

Opinnäytetyö (AMK)

Insinööri, Energia- ja ympäristötekniikka

2024

Joni Suojansalo

Lietteenkuivauksen
tehokkuustarkastelu
Kakolanmäen
jätevedenpuhdistamolla

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Insinööri, Energia- ja ympäristötekniikka

2024 | 35 sivua

Joni Suojansalo

Lietteenkuivauksen tehokkuustarkastelu Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla käytössä olevien Flottwegin C- ja X-sarjan lietteenkuivauslinkojen kustannustehokkuus toisiinsa verrattuna ja löytää molemmille lingoille koeajojen avulla optimaaliset ajoparametrit.

Työssä selvitettiin Turun seudun puhdistamo Oy:n hankkiman lietteenkuivauslingon Xelletor-päivityspaketin tuomaa säästöä. Huomioon otetut kustannukset olivat energiakustannukset ja jatkokäsittelyn kustannukset. Hankinnalle laskettiin tulosten perusteella takaisinmaksuaika.

Työ toteutettiin koeajamalla lietteenkuivauslinkoja. Koeajot suoritettiin neljässä jaksossa. Jaksojen aikana lingoista kerättiin näytteitä jokaisen asetusarvojen muutoksen jälkeen. Kolmessa ensimmäisessä jaksossa keskityttiin linkojen optimointiin säätämällä yksittäisiä parametreja. Neljännessä jaksossa keskityttiin linkojen optimointiin säätämällä kaikkia edellisissä jaksoissa säädettyjä parametreja. Tulosten perusteella linkojen käyttäjälle luotiin ohjetaulukko. Ohjetaulukon avulla linkojen käyttäjä voi optimoida lingon toimintaa paremman tuloksen saamiseksi.

Asiasanat:

Liete, Lietteenkuivaus, Kustannustehokkuus, Optimointi

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Engineer, Energy- and Environmental engineering

2024 | 35

Joni Suojansalo

Review of sludge drying efficiency at the Kakolanmäki wastewater treatment plant

The aim of the thesis was to investigate the cost effectiveness of the Flottweg C and X series decanter centrifuges compared to each other, and to find the optimal operating parameters for both centrifuges through test runs at the Kakolanmäki wastewater treatment plant.

The work investigated the savings brought by the Xelletor upgrade package of the centrifuge acquired by Turun seudun puhdistamo Oy. The costs taken into account were the energy costs and the costs of further processing. A payback period for the acquisition was calculated based on the results.

The work was conducted by executing test runs on the centrifuges. The test runs were carried out in four periods. During the periods, samples were collected after each change in the setpoints. In the first three periods, the focus was on optimizing centrifuges by adjusting individual parameters. In the fourth period, the focus was on optimizing centrifuges by adjusting all the parameters that were adjusted in the previous periods. Based on the results, an instruction table was created for the user of the centrifuges. With the help of the instruction table, the user of the centrifuges can optimize centrifuge operation to gain a better result.

Keywords:

Sludge, Sludge drying, Cost effectiveness, Optimizing

Sisältö

1. Johdanto	7
2. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo	8
2.1. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon prosessi	8
2.2. Lietteen esikäsittely Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla	10
2.3. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon lietteen jatkokäsittely	10
3. Liete	11
3.1. Käsittely	11
3.2. Lietteen kunnostus	13
3.3. Lietteenkuivauslinko	14
3.4. Kuivauksessa syntyvä rejektivesi	15
3.5. Lietteenkuivauslingon säätöparametrit	15
4 Koeajot	17
4.1. Vertailtavat lingot	17
4.2. Toteutus	18
4.3. Tulosten käsittely	19
5. Tulokset	20
5.1. Vääntömomentin säädön koeajo	20
5.2. Polymeerin syötön koeajo	21
5.3. Lietteen syötön koeajo	22
5.4. Optimoinnin koeajot	24
5.5. Kustannusvertailu	25
6. Pohdinta ja johtopäätökset	28
6.1. Suositeltavat jatkotutkimukset	30
6.2. Suositeltavat toimenpiteet	31
6.3. Tutkimuksen kriittisyystarkastelu	31
Lähteet	32

Liitteet

Liite 1. Vääntömomentin säädön ja polymeerin syötön koeajojen tulokset

Kuvat

Kuva 1. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi ja lietteenkäsittely (Turun seudun puhdistamo Oy 2016).	9
Kuva 2. Lietteenkuivauslinko (Flottweg 2024).	14
Kuva 3. Vesifaasin syvyyden vaikutus (Prabhu 2020).	16
Kuva 4. Flottweg C-sarja (Flottweg 2024).	17
Kuva 5. Flottweg Xelletor-Sarja (Flottweg 2024).	18
Kuva 6. Rejektivesinäytteitä visuaalisessa tarkastelussa	19

Kuviot

Kuvio 1. Vääntömomentin säätö koeajojen tulokset	20
Kuvio 2. Polymeerin syötön koeajojen tulokset	21

Taulukot

Taulukko 1. Lietteiden pääkäsittelymenetelmät ja niiden etenemisjärjestys (RIL 124-2, 560).	12
Taulukko 2. Lietteen syötön koeajojen tulokset.	23
Taulukko 3. Optimoinnin koeajojen tulokset.	24
Taulukko 4. Linkojen energiankulutus vuodessa	25
Taulukko 5. Lietteen jatkokäsittelyn kustannukset	26
Taulukko 6. Linkojen vuosikustannukset	27
Taulukko 7. Lietteen linkouksen optimoinnin ohjetaulukko	28
Taulukko 8. Vääntömomentin säädön koeajojen tulokset	34
Taulukko 9. Polymeerin syötön koeajojen tulokset	35

Käytetyt lyhenteet

kg/tnKA	Kilogrammaa kuivattua tonnia kohden
kWh	Kilowattitunti
Nm	Vääntömomentin yksikkö
pH	Happamuuden yksikkö
rpm	Kierrosnopeuden yksikkö

1. Johdanto

Suomessa vesihuoltolaitoksilla muodostuu vuosittain noin miljoona tonnia lietettä, joka vastaa noin 150 000 tonnia kuiva-ainetta (Blomberg, K. & Toivikko, S. 2015). Jätevedenpuhdistamoiden keskittäminen isompiin laitoksiin kasvattaa suuresti käsiteltävän lietteen määrää, ja lietteen kuivaus sekä kuljetus ovatkin suuri kuluerä jätevedenpuhdistamoilla. Tämä kannustaa puhdistamoita investoimaan kustannus- ja energiatehokkaampiin käsittelymenetelmiin. Lietteiden kuivauksen kustannukset muodostuvat kuivauslaitteiston, pumppausjärjestelmän ja sekoituksen kuluttamasta energiasta, kemikaalikustannuksista eli polymeerin käytöstä ja kuljetuskustannuksista, joihin vaikuttaa lietteiden kuiva-ainepitoisuus (Motiva 2018).

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Turun seudun puhdistamo Oy:n Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla lietteiden kuivauksessa käytettävän Flottweg X-sarjan dekantterilingon kustannustehokkuutta Flottweg C-sarjan dekantterilinkoon verrattuna. Koeajojen avulla määritetään molemmille dekantterilingoille optimaaliset ajoparametrit, joiden avulla voidaan säästää kemikaalikustannuksissa ja saada mahdollisimman korkea lietteiden kuiva-ainepitoisuus sekä vähäinen rejektin kiintoainepitoisuus energiatehokkaasti. Lietteiden kuivaus toimii parhaiten, kun lietteiden laatu pysyy tasaisena. Käytännössä lietteiden laatu kuitenkin vaihtelee huomattavasti, mikä vaikeuttaa kuivausprosessia. Koeajojen perusteella luodaan linkojen käyttäjälle ohjeistus, jonka avulla käyttäjä pystyy säätämään lingon asetusarvoja niin, että erilaisissa tilanteissa päästäisiin mahdollisimman hyvään kokonaistaloudelliseen lopputulokseen.

2. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo

Turun seudun puhdistamo Oy:n Kakolanmäen jätevedenpuhdistamo käsittelee Turun seudun noin 300 000 asukkaan ja alueen teollisuuden jätevedet 4-linjaisessa erittäin tehokkaasti toimivassa, mekaaniseen, kemialliseen ja biologiseen käsittelyyn perustuvassa puhdistusprosessissa. Puhdistamon puhdistustulokset ovat erinomaiset, sillä orgaanisen aineen, fosforin ja kiintoaineen poistossa päästään 99 % puhdistustehoon ja typenpoistoteho on yli 80 %, mitkä ovat enemmän kuin ympäristöluvassa esitetyt vaatimukset. Puhdistamon läpi virtaa keskimäärin 90 000 m³ vettä vuorokaudessa. (Turun seudun puhdistamo Oy 2016.)

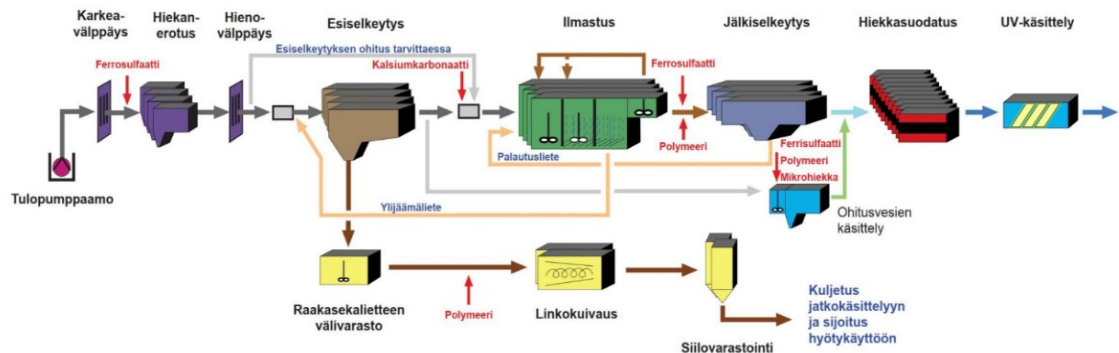
2.1. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon prosessi

Puhdistamolle saapuu jätevettä tuloputkia pitkin kahdesta eri suunnasta ja putket yhdistyvät tulokaivoon, josta jätevesi pumpataan esikäsittelyyn. Mekaanisen esikäsittelyn ensimmäisessä vaiheessa jätevesi kulkee karkeavälppäyksen läpi, jossa 10 mm väleillä oleva terässäleikkö erottaa suurimmat roskat vedestä. Tämän jälkeen jätevesi johdetaan hiekanerotusaltaisiin, jossa hiekka ja raskas kiintoaine laskeutuu painovoiman avulla pohjaan. Rasva sekä kevyt kiintoaine nostetaan veteen johdetun ilman avulla pintaan. Pohjalle laskeutunut hiekka ja kiintoaine johdetaan hiekan pesuun. Pinnalle noussut rasva sekä kiintoaine poistetaan pintakaapimella. Hiekanerotuksen jälkeen jätevesi kulkee vielä 3 mm väleillä olevan teräsäleikön läpi, jotta jäljellä olevat pienemmät roskat saadaan poistettua.

Esikäsittelyn jälkeen jätevesi johdetaan esiselkeytysaltaisiin, jossa suuri osa jäteveden sisältämästä kiintoaineesta laskeutuu pohjaan, josta se kaavitaan kaapimilla suppilon mallisiin lietetaskuihin. Altaista vesi jatkaa matkaansa ilmastusaltaille altaan loppupäässä olevista ylivuotokouruista.

Ilmastusaltaassa tapahtuu jäteveden biologinen käsittely ja se toteutetaan aktiivilieteprosessina. Aktiiviliete koostuu mikrobeista ja muusta biomassasta, jossa elävät pieneliöt käyttävät hyväkseen jäteveden liuenneita ravinteita ja orgaanisia yhdisteitä. Ilmastuksen loppupäässä tapahtuu ylijäämälietteenpoisto, jossa bioliete poistetaan esiselkeytykseen ja sieltä bioliete poistetaan prosessista raakasekalietteenä. Ilmastusaltaista aktiiviliete johdetaan jälkiselkeytysaltaisiin, jossa biomassa laskeutetaan altaan pohjalle painovoiman sekä ferrosulfaatin ja polymeerin avulla. Jälkiselkeytyksessä jäljellä oleva fosfori saadaan poistettua kiintoaineen mukana.

Jälkiselkeytysaltaalta vesi johdetaan vielä hiekkasuodatukseen. Siellä vesi johdetaan hiekkapatjan läpi, jotta viimeisetkin kiintoaineet saadaan eroteltua. Lopuksi käsitelty jätevesi kulkee UV-hygienisoinnin läpi purkuputken kautta mereen. Kakolanmäen puhdistamon prosessi on havainnollistettu kuvassa 1. (Turun seudun puhdistamo Oy 2016.)



Kuva 1. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi ja lietteenkäsittely (Turun seudun puhdistamo Oy 2016).

2.2. Lietteen esikäsitely Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla

Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla syntyi kuivattua lietettä 35 253 tonnia vuonna 2023 (Ilmanen 2024). Mekaanisessa esikäsitelyssä jäteveteen syötetään ferrosulfaattia, joka reagoi jäteveden fosforin kanssa ja saostaa liukoista fosforia kiinteään olomuotoon. Esiselkeytysaltaissa ferrosulfaatin ja painovoiman avulla jäteveden mukana tullut kiintoaine laskeutuu altaan pohjalle, ja sieltä kiintoaine kootaan kaapimien avulla lietetaskuihin. Myös ilmastuksen ja ohitusvesien käsittely-yksikön ylijäämälietteet pumpataan esiselkeytykseen. Lietetaskuissa tiivistynyt liete pumpataan raakasekalietealtaisiin ja altaista linkokuivaukseen. Puhdistamolla on käytössä kaksi lietteenkuivauslinkoa, ja lingot ovat käytössä noin viisi vuorokautta viikossa. Linkokuivauksessa kunnostuskemikaalina käytetään polymeeriä. Kuivattu liete varastoidaan kahteen lietesiiloon jatkokäsittelyyn kuljetusta varten. Linkokuivauksessa syntyvät rejektivedet johdetaan takaisin hienovälpille ilman erilliskäsittelyä, minkä takia rejektiveden kiintoainepitoisuus halutaan pitää mahdollisimman alhaisena. Myös lietteenkäsittelyprosessi on havainnollistettu kuvassa 1. (Turun seudun puhdistamo Oy 2016.)

2.3. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon lietteen jatkokäsittely

Lietesiiloihin varastoitu kuivattu liete lastataan säiliöautoon ja kuljetetaan biokaasulaitokselle jatkokäsittelyä varten. Biokaasulaitoksella tapahtuu lietteen varsinainen käsittely: hygienisointi, mädätys ja jälkikompostointi. Mädätyksessä syntyy biokaasua, josta saadaan tuotettua liikennepolttoainetta, kaukolämpöä ja sähköä. Käsitelty liete voidaan hyödyntää lannoitevalmisteen raaka-aineena tai hyödyntää maanparannusaineena. (Turun seudun puhdistamo Oy 2016.)

3. Liete

Puhdistamolietettä on kaikki se materiaali, jota jää jäljelle välppäyksen ja hiekanerotuksen jälkeen (Laitinen ym. 2014). Puhdistamoliete syntyy tulevan jäteveden kiintoaineesta ja puhdistusprosessissa kiintoainemuotoon saatetusta aineesta (Haavisto 2018). Liete on määrällisesti suurin puhdistusprosessista poistettavista aineista ja sen käsittely ja loppusijoitukseen valmistelu on yksi vaikeimmista vaiheista jätevedenpuhdistuksessa. Lietteiden laatuun ja määrään vaikuttaa sovelletut prosessit ja osittain myös tulevan veden laatu. (RIL 124-2, 555.)

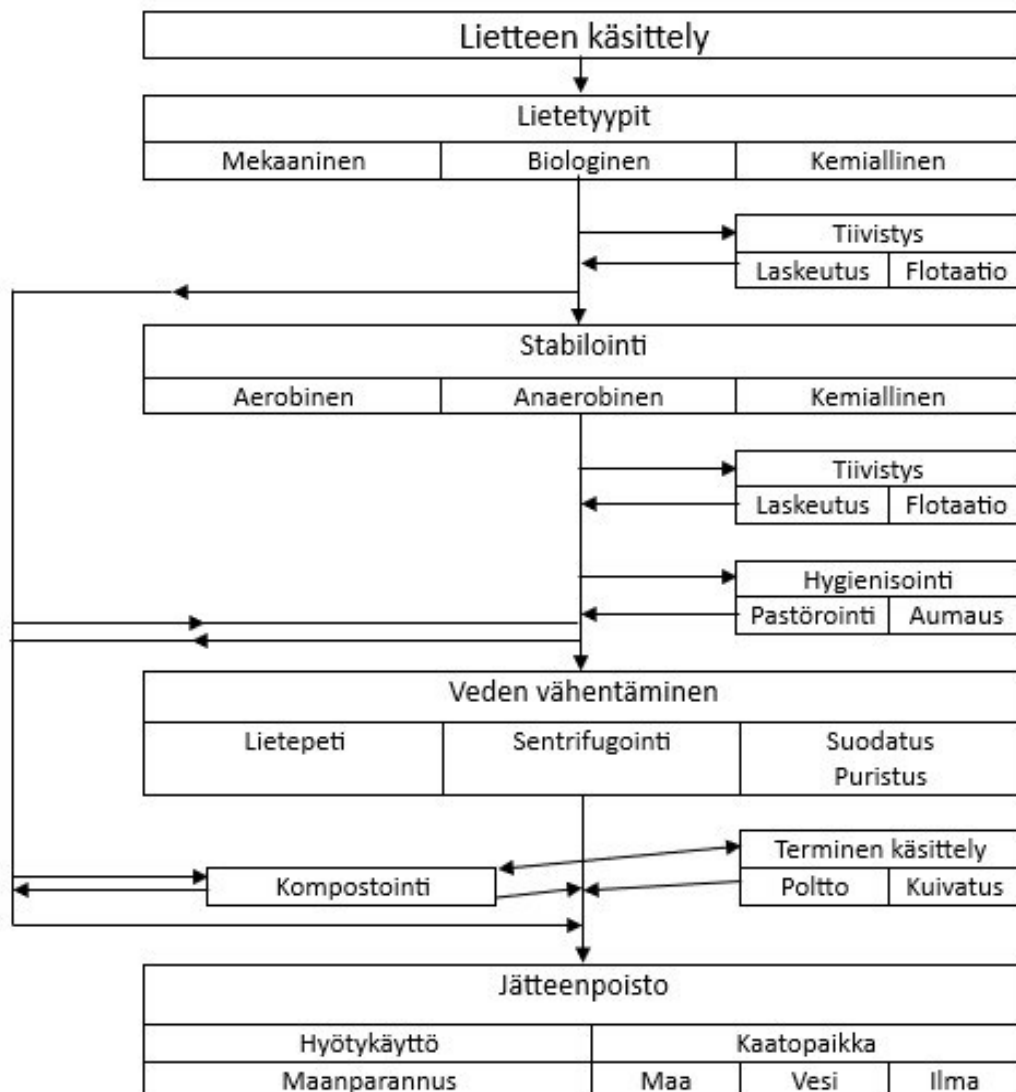
Jätevedenkäsittelyssä syntyy monen laatuista lietteitä, jotka voidaan jakaa esimerkiksi lietteiden synty- ja erotustavan mukaan mekaaniseksi, kemialliseksi, biologiseksi, yhdistetyksi tai mädätetyksi lietteeksi. Myös syntypaikan mukaan voidaan nimetä lietetyyppejä: primääriliete eli raakaliete, joka otetaan jäteveden mekaanisen käsittelyn jälkeen, sekundaariliete, joka poistetaan biologisesta käsittelystä ylijäämälietteenä ja tertiääriliete, joka otetaan kemiallisen saostuksen jälkeen. (RIL 124-2, 555–557.)

3.1. Käsittely

Lietteenkäsittelyllä pyritään muuttamaan lietteiden laatu ja määrä, jotta lietteiden jatkokäsittely, kuljetukset, hyväksikäyttö ja loppusijoitus helpottuisivat. Lietteiden pääkäsittelymenetelmät on esitetty taulukossa 1. Käsittelymenetelmien valinta riippuu lietteiden laadusta, käsittelylle asetetuista tavoitteista ja siitä, mitä on suunniteltu lietteiden jatkokäsittelyksi tai loppusijoitukseksi. Kuitenkin teknisten käsittelytoimenpiteiden tarkoituksia on useita. Ensinnäkin tarkoituksena on pienentää lietetilavuutta, sillä puhdistamoliete sisältää 0,5...3 % kiintoainetta painoyksikköä kohden ja loput 97...99,5 % siitä on vettä. Vesipitoisuuden takia lietettä tiivistetään mekaanisin keinoin ennen varsinaista käsittelyprosessia. Tiivistys voi tapahtua selkeyttämön lietepesässä tai erillisessä tiivistämössä.

Tiivistyksessä lietteen kuiva-ainepitoisuus nousee 2–3 kertaiseksi. Tarkoituksena on myös lietteen stabiloiminen, sillä liete sisältää suuria määriä orgaanista ainetta, joka ilman käsittelyä hajoaisi ja aiheuttaisi ympäristöön hajuhaittoja. Liete on tarpeen myös hygienisoida, sillä se sisältää paljon bakteereja, viruksia ja loisia. Liete sisältää myös raskasmetalleja ja orgaanisia yhdisteitä. Liete on tarkoituksenmukaista saattaa sellaiseen muotoon, jossa sen sopivuus suunniteltuun jatkokäsittelyyn tai loppusijoitukseen toteutuu. (RIL 124-2, 555–556.)

Taulukko 1. Lietteiden pääkäsittelymenetelmät ja niiden etenemisjärjestys (RIL 124-2, 560).



3.2. Lietteen kunnostus

Lietteen vedenpoistoprosessit vaativat tavallisesti esikäsittelyn, joka tehostaa veden poistamista lietteestä. Tätä käsittelyä kutsutaan lietteen kunnostukseksi. (Judd 2021.) Lietteen suuri määrä mikro-organismeja kerää ympärilleen runsaasti vettä muodostaen geelimäisen rakenteen. Geelimäinen rakenne estää lietteen kuivumista ja ilman lietteenkunnostuksen toimenpiteitä on sen vesipitoisuutta hankala pienentää. (RIL 124-2, 577.)

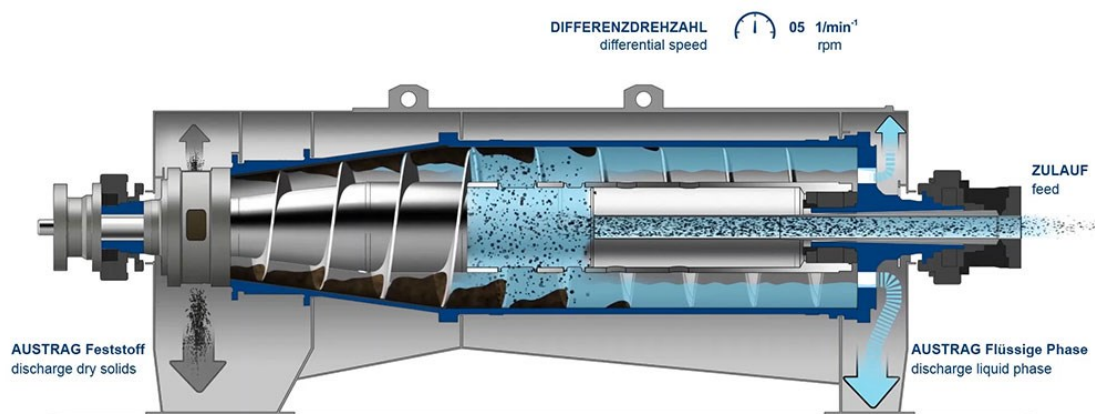
Tunnetuimpia lietteenkunnostuksen tapoja ovat kemiallinen- ja terminen kunnostus. Kemiallisessa kunnostuksessa lietteeseen voidaan annostella esimerkiksi rautaa, alumiinia, kalkkia tai polymeeriä. (Judd 2021.) Kemikaalien tarkoituksena on rikkoa lietteen geelimäinen rakenne. Kemikaalin valintaan vaikuttaa lietteen tyyppi, kiintoainepitoisuus, ikä, pH ja alkalisuus. Useimmiten käytössä on orgaanisia polymeerejä. (RIL 124-2, 578.)

Termisessä kunnostuksessa liete lämpökäsitellään yli kahdessasadassa asteessa, jolloin osa lietteen orgaanisesta aineesta hapettuu ja kolloidit hajoavat. Vaihtoehtona on myös jäädyttää liete, mutta tiedettävästi käsittelymenetelmää ei käytetä erityisin laittein toteutettuna. Molemmat käsittelymenetelmät parantavat lietteen hävitettävyyttä kuivausvaiheessa, mutta ne eivät stabiloi lietettä. (RIL 124-2, 579.)

Lietettä voidaan myös kunnostaa Kemicond-käsittelyllä, jossa käsiteltävän lietteen pH lasketaan lisäämällä siihen rikkihappoa, mikä johtaa happamiin olosuhteisiin. Tämä puolestaan hajottaa lietteen geelimäisen rakenteen ja edistää metallisuolojen, kuten rautafosfaatin ja -hydroksidien liukenemistä. Lisäksi liete hapetetaan vetyperoksidilla, jolloin kahdenarvoinen ferrorauta hapettuu kolmenarvoiseksi ferriraudaksi. Tämä ferrirauta saostaa fosfaatti-ionit ferrifosfaattina. Hapettavissa olosuhteissa geelimäinen rakenne hajoaa yhä edelleen, mikä johtaa veden vapautumiseen lietteestä. (Pöyry Environment Oy 2007.)

3.3. Lietteenkuivauslinko

Lietteenkuivauslinko (Kuva 2.) on laite, jota käytetään kiintoaineen ja nesteen erottamiseen toisistaan keskipakoisvoiman avulla. Linko koostuu pyörivästä rummusta ja rummun sisällä hieman eri nopeudella pyörivästä ruuvikuljettimesta. Tätä pyörimiseroa kutsutaan erokierrosluvuksi. Rummun keskivaiheille syötetään raakasekalietettä ja polymeeriä syöttöputkea pitkin. Raakasekaliete ja pyörivässä rummussa nestettä raskaampi kiintoaine liikkuu rummun seinämille keskipakoisvoiman avulla, nesteen muodostaessa vesifaasin rummun keskiosaan. Sisällä pyörivä ruuvi kuljettaa kiintoainetta rummun kartiomaiseen päähän samalla tiivistäen kiintoainetta rummun ulkoreunaa kohti. Kartiomaisessa päässä kuiva-aine poistuu rummussa olevista aukoista, veden poistuessa ylivuotona rummun toisesta päästä. (Flottweg 2024.) Eri valmistajien lingoissa voi olla eroavaisuuksia muun muassa lietteen syöttötavassa, materiaaleissa ja lietteenpoistojärjestelyjen yksityiskohtien osalta (RIL 124-2, 568).



Kuva 2. Lietteenkuivauslinko (Flottweg 2024).

3.4. Kuivauksessa syntyvä rejektivesi

Lietteen tiivistyksessä ja kuivauksessa poistuvaa lietevedettä kutsutaan rejektivedeksi. Yleensä rejektivedet palautetaan takaisin prosessin alkupäähän ja niiden aiheuttama kuormitus tulee ottaa huomioon puhdistamojen mitoituksessa ja talouslaskelmissa. Puhdistamoille on myös mahdollista toteuttaa erillinen rejektivesien käsittely kuormituksen pienentämiseksi. (RIL 124-2, 555.)

3.5. Lietteenkuivauslingon säätöparametrit

Lietteenkuivauslingon kuivauksen lopputulokseen voidaan vaikuttaa säätämällä lingon parametrejä. Automaatiosta säädettäviä parametrejä ovat vääntömomentti, polymeerin syöttö, lietteen syöttö, pyörimisnopeus ja erokierros. Myös lingon rakenteellisilla ominaisuuksilla voidaan vaikuttaa kuivauksen lopputulokseen. Näitä vaikuttavia ominaisuuksia ovat rummun pituus, syöttöputken pituus ja vesifaasin syvyyden säätö patolevyjen avulla.

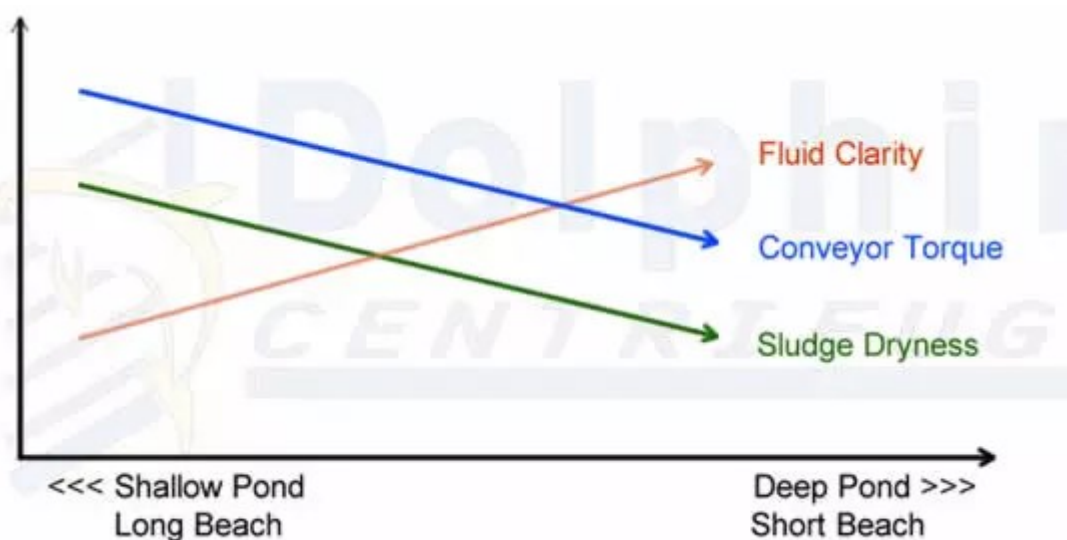
Ruuvien vääntömomentti vaikuttaa siihen voimaan, jolla kuljetinruuvi työntää kuivattavaa massaa lingon lävitse. Momentin suuruuteen vaikuttaa kunnostuskemikaalin ja lietteen syöttömäärä. (Flippenkov 2012.) Mitä korkeampi vääntömomentti, sitä suurempi lietteen kuiva-ainepitoisuus saavutetaan.

Rummun kierrosnopeuden nostaminen kasvattaa keskipakovoimaa nostaen vääntömomenttia ja parantaen lingon erottelukykyä. Korkeammat kierrosnopeudet kuluttavat enemmän energiaa. (Prabhu 2020.)

Erokierros on rummun ja ruuvien pyörimisnopeuksien ero. Mitä suurempi erokierros, sitä lyhyempi viipymisaika lietteellä on. (SNF Floerger 2014) Alhaisempi erokierros antaa kiintoaineelle enemmän aikaa laskeutua ja kerääntyä. Suurempi kiintoainekertymä nostaa ruuvien vääntömomenttia. (Prabhu 2020.)

Polymeerin määrää säädetään lietteen tyypin ja laadun mukaan. Yleensä annostus on 0,5–8 kg kuivattua tonnia kohden. (RIL 124-2, 578.) Myös lingolle syötettävän lietteen määrä riippuu lietteen laadusta.

Rakenteelliset ominaisuudet ja optimoinnit ovat hitaampia ja vaativat lingon purkamista muutosten toteuttamiseksi. Rummun ja syöttöputken pituus tulee ottaa huomioon jo lingon hankinnan yhteydessä. Patolevyjen avulla saadaan rummun keskiosassa olevan vesifaasin syvyyttä muutettua. Vesifaasin syvyyden kasvaessa lingon rejektivedestä saadaan kirikkaampaa, mutta silloin kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus laskee. Patolevyt ovat yleensä helposti säädettävissä. Kuvassa 3. on vesifaasin syvyyden vaikutus lingon toimintaan. (Prabhu 2020.)

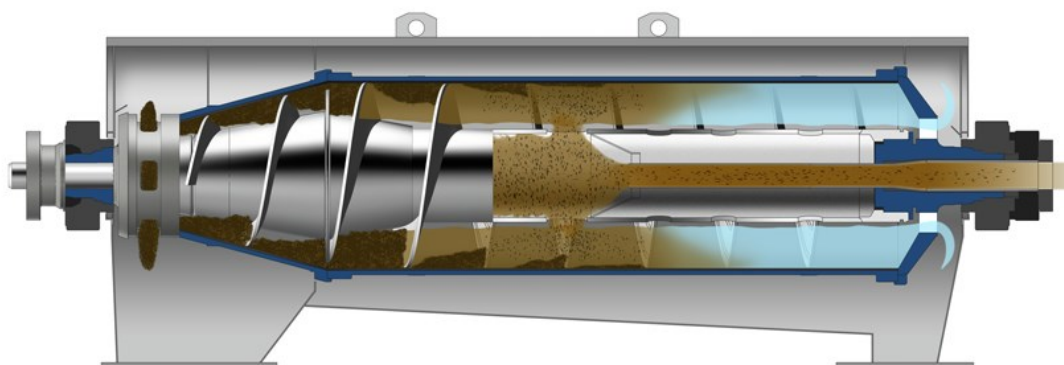


Kuva 3. Vesifaasin syvyyden vaikutus (Prabhu 2020).

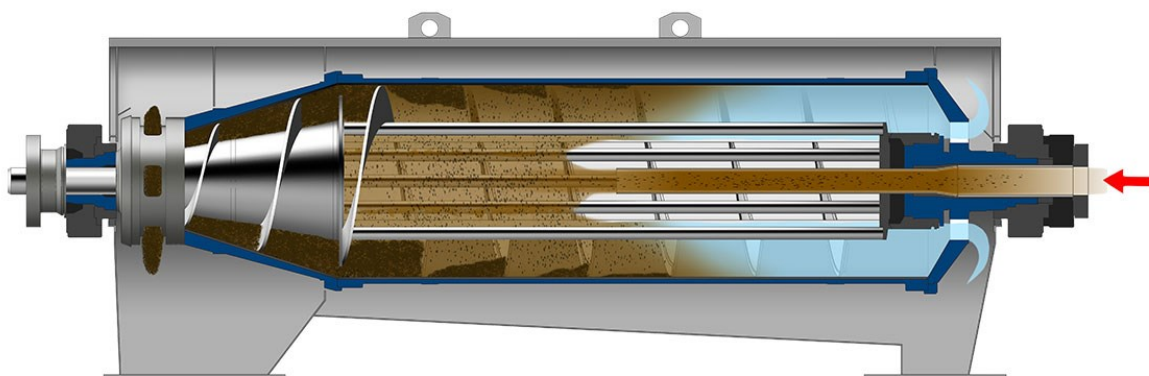
4 Koeajot

4.1. Vertailtavat lingot

Linkojen koeajot suoritettiin kahdella saksalaisen erottelulaitteiden valmistaja Flottweg SE dekantterilingolla, joista toinen on C-sarjan 7E linko (Linko 1) (Kuva 3) ja toinen X-sarjan, eli Xelletor-sarjan 7E linko (Linko 2) (Kuva 4). Lingot ovat ulkoisesti identtiset, mutta sarjojen välinen ero löytyy lingon ruuvista. C-sarjan ruuvin runko on umpinainen, josta liete poistuu reikien kautta rummun reunoille. X-sarjan lingossa on niin sanottu avoimen rakenteen ruuvi. Ruuvin runko koostuu pitkittäisistä putkista, joiden välistä liete pääsee rummun reunoille. Avoin rakenne tekee ruuvista kevyemmän ja näin energiatehokkaamman. Flottweg onkin luvannut X-sarjan ruuvin nostavan kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuutta jopa 2 %, läpivirtauksen kasvavan jopa 15 %, erotusasteen olevan suurempi kuin 99 % ja, että polymeeriä sekä energiaa säästyy 20 % verrattuna C-sarjan ruuviin. Myös huoltokustannusten kerrotaan olevan alhaisemmat avoimen ruuvin rakenteen takia.



Kuva 4. Flottweg C-sarja (Flottweg 2024).



Kuva 5. Flottweg Xelletor-Sarja (Flottweg 2024).

4.2. Toteutus

Koeajojen tavoitteena oli löytää optimaaliset ajoasetukset, joiden avulla kuiva-ainepitoisuus olisi mahdollisimman korkea ja rejektin kiintoainepitoisuus mahdollisimman alhainen. Koeajot toteutettiin ajamalla linkoja samanaikaisesti samoilla arvoilla, jotta saataisiin vertailukelpoisia tuloksia linkojen välillä. Koeajoissa ajettiin myös jo valmiiksi huonoksi tiedettyjä arvoja, jotta tuloksia saataisiin mahdollisimman laajasti ja raja-arvot hyvän ja huonon tuloksen välillä olisivat helpommin havaittavissa.

Koeajot jakautuivat neljälle eri jaksolle, joista ensimmäisellä linkojen asetuksista säädettiin vain vääntöä ja seuraavalla vain polymeerin syöttöä. Ensimmäisen jakson tavoitteena oli löytää linkoihin optimaaliset vääntöasetukset, joita voitaisiin käyttää muissa koeajoissa. Polymeerin syötön optimoinnissa tavoitteena oli saada mahdollisimman korkea kuiva-ainetulos alhaisella polymeerinsyötöllä. Kolmannella jaksolla keskityttiin lietteen syöttöön ja tavoitteena oli saada hyvä kuiva-ainetulos mahdollisimman suurella lietteensyötöllä. Neljännen jakson tavoite oli hyödyntää aiemmillä jaksoilla kerätty tieto optimaalisten tulosten saamiseksi.

4.3. Tulosten käsittely

Koeajoissa jokaisen asetusarvon muutoksen jälkeen lingoille annettiin noin 30 minuuttia käyntiaikaa. Tällä varmistettiin, että asetusarvon muutos on ehtinyt vaikuttamaan lingon toimintaan. Molemmista lingoista kerättiin jokaisen asetusarvon muutoksen jälkeen kuivatun lietteen- ja rejektivesinäytteet. Kuivatun lietteen näytteiden kuiva-aine pitoisuus määritettiin kosteusanalysaattoreilla ja rejektiveden analysointi suoritettiin visuaalisesti (Kuva 6). Rejektivesi arvioitiin asteikolla huono - välttävä - hyvä. Rejektivedestä pyrittiin saamaan vain mahdollisimman kirkasta, jolloin voitiin päätellä sen sisältävän mahdollisimman vähän kiintoainetta.

Koeajojen aikana kerätyistä näytteistä vain jokaisen koeajopäivän raakasekalietenäyte ja ensimmäiset sekä viimeiset näytteet lingoilta lähetettiin laboratorioon. Laboratorionäytteiden avulla saatiin tietää raakasekalietemittauksen ja kosteusanalysaattoreiden kuiva-ainetuloksen paikkansapitävyys sekä varmistus rejektiveden visuaalisen tarkkailun paikkansapitävyydestä. Laboratorion kuiva-ainetuloksia verrattiin omiin kuiva-ainemittauksiin ja niiden avulla laskettiin kummankin kosteusanalysaattorin tekemän virheen keskiarvo. Nämä keskiarvot otettiin huomioon jokaisessa näytteessä, joita ei lähetetty laboratorioon.

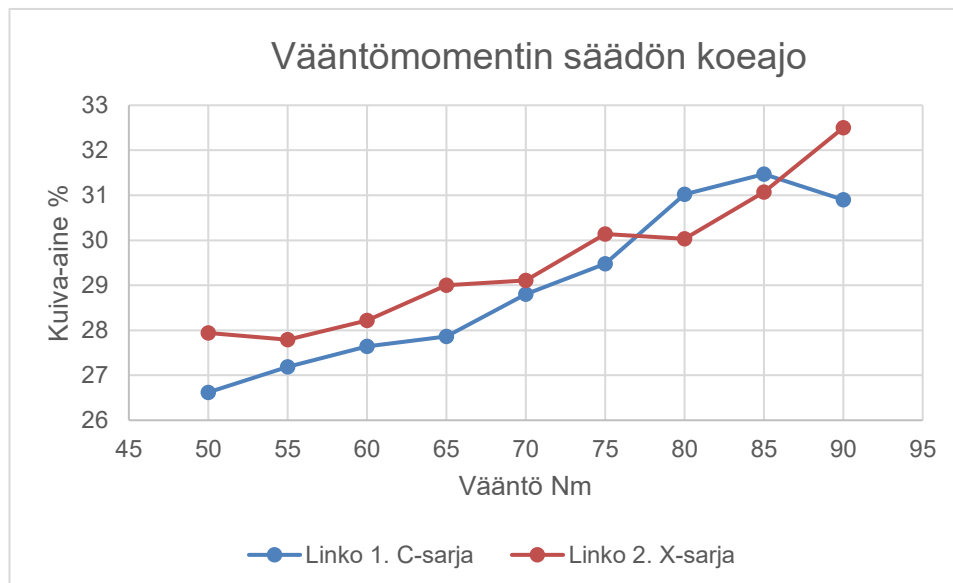


Kuva 6. Rejektivesinäytteitä visuaalisessa tarkastelussa

5. Tulokset

5.1. Vääntömomentin säädön koeajo

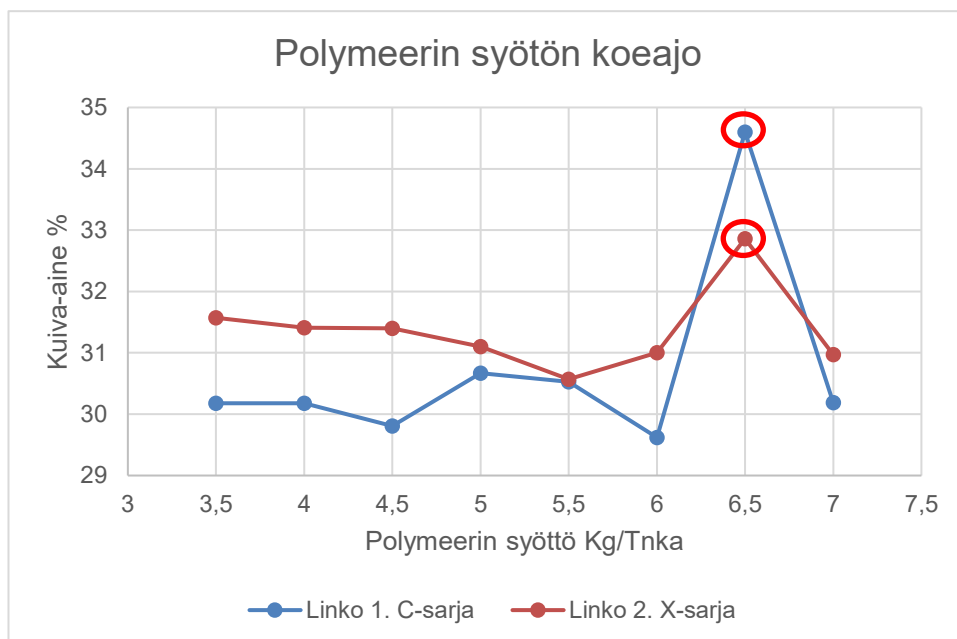
Koeajo ajettiin 4 kg/tnKA polymeerin syötöllä ja 34 m³/h lietteensyötöllä. Raakasekalietteen kiintoainepitoisuus oli koeajon aikana noin 45 g/l. Koeajossa kuivaukseen tulevan lietteen laatu oli optimaalista, sillä jo 65 Nm väännöllä saatiin korkeaa kuiva-ainetulosta ja vääntöä nostaessa kuiva-ainetulos edelleen parani (Kuvio 1). Rejektiveden laatua tarkkailemalla pystyttiin arvioimaan lingon optimaalisia parametrejä. Puhdistamalla aikaisemmin lingon 1 maksimimomenttina käytettiin 75 Nm ja lingolla 2 80 Nm. Koeajoissa kokeiltiin ensimmäistä kertaa ajaa linkoja korkeammilla väännöillä. Koeajossa korkeampi momentti paransi kuiva-ainetulosta huomattavasti, mutta samalla rejektin laatu heikkeni. Rejekti ei ollut enää kirkasta, vaan harmaata, jolloin voidaan olettaa rejektin sisältävän enemmän kiintoainetta. Rejektivettä ei kuitenkaan yritetty parantaa polymeerin syöttöä lisäämällä. Vääntömomentin säädön koeajojen tulokset ovat esitettynä liitteessä 1.



Kuvio 1. Vääntömomentin säädön koeajojen tulokset

5.2. Polymeerin syötön koeajo

Koeajo ajettiin 75 Nm väännöllä ja 34 m³/h lietteensyötöllä. Raakasekalietteen kiintoainepitoisuus oli koeajon aikana noin 47 g/l. Polymeerin syöttöä lisättäessä ei saatu suuria vaikutuksia lietteen kuiva-ainepitoisuuteen ennen kuin syöttönä oli 6,5 kg/tnKA (Kuvio 2). Tällöin molemmissa lingoissa tapahtui selkeä lietteen kuiva-ainepitoisuuden nousu, joka ei pelkästään selity polymeerin määrän lisäyksellä. (Ympyröity punaisella) Koeajossa pystyttiin kuitenkin toteamaan lingon 2 tuottavan yli 1 % parempaa kuiva-ainetuloa polymeerin syötön ollessa 3,5–5 kg/tnKA. Tuloksista voidaan todeta, että linko 1 ei päässyt samaan kuiva-aine tulokseen edes korkeammilla polymeerin syöttöasetuksilla. Korkeammilla syötöillä lingon 2 tulos kärsi polymeerin lisäämisestä, kun taas lingon 1 tulos parani hieman. Tuloksia 6,5 kg/tnKA syötöllä ei tule ottaa huomioon tuloksia tarkastellessa. Rejektiveden tarkastelussa oli havaittavissa ylikemikalointia molemmissa lingoissa polymeerin syötön ollessa yli 5 kg/tnKA, sillä rejektivesi muuttui molemmissa lingoissa valkoiseksi ja vaahtoavaksi. Tätä ei kuitenkaan yritetty korjata lisäämällä lietteen syöttöä. Polymeerin syötön koeajon tulokset ovat esitettyinä liitteessä 1.



Kuvio 2. Polymeerin syötön koeajojen tulokset

5.3. Lietteen syötön koeajo

Lietteen syötön koeajon tulokset ovat esiteltynä taulukossa 3. Koeajossa ei aloitettu samoista arvoista lietteen syötön osalta, sillä lingoissa jo valmiiksi olleet arvot tuottivat hyvää tulosta. Koeajo ajettiin 80 Nm väännöllä. Raakasekalietteen kiintoainepitoisuus oli koeajon aikana noin 44 g/l.

Lähtötilanteessa linko 2 pystyi vastaanottamaan 7 m³/h enemmän raakasekalietettä kuin linko 1 ja myös kuiva-ainepitoisuus oli hieman parempi. Tiedossa oli, että jos linko 1 nostetaan samalle syöttöasetukselle linko 2 kanssa, ei lingolta saada enää hyvää tulosta.

Koeajoja jatkettiin nostamalla molempien linkojen lietteen syöttöä 2 m³/h kerrallaan. Ensimmäisen muutoksen jälkeen rejektivesien ja kuiva-aineiden tulokset pysyivät melko samoina. Seuraavan noston jälkeen kuiva-aineiden pitoisuudet ja rejektivesien laatu huononivat. Molempia linkoja yritettiin vielä ajaa 41 m³/h lietteensyötöllä ja samalla suljettiin raakasekalietealtaiden välisen jakotukin venttiili. Näin saatiin kokeiltua, paranevatko tulokset, kun molemmille lingoille syötettiin raakasekalietettä omista altaista. Venttiin sulun jälkeen kuiva-aineiden tulokset nousivat. Tämä voi johtua jakotukissa tapahtuvien virtauksien muutoksista.

Viimeisenä kokeiltiin polymeerin syötön noston avulla parantaa tuloksia. Nosto paransi molempien linkojen kuiva-ainepitoisuutta. Lingo 1 rejektivesi pysyi todella kiintoainepitoisena polymeerin syötön nostosta huolimatta, mutta lingo 2 rejektivesi palautui kirkkaaksi. Tuloksista voidaan päätellä lingo 2 linkouskapasiteetin olevan korkeampi kuin lingo 1.

Taulukko 2. Lietteen syötön koeajojen tulokset.

Linko	Erokierros	lietes . M3 / h	pol. kg/tnKa	Energia, Rumpu KW	Energia, Ruuvi kW	Kuivattul. Ka%	Rejektivesi
1	2,2	30	4	44,3	4,5	28,55	Hyvä
2	2,0	37	4	41,0	4,9	28,76	Hyvä
1	2,1	32	4	45,8	4,8	28,38	Hyvä
2	1,9	39	4	41,3	5,1	28,57	Hyvä
1	2,4	34	4	47,0	5,2	27,35	Välttävä
2	2,3	41	4	42,8	5,8	27,07	Huono
1	2,7	41	4	51,7	5,9	28,42	Huono
2	2,5	41	4	42,6	5,3	28,18	Välttävä
1	2,4	41	4,5	51,3	5,2	28,42	Huono
2	2,4	41	4,5	42,8	5,3	29,12	Hyvä

5.4. Optimoinnin koeajot

Optimoinnin koeajoja suoritettiin kahtena eri ajankohtana. Koeajoissa pyrittiin säätämään linkoja tuottamaan mahdollisimman hyvää tulosta sen hetkisten olosuhteiden mukaan. Koeajojen asetusravot ja tulokset ovat esitettynä taulukossa 3. Ajankohdat on jaettu paksulla alareunaviivalla. Ensimmäisenä koeajoajankohtana 1 lingon väännön laskeminen ja lietteen sekä polymeerin syöttöjen lisääminen paransivat tuloksia. Toisena ajankohtana polymeerin syöttöjen ja momenttien vähentäminen paransivat tuloksia. Polymeeriliuoksen laimennusta ei kokeiltu vaahtoavan rejektin muuttamiseksi. Päinvastaisten tulosten voidaan olettaa johtuvan lietteen laadun muutoksesta ajankohtien välillä.

Taulukko 3. Optimoinnin koeajojen tulokset.

Linko	Vääntö	Erokierros	Lietes. m3/h	Liete g/l	pol. kg/tnKa	Energia, Rumpu KW	Energia, Ruuvi KW	kuivattul. Ka%	Rejektivesi
1	80	2,8	36	41,4	4	52,4	6,1	29,66	Huono
2	80	2,7	38	40,1	4	43,2	5,6	29,65	Hyvä
1	75	2,7	38	42,0	4	52,2	6	26,88	Huono
2	80	3,0	41	40,7	4	43,3	4,9	28,03	Huono
1	75	2,7	41	40,7	4,5	52,2	6,1	27,69	Hyvä
2	80	2,3	41	39,4	4,5	43,1	5,5	28,4	Välttävä
1	70	1,4	30	47,2	5	43,9	2,8	27,82	Huono
2	75	1,3	32	47,7	5	36,6	2,7	28,2	Huono
1	60	1,9	28	47,3	3,5	47,9	3,1	28,5	Hyvä
2	65	1,7	30	47,7	3,5	36,4	3,6	29,2	Hyvä (vaahtoava)
1	60	2	30	47,5	3,5	43,9	3,2	28,02	Hyvä
2	65	1,5	32	48,2	3,5	36,8	2,6	29,16	Hyvä (vaahtoava)

5.5. Kustannusvertailu

Kustannusvertailussa tavoitteena oli arvioida C-sarjan (Linko 1) ja X-sarjan (Linko 2) väliset vuosikustannuserot. Linkojen vuosikustannukset koostuvat energiankulutuksesta, polymeerin käytöstä, huolloista ja jatkokäsittelyn kustannuksista. Kustannusvertailussa ei otettu huomioon linkojen vuosittaisia huoltokustannuksia eikä sitä kuinka paljon linkon 2 Xelletor-ruuvi säästää polymeerikuluissa. Koeajoissa tavoitteena oli mahdollisimman korkea kuiva-ainepitoisuus mahdollisimman alhaisella polymeerin syötöllä. Molemmat linkot tuottivat erinomaista tulosta pienimmällä mahdollisella polymeerin syötöllä.

Koeajojen aikana jokaisen näytteenoton yhteydessä kerättiin linkojen energiankulutuslukemat rummun ja ruuvin moottoreilta, joista laskettiin keskiarvo. Vuosikulutusarvio laskettiin sillä oletuksella, että linko on käytössä viisi vuorokautta viikossa, koko vuoden ajan. Laskennassa sähkön hinnaksi oletetaan 0,10 €/kWh.

Tulokset on esitetty taulukossa 4. Laskennallisesti linkon 1 vuosikulutus on 327 350 kWh, jolloin hinnaksi muodostuu 32 735 €. Linkon 2 vuosikulutus on vastaavasti 271 128 kWh ja hinta 27 113 €. Linkojen välinen ero vuosikulutuksessa oli noin 5 622 €, eli linkon 2 Xelletor-ruuvi osoittautui koeajoissa 17,2 % prosenttia energiatehokkaammaksi.

Taulukko 4. Linkojen energiankulutus vuodessa

Laite	Kulutus vuodessa	€/vuosi
Linko 1. Rumpu	296 525 kWh	29 653
Linko 1. Ruuvi	30 825 kWh	3 083
Linko 2. Rumpu	245 232 kWh	24 523
Linko 2. Ruuvi	25 896 kWh	2 590

Kakolanmäeltä kuljetettiin vuoden 2023 aikana jatkokäsittelyyn 35 253 tonnia kuivattua lietettä, jonka kuiva-ainepitoisuus oli keskimäärin 28,27 %. (Ilmanen 2023) Kuljetusten kustannuksia laskiessa esimerkkinä käytettiin vuoden 2023 aikana kuivatun lietteen määrää. Yhden kuljetetun tonnin hinnaksi oletettiin 50 € (Taulukko 5). Optimointikoeajoissa lingon 1 kuiva-ainepitoisuuden keskiarvo oli 28,10 % ja lingon 2 28,77 %. Jos oletetaan nämä arvot linkojen kuiva-ainepitoisuuden keskiarvoiksi koko vuoden ajalle, tulisi lingolla 1 lietteen jatkokäsittelyn kustannukseksi 1 773 314 € ja vastaavasti lingolla 2 kustannus olisi 1 732 017 €. Näin ollen lingon 2 Xelletor-ruuvi toisi vuoden aikana noin 41 297 € säästöä jatkokäsittelyn kustannuksissa. Tämä on kuitenkin hyvin karkea arvio jatkokäsittelyn vuosikustannussäästöistä, sillä kuiva-ainepitoisuuksien erot voivat vaihdella vuoden aikana.

Taulukko 5. Lietteiden jatkokäsittelyn kustannukset

Liete, tn/vuosi	Kuiva-aine, %	€/tn	Kustannus €/vuosi
36 911	27	50	1 845 560
35 593	28	50	1 779 647
34 366	29	50	1 718 280
33 220	30	50	1 661 004
32 148	31	50	1 607 423
31 144	32	50	1 557 191

Koeajojen perusteella linkon 1 laskennalliset vuosikustannukset olivat 1 806 050 € ja linkon 2 1 759 130 € (Taulukko 6). Vuoden aikana linko 2 tuo säästöä 46 920 €. Oletetaan Xelletor-ruuvin hankintahinnaksi 300 000 €. Näin ollen Xelletor-ruuvin takaisinmaksuaika koeajojen perusteella olisi noin 6,4 vuotta.

Taulukko 6. Linkojen vuosikustannukset

Kustannus	Linko 1.	Linko 2.	Erotus
Energia	32 736 €	27 113 €	5 623 €
Jatkokäsittely	1 773 314 €	1 732 017 €	41 297 €
Yhteensä €/vuosi	1 806 050 €	1 759 130 €	46 920 €

6. Pohdinta ja johtopäätökset

Koeajojen perusteella voidaan todeta molempien lietteenkuivauslinkojen toimivan erinomaisesti ja kykenevän tuottamaan yli 30 % kuiva-ainetulosta, kunhan lietteen laatu on siihen sopivaa. Koeajojen aikana pystyttiin toteamaan lietteen laadun vaihtelevan lyhyelläkin aikavälillä ja, että lingoille ei pystytä asettamaan yksiä jatkuvasti toimivia arvoja. Tämän takia lingot vaativat jatkuvaa asetusarvojen säätämistä ja vaihteleviin olosuhteisiin reagoimista. Tätä varten luotiin ohjetaulukko, jonka avulla linkojen käyttäjä voi optimoida lingon toimintaa paremman tuloksen saamiseksi (Taulukko 7). Taulukon teossa huomioitiin koeajoissa käytettyjen parametrien säätöalueita ja puhdistamon sisäisiä muistiinpanoja linkojen ajamisesta ja säätämisestä.

Taulukko 7. Lietteän linkouksen optimoinnin ohjetaulukko

Parametri	Alue
Vääntö	Linko 1 45–85 Nm Linko 2 50–90 Nm
Polymeeri	3,5–6 kg/tnKA
Kierrosnopeus	96–98 %
Lietteän syöttö	28–50 m ³ /h
Erokierros	2,0 rpm
Ongelma	Toimenpide
	1. Lisää vääntöä
Matala Ka%	2. Lisää polymeerin syöttöä 3. Vähennä lietteän syöttöä
	1. Vähennä vääntöä
Musta rejektivesi	2. Vähennä lietteän syöttöä 3. Lisää polymeerin syöttöä

Valkoinen vaahtoava rejektivesi	1. Vähennä polymeerin syöttöä
	2. Lisää lietteen syöttöä
	1. Vähennä polymeerin syöttöä
Harmaa rejektivesi	2. Lisää lietteen syöttöä
	3. Lisää vääntöä
Aaltoileva käynti	1. Lisää lietteen syöttöä
Kova tärinä	1. Vähennä vääntöä

Vääntömomentin säädön ja polymeerin syötön koeajoissa lietteen laatu linkokuivaukseen oli erinomaista, sillä molemmat lingot toimivat erinomaisesti säätöasetusten muutoksista huolimatta. Koeajoja suunniteltaessa oli varauduttu jättämään osa asetusarvoista ajamatta, jos linkojen tärinähälytykset siihen pakottavat. Toisenlaisissa olosuhteissa kaikkia asetusarvoja ei välttämättä olisi pystytty koeajamaan.

Polymeerin syötön koeajossa 6,5 kg/tnKA syötöllä saadut korkeammat kuiva-ainetulokset jätettiin tuloksissa huomioimatta. Syitä kuiva-ainepitoisuuden nousuun on vaikea arvioida. Nousu voisi johtua esimerkiksi lietteen laadun äkillisestä muutoksesta. Myös puhdistamon ohitusvesien käsittely-yksikkö oli ollut käytössä koeajoa edeltävänä yönä, joten yksiköstä on mahdollisesti päässyt kemikaaleja puhdistamon sisäiseen kiertoon.

Lietteen syötön koeajoissa syötön lisäys ensin huononsi tuloksia, mutta lingon 2 kohdalla onnistuttiin nostamaan syöttöä ja samalla parantamaan kuiva-ainetulosta, sekä lopuksi vielä kirkastamaan rejektivesi. Koeajoja jatkamalla olisi voitu optimoida molempia linkoja vielä lisäämällä polymeerin syöttöä.

Flottweg oli luvannut X-sarjan olevan suorituskykyisempi kuin C-sarja. Xelletoruuvi osoittautuikin koeajoissa energiatehokkaammaksi ja sillä saatiin kuivattua noin 0,7 % kuiva-ainepitoisempaa lietettä kuin C-sarjan ruuvilla. Myös läpivirtaus oli hieman suurempaa ja rejektivesi pääsääntöisesti kirkkaampaa C-sarjan

ruuviin verrattuna. Tutkittava on kuitenkin vielä, voisiko X-sarjalla päästä vielä parempiin tuloksiin tarkemmalla optimoinnilla.

Kustannusvertailussa otettiin huomioon vain linkojen energia- ja lietteenkäsittelykustannukset. Polymeerikustannuksien arviointia varten tulisi suorittaa lisää koeajoja. Suuremman läpivirtauksen takia voidaan arvioida X-sarjan lingon käyntiajan tarpeen olevan vähäisempi kuin C-sarjan lingon. Tällöin energiankulutus vuoden aikana olisi vieläkin vähäisempää.

X-sarjan lingosta saatiin pääsääntöisesti koko koeajojen ajan kirikkaampaa rejektivettä. Rejektiveden laatu vaikuttaa puhdistamon sisäiseen kuormitukseen, joten vähäisempi sisäinen kuormitus voidaan myös luokitella säästöksi. X-sarjan lingolla pystyttiin ajamaan korkeammalla lietteen syötöllä. Kustannusvertailussa käytettiin arvioituja mahdollisia hintoja energia- ja jatkokäsittelykustannuksia laskiessa. Myös Xelletor-ruuvien hankintahinta on vain arvio, joten hankinnan takaisinmaksuaika tulee laskea vielä oikeilla kustannus- ja hankintahinnoilla.

6.1. Suositeltavat jatkotutkimukset

Suosittelen linkojen välisten erojen tutkimisen jatkamista. Puhdistamalla lingon 2 optimointi on ollut haastavaa jo edellisten käytössä olleiden linkojen aikana ja syy ei ole täysin tiedossa (Turun seudun puhdistamo Oy 2024). Xelletor-ruuvien siirto linkoon 1 toisi arvokasta vertailutietoa. Jos ruuvi toimisi paremmin lingossa 1, huomiota tulisi kiinnittää erityisesti raakasekalietteen pumppauksen ja putkilinjojen välisiin eroihin linkojen kesken. Myös raakasekalietteilaiden välisen jakotukin venttiilin sulkemisen vaikutuksia tulisi tutkia lisää, jotta saadaan tietää, kärsiikö lietteen virtauksen tasaisuus molempien linkojen ollessa käynnissä.

Optimoinnin koeajoja ajettiin vain kahtena eri ajankohtana. Ajamalla lisää optimoinnin koeajoja olisi mahdollista saada laajempi kuva linkojen välisistä eroista. Kaikkien tässä työssä tehtyjen koeajojen toistaminen eri ajankohtana voisi tuoda arvokasta tietoa optimointia varten.

Lisätutkimuksena voitaisiin vielä suorittaa koeajoja, joissa säädettäisiin linkojen rejektivedenpoistojen patolevyjä. On mahdollista, että patolevyjen säädöllä saataisiin vielä parempaa kuiva-ainetulosta.

6.2. Suositeltavat toimenpiteet

Suosittelen Xelletor-ruuvien toiminnan seuraamista vuoden ajan. Linkojen kustannusvertailu tulisi toistaa uudelleen, kun energiankulutuksia ja kuiva-ainetuloja voidaan tarkastella vuoden ajalta. Jos kustannusvertailussa päästään uudelleen samoihin tai parempiin tuloksiin tämän työn kanssa, suosittelen Xelletor-ruuvien hankintaa C-sarjan ruuvien tilalle.

6.3. Tutkimuksen kriittisyystarkastelu

Koeajot edustavat vain kahta erilaista yksittäistä linkoa, joita koeajettiin vain neljänä eri lyhyenä jaksena. Tulokset edustavat vain näitä yksittäisiä linkoja ja jaksojen ajankohtia. Lietteiden laadun vaihteluista esimerkiksi vuodenajan mukaan tarvittaisiin lisää tietoa.

Linkojen kuivaaman lietteiden laadun hetkellisestä tasaisuudesta ei voida olla varmoja, sillä jokaisten asetusarvojen muutosten jälkeen lingoilta kerättiin vain yhden näytteet. Myös rejektivesien laatu voi muuttua nopeasti. Koska rejektivesiä tarkasteltiin vain visuaalisesti, ei vesien välisten eroavaisuuksien suuruudesta saatu tietoa.

Koeajojen aikana kerättiin useita näytteitä, joista vain hyvin pieni osa mitattiin laboratorioissa. Lähettämällä kaikki näytteet laboratorioon, saadut tulokset olisivat olleet luotettavampia.

Lähteet

Blomberg, K. & Toivikko, S. 2015. Puhdistamolietteiden käsittely ja hyödyntäminen - Kyselyn tulokset 2015. Viitattu 6.4.2024. saatavilla: https://www.vvy.fi/site/assets/files/4691/puhdistamolietteiden_kasittely_ja_hyodyntaminen_2015_005.pdf

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

Flottweg SE. 2024. HOW A DECANter CENTRIFUGE WORKS. Viitattu 29.4.2024. Saatavilla: <https://www.flottweg.com/product-lines/decanter/decanter-functionality/>

Haavisto J. 2018. Puhdistamolietepohjaisten kierrätyslannoitteiden käytön esteet ja keinoja esteiden poistamiseksi. Viitattu 27.4.2024. Saatavilla: <https://www.prizz.fi/media/bio-ja-kiertotalous/bio-ja-kiertotalous-materiaalit/puhdistamolieteselvitys.pdf>

Ilmanen H. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy. 2024. KAKOLANMÄEN JÄTEVEDENPUHDISTAMON VUOSIRAPORTTI 2023.

Judd S. 2021. Sludge processing. Introduction to sludge conditioning. Viitattu 6.5.2024. Saatavilla: <https://www.sludgeprocessing.com/sludge-conditioning/introduction-to-sludge-conditioning/>

Laitinen, J.; Nieminen, J.; Saarinen R. & Toivikko S. 2014. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamo. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT). Viitattu 12.4.2024. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/43199/SY_3_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Motiva Oy. 2018. Energiatehokas lietteen kuivaus. Viitattu 22.4.2024. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/13594/ENERGIATEHOKAS_LIETTEEN_KUIVAUS.pdf

Prabhu S. Dolphin Centrifuge. 5 ways to optimize decanter performance. Illustrated guide. Viitattu 7.5.2024. Saatavilla:

<https://dolphincentrifuge.com/decanter-centrifuge-optimization/>

Pöyry Environment Oy. 2007. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys Viitattu 6.5.2024. Saatavilla:

<https://media.sitra.fi/app/uploads/2017/02/LietteenkC3A4sittely-2.pdf>

Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry, Erkki Karttunen. 2004. RIL 124 - 2 Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry

Turun seudun puhdistamo Oy. 2016. prosessikuvaus Viitattu 15.4.2024.

Saatavilla: <https://turunseudunpuhdistamo.fi/toiminta/prosessikuvaus>

Turun seudun puhdistamo Oy. 2024. Yhtiön sisäiset muistiinpanot, viitattu 27.4.2024

Vääntömomentin säädön ja polymeerin syötön koeajojen tulokset

Taulukko 8. Vääntömomentin säädön koeajojen tulokset

Puhdistamolietteen kuivauksen laitehankinta. Kuivauslaitteiden koeajot Kevät 2024							
Linko	Vääntö	Erokierros	lietes. m³/h	Energia, Rumpu KW	Energia, Ruuvi kW	kuivattul. Ka%	Rejektivesi
1	50	2,5	34	45,2	3,5	26,62	Huono
2	50	2,0	34	37,60	2,80	27,94	Välttävä
1	55	2,5	34	46	3,5	27,19	Huono
2	55	1,9	34	37,6	2,9	27,79	Välttävä
1	60	2,3	34	45,8	3,7	27,64	Välttävä
2	60	1,8	34	37,4	3	28,22	Välttävä
1	65	2,10	34	45,3	3,9	27,86	Välttävä
2	65	1,8	34	37,6	3,3	29	Hyvä
1	70	2,2	34	45,1	4,3	28,8	Välttävä
2	70	1,8	34	36,90	3,50	29,11	Hyvä
1	75	1,9	34	44,8	3,9	29,48	Hyvä
2	75	1,8	34	37,6	3,5	30,14	Hyvä
1	80	1,7	34	47,4	3,8	31,02	Hyvä
2	80	1,5	34	37,3	3,4	30,03	Hyvä
1	85	2	34	44,9	5,3	31,47	Huono
2	85	1,3	34	36,4	3,1	31,07	Huono
1	90	2,3	34	45	5,8	30,9	Huono
2	90	1,3	34	36,7	3,3	32,5	Huono

Taulukko 9. Polymeerin syötön koeajojen tulokset

Puhdistamolietteen kuivauksen laitehankinta. Kuivauslaitteiden koeajot Kevät 2024								
Linko	Vääntö	Erokierros	lietes. m³/h	pol. kg/tnKa	Energia, Rumpu KW	Energia, Ruuvi kW	kuivattul. Ka%	Rejektivesi
1	75	2,6	34	3,5	45,1	5,7	30,18	Välttävä
2	75	1,8	34	3,5	37	3,9	31,57	Hyvä
1	75	2,1	34	4	45	4,4	30,18	Välttävä
2	75	1,7	34	4	37,4	4	31,41	Hyvä
1	75	2,2	34	4,5	44,8	4,7	29,81	Hyvä
2	75	2	34	4,5	37,3	4,1	31,4	Hyvä
1	75	2,2	34	5	45	4,7	30,67	Hyvä
2	75	2	34	5	37,5	4,2	31,1	Hyvä
1	75	2	34	5,5	44,9	4,6	30,53	Hyvä (Vaahtoava)
2	75	1,9	34	5,5	39,4	4	30,57	Hyvä (Vaahtoava)
1	75	2,2	34	6	44,7	4,7	29,62	Hyvä (Vaahtoava)
2	75	2	34	6	38,1	4	31	Hyvä (Vaahtoava)
1	75	2,2	34	6,5	44,8	4,6	34,6	Hyvä (Vaahtoava)
2	75	1,9	34	6,5	37,4	3,9	32,86	Hyvä (Vaahtoava)
1	75	2,3	34	7	44,8	4,6	30,19	Hyvä (Vaahtoava)
2	75	1,9	34	7	37,5	4,2	30,97	Hyvä (Vaahtoava)