

Sanna Karjalainen

KIERRÄTYSRAVINTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN BIOLOGISELLA JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLA

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Ympäristötekniikan koulutus

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Sanna Karjalainen
Työn nimi	Kierrätysravinteiden hyödyntäminen biologisella jätevedenpuhdistamolla
Toimeksiantaja	UPM Kymi
Vuosi	2021
Sivut	46 sivua
Työn ohjaaja	Juho Rajala

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tarkasteltiin UPM Kymin jätevedenpuhdistamolla toteutettua kierrätysravinnekoeajoa, jossa biokaasulaitoksen ravinnepitoista rejektivettä käytettiin korvaamaan osa jätevesilaitokselle annosteltavista ravinteista. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia pystytäänkö kierrätysravinteilla, tässä tapauksessa rejektivedellä, korvaamaan teollisesti valmistettua ureaa sekä fosforihappoa, ja miten kierrätysravinteiden käyttö vaikuttaa aktiivilietelaitoksen toimintaan. Kierrätysravinnekoeajo liittyi työn toimeksiantajan tavoitteeseen käyttää vuoteen 2030 mennessä pelkästään kierrätysravinteita toiminnassaan.

Koeajon aikana seurattiin jätevesilaitokselle tulevan jäteveden sekä sieltä poistuvan puhdistetun jäteveden ravinnepitoisuuksia laboratorioanalysein, joita tehtiin UPM:n omissa laboratorioissa sekä rejektiveden toimittajan taholta ulkopuolisessa laboratorioissa. Opinnäytetyössä tutkittiin puhdistusprosessissa tapahtuneita muutoksia, ja jätevedenpuhdistamolla kiertävän lietteen koostumusta havainnoitiin silmämääräisesti päivittäin tehtävällä mikroskopoinnilla. Koeajon tavoitteena oli nostaa rejektiveden vuorokausiannosta koeajon loppua kohti kaksinkertaiseksi.

Koeajo kesti 4,5 kuukautta, josta vain viimeisen kuukauden ajan rejektivettä saatiin annosteltua maksimimäärä toimitusongelmien vuoksi. Koeajojakson aikana havaittiin ilmastusaltaan lietteen laskeuman huonontuneen ja lietteeseen ilmaantuneen rihmamaisia bakteereita, joita ei ollut ennen havaittu tässä laajuudessa. Typpianalyysien perusteella rejektiveden typpipitoisuus vaihteli viikoittain, ja ammoniumtyypen osuus oli ajoittain vain puolet kokonaistypestä. Ravinnelaskelmissa käytettyä rejektiveden typpipitoisuutta jouduttiin koeajon edetessä laskemaan 85 %:sta 70 %:iin, mikä aiheutti sen, että maksimiannoksellakin rejektiveden sisältämä typpi korvasi vain vähän yli 20 % annostellusta ureasta.

Koeajon aikana tehtyjen analyysitulosten ja havaintojen perusteella todettiin, että rejektivesi sellaisenaan ei onnistu korvaamaan teollisesti valmistettuja ravinteita. Rejektivesi oli liian laimeaa ja se sisälsi liikaa kiintoainetta. Rejektivettä ei myöskään ollut saatavilla tarvittavia määriä kohtuullisen etäisyyden päästä UPM Kymin tehtaalta, jotta kierrätysravinteita olisi saatu annosteltua tarvittava määrä.

Asiasanat: aktiivilietelaitos, jätevedenpuhdistus, kierrätysravinteet, typpi, fosfori

Degree	Bachelor of Engineering
Author	Sanna Karjalainen
Thesis title	Use of recycled nutrients in a biological wastewater treatment plant
Commissioned by	UPM Kymi
Time	2021
Pages	46 pages
Supervisor	Juho Rajala

ABSTRACT

The thesis was made for a wastewater treatment plant to study the use of recycled nutrients in biological wastewater treatment. Recycled nitrogen and phosphorus from the biogas plant's nutrient rich reject water were used to replace industrially made nutrients. The objective of the thesis was to study how much urea and phosphoric acid could be replaced by recycled nutrients and what kind of effects it had on the functioning of the wastewater treatment plant. The thesis commissioner has a goal of 100 % of nutrients used at effluent treatment are from recycled sources by 2030.

Recycled nutrient test was implemented at the biological wastewater treatment plant during 4.5 months time period. The level of nutrients in effluent were monitored in several different laboratory analyses in the wastewater treatment plant's own laboratory and also in two other independent laboratories. The composition of biosludge was visually monitored daily with a microscope and observations of the floc size and filamentous bacteria were made. The goal was to double the amount of daily reject water from the beginning.

During the test there were difficulties on the biogas plant to produce enough reject water and only the last month of the test gave the possibility to use the maximum amount of reject water. The settling characteristics of the sludge got weaker, and filamentous bacteria were discovered in the sludge. The conclusion was that the recycled nutrients were not as usable as anticipated and they replaced only about 20 % of the industrially made nutrients. The reject water was not nutrient rich enough and it contained too many solids. Also the needed amount of reject water was not available if the replacement percentage was to kept higher.

It was useful to carry out the test at this scale. The thesis commissioner and the biogas plant got valuable information about the usefulness of the recycled nutrients, how they would work in long term and what kind of effects they had on the wastewater treatment.

Keywords: activated sludge plant, wastewater treatment, recycled nutrients, nitrogen, phosphorus

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TUTKIMUSKOHDE.....	7
2.1	UPM-Kymmene Oyj.....	7
2.2	UPM Kymi.....	7
2.3	UPM Kymin jätevedenpuhdistamo.....	8
2.3.1	Kymin jätevedepuhdistamon ajoparametrit.....	9
2.3.2	Ravinteiden annostelu	10
2.3.3	Kierrätysravinnekoeajon ympäristö.....	11
3	JÄTEVEDENPUHDISTUS	11
3.1	Jätevedenpuhdistus metsäteollisuudessa	11
3.2	Aktiivilietemenetelmä.....	13
3.3	Ravinteet jätevedenpuhdistuksessa	14
3.3.1	Typpi.....	14
3.3.2	Fosfori.....	15
4	RAVINNEPITOINEN REJEKTIVESI	16
4.1	Rejektiveden muodostuminen	16
4.2	Rejektiveden koostumus.....	16
5	AINEISTO JA MENETELMÄT	17
5.1	Kierrätysravinnekoeajo	17
5.2	Kierrätysravinnekoeajon toteutus.....	18
5.3	Rejektiveden typpimääritykset ja kiintoainepitoisuus	18
5.4	Lietteen laskeuma.....	19
5.5	Lietteen mikroskopointi	19
5.6	Lietteen typpipitoisuus	20
5.7	Puhdistetun jäteveden kiintoainepitoisuus	20
6	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	20
6.1	Kierrätysravinnekoeajo jaksoittain	20

6.2	Koeajo kokonaisuutena	29
6.3	Rejektiveden typpimääritykset	31
6.4	Rejektiveden kiintoainepitoisuus	33
6.5	Lietteen laskeuma	34
6.6	Lietteen mikroskopointi	35
6.7	Lietteen typpipitoisuus	38
6.8	Puhdistetun jäteveden kiintoainepitoisuus	38
6.9	Kierrätysravinteiden käyttökelpoisuus	41
6.10	Korvattujen ravinteiden määrä	42
6.11	Kierrätysravinteiden käyttö tulevaisuudessa	44
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	46
	LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

Metsäteollisuudessa sellu- ja paperitehtailla muodostuu prosessiperäistä jätevettä useita kymmeniä tuhansia kuutioita vuorokaudessa. Nämä vedet sisältävät vesistöjä rehevöittäviä ravinteita, kuten fosforia ja typpeä, joita ei voi päästää sellaisenaan eteenpäin (Ukkonen, 2005, 17). Suuren vuorokautisen jätevesimäärän vuoksi Suomessa sellu- ja paperitehtailla on yleensä oma jätevedenpuhdistamo, jossa käsitellään prosessista tulevat vedet. Pääsääntöisesti jätevedenpuhdistusmenetelmä on aktiivilietelaitos, jossa mikrobit ja bakteerit hajottavat jätevedessä olevaa orgaanista kuormaa. (Ukkonen, 2005, 15.)

Aktiivilietelaitoksella jätevedessä elävä mikrobikanta on avainasemassa laitoksen puhdistustehon kannalta. Vaikka mikrobit hajottavat jätevedessä olevaa orgaanista ainetta ja ravinteita, ne eivät pysty käyttämään hyödykseen kaikkia jätevedessä jo olevia ravinteita. Erityisesti sellutehtailta tulevissa jätevesissä on niukasti fosforia ja typpeä mikrobien hyödynnettävässä muodossa, joten prosessin toimivuuden kannalta aktiivilietelaitokselle menevään jätevesivirtaan lisätään ravinteita urean ja fosforihapon muodossa. (Forest Biofacts, 2021.)

Ravinteista erityisesti typpeä ja fosforia kiertää teollisuuden sivuvirroissa eri aloilla, ja toisaalla näitä ravinteita joudutaan ostamaan vuodessa suuria määriä vain jäteveden puhdistusta varten (Forest Biofacts, 2021). Kiertotaloudessa sivuvirroissa kiertävät ravinteet olisi ympäristön ja kustannustehokkuuden kannalta järkevintä saada hyötykäytettyä sen sijaan, että niistä hankkiudutaan eroon. UPM Kymin tehdasintegraatin jätevesilaitoksella toteutettiin syksyllä 2020 kierrätysravinteiden koeajo, jossa Gasumin biokaasulaitoksella muodostuvaa ravinnepitoista rejektivettä käytettiin korvaamaan jätevedenpuhdistukseen annosteltavaa ureaa ja fosforia. UPM Kymin tavoitteena on, että vuoteen 2030 mennessä 100 % jätevedenpuhdistuksessa käytetyistä ravinteista on kierrätettyjä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia onnistuvatko kierrätysravinteet korvaamaan teollisesti valmistetut typen ja fosforin jätevedenpuhdistamon ravinne­lähteenä ja pystyvätkö aktiivilietelaitoksen mikrobit käyttämään ravinteita hyödykseen. Koeajon aikana tarkkailtiin aktiivilieteprosessissa mahdollisesti näkyviä muutoksia kierrätysravinteiden käytöstä johtuen niin laboratorioanalyysin

kuin päivittäin jätevesilaitoksella tehtävin havainnoin. Koeajon tavoitteena oli, että rejektiveden annostelua voitaisiin jatkaa myös koeajon jälkeen.

2 TUTKIMUSKOHDDE

2.1 UPM-Kymmene Oyj

UPM-Kymmene Oyj on suomalainen metsäteollisuusyhtiö, joka koostuu kuudesta liiketoiminta-alueesta: UPM Biorefining, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Specialty Paper, UPM Communication Papers ja UPM Plywood. Yhtiön päätuotteita ovat sellu, erilaiset aikakausi- ja hienopaperit, tarramateriaalit sekä puutuotteet, kuten vaneri ja viilu. Yhtiö tuottaa energiaa omiin tarpeisiinsa sekä sähkön johdannaismarkkinoille, ja se on rakentanut Lappeenrantaan biojalostamon, josta valmistuu liikennekäyttöön biodieseliä. Liiketoimintaa on myös laajennettu mm. biokomposiittituotteisiin, biolääketieteen sovelluksiin sekä biokemikaaleihin. Yhtiöllä on tuotantolaitoksia ja jakeluterminaleja yhteensä 27 eri maassa. Uusimpina ovat rakenteilla sellutehdas Uruguayhin sekä biojalostamo Saksaan. (UPM, s.a.).

2.2 UPM Kymi

UPM Kymi on Kouvolan Kuusankoskella toimiva tehdasintegraatti, joka tuottaa paperia, sellua ja bioenergiaa. Tehdasalueella toimivat UPM Communication Papers Oy:n Kymin paperitehdas sekä UPM-Kymmene Oyj:n Kymin sellutehdas, ja näiden lisäksi Kymin Voima Oy:n biovoimalaitos ja Schaefer Kalk Finland Oy:n karbonaattilaitos. (UPM Kymi, 2020). Sellutehtaalla valmistetaan kahdella tuotantolinjalla valkaistua havu- ja koivusellua, jota toimitetaan viereiselle paperitehtaalle putkiselluna sekä markkinoille arkkeina. Selluntuotannon sivutuotteena syntyy tärpähtiä ja mäntyöljyä. Paperitehtaalla toimii kaksi paperikonetta ja yksi päällystyskone, jotka valmistavat päällystettyjä ja päällystämättömiä hienopaperilajeja. Toimistopaperit ja graafiset isot painoarkit leikataan tehtaalla, ja paperi toimitetaan rullina ja arkkeina. (UPM Kymi lyhyesti, 2020.)

Tehdasalueella toimiva Kymin Voima Oy:n biovoimalaitos sekä sellutehtaan energiantuotanto valmistaa tuotantolaitoksille niiden tarvitseman lämpöenergian sekä suurimman osan sähköstä. Biovoimalaitoksella pääpolttoaineita

ovat puuperäiset kuituliete, kuori ja hakkuutähde, ja prosessissa syntyvä mustalipeä poltetaan sellutehtaan soodakattilassa. Energian tuotannossa biopolttoaineiden osuus on noin 90 prosenttia. (UPM Kymi lyhyesti, 2020.)

Kaikki tehdasintegraatin alueella muodostuvat jätevedet käsitellään UPM Kymmin omassa biologisessa jätevedenkäsittelylaitoksessa. Sellu- ja paperitehtaiden vesien lisäksi laitoksella käsitellään myös Kymmin Voima Oy:n jätevedet, Kuusanniemen tehdasalueen saniteettivedet sekä Schaeffer Kalk Finland Oy:n PCC-laitoksen ja Solvay Chemicals Finland Oy:n vetyperoksiditehtaan jätevedet. (UPM Kymi, 2020).

2.3 UPM Kymmin jätevedenpuhdistamo

UPM Kymmin tehdasintegraatin jätevesipäästöt tulevat suurimmaksi osaksi sellu- ja paperitehtailta. Muiden tehdasalueella sijaitsevien tehtaiden jätevesimäärät ovat hyvin pieniä verrattuna edellisiin. Prosessissa syntyneet jätevedet puhdistetaan UPM Kymmin omassa aktiivilietelaitoksena toimivassa jätevedenpuhdistamossa, jonne johdetaan myös Selluntien kiinteistöjen ja Kuusanniemen tehdasalueen saniteettivedet. Puhdistetut vedet ohjataan Kymijoen vesistöön. (Itä-Suomen ympäristölupavirasto, 2007, 26).

UPM Kymmin jätevedenpuhdistamo on vuonna 1989 rakennettu biologinen aktiivilietelaitos, jossa on sellutehtaan ja paperitehtaan vesille omat esiselkeyttimet. Jätevedenpuhdistuksessa prosessin eri vaiheita ovat välppäys, esiselkeytys, neutralointi, esi-ilmastus, ja ilmastus sekä jälkiselkeytys. Puhdistamolla on lisäksi 50 000 m³:n kokoinen varoallas, jonne tehtaalta tulevat jätevedet voidaan ohjata poikkeusolosuhteissa. Välpällä poistetaan jäteveden mukana tuleva suurikokoinen kiintoaine mekaanisesti. Esiselkeytysaltaassa jäteveden mukana tuleva hienojakoinen kiintoaine laskeutetaan altaan pohjaan, ja altaan kirkaste lähtee ylijooksuna eteenpäin neutralointiin. Altaan pohjaan laskeutunut liete pumpataan tiivistimien kautta edelleen lietteenkäsittelyyn. Neutralointialtaassa jäteveden pH säädetään rikkihapon tai kalkin avulla mikrobeille sopivalle tasolle 6–8. Jätevedet jatkavat tasausaltaan kautta esi-ilmastukseen ja sieltä ilmastusaltaille.

Ilmastusaltaisiin syötetään jatkuvasti pohjailmastimien kautta ilmaa, jotta mikrobit saavat tarvittavan määrän happea ja altaassa syntyvä bioliete ei laskeudu altaan pohjalle. Ilmastusaltaassa orgaaninen aines hajoaa mikrobien käyttäessä sitä ravintonaan. Syntyy biolietettä, johon on sitoutuneena jätevedestä poistettavia ravinteita. Jälkiselkeytyksessä erotetaan syntynyt bioliete jätevedestä sen laskeutuessa altaan pohjalle. Se palautetaan takaisin ilmastusaltaaseen ja osa biolietteestä poistetaan prosessista biotiivistimien kautta. (Karttunen, 2004, 183–184).

Jätevedenpuhdistamon ilmastusaltaiden ja tasausaltaan yhteenlaskettu tilavuus on 120 000 m³ ja sen biologinen (BOD) puhdistusteho on noin 97–99 %. Ilmastusaltaiden laskennallinen puhdistuskapasiteetti nykyisellä ilmastusjärjestelmällä on 125 COD t/d. Jäteveteen lisätään neutraloinnin yhteydessä ravinteista typpi ja tarvittaessa fosfori. Typpi lisätään ureana ja fosfori fosforihappona. (Itä-Suomen ympäristölupavirasto, 2007).

2.3.1 Kymin jätevedepuhdistamon ajoparametrit

Kymin aktiivilietelaitoksella jätevedestä seurataan päivittäin sisään tulevan jäteveden määrää, kiintoaine- ja COD-kuormaa, ilmastusaltaan lietelaskeumaa sekä puhdistetusta jätevedestä kiintoaine- ja COD-pitoisuutta. Kaksi kertaa viikossa seurataan lisäksi sisään tulevasta jätevedestä BOD-kuormaa sekä fosfori- ja typpitasoja sisään tulevasta, ilmastusaltaasta sekä puhdistetusta jätevedestä. Näytteet otetaan maanantai- ja torstaiamuisin, joten ravinnetulokset kirjautuvat sunnuntaille ja keskiviikolle. Puhdistetun jäteveden typpi- ja fosforipitoisuuksien kuukausikeskiarvo saadaan pakastamalla jokaiselta päivältä näyte, jotka kuukauden jälkeen yhdistetään koostenäytteeksi ja tästä analysoidaan kuukausikeskiarvo.

Kuormitus	Kuukausikeskiarvo	Vuosikeskiarvo
COD _{Cr} kgO ₂ /d	50 000	40 000
AOX kgCl/d	500	400
Fosfori kg/d	55	35
Typpi kg/d	750	500
Kiintoaine kg/d	5 000	3 000

Kuva 1. 1.1.2018 voimaan tulleet vesistöön johdettavan jäteveden kuukausi- ja vuosikeskiarvot.

Kuvassa 1 on tällä hetkellä voimassa olevat raja-arvot puhdistetun jäteveden osalta. Kuukausittainen päästömäärä voi keskiarvoltaan olla hieman korkeampi, kunhan koko vuoden aikainen keskiarvo pysyy määritellyissä rajoissa.

2.3.2 Ravinteiden annostelu

Jätevedenpuhdistamolle tulevissa jätevesissä on mukana jonkin verran ravinteita, minkä lisäksi typpeä annostellaan prosessiin kiinteän urean muodossa. Puhdistamolle toimitetaan muutaman kerran kuukaudessa laimeaa typpivettä räjähdetehtaalta, mutta koska se kiertää prosessiin 50 000 m³ puskurialtaan kautta, ei tätä kuormaa ole otettu huomioon ravinneannosteluissa. Fosforia annostellaan tarpeen mukaan nestemäisenä fosforihappona.

Annostellun urean määrä lasketaan puhdistamolle tulevan COD-kuorman sekä puhdistamolla jo olevan typpikuorman mukaan. Tehtaan tuotantotaso pystytään arvioimaan vuorokaudeksi eteenpäin, minkä perusteella ravinnelaskentaa tehdään tietokonemallinnuksen avulla. Ravinnekoeajon aikana rejektiveden sisältämän typen hyödynnettävyys on laskettu 70–85 % mukaan, ja puhdistetun veden jäännöstyppimäärää on mukautettu 120–180 kg/vrk välillä. Fosforihapon tarve lasketaan prosessista analysoitujen näytteiden fosforipitoisuuksien perusteella. Talviaikaan lisätylle fosforille on suurempi tarve kuin kesällä.

2.3.3 Kierrätysravinnekoeajon ympäristö

Kierrätysravinteita sisältävää rejektivettä annosteltiin aktiivilietelaitokseen neutralointialtaaseen, josta se lähti jätevesivirran mukana ensin tasausaltaaseen ja siitä eteenpäin esi-ilmastukseen. Riihimäeltä tuleva rejektivesi lastattiin kahteen konttiin, joista pumppauksella annosteltiin rejektivettä neutralointialtaaseen. Kouvolan biokaasulaitoksen rejektivesi oli niin laimeaa, että se syötettiin suoraan säiliöautosta palautuslietekanaaliin, josta se kulkeutui esi-ilmastusaltaaseen.



Kuva 2. Koeajon aikana käytetyt rejektivesikontit. Rejektivesi annosteltiin etualalla näkyvään neutralointialtaaseen, josta se kulkeutui esi-ilmastukseen ja takana näkyviin ilmastusaltaisiin.

3 JÄTEVEDENPUHDISTUS

3.1 Jätevedenpuhdistus metsäteollisuudessa

Metsäteollisuuden jätevedenpuhdistuksessa tavoitteena on epäorgaanisten ja orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksien ja määrien vähentäminen alle määriteltujen raja-arvojen (Karttunen, 2004, 165). Sellun valmistuksessa jätevesipäästöjä syntyy monessa eri prosessin vaiheessa, kuten puun käsittelyssä, valkai-

lussa sekä erilaisten pesujen yhteydessä (Ojanen 2001,16–17). Puhdistamaton jätevesi lisää vesistöissä hapenkulutusta ja aiheuttaa rehevöitymistä, lisää bakteerimassan kasvua ja veden sameutta. Biologisella käsittelyllä estetään tämän kaltaiset orgaanisen kuorman aiheuttamat haittavaikutukset. (Forest Biofacts, 2021.)

Metsäteollisuuden jätevedet sisältävät erilaisia puuperäisiä orgaanisia yhdisteitä, kuten liuennutta ligniiniä, kuorimolta lähtöisin olevia ainesosia, jotka aiheuttavat vedelle keltaisen tai rusehtavan värin, prosessissa käytettyjä kemikaaleja ja niiden johdannaisia sekä erilaisia täyteaineita, kuten savea, pigmenttiä tai tärkkiä, sekä niiden johdannaisia. Yhdisteet ja kemikaalit voivat esiintyä jätevesissä kiintoaineena, kolloidisessa muodossa tai liuenneena. Jotkut yhdisteet voivat olla haitallisia vesieliöstölle. Typpi- ja fosforipitoisuudet ovat suhteellisen alhaisia verrattuna esimerkiksi yhdyskuntajätevesiin. (Forest Biofacts, 2021.)

Jätevedenpuhdistuksessa syntyvät lietteet jaetaan kahteen kategoriaan: primäärilietteeseen ja sekundäärilietteeseen. Primääriliete syntyy esiselkeytysaltaissa, joissa kiintoaine laskeutetaan altaan pohjalle. Primääriliete sisältää tuotantoprosessista riippuen kuitua, kuorta, täyte- ja lisäaineita sekä pigmenttejä. Sekundääriliete syntyy biologisessa puhdistusprosessissa, ja sitä kutsutaan myös biolietteeksi tai aktiivilietteeksi. Se sisältää mikrobimassaa, johon on sitoutuneena ligniiniyhdisteitä, puun uuteaineita ja klooriorgaanisia yhdisteitä. Näiden lietteiden ominaisuudet ovat riippuvaisia tuotantoprosessista ja siinä käytetyistä raaka-aineista, kuten vesimäärästä, käytetystä puulajista ja mahdollisista kemikaaleista. (Virolainen, 2004, 13.)

Jätevesien runsaasti happea kuluttavaa orgaaninen aines mitataan kemiallisena (COD) ja biologisena (BOD) hapenkulutuksena. Valkaisulinjalla käytetään klooridioksidia sisältäviä kemikaaleja, jotka näkyvät jätevesissä orgaaniseen ainekseen sitoutuneina klooriyhdisteinä, sekä kloraattina. Myös erilaisia kuituja ja suoloja löytyy jätevesistä runsaasti. Yleensä metsäteollisuuden jätevedet kerätään yhteen ja puhdistetaan yhdessä jätevedenpuhdistamossa. Sellutehtailla yleisin puhdistusmenetelmä on aktiivilietelaitos. (Forest Biofacts, 2021.)

3.2 Aktiivilietemenetelmä

Aktiivilietemenetelmä kehitettiin Englannissa vuonna 1914, ja se perustuu niimensä mukaisesti aktiivisiin mikro-organismeihin, jotka yhdessä veteen liuenneen hapen kanssa pystyvät poistamaan vedestä siinä olevaa orgaanista kuormaa. Aktiiviliete koostuu bakteereista, alkueläimistä ja pienemmistä eliöistä, kuten rataseläimistä. Perinteiseen aktiivilieteprosessiin kuuluu ilmastus, jälkiselkeytys sekä ylijäämälietteen käsittely palauttamalla siitä osa ilmastukseen ja poistamalla osa prosessista kokonaan. (Nalco Water, 2018, 23.17).

Aktiivilietelaitoksessa mekaanisella käsittelyllä poistetaan jätevedestä kiintoaines laskeuttamalla. Biologisessa prosessissa erilaiset mikro-organismit ja bakteerit hyödyntävät jätevedessä olevaa orgaanista ainetta ja epäorgaanisia suoloja ravinnokseen. (Karttunen, 2004, 165). Prosessissa ravinteita (mm. typpi) poistuu mikrobien hyödyntäessä niitä ravinnokseen ja niitä sitoutuu myös syntyvään solumassaan eli biolietteeseen. Bioliete voidaan erottaa jätevedestä painovoimaisen laskeutuksen avulla sen tiheyden ollessa veden tiheyttä suurempi. Biologisessa puhdistusprosessissa on tärkeää, että aktiivilietteessä olevat mikro-organismit ja bakteerit saavat tarpeeksi ravinteita ja oikean määrän happea. (Karttunen, 2004, 169). Myös veden lämpötilan ja pH-arvon tulee olla optimitasolla aktiivilietteen elinvoimaisuuden säilyttämiseksi.

Jälkiselkeytysaltaissa bioliete laskeutuu altaan pohjalle, josta se pumpataan takaisin ilmastukseen, jotta mikrobikanta säilyy prosessissa. Osa biolietteestä pumpataan ylijäämälietteenä biotiivistimille ja edelleen lietteenkäsittelyyn. Biolietettä poistetaan saman verran kuin uutta biolietettä ilmastusaltaissa syntyy, jotta aktiivilietteen määrä prosessissa pysyy korkealla tasolla. Tyypillinen lieteikä on 20 päivää, mikä tarkoittaa enintään 5 % biolietteen poistoa prosessista päivittäin. (Dahl, 2008, 89.) Lieteikä voi kuitenkin vaihdella paljonkin puhdistamokohtaisesti.

Biologinen jäteveden käsittely aktiivilietemenetelmällä sopii erityisesti jätevesille, jotka sisältävät jo valmiiksi biohajoavia epäpuhtauksia, kuten sellu- ja paperitehtaan vedet. Luonnossa veden epäpuhtaudet vaativat jopa viikkoja hajoatakseen luonnollisesti, mutta jätevedenpuhdistamolla prosessia täytyy nopeuttaa. Biologisella jätevedenpuhdistamolla aktiivilietteen määrä ilmastusaltaassa

pidetään korkealla ja pH-tasot sekä lämpötila sopivalla tasolla, jotta biokemiallinen prosessi ja mikrobien kasvu olisi optimaalista. (Forest Biofacts, 2021.)

3.3 Ravinteet jätevedenpuhdistuksessa

Jätevesien ravinteista fosfori ja typpi aiheuttavat vesistöissä rehevöitymistä, minkä vuoksi niiden poisto jäteveden puhdistuksessa on tärkeää. Fosforin poisto jätevedestä onnistuu myös kemiallisesti saostamalla, mutta typpiyhdisteiden poistamiseen tarvitaan biologisia menetelmiä. (Karttunen, 2004, 210). Aktiivilietelaitoksessa orgaanista kuormaa hajottavat bakteerit tarvitsevat typpeä ja fosforia ravinnokseen, joten niitä joudutaan usein annostelemaan jätevedessä jo olevien ravinteiden lisäksi. Metsäteollisuudessa etenkin sellutehtaalta tulevassa jätevedessä on yleensä typpeä liian vähän, joten typen lisäksi tavallisimmin ureana on tarpeen (Forest Biofacts, 2021).

Aktiivilietelaitoksen bakteerit käyttävät typpeä ja fosforia hajottaakseen orgaanisia hiiliyhdisteitä uusiksi soluiksi, hiilidioksidiksi ja vedeksi. Typpeä ja fosforia tarvitaan tuottamaan entsyymejä, joilla bakteerit hajottavat orgaanisen hiilen molekyylejä. Lietteen huono laskeutuminen ja ilmastusaltaan vaahtoaminen ovat ongelmia, joita voi esiintyä, mikäli ravinteita on saatavilla liian vähän. Rihmamaiset bakteerit pääsevät lisääntymään liikaa syrjäyttäen flokkia muodostavia bakteereita. (Marshall, 2008, 8).

Mitä enemmän aktiivilietelaitos tuottaa uutta biomassaa, sitä enemmän prosessissa tarvitaan ravinteita. Liian vähäinen ravinteiden saanti aiheuttaa ongelmia aktiivilietteen toiminnassa, ja toisaalta liian suuri ravinnemäärä lisää turhaan kustannuksia ja näkyy myös puhdistetun jäteveden ravinnekuormana. Puhdistamolle saapuvan jäteveden ravinnepitoisuutta mittaamalla pystytään määrittämään paljonko ravinteita jätevedeen pitää vielä lisätä. (Forest Biofacts, 2021.)

3.3.1 Typpi

Jätevesissä typpeä voi esiintyä orgaanisessa muodossaan, ammoniumina, nitriittinä ja nitraattina. Kokonaistypen määrittämisessä on huomioitu kaikki nämä muodot. Typpi esiintyy vesissä kiintoaineeseen sitoutuneena, tai veteen liuenneena muodossa. Liukoinen typpi sisältää kokonaistypestä liuenneena

muodossa olevan typen määrän. Aktiivilietelaitoksen mikrobit ja bakteerit pysyvät parhaiten käyttämään typen ravinnokseen ammoniumina. (Marshall, 2008, 7.) Urea muuttuu puhdistamon aktiivilietteessä ainakin osin ammoniumiksi, mikäli mikrobit eivät käytä ureaa sellaisenaan (Puustinen, 1993, 34).

Typen kulutus alkaa välittömästi bakteerien päästessä siihen kiinni, joten on tärkeää, että typpi on ammoniummuodossa heti esi-ilmastuksen alussa. Bakteerit ja mikrobit hajottavat urean sisältämän typen ammoniumiksi, ja riippuen jäteveden viipymäajasta puhdistamalla, kaikki sisään tuleva typpi ei ehdi hajota ravinnoksi hyödynnettävään ammoniummuotoon. (Marshall, 2008, 7.) Jos lähtevässä puhdistetussa jätevedessä on ammoniumia, on se merkki siitä, että typpeä on lisätty jäteveteen liikaa muuhun kuormitukseen nähden (Puustinen, 1993, 35).

Ammoniumtyppi esiintyy joko ammoniumionina (NH_4^+) tai ammoniumina ($\text{NH}_3\text{-N}$) pH-tasosta riippuen. Jätevedenpuhdistuksessa lisättävän urean vuoksi typpeä esiintyy myös nitriitti- (NO_2^-) ja nitraattimuodossa (NO_3^-). (Marshall, 2008, 7.) Nitrifikaatiobakteerit hapettavat ammoniumtyypinä esiintyvät yhdisteet aktiivilieteprosessissa nitraatiksi, joka ei aiheuta vesistössä enää hapenkulutusta ja sen myötä rehevöitymistä. Mikäli typpi halutaan poistaa jätevedestä kokonaan, on jätevedenpuhdistamalla tarjottava denitrifikaatiolle otolliset olosuhteet, jolloin bakteerit muuttavat nitraatin typpikaasuksi, joka poistuu jätevedestä ilmakehään. (Karttunen, 2004, 210–211).

3.3.2 Fosfori

Fosforia esiintyy jätevesissä ortofosfaattina (PO_4^-), polyfosfaattina (P_2O_7) ja orgaanisessa muodossa, jotka sisältyvät jätevesimääryyksissä kokonaisfosforiin. Bakteerit käyttävät fosforin enimmäkseen ortofosfaattina (PO_4^{-3}) BOD:n hajottamiseen. Bakteerien pitää muuntaa polyfosfaatti ja orgaaninen fosfori ensin ortofosfaatiksi, jotta ne olisivat käyttökelpoisia. Tämä voi viedä pitkänkin ajan, ja mikäli ortofosfaattia ei ole saatavilla bakteerien lähtiessä hajottamaan BOD:tä, hajotusprosessi toimii fosforivajeessa. (Marshall, 2008, 7.)

Mikäli fosforia ei ole tarpeeksi puhdistamolle tulevassa jätevedessä, sitä lisätään jätevetteen yleensä fosforihappona (H_3PO_4) bakteerien helpoiten hyödynnettävässä ortofosfaattimuodossa. Kesäaikaan lisätyn fosforin tarve on yleensä pienempi, mutta talvea kohti sellutehtaan jätevesien fosforitasot laskevat ja fosforin annostelu on hyvä aloittaa.

4 RAVINNEPITOINEN REJEKTIVESI

4.1 Rejektiveden muodostuminen

Riihimäen ja Kouvolan biokaasulaitoksissa biokaasua syntyy erilaisista orgaanisista jätteistä, kuten jätevedenpuhdistamolietteet, teollisuuden biojätteet ja kaupan sekä kotitalouksien biojätteet. Erilaiset biolietteet ja helposti liettyvät kiinteät biojätteet menevät laimennukseen sellaisenaan, mutta esimerkiksi pakatut pilaantuneet elintarvikkeet kulkevat esikäsittelyn kautta, jolloin niistä poistetaan prosessiin kelpaamaton aines, kuten muovipakkaukset. Riihimäen ja Kouvolan laitokset toimivat märkämädätysperiaatteella, jolloin prosessiin tuleva biojäte laimennetaan vastaanoton yhteydessä kuiva-ainepitoisuuteen noin 8–10 %. Hydrolyysivaiheessa lietteen lämpötilaa nostetaan vuorokauden verran, ja hygienisoinnissa liete pidetään 70 °C tunnin ajan patogeenisten bakteerien tuhoamiseksi. Tämän jälkeen liete ajetaan mädätysreaktoriin, jossa bakteerit hajottavat lietteen biokaasuksi. Riihimäen biokaasulaitos toimii mesofiilisenä mädättämönä, jolloin lietteen lämpötila nostetaan 38–40 °C. Kouvolan biokaasulaitos puolestaan on termofiilinen mädättämö, jossa lämpötila mädätysreaktorissa on 45–50 °C. Mädätysvaiheen jälkeen lietteeseen lisätään polymeeriliuosta ja liete kuivataan linkoamalla, jolloin saadaan kuivamädätettä sekä ravinnepitoista rejektivettä. Osa rejektivestä käytetään prosessin alkupäässä biojätteen esikäsittelyyn, ja osa lähtee jatkokäyttöön metsäteollisuuden ravinteiksi. (Satosalmi, 2021.)

4.2 Rejektiveden koostumus

Riihimäen ja Kouvolan biokaasulaitosten rejektivesi sisältää ravinteita, joista aktiivilietelaitoksen käyttöön ensisijaisesti tutkittiin typpeä. Jätevedenpuhdistamo tarvitsee myös fosforia, jota saadaan Kymin selluprosessin jätevesistä, ja jota rejektivessä on vain pieniä määriä. Riihimäen biokaasulaitoksen rejektivesi sisältää typpeä (N) n. 3,0–5,5 kg/m³ ja fosforia (P) alle 0,1 kg/m³.

Kouvolan biokaasulaitoksen rejektivedessä on typpeä (N) n. 0,7–3,5 kg/m³ ja fosforia alle 0,2 kg/m³.

	Riihimäki	Kouvola
johtokyky mS/m	1 700 – 3 100	500 – 2 000
kokonaisriikki, S µg/l	45 000 – 90 000	10 000 – 50 000
ammoniumtyppi NH ₄ -N mg/l	2 700 – 4 500	450 – 2 000
liukoinen typpi, N liuk. mg/l	2 800 – 5 000	600 – 2 100
kokonaistyppi, N kok. mg/l	3 000 – 5 500	700 – 3 500
liukoinen fosfori, P liuk. mg/l	50 – 110	3 – 30
pH	7,5 – 9	8 – 9
COD	6 000 – 10 000	2 500 – 8 500
BOD	1 500 – 3 000	750 – 4 500
kiintoaine/GFA	1 500 – 5 000	350 – 3 700

Kuva 3. Gasumin toimittamalleen rejektivedelle määritellyt raja-arvon Riihimäen ja Kouvolan laitosten osalta.

Gasum oli määritellyt ennakkoon toimittamalleen rejektivedelle raja-arvot (kuva 3), joihin se rejektiveden toimittajana on sitoutunut. Riihimäen rejektivesi on huomattavasti typpipitoisempaa kuin Kouvolaan toimitettu vesi, minkä vuoksi vuorokautinen annostelu toteutettiin Riihimäen rejektivedellä. Kouvolan biokaasulaitokselta toimitettiin rejektivettä huomattavasti vähemmän, ja se syötettiin kokonaisuudessaan jätevedenpuhdistamolle toimituspäivänä.

5 AINEISTO JA MENETELMÄT

5.1 Kierrätysravinnekoeajo

Jätevedenpuhdistamolla haluttiin tutkia, pystytäänkö kierrätysravinteilla korvaamaan teollisesti valmistettuja ravinteita, tässä tapauksessa typpeä ja fosforia. Koeajossa osa jätevesilaitokselle annostellusta ureasta ja fosforihaposta korvattiin biokaasulaitokselta toimitetulla ravinnepitoisella rejektivedellä. Kierrätysravinnekoeajo aloitettiin lokakuussa 2020 ja sitä oli alkujaan tarkoitus jatkaa vähintään 2–3 kuukautta. Mikäli koeajon aikana havainnot kierrätysravinteiden käyttökelpoisuudesta olisivat sen suuntaisia, että ureaa ja fosforihappoa saadaan korvattua rejektiveden käytöllä eikä suurempia ongelmia ilmeneisi, olisi jätevesilaitoksella valmius jatkaa kierrätysravinteen käyttöä myös

suunnitellun koeajon päättymisen jälkeen. Kierrätysravinteena koeajon aikana käytettiin Gasumin biokaasulaitoksella muodostuvaa ravinnepitoista rejektivettä. Suurin osa rejektivedestä toimitettiin Riihimäen biokaasulaitokselta, mutta myös Kouvolan biokaasulaitokselta saatiin rejektivettä koeajon käyttöön.

5.2 Kierrätysravinnekoajan toteutus

Kierrätysravinteiden koeajo alkoi tiistaina 14.10. klo 12 Riihimäen rejektivedellä annoksella 48 m³/vrk. Kouvolan rejektivettä oli tarkoitus saada syötettyä yksi kuorma päivässä, mutta toimitusvaikeuksien takia sitä saatiin ensimmäisen kuukauden aikana ajettua yhteensä kuusi kuormaa. 9.11. lähtien Kouvola tuotiin kuorma joka arkipäivä.

Koeajo suoritettiin kokonaisuudessaan ajanjaksolla 14.10.2020–28.2.2021.

Koeajo voidaan jakaa viiteen osaan rejektiveden annostelumäärän ja jätevesilaitoksen olosuhteiden perusteella:

- jakso 1: 14.10.–2.11. vuorokausiannos 48 m³
- jakso 2: 3.11.–15.11. vuorokausiannos 48 m³, happiprofiili matala
- jakso 3: 16.11.–16.12. vuorokausiannos 48–96 m³, happiprofiili matala
- jakso 4: 17.12.–24.1. vuorokausiannos 72 m³
- jakso 5: 25.1.–28.2. vuorokausiannos 96 m³

Jaksot 2 ja 3 olivat poikkeuksellisia jätevedenpuhdistamolla toteutetun ilmakompressorien koeajon sekä ravinneannostelun virheellisyyden vuoksi, joten ne eivät ole suoraan vertailukelpoisia jaksoihin 1, 4 ja 5.

5.3 Rejktiveden typpimääritykset ja kiintoainepitoisuus

Gasum teetti rejktiveden kahden viikon koostenäytteistä MetropoliLabissa typpianalyysejä, jotka sisälsivät kokonaistypen, liukoisen typen ja ammoniumtypen määrityksen. UPM Kymin laboratorio teki viikoittaisista keruunäytteistä kokonaistyppianalyysejä, jotka aloitettiin viikolla 46. Kaukaan tutkimuskeskus teki viikoittaisista keruunäytteistä laajan typpianalyysin tammikuun alusta lähtien. MetropoliLabin analyysien rinnalle haluttiin vertailevat analyysit, koska heräsi epäily, että rejktivedessä ei välttämättä ole käyttökelpoista typpeä niin paljon kuin oli oletettu. MetropoliLab käytti kokonaistypen määrityksessä standardin SFS-EN ISO 11905-1:1998 mukaista määritysmenetelmää, kun

taas Tutkimuskeskus ja Kymin laboratorio määrittivät kokonaistypen Kjeldahl-menetelmällä standardin SFS-5505 mukaan.

Viikoittaisesta rejektiveden koostenäytteestä määritettiin kiintoainepitoisuus. MetropoliLab ja Kymin laboratorio tekivät määrittämisen standardiin SFS-EN 872 perusteella, ja tutkimuskeskus sisäisen menetelmän mukaisesti. Tutkimuskeskus aloitti määrittämiset vasta koeajon puolivälissä viikolla 1.

5.4 Lietteen laskeuma

Jätevedenpuhdistamolla prosessissa kiertävän lietteen laskeutuvuutta seurattiin päivittäin. Litra ilmastusaltaasta poistuvaa lietettä laskeutettiin kartiosuppilossa 30 minuutin ajan, ja tämän jälkeen luettiin laskeutuneen lietteen viemä tilavuus. Hyvin laskeutuva liete kertoo hyvästä puhdistustehosta, jolloin suurempi määrä lietettä saadaan poistettua jälkiselkeytyksessä.

Laskeumalukemaa käytetään yleisesti laskettaessa lieteindeksiä, jossa laskeutan laskeuman suhde ilmastuksen lietteen kiintoainepitoisuuteen, ja joka kertoo paljonko tilavuutta millilitroina yksi gramma lietettä vie 30 minuutin laskeutuksen jälkeen. Tässä työssä tarkasteltiin vain lietteen suoraa laskeutuvuutta, ei lieteindeksiä. Laskeumaa tarkasteltaessa on hyvä ottaa huomioon lukemat pidemmältä ajalta, sillä muutokset trendissä näkyvät hitaasti. Laskeumaa on mitattu päivittäin, joten siitä oli saatavilla mittaustulokset vuosien ajalta taaksepäin.

5.5 Lietteen mikroskopointi

Ilmastusaltaan lietteen muutoksia tarkasteltiin koeajojakson aikana laskeuman lisäksi mikroskopoinnin avulla. Lietteestä tehtiin havainnot rihman määrästä ja koostumuksesta, mikrobien määrästä sekä flokkien muodosta ja määrästä. Mikroskopoinnissa silmämääräiset havainnot jäävät aina kyseisen toimenpiteen suorittaneen operaattorin muistiin, joten säännönmukaista seuranta ei mikroskopoinnista ollut. Maaliskuusta 2020 eteenpäin oli opinnäytetyötä varten kuitenkin saatavilla kuvallista aineistoa lietteen mikroskopoinnista.

5.6 Lietteen typpipitoisuus

Ravinnelaskennassa syötettävän urean ja fosforin määrää laskettaessa otettiin huomioon puhdistusprosessissa oleva typen määrä. Puhdistamolle tulevasta jätevedestä, ilmastusaltaan lietteestä sekä puhdistetusta jätevedestä Kymin laboratorio teki typpimääritykset kaksi kertaa viikossa. Urean annostelua mukautettiin sen mukaan, paljonko puhdistetussa jätevedessä oli typpeä jäljellä (jäännöstyppi) ja kuinka hyvin mikrobit olivat typen saaneet hyödynnettyä.

5.7 Puhdistetun jäteveden kiintoainepitoisuus

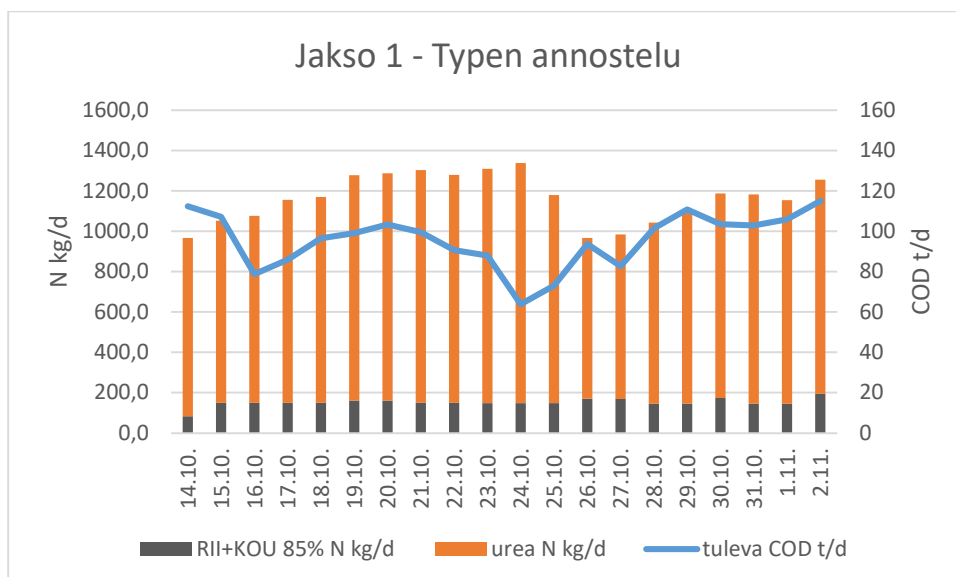
Jätevesilaitokselta poistuvassa puhdistetussa jätevedessä on online-kiintoainemittari, josta oli saatavilla mittaustuloksia vuosia taaksepäin. Kymin laboratorio tekee myös vuorokautisesta kokoomanäytteestä kiintoainepitoisuusmäärityksen päivittäin. Puhdistetun jäteveden kiintoainepitoisuus on yleensä ollut poikkeustilanteita lukuun ottamatta melko alhaisella tasolla, noin 3–10 mg/l.

6 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Kierrätysravinnekoeajo jaksoittain

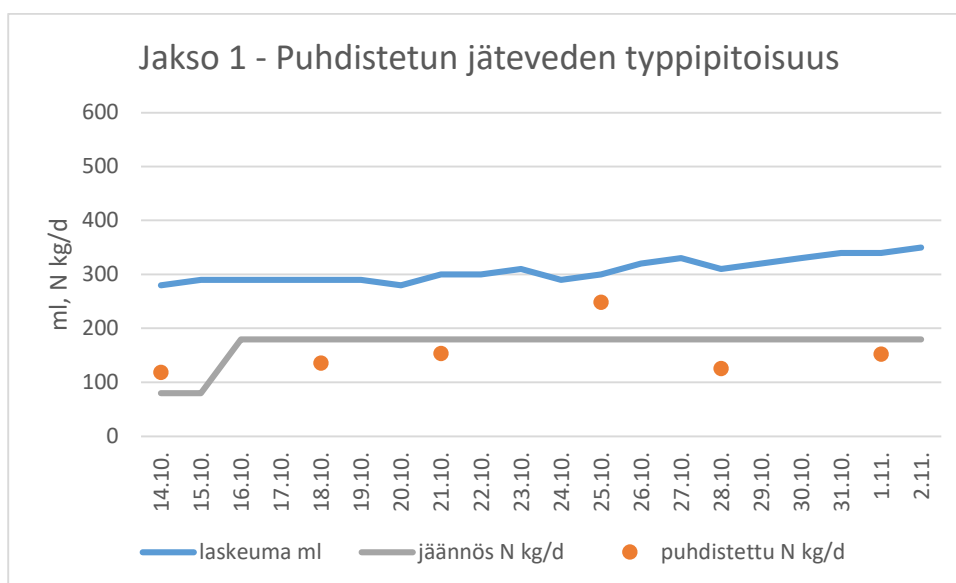
Jakso 1

Jakson 1 aikana annosteltu urea vastasi hyvin tulevaa COD-kuormaa, ja ylimääräistä typpeä ei lähtenyt puhdistetun jäteveden mukana normaalia enempää. Laskeuman huomattiin olevan hienoisessa nousussa ajanjakson aikana. Koeajo aloitettiin 14.10. rejektivesiannoksella 48 m³/vrk. Riihimäen ja Kouvolan rejektiveden sisältämistä ravinteista laskettiin käyttökelpoiseksi 85 %. Koeajon alussa ravinneannosteluissa huomioon otetuksi puhdistetussa jätevedessä olevan jäännöstyypin määräksi asetettiin 180 kg/d.



Kuva 4. Riihimäen ja Kouvolan rejektiveden käyttökelpoisen typen sekä urean sisältämän typen osuudet prosessiin annostellusta kokonaistypimäärästä, sekä jäteveden puhdistamolle tulevan jäteveden sisältämä COD-kuorma jakson 1 aikana.

Jakson aikana jäteveden mukana tuleva COD-kuorma oli maltillisella tasolla vaihdellen 64–115 t/d välillä. Typpeä annosteltiin urean ja rejektiveden muodossa ennustettua COD-kuormaa mukailien. Rejektiveden sisältämän typen osuus annostellusta tuestä oli jakson aikana noin 11–14 %. Verrattuna muihin jaksoihin koeajon alussa ureaa annosteltiin suhteessa tulevaan COD-kuormaan hieman enemmän. (Kuva 4).



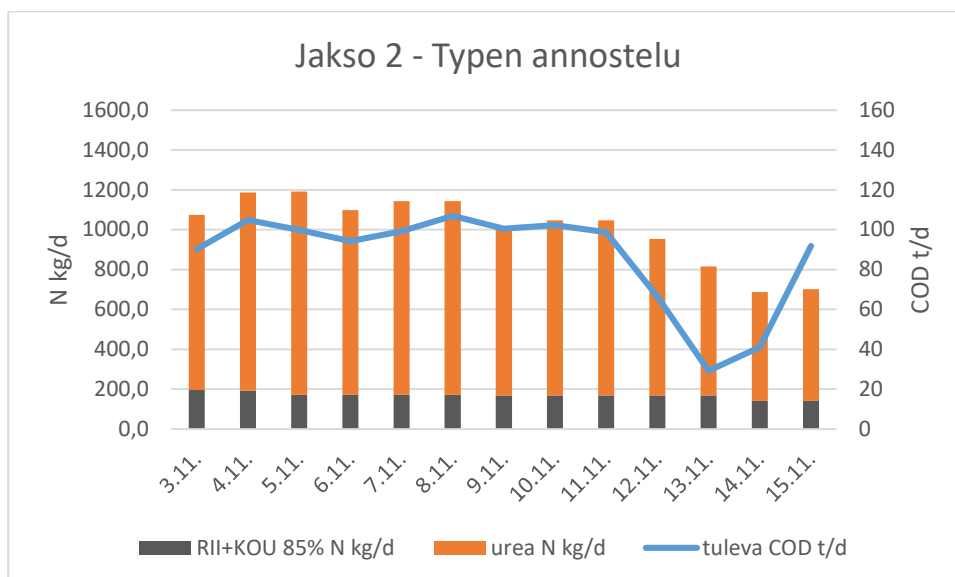
Kuva 5. Puhdistetun veden laskennallinen jäännöstypimäärä ja mitattu typpipitoisuus, sekä ilmastusaltaan lietteen laskeuma.

Laskeuma oli ennen koeajojakson alkua ollut hyvällä tasolla alimmillaan 2.10. lukemassa 180 ml. Jakson 1 aikana laskeuman huomattiin olevan lievässä nousussa. Puhdistetusta jätevedestä analysoitiin typpipitoisuus kaksi kertaa viikossa, ja jakson aikana typpipitoisuudet eivät olleet koeajoa edeltävän 1,5 kuukauden referenssijaksosta poikkeavat. Typpipitoisuus pysyi lähellä ravinneannostelussa huomioon otettua jäännöstyppitasoa, joka oli jakson aikana 180 kg/d. (Kuva 5).

Koeajon alussa jakson 1 aikana laskennallinen jäännöstyppimäärä puhdistetussa jätevedessä nostettiin tarkoituksella hieman korkeammalle, jotta typpeä varmasti riittäisi puhdistamolla. Laskeuma lähti jakson aikana hienoiseen nousuun, mutta vasta pidemmän ajanjakson tarkastelu näyttää, onko kyse väliaikaisesta vaihtelusta vai jääkö laskeuma pidemmäksi aikaa ylemmälle tasolle viitaten lietteen laskeutuvuuden heikkenemiseen. Typpipitoisuus mitattiin laboratorioanalyysillä kaksi kertaa viikossa, ja saadut tulokset olivat linjassa laskennallisen jäännöstyppitason kanssa.

Jakso 2

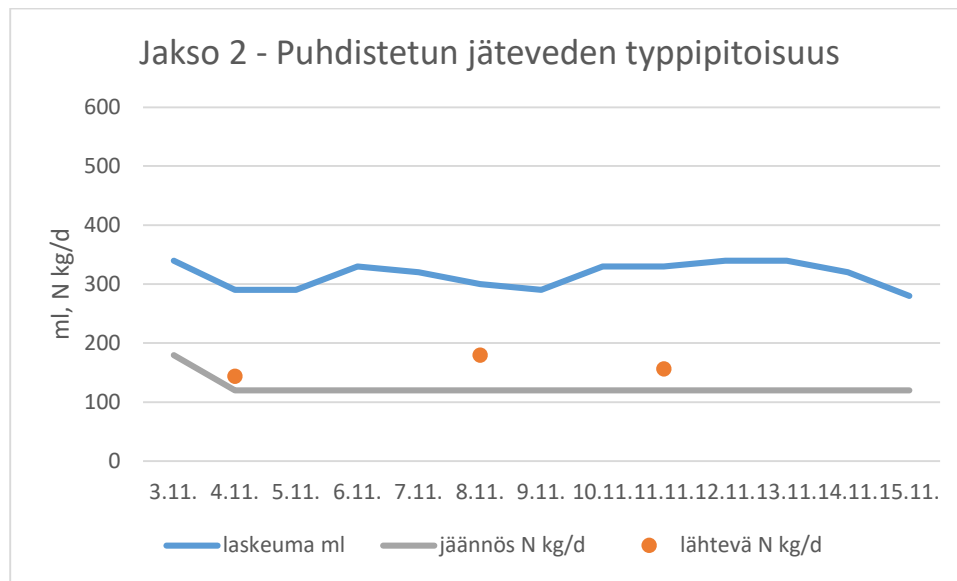
Jaksolle 2 osui epäsuotuisia olosuhteita johtuen tuotannon äkillisestä alasajosta sekä energiansäästökokeilusta. Laskeuma pysyi tasollaan jakson ajan osin pienemmän COD-kuorman takia, ja puhdistetussa jätevedessä näkyi korkea piikki typpiarvoissa tuotannon alasajon vuoksi. Toisen jakson aikana rejektivesiannos pysyi samana 48 m³/vrk. Jakson aikana olosuhteet puhdistamolla eivät olleet optimaaliset ilmastuskompressorien koeajosta sekä jakson lopussa tapahtuneesta tuotannon alasajosta johtuen.



Kuva 6. Riihimäen ja Kouvolan rejektiveden käyttökelpoisen typen sekä urean sisältämän typen osuudet prosessiin annostellusta kokonaistypimäärästä, sekä jäteveden puhdistamolle tulevan jäteveden sisältämä COD-kuorma jakson 2 aikana.

Toisen jakson alussa jätevesilaitoksella aloitettiin energiansäästökokeilu, jossa ilmastuslaitaiden kompressoreita ajettiin normaalista poikkeavalla tavalla. Ennen kokeilua kaksi turbokompressoria olivat syöttäneet ilmaa esi-ilmastukseen ja ilmastusaltaseen 1, ja kuusi kompressoria puolestaan ilmastusaltaisiin 2 ja 3. Linjastojen välinen venttiili oli ollut kiinni helpottamassa turbokompressorien käyntiä estäen linjastossa kuudelta kompressorilta tulevan vastapaineen. 3.11. toinen turbokompressori sammutettiin ja linjaston venttiili avattiin. Esi-ilmastuksen ja ilmastusallas 1:n happitasoihin tämä muutos ei juurikaan vaikuttanut, vaan happitasot pysyivät sillä tasolla millä ne olivat olleet aikaisemminkin. Sen sijaan ilmastusallas 2:ssa happitasot putosivat 1,9 mg/l keskitasolta noin 1,1 mg/l tasolle. Myös ilmastusallas 3:n keskimääräinen happitaso putosi 3,9 mg/l tasolle 3,3 mg/l. Kokeilu lopetettiin 27.11. kun kävi ilmi, että ilmastuksen happiprofiili oli muuttunut sellaiseksi, että happea kului enemmän ilmastuksen loppupäässä, mikä saattaa aiheuttaa ei-toivottuja muutoksia bakteerikantaan. Toisen turbokompressorin käynnistämisen jälkeen ilmastuslaitaiden happitasot nousivat keskimääräisesti hieman korkeammalle. 27.11. ei kuitenkaan väliventtiiliä suljettu, vaan kaikki ilma turbokompressoreilta ja kompressoreilta meni edelleen yhtä putkea pitkin altaisiin ja jakautui sinne, minne parhaiten pääsi.

Jakson loppuun sattui suunnittelematon tuotannon alasajo aamupäivällä 12.11. Tuotantokatkos kesti kaksi vuorokautta ja jätevesilaitokselle tuleva COD-kuorma tippui alle puoleen. Urean annostelu suositeltiin pysäytettäväksi yhden vuorokauden ajaksi lauantaina, mutta tämä ei syystä tai toisesta toteutunut. Jätevesilaitokselle ajettiin ureaa viikonloppuna, mikä alhaisen tuotannon kanssa aiheutti maanantaina 15.11. mitatuissa ravinnearvoissa puhdistetun jäteveden huomattavan korkean typpipitoisuuden (1279 kg/d). Kierrätystypen osuus annostellusta kokonaistypestä oli 15–20 % välillä. (Kuva 6).



Kuva 7. Puhdistetun veden laskennallinen jäännöstyppimäärä ja mitattu typpipitoisuus, sekä ilmastusaltaan lietteen laskeuma. Kuvaajasta puuttuu 15.11. typpipitoisuus 1279 kg/d.

Puhdistetun jäteveden typpipitoisuudet lyhyen jakson aikana eivät 15.11. piikkiä lukuun ottamatta olleet normaalista poikkeavia (15.11. typpiarvoa ei ole merkattu kuvaajaan luettavuuden parantamiseksi). Typeä jäi puhdistusprosessista yli, minkä perusteella saattoi olettaa typen riittävyyden olleen tarpeeksi. Laskeuma pysyi keskimäärin 300 ml yläpuolella lähtien jakson lopussa lievään laskuun tulevan COD-kuorman pienenemisestä johtuen. Lietteiden laskeutuvuuden tason parantumisesta ei näin ollen tämän jakson perusteella voinut varmaksi sanoa. Jäännöstypen määrää laskettiin toisen jakson alussa 120 kg:aan, koska kierrätystypen vaikutus haluttiin saada selvemmin näkyviin, etenkin jos typeä annosteltaisiin liian vähän. (Kuva 7).

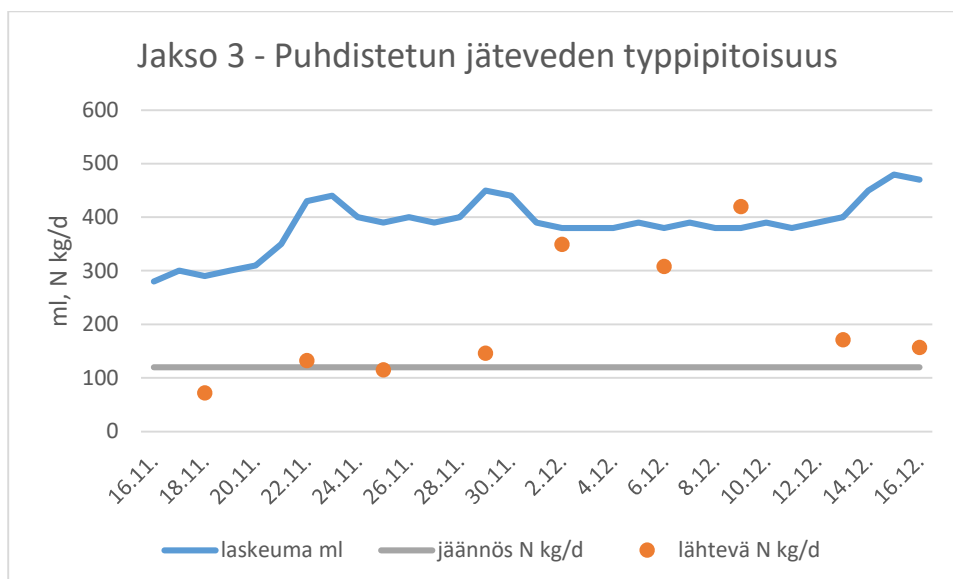
Jakso 3

Jakson 3 aikana olosuhteet jätevedenpuhdistamolla eivät olleet optimaaliset johtuen tietokatkoksesta ravinnemäärien annostelun suhteen, ilmastuskompressorien väliventtiilin auki olemisesta sekä Gasumin toisen lingon hajoamisesta ja siitä johtuneesta rejektiveden annostelun pienentämisestä. Lietteiden laskeutuvuus heikkeni selkeästi ja puhdistetussa jätevedessä oli ylenmäärin tyyppiä useana mittauskertana.

Tarkastelujakson alussa vuorokausiannos nostettiin maksimiin eli 96 m³/vrk. Tehtaan tuotanto oli jakson aikana hyvällä tasolla ja tuleva COD-kuorma ylitti viitenä päivänä 125 t/d. Tietokatkoksen vuoksi ajanjaksolla 16.–20.11. lasketut urean annostelumäärät laskettiin pienemmän 48 m³ vuorokausiannoksen mukaan, joten tämän ajanjakson ravinnearvot ja syötetyt ravinnemäärät eivät ole vertailukelpoisia suuremman kierrätysravinnemäärän suhteen.

Edellisen jakson aikana aloitettu ilmastuskompressorien koeajo lopetettiin 27.11., mutta linjastossa oleva väliventtiili suljettiin vasta 11.12. Vasta tämän toimenpiteen jälkeen ilmastusaltaiden 2 ja 3 happitasot nousivat takaisin normaalille tasolle, joten aikavälillä 3.11.–11.12. tehdyt havainnot mm. mikrobikannan muutoksista ovat voineet johtua muuttuneesta happiprofiilista ilmastusaltailla, eikä kierrätysravinteiden vaikutusta tällä aikavälillä ole voitu luotettavasti todeta.

Tiistaina 8.12. Gasum ilmoitti, että Riihimäen biokaasulaitoksen suuri rejektilinko oli hajonnut, ja kahdella pienellä lingolla ei pystytä varmuudella toimittamaan ennakkoon sovittujen kriteerien mukaista rejektivettä tarpeeksi. Vuorokausiannos laskettiin takaisin 48 m³/vrk. Jakson 3 ajalle osui niin monta koeajoon oleellisesti vaikuttavaa tekijää, joten tästä syystä jakson 3 aikana tehdyt havainnot ja tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia.

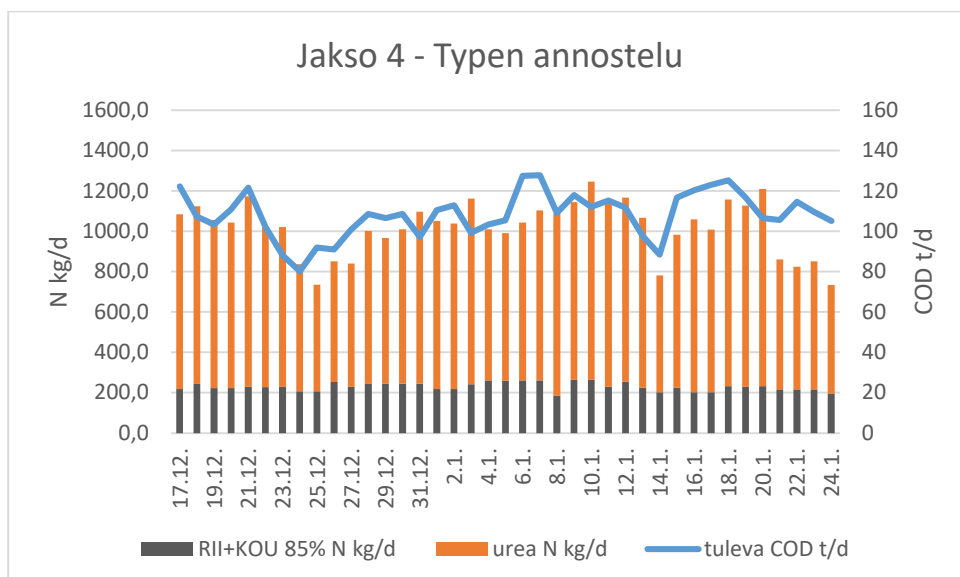


Kuva 8. Puhdistetun veden laskennallinen jäännöstyppimäärä ja mitattu typpipitoisuus, sekä ilmastusaltaan lietteen laskeuma.

Jakson aikana laskeuma nousi verrattain lyhyessä ajassa selkeästi korkeammalle tasolle, eli lietteen laskeutuvuusominaisuudet heikkenivät selkeästi. Aivan jakson lopussa laskeuma oli jo lähellä 500 ml lukemia. Tietokatkoksen vuoksi jakson alussa ureaa syötettiin enemmän kuin oli tarpeen, mikä näkyi joulukuun alkupuolella puhdistetussa jätevedessä mitattuina korkeina typpilukemina, vaikka laskennallinen jäännöstyppi pidettiin edelleen 120 kg/vrk:ssa. (Kuva 8).

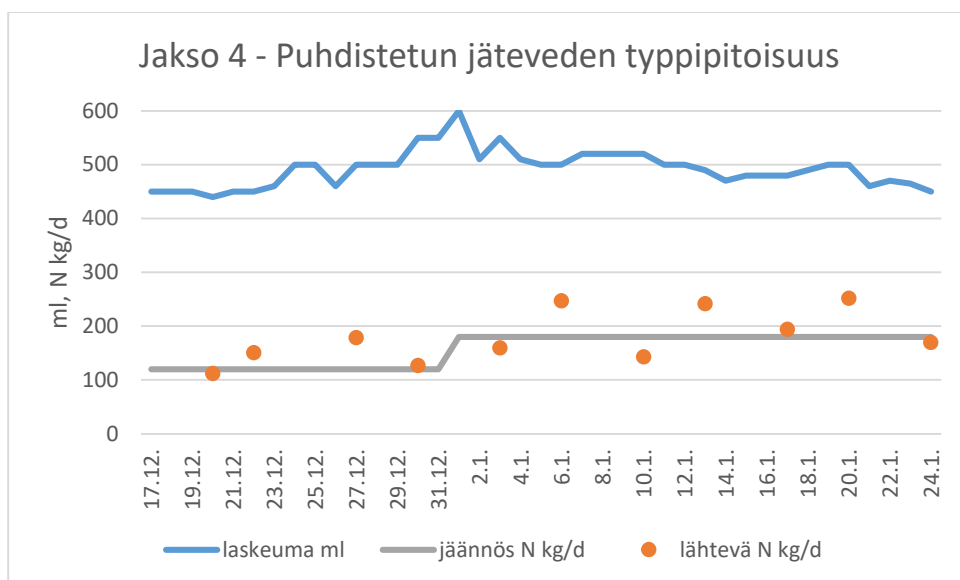
Jakso 4

Jakson 4 aikana laskeuma jatkoi nousuaan johtuen mahdollisesta käyttökelpoisen tyypin puutteesta. Rejektiveden käytettävyyssprosenttia jouduttiin laskemaan ja tammikuun alussa jäännöstyppitasoja nostettiin, minkä jälkeen laskeutuvuuden heikkeneminen pysähtyi. Jakson 4 alussa rejektiveden vuorokausiannos pystyttiin nostamaan 72 m³/vrk:ssa huolimatta rejektilingon hajoisesta. Muutoinkin olosuhteet jätevesilaitoksella olivat normalisoituneet edelliseen jaksoon verraten ja tehtaan tuotanto oli hyvällä tasolla ylittäen vain kolmena päivänä tulevan COD-tason 125 t/d.



Kuva 9. Riihimäen ja Kouvolan rejektiveden käyttökelpoisen typen sekä urean sisältämän typen osuudet prosessiin annostellusta kokonaistypimäärästä, sekä jäteveden puhdistamolle tulevan jäteveden sisältämä COD-kuorma jakson 4 aikana.

Jakson aikana kierrätystypen osuus annostelusta saatiin nostettua lähes koko jakson ajalta yli 20 %:iin. Tehdas pysyi normaaliajossa ja tuotanto korkealla. (Kuva 9).



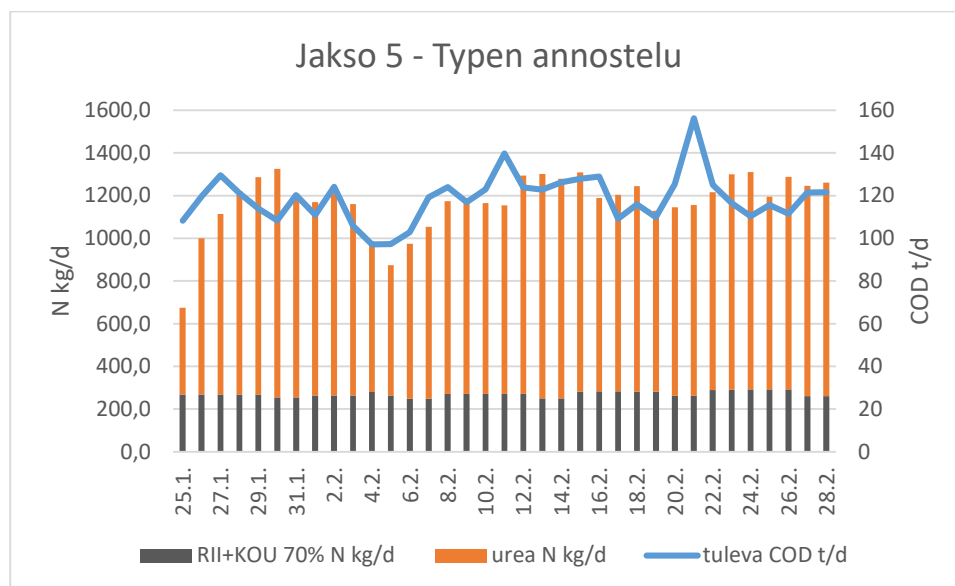
Kuva 10. Puhdistetun veden laskennallinen jäännöstyppimäärä ja mitattu typpipitoisuus, sekä ilmastusaltaan lietteen laskeuma.

Jakson aikana laskeuma oli jälleen noussut korkeammalle tasolle edelliseen jaksoon verrattuna, ja se saavutti koeajon aikana korkeimman huippunsa 600 ml tammikuun alussa. Laskeuman nousulle ei löytynyt varmaa selitystä, mutta

yhtenä tekijänä epäiltiin, ettei rejektiveden sisältämä typpi olisikaan niin käyttökelpoista kuin oli oletettu ja jätevedenpuhdistusprosessissa olisi ollut typen puutetta. Laboratorioanalyysien ja mikroskopointihavaintojen perusteella kierrätystypen käytettävyyttä ravinnelaskuissa laskettiin ensin 75 %:iin ja vielä jakson lopussa 70 %:iin. Puhdistetusta jätevedestä kaksi kertaa viikossa mitatut typpi-arvot olivat jakson loppua kohden noususuunnassa verrattuna koeajon alusta mitattuihin arvoihin, mikä selittyy osaksi sillä, että 1.1. jäännöstyypen määrää nostettiin 180 kg:aan. (Kuva 10). Jäännöstyypen määrän nostolla haluttiin varmistaa, että typpeä syötetään prosessiin tarpeeksi.

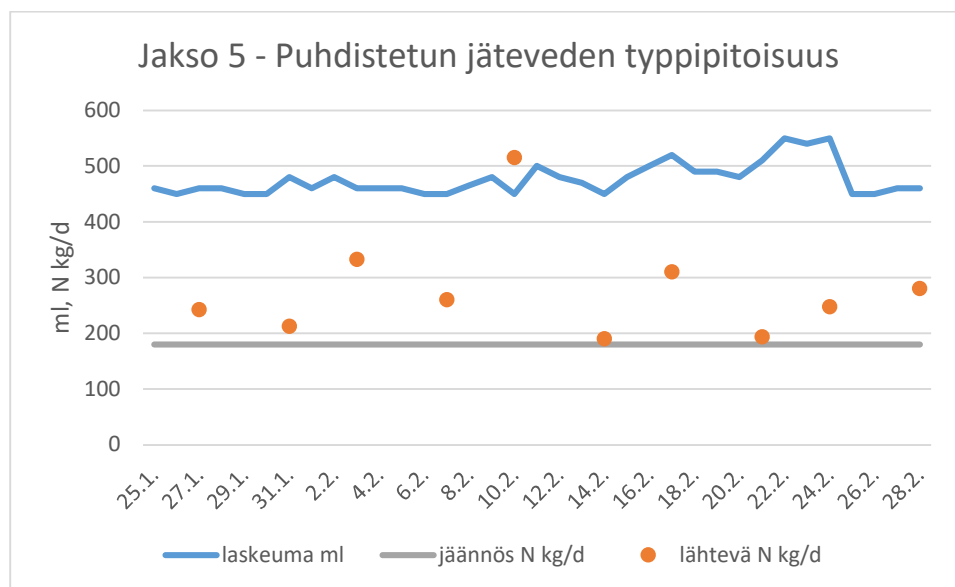
Jakso 5

Jaksolla 5 laskeuma pysyi keskimäärin tasaisena lukuun ottamatta pientä hetkellistä nousua jakson lopussa. Puhdistetun jäteveden typpipitoisuudet olivat hieman kohollaan vaikka jäännöstyppitasoa oli nostettu jo edellisen jakson aikana. Viidennen jakson aikana rejektiveden vuorokausiannos nostettiin maksimumiin 96 m³/vrk ja kierrätysravinnetta päästiin ajamaan normaaleissa olosuhteissa koko kuukausi. Tehtaan tuotanto oli korkealla tasolla ja kahdeksana päivänä tuleva COD-kuorma oli 125 t/d tai enemmän.



Kuva 11. Riihimäen ja Kouvolan rejektiveden käyttökelpoisen typen sekä urean sisältämän typen osuudet prosessiin annostellusta kokonaistyyppimäärästä, sekä jäteveden puhdistamolle tulevan jäteveden sisältämä COD-kuorma jakson 5 aikana.

Urean määrää oli annosteltu tulevan COD-kuorman mukaan, ja rejektive-simäärän ollessa isompi myös isompi osa ureasta oli saatu korvattua kierrätysravinteella. Jakson aikana kierrätystypen osuus annostellusta tyypeistä oli 20–25 %. (Kuva 11).



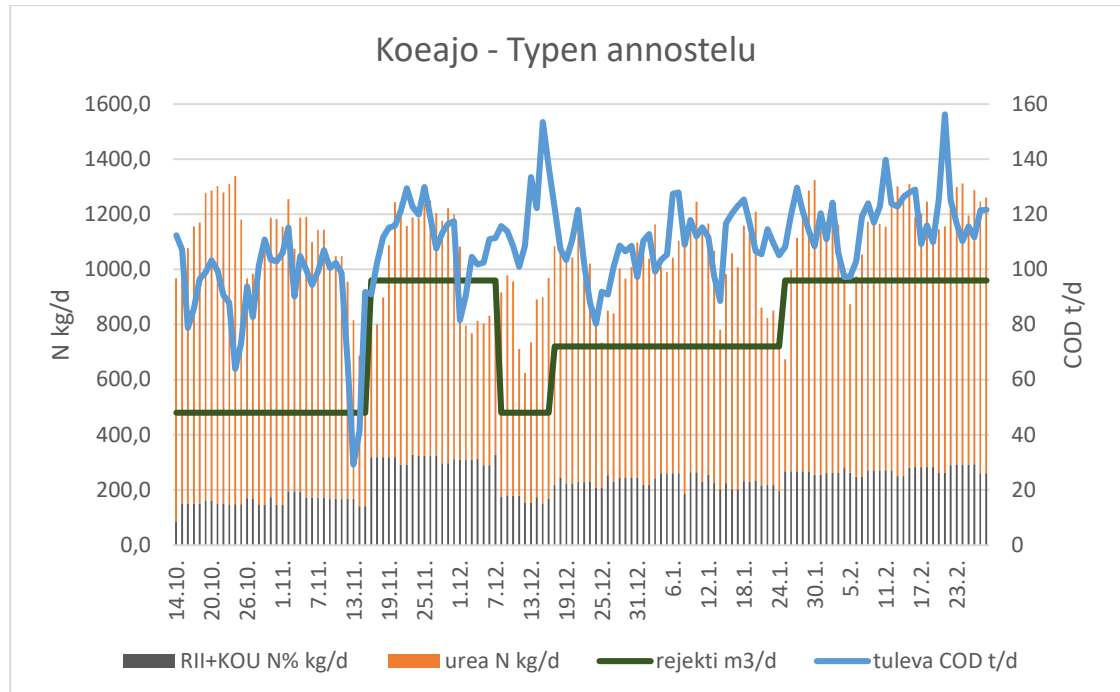
Kuva 12. Puhdistetun veden laskennallinen jäännöstyppimäärä ja mitattu typpipitoisuus, sekä ilmastusaltaan lietteen laskeuma.

Puhdistetun jäteveden tavoitteellinen jäännöstyppitaso oli ollut tarkastelujakson aikana 180 kg/vrk. Jakson aikana typpipitoisuudet puhdistetussa jätevedessä olivat olleet tavoitetta korkeammalla ja selkeästi korkeammalla tasolla myös verrattuna koko koeajon ajanjaksoon. Laskeuma oli tasaantunut 450 ml tasolle, vaikkakin se oli käynyt useaan otteeseen päälle 500 ml, ja taso oli selkeästi korkeammalla kuin koeajon alussa. (Kuva 12). Kohonneeseen typpitasoon saattoi olla selityksenä jäännöstyppitason nosto, mutta mahdollisesti myös se, että aktiivilietelaitoksen mikrobit eivät olisi pystyneet hyödyntämään kaikkea rejektivedessä ollutta tyyppiä, jolloin sitä olisi kulkeutunut prosessin läpi sellaisenaan.

6.2 Koeajo kokonaisuutena

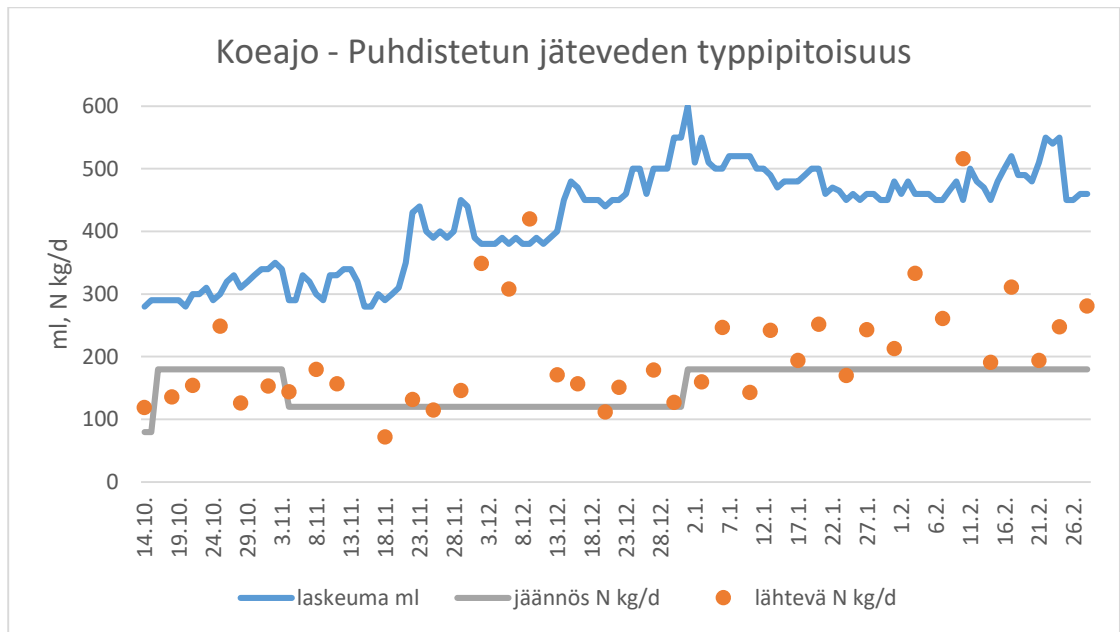
Tarkasteltaessa koeajoa kokonaisuutena voidaan todeta, että jätevedenpuhdistusprosessissa tapahtuneiden muutosten vuoksi teollisten ravinteiden korvaaminen kierrätysravinteilla ei onnistunut niin kuin oli suunniteltu. Myös lietteen laskeutuvuuden heikkeneminen oli selkeästi nähtävillä koeajojakson aikana. Kuvassa 13 on koko 4,5 kuukauden koeajojakson aikana tapahtuneet

muutokset. Tehtaan tuotanto oli saatu loka-marraskuun haasteiden jäljiltä hyväälle tasolle ja vuoden vaihteen jälkeen COD-kuorma oli yhä noussut. Annosteltu typen kokonaismäärä oli seurannut tuotannon tasoa.



Kuva 13. Urean ja rejektiveden sisältämä typpi sekä tuleva COD-kuorma koko koeajojakson aikana.

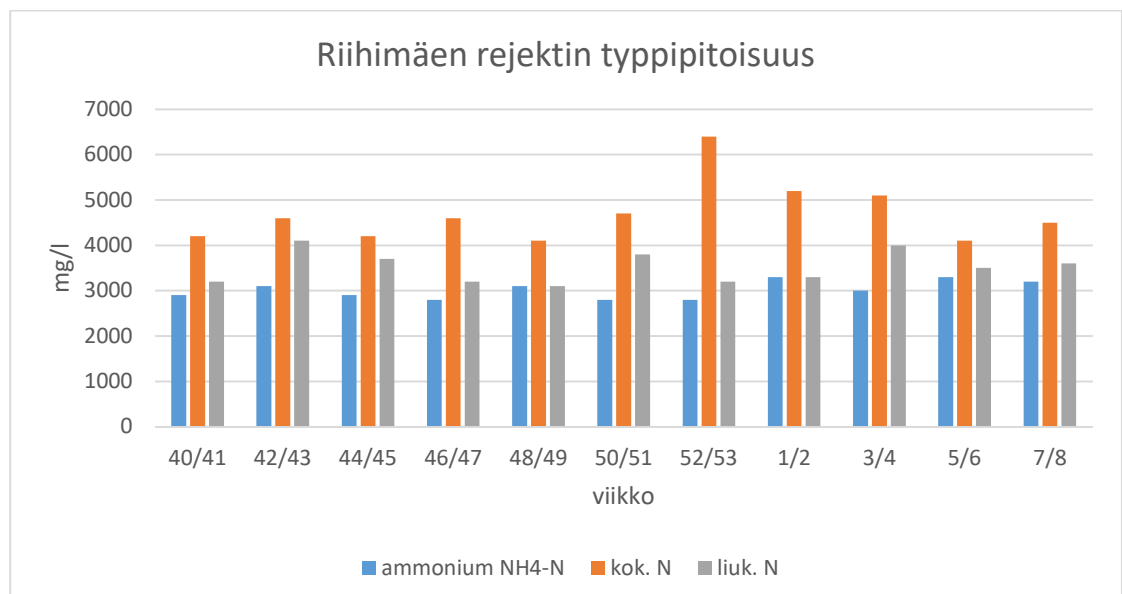
Laskeuma oli ollut koeajojakson alusta lähtien noususuunnassa, ja vasta vuoden vaihteen jälkeen laskeuma oli tasaantunut tasolle 450 ml (kuva 14). Ilmastuksen lietteessä, josta laskeuma oli otettu, oli ollut koeajon aikana havaittavissa rihmamaisia bakteereja, joita ei ennen vastaavassa mittakaavassa ollut tullut vastaan. Tämä on osaltaan voinut aiheuttaa lietteen laskeutumisen huonontumisen, sillä koeajon aikana laskeuma oli selvästi noussut korkeammalle tasolle. Rejektiveden sisältämän typen käyttökelpoisuutta laskettiin tammikuun puolivälistä eteenpäin pienemmäksi, jolloin ureaa oli annosteltu vastaavasti enemmän. Puhdistetun veden typpipitoisuudet olivat olleet tammi- ja helmikuussa korkeammalla, mutta tason nousu voi selittyä myös jäännöstyypen laskeutuneen määrän nostolla. Myös ylimääräinen typpi puhdistusprosessissa on voinut aiheuttaa rihmamaisille bakteereille hyvät kasvuolosuhteet, mikä on osaltaan voinut aiheuttaa lietteen laskeutuvuuden heikkenemistä.



Kuva 14. Puhdistetun jäteveden typpipitoisuus verrattuna jäännöstyppitasoon, sekä ilmastus-
altaan laskeuma koko koeajon ajalta.

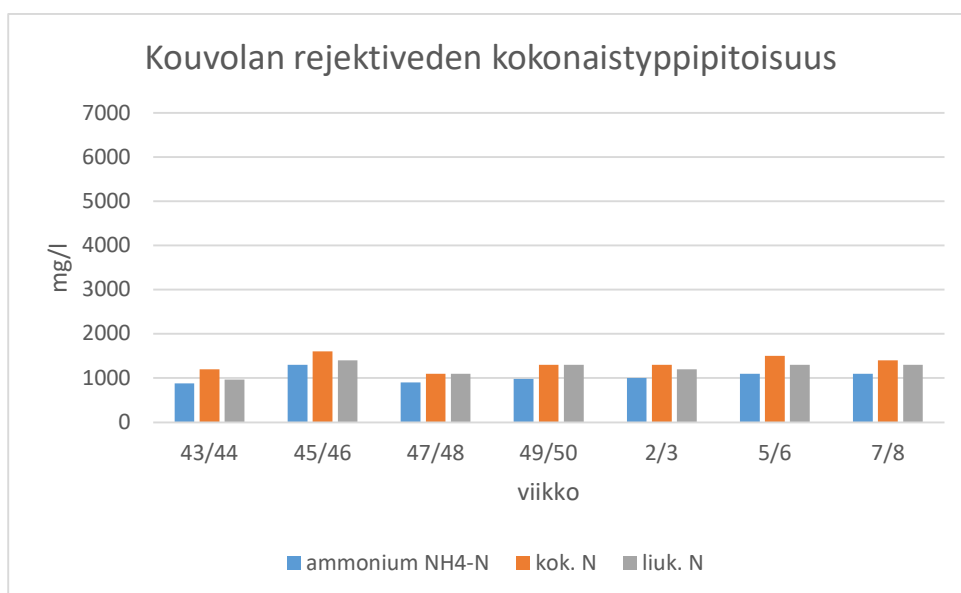
6.3 Rejektiveden typpimääritykset

MetropoliLabin analysoimissa Riihimäen rejektiveden typpipitoisuuksissa kokonaistyppipitoisuus vaihteli 4000–6500 mg/l pitoisuuksien välillä ollen vuoden viimeisillä viikoilla korkeimmillaan (kuva 15). Liukoisen typen osuus suhteessa kokonaistypen määrään oli koeajon ensimmäisen kuukauden ajan yli 80 %, mutta lähti laskemaan koeajon edetessä. Vuodenvaihteessa rejektiveden liukoisen typen osuus kokonaistyypistä laski jopa alle puoleen.



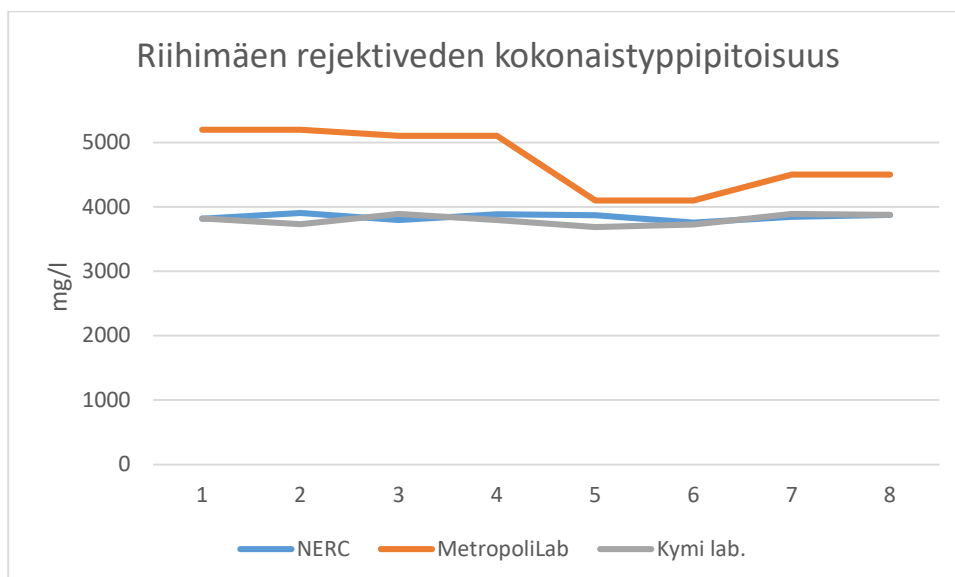
Kuva 15. Riihimäen rejektiveden typpipitoisuudet MetropoliLabin määrittämänä.

Sen sijaan Kouvolassa tuotetussa rejektivedessä MetropoliLabin mittausten mukaan liukaisen tyypin osuus suhteessa kokonaistyypeen oli huomattavasti korkeampi kuin Riihimäen rejektissä (kuva 16). Kouvolan rejektivesi oli kuitenkin pitoisuudeltaan sen verran laimeaa, ja sitä tuli määrällisesti paljon vähemmän, joten sen osuus kokonaisrejektivedestä ei ollut merkittävä. Tammikuun alussa puhdistetun jäteveden jäännöstyyppimäärää nostettiin, koska mm. laskeuman jatkuva nousu antoi viitteitä, että rejektiveden sisältämästä tyypestä vain liukoinen tyyppi olisi aktiivilieteprosessissa käyttökelpoista. Kymin laboratorion ja tutkimuskeskuksen typpi-analyysit rejektiveden viikkonäytteistä antoivat viitteitä, että rejektiveden typpipitoisuus ei välttämättä olisi niin suuri kuin MetropoliLabin tulokset näyttivät.



Kuva 16. Kouvolan rejektiveden kokonaistyyppipitoisuudet MetropoliLabin määrittämänä.

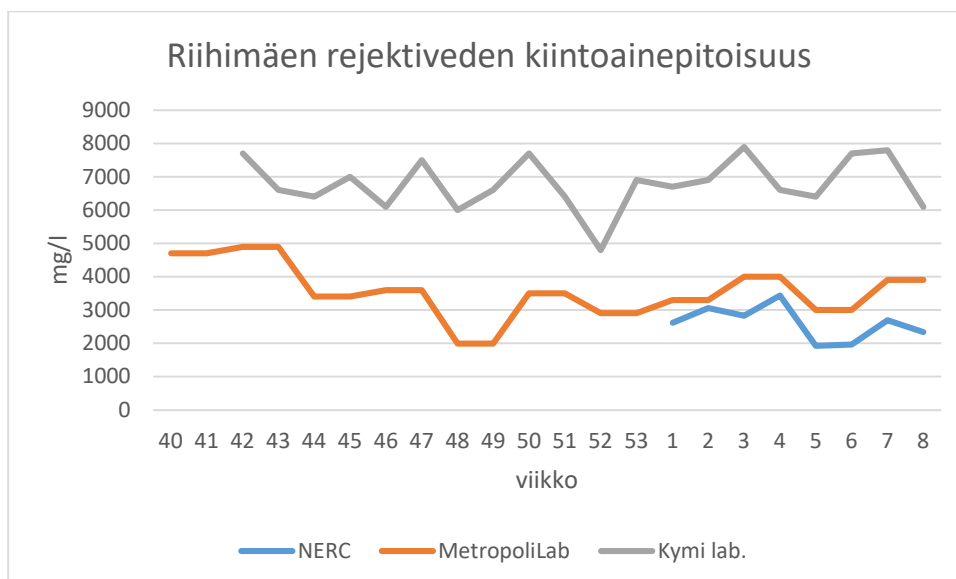
Tammikuun alusta lähtien tehdyt tutkimuskeskuksen (NERC) ja Kymin laboratorion mittaamat kokonaistyyppien pitoisuudet viikoittaisesta Riihimäen rejektiveden keruunäytteestä olivat toisiinsa nähden järkevällä tasolla, mutta MetropoliLabin tekemässä analyysissä pitoisuudet olivat viikkoja 5 ja 6 lukuun ottamatta oleellisesti korkeammalla (kuva 17).



Kuva 17. Kokonaistypen pitoisuudet tutkimuskeskuksen (NERC), Metropolilabin ja Kymin laboratorion mittaamina.

6.4 Rejektiveden kiintoainepitoisuus

Metropolilabin ja Kymin laboratorion määrittystulokset poikkesivat huomattavasti toisistaan, vaikka ne oli tehty saman standardin mukaisesti (kuva 18). Kymille toimitetut koostenäytteet oli säiliöauton kuljettaja ottanut auton purku-yhteen kautta ilmeisesti heti purkupaikalle saavuttuaan, joten on mahdollista, että säiliön alaosassa olevan purkuventtiilin eteen oli matkan aikana ehtinyt laskeutua kiintoainetta. Näin ollen näytteeseen oli saattanut tulla kiintoainetta enemmän kuin mitä rejektivedessä keskimääräisesti oli. Toisaalta tutkimuskeskus oli tehnyt analyysit samasta näytteestä Kymin laboratorion tehtyä määrittelykset ensin, mutta nämä tulokset olivat enemmän linjassa Metropolilabin tulosten kanssa.

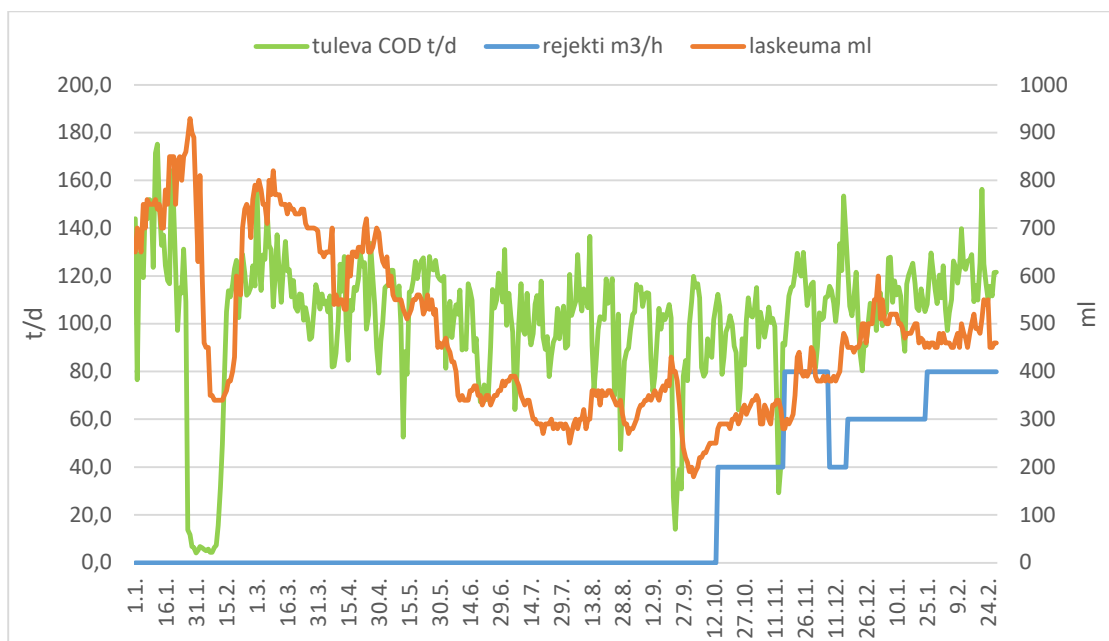


Kuva 18. Riihimäen rejektiveden kiintoainepitoisuus tutkimuskeskuksen (NERC), MetropoliLabin ja Kymin laboratorion mittaamina.

Määrällisesti kiintoainetta tuli rejektiveden mukana päivässä puhdistamolle muutama sata kiloa, kun tehtaalta tulevan jäteveden mukana tuleva kiintoainemäärä on useita tuhansia kiloja. Tosin puhdistamolle tuleva jätevesi menee esiselkeytyksen kautta, jossa valtaosa kiintoaineesta saadaan poistettua, kun taas rejektivesi meni suoraan ilmastusaltaaseen kiintoaine mukanaan.

6.5 Lietteen laskeuma

Lietteen laskeuma heikkeni selkeästi verraten tilannetta koeajojakson alussa helmikuun lopun tilanteeseen. Kuvassa 19 näkyy laskeuma vuoden 2020 alusta asti yhdessä jätevesilaitokselle tulevan jäteveden COD-kuorman kanssa. Laskeuma oli kesää kohti laskenut jo alle 300 ml:aan, mutta syyskuun muutaman päivän tuotannon seisokin jälkeen lähtenyt nousuun rejektivesikoeajon alettua. COD-kuormat puhdistamolle olivat olleet suurin piirtein samalla tasolla kuin kesäaikaan, jolloin laskeuma pysyi 300–400 ml välillä. Laskeumassa oli havaittu olevan yhtäaikainen tiputus tulevan COD-kuorman kanssa, esimerkiksi seisokkitilanteissa.



Kuva 19. Vuoden 2020 alusta tuleva COD-kuorma ja laskeuma sekä rejektiveden annostelu.

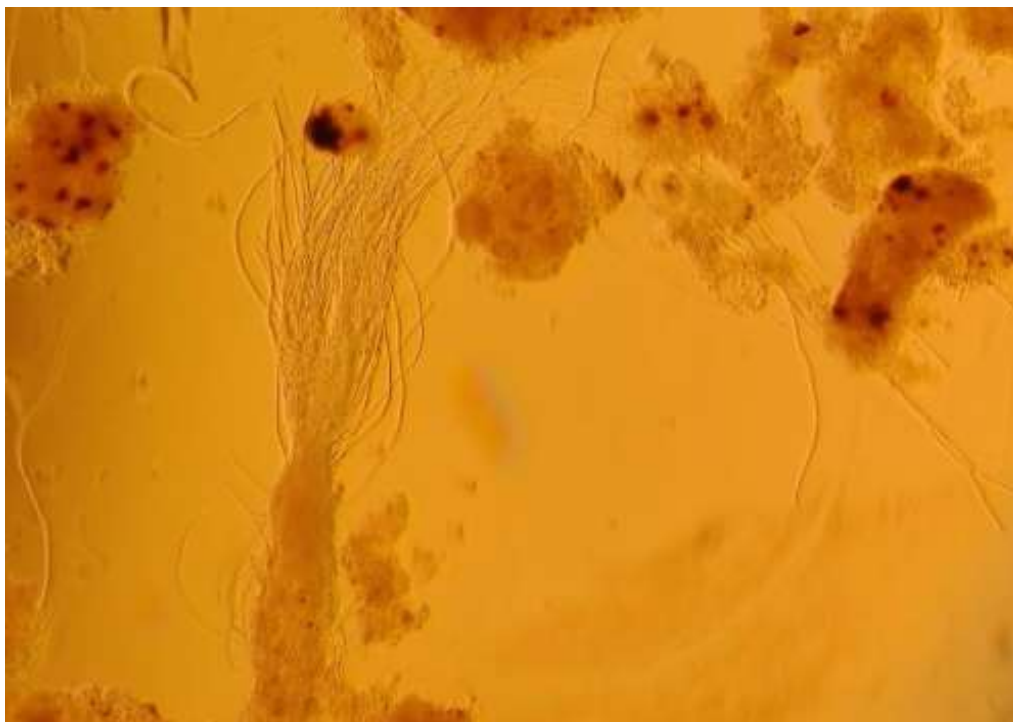
Jakson 2 aikana, jolloin rejektivettä ajettiin $96 \text{ m}^3/\text{vrk}$, laskeuma hyppäsi jälleen ylemmäs, ja vaikka rejektiveden annostelu pieni jakson 3 ja 4 ajaksi, ei laskeuma lähtenyt laskuun. Tammikuun alusta lähtien palautuslietteen määrää esi-ilmastukseen oli pienennetty lähes $1700 \text{ litra}/\text{sekunti}$ vajaaseen $1500 \text{ litra}/\text{sekunti}$. Laskeuman nousu oli vuodenvaihteen jälkeen saatu taittumaan, ja lukema oli pysynyt pääsääntöisesti $400\text{--}500 \text{ ml}$ välillä.

6.6 Lietteen mikroskopointi

Ilmastusaltaan lietteessä havaittiin selkeitä muutoksia koeajojakson aikana. Lietteen laskeutuvuuden heikkeneminen kielii muutoksista myös lietteen flokkien rakenteissa, ja tämä oli mikroskooppitarkasteluissa selkeästi havaittavissa. Syynä tähän saattoi olla aktiivilietelaitoksella ravinteiden vähyys tai niiden esiintyminen sellaisessa muodossa, että laitoksen mikrobikanta ei saanut niitä hyödynnettyä parhaalla mahdollisella tavalla.

Maaliskuussa 2020 ilmastuksen lietteessä flokit olivat pieniä ja niitä oli runsaasti. Rihmaa ei ollut juuri lainkaan ja vapaan veden osuus preparaattissa oli pieni. Toukokuussa loppupuolella flokit alkoivat muodostua suuremmiksi, ja vapaata vettä näkyä flokkien välissä enemmän. Rihmaa alkoi ilmestyä flokkien joukkoon lyhyinä ja paksuina, määrällisesti vähäisenä. Heinäkuussa rihmat alkoivat muuttua pidemmiksi, hiusmaisiksi ja sotkuisia rihmakasoja alkoi esiintyä

ajoittain. Elokuun alussa lietteessä oli havaittavissa muutama paksumpi rihmakimppu (kuva 20).



Kuva 20. 4.8.2020 ilmastuksesta poistuvasta lietteestä havaittu rihmakimppu.

Syyskuussa kuun loppupuolella rihma muuttui jälleen lyhyemmäksi ja pätkittäisemmäksi, kunnes lokakuun puolella rihmat alkoivat esiintyä pidempinä. Rejektivesikoeajo aloitettiin lokakuun puolivälissä. Verrattuna kevään tilanteeseen syksyllä lietteen flokit olivat suurempia ja selkeämpiä kuin maaliskuussa. Loppuvuotta kohden lietteessä alkoi näkyä pitkänomaisia flokkeja, joihin alkoi marraskuun jälkeen tarttua rihmoja. Nämä saattoivat alkaa muodostua hajomaan lähteneiden kuitujen ympärille, mutta ne olivat paksuudeltaan sen verran suurempia, että oletamus niiden syntyperästä ei ole täysin varma. Rihman määrä alkoi kuitenkin marras-joulukuussa kasvaa lietteessä ja pitkiä flokkeja esiintyä useammin. Vuoden vaihteen jälkeen tammi-helmikuun aikana mikroskoopissa näkyi pitkää rihmaa syksyä enemmän. Kuvassa 21 näkyviä rihmakimppuja esiintyi välillä paksumpina ja välillä ohuempina nippuina säännöllisesti.



Kuva 21. Ilmastusaltaassa 3 lietteen rihmakimppuja 13.1.2021.

Ilmastuksen lietteestä tehtiin 18.1.2021 otetusta näytteestä laaja analyysi Nalco Waterin toimesta. Rihmamaisia bakteereja hallitsi *Nostocoida limicola*-tyypin kaksi eri muotoa II ja III, jotka viihtyvät molemmat septisissä olosuhteissa, joissa esiintyy mm. orgaanisia happoja. *N. limicola* liitetään yleisesti fosforin vähyyteen. Lietteestä identifioitiin myös tetradeja flokkien ympäriltä. Tetradit ilmentävät yleensä ravinteiden puutosta, erityisesti typen, sekä orgaanisten happojen esiintymistä. Lietteessä oli runsaasti ja monipuolisesti mikroskoopilla havaittavissa olevia alkueläimiä, joiden esiintyminen kertoo hyvistä olosuhteista puhdistamolla. Analyysissä havaittiin rihmamaisia bakteereita esiintyvän myös tyyppinä 0041, 0092, 0581, 0675 ja 0914. Nämä ilmentävät septisiä olosuhteita ja orgaanisten happojen esiintyvyyttä, sekä matalaa F/M-suhdetta (food-to-mass ratio). F/M-suhde kertoo mikrobien hyödynnettävissä olevasta ravinnosta suhteessa puhdistamon lietteessä olevaan bakteerimassaan. Matala suhde on yhteydessä pitkään lieteikään, joka puhdistamolla koeajon aikana olikin. Tähän viittasi myös lietteessä havaitut nematoda-madot.

Lieteanalyysin tuloksista oli tulkittavissa, että olosuhteiden aiheuttajia olivat ravinteiden, erityisesti fosforin, vähyyys sekä orgaanisten happojen lähteet. Fosforihapon annostelu oli aloitettu helmikuussa 2020, mutta kesän aikana sen annostelulle ei ollut ollut tarvetta. Sitä ennen fosforihappoa oli annosteltu huhtikuussa 2019 vajaan kuukauden ajan. Orgaanisten happojen yhtenä lähteenä

voi olla alkalisten vesien esiselkeytin, jonka pH-tasapaino oli ollut alkuvuodesta 2020 lähtien alhaisempi kuin mitä optimitilanteessa olisi.

6.7 Lietteentypipitoisuus

Koeajon alusta 16.10.–4.11. oli typen annostelussa pidetty puhdistamon jälkeinen jäännöstyyppi tasolla 1,5–1,8 mg/l (180 kg/d). 5.11. jäännöstyyppiä laskeettiin tasolle 1,0–1,2 mg/l (120 kg/d). Laskeuman noususuunnassa olevien lukemien vuoksi 30.12. päätettiin nostaa jäännöstyyppiä jälleen määrään 1,5–1,8 mg/l (180 kg/d). Rejektiveden tyyppi ei välttämättä ollutkaan toiminut tarpeeksi hyvin puhdistamalla, vaan rihmaa oli päässyt kasvamaan koska jotain ravinnetta (typpiä) oli ollut liian vähän. Yksi vaihtoehto on, että rejektiveden tyyppi oli ollut sitoutuneena kiintoaineeseen, jolloin se ei ollut vielä esi-ilmastuksessa mikrobien hyödynnettävissä. Typpi olisi irronnut kiintoaineesta vasta myöhemmin prosessissa (ilmastusaltaissa), jolloin typpiä oli ollut esi-ilmastuksessa liian vähän ja otolliset olosuhteet olivat aiheuttaneet rihman kasvua, vaikkakin liete kuitenkin laskeutui tiiviisti ja lieteflokkit olivat kiinteitä.

6.8 Puhdistetun jäteveden kiintoainepitoisuus

Puhdistetun jäteveden kiintoainepitoisuus oli juuri ennen koeajon alkua tehnyt noin kaksi viikkoa kestäneen piikin ylöspäin. Koeajon alkuun mennessä kiintoainepitoisuus oli palannut normaalille tasolle (kuva 22).



Kuva 22. Kiintoainepitoisuus puhdistetussa jätevedessä 1.9. alkaen ja koeajon aikana.

Joulukuun alussa kiintoaine lähti viikon kestävään loivaan nousuun (kuva 23). Online-mittarin lukema nousi tasaisesti tasolle 11 mg/l ja puhdistetussa vedessä oli silmin nähtävissä pieniä lietehippuja. Kiintoaine kuitenkin laski nopeasti takaisin tasolle 3–4 mg/l. Kiintoaineen nousu ja yhtäkkinen lasku eivät olleet selkeästi selitettävissä ravinteiden puutoksella. Fosforitasot olivat olleet riittävät, mutta syksyllä kuitenkin selkeästi edellistä kesää matalammalla. Fosforin annostelua oli alettu talvea kohti nostamaan, joten hetkellinen matalampi fosforitaso saattaisi olla yksi selittävä tekijä. Myös ilmastuksen kiintoainepitoisuuden lasku on voinut aiheuttaa lietepatjan nousua jälkiselkeytysaltaissa, jolloin lietettä saattoi lähteä puhdistetun jäteveden mukana eteenpäin.



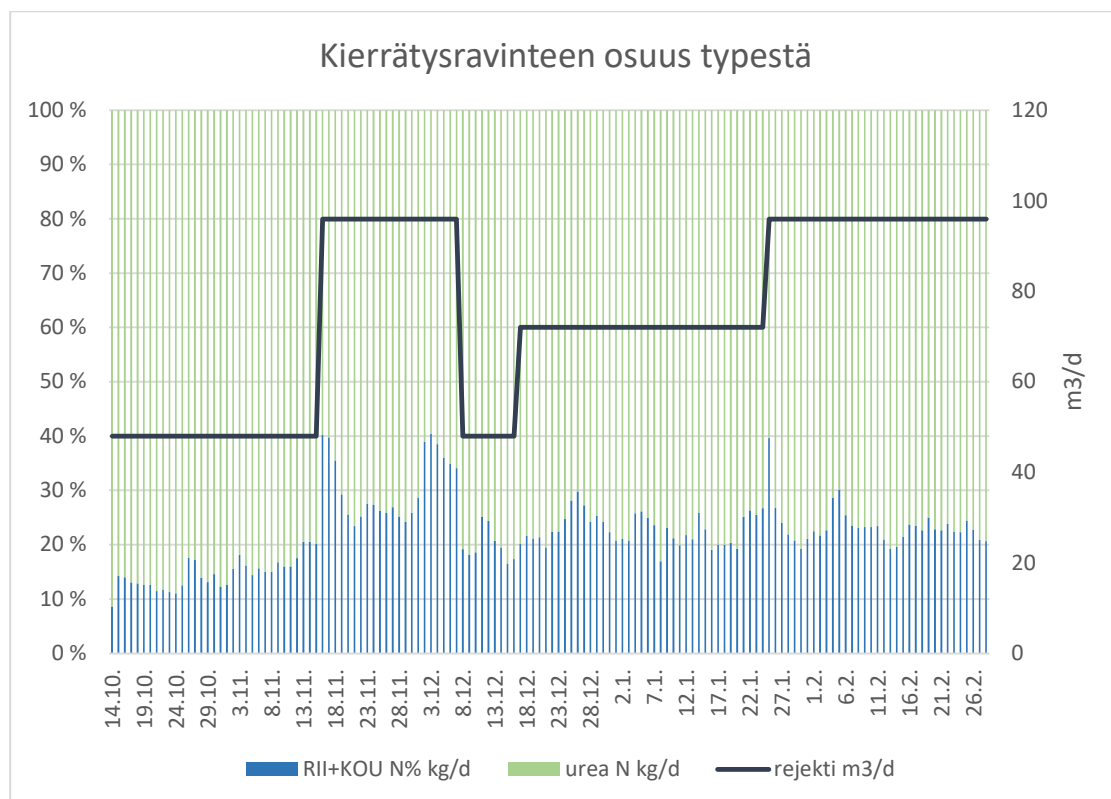
Kuva 23. Poistuvan jäteveden kiintoainepitoisuus (mg/l) 30.11.–14.12.

Helmikuun alussa puhdistetun jäteveden kiintoainepitoisuus lähti jälleen jyrkkään nousuun kohoten vuorokauden aikana 3 mg/l tasolta 14,5 mg/l pitoisuuksiin. Kiintoainemittari käytiin putsaamassa, jonka jälkeen pitoisuudet lähtivät loivaan laskuun. Mitään selkeää syytä kiintoaineen määrän nousulle ei löytenyt. Puhdistetussa vedessä oli kuitenkin silmällä havaittavaa pientä lietehiutalletta, joten täysin mittarivirheestä ei ollut kyse. Yksi jälkiselkeytsaltaan silloista oli koko edeltävän viikon pysähdellyt jäätyminen vuoksi useaan otteeseen vuorokaudessa, joten se oli saattanut sekoittaa pohjan lieteputjaa sen verran, että kyseisestä altaasta oli karannut kiintoainetta normaalia enemmän puhdistetun veden mukaan.

Koeajon viimeisellä viikolla 23.2. jälkiselkeytinaltaassa 1 silta oli pysähtynyt 2,5 tunniksi paikoilleen ennen kuin pysähtyminen oli huomattu ja silta saatu uudestaan liikkeelle. Altaaseen oli kuitenkin sinä aikana ehtinyt tulla niin paljon lietettä ilmastuksesta, että lieteputkista olivat imut pienentyneet huomattavasti, eikä niitä saatu enää keskiviikon aikana vetämään normaalisti pohjaan kertyneen sakean lietteen vuoksi. Torstaina ilmastusallas vesitettiin ja ykkösaltaan imujen palauttamista jatkettiin aina viikonlopun yli. Tämä aiheutti lievää kasvua puhdistetun veden kiintoainepitoisuudessa, sillä altaassa lieteputja sekoitui pintaan asti.

6.9 Kierrätysravinteiden käyttökelpoisuus

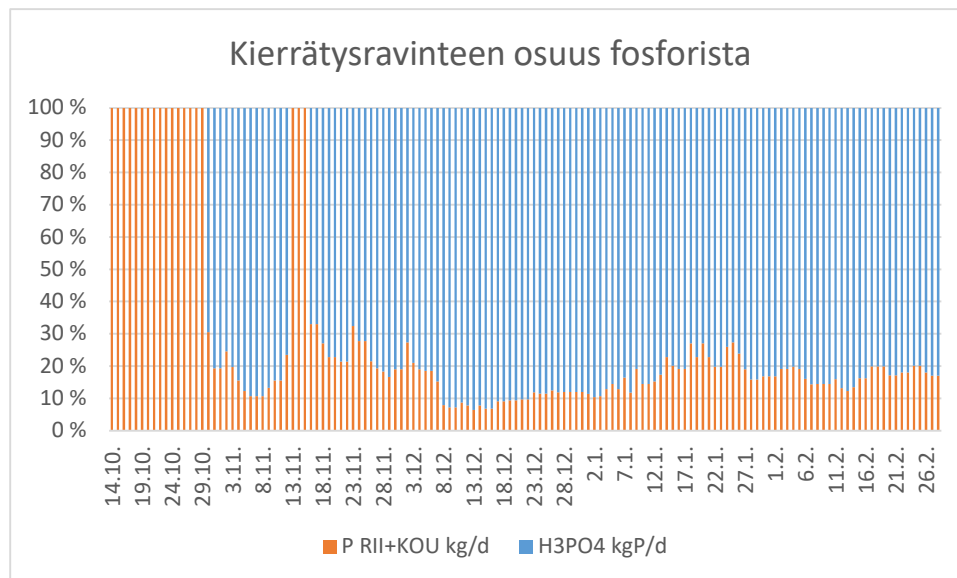
Ureaa annosteltiin jätevedenpuhdistamolle tulevan COD-kuorman ja ravinnearvojen perusteella. Koeajon alussa kierrätysravinteiden sisältämästä typestä ravinnelaskelmissa huomioitiin käyttökelpoiseksi 85 %. 13.1. kierrätysravinteiden käyttökelpoisuus muutettiin 75 %:iin ja 21.1. eteenpäin kierrätysravinteiden typestä laskettiin käyttökelpoiseksi enää 70 %.



Kuva 24. Riihimäen ja Kouvolan rejektiveden kierrätysravinteiden osuus annostellusta typestä käytettävyyssuhteiden huomioiden.

Kuvassa 24 on prosessiin annostellun urean ja kierrätysravinteiden sisältämän typhen suhde sekä rejektiveden vuorokausiannostelun määrä. Koeajon alussa kierrätysravinteiden käyttökelpoisuus oli 85 % ja tarvittavasta typhen määrästä saatiin korvattua jakson 1 aikana keskimäärin 15 %. Jaksolla kaksi rejektiveden vuorokausiannos tuplattiin, mikä näkyi vastaavasti kierrätystyphen osuuden kasvussa: jakson aikana kierrätystyyppi korvasi keskimäärin vähintään 25 % urean typestä, ja jakson alussa ja lopussa päästiin lähes 40 % lukemiin. Jakson 3 alusta lähtien koeajon loppuun asti kierrätystyphen osuus annostellusta typestä jäi keskimäärin vähän päälle 20 %:iin. Vaikka rejektiveden vuorokausiannostelua nostettiin, ei kierrätystyphen osuus silti noussut kuin ajoittain yli 25 %:n. Koeajon aikana esiin tulleet havainnot tukivat sitä johtopäätöstä, että

kierrätystyyppi ei ollut kokonaisuudessaan aktiivilieteprosessissa hyödynnettävissä.

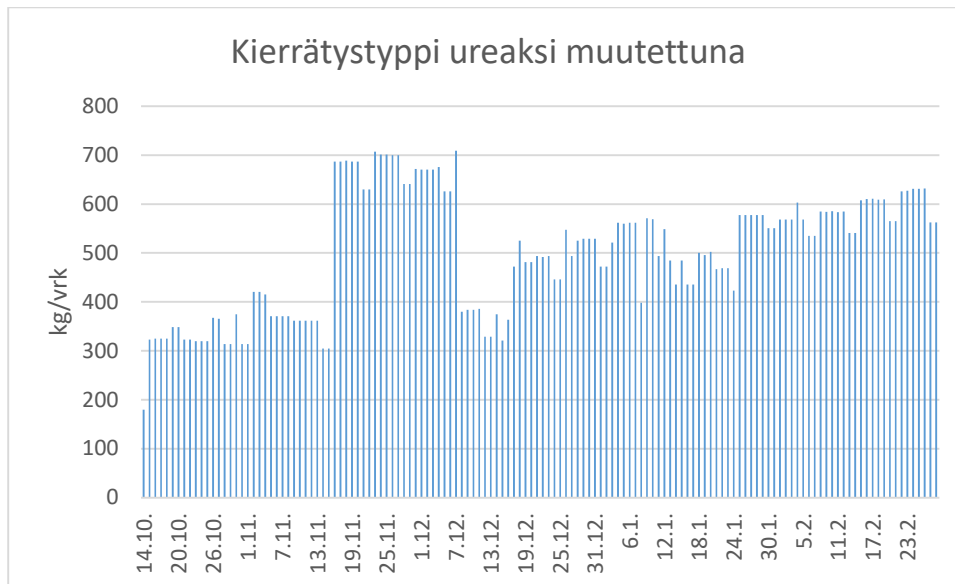


Kuva 25. Riihimäen ja Kouvolan rejektiveden kierrätysravinteiden osuus annostellusta fosforista käytettävyyssprosentit huomioiden.

Fosforihapon annostelu jätevedenpuhdistamolle aloitettiin vasta 30.10. ja marraskuun alussa oli kolmen päivän jakso, jolloin annostelu ei ollut päällä. Kyseisinä ajanjaksoina rejektiveden sisältämä fosfori oli ollut ainoa erikseen prosessiin annosteltu fosfori. Kuvassa 25 kierrätysravinteiden sisältämä fosfori oli laskettu käyttökelpoiseksi sellaisenaan. Jakson 5 ajankohtaa koeajon lopussa tarkastellen rejektiveden fosforin osuus oli jäänyt alle 20 %:iin.

6.10 Korvattujen ravinteiden määrä

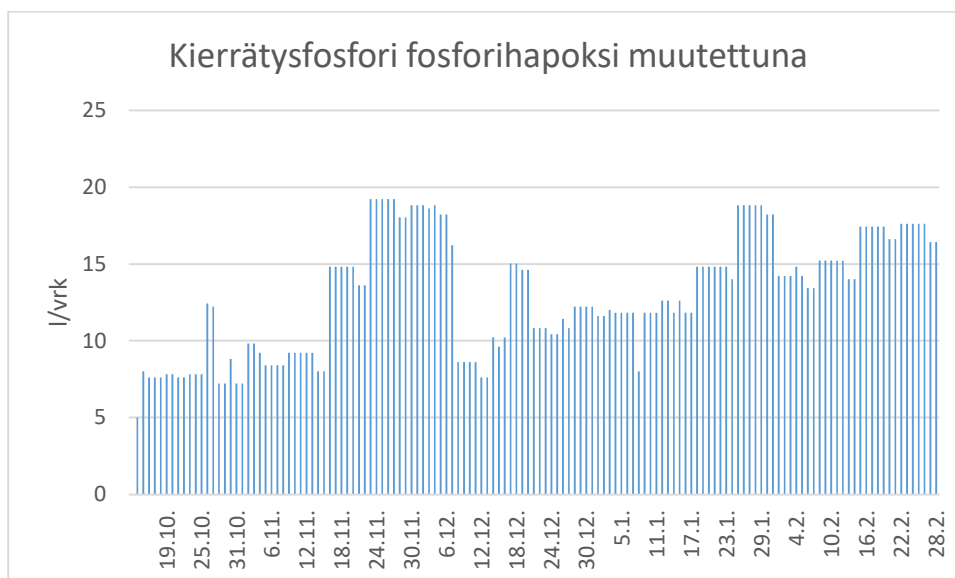
Jätevedenpuhdistamolle annostellussa ureassa typpeä on noin 46 %. Kuvassa 26 on rejektivedestä saatu typpi muutettuna tarvittaviksi ureakiloiksi vuorokaudessa, mikäli rejektivettä ei olisi käytetty.



Kuva 26. Koeajon aikainen rejektiveden sisältämä typpi ureakiloiksi muutettuna.

Ilman rejektivettä ja sen sisältämää tyyppiä urean annostelu olisi ollut 300–700 kg vuorokaudessa toteutunutta annostelua suurempi. Koeajon lopussa rejektiveden sisältämän tyypin käyttökelpoisuutta jouduttiin laskemaan, mikä näkyi koeajojakson lopussa pienempänä määränä, vaikka rejektiveden vuorokausiannos oli sama kuin marraskuussa jaksolla 2.

Jäteveden puhdistusprosessiin annosteltu fosforihappo sisältää puhdasta fosforia noin 32 %. Koska fosforihappoa annostellaan litroittain, on kuvassa 26 rejektiveden mukana annosteltu fosfori muutettu vastaavan määrän fosforia sisältäväksi fosforihapoksi.



Kuva 27. Koeajon aikainen rejektiveden sisältämä fosfori H_3PO_4 -litroiksi muutettuna.

Koeajojakson aikana annosteltu fosforihapon päivittäinen määrä vaihteli 20–150 litran välillä. Kuvasta 27 näkyy, että rejektiveden sisältämä fosfori korvasi 96 m³ vuorokausiannoksella sellaisenaan annostellusta fosforihaposta alle 20 litraa.

6.11 Kierrätysravinteiden käyttö tulevaisuudessa

Koeajon aikana rejektivettä kuljetettiin Riihimäeltä ja Kouvolasta säiliöautolla useampi kuorma vuorokaudessa. 96 m³ vuorokausiannostelun aikana Riihimäeltä tuotiin kaksi kuormaa päivittäin, ja Kouvolasta arkipäivisin yksi kuorma. Koska rejektiveden sisältämästä typestä koeajon lopussa laskettiin käyttökelloseksi enää 70 %, korvasi se typestä hieman reilu 20 %. Jos kierrätysravinteilla haluttaisiin korvata puolet annostellusta typestä, pitäisi rejektivettä pystyä toimittamaan kaksinkertainen määrä. Riihimäen biokaasulaitos on matkallisesti kaukana Kouvolasta (120 km), ja myös laitoksen rejektiveden toimituskapasiteetti tulee vastaan, mikäli rejektivettä pitäisi toimittaa kaksinkertainen määrä. Gasumin biokaasulaitokselta Kouvolasta saatava rejektivesi on sen sisältämien ravinteiden osalta sen verran laimeampaa, että pelkästään sieltä saatava rejektivesi ei tulisi riittämään. Rejektivettä olisi mahdollista saada lisää toimitettua Huittisten biokaasulaitokselta, mutta sieltä etäisyys Kouvolaan on jo 260 km.

Rejektiveden sisältämä kiintoaine saattaisi myös koitua pitkällä aikavälillä puhdistamolla ongelmaksi. Vaikka rejektiveden kiintoainepitoisuus on verrattain pieni, tulee siitä kuitenkin kohtuullisesti ylimääräistä kuormaa puhdistamolle etenkin, mikäli nykyisen kaltaista rejektivettä toimitettaisiin vaadittava määrä, jotta puolet ravinteista saataisiin korvattua. Puhdistamo toimii nykyiselläänkin jo kapasiteettinsa ylärajoilla, joten kaikki ylimääräinen kuorma olisi hyvä saada eliminoidua. Biokaasulaitosten kaukainen sijainti UPM Kymiin nähden ei myöskään ole optimaalinen. Mikäli kierrätysravinnetta pitäisi toimittaa puhdistamolle useampi säiliöautollinen vuorokaudessa, olisi tarpeeksi lähellä sijaitseva tuotantolaitos kustannusten ja ympäristövaikutusten minimoinnin kannalta tärkeä. Rejektiveden ravinnepitoisuutta pitäisi saada nostettua, jotta toimitus olisi jär-

kevää. Tämä lienee kuitenkin nykytilanteessa mahdotonta niin kauan, kun rejektivesi olisi käytössä sellaisenaan, eli suoraan biokaasun valmistusprosessista muodostuneena sivuvirtana.

Jätevedenpuhdistamolla ilmastuksen lietteessä havaitut muutokset vaatisivat tarkempaa tutkimusta, mikäli rejektiveden annostelu aiotaan aloittaa pysyvästi. Lietteessä havaittu rihman kasvu ei ole yksiselitteisesti rejektivedestä johtuvaa. Lietteanalyysissä havaittua *Nostocoida limicola* -tyypin bakteeria on koeajon aikana esiintynyt lietteessä runsaammin, mutta viitteitä kyseisen bakteerin olemassaolosta on löytynyt jo koeajoa edeltävältä kesältä. Koeajon alettua rihman määrä on kuitenkin selvästi kasvanut, joten jokin rejektiveden sisältämä aines tai mikrobikanta saattaa laukaista rihmojen kasvun. *N. limicola* esiintyy erityisesti jätevedenpuhdistamoilla, joissa jätevedet tulevat kotitalouksista. Koeajossa käytetystä rejektivedestä noin puolet tulee kunnallisilta jätevedenpuhdistamoilta, joten rejektiveden mukana on puhdistamolle tullut enemmän käymälävesiä kuin mitä normaalisti prosessiin tulee.

Voi myös olla, että rejektiveden tyyppistä on ollut käyttökelpoista pienempi osuus kuin mitä ravinnelaskelmissa on otettu huomioon, ja prosessi on kärsinyt tyyppien puutteesta koeajon aikana. Tämä puolestaan on voinut aiheuttaa rihmamaisille bakteereille suotuisat elinolosuhteet flokinmuodostajabakteerien kustannuksella. Yksi vaihtoehto rihmamaisten bakteerien ilmaantumisen syistä voi olla rejektivedessä olevat bakteerit, jotka alkaisivat kuljetuksen aikana lisääntymään säiliössä. Vaikka rejektivesi hygienisoidaan tunnin ajan 70 °C:n lämpötilassa, ei se kuitenkaan riitä tappamaan aivan kaikkia bakteereita. Hapettomissa olosuhteissa viihtyvät bakteerit voivat alkaa muodostaa elinvoimaista bakteerikantaa ennen kuin rejektivesi päättyy puhdistamolle. Miten tämä bakteerikanta käyttäytyy ilmastuksessa, kilpaileeko se ravinteista aktiivilietteen mikrobien kanssa tai syrjäyttääkö se vanhan mikrobikannan kokonaan tai osittain? *N. limicola* -rihmastoa esiintyy harvemmin tässä mittakaavassa muilla teollisilla jätevedenpuhdistamoilla, joten sen syntyperä ja sille suotuisat olosuhteet olisi hyvä selvittää.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Koeajon aikana tehdyt havainnot ja laboratorioanalyysien tulokset tukevat sitä johtopäätöstä, että kyseinen rejektivesi ei sellaisenaan ole kelvollinen kierrätysravinne jätevedenpuhdistamolle. Rejektivesi on ravinnepitoisuuksiltaan liian laimeaa, jotta sitä kannattaisi käyttää korvaamaan teollisesti valmistettua ureaa ja fosforihappoa. Vaikka rejektiveden kiintoainepitoisuus on kohtuullisen matala, niin riittävä rejektiveden annostelumäärä nostaisi jätevedenpuhdistamolle tulevan kiintoaineen absoluuttisen määrän sen verran suureksi, että se alkaisi mahdollisesti jo häiritä biologista prosessia. Rejektiveden saatavuus Kymin tehtaalle nousee myös ongelmaksi, sillä rejektivettä toimittavat laitokset ovat maantieteellisesti sen verran kaukana, että useamman kuorman toimittaminen vuorokaudessa ei ole kustannustehokasta eikä ympäristöystävällistä.

Rejktiveden koostumusta pitäisi saada muutettua ravinnerikkaammaksi, sekä rejktiveden sisältämä kiintoaine poistettua vielä paremmin. Rejktiveden bakteerikannan vaikutus aktiivilietelaitoksen mikrobien toimintaan tulisi myös tutkia tarkemmin. Myös rejktiveden saatavuus niin määrällisesti kuin logistisesti tulisi ratkaista, ennen kuin rejktiveden jatkuvaa käyttöä Kymin tehtailla voidaan harkita.

LÄHTEET

Dahl, O. 2008. Papermaking Science and Technology. Environmental Control. Second edition. Puunjalostusinsinöörit ry:n julkaisuja. Jyväskylä: Gummerus Printing.

Forest Biofacts. 2021. Effluent treatment characteristics. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://forestbiofacts.com/> [viitattu: 18.3.2021]

Itä-Suomen ympäristölupavirasto. 2007. UPM-Kymmene Oyj:n Kymin tehtaiden ympäristölupa sekä toiminnan aloittamislupa, Kuusankoski. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://docplayer.fi/29028446-Upm-kymmene-oyj-n-kymin-tehtaiden-ymparistolupa-seka-toiminnan-aloittamislupa-kuusankoski.html> [viitattu: 3.3.2021]

Karttunen, E. 2004. Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin liitto RIL r.y.

Marshall, R. 2008. Best Management Practices Guide for Nutrient Management in Effluent Treatment. Forest Products Association of Canada. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://en.calameo.com/read/000126814e0a757adca74> [viitattu: 22.3.2021]

Nalco Water. 2018. The Nalco Water Handbook. Fourth Edition. USA: McGraw Hill Education.

Ojanen, P. 2001. Metsäteollisuuslaitosten jätevedenpuhdistuksen vaihtoehdot sekä niiden toimintaan ja energiankulutukseen vaikuttavat tekijät. Kaakkois-Suomen Ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 185.

Puustinen, J. 1993. Ravinteiden käytön optimointi metsäteollisuuden aktiivilietelaitoksessa. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 128. PDF-dokumentti. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/216751> [viitattu: 17.11.2020]

Satosalmi, A-M. 2021. Tuotannon suunnittelun päällikkö. Puhelu 22.1.2021. Gasum Oy.

Ukkonen, M. 2005. Metsäteollisuuden jätevesien häiriöpäästöt ja niihin varautuminen. Kaakkois-Suomen Ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 388. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://docplayer.fi/52205584-Metsateollisuuden-jatevesien-hairiopaastot-ja-niihin-varautuminen-case-kaakkois-suomi.html> [viitattu: 28.3.2021]

UPM Kymi lyhyesti – sellua, paperia, energiaa. 2020. UPM Kymi. Esite.

UPM. s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/UPM> [viitattu: 7.1.2021]

UPM Kymi. 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.upmpulp.com/fi/upm-kymi/> [viitattu: 7.1.2021]

Violainen, P. 2017. Metsäteollisuudessa syntyvien biohajoavien jätteiden hyötykäyttötilanne ja -mahdollisuudet. Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 54/2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-314-620-4> [viitattu: 28.3.2021]