

Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy

Raakalietteen linkosakeutuksen pilotoinnin tulokset

17.5.-4.6.2021 suoritettut koeajot osana JSPBio+-hanketta



27.8.2021

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	2
2. Koeajojärjestelyt.....	4
2.1 Yleiskuvaus ja valmistelut ennen koeajoa	4
2.2 Koeajossa käytetty linko	7
2.3 Koeajosuunnitelma	7
2.4 Näytteenoton tavoitteet.....	8
3. Koeajot.....	9
3.1 Näytteenoton toteutus	10
4. Tulokset ja tulosten tarkastelu	12
4.1 Lingon toiminta	12
4.2 Kiintoainetulokset.....	13
4.3 Ravinnetulokset.....	16
4.4 Lingon teho ja kierrosnopeus	22
5. Johtopäätökset	23
6. Yhteenveto.....	24
Liite 1: PI-kaavio koeajojärjestelyistä.....	25
Liite 2: Laboratoriotulokset	26
Liite 3: Kentällä tehtyjen kiintoaineanalyysien tulokset eri polymeereillä	28

1. Johdanto

Lietteen sakeuttaminen lingolla on yleisesti käytössä jätevedenpuhdistamoilla lietteenkäsittelyn viimeisenä vaiheena, jossa prosessissa syntynyt liete kuivataan jatkokäsittelyä varten. Linkosakeutuksen soveltaminen esisakeutusmenetelmänä raakalietteelle on vähemmän tunnettua ja harvemmin käytettyä tekniikkaa. Linkosakeutuksen toimivuutta testattiin Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n (myöhemmin JSP) Nenäinniemen puhdistamon raakalietteelle 17.5.-4.6.2021. Koeajolla selvitettiin, miten linkosakeutus toimisi Nenäinniemen puhdistamolla.

Nämä koeajot kuuluivat Nenäinniemen puhdistamon lietteenkäsittelyn tehostamis- ja modernisointihankkeeseen. Nykyisin mädättämöihin pumpattavan raakalietteen kiintoainepitoisuus on 3–4 %, eikä kiintoainepitoisuutta saada korkeammaksi nykyisellä prosessilaitteistolla. Tehostamisen ja modernisoinnin päätavoitteena on vähentää kylmän lietteen lämmityksessä käytettävää energiaa. Prosessin tehostaminen perustuu veden poistamiseen raakalietteestä ennen mädätystä, jolloin hydraulinen kuorma pienenee ja mädätyksessä voidaan käyttää yhtä mädättämöä kolmen sijaan.

Tavoiteltu kiintoainepitoisuus on noin 10 %. Raakalietteen sakeutuksella voidaan saavuttaa merkittävä energiansäästö mädätettävän lietteen lämmityksessä. Lietteen lämmitys on suurin yksittäinen energiankuluttaja Nenäinniemen puhdistamolla ja on arvioitu, että mädätykseen syötettävän raakalietteen lämmitysenergiantarve vähenisi tehostamisen jälkeen noin 60 % nykyisestä. Tavoitteena on myös tehostaa biokaasun tuotantoa ja tuottaa tasalaatuista biokaasua sekä mädätysjäännöstä.

Tässä raportissa käsitellään Nenäinniemen puhdistamolla tehtyä raakalietteen sakeutuslingon koeajoa. Raportissa sivutaan kokeen taustoja pääpainon ollessa koeajojen tuloksissa. Koeajolla selvitettiin linkosakeutuksen soveltuvuutta esiselkeytyksestä tulevan raakalietteen sakeuttamiseen noin 10 %:n tavoitesakeuteen. Lisäksi koeajon tavoitteena oli selvittää, miten herkästi linko reagoi syötteen kiintoainepitoisuuden muutoksiin. Koeajon aikana seurattiin sakeutuslingon energiankulutusta ja testattiin eri polymeerilaatujen toimivuutta. Koeajon tavoitteena oli saada kokemuseräistä tietoa ja tuloksia esisakeutuslingon toiminnasta ja ajettavuudesta Nenäinniemen jätevedenpuhdistamolla.

Lingon toimintaa tutkittiin ottamalla säännöllisesti näytteitä raakalietteestä eli syötteestä, sakeutetusta lietteestä sekä rejektivedestä. Koeajojen aikana otettiin kaksi kertaa päivässä näytteet tutkittavaksi KVVY Tutkimus Oy:n laboratorioon Tampereelle. Näytteet toimitettiin yrityksen Jyväskylän toimipisteelle, josta ne edelleen kuljetettiin Tampereelle. Laboratorioon viedyistä näytteistä tutkittiin kiintoainepitoisuuden lisäksi muun muassa typpipitoisuuksia ja kemiallista hapenkulutusta. Laboratorioon toimitettujen näytteiden lisäksi koeajon aikana otettiin 207 näytettä kentällä tehtävää kiintoaineanalyysia varten.

Koeajosuunnitelman laativat Watrec Oy:n hankintojen operatiivinen johtaja Kimmo Tuppurainen, JSP:n toimitusjohtaja Petri Tuominen ja JSP:n kunnossapitopäällikkö Markku Tuohimetsä. Suunnitelman teossa avustivat Watrec Oy:n ylläpitopalveluiden johtaja Olli-Pekka Hyvärinen, Tampereen Seudun Keskuspuhdistamo Oy:n Käyttöpäällikkö Lauri Valtiala ja Projektipäällikkö Veli-Matti Hatvala sekä Alfa Lavalin aluemyyntipäällikkö Thomas Söderlund. Käytännön koeajojärjestelyistä, kuten putkistomuutoksista, laiteasennuksista, sähkötoista ja laitosautomaation lisäyksistä vastasi JSP:n Markku Tuohimetsä. Koeajon rahoitukseen osallistuivat VVY:n kehitysrahasto ja Tampereen Seudun Keskuspuhdistamo Oy.

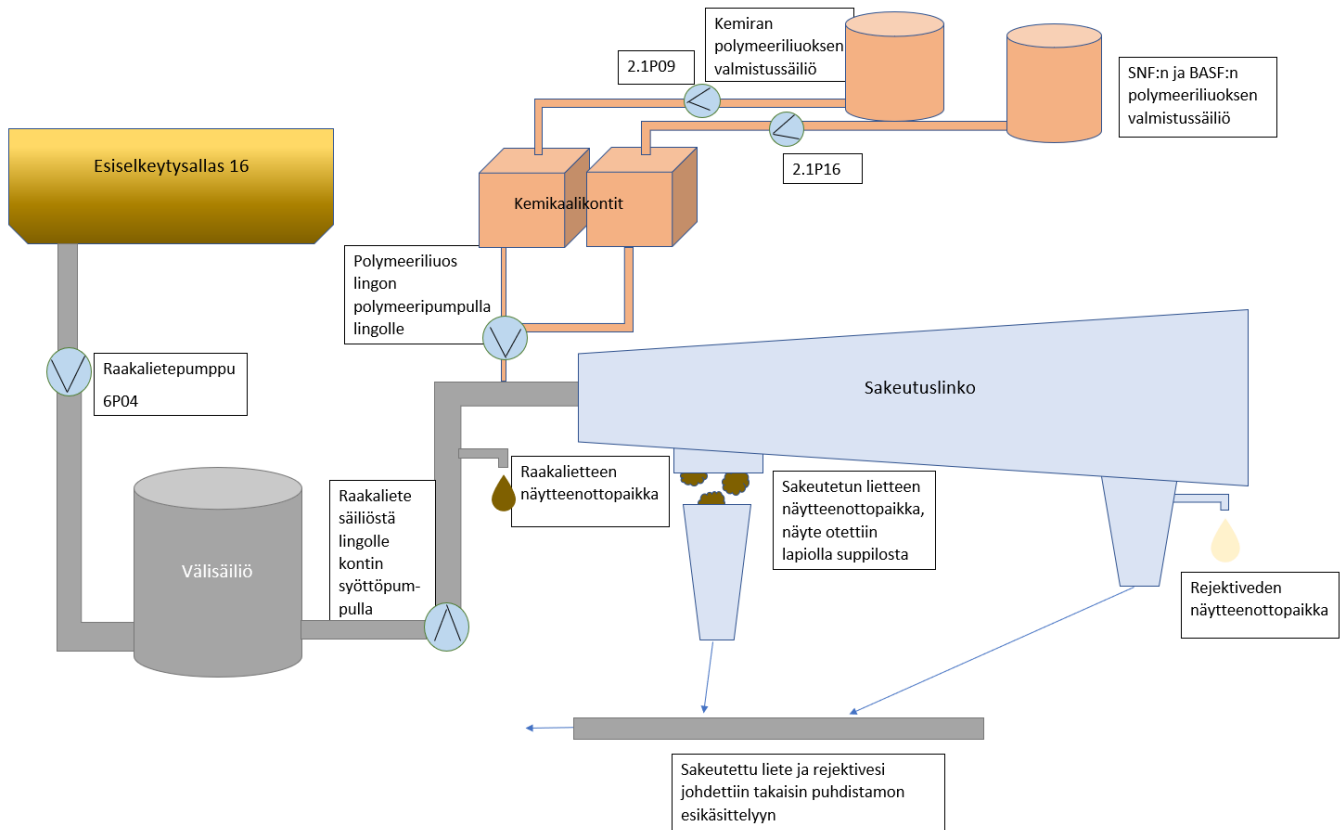
Tämän raportin on laatinut Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy:n prosessiryhmän kesätyöntekijä, tekniikan yo Venla Aalto. Raportin kirjoittamisessa ovat auttaneet Watrec Oy:n Kimmo Tuppurainen ja Olli-Pekka Hyvärinen sekä JSP:n Petri Tuominen.

2. Koeajojärjestelyt

Tässä luvussa käydään läpi yleiskuvas koeajojärjestelmästä, koeajoa edeltäneet valmistelut ja koeajon tavoitteet sekä koeajosuunnitelma.

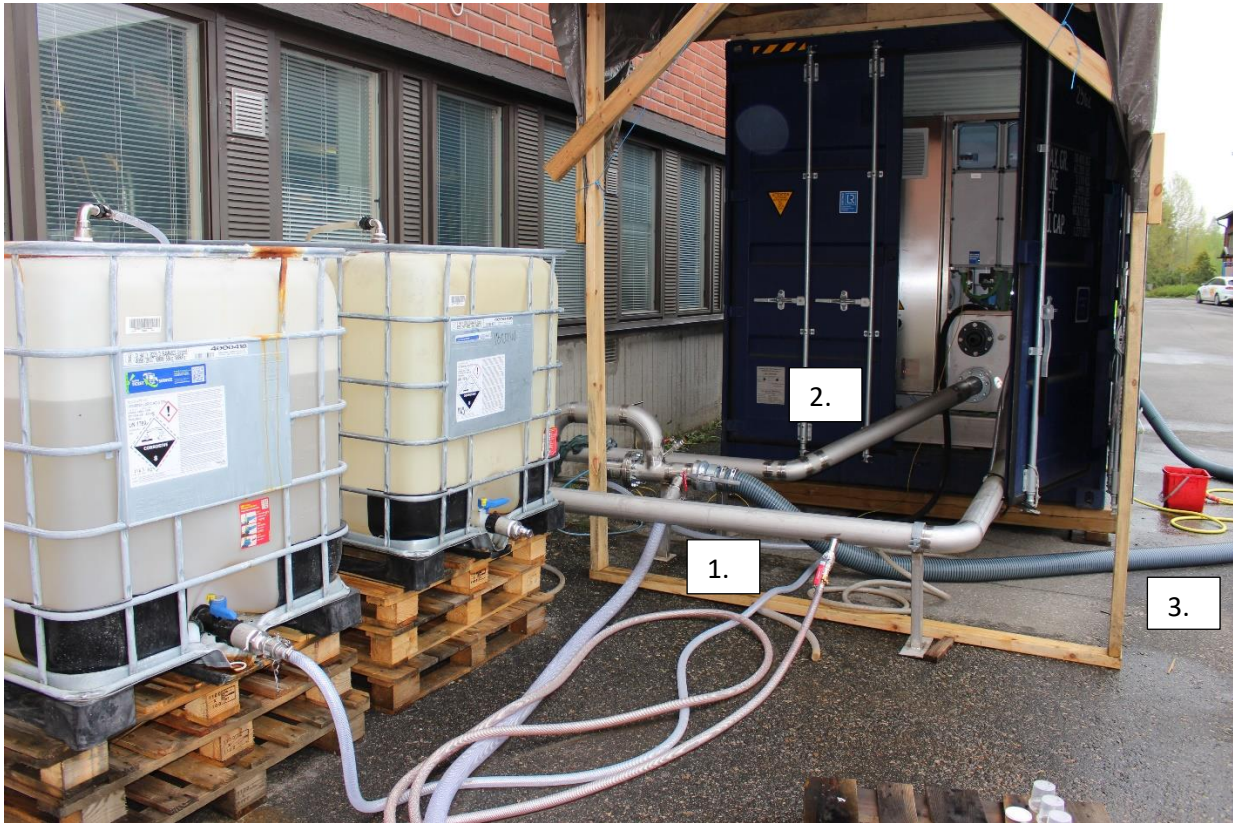
2.1 Yleiskuvas ja valmistelut ennen koeajoa

Kuvassa 1 on yksinkertaistettu kaaviokuva koeajojärjestelystä ja näytteenottoaikoista kokonaisuuden hahmottamista varten. Tarkempi PI-kaavio suunnitellusta koeajojärjestelystä on liitteessä 1.



Kuva 1: Kaaviokuva lingosta ja näytteenottoaikoista.

Koeajoa varten päätettiin hankkia testiin soveltuva Alfa Lavalin G3-75 VecFlow lingolla varusteltu testikontti. Vuokrattava testikontti oli uusi ja se oli ollut aikaisemmin käytössä vain yhdellä jätevedenpuhdistamolla Ruotsissa. Linkokontti saapui JSP:n Nenäinniemen puhdistamolle 28.4.2021 ja putkilinjojen kytkentöjä sekä muita käytännön järjestelyjä tehtiin heti kontin saavuttua. Kontti tuettiin vaakatasoon parrujen varaan hieman kaltevalle asfalttikentälle. Lingolle menevät putkilinjat tehtiin läpivientinä viereisen lieterakennuksen seinän läpi. Kuvassa 2 näkyy lieterakennuksen ulkopuolelle asennetut putkilinjat ja polymeerikontit.



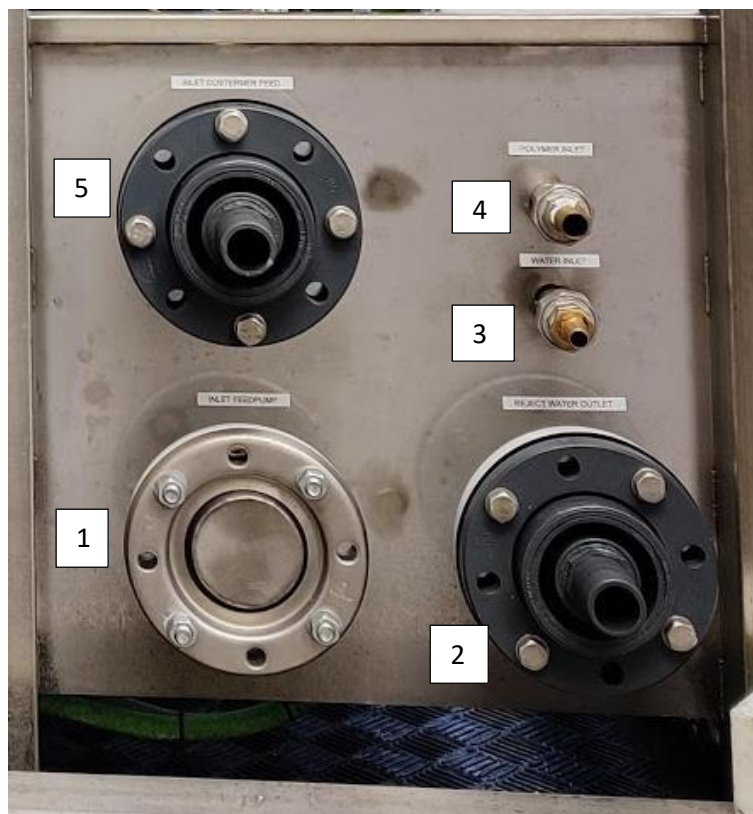
Kuva 2: Putkilinjat ja kemikaalikontit Lieterakennuksen ulkopuolella. Rejektiveden ja sakeutetun lietteen putket yhdistyvät rakennuksen sisällä. 1: rejektiveden poistoputki, 2: raakalietteen syöttöputki ja 3: sakeutetun lietteen poistoputki.

Raakaliete pumpattiin koeajoa varten esiselkeytysallas 16:sta. JSP:n Nenäinniemen puhdistamolla on kolme esiselkeytysallasta, joista yksi otettiin ennen koeajoa pois käytöstä. Tavoitteena oli varmistaa raakalietteen riittävä sakeus koeajoihin, sillä etukäteen arvioitiin raakalietteen kiintoainepitoisuuden laskevan linkosakeutuksen myötä liian alhaiseksi laitoksen raakalietteen normaaliin sakeuteen verrattuna.

Raakaliete pumpattiin ensin lietepumpulla 6P04 pieneen välisäiliöön, mistä se edelleen pumpattiin lingolle linkokontin omalla syöttöpumpulla. Koeajoa varten rakennettiin putkilinja välisäiliöltä lingolle. Tähän putkilinjaan asennettiin Börgerin valmistama repijäyksikkö, jonka tarkoituksena oli suojata linkoa pitkiltä kuiduilta kuten hiuksilta. Repijälaitte pyöri 50 Hz:n taajuudella ja laitetta ajettiin erillisellä taajuusmuuttajalla.

Lingolta tuleva sakeutettu liete ja rejektivesi pumpattiin linkokontin pumpuilla erillisten putkilinjojen kautta lieterakennuksen alakertaan, josta ne johdettiin edelleen puhdistamon esikäsitteilyyn. Sakeutetun lietteen putkilinjaan asennettiin jatkuvatoiminen viskositeettimittaus, jolla haluttiin selvittää normaalia sakeamman lietteen viskositeettiä. Viskositeetti on yksi huomioitavista tekijöistä, kun suunnitellaan putkilinjojen kokoa, pumppujen tehokkuutta ja mädättämön sekoittimen kestävyyttä.

Lingon pesuvesi otettiin puhdistamon teknisen veden verkostosta. Vesilinja yhdistyi teknisen veden verkostoon lieterakennuksen alakertaan rakennetulla putkiyhteellä. Pesuvedet johdettiin sakeutetun lietteen ja rejektiveden kanssa samaa poistoputkea pitkin takaisin puhdistamon esikäsitteilyyn. Kuvassa 3 on esitetty putkiliitännöiden sijainnit kontin päädyssä.

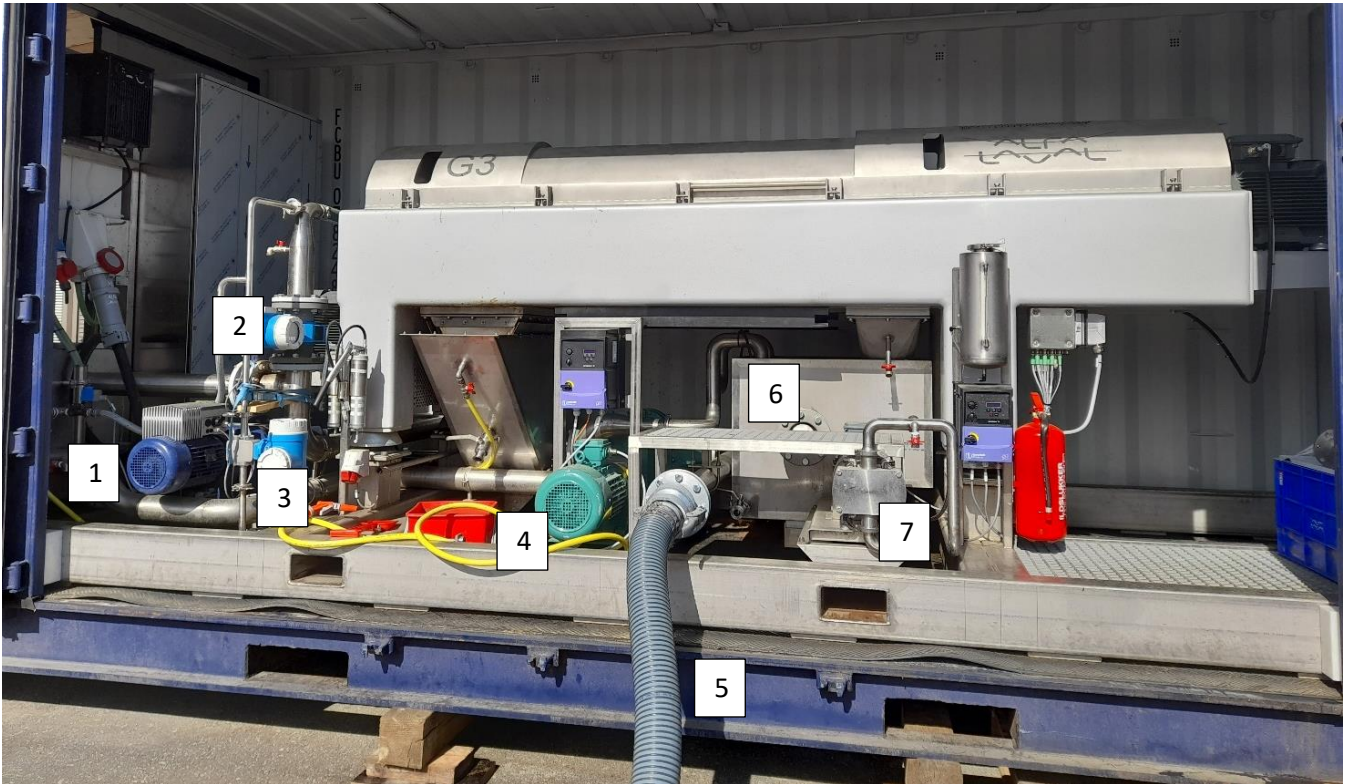


Kuva 3: Linkokontin päädyssä sijaitsevat putkiliitännät. 1: raakalietteen syöttölinja, 2: rejektiveden poistoputki, 3: pesuveden syöttölinja, 4: polymeerin syöttölinja ja 5: sakeutetun lietteen kuljetushihnan poistoputki, joka ei ollut käytössä kokeen aikana.

Linkosakeutuksessa tarvitaan polymeeriliuosta sakeamman lietteen ja puhtaamman rejektiveden saavuttamiseksi. Koeajojen aikana lietteen sakeutuksessa kokeiltiin kolmen eri polymeerilaadun soveltuvuutta linkosakeutukseen. Polymeerit valittiin aikaisemmin keväällä tehtyjen kuppikokeiden perusteella. Koeajoihin valitut polymeerit olivat SNF:n FLOPAM FO4290SH (myöhemmin SNF), Kemiran SUPERFLOCK XD-5100 (myöhemmin Kemira) ja BASF:n Zetag 7563 (myöhemmin BASF). Koeajon aikana polymeeriliuokset valmistettiin puhdistamon omilla polymeerilaitteistoilla ja liuosta pumpattiin puhdistamon polymeeripumpuilla 2.1P09 ja 2.1P16 erillisiin, 1 m³ kemikaalikontteihin. Kemikaalikonteista liuosta annosteltiin lingolle pilottilaitteiston omalla annostelupumpulla.

2.2 Koeajossa käytetty linko

Pilotoinnissa käytettiin Alfa Lavalin rakentamaa pilot-koeajolaitteistoa, joka oli siirrettävässä 20 jalan merikontissa. Kontti sijoitettiin koeajojen ajaksi lieterakennuksen viereiselle asfalttipihalle. Laitteisto käsitti oman ohjausjärjestelmän, syöttöpumput ja virtausmittaukset. Linkokontin sähkönsyöttö tapahtui 125 A:n pistokeliitännällä. Kontissa oleva linko oli Alfa Laval Aldec G3-tyyppiä, joka oli varustettu VecFlow-tekniikalla. Koeajossa käytetty linko soveltui kokoluokaltaan hyvin Nenäinniemen puhdistamon sakeutustestiin. Kuvassa 4 on kokeessa käytetty linkokontti. Kuvaan on merkitty numeroilla keskeisimmät laitteet.



Kuva 4: Koeajolaitteisto. 1: syöttöpumppu, 2: syötteen virtausmittaus, 3: polymeerin virtausmittaus, 4: sakeutetun lietteen pumppu, 5: sakeutetun lietteen poistoputki, 6: rejektiveden pumppu ja 7: polymeeripumppu.

2.3 Koeajosuunnitelma

Lingon koeajosuunnitelma käsitti yhteensä 15 ajopäivää. Jokaiselle testattavalle polymeerille oli alustavasti suunniteltu kolme koeajopäivää. Polymeeritestien lisäksi suunnitelmassa oli varattu kaksi päivää koeajolle ilman polymeeriä. Linkoa oli tarkoitus testata jokaisella polymeerilaadulla 10, 15 ja 20 m³/h syöttövirtaamilla. Ajatuksena oli, että syöttövirtaama olisi vakio yhden työpäivän (8 h) ajan ja linkoustulokseen vaikutettaisiin polymeerinsyötöllä ja lingon säädöillä. Polymeerin toimivuutta haluttiin kokeilla valmistamalla jokaisesta polymeeristä kaksi eri vahvuista liuosta. Polymeerinkulutuksen oletettiin olevan tasolla 2–4 kg/ tnTS.

2.4 Näytteenoton tavoitteet

Kokeen aikana otettiin näytteitä lingon toiminnan tutkimiseksi. Säännöllisellä näytteenotolla seurattiin muutoksia raakalietteen ja sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuudessa. Näitä tietoja käytettiin koeajon aikana lingon säätöparametrien valitsemiseen. Puhdistamolla tehtyjen kiintoaineanalyyysien perusteella päätettiin esimerkiksi alustavat asetukset lingolle seuraavaksi koeajopäiväksi. Näytteenoton tavoitteena oli tuottaa numeerista tietoa lingon toimivuudesta Nenäinniemen puhdistamon raakalietteellä.

Laboratoriossa kaikista näytteistä analysoitiin kiintoainepitoisuuden lisäksi pH, alkaliniteetti ja haihtuvan orgaanisen kiintoaineen osuus eli VS%-pitoisuus. Näytteistä tutkittiin myös ravinteiden kiertoa analysoimalla kaikista jakeista kokonaistyyppi ja liukoinen tyyppi. Kemiallinen hapenkulutus COD_{Cr} tutkittiin raakalietteestä ja rejektivedestä. Lisäksi rejektiveden näytteistä tutkittiin ammoniumtyppi ja biologinen hapenkulutus BOD₇. Kokonaisfosfori suunniteltiin tutkittavaksi kaikista jakeista 3 kertaa viikossa samoin kuin rejektiveden biologinen hapenkulutus. Käytetyn polymeerin vaikutusta sakeutetun lietteen alkaliniteettiin seurattiin tutkimalla alkaliniteetti 1–2 kertaa jokaisen polymeerin aikana. Taulukossa 1 on esitetty laboratoriossa tutkittavien näytteiden analyysisuunnitelma.

Taulukko 1: Laboratoriossa tutkittavat ominaisuudet jakeittain.

analyysi	Raakaliete		Sakeutettu liete		Rejektivesi	
	1 näyte	2 näyte	1 näyte	2 näyte	1 näyte	2 näyte
TS	X	X	X	X	X	X
VS	X	X	X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X	X
Kokonaistyyppi	X	X	X	X	X	X
Liukoinen tyyppi	X	X	X	X	X	X
Ammoniumtyppi					X	X
Kokonaisfosfori		X		X		X
Alkaliniteetti				X		
COD _{Cr}	X	X			X	X
BOD ₇						X

3. Koeajot

Käyttöönotto ja koeajot aloitettiin maanantaina 17.5.2021. Alfa Lavalin asiantuntijat Tim Mikkelsen ja Krister de Ronde ottivat lingon käyttöön ja olivat lisäksi mukana koeajojakson ensimmäisen viikon. Ensimmäisenä koeajopäivänä tarkistettiin lingon kunto, irrotettiin kuljetustuet ja tehtiin tarvittavat testaukset. Linko saatiin ajoon iltapäivällä, mutta laboratorioon vietäviä näytteitä ei ensimmäisenä päivänä otettu. Ensimmäiset laboratoriokelpoiset tulokset saatiin 18.5.

Yhteensä koeajopäiviä oli lopulta 10 alkuperäisen 15 sijaan, mutta kaikki suunnitelmassa olleet asiat saatiin testattua. Koeajo oli tauolla seuraavina päivinä:

- 24.5. ohjauspaneelin häiriön takia
- 26.5.–27.5. sairastapauksen takia
- 3.6. raakalietteen kiintoainepitoisuuden nopean alenemisen takia.

Koeajot aloitettiin suunnitellusti kahden esiselkeytysaltan kapasiteetilla. Kolmas esiselkeytysallas otettiin käyttöön 24.5. Syynä käyttöönotolle oli liian korkea raakalietteen kiintoainepitoisuus puhdistamon normaaliin ajotilanteeseen verrattuna. Kolmannen esiselkeytysaltan käyttöönoton vaikutus havaittiin nopeasti ja raakalietteen kiintoainepitoisuus laski puhdistamon normaalille tasolle. Altaan vaikutus näkyi 25.5. alkaen myös kiintoainetuloksissa. Koeajoa varten rakennetut prosessiputkistot, sähköistykset ja muut käytännön järjestelyt toimivat moitteettomasti.

Tim Mikkelsenin ohjeistukseen pohjautuen esimerkiksi syöttövirtaamaa vaihdettiin useaan otteeseen koeajopäivän aikana. Koeajon aikana hydraulinen kuormitus vaihteli välillä 14,6–24,4 m³/h. Yli 20 m³/h virtaamalla raakalietteen kiintoainepitoisuus laski nopeasti etenkin koeajojakson loppupuolella, kun raakalietteen kiintoainepitoisuus oli alhaisempi. Muutaman koeajopäivän jälkeen päädyttiin muuttamaan koeajosuunnitelmaa niin, että syöttövirtaamaa säädettiin raakalietteen kiintoainepitoisuuden mukaan kiintoainekuorman pitämiseksi mahdollisimman vakiona. Kiintoainekuormitus vaihteli kokeen aikana välillä 311–819 kg kiintoainetta/h keskiarvon ollessa noin 559 kg kiintoainetta/h.

Koeajopäivät aloitettiin edellisen päivän kiintoainetulosten analysoinnilla ja näytteenotolla raakalietteestä, jotta lingon säätöparametrit saatiin mahdollisimman sopiviksi kulloisen lietteen laadulle. Raakalietteen kiintoainepitoisuus vaihteli kokeen aikana melko paljon, mikä vaikutti linkoustulokseen. Aamulla raakaliete oli sakeampaa ja sen kiintoainepitoisuus laski usein iltapäivään mennessä suuren pumppausmäärän seurauksena. Vaihtelun takia lingon toimintaa seurattiin jatkuvasti ja sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuus oli ajoittain haastavaa pitää halutulla tasolla. Koska raakalietteen kiintoainepitoisuus vaihteli herkästi, vuorokauden mittaisia yhtäjaksoisia koeajoja ei tehty. Koeajopäivänä linkoa ajettiin keskimäärin 6 tuntia. Koeajopäivän loputtua lingon alasajo ja pesu kestivät 30–45 minuuttia.

Lingotun lietteen joukkoon jouduttiin lisäämään "kyytivettä", sillä linkolaitteiston oma lietteen siirtopumppu oli tarpeeseen nähden tehoton ja tukkeutui herkästi näin sakealla lietteellä. Lietepumpun tukkeutumisriski oli yksi merkittävimmistä seurattavista asioista koeajojen aikana. Kyytiveden lisäämisen takia lietteen viskositeettimittaus ei tuottanut toivottua tulosta, sillä mittalaitteen kohdalla lietteen kiintoainepitoisuus oli alhaisempi kuin lingolta poistuneella lietteellä.

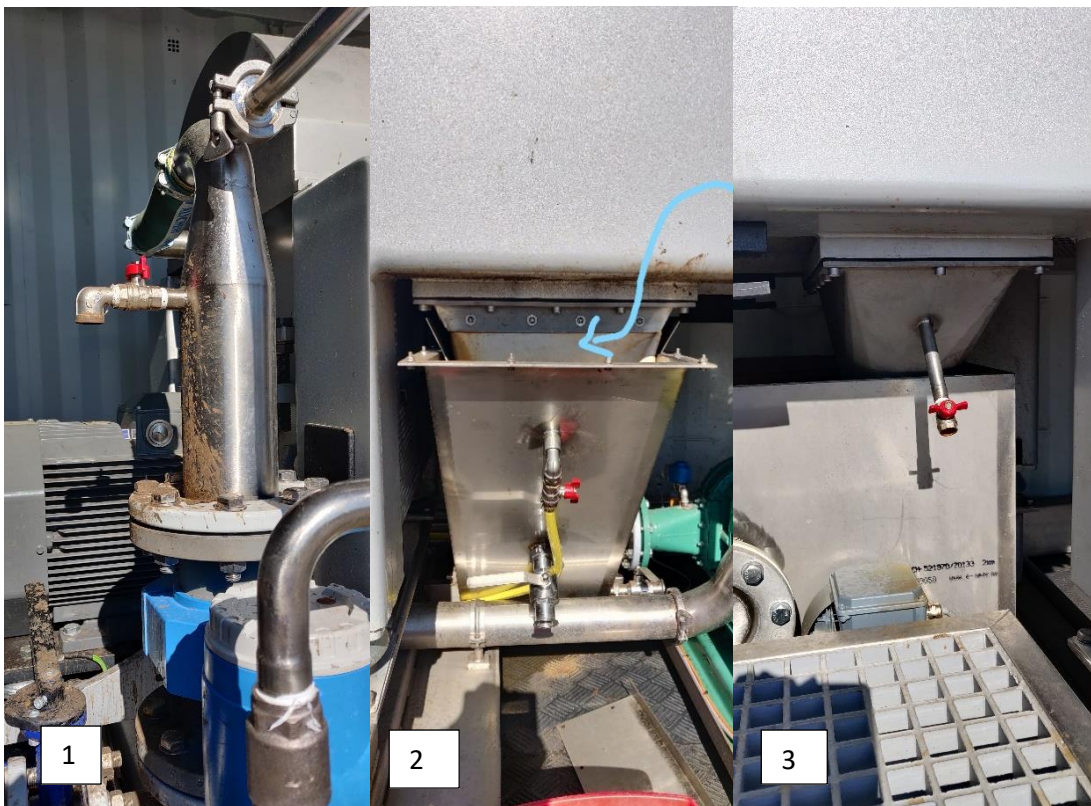
Alkuperäisestä koeajosuunnitelmasta poiketen polymeeriliuosten pitoisuudet pidettiin vakiona ja syötettävän polymeerin määrää säädettiin virtaaman avulla. SNF:n polymeeristä tehdyn polymeeriliuoksen pitoisuus oli 0,25 % ja Kemiran sekä BASF:n liuoksissa pitoisuus oli kummassakin 0,2 %. Koeajoja ei tehty ilman polymeeriä, sillä ilman polymeeriä lietteen kiintoainepitoisuutta ei saatu nostettua riittävän korkeaksi.

3.1 Näytteenoton toteutus

Kiintoainepitoisuutta tutkittiin kentällä raakalietteestä, sakeutetusta lietteestä ja rejektivedestä kokeen aikana 69 kertaa, yhteensä 207 näytteen verran. Näytteenottoa varten oli hankittu muovisia 0,5 l purkkeja, kertakäyttölusikoita ja alumiinisia paistoastioita. Laboratorioon toimitettavat lietenäytteet otettiin 0,5 l muovipurkkeihin ja rejektivesi 2,0 l muovipulloon. Laboratorioon lähetettiin 10 näyte-erää eli yhteensä 30 näytettä. Jokainen näyte-erä sisälsi näytteet raakalietteestä, sakeutetusta lietteestä ja rejektivedestä.

Näytteitä otettiin ajon aikana 30–60 minuutin välein testaajan havaintojen perusteella. Esimerkiksi sakeutetun lietteen ollessa silmämääräisesti selvästi alle halutun kiintoainepitoisuuden näytettä ei aina otettu, vaan ensin säädettiin esimerkiksi kierrosnopeutta suuremmaksi ja odotettiin parempaa tulosta. Lingon parametrien säätämisen jälkeen lingon annettiin tasaantua noin puoli tuntia ennen näytteenottoa. Ennen jokaista näytteenottoa kirjattiin ylös lingon tilatiedot, joita olivat kierrosnopeus, momentti, erokierrosnopeus, hetkellinen kokonaisteho ja ”power tubesien” eli perinteisiä patolevyjä vastaavien säätölaitteiden asento (asteikko -10–10). Lisäksi kirjattiin ylös näytteen numero ja kellonaika sekä tiedot polymeerin ja raakalietteen syöttömäärästä.

Sakeutetun lietteen näytteenottopaikkaa täytyi muuttaa alkuperäisestä, sillä sakeutetun lietteen sekaan jouduttiin lisäämään kyytivettä. Raakalietteen näyte päädyttiin ottamaan linkokontin syöttöputkesta. Alkuperäinen raakalietteen näytteenottopaikka olisi ollut lieterakennuksen sisällä ja näytteiden ottamiseen olisi kulunut enemmän aikaa. Rejektiveden näyte otettiin lingon rejektin poistumiskanavasta. Näytteet raakalietteestä ja rejektivedestä otettiin suoraan purkkiin avaamalla käsiventtiili. Sakeutetun lietteen näyte otettiin lapiolla lietteen keruusuppilosta, mikä oli työläämpää. Kuvassa 5 on eritelty näytteenottopaikat.



Kuva 5: Koeajon aikana käytetyt näytteenottopisteet. Näytteenottopaikat näkyvät myös kuvassa 4. 1: raakalietteen näytteenottohana, 2: sakeutetun lietteen näyte otettiin lapiolla suppilosta ja 3: rejektiveden näytteenottohana.

Jokaisen näyteastian massa punnittiin ja kirjattiin ylös. Seuraavaksi kustakin näytteestä punnittiin uuniin menevään astiaan näytettä niin, että näytteen ja astian yhteispaino oli noin 30 grammaa. Punnitut massat kirjattiin ylös milligramman tarkkuudella. Näytteet kuivattiin yön aikana 105 °C asteisessa uunissa ja ne otettiin aamulla jäähtymään eksikaattoriin, minkä jälkeen ne punnittiin uudelleen. Kiintoainepitoisuus laskettiin punnitustulosten avulla. Tulosten laskemista varten tutkittiin liuenneen kiintoaineen osuutta rejektivedestä. Liuennutta kiintoainetta tutkittiin 2–3 kertaa jokaisella polymeerilaadulla. Näytteenotossa toimittiin muuten samalla tavalla, mutta kuivaukseen menevästä näytteestä suodatettiin liukenematon kiintoaine pois 10 µm suodattimella. Näytteiden pika-analyysia varten käytettiin erillistä kuiva-aineen pika-analyysaattoria, joka antoi tuloksen alle tunnissa. Kuvassa 6 on kuvasarja näytteiden käsittelystä.



Kuva 6: 1. Näytteitä menossa kentällä tehtävään kiintoaineanalyysiin. 2. Rejektiväinänäytteestä suodatetaan liukenematon kiintoaine pois ruiskun päähän asetettavan filterin läpi. Suodatetusta näytteestä analysoitiin liuenneen kiintoaineen määrä. 3. Näytteitä kuivausuunissa, kuivaus kesti yön yli. 4. Näytteet jäähtymässä eksikaattiorissa punnitusta ja tulosten laskentaa varten.

4. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Tähän lukuun on kerätty kokeen aikana saadut tulokset. Lisäksi luvussa arvioidaan tulosten luotettavuutta. Tarkemmat taulukoidut tiedot laboratoriotuloksista löytyvät liitteestä 2 ja kentällä tehdyistä kiintoaineanalyseista liitteestä 3.

4.1 Lingon toiminta

Tiedon kerääminen linkosakeutuksen toimivuudesta JSP:n Nenäinniemen puhdistamon raakalietteellä oli yksi koeajon tavoitteista. Koeajon aikana selvisi, että linko on herkkä syötettävän raakalietteen kiintoainepitoisuuden muutoksille. Lingon herkkyys näkyi sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuuden muutoksena raakalietteen kiintoainepitoisuuden muuttuessa ja muiden muuttujien pysyessä vakiona. Tämä on havaittavissa esimerkiksi näytepareista 30 ja 32, 45 ja 46, sekä 54 ja 55 (arvot liitteessä 3).

Koeajon perusteella raakalietteen kiintoainepitoisuuden muutokselle ei voi antaa yksiselitteistä vaihteluväliä, jolla sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuus pysyisi vakaana. Mitä alhaisempi raakalietteen kiintoainepitoisuus oli, sitä suurempi oli myös suhteellinen muutos sekä raakalietteen että sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuudessa. Asiaa on havainnollistettu taulukossa 2.

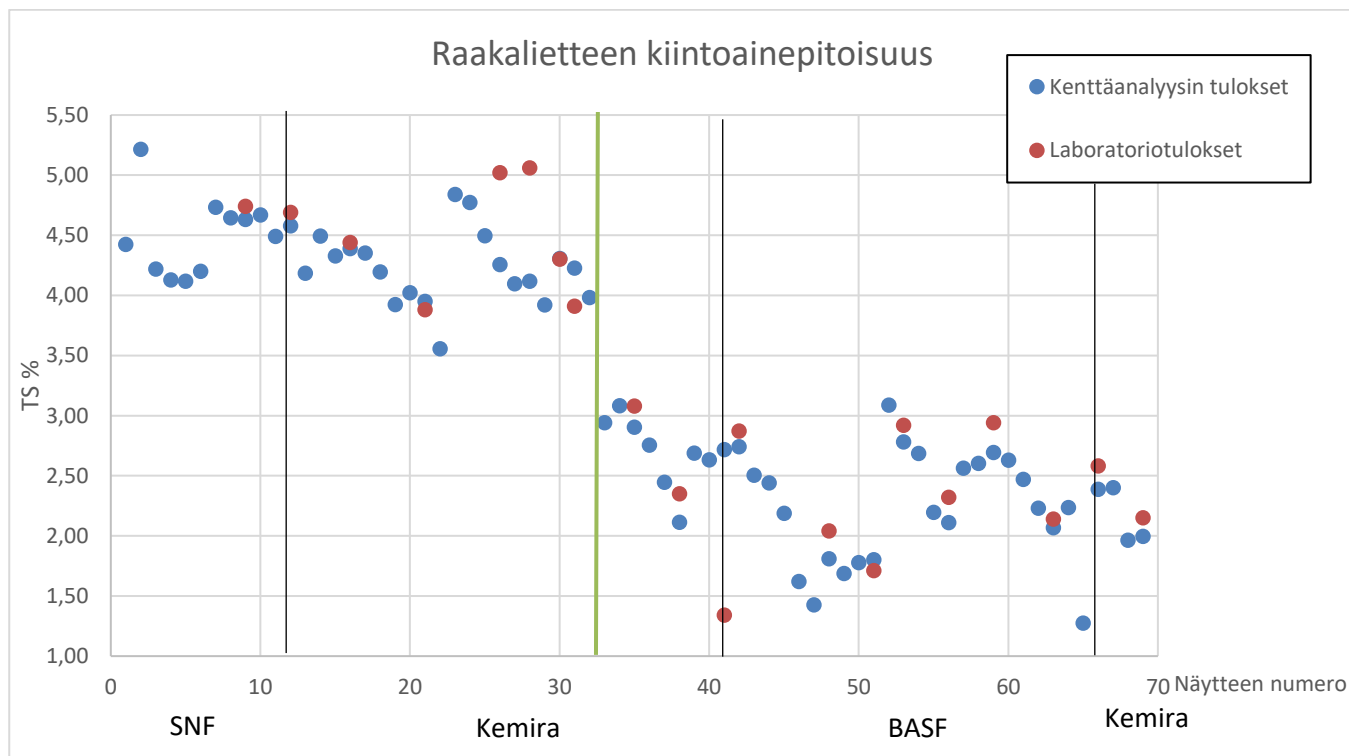
Taulukko 2: Raakalietteen kiintoainepitoisuuden muutoksen vaikutus sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuuteen. Muutos on laskettu suhteellisena osuutena vertaamalla näyteparin jälkimmäistä arvoa ensimmäiseen.

Näytteen numero	Raakalietteen TS%	Sakeutetun lietteen TS%	Muutos raakalietteessä %	Muutos sakeutetussa lietteessä %
30	4,31	10,06	7,6	4,6
32	3,98	9,60		
45	2,19	8,53	26,0	22,5
46	1,62	6,61		
54	2,68	9,97	17,9	9,9
55	2,20	8,98		

Koeajon aikana huomattiin, että kierrosnopeuden muuttaminen vaikutti eniten sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuuteen. Esimerkiksi näytteiden 46–51 kohdalla kierrosnopeutta nostamalla sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuus nousi, vaikka raakalietteen kiintoainepitoisuus oli vakaa. Näytteen 48 ottohetkellä lingon kierrosnopeus oli 2100 rpm ja raakalietteen kiintoainepitoisuus 1,81 %, jolloin sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuudeksi saatiin 9,09 %. Näytteellä 50 lingon kierrosnopeus oli 2400 rpm ja raakalietteen kiintoainepitoisuus 1,78 %, jolloin sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuus oli 9,79 %.

4.2 Kiintoainetulokset

Kuvan 7 kuvaajassa on esitetty raakalietteen kiintoainepitoisuus kokeen aikana. Kentällä tehtyjen kiintoaineanalyyseiden tulokset on merkitty sinisellä ja laboratorion tulokset punaisella. Raakalietteen kiintoainepitoisuus vaihteli koeajon aikana välillä 1,27–5,21 %. Raakalietteen kiintoainepitoisuuden keskiarvo kahdella esiselkeytysaltaalla oli 4,33 % ja kolmen esiselkeytysaltaan toimiessa 2,34 %, joten ero on merkittävä.



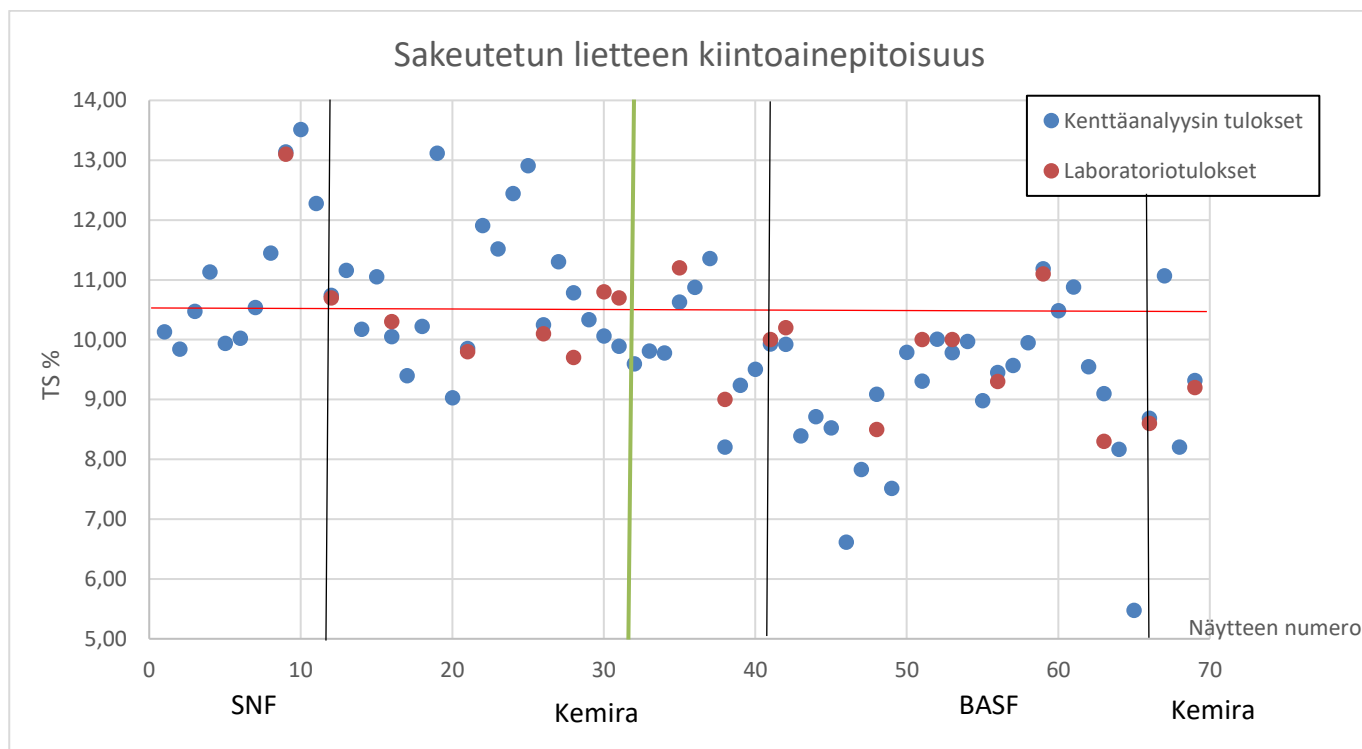
Kuva 7: Raakalietteen kiintoainepitoisuus koeajojen aikana. Mustat pystyviivat tarkoittavat polymeerilaadun vaihtumista. Vihreä pystyviiva on ajankohta, jolloin laitosta alettiin ajaa kolmella esiselkeytysaltaalla kahden esiselkeytysaltaan sijaan.

Raakalietteen kiintoainepitoisuuden laskiessa lietettä täytyi pumpata lingolle enemmän, jotta lietekuormitus pysyisi vakiona. Tämä entisestään laski syötettävän raakalietteen kiintoainepitoisuutta ja se näkyy myös kuvassa 7 kiintoainepitoisuuden nopeana vaihteluna.

Kuten kuvasta 7 nähdään, kentällä tehdyistä analyyseistä saadut tulokset ovat suurilta osin yhteneviä laboratorion tulosten kanssa, joten tuloksia voi pitää luotettavina. Myös sakeutetun lietteen (kuva 8) ja rejektiveden (kuva 9) osalta kentällä määritetyt kiintoainetulokset ovat suurimmaksi osaksi lähellä laboratorion tuloksia.

Tulosten väliset erot voivat johtua näytteenoton epätarkkuudesta. Näytteenotossa virhettä on voinut tulla kentällä analysoitujen näytteiden punnitsemisessä tai näytteenottotilanteessa. Näytteenotto sakeutetusta lietteestä oli haastavaa ja näytteenottolapioon saattoi roiskua märepää lietettä suojaläpystä. Tulosten välisiä eroja voi selittää myös se, että näytteet kentällä tehtyä kiintoaineanalyysejä ja laboratoriota varten otettiin suoraan omiin näyteastioihinsa. Vaikka näytteiden ottamisessa ei ollut ajallisesti eroa kuin kymmeniä sekunteja, on mahdollista, että näytteet ovat olleet koostumukseltaan hieman erilaisia. Laboratorioon toimitettavia näytteitä säilytettiin enintään yön yli 3 °C:een lämpötilassa jääkaapissa, jotta ne pysyisivät mahdollisimman muuttumattomina. Näytteissä on mahdollisesti tapahtunut muutoksia säilytyksen aikana.

Kuvassa 8 on kuvaaja sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuudesta kokeen aikana.



Kuva 8: Sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuudet koeajon aikana. Mustat pystyviivat kuvaavat polymeerilaadun vaihtumiskohtaa. Vihreä pystyviivan kohdalla kolmas esiselkeytysallas otettiin käyttöön. Punainen vaakaviiva on 10,5 %:n kiintoainepitoisuus.

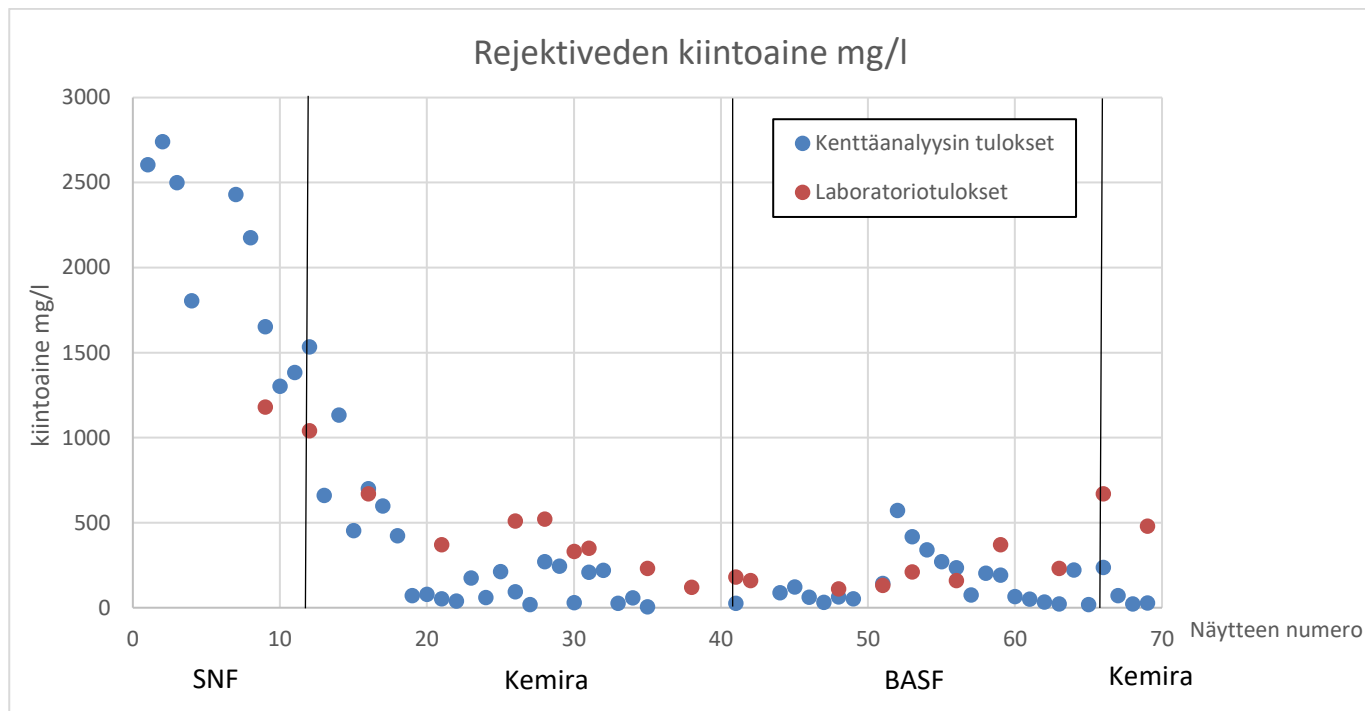
Tässä kuvaajassa kannattaa kiinnittää huomiota esiselkeytyksen kapasiteetin lisäämisen vaikutukseen, sillä raakalietteen kiintoainepitoisuuden vaihdelta sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuuden nostaminen 10,5 %:iin oli haasteellista. Vähemmän kiintoainetta sisältänyt raakaliete vaati erilaiset säädöt, esimerkiksi selvästi suuremman kierrosnopeuden kuin kiintoainepitoisuudeltaan noin 4 % raakaliete, jotta tavoiteltuun sakeuteen päästiin.

Eri polymeerien tuloksien vertailu vaikeutui kokeen aikana muuttuneen raakalietteen kiintoainepitoisuuden takia. SNF:n polymeerillä sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuuden keskiarvo oli 11,50 %, Kemiran polymeerillä 10,08 % ja BASF:n polymeerillä 9,51 %. SNF:n polymeeriä käytettiin koejakson alussa, jolloin myös syötetty raakaliete oli sakeinta. Jokaisella polymeerillä saavutettiin tavoiteltu sakeus. Taulukkoon 3 on koottu raakalietteen ja sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuuksien vaihteluvälit sekä keskiarvot eri polymeerilaaduilla.

Taulukko 3: Raakalietteen ja sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuuden vaihteluvälit ja keskiarvot polymeereittäin sekä keskimääräinen polymeerinkulutus.

Polymeeri ja liete	Kiintoainepitoisuuden vaihteluväli [TS %]	Kiintoainepitoisuuden keskiarvo	Polymeerinkulutuksen keskiarvo kg/ tn kiintoainetta
SNF, raakaliete	4,12–5,21	4,60 %	1,2
SNF, sakeutettu liete	9,84–13,51	11,50 %	
Kemira, raakaliete	1,27–4,84	3,63 %	1,7
Kemira, sakeutettu liete	5,47–13,12	10,08 %	
BASF, raakaliete	1,42–3,09	2,30 %	1,6
BASF, sakeutettu liete	6,61–11,18	9,51 %	

Kuvassa 9 on esitetty rejektiveden kiintoainepitoisuus. Rejektiveden kiintoainetuloksissa oli eniten poikkeavuutta kenttä- ja laboratoriotulosten välillä. Tämä johtui todennäköisesti alhaisesta kiintoainepitoisuudesta, jolloin esimerkiksi punnituksen epätarkkuus saattoi vaikuttaa tulokseen paljonkin. Kentällä tehdyissä kiintoaineanalyyseissä (liite 3) joidenkin rejektivesinäytteiden laskennalliset tulokset olivat negatiivisia, mikä johtui todennäköisesti siitä, että rejektiveden kiintoainepitoisuus oli kyseisissä näytteissä vähäinen ja näytteen punnitustuloksessa oli virhettä.



Kuva 9: Rejektiveden kiintoainetulokset koeajon aikana. Rejektiveden tulokset on esitetty yksikössä mg/l. Mustat pystyviivat kuvaavat polymeerilaadun vaihtumiskohtia.

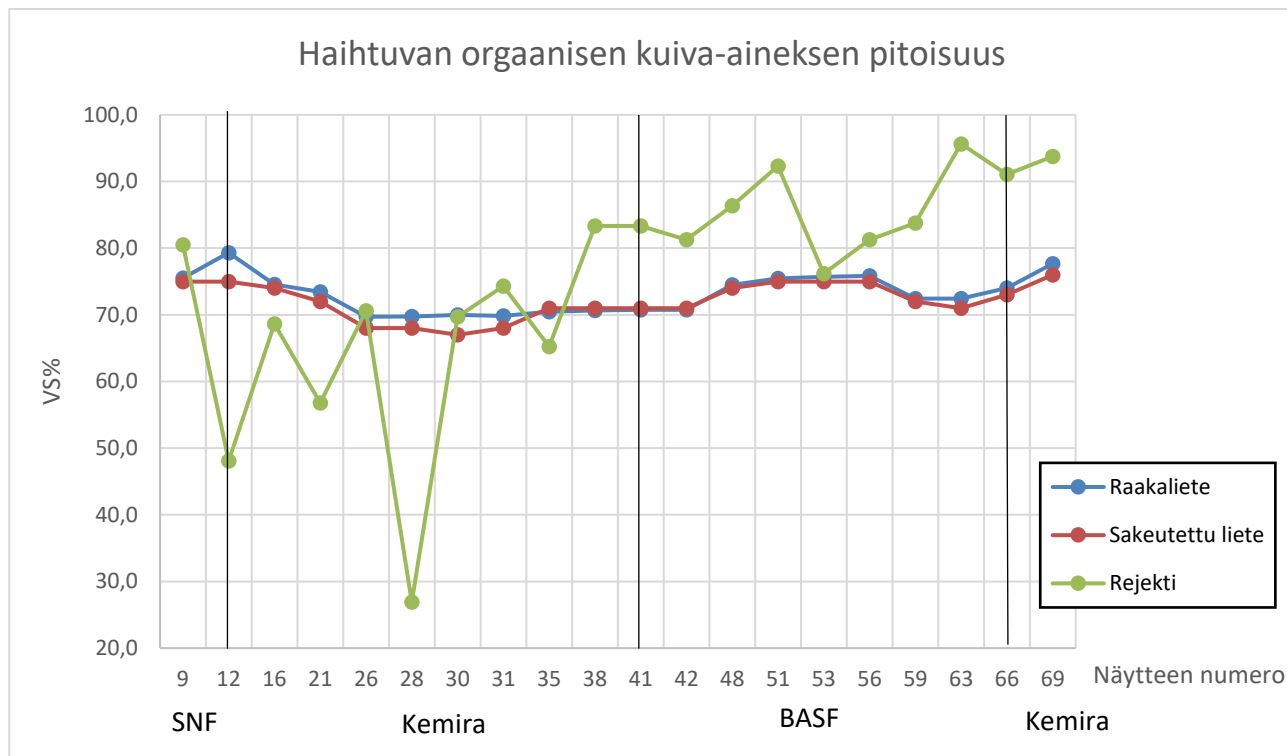
Käytetyllä polymeerillä oli selkeästi suurin vaikutus rejektiveden kiintoainepitoisuuteen. Kuten kuvasta 9 huomataan, SNF:n polymeeriä käytettäessä rejektivedessä oli eniten kiintoainetta keskiarvon ollessa 1699 mg/l. Kemiran ja BASF:n polymeereillä rejektivesi oli parempilaatuista ja kiintoaineen keskiarvot selvästi pienemmät kuin SNF:llä. Kemiran polymeerillä rejektivedessä oli kiintoainetta keskimäärin 294 mg/l ja BASF:lla 150 mg/l. Liitteen 3 arvoja tarkastelemalla huomataan, että rejektiveden laatu ei enää tietyssä vaiheessa parantunut, vaikka polymeerin annostusta lisättiin. Polymeerin yliannostustilanteita oli koeajojakson aikana muutama. Tällöin raakalietteen kiintoainepitoisuus laski nopeasti, minkä seurauksena polymeeriä annosteltiin ylimäärin ja rejektivesi alkoi vaahdota.

Polymeerin kulutus vaihteli kokeen aikana välillä 0,5–2,7 kg/tn kiintoainetta. Näytekohtaiset polymeerinkulutukset on esitetty taulukoituna liitteessä 3. Polymeerin kulutus osoittautui ennakoitua vähäisemmäksi. SNF:n polymeeriä syötettiin keskimäärin 1,2 kg/tn kiintoainetta, mikä oli vähemmän kuin Kemiran tai BASF:n polymeereillä. Kemiran polymeerillä keskimääräinen kulutus oli 1,7 kg polymeeriä kiintoainetonnin kohti ja BASF:n polymeerillä 1,6 kg/tn kiintoainetta.

Kemiran ja BASF:n koeajojen aikana raakalietteen kiintoainepitoisuus vaihteli nopeasti, minkä takia polymeeriä syötettiin helposti ylimäärin, mikä vaikutti polymeerinkulutuksen keskiarvoon. Vähäisempi polymeerin syöttömäärä voi selittää osaltaan SNF:n heikompa rejektiviä, sillä välttämättä kaikki raakalietteen hienojakoinen kiintoaine ei flokkautunut ja jäi siksi rejektiveteen. SNF:n koeajon aikaan raakalietteen kiintoainepitoisuus oli niin korkea, ettei suurempaa polymeerin annostusta,

voitu kokeilla, sillä sakeutetun lietteen poistopumppu olisi tukkeutunut kiintoainepitoisuuden noustessa liikaa.

Kuvassa 10 on kuvaaja haihtuvan orgaanisen kuiva-aineen osuuksista näytteissä kokeen aikana.

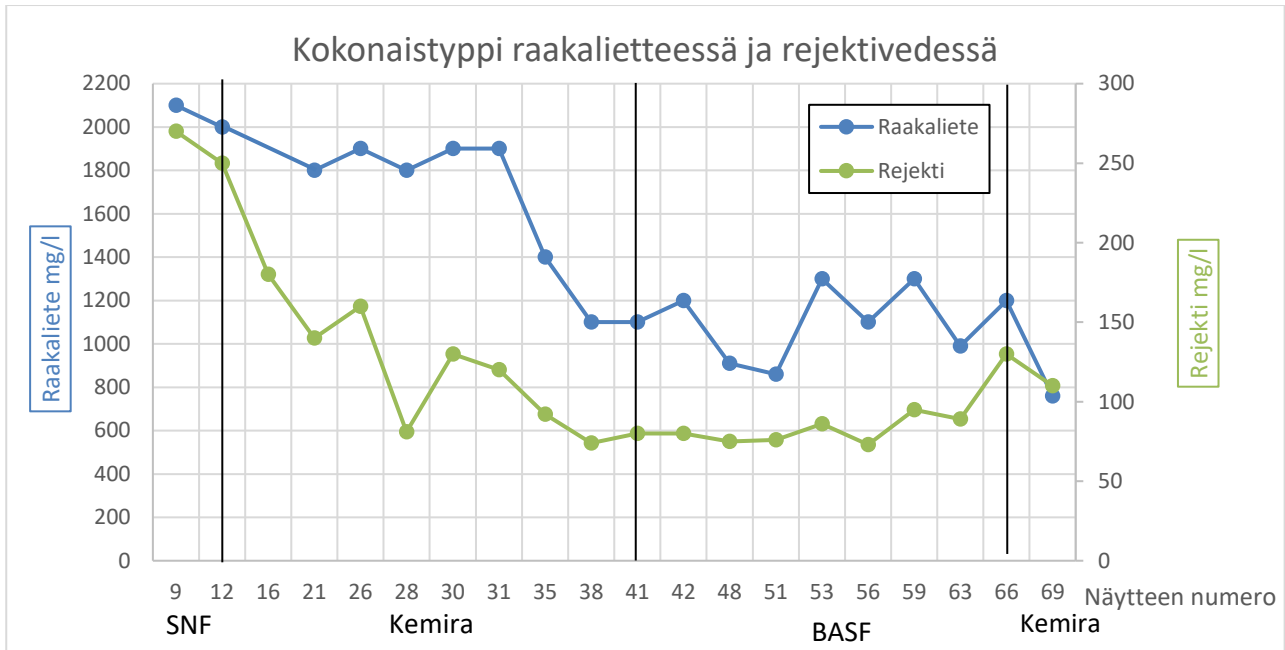


Kuva 10: Haihtuvan orgaanisen aineksen osuudet näytteiden kiintoaineesta. Mustat pystyviivat kuvaavat polymeerilaadun vaihtumiskohtia.

Rejektiveden haihtuvan orgaanisen aineksen arvot vaihtelivat melko paljon, joten rejektivedessä olevan orgaanisen aineksen määrästä on vaikea tehdä johtopäätöksiä. Raakalietteen ja sakeutetun lietteen VS-pitoisuudet puolestaan olivat yhdenmukaiset ja ne pysyivät välillä 67–79,3 %.

4.3 Ravinnetulokset

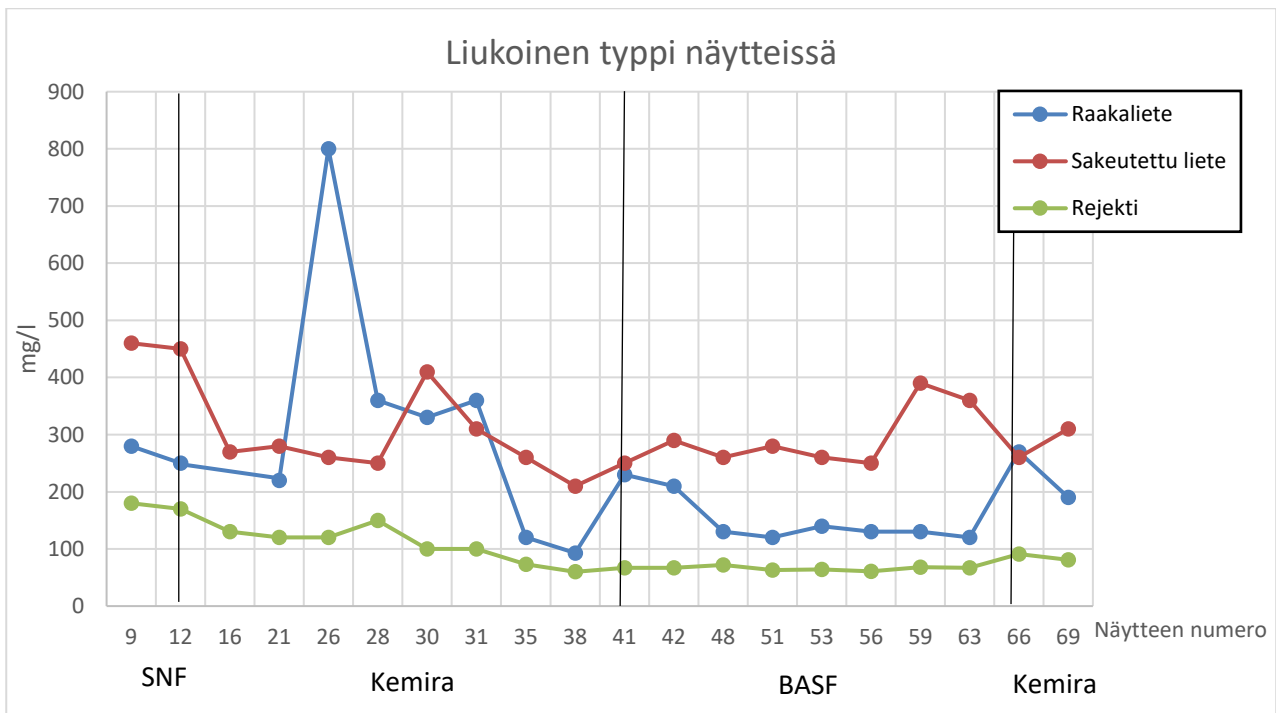
Suurin osa analyysituloksista on esitetty yksikössä mg/l, mutta sakeutetun lietteen osalta kokonaisfosfori ja -typpitulokset ovat yksikössä g/kg kiintoainetta. Tämä aiheutui laboratorion analyysimenetelmistä, sillä sakeutettu liete analysoitiin kiinteän aineen laitteilla korkean kiintoainepitoisuuden takia. Jokaisessa kuvassa käytetään sinistä väriä raakalietteen tuloksille, punaista sakeutetun lietteen tuloksille ja vihreää rejektiveden tuloksille. Kuvassa 11 on raakalietteen ja rejektiveden kokonaistypen tulokset.



Kuva 11: Raakalietteen ja rejektiveden kokonaistyyppitulokset. Mustat pystyviivat kuvaavat polymeerilaadun vaihtumiskohtia.

Raakalietteen kokonaistyyppi näyttäisi korreloivan kiintoainepitoisuuden kanssa. Esimerkiksi näytteiden 53-69 välillä kuvan 11 kuvaaja nousee ja laskee melko säännönmukaisesti, mikä johtuu raakalietteen kiintoainepitoisuuden vaihtelusta. Rejektiveden kokonaistyyppi oli suurimmillaan 270 mg/l (näyte 9). Koeajojen alussa rejektiveden kiintoainepitoisuus oli korkeampi, mikä voi selittää suuremmat tyyppipitoisuudet. Keskimäärin rejektiveden kokonaistyyppi oli 119,6 mg/l.

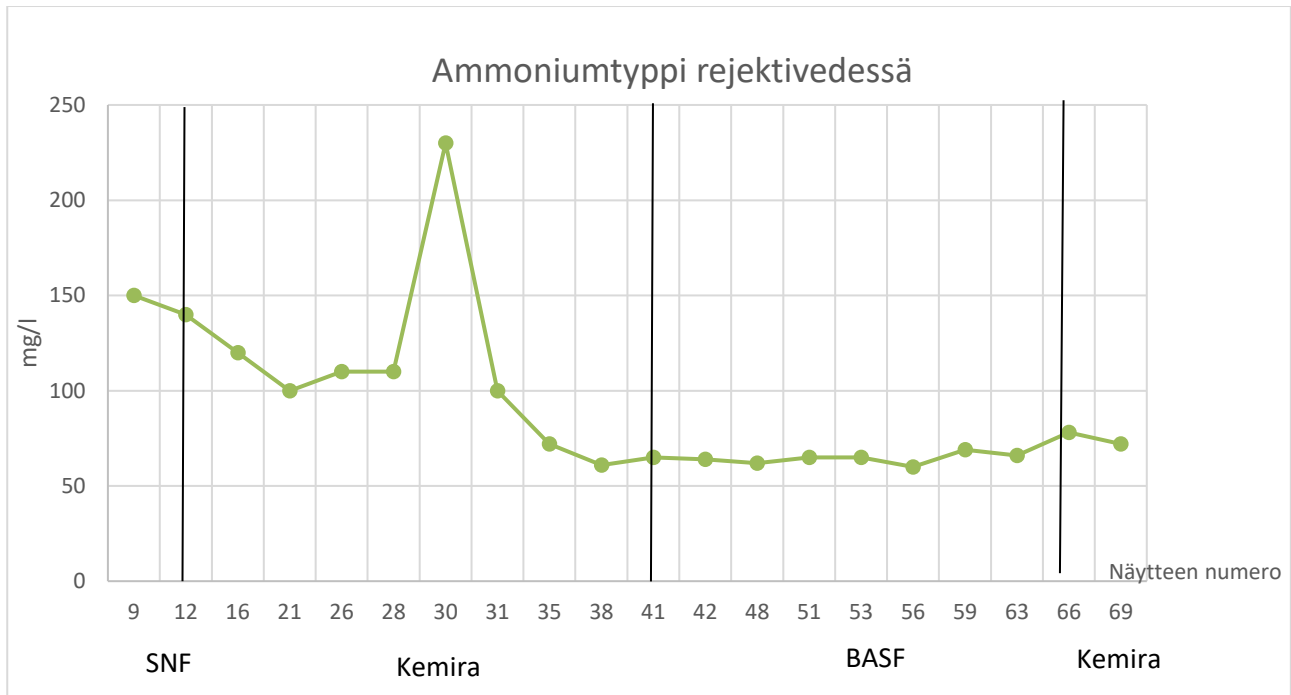
Kuvassa 12 on kuvaaja liukoisen tyyden tuloksista.



Kuva 12: Liukoisen tyyden tulokset kaikille näytetyypeille. Mustat pystyviivat kuvaavat polymeerilaadun vaihtumiskohtia.

Liukoisen typen arvo pysyi melko vakaana sakeutetun lietteen osalta vaihtelun ollessa välillä 210-460 mg/l. Raakalietteellä vaihtelua oli hieman enemmän, mutta pääsääntöisesti raakalietteessä oli vähemmän liukoista typpeä kuin sakeutetussa lietteessä. Todennäköisesti kuvassa 13 raakalietenäytteen numero 26 tulos on virheellinen, sillä se poikkeaa merkittävästi muista arvoista. Rejektiveden tulokset olivat melko tasaiset koko koejakson ajalta ja liukoisen typen kaikki arvot olivat alle 200 mg/l.

Kuvassa 13 on esitetty ammoniumtypen määrä rejektivedessä. Ammoniumtyppeä ei tutkittu muista näytetyypeistä.



Kuva 13: Rejektiveden ammoniumtyppitulokset. Mustat pystyviivat kuvaavat polymeerilaadun vaihtumiskohtia.

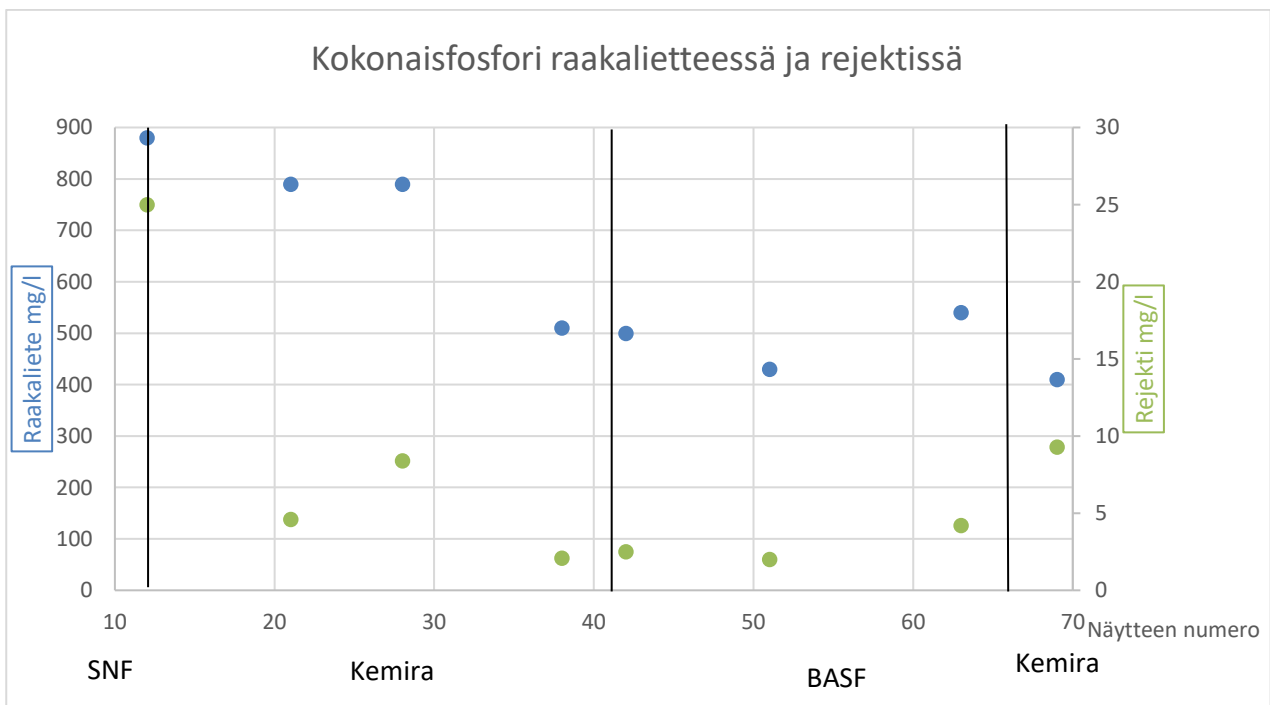
Ammoniumtypen määrä pysyi kokeen aikana 150 mg/l tai sen alle. Todennäköisesti näytteen numero 30 tulos on virheellinen, sillä se poikkeaa merkittävästi muista tuloksista. Taulukossa 4 on yhteenvetona typpitulosten vaihteluvälit ja keskiarvot käytetyn polymeerilaadun mukaan listattuna.

Taulukko 4: Typpitulosten vaihteluvälit ja keskiarvot polymeereittäin. Keskiarvoissa on jätetty yksittäiset poikkeavat analyysitulokset huomioimatta.

	Vaihteluväli			Keskiarvo		
	SNF	Kemira	BASF	SNF	Kemira	BASF
Raakaliete, kok. N mg/l	2000-2100	760-1900	860-1300	2050	1529	1095
Sakeutettu liete, kok. N g/ kg ka	37-38	37-45	42-46	37,5	40,8	43,5
Rejektivesi, kok. N mg/l	250-270	74-180	73-95	260	121,7	81,8
Raakaliete, liuk. N mg/l	250-280	93-800	120-230	265	242	151,3
Sakeutettu liete, liuk. N mg/l	450-460	210-410	250-360	455	282	292,5
Rejektivesi, liuk. N mg/l	170-180	60-150	61-72	175	102,5	66,1
Rejektivesi, ammoniumN mg/l	140-150	61-230	60-69	145	91,4	64,5

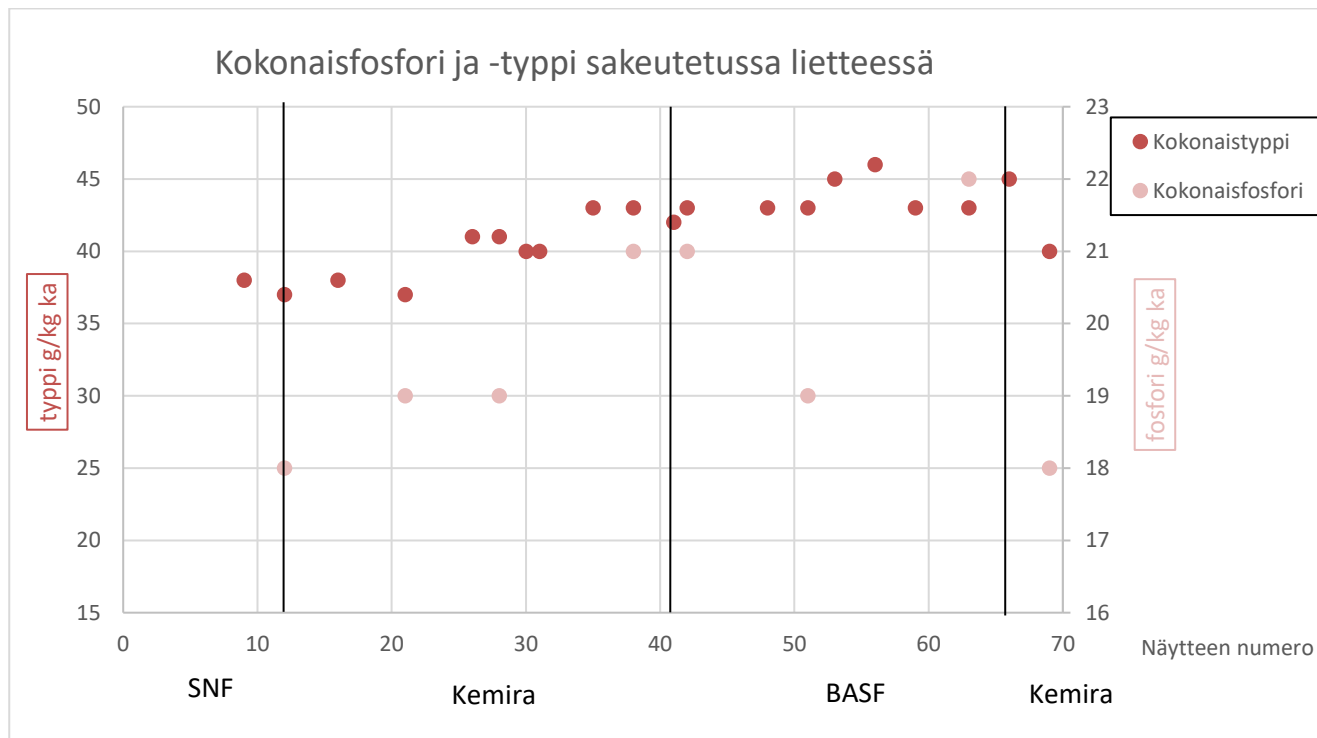
BASF:n polymeerillä rejektiveden kokonaistypen, liukoisen typen ja ammoniumtypen arvot olivat keskimäärin pienempiä kuin SNF:n tai Kemiran polymeereillä. BASF:n polymeerin koeajon aikana myös raakalietteen typpi-arvot olivat pienempiä, mikä on voinut vaikuttaa rejektiveden arvoihin. Taulukossa 4 esitetty sakeutetun lietteen kokonaistyyppi on samassa kuvaajassa sakeutetun lietteen kokonaisfosforitulosten kanssa, sillä molemmissa tulokset on ilmoitettu yksikössä g/kg kiintoainetta.

Typpi-arvojen lisäksi kokeen aikana tutkittiin kokonaisfosforin määriä näytteissä. Kuvassa 14 on raakalietteen ja rejektiveden fosforitulokset.



Kuva 14: Raakalietteen ja rejektiveden kokonaisfosfori. Mustat pystyviivat kuvaavat polymeerilaadun vaihtumiskohtia.

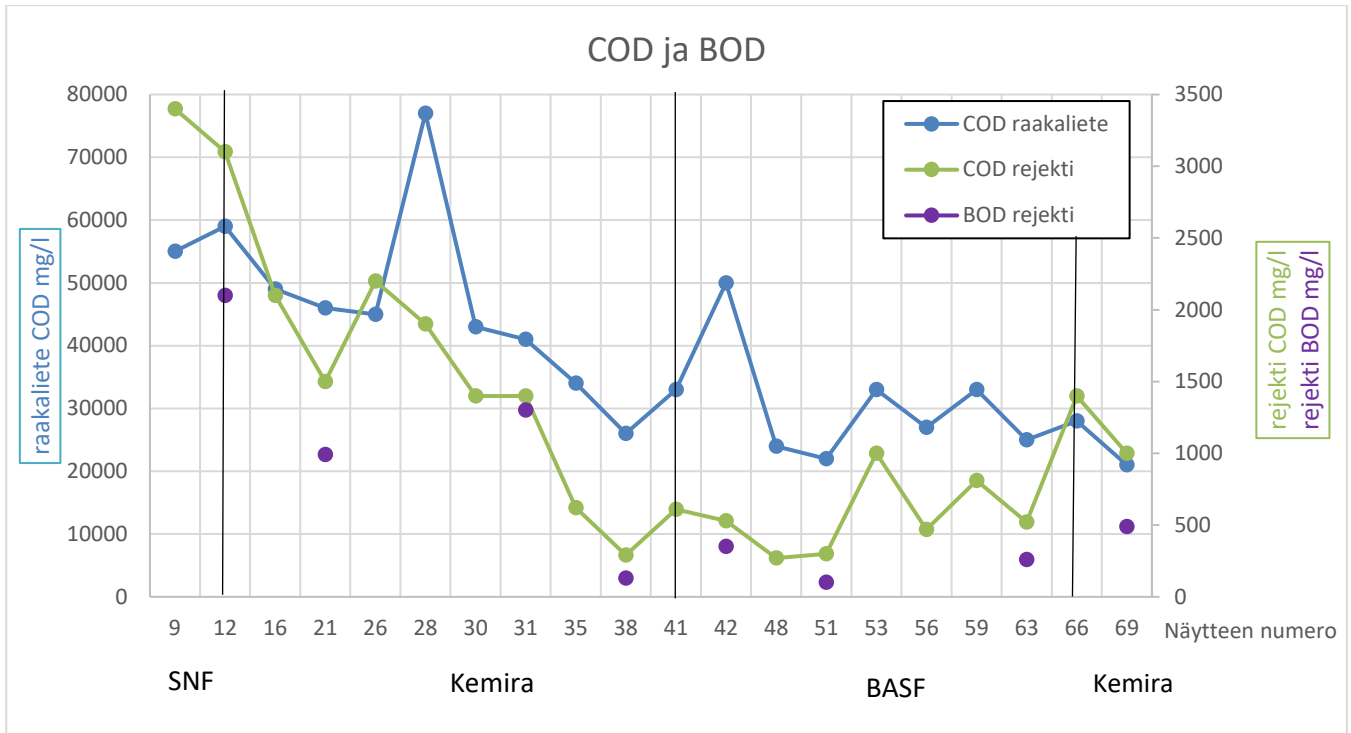
Kuten raakalietteen kokonaistypen, niin myös kokonaisfosforin määrä näyttää olevan yhteydessä raakalietteen kiintoainepitoisuuteen. Rejektivedessä sama ilmiö on havaittavissa, mutta ei niin selvästi. Rejektiveden fosforitulokset olivat välillä 2–25 mg/l. Näytteen 12 tulos 25 mg/l on muihin tuloksiin verrattuna moninkertainen. Todennäköisesti tulos on virheellinen. Kuvassa 15 on esitetty sakeutetun lietteen kokonaistyyppi ja -fosforitulokset.



Kuva 15: Sakeutetun lietteen kokonaistyyppi ja -fosforitulokset. Mustat pystyviivat kuvaavat polymeerilaadun vaihtumiskohtia.

Kuten kuvasta 15 nähdään, sekä typpi- että fosforipitoisuudet ovat pysyneet melko tasaisina koko koeajon ajan. Laboratorioissa oli koeajon aikaan laiterikko, joka koski nimenomaan kiinteän aineen typpianalysointia. Laiterikon takia näytteitä jouduttiin säilyttämään yli kuukauden ajan ennen analyysien tekoa, mikä saattoi vaikuttaa tuloksiin. Kokonaistypen vaihteluväli oli 37–46 g/kg kuivaainetta, joten tulos on kuitenkin varsin tasainen.

Koeajolla haluttiin myös selvittää raakalietteen ja rejektiveden kemiallista hapenkulutusta sekä rejektiveden biologista hapenkulutusta. Nämä tulokset on koostettu kuvaan 16.

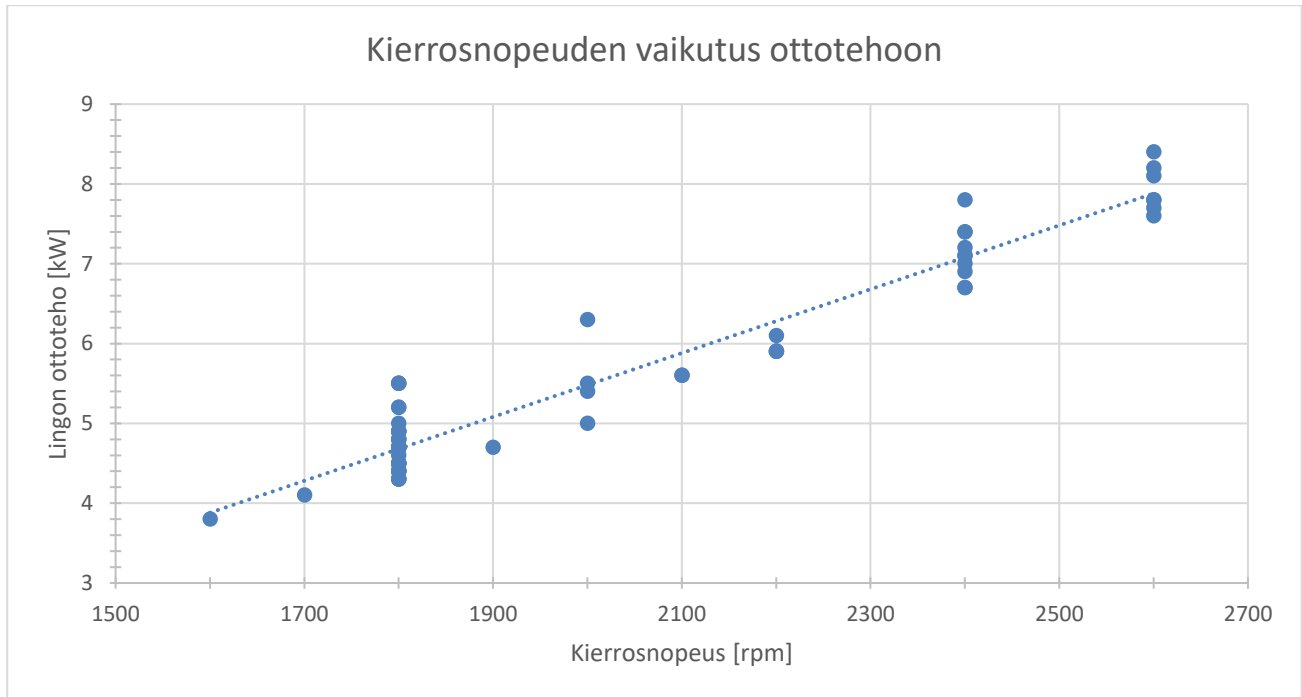


Kuva 16: Kemiallinen ja biologinen hapenkulutus rejektivedellä sekä kemiallinen hapenkulutus raakalietteellä. Mustat pystyviivat kuvaavat polymeerilaadun vaihtumiskohtia.

Kuvasta 16 nähdään, että rejektiveden biologinen hapenkulutus oli jokaisella näytteenotokerralla pienempi kuin kemiallinen hapenkulutus. Sekä raakalietteen että rejektiveden kemialliset hapenkulutukset näyttävät ainakin osittain korreloivan kiintoaineen määrään. Koeajon aikana COD- ja BOD-arvot pienenevät, kun raakalietteen kiintoainepitoisuus laskee. Kemiallisen hapenkulutuksen osalta kiintoainepitoisuudesta johtuva vuorokausivaihtelu on nähtävissä näytteiden 51–69 ajalta.

4.4 Lingon teho ja kierrosnopeus

Tässä koeajossa käytetty linkomalli Aldec G3-75 hyödynsi uutta, energiaa säästävää VecFlow-tekniikkaa ja laitteen ottoteho pysyi koeajon aikana kohtuullisena. Alfa Lavalin nettisivuilla arvioidaan, että VecFlow-tekniikka vähentää energiankulutusta jopa 40 % vastaavan lingon kulutukseen verrattuna. Koeajon aikana huomattiin, että lingon teho korreloi selvästi kierrosnopeuden kanssa kuten kuvassa 17 näkyy. Näytekohtaiset tehot on esitetty liitteessä 3 ja ne olivat näytteenottohetken kokonaistehoja.



Kuva 17: Kierrosnopeuden vaikutus lingon kokonaistehoon.

Kokeen aikana havaittiin, että raakalietteen kiintoainepitoisuuden ollessa välillä 1,27–2,5 % lingon kierrosnopeuden täytyi olla 2400–2600 rpm, mikäli sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuus halutaan nostaa 10,5 %:iin tai korkeammaksi. Kun raakalietteen kiintoainepitoisuus oli edelleen välillä 1,27–2,5 %, niin hieman matalampi kiintoainepitoisuus, 9,0–10,0 %, saavutettiin 1800–2000 rpm kierrosnopeuksilla. Lingon kierrosnopeuden vaikutus sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuuteen on selkeä, kuten myös annostellun polymeerin määrä vaikuttaa linkoustulokseen merkittävästi.

Kuvan 17 perusteella pieni alenema kiintoainepitoisuudessa voisi tarkoittaa merkittävästi pienempää tehoa ja siten vähentää energiankulutusta. Matalammilla kierrosnopeuksilla sakeutetun lietteen kokonaistilavuus on suurempi, sillä silloin lietteessä on enemmän vettä mukana. Tämä lisää esimerkiksi pumppauksessa tarvittavaa energiaa.

5. Johtopäätökset

Kokonaisuudessaan koeajoa voidaan pitää onnistuneena, sillä linkosakeutus osoittautui toimivaksi menetelmäksi raakalietteen saostamiseen. Linko oli herkkä syötteen kiintoainepitoisuuden muutoksille. Mikäli linkoa halutaan käyttää raakalietteen saostusmenetelmänä, on syötteen tasalaatuisuuteen kiinnitettävä erityistä huomiota. Kiintoainepitoisuudeltaan tasalaatuisella raakalietteellä linko toimii vakaasti ja vaatii vähemmän säätöä, mikä helpottaa prosessin hallintaa. Raakalietteen kiintoainepitoisuus vaihtelee Nenäinniemen puhdistamolla vuorokauden aikana puhdistamolle tulevan jätevesikuormituksen mukaan. Tätä luonnollista lietteen kiintoainepitoisuuden vaihtelua ei voida poistaa, mutta sen vaikutuksia sakeutuslingolle voidaan tasata riittävän suurella raakalietteen puskurisäiliöllä.

Jokaisella testatulla polymeerillä saavutettiin tavoitteeksi asetettu 10,5 % kiintoainepitoisuus, mikä kertoo tekniikan soveltuvuudesta raakalietteen saostamiseen. Polymeerien väliset erot näkyivät rejektiveden laadussa. Kemiran ja BASF:n polymeerit osoittautuivat toimivammiksi ja niillä rejektiveden kiintoainepitoisuus oli lähes koko ajan alle 500 mg/l. Koeajoon valitulla SNF:n polymeerillä rejektivedessä oli selvästi enemmän kiintoainetta. Ilman polymeeriä liete ei saostunut kovin tehokkaasti ja lingon tuoma hyöty jäi pieneksi. Lopullisen polymeerilaadun valinta tulee tehdä huolellisesti ja käyttää apuna esimerkiksi lyhyitä koejaksoja optimaalisen tuloksen saavuttamiseksi.

Koeajon aikana ilmeni useamman kerran rejektiveden vaahtoamista. Vaahtoaminen johtui polymeeriliuoksen liiallisesta annostelusta, mikä oli seurausta syötettävän raakalietteen kiintoainepitoisuuden nopeasta laskusta. Koeajon aikana syötettävän polymeeriliuoksen määrä pysyi sopivana, mikäli raakalietteen kiintoainepitoisuus pysyi tasaisena. Osasy vaahtoamiselle oli polymeerin annostelun säätäminen osana koeajoa. Käytännön sovelluksessa vaahtoamisesta tuskin tulee ongelmaa, kun raakalietteen kiintoainepitoisuus tasataan suurella puskurisäiliöllä ennen linkousta ja polymeerin syöttöä ohjataan kiintoainemittauksella.

Lingolle syötettävän raakalietteen kiintoainepitoisuuden laskiessa lingon kierrosnopeutta nostettiin, jotta sakeutetun lietteen kiintoainepitoisuus pysyisi noin 10 %:n tasolla. Kierrosnopeuden noustessa lingon rummun pyörittämiseen tarvittiin enemmän tehoa, mikä lisäsi sähkönkulutusta. Taloudellisesti järkevin kierrosnopeus-polymeerinsyöttö- yhdistelmä tulee hakea raakalietteen sakeutukseen rakennetussa toimintaympäristössä.

6. Yhteenveto

Koeajon perusteella linkosakeutuksen voidaan todeta olevan toimiva sakeutustekniikka raakalietteelle. Koeajojen aikana ei esiintynyt merkittäviä ongelmia lietteen sakeuttamisessa tai lingon toiminnassa. Lingon havaittiin reagoivan herkästi syötteen kiintoainepitoisuuden vaihteluun, joten tuotannollisessa linkosakeutuksessa syötettävän raakalietteen kiintoainepitoisuus tulee pitää mahdollisimman vakiona.

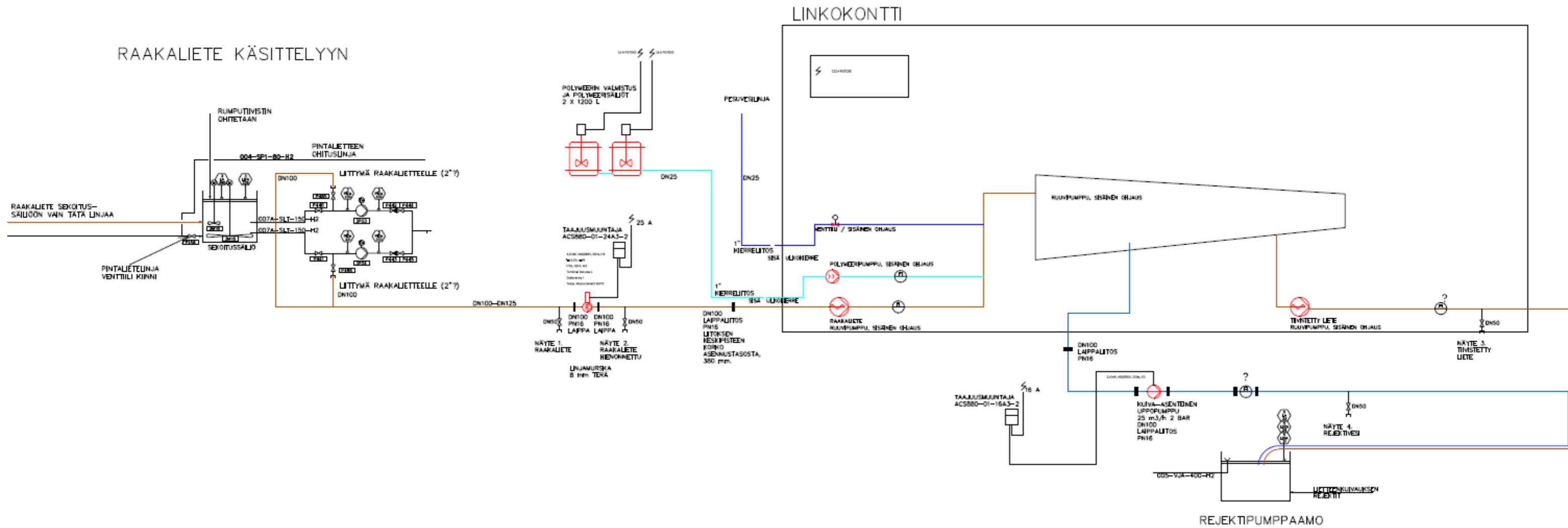
Koeajossa tavoiteltu 10,5 %:n kiintoainepitoisuus saavutettiin kaikilla testatuilla polymeereillä. Tutkituista polymeereistä parhaiten toimi Nenäinniemen jätevedenpuhdistamon raakalietteellä BASF:n Zetag 7563. Tällä polymeerillä rejektiveden kiintoainepitoisuus oli keskimäärin pienin ja polymeeriliuoksen kulutus oli hieman vähäisempää kuin Kemiran polymeerillä. SNF:n polymeerin heikkoutena oli rejektiveden korkea kiintoainepitoisuus. Polymeerin syöttömäärän pitäminen tasaisena raakalietteen kiintoainepitoisuuden mukaan oli tärkeää hyvälaatuisen rejektiveden saavuttamiseksi. Tällöin välttyttiin myös vaahtoamiselta. Polymeerin tarkka annostelu on myös taloudellisesti tarkoituksenmukaista.

Tavoitteeksi asetetun 10,5 %:n kiintoainepitoisuuden saavuttaminen edellytti lingon ajamista kierrosvälillä 2400–2600 rpm syötettävän raakalietteen kiintoainepitoisuuden vaihdellessa välillä 1,27–2,5 %. Hieman matalampi kiintoainepitoisuus, noin 9–10 %, oli mahdollista saavuttaa 1800–2000 rpm:n kierrosnopeudella, kun syötettävässä raakalietteessä oli 1,27–2,5 % kiintoainetta. Rejektiveden kiintoainepitoisuus saatiin säädettyä tasolle alle 800 mg/l raakalietteelle soveltuvalla polymeerillä.

Liite 1: PI-kaavio koeajojärjestelystä

Kaavion on laatinut Kimmo Tuppurainen.

LIETEKOEAJOJÄRJESTELY



Liite 2: Laboratoriotulokset
Polymeerikokeiden laboratoriotulokset 18.5.–4.6.

Päivämäärä	Kellonaika	Näytetyyppi	Näytteen nro	Hydr. Kapas. m ³ /h	Polymeeri	Polymeerin pitoisuus [%]	kiintoaine [mg/l]	TS %	VS %	pH	Alkaliteetti [mmol/l]	Kok. N [mg/l] tai [g/kg ka] korostettu	Liukoinen N [mg/l]	Ammonium N [mg/l]	Fosfori (P) [mg/l] tai [g/kg ka] korostettu	COD [mg/l]	BOD [mg/l]
18.5.2021	12:58	Raakaliete	9	14,8	SNF	0,25	47400	4,74	75,5	6,4		2100	280			55000	
	12:59	Sakeutettu liete	9	14,8	SNF	0,25		13,1	75,0	6,6		38	460				
	13:00	Rejektivesi	9	14,8	SNF	0,25	1180	0,118	80,5	6,6		270	180	150		3400	
	14:55	Raakaliete	12	14,8	SNF	0,25	46900	4,69	79,3	6,5		2000	250		880	59000	
	14:56	Sakeutettu liete	12	14,8	SNF	0,25		10,7	75,0	6,6	5,3	37	450		18		
	14:57	Rejektivesi	12	14,8	SNF	0,25	1040	0,104	48,1	6,6		250	170	140	25	3100	2100
19.5.2021	11:23	Raakaliete	16	14,9	Kemira	0,2	44400	4,44	74,5	6,5		-	-			49000	
	11:24	Sakeutettu liete	16	14,9	Kemira	0,2		10,3	74,0	6,7		38	270				
	11:25	Rejektivesi	16	14,9	Kemira	0,2	670	0,067	68,7	6,5		180	130	120		2100	
	14:44	Raakaliete	21	15	Kemira	0,2	38800	3,88	73,5	6,6		1800	220		790	46000	
	14:45	Sakeutettu liete	21	15	Kemira	0,2		9,8	72,0	6,8	5,6	37	280		19		
	14:46	Rejektivesi	21	15	Kemira	0,2	370	0,037	56,8	6,6		140	120	100	4,6	1500	990
20.5.2021	12:35	Raakaliete	26	15	Kemira	0,2	50200	5,02	69,7	6,6		1900	800			45000	
	12:36	Sakeutettu liete	26	15	Kemira	0,2		10,1	68,0	6,7		41	260				
	12:36	Rejektivesi	26	15	Kemira	0,2	510	0,051	70,6	6,5		160	120	110		2200	
	14:04	Raakaliete	28	15,1	Kemira	0,2	50600	5,06	69,8	6,4		1800	360		790	77000	
	14:05	Sakeutettu liete	28	15,1	Kemira	0,2		9,7	68,0	6,7		41	250		19		
	14:05	Rejektivesi	28	15,1	Kemira	0,2	520	0,052	26,9	6,6		81	150	110	8,4	1900	
21.5.2021	11:03	Raakaliete	30	14,9	Kemira	0,2	43000	4,3	70,0	6,4		1900	330			43000	
	11:03	Sakeutettu liete	30	14,9	Kemira	0,2		10,8	67,0	6,7		40	410				
	11:03	Rejektivesi	30	14,9	Kemira	0,2	330	0,033	69,7	6,6		130	100	230		1400	
	11:55	Raakaliete	31	14,9	Kemira	0,2	39100	3,91	69,8	6,4		1900	360			41000	
	11:55	Sakeutettu liete	31	14,9	Kemira	0,2		10,7	68,0	6,7		40	310				
	11:55	Rejektivesi	31	14,9	Kemira	0,2	350	0,035	74,3	6,6		120	100	100		1400	1300
25.5.2021	11:06	Raakaliete	35	17,8	Kemira	0,2	30800	3,08	70,5	6,4		1400	120			34000	
	11:06	Sakeutettu liete	35	17,8	Kemira	0,2		11,2	71,0	6,7		43	260				
	11:06	Rejektivesi	35	17,8	Kemira	0,2	230	0,023	65,2	6,7		92	73	72		620	
	14:00	Raakaliete	38	17,7	Kemira	0,2	23500	2,35	70,6	6,6		1100	93		510	26000	
	14:00	Sakeutettu liete	38	17,7	Kemira	0,2		9,0	71,0	6,8	3,9	43	210		21		
	14:00	Rejektivesi	38	17,7	Kemira	0,2	120	0,012	83,3	7,2		74	60	61	2,1	290	130
28.5.2021	11:00	Raakaliete	41	20	BASF	0,2	13400	1,34	70,7	6,9		1100	230			33000	
	11:00	Sakeutettu liete	41	20	BASF	0,2		10,0	71,0	6,4		42	250				
	11:00	Rejektivesi	41	20	BASF	0,2	180	0,018	83,3	7,0		80	67	65		610	
	11:42	Raakaliete	42	20,1	BASF	0,2	28700	2,87	70,7	6,9		1200	210		500	50000	
	11:42	Sakeutettu liete	42	20,1	BASF	0,2		10,2	71,0	6,8	5,0	43	290		21		
	11:42	Rejektivesi	42	20,1	BASF	0,2	160	0,016	81,3	7,1		80	67	64	2,5	530	350
31.5.2021	13:20	Raakaliete	48	19,8	BASF	0,2	20400	2,04	74,5	6,9		910	130			24000	
	13:20	Sakeutettu liete	48	19,8	BASF	0,2		8,5	74,0	6,7		43	260				
	13:20	Rejektivesi	48	19,8	BASF	0,2	110	0,011	86,4	7,4		75	72	62		270	
	15:00	Raakaliete	51	19,8	BASF	0,2	17100	1,71	75,4	6,9		860	120		430	22000	
	15:00	Sakeutettu liete	51	19,8	BASF	0,2		10,0	75,0	6,8	4,5	43	280		19		
	15:00	Rejektivesi	51	19,8	BASF	0,2	130	0,013	92,3	7,4		76	63	65	2	300	100

1.6.2021	12:20	Raakaliete	53	19,9	BASF	0,2	29200	2,92	75,7	6,8		1300	140			33000	
	12:20	Sakeutettu liete	53	19,9	BASF	0,2		10,0	75,0	6,6		45	260				
	12:20	Rejektivesi	53	19,9	BASF	0,2	210	0,021	76,2	6,8		86	64	65		1000	
	14:15	Raakaliete	56	22,4	BASF	0,2	23200	2,32	75,9	6,8		1100	130			27000	
	14:15	Sakeutettu liete	56	22,4	BASF	0,2		9,3	75,0	6,7		46	250				
	14:15	Rejektivesi	56	22,4	BASF	0,2	160	0,016	81,3	7,0		73	61	60		470	
2.6.2021	11:07	Raakaliete	59	19,7	BASF	0,2	29400	2,94	72,4	6,9		1300	130			33000	
	11:07	Sakeutettu liete	59	19,7	BASF	0,2		11,1	72,0	6,8		43	390				
	11:07	Rejektivesi	59	19,7	BASF	0,2	370	0,037	83,8	7,0		95	68	69		810	
	13:55	Raakaliete	63	24	BASF	0,2	21400	2,14	72,4	7,0		990	120		540	25000	
	13:55	Sakeutettu liete	63	24	BASF	0,2		8,3	71,0	6,9		43	360		22		
	13:55	Rejektivesi	63	24	BASF	0,2	230	0,023	95,7	7,3		89	67	66	4,2	520	260
4.6.2021	9:15	Raakaliete	66	23,9	Kemira	0,2	25800	2,58	74,0	7,0		1200	270			28000	
	9:15	Sakeutettu liete	66	23,9	Kemira	0,2		8,6	73,0	6,6		45	260				
	9:15	Rejektivesi	66	23,9	Kemira	0,2	670	0,067	91,0	7,0		130	91	78		1400	
	12:15	Raakaliete	69	24	Kemira	0,2	21500	2,15	77,7	7,0		760	190		410	21000	
	12:15	Sakeutettu liete	69	24	Kemira	0,2		9,2	76,0	6,7		40	310		18		
	12:15	Rejektivesi	69	24	Kemira	0,2	480	0,048	93,8	7,1		110	81	72	9,3	1000	490

Liite 3: Kentällä tehtyjen kiintoaineanalyysien tulokset eri polymeereillä

SNF tulokset		17.5.					18.5.							
Päivämäärä		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Näytteen numero														
Raakalietteen syöttömäärä	m ³ /h	15	15	14,6	14,7	19,9	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,9
Raakalietteen kiintoaine	%	4,42	5,21	4,22	4,13	4,12	4,20	4,73	4,64	4,63	4,67	4,49	4,58	4,18
Sakeutetun lietteen kiintoaine	%	10,13	9,84	10,47	11,13	9,94	10,02	10,54	11,45	13,14	13,51	12,28	10,74	11,16
Rejektiveden kiintoaine	mg/l	2604	2739	2499	1804	5568	3395	2429	2176	1652	1303	1382	1534	659
Polymeerin syöttömäärä	m ³ /h	0,218	0,196	0,266	0,296	0,18	0,276	0,28	0,285	0,363	0,4	0,4	0,4	0,473
Polymeerin kulutus	kg/tn ka	0,8	0,6	1,1	1,2	0,5	1,1	1,0	1,0	1,3	1,4	1,5	1,5	1,9
Kierrosnopeus	rpm	2000	1800	1800	1800	1800	2200	2400	2600	2600	2600	2200	2200	2000
Kokonaisteho	kW	4,9	4,3	4,4	4,5	4,8	5,9	6,7	7,6	7,8	7,7	5,9	5,9	5

Kemira tulokset		19.5.								20.5.							21.5.						25.5.						3.6.		4.6.		
Päivämäärä		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	65	66	68	69			
Näytteen numero																																	
Raakalietteen syöttömäärä	m ³ /h	14,9	14,8	14,8	14,9	14,9	15	15	15	15	14,9	15	15	15,1	15,1	15,1	15,1	14,9	14,9	15	18	17,9	17,8	17,9	17,9	17,9	24,4	23,9	23,9	24			
Raakalietteen kiintoaine	%	4,49	4,33	4,39	4,35	4,19	3,92	4,02	3,95	3,56	4,84	4,77	4,50	4,25	4,10	4,12	3,92	4,31	4,23	3,98	2,94	3,08	2,90	2,75	2,45	2,11	1,27	2,39	1,96	2,00			
Sakeutetun lietteen kiintoaine	%	10,17	11,05	10,05	9,40	10,22	13,12	9,03	9,85	11,91	11,51	12,44	12,91	10,25	11,30	10,79	10,34	10,06	9,89	9,60	9,81	9,78	10,63	10,88	11,36	8,21	5,47	8,68	8,20	9,32			
Rejektiveden kiintoaine	mg/l	1133	453	699	598	422	70	79	51	39	174	59	212	93	18	270	243	30	207	219	25	57	5	-310	-311	-92	18	236	21	28			
Polymeerinsyöttömäärä	m ³ /h	0,47	0,5	0,54	0,52	0,549	0,55	0,56	0,561	0,514	0,505	0,603	0,619	0,523	0,533	0,5	0,485	0,5	0,525	0,502	0,5	0,49	0,495	0,48	0,48	0,44	0,34	0,31	0,3	0,32			
Polymeerin kulutus	kg/tn ka	1,4	1,6	1,7	1,6	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,4	1,7	1,8	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,9	1,8	1,9	1,9	2,2	2,3	2,2	1,1	1,3	1,3			
Kierrosnopeus	rpm	1800	1800	1800	1700	1600	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1900	1800	2400	2600	2600	2600			
Kokonaisteho	kW	4,4	4,4	4,4	4,1	3,8	4,3	4,9	4,5	4,3	5,2	4,9	4,7	4,7	4,7	4,5	4,7	4,8	4,7	4,7	4,7	4,4	4,3	4,5	4,7	4,3	7,8	8,4	8,1	7,8			

BASF tulokset		28.5.					31.5.							1.6.						2.6.						3.6.		4.6.	
Päivämäärä		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	67	
Näytteen numero																													
Raakalietteen syöttömäärä	m ³ /h	19	19,1	20	20,1	20	19,4	19,7	19,8	19,9	19,8	19,8	19,8	19,8	19,9	19,9	19,7	22,2	22,4	19,8	19,8	19,7	22,2	22,2	24	24	24,3	23,9	
Raakalietteen kiintoaine	%	2,69	2,63	2,72	2,74	2,50	2,44	2,19	1,62	1,42	1,81	1,69	1,78	1,80	3,09	2,78	2,68	2,20	2,11	2,56	2,60	2,69	2,63	2,47	2,23	2,07	2,24	2,40	
Sakeutetun lietteen kiintoaine	%	9,24	9,50	9,93	9,92	8,39	8,71	8,53	6,61	7,83	9,09	7,52	9,79	9,30	10,01	9,78	9,97	8,98	9,45	9,57	9,95	11,18	10,48	10,88	9,55	9,10	8,17	11,07	
Rejektiveden kiintoaine	mg/l	-99	-87	26	-101	-175	87	122	62	31	63	52	-24	143	571	418	339	270	235	74	202	191	66	50	34	22	220	70	
Polymeerin syöttömäärä	m ³ /h	0,45	0,43	0,455	0,45	0,39	0,437	0,445	0,44	0,35	0,33	0,325	0,32	0,33	0,44	0,45	0,43	0,4	0,37	0,375	0,34	0,34	0,36	0,36	0,37	0,32	0,31	0,29	
Polymeerin kulutus	kg/tn ka	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,8	2,1	2,7	2,5	1,8	1,9	1,8	1,9	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,3	1,3	1,2	1,3	1,4	1,3	1,1	1,0	
Kierrosnopeus	rpm	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	2000	2100	2100	2400	2400	1800	1800	1800	1800	2000	2000	2200	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2600
Kokonaisteho	kW	5,2	4,9	5	4,8	4,9	5,5	5,5	5,5	6,3	5,6	5,6	6,7	7	4,7	4,7	4,5	4,6	5,4	5,5	6,1	6,9	7,1	7,1	7,4	7,2	7,4	8,2	