

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

Opinnäytetyö

Niina Oikarinen

**SENNAPALKOJÄTTEEN HYÖTYKÄYTTÖ JÄTEVEDEN-
PUHDISTUKSESSA**

Työn ohjaaja DI Anne Ojala
Työn teettäjä Santen Oy, valvojina ylityönjohtaja Pasi Kapanen sekä turvallisuus- ja
ympäristöpäällikkö Sari Korhonen
Tampere 2008

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikka

Oikarinen, Niina

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Sennapalkojätteen hyötykäyttö jätevedenpuhdistuksessa

62 sivua + 8 liitesivua

DI Anne Ojala

Santen Oy, valvojina ylityönjohtaja Pasi Kapanen sekä turvallisuus- ja ympäristöpäällikkö Sari Korhonen

Huhtikuu 2008

Hakusanat

senna, metanoli, jätevedenpuhdistus, kokonaistyyppi, nitrifikaatio, denitrifikaatio,

TIIVISTELMÄ

Tamperelaisen lääketehdas Santen Oy:n sennosidituotannossa syntyy vuosittain noin 700 tonnia metanolipitoista sennapalkojätettä. Metanolipitoisuutensa vuoksi sennapalkojäte on määritelty ongelmajätteeksi ja aikaisemman kompostoinnin sijaan sille on jouduttu etsimään muita käsittelytapoja.

Työn tarkoituksena oli tutkia sennapalkojätteeseen sitoutuneen metanolin liukoisuutta sekä kartoittaa vaihtoehtoja käsittelytapaa, jossa sennapalkojätettä hyödynnettäisiin jätevedenpuhdistuksessa. Puhdistusprosessin kokonaistyyppipoistossa palkojätteen sisältämä metanoli toimisi lisähiililähteenä tyyppä poistaville bakteereille.

Sennapalkojätteeseen sitoutuneen metanolin liukoisuutta tutkittiin kokeilla, joissa sennapalkojätettä liuotettiin ionivaihdettuun veteen, esiselkeytettyyn jäteveteen, aktiivilietteeseen sekä mädättämölietteeseen. Soveltuvuutta jätevedenpuhdistukseen tutkittiin metanolin liukenevuuden, biokemiallisen ja kemiallisen hapenkulutuksen, kokonaisfosforin ja ammonium- ja nitraattitypen määritysten avulla.

Laboratorioanalyysien perusteella suhteellisen suuri metanolimäärä nosti huomattavasti jäteveden biokemiallista ja kemiallista hapenkulutusta. Sennapalkojäte ei lisännyt ammonium- ja nitraattitypen määrää ja kokonaisfosforipitoisuuttakin vain vähän.

Liuotuskokeiden perusteella metanolia liukeni kilogrammasta palkojätettä keskimäärin 215 g. Vuodessa sennapalkojätteestä saataisiin metanolia 150 400 kg. Jos Tampereen Veden Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla toteutettaisiin kokonaistyyppipoisto, sennapalkojätteestä saatava metanoli vastaisi noin 12 %:a jätevedenpuhdistamon vuosittaisesta lisähiililähteestä.

TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Chemical Engineering

Oikarinen, Niina

Utilization of sennapod waste in wastewater treatment

Engineering Thesis

62 pages + 8 appendices

Thesis Supervisor

Anne Ojala (MSc)

Commissioning Company

Santen Oy, Supervisors Pasi Kapanen (general foreman) and Sari Korhonen (safety and environmental manager)

April 2008

Keywords

senna, methanol, wastewater treatment, total nitrogen, nitrification, denitrification,

ABSTRACT

A medical factory Santen Ltd. in Tampere produces in its sennosidprocess 700 ton of sennapod waste every year. The pod waste includes methanol and is thereby considered a hazardous waste. Earlier the pod waste has been composted but now alternative treatment methods have been sought for.

The aim of this thesis was to find out how methanol dissolves from the pod waste. Also the possibility of using the pod waste in wastewater treatment was examined. In this application the methanol in sennapod waste would act as an extra carbon source for the denitrifying bacteria.

Dissolving methanol from the sennapod waste was examined with laboratory tests. In these tests the pod waste was dissolved into ionexchanged water as well as partially treated wastewater and into sludges from aeration tank and digester. The solubility of methanol, biochemical and chemical oxygen demand and the amounts of total phosphorus, ammonium and nitrate were also determined.

In the laboratory tests methanol was found to affect significantly biochemical and chemical oxygen demand. The sennapod waste did not add the amounts of ammonium and nitrate in wastewater. Instead the amount of total phosphorus increased slightly.

On average 215 g methanol dissolved from a kilogram of sennapod waste. Based on these findings, in one year the amount of methanol in pod waste would be 150 400 kg. If denitrification process was realized at Tampere Water Viinikanlahti wastewater treatment plant, the methanol from sennapod waste would account for approximately 12 % of the annual extra carbon source addition.

ALKUSANAT

Opinnäytetyö tehtiin Santen Oy:n toimeksiannosta ja yhteistyössä Tampereen Veden kanssa. Työ osoittautui mielenkiintoiseksi sekä haastavaksi. Lisähaastetta toi myös kiireinen aikataulu.

Kiitokset aiheen saamisesta, avusta ja neuvoista kuuluvat Santen Oy:n sennosidi-tuotannosta vastaavalle Pasi Kapeselle sekä turvallisuus- ja ympäristöpäällikkö Sari Korhoselle. Kiitän myös Tampereen Veden kehityspäällikkö Harri Jokelaa, prosessiteknikko Heikki Sandelinia sekä laboratoriomestari Marja Pitkästä yhteistyön tekemisestä ja hyvistä neuvoista. Erityiskiitoksen ansaitsee lisäksi Tampereen Veden viemärlaitoksen laboratorion henkilökunta, josta oli suurta apua laboratoriokokeiden teossa.

Tutkintotyön ohjaaminen kuului Tampereen ammattikorkeakoulun lehtori Anne Ojalalle. Kiitän häntä palautteesta ja opastuksesta.

Tampereella huhtikuussa 2008

Niina Oikarinen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO	5
MÄÄRITELMÄT	8
1 JOHDANTO	10
2 SANTEN OY	10
2.1 Senna	12
2.2 Metanoli	13
2.3 Sennosidin tuotantoprosessi ja palkojätteen muodostuminen	14
2.4 Sennapalkojätteen hyödyntäminen	16
2.4.1 Vaihtoehtoiset käsittelytavat	16
2.4.2 Palkojätteeseen sitoutuneen metanolin hyödyntäminen	17
3 TAMPEREEN VESI	18
3.1 Vedenhankinta ja jakelu	18
3.2 Viemäröinti ja jätevedenkäsittely	19
4 JÄTEVEDENPUHDISTUS YLEISESTI	19
4.1 Mekaaninen puhdistus ja esikäsittely	20
4.2 Kemiallinen saostus	21
4.3 Biologinen puhdistus	22
4.3.1 Aktiivilietemenetelmä	22
4.3.2 Lietteen käsittely	23
4.4 Typenpoisto	24
4.4.1 Nitrifikaatio	24
4.4.2 Denitrifikaatio	25
4.4.3 Metanolilla tehostetut biologiset typenpoistomenetelmät	26
4.5 Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi	28
4.5.1 Mekaaninen puhdistus	29
4.5.2 Kemiallinen saostus	29
4.5.3 Biologinen puhdistus	29
4.5.4 Lietteenkäsittely	30

5	SENNAPALKOJÄTTEEN HYÖDYNTÄMINEN JÄTEVEDEN- PUHDISTUSPROSESSISSA.....	31
5.1	Metanolilla tehostettu kokonaistypenpoisto muilla puhdistamoilla.....	31
5.2	Sennapalkojäte kokonaistypenpoistossa Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla..	32
6	TUTKIMUSSUUNNITELMA.....	34
7	TUTKIMUSMENETELMÄT JA TYÖN SUORITUS.....	35
7.1	Biokemiallinen hapenkulutus (BOD).....	35
7.2	Kemiallinen hapenkulutus (COD).....	36
7.3	Typpiyhdisteet.....	38
7.4	Kokonaisfosfori.....	40
7.5	Laboratoriokokeiden suoritus.....	41
7.5.1	Kokeet ionivaihdetulla vedellä.....	41
7.5.2	Kokeet esiselkeytetyllä jätevedellä.....	42
7.5.3	Kokeet aktiivilietteellä.....	43
7.5.4	Kokeet mädättämölietteen kanssa.....	43
8	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	44
8.1	Metanolipitoisuus.....	44
8.2	Kokeet ionivaihdetulla vedellä.....	47
8.2.1	BOD _{7ATU}	47
8.2.2	COD _{Cr}	47
8.2.3	Nitraatti- ja ammoniumtyppi.....	48
8.2.4	Kokonaisfosfori.....	48
8.3	Kokeet esiselkeytetyllä jätevedellä.....	49
8.3.1	BOD _{7ATU}	49
8.3.2	COD _{Cr}	49
8.3.3	Nitraatti- ja ammoniumtyppi.....	50
8.3.4	Kokonaisfosfori.....	50
8.4	Kokeet aktiivilietteellä.....	50
8.4.1	BOD _{7ATU}	51
8.4.2	COD _{Cr}	51
8.4.3	Kokonaisfosfori.....	53
8.5	Mädättämölietekoe.....	54

9	YHTEENVETO KOKEIDEN TULOKSISTA JA PÄÄTELMÄT.....	55
	LÄHTEET	59

LIITTEET

LIITE 1	Kuvia Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolta
LIITE 2	Sennapalkojätteestä saatava vuosittainen metanolimäärä
LIITE 3	Analyysien tulokset sennapalkojätteen liuotuskokeista Milli-Q-veteen
LIITE 4	Analyysien tulokset sennapalkojätteen liuotuskokeista esiselkeytettyyn jäteveeseen
LIITE 5	Analyysien tulokset sennapalkojätteen liuotuskokeista aktiivilietteeseen

MÄÄRITELMÄT

Alkaliteetti: Kuvaa veden puskurikapasiteettia ja määrää veden pH-arvon kemikaalin lisäyksen jälkeen. Kertoo, kuinka paljon happoa tulee lisätä, jotta pH-arvo laskee määrättyyn arvoon.

Anoksinen: Olosuhde, jossa ei ole läsnä liukoista happea.

Autotrofinen: Bakteeri, joka käyttää hiilen lähteenä hiilidioksidia.

BOD: Biological Oxygen Demand, kuvaa veden biokemiallista hapenkulutusta.

Blank-näyte: Näyte, joka tehdään mahdollisten häiritsevien tekijöiden eliminoimiseksi.

COD: Chemical Oxygen Demand, kuvaa veden kemiallista hapenkulutusta.

Denitrifikaatio: Nitriitin tai nitraatin muuttuminen typpikaasuksi.

DN-prosessi: Prosessi, jossa tapahtuu ensin denitrifikaatio ja sen jälkeen nitrifikaatio.

Eluentti: Liikkuva faasi.

Endogeeninen: Sisäinen, sisäsyntyinen.

Heterotrofinen: Bakteeri, joka käyttää hiilen lähteenä orgaanisia yhdisteitä.

Kertanäyte: Halutun kokoinen näyte, joka otetaan määrättyllä hetkellä kyseisestä jakeesta ottamatta huomioon jakeen määrällisiä tai laadullisia muutoksia.

Kontrollinäyte: Tarkistusnäyte, jonka tarkka pitoisuus tiedetään ja jonka avulla analyysimenetelmän luotettavuus todetaan.

ND-prosessi: Prosessi, jossa tapahtuu ensiksi nitrifikaatio ja sen jälkeen denitrifikaatio.

Nitrifikaatio: Ammoniumtyypen hapettaminen nitriitin kautta nitraatiksi.

Nollanäyte: Tarkistusnäyte, jossa tavallisesti käytetään vettä.

Reduktio: Poistoteho.

Retentioaika: Aika, joka kuluu näytteen injektoinnista sen saapumiseen detektorille.

Stationäärifaasi: Paikallaan pysyvä faasi.

1 JOHDANTO

Tamperelainen lääketehdas Santen Oy uuttaa sennosidituotannossaan sennapaloista metanoli-vesiliuoksella lääkeräka-aineena käytettäviä sennosideja. Tuotannosta syntyy vuosittain paljon sennapalkojätettä. Palkojäte on aikaisemmin kompostoitu yhdyskuntajätteen kanssa kunnallisella kaatopaikalla, mutta vuonna 2005 Pirkanmaan ympäristökeskuksen laboratoriossa tehdyn tutkimuksen mukaan palkojäte on luokiteltu ongelmajätteeksi sen sisältämän metanolin vuoksi. Tämän takia sennapalkojäte on toimitettu vajaan kahden vuoden ajan ongelmajätteenkäsittelylaitos Ekokem Oy:lle poltettavaksi. /20./

Vuosittaisten suurten palkojättemäärien, pitkien kuljetusmatkojen, suurten käsittelymaksujen sekä Pirkanmaan ympäristökeskukselta tulleen vaihtoehtoisten käsittelytapojen etsimisveloitteen vuoksi syntyi tarve suunnitella ja testata sennapalkojätteen hyötykäyttöä. Sennapalkojätteen vaihtoehtoisia käsittelytapoja on jo aikaisemmin tutkittu, mutta erilaisten ongelmien, lähinnä ympäristölupamääräysten ja -veloitteiden vuoksi, ne eivät kuitenkaan ole olleet toimivia. /20./

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa sennapalkojätteen vaihtoehtoista käsittelytapaa, jossa taustalla oli Santen Oy:n idea palkojätteen hyödyntämisestä jätevedenpuhdistuksessa. Tarkoituksena oli selvittää sennapalkojätteen soveltuvuutta jätevedenpuhdistuksessa kokonaistypenpoistoprosessiin ja tutkia palkojätteessä sitoutuneena olevan metanolin liukoisuutta sekä liunneen metanolin hyödyntämistä lisähiililähteenä jätevedenpuhdistuksessa. Tutkimuskohteena tässä työssä käytettiin Tampereen Veden Viinikanlahden puhdistamo. Työ on tehty Santen Oy:n toimeksiannosta ja yhteistyössä Tampereen Veden kanssa.

2 SANTEN OY

Santen Oy:n emoyhtiö Santen Pharmaceutical Co., Ltd. on silmäsairauksien hoidossa käytettäviin lääkkeisiin erikoistunut japanilainen yritys, ja se perustettiin Osakassa vuonna 1890. Santen Pharmaceutical Co., Ltd. on yksi maailman johtavista silmälääkeyrityksistä sekä samalla Japanin suurin reseptisilmälääkkeiden

valmistaja. Sillä on useita tytäryhtiöitä Yhdysvalloissa, Euroopassa ja Aasiassa.
/37./

Suomen Santen Oy:n historia alkaa vuodesta 1997, jolloin japanilainen emoyhtiö osti lääketehdas Oy Star Ab:n liiketoiminnan. Santen Oy valmistaa glaukooman eli silmänpainetaudin ja silmän etuosan sairauksien hoitoon tarkoitettuja lääkkeitä.
/37./ Tuotteita ovat esimerkiksi liuosmaiset silmälääkkeet, injektiooliukset sekä lääke-raaka-aineena käytettävät sennosidit, joita tuotetaan erillisessä tuotantoyksikössä. Laitoksessa toimii viisi laboratoriota, ja lisäksi on hallinnollisia osastoja ja varastoja tuotteille, lääkeräaka-aineille sekä pakkausmateriaaleille. Tuotannossa tarvittavaa höyryä tuotetaan tehtaan omassa kattilalaitoksessa. /36./

Santenin Euroopassa ja Amerikassa markkinoitavien tuotteiden valmistus on keskittynyt Suomeen. Santen Oy:n Euroopan tuotekehitys- ja tutkimusyksikkö sijaitsee Tampereen Ruskossa (kuva 1) ja kliininen tutkimusosasto Helsingissä. Suomessa sijaitseva tuotantolaitos on korkeatasoinen, ja se on investoinut paljon toimintansa kehittämiseen. Sen tavoitteena onkin olla yksi Euroopan johtavista silmälääkeyrityksistä. Suomen Santenilla on työntekijöitä noin 440. /37./



Kuva 1. Santen Oy, Tampere /34/

Santen Oy kuuluu kansainväliseen kemianteollisuuden Responsible care - Vastuu Huomisesta -ympäristöohjelmaan. Ohjelma velvoittaa muun muassa ottamaan huomioon ympäristönäkökohdat ja rajoittamaan haittoja. Kaatopaikalle loppusijoitettavien jätteiden määrää on saatu pienennettyä 45 % vuoden 1999 jälkeen. Tämä on ollut mahdollista keräämällä erikseen palavat jätteet hyödynnettäviksi energiantuotannossa ja parantamalla jätteiden lajittelua. Päästöjä on myös vähennetty 39 % vuodesta 2001 teknisin toimenpitein. /37./

2.1 Senna

Laajalti tropiikkiin ja lämpimänlauhkeille alueille levittäytyneeseen senna- eli *Cassia*-sukuun kuuluu noin 500–600 puu-, pensas- ja ruoholajia. Suvun kasveilla lehdet ja korvakkeet ovat tasapariset, ja niillä on tyypillisesti keltaiset kukat, joissa on viisi verho- ja terälehteä. Kasvien palkohedelmä, jonka valemäiset jakavat osiin, on monisiemeninen ja muodoltaan litteä tai liereä tai joskus nelisärmäinen. /6, s. 1766./

Sennalla on useita farmaseuttisia käyttökohteita ja arabialaiset lääkärit alkoivat käyttää sitä jo 800- ja 900-luvuilla /6, s. 1766/. Sitä käytetään yleisesti ainesosana tietyissä laksatiiveissa /10, s. 207/. Joko kuivatuista paloista tai lehdistä uuttamalla saatavaa lääkeaineosaa tuotetaan pääasiassa kahdesta lajista. Niitä ovat aleksandriansenna (*Cassia senna*, *C. Acutifolia*) (kuva 2) ja intiansenna (*C. angustifolia*). Egyptistä, Saharasta ja Sudanista kotoisin olevaa monivuotista pensasta, aleksandriansennaa, viljellään Sudanin pohjoisosien hiekkamaassa. Sen farmaseuttinen vaikutus perustuu A- ja B-sennosidi-nimisiin aineisiin. Eteläisessä Intiassa viljeltävän, Arabiasta ja Somaliasta kotoisin olevan intiansennan vaikuttavana aineena ovat emodiini ja sen sukuiset glykosidit. /6, s. 1766./



Kuva 2. *Cassia acutifolia* /23/

2.2 Metanoli

Metanoli (CH_3OH) on helposti syttyvää ja väritöntä nestettä /42/. Metanolista käytetään myös muita nimiä, kuten metyylialkoholi, puusprii ja karbinoli /27/. Metanoli on vettä kevyempää ja sen tiheys on 792 g/l /7/. Väkevänä liuksena se on pistävän hajuista, mutta laimeissa liuksissa sen haju on kuitenkin lähes tunnistamaton /42/. Se liukenee veteen, toisiin alkoholeihin, eetteriin, ketoneihin, estereihin ja muihin orgaanisiin liuottimiin. Metanoli liuottaa lakkoja, maaleja ja rasvoja sekä syövyttää alumiinia ja lyijyä. Se on yhteen sopimaton voimakkaiden hapettimien kanssa ja voi reagoida voimakkaasti perkloorihapon, kromitrioksidin, lyijyperklooraatin tai fosforitrioksidin kanssa. /27./ Taulukkoon 1 on koottu metanolin fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia.

Taulukko 1. Metanolin fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia /7/

Molekyylikaava	CH ₃ OH
Olomuoto, väri, haju	Väritön neste, ominaishaju
Suhteellinen tiheys	0,792 g/cm ³ (20 °C)
Kiehumispiste	64,6 °C
Leimahduspiste	11 °C
Höyrinpaine	128 hPa (20 °C)
Vesiliukoisuus	Liukenee erittäin hyvin veteen
Rasvaliukoisuus	Liukenee etanoliin, eetteriin, benseeniin ja ketoneihin

Metanolia valmistetaan korkeassa paineessa vedystä, hiilimonoksidista ja hiilidioksidista muodostuvasta synteesikaasusta metallikatalyyttien avulla. Metanolia käytetään yleisesti liuottimena, polttoaineena ja jäätyminenestoaineena ja valmistettaessa erilaisia kemikaaleja, kuten formaldehydiä, natriumtetra-
boorihydridiä, metyyli*tert*-butyylietteriä (MTBE), muurahaisappoa, etikka-
happoa ja metyyliestereitä. Yksisoluproteiinien tuotannossa käytetään metanolia
hiililähteenä ja se on tulossa myös käyttöön polttokennoissa. /27./

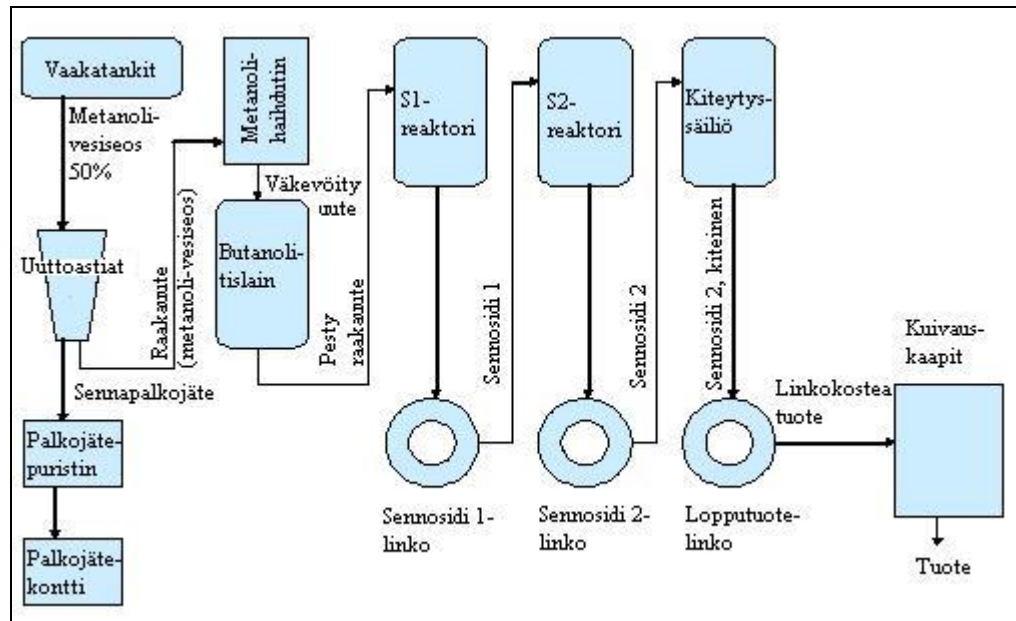
Metanoli sekoittuu helposti veteen ja haihtuu /35/. Metanoli on helposti biohajoava,
ja se hajoaa luonnossa valokemiallisesti sekä eliöiden vaikutuksesta /27; 35/. Sen
puoliintumisaika on noin 18 päivää, ja se hajoaa ilmassa hydroksyyli-radikaalien
vaikutuksesta. Biologisessa jätevedenkäsittelyssä hajoavat myös erittäin pienet
pitoisuudet. /28./

Metanoli on elimistölle vaarallista, sillä jo 20–60 ml annos voi aiheuttaa
myrkytyksen /1, s 228/. Aineenvaihduntatuotteena syntyy formaldehydiä. Sen
reaktiot solujen proteiinien kanssa saavat aikaan silmän verkkokalvovaurioita,
sokeutta, kouristuksia, hengitysvaikeuksia ja lopulta jopa kuoleman /1, s. 228; 5,
s. 69–70/.

2.3 Sennosidin tuotantoprosessi ja palkojätteen muodostuminen

Santen Oy uuttaa Tampereen tehtaallaan sennapaloista sennosidi-lääkeuutetta, jota
käytetään vaikuttavana aineena eräissä laksatiivisissa valmisteissa. Tuotanto

perustuu arkipäivinä kahdessa vuorossa pyörítettävään panosprosessiin (kuva 3).
 /20./



Kuva 3. Sennosidin tuotantoprosessi /26/

Kasvin palot hankitaan Sudanista, missä ne kerätään käsin ja kuivatetaan auringossa. Sen jälkeen ne paalataan ja tuodaan Suomeen laivalla. Kuivatuista kasvipaloista uutetaan uuttoaastioissa sennosidia 50 %:n metanoli-vesiliuoksella. /20./ Uutos väkevöidään haihduttamalla, ja käytetty liuotin otetaan talteen uudelleenkäyttöä varten /36/. Vesi- ja metanolipitoinen sennapalkko puristetaan uuton jälkeen hydraulipuristimella mahdollisimman kuivaksi, minkä jälkeen sen kosteusprosentti on noin 50. Kosteudesta noin puolet on metanolia. Puristuksessa syntyvä sennapalkojäte pakataan kontteihin ja toimitetaan Ekokemille poltettavaksi. /20./ Puristuksessa talteen otettu vesi-metanoli-seos käytetään uudelleen uuttoprosessiin /36/.

Epäpuhtaudet saadaan poistettua sennosidiuutteesta lisättäessä siihen eri vaiheissa butanolia, rikkihappoa, ditioniittia ja natriumhydroksidia. Prosessin jätteenä syntyy butanoli- ja rikkipitoista pelkistysliuosta. Sennosidiuute sentrifugoidaan ja kuivataan lämpökaapeissa tiettyyn kosteuspitoisuuteen. Viimeisenä vaiheena on tuotteen jauhatus, pakkaus ja analysointi. /36./

Sennosideja valmistetaan vuosittain noin 12 tonnia ja prosessissa muodostuu noin 700 tonnia sennapalkojätettä. Prosessijäteliuoksen vastaava määrä on vuodessa noin 300 tonnia. /36./

2.4 Sennapalkojätteen hyödyntäminen

Vuosittain muodostuvien suurten sennapalkojättemäärien vuoksi palkojätettä on pyritty hyödyntämään monilla tavoin. Sennapalkojätteen ongelmajättestatuksen vuoksi on kartoitettu vaihtoehtoisia käsittelytapoja aikaisemman kompostoinnin sijaan. Suunnitteilla on ollut esimerkiksi palkojätteen pelletöinti ja poltto erillisessä laitoksessa. Erilaisten ongelmien vuoksi suunnitelmat eivät kuitenkaan ole olleet toteutumiskelpoisia, vaan sennapalkojäte on jouduttu toimittamaan Ekokem Oy:n ongelmajätelaitokselle poltettavaksi. Näin toimitaan nykyisinkin, mutta tulevaisuudessa vaihtoehtona voisi mahdollisesti olla palkojätteen hyödyntäminen jätevedenpuhdistuksessa.

2.4.1 Vaihtoehtoiset käsittelytavat

Kompostointi

Sennapalkojätettä on aikaisemmin hyödynnetty kunnallisessa yhdyskuntajätteen kompostointiprosessissa. Se on todettu toimivaksi. Tehtyjen tutkimusten ja uusien säädösten vuoksi palkojätteen sisältämä metanolimäärä on todettu liian suureksi, ja sen vuoksi palkojäte on määritelty ongelmajätteeksi. Ongelmajätteen käyttö kompostoinnissa vaatisi ongelmajätteen käsittelyluvan. /26./

Pelletöinti

Suunnitteilla on ollut myös sennapalkojätteen pelletöinti. Se ei ole kuitenkaan onnistunut, koska palkojäte sisältää liikaa kosteutta. Jotta pelletöinti olisi mahdollista, vaatisi palkojäte jatkuvausta varten erillisen kuivaus- ja metanolin talteenottolaitteiston. Tekninen toteutus vaatisi suuret laitteistot ja tilantarpeen. Lisäksi se ei olisi taloudellisesti kannattavaa suurten investointikustannusten vuoksi. /26./

Poltto

Etuna sennapalkojätteen polttamisessa polttolaitoksessa olisi sen sisältämän energian hyödyntäminen. Metanolin haihtumisongelmia ei olisi suljetun prosessin ansioista. Jätteen syöttö tosin voisi olla ongelmallista, ja se vaatisi ongelmajätteen käsittelyluvan. Kuljetusmatkat polttolaitokseen voisivat olla pitkiä ja näin lisääisivät päästöjä. /26./

Poltto ongelmajätteenkäsittelylaitoksessa

Aikaisemman kompostoinnin sijaan sennapalkojäte on toimitettu noin kahden vuoden ajan ongelmajätteenkäsittelylaitokselle Ekokem Oy:lle Riihimäelle. Kuljetusmatkat on koettu pitkiksi ja jätteenkäsittelymaksut korkeiksi. Pitkien kuljetusmatkojen vuoksi myös kuljetuksen aiheuttamat päästöt ovat lisääntyneet. /26./

2.4.2 Palkojätteeseen sitoutuneen metanolin hyödyntäminen

Santen Oy:n sennosidituotannossa muodostuu vuosittain noin 700 tonnia sennapalkojätettä. Prosessin jälkeen palkojätteen kosteusprosentti on noin 50 ja kosteudesta noin puolet on metanolia. /20./ Sennapalkojätteen metanolipitoisuutta tutkitaan säännöllisesti ja metanolipitoisuuden määritykset suoritetaan Ekokem Oy:ssä. Vuonna 2007 tehtiin Ekokem Oy:ssä sennapalkojätteen metanolianalyysyjä neljä kertaa vuodessa ja kunakin kertana 10 määritystä /26/.

Koska sennapalkojäte sisältää metanolia ja se on sen vuoksi määritelty ongelmajätteeksi, ei vaihtoehtoisia ja kustannuksiltaan alhaisia käsittelytapoja ole juurikaan tarjolla. Metanoli olisi erotettava palkojätteestä, jotta hyödyntämismahdollisuuksia olisi enemmän. Aikaisempien sennapalkojätteen hyötykäyttöä koskevien tutkimusten mukaan metanoli liukenee helposti ja nopeasti palkojätteestä veteen /8/. Tällöin yksinkertaisin ja edullisin tapa erottaa metanoli palkojätteestä olisi liuotus.

Jätevedenpuhdistuksen kokonaistypenpoistovelvoitteet yleistyvät tulevaisuudessa. Puhdistamoissa, joita kokonaistypenpoistovelvoitteet koskevat, käytetään

metanolia lisähiililähteenä kokonaistypenpoistoprosessissa. Juuri metanolipitoisuutensa vuoksi Santen Oy:n sennosidituotannossa muodostuvan sennapalkojätteen hyötykäyttö voisi olla mahdollista esimerkiksi jätevedenpuhdistuksessa kokonaistypenpoistoprosessin denitrifikaatiovaiheessa. Jätevedenpuhdistusprosessissa palkojätteeseen sitoutunut metanoli voitaisiin liuottaa ensin jätevedellä ja hyödyntää sitten kokonaistypenpoistoprosessin lisähiililähteenä. Lopulta itse palkojäte voitaisiin toimittaa mädättämöön.

Vuonna 2007 Ekokem Oy:ssä tehtyjen analyysien metanolipitoisuuden keskiarvoksi saatiin 243 g metanolia/kg palkojätettä. /26./ Keskiarvon perusteella 700 tonnista sennapalkojätettä voitaisiin saada vuodessa noin 170 000 kg metanolia jätevedenpuhdistuksen käyttöön.

3 TAMPEREEN VESI

Tampereen Vesi kunnallisena liikelaitoksena tuottaa vettä päivittäiseen käyttöön koteihin ja teollisuuteen. Lisäksi se huolehtii jätevesien viemäröinnistä ja puhdistuksesta sekä veden toimituksesta Pirkkalaan. Tarpeen mukaan vettä toimitetaan Nokialle, Lempäälään sekä Kangasalle, ja sitä ostetaan myös Ylöjärven kunnalta. /40./

3.1 Vedenhankinta ja jakelu

Suurin osa Tampereella käytettävästä talousvedestä on valmistettu Roineesta otetusta pintavedestä ja loppuosa on pohjavettä. Roineen vettä käytetään vuosittain 12,5 miljoonaa kuutiometriä. Pohjavedenottoamaita sijaitsee Messukylässä, Hyhkyssä, Mustalammella, Julkujärvellä ja Pinsiössä. Kämmenniemen ja Polson vedenpuhdistamot sekä Kaupin vedenpuhdistuksen varalaitos ottavat raakavetensä Näsijärvestä. /40./

Tampereen Vesi puhdistaa vettä vuosittain 20 miljoonaa kuutiota yhteiskunnan käyttöön. Pinta- ja pohjaveden laatua tutkitaan Ruskon vedenpuhdistuslaitoksen

laboratoriossa. Ruskon vedenpuhdistuslaitoksella valmistetaan talousvettä. Lisäksi siellä valvotaan vedenhankintaa, pohjavedenottoa, paineenkorotuspumppaamoita ja vesisäiliöitä. /40./

Vesi johdetaan käyttäjilleen vesijohtoverkosta pitkin, joka Tampereen vedellä on pituudeltaan noin 700 km. Suurten korkeuserojen vuoksi verkostosta löytyy useita painepiirejä ja paineenkorotuspumppaamoja. /40./

3.2 Viemärointi ja jätevedenkäsittely

Tampereella toimii kaksi viemärointijärjestelmää. Keskusta-alueella on käytössä sekaviemärointi, jolla jäte-, sade- ja kuivatusvedet johdetaan jätevedenpuhdistamolle. Muualla toimivalla erillisviemäroinnillä johdetaan vain jätevedet puhdistamolle. Sade- ja kuivatusvedet johdetaan tällöin maahan imeytettäväksi tai suoraan vesistöön. Viemäriverkosto on pituudeltaan noin 1200 km. /40./

Tampereella on käytössä neljä jätevedenpuhdistamoja. Suurimmalla jätevedenpuhdistuslaitoksella eli Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla käsitellään Pispalanharjun itäpuolella muodostuvat jätevedet. Länsipuolen jätevedet toimitetaan taas Raholan jätevedenpuhdistamoon. Kämmenniemen ja Polson taajamien jätevedet käsitellään omilla jätevedenpuhdistamoilla. /40./

Jäteveden laatua tarkkaillaan viemärilaitoksen laboratoriossa. Laboratoriossa tehdään puhdistamoiden käytönohjauksen ja velvoitetarkkailun edellyttämät analyysit. Laboratorion tehtäviin kuuluu myös puhdistamoiden toiminnan ja lietteen laadun turvaamiseen liittyvä tarkastus- ja neuvontatoiminta. Lisäksi tehdään analyysejä teollisuuden jätevesien tarkkailuun liittyen. /39./

4 JÄTEVEDENPUHDISTUS YLEISESTI

Jätevedenpuhdistuksessa yhdyskuntien jätevedestä pyritään poistamaan sen sisältämät kiintoainepartikkelit, saostamaan fosfori ja hajottamaan orgaaninen aines

/11, s. 17/. Orgaanisen eli eloperäisen aineksen poistaminen on tärkeää, sillä joutuessaan vesistöön se hajoaisi, kuluttaisi vesistön happivarastoa ja häiritsisi järven ekologista tasapainoa. Fosforin ja typen poistaminen jätevedestä on myös oleellista, sillä fosfori on tärkein tekijä vesistöjen rehevöitymisessä. Typpi taas voi toimia ravinteena levätuotannolle ja ammoniumtyppi kuluttaa vesistöissä happea. /14, s. 5, 20./

Jäteveden käsittelyprosessi voidaan rajata vain mekaaniseen (välppäys sekä hiekan- ja rasvanerotus) ja biologiseen (anaerobinen ja aerobinen hajotus) puhdistukseen /14, s. 8-10/. Toinen tapa on jakaa prosessi kolmeen vaiheeseen: esikäsittelyyn (välppäys, tasaus, selkeytys), kemialliseen saostukseen ja biologiseen puhdistukseen /11, s. 17/.

4.1 Mekaaninen puhdistus ja esikäsittely

Jäteveden mekaaniseen puhdistukseen ja esikäsittelyyn kuuluvat välppäys, hiekan- ja rasvanerotus, tasaus sekä selkeytys. Tavoitteena on poistaa jätevedestä kiinteät partikkelit, tasata virtaamahuippuja, veden laatua sekä pH-vaihtelua. /11, s.17./

Ennen varsinaista jätevedenkäsittelyä pH säädetään arvojen 6,0–9,0 välille. Välppäyksellä poistetaan jätevedestä kiintoaine, kuten roskat ja liukenematon WC-paperi. Käytössä on harvoja (säleväli 40–100 mm) ja tiheitä (säleväli 10–25 mm) välppiä, tiheämpiä porrasvälppiä, viirasiivilöitä sekä rumpusuotimia. /11, s.17; 12, s. 50./

Seuraavaksi jätevedestä erotetaan hiekka ja rasva. Rasva saadaan poistettua jätevedestä nostamalla se ilmastuksen avulla altaan pinnalle. Hiekanerotus taas tapahtuu joko pitkissä kanavissa tai erimuotoisissa ilmastetuissa altaissa virtausnopeutta ja pintakuormaa säätelemällä. Erotettu hiekka voidaan pestä tai poistaa suoraan kuljetussäiliöihin, kuten erotetun rasvan osalta toimitaan. /12, s. 66./

Hiekan- ja rasvanpoiston jälkeen jätevesi esiselkeytetään. Esiselkeytyksessä jäteveden pienet kiintoainepartikkelit laskeutetaan esiselkeytysaltaiden pohjille. Selkeytys tapahtuu joko kartionmuotoisissa tai vinopohjaisissa altaissa, sillä altaan muoto edesauttaa kiintoaineen poistamista. Myös jäteveden vuorokauden aikaisen vaihtelevan kuormituksen tasaaminen on tärkeää, koska biologinen puhdistus hallitaan parhaiten tasaisella kuormituksella. /11, s. 18./

4.2 Kemiallinen saostus

Suurin osa jäteveden sisältämästä fosforista tulee eritteistä ja noin kolmasosa pesuaineista /14, s. 20/. Jätevedessä oleva fosfori saadaan poistettua joko kemiallisesti tai biologisesti tai niiden yhdistelmällä. Kemiallinen saostus on yleisin menetelmä. /43./ Biologisen prosessin yhteydessä kemiallisella saostuksella poistetaan ensisijaisesti fosforia, mutta myös 50–70 % orgaanisesta aineksesta /11, s. 18/.

Kemiallisessa menetelmässä saostuskemikaali reagoi vedessä liukoisen fosforin kanssa muodostaen fosfaattisakan. Muodostunut sakka erotetaan selkeyttämällä. Saostuskemikaaleina käytetään yleisesti polymeerejä ja rauta- tai alumiiniyhdisteitä. Polymeereistä käytössä on esimerkiksi polyalumiinikloridi (PAC), rautayhdisteistä ferrosulfaatti (FeSO_4), ferrisulfaatti ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) ja ferrikloridi (FeCl_3) sekä alumiiniyhdisteistä alumiinisulfaatti (AlSO_4). Veteen voidaan myös lisätä rikkihappoa (H_2SO_4) tai kalkkia (CaO), sillä eräät saostuskemikaalit ovat tarkkoja veden happamuudesta. pH:n säätäminen kohdalleen on tärkeää, jotta saostuminen tapahtuisi tehokkaasti./43./

Kemialliseen saostukseen kuuluu kolme vaihetta: pikasekoitus, hämmennys tai flokkaus ja selkeytys /43/. Näissä vaiheissa flokkausaine eli saostuskemikaali sekoitetaan ensiksi veteen. Laskeutuvat aineet kootaan sitten yhteen ja poistetaan selkeyttämällä /14, s. 42/. Tällöin saostuma laskeutuu altaan pohjalle tai se voidaan myös nostaa flotaation avulla altaan pinnalle ja poistaa lietteenkäsittelyyn /43/.

Kemiallinen saostus toteutetaan joko esi-, rinnakkais- tai jälkisaostuksena, sen mukaan, missä vaiheessa prosessia saostaminen tapahtuu. Esisaostus tapahtuu ennen biologista puhdistusvaihetta, rinnakkaissaostus samanaikaisesti biologisen toiminnan kanssa aktiivilietelaitoksen ilmastusaltaissa ja jälkisaostus biologisen puhdistusvaiheen jälkeen. /11, s.18; 14, s. 44./

4.3 Biologinen puhdistus

Biologinen jätevedenpuhdistus tapahtuu mikro-organismien eli bakteerien ja muiden pieneliöiden hajottaessa orgaanista ainesta aerobi- ja anaerobimenetelmillä. Aerobinen hajotusprosessi tapahtuu hapellisissa olosuhteissa, jolloin orgaaninen aines hapettuu mikro-organismien avulla hiilidioksidiksi ja vedeksi. Anaerobinen hajotusprosessi vastaavasti tapahtuu hapettomissa olosuhteissa. Silloin orgaaninen aines hapetetaan hiilidioksidiksi ja vedeksi, ja samalla osa aineksestä pelkistetään metaanikaasuksi. /11, s.19–20; 14, s. 9–10./

4.3.1 Aktiivilietemenetelmä

Aktiivilietemenetelmä kuuluu aerobisiin hajotusmenetelmiin. Mikrobeista ja muusta biomassasta koostuvassa aktiivilietteessä pieneliöt käyttävät hyväkseen jäteveden liuenneita ravinteita ja orgaanisia yhdisteitä. Suurin osa vesistössä happea kuluttavista orgaanisista yhdisteistä saadaan poistettua tavalla, jonka perusajatuksen mukaan liuenneet ravinteet siirtyvät mikrobisolujen sisään. Liuenneiden ravinteiden poistamiseen jätevedestä riittää tällöin itse mikrobisolujen erottaminen vedestä. /41./

Biologinen fosforinpoisto tapahtuu aktiivilietealtaassa. Suurempi fosforin sitominen polyfosfaattien muodossa saavutetaan pitämällä mikro-organismeja vuorotellen anaerobisessa ja aerobisessa ympäristössä. Ennen aerobista vaihetta olevassa anaerobisessa vyöhykkeessä mikro-organismit kuluttavat sen energian, jonka ne ovat varastoineet itseensä polyfosfaattien muodossa. Fosforin liuetessa veteen vapautuu hajoavaa orgaanista ainesta. Tullessaan sen jälkeen aerobiseen

vyöhykkeeseen varastoivat mikrobit ja muut pieneliöt fosforin energiarikkaina polyfosfaatteina. /14, s. 28./

Aktiiviliete vaatii toimiakseen veteen liuennutta happea. Sitä muodostuu, kun altaan pohjalle tuotetaan ilmaa kompressoreilla. Ilmastusaltaan pohjassa olevien rei'itettyjen kumilautasten läpi syötettävä ilma vapautuu tasaisesti pieninä kuplina. Niiden noustessa pintaan liukenee veteen happea. /14, s.11; 41./ Sopivissa kasvuolosuhteissa mikrobit lisääntyvät nopeasti, ja se näkyy lietemäärän kasvuna /11, s. 19–20/. Mikro-organismeja tarvitaan myös riittävä pitoisuus, jotta orgaanisen lika-aineksen hajoaminen tapahtuisi tarpeeksi nopeasti. Tämän vuoksi lietemäärää on säännösteltävä ja osa poistettava. Mikro-organismien riittävä pitoisuus saadaan aikaiseksi, kun prosessissa seuraavaksi tulevan selkeytysaltaan pohjalta palautetaan suurin osa lietteestä takaisin ilmastusaltaaseen. Prosessista otetaan pois ylijäämälietteenä vain pieni osa, joka vastaa muodostuvaa lietettä. /14, s. 11./

4.3.2 Lietteen käsittely

Puhdistusprosessin tuloksena syntynyt liete käsitellään edelleen määrän pienentämiseksi. Selkeytysaltaan pohjalta ylijäämäliete otetaan talteen erilliseen lietealtaaseen, jossa se sakeutetaan 2–5-prosenttiseksi. Lietteen bakteeritoiminta voidaan stabiloida eli lopettaa joko hapellisissa olosuhteissa lahottamalla tai hapettomissa mädättämällä. Bakteeritoiminnan stabilointi saadaan myös aikaiseksi kalkin avulla. /11, s. 20./

Lahotuksessa eli niin sanotussa aerostabiloinnissa orgaaniset aineet hapettuvat. Lahotus tapahtuu ilmastamalla lietettä noin 15 vuorokauden ajan 15 °C:n lämpötilassa. Lämpötilan ollessa alempi vaaditaan pitempi aika. /14, s. 58./

Lietteen mädätys on vastaavasti anaerobinen prosessi, jossa lietteen tilavuus pienenee huomattavasti. Hajotusprosessi tapahtuu vaiheittain, jossa ensin hydrolysoidaan entsyymien avulla hiilihydraatit, rasvat ja valkuaisaineet sokereiksi, rasvahapoiksi sekä aminohapoiksi. Välituotteina muodostuneet alkoholi ja

yksinkertaiset rasvahapot hajotetaan lopputuotteiksi eli metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Lämpötila mädättämöissä on tavallisesti 30–40 °C, ja viipymä on 15–30 vuorokautta. /14, s. 56–57./

Stabiloinnin päätteeksi liete kuivataan lingolla, suotonauhakuivaimella tai turvesuotimella. Liette voidaan käyttää hyödyksi pelloilla tai kompostoida ilmavan seosaineen kanssa. /11, s. 20./

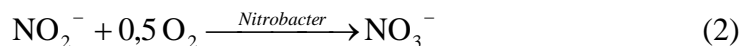
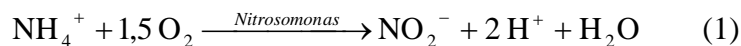
4.4 Typenpoisto

Typpi on fosforin ohella vesien tuotannon ja rehevöitymisen kannalta tärkein ravinne /48/. Typpeä vesistöihin tulee lähinnä ilmakehästä sekä maataloudesta ja vajaa viidesosa yhdyskuntajätevesistä. Se esiintyy jätevedessä orgaanisesti sidottuna typpenä sekä epäorgaanisena ammoniumin (NH_4^+), nitriitin (NO_2^-) ja nitraatin (NO_3^-) muodoissa. /14, s. 5, 30./ Kokonaistypellä tarkoitetaan näiden kaikkien summaa /12, s. 31/.

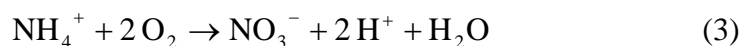
Typen poistaminen jätevedestä tapahtuu yleisimmin biologisella menetelmällä, ja se voi tapahtua kahden periaatteen mukaan. Ensimmäisessä tavassa typpi sidotaan solumassaan biologisen kasvun kautta, toisessa typpi muutetaan nitriiteistä ja nitraateista ilmakehään vapautuvaksi typpikaasuksi. Useimmiten typenpoisto tapahtuu jälkimmäisellä tavalla. Edellytyksenä kuitenkin on, että typpi muutetaan ensiksi nitriitiksi tai nitraatiksi nitrifikaation avulla. Sen jälkeen typpi voidaan poistaa muuttamalla se typpikaasuksi denitrifikaation avulla. /14, s. 31–32./

4.4.1 Nitrifikaatio

Nitrifikaatiossa ammoniumtyppi hapetetaan nitriitin (yhtälö 1) kautta nitraatiksi (yhtälö 2). Tämän saavat aikaiseksi autotrofiset bakteerit *Nitrosomonas* ja *Nitrobacter*. Reaktio vaatii runsaasti happea. /14, s. 5, 32./



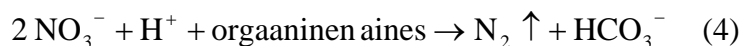
Kokonaisreaktioksi (yhtälö 3) saadaan seuraava:



Nitrifikaatiolle sopiva pH-alue on 7–8,5. Jos pH laskee alhaisemmaksi kuin 6,5, on seurauksena nitrifikaation hidastuminen. Alkaliteetin ollessa alhainen täytyy sitä nostaa, jottei pH rajoita koko tapahtumaa. pH:n aleneminen voi myös aiheuttaa veden samentumista. /14, s. 34./

4.4.2 Denitrifikaatio

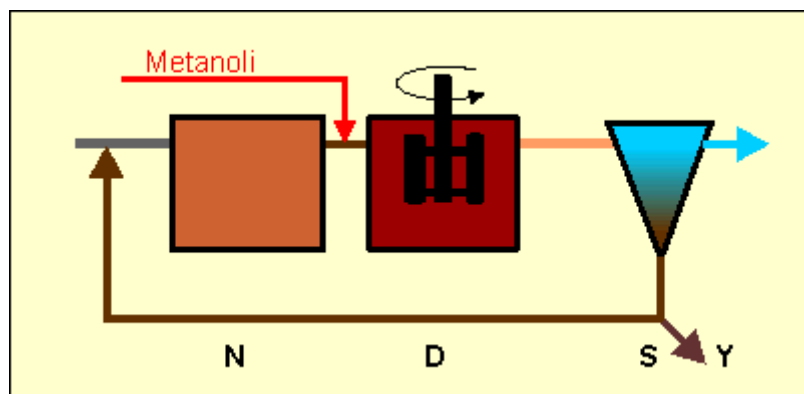
Denitrifikaatiossa mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa muuttuu nitriitti tai nitraatti typpikaasuksi. Denitrifikaatiossa ei saa olla happea läsnä, vaan siinä vaaditaan anoksiset olosuhteet. Liuennutta happea ei saa olla, mutta sen sijaan nitraattiin sitoutunut happi sallitaan. Reaktiossa esiintyvät mikrobit ovat heterotrofeja ja tarvitsevat energianlähteeksi orgaanista hiiltä. Yhtälössä 4 esitetään nitraatin muuttuminen typpikaasuksi. /14, s. 34./



Hiiltä saadaan sekä sisäisistä että ulkoisista lähteistä. Sisäisinä hiililähteinä käytetään jäteveden omaa orgaanista ainesta ja biolietteen hajoamista eli endogeenistä hengitystä. Ulkoisia hiililähteitä ovat esimerkiksi metanoli, tärkkelys ja etikkahappo. Ne ovat biologisesti helposti hajoavia, mutta kalliita, ja siksi niitä käytetään vain täydentämään sisäisiä hiililähteitä. /14, s. 35./ Vaihtoehtoisina ulkoisina hiililähteinä voidaan myös käyttää glukoosia ja asetaattia sekä liukoista hiiltä sisältävää jätettä, jota muodostuu esimerkiksi elintarviketeollisuudessa /13/.

4.4.3 Metanolilla tehostetut biologiset typenpoistomenetelmät

Biologinen typenpoisto voi tapahtua joko aktiivilietemenetelmään tai suodatinmenetelmään perustuen tai näiden yhdistelmällä. Selkein tapa on niin sanottu ND-prosessi (kuva 4). Siinä mekaanisen puhdistuksen jälkeen seuraa ilmastusallas, jossa orgaanista ainesta hajotetaan ja nitrifikaatio tapahtuu. Sieltä jätevesi siirretään hapettomaan, hämmennyksellä varustettuun altaaseen, jossa tapahtuu denitrifikaatio. Denitrifikaatiobakteerien ravinnoksi lisätään metanolia. /47./ Tämä on oleellista, koska kaiken orgaanisen aineksen pitäisi olla hapetettu hiilidioksidiksi ja vedeksi jo ilmastusaltaassa. Samalla typpi poistuu ilmakehään ja vesi siirretään selkeytysaltaaseen, jossa liete laskeutetaan pohjalle. Jotta bakteeripitoisuus voidaan pitää korkeana, osa lietteestä palautetaan takaisin ilmastusaltaaseen /22./

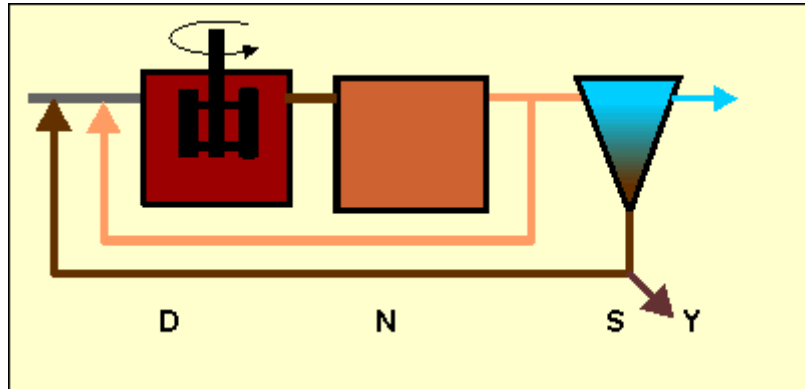


Kuva 4. ND-prosessi. N on ilmastusallas, jossa tapahtuu nitrifikaatio, D on hämmennysallas, jossa tapahtuu denitrifikaatio ja S selkeytysallas. Y on ylijäämälietteen poisto /47./

Typenpoisto voidaan tehdä myös käänteisessä järjestyksessä, jolloin kyseessä on DN-prosessi (kuva 5). Tällöin ilmastus- ja denitrifikaatioallas sijaitsevat päinvastoin. Ensiksi tapahtuu denitrifikaatio hämmennysaltaassa, jota seuraa ilmastusallas ja siellä tapahtuva nitrifikaatio. Käytännössä prosessi toimii kuitenkin niin, että ilmastusaltaassa muodostunut nitraatti kierrätetään takaisin hämmennysaltaan alkuun. Denitrifikaatiobakteerit käyttävät siellä hyväkseen jäteveden sisältämää eloperäistä ainesta, jolloin ulkopuolista orgaanista ainetta ei välttämättä tarvita lainkaan. Ilmastuksen tarve vähenee, sillä orgaanisen aineksen hajottamiseen denitrifikaatioaltaassa voidaan käyttää nitraattiin sidottua happea.

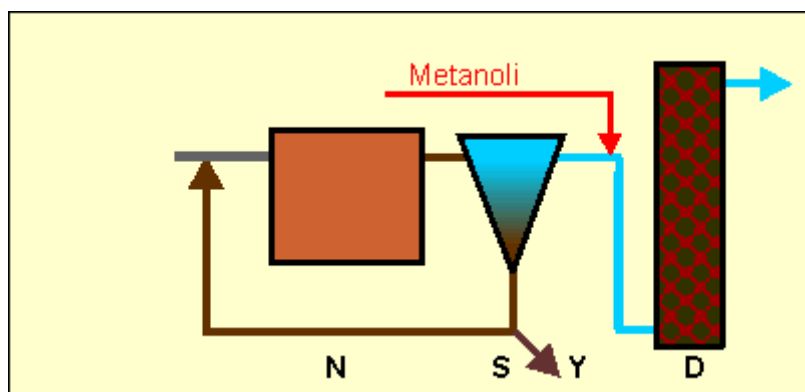
Happamuuden säätöön tarvitaan myös kalkkia vähemmän kuin ND-prosessissa.

/47./



Kuva 5. DN-prosessi. D on hämmennysallas, jossa tapahtuu denitrifikaatio, N on ilmastusallas, jossa tapahtuu nitrifikaatio ja S on selkeytysallas. Y on ylijäämälietteen poisto /47./

Kolmannessa esimerkissä on kyseessä yhdistelmäprosessi (kuva 6). Siinä mekaanista vaihetta seuraa normaali aktiivilietelaitos, jossa tapahtuu nitrifikaatio ja orgaaninen aine hajotetaan. Tätä vaihetta seuraa hapeton biologinen suodatin /47/. Biologisessa suodattimessa valutetaan jätevettä kivi- tai muovimateriaalista koostuvan kerroksen läpi /12, s. 88./ Materiaalikerroksen pinnalle muodostuva pieneliöstökasvusto käyttää ravinnokseen jäteveden sisältämiä orgaanisia epäpuhtauksia. Tällä tavoin suurin osa niistä saadaan pois /14, s. 16./ Biologiseen suotimeen lisätään esimerkiksi metanolia orgaaniseksi ravinnoksi bakteereille ja siellä tapahtuu lopullinen denitrifikaatio /47/.



Kuva 6. Esimerkki yhdistelmäprosessista. N on ilmastusallas, jossa tapahtuu nitrifikaatio, S on selkeytysallas ja D on biologinen suodin, jossa tapahtuu denitrifikaatio. Y on ylijäämälietteen poisto. /47./

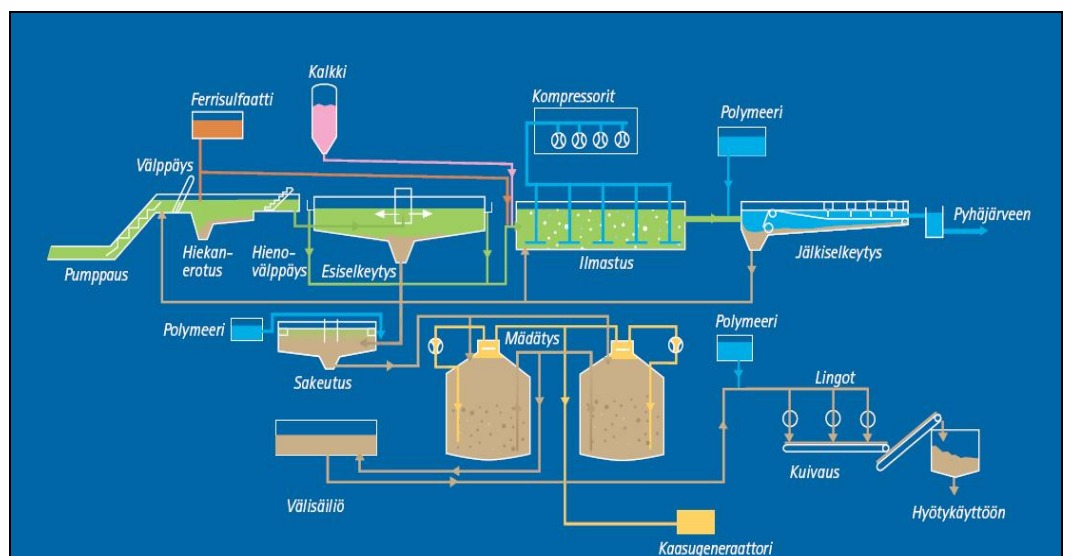
4.5 Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi

Tampereen puhdistamoilla käsitellään jätevettä vuosittain noin 30 miljoonaa kuutiota. Sen viipymä puhdistamoilla on noin vuorokausi /40/. Puhdistamoilla täytetään jätevesien käsittelyssä ympäristölupien edellyttämät teho- ja puhdistusvaatimukset. Syntyvä jätevesiliete on myös tiukkojen laatuvaatimusten mukaista. Taulukossa 2 on nähtävissä Viinikanlahden jäteveden puhdistustulokset ja -vaatimukset keskiarvona ylivuodot huomioituna. /39./

Taulukko 2 Viinikanlahden puhdistustulokset ja -vaatimukset vuonna 2006 /39/

Viinikanlahti	Tulokset		Vaatimukset	
	mg/l (lähtevä)	reduktio %	mg/l (lähtevä)	reduktio %
BOD ₇	3,6	98	<15	>92
kok. P	0,23	97	<0,6	>92
NH ₄ -N	0,8		<4,0	
Nitrifikaatioaste		98		>90

Tampereen suurimmalla Viinikanlahden puhdistamolla jätevesi käsitellään nykyisin mekaanisesti ja biologiskemiallisesti (kuva 7). Alun perin vuonna 1972 rakennettiin Viinikanlahden laitos mekaaniseksi puhdistamoksi, mutta vuosien varrella sen prosessia on tehostettu monessa vaiheessa /39/. Nykyisin huomiota kiinnitetään ammoniumtypen poistamiseen, ja sen vuoksi Viinikanlahden jätevedenpuhdistamoa laajennettiin vuonna 2004 ammoniumtypen hapettamiseksi. /40./



Kuva 7. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi /40./

4.5.1 Mekaaninen puhdistus

Jätevesi nostetaan ruuvipumpuilla tulokanaaleista puhdistamolle. Jätevedestä poistetaan suurimmat kiintoainepartikkelit harvemman sälevälin (15 mm) tankovälillä. Hiekka ja rasva erotetaan erillisessä altaassa, jossa hiekka laskeutetaan altaan pohjalle, erotetaan, pestään ja toimitetaan kaatopaikalle. Lisäksi rasva nostetaan pintaan ja kuoritaan pois. Tämän jälkeen jätevesi kulkeutuu vielä tiheämmän sälevälin (3 mm) porrasvälppien läpi, jolloin pienemmät kiintoainepartikkelit saadaan erotettua. /21./

4.5.2 Kemiallinen saostus

Fosforin esisaostus tapahtuu neljässä pyöreässä esiselkeytysaltaassa (liite 1, kuva 1). Saostuskemikaalina käytetään ferrisulfaattia, joka annostellaan kahdessa osassa (kaksipistesyöttö). Hiekan- ja rasvanerotusaltaaseen syötetään osa kemikaalista, jolloin tapahtuu esisaostumista. Loput kemikaalista annostellaan ennen biologista puhdistusvaihetta. Muodostuneen saostuman annetaan laskeutua esiselkeytysaltaan pohjalle, josta se johdetaan edelleen lietteenkäsittelyyn. /21./

4.5.3 Biologinen puhdistus

Biologinen puhdistus tapahtuu aktiivilietemenetelmällä ilmastusaltaissa (liite 1, kuva 2). Ennen tätä vaihetta veteen lisätään loput ferrisulfaatista sekä kalkkia, jotta alkaliteetti saadaan säädettyä sopivaksi. Alkaliteetti kuvaa veden puskurikapasiteettia ja määrää veden pH-arvon kemikaalin lisäyksen jälkeen. /12, s. 24; 21./

Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla on käytössä kahdeksan rinnakkaista ilmastusallasta, joista kukin on jaettu viiteen osaan. Ilmastusaltaisiin puhalletaan ilmaa kompressoreilla altaiden pohjalla sijaitsevien hienokuplailmastimien avulla. Altaissa tapahtuu bakteerien toiminnan seurauksena nitrifikaatiota, jolloin ammoniumtyppi saadaan hapetettua nitraatiksi. Ilmastusaltaissa muodostunut

bioliete johdetaan jälkiselkeytykseen, jossa liete laskeutuu altaan pohjalle. Lietteen laskeutumista voidaan tarvittaessa tehostaa käyttämällä saostuskemikaalina kationista polymeeriä. Altaan pohjalle laskeutunut liete palautetaan ilmastusaltaaseen, ja pintaan selkeytynyt puhdistettu vesi johdetaan Pyhäjärveen. Osa biolietteestä poistetaan päivittäin pumppaamalla se lietteen käsittelyyn. Näin tehdään, jotta saadaan ylläpidettyä biologisen prosessin mikrobitasapaino. /21./

4.5.4 Lietteenkäsittely

Puhdistusprosessin aikana muodostunut ja esiselkeytysaltaiden pohjille laskeutunut liete johdetaan erilliseen sakeutusaltaaseen, jossa se tiivistetään. Saostuskemikaalina käytetään anionista polymeeriä. Viinikanlahden puhdistamolla lietteen stabilointiin käytetään hapettomissa olosuhteissa tapahtuvaa mädätystä. Mädätys tapahtuu kahdessa 3500 m³ säiliössä (liite 1, kuva 3) /21, 40./ Lämpötila mädättämässä on 35 °C ja lietteen viipymä noin 15 päivää. Lietettä sekoitetaan muodostuneella kaasuseoksella, jota johdetaan säiliöihin kompressoreiden avulla /21/. Kaasuseos sisältää tavallisesti metaania noin 65 % ja hiilidioksidia noin 35 % /19/. Prosessin tuloksena lietteen määrä vähenee, haju häviää ja syntyy kaasua /12, s. 230/. Hajoamistuotteena syntyvästä kaasusta tuotetaan kaasumoottorigeneraattorilla sähköä ja lämpöä laitoksen käyttöön /39/.

Lopuksi lietteeseen lisätään kationista polymeeriä ja se kuivataan lingoilla. Liete käytetään viherrakentamiseen ja maanparannusaineeksi. Sen loppusijoituksessa on tavoitteena hyötykäyttö. /40./ Vuonna 2006 sijoitettiin 23 % mädätetystä ja linkokuivatusta lietteestä maanviljelykäyttöön kompostoituna. Loput eli 77 % lietteestä kompostoitettiin Pirkanmaan Jätehuolto Oy:n Koukkujärven kompostointikentällä ja muodostunutta kompostimultaa käytettiin kaatopaikan maisemointiin. Muodostunut liete täyttää valtioneuvoston määrittämät laatuvaatimukset. /39./

5 SENNAPALKOJÄTTEEN HYÖDYNTÄMINEN JÄTEVEDEN- PUHDISTUSPROSESSISSA

Tässä työssä tarkasteltiin sennapalkojätteen soveltuvuutta jätevedenpuhdistukseen. Tarkastelussa tutkimuskohteena käytettiin Tampereen Veden Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo. Viinikanlahden puhdistamo valittiin tutkimuskohteeksi lähinnä sijaintinsa vuoksi.

Perusajatuksena sennapalkojätteen käytölle jätevedenpuhdistuksessa Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla olisi sen hyödyntäminen kokonaistypenpoistossa. Nykyinen puhdistamon lupavaatimus koskee vain ammoniumtypen hapettamista nitraatiksi nitrifikaation avulla. Tulevaisuudessa Viinikanlahden puhdistamolle saattaa tulla lupaehtoihin vaatimus kokonaistypenpoistoon. Tällöin puhdistusprosessiin tarvittaisiin nitrifikaation lisäksi denitrifikaatiovaihe, jolloin nitraatti pelkistettäisiin typpikaasuksi. Sennapalkojätteen sisältämä metanoli toimisi prosessissa denitrifikaatiovaiheessa lisähiililähteenä.

Kokonaistypenpoistoa toteutetaan jo osassa Suomen puhdistamoita. Typenpoistoon käytetään esimerkiksi biologiseen suodatukseen perustuvaa prosessia tai aktiivilietealtaassa tapahtuvaa DN-prosessia. Viinikanlahden puhdistamolla kyseeseen voisi tulla esimerkiksi samantapainen kokonaistypenpoistoprosessi kuin Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamolla.

5.1 Metanolilla tehostettu kokonaistypenpoisto muilla puhdistamoilla

Espoon Suomenojan biologiskemiallisella jätevedenpuhdistamolla on käytössä metanolilla tehostettu kokonaistypenpoistoprosessi. Siellä jäteveden vuorokausivirtaama vaihtelee arvojen 46 000–183 000 m³ välillä. Kokonaistypenpoistoon käytetään DN-prosessia. Siinä esiselkeytetty jätevesi sekä kierrätys- ja palautuslietteet johdetaan ensiksi aktiivilietealtaan denitrifikaatio-osaan, jossa denitrifikaatiobakteerien toimintaa varten on anoksiset olosuhteet sekä riittävä hiilityppisuhde ($BOD_{7ATU}/\text{kokonaistyyppi} > 3$). /24./ Hiili-typpisuhteen korjaamiseksi prosessiin syötetään puhdasta metanolia noin 54 g/m³. Metanolin kulutus päivässä

on noin 5000 kg ja se vastaa 92 000 m³:n jätevesivirtaamaa. Suomenojan puhdistamolla tapahtuu lisäksi assimilatiota eli luonnollista typenpoistoa 20–30 %. /21./ Denitrifikaation tapahduttua jätevesi johdetaan nitrifikaatio-osaan. Nitrifikaation jälkeen jätevesi johdetaan jälkiselkeytykseen ja sieltä purkuvesistöön /24/.

Pääosin kallion sisään rakennettu Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamo toimii aktiivilietemenetelmällä. Prosessi sisältää mekaanisen, biologisen ja kemiallisen puhdistuksen /25/. Jäteveden keskimääräinen virtaama on 280 000 m³/d huippuvirtaamien ollessa jopa 600 000 m³/d. Jälkikäsitelyssä käytetään biologiseen suodatukseen perustuvaa Biostyr-prosessia. Biologisen suodattimen kantoainemateriaalina toimivien polystyreenirakeiden pinnalla kasvavat denitrifioivat bakteerit pelkistävät nitraattitypen typpikaasuksi. Denitrifikaatio-bakteerien hiililähteeksi annostellaan metanolia keskimäärin 18 g/m³. Jätevesi virtaa kantoainemateriaalin läpi ja päälle kertynyt biomassa poistetaan lopuksi vastavirtapesulla. /2, s. 17–19./

Uudenkaupungin Hämöniemen kokonaan katetulla mekaanis-kemiallisella jätevedenpuhdistamolla on käytössä vastaava biologisella suodattimella tapahtuva Biostyr-prosessi kuin Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla. Typenpoisto tapahtuu kaksivaiheisena. Nitrifioivien suodattimien (6 kpl) aerobisissa olosuhteissa ammoniumtyppi nitrifioidaan ensin nitraattitypeksi. Sen jälkeen anaerobisissa denitrifikaatiosuodattimissa (4 kpl) nitraattityppi pelkistetään typpikaasuksi. /9, s. 12, 14/. Denitrifikaatiobakteerien hiililähteeksi syötetään metanolia 3,0–3,5 kg kutakin poistettua nitraattityppikiloa kohden /49/. Biosuodattimet pestään vastavirtahuuhtelulla, ja jätevesi johdetaan purkuputken kautta mereen /9, s.14/.

5.2 Sennapalkojäte kokonaistypenpoistossa Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla

Viinikanlahden puhdistamolla kokonaistypenpoistossa tulisi kyseeseen samantapainen DN-prosessi kuin Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamolla. Viinikanlahden puhdistamon prosessissa esiselkeytetty jätevesi sekä palautuslietteet johdettaisiin ensin viiteen osaan jaetun aktiivilieteeltaan kahteen

ensimmäiseen osioon, joihin ei johdettaisi ilmaa, joten siellä olisi anoksiset olosuhteet. Altaan hämmennys tapahtuisi potkurisekoittimien avulla. Kahdessa ensimmäisessä osiossa tapahtuisi denitrifikaatio, minkä jälkeen jätevesi johdettaisiin kolmeen seuraavaan, ilmastettuun nitrifikaatio-osioon. Sennapalkojätteen lisääminen tulisi kyseeseen jo denitrifikaatiossa, jossa sen sisältämä metanoli toimisi lisähiililähteenä bakteereille. Sennapalkojäte voitaisiin lisätä suoraan ilmastusaltaaseen, mistä sen aktiivilieteprosessissa hajoamaton osa kulkisi prosessin mukana mädättämöön. Ongelmana voisi mahdollisesti olla sennapalkojätteen kelluminen veden pinnalla, jolloin se ei etenisi prosessissa halutulla tavalla. /21./

Toisena ja todennäköisempänä vaihtoehtona olisi sennapalkojätteen esikäsitteily siten, että siihen sitoutunut metanoli liuotettaisiin palkojätteestä pois esiselkeytetyllä jätevedellä. Metanolin liuottaminen palkojätteestä tapahtuisi joko erillisessä säiliössä tai altaassa, joka sijoitettaisiin esiselkeytys- ja aktiivilietelaitteiden väliselle alueelle. Säiliön tai altaan toisessa päässä olisi sihti, jolla estettäisiin palkojätteen pääsy eteenpäin prosessissa. Metanolipitoinen vesi lisättäisiin sen jälkeen prosessin denitrifikaatiovaiheeseen bakteerien hiililähteesi. /19./ Jäljelle jäävä esiselkeytetyllä jätevedellä ”huuhdeltu” palkojäte murskattaisiin ja sekoitettaisiin raakalietteeeseen juuri ennen mädättämöön pumppausta /21/.

Viinikanlahden puhdistamolla käsitellään vuorokaudessa noin 65 000 m³ jätevettä. Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamon puhtaan metanolin kulutusta vastaava määrä Viinikanlahdella olisi $0,054 \text{ kg/m}^3 \cdot 65\,000 \text{ m}^3/\text{d} = 3\,510 \text{ kg/d}$. /21./ Vuodessa metanolia tarvittaisiin noin 1300 tonnia. Vuoden 2007 aikana Ekokem Oy:ssä tehtyjen sennapalkojätteen metanolianalyysien keskiarvo oli 243 g metanolia/kg palkojätettä /26/. Tuloksen perusteella sennapalkojätteestä vuodessa saatava metanolimäärä olisi noin 170 tonnia. Tästä voidaan päätellä, ettei pelkkä sennapalkojätteen sisältämä metanoli riittäisi Viinikanlahden tarpeeseen, vaan joukkoon pitäisi lisätä myös puhdasta metanolia tai muuta sopivaa hiililähdettä. Vuoden 2007 aikana tehtyjen metanolianalyysien perusteella sennapalkojätteestä saatava metanolimäärä olisi tällöin noin 13 % Viinikanlahden vuotuisesta tarpeesta.

Viinikanlahden puhdistamolla hiili-typpisuhde oli vuonna 2004 2:1. Jätevedenpuhdistusprosessissa, jossa toteutettaisiin kokonaistypenpoistoa, vaadittaisiin hiili-typpisuhdeksi 4:1. /21./

6 TUTKIMUSSUUNNITELMA

Työn tarkoituksena oli selvittää Santen Oy:n sennosidituotannossa muodostuvan sennapalkojätteen soveltuvuutta jätevedenpuhdistuksessa kokonaistypenpoistoprosessin lisähiililähteeksi. Palkojätteeseen sitoutuneen metanolin riittävyyttä jätevedenpuhdistukseen tutkittiin laskennallisesti ja soveltuvuutta lisähiililähteeksi erilaisilla laboratorioskokeilla. Tutkimuskohteina olivat palkojätteessä sitoutuneena olevan metanolin liukoisuus ja liunneen metanolin hyödyntäminen jätevedenpuhdistuksessa sekä palkojätteen soveltuvuus mädättämöön.

Metanolin liukoisuutta tutkittiin sekä murskaamattomasta että murskatusta sennapalkojätteestä liuottamalla sitä eri tilavuussuhteilla ionivaihdettuun veteen (Milli-Q), esiselkeytettyyn jäteveteen sekä aktiivilietteeseen. Osa kokeista tehtiin jääkaapissa, koska haluttiin tutkia lämpötilan vaikutusta metanolin liukenemiseen palkojätteestä. Sennapalkojätteen soveltuvuutta lisähiililähteeksi tutkittiin siltä osin, mikä vaikutus sillä on biokemiallisen (BOD_{7ATU}) ja kemiallisen hapenkulutuksen (COD_{Cr}) arvoihin sekä ammonium- ja nitraattitypen sekä kokonaisfosforin määrään. Sennapalkojätteen hajoamista mädättämölietteessä seurattiin myös laboratorioskokeella neljän viikon ajan.

Tutkimusmenetelminä käytettiin biokemiallisen (BOD_{7ATU}) ja kemiallisen (COD_{Cr}) hapenkulutuksen, metanolipitoisuuden sekä typpi- ja fosforyhdisteiden määrittystä. BOD-mittauksissa oli tarkoitus saada selville, kuinka paljon jätevesinäytteiden mikro-organismit kuluttivat happea orgaanisen aineksen hajottamiseen ja COD-mittauksissa kemiallisesti hapettuvien orgaanisten ainesten määrä. Samalla pyrittiin selvittämään sennapalkojätteeseen sitoutuneen metanolin vaikutus kyseisiin arvoihin. Näytteistä määritettiin myös kokonaisfosforin pitoisuus, joka muodostuu orgaanisesti sidotusta fosforista, ortofosfaatista ja polyfosfaatista. Typpiyhdisteistä

määritettiin ammonium- ja nitraattityppipitoisuudet. Sennapalkojätteen liuotuskokeiden metanolipitoisuuden määritykset teetettiin erikseen Ekokem Oy:llä.

Laboratoriokokeet suoritettiin Tampereen Veden viemärlaitoksen laboratoriossa, ja niihin oli varattu aikaa viisi viikkoa. Tutkimusmenetelmät valittiin käytettävissä olleiden resurssien perusteella. Työssä käytettiin enimmäkseen viemärlaitoksen laboratoriossa käytössä olevia menetelmiä.

Tampereen Veden Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolta haettiin laboratoriokokeita varten kertanäytteet esiselkeytetystä jätevedestä, aktiivilietteestä ja mädättämölietteestä. Aikataulu ei sallinut tehdä käytännön koeajoja jätevedenpuhdistamolla.

7 TUTKIMUSMENETELMÄT JA TYÖN SUORITUS

7.1 Biokemiallinen hapenkulutus (BOD)

BOD:n (Biological Oxygen Demand) eli biokemiallisen hapenkulutuksen avulla saadaan tietoa jäteveden sisältämän biologisesti hajoavan orgaanisen aineen määrästä. Menetelmässä pyritään jäljittelemään luonnon hajoamistapahtumaa. Mikro-organismit, jotka vaativat happea, pilkkovat veden orgaanista ainesta ja käyttävät sitä kasvuunsa ja energiantarpeeseensa. /12, s. 26; 14, s. 3./ Jäteveden orgaanisen aineksen muodostavat monet eri yhdisteet, jotka kaikki sisältävät vähintään yhden hiiliatomin /3, s. 3/. BOD:ssa mitataan mikro-organismien kuluttamaa hapen määrää tietyssä aikana ja määrättyissä oloissa näytteessä olevan orgaanisen aineksen hajottamiseen. Kulutettu happi mitataan joko viiden (BOD₅) tai seitsemän vuorokauden (BOD₇) ajalta lämpötilan ollessa 20 °C. /14, s. 3./ Jos koe tehdään BOD_{7ATU}-menetelmällä, siinä käytetään allyyliitiourealisäystä, jonka tarkoituksena on estää ammoniumin hapettumisesta johtuva hapen kuluminen /44/. BOD:n tulos ilmoitetaan yksikkönä mg O₂/l tai g O₂/m³ /14, s. 3/.

Tampereen Veden viemärlaitoksen laboratoriossa käytettävänä menetelmänä on BOD_{7ATU}-analyysi.

BOD_{7ATU}-analyysi

Biokemiallisen hapenkulutuksen määrittäminen perustuu standardiin SFS 5508. Menetelmässä näytteen BOD_{7ATU}-luku arvioidaan ennen koetta ja laimennetaan sopivaan pitoisuuteen ravinteita sisältävällä sekä hapella kyllästetyllä vedellä, jonka avulla estetään hapen kulumisen kokonaan loppuun. Näytteeseen lisätään bakteerisiirrosta ("ymppeä") 1 ml, jotta biokemiallinen hapenkulutus saadaan nopeasti käyntiin. Bakteerisiirroksena käytetään Viinikanlahden puhdistamolle tulevaa jätevettä. Näytteeseen lisätään myös nitrifikaation (ammoniumin hapettuminen nitraatiksi) estämiseksi 0,5 ml allyylitioureaa. Näytepullot asetetaan vesiastiaan yösalaisiin ja annetaan olla pimeässä 20 °C:ssa seitsemän vuorokauden ajan. Vesinäytteen happipitoisuus määritetään sekä kokeen alussa että lopussa. Se mitataan elektrokemiallisesti Inolab Oxi 730 -mittarilla. /4./

Happipitoisuuksien erotuksen avulla voidaan laskea biokemiallinen hapenkulutusarvo. Laimennuksen ja siirroksen sekä laimennusveden hapen kulutuksesta aiheutuvat korjaukset otetaan laskuissa huomioon. Laimennetun näytteen hapen kulutuksen sekä jäännöshapen tulee olla vähintään 2 mg/l, jotta tulos hyväksytään. /4./

7.2 Kemiallinen hapenkulutus (COD)

COD (Chemical Oxygen demand) eli kemiallinen hapenkulutus ilmoittaa sen osan jäteveden orgaanisesta aineksesta, joka voidaan hapettaa kemiallisesti /14, s. 3/. Orgaaninen eloperäinen aines voi olla humusta, jätevettä, karjatalouden päästöjä tai luonnonhuuhtoumaa /46/.

Kemiallinen hapenkulutus määritetään joko KMnO₄-luvun, COD_{Mn}- tai COD_{Cr}-arvojen avulla. KMnO₄-menetelmässä kemiallinen hapenkulutus määritetään kaliumpermanganaatin kulutuksena happamassa liuoksessa. /17/. KMnO₄-luku kuvaa hapettuneen orgaanisen aineen määrää hapetuskemikaalin kulutuksena ja

COD_{Mn}-arvo happena. COD_{Mn}-arvo saadaan kertomalla KMnO₄-luku luvulla 0,253 /46/.

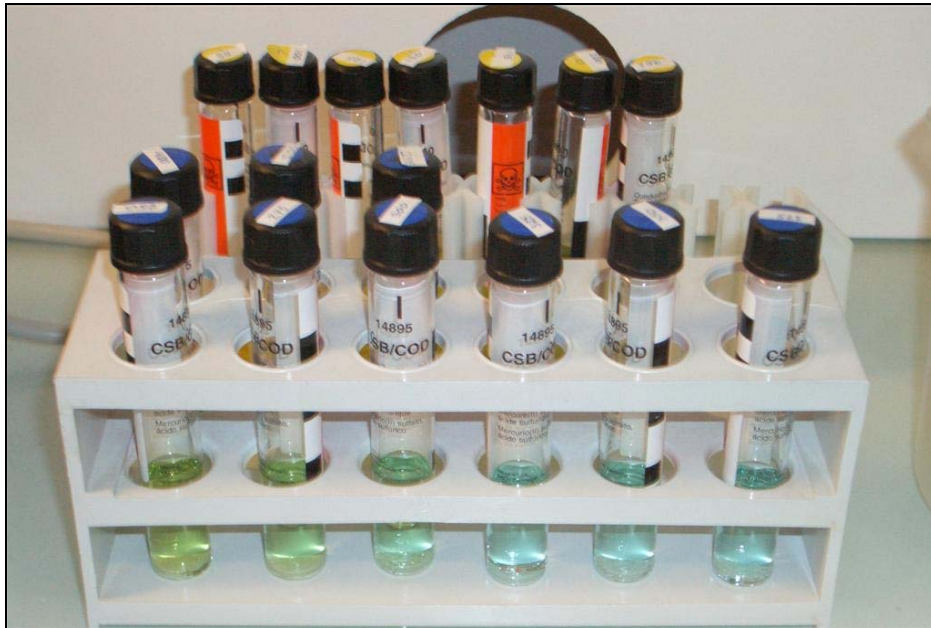
COD_{Cr}-menetelmässä dikromaatilla tapahtuva hapetus kertoo sen hapen määrän, jonka yksi litra kyseistä jätevettä kuluttaa, kun sen orgaaninen ja epäorgaaninen aines hajotetaan täydellisesti. Huomattavasti vahvemman hapetuksen vuoksi COD_{Cr}-arvo on moninkertainen COD_{Mn}-arvoon verrattuna eivätkä ne siten ole toisiinsa verrattavia /30/. Tulos ilmoitetaan milligrammoina litraa kohti (mg/l).

Tässä työssä yhtenä tutkimusmenetelmänä käytettiin COD_{Cr}-arvoa. Kokeet suoritettiin Tampereen Veden viemärlaitoksen laboratoriossa valmisputki-menetelmällä.

COD_{Cr}-analyysi

Laboration COD_{Cr}-analyysi perustuu ISO 15705 -standardiin. Valmisputki-menelmä Nova60-fotometrillä tapahtuva kemiallisen hapenkulutuksen määrittäminen soveltuu lähinnä jätevesille, joiden COD_{Cr}-arvon alarajana on 30 mg/l. Analyysissa käytetään Spectroquant-kyvettejä (kuva 8), joilla voidaan mitata COD_{Cr}-arvo väliltä 15 mg/l–300 mg/l. Yleensä näyte täytyy laimentaa mitta-alueelle sopivaksi, mutta laimennoskerroin huomioidaan lopputulosta ilmoitettaessa. Kyvetteissä on valmiina tarvittavat reagenssit oikeissa suhteissa ja määrittäystä varten täytyy lisätä vain tutkittava näyte. Menetelmän mukaan näyte hapetetaan kaliumdikromaatin kuumalla rikkiliuoksella. Hopeasulfaatti toimii siinä katalysaattorina, ja elohopeasulfaatilla vähennetään kloridin aiheuttamaa häiriötä. /16./

Menetelmäohjeen mukaan näyte laimennetaan tarvittaessa sopivaan pitoisuuteen. Kyvettien pohjalle laskeutunut, valmiista reagensseista muodostunut sakka liuotetaan ravistelemalla napakasti. 4 mol/l rikkihapolla kestävytyä näytettä pipetoidaan kyvetiin 2 ml, kyveti suljetaan kierrekorkilla ja sekoitetaan. Kyvettejä kuumennetaan 150 °C lämpöhauteessa kaksi tuntia, minkä jälkeen niiden annetaan jäähtyä 10 minuuttia ja sekoitetaan uudelleen. Jäähdytystä jatketaan vähintään 30 minuutin ajan, minkä jälkeen näytteet ovat valmiita mitattavaksi fotometrillä. Tulosta ilmoitettaessa otetaan huomioon mahdollinen laimennoskerroin. /16./



Kuva 8. COD_{Cr}-kyvetit

7.3 Typpiyhdisteet

Typeä esiintyy jätevesissä eri muodoissa. Kokonaistyyppi ilmoittaa veden kokonaistyyppipitoisuuden, johon sisältyvät kaikki typen esiintymismuodot, kuten orgaaninen typpi ja epäorgaaniset muodot. Nitraatin, nitriitin ja ammoniumin pitoisuudet voidaan mitata myös erikseen. /32./

Tässä työssä typpiyhdisteistä analysoitiin ammoniumtypen ja nitraattitypen pitoisuudet. Nitriitti ei ole pysyvä yhdiste, joten sen pitoisuudet ovat yleensä hyvin pieniä, eikä sitä sen vuoksi kannattanut analysoida /33/. Kokonaistyyppipitoisuutta ei analysoitu tässä työssä, koska Viemärlaitoksen laboratoriossa ei ollut siihen soveltuvaa laitteistoa käytössä.

Tavallisesti ammoniumtyppi määritetään alkaloimalla ja värjäämällä näyte, jolloin muodostuu sinivärinen yhdiste, indofenoli. Tämä tapahtuu lisäämällä näytteeseen hypokloriittia ja fenolia. Värin voimakkuus on verrannollinen ammoniumin määrään, ja se voidaan mitata spektrofotometrillä tai vertaamalla standardiin. /12, s. 32./

Nitraattitypen määrittäminen voidaan tehdä ionikromatografilla erottamalla ionit nestekromatografisesti erotuskolonniin avulla. Menetelmä perustuu siihen, että ionit liikkuvat kolonniin läpi eri nopeudella, ja ne havaitaan johtokykydetektorin avulla. Anionien kulkeutumisenopeus riippuu niiden koosta ja varauksesta. Anionien piikit voidaan tunnistaa verrattaessa niiden ja standardiliuosten retentioaikoja. Pitoisuus voidaan laskea piikin pinta-alan perusteella, sillä se on verrannollinen anionin konsentraatioon. /29; 38/

Ammoniumtyypin määrittäminen

Standardiin SFS 3032 perustuvassa laboratorion menetelmässä ammoniumioni muodostaa heikosti emäksisessä liuoksessa hypokloriitin kanssa monokloramiinin, joka fenolin ja ylimääräisen hypokloriitin läsnä ollessa muuttuu indofenoliksi. Katalysaattorina toimii nitroprussidi. Absorbanssi mitataan spektrofotometrillä. /15./

Näyte laimennetaan ensin laboratoriossa käytettävällä ionivaihdetulla Milli-Q-vedellä pitoisuuteen 0,05–0,40 mg/l. Sen jälkeen siitä otetaan 25 ml pulloon. Samalla valmistetaan Milli-Q-vedestä nollanäytteet sekä ammoniumkloridista tehdyt kontrollinäytteet. Näyte-, kontrolli- ja nollaliuokset värjätään lisäämällä niihin 1 ml natriumsitraatti-, fenolinitroprussidi- ja alkalista hypokloriittiliuosta, ja niiden annetaan olla pimeässä 2–24 tuntia. Blank-näyte tehdään muuten samoin, paitsi että siitä jätetään fenolinitroprussidi pois ja tilalle lisätään 1 ml Milli-Q-vettä. Ammoniumpitoisuudet määritetään Shimadzu UV-1700 -spektrofotometrillä. Jos näytteen pitoisuus on pienempi kuin 0,10 mg/l, se mitataan 5 cm:n kyvetillä ja aallonpituudella 880 nm. Jos pitoisuus on suurempi kuin 0,10 mg/l, käytetään mittaukseen 1 cm:n kyvetiä ja aallonpituutta 630 nm. /15./

Viemärlaitoksen laboratoriossa ammoniumtyypipitoisuus voidaan määrittää jätevesistä myös Dionex DX 120 -kromatografilla ionikromatografisesti. Kromatografissa käytössä oleva kationikolonne ei kuitenkaan kestä metanolia, mistä syystä sennapalkojätenäytteiden ammoniumtyypimäärittäminen ei edes kokeiltu tällä menetelmällä.

Nitraattitypen määrittäminen

Nitraattityppi määritetään Dionex DX 120 -ionikromatografilla. Laitteessa on anioninvaihtokolonni. Se sopii epäorgaanisten anionien määrittämiseen. Eluenttina käytetään natriumkarbonaatti/natriumvetykarbonaatti-vesiliuosta ja stationääri-faasina pienitehoista anioninvaihdinta, jonka positiivisesti varautuneet ryhmät vetävät puoleensa liuoksen anioneja. Mittauksessa käytetään 5 ml tai 0,5 ml näyteputkia. Näyte laimennetaan sopivaan pitoisuuteen ja nitraattitypen pitoisuus määritetään. Ohjelma laskee tulokset valmiiksi ajettujen standardisuorien perusteella, ja ne ilmoitetaan muodossa mg/l. /29, 38/.

7.4 Kokonaisfosfori

Fosforia esiintyy jätevedessä ortofosfaatteina, polyfosfaatteina sekä orgaanisesti sidottuna. Fosforin kokonaispitoisuudella tarkoitetaan näiden kaikkien summaa. /14, s. 20./ Fosforipitoisuus on tärkeä tekijä arvioitaessa veden rehevyyttä /31/.

Kokonaisfosforin määrittämisessä näyte käsitellään niin, että kaikki fosfori saadaan reaktiiviseen muotoon. Näytettä keitetään paineenalaisena voimakkaan hapettimen kanssa, jotta fosfori saadaan muutettua ortofosfaatiksi. Väriin voimakkuus on suhteessa fosforipitoisuuteen ja se voidaan mitata spektrofotometrillä tai vertaamalla standardiin /12, s. 30/. Kokonaisfosforipitoisuus ilmoitetaan muodossa mg/l.

Kokonaisfosforianalyysi

Kokonaisfosforianalyysi perustuu standardiin SFS 3026, jossa fosforin hajotus tapahtuu peroksidisulfaatilla. Liuoksessa, joka on rikkihapon suhteen noin 0,2 mol/l, muodostaa ortofostaatti molybdaatin ja kolmiarvoisen antimoniin kanssa antimoni-12-fosforimolybdeenihappoa. Askorbiinihappo pelkistää sen siniseksi kolloidiseksi kompleksiyhdisteeksi, jonka ortofosfaattipitoisuuden verrannollinen absorbanssi mitataan spektrofotometrillä. /18/

Kestävyitys näyte laimennetaan 0,04 mol/l rikkihapolla konsentraatioon 0,05–0,30 mg/l. Näytettä mitataan 25 ml autoklaavipulloon ja joukkoon lisätään 5 ml

peroksodisulfaattia. Näytesarjojen yhteydessä valmistetaan myös nollanäytteet Milli-Q-vedestä ja kontrollinäytteet kaliumdivetyfosfaatin perusliuoksesta. Pullot suljetaan, niitä sekoitetaan ja ne laitetaan 120 °C autoklaaviin 30 minuutiksi, minkä jälkeen ne jäähdytetään huoneenlämpöiseksi. Autoklavoidut ja jäähdytetyt nolla- ja kontrollinäytteet sekä varsinaiset näytteet värjätään 1 ml:lla askorbiinihappoliuosta sekä 1 ml:lla molybdaattireagenssia. Blank-näytteisiin lisätään 1 ml askorbiinihappoa ja 1 ml korjausreagenssia, jos näyte on sakkainen tai samea. Kokonaisfosforipitoisuus mitataan Shimadzu UV-1700 -spektrofotometrillä 5 cm:n kyveteillä aallonpituuden ollessa 880 nm. Jätevesien määrittämissä rajana on < 0,01 mg/l. /18./

7.5 Laboratoriokokeiden suoritus

7.5.1 Kokeet ionivaihdetulla vedellä

Sennapalkojätteen liuotuskokeisiin käytettiin laboratorion 25 °C ionivaihdettua Milli-Q-vettä. Sennapalkojätteen liuotuskokeissa tilavuussuhteet olivat 1:5 ja 1:15, ja sennapalkojätteen tilavuuspainona käytettiin arvoa 130 g/l /8, s. 46/. Tilavuussuhteen ollessa 1:5 punnittiin erlenmeyeriin palkojätettä 13 g ja lisättiin huoneenlämpöistä Milli-Q-vettä 400 ml. Vastaavasti tilavuussuhteen ollessa 1:15 punnittiin sennapalkojätettä 6,5 g ja otettiin Milli-Q-vettä 700 ml. Erlenmeyerpullot suljettiin parafilmillä. Liuotusaika oli neljä tuntia, minkä jälkeen liuokset suodatettiin 12–25 µm huokoskokoisten Whatman Schleicher & Schuell -suodatinpapereiden läpi. Suodoksista otettiin 100 ml:n näytteet mittapulloihin ja toimitettiin metanolimäärityksiin Ekokem Oy:lle. Suodoksista määritettiin myös biokemiallinen (BOD_{7ATU}) ja kemiallinen hapenkulutusluku (COD_{Cr}) sekä ammonium-, nitraatti ja kokonaisfosforipitoisuudet.

Milli-Q-vedellä ja murskatulla palkojätteellä tehtiin myös liuotuskokeet. Tilavuussuhteet olivat 1:5, 1:10 ja 1:15. Tilavuussuhteen ollessa 1:10 otettiin vettä erlenmeyeriin 900 ml ja palkojätettä punnittiin 13 g. Muita liuotuskokeita valmistettaessa meneteltiin samoin kuin edellä murskaamattomalla sennapalkojätteellä. Palkojäte murskattiin Braun MR 400 Plus -sauvasekoittimella. Murskaus

tapaukset tapahtui vasta veteen yhdistämisen jälkeen, sillä metanolin nopea haihtuminen haluttiin estää. Kolmen murskauskokeen suodoksista lähetettiin näytteet Ekokem Oy:lle metanolimääritystä varten. Suodoksista määritettiin myös biokemiallinen (BOD_{7ATU}) ja kemiallinen hapenkulutusluku (COD_{Cr}). Kokeiden avulla haluttiin selvittää, vaikuttaako murskaus metanolin liukenemiseen.

7.5.2 Kokeet esiselkeytettyllä jätevedellä

Kertanäyte esiselkeytetystä jätevedestä haettiin Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolta aamulla ennen laboratoriokokeiden aloittamista. Näyte otettiin selkeytysaltaiden jälkeisestä kohdasta, johon kalkkia ei ollut vielä lisätty. Liuotuskokeet tehtiin samalla tavalla kuin meneteltäessä tilavuussuhteilla 1:5 ja 1:15 ionivaihdetun veden kanssa. Suodoksista määritettiin biokemiallinen (BOD_{7ATU}) ja kemiallinen hapenkulutusarvo (COD_{Cr}) sekä ammonium-, nitraatti ja kokonaisfosforipitoisuudet. Näytteet toimitettiin 100 ml:n mittapulloissa Ekokem Oy:lle metanolipitoisuuden analysointia varten. Lisäksi tehtiin sennapalkojätteen liuotuskoe esiselkeytettyyn jäteveteen jääkaapissa (5 °C) sekä liuotuskoe huoneenlämmössä (n. 22°C) murskatulla sennapalolla. Molemmissa kokeissa tilavuussuhde oli 1:5. Kokeiden avulla pyrittiin selvittämään sekä lämpötilan että murskauksen vaikutus metanolin liukenemiseen palkojätteestä.

Lämpötilan vaikutuksen tutkimista varten punnittiin 13 g palkojätettä erlenmeyeriin, jossa oli 400 ml ionivaihdettua vettä. Liuos laitettiin 5 °C:seen jääkaappiin neljäksi tunniksi, minkä jälkeen se suodatettiin. Suodoksesta otettiin näyte metanolipitoisuuden määrittämistä varten, ja siitä tehtiin samat määrittäykset kuin aikaisemmin.

Vastaava määrä sennapalkojätettä punnittiin myös murskauskokeessa. Palkojäte murskattiin vasta veteen yhdistämisen jälkeen, sillä metanolin nopea haihtuminen haluttiin estää. Neljätuntisen liuotuksen jälkeen näyte suodatettiin. Suodoksesta otettiin näyte metanolipitoisuuden määrittämistä varten, ja siitä tehtiin samat määrittäykset kuin aikaisemmin.

7.5.3 Kokeet aktiivilietteellä

Aktiivilietteen kertanäyte otettiin Viinikanlahden puhdistamon ilmastusaltaasta (liite 1, kuva 4). Näytteet otettiin ilmastusaltaan neljännen linjan lohkoista numero 5. Aktiivilietteellä ja sennapalkojätteellä tehtiin kokeet tilavuussuhteilla 1:5 ja 1:15, sekä kokeet jääkaappilämpötilassa ja murskatulla palkojätteellä. Liuoksia valmistettaessa meneteltiin samoin kuin esiselkeytetystä jätevedestä kokeita tehtäessä. Näytteistä määritettiin biokemiallinen (BOD_{7ATU}) ja kemiallinen hapenkulutusarvo (COD_{Cr}) sekä kokonaisfosforipitoisuus.

Aktiivilietteellä ja ionivaihdettuun veteen liuotetulla sennapalkojätteellä sekä aktiivilietteellä ja puhtaalla metanolilla tehtiin myös kokeet, joissa pyrittiin jäljittelemään Espoon Suomenojan typenpoistoprosessissa vallitsevaa metanolin ja jätevesimäärän suhdetta (noin 54 g/m^3). Koetta varten 100 %:n metanolia laimennettiin pitoisuuteen 6300 mg/l eli 0,8-painoprosenttiseksi tiheyden 792 g/l perusteella laskettuna. Näin toimittiin, koska ionivaihdetun veden ja sennapalkojätteen liuotuskokeessa tilavuussuhteella 1:5 saatiin metanolipitoisuudeksi kyseinen arvo (liite 2). Laimennettua puhdasta metanolia ja sennapalkojätteestä ionivaihdettuun veteen tilavuussuhteella 1:5 liuotettua metanolipitoista suodosta lisättiin aktiivilietteeseen tietyt määrät. Metanolin suhteen tehtiin aktiivilietteellä 125-, 100-, 80-, 50-, 25-, 10- ja 4-kertaiset laimennokset. Espoossa metanolia käytetään 54 g/m^3 , mutta metanolia lisättiin tarkoituksella myös kyseistä arvoa enemmän ja vähemmän, jotta nähtäisiin myös määrän vaikutus. Tällä tavoin pyrittiin selvittämään, muuttaako metanolin määrä COD :n tuloksia ja onko puhtaan metanolin sekä palkojätteestä liuotetun metanolin välillä eroa. Analyysimenetelmäksi valittiin COD_{Cr} sen nopeuden vuoksi.

7.5.4 Kokeet mädättämölietteen kanssa

Sennapalkojätteellä ja kypsällä mädättämölietteellä tehtiin kokeet eri tilavuussuhteilla. Tilavuussuhteella 1:10 punnittiin palkojätettä 13 g mädättämölietteen joukkoon, jota oli 1 litran lasipullossa 900 ml . Vastaavasti suhteen ollessa 1:20 punnittiin palkojätettä $6,5 \text{ g}$. Palkojäte lisättiin 1 litran lasipulloon, jossa oli 950 ml

mädättämölietettä. Pullot suljettiin parafilmilla ja niitä säilytettiin vetokaapissa. Näytteitä sekoitettiin 3–5 kertaa viikossa, ja sennapalkojätteen hajoamista tarkkailtiin neljän viikon ajan. Pullojen lämpötila pysyi kyseisen ajan noin 22 °C:ssa.

8 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

8.1 Metanolipitoisuus

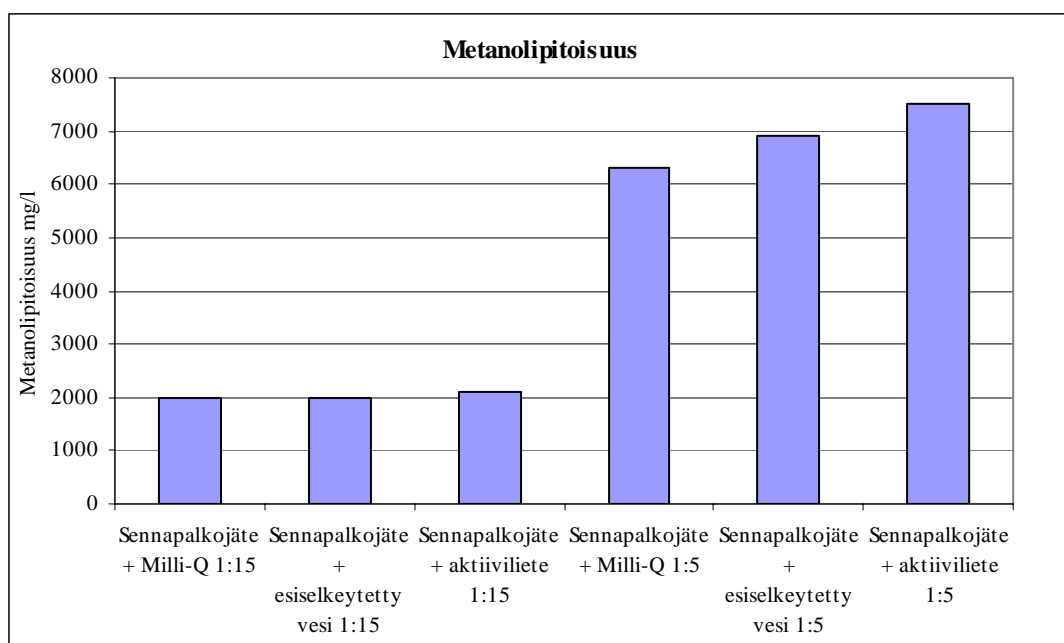
Taulukossa 3 ovat sennapalkojätteen liuotuskokeista Ekokem Oy:llä teetetyt metanolianalyysit numeroituina. Taulukossa näkyvät myös metanolianalyysien tulokset ja mittausepävarmuus.

Taulukko 3. Metanolipitoisuudet

Koe	Näyte	mg/l	Mittaus- epävarmuus(±)
1	Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:15	2000	45 %
2	Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:5	6300	45 %
3	Sennapalkojäte + esiselkeytetty jätevesi 1:15	2000	45 %
4	Sennapalkojäte + esiselkeytetty jätevesi 1:5	6900	45 %
5	Sennapalkojäte + esiselkeytetty jätevesi 1:5 (jääkaappi)	7000	45 %
6	Sennapalkojäte + esiselkeytetty jätevesi 1:5 (murskattu)	6400	45 %
7	Sennapalkojäte + aktiiviliete 1:15	2100	30 %
8	Sennapalkojäte + aktiiviliete 1:5	7500	30 %
9	Sennapalkojäte + aktiiviliete 1:5 (jääkaappi)	7600	30 %
10	Sennapalkojäte + aktiiviliete 1:5 (murskattu)	7200	30 %
11	Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:15 (murskattu)	1900	30 %
12	Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:10 (murskattu)	3100	30 %
13	Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:5 (murskattu)	6900	30 %

Taulukon 3 tulosten perusteella voidaan todeta metanolipitoisuuden nousevan sennapalkojätteen osuuden kasvaessa. Suhteen ollessa 1:15 oli metanolipitoisuus ionivaihdetussa vedessä 2000 mg/l (koe 1). Kun tilavuussuhde oli 1:5, oli pitoisuus 6300 mg/l (koe 2). Esiselkeytetyn jäteveden ja aktiivilietteen kohdalla tapahtui samoin. Tilavuussuhteella 1:15 oli esiselkeytettyssä vedessä metanolia 2000 mg/l (koe 3) ja aktiivilietteessä 2100 mg/l (koe 7). Tilavuussuhteella 1:5 vastaavat arvot olivat 6900 mg/l ja 7500 mg/l (kokeet 4 ja 8).

Metanolin liukenemisella ionivaihdettuun veteen, esiselkeytettyyn jäteveeteen ja aktiivilietteeseen havaitaan pientä eroa. Tulosten perusteella palkojätteestä näyttäisi liukenevan eniten metanolia aktiivilietteeseen, mutta ottaen huomioon metanoli-analyysin mittausepävarmuus ($\pm 30\text{--}45\%$), ei päätelmää voida pitää täysin varmana. Kuvassa 9 näkyvät tulokset metanolin liukenemisestä ionivaihdettuun veteen, esiselkeytettyyn veteen ja aktiivilietteeseen tilavuussuhteilla 1:15 ja 1:5.

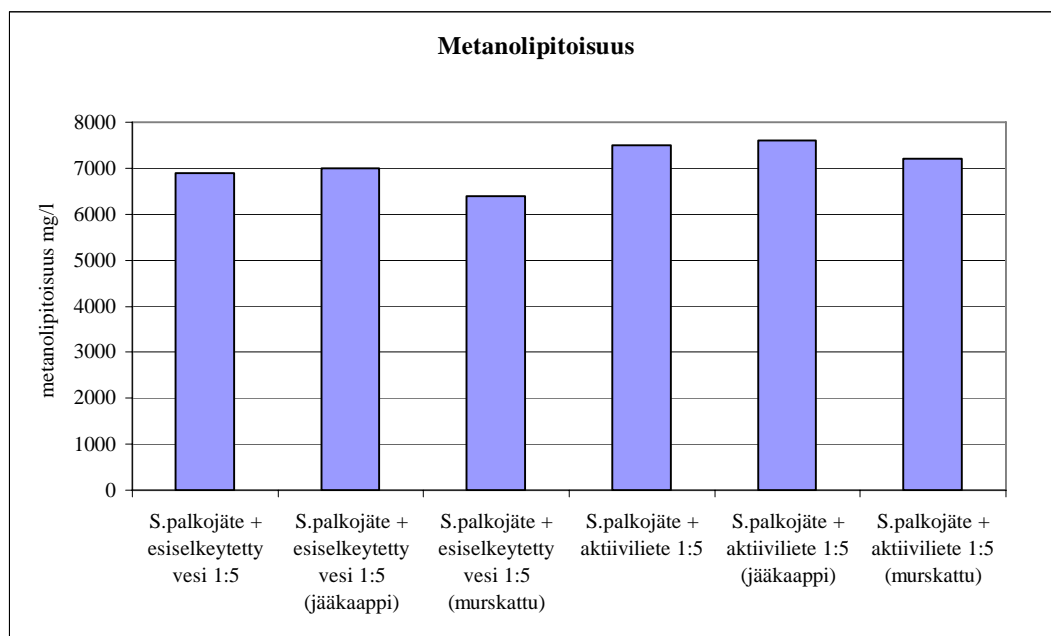


Kuva 9. Metanolin liukeneminen ionivaihdettuun veteen, esiselkeytettyyn veteen ja aktiivilietteeseen tilavuussuhteilla 1:15 ja 1:5

Sennapalkojätettä liuotettiin tilavuussuhteella 1:5 sekä huoneen lämmössä (n. 22 °C) että jääkaappilämpötilassa (5 °C) esiselkeytettyyn veteen ja aktiivilietteeseen. Huoneen lämmössä esiselkeytetyn veden metanolipitoisuudeksi saatiin 6900 mg/l (koe 4), kun taas 5 °C:ssa se oli 7000 mg/l (koe 5). Huoneenlämpöisen aktiivilietteen metanolipitoisuudeksi saatiin 7500 mg/l (koe 8) ja jääkaappilämpötilassa 7600 mg/l (koe 9). Tuloksista huomataan, että lämpötila ei näyttäisi vaikuttavan paljoakaan metanolin liukenemiseen sennapalkojätteestä.

Murskatulla palkojätteellä sekä esiselkeytettyllä vedellä ja aktiivilietteellä tehtiin myös kokeet tilavuussuhteella 1:5. Metanolipitoisuudeksi esiselkeytettyssä vedessä saatiin 6400 mg/l (koe 6) ja aktiivilietteessä 7200 mg/l (koe 10). Verrattaessa arvoja kokeisiin, joissa palkojätettä ei murskattu, näyttäisi metanolia liukenevan

vähemmän murskatusta palosta kuin murskaamattomasta. Kuvassa 10 näkyvät kokeiden tulokset.



Kuva 10. Metanolin liukeneminen murskaamattomasta ja murskatusta palkojätteestä esiselkeytettyyn veteen ja aktiivilietteeseen huoneenlämmössä sekä jääkaappilämpötilassa

Murskauksen vaikutusta metanolin liukenemiseen palkojätteestä haluttiin tutkia lisää, joten sama koe toistettiin ionivaihdetun veden kanssa eri suhteilla (taulukko 3, kokeet 11, 12, 13). Tilavuussuhteella 1:15 toteutetun kokeen metanolipitoisuudeksi saatiin 1900 mg/l (koe 11). Vastaavat arvot suhteilla 1:10 ja 1:5 olivat 3100 mg/l (koe 12) ja 6900 mg/l (koe 13). Nyt kuitenkin huomataan, että tilavuussuhteella 1:5 liukenee murskatusta sennapalosta ionivaihdettuun veteen enemmän metanolia kuin murskaamattomasta, jossa pitoisuus oli 6300 mg/l. Menetelmän mittausepävarmuus oli $\pm 30\text{--}45\%$. Siksi päätelmää, että murskatusta palkojätteestä liukenesi enemmän metanolia, ei voida pitää varmana.

Ekokem Oy:n vuonna 2007 tekemien palkojätteen metanolipitoisuuden määritysten keskiarvo oli noin 243 g metanolia/kg palkojätettä. Kun taulukon 3 metanolipitoisuudet lasketaan kiloa palkojätettä kohti, saadaan keskiarvoksi noin 215 g metanolia/kg palkojätettä. Tässä työssä tehtyjen laboratoriokokeiden metanolipitoisuuden keskiarvon perusteella saatiin sennapalkojätteestä liukenemaan

metanolia 88,4 % vuoden 2007 arvoon verrattuna. Näin Santen Oy:n sennosidi-tuotannossa vuoden aikana muodostuvasta sennapalkojätteestä saataisiin metanolia liukenemaan noin 150 400 kg. (Liite 2.)

8.2 Kokeet ionivaihdetulla vedellä

8.2.1 BOD_{7ATU}

Sennapalkojätteellä ja Milli-Q-vedellä tilavuussuhteilla 1:15 ja 1:5 tehtyjen kemiallisen hapenkulutuksen määrittäminen ei aluksi onnistunut liian pienen laimennoksen takia. Liuotuskokeet kuitenkin uusittiin ja suodoksista tehtiin BOD_{7ATU}-mittaukset uudestaan. Biokemiallisen hapenkulutuksen arvoiksi tilavuussuhteilla 1:15 ja 1:5 saatiin 2900 mg O₂/l ja 11 000 mg O₂/l (liite 3, taulukko 1). Pelkän Milli-Q-veden hapenkulutusravoa ei mitattu, mutta sen oletettiin olevan menetelmän alaraja eli 3 mg O₂/l. Murskauskokeista saatiin tilavuussuhteilla 1:15, 1:10 ja 1:5 tulokset 2800 mg O₂/l, 4200 mg O₂/l ja 9700 mg O₂/l. Liitteessä 3 on tulokset taulukoituna ja niistä piirretty kuvaaja.

Tuloksista voidaan huomata sennapalkojätteestä liuenneen metanolin vaikuttavan selvästi biokemialliseen hapenkulutusravoon. Biokemiallisen hapenkulutuksen arvot näyttivät nousevan samassa suhteessa, kuin tilavuussuhde kasvoi. Metanoli lisäsi Milli-Q-vedessä orgaanisen aineksen määrää, joten sen biokemialliseen hapettumiseen kului enemmän happea. Arvoa on saattanut myös nostaa sennapalkojätteestä mahdollisesti vesijakeeseen siirtyneet epäpuhtaudet.

8.2.2 COD_{Cr}

Kemiallisen hapenkulutuksen arvoiksi tilavuussuhteilla 1:15 ja 1:5 saatiin 3500 mg O₂/l ja 11 000 mg O₂/l. Pelkän Milli-Q-veden hapenkulutusravoa ei mitattu, mutta sen oletettiin olevan menetelmän alaraja eli 15 mg O₂/l. Murskauskokeista saatiin tilavuussuhteilla 1:15, 1:10 ja 1:5 tulokset 3500 mg O₂/l, 5700 mg O₂/l ja 13 000 mg O₂/l. Liitteessä 3 on taulukko tuloksista sekä niistä piirretty kuvaaja.

Myös COD_{Cr}-analyysissä huomattiin metanolin vaikuttavan selvästi kemialliseen hapenkulutusarvoon. Arvot näyttivät nousevan samassa suhteessa, kuin tilavuussuhde kasvoi. Orgaanisen aineen, tässä tapauksessa metanolin, lisääntyttä kemialliseen hapettamiseen kului runsaasti happea. Lisäksi sennapalkojätteestä vesinäytteeseen siirtyneet epäpuhtaudet ovat saattaneet nostaa kemiallista hapenkulutusarvoa.

8.2.3 Nitraatti- ja ammoniumtyppi

Tilavuussuhteiden 1:15 ja 1:5 liuotuskokeiden suodoksista mitattiin nitraattitypen määrä laboratorion ionikromatografilla ja ammoniumtypen määrä spektrofotometrillä. Pelkästä Milli-Q-veden ei kyseisiä määrittelyksiä tehty, sillä sen oletettiin luonnollisesti olevan täysin puhdasta. Ionikromatografilla ei havaittu näytteissä olevan nitraattityppeä, mutta ammoniumtyppipitoisuus tilavuussuhteen 1:15 näytteessä sen sijaan oli 0,47 mg/l ja tilavuussuhteella 1:5 1,0 mg/l. (Liite 3, taulukko 1.)

Tuloksista huomataan, että pitoisuudet ovat hyvin pieniä. Sen perusteella voidaan päätellä, ettei sennapalko lisää nitraatti- ja ammoniumtypen määrää. Tämän oletuksen takia nitraatti- ja ammoniumtyppipitoisuutta ei enää mitattu sennapalkojätteen murskauskokeista ionivaihdettuun veteen tilavuussuhteilla 1:15, 1:10 ja 1:5.

8.2.4 Kokonaisfosfori

Kokonaisfosforipitoisuus mitattiin laboratorion spektrofotometrillä. Pitoisuuksiksi tilavuussuhteiden 1:15 ja 1:5 näytteissä saatiin 3,0 mg/l ja 11 mg/l. Arvot ovat pieniä, mutta niistä voidaan päätellä, että sennapalko lisää hieman kokonaisfosforin määrää. (Liite 3, taulukko 1.)

8.3 Kokeet esiselkeytetyllä jätevedellä

8.3.1 BOD_{7ATU}

Pelkän esiselkeytetyn jäteveden biokemialliseksi hapenkulutusarvoksi saatiin 110 mg O₂/l. Vastaavasti tilavuussuhteen 1:15 ja 1:5 kokeiden arvoiksi mitattiin 2600 mg O₂/l ja 9200 mg O₂/l. Jääkaapissa tilavuussuhteella 1:5 tehdyn kokeen hapenkulutusarvo oli 8700 mg/l ja murskatulla palkojätteellä tehdyn kokeen 8900 mg O₂/l. Tulokset näkyvät liitteessä 4, taulukossa 1.

Liutuskokeiden BOD_{7ATU}-arvot mitattiin suodatetusta liuksesta, kun taas pelkän esiselkeytetyn jäteveden arvo mitattiin suodattamattomasta. Tulokset eivät periaatteessa ole vertailukelpoisia, mutta niistä voitiin huomata jälleen, että biokemiallinen hapenkulutusarvo nousi silti huomattavasti, kun metanolipitoista sennapalkojätettä lisättiin esiselkeytetyn jäteveden joukkoon. Sennapalkojätteestä mahdollisesti siirtyneet epäpuhtaudet ja liennut metanoli nostivat esiselkeytetyn jäteveden orgaanisen aineksen määrää, jonka biokemialliseen hapettumiseen myös kului paljon enemmän happea.

8.3.2 COD_{Cr}

Kemiallisen hapenkulutuksen arvoiksi tilavuussuhteiden 1:15 ja 1:5 suodoksista saatiin 3600 mg O₂/l ja 12 000 mg O₂/l. Pelkän esiselkeytetyn jäteveden arvoksi mitattiin 200 mg O₂/l. Tässäkin tapauksessa se mitattiin suodattamattomasta näytteestä. Murskatulla sennapalolla ja jääkaapissa tehtyjen kokeiden COD_{Cr}-arvoiksi mitattiin molemmissa 12 000 mg O₂/l. (Liite 4, taulukko 1.)

Tuloksien perusteella voidaan huomata kemiallisen hapenkulutusluvun nousevan samalla, kun tilavuussuhde kasvaa (liite 4, kuva 1). Eroa jääkaapissa ja murskatulla sennapalkojätteellä tehtyihin kokeisiin ei havaita. Tässäkin tapauksessa sennapalkojätteestä liennut metanoli sekä epäpuhtaudet nostivat esiselkeytetyn jäteveden orgaanisen aineksen pitoisuutta, minkä takia kemialliseen hapettumiseen kuluva hapen määrä suureni.

8.3.3 Nitraatti- ja ammoniumtyppi

Esiselkeytetyn jäteveden nitraattipitoisuudeksi saatiin 0,06 mg/l ja ammoniumpitoisuudeksi 37 mg/l. Tilavuussuhteiden 1:15 ja 1:5 sennapalkojätteen liuotuskokeiden nitraattimääräksi mitattiin molemmissa 0,06 mg/l. Vastaavasti ammoniumtyypipitoisuus oli tilavuussuhteen 1:15 kokeessa 36 mg/l ja tilavuussuhteen 1:5 kokeessa 35 mg/l. Jääkaappilämpötilassa tilavuussuhteella 1:5 tehdyn kokeen nitraattipitoisuus oli 0,07 mg/l ja ammoniumtyppeä oli 33 mg/l. Murskatulla palolla arvot olivat 0,06 mg/l ja 35 mg/l. (Liite 4, taulukko1.)

Vaikka pelkän esiselkeytetyn jäteveden nitraatti- ja ammoniumtyppimäärät mitattiin suodattamattomasta näytteestä ja liuotuskokeiden suodatetusta näytteestä, ei suurta eroa arvoissa ole. Tulosten perusteella voidaan jälleen todeta, ettei sennapalkojäte lisää nitraatti- ja ammoniumtyypen määrää.

8.3.4 Kokonaisfosfori

Esiselkeytetyn jäteveden kokonaisfosforimääräksi mitattiin 3 mg/l. Tilavuussuhteen 1:15 ja 1:5 kokeiden pitoisuuksiksi saatiin 4,6 mg/l ja 12 mg/l. Jääkaapissa tehdyn sennapalkojätteen liuotuskokeen kokonaisfosforimäärä oli 9,1 mg/l ja murskatulla palolla tehdyn 13 mg/l. (Liite 4, taulukko 1.)

Arvojen huomataan vaihtelevan hieman, mutta kokonaisfosforipitoisuudet ovat kuitenkin pieniä. Tulosten perusteella sennapalkojäte näyttäisi lisäävän hieman kokonaisfosforin määrää.

8.4 Kokeet aktiivilietteellä

Sennapalkojätteen liuotuskokeista aktiivilietteeseen mitattiin vain BOD_{7ATU}- ja COD_{Cr}-arvot. Puhdistamotilannetta jäljittelevästä kokeesta mitattiin ainoastaan COD_{Cr}-arvot. Aikaisempien nitraatti-, ammoniumtyppi- ja kokonaisfosfori-

mittausten perusteella todettiin, että kyseiset pitoisuudet ovat hyvin pieniä eikä sennapalkojäte nosta niitä paljoa.

8.4.1 BOD_{7ATU}

Aktiivilietteen BOD_{7ATU}-arvoksi mitattiin 1400 mg O₂/l. Tilavuussuhteella 1:15 ja 1:5 tehtyjen liuotuskokeiden tuloksiksi saatiin 2700 mg O₂/l ja 9600 mg O₂/l. Jääkaappilämpötilassa sekä murskatulla palolla tehtyjen kokeiden arvot olivat 9400 mg O₂/l ja 9300 mg O₂/l. (Liite 5, taulukko 1.)

Sennapalkojätteestä liunneen metanolin vaikutus biokemialliseen hapenkulutusarvoon voidaan huomata jälleen. Arvot nousivat selkeästi metanolia sisältävissä näytteissä ja samoin, kun tilavuussuhde kasvoi. Suurta eroa murskaamattoman ja murskatun palkojätteen sekä huoneenlämmössä ja jääkaappilämpötilassa tehdyn kokeen välillä ei havaita.

8.4.2 COD_{Cr}

Aktiivilietteen kemiallinen hapenkulutusarvo oli 3500 mg O₂/l ja tilavuussuhteella 1:15 sekä 1:5 tehtyjen kokeiden arvot olivat 3600 mg O₂/l ja 14000 mg O₂/l. Vastaavasti jääkaappikokeesta ja murskatulla sennapalolla tehdyistä kokeista mitattiin molemmista lukema 12 000 mg O₂/l. (Liite 5, taulukko 1.)

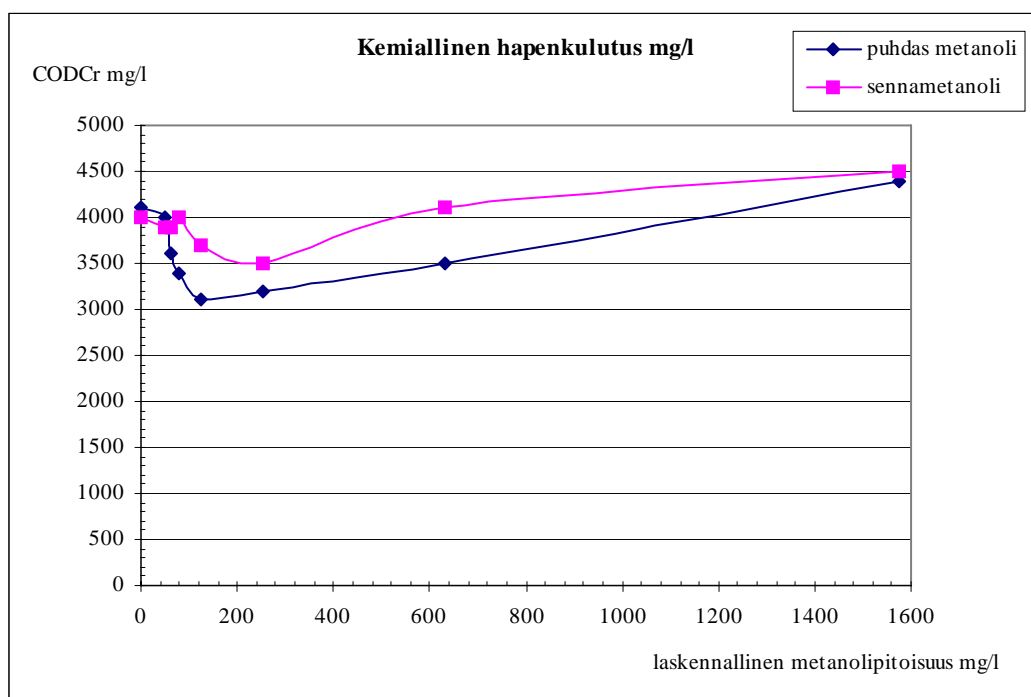
Sennapalkojätteestä liunnut metanoli käyttäytyi kokeissa samalla tavalla kuin aikaisemmin, joten se nosti mittausarvoja selkeästi. Myös tilavuussuhde vaikutti tuloksiin oletetulla tavalla eli arvot nousivat samassa suhteessa (liite 5, kuva 1).

Aktiivilietteellä ja sennapalkojätteellä sekä aktiivilietteellä ja puhtaalla metanolilla tehtiin Espoon Suomenojan puhdistamon tilannetta jäljittelevät kokeet. Eri metanolipitoisuuksilla tehdyistä kokeista mitattiin COD_{Cr}-arvot, ja puhtaan metanolin ja palkojätteestä liuotetun metanolin tuloksia verrattiin keskenään. Aktiivilietteen kemiallinen hapenkulutus mitattiin kaksi kertaa, sillä palkojätteen

sisältämällä metanolilla ja puhtaalla metanolilla tehdyt kokeet suoritettiin eri päivinä ja aktiivilietteen eri kerta-annosteista. Taulukossa 4 näkyvät aktiivilietteen metanolipitoisuudet ja kuvassa 11 kuvaajat näiden COD_{Cr}-arvoista.

Taulukko 4. Aktiivilietekokeiden laskennalliset metanolipitoisuudet sekä COD_{Cr}-arvot

Näyte	Laskennallinen metanolin pitoisuus näytteessä	COD(Cr) mg/l
Aktiiviliete 1	0 mg/l	4000
Aktiiviliete 1 + sennametanoli (125 x)	50,4 mg/l	3900
Aktiiviliete 1 + sennametanoli (100 x)	63,0 mg/l	3900
Aktiiviliete 1 + sennametanoli (80 x)	78,8 mg/l	4100
Aktiiviliete 1 + sennametanoli (50 x)	126 mg/l	3700
Aktiiviliete 1 + sennametanoli (25 x)	252 mg/l	3500
Aktiiviliete 1 + sennametanoli (10 x)	630 mg/l	4000
Aktiiviliete 1 + sennametanoli(4 x)	1575 mg/l	4500
Aktiiviliete 2	0 mg/l	4100
Aktiiviliete 2 + puhdas metanoli (125 x)	50,4 mg/l	4000
Aktiiviliete 2 + puhdas metanoli (100 x)	63,0 mg/l	3600
Aktiiviliete 2 + puhdas metanoli (80 x)	78,8 mg/l	3400
Aktiiviliete 2 + puhdas metanoli (50 x)	126 mg/l	3100
Aktiiviliete 2 + puhdasmetanoli (25 x)	252 mg/l	3200
Aktiiviliete 2 + puhdas metanoli (10 x)	630 mg/l	3500
Aktiiviliete 2 + puhdas metanoli (4 x)	1575 mg/l	4400



Kuva 11. COD_{Cr}-arvojen kuvaajat

Aktiiviliete 1:n COD_{Cr}-arvoksi saatiin 4000 mg/l ja aktiiviliete 2:n 4100 mg/l. Kuten kuvan 11 kuvaajista voidaan huomata, tapahtui kemiallisissa hapenkulutusarvoissa lasku lisättäessä metanolia tietty määrä aktiivilietteeseen. Alin arvo COD_{Cr}:ssä saavutettiin, kun sennapalkojättesuodoksen arvioitu metanolipitoisuus aktiivilietteessä oli 252 mg/l, jolloin COD_{Cr}-arvoksi saatiin 3500 mg/l. Kun puhtaan metanolin pitoisuus oli 126 mg/l, oli hapenkulutusarvo 3100 mg/l. Jos metanolia lisättiin suhteessa liikaa, nousi COD_{Cr}-arvo molemmissa tapauksissa korkeammaksi kuin pelkän aktiivilietteen. Jos metanolia taas oli suhteessa vähän, ei hapenkulutus laskenut paljoakaan, vaan pysyi lähellä pelkän aktiivilietteen arvoa. Kuvasta 11 voidaan myös huomata, että puhdas laimennettu metanoli ja sennapalkojätteestä liuotettu metanoli käyttäytyivät aktiivilietteessä lähes samalla tavalla. Kokeessa, jossa palkojätteestä liuotetun metanolin arvioitu pitoisuus aktiivilietteessä oli 78,8 mg/l, on tosin saattanut tapahtua mittausvirheestä johtuva arvon nousu.

Kemiallisen hapenkulutusarvon laskun voi selittää esimerkiksi se, että metanolin toimiessa lisähiililähteenä tehostuu mikrobien toiminta, jolloin ne käyttävät myös enemmän aktiivilietteen orgaanista ainesta hyväkseen. Tällöin orgaanisen aineksen määrä vähenee lietteessä, joten se on puhtaampaa. Tämän vuoksi hapenkulutus myös alenee. Kokeen perusteella aktiivilietteeseen lisätyn palkojättesuodoksen optimipitoisuudeksi voidaan todeta arvo 252 mg/l ja puhtaan metanolin arvo 126 mg/l. Eron puhtaan metanolin ja palkojättemetanolin välillä voi selittää se, että sennapalkojätteestä aktiivilietteeseen siirtyneet epäpuhtaudet aiheuttavat mahdollisesti hapenkulutuksessa arvon nousun ja arvot ovat sen vuoksi korkeammat. Toinen selitys kemiallisen hapenkulutusarvon laskulle, voisi olla se, että lisättäessä metanolia aktiivilietteeseen on saattanut tapahtua mikrobikannassa muutos.

8.4.3 Kokonaisfosfori

Aktiivilietteen kokonaisfosforipitoisuus mitattiin suodatetusta näytteestä ja tulokseksi saatiin 2,1 mg/l. Muiden liuotuskokeiden pitoisuudet mitattiin myös suodatetuista liuoksista. Tilavuussuhteen 1:15 kokeen arvoksi mitattiin 0,5 mg/l ja

tilavuussuhteen 1:5 1,3 mg/l. Jääkaapissa tehdyn sennapalkojätteen liuotuskokeen kokonaisfosforipitoisuus oli 1,1 mg/l ja murskatulla palkojätteellä tehdyn 3 mg/l.

Todellisuudessa arvot olisivat suurempia, sillä kokonaisfosforipitoisuus mitataan normaalisti suodattamattomasta aktiivilietteestä märkäpolttamalla ensin näyte. Tällöin näytettä kiehutetaan 30 minuutin ajan painekattilassa typpihapon kanssa ennen mittausta. Koska painekattilakäsittelyä ei tehty, mitattiin näytteistä käytännössä liukoisen kokonaisfosforin pitoisuudet. Suodatuksen jälkeen myös suurin osa aktiivilietteestä jäi suodatinpaperiin, joten suodos oli huomattavasti kirkkaampaa kuin ennen koetta. Tämä on luultavasti osaltaan vaikuttanut tulokseen. Mittaustuloksissa huomataan pientä vaihtelua, mutta niiden perusteella sennapalkojäte ei näyttäisi lisäävän kokonaisfosforin määrää aktiivilietteessä toisin kuin ionivaihdetussa ja esiselkeytetyssä jätevedessä. (Liite 5, taulukko 1.)

8.5 Mädättämölietekoe

Mädättämölietettä, jonka joukkoon lisättiin sennapalkojätettä tilavuussuhteilla 1:10 ja 1:20, säilytettiin parafilmilla suljetuissa lasipulloissa neljän viikon ajan. Lietteen lämpötilassa ei tapahtunut muutosta ja se pysyi samana noin 22 °C:ssa. Palkojen rakenteessa havaittiin muutos, sillä palot ohentuivat, pehmenivät ja niistä hävisi väri. Eri tilavuussuhteiden välillä ei havaittu eroa. Kuvassa 12 on nähtävissä sennapalko ennen koetta ja sen jälkeen.



Kuva 12. Sennapalot. Vasemmalla on palko ennen koetta, keskellä palko 1:10 tilavuussuhteen mädättämölietetekokeen jälkeen ja oikealla palko kokeen jälkeen, jossa tilavuussuhteena oli 1:20.

Kokeen perusteella voitiin päätellä sennapalon rakenteen muuttuneen kypsän mädättämölietteen joukossa. Sennapalko ei kuitenkaan hajonnut kokonaan. Tähän saattoi olla syynä suhteellisen alhainen lietteen lämpötila kokeen aikana. Todellisissa olosuhteissa lietteen lämpötila mädättämössä on 35 °C. Mädätysprosessi vaatii myös hapettomat olosuhteet ja sekoituksen, mutta se ei ollut mahdollista kyseisissä koejärjestelyissä. Epäedullisten olosuhteiden vuoksi mädätysprosessi oli luultavasti pysähtynyt tai ainakin merkittävästi hidastunut.

Aikaisemmassa sennapalkojätteen hyödyntämistä käsittelevässä tutkimuksessa palkojätteen hajoamista tutkittiin panoskokeilla anaerobioloissa. Kokeissa määritettiin palkojätteen biokaasuntuotto- ja metaanintuottopotentiaali sekä metaanipitoisuus. Biokaasuntuottopotentiaaliksi saatiin 0,32 l/g, metaanintuottopotentiaaliksi 0,24 l/g ja kaasun metaanipitoisuudeksi 74 %. Kaasuntuotto oli nopeinta 2.–4. päivänä. Sennapalkojäte oli hyvä biokaasun lähde, sillä anaerobikäsitely muutti palkojätteen tehokkaasti ja nopeasti biokaasuksi. /8, s. 60–61, 67–68/.

9 YHTEENVETO KOKEIDEN TULOKSISTA JA PÄÄTELMÄT

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia, voisiko metanolia sisältävää sennapalkojätettä hyödyntää jätevedenpuhdistuksessa kokonaistypenpoistoprosessissa. Sennapalkojätteen soveltuvuutta jätevedenpuhdistukseen tutkittiin tekemällä sennapalkojätteen liuotuskokeita laboratorion ionivaihdettuun Milli-Q-veteen ja Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolta haettuun esiselkeytettyyn jäteveteen sekä aktiivilietteeseen. Lisäksi seurattiin sennapalkojätteen käyttäytymistä mädättämölietenäytteen joukossa neljän viikon ajan. Liuotuskokeissa tutkittiin metanolin liukenevuutta sennapalkojätteestä. Biokemiallisen (BOD_{7ATU}) ja kemiallisen hapenkulutuksen (COD_{Cr}) avulla selvitettiin sennapalkojätteestä liuotetun metanolin hyödyntämistä kokonaistypenpoistossa lisähiililähteenä. Kokeissa tutkittiin lähinnä palkojätteen vaikutusta ionivaihdettuun veteen sekä puhdistamolta haettuihin esiselkeytettyyn jäteveden ja aktiivilietteen kertainäytteisiin. Aktiivilietekoe toistettiin myös puhtaan metanolin kanssa. Mittausten avulla pyrittiin myös selvittämään sennapalkojätteen vaikutus ammonium- ja nitraattitypen määriin.

Laboratoriokokeiden perusteella metanoli vaikutti huomattavasti Milli-Q-veden, esiselkeytetyn jäteveden sekä aktiivilietteen BOD_{7ATU} - ja COD_{Cr} -arvoihin. Tehtyjen laboratoriokokeiden perusteella molemmat arvot nousivat selkeästi alkuperäisestä, kun joukkoon lisättiin suhteellisen paljon joko sennapalkojätteestä liuotettua metanolipitoista suodosta tai puhdasta metanolia. Jos metanolia oli suhteessa vähän, ei arvoissa tapahtunut merkittävää muutosta.

COD_{Cr} -analyysi oli kemiallisen hapenkulutuksen mittaukseen hyvä ja nopea menetelmä. Tämän vuoksi puhdistamon tilannetta jäljittelevistä laboratoriokokeista mitattiin vain COD_{Cr} -arvot. Kokeiden perusteella huomattiin, että COD_{Cr} -arvot alenivat eniten, kun aktiivilietteessä oli sennapalkojätteestä saatua metanolia arviolta 252 mg/l. Vastaavasti aktiivilietteen COD_{Cr} -arvo aleni eniten, kun puhtaan metanolin arvioitu pitoisuus siinä oli 126 mg/l. COD_{Cr} -arvojen laskusta voitiin päätellä, että joko aktiiviliete puhdistui mikrobien toiminnan tehostuessa tai aktiivilietteen mikrobikannassa tapahtui muutos.

Tehtyjen kokeiden perusteella sennapalkojätteestä liukeni eniten metanolia aktiivilietteeeseen. Ionivaihdettuun veteen liukeni metanolia enemmän murskatusta kuin murskaamattomasta palkojätteestä. Päätelmiä ei kuitenkaan voida pitää täysin varmoina, sillä metanolianalyysin mittauserävarmuus oli $\pm 30\text{--}40\%$, ja sennapalkojätteen käsittelyvaiheissa ennen liuotuskokeita metanolia oli voinut haihtua palosta. Tämä taas on saattanut vaikuttaa metanolianalyyseistä saatuihin tuloksiin. Sen sijaan alhaisempi lämpötila ei vaikuttanut metanolin liukenemiseen palkojätteestä. Talviolosuhteet puhdistamolla eivät siis tuottaisi ongelmia ainakaan metanolin liukenevuuden suhteen.

Tässä tutkimuksessa tehtyjen liuotuskokeiden perusteella kilogrammasta sennapalkojätettä liukeni metanolia keskimäärin 215 g. Näin Santen Oy:n tehtaalla syntyvästä sennapalkojätteestä saataisiin metanolia vuodessa noin 150 400 kg. Jos Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla toteutettaisiin kokonaistypenpoisto, niin sennapalkojätteestä liuotettua metanolia voitaisiin hyödyntää denitrifikaatiobakteerien hiililähteenä ja palkojätteestä saatava määrä vastaisi noin 12 %:a Viinikanlahden puhdistamon vuosittaisesta lisähiililähteestä. (Liite 2.) Pienemmällä

jätevedenpuhdistamolla, jossa tulevaisuudessa tapahtuisi typenpoistoa (esimerkiksi Vammalassa tai Jyväskylässä), metanolin tarve olisi myös pienempi. Siten sennapalkojätteestä saatava metanolimäärä verrattuna kokonaistarpeeseen voisi olla prosentuaalisesti suurempi.

Laboratoriokokeiden perusteella sennapalkojäte ei lisännyt jäteveden ammonium- ja nitraattityypipitoisuutta. Kokonaisfosforipitoisuus sen sijaan näytti hieman kasvavan. Todellisessa tilanteessa sennapalkojätteen tilavuussuhde jätevedessä olisi huomattavasti pienempi kuin laboratoriokokeiden tilavuussuhde 1:15–1:5. Tämän perusteella todellisessa tilanteessa jäteveden kokonaisfosforipitoisuus ei välttämättä juurikaan muuttuisi.

Mädättämölietekoikeessa, jossa sennapalkojätettä ja Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon mädättämölietettä säilytettiin parafilmillä suljetuissa lasipulloissa neljän viikon ajan, huomattiin sennapalkojätteen rakenteessa tapahtuneen muutoksia, kuten värin häviämistä ja palon ohentumista. Laboratoriokokeen järjestely ei kuitenkaan vastannut aivan todellista tilannetta, joten itse mädätysprosessi oli todennäköisesti pysähtynyt tai ainakin hidastanut. Todellisissa tilanteissa sennapalkojätteen murskaamisesta ja pumppaamisesta mädättämöön esimerkiksi repivän pumpun avulla voisi olla hyötyä, jolloin palko olisi pienemmässä partikkelikoossa ja hajoaisi todennäköisesti nopeammin mädättämölietteen joukossa.

Tämän tutkimuksen perusteella sennapalkojäte voisi soveltua jätevedenpuhdistusprosessiin ainakin siltä osin, että sennapalkojäte ei kokeiden perusteella lisää ammonium- ja nitraattityypipitoisuutta ja kokonaisfosforipitoisuuttakin vain vähän. Sennapalkojätteestä liuotettu metanoli näyttää myös käyttäytyvän aktiivilietteessä samoin kuin puhdas laimennettu metanoli, joten todennäköisesti se myös voisi toimia typenpoistossa halutulla tavalla. Sennapalkojätteen suoranaista vaikutusta kokonaistypenpoistoprosessiin ei kuitenkaan voitu tutkia, sillä tässä työssä tutkimuskohteena käytetyn Tampereen Veden Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon prosessissa ei toteuteta kokonaistypenpoistoa eikä sen edellyttämää denitrifikaatiovaihetta.

Sennapalkojätteen käytöstä jätevedenpuhdistuksessa saattaisi olla kuitenkin hyötyä molemmille osapuolille, sekä Santen Oy:lle että Tampereen Vedelle. Santen Oy:n ei tarvitsisi enää toimittaa palkojätettä ongelmajätteenkäsittelylaitokselle, mikä taas vähentäisi esimerkiksi jätteenkäsittelymaksuja sekä päästöjä lyhempien kuljetusmatkojen vuoksi. Mikäli Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla toteutettaisiin kokonaistypenpoisto, niin tämän tutkimuksen perusteella Tampereen Vesi hyötyisi palkojätteestä saamalla siitä metanolina noin 12 % vuosittaisesta tarpeesta. Toisaalta taas sennapalkojätteen hyödyntämisen haittana puhdistamolla olisi se, että palkojätekontit voitaisiin tyhjentää vain noin kolme kertaa kahdessa viikossa sennosidituotantoprosessin takia, jolloin palkojätettä ei voitaisi hyödyntää joka päivä puhdistamolla. Sennapalkojätteestä saatavan metanolin hyödyntämisestä esimerkiksi Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla aiheutuisi myös lisäkustannuksia puhdistamolle. Kustannuksia lisääisivät esimerkiksi tarvittavat lisälaitteiden investoinnit sekä käyttö- ja huoltokustannukset.

Jatkotutkimusehdotukset

Sennapalkojätteen sisältämän metanolin hyödyntäminen jätevedenpuhdistamolla vaatii suuremman kuin laboratoriomittakaavan jatkotutkimuksia hankkeen toteuttamiskelpoisuuden arviointia varten. Puhdistamolla tulisi tehdä esimerkiksi suuremman tai täyden mittakaavan koeajoja, missä kokonaistypenpoisto olisi käytössä. Tällaisilla kokeilla voitaisiin selvittää sennapalkojätteen todelliset vaikutukset itse prosessiin. Tulisi myös selvittää, minkä kokoinen ja minkälainen allas tai säiliö palkojätteen liuottamista varten pitäisi puhdistamolle hankkia. Olisi myös tarpeellista tutkia, miten palkojätettä voitaisiin syöttää jätevedenpuhdistusprosessiin jatkuvasti, miten välivarastointi järjestyisi ja mitkä olisivat kustannukset.

Puhtaan metanolin ja sennapalkojätteestä liuotetun metanolin käyttö aktiivilietteen denitrifikaatiovaiheessa vaatii myös lisätutkimuksia. COD_{Cr}-arvon laskua aktiivilietekokeessa, jossa lisättiin joukkoon sekä puhdasta että sennapalkojätteestä liuotettua metanolia, voisi tutkia esimerkiksi mikroskooppisesti mahdollisen mikrobikannan muutoksen vuoksi. Lisäksi kokonaistypen laboratoriomittaukset olisivat tarpeellisia, sillä tämän tutkimuksen perusteella saatiin tietoa vain ammonium- ja nitraattitypen määrästä.

LÄHTEET

Painetut lähteet

1. Antila, Anna-Maija – Karppinen, Maarit – Leskelä, Markku – Mölsä, Heini – Pohjakallio, Maija, Tekniikan kemia. Oy Edita Ab. Helsinki 1999. 288 s.
2. Fred, Tommi, Biologinen jälkisuodatin typenpoistossa. Vesitalous 4/2004, s. 17–19.
3. Horan, N.J, Biological wastewater treatment systems, Theory and Operation. John Wiley & Sons Ltd. Chichester 1991. 310 s.
4. Jäteveden biokemiallisen hapen kulutuksen (BOD₇) määrittäminen. Menetelmäohje. Tampereen Veden Viemärlaitoksen laboratorio. Tampere 1998. 8 s.
5. Kanerva, Kaarina – Karkela, Lea – Valste, Juha, Katalyytti-Orgaaninen kemia. WSOY. Porvoo 2000. 276 s.
6. Kasvien maailma 4, Otavan iso kasvitietosanakirja. Kustannusosakeyhtiö Otavan painolaitokset. Keuruu 1981.
7. Käyttöturvallisuustiedote, Metanoli 100 %. Aspokem Oy. Helsinki 2005. 6 s.
8. Lahti, Katja, Sennapalkojätteen käsittely. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Ympäristötekniikan osasto. Tampere 1998. 75 s. + 3 liites.
9. Lehtinen, Jere, Biokaasun hyödyntäminen Hätähuoneissa –esiselvitys. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikka. Tampere 2007. 57 s. + 9 liites.
10. Llamas, Kirsten Albrecht, Tropical flowering plants. Timber press. Portland 2003. 423 s.
11. Pihkala, Juhani, Prosessitekniikan kokonaisprosessit. Hakapaino Oy. Helsinki 1998. 76 s.
12. Puolanne, Juhani, Rantala, Pentti, Valve, Matti, Jätevedenpuhdistamon käytön ohjaus ja valvonta. Helsinki 1982. 311 s.
13. Ruissalo, Maria Kanerva, Yhdyskuntajätevedenpuhdistamon rejektivesien erilliskäsittely. Pro Gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Jyväskylä 2006. 96 s.
14. Stendahl, Kjell, Vedenkäsittelyn käsikirja. Kemira Kemi AB. 127 s.

15. Veden ammoniumtyyppipitoisuuden määrittäminen. Indofenolimenetelmä. Menetelmäohje. Tampereen Veden Viemärlaitoksen laboratorio. Tampere 2004. 4 s.
16. Veden kemiallisen hapenkulutuksen (CODCr) määrittäminen valmisputkimenetelmä Nova60 –fotometrillä. Menetelmäohje. Tampereen Veden Viemärlaitoksen laboratorio. Tampere 2007. 3 s.
17. Veden kemiallisen hapenkulutuksen (KMnO₄-luvun) määrittäminen. Hapetus permanganaatilla. Menetelmäohje. Tampereen Veden Viemärlaitoksen laboratorio. Tampere 1998. 4 s.
18. Veden kokonaisfosforin määrittäminen. Hajotus peroksidisulfaattilla. Menetelmäohje. Tampereen Veden Viemärlaitoksen laboratorio. Tampere 2004. 7 s.

Painamattomat lähteet

19. Jokela, Harri, kehityspäällikkö. Keskustelut 14.2.2008 ja 2.4.2008. Tampereen Vesi.
20. Korhonen, Sari, turvallisuus- ja ympäristöpäällikkö, Rautalin, Jukka, sennosidi-tuotannosta vastaava. Keskustelu 21.11.2007. Santen Oy.
21. Sandelin, Heikki, prosessiteknikko. Keskustelut 14.1.2008 ja 27.2.2008. Tampereen Vesi.

Sähköiset lähteet

22. Biologinen typenpoisto jätevesistä. [www-sivu]. [viitattu 8.2.2008]. Saatavissa: <http://www.mm.helsinki.fi/~karkman/>
23. Botanical.com, A modern herbal. [www-sivu]. [viitattu 19.1.2008] Saatavissa: <http://www.botanical.com/botanical/mgmh/s/senna-42.html>
24. Espoon Vesi, Suomenojan puhdistamon esite. [www-sivu]. [viitattu 14.2.2008]. Päivitetty 15.2.2006. Saatavissa: <http://www.espoo.fi/default.asp?path=1;28;11866;18678;18519;18558>
25. Helsingin Vesi [www-sivu]. [viitattu 28.1.2008]. Saatavissa: <http://www.helsinginvesi.fi/index.asp?id=128&menupath=128&language=1&klik=2>
26. Kapanen, Pasi, ylityönjohtaja. Analyysitulokset. [sähköpostiviesti]. 8.1.2008. Santen Oy.

27. Kemian työsuojeluneuvottelukunta. [www-sivu]. [viitattu 19.1.2008]
Saatavissa: http://www.ketsu.net/http/pm_valmiit/Metanoli.htm
28. Kemtec Suomi Oy, Käyttöturvallisuustiedote. [www-sivu]. [viitattu 19.1.2008] Saatavissa: www.kemtec.fi/kayttoturva/ktt-ultrapiss.doc
29. Kloridin määrittäminen ionikromatografisesti. Harjoitustyöohje. [www-sivu]. [viitattu 1.3.2008]. Saatavissa:
http://www.tut.fi/units/ymp/bio/courses/bio1600/harjoitustyohje2_2006.pdf
30. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. [www-sivu]. [viitattu 1.3.2008]. Saatavissa: http://www.kvvy.fi/cgi-bin/tietosivu_kvvy.pl?sivu=kemiallinenhapenkulutus.html
31. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. [www-sivu]. [viitattu 1.3.2008]. Saatavissa: http://www.kvvy.fi/cgi-bin/tietosivu_kvvy.pl?sivu=kokonaisfosfori.html
32. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. [www-sivu]. [viitattu 1.3.2008]. Saatavissa: http://www.kvvy.fi/cgi-bin/tietosivu_kvvy.pl?sivu=kokonaistyyppi.html
33. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. [www-sivu]. [viitattu 1.3.2008]. Saatavissa: http://www.kvvy.fi/cgi-bin/tietosivu_kvvy.pl?sivu=nitriitti.html
34. Korhonen Sari, turvallisuus- ja ympäristöpäällikkö. [sähköpostiviesti] 11.3.2008. Santen Oy.
35. Käyttöturvallisuustiedote. [www-sivu]. [viitattu 19.1.2008] Saatavissa:
<http://www.veebi.info/v1/files/nordic/stp-20.pdf>
36. Pirkanmaan ympäristökeskus, Ympäristölupapäätös. [www-sivu]. [viitattu 18.1.2008] Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=61285&lan=FI>
37. Santen Oy. [www-sivu]. [viitattu 1.12.2007] Saatavissa:
<http://www.santen.fi/index.html>
38. Tampere University of Technology. Laboratorioharjoitukset. [www-sivu]. [viitattu 1.3.2008]. Saatavissa:
<http://www.tut.fi/units/ymp/bio/courses/bio4000/VesikemianLabratyohje2006.pdf>
39. Tampereen Vesi, Toimintakertomus 2006. [www-sivu]. [viitattu 19.2.2008]. Saatavissa:
http://www.tampere.fi/tiedostot/5okMQhJB7/Tampereenvesi_toimkert_2006.pdf

40. Tampereen Vesi, Yleisesite. [www.sivu]. [viitattu 3.12.2007] Saatavissa:
http://www.tampere.fi/tiedostot/5okMTckgF/Tampereenvesi_yleisesite.pdf
41. Turun seudun puhdistamo Oy. [www-sivu]. [viitattu 24.1.2008]. Saatavissa:
<http://turunseudunpuhdistamo.fi/kaytto.htm>
42. Vaikean alkoholimyrkytyksen hoito. [www-sivu]. [viitattu 1.3.2003].
Saatavissa:
http://209.85.135.104/search?q=cache:4Cq2T2cYH9MJ:epione.fi/moodle/file.php/1/Biologia/etanoli_tiputus_a_isopahkala.pdf+metanoli+taulukko&hl=fi&ct=clnk&cd=1&gl=fi&client=firefox-a
43. Valtion ympäristöhallinto. [www-sivu]. [viitattu 22.1.2008]. Päivitetty 25.1.2007. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=166955&lan=FI#a0>
44. Valtion ympäristöhallinto. [www-sivu]. [viitattu 28.1.2008]. Päivitetty 15.4.2004. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=73334&lan=FI>
45. Valtion ympäristöhallinto. [www-sivu]. [viitattu 28.1.2008]. Päivitetty 15.4.2004. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12882&lan=fi>
46. Valtion ympäristöhallinto. [www-sivu]. [viitattu 7.2.2008]. Päivitetty 14.7.2007. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=193237&lan=FI>
47. Valtion ympäristöhallinto. [www-sivu]. [viitattu 1.3.2008]. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=244176&lan=FI#a1>
48. Valtion ympäristöhallinto. [www-sivu]. [viitattu 26.3.2008] Päivitetty 23.9.2005. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=152029&lan=FI>
49. Valtonen, Ilpo, Kokemuksia biologisesta suodattimesta ND-tyyppisessä typenpoistoprosessissa. [www-sivu]. [viitattu 26.3.2008]

Kuvia Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolta



Kuva 1. Esiselkeytysallas



Kuva 2. Kuvassa etualalla ilmastusaltaan kaksi ensimmäistä osiota



Kuva 3. Mäditämö



Kuva 4. Näytteenotto ilmastusaltaasta

Sennapalkojätteestä saatava vuosittainen metanolimäärä

Alla olevassa taulukossa näkyvät sennapalkojätteen liuotuskokeiden metanoli-analyysien tulokset muutettiin yhden gramman palkojätettä kohti (mg metanolia/g palkojätettä). Ne saatiin laskettua seuraavasti:

$$\frac{\text{metanolipitoisuus} \cdot \text{liuotuskokeen nesteen tilavuus}}{\text{palkojätteen massa}}$$

Esimerkki 1: Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:15

$$\frac{2000 \text{ mg} \cdot 700 \text{ ml}}{1000 \text{ ml} \cdot 6,5 \text{ g}} = 215,384 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

Taulukko 1. Ekokem Oy:ssä tehtyjen metanoli-analyysien tulokset

Koe	Näyte	mg/l	mg metanolia / g palkojätettä
1	Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:15	2000	215,384
2	Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:5	6300	193,846
3	Sennapalkojäte + esiselkeytetty vesi 1:15	2000	215,384
4	Sennapalkojäte + esiselkeytetty vesi 1:5	6900	212,307
5	Sennapalkojäte + esiselkeytetty vesi 1:5 (jääkaappi)	7000	215,384
6	Sennapalkojäte + esiselkeytetty vesi 1:5 (murskattu)	6400	196,923
7	Sennapalkojäte + aktiiviliete 1:15	2100	226,153
8	Sennapalkojäte + aktiiviliete 1:5	7500	230,769
9	Sennapalkojäte + aktiiviliete 1:5 (jääkaappi)	7600	233,846
10	Sennapalkojäte + aktiiviliete 1:5 (murskattu)	7200	221,538
11	Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:15 (murskattu)	1900	204,615
12	Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:10 (murskattu)	3100	214,615
13	Sennapalkojäte + Milli-Q-vesi 1:5 (murskattu)	6900	212,307
			Ka =214,852≈ 215 mg/g

Vuodessa sennapalkojätettä muodostuu noin 700 000 kg. Taulukon keskiarvon perusteella laskettuna palkojätteestä saatava metanolimäärä on

$$700000 \text{ kg} \cdot \frac{214,852 \cdot 10^{-6} \text{ kg}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}} = 150396 \text{ kg} \approx 15400 \text{ kg}$$

Jäteveden vuorokausivirtaama Viinikanlahden puhdistamolla on noin 65 000 m³. Jos käytettävä metanolimäärä olisi sama kuin Espoon Suomenojan puhdistamolla eli 54 g/m³, olisi Viinikanlahden päivittäinen metanolin tarve

$$m_{\text{metanoli}} = \frac{65000 \text{ m}^3}{\text{d}} \cdot \frac{0,054 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 3510 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Vastaavasti vuodessa tarvittaisiin metanolia

$$365 \text{ d} \cdot 3510 \frac{\text{kg}}{\text{d}} = 1281150 \text{ kg}$$

Verrattaessa palkojätteestä vuodessa saatavaa metanolin määrä Viinikanlahden tarpeeseen on se prosentteina

$$\frac{\text{palkojätteen metanolimäärä}}{\text{metanolin kokonaistarve}} \cdot 100 \% = \frac{150396 \text{ kg}}{1281150 \text{ kg}} \cdot 100 \% = 11,7 \approx 12 \%$$

Analyysien tulokset sennapalkojätteen liuotuskokeista Milli-Q-veeteen

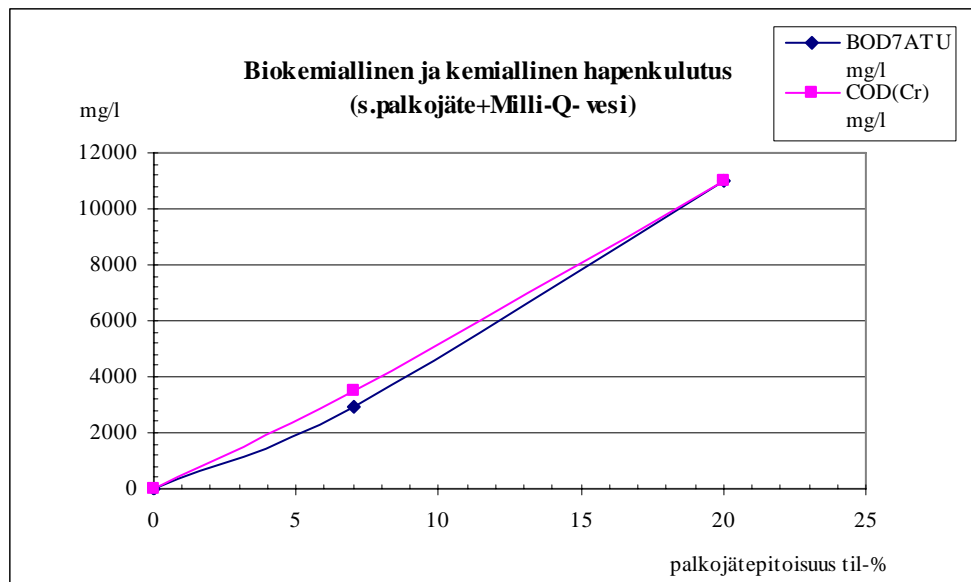
Taulukossa 1 näkyvät eri analyysien tulokset liuotettaessa sennapalkojätettä Milli-Q-veeteen. Taulukossa 2 ovat biokemiallisen ja kemiallisen hapenkulutuksen arvot (sennapalkojäte + Milli-Q-vesi) sekä palkojätteen pitoisuus (til-%). Kuvassa 1 on niistä piirretty kuvaaja.

Taulukko 1. Mittaustulokset

Näyte	Tilavuus-suhde	BOD _{7ATU} mg O ₂ /l	COD _{Cr} mg O ₂ /l	NH ₄ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	Kok.P mg/l
Milli-Q-vesi	-	3	15	-	-	-
sennapalkojäte + Milli-Q-vesi	1:15	2900	3500	1	0	3
sennapalkojäte + Milli-Q-vesi	1:5	11000	11000	0,47	0	11
sennapalkojäte (murskattu) + Milli-Q-vesi	1:15	2800	3500	-	-	-
sennapalkojäte (murskattu) + Milli-Q-vesi	1:10	4200	5700	-	-	-
sennapalkojäte (murskattu) + Milli-Q-vesi	1:5	9700	13000	-	-	-

Taulukko 2. Biokemiallinen ja kemiallinen hapenkulutus

Näyte	Tilavuus-suhde	Palkojätepitoisuus til-%	BOD _{7ATU} mg O ₂ /l	COD _{Cr} mg O ₂ /l
Milli-Q-vesi	-	0	3	15
sennapalkojäte + Milli-Q-vesi	1:15	7	2900	3500
sennapalkojäte + Milli-Q-vesi	1:5	20	11000	11000

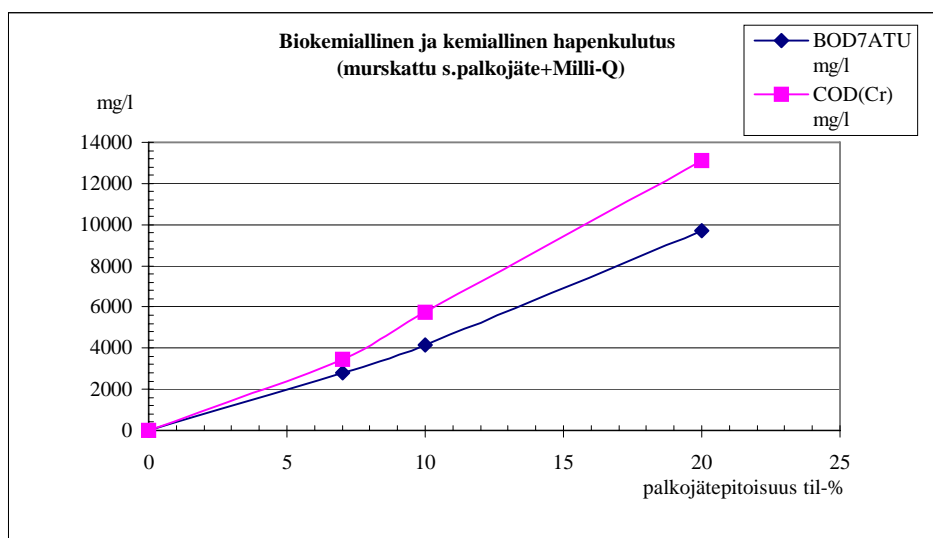


Kuva 1. Biokemiallisen ja kemiallisen hapenkulutuksen kuvaaja

Taulukossa 3 näkyvät biokemiallisen ja kemiallisen hapenkulutuksen arvot (murskattu sennapalkojäte + Milli-Q-vesi) ja palkojätteen pitoisuus (til-%) sekä kuvassa 2 niistä piirretty kuvaaja.

Taulukko 3. Biokemiallinen ja kemiallinen hapenkulutus

Näyte	Tilavuus- suhde	Palkojätepitoisuus til-%	BOD _{7ATU} mg O ₂ /l	COD _{Cr} mg O ₂ /l
Milli-Q-vesi	-	0	3	15
sennapalkojäte (murskattu) + Milli-Q-vesi	1:15	7	2800	3500
sennapalkojäte (murskattu) + Milli-Q-vesi	1:10	10	4200	5700
sennapalkojäte (murskattu) + Milli-Q-vesi	1:5	20	9700	13000



Kuva 2. Biokemiallisen ja kemiallisen hapenkulutuksen kuvaaja

Analyysien tulokset sennapalkojätteen liuotuskokeista esiselkeytettyyn jäteveeseen

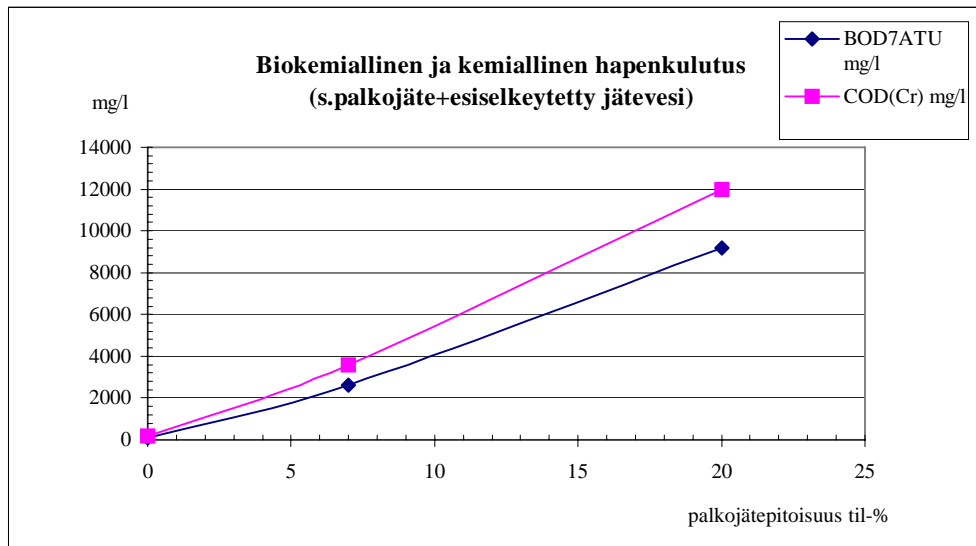
Taulukossa 1 näkyvät eri analyysien tulokset liuotettaessa sennapalkojätettä esiselkeytettyyn jäteveeseen. Taulukossa 2 ovat biokemiallisen ja kemiallisen hapenkulutuksen arvot (sennapalkojäte + esiselkeytetty jätevesi) sekä palkojätteen pitoisuus (til-%). Kuvassa 1 on niistä piirretty kuvaaja.

Taulukko 1. Mittaustulokset

Näyte	Tilavuus-suhde	BOD _{7ATU} mg O ₂ /l	COD _{Cr} mg O ₂ /l	NH ₄ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	Kok. P mg/l
esiselkeytetty jätevesi	-	110	200	37	0,06	3,0
sennapalkojäte + esiselk. jätevesi	1:15	2600	3600	36	0,06	4,6
sennapalkojäte + esiselk. jätevesi	1:5	9200	12000	35	0,06	12
sennapalkojäte + esiselk. jätevesi (jääkaappi)	1:5	8700	12000	33	0,07	9,1
sennapalkojäte (murskattu) + esiselk. jätevesi	1:5	8900	12000	35	0,06	13

Taulukko 2. Biokemiallinen ja kemiallinen hapenkulutus

Näyte	Tilavuus-suhde	Palkojätepitoisuus til-%	BOD _{7ATU} mg O ₂ /l	COD _{Cr} mg O ₂ /l
esiselkeytetty jätevesi	-	0	110	200
sennapalkojäte + esiselk. jätevesi	1:15	7	2600	3600
sennapalkojäte + esiselk. jätevesi	1:5	20	9200	12000



Kuva 1. Biokemiallisen ja kemiallisen hapenkulutuksen kuvaaja

Analyysien tulokset sennapalkojätteen liuotuskokeista aktiivilietteeseen

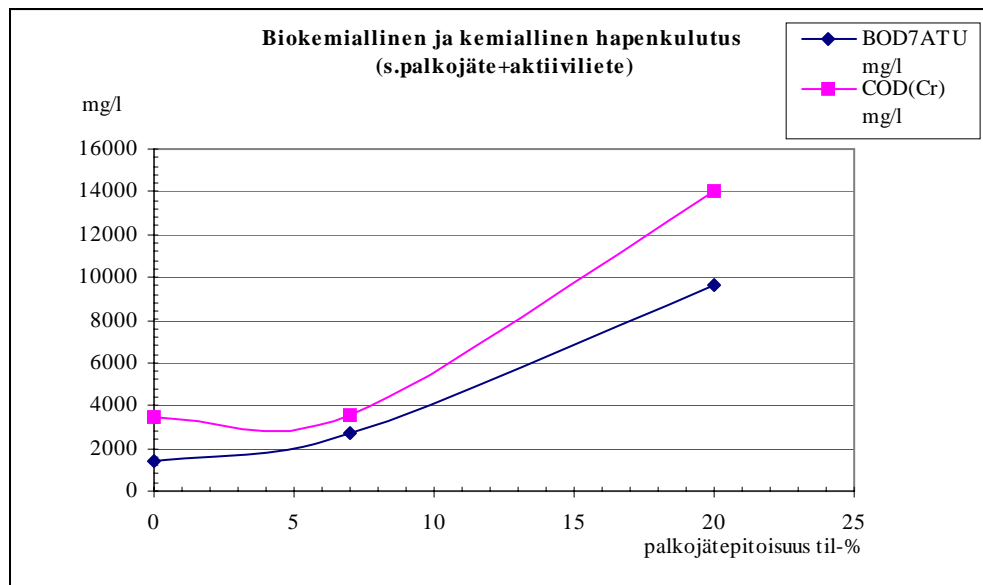
Taulukossa 1 näkyvät eri analyysien tulokset liuotettaessa sennapalkojätettä aktiivilietteeseen. Taulukossa 2 ovat biokemiallisen ja kemiallisen hapenkulutuksen arvot (sennapalkojäte + aktiiviliete) sekä palkojätteen pitoisuus (til-%). Kuvassa 1 on niistä piirretty kuvaaja.

Taulukko 1. Mittaustulokset

Näyte	Tilavuus- suhde	BOD _{7ATU} mg O ₂ /l	COD _{Cr} mg O ₂ /l	Liukoinen kok. P mg/l
aktiiviliete	-	1400	3500	2,1
sennapalkojäte + aktiiviliete	1:15	2700	3600	0,5
sennapalkojäte + aktiiviliete	1:5	9600	14000	1,3
sennapalkojäte + aktiiviliete (jääkaappi)	1:5	9400	12000	1,1
sennapalkojäte (murskattu) + aktiiviliete	1:5	9300	12000	3

Taulukko 2. Biokemiallinen ja kemiallinen hapenkulutus

Näyte	Tilavuus- suhde	Palkojätepitoisuus til-%	BOD _{7ATU} mg O ₂ /l	COD _{Cr} mg O ₂ /l
aktiiviliete	-	0	1400	3500
sennapalkojäte + aktiiviliete	1:15	7	2700	3600
sennapalkojäte + aktiiviliete	1:5	20	9600	14000



Kuva 1. Biokemiallisen ja kemiallisen hapenkulutuksen kuvaaja