

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2018

Aija Aarnio

LIETTEEN LINKOUKSEN PARAMETRIT JA OPTIMOINTI



Aija Aarnio

LIETTEEN LINKOUKSEN PARAMETRIT JA OPTIMOINTI

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää lietteen linkoukselle sopivat parametrit ja optimoida dekantterilingon toimintaa. Työ tehtiin Turun seudun puhdistamo Oy:lle, joka omistaa ja ohjaa Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo. Opinnäytetyön pohjalta voidaan laatia ohjaussovellus, jonka avulla lietteen kuivausta voidaan tehostaa. Kuivempaa lietettä on helpompi käsitellä ja hyödyntää. Optimalisemmalla kuivauksella puhdistamo voi säästää lietteen käsittelyn ja kuljetusten kustannuksissa.

Työ tarkastelee puhdistamolietettä ja sen käsittelyä erityisesti kuivauksen osalta. Kuivauksessa keskitytään sentrifugien eli dekantterilinkojen toimintaan. Turun seudun puhdistamo Oy:llä lietettä kuivataan kolmella lingolla.

Dekantterilinkojen optimointia tarkasteltiin ensin linkoukseen liittyvien parametrien osalta. Parametrien perusteella arvioitiin sopivia muuttujia optimoinnin asetuksiin. Linkojen koeasetuksiin valittiin useita arvoja ja niiden erilaisia yhdistelmiä, joita testattiin optimaalisimman ajon löytämiseksi. Kokeet suoritettiin puhdistamon uusilla lingoilla, ja niistä kerätyt rejektin kiintoaineen ja lietteen kuiva-aineen näytteet tutkittiin Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimuskeskus Oy:n laboratorioissa. Optimoinnin parhaimmat asetukset valittiin näiden näytteiden perusteella.

Työn avulla tehtävään sovellukseen otetaan huomioon tässä työssä esitetyt parametrit ja kokeista saadut tulokset. Sen tarkoitus olisi tulevaisuudessa ohjata linkojen toimintaa osittain itsenäisesti. Sovellus helpottaisi ja selkeyttäisi lietteen kuivausta. Työssä esitellään sovellukselle mahdollisesti luotavia ominaisuuksia ja toimintaperiaatteita.

ASIASANAT:

Liete, linkous, optimointi

BACHELOR´S / MASTER´S THESIS | ABSTRACT

Aija Aarnio

PARAMETERS AND OPTIMIZATION OF SLUDGE CENTRIFUGATION

The aim of this thesis was to find out suitable parameters for centrifugation and to optimize the use of the decanter centrifuge. Thesis was made for Turun seudun puhdistamo Oy, which is the owner of wastewater treatment plant in Kakolanmäki. A control application for intensifying dewatering of wastewater sludge based on this work can be made afterwards. Drier sludge is easier to handle and process. With optimized dewatering treatment plant can save costs of sludge handling and transporting.

Wastewater sludge and handling of it is examined. Especially thesis focuses on sludge dewatering and operating of centrifuges. Turun seudun puhdistamo Oy uses three decanter centrifuges to dewatering.

Optimization of centrifuges starts with considering suitable parameters. Based on these valid parameters, proper variables for optimization were estimated. Multiple different values and their combinations were chosen for test drives of centrifuges. Test drives were performed with treatment plant's new centrifuges. The collected samples for solids of reject and dry mass of dried sludge were sent to laboratory of Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimuskeskus Oy. Optimized settings were chosen based on these samples.

Test results and parameters of this work are the base of the application. It is meant to control dewatering partly by itself in the future. Application would ease and made dewatering clearer. Thesis also suggests possible characteristics and operating principles for application.

KEYWORDS:

Centrifugation, optimization, sludge

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 LIETE	8
2.1 Synty	8
2.2 Käsittely	9
3 LIETTEEN KUIVAUS	12
3.1 Kunnostus/kunnostaminen	13
3.2 Linkous	14
4 KAKOLAN JÄTEVEDENPUHDISTAMO	18
4.1 Prosessi	18
4.2 Lietteiden käsittely	19
5 OPTIMOINTI	21
5.1 Parametrit	21
5.2 Koeajot	22
6 TULOKSET	26
6.1 Ensimmäinen osa	26
6.2 Toinen osa	27
6.3 Lisähuomiot	30
7 SOVELLUS	33
LÄHTEET	37
LIITTEET	7

LIITTEET

- Liite 1. Koeajojen asetukset
- Liite 2. Näytteiden lähetekortti
- Liite 3. Näytteiden tulokset

KAAVAT

Kaava 1. Kiintoaineeseen vaikuttava voima (Filippenkov 2012, 16–18).	15
Kaava 2. Erotuskerroin G. (Filippenkov 2012, 16-18).	15

KUVAT

Kuva 1. Linko (Flottweg 2018).	15
Kuva 2. Optimoinnin trendit (SNF Floerger 2018, 27).	17
Kuva 3. Turun seudun puhdistamo Oy:n puhdistusprosessi (TSP Oy 2018).	19
Kuva 7. Valmiita näytteitä.	24
Kuva 8. Sovelluksen toiminta	33

TAULUKOT

Taulukko 1. Käsittelemättömän ja mädätetyn lietteen ominaisuuksia (RIL ry 2004, 558).	9
Taulukko 2. Polymeerikokeiden tulokset	27
Taulukko 3. Momenttisäätöjen tulokset	28
Taulukko 4. Lietteiden kuivauksen parhaat asetukset	29
Taulukko 5. Polymeerin kulutus vuorokaudessa	30
Taulukko 6. Säästöt polymeerin syötössä	31
Taulukko 7. Lietteiden käsittelyn mahdolliset säästöt	31
Taulukko 8. Linkouksen säädöt	35

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Adsorptiovesi	Hygroskooppinen vesi, lietepartikkeliin tiukasti sitoutunut vesi (Encyclopedia.com. 2018)
Alkalisuus	Veden kyky vastustaa pH:n muutoksia (Oram. 2018)
Erotuskerroin	Maan vetovoiman kiihtyvyyden suhde lingon keskipakovoimaan (Filippenkov. 2012)
Flokki	Lietepartikkeleista puristunut massa (SNF Floerger. 2018)
Flokkulaatio	Lietepartikkelit puristuvat flokiksi (SNF Floerger. 2018)
Flokkulantti	Flokkulaatioissa käytettävä kemikaali (SNF Floerger. 2018)
Flotaatio	Menetelmä, jolla ilmakuplien avulla lietepartikkeleita nostetaan pintaan poistettavaksi (von Sperling. 2018. 267)
Hydraulinen kapasiteetti	Vesimäärä, jonka linko voi käsitellä (Koponen. 2010)
Kakku	Kuivattu liete (2 TSP Oy. 2018)
Kapillaarivesi	Kapillaarivoimien avulla lieteflokissa pysyvä vesi (von Sperling. 2018. 259)
Monomeeri	Yksikkö, josta voi muodostua molekyyliketju tai polymeeri (Muoviteollisuus Ry. 2018)
Pastörinti	Haitallisten bakteerien poistaminen kuumakäsittelyllä (Järvinen. 2013)
Patolevy	Levyillä säädetään linkoon muodostuvaan nesterenkaan kokoa (Filippenkov. 2012)
Puskurikyky	Alkalitteetti, veden kyky vastustaa happamuuden muutosta (Ympäristö.fi. 2018)
Pyrolyysi	Aine hajoaa hapettomissa olosuhteissa ja korkeassa lämpötilassa kaasuksi ja hiileksi (Ecomation. 2017)
Rejkti/rejktivesi	Linkouksesta takaisin prosessiin palautettava vesi (2 TSP Oy. 2018)
Suodosvesi	Kuivauksen jälkeen prosessiin palautettava vesi (SNF Floerger. 2018)
Vesifaasi	Lingon rummun kehälle painautuvan nesteen muodostava rengas (SNF Floerger. 2018)
Välivesi	Lieteflokkien välissä oleva vapaa vesi (Filippenkov. 2012)
Välppäys	Menetelmällä poistetaan roskia jätevedestä (TSP Oy. 2018)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää linkokuivauksen parametrejä ja määrittää linkojen optimaalinen käyttö. Työ toteutettiin Turun seudun puhdistamo Oy:lle Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla. TSP Oy on Turun lähiseudun kuntien omistama yhtiö, joka käsittelee lähes kaikki alueen jätevedet. Kakolan jätevedenpuhdistamo on 4-linjainen aktiivilieteprosessia hyödyntävä laitos, jossa jätevesi käsitellään mekaanisesti, biologisesti ja kemiallisesti. Puhdistamo käsittelee päivässä noin 80 000 m³ jätevettä. (TSP Oy 2018.)

Lietettä syntyy jatkuvasti jäteveden puhdistamisen sivutuotteena. Lietteen käsittely on hankalaa sen nestepitoisuuden vuoksi, koska vettä on yleensä yli 95 % lietteen tilavuudesta (von Sperling 2007, 254). Käsittelyn helpottamiseksi liete kunnostetaan ja kuivataan, jolloin sen tilavuus pienenee. Näin kuljetukseen saadaan enemmän kuivattua lietettä kerralla ja kustannukset laskevat. Turun seudun puhdistamolla lietettä käsitellään vuoden aikana noin 46 000 tonnia. Liete kuivataan ja kuljetetaan Gasum Oy:n biokaasulaitokselle. (TSP Oy 2018.)

Lietettä voidaan kuivata monilla eri tavoilla. Tässä työssä keskitytään dekantterilingon toimintaan ja sen optimaaliseen käyttöön. Lingon optimoinnilla voidaan varmistaa kuivauksen haluttu tulos. Tavoitteena on saada mahdollisimman hyvin kuivattua lietettä, mutta kuitenkin muiden parametrien ehdoilla. Ajotapojen optimoinneilla voidaan säästää energiaa ja kunnostuskemikaaleja.

Työn tavoitteena on kerätä linkokuivaukselle sopivat parametrit ja selvittää lingon optimaalinen käyttö. Tarkoituksena on luoda tämän työn pohjalta lingoille eräänlainen ohjaussovellus, jolla lietteen kuivausta voidaan tehostaa ja helpottaa. Sovellus tarjoaisi ohjeistusta lingon käyttäjille ja selkeyttäisi tarvittavia toimia erilaisissa tilanteissa.

Optimointi toteutettiin yhteistyössä Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:n kanssa. Linkoukseen vaikuttavien tekijöiden asetuksia muuteltiin useampaan erilaiseen yhdistelmään, joista jokaisesta kerättiin näytteet sekä rejektivedestä että kuivatusta lietteestä. Näytteet lähetettiin LSVYT Oy:n laboratorioon analysoitavaksi. Näiden tulosten perusteella arvioitiin linkouksen optimaalisia asetuksia.

2 LIETE

Lietteellä tarkoitetaan jätevedenpuhdistamoilta syntyvää ja poistettavaa ainesta (Metcalf & Eddy, Inc. & Aecom 2014, 1451). Se on tilavuudeltaan suurin ja vaikein aines poistaa. Lieite sisältää paljon vettä, minkä takia sen käsiteltävyys on hankalaa. (RIL ry 2004, 555–556.) Noin 95 % lietteestä on erilaisia vesiä: välivesi, kapillaarivesi, solun sisäinen vesi ja adsorptiovesi (Viitasaari ym. 1994, 107).

2.1 Synty

Lietettä syntyy Suomen jätevedenpuhdistamoilla noin miljoona kuutiota vuodessa (Vesilaitosyhdistys 2016, 4). Se voidaan jakaa osiin kahdella eri tavalla: erottelumenetelmän tai syntypaikan mukaan. Erottelutavan mukaan lieite jaetaan mekaaniseen, kemialliseen, biologiseen, yhdistettyyn tai mädätettyyn lietteeseen. Syntypaikan eli ottopaikan mukaan lietelajikkeita on kolme. Ensimmäinen on primääriliete eli raakaliete, joka erotellaan mekaanisen puhdistuksen jälkeen. Toisena on sekundääriliete eli ylijäämäliete, joka saadaan biologisen puhdistusprosessin jälkeen ja kolmantena tertiääriliete kemiallisesta saostuksesta. (RIL ry 2004, 555–558.) Lietelajikkeiden sekoittaminen on myös mahdollista, jolloin puhutaan sekalietteestä (Viitasaari ym 1994,107).

Liete on yleensä nesteenä tai puolijähmeässä olomuodossa, joka kasvattaa sen tilavuutta. Lietteessä onkin vain 0.2512 % kuiva-ainetta painoyksikköä kohden. Arvo vaihtelee lietteen iästä, lähteestä ja prosessoinnista johtuen. Tyypillisesti lieite sisältää kaikkia aineita, joita jätevedestä puhdistetaan, kuten typpeä ja fosforia. (Metcalf & Eddy, Inc. & Aecom 2014, 1451.) Taulukossa 2 on eroteltu tarkemmin, millaisia ominaisuuksia lietteellä on.

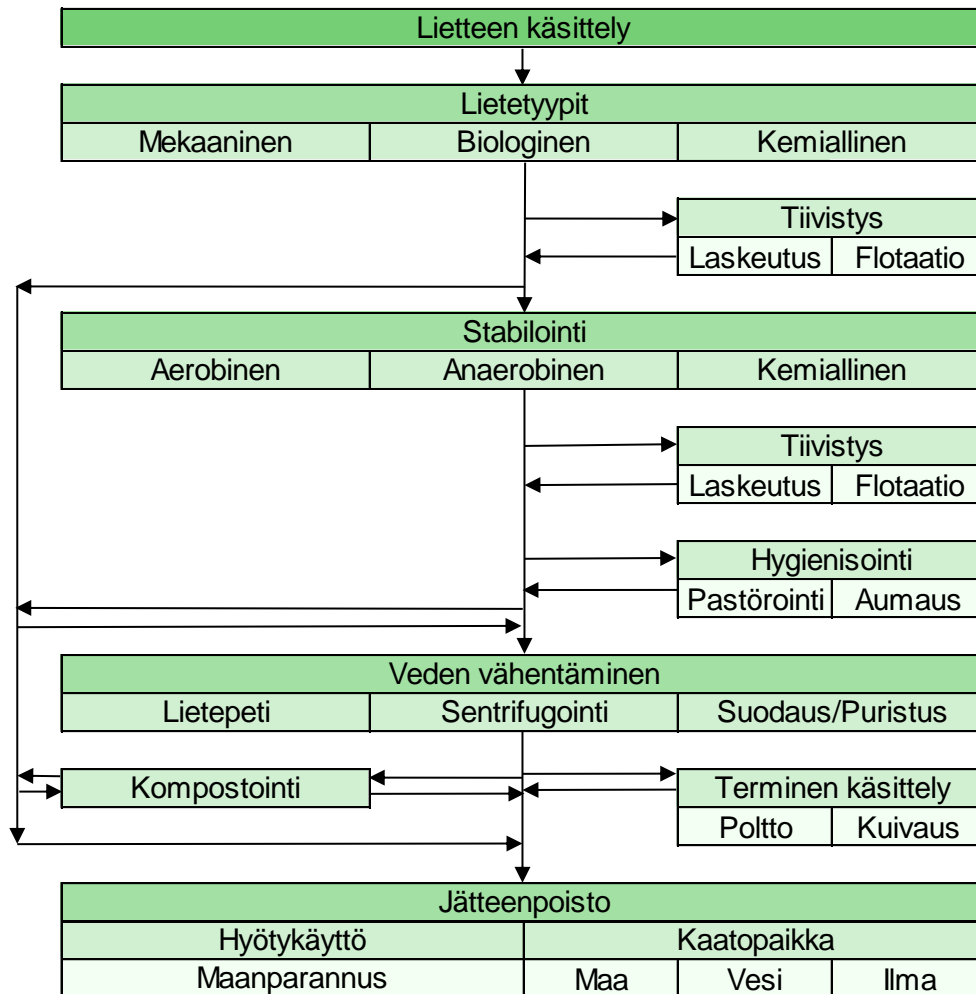
Taulukko 1. Käsittelemättömän ja mädätetyn lietteen ominaisuuksia (RIL ry 2004, 558).

	Käsittelemättömän raakaliete		Mädätetty liete		Aktiivilietelaitoksen liete
	Vaihteluväli	Tyypillinen arvo	Vaihteluväli	Tyypillinen arvo	
Kuiva-aineen määrä TS, %	2,0...8,0	5,0	6,0...12,0	10,0	0,83...1,16
Haihtuvat aineet, % kuiva-aineesta	60...80	65	30...60	40	59...88
Rasvoja, % kuiva-aineesta					
- eetteriin liukenevaa	6...30	-	5...20	18	-
- eetterillä uutettu	7...35	-	-	-	5...12
Proteiinia, % kuiva-aineesta	20...30	25	15...20	18	32...41
Typeä N, % kuiva-aineesta	1,5...4,0	2,5	1,6...6,0	3	2,4...5,0
Fosforia P ₂ O ₅ , % kuiva-aineesta	0,8...2,8	1,6	1,5...4,0	2,5	2,8...11,0
Kaliumia K ₂ O, % kuiva-aineesta	0...1	0,4	0,0...3,0	1	0,5...0,7
Selluloosaa, % kuiva-aineesta	8,0...15,0	10,0	8,0...15,0	10	-
Rautaa, % kuiva-aineesta (ei sulfidina olevaa)	2,0...4,0	2,5	3,0...8,0	4	-
Piitä SiO ₂ , % kuiva-aineesta	15,0...20,0	-	10,0...20,0	-	-
pH	5,0...8,0	6,0	6,5-7,5	7	6,5...8,0
Alkalisuus, mg/l CaCO ₃	500...1500	600	2500...3500	3000	580...1700
Orgaanisia happoja, mg/L Hac	200...2000	500	100...600	200	1100...10000
Energiaa, kJ/kg	4300...5400	4700	1720...2580	2150	3440...4300

Lietteen hyödyntäminen tai loppusijoitus sellaisenaan on hankalaa, sille tyypillisten ominaisuuksien johdosta (Metcalf & Eddy, Inc. & Aecom 2014, 1453). Yleensä jätevedenpuhdistamoilla lietteet ohjataan prosessin esiselkeytysvaiheeseen, josta ne käsitellään ja poistetaan. Käsitellyllä tarkoitetaan toimia määrän pienentämiseksi ja laadun muuttamiseksi. Toimenpiteiden tarkoituksena on stabiloida ja hygienisoida liete sekä saattaa se helposti hyväksi käytettävään muotoon. (RIL ry 2004, 555–556.)

2.2 Käsitely

Käsittelymenetelmien lukumäärällä ja järjestyksellä ei ole mitään määrättyä linjaa, vaan ne voivat vaihdella paljonkin. Usein liete kuivataan jo alkuvaiheessa sen tilavuuden pienentämiseksi ja jatkokäsittelyn helpottamiseksi. (Metcalf & Eddy, Inc. & Aecom 2014, 1453.) Tyypillisesti lietteet voidaan käsitellä kaavion 1 mukaisesti (RIL ry 2004, 560).



Kaavio 1. Lietteiden pääkäsittelymenetelmät ja niiden etenemisjärjestys (RIL ry 2004, 560).

Pääkäsittelymenetelmiä ovat tiivistys tai sakeutus, stabilointi, hygienisointi, kunnostus, kuivaus, poltto ja jatkokäsittely. Tiivistyksellä tarkoitetaan veden poistamista lietteestä flotaatiolla tai painovoimaisesti laskeuttamalla. Tällöin kuiva-ainepitoisuus nousee kaksin- tai kolminkertaiseksi. Stabilointi on menetelmä, joka keskeyttää tai vie loppuun lietteen hajoamisprosessin. Erilaisia tapoja ovat kalkkistabilointi, mädätys, aerobinen tai anaerobinen käsittely ja kompostointi. (RIL ry 2004, 560–575.)

Hygienisoinnilla pienennetään lietteen tartuntariskiä ja lasketaan patogeenisten mikro-organismien määrää. Menetelmä tapahtuu myös monessa muussa vaiheessa, kuten kompostoinnissa. Hygienisointi voidaan toteuttaa pastöroimalla, lämpökäsittelymenetel- millä, pH:n nostamisella yli 12:n, pitkäaikaisella varastoinnilla, säteilyllä ja kloorilla. Klooria käytettäessä tulee kuitenkin huomioida rajoittuneet jatkokäsittely mahdollisuudet. (RIL ry 2004, 576–577.)

Lietteen kunnostuksen tarkoituksena on parantaa veden poistamista, ja se usein tehdään ennen kuivausta. Kunnostuskemikaalit rikkovat lietteen geelimäisen rakenteen, joka helpottaa veden poistumista. Menetelmä voidaan toteuttaa myös fysikaalisesti lämmittämällä tai jäädyttämällä. Kuivaus suoritetaan mekaanisesti koneilla ja mahdollisesti lietelavoilla. Koneellisesti lietettä voidaan kuivattaa imusuodattimilla, suotonauhoilla ja lingoilla. Kaikilla menetelmillä kuiva-aineen pitoisuudeksi saadaan 20–40 %. (RIL ry 2004, 566–578.)

Liete voidaan polttaa kokonaan tai käsitellä pyrolyysin avulla. Tilavuus vähenee poltossa eniten, ja patogeenit sekä muut myrkylliset aineet tuhoutuvat kokonaan. Poltettuna lietteestä muodostuu vettä ja tuhkaa, mutta pyrolyysin avulla lietteestä saadaan hyötyenergiaa. Lieite voidaan myös käyttää hyödyksi viherrakentamisessa ja maataloudessa. (Pöyry Environment Oy 2007, 5–6.) Mädätyksessä syntyvästä kaasusta saadaan polttoainetta ja lopusta ravinnepitoisuudesta maanparannusaineita (RIL ry 2004, 579–580). Suurin osa lietteistä jatkokäsitellään kompostointi- ja biokaasulaitoksissa (Vesilaitosyhdistys 2018, 4).

3 LIETTEEN KUIVAUS

Lietteen kuivaus on menetelmä, jolla pyritään poistamaan nestettä aineesta. Lietteen kuiva-ainepitoisuus lasketaan vertaamalla kuiva-aineen painoa lietteen märkäpainoon. (Pihkala 2013, 116–117.) Kuivauksen tavoitteena on nostaa tätä kuiva-ainepitoisuutta mahdollisimman paljon. Suuremmilla puhdistamoilla on tyypillistä, että liete kuivataan ennen sen kuljettamista loppukäsittelyyn. Kuivauksessa syntyneet rejektivedet johdetaan takaisin puhdistusprosessiin. (Viitasaari ym. 1994, 116–117.)

Yksinkertaisimmillaan lietettä voidaan kuivata levittämällä se sorapatjan päälle. Lietelava haihduttaa ja suodattaa nestettä luonnollisesti. Yleensä liete kuivataan kuitenkin mekaanisesti erilaisilla koneilla, kuten imusuodattimilla, suotonauhoilla tai lingoilla. Menetelmän valintaan vaikuttaa lietteen laatu ja sen määrä, kuiva-aine, suodosveden kiintoainepitoisuus ja menetelmän erotusaste. Lisäksi myös menetelmän sekä lietteen kuljetusten kustannukset vaikuttavat päätökseen. (Viitasaari ym. 1994, 116–119.)

Lietteen kuivattavuuteen vaikuttaa sen sisältämien nesteiden olomuoto. Neste on joko sitoutuneena partikkeleihin tai vapaana niiden ympärillä. Partikkeleiden välissä oleva väli- ja pinta-vedenkalvo on helppo poistaa painovoiman avulla useilla menetelmillä. Adsorptiovesi voidaan poistaa mekaanisesti tai flokkulantin avulla. Solun sisällä oleva vesi voidaan poistaa muun muassa jäädytyskäsittelyllä tai haihduttamalla. Kuiva-aineen kapillaarivettä ei voi poistaa, mutta suurella voimalla se voidaan erottaa adsorptiovedestä. (von Sperling 2007, 247.)

Lisäksi lietteen erilaisilla ominaisuuksilla on vaikutusta kuivattavuuteen. Kaikista ominaisuuksista eniten vaikuttaa partikkelien koko ja niiden jakauma. Suuremmat partikkelit tehostavat lietteen kuivausta ja osa kunnostusmenetelmistä pyrkiikin kasvattamaan partikkelikokoa. Monet lietteen ominaisuudet vaikuttavat partikkelien kokoon ja sitä myötä sen kuivattavuuteen. Alhainen pH parantaa lietteen kuivattavuutta, jolloin lieteflokkit hajoavat huonommin. (Karr & Keinath 1978, 1911–1920.) Lietteen geelimäinen rakenne myös vaikuttaa kuivaukseen. Rungas geelimäisyys vaikeuttaa kuivaamista, esimerkiksi tuore liete ei ole niin geelimäistä kuin vanhempi ja sen kuivaus on helpompaa. Jotkut teollisuuspäästöt ja lietteen kuivauksen palautusvesi lisäävät myös geelimäistä rakennetta. Rungas orgaanisen aineen pitoisuus saattaa myös vaikeuttaa kuivattavuutta. (SNF Floerger 2018, 6.)

3.1 Kunnostus/kunnostaminen

Ennen kuivauksen aloittamista lietteet tavallisesti myös kunnostetaan, sillä se parantaa veden poistumista. Lietteiden mikro-organismit kasaavat ympärilleen vettä, jonka johdosta lietteelle syntyy geelimäinen olomuoto. Rakenne estää veden poistumisen. Kunnostus voidaan toteuttaa erilaisten kemikaalien avulla, joiden tarkoitus on rikkoa lietteen rakenne ja edistää veden haihtumista. Toinen menetelmä on fysikaalinen kunnostus, jolloin esimerkiksi lietettä voidaan kunnostaa lämpö- tai jäädytyskäsittelyllä. (RIL ry 2004, 577–579.)

Vanhimmat edelleen käytössä olevat kunnostuskemikaalit ovat ferrikloridi ja kalkki (RIL ry 2004, 577). Kunnostamiseen käytetään myös epäorgaanisia kemikaaleja: ferrosulfaattia, alumiinisulfaattia ja alumiinikloridia; sekä mineraaleja: rautaa ja erilaisia suoloja (Metcalf & Eddy, Inc. & Aecom 2014, 1564). Nykyisin käytetään myös monenlaisia orgaanisia polymeerejä, joita on tarjolla monelle lietetyypille. Polymeerit eivät lisää lietteen määrää toisin kuin muut kemikaalit. (RIL ry 2004, 578.)

Orgaaniset polymeerit flokkuloituvat lietteessä ja muodostavat flokkeja, joilla on suuri molekyylipaino ja vaihteleva ionilataus. Veden poisto tehostuu lieteflokkien koon kasvaessa. Flokkulantit voidaan jaotella viiden eri parametrin mukaan: varaus, varauksen määrä, molekyylipaino, molekyylin rakenne ja monomeerin tyyppi. (SNF Floerger 2018, 7.)

Kunnostusmenetelmä ja kemikaalit valitaan lietetyypin, kuiva-aineen pitoisuuden, lietteen pH:n ja alkalisuuden perusteella (RIL ry 2004, 577). Orgaaniset polymeerit valitaan vielä lisäksi lietepartikkeleiden perusteella. Yleisen jaon mukaan mineraalipartikkeleille valitaan anioninen ja orgaanisille partikkeleille kationinen varaus. Lietettä kunnostetaan eniten kationisilla flokkulanteilla. Varauksen suuruus vaihtelee lietetyypin mukaan, esimerkiksi biologinen liete vaatii kationisempaa polymeeriä kuin primääriliete. (SNF Floerger 2018, 7–8.)

Kunnostuskemikaalit lisätään lietteeseen tasaisesti liuoksena. Syötettävän liuoksen pitää olla laimeaa sekä hyvin sekoitettua. Seos liukenee hitaasti lietteeseen, eikä se säily seuraavaan päivää. Kemikaalin määrä vaihtelee kuivattavan tarpeen mukaan, mitä vaikeammin kuivattavaa, sitä enemmän kunnostuskemikaalia tarvitaan. Orgaanisia poly-

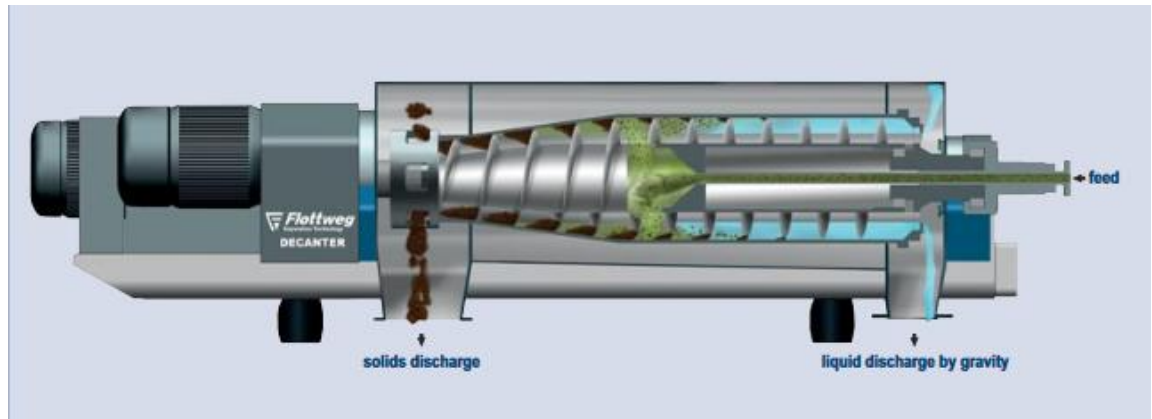
meerejä tyypillisesti annostellaan 1–7 kg/t TS, mutta vaihtelee hieman kuivausmenetelmästä ja lietteestä riippuen. (RIL ry 2004, 577–578.) Taulukossa 4 on polymeerien syöttömääriä erilaisille kuivausmenetelmille.

Taulukko 4. Polymeerien syöttömäärä erilaisille kuivausmenetelmille (RIL ry 2004, 578).

Lietetyyppi	kg polymeeriä (kuiva)/t TS		
	Imusuodatin	Suotonauha	Sentrifugi
Raakaliete	1...5	1...4	0,5...2,5
Raakaliete + aktiiviliete	5...10	2...8	2...5
Raakaliete + biologinen suodatin	1,3...2,5	2...8	-
Aktiiviliete	7,5...15	4...10	5...8
Anaerobisesti mädätetty + raakaliete	3,5...7	2...5	3...5
Anaerobisesti hajotettu raakaliete + aktiiviliete	1,5...8,5	1,5...8,5	-
Anaerobisesti hajotettu liete + aktiiviliete	7,5...10	2...8	-

3.2 Linkous

Linko eli sentrifugi on keskipakovoimaa hyödyntävä kuivausmenetelmä, jolla voidaan erottaa toisistaan tilavuudeltaan eroavia aineita. Vaakatasossa olevan rumpuosan sisällä on Arkhimedeen ruuviin perustuva ruuvikuljetin. Kunnostettu liete syötetään linkoon rumpuosan keskelle. Rumpu ja ruuvi pyörivät nopeasti, jolloin keskipakovoima painaa flokkaantuneita partikkeleita rummun seinämille. Hieman eri nopeudella pyörivä ruuvikuljetin siirtää kiintoainesta rummun päädystä ulos. Kuten kuvassa 1 näkyy, eroteltu rejektivesi johdetaan toisesta päädystä ulos ja takaisin prosessiin. (RIL ry 2004, 568; SNF Floerger 2018, 15.) Keskipakovoiman vaikutuksesta rummun sisälle syntyy nesterengas eli vesifaasi. Neste painautuu rummun seinämää vasten, liikkuu vastakkaiseen suuntaan ruuviin nähden ja lopulta kulkeutuu rummusta ulos. Vesifaasi saadaan syntymään rummun ja ruuvin nopeuksien erolla. (Filippenkov 2012, 16–18.)



Kuva 1. Linko (Flottweg 2018).

Lingossa kiintoaineeseen vaikuttaa voima F_s , jossa

V = kehänopeus, (m/s)

m = osasen massa, (kg)

r = lingon säde, (m)

n = lingon pyörimisnopeus, (1/s).

$$F_s = \frac{mV^2}{r} = \frac{m(2\pi rn)^2}{r} = m4\pi^2 rn^2$$

Kaava 1. Kiintoaineeseen vaikuttava voima (Filippenkov 2012, 16–18).

Lingon erotuskerroin G saadaan, kun verrataan voimaa F_s gravitaatiokiihtyvyyteen g .

$$G = \frac{m4n^2 rn^2}{mg} = \frac{4n^2 rn^2}{g}$$

Kaava 2. Erotuskerroin G . (Filippenkov 2012, 16–18).

Tavallisissa lingoissa erotuskertoimen arvo vaihtelee 500–4 000 (Filippenkov 2012, 16–18).

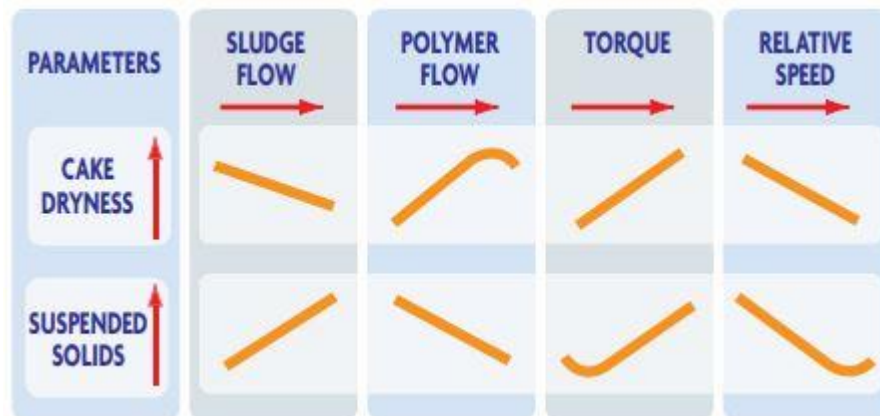
Linkouksella saavutettava paras kuivaustulos vaihtelee 20 % ja 30 % välillä (Filippenkov 2012, 16–18). Tulos on kuitenkin täysin riippuvainen lietteen laadusta ja käytetyistä kemikaaleista (RIL ry 2004, 568). Lingolla myös kuivauksen ja kuiva-aineen pitoisuuden säätäminen onnistuu paremmin kuin muilla menetelmillä. Kuivaustulokseen voidaan vaikuttaa muun muassa ohjaamalla nopeuksia. Lisäämällä lingon suhteellista nopeutta eli rummun ja ruuvin nopeuden erotusta, saadaan paremmin erotettua kuiva-ainesta nesteestä. Linkoa voidaan myös ohjata säätämällä vääntömomenttia. Lietteiden ruuviin synnyttämä paine lisää vääntöä ruuvin akseliin. Vastaavasti kasvattamalla nopeutta vääntö vähenee ja linkouksen erotuskyky tehostuu. (SNF Floerger 2018, 22–23.)

Lingon rejektiä ja kiintoainesta seuraamalla voidaan havainnoida mahdollisia operointiin liittyviä ongelmia. Rejektiveden ollessa tummaa, melkein mustaa, kuiva-ainetta pääsee liikaa linkouksen läpi takaisin prosessiin. Tällöin lietevirtaama saattaa olla liian suuri lingon kapasiteetille. Useimmiten kuitenkin kunnostuskemikaalin syöttö on riittämätöntä, eivätkä syntyneet lieteflokkit kestä linkouksen painetta tai lingon suhteellinen nopeus on liian alhainen. Hitaalla nopeudella liete kulkee kauemmin rummun läpi kasvattaen flokkeihin kohdistuvaa painetta. Tilanteesta riippuen nopeuden kasvattaminen tai polymeerin lisäys selkeyttää rejektiä. (SNF Floerger 2018, 26.)

Harmaa ja vaahtoava rejekti voi indikoida ongelmista kunnostuskemikaalin kanssa. Kemikaali voi olla väärän laatuista, liuos liian vahvaa tai virtaus turhan suuri. Toisaalta ongelma voi olla lietteen syötössä. Linko hidastuu alhaisen kuiva-aineen määrän ja sen myötä alhaisen paineen takia, jotta vääntö pysyisi tehokkaana. Väännön ollessa epävakaa linko ei toimi kunnolla, ja lietteen partikkeleita päätyy rejektiin. Polymeerin tai lietteen syöttöä on säädettävä harmaan rejektin estämiseksi. (SNF Floerger 2018, 26–27.)

Vastaavasti myös lingon kuivaamasta lietteestä voidaan arvioida kuivausprosessin toimintaa. Linko ei toimi kunnolla, jos kuivattu liete, eli niin sanottu kakku, on liian kostea. Väännön ja suhteellisen nopeuden tulisi olla systemaattista ja syntyvien flokkien stabiilia, jotta linko erottelisi oikein. Rummun sisälle syntyvän nesterenkaan koko vaikuttaa kuivaustulokseen. Mitä pienempi nesterengas ja rummun sisäinen veden korkeus, sitä kuivempi kakku. Nesterenkaan kokoon voidaan vaikuttaa säätämällä lingon patolevyjä. Patolevyt on useimmiten asennettu sopiville paikoille jo valmistajan puolesta. (SNF Floerger 2018, 27.)

Kuvassa 2 havainnollistetaan parametrien käyttäytymistä linkouksen eri asetusten muutoksilla. Kakun kuivuus laskee ja rejektiveden partikkelit lisääntyvät lietteen syötön kasvaessa. Vastaavasti trendit liikkuvat parempaan suuntaan polymeerin määrän kasvaessa, kuitenkin kakun kuivuus alkaa laskea tietyn pisteen jälkeen. Kakkua saadaan kuivemmaksi rejektiveden laadun kustannuksella vääntöä lisäämällä. Väännön lisääntyessä rejektin laatu kuitenkin hieman paranee. Suhteellisen nopeuden kasvaessa kumpikin parametri puolestaan laskee, mutta rejektin partikkelimäärä kasvaa hieman korkeilla nopeuksilla. (SNF Floerger 2018, 27.)



Kuva 2. Optimoinnin trendit (SNF Floerger 2018, 27).

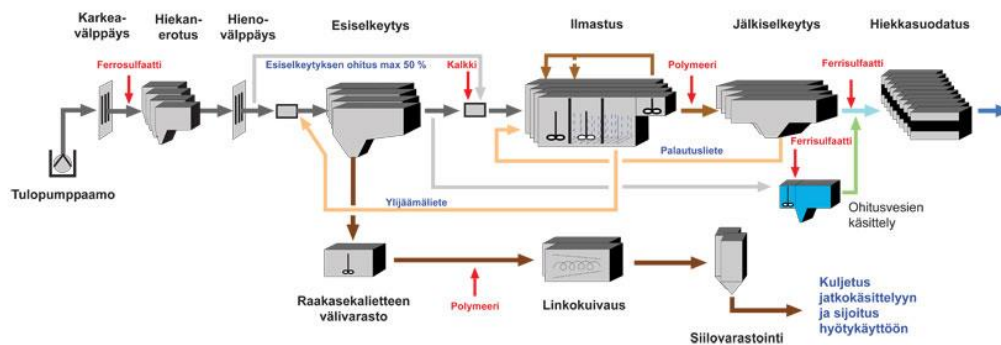
4 KAKOLAN JÄTEVEDENPUHDISTAMO

Turun seudun puhdistamo Oy:n Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo sijaitsee Turussa Kakolanmäen kallioluolassa. Puhdistamo käsittelee 14 lähikunnan vedet ja prosessin läpi virtaa keskimäärin 80 000 m³ vettä päivässä. Laitos perustuu mekaaniseen, fysikaaliseen ja biologiseen puhdistukseen, jonka puhdistustulos ylittää asetetut vaatimukset. Orgaanisen aineen, kiitoaineen ja fosforin osuudelta puhdistusteho on 99 % vaatimuksen ollessa 95 %, ja typenpoiston teho on yli 80 % kun vaatimus on 75 %. (Turun seudun puhdistamo Oy 2018.)

4.1 Prosessi

Puhdistettava jätevesi ohjataan laitokselle kahta linjaa pitkin käsittelyn alkuun. Prosessi alkaa välppäyksellä sekä hiekan ja rasvan erottamisella. Karkeiden välppien jälkeen veteen lisätään ferrosulfaattia saostamaan liukoista fosforia. Hiekanerotuksessa jätevesi myös esi-ilmastetaan ja hiekka sekä raskaampi kiintoaines laskeutetaan pohjalle, rasva poistetaan pintakaapimella. Jätevesi ohjataan hienomman välppän läpi esiselkeytykseen, josta alkaa 4-linjainen käsittely. Prosessikokonaisuus on havainnollistettu kuvassa 3. (TSP Oy 2018.)

Esikäsitelyssä suurin osa jäteveden lietteestä laskeutuu altaiden pohjalle, josta se kerätään jatkokäsittelyyn. Selkeytyksen jälkeen alkaa aktiivilieteprosessi, joka poistaa jätevedestä ravinteita ja orgaanista ainetta mikrobitoimintaa hyödyntämällä. Biologisessa prosessissa käytetään myös niin sanottua rinnakkaissaostusta, jossa ferrosulfaatin saostamaa fosforia poistetaan prosessin yhteydessä. Aktiivilietteen puskurikykyä voidaan myös tarvittaessa nostaa lisäämällä kalsiumkarbonaattia. Ilmastuksesta poistetaan myös ylijäämälietettä esiselkeytykseen. (TSP Oy 2018.)



Kuva 3. Turun seudun puhdistamo Oy:n puhdistusprosessi (TSP Oy 2018).

Jätevesi ohjataan jälkiselkeytysaltaisiin, jossa saadaan poistettua syntynyt biomassa, jäljelle jäänyt fosfori kiintoaineen mukana. Tarpeen mukaan veteen voidaan syöttää ferrosulfaattia tai polymeeriä tehostamaan kiintoaineen laskeutumista. Poistettava liete palautetaan ilmastusaltaiden alkupäähän. Viimeisenä vaiheena jätevesi johdetaan hiekkasuodatukseen, jossa käytetään kvartsihiekkää ja poltettua savea (2 TSP Oy 2018). Puhdistettu vesi johdetaan meriveteen. (TSP Oy 2018.)

4.2 Lietteen käsittely

Turun seudun puhdistamo Oy käsittelee vuodessa noin 46 000 tonnia lietettä, joista sako- ja umpikaivo lietettä on 1,5 % (Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy. 2018). Kakolan puhdistamolla lietettä käsitellään hyvin vähän. Kaikki laitokselta syntyvä liete kerätään ensin esiselkeytysaltaisiin, josta se johdetaan raakasekaliete altaisiin. Altaissa lietettä pidetään tasalaatuisena sekoittamalla, kunnes se johdetaan kuivaukseen. Kuivattu liete säilötään siloihin, josta se kuljetetaan Topinojalle Gasum Oy:n biokaasulaitokselle. Gasum Oy:llä liete hygienisoidaan, mädätetään, jälkikompostoidaan ja lopuksi siitä valmistetaan lannoitteita sekä maanparannusaineita. Mädätyksestä syntyvistä biokaasuista valmistetaan vielä sähköä ja lämpöä. (TSP Oy 2018.) Vuodessa kuivattua lietettä muodostuu noin 46 000 tonnia, jonka keskimääräinen kiintoainepitoisuus on 22,5 % (LSVYT Oy 2018).

Turun seudun puhdistamo Oy:lla on käytössään kolme linkoa, joilla lietettä kuivataan. Normaalitilanteissa lietettä kuivataan arkipäivisin kahdella linkolla. Puhdistamolla on käytössä kaksi Andritzin D6 linkoa ja yksi pienempi Alfa Lavalin DSNX linko. Andritzin

lingot vaihdetaan vuoden 2018 aikana uusiin isompiin Flottwegin C sarjan 7E linkoihin. Toinen lingoista vaihdettiin kesäkuun lopulla ja tämä opinnäytetyö tehtiin kyseisen lingon ominaisuuksien pohjalta. Linkojen toimintaa seurataan näytteenotolla, joka suoritetaan kolme kertaa viikossa rejektistä ja kuivatusta lietteestä. Näytteet lähetetään analysoitavaksi LSVYT Oy:n laboratorioon, jossa kummastakin mitataan kiintoaineen ja kuiva-aineen pitoisuus. (TSP Oy 2018).

5 OPTIMOINTI

Linkojen optimaalisella toiminnalla pyritään saamaan lietteen kuiva-aineen pitoisuus mahdollisimman korkeaksi ja palautettavan rejektiveden kiintoainepitoisuus vastaavasti alhaiseksi. Kuivemman lietteen kuljetuskustannukset ovat pienemmät ja lietteen käsiteltävyys helpottuu huomattavasti. Rejektiveden sisältämä kiintoaine pyritään minimoimaan, sillä vesi palautetaan takaisin prosessiin eikä liete tällöin poistu laitokselta. (2. TSP Oy 2018).

Turun seudun puhdistamolla linkojen kuivaustulos on ollut aikaisemmin noin 22,5 %, mutta uusilla lingoilla olisi tarkoitus päästä jopa yli 27 %:n lopputulokseen. Tällä hetkellä lietteeseen syötetään Flopamin FO 4490 SH kationista polymeeriä 0,5 % vahvuisena liuoksena. Polymeeriä lisätään kiintoaineen mukaan noin 1000–1800 l eli noin 5–8 kg/TSt. (2. TSP Oy 2018).

Kakolanmäellä linkoja ohjataan säätämällä kierroslukua, erokierroslukua ja momenttia. Säädot asetetaan prosessiautomaatioon, joka ohjaa linkojen toimintaa. Lingoissa on asennetut mittarit sekä rejektivedelle että kuivatulle lietteelle. Rejektivedestä mitataan kiintoainetta Valmetin LS-mittarilla ja kuivatusta lietteestä kuiva-ainetta Valmetin DS-mittarilla. (2. TSP Oy 2018.)

5.1 Parametrit

Linkojen käytössä ja säätämisessä huomioon otettavat parametrit voivat vaihdella tarpeen vaatiessa hyvinkin paljon. Lietteiden laadulla ja syöttömäärällä on vaikutus polymeerin annosteluun. Lietteiden pitoisuus, g/l, määrittää ensinnäkin käytettävän polymeerin ja siten myös sen tarvittavan annostelun. Polymeeri toimii paremmin, kun lietteiden annostelu on mahdollisimman tasaista. Polymeerin oikeanlainen annostelu on oleellista kunnon kuivaustuloksen saavuttamiseksi. Esimerkiksi liian pieni määrä polymeeriä edesauttaa kiintoaineiden päätyä rejektiin. Polymeerin synnyttämät flokit eivät kestä linkouksen painetta ja hajoavat pieniksi partikkeleiksi rejektiveden sekaan. (SNF Floerger 2018, 25–26.)

Lietteen ja polymeerin syöttöpiste linkoon voidaan myös huomioida. Pistettä säätämällä voidaan vaikuttaa linkouksen nopeuteen ja tehokkuuteen. Syöttöpiste voi olla muun muassa laitteen alussa tai keskellä. Tiheälle lietteelle sopii paremmin keskellä oleva sijainti, jolloin hydraulinen kapasiteetti on suurempi. (2 SNF Floerger 2018, 41.) Kuivaustulokseen vaikuttaa oleellisesti lingon vääntömomentti ja sen suhteellinen nopeus. Linko säätelee nopeutta kuiva-aineen mukaan, jotta vääntö pysyisi tehokkaana. Väännön ja nopeuden tulisi olla systemaattista, sillä epäsuhteessa toimiva linko päästää partikkeleita rejektiin. (SNF Floerger 2018, 25–26.)

Linkouksen säädössä tulee vielä ottaa huomioon kuivatun kakun kuivuus % ja rejektin laatu eli kiintoainepitoisuus g/l. Kakun kuivuus vaihtelee yleensä 15 % ja 35 % välillä (Filippenkov 2012, 18). Rejektin laadun ja kakun perusteella voidaan säätää kaikkia muita parametreja optimaalisimman tuloksen saavuttamiseksi (SNF Floerger 2018, 26–27).

5.2 Koeajot

Linkojen testaus suoritettiin Flottwegin C sarjan 7E-lingolla. Turun seudun puhdistamo Oy ohjaa linkoa kolmella eri tavalla. Kierrosluku-säädöllä linkoa voidaan ajaa 2400–3000 rpm välillä, mutta pääasiassa kierroslukuna on 3000 rpm. Toinen tapa on erokierros-säätö, jolloin kierrokset vaihtelevat 1,2–8 rpm välillä. Kolmas ajotyyli on momenttisäätö, jolloin momentti voidaan määrittää 30 ja 70 % välille. Säädöt asetetaan käyttöjärjestelmään tai suoraan lingon ohjauspaneeliin, jolloin automaatio hoitaa loput. Ainoastaan polymeeriliuoksen laimennusveden venttiili säädettiin manuaalisesti. Laimein polymeeriliuos, jonka automaatio valmistaa on 0,5 %, joten 0,4% ja 0,2% vahvuiset liuokset vaativat laimennusvettä. (2. TSP Oy 2018.)

Lietettä linkoon syötetään melko tasaisena virtana noin 32,0 m³/h. Virtauksen suuruus vaihtelee jonkin verran lietteen laadusta riippuen. Koeajojen selkeyttämiseksi otettiin huomioon vain tämä keskimääräinen virtausnopeus. Testeissä keskityttiin pääasiassa polymeerin syöttöön ja lingon säätämiseen vaikuttaviin parametreihin. Polymeerin syötössä huomioitiin polymeeriliuoksen suuruus ja sen syöttömäärä. Linkoa säädettiin momenttiasetuksilla.

Linkkoon syötettiin yhteensä 71 erilaista asetusta. Muutama asetus jouduttiin jättämään välistä lingon toimintarajojen tullessa vastaan. Jokaisesta asetuksesta otettiin kaksi näyttää, rejektivedestä ja kuivautusta lietteestä. Näytteet lähetettiin Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:n laboratorioon testattavaksi. Rejektivedestä testattiin kiintoainepitoisuus g/l ja kuivatusta lietteestä kuiva-aine prosentteina.

Koeajot suunniteltiin suoritettavaksi kahdessa osassa. Ensin otettiin näytteet polymeerin eri asetuksilla, jolloin lietteen määrä ja lingon momentti olisivat vakiot. Liitteessä 1 ensimmäisellä sivulla on suunnitelma tämän ensimmäisen osan näytteistä. Polymeeriliuosten pitoisuus suunniteltiin vaihtelevan 0,2–1,2 % välillä ja polymeerinsyötön 600–2000 l/h välillä. Koeajoja aloitettaessa huomattiin lingon pystyvän prosessoimaan vain 750–1800 l/h polymeeriliuosta, joten suunnitelmasta poistettiin rajat ylittävät arvot. Ensimmäisen koe jakson lopulla huomattiin myös, että liuospitoisuuden noustessa 0,8 % rejektivesi alkoi selkeästi vaahdota. Päätettiin jättää 1,2 % liuos kokonaan testaamatta ja kokeilla mielenkiinnon vuoksi 1 % vahvuista liuosta pienellä virtauksella.

Toiseen koejaksoon valittiin parhaimpia tuloksia ensimmäisestä osasta, jotta saataisiin mahdollisimman hyviä tuloksia rejektiveden ja kuivatun lietteen osalta. Tulokset valittiin alhaisimman rejektiveden kiintoaineen ja korkeimman lietteen kuiva-aineen pitoisuuden perusteella. Liitteen 1 toisella sivulla on suunnitelma toisen osan koeajoista. Tässä osassa keskityttiin muuttamaan linkouksen momenttia polymeerin ja lietteen syötön ollessa vakio.



Kuva 4. Valmiita näytteitä.

Koeajot suoritettiin noin kahdessa viikossa. Näytteitä otettiin päivässä vaihtelevasti 6–12 kappaletta. Näytteiden ottaminen oli melko hidasta, sillä lingon asettuminen uusille ase-
tuksille vie hetken ja lietteen kulkeutuminen rummun läpi on hidasta. Näytteet säilytettiin linkohallin jääkaapissa ja noudettiin useimmiten seuraavana päivänä. Kuvassa 7 etu-
alalla rejektivedestä otettuja näytteitä ja takana kuivatusta lietteestä.

Näytteet rejektivedestä otettiin poistoputkeen liitetyistä hanasta. Vettä piti valuttaa hetken
aikaa, jotta näyte olisi kyseisten asetusten mukainen. Näyte mitattiin pieneen muovipul-
loon. Kuivatun lietteen näyte otettiin lingon toisesta päästä, suoraan lietteen poistoput-
kesta. Näytteenottoa varten puhdistamolla on pieni metallinen kauha, jolla putkeen teh-
dystä reiästä saa otettua näytteen. Kuivattu liete laitettiin myös pieneen muoviseen asti-
aan. Näyteastiat näkyvät myös kuvassa 7.

Näytteiden laatua oli vaikea arvioida itse näytteenottotilanteessa. Kuivausprosessi ta-
pahtuu lingon sisällä sekä poistettava liete ja vesi poistuvat suljettua putkea pitkin. Liet-
teen laadun ja määrän pienet vaihtelut vaikuttavat tuloksiin. Poistettavat aineet eivät ole
tasalaatuksia, joten näytteiden arvot saattoivat heittää yllättävästikin. Ulkoisesti näytteet
kuitenkin näyttivät samanlaisilta. Pieniä havaintoja oli kuitenkin helppo tehdä. Kuivatusta

lietteestä havaitsi silmämääräisesti, kuinka kuivaa näyte on ja pystyi vertaamaan näytteitä toisiinsa. Rejektin väristä ja vaahtoavuudesta pystyi seuraamaan polymeerin syötön liian suurta määrää ja arvioimaan hieman kiintoaineen määrää vedessä.

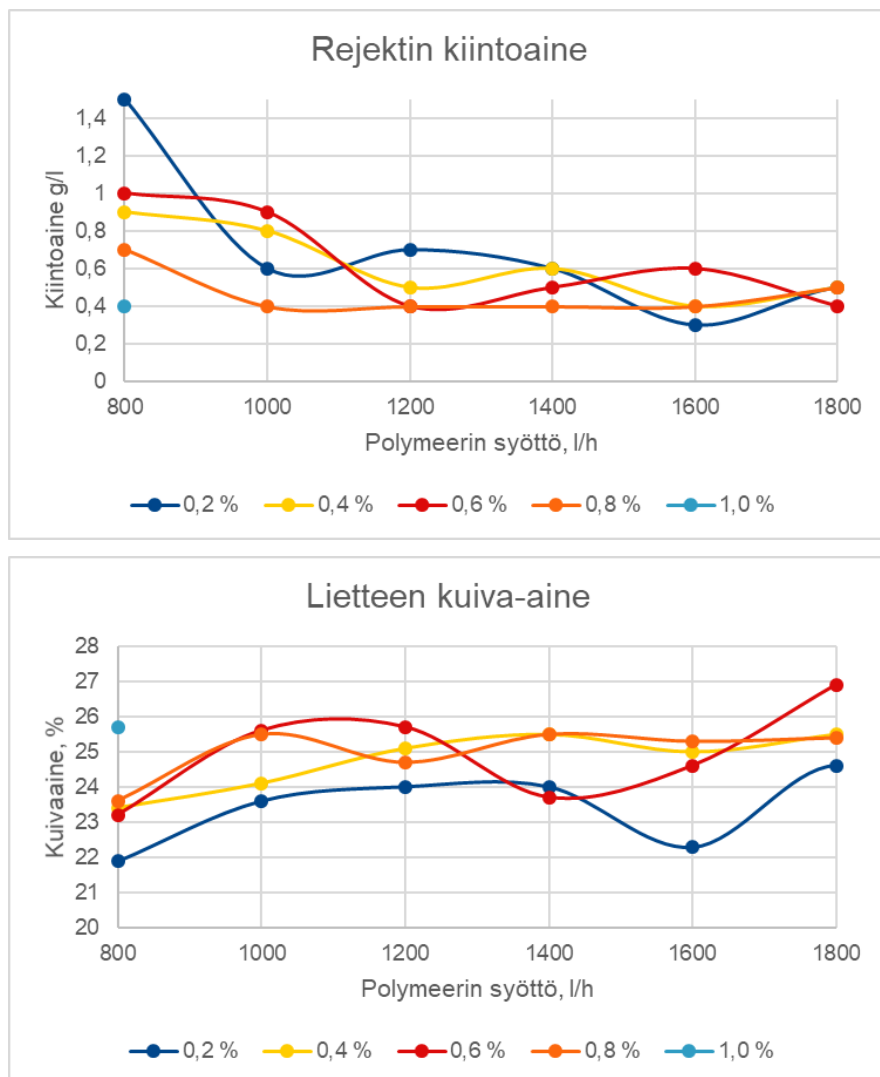
6 TULOKSET

Laboratoriosta saadut näytteet koottiin kahdeksi taulukoksi. Molemmat taulukot ovat liitteessä 3, ja ensimmäisenä on polymeerin testaus ja toisena lingon säätöjen testaus. Tulokset olivat johdonmukaisia muutamaa poikkeamaa lukuun ottamatta. Virheet tuloksissa johtunevat näytteen huonosta laadusta tai syötettävän lietteen epätasaisesta laadusta.

6.1 Ensimmäinen osa

Polymeerin säädöillä testattaessa näytteissä oli enemmän hajontaa. Kuitenkin näytteistä voidaan havaita polymeerin annostelun parantavan kuivausta. Polymeerin määrän kasvaessa lietteen kuivuus oli suurempaa ja rejektin laatu parempaa. Lingon kuivaus tehostuu, kun polymeeriä syötetään riittävästi sopivalla annostuksella (Dimitrova & Carlsson 2011, 6–7).

Taulukossa 2 on koottu kokeen tulokset rejektin ja kakun osalta. Kummassakin taulukossa huomataan muutos parempaan suuntaan polymeeriannoksen kasvaessa. Näistä tuloksista valittiin parhaimmilta vaikuttavat tulokset seuraavaan kokeeseen.

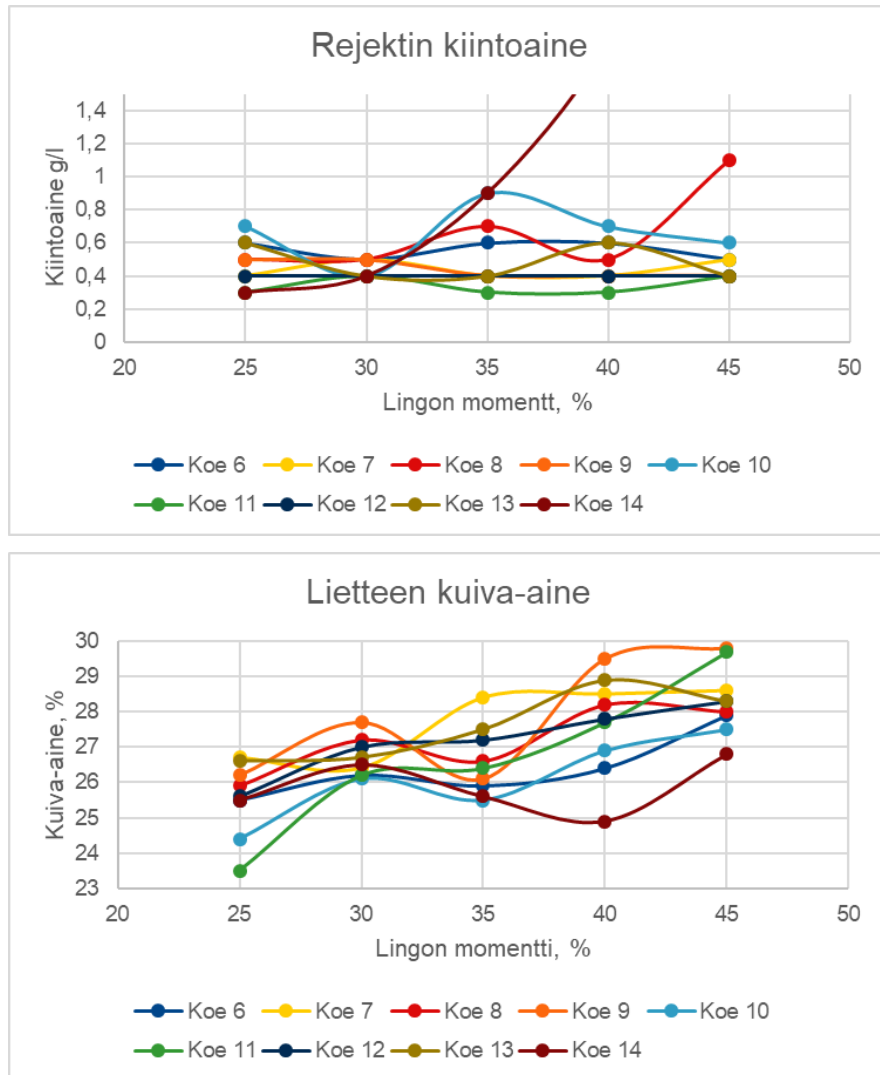


Taulukko 2. Polymeerikokeiden tulokset

Muutama poikkeava tulos on havaittavissa. Rejektin kiintoaineen määrä heittelehtii hie-man 0,2 % ja 0,4 % vahvuisilla polymeeriliuoksilla. Vastaavasti kakun kuivuudessa on muutama selkeä pudotus, liuoksen ollessa 0,2 % ja 0,6 % vahvuista. Voidaan kuitenkin olettaa polymeerin määrän sopivan lisäämisen parantavan kuivaustuloksia. Polymeeri-kokeiden yksityiskohtaisemmat taulukot ovat liitteessä 4.

6.2 Toinen osa

Toiseen osaan valittiin edellisten tulosten parhaimmistoa sekä Kakolanmäen puhdistamon vakioasetus. Normaalisti polymeeriä syötetään 0,5 % vahvuisena liuoksena 1400 l tunnissa. Taulukkoon 3 on koottuna kaikki toisen osan kokeiden tulokset.



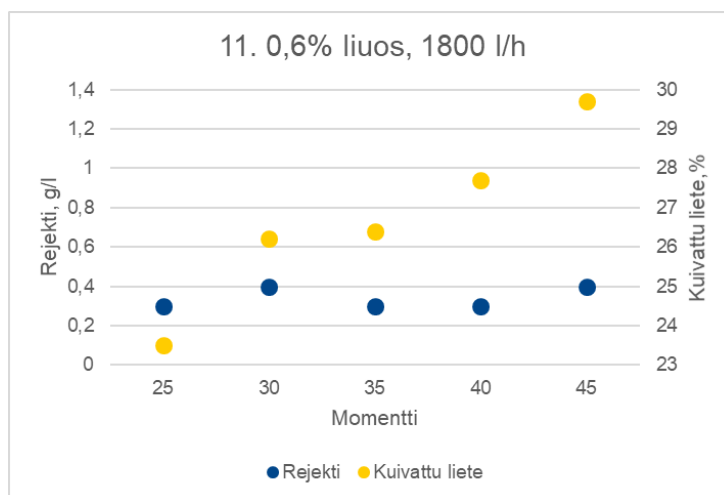
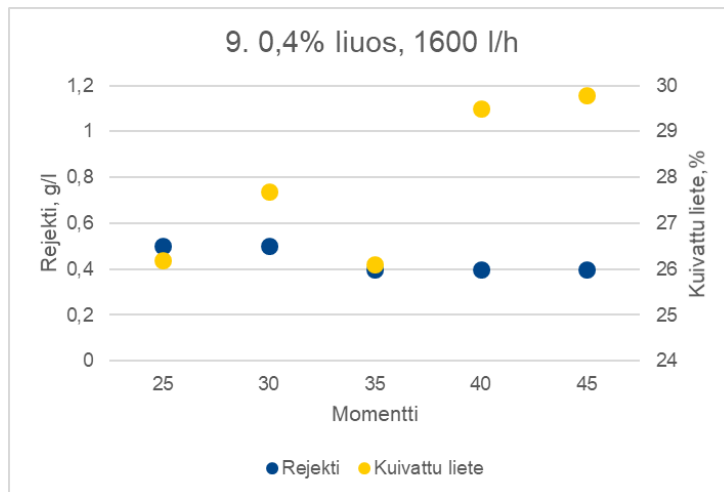
Taulukko 3. Momenttisäätöjen tulokset

Momenttisäädöllä vaikutetaan ruovin voimaan kuljettaa lietettä, joka puolestaan vaikuttaa erokierroksien nopeuteen (Filippenkov 2012, 20). Suurella momentilla saadaan kuivempaa lietettä (Thomas 2009, 110). Kuivauksen tulos pitäisi siis parantua momentin kasvaessa. Tuloksista voidaan havaita teoriaa vastaavia tuloksia. Muutama poikkeama on havaittavissa myös näissäkin tuloksissa, mutta pääasiassa kakun kuivuus on nouseva.

Rejektin kiintoainepitoisuuden vaihteluväli ei ole niin suuri. Kuitenkin parilla asetuksella arvot nousevat huomattavasti, joka johtunee liiallisesta väännöstä kyseisillä polymeerin asetuksilla. Lieteflokkit ovat hajonneet liiallisessa paineessa ja rejektiin on päätyntä liikaa partikkeleita. Muuten rejekti on ollut suhteellisen hyvä kaikilla asetuksilla. Yksittäisten

asetusten tulokset ovat liitetiedostossa 4, mutta parhaimpia ja potentiaalisia asetuksia tarkastellaan lähemmin.

Lietteen kuivauksen osalta päästiin jo hyvin lähelle 30 % useammalla asetuksella. Taulukossa 4 on kyseisten asetusten tulokset koottuna. Sininen merkki näyttää rejektin kiintoaineen ja keltainen lietteen kuiva-ainepitoisuuden tietyillä polymeerin ja momentin asetuksilla. Parhaimmat arvot rejektin laadun ja kakun osalta saatiin asetuksilla: koe 9. polymeeriliuos 0,4 %, syöttö 1600 l/h ja momentti 45 % sekä koe 11. polymeeriliuos 0,6 %, syöttö 1800 l/h ja momentti 45 %. 9. kokeessa, momentin asetuksella 45 %, kuitenkin havainnointiin rejektissä vaahtoa. Vaahtoaminen voi johtua liiallisesta polymeeriannostelusta tai lietteen vähäisestä syötöstä ja siitä aiheutuvasta epätasaisesta momenttiväännöstä. Momentin asetuksella 40 vaahtoa oli vähemmän ja silläkin päästiin yli 29 % kuivaustulokseen.

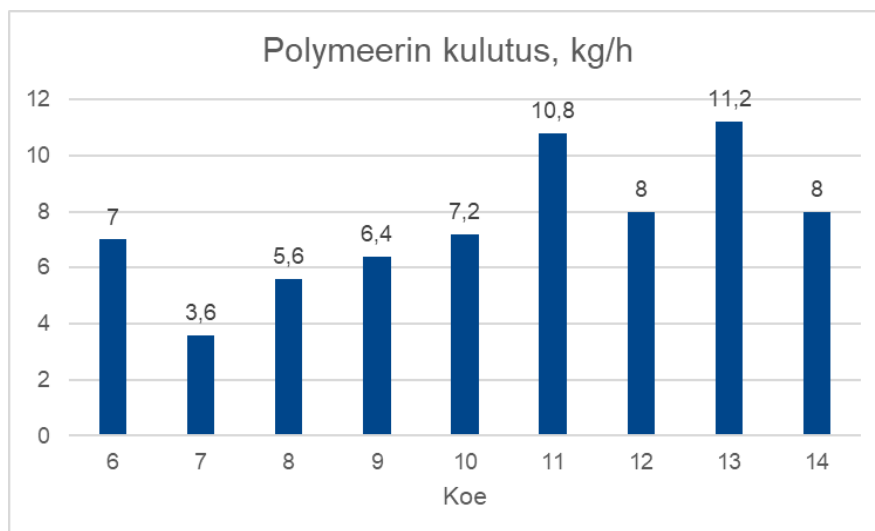


Taulukko 4. Lietteen kuivauksen parhaat asetukset

Tuloksista voidaan myös valita laadukkaimman rejektin mukaan optimaalisimmat arvot. Hajonta ei kuitenkaan ole suurta ja keskiarvo rejektin kiintoaineen pitoisuudelle on 0,5 g/l. Alhaisin arvo tuloksissa on 0,3 g/l, joka saavutettiin muutamalla eri säädöllä: polymeeriliuoksen ollessa 0,6 %, syöttö 1800 l/h ja momentti 25 %, 35 % ja 40 %. Momentin ollessa 25 % lietteen kuiva-ainepitoisuus kuitenkin laskee huomattavasti verrattuna kahteen muuhun säätöön.

6.3 Lisähuomiot

Yllä olevien tulosten lisäksi voidaan arvioida lietteen kuivauksen energiakustannuksia, kuivatun lietteen kuljetuskustannuksia sekä polymeerin kulutusta ja sen kustannuksia. Optimaalisimmilla tuloksilla momentin asetusarvo oli 40 % ja 45 %, joka on lähellä puhdistamon linkojen normaalia asetusta. Energian kulutus on siis melko lähellä jo aikaisempaa. Polymeerin kulutukseen ja kustannuksiin saatiin selkeä ero. Taulukossa 5 on koottu polymeerin kulutus tunnin aikana kyseisillä asetuksilla.



Taulukko 5. Polymeerin kulutus vuorokaudessa

Alhaisin polymeerin kulutus oli kokeessa 7 ja ylin kokeessa 13. Optimaalisimmilla kuivausasetuksilla polymeerin kulutus oli kokeessa 9: 6,4 ja kokeessa 11: 10,8. Nämä huomioon ottaen järkevin ja tehokkain asetus kuivaukselle olisi koe 9:n asetukset. Taulukossa 6 on otettu huomioon myös säästöt polymeerin kulutuksessa.

Koe	Annos, kg/h	Kg/vuosi	Osuus	Säästö	€/vuosi
6	7	43680	100,0 %	0,00 %	91 700 €
7	3,6	22464	51,4 %	48,57 %	47 200 €
8	5,6	34944	80,0 %	20,00 %	73 400 €
9	6,4	39936	91,4 %	8,57 %	83 900 €
10	7,2	44928	102,9 %	-2,86 %	94 300 €
11	10,8	67392	154,3 %	-54,29 %	141 500 €
12	8	49920	114,3 %	-14,29 %	104 800 €
13	11,2	69888	160,0 %	-60,00 %	146 800 €
14	8	49920	114,3 %	-14,29 %	104 800 €

Taulukko 6. Säästöt polymeerin syötössä

Taulukossa 6 on laskettu eri koeasetusten polymeerin kulutus verrattuna puhdistamolla tällä hetkellä käytettäviin asetuksiin. Jos linkoja käytettäisiin 24 tuntia vuorokaudessa 5 päivää viikossa, tulisi käyttötunteja 6240 vuodessa. Nykyisillä asetuksilla (koe 6) polymeerin kulutus tunnissa olisi 7 kg ja vuodessa 43 680 kg. Koe 9:n asetuksilla polymeerin kulutukseen saataisiin vuodessa noin 9% eli tuhansien eurojen säästö.

Liete, t	Kuiva-aine, %	Kustannus, €/a	ka %, €
46 000	22,50 %	3 000 000	675 000 €
46 000	24,00 %	2 813 000	675 000 €
46 000	25,00 %	2 700 000	675 000 €
46 000	26,00 %	2 596 000	675 000 €
46 000	27,00 %	2 500 000	675 000 €
46 000	28,00 %	2 411 000	675 000 €
46 000	29,00 %	2 328 000	675 000 €
46 000	30,00 %	2 250 000	675 000 €

Taulukko 7. Lietteen käsittelyn mahdolliset säästöt

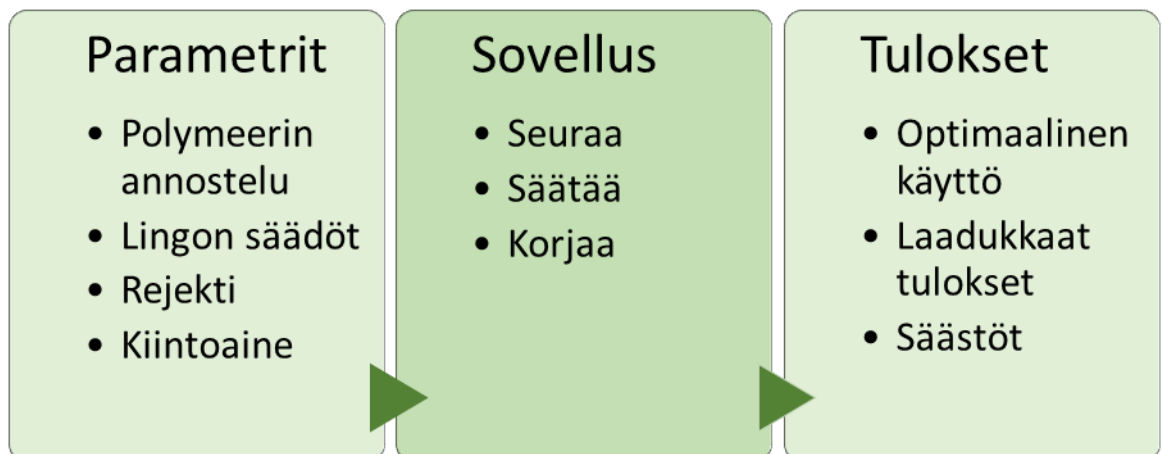
Lietteen kuivauskustannukset ovat noin 20 % Turun seudun puhdistamo Oy:n kokonaiskustannuksista. Vuoden 2017 aikana lietettä käsiteltiin noin 46 000 tonnia ja arvioidaan lietteen käsittelyn maksavan noin 3 miljoonaa euroa. (2 TSP Oy 2018). Puhdistamon nykyisillä asetuksilla lietteen kuiva-ainepitoisuus on ollut noin 22,5 %, jolloin prosentin käsittelykustannus olisi 675 000 €. Oletetaan käsiteltävän lietteen määrän pysyvän samana, jolloin voidaan arvioida mahdollisia syntyviä säästöjä. Taulukossa 7 on laskettu kuiva-aineen prosentin muutoksen vaikutuksia vuoden käsittelykustannuksiin.

Kuljetuskustannukset laskevat lietteen ollessa kuivempaa ja siten myös kevyempää. Turun seudun puhdistamo Oy pyrkii mahdollisimman kuivaan lietteeseen kustannusten minimoimiseksi (2. TSP Oy 2018). Tämän pohjalta on myös perusteltua valita asetus, jolla päästään mahdollisimman kuivaan lietteeseen, muttei kuitenkaan muiden parametrien kustannuksella.

7 SOVELLUS

Opinnäytetyön pohjalta pyritään kehittämään linkoukselle oma optimointisovellus, jolla puhdistamon työntekijät voisivat käyttää linkoa tehokkaasti ja kustannuksia säästään. Tarkoituksena oli selvittää, minkälaisia parametrejä tulevan sovelluksen tulisi ottaa huomioon ja minkälaisilla asetuksilla linkoa ajettaisiin. Sovelluksen avulla kuivaus voitaisiin optimoida vastaamaan haluttuja tavoitteita helpommin. Hyödynnettävät parametrit ja linkojen optimaaliset asetukset voitaisiin valita hyödyntämällä tässä työssä esitettyjä ajatuksia ja saatuja koetuloksia.

Sovelluksen tulisi huomioida useaa parametria toimiakseen kunnolla. Oleellimmat säädöt ovat polymeerin syötössä ja lingon säädöissä. Polymeerin liuospitoisuus ja liuoksen virtaus vaikuttavat kuivauksen lopputulokseen merkittävästi. Itse linkoon asetetut säädöt ovat myös tärkeitä sovelluksen toiminnalle. Kuva 8 havainnollistaa sovellukseen asetettavia arvoja, sen toimintaa ja hyötyjä.



Kuva 5. Sovelluksen toiminta

Optimaalisimman ajon ylläpitämiseen vaaditaan myös kuivatun lietteen ja palautettavan rejektin laadun seuranta, jotta voidaan nopeasti vaikuttaa lingon toimintaan. Linkoon tulisi asentaa luotettavat mittarit rejektin ja kakun arvojen mittaamiseen. Sovellus seuraisi tuloksia jatkuvasti tai sopivilla mittausväleillä sekä ilmoittaisi arvojen merkittävistä muutoksista. Nykyisellä näytteenottomenetelmällä voitaisiin seurata mittarien toimintaa ja tehostaa sovelluksen toimivuutta.

Lisäksi sovellukseen esiasetettujen raja-arvojen ja syötetyn datan perusteella se osaisi säätää oikeat korjaustoimenpiteet. Esimerkiksi, jos rejektin laadussa ilmenee selkeästi liikaa kiintoainetta, ohjeistus olisi kasvattaa lingon nopeutta. Kuvassa 2 on havainnollistettu hyvin miten erilaiset parametrit käyttäytyvät tiettyä ominaisuutta säädettäessä. Rejektin vaahtoavuus on myös hyvä indikaattori lingon toiminnasta, joten sen seuraaminen olisi hyödyllistä. Nykyisin vaahtoamista seurataan vain silmämääräisesti, mutta sen tarkempi mittaaminen auttaisi havainnollistamaan polymeerin syöttöä. Joissakin tietyissä kiintoaineen mittaussyksiköissä on mahdollisuus seurata liian suurta rejektin vaahtoamista, esimerkiksi Valmetin LS – low solids yksiköllä (Valmet 2018). Kuiva-ainetta voi päätyä rejektiin liikaa, jolloin se on väriltään mustaa. Silloin joko polymeerin määrää tulisi lisätä tai kasvattaa lingon nopeutta. Ongelma voi olla myös lietteen liiallisessa syötössä, jolloin lingon kapasiteetti ei enää riitä.

Havaitessaan kakun kuivuuden olevan alhainen ja kuivaustehon riittämätön sovellus osaisi ohjeistaa käyttäjää nostamaan polymeerin annostusta tai lisäämään vääntöä. Sovellukseen olisi koodattuna riittävästi informaatiota, jolloin se osaisi laskea sopivan säätöarvon. Tehtyjen kokeiden tuloksista voitaisiin valita useampi asetus ja kyseisillä asetuksilla saadut tulokset sisällytettäisiin sovellukseen.

Lietteen laatu on myös merkittävä parametri. Laadun ollessa mahdollisimman tasaista polymeerin syöttö on helppo pitää optimaalisena, jolloin kuivaus on tehokasta. Raakasekalietteen laatuun on vaikea vaikuttaa, mutta erilaisilla mittauksella pystyittäisiin seuraamaan sen vaikutusta kuivaukseen. Lietteen kuiva-aineen mittaaminen voisi olla yksi laadunvarmistuksen työkalu. Laadun ja kuivauksen lopputulosta tarkastelemalla saatetaan löytää niiden välinen suhde, jonka avulla linkousta voitaisiin mahdollisesti vielä tehostaa.

Sovellus säätäisi linkousta tietyillä rajoilla. Sen huomatessa laadun kärsivän tai muuten jonkin arvon muuttuvan liikaa, se pystyisi itsenäisesti korjaamaan säätöjä. Taulukkoon 8 on koottu yleisimmät linkoukseen liittyvät ongelmat ja niille sopivat ratkaisut. Sovellus toimisi näiden ohjeiden mukaan säätäen yhtä asetusta kerrallaan aloittaen ensimmäisestä vaihtoehdosta. Säädön jälkeen sovellus seuraisi tilannetta tietyn asetetun ajan, jonka jälkeen, jos arvo ei ole muuttunut, se siirtyisi seuraavaan toimenpiteeseen. Sovellukselle voisi asentaa toimintarajat, esimerkiksi kokeiltuaan kaikkia toimenpiteitä sovellus lopettaisi. Rajojen tullessa vastaan se ilmoittaisi puhdistamon henkilökunnalle havaitsemastaan ongelmasta ja ehkäpä toimenpiteistä, joita se on yrittänyt tehdä.

Kuivauksen ongelmat	Ratkaisut
Märkä kakku	<ol style="list-style-type: none"> Vääntöä suuremmaksi tai suhteellinen nopeus pienemmäksi Polymeeriannoksen kasvattaminen Lietevirtaama pienemmäksi
Vaahtoava rejekti	<ol style="list-style-type: none"> Polymeeriannosta pienemmäksi tai laimeammaksi Lietevirtaama suuremmaksi
Harmaa rejekti	<ol style="list-style-type: none"> Polymeeriannosta pienemmäksi tai laimeammaksi Lietevirtaama suuremmaksi Vääntö suuremmaksi
Musta rejekti	<ol style="list-style-type: none"> Lingon suhteellinen nopeus suuremmaksi Polymeeriannoksen kasvattaminen Lietevirtaama pienemmäksi

Taulukko 8. Linkouksen säädöt

Kuivatun lietteen ja rejektin arvoille asetettaisiin rajat, jotka ovat tavoitteiden mukaiset. Rejektin suuri kiintoainepitoisuus tai vastaavasti kakun alhainen kuiva-ainepitoisuus antaisi sovellukselle käskyn tehdä toimenpiteitä. Vastaavasti huomattaessaan minkä tahansa arvon poikkeavan normaalista, se tekisi itse toimenpiteitä tai ilmoittaisi niistä henkilökunnalle. Sovellus, ohjauksen lisäksi, kertoisi käyttäjälle mitä arvoa muutetaan ja miten sitä säädetään. Kaikki arvojen muutokset ja toimenpiteet jäisi sovelluksen lokiin, jotta sen toimintaa voidaan seurata. Datan tallennus on muutenkin järkevää. Kaikki sovelluksen tiedot olisivat tallennettuna samassa paikassa, jossa tietoja voidaan verrata keskenään tai etsiä muuhun tarkoitukseen.

Sovellus voisi havainnollistaa useampaa trendikäyrää samassa taulukossa, jotta tietojen vertailu olisi helpompaa. Eri parametrien suhteet olisivat helposti nähtävissä ja lingon asetukset näkyvillä. Yhdestä taulukosta näkisi millä asetusyhdistelmällä linkous toimii ja minkälaista lopputulosta saadaan. Tärkeimpiä seurattavia olisi polymeerin ja lietteen syöttömäärä, lingon asetus, rejektin laatu ja kakun kuivuus.

Sovellus olisi loppupeleissä yksinkertainen, useampaa parametria ja ominaisuutta seuraava työkalu, joka pystyy säätämään linkouksen ominaisuuksia turvallisissa rajoissa.

Se auttaisi toteuttamaan optimaalisempaa kuivausta ja oikeita toimenpiteitä, mikäli kuivauksen tulos vaikuttaa heikkenevän. Sovellus vaatii kunnolliset mittalaitteet, jotta kaikkien oleellisten parametrien seuraaminen onnistuisi. Sen tulisi pystyä reagoimaan nopeasti eri parametrien muutoksiin hyvän kuivausprosessin ylläpitämiseksi. Sovelluksen avulla voitaisiin helpommin määritellä sopivat asetukset eri tilanteisiin sekä saada mahdollisimman hyvää rejektivettä ja lietettä. Lisäksi sovellus auttaisi arvioimaan polymeerin kulutusta ja sen kustannuksia, sekä myös mahdollisesti lietteen kuljetuskustannuksia. Tehokas kuivaus ja sen järkevät kustannukset tukevat Turun seudun puhdistamo Oy:n tavoitetta ympäristöystävällisestä toiminnasta ja Itämeren hyvinvoinnista.

LÄHTEET

Dimitrova, I. & Carlsson, H. 2011. Comparison between two techniques for sludge dewatering – trials at Sjölanda and Klagshamn WWTPs. Lund. Viitattu 19.10.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2017/04/48_article_4382.pdf

Ecomation 2017. Biohiilen valmistus lietteestä pyrolyysillä. Helsinki. Viitattu 10.11.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.hsy.fi/repa/fi/teollisetsymbioosit/Documents/INKA-tyopaja_01022017/09_%20Ecomation_Pajala.pdf

Encyclopedia.com 2018. Hygroscopic water. Viitattu 10.11.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/hygroscopic-water>

Filippenkov I. 2012. Yhdyskuntalietteen linkouksen ja polymeroinnin optimointi Viikkinmäen jätevedenpuhdistamolla. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Flottweg 2018. Decanter. Viitattu 6.7.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.flottweg.com/product-lines/decanter/>

Järvinen L. 2013. Koivun mahlan säilyvyyden parantaminen. Saimaan ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.11.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66365/Jarvinen_Lilli.pdf?sequence=1

Karr P. & Keinath T. 1978. Influence of particle size on sludge dewaterability. Journal: Water Pollution Control Federation, Vol. 50, No. 8. Water Environment Federation.

Koponen H. 2010. Maapuhdistamojen tukkeutuminen ja käytöstä poistettujen suodatinmassojen koostumus. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto. Viitattu 10.11.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6909/koponen.pdf?sequence=>

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy 2017. KAKOLANMÄEN JÄTEVEDENPUHDISTAMON TARKKAILUTUTKIMUS VUONNA 2017. Viitattu 14.8.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/wp-content/uploads/2018/03/Kakola8-vy2017.pdf>

Metcalf & Eddy, Inc. & Aecom 2014. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. New York: McGraw-Hill Education.

Michael T. 2009. Optimisation of dewatering centrifuges. 34th Annual Qld Water Industry Operations Workshop Indoor Sports Stadium. Caloundra. Viitattu 19.10.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.612.6676&rep=rep1&type=pdf>

Muoviteollisuus Ry 2018. Muovisanastoa. Viitattu 10.11.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/sanasto/?ltr=13&tag=80>

Oram B. 2018. The Role of Alkalinity Citizen Monitoring. Water Research Center. Viitattu 10.11.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.water-research.net/index.php/the-role-of-alkalinity-citizen-monitoring>

Pihkala J. 2013. Prosessitekniikka. Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy.

Pihkala J. 1998. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Helsinki: Opetushallitus.

Pöyry Environment Oy 2007. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky –selvitys. Viitattu 24.5.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://media.sitra.fi/2017/02/27172733/LietteenkC3A4sittely-2.pdf>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2004. RIL 124-2 Vesihuolto 2. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.

Vesilaitosyhdistys 2016. Puhdistamolieteopas. Puhdistamolietteen käyttömaataloudessa. Viitattu 24.5.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas_kevat_2016s.pdf

Viitasaari, M.; Peltokangas, J. & Heinänen, J. 1994. Vesihuoltotekniikan yksikköoperaatiot ja yksikköprosessit. Osa 2: Jäteveden käsittely. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

SNF Floerger 2018. Sludge Dewatering. Viitattu 19.6.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <http://www.snf.us/wp-content/uploads/2014/08/Sludge-Dewatering-E.pdf>

2. SNF Floerger 2018. Water Soluble Polymers. Viitattu 7.8.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.snf.us/wp-content/uploads/2014/08/Water-Soluble-Polymers-E.pdf>

Valmet 2018. Superior solids measurement solutions for wastewater. Viitattu 12.11.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteesta https://www.valmet.com/globalassets/industries-we-serve/more-industries/wastewater/valmet_wastewater_en.pdf

Von Sperling M. 2007. Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. Biological Wastewater Treatment Series. Lontoo: IWA Publishing. Viitattu 10.11.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402086.pdf>

Turun seudun puhdistamo Oy 2018. Toiminta. Viitattu 2.5.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteesta www.turunseudunpuhdistamo.fi

2. Turun seudun puhdistamo Oy 2018. Henkilökunnan haastattelut

3. Turun seudun puhdistamo Oy 2018. Prosessiautomaatio

Ympäristö.fi 2018. Vesistöjen tilan kehitys. Viitattu 10.11.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteessa [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/PohjoisPohjanmaan_ymparistohistoria/Vesistojen_tilan_kehitys\(15242\)#alkaliniteetti](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/PohjoisPohjanmaan_ymparistohistoria/Vesistojen_tilan_kehitys(15242)#alkaliniteetti)

LIITTEET

Koeajojen asetukset, suunnitelma

	Koe	Parametrit				Tulokset	
		Polymeeri liuos	Poly syöttö (l)	Lietteen määrä	Momentti	Rejektin TS	Kuivaus %
1.	1.	0,2	600	32,0	26 (26%)		
	2.	0,2	800	32,0	26 (26%)		
	3.	0,2	1000	32,0	26 (26%)		
	4.	0,2	1200	32,0	26 (26%)		
	5.	0,2	1400	32,0	26 (26%)		
	6.	0,2	1600	32,0	26 (26%)		
	7.	0,2	1800	32,0	26 (26%)		
	8.	0,2	2000	32,0	26 (26%)		
2.	1.	0,4	600	32,0	26 (26%)		
	2.	0,4	800	32,0	26 (26%)		
	3.	0,4	1000	32,0	26 (26%)		
	4.	0,4	1200	32,0	26 (26%)		
	5.	0,4	1400	32,0	26 (26%)		
	6.	0,4	1600	32,0	26 (26%)		
	7.	0,4	1800	32,0	26 (26%)		
	8.	0,4	2000	32,0	26 (26%)		
3.	1.	0,6	600	32,0	26 (26%)		
	2.	0,6	800	32,0	26 (26%)		
	3.	0,6	1000	32,0	26 (26%)		
	4.	0,6	1200	32,0	26 (26%)		
	5.	0,6	1400	32,0	26 (26%)		
	6.	0,6	1600	32,0	26 (26%)		
	7.	0,6	1800	32,0	26 (26%)		
	8.	0,6	2000	32,0	26 (26%)		
4.	1.	0,8	600	32,0	26 (26%)		
	2.	0,8	800	32,0	26 (26%)		
	3.	0,8	1000	32,0	26 (26%)		
	4.	0,8	1200	32,0	26 (26%)		
	5.	0,8	1400	32,0	26 (26%)		
	6.	0,8	1600	32,0	26 (26%)		
	7.	0,8	1800	32,0	26 (26%)		
	8.	0,8	2000	32,0	26 (26%)		
5.	1.	1,0	600	32,0	26 (26%)		
	2.	1,0	800	32,0	26 (26%)		
	3.	1,0	1000	32,0	26 (26%)		
	4.	1,0	1200	32,0	26 (26%)		
	5.	1,0	1400	32,0	26 (26%)		
	6.	1,0	1600	32,0	26 (26%)		
	7.	1,0	1800	32,0	26 (26%)		
	8.	1,0	2000	32,0	26 (26%)		
6.	1.	1,2	600	32,0	26 (26%)		
	2.	1,2	800	32,0	26 (26%)		
	3.	1,2	1000	32,0	26 (26%)		
	4.	1,2	1200	32,0	26 (26%)		
	5.	1,2	1400	32,0	26 (26%)		
	6.	1,2	1600	32,0	26 (26%)		
	7.	1,2	1800	32,0	26 (26%)		
	8.	1,2	2000	32,0	26 (26%)		

	Parametrit					Tulokset	
	Koe	Polymeeri liuos	Poly syöttö (l)	Lietteen määrä	Momentti	Rejektin TS	Kuivaus %
7.	1.	0,5	1400	32,0	25		
	2.	0,5	1400	32,0	30		
	3.	0,5	1400	32,0	35		
	4.	0,5	1400	32,0	40		
	5.	0,5	1400	32,0	45		
8.	1.	0,2	1800	32,0	25		
	2.	0,2	1800	32,0	30		
	3.	0,2	1800	32,0	35		
	4.	0,2	1800	32,0	40		
	5.	0,2	1800	32,0	45		
9.	1.	0,4	1400	32,0	25		
	2.	0,4	1400	32,0	30		
	3.	0,4	1400	32,0	35		
	4.	0,4	1400	32,0	40		
	5.	0,4	1400	32,0	45		
10.	1.	0,4	1600	32,0	25		
	2.	0,4	1600	32,0	30		
	3.	0,4	1600	32,0	35		
	4.	0,4	1600	32,0	40		
	5.	0,4	1600	32,0	45		
11.	1.	0,6	1200	32,0	25		
	2.	0,6	1200	32,0	30		
	3.	0,6	1200	32,0	35		
	4.	0,6	1200	32,0	40		
	5.	0,6	1200	32,0	45		
12.	1.	0,6	1800	32,0	25		
	2.	0,6	1800	32,0	30		
	3.	0,6	1800	32,0	35		
	4.	0,6	1800	32,0	40		
	5.	0,6	1800	32,0	45		
13.	1.	0,8	1000	32,0	25		
	2.	0,8	1000	32,0	30		
	3.	0,8	1000	32,0	35		
	4.	0,8	1000	32,0	40		
	5.	0,8	1000	32,0	45		
14.	1.	0,8	1400	32,0	25		
	2.	0,8	1400	32,0	30		
	3.	0,8	1400	32,0	35		
	4.	0,8	1400	32,0	40		
	5.	0,8	1400	32,0	45		
15.	1.	1	800	32,0	25		
	2.	1	800	32,0	30		
	3.	1	800	32,0	35		
	4.	1	800	32,0	40		
	5.	1	800	32,0	45		

Näytteiden lähetekortti

TSP OY LINKOJEN KOEAJOT VKO 35-37 VUOSI 2018
TUTKIMUSOHJELMA: TSP0Y8/LIEKOE/10

KENTTÄKORTTI/LÄHETE

Näytepäivä _____ Tilausno (labra täyttää) _____

Näytenimi	Lietepurkki merk. koodi	Näyte nro (labra täyttää)	Näytenimi	Re 0,5 L pullo merk. koodi	Näyte nro (labra täyttää)	Näytteenottoaika
1. kuivattu liete			1. rejektivesi			
2. kuivattu liete			2. rejektivesi			
3. kuivattu liete			3. rejektivesi			
4. kuivattu liete			4. rejektivesi			
5. kuivattu liete			5. rejektivesi			
6. kuivattu liete			6. rejektivesi			
7. kuivattu liete			7. rejektivesi			
8. kuivattu liete			8. rejektivesi			
9. kuivattu liete			9. rejektivesi			
10. kuivattu liete			10. rejektivesi			
11. kuivattu liete			11. rejektivesi			
12. kuivattu liete			12. rejektivesi			

Näytteenottaja _____

Näytteiden tulokset

	Parametriit					Tulokset	
	Koe	Liuos, %	Virtaus, l/h	Liete, m ³ /h	Momentti, %	Rejektin TS, g/l	Kuivaus %
1.	1.	0,2	800	32,0	26	1,5	21,9
	2.	0,2	1000	32,0	26	0,6	23,6
	3.	0,2	1200	32,0	26	0,7	24
	4.	0,2	1400	32,0	26	0,6	24
	5.	0,2	1600	32,0	26	0,3	22,3
	6.	0,2	1800	32,0	26	0,5	24,6
	7.	0,2	2000	32,0	26	0,5	22,5
2.	1.	0,4	800	32,0	26	0,9	23,4
	2.	0,4	1000	32,0	26	0,8	24,1
	3.	0,4	1200	32,0	26	0,5	25,1
	4.	0,4	1400	32,0	26	0,6	25,5
	5.	0,4	1600	32,0	26	0,4	25
	6.	0,4	1800	32,0	26	0,5	25,5
3.	1.	0,6	800	32,0	26	1	23,2
	2.	0,6	1000	32,0	26	0,9	25,6
	3.	0,6	1200	32,0	26	0,4	25,7
	4.	0,6	1400	32,0	26	0,5	23,7
	5.	0,6	1600	32,0	26	0,6	24,6
	6.	0,6	1800	32,0	26	0,4	26,9
4.	1.	0,8	800	32,0	26	0,7	23,6
	2.	0,8	1000	32,0	26	0,4	25,5
	3.	0,8	1200	32,0	26	0,4	24,7
	4.	0,8	1400	32,0	26	0,4	25,5
	5.	0,8	1600	32,0	26	0,4	25,3
	6.	0,8	1800	32,0	26	0,5	25,4
5.	1.	1,0	800	32,0	26	0,4	25,7

	Koe	Parametrit				Tulokset	
		Liuos, %	Virtaus, l/h	Liete, m ³ /h	Momentti, %	Rejektin TS, g/l	Kuivaus %
6	1.	0,5	1400	32,0	25	0,6	25,5
	2.	0,5	1400	32,0	30	0,5	26,2
	3.	0,5	1400	32,0	35	0,6	25,9
	4.	0,5	1400	32,0	40	0,6	26,4
	5.	0,5	1400	32,0	45	0,5	27,9
7	1.	0,2	1800	32,0	25	0,4	26,7
	2.	0,2	1800	32,0	30	0,5	26,4
	3.	0,2	1800	32,0	35	0,4	28,4
	4.	0,2	1800	32,0	40	0,4	28,5
	5.	0,2	1800	32,0	45	0,5	28,6
8	1.	0,4	1400	32,0	25	0,5	25,9
	2.	0,4	1400	32,0	30	0,5	27,2
	3.	0,4	1400	32,0	35	0,7	26,6
	4.	0,4	1400	32,0	40	0,5	28,2
	5.	0,4	1400	32,0	45	1,1	28
9	1.	0,4	1600	32,0	25	0,5	26,2
	2.	0,4	1600	32,0	30	0,5	27,7
	3.	0,4	1600	32,0	35	0,4	26,1
	4.	0,4	1600	32,0	40	0,4	29,5
	5.	0,4	1600	32,0	45	0,4	29,8
10	1.	0,6	1200	32,0	25	0,7	24,4
	2.	0,6	1200	32,0	30	0,4	26,1
	3.	0,6	1200	32,0	35	0,9	25,5
	4.	0,6	1200	32,0	40	0,7	26,9
	5.	0,6	1200	32,0	45	0,6	27,5
11	1.	0,6	1800	32,0	25	0,3	23,5
	2.	0,6	1800	32,0	30	0,4	26,2
	3.	0,6	1800	32,0	35	0,3	26,4
	4.	0,6	1800	32,0	40	0,3	27,7
	5.	0,6	1800	32,0	45	0,4	29,7
12	1.	0,8	1000	32,0	25	0,4	25,6
	2.	0,8	1000	32,0	30	0,4	27
	3.	0,8	1000	32,0	35	0,4	27,2
	4.	0,8	1000	32,0	40	0,4	27,8
	5.	0,8	1000	32,0	45	0,4	28,3
13	1.	0,8	1400	32,0	25	0,6	26,6
	2.	0,8	1400	32,0	30	0,4	26,7
	3.	0,8	1400	32,0	35	0,4	27,5
	4.	0,8	1400	32,0	40	0,6	28,9
	5.	0,8	1400	32,0	45	0,4	28,3
14	1.	1	800	32,0	25	0,3	25,5
	2.	1	800	32,0	30	0,4	26,5
	3.	1	800	32,0	35	0,9	25,6
	4.	1	800	32,0	40	1,8	24,9
	5.	1	800	32,0	45	3,2	26,8