

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
Kemiantekniikka & Ympäristötekniikka  
Laura Kukko

Opinnäytetyö

## **Jätevedenpuhdistuksen elinkaarikustannukset energia- ja ainetaseiden kautta**

Työn ohjaaja: lehtori Anne Ojala  
Työn tilaaja: Tritonet Oy, ohjaajana toimitusjohtaja Pertti Keskitalo  
Tampere 05/2009

Tekijä	Laura Kukko
Työn nimi	Jätevedenpuhdistuksen elinkaarikustannukset energia- ja ainetaseiden kautta
Sivumäärä	54 sivua + 8 liitesivua
Valmistumisaika	6/2009
Työn ohjaaja	TAMK, lehtori Anne Ojala
Työn tilaaja	Tritonet Oy, toimitusjohtaja Pertti Keskitalo

---

## TIIVISTELMÄ

Suuren osan jätevedenpuhdistamon käyttökustannuksista muodostavat kemikaali- ja energiakustannukset. Näihin kustannuksiin voidaan kuitenkin vaikuttaa optimoimalla prosessi siten, että puhdistuksen laatu saavutetaan mahdollisimman pienellä kemikaali- ja energian kulutuksella.

Parkanon kaupungin jätevedenpuhdistamo on uudistettu ja saneerattu viime vuosina. Puhdistusprosessi sisältää esikäsittelyn, biologisen puhdistuksen, jälkikäsittelyn ja lietteen käsittelyn. Ympäristötekniikan alan insinööritoimisto Tritonet Oy:llä oli meneillään jätevedenpuhdistamoon liittyvä käytönoptimointiprojekti, jonka osa tämä opinnäytetyö on. Käytönoptimointiprojektissa selvitettiin puhdistamon tehokkuuden ja kustannusten kannalta parasta ajomallia.

Työn tarkoituksena oli etsiä jätevedenpuhdistamon uudelle esikäsittelylaitokselle optimaalinen käyttötapa. Lisäksi tutkittiin vaihtoehtoisia ajotapoja koko jätevedenpuhdistusprosessille ja arvioitiin käyttökustannuksia eri ajotavoille.

Työn teoriaosuudessa tutustuttiin jätevedenpuhdistuksen perusteisiin. Työn käytännön osuudessa perehdyttiin jäteveden puhdistuksen aine- ja energiataseisiin puhdistamalla tehtävien rutiinitarkkailujen tulosten avulla. Aine- ja energiantaseiden perusteella laskettiin jäteveden elinkaarikustannukset vaihtoehtoisille ajotavoille sekä kustannuksia jätevedenpuhdistuksessa poistuvalla orgaanisella aineella, fosforilla ja typellä massayksikköä kohden. Lisäksi esisaostusprosessin kemikaaliannostusta optimoitiin laboratoriokeiden ja prosessikoeajojen avulla.

Esisaostuksen käytön todettiin pienentävän muiden puhdistusvaiheiden, ja siten koko prosessin kustannuksia. Vaihtoehtoisten ajotapojen vertailun avulla päädyttiin kemikaaliannostuksiin, jotka ovat kustannuksiltaan kohtuullisia ja puhdistusteholtaan riittäviä. Työssä on esitetty ehdotukset vaihtoehtoisille ajotavoille suurten, keskisuurten ja pienten virtaamien aikana. Käytön optimointiprojekti edistyi esisaostuksen osalta ja jatkuu edelleen muiden yksikköprosessien optimoinnilla.

Writer	Laura Kukko
Thesis	A Life-cycle analysis of wastewater treatment through mass and energy balances
Pages	54 pages + appendices: 8 pages
Graduation time	6/2009
Thesis supervisor	TAMK, Anne Ojala
Co-operating company	Tritonet Ltd, CEO Pertti Keskitalo

---

## **ABSTRACT**

A large portion of operation costs in a wastewater treatment plant consist of chemicals and energy consumption. These costs can be reduced by optimizing the process so that the quality of purification is reached by as small consumption of chemicals and energy as possible.

The municipal sewage treatment plant of Parkano has been renovated recently. The treatment process consists of pre-treatment, biological treatment, flotation and treatment of sludge. Tritonet Ltd is an engineering office operating in the area of environmental engineering and consulting. The company had a project concerning about optimizing the operation of a wastewater treatment plant in Parkano. This thesis was a part of the optimizing project. The project was about examining the most efficient treatment method from the view of costs and quality.

The purpose of this study was to find an optimal way of running the new pre-treatment stage of the plant. In addition, optional operating methods for the whole process were examined and the costs were evaluated.

In theory part of this work the basics of wastewater treatment were reviewed. In the practical part the mass and energy balances of wastewater treatment were analyzed using the results of routine observations done at the plant. The life-cycle costs of optional operating methods were analyzed using the mass and energy balances. Also, the costs per mass units of phosphorus and organic matter removed in the process were evaluated by the means of the balances. In addition, the chemical dosage of pre-precipitation was optimized by laboratory tests and process trials.

The comparison of economics and treatment efficiencies showed that the use of pre-precipitation lowers the costs of other unit processes and thus the total costs of the entire process. The suggestions for optional operating methods of the plant during low, medium and high flow rates are presented in this work. The optimization of the process will be continued by optimizing the other unit processes.

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>JÄTEVEDENPUHDISTUS SUOMESSA .....</b>	<b>7</b>
2.1	PUHDISTUSVAATIMUSTEN KEHITYS .....	7
2.2	JÄTEVEDENPUHDISTUKSEN YKSIKKÖPROSESSIT.....	8
2.2.1	<i>Mekaaninen puhdistus.....</i>	<i>9</i>
2.2.2	<i>Kemiallinen puhdistus .....</i>	<i>10</i>
2.2.3	<i>Biologinen puhdistus.....</i>	<i>12</i>
2.3	PARKANON KAUPUNGIN JÄTEVEDENPUHDISTAMON PUHDISTUSPROSESSI.....	14
2.3.1	<i>Esikäsittely ja sakokaivolietteen vastaanotto .....</i>	<i>14</i>
2.3.2	<i>Biologinen käsittely.....</i>	<i>15</i>
2.3.3	<i>Jälkikäsittely.....</i>	<i>15</i>
2.3.4	<i>Lietteen käsittely.....</i>	<i>15</i>
2.3.5	<i>Ohitusmahdollisuudet ja näytteenotto .....</i>	<i>15</i>
2.3.6	<i>Puhdistuksen laadun vaatimukset.....</i>	<i>16</i>
2.3.7	<i>Prosessissa käytettävät kemikaalit .....</i>	<i>17</i>
2.4	ANALYYSIMENETELMÄT.....	18
2.4.1	<i>Spektrofotometria jäteveden analysoinnissa .....</i>	<i>18</i>
2.4.2	<i>Fosforijakeiden erotus ja analysointi.....</i>	<i>18</i>
2.4.3	<i>COD-määrittely .....</i>	<i>19</i>
2.4.4	<i>Kiintoainepitoisuuden määrittely.....</i>	<i>19</i>
2.4.5	<i>Laitteet ja menetelmät .....</i>	<i>20</i>
<b>3</b>	<b>SAOSTUSKOKEET LABORATORIOMITTAKAAVASSA .....</b>	<b>22</b>
3.1	FERRISULFAATTI PIX-105 ESISELKEYTYKSESSÄ.....	22
3.2	FERROSULFAATTI VÄLISELKEYTYKSESSÄ .....	28
<b>4</b>	<b>JÄTEVEDENPUHDISTAMON KÄYTTÖOPTIMOINTIPROJEKTI.....</b>	<b>34</b>
4.1	VIKKOSEURANTA.....	34
4.2	INTENSIIVIKOKEET JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLA .....	34
<b>5</b>	<b>KÄYTTÖKUSTANNUKSISTA .....</b>	<b>38</b>
5.1	KEMIKAALIEN HINNAT .....	39
5.2	ENERGIAN HINTA .....	39
<b>6</b>	<b>KOKONAISAINETASE.....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>VAIHTOEHTOISET AJOTAVAT.....</b>	<b>43</b>
7.1	AINE- JA ENERGIAASEET .....	45
<b>8</b>	<b>PÄÄTELMÄT.....</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>JATKOTOIMET .....</b>	<b>51</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>52</b>
	<b>LIITTEET.....</b>	<b>55</b>
	LIITE 1: TULEVAN JÄTEVEDEN FOSFORIPITOISUUKSIEN TILASTOLLINEN VERTAILU VUOSILTA 2006 JA 2007.....	55
	LIITE 2: PARKANON JÄTEVEDENPUHDISTAMON VIKKOSEURANTATAULUKKO .....	56
	LIITE 3: SÄHKÖNKULUTUKSEEN VAIKUTTAVIEN TEKIJÖIDEN TARKASTELU .....	56
	LIITE 3: SÄHKÖNKULUTUKSEEN VAIKUTTAVIEN TEKIJÖIDEN TARKASTELU .....	57
	LIITE 4: VIRTAAMIEN TILASTOLLINEN TARKASTELU .....	60
	LIITE 5: AINETASELASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT JA TULOKSET .....	62

## Lyhenteiden luettelo

<b>BOD<sub>7</sub></b>	Biological oxygen demand, biologinen hapen kulutus koeajassa 7 vrk
<b>BOD<sub>RED</sub></b>	Biologisen hapen kulutuksen reduktio
<b>COD<sub>Cr</sub></b>	Chemical oxygen demand, kemiallinen hapen kulutus
<b>TOC</b>	Total organic carbon, orgaaninen kokonaishiili
<b>TSS</b>	Total suspended solids, kiintoaine
<b>N<sub>TOT</sub></b>	Kokonaistyyppi
<b>NH<sub>4</sub>-N</b>	Ammoniumtyppi
<b>NO<sub>3</sub>-N</b>	Nitraattityppi
<b>P<sub>Kok</sub></b>	Kokonaisfosfori

# 1 Johdanto

Työ tehtiin Tritonet Oy:lle, joka on ympäristötekniikan alan insinööri- ja asiantuntija-toimisto. Tutkimuksen kohteena oli Parkanon kaupungin jätevedenpuhdistamo. Biologinen laitos rakennettiin Parkanoon vuonna 1967 ja sitä laajennettiin vuonna 1990 kemiallisella jälkisaostuslaitoksella. Puhdistamoa on saneerattu ja laajennettu edelleen vuosina 2007–2008. Laajennuksessa puhdistamolle rakennettiin hiekanerotus ja hiekka-pesuri, uusi esisaostusyksikkö, sakokaivolietteen vastaanottopiste ja uusi lietteen tiivistämö. Tulopumppaamon pumput uusittiin, lahotusallas muutettiin ilmastusaltaaksi, jälkiselkeytyksen laahaimet ja lietteenkuivaus uusittiin. Puhdistamossa on käytössä kemiallisia, biologisia ja fysikaalisia puhdistusvaiheita. (*Jätevedenpuhdistamon käytönoptimointi, Tammikuun 2009 väliraportti*)

Opinnäytetyö liittyi jätevedenpuhdistamon käytönoptimointiprojektiin. Käytönoptimointiprojektin tarkoituksena oli löytää saneeratulle ja laajennetulle puhdistamolle toimiva ja tehokas käyttötapa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Parkanon jätevedenpuhdistamon aine- ja energiataseita sekä puhdistamon vaihtoehtoisia ajotapoja. Tarkoituksena oli tehdä jäteveden elinkaarikustannusten arviointi ja laskea edullisimmat, mutta riittävän tehokkaat käyttötavat jätevedenpuhdistamolle.

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin erityisesti jätevedenpuhdistamon esiselkeytysvaiheen optimointiin. Saostuskemikaalin syöttö esiselkeytykseen parantaa lietteen laskeutuvuutta. Optimaalista saostuskemikaaliannostusta haettiin, jotta fosforia ja kiintoainetta saataisiin poistumaan jo esiselkeytysvaiheessa.

Energia- ja ainetaseiden laatimiseen käytettiin puhdistamolla viikoittain kerättyjä mittaustuloksia tulevan ja lähtevän veden laadusta. Lisäksi työssä selvitettiin kemikaalien kustannuksia ja prosessin eri vaiheiden sähkönkulutusta. Mittaustulosten ja kustannuslaskelmien perusteella selvitettiin puhdistetun jäteveden kokonaishinta sekä hinnat poistetuille tuotteille eri ajotavoilla. Näin tutkittiin, millä ajotavalla päästäisiin edullisimmin hyvään puhdistustulokseen.

## 2 Jätevedenpuhdistus Suomessa

Tällä hetkellä Suomessa yhdyskuntajäteveden puhdistusprosesseissa keskitytään kiintoaineen, orgaanisen aineen, fosforin, typen ja raskasmetallien poistoon. Tehokas kiintoaineen poisto tarkoittaa samalla tehokasta haitallisten mikrobin poistoa. (*Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003.. 41*)

Fosforia pidetään Suomessa kunnallisen jäteveden sisältämistä aineista pahimpana vesistön rehevöittäjänä. Asutusten jätevedessä fosforia esiintyy sekä liukoisessa muodossa että fosfaattina kiintoaineessa. Puhdistamolta poistuvan kiintoaineen fosforipitoisuus on 2–4 %. Liukoisen fosforin määrä käsitellyssä jätevedessä riippuu käytetystä kemikaaliannostuksesta. Kemiallisella saostuksella fosforia saadaan liukoisesta muodosta kiintoaineen joukkoon ja siten poistettua kiintoaineen mukana. Kiintoaineeseen sitoutuneen fosforin poistossa olennaisia vaiheita ovat biologisen prosessin säädöt sekä mekaanisista yksikköprosesseista laskeutus ja flotaatio. Biologisessa puhdistusvaiheessa voidaan vaikuttaa kiintoaineen määrään esimerkiksi ylijäämälietteen poistolla, lietteen palautuksella ja ilmastuksella. (*Alavakeri, Latvanen & Pääkkönen 2002*)

### 2.1 Puhdistusvaatimusten kehitys

Suomen ensimmäinen vesiasioita koskeva laki tuli voimaan vuonna 1903. Siinä kiellettiin jätteiden vesistöön päästäminen siinä tapauksessa, että se aiheuttaa haittaa kalastukselle tai terveydelle tai mataloittaa vettä. Tätä ennen jo vuonna 1734 oli kielletty vedenjuoksulle tai kalojen liikkumiselle haittaa aiheuttava jätteiden vesistöön päästäminen. Käytännössä valvontaa ei kuitenkaan ollut. Ennen 1950-lukua lupia jäteveden vesistöön laskemiselle ei juurikaan haettu eikä laitosten päästöjä rajoitettu. Seuraava suuri uudistus, Suomen vesilaki, tuli voimaan 1962. Tämän vesilain myötä käytäntöön tuli lupajärjestelmä jätevesien vesistöön päästämiseksi. (*Hollo, Erkki 2002*) Ilman vesioikeuden lupaa jätevettä ei saanut päästää ympäristöön, mikäli se aiheutti haittaa vesistölle tai pohjavedelle (*Vesilaki 1961*).

Ennen EU:in liittymistä Suomessa ei ollut kiinteitä raja-arvoja jäteveden päästöille, vaan käytettiin tapauskohtaista lupaharkintaa (*Vihervuori, Pekka 1994*). Ympäristölupaehdot harkittiin mm. jäteveden vesistöön laskemisesta aiheutuvan haitan tai vesistön kuormituksen mukaan (*Vesilaki 1961*).

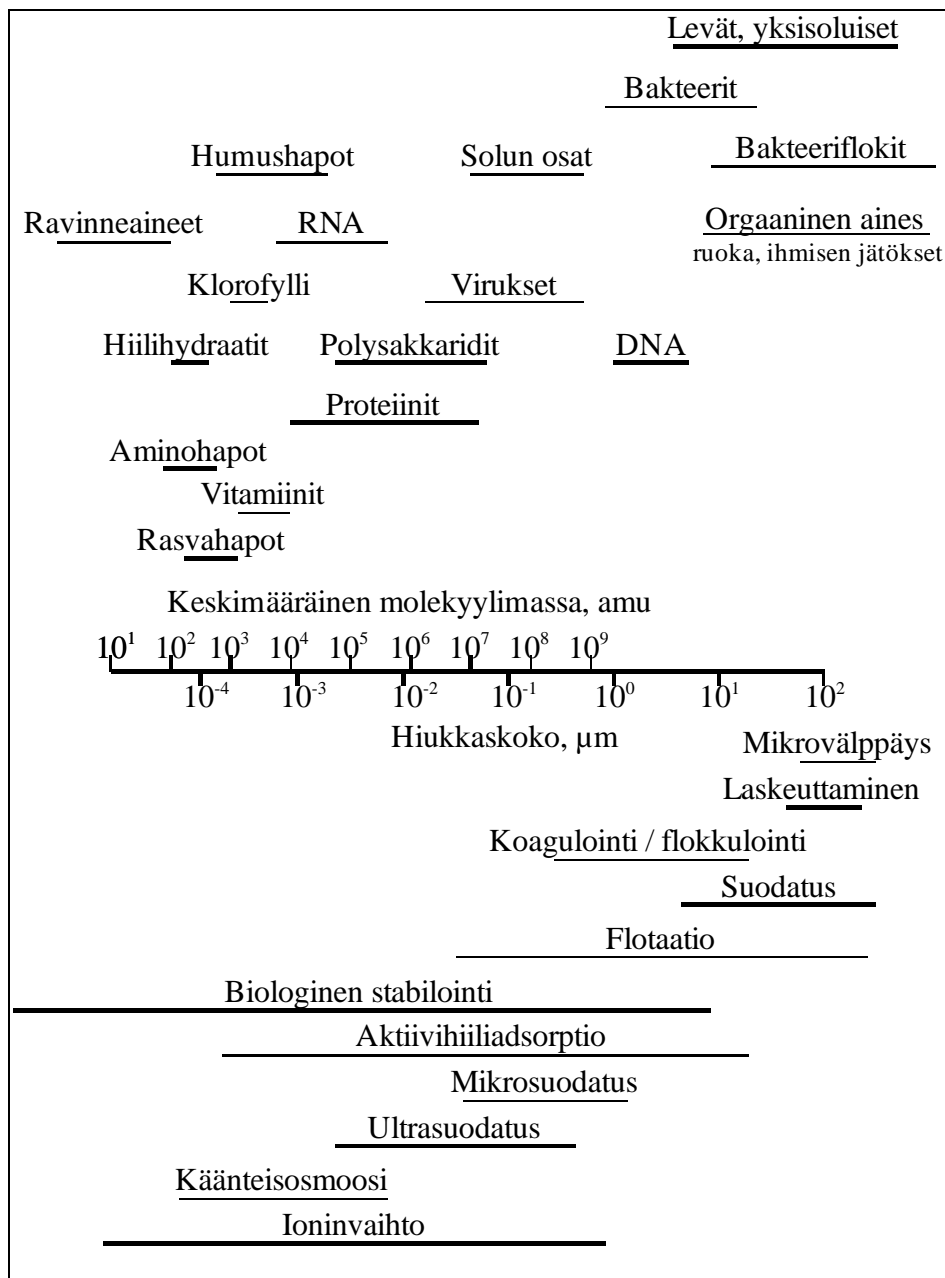
EU:n direktiivi yhdyskuntajätevesien käsittelystä tuli voimaan vuonna 1994, jolloin jätevesien ympäristöön poistaminen tuli luvanvaraiseksi seurauksista riippumatta. Kaikki jätevedenpuhdistamot oli suunniteltava niin, että niissä oli näytteenottomahdollisuudet. Käyttöön tulivat myös yhteiset vähimmäisvaatimukset puhdistuksen tasolle. (*Valtioneuvoston päätös yleisestä viemäristä... 1994*)

Nykyinen ympäristölupakäytäntö tuli voimaan vuonna 2000 ympäristönsuojelulain myötä, kun alueelliset ympäristölupavirastot perustettiin. Lupavaatimukset typen, fosforin, COD:n (kemiallisen hapen kulutuksen), BOD:n (biologisen hapen kulutuksen) ja kiintoaineen poistosta ilmoitetaan ympäristölupaehdoissa yksikössä *mg/l* ja poistoteho prosentteina. Vähimmäisvaatimukset, jotka koskevat kaikkia jätevedenpuhdistamoita, on annettu Valtioneuvoston asetuksessa 888/2006 yhdyskuntajätevesistä. (*Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 2006*)

## ***2.2 Jätevedenpuhdistuksen yksikköprosessit***

Kolme pääasiallisesti käytössä olevaa menetelmää yhdyskuntajäteveden puhdistuksessa ovat mekaaninen eli fysikaalinen, biologinen ja kemiallinen puhdistus. Kuviossa 1 on jaoteltu vedenpuhdistusmenetelmien erotusasteet epäpuhtauksien hiukkaskoon ja molekyylimassan mukaan. Kuvion perusteella mekaaniset menetelmät kuten laskeutus ja välppäys sopivat suurille hiukkasille. Kemiallisella koaguloinnilla ja flokkuloinnilla voidaan poistaa pienempiä hiukkasia. Biologisella stabiloinnilla saadaan poistettua hyvin pienikokoisia partikkeleita.





**Kuvio 1** Puhdistusmenetelmien erotusasteet molekyylimassan ja hiukkaskoon mukaan  
(Muokattu lähteestä: *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants 1992*. 46)

### 2.2.1 Mekaaninen puhdistus

Mekaanisia puhdistusmenetelmiä käytetään pääsääntöisesti kiintoaineen ja nesteen erottamiseen. Tavoitteena on lika-aineiden poistaminen vedestä joko siivilöimällä, selkeyttämällä tai suodattamalla.

Usein jätevedenpuhdistuksessa ensimmäinen mekaaninen yksikköprosessi on välppäys. Välppäyksen tarkoituksena on erottaa vedestä suurimmat kiintoainekappaleet. Välppä on siivilämäinen laite, jonka pitkät raot päästävät veden lävitse, mutta jättävät suurimmat kiintoainekappaleet ulkopuolelle. (Karttunen, Erkki 2004. 53–56) Seuraava mekaaninen puhdistusvaihe on yleensä hiekanerotus, jossa hiekan lisäksi erottuvat muut painavimmat kiintoainekappaleet. Tämän jälkeen vesi selkeytetään. (Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003. 44–45)

Selkeytyksen tarkoituksena on edelleen erottaa jäteveden kiintoaine- ja nestefaasit toisistaan. Edullisin tapa selkeyttää on käyttää hyväksi painovoimaa. Painovoimaiseen selkeytykseen voidaan käyttää joko laskeutusta tai flotaatiota. Laskeutuksessa vettä raskaampi kiintoaine vajoaa laskeutusaltaan pohjalle. Flotaatiossa kiintoaine nostetaan kantoaineen avulla veden pinnalle. (Karttunen, Erkki 2004. 77–79 ja 97)

Jätevedenpuhdistukseen kuuluvia mekaanisia vaiheita ovat myös sekoitus ja ilmastus. Sekoitus vaikuttaa flokkien muodostumiseen ja sitä kautta saostamiseen. Sekoitus voidaan jakaa pikasekoitukseen ja hämmennykseen. Pikasekoitus on nopea ja voimakas, kun taas hämmennys on pitkäkestoisempi ja hitaampi sekoitus. Pikasekoituksen tarkoituksena on edesauttaa mikroflokkien muodostumista. Hämmennyksessä puolestaan kasvatetaan mikroflokeista makroflokkeja. Ilmastus tarkoittaa kaasun siirtoa vesifaasin lävitse kaasufaasiin. Ilmastus tuo biologiseen prosessiin sen tarvitsemaa happea, mutta tämän lisäksi toimii myös sekoituskeinona. (Karttunen, Erkki 2004. 58–59 ja 69)

### **2.2.2 Kemiallinen puhdistus**

Kemiallisella vedenpuhdistuksella tarkoitetaan sellaisia menetelmiä, joissa aiheutetaan muutoksia vedessä kemiallisten reaktioiden avulla. Kemiallisilla menetelmillä pienikokoisista hiukkasista ja liuenneista yhdisteistä tehdään kiinteitä ja suurikokoisempia, jotta ne voidaan erottaa mekaanisesti. (Karttunen, Erkki 2004. 133 ja 539–541)

Pääasiassa kemiallisten menetelmien tavoitteena on kiintoaineen saostus ja lietteessä olevan veden vähentäminen. Kemiallisen saostuksen päätarkoituksena on yleensä kiintoaineen erotuksen tehostaminen fosforin poistamiseksi. Fosforin saostus perustuu epäorgaanisen ortofosfaatin saostumisreaktioon. Saostuksessa poistuu kuitenkin samalla orgaanistakin fosforia. Kemikaaleilla voidaan poistaa fosforia määrää jätevedestä aina 98 %:n reduktioon asti, jota enempää ei ympäristönsuojelunkaan kannalta ole tarvetta poistaa. (Karttunen, Erkki 2004. 133 ja 539–541)

Saostuksen ensimmäinen vaihe on koagulaatio, jossa kiintoainehiukkasten varaukset neutraloidaan kemikaalin avulla. Näin kiintoainepartikkelit voivat muodostaa keskenään suurempia hiukkasia, jotka saadaan helpommin erotettua vedestä. Koagulaatiota seuraa flokkaus ja jokin mekaaninen kiintoaineen erotusmenetelmä. (Karttunen, Erkki 2004. 133) Saostus voidaan tehdä suorasaostuksena, jolloin se on ainoa puhdistusmenetelmä mekaanisen kiintoaineen erotuksen lisäksi, tai rinnakkaissaostuksena, jolloin saostus tapahtuu kahdessa tai useammassa puhdistusvaiheessa. Rauta- ja alumiini-suolat ovat tyypillisiä primäärikoagulantteja ja sopivat hyvin esisaostukseen. Rinnakkaissaostukseen sopii edellisten lisäksi ferrosulfaatti ja jälkisaostukseen kalkki. (Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003. 60–69) Seuraavissa kappaleissa kerrotaan tarkemmin Parkanon jätevedenpuhdistamolla käytettävistä kemikaaleista.

### **Ferrisulfaatti PIX-105**

PIX-105-ferrisulfaatti  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  on nestemäinen saostuskemikaali, joka soveltuu sekä esi- että jälkisaostukseen. Se sisältää noin 40 % ferrisulfaattia eli kolmiarvoisia rautayhdisteitä. Saostuminen tapahtuu heti aineen lisäyksen jälkeen eikä ilmastusta tarvita. (Tuotetiedot: PIX-105 2005)

Suorasaostuksella PIX-105:llä voidaan poistaa liukoista fosforia ja erottaa kiintoainetta vedestä yli 90 %:n reduktioon asti. Yleensä esisaostuksessa ei kuitenkaan poisteta fosforia näin tehokkaasti, koska biologisessa puhdistusvaiheessa mikrobit tarvitsevat sitä ravinnokseen. (Peuraniemi, Pertti 2009)

### **Ferrosulfaatti**

Ferrosulfaatti  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  on kiteistä, väriltään vaalean vihreää nuoskalumen kaltaista ainetta. Se sisältää kaksiarvoisia rautayhdisteitä. Ferrosulfaatin kahdenarvoiset rautayhdisteet hapetetaan kolmiarvoisiksi eli ferrimuotoon ennen saostusta. Tämä tapahtuu syöttämällä prosessiin happea. Hyvän puhdistustuloksen saavuttamiseksi täytyy hallita raudan oikeanlainen hapettaminen. (Alavakeri ym. 2002)

Fosfaatin saostuksessa raudan ja fosforin välinen teoreettinen moolisuhde on yksi, mutta käytännössä määrä ei riitä jäteveden saostukseen, vaan rautaa tarvitaan puolitoista – kaksinkertainen määrä fosforipitoisuuteen nähden. Ferrosulfaatin teoreettinen annostus on jätevedenpuhdistamolle tulevan fosforin määrä yhdeksänkertaisesti. (Alavakeri ym. 2002)

Ferrosulfaatin hapettuminen jätevedessä on monivaiheinen prosessi. Osa ferrosulfaatista muuttuu kolmiarvoiseksi muodostaen saostumaa ja osa jatkaa kaksiarvoisena eli liukoisena prosessissa eteenpäin. Teoreettinen hapentarve on  $25 \text{ g O}_2 / \text{kg}$  ferrosulfaattia, mutta jäteveden puhdistusprosessi vaatii happea biologisen toiminnan ylläpitämiseen ainakin kymmenkertaisen määrän. (*Peuraniemi, Pertti 2009*)

### **ALF-saostuskemikaali**

ALF-saostuskemikaali eli alumiini–ferrisulfaatti sisältää kolmiarvoisia rauta- ja alumiiniyhdisteitä. Kemikaalissa on noin 4,6 % alumiinia ja 10 % rautaa. Se on koostumukseltaan rakeinen saostusaine. Jatkuvasyöttöisessä annostelussa aine liuotetaan veteen ennen annostelua siten, että siitä saadaan väkevyydeltään 5–20 %:n liuos. (*Tuotetiedot: ALF-100 2005*)

### **Polymeeri Zetag 8140**

Zetag 8140 on kationinen polyelektrolyytti. Polyelektrolyytit ovat orgaanisia, vesiliukoisia polymeerejä (*Janhunen, Maarit 2007*). Polymeerejä voidaan käyttää saostukseenkin, mutta Parkanon jätevedenpuhdistamolla polymeeriä käytetään lietteen kuivaukseen parantamaan kiintoaineen erottuvuutta. Zetag 8140 on jauhemainen aine, joka toimii tuottamalla kationista eli positiivista varausta ja sitomalla siten kiintoainetta. Polymeeri toimii laajalla pH-alueella. (*Ciba Zetag powder range 2008*) Suuri molekyyli-paino parantaa polyelektrolyytin flokkautumistehokkuutta (*Janhunen, Maarit 2007*).

### **2.2.3 Biologinen puhdistus**

Biologisessa puhdistuksessa käytetään hyväksi jätevettä puhdistavia mikrobeja. Puhdistuksen tavoitteena voi olla orgaanisen aineen poistaminen jätevedestä, ammoniumtyypen hapettaminen nitrifikaation ja denitrifikaation avulla nitraatiksi, fosforin poisto mikrobien avulla tai lietteen stabiloiminen. Biologisessa jätevedenpuhdistuksessa mikrobit hajottavat veden orgaanisia aineita sekä epäorgaanisia ravinteita kuten typpeä ja fosforia. Jätevedessä olevat kolloidiset ja liuenneet orgaaniset aineet muuttuvat prosessissa lietteeksi. Osa yhdisteistä haihtuu kaasuna ilmakehään. (*Karttunen Erkki & Kiuru Heikki 2004. 169–214*)

Aktiivilieteprosessi on yksikköprosessi, jossa puhdistettava jätevesi johdetaan ilmastusaltaaseen. Altaassa on lietettä, joka sisältää orgaanista ainetta hajottavia mikrobeja. Mikrobit voivat olla vedessä vapaasti uivina, flokkeina tai filamentteina. Lietekä vaikuttaa olennaisesti mikrobien esiintymismuotoon. (*Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003. 49–51*)

Aerobinen aktiivilieteprosessi tarvitsee toimiakseen happea. Hapen syöttö myös sekoittaa vettä niin, että mikrobit ja jäteveden epäpuhtaudet pääsevät kosketuksiin toistensa kanssa. Ilmastusvaiheen jälkeen jätevesi selkeytetään. Osa selkeytyksessä laskeutuneesta lietteestä palautetaan takaisin ilmastukseen ja mikrobit ovat palautuksen jälkeen taas vastaanottavaisia lisäravinnolle. (*Karttunen Erkki & Kiuru Heikki 2004. 169–214*)

Olenneisimmat parametrit aktiivilieteprosessin toimivuuden kannalta ovat lieteikä ja -määrä, ilmastusaltaan happipitoisuus ja jäteveden kiintoainemäärä (*Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003. 51*).

Biologisessa puhdistusvaiheessa tapahtuu myös nitrifikaatio. Sen ylläpitämiseksi tarvitaan toimiva aktiiviliete, tarpeeksi happea ja riittävän korkea lämpötila. Jäteveden viipymän biologisessa puhdistusvaiheessa on oltava tarpeeksi pitkä ja lieteiän riittävä. (*Karttunen Erkki & Kiuru Heikki 2004. 169–214*) Oikea pH on myös olennainen tekijä. Nitrifikaatioprosessi itsessään alentaa pH:ta, joten sen säätämiseen voidaan tarvita apuainetta. Bakteerit eivät toimi alle 5,5:n pH:ssa, mutta hapettuminen tehostuu pH:n laskiessa. pH ei siis saa olla liian korkea eikä matala. (*Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003. 79*) Suurin osa jäteveden typestä on ammoniumtyypen (NH<sub>4</sub>-N) muodossa. Nitrifikaatiossa ammoniumtyyppi hapettuu bakteeritoiminnan avulla nitriitin kautta nitraattitypeksi seuraavien reaktioiden mukaisesti:



Nitraattimuodossaan (NO<sub>3</sub>-N) typpi on helpommin poistettavissa. (*Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003. 79*)

## **2.3 Parkanon kaupungin jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi**

Vuoden 2008 keskiarvojen mukaan Parkanon jätevedenpuhdistamolla käsiteltiin 558 707 m<sup>3</sup> jätevettä vuodessa ja 2 274 m<sup>3</sup> päivässä (*Oksjoki, Jouko 2009*). Vuoden 2008 lopussa puhdistamo kattoi 5 559 liittyjän viemäriverkon (*Mikkola, Pekka 2009*). Lisäksi puhdistamolle tuotiin sakokaivolietettä viemäriverkon ulkopuolelta.

### **2.3.1 Esikäsittely ja sakokaivolietteen vastaanotto**

Viemäriverkostosta jätevedenpuhdistamolle tuleva jätevesi virtaa aluksi kokoomakaivoon, josta se johdetaan painovoimaisesti välppäykseen, missä erotetaan 3 mm:ä suurempi kiintoaine. Vesi johdetaan edelleen painovoimaisesti tulopumppaamoon, josta se pumpataan hiekanerotukseen. Tässä vaiheessa syötetään tarpeen mukaan saostuskemikaalia. Hiekka laskeutetaan, jonka jälkeen se pumpataan selkeyttimen pohjalta hiekanpesuun. Hiekanpesussa hyödynnetään sekoituksen ja huuhtelujärjestelmän tuottamaa virtausta, jota käytetään orgaanisen aineen huuhteluun. Huuhdeltu hiekka kuivataan ja kuljetetaan ruuvilla hiekkalavalle. Huuhteluvesi johdetaan painovoimaisesti tulopumppaamoon. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*)

Hiekanerotuksessa erotettu vesi johdetaan ylivuotokourun kautta painovoiman avulla jakolaatikkoon ja sieltä kaksilinjaiseen hämmennykseen, johon käytetään altaan pohjalla olevia lapahämmentimiä. Sitten jätevesi virtaa altaiden pohjassa olevista aukoista esiselkeytysaltaisiin. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*)

Esiselkeytyksessä on kaksilinjainen laskeutusallas, josta jätevesi virtaa ylivuotokourujen kautta kokoomakaivoon ja ilmastukseen. Laskeutunut liete kerätään ketjulaahaimien avulla lietesyvennyksiin, joista se pumpataan tiivistykseen. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*)

Sakokaivolietteelle on oma välppäysyksikkönsä, jossa erotetaan 6 mm:ä suurempi aines. Välppäyksen jälkeen sakokaivolietteet joko johdetaan jätevesivirran mukana prosessiin tai suoraan painovoimaisesti lietteen tiivistykseen. Välpejäte pumpataan välpejätelavalle. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*)

### 2.3.2 Biologinen käsittely

Biologinen puhdistus toimii aktiivilieteprosessilla. Käsittelyssä jätevedestä poistuu orgaanista ainetta ja ammoniumtyyppiä hapettuu nitraatiksi. Ilmastukseen syötetään happea altaan pohjalta. Ilmastusaltaaseen lisätään myös saostuskemikaalia, ja pH:ta säädetään tarvittaessa lisäämällä natriumhydroksidia. Ilmastusvaiheen jälkeen jätevesi johdetaan väliselkeytysaltaisiin, joihin muodostunut liete palautetaan ilmastusaltaaseen. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*)

### 2.3.3 Jälkikäsitteily

Biologisesta käsittelystä jätevesi johdetaan flokkaukseen ja pikasekoitusaltaaseen, jossa jätevetten sekoitetaan alumiini–ferrisulfaattia. Flokkauksesta vesi jatkaa flotaatioaltaaseen, josta sekä pohjaliete että pintaliete kerätään laahaimilla. Liete pumpataan tiivistämöön. Jätevesi jatkaa kokooma-altaaseen ja sieltä vesistöön. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*)

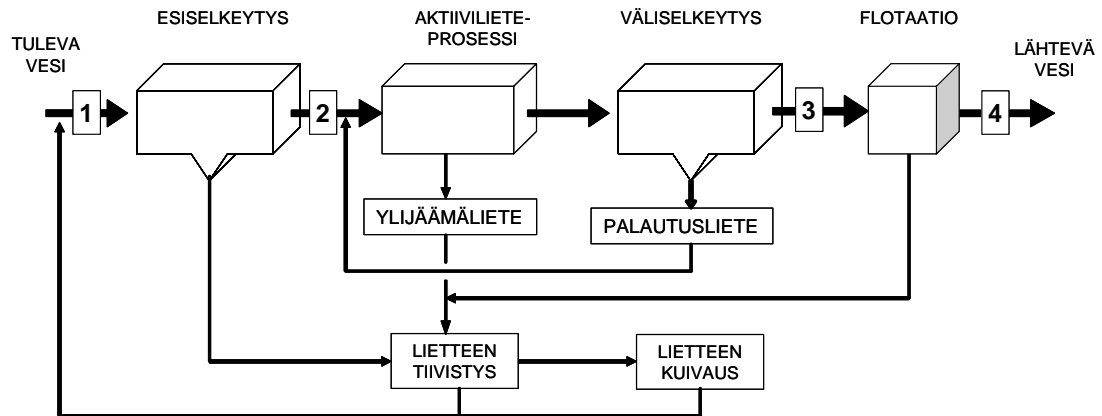
### 2.3.4 Lietteen käsittely

Lietteen tiivistykseen pumpataan lietettä esiselkeytys-, ilmastus- ja flotaatioaltaista. Lisäksi lietettä tuodaan painovoimaisesti sakokaivolietteen välppäyksestä. Tiivistynyt liete pumpataan lietteenkuivauslinkoon, johon syötetään polymeeriä kuivaustuloksen parantamiseksi. Kuivattu liete pumpataan lietelavalle. Sekä tiivistysvaiheessa että linkousvaiheessa tiivistyvä vesi johdetaan painovoimaisesti takaisin tulopumppaamoon. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*)

### 2.3.5 Ohitusmahdollisuudet ja näytteenotto

Ohituksia on mahdollista tehdä koko puhdistamon ohitse, hiekanerotuksen ohitse, esikäsitteilyn ohitse suoraan biologiseen vaiheeseen, esiselkeytyksen jälkeen suoraan vesistöön tai jälkiselkeytyksen ohitse vesistöön. Tarkoituksena onkin, ettei kaiken laitokselle tulevan jäteveden tarvitse kulkea jokaisen puhdistusvaiheen läpi, vaan puhdistetun veden laatu voitaisiin säilyttää, vaikka suurten virtaamien aikana tehtäisiin ohituksia. Virtaamamittareilla mitataan tulevan kokonaisjäteveden määrää, tulevan sakokaivolietteen määrää, prosessin ohittaneen jäteveden määrää sekä tiivistämöön ja kuivaukseen tulevan lietteen määrää. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*)

Näytteitä voidaan ottaa tulopumppaamosta, esiselkeytyksen jälkeen, väliselkeytyksen jälkeen ja puhdistamolta lähtevästä jätevedestä (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*). Kuviossa 2 on prosessi yksinkertaistettuna laatikkokaaviona. Näytteenottoaikat on numeroitu (1–4).



**Kuvio 2** Parkanon jätevedenpuhdistusprosessi (*Jätevedenpuhdistamon käytönoptimointi, Tammikuun 2009 väliraportti*)

### 2.3.6 Puhdistuksen laadun vaatimukset

Parkanon jätevedenpuhdistamon ympäristöluvassa vaaditaan vuoden 2009 alusta alkaen käsittelyteholtaan vähintään 95 %:n fosforin poistoa. Fosforipitoisuus puhdistamolta lähtevässä vedessä saa olla korkeintaan 0,5 mg/l. Fosforipitoisuutta seurataan puolivuotiskeskisarvon avulla. Keskiarvo lasketaan kuukausittain tehtävän velvoitetarkkailun tuloksista. Vastaava vaatimus kiintoainepitoisuudelle on enintään 25 mg/l. COD<sub>Cr</sub>-pitoisuus saa olla enintään 90 mg/l ja käsittelyteho vähintään 80 %. BOD<sub>7</sub>-pitoisuus saa olla korkeintaan 12 mg/l ja käsittelyteho vähintään 95 %. (*Lupapäätös: Dnro LSY2007Y316 2008*)

Ympäristölupaehdoissa vaaditaan myös mahdollisimman tehokasta typen poistoa. Ammoniumtypen määrälle ei ole asetettu ylärajaa, mutta nitrifikaatioasteen tulee olla vähintään 80 % silloin, kun prosessin lämpötila ylittää 12 °C. Nitrifikaatioaste lasketaan vesistöön johdettavan jäteveden ammoniumtypen ja laitokselle tulevan jäteveden kokonaistypen välisestä suhteesta. (*Lupapäätös: Dnro LSY2007Y316 2008*)



### 2.3.7 Prosessissa käytettävät kemikaalit

Parkanon jätevedenpuhdistamolla käytetään kemiallisia puhdistusmenetelmiä kolmessa vedenkäsittelyvaiheessa sekä lietteen kuivauksessa, johon pumpataan polymeeriä Zetag 8140 kiintoaineen erotuksen parantamiseksi. Primäärikoagulanttina käytetään ferrisulfaattia PIX-105:tä, jota pumpataan esikäsittelyn hiekanerotukseen. Kemikaalin tarkoituksena on parantaa kiintoaineen erotusta.

Ilmastukseen lisätään pumpulla ferrosulfaattia, joka toimii kiintoaineen ja fosforin saostajana. Lisäksi ilmastuksessa on tarkoitus käyttää tarvittaessa natriumhydroksidia optimaalisen pH-tason ylläpitämiseksi silloin, kun laitos nitrifioi. NaOH:ia ei ollut kuitenkaan vielä maaliskuuhun 2009 mennessä käytetty. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*)

Jälkiselkeytyksessä käytetään ALF-saostuskemikaalia eli alumiini–ferrisulfaattiseosta, jotta kiintoainetta ja fosforia saadaan edelleen poistetuksi. ALF-saostuskemikaalia syötetään annosteluruuvilla sekoitusastiaan, jossa kemikaali liuotetaan pienellä määrällä prosessivettä. Liuotettu kemikaali jatkaa edelleen flotaatiovaiheeseen. Fosforin poisto jälkiselkeytyksessä on kuitenkin kallista, koska flotaation dispersiovesipumppu käyttää suhteellisen paljon energiaa ja alumiini–ferrisulfaatti on hinnaltaan yli kaksinkertaista ferrosulfaattiin nähden. Kokonaiskustannusten kannalta edullisempaa olisi saada mahdollisimman suuri osa fosforista poistettua viimeistään väliselkeytyksessä. Paremman fosforinpoistotuloksen saavuttaminen on kuitenkin pääasiallisena syynä flotaatioprosessin käytölle. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*)

Parkanon jätevedenpuhdistamolla käytetään kemikaalien annostelussa virtaamasta riippumatonta jatkuvaa tasaista annostelua. Prosessiin syötetään sama, automaatiojärjestelmän kautta asetettu määrä saostuskemikaaleja päivittäin. (*Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*) Tasainen syöttö perustuu siihen yleiseen olettamukseen, että virtaamasta riippumatta fosforin määrä jätevedessä pysyy suhteellisen muuttumattomana. Tämä todettiin keskenään vuosien 2006 ja 2007 aikana kuukausittain mitattuja puhdistamolle tulevan fosforin kilomääriä. Vertailuun käytettiin tilastollista analyysimenetelmää, joka osoitti, ettei keskiarvoilla ole eroa vuosien välillä (liite 1). Yleensä suuret virtaamat aiheutuvat sateista tai sulamisvesistä. Periaatteena on, ettei saostuskemikaalia tarvitsisi syöttää enempää, vaikka virtaama olisi suuri, koska samansuuruinen fosforiannos tulee silloin puhdistamolle ainoastaan laimeammassa muodossa.

## 2.4 Analyysimenetelmät

Tässä opinnäytetyössä analyysien tekemiseen käytettiin *Standard methods for examination of water and wastewater* -teoksen mukaisia tai niistä sovellettuja analyysimenetelmiä (Franson, Mary Ann H. ym. (toim.) 2005). Analyysit tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun kemian laboratoriossa sekä Parkanon kaupungin jätevedenpuhdistamolla.

### 2.4.1 Spektrofotometria jäteveden analysoinnissa

Spektrofotometrillä menetelmää voidaan käyttää jäteveden analysoimisessa laajasti. Menetelmällä voidaan selvittää mm. näytteen metallipitoisuuksia, lietteen aktiivisuutta, väriä, sameutta, BOD-, COD- ja TOC-arvoja (TOC = orgaaninen kokonaishiili), orgaanisten happojen määrää, kokonaistyppe-, ammonium-, nitraatti- ja nitriittipitoisuutta. Tässä työssä spektrofotometrillä mitattiin COD<sub>C</sub>:tä sekä typen ja fosforin pitoisuuksia.

### 2.4.2 Fosforijakeiden erotus ja analysointi

Standardimenetelmän mukaan liukoinen fosfori mitataan huokoisuudeltaan 0,45 µm:n kalvosuodattimella suodatetusta näytteestä. Suodatuksen ei ole todistettu olevan ehdoton menetelmä, jolla saataisiin kaikki kiintoaineen mukana oleva ja liukoinen fosfori erotettua, mutta sitä käytetään yleisesti. (Franson, Mary Ann H. ym. (toim.) 2005. 4–146) Tässä työssä tehdyissä kokeissa suodatukseen on käytetty G/FA lasikuitusuodinta, jonka huokoskoko ei ollut tiedossa.

Kokonaisfosfori voidaan jakaa reaktiiviseen ja reagoimattomaan fosforiin. Reaktiivista fosforia esiintyy sekä liukoisessa muodossa että kiintoaineen mukana. Suurin osa siitä koostuu epäorgaanisesta ortofosfaatista. Kokonaisfosforin määrittäminen vaatii esikäsittelynä kuumentamisen, kun taas reaktiivinen fosfori voidaan mitata käsittelemättömästä näytteestä käyttäen kolorimetristä tekniikkaa ja askorbiinihappomenetelmää. Menetelmä sopii näytteille fosforipitoisuudeltaan 0,01–6 mg/l. *Standard methods for examination of water and wastewater 2005:n* mukaan menetelmän suhteellinen hajonta on melko pieni verrattuna muihin fosforin määrittämenetelmiin. Suhteellinen hajonta on ollut välillä 4–9,1 %. Suhteellinen virhekin pysyy vain 4,4–10 %:n rajoissa. (Franson, Mary Ann H. ym. (toim.) 2005. 4–146)

### 2.4.3 COD-määritys

Orgaanisen aineen pitoisuutta jätevedessä voidaan selvittää esimerkiksi BOD<sub>5</sub> ja BOD<sub>7</sub>-analyysillä sekä COD- ja TOC-määrityksillä. BOD-mittauksessa selvitetään biohajovien aineiden pitoisuutta. Pitoisuus saadaan selville määrittämällä biologinen hapen tarve eli hajottajamikrobien tarvitseman hapen määrä tietyllä aikavälillä. BOD<sub>5</sub>:ssä määrittämysaika on 5 päivää ja BOD<sub>7</sub>:ssä 7 päivää. TOC-määrityksellä selvitetään orgaanisen aineen pitoisuutta kokonaishiilen pitoisuuden avulla. (*Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003. 37–38*)

COD kuvaa kemiallisesti hapetettavan orgaanisen aineen määrää jätevedessä. COD<sub>Cr</sub> voidaan mitata spektrofotometrillä kolorimetrinen menetelmä käyttäen. Määrityksessä käytetään hapettimena dikromaatti-iona, joka hapettaa orgaanista ja epäorgaanista COD-ainesta ja muuttaa samalla muotoaan heksavalentista trivalentiksi Cr<sup>3+</sup>-ioniksi. Molemmilla kromi-ionin muodoilla on niille ominaiset valon aallonpituuden absorptioalueet, joiden avulla voidaan tunnistaa ja mitata kuinka paljon COD-ainesta on hapettu. COD-analyysia varten näytteeseen lisätään reagenssi, näytteet kuumennetaan, jäädytetään ja kiintoaineen annetaan laskeutua ennen mittausta riittävän kauan, ettei optinen luku häiriinny. (*Franson, Mary Ann H. ym. (toim.) 2005. 5-14–5-19*)

### 2.4.4 Kiintoainepitoisuuden määritys

Kiintoainepitoisuutta voidaan mitata gravimetrisellä menetelmällä. Menetelmän periaatteena on haihduttaa suodatetun näytteen kosteus ja punnita jäljelle jäänyt kiintoaine. (*Franson, Mary Ann H. ym. (toim.) 2005. 2–58*)

Suodatukseen käytetään lasikuitusuodinta, joka kastellaan tislattulla vedellä ja imetään kuivaksi imusuodatuksella. Suodinta kuivataan uunissa 103–105 °C:n lämpötilassa tunnin ajan. Suodin kostutetaan vielä pienellä määrällä tislattua vettä ennen varsinaisen näytteen suodatusta. Näytettä sekoitetaan kunnolla ja pipetoidaan sopiva määrä suodatettavaksi. Näytettä tulisi olla sen verran, että suotimeen jää 2,5–200 mg kuivattua kiintoainetta. Suodatuksen jälkeen suodin siirretään upokkaaseen ja vähintään tunniksi uuniin 103–105 °C:seen kuivumaan. Suotimen lämpötilan ja painon annetaan vielä tasaantua eksikaattorissa ennen punnitsemista. (*Franson, Mary Ann H. ym. (toim.) 2005. 2–58*)

TSS (total suspended solids) eli kiintoainepitoisuus ( $mg/l$ ) lasketaan seuraavalla yhtälöllä:

$$TSS = \frac{(A - B)}{V}, \quad (4)$$

jossa A tarkoittaa suodatetun näytteen ja suotimen yhteismassaa ( $mg$ ), B tarkoittaa tyhjän suotimen massaa ( $mg$ ) ja V suodatetun näytteen tilavuutta ( $l$ ). (Franson, Mary Ann H. ym. (toim.) 2005. 2–58)

Kiintoainepitoisuuden mittaaminen sisältää virheen mahdollisuuden useassa vaiheessa. Näyte tulisi pitää mahdollisimman homogeenisenä käsiteltäessä. Näytteen sekoittamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, samoin kuin annosteluvaiheeseen. Jos kiintoainetta jää astian reunoille, tämä on otettava huomioon arvioinnissa. Tarkka kuivauslämpötila on tärkeä tietää. Kosteuden imeytymistä suotimeen kuivauksen jälkeen on vältettävä säilyttämällä suodinta eksikaattorissa. (Franson, Mary Ann H. ym. (toim.) 2005. 2–58)

#### 2.4.5 Laitteet ja menetelmät

Saostuskokeisiin käytettiin Kemiran Flocculator 2000 -miniflokkulaattoria ja sovellettua jar test -menetelmää. Saostuskokeissa fosforipitoisuuden määrittämiseen käytettiin menetelmästandardia 4500-P E mukailevaa kolorimetristä menetelmää, joka on esitetty teoksessa *Standard methods for examination of water and wastewater* (Franson, Mary Ann H. ym. (toim.) 2005 s. 4-153–4-155). Saostettujen näytteiden reaktiivisen fosforipitoisuuden analysointiin käytettiin Hach DR2010 -spektrofotometriä ja Hachin reagensseja (AccuVac Phosphorus Reactive: Orthophosphate, Method 8048), jotka ovat askorbiinihapporeagensseja. Menetelmän kuvaus on löydettävissä Hachin verkkosivuilta (*Phosphorus Reactive (Orthophosphate) 2007*).

Kiintoaine suodatettiin Büchner-suppilolla lasikuitusuotimia käyttäen ja kuivattiin lämpötilassa 105 °C. Liukoisen reaktiivisen fosforin mittaamiseen käytettiin kiintoainesuodatuksesta saatua suodosta. pH:n mittaamiseen käytettiin Radiometer Copenhagenin PHM82 Standard pH Meter -laitetta.

Viikkoseurannan mittaukset toteutettiin jätevedenpuhdistamolla HACH DR2800-spektrofotometrillä. Mittauksiin käytettiin HACH Lange -kyvettitestejä. Kyvettitesti-menetelmä ei ole akkreditoitu, mutta se on hyväksytty menetelmä yrityksen sisäiseen

laadun tarkkailuun. Kyvettitesteissä käytetään standardin mukaisia reagensseja. Testit perustuvat samoihin reaktioihin kuin standardit. Spektrofotometri tunnistaa tutkittavan aineen näytekyvetin viivakoodin perusteella. Sitten laite kääntää kyvettä ja tekee kymmenen optista mittausta eri puolilta kyvettä ja antaa mittausten keskiarvon. (*Hach Lange - United for Water Quality n.d.*)

COD<sub>Cr</sub>- ja P<sub>Kok</sub>-testit (P<sub>Kok</sub> = kokonaisfosfori) vaativat kuumennusta ennen spektrofotometrillä mittausta. Kuumennus tapahtui HACH Lange HT 200S -pikapolttohauteella. Kemiollista hapenkulutusta mitattiin sekä suodatetusta että suodattamattomasta näytteestä, jotta saatiin kokonais-COD<sub>Cr</sub>- ja liukoiset COD<sub>Cr</sub>-tulokset.

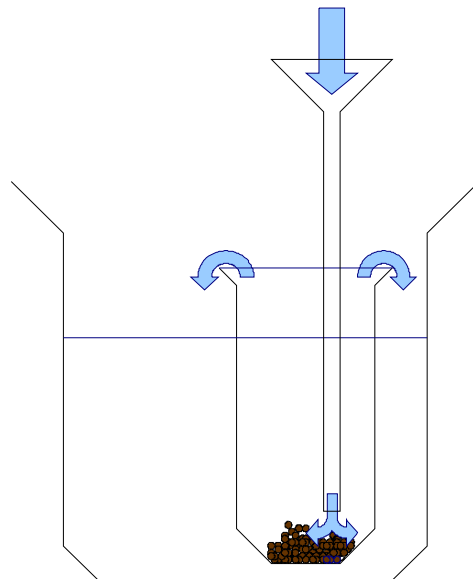
### 3 Saostuskokeet laboratoriomittakaavassa

Jäteveden laadun seurannan lisäksi osana työtä olivat saostuskokeet laboratoriomittakaavassa ja puhdistamolla tehtävien intensiivikokeiden tulosten analysointi. Saostuskokeiden tarkoituksena oli etsiä kemikaaleille sopivia annosmääriä, jotta saavutettaisiin hyvä puhdistustulos mahdollisimman alhaisella kemikaalien kulutuksella. Laboratorioskokeiden lisäksi puhdistamolla toteutettiin intensiivijaksoja, joissa kemikaaliannostuksia vaihdeltiin todellisessa prosessissa. Annostusten vaikutuksia vertailtiin analysoimalla puhdistustuloksia esimerkiksi kiintoaineen ja fosforin poiston osalta.

#### 3.1 *Ferrisulfaatti PIX-105 esiselkeytyksessä*

Parkanon jätevedenpuhdistamolla käytetään esisaostuskemikaalina PIX-105:tä. Laboratoriokokeessa saostettiin laitokselle tulevaa puhdistamatonta jätevettä. Näytteenottopäivänä 14.4.2009 puhdistamolle tuleva virtaama oli  $2\,901\ m^3$ . Virtaamakeskiarvo edeltävältä kymmeneltä päivältä oli  $3\,169\ m^3$ , mikä on sulamisvesien vuoksi korkeampi kuin puolivuotiskeskisarvo  $1\,735\ m^3$  (ajalta 1.11.2008–30.4.2009). Jätevedessä ei ollut mukana sakokaivolietettä eikä lietteenkuivauksen rejektivesiä.

Jätevesi oli käynyt välppäyksen läpi, eli siitä oli erotettu  $3\ mm$ :ä suurempi aines. Kullakin kemikaaliannostuksella tehtiin kolme rinnakkaista saostusta. Todellisessa prosessissa välppäyksen jälkeen seuraa hiekan erotus pystyselkeyttimellä. Myös tässä kokeessa koko näytemäärälle tehtiin aluksi hiekanerotus. Laakeaan astiaan asetettiin pienempi, korkea astia, johon kaadettiin suppilon ja suppilosta astian pohjalle ulottuvan letkun avulla jätevettä. Pienemmän astian annettiin täytyä ja veden virrata reunojen yli suurempaan astiaan, jotta hiekka laskeutuisi korkean astian pohjalle. Järjestely on esitetty kuviossa 3. Kokeisiin käytettiin suuremmasta astiasta otettua kirkkaampaa vettä.



**Kuvio 3** Hiekkanerotuksen simulointi

Saostuksessa PIX-105:n teoreettiseksi tarpeeksi arvioitiin 14-kertainen määrä tulevan jäteveden fosforipitoisuuteen nähden. Tämä voitiin laskea perustuen siihen, että ferrosulfaatin tarve tiedettiin yhdeksänkertaiseksi (*Alavakeri ym. 2002*) ja sekä ferro- että ferrisulfaatin rautapitoisuudet ovat tiedossa. Ferrosulfaatin rautapitoisuus on noin 17,5 % ja PIX-105:n noin 11,2 %. Teoreettinen PIX-105:n tarve laskettiin seuraavasti:

$$9 \cdot 17,5\% = x \cdot 11,2\% \rightarrow x = \frac{9 \cdot 17,5\%}{11,2\%} \approx 14. \quad (5)$$

Teoreettinen PIX-105:n tarve laskettiin jäteveden fosforipitoisuuksille 5,5 mg/l ja 8 mg/l, jotka vastasivat tyypillisiä puhdistamolle tulevan jäteveden fosforipitoisuuksia. Viikkoseurannan mukaan tarkkailuajanjakson keskiarvo kyseiselle pitoisuudelle oli 5,3 mg/l ja suurin arvo oli 9,4 mg/l. Teoreettinen tulos kerrottiin kahdella, jotta saataisiin käytännössä toimivampi annostus. Annostuksiksi saatiin 154 mg/l ja 224 mg/l, joiden lisäksi valittiin vielä yksi edellisiä pienempi annostus 90 mg/l. Jokaista saostuskoetta varten otettiin 1 000 ml näytettä saostukseen. PIX-105:tä lisättiin noin 90 mg/l, 154 mg/l ja 220 mg/l. Yksi näyte jätettiin nollanäytteeksi ilman kemikaalia.

## Kokeen suoritus

Jätevesinäytettä säilytettiin jääkaapissa noin +5 °C:ssa noin 12 tuntia ennen saostuskokeiden tekemistä. Saostuksen jälkeen näytteitä säilytettiin jälleen jääkaapissa, kunnes kaikki mittaukset oli saatu suoritettua. Näytteet nostettiin huonelämpötilaan lämpenemään ennen mittauksia. Näytteitä sekoitettiin 8 minuuttia, joka vastaa viipymäaika hämmennyksessä myös todellisessa prosessissa mitoituusvirtaamalla. Sekoittimena käytettiin Kemiran Flocculator 2000 -laitetta ja sekoitusnopeutena 30 rpm. Kiintoaineen laskeutumisajaksi valittiin tunti, jonka arveltiin olevan riittävä todelliseen laskeutumisaikaan (2,1 h) verrattuna. Laboratoriokokeissa käytetään usein lyhyempääkin laskeutus-aikaa. Näytteet kuvattiin selkeytyksen jälkeen (kuvio 4).



**Kuvio 4** PIX-105:llä saostetut näytteet. Käytetyt kemikaalimäärät vasemmalta oikealle: 0 mg/l, 90 mg/l, 154 mg/l ja 220 mg/l

Jokaisella annostuksella suoritettiin kolme saostusta. Saostusainemäärät on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1** PIX-105:n annoskoot saostuskokeissa

PIX-105 (mg/l)				
	0	98	154,4	237,9
	0	87,5	164,5	237,8
	0	93,4	160,6	234,3
keskiarvo	0	93	160	237

Näytteiden nestefaasista pipetoitiin mittauksia varten noin 500 ml. Sitten mitattiin kiintoaine, pH ennen ja jälkeen saostuksen sekä reaktiiviset fosfaatit suodatetusta ja suodatamattomasta näytteestä. Jokaiselle näytteelle tehtiin kolme rinnakkaista määrittystä.



## Tulokset

Yhteenvedo PIX-105-saostuskokeiden tuloksista on esitetty taulukossa 2. Taulukossa 3 on pH-arvot eri PIX-105:n pitoisuuksilla.

**Taulukko 2** Saostuskokeiden tulosten keskiarvot ja keskihajonnat

<b>Pitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat</b>			
<b>PIX-105 (mg/l)</b>	<b>kiintoaine (mg/l)</b>	<b>reaktiivinen fos- faatti (mg/l)</b>	<b>liukoinen reaktiivinen fosfaatti (mg/l)</b>
<b>tuleva, 0</b>	<b>293 ± 86</b>	<b>8,58 ± 0,77</b>	<b>5,33 ± 0,10</b>
<b>0</b>	<b>62 ± 6</b>	<b>6,92 ± 0,15</b>	<b>5,89 ± 0,32</b>
<b>93</b>	<b>83 ± 8</b>	<b>5,51 ± 0,51</b>	<b>1,90 ± 0,22</b>
<b>160</b>	<b>89 ± 8</b>	<b>4,35 ± 0,44</b>	<b>0,65 ± 0,13</b>
<b>237</b>	<b>92 ± 8</b>	<b>3,18 ± 0,29</b>	<b>0,20 ± 0,15</b>

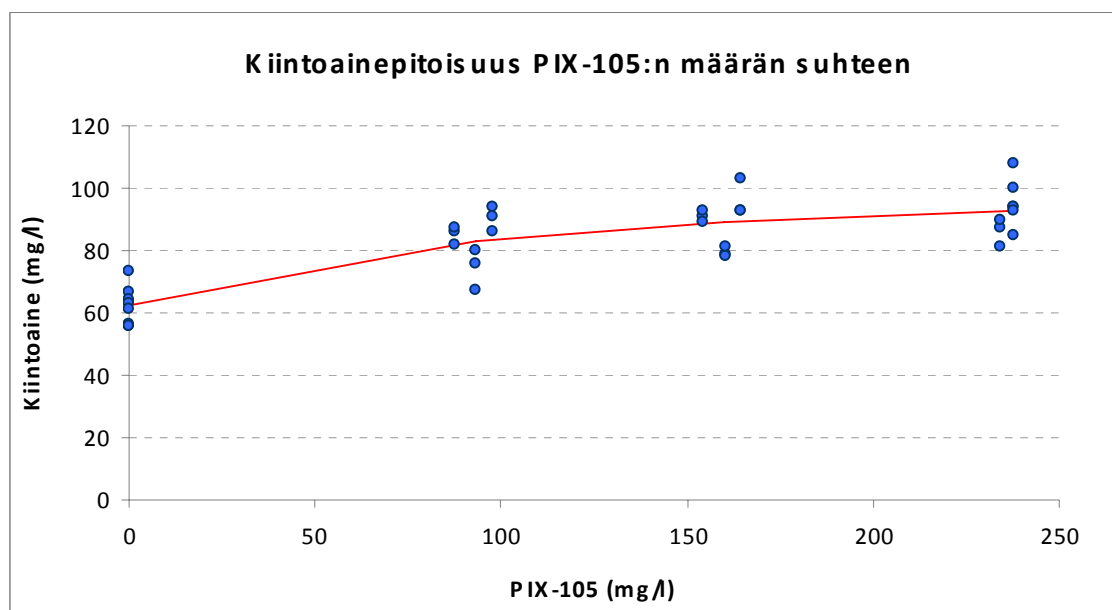
**Taulukko 3** pH-keskiarvot

<b>PIX-105 pitoisuus, keskiarvo (mg/l)</b>	<b>pH</b>
<b>puhdistamolle tuleva, käsittelemätön</b>	7,3
<b>0</b>	7,3
<b>93</b>	6,9
<b>160</b>	6,6
<b>237</b>	6,4

## Tulosten tulkinta

Kuten kuvioista 4 voidaan nähdä, kiintoainetta oli saostunut ja laskeutunut dekanttereiden pohjalle. Sakkamäärä kasvoi saostuskemikaalimäärän suurentuessa. Saostettujen näytteiden nestefaasi ei kuitenkaan näyttänyt kirkkaammalta, vaikka annostus kasvoi. Tämä tarkoittaa sitä, että saostus ei ole toiminut odotetusti. Flokkien muodostus ei ole ollut tarpeeksi tehokasta.

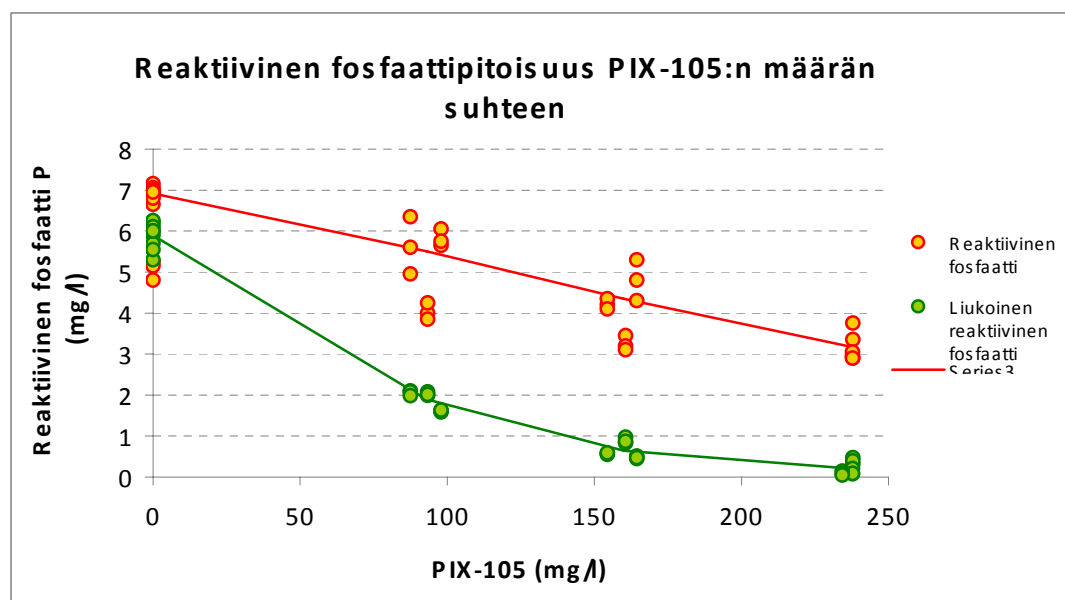
Kuviossa 5 on esitetty veteen jäänyt kiintoainemäärä saostuskemikaalimäärän funktiona. Punainen käyrä kuvaa mittausten keskiarvoja. Kuvioista voidaan nähdä, että kiintoainepitoisuus nousi PIX:in määrän kasvaessa. Todellisuudessa kiintoainepitoisuuden pitäisi laskea saostuskemikaalin määrän kasvaessa.



**Kuvio 5** Kiintoainepitoisuus PIX-105:n määrän suhteen

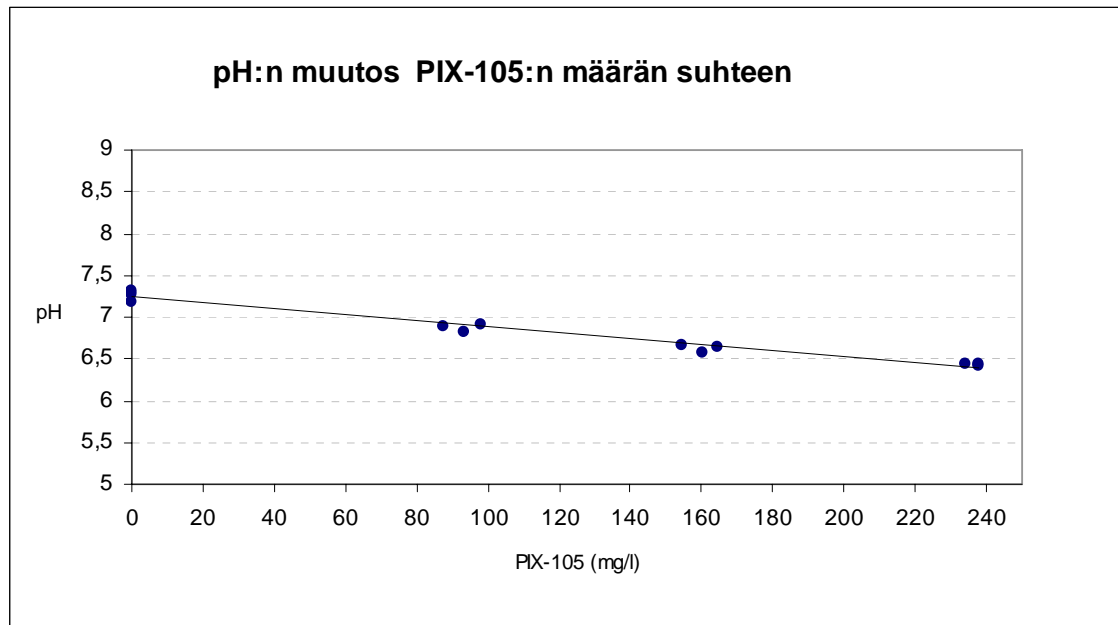
Tuloksien tarkastelussa käytettiin fosfaattimuotoista reaktiivista fosforia, joka on hie-man kokonaisfosforia pienempi arvo. Kokonaisfosfori muodostuu sekä reaktiivisesta että reagoimattomasta fosforista (*Kiiskinen, Seppo 2008*).

Kuvio 6 esittää reaktiivisen fosfaatin ja reaktiivisen liukoisen fosfaatin pitoisuuksia PIX-105:n määrän suhteen. Kuviossa on nähtävissä myös mittauksen keskiarvot.



**Kuvio 6** Reaktiivisen fosfaatin ja liukoisen reaktiivisen fosfaatin pitoisuudet

Kuvio 7 esittää pH:n muutosta. Kuviossa on lineaarinen trendiviiva kuvaamassa keski-määräisen muutoksen suuntaa.



**Kuvio 7** pH:n muutos PIX-105:n määrän suhteen

Keskihajonta tulosten välillä oli suhteellisen pieni, kun otetaan huomioon vielä se, että kolmen rinnakkaisen saostuksen PIX-105-määrissä oli pientä hajontaa. Tuloksia voitiin pitää keskenään vertailukelpoisina.

### **Pohdintaa**

Koejärjestelyissä jäljiteltiin mahdollisimman paljon todellisen prosessin olosuhteita. Menetelmä kehitettiin vastaamaan Parkanon jätevedenpuhdistamon esiselkeytystä. Ennen näytteen saostamista näytteestä erotettiin hiekka, kuten todellisessa prosessissakin tehdään, ja sekoituksessa käytettiin todellista mitoitusvirtaaman sekoitusaikaa.

Laboratoriomittakaavassa toimivimmat olosuhteet voitaisiin saada lisäämällä pikasekoitus ennen varsinaista hämmennystä. Tällöin flokkien muodostus saattaisi parantua ja kiintoaine voitaisiin saada paremmin laskeutumaan. Kemiran asiantuntijan mukaan (*Peuraniemi, Pertti 2009*) Kemiralla on saatu onnistuneita tuloksia Riikan jätevedenpuhdistamolla saostamalla PIX-105:n rinnakkaistuotteella PIX-115:llä. Saostusainemäärät ovat olleet huomattavasti pienempiä, noin 38–100 mg/l ja laskeutusaika vain 15 minuuttia. Kemira käytti näissä kokeissa 20 sekunnin pikasekoitusta ja 10 minuutin hidasta sekoitusta.

Tulokset sopivat keskinäiseen vertailuun ja antamaan suuntaa todelliselle prosessille, mutta niitä ei voi verrata suoraan todellisessa mittakaavassa saataviin tuloksiin. Laboratorio-olosuhteissa on monta tekijää, jotka voivat vaikuttaa siihen, vastaako koe

todellisia olosuhteita. Esimerkiksi säiliökokojen suurten erojen vuoksi vastapaineet poikkeavat toisistaan. Sekoittuminen laboratoriossa ja todellisessa prosessissa saattaa olla erilaista ja siten vaikuttaa siihen ovatko aineet yhtä homogeenisia. Kemikaalin syötössä ja näytteenotossa voi olla eroavaisuuksia.

Vertailukelpoisuutta puhdistamalla tehtävien mittausten kanssa voitaisiin lisätä mittaamalla laboratoriokokeessa myös kokonaisfosfori- ja COD-pitoisuudet, koska näitä tarkkailtiin viikkoseurannassakin. Nämä eivät olisi olleet helposti toteutettavissa koehetkellä TAMK:n kemian laboratoriossa, sieltä löytyvällä laitteistolla, joten ne päätettiin jättää pois. Standardin mukaiset näytteen säilytysajat ylittyivät näissä kokeissa, mutta kokeissa ei pyrittykään akkreditoitun laboratorion laatuun tai tulosten täsmällisyyteen, vaan suuntaa antaviin pitoisuuksiin.

Optimaalinen kemikaaliannostus jäi löytämättä tämän kokeen perusteella. Tyydyttävä tulos pitäisi saavuttaa jo näillä kemikaalipitoisuuksilla, mutta koska sekoitus oli riittämätöntä, flokkautuminen ei toteutunut kunnolla. Toisaalta virtaama oli ollut suuri, joten olisi ehkä tarvittu vieläkin suurempaa annostusta. Esiin nousi pohdittavaksi myös kysymys voiko sekoitus olla riittämätöntä todellisenkin prosessin esisaostuksessa.

### ***3.2 Ferrosulfaatti väliselkeytyksessä***

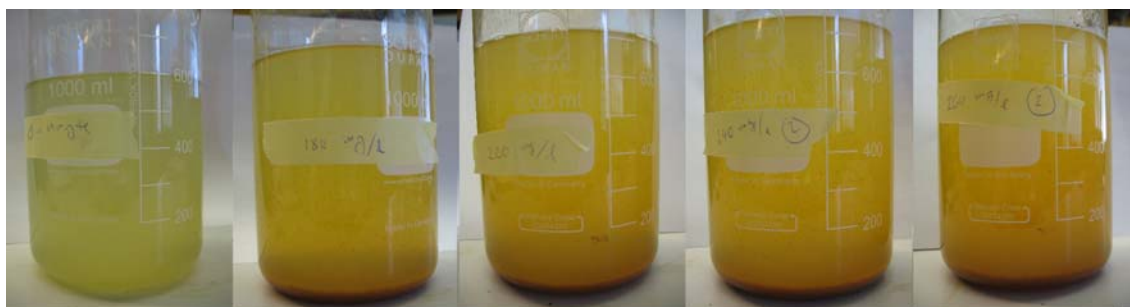
Sopivaa ferrosulfaatin määrää testattiin, jotta fosforipitoisuus saataisiin vaaditulle tasolle tai lähelle sitä jo väliselkeytysvaiheessa. Testeihin käytettiin esiselkeytettyä jätevettä, johon oli syötetty esiselkeytysvaiheessa noin 114 kg/d ferrisulfaattia (PIX-105), joka vastasi näytteenottopäivänä 23.3.2009 noin 114 mg/l-annostusta. Saostuvuutta kokeiltiin ferrosulfaattiannostuksilla 180 mg/l, 220 mg/l, 240 mg/l ja 260 mg/l sekä nollanäytteellä ilman kemikaalin lisäystä. Koehetkellä puhdistamalla käytettiin ferrosulfaattiannostusta 220 kg/d. Virtaamat olivat olleet näytteen ottoa edeltäneinä päivinä noin 1 000 m<sup>3</sup>/d, joten 220 mg/l vastasi suunnilleen mittaushetkellä käytössä olevaa ferrosulfaatin määrää.

#### **Kokeen suoritus**

Esiselkeytettyä jätevettä mitattiin dekanttertiin 600 ml. Siihen lisättiin testattava määrä ferrosulfaattia. pH mitattiin esiselkeytetystä jätevedestä sekä jokaisesta näytteestä ferrosulfaatin lisäämisen jälkeen. Näytettä ilmastettiin laboratorioilmastimella 30 minuutin ajan. Ilmastuksen jälkeen näytteen annettiin laskeutua 30 minuuttia. Näytteet kuvattiin

(kuvio 8) ja niistä pipetoitiin pinnalta nestefaasista 250 ml mittauksia varten. Näytteistä mitattiin kiintoaine-, reaktiivinen fosfori- ja liukoinen reaktiivinen fosforipitoisuus.

Tehtiin kolme rinnakkaista saostuskoetta.



**Kuvio 8** Ferrosulfaattilla saostetut näytteet. Annostukset vasemmalta oikealle: 0 mg/l, 180 mg/l, 220 mg/l, 240 mg/l ja 260 mg/l

### Tulokset

Ferrosulfaattisaostuskokeiden analyysitulokset on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Taulukossa 4 on kiintoaine-, reaktiivisten fosfaatti- ja liukoisten reaktiivisten fosfaattipitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat. Taulukossa 5 on pH-arvot eri ferrosulfaattipitoisuuksilla.

**Taulukko 4** Ferrosulfaattisaostuskokeen analyysitulokset

<b>Pitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat</b>			
<b>Ferrosulfaatti (mg/l)</b>	<b>Kiintoaine (mg/l)</b>	<b>Reaktiivinen fosfaatti (mg/l)</b>	<b>Liukoinen reaktiivinen fosfaatti (mg/l)</b>
<b>0</b>	<b>89 ± 33</b>	<b>8,27 ± 2,05</b>	<b>4,18 ± 0,59</b>
<b>180</b>	<b>59 ± 13</b>	<b>0,82 ± 0,50</b>	<b>0,02 ± 0,02</b>
<b>220</b>	<b>64 ± 11</b>	<b>0,67 ± 0,51</b>	<b>0,01 ± 0,01</b>
<b>240</b>	<b>69 ± 14</b>	<b>0,72 ± 0,56</b>	<b>0,01 ± 0,00</b>
<b>260</b>	<b>70 ± 26</b>	<b>0,38 ± 0,27</b>	<b>0,01 ± 0,00</b>

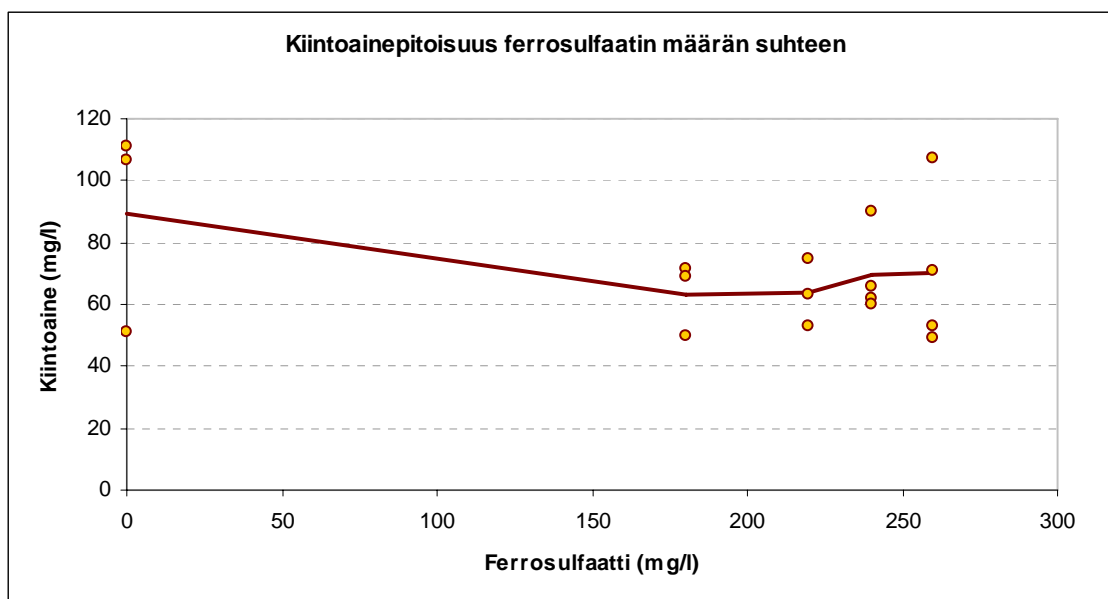
**Taulukko 5** pH-mittausten tulokset

<b>Ferrosulfaattipitoisuus, (mg/l)</b>	<b>pH</b>
<b>0</b>	<b>7,7</b>
<b>180</b>	<b>7,2</b>
<b>220</b>	<b>7,0</b>
<b>240</b>	<b>6,9</b>
<b>260</b>	<b>6,6</b>

## Tulosten tulkinta

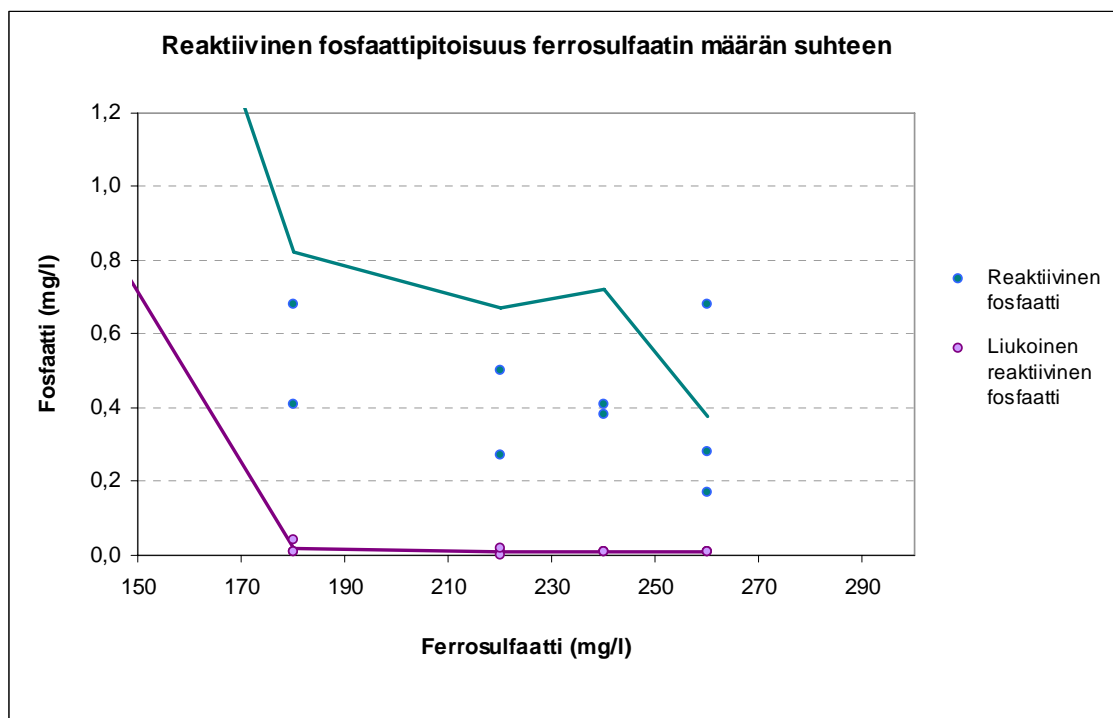
Kuviosta 8 voidaan nähdä, että saostetuissa näytteissä kiintoainetta saostui ja laskeutui dekanttereidен pohjalle. Vesi oli kuitenkin sameaa eli siinä oli edelleen kiintoainetta. Osa sameudesta johtui hapettumattomasta raudasta, mutta osa oli varmasti saostumatonta kiintoainetta. Saostus olisi luultavasti vaatinut ilmastuksella sekoittamisen lisäksi voimakkaan pikasekoituksen.

Kuviossa 9 nähdään kiintoainepitoisuus ferrosulfaatin pitoisuuden funktiona. Keskiarvokäyrän mukaan paras saostustulos saataisiin alle 220 mg/l:n annostuksella, mutta kuten kuvio osoittaa, hajonta mittauksien välillä oli suuri. Suoria johtopäätöksiä ei voitu tehdä suuren hajonnan vuoksi. Keskiarvojen perusteella näytti siltä, että 240 mg/l annostusta suurempi annostus lisäsi hapettumattoman raudan määrää ja sen myötä kiintoainetta. Tässä saostuskokeessa saadut tulokset eivät kuitenkaan yltäneet vaadittavalle tasolle, joka on enintään 25 mg/l kiintoainetta.



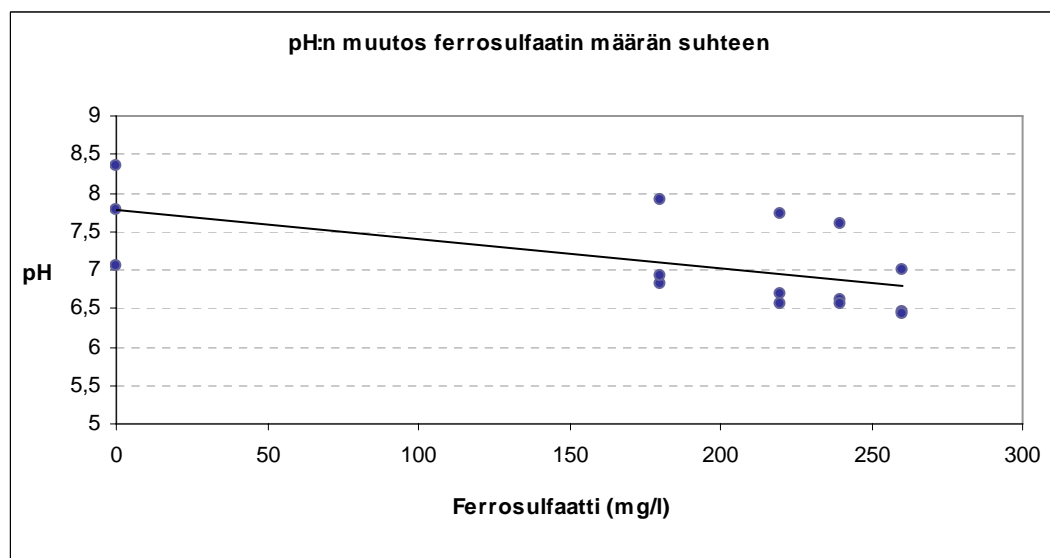
**Kuvio 9** Kiintoainepitoisuuden muutos ferrosulfaatin määrän kasvaessa

Kuvio 10 esittää reaktiivisen ja liukoisen reaktiivisen fosfaatin pitoisuuksia ferrosulfaatin määrän funktiona. Kuviosta nähdään, että reaktiivisen fosfaatin hajonta oli suuri. Keskiarvo laski pääsääntöisesti ferrosulfaatin lisäämisen myötä, kuten oletettiin. Liukoisen reaktiivisen fosfaatin tulokset olivat lähellä nollaa kaikilla annostuksilla ja hajonta oli pieni.



**Kuvio 10** Reaktiivinen fosfaattipitoisuus

pH:n muutos ferrosulfaatin määrän suhteen on esitetty kuviossa 11. Trendiviiva kuvaa muutoksen suuntaa. pH laski ferrosulfaatin määrän kasvaessa reagenssin alhaisen pH:n vuoksi.



**Kuvio 11** pH:n muutos suhteessa ferrosulfaatin määrään

## Pohdintaa

Edellä kuvattu saostuskoe sopii näytteiden keskinäiseen vertailuun, mutta tulosten ei voida ajatella vastaavan täysin todellista prosessia. Saostukseen vaikuttavia tekijöitä on paljon, eikä laboratoriomittakaavan kokeessa kaikkia olosuhteita voitu saada vastaamaan todellisuutta. Tässäkin kokeessa vertailtavuus prosessivedestä tehtyjen mittausten kanssa parantuisi, jos näytteistä mitattaisiin vielä COD- ja kokonaisfosforipitoisuudet.

Alle 240 mg/l:n ferrosulfaattiannostuksilla ei päästy ympäristölupaehtojen mukaiseen fosforinpoistotulokseen. Raja-arvo kokonaisfosforille on 0,5 mg/l. Kokeessa mitattiin reaktiivista fosforia, joten kokonaisfosforipitoisuus ei ole tiedossa. Reaktiivinen fosforipitoisuus oli kuitenkin alle lupavaatimusrajojen 260 mg/l:n kohdalla. Todellisuudessa annosmäärän 220 mg/l on todettu riittävän näin pienellä (<1000 m<sup>3</sup>) virtaamalla, kun jätevesi on jo esisaostettua. Tuloksien perusteella kiintoainepitoisuus nousi uudelleen kemikaalipitoisuutta 240 mg/l suuremmilla annostuksilla eli tätä suurempi annostus näyttäisi olevan liian suuri.

Parempi fosforin poistotulos luultavasti saavutettaisiin, jos flokkausta tehostettaisiin koejärjestelyissä. Vaikka todellisessa prosessissa saostusaine sekoittuu ilmastusaltaassa ilman avulla, laboratorio-olosuhteissa ilmastus ei ehkä ole sekoitustapa, jolla flokkausta tapahtuisi riittävästi. Kokeessa voisi käyttää ilmastuksen lisäksi miniflokkulaattoria pikasekoituksella ja hämmennyksellä.

Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että kokeessa käytettyyn esiselkeytettyyn jäteveeseen oli syötetty PIX-105:tä 114 kg/d eli noin 114 g/m<sup>3</sup>. Kiintoaine- ja fosforipitoisuudet olisivat olleet korkeammat, jos esisaostuskemikaalia ei olisi syötetty. Koska saostuskemikaalit laskevat jäteveden pH:ta, suurten kemikaaliannostusten kanssa voisi harkita pH:n säätämistä apukemikaalilla.



Laboratorio-olosuhteissa tarvittavaa ilmastusaikaa on vaikea arvioida, koska hapettumisnopeus riippuu ferroraudan konsentraatiosta, veden happipitoisuudesta, pH:sta, biomassan aktiivisuudesta ja ferrosulfaatin sivureaktioista jätevedessä. Lisäksi laboratorio-kokeessa ilmastusastia on matala ja vastapaine pieni, joten happi ei imeydy yhtä tehokkaasti kuin todellisessa syvässä ilmastusaltaassa, joissa vastapaine on 0,3–1,2 bar. (Peuraniemi, Pertti 2009) Laboratorioilmastimien ilmastustehokkuus arvioitiin silmämääräisesti. Sen vastaavuutta todelliseen prosessiin ei mitattu. Ilmastus pidettiin kuitenkin kaikilla näytteillä yhtä voimakkaana.

Jos ilmastusaika olisi haluttu optimoida näihin koeolosuhteisiin, olisi siitä täytynyt tehdä erillisiä kokeita käyttäen eri hapetusaikoja ja arvioida niiden perusteella, mikä on oikea ferrosulfaatin hapettumisaika juuri näissä koeolosuhteissa. (Peuraniemi, Pertti 2009) Tässä kokeessa ilmastusaika pidettiin samana (30 min) kaikilla näytteillä ferrosulfaatin pitoisuudesta riippumatta. Todellisessa prosessissa viipymä ilmastusaltaassa riippuu virtaamasta. Laboratoriokokeessa ei edellytettykään, että kaikki ferrosulfaatti olisi ehtinyt hapettua, vaan pyrittiin minimoimaan muuttujat tulosten keskinäisen vertailtavuuden parantamiseksi.

## 4 Jätevedenpuhdistamon käytönoptimointiprojekti

Optimointiohjelman mukaisesti jätevedenpuhdistamolla toteutettiin päivittäistä ja viikoittaista seurantaan puhdistusprosessista sekä puhdistamolle tulevan ja sieltä lähtevän veden laadusta. Päivittäistä seurantaan suorittivat puhdistamon hoitajat automaation avulla. Seurantaan kuului mm. puhdistamon sähkön- ja kemikaalienkulutus, tulevan ja lähtevän jäteveden virtaamat, lietemäärät, lieteiän seuranta sekä pH:n ja happipitoisuuden seuranta. Viikoittainen seuranta oli osana tätä opinnäytetyötä. Se käsitti tulevan ja lähtevän jäteveden COD-, fosfori ja typpipitoisuudet. Ulkopuolisessa laboratorioissa Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistyksellä tehtiin kuukausittaista velvoitetarkkailua. Näitä velvoitetarkkailun tuloksia on hyödynnetty myös tässä työssä jäteveden laadun seurannassa. (*Jätevedenpuhdistamon käytönoptimointi, Tammikuun 2009 väliraportti*)

### 4.1 Viikkoseuranta

Viikkoseurantaan tehtiin osana optimointiprojektia. Tarkoituksena oli saada ajan tasalla olevaa tietoa jäteveden laadusta ja mahdollisista puhdistuksen laadun vaihteluista. Tässä työssä viikkoseuranta-aineistoa on käytetty pohjatietona ainetaselaskelmille.

Viikoittain seurattiin puhdistamolle tulevan ja sieltä lähtevän jäteveden orgaanisen kiintoaineen määrää kemiallisen hapenkulutuksen avulla ( $COD_{Cr}$ ), kokonaisfosforipitoisuutta ja ammoniumtyypen määrää. Lisäksi seurattiin ajoittain nitraatin määrää puhdistetusta vedestä. Näytteet analysoitiin spektrofotometrisellä menetelmällä. Analyysien tulokset, siltä osin kuin niitä tämän työn aikana tehtiin, löytyvät liitteenä (liite 2). Näytteenotto-päivää vaihdeltiin viikoittain, jotta eri viikonpäivien erilaiset kuormitukset eivät pääsisi vaikuttamaan tuloksiin (*Jätevedenpuhdistamon käytönoptimointi, Tammikuun 2009 väliraportti*).

### 4.2 Intensiivikokeet jätevedenpuhdistamolla

Jätevedenpuhdistamon käytönoptimointiprojektiin kuului puhdistamolla tehtäviä intensiivijaksoja. Jaksojen aikana puhdistamolla suoritettiin koeajoja, joissa käytettiin eri kemikaaliannostuksia. Koeajojen aikana puhdistettavasta vedestä otettiin näytteet, jotka analysoitiin. Kunkin intensiivijakson aikana keskityttiin aina yhden kemikaalin annosmäärän optimointiin. Koska tässä opinnäytetyössä keskityttiin esiselkeytyksen optimointiin, sisällytettiin tähän vain yksi intensiivijaksoista: ferrisulfaatin syöttö esiselkeytykseen. Muista intensiivijaksoista kerrotaan lyhyesti luvussa *Jatkotoimet*.

Jätevedenpuhdistamolla tehtiin kuusi koeajoa eri PIX-105:n annostuksilla. Syöttömäärät olivat noin 0 kg/d, 57 kg/d, 114 kg/d, 173 kg/d ja 276 kg/d ilman lietteen kuivausta ja sen tuomia rejektivesiä. Syöttömäärää 276 kg/d käytettiin lisäksi, kun kuivattiin lietettä. Viimeisen kokeen tarkoituksena oli selvittää vaikuttaako lietteenkuivauslingolta tulevien rejektivesien tuoma lisäkuormitus tuloksiin. Näytteet otettiin tulevasta ja esiselkeytystä vedestä siten, että prosessin viipymä otettiin huomioon. Esiselkeytetty näyte otettiin noin 15 tunnin kuluttua PIX-105:n syötön käynnistämisestä.

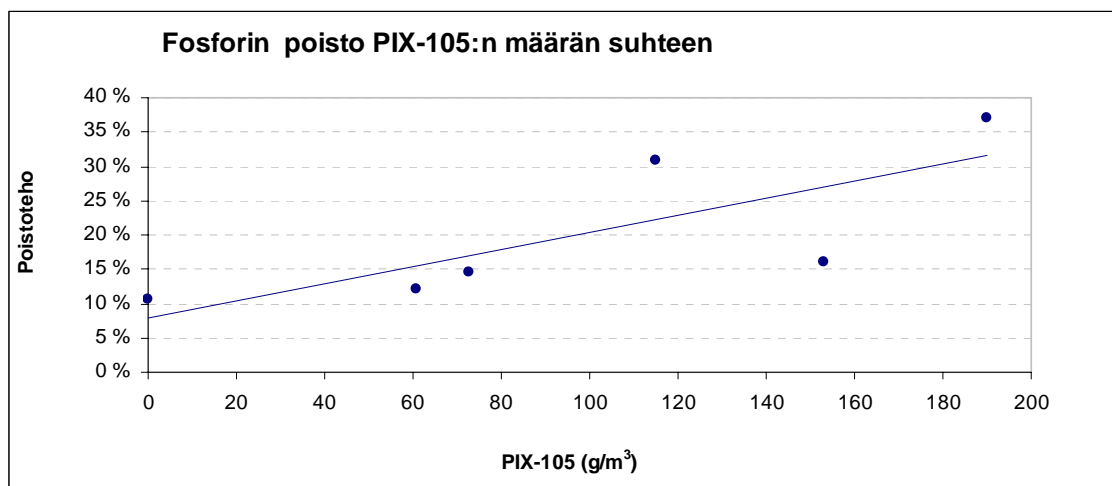
### Tulosten käsittely

Tulevasta ja esiselkeytystä jätevedestä saadut tulokset on esitetty taulukossa 6.

**Taulukko 6** Intensiivijakson tulokset

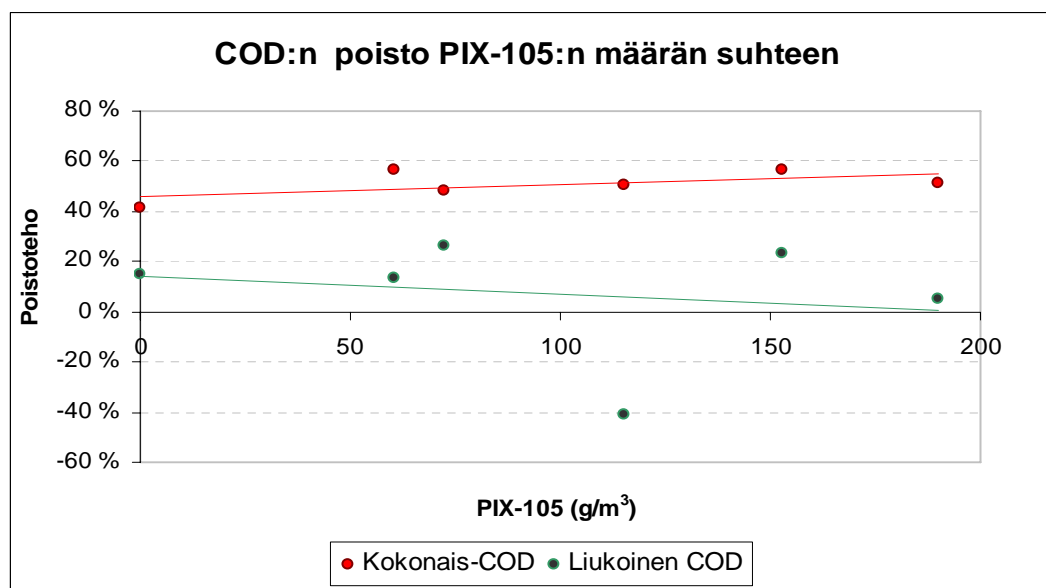
PIX-105		Kokonais-COD (mg/l)		Liukoinen COD (mg/l)		Fosforipitoisuus (mg/l)	
kg/d	g/m <sup>3</sup>	tuleva	esiselkeytetty	tuleva	esiselkeytetty	tuleva	esiselkeytetty
0	0	228	133	112	94,9	5,68	5,08
57	61	531	232	150	130	8,72	7,67
114	115	383	190	73,6	104	6,26	4,33
173	190	425	208	106	101	7,3	4,59
276	153	293	128	64,7	49,5	3,81	3,2
276, lietteen kuivaus	73	246	127	67,5	49,7	4,29	3,66

Koeajot toteutettiin melko pitkällä aikavälillä, jolloin virtaama oli ehtinyt muuttua koeajojen välillä. Tämän vuoksi tulosten tarkasteluun on käytetty virtaamaan suhteutettua kemikaalipitoisuutta tasa-annostuksen sijaan. Kuvioissa 12 ja 13 on fosforin ja COD:n poistotehot saostuskemikaalin pitoisuuden suhteen. Kuvioihin on lisätty trendiviivat kuvaamaan keskiarvoa.



**Kuvio 12** Fosforin poistoteho saostuskemikaalin määrän suhteen

Fosforia poistui keskimääräisesti enemmän saostuskemikaalin pitoisuuden kasvaessa, mutta tämä ei toteutunut kaikissa tapauksissa.



**Kuvio 13** COD:n poistotehot saostuskemikaalin määrän suhteen

Kuviosta 13 nähdään, että kokonais-COD:n poistoteho kasvaa saostuskemikaalimäärän kasvaessa, mutta liukoisen kohdalla tämä ei toteudu. Yhdessä koeajossa liukoinen COD on jopa korkeampi esisaostuksen jälkeen kuin ennen sitä. Tämä voi tarkoittaa sitä, että kiintoainetta ja sen myötä orgaanista ainetta ei ole saatu kunnolla flokkautumaan. Lietteen kuivauksen ei havaittu vaikuttavan tuloksiin.

## **Pohdintaa**

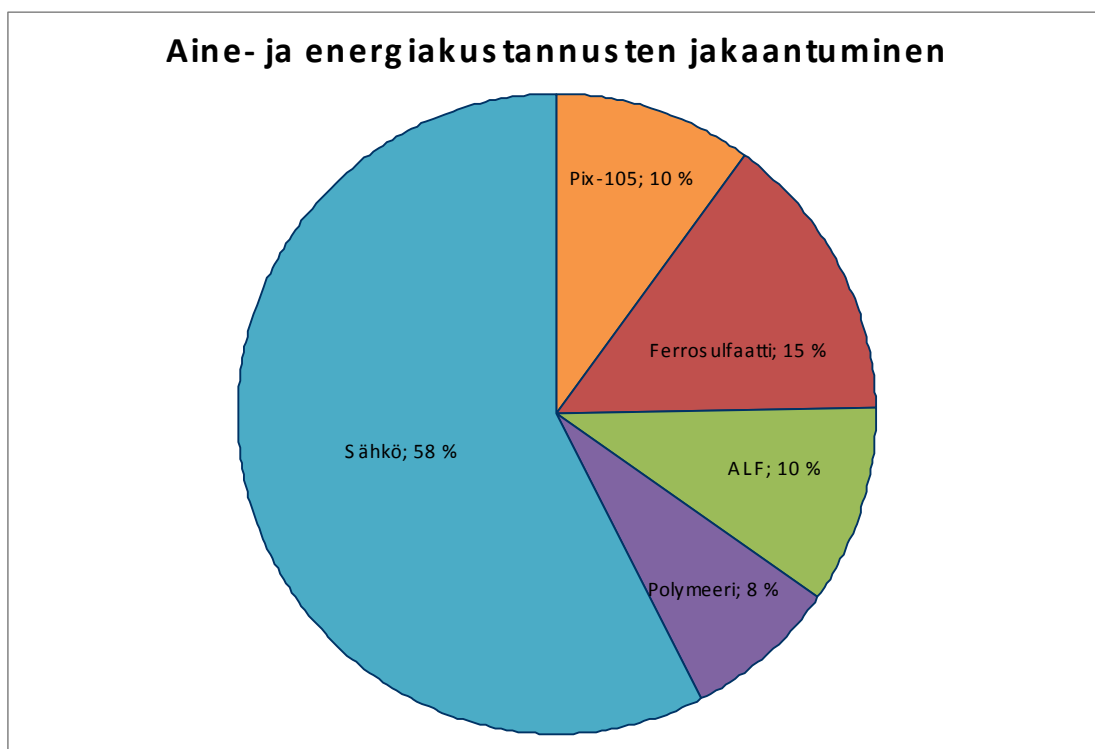
Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että tulokset perustuvat yhteen koeajo- ja mittauskertaan. Luotettavampia tuloksia saataisiin tarkkailemalla puhdistustuloksia pidemmältä aikajaksolta ja laskemalla useamman mittauksen keskiarvoja.

Laboratoriomittakaavan saostuskokeissa sekoituksen riittämättömyys oli todennäköisin syy sille, miksi ei päästy odotettuihin tuloksiin. Sama syy saattoi johtaa odotettua alhaisempiin tuloksiin myös näissä koeajoissa. Tämän vuoksi voitaisiin kokeilla sekoituksen tehostamista. Yksi vaihtoehto saattaisi olla saostuskemikaalin syöttöletkun siirtäminen tulopumppaamoon siten, että pumpun aiheuttama turbulenssi edesauttaisi sekoittumista. Esisaostuksen tehokkaalla hyödyntämisellä voi olla kustannuksia alentavia vaikutuksia. Tähän perehdytään tarkemmin luvuissa *Vaihtoehtoiset ajotavat* ja *Päätelmät*.

## 5 Käyttökustannuksista

Merkittävimmät käyttökustannukset jätevedenpuhdistamolla aiheutuvat henkilötöön määrästä, energian kulutuksesta, käytettyjen kemikaalien määrästä, huolloista ja korjauksista (*Parkanon jätevedenpuhdistamon saneeraus, Esiselvitys 2006*). Tässä työssä on keskitytty vain kemikaali- ja energiakustannusten tarkasteluun.

Kuvio 15 esittää kemikaalien ja sähkön kustannuksien jakaantumista ajanjaksolla 1.11.2008–30.4.2009. Kustannukset on laskettu päivittäisen rutiinitarkkailun tuloksiin perustuvien kemikaalien ja sähkönkulutuksen keskiarvojen mukaan. PIX-105:n keskiarvo laskettiin niiden päivien perusteella, jolloin sitä on käytetty, jotta se olisi vertailukelpoisempi muiden kemikaalien kanssa. Keskiarvo näiltä päiviltä oli  $175 \text{ kg/d}$ . Lingolle syötettävän polymeerin tarkka määrä ei ollut tiedossa. Laskelmissa on käytetty keskiarvoa  $2,5 \text{ kg/d}$ . Tämä perustui vuoden 2008 vuosikulutuksen ( $950 \text{ kg}$ ) jakaantumiseen päivää kohden. Lietettä kuivataan yleensä joka toinen päivä keskimäärin kuusi tuntia kerrallaan, mutta kuivausaika ja -tiheys saattavat vaihdella. Linko käyttää polymeeriä kuivauksen aikana noin  $0,84 \text{ kg/h}$ .



**Kuvio 15** Sähkön ja kemikaalien kustannusten jakaantuminen

Kuviosta 15 nähdään, että energia aiheuttaa keskimäärin suurimman osan kustannuksista. On siis kannattavaa etsiä energiaa säästävää ajotapaa.

## 5.1 Kemikaalien hinnat

Prosessissa käytettävien kemikaalien hinnat euroina tonnia kohden on esitetty taulukossa 7. Hinnat ovat Parkanon kaupungin ilmoittamia ja arvonlisäverottomia. Ne olivat voimassa tämän työn tekohetkellä maaliskuu–toukokuussa 2009.

**Taulukko 7** Kemikaalien hinnat

	Ferrisulfaatti PIX-105	Ferrosulfaatti	50 % Lipeä	ALF- saostuskemikaali	Polymeeri Zetag 8140
Hinta €/t	91,80	110,90	392,02	251,70	4 950

## 5.2 Energian hinta

Energian arvonlisäveroton hinta siirtomaksuineen oli helmikuun 2009 sähkölaskujen mukaan 8,6 *snt/kWh*. Vuonna 2008 sähköä kului puhdistamolla 534 120 *kWh* (Oksjoki, Jouko 2009). Suhteutettuna koko vuoden virtaamaan 558 707 *m<sup>3</sup>* yhden jätevesikuution puhdistaminen on kuluttanut sähköä noin 0,96 *kWh/m<sup>3</sup>*. Näin yhden jätevesikuution energiankulutus maksaisi keskimäärin 8,3 *snt*.

Oletettiin, että energian kulutuksen kannalta oleelliset yksittäiset laitteet Parkanon jätevedenpuhdistamolla ovat ilmastuksen kompressorit aktiivilieteprosessissa, flotaation dispersiovesipumppu jälkiselkeytyksessä ja lietteenkuivauslinkko (*Jätevedenpuhdistamon käytönoptimointi, Tammikuun 2009 väliraportti*). Yksittäisistä laitteista vain flotaation dispersiovesipumpun energiankulutusta on mitattu. Sitä mitattiin joulutammikuussa (2008–2009) 48 päivän ajan. Kulutukseksi saatiin noin 154 *kWh/d*, joka suhteutettuna aikajakson keskimääräiseen sähkönkulutukseen tarkoittaa noin 13 % koko laitoksen sähkönkulutuksesta. Pumpun energian käyttö on siis suhteellisen suuri.

Ilmastuksen energian kulutusta voidaan arvioida siten, että tiedetään ilmastuksen käytävän sähköä 0,9–1,3 *kWh* BOD-reduktiokiloa (BOD<sub>RED</sub>) kohden (*Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003. s. 53*). Laitoksen kokonaissähkön kulutus ei näyttäisi johdonmukaisesti kasvavan tai laskevan ilmastuksen happipitoisuuden suhteen. Syynä tähän voivat olla eräät ongelmat, joita on esiintynyt happipitoisuuden mittaamisessa. Ongelmien vuoksi mittaustulosten luotettavuudesta ei voida olla varmoja. Toinen vaihtoehto on, että ilmastuksen sähkönkulutuksen vaihtelut eivät ole niin suuria, että ne näkyisivät suoraan kokonaissähkön kulutuksessa. Kaaviot ilmastuksen happipitoisuuden ja sähkön kulutuksen välisestä suhteesta on esitetty liitteessä 3. Lietteenkuivauslingon käyttö ei näyttäisi

vaikuttavan suuressa määrin kokonaissähkönkulutukseen. Tätä on myös tarkasteltu kaavion avulla liitteessä 3.

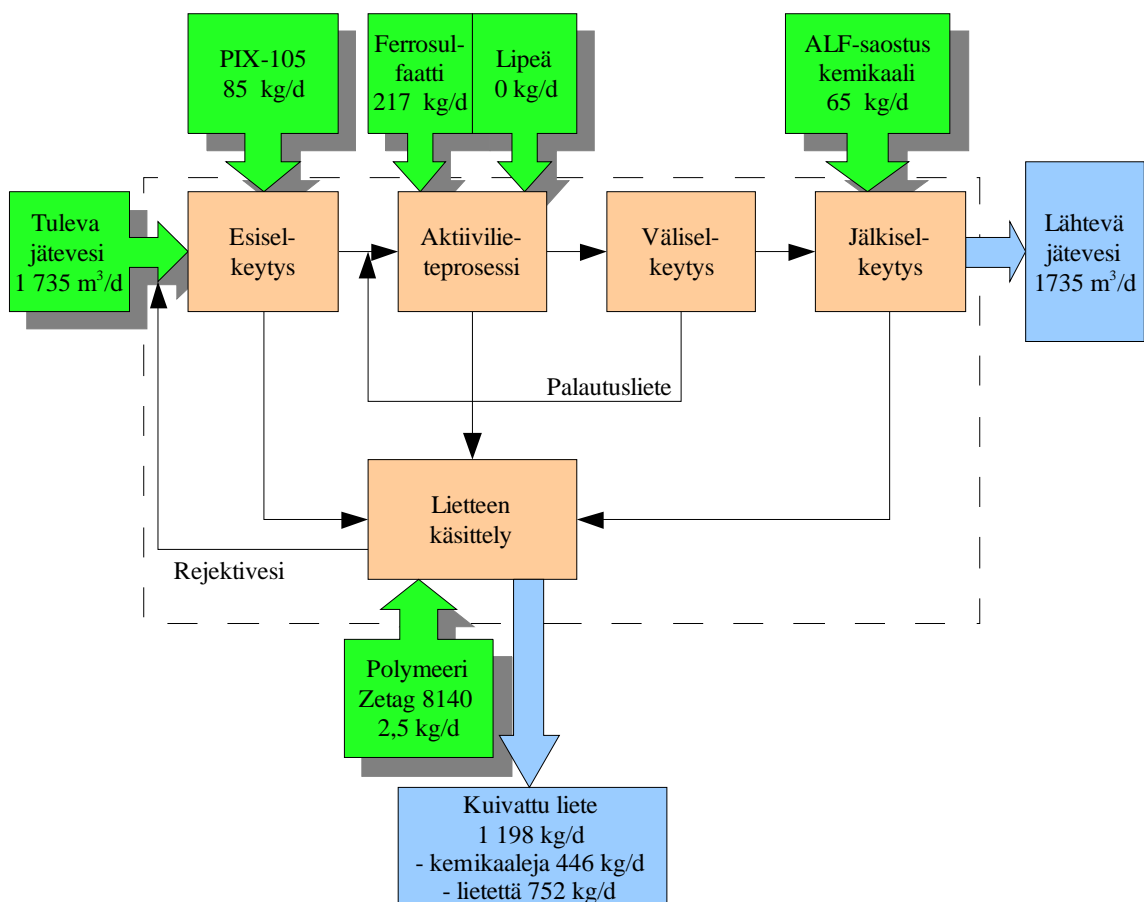
Toimiva esisaostus voisi vähentää ilmastuksen energian tarvetta ja flotaation dispersiovesipumpun käyttötarvetta. Jos esisaostuksella saataisiin poistettua enemmän orgaanista ainetta, biologiseen puhdistusvaiheeseen päätyisi vähemmän orgaanista ainetta ja sen hapen tarve pienenesi. Toisaalta, jos esisaostus toimisi riittävän hyvin, flotaation käyttöä ja kuormitusta voitaisiin vähentää.



## 6 Kokonaisainetase

Jätevedenpuhdistusprosessin ainetaseet antavat hyödyllistä tietoa prosessin tilasta ja puhdistuksen laadusta. Ainetaseiden tuloksia voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi, kun optimoidaan prosessia. (Laukkanen, Timo 2006) Tässä luvussa on laskettu prosessin kokonaisainetase kuvaamaan koko prosessin tyypillisiä ainevirtoja. Tarkkailuajanjakso oli kuusi kuukautta 1.11.2008–30.4.2009. Mittaustulokset ovat peräisin 24.12.2008–28.4.2009 jätevedenpuhdistamolla toteutetusta viikkoseurannasta ja ennen tätä Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistyksen tekemästä kuukausittaisesta velvoitetarkkailusta sekä puhdistamolla toteutettavasta päiväseurannasta.

Kokonaisainetase on esitetty kuviossa 14. Tässä kuvassa näkyvät kaikki olennaisimmat prosessiin tulevat ja sieltä lähtevät ainevirrat. Ilmastuksen happi on jätetty pois, koska sen on oletettu poistuvan myös ilmastusaltaasta eikä se merkittävästi muuta prosessin kokonaisainemäärää. Virtaamat ja kemikaalien syöttömäärät ovat keskiarvoja ajalta 1.11.2008–30.4.2009. Tarkkailuajanjaksona on ollut päiviä, jolloin PIX-105:tä ei ole syötetty lainkaan, mikä alentaa kemikaalin kulutuksen keskiarvoa.



**Kuvio 14** Tarkasteluajanjakson kokonaisainetase keskiarvoina

Taulukossa 8 on tarkasteluajanjakson keskimääräiset puhdistushinnat päivää ja puhdistettua jätevesikuutiota kohden. Hinnat on laskettu tarkasteluajanjakson niiltä päiviltä, joilta kaikki tarvittava tieto kemikaalien ja sähkönkulutuksesta on ollut saatavissa.

**Taulukko 8** Puhdistuksen hintakeskiarvo tarkkailuajanjaksolta

Hinta	
152,40	€/d
0,11	€/m <sup>3</sup>

## 7 Vaihtoehtoiset ajotavat

Puhdistustuloksia ja kustannuksia vertailtiin kymmeneltä aikajaksolta, joissa oli käytetty eri kemikaaliannostuksia. Tiedot vertailuun otettiin päivittäis- ja viikkoseurannasta. Jaksojen kemikaalimäärät, sähkökulutukset, otoskoot ja keskimääräiset virtaamat, on esitetty taulukossa 9.

**Taulukko 9** Tarkasteltavat ajotavat

Jakso	Pvm	Otoskoko	Virtaama (m <sup>3</sup> /d)	PIX-105 (kg/d)	Ferro-sulfaatti (kg/d)	ALF (kg/d)	Sähkö (kWh/d)
1	2.11 - 10.11.2008 ja 20.11 - 23.11.2008	13	2076	0	200	144	1063
2	11.11 - 19.11.2008	9	3594	170	200	144	1071
3	1.12 - 29.12.2008	29	1021	170	200	50	1021
4	31.12.2008 - 16.3.2009	76	1122	0	220	50	1235
5	17.3 - 20.3.2009	4	913	57	220	50	885
6	21.3 - 23.3.2009	3	1005	114	220	50	1000
7	24.3 - 6.4.2009	13	1399	170	220	50	1015
8	7.4.2009	1	3579	170	240	120	910
9	8.4 21.4.2009	14	2864	170	240	72	800
10	22.4 - 12.5.2009	21	1921	276	240	72	760

Taulukossa 10 on eri ajotavoille lasketut kustannukset kemikaalien ja energian osalta. Koska lietteen kuivauksella on melko suuri vaikutus hintaan, on taulukkoon eritelty hinnat lietteen kuivauksen ollessa käynnissä ja pois käytöstä.

**Taulukko 10** Puhdistuksen kustannukset eri ajotavoilla

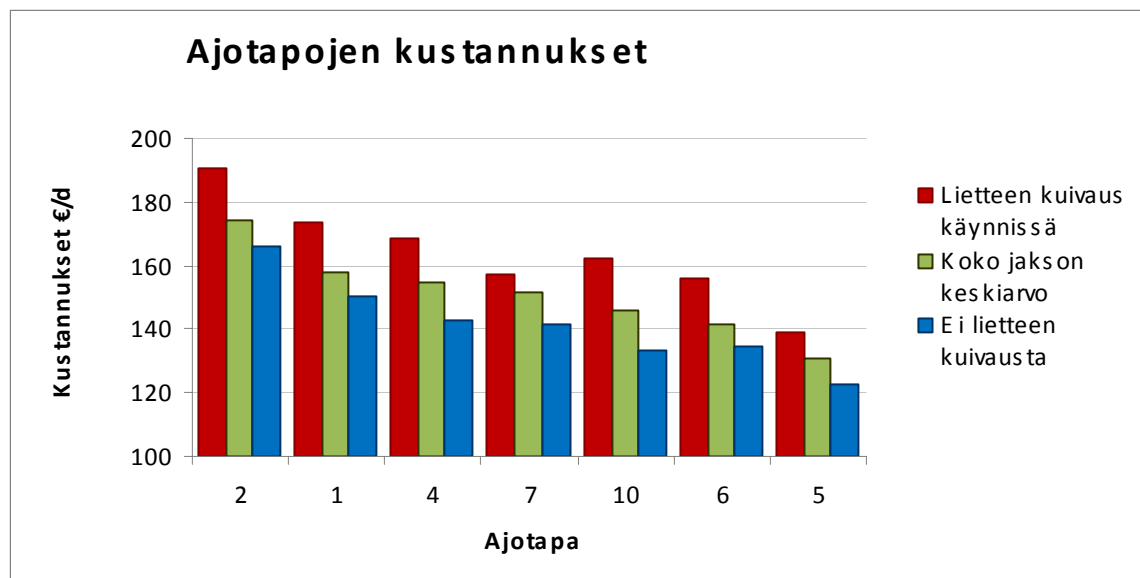
Jakso	Hinta €/d		
	Koko jakson keskiarvo	Ei lietteen kuivausta	Lietteen kuivaus käynnissä
1	158,10	150,51	173,28
2	174,40	166,34	190,51
3	138,18	139,72	135,25
4	154,92	142,55	168,66
5	130,70	122,63	138,78
6	141,70	134,52	156,05
7	151,30	141,60	157,13
8	150,69	150,69	
9	137,98	130,29	151,83
10	146,03	133,63	162,57

Lietteen kuivaus korotti hintaa lähes kaikilla ajotavoilla. Hinnan nousu ei kuitenkaan vaikuttanut johtuvan kokonaissähkökulutuksen kasvamisesta vaan enemmänkin kemikaalikustannusten noususta. Polymeerin syöttö lingolle tapahtuu automaattisesti, eikä

kemikaalimäärää ole tarkoitus säätää. Lietteen kuivaus on pakollinen osa puhdistusprosessia, joten näihin kustannuksiin ei voida vaikuttaa ajotapaa vaihtamalla.

Ajotavalla 8 oli saatu vain yksi otos. Ajotapaa pitäisi tarkkailla pitempään, jotta tuloksia voitaisiin pitää tarpeeksi luotettavina. Viikkoseurannan tuloksia tutkimalla havaittiin, että ajotavoilla 3, 8 ja 9 ei aina saatu lupavaatimuksia täyttäviä puhdistustuloksia. Nämä kolme jaksoa jätettiin lopullisesta hintavertailusta pois. Jaksojen 8 ja 9 kohdalla kemikaaliannostukset olivat kohtuullisen suuria, mutta ilmeisesti riittämättömiä virtaamiin nähden. Jaksot osuivat lumen sulamisaikaan, jolloin virtaamat olivat erityisen suuria.

Kuvion 15 pylväskaavio esittää lupavaatimukset täyttävien ajotapojen kustannukset kalleimmasta halvimpaan. Kuviossa on esitetty kustannukset sekä lietteen kuivauksen aikana että sen ollessa pois käytöstä.



**Kuvio 15** Ajotapojen kustannukset

Jaksoissa 1 ja 2 käytettiin kustannuksiltaan kalleimpia ajotapoja. Näissä jaksoissa käytettiin suuria ALF-kemikaaliannostuksia. Jaksoissa 1, 2 ja 4 energian kulutus oli korkea. Jaksoissa 1 ja 4 ei ole käytetty lainkaan esisaostusta. Esisaostuksen puuttuminen näyttäisi lisäävän energian tarvetta biologisessa puhdistusvaiheessa ja siten nostavan hintaa.

Jaksot 5 ja 6 osoittautuivat käyttökustannuksiltaan halvimmiksi. Näiden jaksoiden otoskoko oli kuitenkin vähäinen, joten tarvittaisiin lisää ajopäiviä kyseisillä asetuksilla, jotta tuloksista saataisiin varmuus. Virtaama oli jaksoiden aikana pieni, joten pienet kemikaalimäärät ovat riittäneet.

Jaksot 7 ja 10 olivat keskihintaisia. Jaksossa 10 on käytetty eniten esisaostuskemikaalia, ja sen sähkönkulutus on ollut vähäinen. Esiselkeytys olikin poistanut orgaanista ainetta tehokkaasti (*Männistö, Jorma 2009*). Myös ferrosulfaatin syöttömäärä oli melko suuri. Virtaama jakson 10 aikana oli keskisuuri. Velvoitetarkkailussa jakson 10 fosforin poistoteho oli jäänyt niukasti lupavaatimuksen alapuolelle (*Männistö, Jorma 2009*). Mittauspäivänä virtaama oli hieman keskimääräistä suurempi ( $2\ 100\ m^3$ ). Ehkä suurten virtaamien PIX-annostusta voisi siis vielä tästäkin lisätä. Jakson 7 esisaostuskemikaalin annostus on ollut pienempi, mutta niin oli keskimääräinen virtaamakin.

### **7.1 Aine- ja energiataseet**

Fosforin, typen ja COD:n poistolle eri puhdistusvaiheissa arvioitiin hinta poistettua kiloa kohti neljällä eri ajotavalla. Ainetase tehtiin esisaostuksen kanssa ja ilman sitä suu- ralle virtaamalle talviaikaan sekä pienelle virtaamalle kesäaikaan. Kesäaikaan sijoittu- vissa ainetaseissa otettiin huomioon nitrifikaatio.

Parkanon puhdistamolla on esisaostusta käyttämällä saatu parhaimmillaan poistettua yli 50 % orgaanisen aineen kuormasta jo esiselkeytysvaiheessa. Esisaostuksella on kuiten- kin mahdollista päästä jopa 75 % reduktioon (*Lindquist, Angeta (toim.) 2003. 65*). Seu- raavissa ainetaseissa on käytetty 50 %:n reduktiota esisaostuksen kohdalla silloin, kun se on käytössä. Velvoitetarkkailutulosten mukaan ilman kemikaalin lisäystä esikäsitte- lyssä on poistunut noin 30 % orgaanisesta kuormasta, mikä on Kemirankin mukaan tyy- pillinen reduktio esiselkeytyksessä ilman kemikaaleja (*Lindquist, Angeta (toim.) 2003. 65*). Tyypillisesti orgaanista ainetta on poistunut kokonaisuudessaan noin 97 %. Esisa- ostuksesta riippumatta keskimäärin 4 % orgaanisesta aineesta jää jälkiselkeytykseen. Biologisen käsittelyn kuormaksi jäi edellisten erotuksena 43 % ja 63 %.

Velvoitetarkkailutulosten perusteella fosforin poistotehoksi arvioitiin esisaostuksessa noin 30 % ja ilman kemikaalia noin 15 %. Jälkikäsitteily poisti keskimäärin 7 % mo- lemmissa tapauksissa, minkä perusteella laskettiin biologisen käsittelyn reduktiot 97 %:n kokonaispoistotehosta. Taulukossa 11 on esitetty arviot eri puhdistusvaiheiden COD- ja fosforireduktioille.

**Taulukko 11** Arvioidut fosfori- ja COD-reduktiot eri puhdistusvaiheissa

	<b>Esikäsitely</b>	<b>Biologinen käsittely</b>	<b>Jälkikäsitely</b>
<b>Fosforireduktio, ei esisaostusta</b>	15 %	75 %	7 %
<b>Fosforireduktio, esisaostus käytössä</b>	30 %	60 %	7 %
<b>COD-reduktio, ei esisaostusta</b>	30 %	63 %	4 %
<b>COD-reduktio, esisaostus käytössä</b>	50 %	43 %	4 %

Typpeä ( $N_{TOT}$ ) tulee puhdistamolle noin  $60 \text{ kg/d}$ . Nitrifikaatioaste, eli prosessissa poistuvan  $NH_4\text{-N:n}$  suhde  $N_{TOT}\text{:n}$ , 80 % lasketaan niiltä kuukausilta, jolloin prosessilämpötila ylittää  $+12 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tällaisia kuukausia ei yleensä ole useita vuodessa. Esimerkiksi vuonna 2008 näitä ei ollut yhtään. Lupavaatimus nitrifikaatiosta tuli voimaan vuoden 2009 alusta, joten aikaisempaa kokemusta 80 %:n nitrifioinnin toteutumisesta ei ole. Näissä laskelmissa oletettiin, että nitrifikaatioaste kesäaikaan on vaadittu 80 %, joten  $NH_4\text{-N:ä}$  olisi poistettavassa vedessä  $12 \text{ kg/d}$ . Arvioitiin, että nitrifioinnin tapahtuessa NaOH:ia tarvitaan  $50 \text{ mg/l}$ .

Energian kulutukset ovat arvioita, jotka perustuvat laitteiden tehoihin, koska tietoja todellisista ottotehoista ei ollut. Vain flotaation dispersiovesipumpun energiankulutus on mitattu. Esikäsitelyn sähkönkulutukseksi laskettiin  $129 \text{ kWh/d}$  ja jälkikäsitelyn  $267 \text{ kWh/d}$ . Oletettiin, että esi- ja jälkikäsitelyn sähkönkulutukset pysyvät muuttumattomina tilanteesta riippumatta.

Ilmastusenergian tarve perustuu olettamukseen, että energiaa kuluu  $0,9\text{--}1,3 \text{ kWh/kg-BOD}_{RED}$  (Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003. 53). Kesäaikaan ilmastusenergiaa on oletettu kuluvan enemmän nitrifikaation vuoksi, joten käytettiin lukuarvoa  $1,0 \text{ kWh/kg-BOD}_{RED}$ . Talviaikana käytettiin arvoa  $0,9 \text{ kWh/kg-BOD}_{RED}$ . Laskelmissa käytettiin samoja keskiarvoja  $BOD_{RED}$ :lle, joita käytettiin COD:lle eli 63 % ilman esisaostusta ja 43 % esisaostuksen kanssa. Velvoitetarkkailutulosten mukaan puhdistamolle tulevan veden BOD-pitoisuuden keskiarvo 1.11.2008–30.4.2009 oli  $185 \text{ kg/d}$ .

Esisaostuskemikaalin määrät seuraavissa ainetaseissa perustuvat osittain kokemuksiin hyvistä puhdistustuloksista. Laskelmissa on oletettu, että esisaostuksen ollessa käytössä, muiden saostuskemikaalien määrää voidaan pienentää. Kemikaaliannostukset on esitetty taulukossa 12. Laskelmat lähtötiedoille löytyvät liitteestä 5.

**Taulukko 12** Lähtötiedot ainetaseille

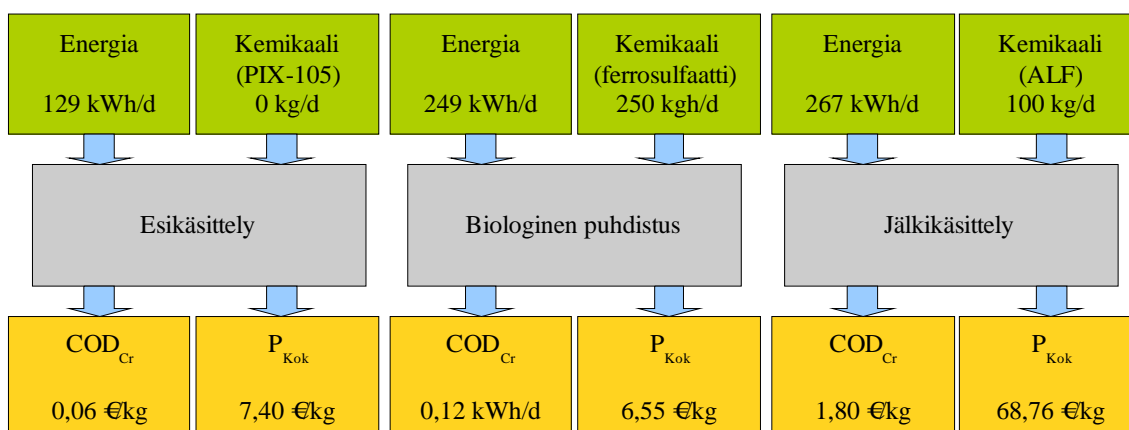
	<b>Kemikaalit (kg/d)</b>			
	<b>PIX-105</b>	<b>Ferrosulfaatti</b>	<b>ALF</b>	<b>NaOH</b>
<b>Talviaika, ei esisaostusta</b>	0	250	100	0
<b>Talviaika, esisaostus käytössä</b>	300	150	50	0
<b>Kesäaika, ei esisaostusta</b>	0	220	70	50
<b>Kesäaika, esisaostus käytössä</b>	150	100	50	50

Puhdistamolle tulevan COD:n, typen ja fosforin määrät näissä ainetaseissa ovat vuoden 2008 velvoitetarkkailuiden keskiarvoja. Ne on esitetty taulukossa 13.

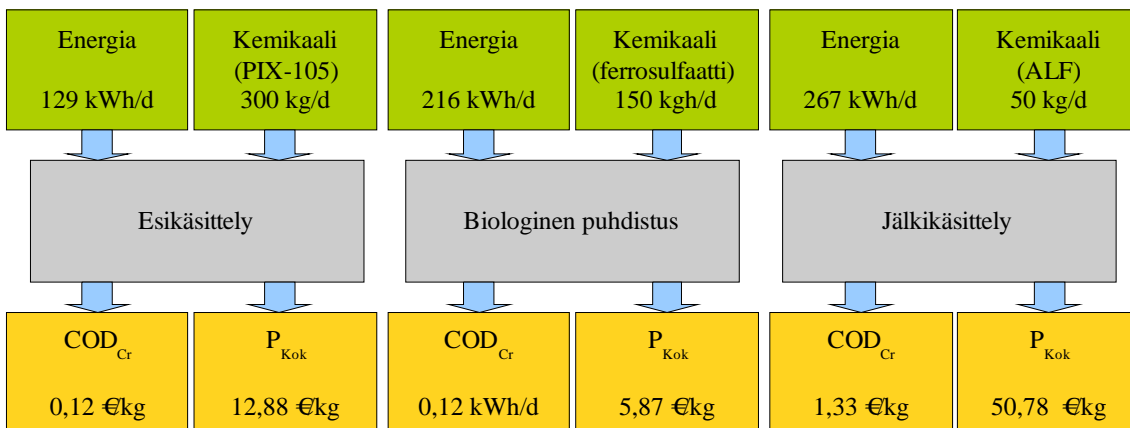
**Taulukko 13** Puhdistamolle tulevien COD:n, fosforin sekä lähtevän NH<sub>4</sub>-N:n keskiarvot vuodelta 2008

<b>Puhdistamolle tuleva (kg/d)</b>		<b>Puhdistamolta lähtevä (kg/d)</b>
<b>COD<sub>Cr</sub></b>	<b>P<sub>Kok</sub></b>	<b>NH<sub>4</sub>-N</b>
670	10	12

Ainetaseet, joista käy ilmi poistettujen tuotteiden hinnat kiloa kohden, on esitetty kuvissa 16–19.

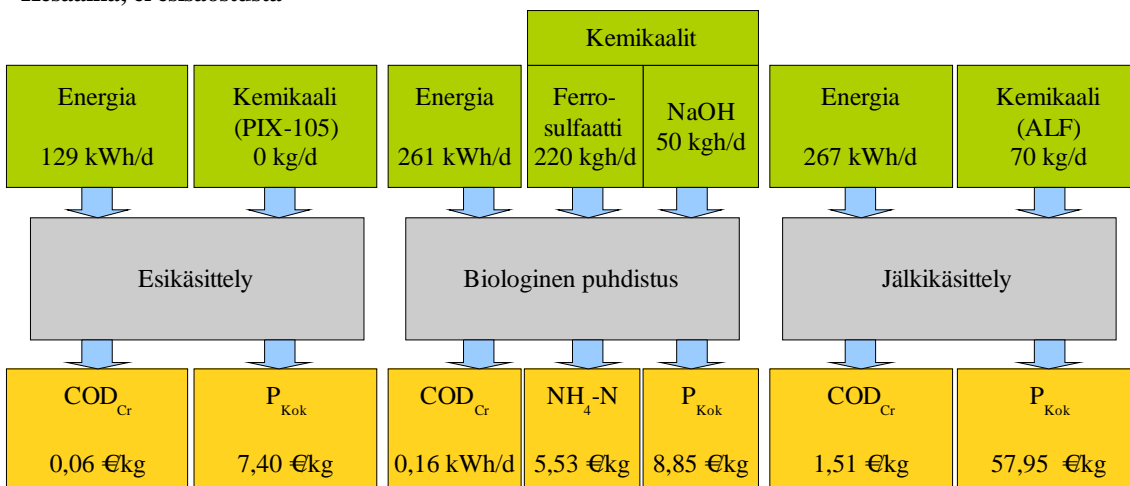
**Talviaika, ei esisaostusta****Kuvio 16** Talviaika. Esisaostus ei ole käytössä.

## Talviaika, esisaostus käytössä



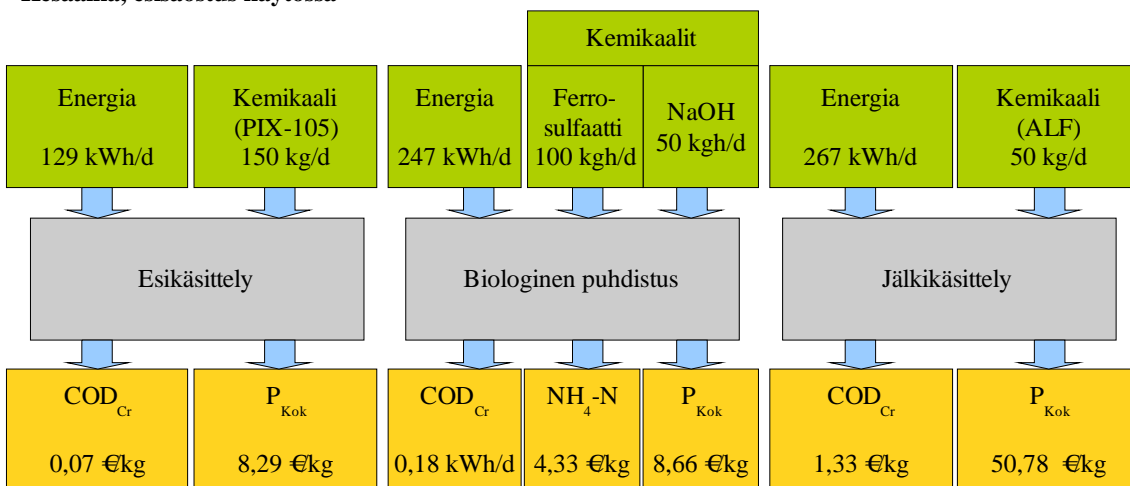
Kuvio 17 Talviaika. Esisaostus on käytössä.

## Kesäaika, ei esisaostusta



Kuvio 18 Kesäaika. Esisaostus ei ole käytössä.

## Kesäaika, esisaostus käytössä



Kuvio 19 Kesäaika. Esisaostus on käytössä.



Näitä ainetaselaskelmia tarkasteltaessa on otettava huomioon, ettei tuotteiden puhdistuksen yhteenlaskettu hinta vastaa koko prosessin kustannuksia. Näissä laskelmissa ei huomioitu kiinteitä kustannuksia kuten esimerkiksi lietteen kuivausta, tulopumppaamon energian kulutusta tai lämmityssähköä. Kemikaaliannosmäärät ovat arvioita. Niiden toimivuudesta yhdessä kyseisinä annostuksina ei ole tarpeeksi tutkimustietoa, joten puhdistustuloksen kelpoisuutta olisi seurattava.

Poistettujen tuotteiden hintavertailun perusteella esisaostus pienentää jälkikäsittelyn ja sen myötä koko prosessin kustannuksia sekä COD:n että fosforin poiston kohdalla. Vaikka esisaostaminen nostaa hieman esikäsittelyn kustannuksia, jälkikäsittelyn kustannukset ovat poistettua kiloa kohden niin merkittäviä, että esisaostaminen kannattaa, mikäli puhdistustuloksetkin osoittautuvat hyväksi.

## 8 Päätelmät

Esisaostuskemikaalin runsas käyttö näyttäisi pienentävän laitoksen kokonaissähkön kulutusta jopa 28 %. Päinvastoin vähäinen esisaostuskemikaalimäärä näyttäisi lisäävän sähkön tarvetta biologisessa puhdistusvaiheessa. Liitteessä 3 on esitetty kaavio ja tilastollinen analyysi PIX-105:n määrän ja sähkönkulutuksen välisestä suhteesta. Sähkön kulutus on olennainen osa käyttökustannuksista, joten esisaostuksen oikeanlainen hyödyntäminen voi vähentää kuluja.

Vertailun perusteella näyttäisi, että ajotapaa valitessa kannattaa kiinnittää huomiota virtaamaan. Virtaamat ovat yleensä suurimmillaan talvella sekä sade- ja sulamiskausina. Liitteen 4 tilastollisen vertailun perusteella suurimmat virtaamat näyttävät sijoittuvan marras-, joului-, tammi- ja huhtikuulle. Pienimillään virtaamat ovat usein kesäkuukausien aikana ja maaliskuussa. Sateiset ja kuivat kaudet riippuvat kuitenkin vuodesta ja saatavat osua eri kuukausille, joten virtaamakeskiarvoa on arvioitava tilanteen mukaan.

Vertailuista ajotavoista 5 ja 6 voisivat sopia pienille virtaamille. Ajotapaa 7 ja 10 voisi hyödyntää keskisuurille virtaamille. Suurille virtaamille voisi sopia ajotapa 10 lisätyllä esisaostuskemikaalimäärällä. Samalla muiden kemikaaliannostusten pienentämistä voisi harkita. Pienellä virtaamalla tarkoitetaan tässä noin  $1\,000\text{ m}^3$  tai sen alle, keskisuurella  $1\,000\text{--}2\,000\text{ m}^3$  ja suurella yli  $2\,000$  kuution päivävirtaamia. Taulukossa 14 on esitetty ehdotukset kemikaaliannostuksille suurten, keskisuurten ja pienten virtaamien aikana. Ajotapojen vertailun perusteella näillä annostuksilla kustannukset laskisivat alle tarkkailujakson keskiarvon.

**Taulukko 14** Ehdotukset sopiviksi kemikaaliannostuksiksi eri virtaamille

Virtaama	PIX-105 (kg/d)	Ferrosulfaatti (kg/d)	ALF (kg/d)
Pieni (<1 000 m <sup>3</sup> /d)	60 - 120	220	50
Keskisuuri (1 000–2 000 m <sup>3</sup> /d)	270	220	50
Suuri (>2 000 m <sup>3</sup> /d)	>280	<240	<70

## 9 Jatkotoimet

Optimoinnin kannalta hyödyllisiä laboratoriokokeita voisivat olla lisäsaostuskokeet ferri- ja ferrosulfaatilla tehokkaammalla sekoituksella. Kun kemikaaliannostukset ferri- ja ferrosulfaatille olisi löydetty, voitaisiin etsiä sopiva annostus jälkisaostuksessa käytettävälle ALF-saostuskemikaalille. Näissä saostuskokeissa voisi käyttää väliselkeytettyä jätevedettä, joka on käsitelty ferri- ja ferrosulfaatilla. pH:n optimointi kannattaisi tehdä esikäsitellylle jätevedelle optimaalisella ferrosulfaattiannostuksella. Prosessissa pH:n säätökemikaali syötetään tarvittaessa ilmastukseen, joten laboratoriokoe kannattaisi järjestää siten, että haluttu ferrosulfaattiannostus ja NaOH syötettäisiin samaan aikaan ja ilmastettaisiin. Voitaisiin kokeilla eri NaOH-annostuksilla, missä pH:ssa saostus toteutuu parhaiten.

Jätevedenpuhdistamolla toteutettavista intensiivijaksoista tehtäväksi jäi sakokaivolietteen ja rejektiveden hetkellisen vaikutuksen tutkiminen, NaOH-annostuksen vaikutus nitrifikaatioon, ferrosulfaatin, jälkisaostuskemikaalin ja lingolle syötettävän polymeerimäärän optimointi (*Jätevedenpuhdistamon käytönoptimointi, Tammikuun 2009 väliraportti*). Nämä intensiivijaksot tullaan toteuttamaan kesän 2009 aikana.

Yhtenä tehtävänä olisi myös miettiä voiko esisaostuskemikaalin sekoittumista tehostaa jollain tavoin, ja onko se tarpeellista tai kannattavaa. Lisäksi jatkotoimenpiteenä voisi pitää taselaskelmien ja ajotapojen vertailun perusteella saatujen edullisimpien ajotapojen hyödyntämistä silloin, kun se on mahdollista.

## Lähteet

### Painetut lähteet

1. *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants Volume I 1992*. WEF (Water Environment Federation) & ASCE (the American Society of Civil Engineers). Brattleboro: WEF & ASCE.
2. *Franson, Mary Ann H.; Eaton, Andrew D.; Clesceri, Lenore S.; Rice, Eugene W.; Greenberg, Arnold E. (toim.) 2005. Standard methods for examination of water and wastewater 21<sup>st</sup> edition*. Baltimore: American Public Health Association.
3. *Hollo, Erkki 2002. Vesioikeuslaki 100 vuotta – Kehitystä ja mukautumista. Vesitalous 5/2002. s. 9–13.*
4. *Karttunen, Erkki & Kiuru, Heikki 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II*. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL Ry.
5. *Lindquist, Angeta (toim.); Gillberg, Lars; Hansen Bengt; Karlsson, Ingemar; Nordström Enkel, Anders; Pålsson, Anders 2003. About water treatment*. Helsingborg: Kemira Kemwater.
6. *Vihervuori, Pekka 1994. Vesijuridiikka ja sen kehitys Suomessa. Puhtaasti vedestä, Vesiyhdistys Ry 25 vuotta*. Helsinki: Vesiyhdistys Ry. s. 153–168.

### Julkaisemattomat lähteet

1. *Ciba Zetag powder range 2008. Tekninen tuotetiedote*. Ciba Inc.
2. *Jätevedenpuhdistamon käytön optimointi, Tammikuun 2009 väliraportti 2009*. Tritonet Oy.
3. *Jätevedenpuhdistamon prosessiselostus 2008*. Tritonet Oy. Parkanon kaupunki.
4. *Mikkola, Pekka 2009. Sähköpostikeskustelu 20.3–8.5.2009. Tulostettu 25.5.2009*. Parkanon kaupunki, kunnallistekniikka, työpäällikkö.
5. *Männistö, Jorma 2009. Parkanon kaupunki, JVP. Kertaraportti 12.5.2009. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry.*

6. *Oksjoki, Jouko 2009. Vuosiyhteenveto Parkanon kaupungin keskuspuhdistamon toiminnasta vuodelta 2008. Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys ry.*
7. *Parkanon jätevedenpuhdistamon saneeraus, Esiselvitys 2006. Tritonet Oy.*
8. *Peuraniemi, Pertti 2009. Sähköpostikeskustelu 24.3–21.4.2009. Tulostettu 22.4.2009. Kemira Oyj Water, Tutkimus ja tuotekehitys: sovellukset.*
9. *Tuotetiedot: ALF-100 2005. Tekninen tuotetiedote. Kemira Oyj.*

### Sähköiset lähteet

1. *Alavakeri, Matti ;Latvanen, Hannu & Pääkkönen Jorma 2002. Ferrosulfaatin käyttöopas. Kemira Oyj: Suunnittelukeskus Oy. [online] [Viitattu 13.3.2009]. [http://www.kemira.com/SiteCollectionDocuments/Media/Publications/Water/kayttooppaat\\_ferrosulfaatti.pdf](http://www.kemira.com/SiteCollectionDocuments/Media/Publications/Water/kayttooppaat_ferrosulfaatti.pdf)*
2. *Hach Lange - United for Water Quality. Hach Lange. Yrityksen Internet-sivut. [online] [Viitattu 8.5.2009]. <http://www.hach-lange.de>*
3. *Janhunen, Maarit 2007. Kemimekaanisen puhdistamon toimintaan vaikuttavien tekijöiden hallinta. Pro Gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Kemian laitos. Jyväskylä. [online] [Viitattu 8.5.2009]. [https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18473/URN\\_NBN\\_fi\\_jyu-200803031215.pdf?sequence=1](https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18473/URN_NBN_fi_jyu-200803031215.pdf?sequence=1)*
4. *Kiiskinen, Seppo 2008. Fosfori ja Itämeri. FCG Suunnittelukeskus Oy. [online] [Viitattu 24.4.2009]. <http://www.vesiyhdistys.fi/Ajankohtaista/tehokas.pdf>*
5. *Laukkanen, Timo 2006. Jätevedenpuhdistamon ainetasemallit. [online] [Viitattu 8.5.2009]. <http://koti.welho.com/tlaukka1/Ainetase.pdf>*
6. *Lupapäätös: Dnro LSY2007Y316. Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2008. [online] [Viitattu 13.3.2009]. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=82714&lan=fi>*
7. *Phosphorus Reactive (Orthophosphate) 2007. Menetelmän kuvaus, Method 8048. Hach Company. [online] [Viitattu 24.4.2009] <http://www.hach.com/fmmimghach?/CODE%3ADOC316.53.0111915660%7C1>*

8. *Tuotetiedot: PIX-105. Kemira Oyj 2005. [online] [Viitattu 13.3.2009].*  
*[http://www.kemira.com/SiteCollectionDocuments/Solutions\\_Products/KW%20tuotteet/PIX105.pdf](http://www.kemira.com/SiteCollectionDocuments/Solutions_Products/KW%20tuotteet/PIX105.pdf)*
9. *Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 2006. Finlex – Säädökset alkuperäisinä: 888/2006. [online] [Viitattu 19.5.2009].*  
*<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060888>*
10. *Valtioneuvoston päätös yleisestä viemäristä ja eräiltä teollisuudenaloilta vesiin johdettavien jätevesien sekä teollisuudesta yleiseen viemäriin johdettavien jätevesien käsittelystä 1994. Finlex – Säädökset alkuperäisinä: 365/1994. [online] [Viitattu 19.5.2009].* *<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19940365>*
11. *Vesilaki 1961. Finlex – Säädökset alkuperäisinä: 264/1961. [online] [Viitattu 20.5.2009].* *<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1961/19610264>*

## Liitteet

### *Liite 1: Tulevan jäteveden fosforipitoisuuksien tilastollinen vertailu vuosilta 2006 ja 2007*

Fosforipitoisuuksia tulevassa jätevedessä (kg/d)		
	vuosi 2006	vuosi 2007
	10	12
	9,2	9
	7,8	8,1
	14	9,9
	8,5	7,4
	8,5	8,7
	8	9,6
	9,7	10
	9,4	10
	11	9,1
	17	9,2
	8,8	7,6
keskiarvo vuosilta 2006 - 2007	9,6875	
keskihajonta	2,1	
t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		
	vuosi 2006	vuosi 2007
Mean	10,15833	9,216667
Variance	7,415379	1,552424
Observations	12	12
Pooled Variance	4,483902	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	22	
t Stat	1,089293	
P(T<=t) one-tail	0,143907	
t Critical one-tail	1,717144	
P(T<=t) two-tail	<b>0,287813</b>	
t Critical two-tail	2,073875	
H0: Aineistojen välillä ei ole tilastollisesti merkittävää eroa.		
H1: Aineistojen välillä on tilastollisesti merkittävä ero.		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">           P-arvo on yli 5 % eli H0 pitää paikkansa. Aineistojen välillä ei ole tilastollista eroa.         </div>		

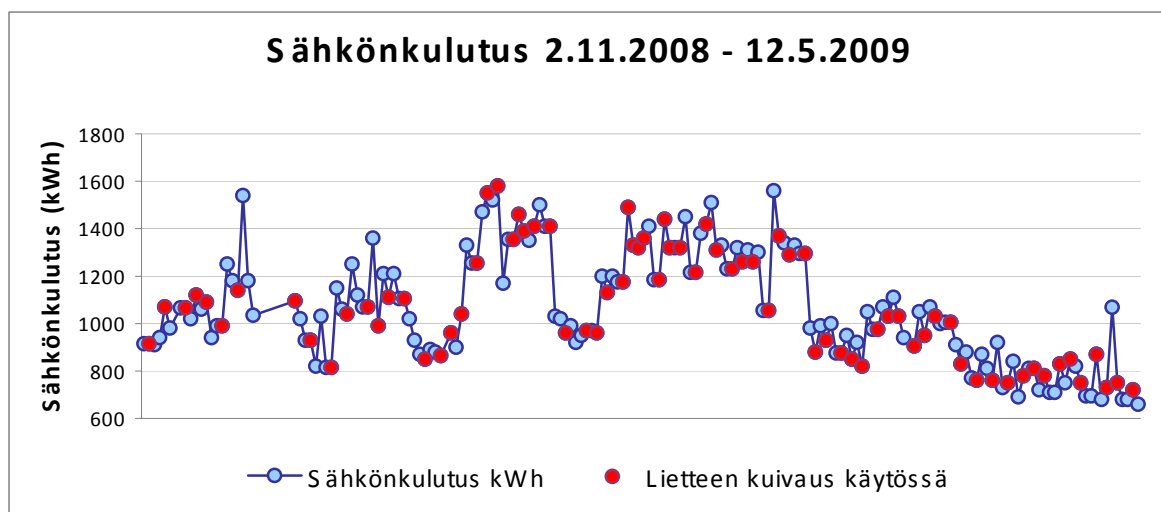
## Liite 2: Parkanon jätevedenpuhdistamon viikkoseurantataulukko

Viikottainen seuranta		Tuleva jätevesi	Tuleva jätevesi	Tuleva jätevesi	Tuleva jätevesi	Tuleva jätevesi	Lähtevä jätevesi	Lähtevä jätevesi	Lähtevä jätevesi	Lähtevä jätevesi	Lähtevä jätevesi	Muita huomioita
Viikko	Päivämäärä	kok-COD (mg/l)	liukoinen COD (mg/l)	NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	kok-P (mg/l)	kok-COD (mg/l)	liukoinen COD (mg/l)	NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	kok-P (mg/l)		
45	4.11.2008	250,00		16,00	3,10	15,00		13,00	0,90	0,17		KVVY:n mittaus
46												
47												
48												
49	2.12.2008	170,00			2,90	58,00		12,00	2,90	0,84		KVVY:n mittaus
50												
51												
52	24.12.2008	173,00	90,90	20,50	4,31	19,50	20,60	13,90		0,03		
1	2.1.2009	200,00	92,40	27,50	4,18	18,90	20,70	19,00		0,01		
2	7.1.2009	340,00		34,00	6,40	<30		23,00	5,30	0,17		KVVY:n mittaus
3	14.1.2009	101,00	66,60	17,00	2,72	36,10	27,00	13,70		0,63		
4	22.1.2009	160,00	96,90	31,90	3,54	16,10	16,50	17,80		0,04		
5	28.1.2009	131,00	95,80	30,90	4,88	17,40	17,80	15,70		0,01		
6	2.2.2009	420,00		39,00	6,80	33,00		19,00	16,00	0,13		KVVY:n mittaus
7	11.2.2009	192,00	116,00	37,00	8,36	19,80	20,30	21,20	13,50	0,05		
8	20.2.2009	339,00	138,00	44,80	6,22	24,70	24,30	27,30	5,56	0,04		
9	24.2.2009	295,00	147,00	39,30	6,23	26,90	25,40	29,20	8,40	0,07		
10	3.3.2009	420,00		51,00	7,50	39,00		33,00	11,00	0,26		KVVY:n mittaus
11	10.3.2009	453,00	149,00	34,30	7,91	25,80	24,60	29,40	10,00	0,08		
12	19.3.2009	457,00	134,00	33,50	5,86	27,30	22,60	24,10	10,30	0,20		
13	24.3.2009	392,00	130,00	43,00	9,40	22,00	19,10	26,90	9,92	0,15		
14	1.4.2009	360,00		33,00	6,70	34,00		31,00	8,90	0,18		KVVY:n mittaus
15	7.4.2009	148,00	50,10	10,80	2,62	28,10	23,20	18,70	1,73	0,24		
15	9.4.2009	170,00	64,10	12,00	3,32	41,30	33,40	12,90	1,14	0,26		
16	16.4.2009	240,00		18,50	4,08	40,80		13,90		0,55		
17	22.4.2009	526,00		23,10	5,06	22,80	17,80	19,40		0,13		
18	28.4.2009	234,00		15,10	4,30	20,50	17,50	14,90		0,20		



### *Liite 3: Sähkönkulutukseen vaikuttavien tekijöiden tarkastelu*

#### Lietteen kuivauksen vaikutus



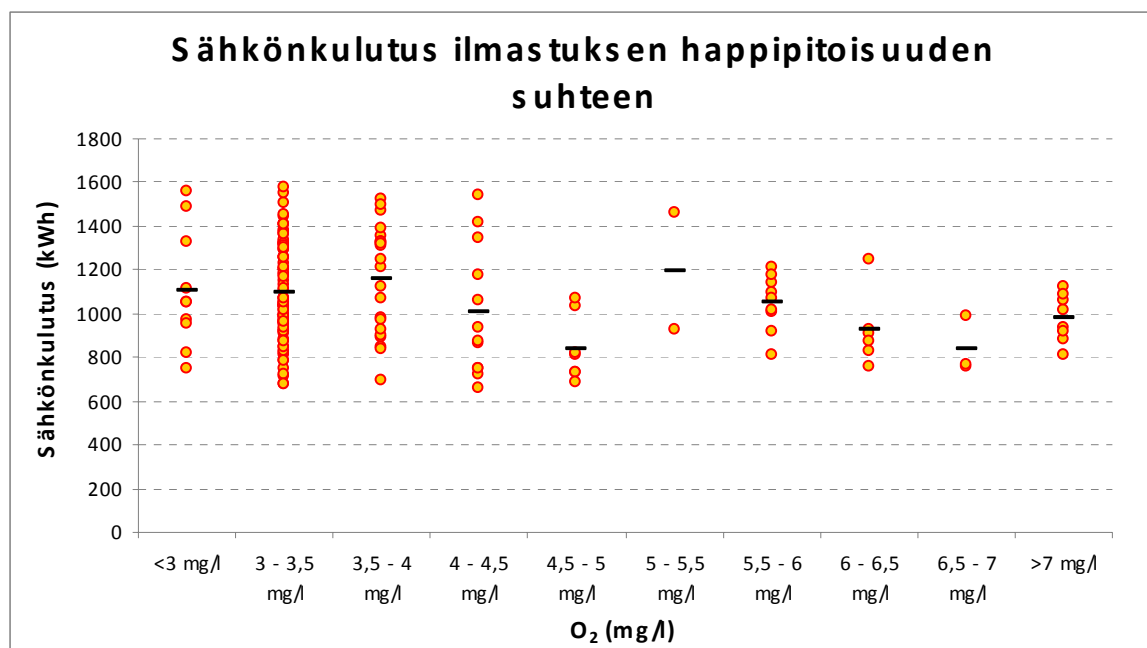
**Kuvio 1** Sähkönkulutus aikajaksolla 2.11.2008 – 12.5.2009. Lietteen kuivauspäivät on merkitty punaisella.

**Taulukko 1** Tilastollinen analyysi lietteen kuivauksen vaikutuksesta sähkönkulutukseen

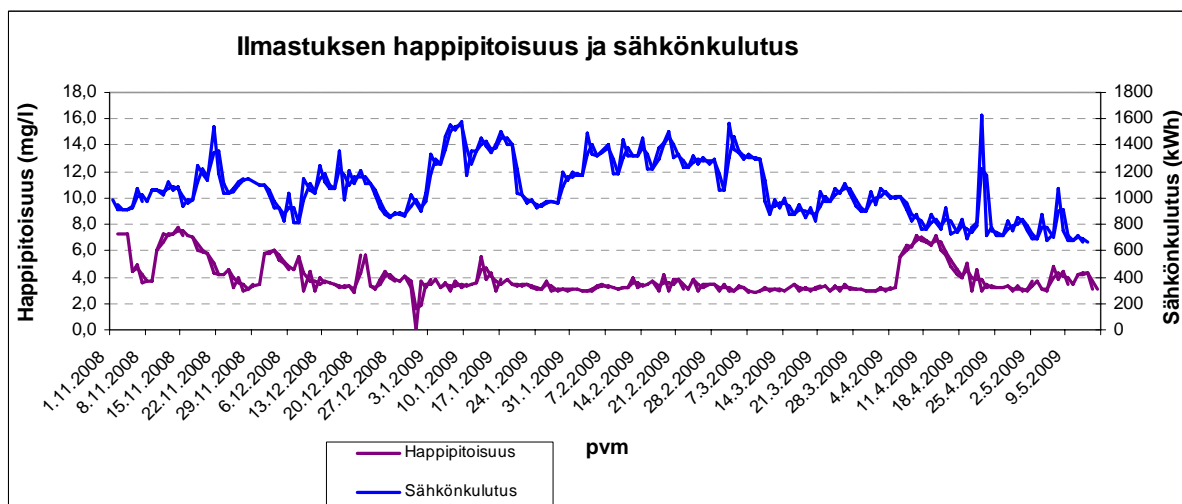
Anova: yksisuuntainen						
YHTEENVETO						
<i>Ryhmät</i>	<i>Lukumäärä</i>	<i>Summa</i>	<i>Keskiarvo</i>	<i>Varianssi</i>		
ei lietteen kuivausta	106	112084	1057,396	52058,87		
lietteen kuivaus	76	81586	1073,5	52955,8		
ANOVA						
<i>Vaihtelun lähde</i>	<i>NS</i>	<i>va</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>P-arvo</i>	<i>F-kriittinen</i>
Luokkien välissä	11478,98	1	11478,98	0,218928	0,640424	3,89364
Ryhmissä	9437866	180	52432,59			
Yhteensä	9449345	181				
H0: lietteen kuivatuksella ei ole merkitystä sähkön kulutuksessa.						
H1: lietteen kuivaus vaikuttaa sähkön kulutukseen.						
P-arvo on suurempi kuin 0,05, joten hyväksytään H0:						
lietteen kuivaus ei merkittävästi vaikuta sähkön kulutukseen.						

Jatkuu

## Ilmastuksen happipitoisuuden vaikutus

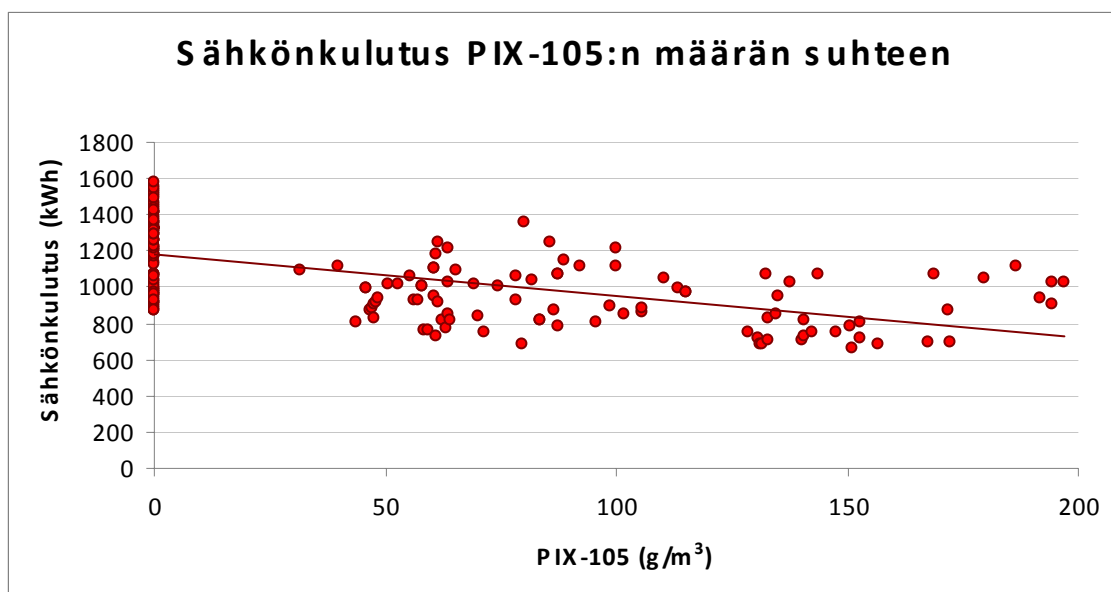


**Kuvio 2** Ilmastuksen happipitoisuuden vaikutus sähkönkulutukseen



**Kuvio 3** Ilmastuksen happipitoisuus ja sähkönkulutus aikajaksolla 1.11.2008–14.5.2009

### Esisaostuskemikaalin määrän vaikutus



**Kuvio 4** PIX-105:n annostuksen vaikutus sähkönkulutukseen

**Taulukko 2** Tilastollinen analyysi PIX-105:n vaikutuksesta kokonaissähkön kulutukseen

Anova: yksisuuntainen						
YHTEENVETO						
	Ryhmät	Lukumäärä	Summa	Keskiarvo	Varianssi	
	0 g/m <sup>3</sup>	88	106617	1211,557	39570,5	
	<100 g/m <sup>3</sup>	54	52005	963,0556	22665,49	
	>100 g/m <sup>3</sup>	40	35048	876,2	23805,55	
ANOVA						
	Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo
	Luokkien välissä	3877024	2	1938512	62,27094	2,96332E-21
	Ryhmissä	5572321	179	31130,28		
	Yhteensä	9449345	181			
H0: PIX-105:n määrällä ei ole vaikutusta sähkönkulutukseen.						
H1: PIX-in määrä vaikuttaa sähkön kulutukseen.						
P-arvo on pienempi kuin 0,05, joten hylätään H0, hyväksytään H1:						
PIX-in määrällä on vaikutusta sähkön kulutukseen.						

**Taulukko 3** Keskiarvot sähkönkulutukselle

	PIX-105		
	0 g/m <sup>3</sup>	<100 g/m <sup>3</sup>	>100 g/m <sup>3</sup>
Sähkönkulutuksen keskiarvo (kWh)	1212	963	876
Vähentää sähkönkulutusta:		21 %	28 %

***Liite 4: Virtaamien tilastollinen tarkastelu***

	Virtaama		
	2008	2007	2006
helmi	1480	1210	1100
touko	1150	1200	1810
syys	1450	4890	787
loka	1130	1360	866
maalis	1200	896	853
kesä	950	1060	1550
heinä	923	955	815
elo	901	1840	749
marras	1400	2630	1660
joulu	2980	1410	4420
tammi	2100	2500	1210
huhti	4190	2190	2600

Anova: kaksisuuntainen, toistot sallittuja

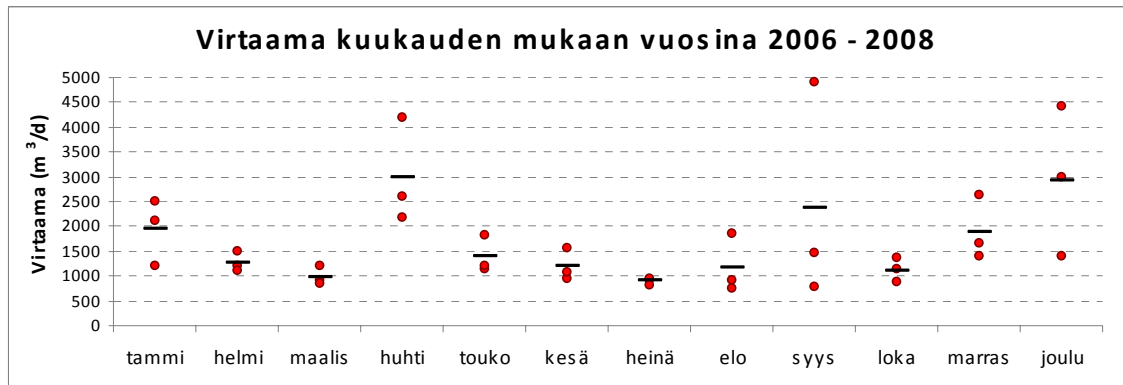
YHTEENVETO	2008	2007	2006	Yhteensä
<i>helmi</i>				
<i>touko</i>				
<i>syys</i>				
<i>loka</i>				
Lukumäärä	4	4	4	12
Summa	5210	8660	4563	18433
Keskisarvo	1302,5	2165	1140,75	1536,083
Varianssi	35425	3305633	216727,6	1190809
<i>maalis</i>				
<i>kesä</i>				
<i>heinä</i>				
<i>elo</i>				
Lukumäärä	4	4	4	12
Summa	3974	4751	3967	12692
Keskisarvo	993,5	1187,75	991,75	1057,667
Varianssi	19353,67	193680,3	140354,3	105609,2
<i>marras</i>				
<i>joulu</i>				
<i>tammi</i>				
<i>huhti</i>				
Lukumäärä	4	4	4	12
Summa	10670	8730	9890	29290
Keskisarvo	2667,5	2182,5	2472,5	2440,833
Varianssi	1448092	299291,7	2021025	1071063
<i>Yhteensä</i>				
Lukumäärä	12	12	12	
Summa	19854	22141	18420	
Keskisarvo	1654,5	1845,083	1535	
Varianssi	986962,5	1271723	1132015	

## ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Otos	11842420	2	5921210	6,939296	<b>0,0037</b>	3,354131 Jaksojen välillä on eroa
Sarakkeet	587015,7	2	293507,9	0,343973	0,712009	3,354131 Vuosien välillä ei ole eroa
Vuorovaikutus	2416530	4	604132,6	0,708006	0,593514	2,727765 Ei yhdysvaikutusta
Sisällä	23038747	27	853286,9			
Yhteensä	37884714	35				

Jatkuu

Jatkoa edelliseltä sivulta



**Kuvio 1** Virtaamavaihtelu eri kuukausina (vuodet 2006–2008)

### ***Liite 5: Ainetaselaskelmien lähtötiedot ja tulokset***

Ilmastuksen energian kulutus: 0,9–1,3 kWh/kg-BOD<sub>RED</sub> (Lindquist, Angeta (toim.) ym. 2003. s. 53)

Tulevan BOD<sub>7</sub>:n keskiarvo marraskuu 2008 - huhtikuu 2009: 185 kg/d

**Taulukko 1** BOD<sub>RED</sub> -kertoimet ja reduktioprosentit kokonais-BOD<sub>7</sub>:sta

BOD <sub>RED</sub> -kertoimet		Reduktioprosenttiosuudet kokonais-BOD <sub>7</sub> :sta	
Talviaika	Kesäaika	Esisaostus	Ei esisaostusta
0,9	1,0	43 %	63 %

**Taulukko 2** Ilmastuksen energian kulutukset

	Energian kulutus (kWh/d)
Talviaika, ei esisaostusta	104,9
Talviaika, esisaostus käytössä	71,6
Kesäaika, ei esisaostusta	116,6
Kesäaika, esisaostus käytössä	79,6

**Taulukko 3** Laskelmissa käytetyt puhdistamolle tulevien aineiden määrät

Puhdistamolle tuleva (kg/d)		Poistuva (kg/d)
COD <sub>Cr</sub>	P <sub>Kok</sub>	NH <sub>4</sub> -N
670	10	12

**Taulukko 4** Poistetuille tuotteille lasketut hinnat

	COD (€/kg-poistettu)			P (€/kg-poistettu)			N (€/kg-poistettu)		
	Esi-käsitely	Biologia	Jälki-käsitely	Esi-käsitely	Biologia	Jälki-käsitely	Esi-käsitely	Biologia	Jälki-käsitely
<b>Talviaika, ei esisaostusta</b>	0,06	0,12	1,80	7,40	6,55	68,76	-	-	-
<b>Talviaika, esisaostus käytössä</b>	0,12	0,12	1,33	12,88	5,87	50,78	-	-	-
<b>Kesäaika, ei esisaostusta</b>	0,06	0,16	1,51	7,40	8,85	57,97	-	5,53	-
<b>Kesäaika, esisaostus käytössä</b>	0,07	0,18	1,33	8,29	8,66	50,78	-	4,33	-