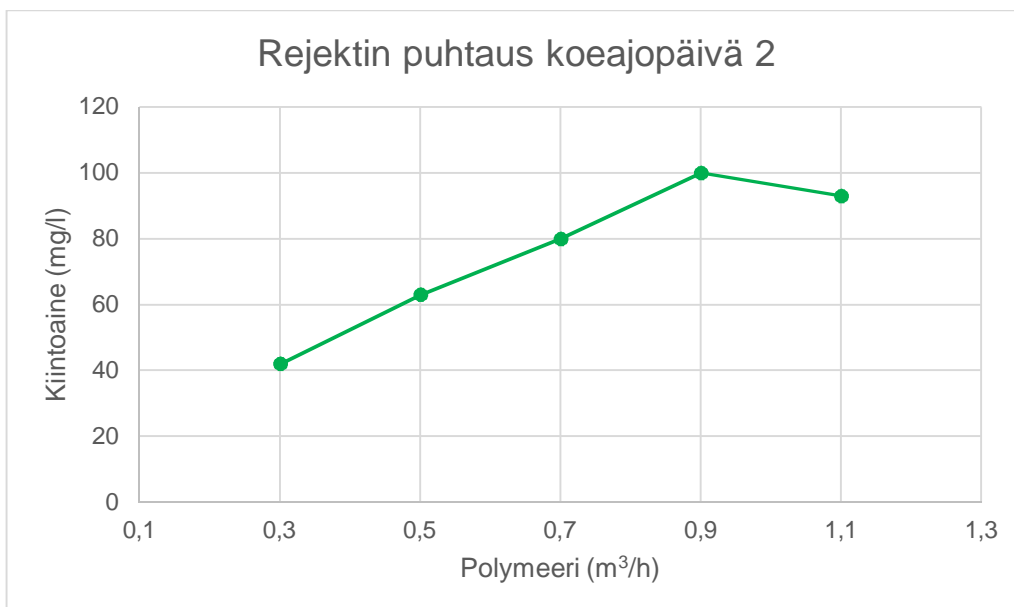
Polymeeri (m ³ /h)	Kuivajäännös (wt-%)	Vesi (wt-%)
0,3	17,9	82,9
0,5	18,7	81,3
0,7	21	79
0,9	19	81,1
1,1	18,8	81,2



Kuva 28. Kakun kuivajäännöksen ja vesipitoisuuden muutos ensimmäisenä koeajopäivänä.

Taulukko 3. Toinen koeajopäivä: syöttö 11 t/h, kaikki lietteet. Kiintoainemääritys syötöstä ja rejektistä.

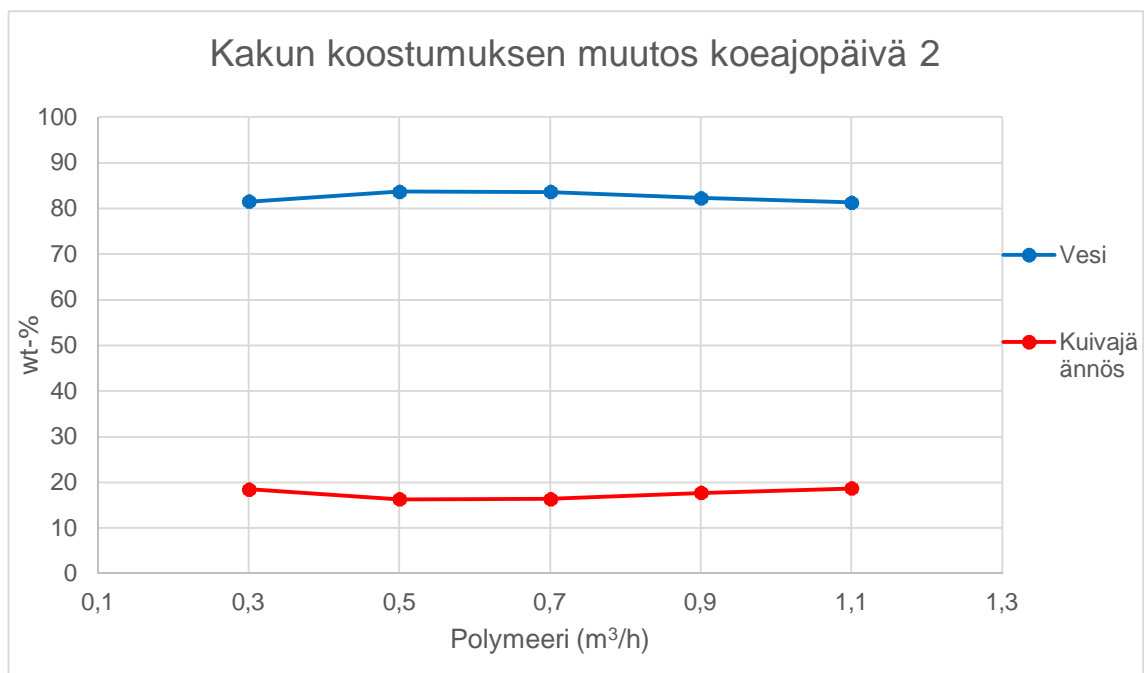
	Kiintoaine (mg/l)	Polymeeri (m ³ /h)
Syöttö (11 t/h)	16000	0
Rejekt	42	0,3
	63	0,5
	80	0,7
	100	0,9
	93	1,1



Kuva 29. Rejektin kiintoainepitoisuuden muutos toisen koeajopäivän aikana.

Taulukko 4. Toinen koeajopäivä: syöttö 11 t/h, kaikki lietteet. Kuivajäännöksen ja veden määrittely kakusta.

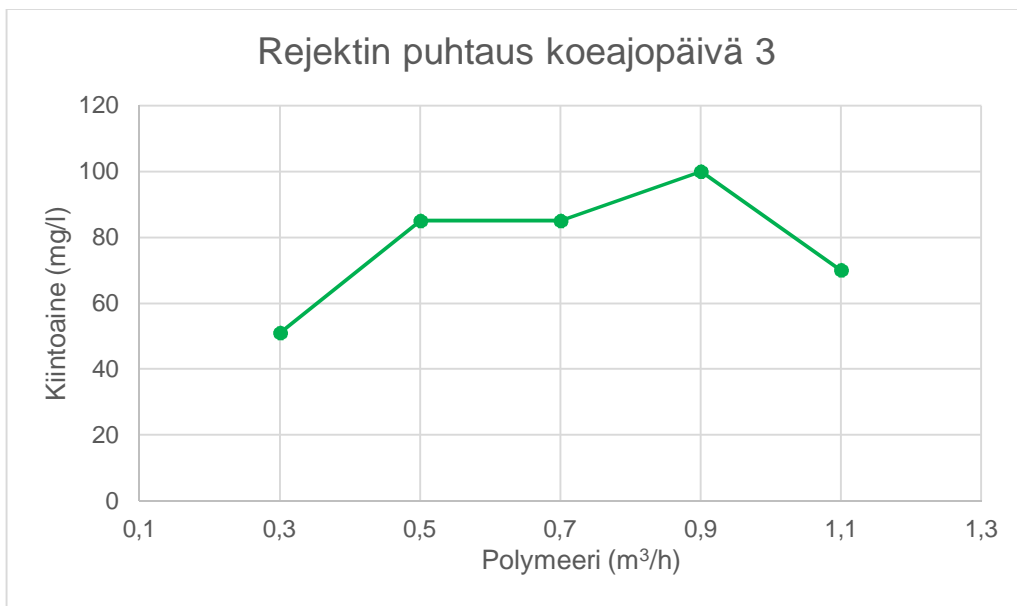
Polymeeri (m ³ /h)	Kuivajäännös (wt-%)	Vesi (wt-%)
0,3	18,5	81,5
0,5	16,3	83,7
0,7	16,4	83,6
0,9	17,7	82,3
1,1	18,7	81,3



Kuva 30. Kakun kuivajäännöksen ja vesipitoisuuden muutos toisena koeajopäivänä.

Taulukko 5. Kolmas koeajopäivä: syöttö 13 t/h, kaikki lietteet. Kiintoainemääritys syötöstä ja rejektistä.

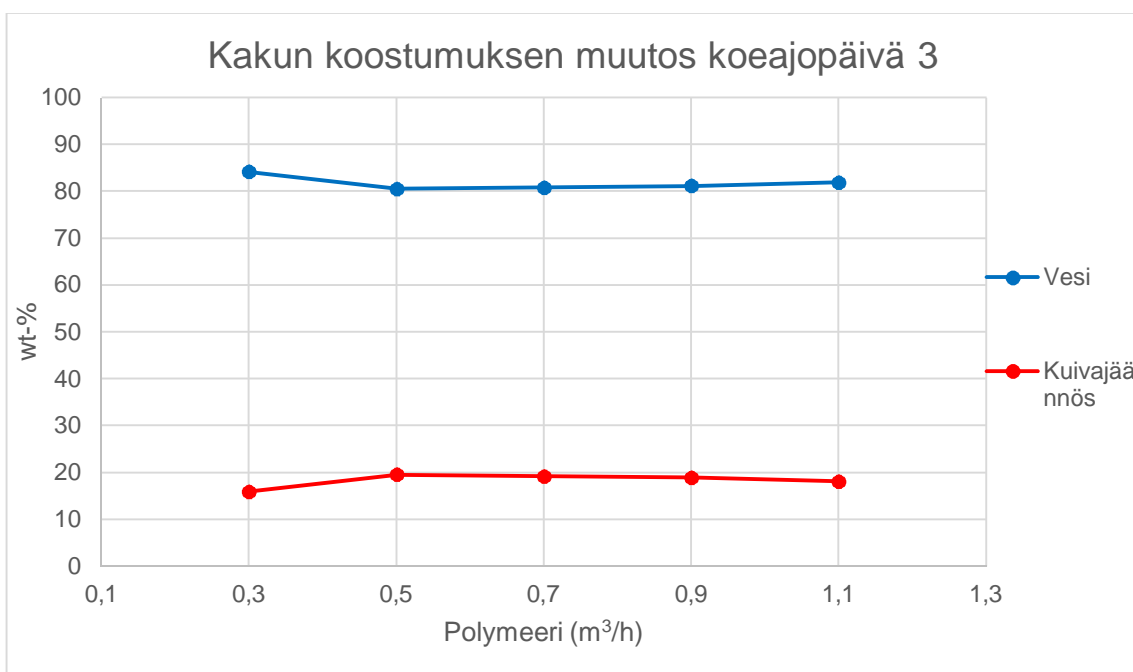
	Kiintoaine (mg/l)	Polymeeri (m ³ /h)
Syöttö (13 t/h)	18000	0
Rejetti	51	0,3
	85	0,5
	85	0,7
	100	0,9
	70	1,1



Kuva 31. Rejektin kiintoainepitoisuuden muutos kolmannen koeajopäivän aikana.

Taulukko 6. Kolmas koeajopäivä: syöttö 13 t/h, kaikki lietteet. Kuivajäännöksen ja veden määrittäminen kakusta.

Polymeeri (m ³ /h)	Kuivajäännös (wt-%)	Vesi (wt-%)
0,3	15,9	84,1
0,5	19,5	80,5
0,7	19,2	80,8
0,9	18,9	81,1
1,1	18,1	81,9



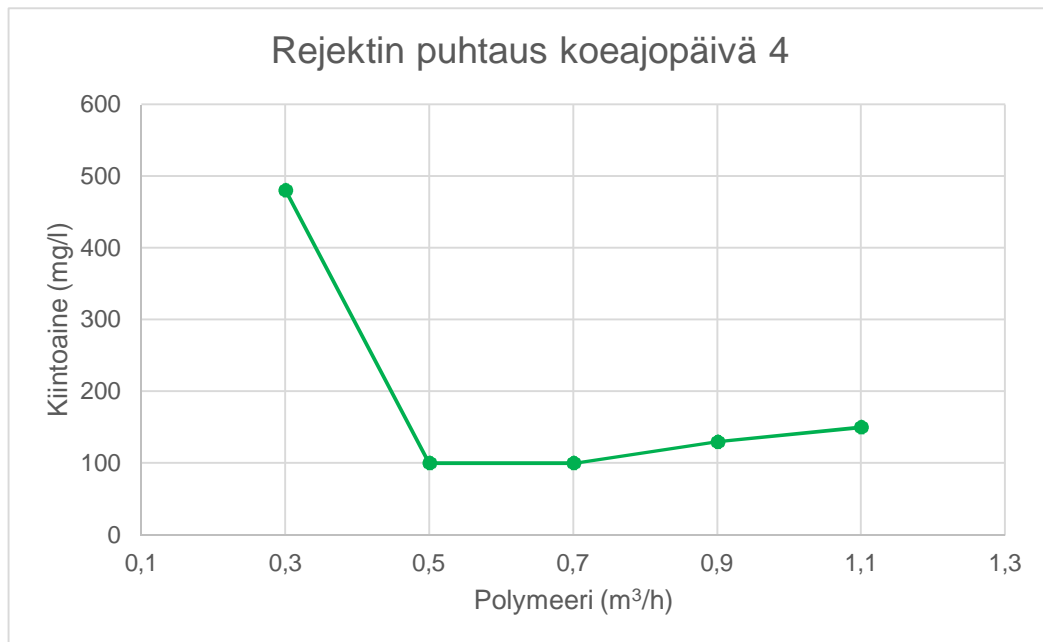
Kuva 32. Kakun kuivajäännöksen ja vesipitoisuuden muutos kolmantena koeajopäivänä.

Taulukko 7. Ensimmäisen koeajojakson syöttönäytteiden kiintoainepitoisuudet.

	Syöttömäärä (t/h)	Kiintoaine (mg/l)
Koeajopäivä 1	9	21000
Koeajopäivä 2	11	16000
Koeajopäivä 3	13	18000

Taulukko 8. Neljäs koeajopäivä: syöttö 9 t/h, ilman pohjalietteitä. Kiintoainemääritys syötöstä ja rejektistä.

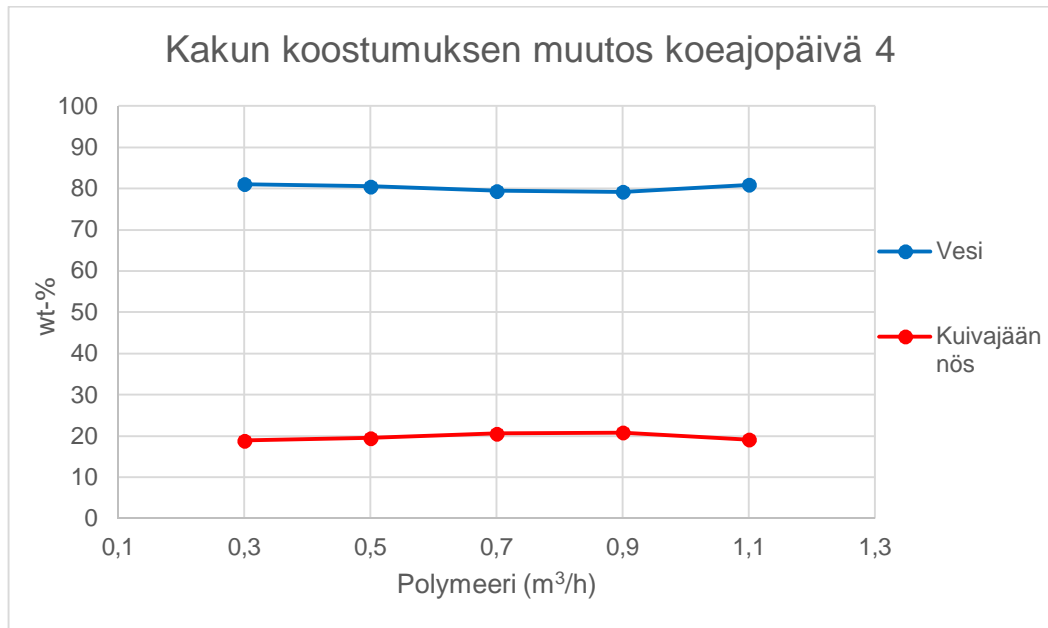
	Kiintoaine (mg/l)	Polymeeri (m ³ /h)
Syöttö (9 t/h)	28000	0
Rejkti	480	0,3
	100	0,5
	100	0,7
	130	0,9
	150	1,1



Kuva 33. Rejektin kiintoainepitoisuuden muutos neljännen koeajopäivän aikana.

Taulukko 9. Neljäs koeajopäivä: syöttö 9 t/h, ilman pohjalietteitä. Kuivajäännöksen ja veden määritys kakusta.

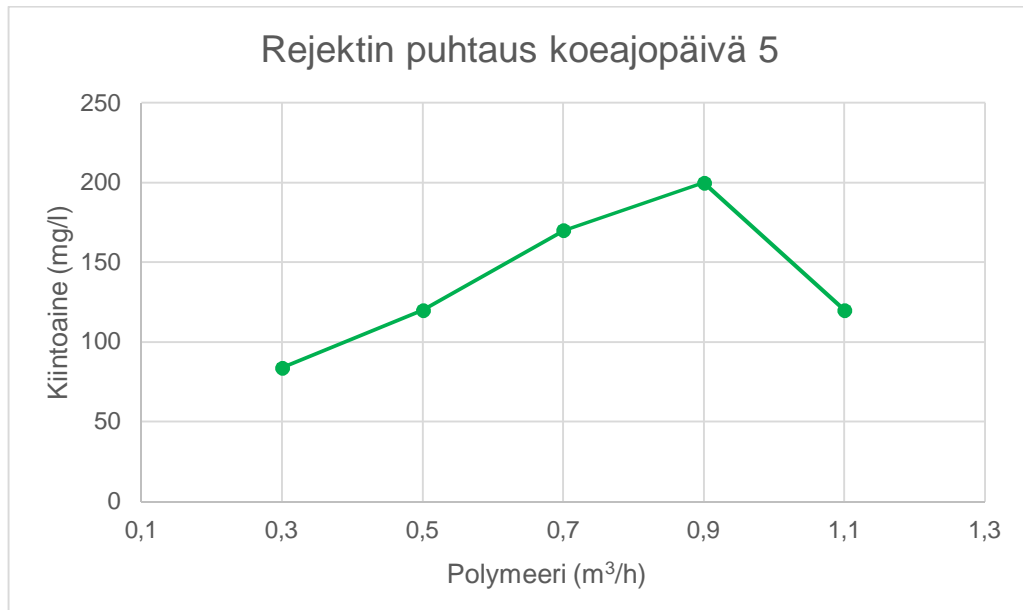
Polymeeri (m ³ /h)	Kuivajäännös (wt-%)	Vesi (wt-%)
0,3	18,9	81,1
0,5	19,5	80,5
0,7	20,6	79,4
0,9	20,8	79,2
1,1	19,1	80,9



Kuva 34. Kakun kuivajäännöksen ja vesipitoisuuden muutos neljäntenä koeajopäivänä.

Taulukko 10. Viides koeajopäivä: syöttö 11 t/h, ilman pohjalietteitä. Kiintoainemääritys syötöstä ja rejektistä.

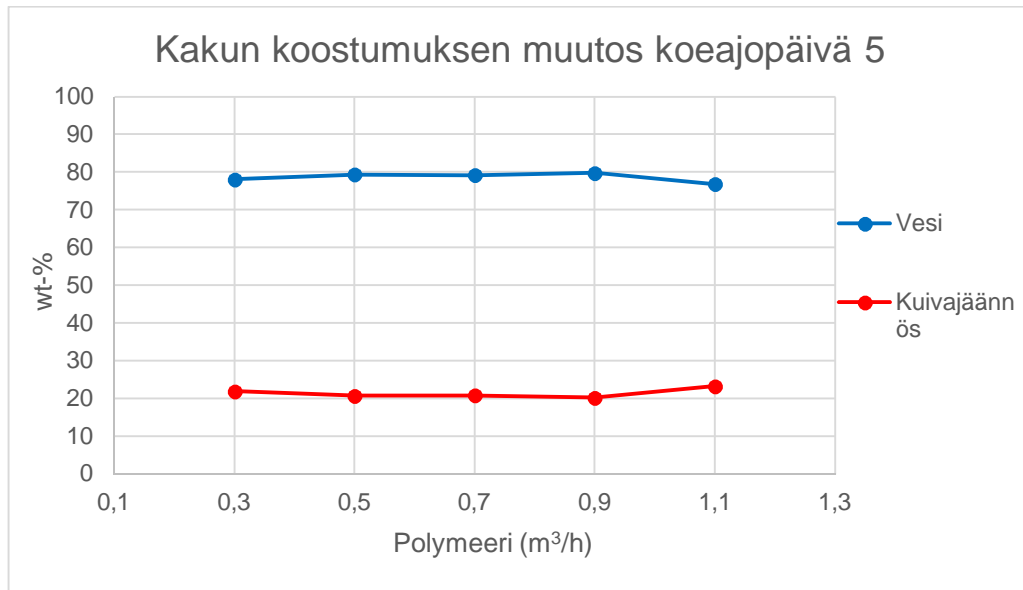
	Kiintoaine (mg/l)	Polymeeri (m3/h)
Syöttö (11 t/h)	21000	0
Rejetti	84	0,3
	120	0,5
	170	0,7
	200	0,9
	120	1,1



Kuva 35. Rejektin kiintoainepitoisuuden muutos viidennen koeajopäivän aikana.

Taulukko 11. Viides koeajopäivä: syöttö 11 t/h, ilman pohjalietettä. Kuivajäännöksen ja veden määritys kakusta.

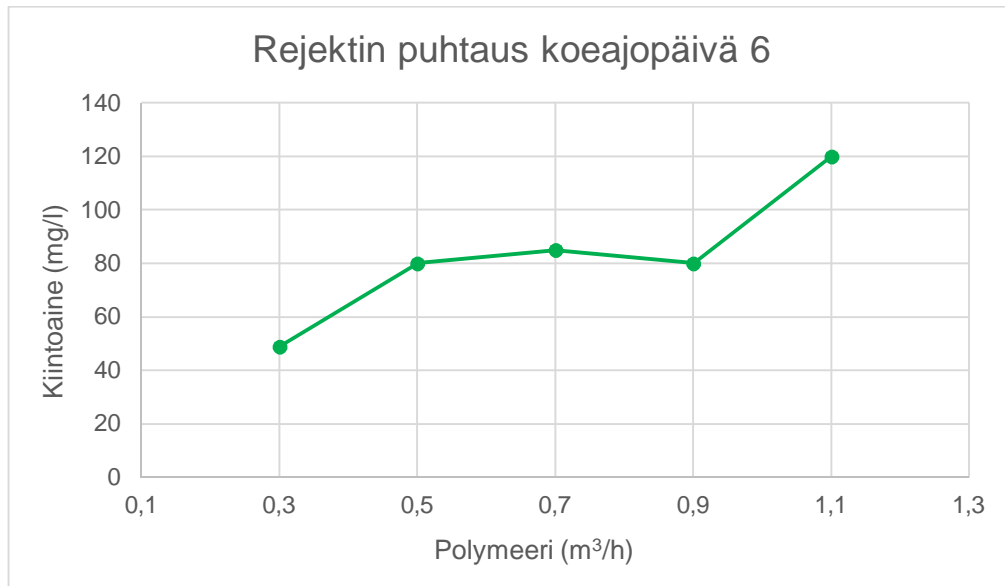
Polymeeri (m³/h)	Kuivajäännös (wt-%)	Vesi (wt-%)
0,3	21,9	78,1
0,5	20,7	79,3
0,7	20,8	79,2
0,9	20,2	79,8
1,1	23,2	76,8



Kuva 36. Kakun kuivajäännöksen ja vesipitoisuuden muutos viidentenä koeajopäivänä.

Taulukko 12. Kuudes koeajopäivä: syöttö 13 t/h, ilman pohjalietteitä. Kiintoainemääritys syöttöstä ja rejektistä.

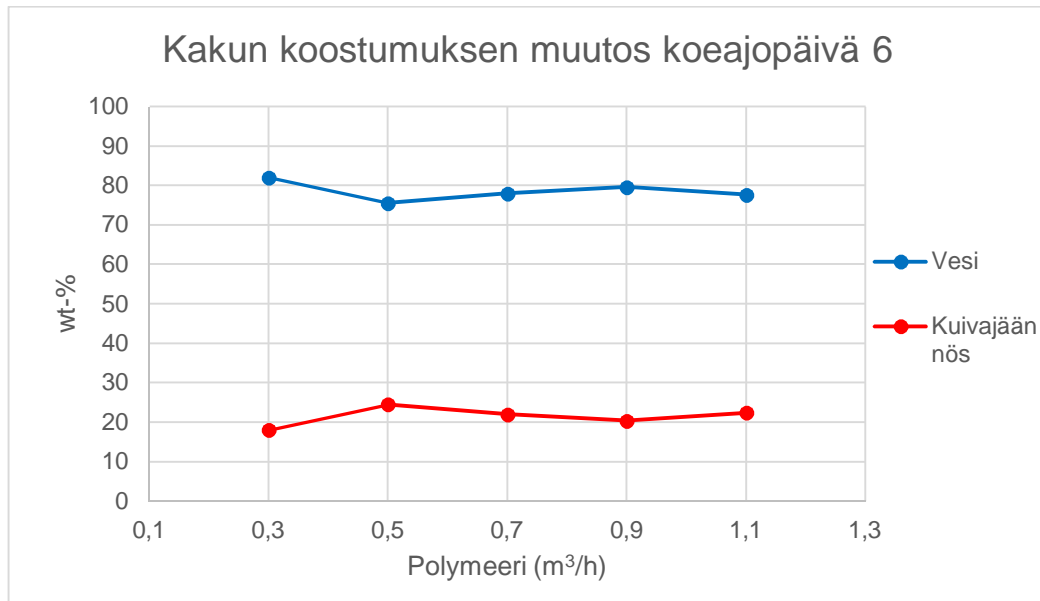
	Kiintoaine (mg/l)	Polymeeri (m³/h)
Syöttö (13 t/h)	17000	0
Rejekt	49	0,3
	80	0,5
	85	0,7
	80	0,9
	120	1,1



Kuva 37. Rejektin kiintoainepitoisuuden muutos kuudennen koeajopäivän aikana.

Taulukko 13. Kuudes koeajopäivä: syöttö 13 t/h, ilman pohjalietettä. Kuivajäännöksen ja veden määrittäminen kakusta.

Polymeeri (m ³ /h)	Kuivajäännös (wt-%)	Vesi (wt-%)
0,3	18	82
0,5	24,5	75,5
0,7	22	78
0,9	20,4	79,6
1,1	22,4	77,6



Kuva 38. Kakun kuivajäännöksen ja vesipitoisuuden muutos kuudentena koeajopäivänä.

