

Päivi Flink
Rasvaisten vesien käsittely flotaatiolla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

14.1.2016

Tekijä Otsikko	Päivi Flink Rasvaisten vesien käsittely flotaatiolla
Sivumäärä Aika	35 sivua + 3 liitettä 20.11.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Ympäristötekniikka
Ohjaaja(t)	Kehitysinsinööri Saara Solanpää Käyttöinsinööri Ellimaria Huusari Lehtori Ismo Halonen
<p>Insinööriyössä selvitettiin Nesteen jalostamon NEXBTL esikäsittelylaitoksen tuottamien rasvaisten jätevesien esipuhdistuksen hyödyllisyyttä ennen veden johtamista varsinaiseen jätevedenpuhdistusprosessiin. Erityisen kiinnostuksen kohteena olivat jätevedessä esiintyvä, jätevesilaitokselle tukoksia aiheuttavan rasvan lisäksi sen sisältämä korkea COD.</p> <p>Työn kokeellisen osuuden suorittamiseen vuokrattiin Flootech Oy:n toimittama flotaation pilot-laitteisto, jonka avulla voitiin testata rasvan erottumista dispersioveden, lipeän ja erityisen rasvanerottumiseen suunnitellun kationisen Baker Hugesin toimittaman polymeerin avulla.</p> <p>Työ tehtiin yhteistyössä Nesteen oman keskuslaboratorion kanssa, jonne toimitettiin näytteet laitteiston käydessä kerran päivässä. Koska jäteveden laatu oli epätasainen, toimitettiin vertailukelpoinen näyte aina puhdistamattomasta jätevedestä ja laitteen läpi ajetusta puhdistetusta vedestä. Laboratoriossa näytteistä analysoitiin veden pH, kiintoainepitoisuus, öljypitoisuus ja COD.</p> <p>Koetuloksista ilmeni, että hyvä rasvanerotusteho saavutettiin jo pelkästään dispersioveden avulla. Koska laitteistossa ei ollut pH-mittausta tai -säätöä, oli lipeän käsin lisääminen haastavaa ja aiheutti usein pH-tason nousun liian korkeaksi, mikä osaltaan aiheutti puhdistustehon käänteisen ilmiön, kun lipeä saostui kiintoaineksi puhdistettavaan veteen. Polymeerin lisäämisellä ei näyttänyt olevan suurta merkitystä puhdistustulokseen.</p> <p>Kokeen perusteella flotaatiojärjestelmä voisi olla järkevä menetelmä NEXBTL esikäsittelylaitoksen vesien esipuhdistamiseen, jos erityisenä intressinä on rasvan poistaminen. Flotaatiolaitteistolla kyettiin jonkin verran vähentämään myös jäteveden sisältämän orgaanisen aineksen aiheuttamaa korkeaa kemiallista hapenkulutusta (COD).</p>	
Avainsanat	jätevedenpuhdistus, flotaatio, rasvanerotus

Author Title	Päivi Flink Treatment of greasy wastewater by flotation
Number of Pages Date	35 pages + 3 appendices 20 November 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Environmental Engineering
Instructor(s)	Saara Solanpää, Development Engineer Ellimaria Huusari, Plant Engineer Ismo Halonen, Senior lecturer
<p>The subject of this thesis project was to study practicality of the pretreatment of greasy wastewaters that renewable NEXBTL diesels pre-handling plant in Neste refinery produces before it is infused to actual wastewater treatment process. The objects of interest were particularly grease contained in wastewater that causes clogging in wastewater plant and the high COD content of wastewater.</p> <p>To execute the empiric part of the thesis, a microflotation pilot unit was rented from Flootech Oy, to test separation of grease with dispersion water, lye and a special polymer designed for grease separation provided by Baker Huges.</p> <p>The project was implemented in cooperation with Neste central laboratory, where water samples were delivered once a day when the pilot unit was running. Due to the unstable quality of wastewater, there was always delivered comparable sample of unpurified water, and purified water run through the microfotation unit. In the laboratory samples were tested for pH, solids content, oil content and COD.</p> <p>The analyses revealed that good grease separation was achieved using only dispersion water. Since there were no pH analyzer or control, it was found that adding lye manually was challenging and caused often too high pH level, which in turn caused a reverse phenomenon in purification efficiency when additional lye was precipitated as solids into purified water. Adding polymer did not seem to make a significant difference to the outcome.</p> <p>On the basis of the results, a pre-flotation system could be a rational method for purifying wastewaters coming from the pre-handling plant of renewable NEXBTL diesel, if the special interest of purifying is to separate grease. The microflotation unit was also able to decrease some of the high COD caused by organic matter of the wastewater.</p>	
Keywords	Wastewater treatment, flotation, grease removal

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Uusiutuvan NEXBTL-dieselin esikäsittelylaitos	2
2.1	Jätevedet Porvoon esikäsittelylaitoksella	3
2.2	Jätevedet Rotterdamin ja Singaporen esikäsittelylaitoksilla	4
3	Nesteen jätevesilaitos, kapasiteetti ja toiminta	5
3.1	Rasvat, niiden aiheuttamat ongelmat ja sen sisältämät epäpuhtaudet	6
3.2	Rasvaisten vesien käsittelymenetelmät	11
3.2.1	Laskeutus	11
3.2.2	Suodatus	12
3.2.3	Sentrifugi ja hydrosykloni	13
3.2.4	pH-säätö	15
3.2.5	Öljynerotuskaivo	15
3.2.6	Aktiivihiiiliadsorptio	16
3.2.7	Erilaiset biologiset menetelmät	17
3.2.8	Flotaatio	18
3.2.9	Erottumista parantavat kemikaalit	19
4	Pilot-laitteisto ja käytettävät kemikaalit	21
4.1	Polymeeri	22
4.2	Lipeä	24
5	Kokeen suoritus	24
5.1	Kemikaalien lisäys	26
5.2	Näytteenotto	26
6	Pilotoinnin antamat tulokset	28
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liitteet	

Liite 1. Pilotoinnin päiväkohtaiset tulokset

Liite 2. Pilotoinnin tulokset tutkittujen ominaisuuksien mukaan

Liite 3. Pilotoinnin tulokset kaavioina

Lyhenteet

Aerobinen	Mikrobi, joka tarvitsee happea kasvaakseen.
Alginaatti	Luonnossa mm. ruskolevän soluseinissä yleisesti esiintyvä kumimainen yhdiste, rakenteeltaan lineaarinen kopolymeeri.
Anaerobinen	Mikrobi, joka kasvaa ilman hapen läsnäoloa.
ATEX	Atmosphères explosibles. Räjähdyksivaarallinen tila.
BOD	Jäteveden luokittelussa käytetty parametri, joka kuvastaa vedessä olevan orgaanisen aineen mikrobiologisessa hapettumisessa kuluttaman hapen määrää (mg/l) seitsemän vuorokauden aikana.
BTL-diesel	Biomass To Liquid. Diesel polttoaine, joka on tuotettu eloperäisestä raaka-aineesta.
Bulking	Lietelaitoksen vaahtoaminen. Johtuu yleensä rihmamaisten mikro-organismien hallitsemattomasta lisääntymisestä.
COD	Kemiallinen hapenkulutus.
DAF	Dissolved air flotation. Flotaattori, jossa dispersiovetä (paineilman ja veden sekoitusta) syötetään suuttimien kautta käsiteltävän jäteveden joukkoon.
GAC	Granulated activated carbon. Raemainen aktiivihiili.
Kolloidi	Hienojakoinen hiukkanen, joka on sekoittunut neste- tai kaasufaasiin.
NEXBTL	Next generation Biomass To Liquid. Nesteen oma uusiutuvien polttoaineteknologia.
PAC	Powdered activated carbon. Jauhemainen aktiivihiili.

1 Johdanto

Insinööri työ tehtiin Nesteen (entinen Neste Oil) Porvoon jalostamon Tuotantolinja Ympäristölle, jonka hallinnassa on Nesteen uusiutuvan dieselin NEXBTL:n syöttöaineiden esikäsittelylaitos. Nesteen kahden NEXBTL-laitoksen kokonaistuotantokapasiteetti on yhteensä 400 000 tonnia dieseliä vuodessa. Ensimmäinen laitos käynnistettiin vuonna 2007 ja toinen vuonna 2009. Neste on rakentanut vastaavanlaiset, uusiutuvaa NEXBTL-dieseliä valmistavat jalostamot myös Singaporeen vuonna 2010 ja Rotterdamiin vuonna 2011. Molempien jalostamoiden tuotantokapasiteetti on 1000 000 tonnia dieseliä vuodessa. Koska uusiutuvan dieselin raaka-aineina voidaan käyttää joustavasti erilaisia kasviöljyjä ja esimerkiksi elintarviketeollisuuden eläinrasvajätettä, mutta tuotteen on silti oltava korkealaatuista käytetystä raaka-aineesta riippumatta, täytyy raaka-aine esikäsitellä epäpuhtauksien poistamiseksi ennen varsinaista jalostusprosessia. [1, s. 25–39.] Esikäsittelyprosessista muodostuu useita jätevesivirtoja, jotka pumpataan prosessikaivojen kautta niin ikään Tuotantolinja Ympäristön alaisuudessa toimivaan jätevesilaitoksen aktiivilieteprosessiin. [2, s. 75.]

Tässä työssä rasvoilla tarkoitetaan nimenomaan elintarviketeollisuuden lihatuotannon sivutuotteena tai teurasjätteestä syntyviä, yleensä ihmisravinnoksi kelpaamattomia eläinrasvoja [3] eli destruktiolaitoksella eläinten ruhoista erotettua ja hygienisoitua rasvajaetta tai muuten teurastuksen yhteydessä erotettua rasvaa [4, s. 2] ja öljykasvien siemenistä/pähkinöistä puristamalla, uuttamalla tai vastaavalla tavalla tuotettuja kasviöljyjä. [5.]

Työn tarkoituksena oli tutkia esikäsittelylaitoksesta tulevaa jätevesivirtaa ja kokeilla pilotmittakaavassa, voisiko esiflotatointilaitteistolla vähentää rasvaisten vesien aiheuttamia ongelmia varsinaisella flotaattorilla ja edelleen muissa jätevedenpuhdistusprosessin osissa. Lisäksi tutkittiin, tarvitaanko esiflotatoinnin avuksi kemikaaleja ja mitä haasteita kemikaalilisäykset voisivat aiheuttaa kulkeutuessaan puhdistetun rasvan mukana mahdollisesti takaisin prosessiin.

2 Uusiutuvan NEXBTL-dieselin esikäsittelylaitos

Nesteen Porvoon jalostamolla on kaksi erillistä NEXBTL-dieselin esikäsittelylaitosta Esikäsittely 1 ja Esikäsittely 2. Tässä työssä Esikäsittelylaitoksella viitataan nimenomaan Esikäsittely 2:een (jäljempänä EK2), sillä Esikäsittely 1 ei ole ollut aktiivisessa käytössä useampaan vuoteen.

Esikäsittelylaitoksella käsitellään kasviöljyjä ja eläinrasvoja, jotka toimivat NEXBTL-yksiköiden BTL-dieselkomponentin (Biomass To Liquid) raaka-aineena. Käsiteltävät öljyt ja rasvat tuodaan paikkakunnalle laivoilla ja kotimainen raaka-aine usein autokuljetuksina. Raaka-aineet puretaan varastosäiliöihin ja pumpataan sieltä esikäsittelylaitoksen syöttöön. Esikäsittely rasva syötetään varastosäiliöiden kautta NEXBTL-yksiköihin jalostettavaksi edelleen uusiutuvaksi dieseliksi.

Esikäsittelyllä pyritään poistamaan rasvoista NEXBTL-prosessia haittaavia fosforiyhdisteitä, metalleja (Na, Ca, Mg, Fe) sekä vettä. [2, s. 4.]

EK2-prosessi perustuu adsorptioteknologiaan, jossa syöttöaineena toimiva rasva käsitellään sitruunahapolla, fosforihapolla tai näiden kahden seoksella sekä vedellä. Tämän jälkeen syöttöön lisätään valkaisumaa, johon epäpuhtaudet adsorboituvat. Adsorboitusreaktion jälkeen käsiteltävästä rasvasta suodatetaan kiitoaineet ja niihin sitoutuneet epäpuhtaudet pois. [2, s. 4–5.]

Rasvaisen veden lähteet esikäsittely-yksikössä

Osa EK2:n prosessista toimii vakuumissa, jolloin syötöstä irtoava vesihöyry saadaan imettyä pois ja pestyä. Höyryn mukana kulkeutuvista öljypisaroista suurin osa saadaan palautettua takaisin prosessiin, mutta lauhtuneen vesihöyryn mukana kulkeutuu aina hie- man rasvaa laitoksen jätevesijärjestelmään.

Edellisen lisäksi rasvaa viemäroityy laitoksen puhtaanapidon yhteydessä, sillä esikäsittelylaitoksen elintärkeillä laitteilla, kuten pumpput, suotimet ja lämmittimet, ei ole varalaitteita ja tuotannollisista syistä laitosta ajetaan panosten sijaan jatkuvatoimisesti. Näin ol- len jonkin prosessin osan alkaessa vuotamaan vuodon vakavuus arvioidaan tapauskoh- taisesti ja laitosta saatetaan ajaa pitkiäkin aikoja vajaakuntoisena. Tämä lisää rasvakuor- maa jätevesissä.

Kolmas kohde rasvantuotannossa jätevesiin on pesuri, jota käytetään prosessissa käytettävien kiintoaineen suodattimien puhdistamiseen. Suodattimista irtoaa pesurissa runsaasti epäpuhtauksia sisältävää kiintoainetta, mutta myös syöttöaineena toimivaa rasvaa. Pesuri tyhjennetään viemärikaivoon, josta se pumpataan jätevesilaitokselle öljyisen veden sekaan.

Säiliö H21

H21 on 1000 m³:n kokoinen säiliö, jota käytetään rasvalaivojen tankinpesuvesien erotussäiliönä. Säiliöön pumpataan laivantankkien esipesupesuveudet rasvanpurkulinjaa pitkin. Lisäksi säiliöön siirretään biodieselin esikättely-yksikön syöttösäiliöiden pohjalle erottunut vesi ennen säiliön sisältämän rasvan ottamista syöttöön.

Säiliötä operoidaan siten, että se on pääsääntöisesti aina selkeytys-tilassa, jolloin säiliön sisällä sijaitseva sekoitin on seis. Säiliön tulisi selkiytyä rauhassa aina vähintään 48 tuntia vesien säiliöön purkauksen jälkeen, ja tämänkin jälkeen kenttähenkilökunnan tulisi tarkkailla säiliöstä rasvaisten vesien pumppukaivoon vesitettävää vettä, jotta mahdollisen rasva-vesi-emulsion esiintyessä vesitys voitaisiin keskeyttää ja selkiytysaikaa lisätä. Pumppukaivosta vesi pumpataan jätevesilaitoksen flotaattorille pumpulla, jonka kapasiteetti on 6 m³/h. Säiliössä erottunut rasva voidaan pumpata suoraan esikäsitteilyn syöttöön säiliön vesityksen jälkeen. [6, s. 4–5.]

Ongelmia rasvan kanssa muodostuu, kun säiliötä H21 ei pystytä operoimaan sovittujen käytäntöjen mukaan. Näin käy silloin tällöin laivanpurkausaikataulujen aiheuttaessa pesuvesisäiliön kapasiteetin riittämättömyyttä, minkä vuoksi selkeytysaika jää liian lyhyeksi. Toisinaan myös inhimillisen erehdyksen sattuessa jätevesilaitoksen flotaattorin syöttöön voi joutua merkittävä määrä rasvaa H21:n vesityksen yhteydessä.

2.1 Jätevedet Porvoon esikäsitteilylaitoksella

Esikäsitteilyprosessista tulee jatkuva, määrällisesti hyvin pieni 1–2 m³/h, virta kohtalaisen kirkkaita, muun muassa lauhteita sisältäviä jätevesiä prosessijätevesisäiliöön, jonka pumppu käynnistyy automaattisesti pinnanmittauksen mukaan ja pumppaa vedet jätevesilaitoksen flotaattorille. Prosessijätevesisäiliössä on myös höyrylämmitys, jolla var-

mistetaan vesien mukana mahdollisesti liikkuvien rasvojen juokseva koostumus. Muiden, enemmän jähmettynyttä eläinrasvaa ja kiintoainesta sisältävien prosessikaivojen tyhjennys, arvioidaan tapauskohtaisesti laitoksen henkilökunnan toimesta. Nämä kaivot sisältävät esimerkiksi prosessilaitteiden tyhjennysten ja huoltotöiden yhteydessä lattialle valunutta rasvaa. Kaivojen vedet voidaan joko pumpata suoraan flotaattorille tai toimittaa imuautoilla polttoon Ekokem Oy:lle Riihimäelle, jossa polttoon menee rasvan lisäksi myös rasvainen vesi. [4, s. 12.]

2.2 Jätevedet Rotterdamin ja Singaporen esikäsittelylaitoksilla

Sekä Rotterdamin että Singaporen Nesteen uusiutuvan dieselin laitoksilla syntyy luonnollisesti samankaltaisia rasvaisia jätevesiä kuin Porvoon laitoksella. Rotterdamissa ongelmaan on kehitetty kaukonäköisesti pitkälle viety jäteveden käsittelyprosessi, sillä Alankomaissa mereen päästettävien jätevesien päästörajat ovat hyvin tiukat. Prosessi alkaa rasvan- ja kiintoaineenerotuskaivosta, jonka jälkeen vesi pumpataan flotaattorille, josta rasva kerätään sloppisäiliöön ja vesi siirtyy biologiseen vaiheeseen. Biologisessa vaiheessa vesi ajetaan reaktoriin, jossa ilmastuksen avulla reaktorin biomassa vähentää CODin sallittuun pitoisuuteen. Selkeytysajan jälkeen biomassa ja vesi ovat erottuneet riittävästi, jolloin vesi virtaa hiekkapedin läpi kaivoon, josta se jatkaa ylivuodon kautta matkaansa mereen ja biomassasta muodostuva liete pumpataan lietetankkiin. Jäjelle jäänyt liete kuivataan hihnapuristimella.

Singaporessa rasvaiset vedet johdetaan samanlaiseen rasvan- ja kiintoaineenerotuskaivoon, joka aloittaa Rotterdamin jäteveden käsittelyprosessin. Tämän jälkeen vesi johdetaan PUB:n (Singaporen kansallisen vesilaitoksen) hallinnoimaan jätevesijärjestelmään. Kaivossa rasvaa erottuu siinä määrin, että sen avulla rasvapitoisuus alittaa pääsääntöisesti PUB:n asettaman ohjearvon, kun taas COD ylittää sille asetetun arvon joka kerta. Niinpä Singaporen laitoksella on tällä hetkellä käytössä väliaikainen fermentointilaitteisto, jonka tuottaman mikrobikannan avulla jätevedestä saadaan poistettua orgaanista ainesta ja siten laskettua COD-tasoa. Laitteiston avulla jätevesimaksuja on saatu pienennettyä, mutta tästä huolimatta käyttökustannukset huomioon ottaen Singaporen laitoksella on lähiaikoina investoitava jätevedenpuhdistusprosessiin. [7.]

3 Nesteen jätevesilaitos, kapasiteetti ja toiminta

Porvoon jalostamon Tuotantolinja Ympäristön jätevesilaitos koostuu kahdesta erillisestä jätevesien käsittelylinjasta, aktiivihiihlaitoksesta ja aktiivilietelaitoksesta. Aktiivihiihlaitoksen ollessa ajossa laitoksella käsitellään jalostamon tuotantolinja 3:n, voimalaitoksen ja Borealis Polymers Oy:n sekä osa jalostamon säiliöalueen vesistä. Aktiivihiihlaitoksen on todettu soveltuvan aktiivilietelaitosta paremmin aromaattisia hiilivetyjä sisältäville vesille, kun taas esikäsittely-yksiköistä tulevia rasvaisia vesiä laitoksella ei käsitellä ollenkaan.

Aktiivilietelaitoksella käsitellään nestemäisiä jalostamon alueella viemäriin joutuneita tai imuautolla tuotuja prosessien jätevesiä, laattavesiä, pohjavesiä ja saniteettivesiä. Nykyään suurin osa jätevesistä käsitellään nimenomaan aktiivilietelaitoksella. Aktiivilietelaitoksen puhdistusvaiheet ovat mekaaninen/fysikaalinen puhdistus, kemiallinen ja biologinen puhdistusvaihe.

Mekaanisessa erotusvaiheessa jätevedestä erotetaan öljyä, hiekkaa ja jätevedessä tapahtuvissa saostumisreaktioissa syntyvää sakkaa välppien sekä hiekan- ja öljynerotuslaitaiden avulla. Kiintoaineet laskeutuvat viipymääjan ja lämpötilan muutoksen vaikutuksesta pohjaan ja öljy erottuu pinnalle. Vesi pumpataan mekaanisesta puhdistusvaiheesta kemialliseen vaiheeseen eli flotaattorille, jossa vedestä poistetaan edelleen öljyä ja kiintoainetta saostuskemikaalina toimivan ferrisulfaatin, koagulanttina toimivan polyelektrolyytin ja dispersioveden avulla. Kemikaalilisäyksen ansiosta jäteveden vielä sisältämä öljy ja laskeutumaton kiintoaine muodostavat flokin, joka nousee flotaattorilla pintaan, ja raskaampi aines laskeutuu pohjaan. [8, s. 14.] Altaiden ja flotaattorin pohjasakka ja pintaliete pumpataan karkeat jakeet erottavan rumpusiivilän kautta erilliseen lietteen tiivistimelle, josta lietteet pumpataan dekanterilingolle kuivattavaksi.

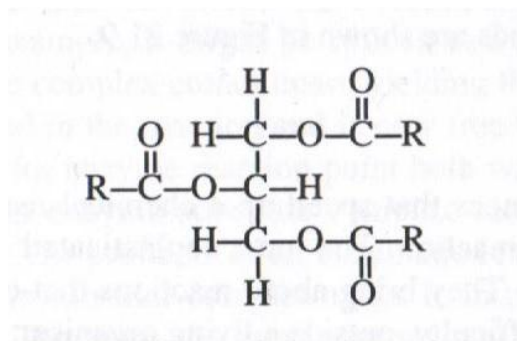
Kemiallisen vaiheen jälkeen vedet ohjautuvat ensimmäiseen biologiseen vaiheeseen, jossa flotaatioaltaalta tuleva puhdistettava virta jaetaan kahteen osaan ja ohjataan ilmastusaltaisiin. Ilmastusaltaissa mikrobit hajottavat jäteveden sisältämiä yhdisteitä käyttämällä orgaanista hiiltä ravintona. Jätevedestä, mikrobimassasta (bakteerit, alkueläimet, sienet), orgaanisesta aineksesta ja epäorgaanisesta kiintoaineesta muodostuvaa aktiivilietettä on ilmastettava, jotta varmistetaan hapensaanti ja sisällön sekoittuminen. Tätä varten molemmissa altaissa on viisi ilmastinta, jotka hoitavat molempia edellä mainittuja

tehtäviä. Suurissa kuormitustilanteissa molempiin altaisiin on mahdollista syöttää puhdasta lisähappoa. Lisäksi ilmastusaltaisiin syötetään ravinteiden takaamiseksi fosforihappoa. Bakteerien ja alkueläinten hengittäessä syntyy hiilidioksidia ja vettä. [8, s. 15.]

Biologisen puhdistuksen toisessa vaiheessa ilmastettu liete johdetaan kahteen selkeytysaltaaseen, joissa kiintoaine laskeutuu polymeerilisäyksen avulla altaiden pohjalle. Osa pohjalietteestä pumpataan takaisin ilmastusaltaisiin tai poistetaan ylijäämälietteenä ja pumpataan lietteenkäsittelyprosessiin. Samoin poistetaan laskeutumaton pintalietettä pintakaapimilla. Selkeytynyt, puhdistettu vesi virtaa ylitteenä jälkihapetusaltaisiin. Veden happipitoisuutta pyritään nostamaan lopuksi vielä poistovirtaaman rakenteella, jossa vesi putoaa jälkihapetusaltaista portaikkoa pitkin alas mereen. [8, s. 15.]

3.1 Rasvat, niiden aiheuttamat ongelmat ja sen sisältämät epäpuhtaudet

Rasvat ovat kasvipohjaisia tai eläinperäisestä lähteestä puristettuja tai orgaanisilla liuottimilla, kuten heksaanilla, kloroformilla, dietyylieetterillä tai tolueenilla, uutettavia aineita, jotka ovat pääasiassa triglyseridejä. Triglyseridit muodostuvat glyserolista ja pitkäketjuisesta rasvahaposta, kuten steariinihaposta [kuva 1]. Rasvahappojen yleinen kaava on $C_nH_{2n+1}COOH$. Kasvirasvojen rasvahapot sisältävät kaksoissidoksia ja ovat tyydyttymättömiä, kun taas eläinrasvat sisältävät pääasiassa yksinkertaisia sidoksia ja ovat siten tyydyttyneitä rasvahappoja. Keveimmät, paljon kaksoissidoksia sisältävät komponentit ovat öljymäisiä ja raskaammat, paljon yksinkertaisia sidoksia sisältävät vahamaisia ja tyyppillisesti rasvat ovat huonosti veteen liukenevia. Sen sijaan ne saattavat muodostaa veden kanssa hyvinkin stabiilin kolloidisen emulsion, jota on vaikea hajottaa vedenpuhdistusprosessissa. [9, s. 678 - 679; 10, s. 84, 4, s. 39; 1, s. 26.]



Kuva 1. Tyypillinen triglyseridi, josta rasvat ja öljyt pääosin muodostuvat [9, s. 679].

Neste Oyj:n uusiutuvan NEXBTL-dieselin raaka-aineena käytetään lihatuotannon sivutuotteena syntyvää eläinrasvaa, rypsi- ja rapsiöljyä, soijaöljyä, palmuöljyä, maissiöljyä ja camelinaöljyä, joista esikäsittelylaitoksessa poistetaan mekaanisia epäpuhtauksia, metalliyhdisteitä, fosforia ja vettä.

Esikäsittelylaitoksesta tulevissa jätevesissä esiintyvän rasvan ja muun ei-toivottujen ominaisuuksien määrä vaihtelee runsaasti riippuen siitä, mistä kohdassa 2 esitellyistä rasvaisten vesien lähteestä vesi on peräisin. Vakuumijärjestelmästä tulevissa vesissä kiintoaineen määrä on kohtalaisen vähäistä ja rasva lähinnä veteen liuenneessa muodossa, sillä rasva liukenee veteen viimeistään lämmitettävässä prosessikaivossa. Vakuumista peräisin olevien vesien virta on pieni, mutta säännöllisimmin flotaattoria kuormittava rasvaisen veden virta, sillä kaivolle saapuu vettä keskimäärin 1–2 m³/h. Pumpun tuotto on 5 m³/h, joten vesimäärä ajetaan jätevedenpuhdistusprosessiin panoksina.

Vakuumista tuleva vesi on hapanta, sen pH vaihtelee 2,9–4,5 välillä ja se sisältää kiintoainetta keskimäärin 45 mg/l, öljyä 30 mg/l. Tämän lisäksi vedessä on runsaasti orgaanisia yhdisteitä, jotka nostavat COD-pitoisuuden n. 4 000–5 000 mg/l, joka on korkea verrattuna jätevesilaitoksen muihin virtoihin.

Lattiakaivoista ja pesurintyhennyksestä tulevat vedet sisältävät enemmän liukenemattonta, lähes kiinteässä muodossa olevaa rasvaa. Taulukoissa 1, 2 ja 3 on esitetty lattiakaivon, pesurikaivon ja säiliön H21 sisältämän veden tyypilliset parametrit.

Taulukko 1. Lattiakaivon sisältö koostuu pääasiassa lattianpesuvesistä, korisuotimien tyhjennyksessä irronneesta sisällöstä ja viallisista laitteista vuotaneesta rasvasta.

Lattiakaivo		
Hiilivedyt	1,6	mg/l
pH	4,6	
Kiintoaine	550	mg/l
COD	3130	mg/l

Paljon rasvaa sisältävässä lattiakaivossa COD on korkea ja kiintoainetta runsaasti, mutta kaivon sisältö pumpataan harkinnanvaraisesti flotaattorille tai imetään imuautolla ja vietään Ekokemille polttoon. Lisäksi muutaman kuutiometrin vetoinen kaivo täyttyy kohtalaisen hitaasti, joten flotaattorille tuleva kuormitus on harvinainen ja sekoittuu muuhun virtaan.

Taulukko 2. Pesurin kaivon sisältö koostuu rasvan suodatukseen käytettävien leaf-levyjen puhdistamiseen käytettävän ultraäänipesurin vesistä.

Pesurin kaivo		
Hiilivedyt	1,4	mg/l
pH	10	
Kiintoaine	170	mg/l
COD	479	mg/l

Pesurin tyhjennyksestä tulevissa vesissä poikkeavin parametri on pH, sillä ultraäänipesun tehostamiseksi pesuriin syötetään lipeää. Kun kaivo pumpataan panostoimisesti flotaattorille, täytyy sen pH:ta tarkkailla ja mahdollisesti säätää tai lopettaa suoraan flotaattorille syötettävän lipeän määrää, jotta pH ei karkaa liian korkeaksi.

Taulukko 3. H21 sisältää rasvalaivojen tankinpesuvesiä ja esikäsittely-yksikön syöttösäiliöiden pohjalle erottunutta vettä.

H21		
Hiilivedyt	4,3	mg/l
pH	5,4	
Kiintoaine	320	mg/l
COD	3540	mg/l

H21 flotaattorille pumpattava rasvaisen veden virta on edellä käsitellyistä virroista tilavuudeltaan suurin ja aiheuttaa useimmiten ongelmia jätevesilaitokselle. Vedessä on korkea COD ja se sisältää runsaasti kiintoainetta, ja siitä flotaattorille tuleva kuormitus on kerrallaan pitkäkestoinen, sillä säiliötä voidaan pumpata useita päiviä kerrallaan. Lisäksi inhimillinen erehdys mahdollistaa säiliön sisältämän, pinnalle erottuneen rasvan, pumpaamisen suoraan flotaattorille.

Ongelmia jätevesilaitoksella aiheutuu, kun rasvan määrä on normaalia suurempi, kuten rasvaisten vesien säiliön vesityksen mennessä pitkäksi. Tällöin suuri rasvamäärä reagoi flotaattorille pH:n säätötarkoituksessa syötettävän lipeän kanssa, muodostaen saippuamaista rasvakakua flotaattorin tulokanavassa [kuva 2], itse flotaattorilla [kuva 3] ja muissa jäteveden puhdistusprosessin osissa. Rasvakakku heikentää merkittävästi flotaattorin kykyä puhdistaa jätevettä, joten normaalisti kohtalaisen kirkas ylijuoksu muuttuu rasvaongelman myötä maitomaisen sameaksi [kuva 4].



Kuva 2. Nesteen jätevesilaitoksen flotaattorin etuallas 18.6.2014. Rasva on tukkinut koko altaan perällä näkyvälle pintaskimmille saakka.



Kuva 3. Nesteen jätevesilaitoksen flotaattori 18.6.2014. Rasva muodosti savimaista kakkua flotaattorin pinnalle tukkien lopulta pintalietekourut kokonaan.



Kuva 4. Nesteen jätevesilaitoksen flotaattori 18.6.2014. Jätevesilaitokselle päässyt rasva haittasi flotaattorin toimintaa niin, että ylitteenä virtaava puhdistettu vesi oli maitomaisen sameaa.

Lisäksi rasva heikentää biologisen puhdistusvaiheen toimintaa. Runkas rasvamäärä puhdistettavassa vedessä saattaa muodostaa kalvon biologisessa vaiheessa muodostuvien flokkien ympärille ja haitata siten mikrobien hapensaantia ja aiheuttaa rihmamaisten mikro-organismien hallitsematonta lisääntymistä. Rihmamaisten mikrobien runsas

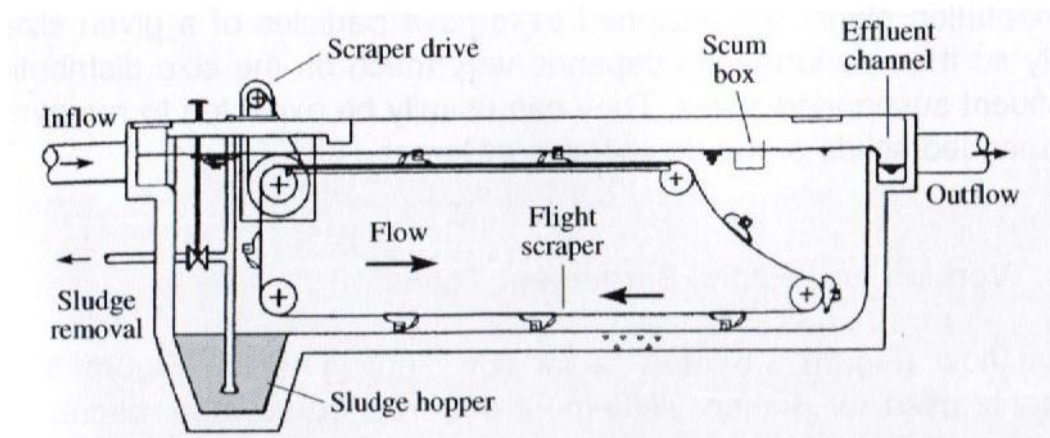
esiintyminen on ei-toivottu ilmiö aktiivilieteprosessissa, sillä ne muodostavat irtonaisia flokkeja, jotka laskeutumisen sijaan nousevat selkeytysaltaan pinnalle. [11, s. 2.]

Saippuoitunut rasva aiheutti tukkeumia myös erillisessä lietteenkäsittelyprosessissa, kun flotaattorin pinta- ja pohjaliete pumpattiin karkeat jakeet suodattavaan rumpusiivilään, siitä lietteen tiivistymistä parantavaan gravitaatiotiivistimeen ja lopulta lietteenkuivaamiseen tarkoitettuun dekanterilinkoon.

3.2 Rasvaisten vesien käsittelymenetelmät

3.2.1 Laskeutus

Laskeutus perustuu erotettavan komponentin ja veden väliseen tiheyseroon, jolloin painovoiman vaikutuksesta raskaampi aines laskeutuu pohjalle, kun taas vettä kevyemmät komponentit kuten öljy ja rasva erottuvat veden pinnalle. Yksinkertaisia laskeutusaltaita tai -säiliötä käytetään usein kiintoainepitoisten jätevesien esipuhdistamiseen ennen varsinaiseen puhdistusprosessiin pumppaamista. [12, s. 48] Tyypillinen horisontaalisesti toimiva laskeutusallas, esitetty kuvassa 5, on pari metriä syvä ja leveys-pituussuhteeltaan 2:5, kuitenkin niin pitkä, että pisara ehtii nousta pinnalle kuljettuaan matkan altaan päästä päähän. Vesi purkautuu alhaisella nopeudella altaaseen toisesta päästä ja poistuu altaan pohjasta avoimen väliseinämän kautta kirkastepuolelle, jossa se putoaa mahdollisimman pienen matkan ylijooksun kautta pumpattavaksi seuraavaa vaiheeseen. [12, s. 48; 5. s. 5.] Pyörivät pinta- ja pohjakaapimet siirtävät erottuneen pohjasakan pohjasyvennykseen ja pinnalle nousseen kevyemmän rasvan pintakouruun, joista ne pumpataan jatkokäsittelyyn.

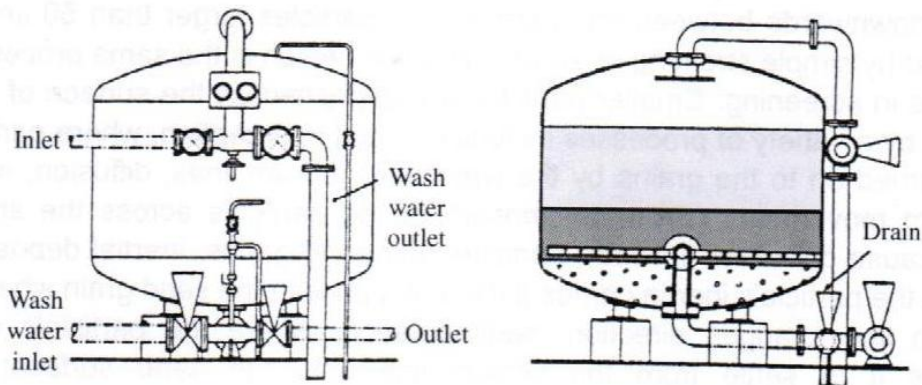


Kuva 5. Tyypillinen laskeutusallas, jossa pintakaavin siirtää vettä kevyemmät komponentit pinnalla olevaan keruujärjestelmään, pohjakaavin laskeutuneen kiintoaineen lietesyvennykseen ja puhdistettu vesi poistuu oikealta ylijouksuna [12, s. 49].

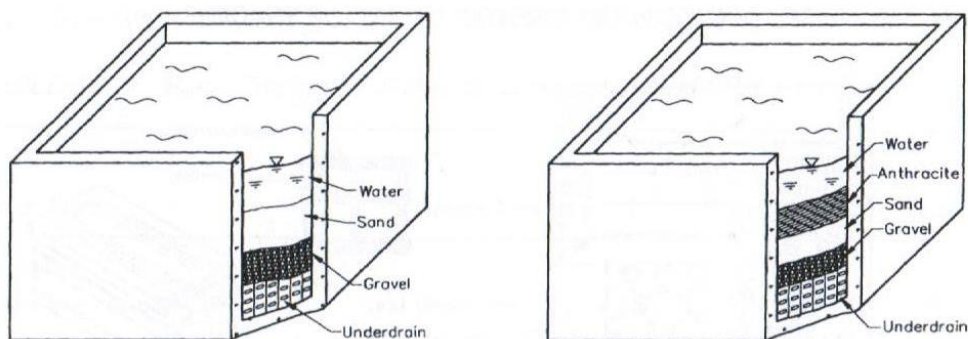
3.2.2 Suodatus

Suodatuspetejä käytetään harvoin ainoana veden puhdistusmenetelmänä, vaan sitä edeltää usein laskeutusvaihe tai suodatettu vesi johdetaan johonkin toiseen puhdistusprosessiin kuten aktiivihiiliadsorptio, ioninvaihto tai kalvosuodatus. Menetelmä on kuitenkin toimiva suurten kiintoainehiukkasten poistamiseen. Tyypillisimmillään suodatusprosessi toimii panosprosessina, jolloin suodatin on toiminnassa määritellyn ajanjakson, jonka kuluessa suodatettava aines pikkuhiljaa tukkii suodattimen. Tällöin suodatin otetaan pois ajosta ja se puhdistetaan tekemällä puhtaalla vedellä vastavirtahuuhdeltu. [12, s. 63.] Suodatinaineiksena käytetään rakeisia ja jauhemaisia materiaaleja, kuten hienojakoista hiekkaa, jauhattua hiiltä, piimaata, huokoista keraamista ainesta, muovinkappaleita tai lasipalloja.

Suodatinmenetelmistä yksinkertaisimman hiekkapetisuodatuksen (slow sand filters) tilalle on kehitetty suodatusmenetelmiä, joissa yhdistyy usean suodatinmateriaalin tai suodatusmenetelmän parhaat puolet. Tällaisia ovat muun muassa painesuodatus [kuva 6], jossa suodatuspedin läpi painovoimainen virta korvataan paineistetulla virralla ja kaksois- tai monipetisuodattimet [kuva 7], joissa vesi virtaa useamman suodatinmateriaalikerroksen läpi mahdollistaen yhdellä suodattimella tapahtuvan progressiivisen puhdistamisen. [10, s. 221; 12, s. 63–66.]



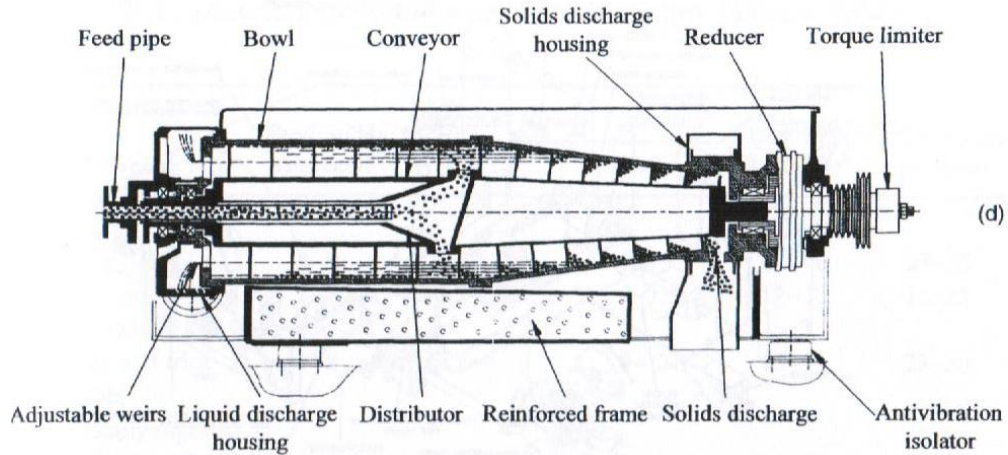
Kuva 6. Suljettu hiekkasuodatusjärjestelmä, jonka virtaus on paineistettu [12, s. 64].



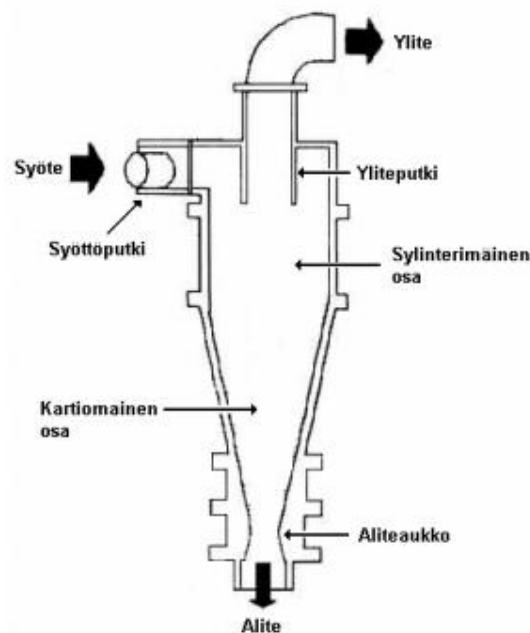
Kuva 7. Vesi virtaa tiheyden mukaan järjestettyjen suodatinkerrosten läpi. Koska kevein antrasiitti on pinnalla ja raskain sorakerros pohjalla, kerrokset pysyvät paikoillaan jopa vastavirtahuuhtelun aikana [13, s. 923].

3.2.3 Sentrifugi ja hydrosykloni

Sentrifugit ja hydrosyklonit hyödyntävät keskipakovoimaa kasvattamalla nopealla pyöri-
vällä liikkeellä gravitaatiota, jolloin erotettavien aineiden (liuos-liuos tai liuos-kiintoaine)
tiheyseron avulla saadaan aineet erotettua toisistaan. Vesi raskaampana ajautuu lingon
seinämille ja poistuu sentrifugilta rejektinä [kuva 8], hydrosyklonilta alitteena [kuva 9],
kun kiintoaine, liete, öljy tai rasva kevyempänä poistuu laitteiston kartio-osasta joko ruu-
vin avulla (vaakasentrifugit) tai keskiosan spiraalivirtaaman nostaman ylitteenä (pystyyn
sijoitettu hydrosykloni).



Kuva 8. Syöttö tulee lingon keskiosaan, josta keskipakovoima työntää erottuneen veden lingon kehää pitkin alitteenä pois ja erottuneen lietejakeen kartio-osan kautta kiintoaineen poistaukkoon.



Kuva 9. Puhdistettava virta syötetään syklooniin tangentiaalisesti syöttöputkea pitkin. Alite (raskaampi vesi) vajoaa kartiomaista osaa pitkin pohjaan ja kevyempi aines (kiintoainehiukkaset, rasva) virtaa ylitteenä spiraalimaisesti kohti yliteputkea.

Linkoaminen on nopea erotusmenetelmä, mutta sillä voidaan erottaa ainoastaan toisiinsa liukenemattomia aineita, jolloin esimerkiksi veteen emulgoitunut rasva poistuu alitteen mukana. Toisaalta linkoamalla saadaan tehokkaasti poistettua kiintoainetta, joka saattaisi tukkia suodatusjärjestelmiä. Menetelmä on toimiva pienille virtaamille, suurien

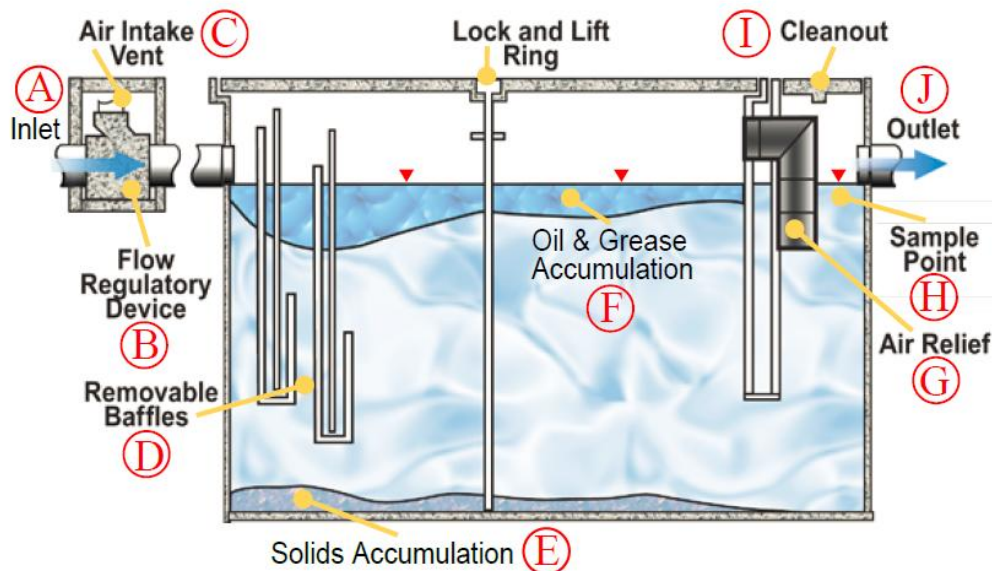
jätevesimassojen käsittelemiseen linkoaminen ei ole energiatehokas menetelmä. Tämän lisäksi linkoamisessa käytettävät pyörimisvoimat ovat niin suuria, että lingoissa esiintyy helposti vuotoja, kulumista tai toimintahäiriöitä. [12, s. 68; 13, s. 302, 735; 14, s. 58.]

3.2.4 pH-säätö

Puhdistettavan veden pH:n säätö on harvoin ainoa puhdistusmenetelmä, mutta se on usein tarpeen, jotta tätä seuraavien puhdistusvaiheiden reaktiot toimisivat optimaalisesti. Tällaisia reaktioita ovat muun muassa raskasmetallien hydroksidi-saostuminen, kolloidien koaguloituminen, emulsion hajottaminen, korroosion ehkäisy putkistoissa ja hajuhaittojen ehkäisy jätevesilaitoksella. Jäteveden neutraloiminen on tarpeen esimerkiksi ennen biologiseen puhdistukseen johtamista, sillä mikro-organismien toiminta-alue on yleensä pH-alueella 6–9. Monet kaasumaiset komponentit, kuten CO_2 , NH_3 ja H_2S ionisoituvat vedessä sopivassa pH:ssa, menettäen helposti haihtuvan muotonsa. pH:n säätöön käytettäviä kemikaaleja ovat rikkihappo, suolahappo, kalsiumhydroksidi, kalsiumoksidi, natriumkarbonaatti ja lipeä. [12, s. 81; 9, s. 640; 10, s. 361.]

3.2.5 Öljynerotuskaivo

Jossain sovelluksissa on järkevää rakentaa erillinen öljyn- tai rasvanerotuskaivo jätevettä tuottavan laitoksen läheisyyteen niin, että suurin osa rasvasta saadaan erotettua vedestä jo ennen varsinaista jätevedenpuhdistusprosessia [kuva 10]. Tällaisia rasvan lähteitä ovat esimerkiksi suuren volyymin keittiöt (ravintolat, koulut, sairaalat), joista lähtevä rasvainen vesi saattaa jäähtyessään tukkia viemärin jo ennen jätevesilaitokselle pääsemistään. Yksinkertainen rasvanerotuskaivo on kooltaan pienehkö allas, joka on rakennettu jätevesiputkiston sisään. Altaan sisällä olevat väliseinämät pidättävät jätevettä riittävän kauan, jotta rasva ehtii jähmettyä ja nousta pinnalle. Yleensä jäähtyminen ja jähmettyminen tapahtuvat noin 30 minuutissa, minkä jälkeen rasva täytyy poistaa kaivosta. [15, s. 2; 13, s. 961.]



Kuva 10. Rasvainen vesi virtaa sisälle vasemmalta, jolloin irrotettavat väliseinämät ohjaavat veden eteenpäin ja pysäyttävät rasvan etenemisen. Kiintoaineet laskeutuvat pohjalle ja rasva nousee pintaan. Molemmat erottuneet jakeet täytyy poistaa erikseen rasvakaivon perushuollon yhteydessä. [15, s. 3.]

3.2.6 Aktiivihiliadsorptio

Erlaisista adsorboivista aineista rakeinen (GAC) tai jauhemainen (PAC) aktiivihili on tunnetuin materiaali. Sen erinomainen adsorptiokyky perustuu huokoiseen pintaan, jonka ansiosta aktiivihillen pinta-ala on noin $1\,000\text{ m}^2/\text{g}$. Aktiivihiliadsorptiota käytetään laajasti eri jätevedenpuhdistussovelluksissa, erityisesti puhdistamaan heikosti veteen liukenevia, korkean molekyylipainon omaavia, haitallisia komponentteja kuten monet orgaaniset sykliset yhdisteet. Tämän lisäksi aktiivihilillä pystytään poistamaan myös epäorgaanisia epäpuhtauksia kuten elohopea ja radon-222. Heikompi puhdistustulos saadaan, jos vesi sisältää veteen helppoliukoisia tai polaarisia yhdisteitä. [9, s. 638; 10, s. 485.] Huokoinen rakenne aktiivihillen pinnassa mahdollistaa irrallisen rasvan ja kiintoaineen sitoutumisen hiilen pintaan ja aktiivihillen kemiallisten ominaisuuksien avulla liukoinen rasva adsorboituu aktiivihilleen.

Aktiivihillen käyttö ainoana rasvaisten jätevesien puhdistusmenetelmänä on kuitenkin kannattamatonta, sillä isot rasvamolekyylit peittävät hiilen pinnan ja huokokset aiheuttaen

kapasiteetin nopean heikkenemisen tai suodattimen tukkeutumisen. Näin ollen hiiltä täytyy regeneroida usein ja regeneroinnista aiheutuvasta hiilen hävikistä johtuen hiiltä täytyy lisätä paljon systeemiin, joten menetelmä on kallis. [5, s. 18.]

3.2.7 Erilaiset biologiset menetelmät

Biologiset puhdistusmenetelmät voidaan jakaa kahteen eri pääryhmään mikrobien toiminnan kannalta kriittisten olosuhteiden mukaan. Nämä ryhmät ovat aerobiset menetelmät ja anaerobiset menetelmät. Aerobinen prosessi tuottaa enemmän lietettä ja energiaa mikrobien aineenvaihdunnan avulla, toimii yleensä nopeammin eikä tuota biokaasua sivutuotteena. Anaerobista prosessia pidetään toimivampana vahvoille, korkean BODin jätevesille. Anaerobinen prosessi tarvitsee enemmän orgaanista kiintoainetta pysyäkseen elinvoimaisena ja niin ollen menetelmää käytetään usein patogeenejä sisältävien viemäriletteiden käsittelyyn, joiden lopputuotteena saadaan runsaammin metaanikaasua. Anaerobinen prosessi hajottaa hankalimpiakin yhdisteitä, kuten kloorattuja yhdisteitä. [12, s. 120–122.] Lisäksi biologiset prosessit voidaan jakaa mikrobien kasvupaikan mukaan aktiivilieteprosessiin, jonka biologiset reaktiot perustuvat suureen määrään mikrobeja suspensiona vedessä ja voimakkaaseen sekoitukseen, jolloin kaikki epäpuhtaudet pääsevät kosketuksiin mikrobien kanssa tai kantoaineprosesseihin, jonka toiminta perustuu biofilmiin eli mikrobikasvustoon kantoaineen pinnalla, jolloin biofilmin peittävä pinta-ala on ratkaiseva puhdistuksen tehon kannalta.

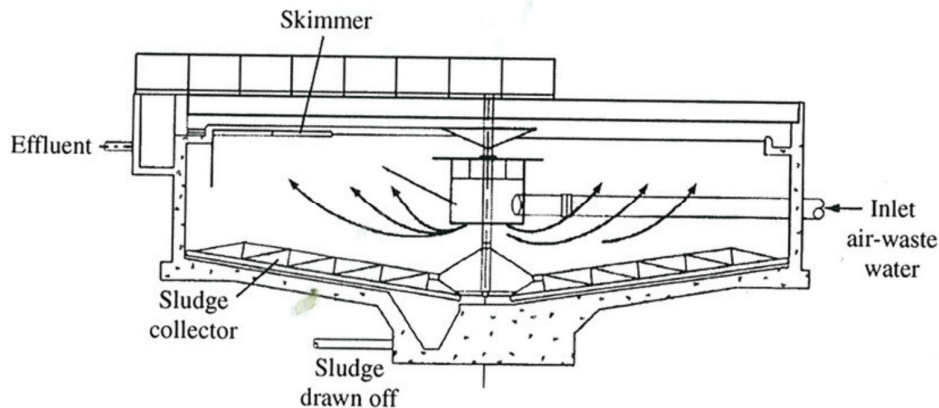
Kaikilla biologisilla prosesseilla on yhteistä niiden luonnollisuus eli niiden toiminta perustuu täysin jätevesilaitoksen puhdistusprosessissa elävään mikrobikantaan. Lisäksi biologisissa prosesseissa yhdisteet hajoavat vedeksi ja kaasuiksi ja muodostunut liete voidaan yleensä jatkokäsittellä esimerkiksi linkoamalla, jolloin hajuhaitat pysyvät kohtalaisesti hallinnassa.

Rasvaisia vesiä käsiteltäessä ennen biologiseen prosessiin johtamista vedestä on poistettava suurin osa rasvasta jollain muulla menetelmällä, sillä itse biologinen prosessi kykenee poistamaan vain pienen määrän rasvaa [16, s. 10]. Suuret rasvamäärät saattavat aiheuttaa vaahtoamista (bulking) biologisen prosessin toiminnassa, sillä *Microthrix*-bakteeri, joka hajottaa rasvoja pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi ja alkoholeiksi, kuuluu rihmamaista kasvustoa kehittäviin bakteereihin. Mitä enemmän rasvaa on saatavilla, sitä enemmän ylimääräistä rihmamaista kasvustoa esiintyy prosessissa, jolloin prosessiin

muodostuu tiivistymätöntä, irtonaista flokkia, joka ei laskeudu jälkiselkeytyksessä ja poistuu näin ylitteenä puhtaan veden mukana. [10, s. 594; 12, s. 121.]

3.2.8 Flotaatio

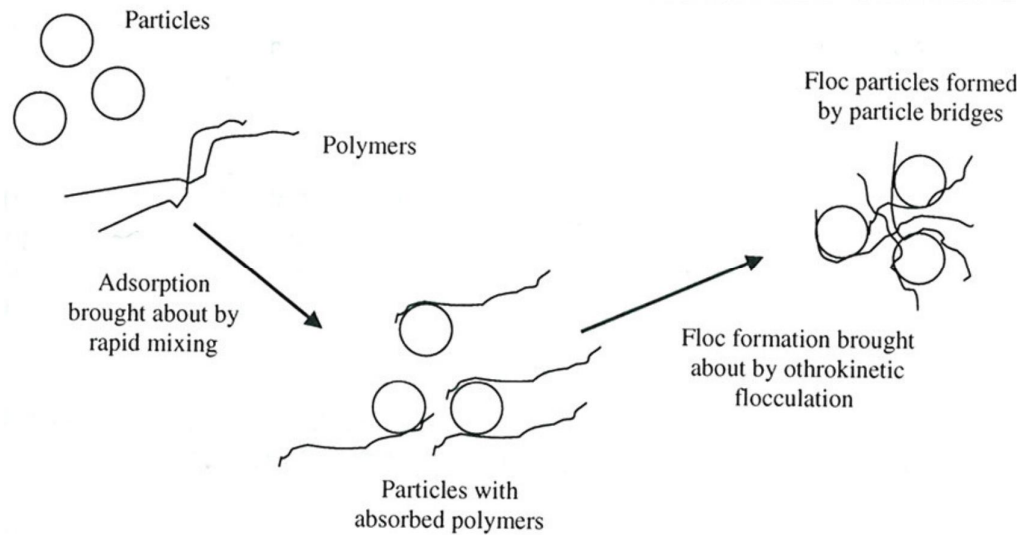
Flotaatiota käytetään erotusmenetelmä erityisesti käsiteltäessä vesiä, joiden sisältämät kiintoaineet mieluummin nousevat pintaa kuin laskeutuvat pohjaan. Menetelmässä painestettuun veteen sekoitetaan ilmaa ja saadaan näin aikaiseksi niin sanottua dispersioveettä. Dispersiovesi johdetaan normaalissa ilmakehän paineessa olevalle flotaattorille, jonne purkautuessaan vesi hajoaa pieniksi mikrokupliksi. Pintaan noustessaan mikrokuplat tuovat mukanaan jäteveden sisältämiä kiintoainehiukkasia, jotka voidaan kuoria flotaattorin pinnalta pintakaapimilla, kuten kuvassa 11 esitetään. Usein käytetty metodi on kierrättää osa flotaattorilla puhdistetusta vedestä takaisin ja valmistaa tarvittava dispersiovesi tästä virrasta. Flotaatiota tehostetaan usein lisäämällä veteen saostuskemikaalia eli koagulanttia, jonka avulla pystytään vaikuttamaan hiukkasten pintavarauksiin niin, että kolloidiset hiukkaset hakeutuvat toistensa läheisyyteen muodostaen suurempia flokkeja. Lisäksi veden sisältämät epäpuhtaudet reagoivat koagulanttien kanssa, muodostaen helpommin poistettavia yhdisteitä. Yleisimmät vedenpuhdistuksessa käytetyt koagulantit ovat alumiini- ja rautasuolat sekä erilaiset polymeerit. Aiemmin käytettyjen luontaisten polymeerien, kuten selluloosajohdannaiset, tärkkelys ja proteiinipitoiset materiaalit, tilalle on tullut runsas valikoima synteettisiä neutraaleja, anionisia ja kationisia polymeerejä, joiden varaus valitaan puhdistettavan veden laadun mukaan. Kemikaalilisäyksen, tehokkaan sekoittamisen ja dispersioveden avulla voidaan saavuttaa hyvä puhdistusteho jo muutamassa minuutissa. [12, s. 55; 9, s. 239; 13, s. 917.]



Kuva 11. Flotaattori, jonka pohjasta voidaan poistaa laskeutunutta kiintoainesta, pinnalta poistetaan flokkia kaapimella ja keskiosaan syötetään paineistettua, ilmalla kyllästettyä dispersioivettä, jonka avulla kiintoaine nousee nopeasti pintaan.

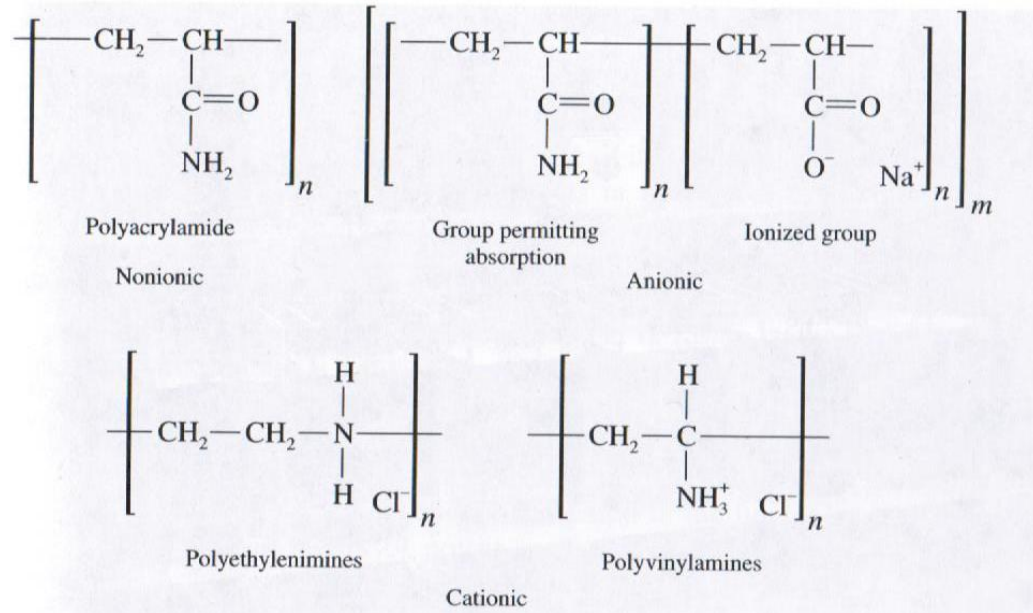
3.2.9 Erottumista parantavat kemikaalit

Koagulantit ovat yleensä epäorgaanisia suoloja, joita veteen lisäämällä saadaan neutraalua vedessä esiintyvien partikkeleiden staattista varausta ja sitä kautta käynnistettyä koaguloitumisen. Koaguloituminen on yleensä vedenpuhdistamisen ensimmäinen vaihe, sillä sen avulla saadaan muun muassa kolloidinen aines ja veden kanssa emulgoitunut öljy ja rasva muodostamaan flokkeja, jotka ovat kooltaan riittävän suuria flotatoitumaan pintaan tai laskeutumaan pohjaan. [12, s. 84; 10, s. 384; 13, s. 917.] Sekä Droste [10, s. 385] että Stuez [12, s. 84] mainitsevat alumiini- ja rautasulfaatin olevan yleisimmin käytetyt epäorgaaniset koagulantit. Ne ovat myös erityisen vaativia pH:n suhteen ja voivat vaatia pH:n säätöä toimiakseen. Tätä käsiteltiin enemmän kohdassa 3.2.4. Jotta koaguloitumista tapahtuisi koko jätevesivirrassa, täytyy vettä sekoittaa riittävästi koagulantin lisäämisen jälkeen, niin että mahdollisimman suuri osa kolloideista reagoisi kemikaalin kanssa. Riittävää reagoimista tapahtuu muutamasta minuutista puoleen tuntiin, riippuen sekoittamisesta. Usein sopivasta sekoittamisesta syntyy käänteinen ongelma, kun vastamuodostuneet flokit alkavat hajoamaan sekoituksen voimasta. Tällöin veteen lisätyt pitkäketjuiset kemikaalit, polyelektrolyytit, toimivat sidoksina muodostuneiden mikroflokien välillä ja estävät niitä hajoamasta uudelleen, kuten kuva 12 osoittaa.



Kuva 12. Vedessä olevat partikkelit sitoutuvat ensin pitkäketjuisiin polymeereihin, jonka jälkeen polymeerit alkavat sitoutua toisiinsa ja muodostavat näin suurempia flokkeja [12, s. 87].

Polymeerejä muodostuu luonnossa jatkuvasti luontaisesti. Tällaisia luonnollisia polymeereja ovat algiinatit, silikaatit ja tärkkelykset, äyriäisten kuoresta saatava kitosaani ja erilaiset siemenistä, lehdistä ja kasvien juurista saatavat uutteen, mutta näitä huomattavasti paremmin toimivat vedenpuhdistuskäyttöön suunnitellut synteettiset polymeerit. Synteettiset polyelektrolyytit ovat pitkäketjuisia, vesiliukoisia, niillä on korkea molekyylipaino ja ne sisältävät yleensä ionisoituvan funktionaalisen ryhmän. Polymeerit poikkeavat kemialliselta koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan paljon toisistaan, mutta ne voidaan jakaa varauksensa perusteella kationisiin, anionisiin ja neutraaleihin polymeereihin. Varautuneet polymeerit toimivat parhaiten vastakkaisen varauksen omaaviin kiintoainepartikkeleihin, kationiset negatiivisesti varautuneisiin partikkeleihin, anioniset positiivisesti varautuneisiin ja neutraalit varauksettomiin partikkeleihin. Kuvassa 13 on esitetty tyypillisten koagulointiin käytettyjen polymeerien kemialliset kaavat. [10, s. 387; 12, s. 87; 9, s. 133.]



Kuva 13. Kuvassa on esitetty tyypillisiä koaguloitumiseen käytettäviä polymeerejä. Neutraalit polymeerit ovat lähes yksinomaan polyakryyliamideja, anioniset polymeerit sisältävät negatiivisesti varautuneen ryhmän kuten karboksyyli- tai rikkiryhmän ja kationinen polymeeri sisältää yleensä amiini, imiini tai kvaternäärisen ammoniumryhmän [10, s. 386–387].

Polymeeriä annostellaan yleensä hyvin pieniä määriä veden sekaan, jolloin epäorgaanisiin koagulantteihin verrattuna kalliimpi hinta ei muodostu suureksi tekijäksi annosteltavaa kemikaalia valittaessa. Sen sijaan on otettava huomioon polymeerien hankala käsiteltävyys, sillä liukoisessa muodossa ne ovat viskositeetiltaan raskaita pumpata ja pinnoille joutuessaan erittäin liukkaita. Helpommin käsiteltäville jauheille on oltava asianmukainen liuotuslaitteisto, jossa jauhemainen polymeeri liuotetaan veteen haluttuun pitoisuuteen ja sen jälkeen pumpataan vedenpuhdistusprosessiin. [12, s. 88; 10, s. 386.]

4 Pilot-laitteisto ja käytettävät kemikaalit

Jotta rasvaisten vesien ongelmia ja niiden ratkaisemista päästiin tutkimaan konkreettisesti, päätettiin työn kokeellista osuutta varten vuokrata mekaanisiin, kemiallisiin ja biologiseen veden- ja jäteveden puhdistustekniikkoihin pohjautuviin vedenkäsittelylaitoksiin erikoistuneelta yritykseltä DAF (dissolved air flotation) pilot unit -laitteisto [16]. Laitteisto on pilot-mittakaavassa toimiva flotaattori, joka on rakennettu erityyppisten prosessien ja jätevesien testaamiseen kenttäolosuhteissa [kuva 14]. Laitteiston kapasiteetti on

1–10 m³/h ja tehokas flotaatioala on 1,5 m². Laitteistoon kuuluu kemikaalien sekoitustankit, niiden annostelupumput, dispersiojärjestelmä ja pintakaapimet lietteen poistoon.



Kuva 14. DAF pilot -laitteisto. Testattava vesi virtaa sisään laitteiston oikeasta reunasta virtausmittauksen kautta ja ulostulo kuvan vasemmasta reunasta. Keskellä on dispersioveden valmistamiseen käytettävä painetankki.

Koeajossa käytössä olivat myös kuvan oikeassa reunassa, taka-alalla sijaitsevat erilliset kemikaalisekoitustankit (tilavuudet 500 l ja 200 l). Syöttöpumppuna toimi paineilmakäyttöinen Wilden-pumppu, jolla saatiin varmistettua riittävän pieni ja siten tasainen virtaama laitteistolle. Lisäksi tarvittiin erillinen kontti pintalietteelle, joka sijoitettiin kuvan vasemmassa reunassa sijaitsevan lieterampin alle.

4.1 Polymeeri

Jäteveden koeajolla haluttiin lisäksi testata kemikaalien toimivuutta ja tarpeellisuutta rasvan erottumisen kannalta. Tämän johdosta pyydettiin tarjousta kahdelta eri kemikaalivalmistajalta. Vaihtoehtoina olivat kaksi kansainvälisesti toimivaa, erilaisia ratkaisua kemianteollisuuden tarpeisiin tarjoavaa yritystä, Solenis ja Baker Huges, joista jälkimmäinen

kykeni kohtalaisen lyhyellä varoitusaajalla tarjoamaan juuri rasvanerottamiseen tarkoitettua ratkaisua ja näin ollen valikoitui pilot-ajoon mukaan. Ennen lopullista päätöstä kemikaalien käytöstä koeajossa testattiin kemikaaleja kenttäolosuhteissa pullotestinä samalle vedelle, jota aiottiin käyttää pilot-kokeessa. Pulloihin otettiin vettä jätevesivirrasta ja toiseen pulloon lisättiin lipeää ja sekoitettiin niin, että pH-liuskalla mitattuna veden pH nousi yli 9:ään. Tämän jälkeen lisättiin vielä polymeeri, jonka tarkoituksena oli koota pH:n nousun ansiosta erottunut rasva kestäväksi flokiksi veden pinnalle [kuva 15]. Kuvassa vesi on ollut pulloissa n. 15 minuuttia, jolloin suurimman osan painovoimaisesti erottuvasta rasvasta voi olettaa nousseen jo veden pinnalle. Vasemmassa pullossa näkyy hyvin ohut flokki pinnassa ja vesi on läpinäkymätöntä, sameaa ja siinä on selvästi vielä runsaasti rasvaa kolloidisessa muodossa. Oikeanpuoleisessa pullossa on taas lipeä- ja polymeerilisäyksen jälkeen selvästi paksumpi flokkikerros rasvaa pinnassa ja vesi on kirkaampaa, jolloin silmämääräisesti voidaan todeta kolloidien koagulaatiota tapahtuneen onnistuneesti.



Kuva 15. Kenttäolosuhteissa tehty pullokoe osoitti, kuinka kemikaalien lisääminen tehosti ja nopeutti rasvan erottumista veden pinnalle. Oikeanpuoleiseen pulloon on lisätty sekä lipeää että polyelektrolyyttiä.

Lisätty polyelektrolyytti oli valmistajan rasvaisille vesille suosittama voimakkaasti kationinen, kahdesta monomeerista muodostunut, molekyylipainoltaan keskikoinen emulsiomainen kopolymeeri, kauppanimeltään SpectraFloc® 670. Valmistajan tuotetietolomakkeen mukaan polymeeri on toimiva kiintoaineen erottamiseen nesteestä esimerkiksi lietteenkuivaamisessa, flotaatiossa ja lietteen sakeutuksessa [18]. Valmiiksi nestemäinen polymeeri toimitettiin koepaikalle 10 litran kanisterissa, josta se oli laimennettava sopivaan pitoisuuteen. Valmistajan suosittama pitoisuus kyseisessä koeajossa oli 2–5 ppm tutkittavaan kokonaisvirtaan nähden.

4.2 Lipeä

Natriumhydroksidi eli lipeä on vahva emäs, joka on yleisesti teollisuuden käytössä oleva kemikaali. Lipeän avulla neutraloidaan happoja, valmistetaan paperia, selluloosaa, tekstiilejä, muoveja ja maalipoistoaineita sekä puhdistusaineita. Ominaisuuksiltaan lipeä on vaalea, hajuton, kiinteä aine, jota yleensä käytetään vesiliuoksina. Huoneenlämpötilassa yli 50-prosenttinen lipeäliuos alkaa muuttua erittäin viskoosiksi nesteeksi tai jopa kiinteäksi. Lipeää käsiteltäessä on muistettava, että vesiliuos on voimakkaasti ihoa syövyttävää ja silmiä vaurioittavaa ja kevytmetalleja (tina, alumiini, sinkki, magnesium) syövyttävää. [19.]

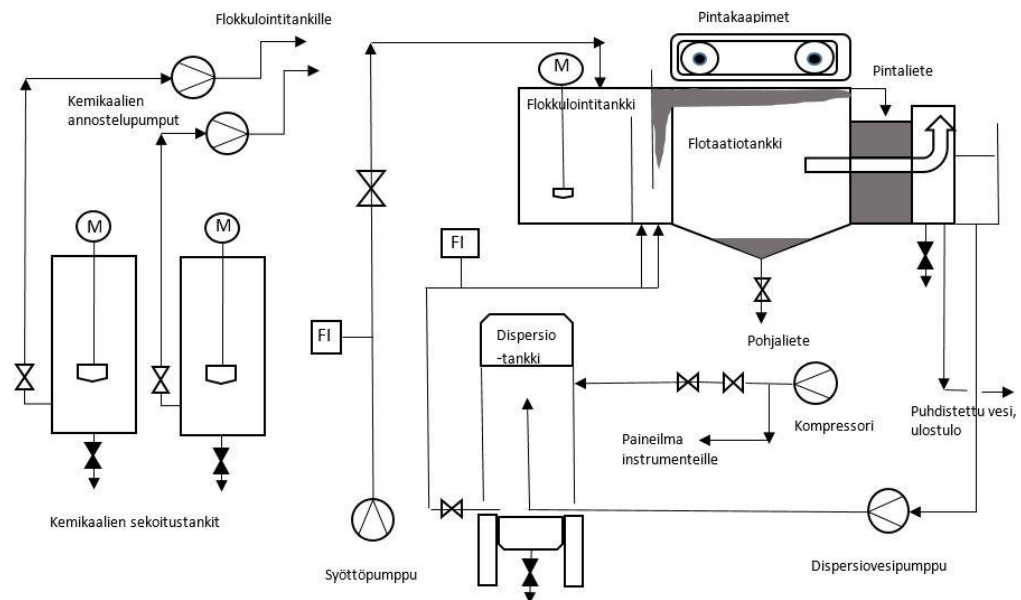
Koeajossa lipeää käytettiin syöttövirtauksen pH:n nostoon, sillä tutkittavan veden pH oli erittäin alhainen, keskimäärin 2,9 ja pullotestin mukaan korkeampi pH olisi rasvan erottumisen kannalta suotuisampi. Käytetty lipeä oli Kemira Oyj:n valmistamaa 20-prosenttinen liuos, jota oli helposti saatavilla, koska sitä on normaalisti käytössä esikäsittelylaitoksen suodattimien pesurissa. Aluksi käytössä oli laimennettu liuos, mutta koeajon edessä päädyttiin käyttämään suoraan 20-prosenttista liuosta halutun pH-tason saavuttamiseksi pienemmällä annostelumäärällä.

5 Kokeen suoritus

Flotaation koeajo suoritettiin 15.6.2015–10.7.2015 Porvoossa. Pilot-laitteisto sijoitettiin esikäsittelylaitoksen viereen, syöttövirran tarjoavan prosessikaivon välittömään läheisyyteen, sillä laitteisto ei ollut ATEX-hyväksytty eikä sitä näin ollen voinut sijoittaa esikäsittelylaitoksen sisäpuolelle, joka on Ex-alue. Piha-alueelle sijoitettu laitteisto vaati heti

käyttöön otossa huolellista asentamista, jotta se asettui asfaltille tarkasti vaaka-asentoon, minkä se vaati toimiakseen moitteettomasti. Lisäksi laitteiston ympärille rakennettiin telineistä ja suojapeitteistä katos, joka suojasi sään vaihteluilta ja rasvasta kiinnostuvilta villieläimiltä.

Heti käynnistyksen jälkeen havaittiin, että laitteiston rakenne oli hieman hankala rasvaisen vesien käsittelyyn, sillä vesi syötettiin erilliseen flokkulointitankkiin [kuva 16], jossa normaalisti testattavaan veteen sekoitetaan koagulantti. Tämän jälkeen vesi kulkeutuu kahta ylivuotoa pitkin flotaatitankkiin, jonka alkupäässä veteen purkautuvat dispersioveden mikrokuplat. Mahdollinen flokkulantti pumpataan veden sekaan tavallisesti jo suoraan ylivuotokanaviin.



Kuva 16. Pilot-laitteiston virtauskaavio. Kuvasta selviää laitteiston rakenne mukaan lukien sen sisältämän dispersiovesijärjestelmän toiminta, sekoittimet, pumput, virtausmittaukset ja tyhjennykset.

Ongelman aiheutti valmiiksi erottunut rasva, joka nousi veden pintaan jo flokkulointitankissa eikä näin ollen kulkeutunut ylivuotoa pitkin ollenkaan flotaatio-osaan, josta pinta-kaapimet olisivat saaneet poistettua sen. Näin ollen laitteiston ajotapaan jouduttiin muuttamaan niin, että lipeä lisättiin ylivuotokanavaan, johon ohjeistuksen mukaan syötetään polymeeri, ja polymeeri syötettiin suoraan flotaatitankkiin dispersiokuplien sekaan. Koosteessa ei käytetty koagulanttia, joten flokkulointiosaan ei syötetty mitään kemikaalia ja liian varhaisessa vaiheessa erottuvan rasvan ongelma saatiin ratkaistua nostamalla

syöttösäiliönä toimivassa prosessikaivossa lämpötilaa yli 45 °C:seen, jolloin rasva liukeni veden sekaan ja erottui vasta ylijuuksun jälkeen flotaatitankissa.

5.1 Kemikaalien lisäys

Pilot-laitteistoa ajettiin ensin kaksi päivää ilman kemikaaleja, jotta varmistettiin laitteiston toimivuus ja toisaalta näytteiden kautta saatiin vertailuarvoja puhdistustehosta pelkän dispersioveden avulla. Tämän jälkeen aloitettiin lipeän annostelu, aluksi käytössä oli 1-prosenttiseksi laimennettu liuos, mutta koska laimealla lipeäliuoksella ei saavutettu haluttua pH:n nousua, nostettiin liuoksen pitoisuus kahden koeajopäivän ajaksi ensin 10-prosenttiin ja myöhemmin käytettiin suoraan 20-prosenttista laimentamatonta liuosta.

Kun koeajoa oli suoritettu yhdeksän päivää pelkällä lipeällä, aloitettiin polymeerin annostelu prosessiin. Tarvittava määrä polymeeriä prosessiin laskettiin valmistajan antaman suosituksen, 2–5 ppm valmista polymeeriä syöttövirtaan nähden, mukaan. Syöttö pilot-laitteistolle oli 1 m³/h ja tavoite polymeerinsyöttöön oli 3 ppm. Tarvittava polymeeri laskettiin seuraavasti:

$$3 \text{ ppm } 1 \text{ m}^3\text{:stä} = 0,000003 \text{ m}^3 = 0,003 \text{ l/h}$$

Koska kemikaalisyöttöön käytettävällä kalvopumpulla tasaisin virtaama saatiin 1 l/h syöttöllä, täytyi polymeeri laimentaa, jotta polymeeriliuosta pystyttiin syöttämään pumpun tuottama määrä. Polymeerin laimennus laskettiin seuraavasti:

$$\frac{0,003 \text{ l/h} \times 200 \text{ l (kemikaalitankin tilavuus)}}{1 \text{ l/h (haluttu pumpun tuotto)}} = 0,6 \text{ l (polymeerin määrä)}$$

Koeajoa jatkettiin tasaisen polymeerisyötön kanssa vielä viisi päivää. Tulokset on esitelty kohdassa 6 ja näytteistä tutkitut parametrit taulukoitu liitteessä 1.

5.2 Näytteenotto

Jokaisena koeajopäivänä otettiin näyte sekä pilotille tulevasta vedestä että sieltä puhdistettuna lähteneestä vedestä. Näytteet vietiin Nesteen keskuslaboratorioon, jossa näytteistä analysoitiin öljypitoisuus hiilivetyliuottimella ja kaasukromatografilla, COD ISO -

15705 menetelmän mukaisesti hapettamalla näyte rikkihapolla ja kaliumdikromaatilla ja mittaamalla jäljelle jäänyt Cr(III)-pitoisuus spektrofotometrillä, kiintoainepitoisuus suodattamalla näyte lasikuitusuodattimen läpi vakuumi- tai painesuodatuslaitteen avulla, kuitvaamalla ja punnitsemalla näyte ja pH potentiometrisesti pH-mittarilla, johon on liitetty lasielektrodi ja vertailuelektrodi tai yhdistelmäelektrodi. Pilotin pH:ta tarkkailtiin myös paikan päällä vuorohenkilöstön toimesta pH-liuskoilla [kuva 17], sillä laitteistossa ei ollut pH:n mittausta tai säädintä ja lipeänannostelu määriteltiin sen hetkisen pH-tason mukaan.



Kuva 17. Koeajon aikana kenttähenkilökunta tarkkaili poistuvan veden pH:ta pH-liuskoilla ja säätö sen mukaan lipeän syöttöä laitteistolle. Kuvassa näkyvästä altaasta otettiin myös puhdistetun veden näyte.

Edellä mainittujen neljän parametrin lisäksi kahtena päivänä otettiin vesistä laajempi analyysi, jossa määritettiin veden hiilivetytitoisuus headspace kaasukromatografilla.

Koeajon päätteeksi otettiin vielä näyte laitteiston erottamasta rasvasta tarkoituksena tutkia, löytyykö rasvan seasta polymeeria. Eläinrasva analysoitiin liuottamalla se heptaaniin, johon näyte liukeni 60-prosenttisesti. Heptaaniin liukenematon sakka oli IR-spektrin mukaan Ca-stearaattia, jonka lisäksi rasvan seassa oli jonkin verran vettä. Sen sijaan polymeeria rasvan seassa ei havaittu olevan. Rasvan sisältämä polymeerimäärä haluttiin selvittää silmällä pitäen jatkoa, koska jätevedestä puhdistettu rasva olisi tarkoitus kierrättää takaisin EK-yksikön syöttöön, jolloin suuri polymeerimäärä saattaisi aiheuttaa ongelmia prosessissa.

6 Pilotoinnin antamat tulokset

Liitteessä 1, taulukoissa 1 ja 2 on esitetty kahden kemikaalittoman ajopäivän tulokset. Näistä havaitaan, että puhdistumista on tapahtunut ja jopa pH on noussut ilman lipeää, vedestä poistuneiden rasvahappojen ansiosta. Tulokset osoittavat myös, että veteen liuenneesta kiintoaineesta ja öljystä on saatu poistettua pelkällä dispersiovedellä keskimäärin 80 prosenttia.

Tämän jälkeen pilot-laitteistolle aloitettiin lipeäannostelu varovaisesti 1-prosenttisella liuoksella, aluksi noin 5 l/h, jonka jälkeen annostelua lisättiin kun havaittiin pH:n pysyttelevän edelleen alhaisissa lukemissa. Liitteessä 1, taulukoissa 3 ja 4 on näiden kahden, laimealla lipeäliuoksella ajatun päivän tulokset. Taulukon 3 tulokset voitaneen hylätä, sillä pH:ta lukuun ottamatta tulokset näyttävät olevan käänteiset. Muista poikkeava tulos voi johtua laboratoriossa tapahtuneesta näytteenkäsittelyvirheestä tai syöttövirheestä näytteiden tulosten kirjausjärjestelmään. Taulukossa 4 nähdään lipeän lisäyksen aikaan saaneen pH hienoista nousua kolmesta viiteen. Tällöin öljystä on saatu puhdistettua reilusti yli 80 %, mutta kiintoainetta puhdistetussa vedessä oli edelleen runsaasti, sillä siitä oli saatu poistettua ainoastaan 20 %.

Liitteessä 1 neljä seuraavaa taulukkoa numeroiltaan 5–8 esittävät tulokset koeajojaksoilta, jolloin syöttö on ollut sama kuin aikaisemminkin, mutta lipeän pitoisuus on nostettu. Taulukkojen 5 ja 6 koeajossa oli käytössä 10-prosenttinen lipeäliuos ja taulukkojen 7 ja 8 koeajossa käytössä oli 20-prosenttinen. Tuloksista selviää, että vahvemmallalla lipeäliuoksella saatiin pH nousemaan, mutta sen säätö manuaalisesti ilman pH-mittausta oli äärimmäisen vaikeaa. Halutun pH-tason 9–10 saavuttaminen oli lähes mahdotonta, sillä

saavutettuaan ekvivalenttikohdan >7 , veden pH nousi suoraan lähes 11:een. Korkeammalla pH arvolla vedestä saatiin edelleen poistettua 50 % kiintoaineesta ja lähes 80 % öljystä.

Taulukossa 9 otettiin hetkeksi syöttö esikäsitteily-yksikön lattiakaivosta, jossa tiedettiin olevan paljon enemmän kiintoainetta ja rasvaa verrattuna prosessikaivoon, josta koeajon syöttö normaalisti otettiin. Tuloksista käy ilmi, että puhdistumista on tapahtunut heikosti, jos ollenkaan, mikä voi johtua pilot-laitteiston kapasiteetin riittämättömyydestä. Epäpuhauksia oli syötössä niin paljon, että tehokas flotaatioala loppui kesken, jolloin rasva ei ehtinyt nousta pintaan niin, että kaapimet olisivat poistaneet sen, vaan rasva ja kiintoaineet pääsivät puhtaalle puolelle. Kiintoaineen lisääntymistä selittää lipeälisyys, jonka vuoksi NaOH on todennäköisesti ehtinyt saippuoitua runsaan rasvan kanssa, ja tämä lisää näin kiintoaineen määrää puhdistetussa vedessä.

Seuraavat kaksi päivää koeajoa, taulukot 10 ja 11, ovat jälleen alkuperäisestä prosessikaivosta ja osoittavat, että pH säädöllä ei ole ollut suurta vaikutusta puhdistustehoon. Toisessa pH on noin 8 ja toisessa 11,5 ja molemmissa kiintoaineesta on saatu puhdistettua puolet ja öljystä 90 prosenttia.

Liitteen 1 taulukossa 12 koeajoon on lisätty polymeeri. Näyte on otettu ennen kuin polymeerin pitoisuus suhteessa syötönmäärään oli säädetty kohdalleen, joten saippuoituneen lipeän lisäksi, kuten korkeasta pH:sta voi todeta, öljyn ja kiintoaineen määrää lisää liiallinen polymeeri vedessä.

Tässä koeajonvaiheessa kiinnitettiin erityistä huomiota korkeaan CODiin, johon ei ollut kyetty kovinkaan paljon vaikuttamaan koeajolla. Kahdessa seuraavassa taulukossa [taulukko 13 ja 14] on näytteistä ajetun laajemman hiilivetyypitoisuus headspace kaasukromatografi -analyysin tulokset taulukoituna. Tuloksista ilmenee, että molemmissa näytteissä oli metanolia noin 200 mg/l ja etanolia 45 mg/l ja nämä kaksi aiheuttivat veden korkean CODin. Koska molemmat aineet liukenevat veteen, niiden poistaminen kokonaan mekaanisesti tai käytössä olleilla kemiallisilla menetelmillä oli hankalaa. Polymeerisyötön tasaantumisella ei näyttänyt olevan erityistä positiivista vaikutusta puhdistustehoon.

Taulukoissa 15 ja 16 esitetään koeajon kaksi viimeistä päivää, jolloin pilot-laitteistolle ajettiin lipeää ja polymeeriä edellisten päivien tapaan, mutta syöttösäiliönä toimivasta

prosessikaivosta otettiin lämmitys pois, jotta rasva sai erottua luonnollisesti veden lämpötilan laskemisen myötä. Tämän muutoksen vuoksi syöttökohtaa laitteistolle muutettiin niin, että pumpun painelinjana toimiva letku sijoitettiin suoraan laitteiston flotaatitankkiin, jolloin veden mukana kulkeva jähmettynyt rasva sai erottua suoraan veden pinnalle. Syöttökohdan muutoksen ja lämpötilan laskun avulla saatiin eliminoitua veden korkeasta lämpötilasta aiheutuvan huonomman erottumisen mahdollisuus pois. Näytteiden antamista tuloksista voidaan nähdä, että syötön lämpötilalla ei ollut vaikutusta puhdistumiseen. COD pysyi odotetusti korkealla, mutta myöskään kiintoainetta tai öljyä ei ole erotunut aiempia koeajopäiviä enempää, joten muinakin koeajopäivinä voidaan olettaa veden ehtineen jäähtyä riittävästi sen vajaan neljän tunnin aikana, jonka sillä kesti kulkeutua laitteiston läpi.

Liitteessä 2 on listattu koeajon tulokset parametrien mukaan vertailun helpottamiseksi. Taulukosta 1 havaitaan pH:n säädön hankaluus läpi koeajon. Veden pH pysytteli happamissa lukemissa kunnes lipeämäärää lisättäessä se karkasi reilusti emäksiseksi 11:een jopa 12:een. Taulukoista 2 ja 3 näkyy, kuinka kiintoainetta ja öljyä on saatu poistettua prosentuaalisesti kaikkein eniten juuri kahtena kemikaalittomana päivänä. CODin määrään kyettiin vaikuttamaan läpi koeajon 0–15 %. Sen sijaan kiintoaineesta saatiin poistettua koeajon aikana keskimäärin 42 %, kun keskiarvoa laskettaessa on jätetty huomiotta päivän 23.6.2015 tulos, joka aiemmin todettiin mahdollisesti virheellisiksi ja päivän 9.7.2015 tulos, joka kiintoaineen osalta poikkeaa merkittävästi muiden päivien tuloksista. Veden sisältämästä öljystä saatiin poistettua koko koeajon aikana keskimäärin 77 %, kun keskiarvoa laskettaessa jätettiin edellisen tapaan huomiotta päivän 23.6.2015 virheellinen tulos ja päivän 6.7.2015 tulos, jossa tulevaan veteen verrattu puhdistetussa näyttäisi olevan enemmän öljyä, minkä aiemmin todettiin johtuvan liiallisesta polymeeristä.

Liitteessä 3 koeajon tuloksia on havainnollistettu kuvaajien avulla. Kuvassa 1 on kuvattuna kaikki neljä koeajossa analysoitua veden ominaisuutta muutosprosentteina puhdistamattomaan veteen verrattuna. Kuvaajista on jätetty pois 23.6.2015 tulos edellisessä kappaleessa perustellusta syystä. Kuvassa 2 on esitetty kaikki neljä ominaisuutta puhdistetusta vedestä analysoituina tuloksina. Kuvaajan skaalan vuoksi COD on esitetty sadanosana varsinaisesta arvostaan.

Liitteen 3 kuvaajassa 3 on veden kiintoainepitoisuus ennen ja jälkeen flotaattorin, kuvaajassa 4 öljypitoisuus ja kuvaajassa 5 COD. Kuvaajissa on esitetty myös lähtevän veden pH. Kuvaajan 5 pH on esitetty satakertaisena kuvaajan skaalauksen vuoksi.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin Neste Oyj:n Porvoon jalostamon NEXBTL-dieselin esikäsitteilylaitoksen tuottamien rasvaisten jätevesien esipuhdistamisen hyödyllisyyttä ennen varsinaiselle jätevesilaitokselle johtamista. Jäteveden sisältämän rasvan on huomattu aiheuttavan ongelmia jätevesilaitoksen flotaattorilla ja aktiivilieteprosessissa. Rasvaisten vesien puhdistamisen teoriatarkastelun lisäksi työhön kuului kokeellinen osio, jota varten vuokrattiin pilot-mittakaavainen flotaatiolaitteisto, jonka avulla rasvaisen veden flotatointia kokeiltiin käytännössä.

Flotaation koeajo kesti kuukauden. Projektin käynnistäminen sisälsi laitteiston käytön ohjeistamista, turvallisuudesta ja käytettävyydestä huolehtimista, näytteenoton ohjeistamista, yhteistyötä laboratorion kanssa ja ongelmanratkaisua rikkoontuneiden tai rakenteellisesti toimimattomien laitteiden osuessa kohdalle.

Tulosten tarkastelussa on otettava huomioon, että pientä vääristymistä on voinut aiheutua näytteenotossa, joka oli vaihtelevasti noin kolmenkymmenen eri vuorohenkilön vastuulla, joten näytteenotokohdassa tai -tavassa on voinut olla inhimillistä eroavaisuutta. Lisäksi varsinkin koeajon loppuvaiheessa oli havaittavissa laitteiston likaantumista. Pilotlaitteen sisäinen dispersiovedenvalmistussysteemi käytti flotaattorilla esipuhdistettua vettä, joten dispersiosysteemin likaantumiselta ei voitu välttyä koeajon edetessä. Loppuajasta laitteisto ei enää kyennyt tuottamaan täysin laadukasta mikrokuplaa, joskin riittävän hyvää, jotta koeajo saatiin vietyä loppuun saakka.

Koeajossa selvisi, että flotaatiolla voidaan vaikuttaa hyvinkin paljon jätevesivirran sisältämiin epäpuhtauksiin ja rasvasta saatiin erotettua jopa 80 prosenttia pelkän dispersioveden avulla. Näytteistä otettujen analyysien mukaan testattujen kemikaalien, lipeä ja kationinen polyelektrolyytti, lisäämisellä ei näyttänyt olevan parantavaa vaikutusta puhdistustehoon, vaan vaikutus näytti joissain tapauksissa olevan jopa päinvastainen. Lisäksi saatiin selville, että koeajossa käytetyn jätevesivirran COD oli lähtöisin pääasiallisesti veteen liuenneesta metanolista ja etanolista, joita ei flotaattorilla voida poistaa.

Koska kaikki jätevesilaitokselle tulevat rasvaisen veden virrat ovat kohtalaisen samankaltaisia ominaisuuksiltaan, olisi ne koeajon antamien tulosten perusteella järkevää koota yhteen esiselkeytysäiliöön, josta vesi pumpataan flotaattorille tai sen kaltaiselle

yksinkertaiselle esipuhdistuslaitokselle. Tällä vältettäisiin myös rasvan ajaminen erehdyksessä suoraan jätevesilaitokselle, sillä vahingon sattuessa rasva saataisiin kiinni esiselkeytysäiliössä tai esipuhdistuslaitoksella. Flotaattori olisi mielekäs esipuhdistusmenetelmä, sillä varsinkin ilman kemikaalien lisäystarvetta se on edullinen käyttää ja sen avulla erotettu rasva voitaisiin edelleen hyödyntää ja pumpata takaisin esikäsitteily-yksikön syöttöön.

Vaikka flotaattorin avulla ei pystytty vaikuttamaan veteen liunneen metanolin ja etanolin aiheuttamaan CODiin, saatiin kiinteän orgaanisen aineksen aiheuttamaa CODia laitteistolla laskettua. Näin ollen flotaattorin puhdistustehoa voidaan pitää oikein mitoitettuna riittävänä, sillä jätevesilaitoksen aktiivilieteprosessi pystyy hoitamaan jäljelle jääneen CODin.

Esiselkeytysäiliön tilavuus ja flotaattorin tehollinen pinta-ala ja kapasiteetti tulisi laskea riittävän suureksi ottaen huomioon raaka-ainelaivojen saapumistiheys, tankinpesuvesien määrä ja itse esikäsitteilylaitoksen tuottama jatkuva jätevesivirta. Lisäksi pienimuotoisen flotaattorin dispersiovedelle olisi kannattavaa varmistaa puhtaan veden saanti esimerkiksi käyttöhyödykeverkosta, sillä flotaattorilla esipuhdistettu vesi ei ole riittävän puhdasta uudelleenkierrätettäväksi dispersioveden valmistukseen.

Lähteet

- 1 Neste Portaali. Yritystieto. Uusiutuvat tuotteet. Uusiutuvat tuotteet 2015. Luettu 26.9.2015.
- 2 Nesteen sisäinen ohje OQD-8681. NEXBTL esikäsittely 2 käyttökäsikirja. 31.5.2013.
- 3 Neste Portaali. Uusiutuvat polttoaineet. Raaka-aineet. Eläinrasvat. 20.9.2008.
- 4 Nesteen sisäinen ohje OQD-6456. Kasviöljyjen ja eläinrasvojen hallinta Porvoon jalostamolla. 2.1.2015.
- 5 Paronen, Maarit. Diplomityö. 2006. Rasvaisten ja öljyisten jätevesien biologisen puhdistuksen mallinnus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemiantelekniiikan osasto.
- 6 Nesteen sisäinen ohje OQD-6880. Säiliön H21 toimintaselostus. 24.10.2012.
- 7 Gerard Faaji, Operations Engineer. Neste Oyj, Rotterdam. Ken Yong, Process Engineer. Neste Oyj, Singapore. Sähköpostikeskustelu. 3.6.2015.
- 8 Nesteen sisäinen ohje OQD-1684. Aktiivilietelaitoksen käsikirja. 24.9.2015.
- 9 Stanley E. Manahan. 2000. Environmental Chemistry. USA: Lewis Publishers.
- 10 Ronald L. Droste. 1997. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- 11 David Alexander Mitchell. 2010. Production of a fermented solid containing lipases of rhizopus microsporus and its application in the pre-hydrolysis of a highfat dairy wastewater. Verkkodokumentti. <www.researchgate.net/profile/david_mitchell8/publication/41764896_production_of_a_fermented_solid_containing_lipases_of_rhizopus_microsporus_and_its_application_in_the_pre-hydrolysis_of_a_high-fat_dairy_wastewater/links/0912f507dd5a36f14f000000.pdf> Luettu 28.9.2015.
- 12 Tom Stephenson, Richard Stuetz. 2002. Principles of Water and Wastewater Treatment Processes. Lontoo: IWA Publishing.
- 13 Syed R. Qasim. 1999. Wastewater treatment plants. Planning, design, and operation. USA: CRC Press.

- 14 Jarmo Siivinen & Amar Mahiout. Pintakäsittelylaitosten jätevesikuormituksen vähentäminen. Osa 1. Kirjallisuusselvitys. 1999. Verkkodokumentti. <www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1983.pdf>. Luettu 2.10.2015.
- 15 Pinellas County Utilities Water Quality Management Division Grease Management Program. Fats, Oil and Grease Best Management Practices Manual. <www.pinellascounty.org/utilities/PDF/FOGMgtPractice53006.pdf>. Luettu 2.10.2015.
- 16 Pekkarinen, Maria. 2005. Rasvaisten jätevesien puhdistus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemianteeniikan osasto. <doria.fi/bitstream/handle/10024/34428/nbnfi-fe20051314.pdf?sequence=1>.
- 17 Flootech. 2012. Verkkosivut. <flootech.com/?page=flootech_-_fi>. Luettu 6.10.2015.
- 18 Baker Huges. 21.4.2015. Product Data sheet. Sähköposti.
- 19 Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet. OVA-ohje. Verkkodokumentti. Työterveyslaitos. <<http://www.ttl.fi/ova/naoh.pdf>>. Luettu 19.10.2015.

Pilotoinnin päiväkohtaiset tulokset

Taulukko 1. Ei kemikaaleja.

16.6.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	3,1	0,2	6,9
Kiintoaine mg/l	17	<2	15	88,2
Öljy mg/l	31	0,31	30,69	99,0
COD mg/l	4600	3900	700	15,2

Taulukko 2. Ei kemikaaleja.

17.6.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	3	0,1	3,5
Kiintoaine mg/l	39	9,5	29,5	75,6
Öljy mg/l	15	2,7	12,3	82,0
COD mg/l	4700	4200	500	10,6

Taulukko 3. 1-prosenttinen lipeä lisätty.

23.6.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	3,3	0,4	13,8
Kiintoaine mg/l	22	110	-88	-400,0
Öljy mg/l	7,4	37	-29,6	-400,0
COD mg/l	4700	4900	-200	-4,3

Taulukko 4. 1-prosenttinen lipeä lisätty.

24.6.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	3	5,1	2,1	70,0
Kiintoaine mg/l	11	8,8	2,2	20,0
Öljy mg/l	12	1,5	10,5	87,5
COD mg/l	4600	4500	100	2,2

Taulukko 5. 10-prosenttinen lipeä lisätty

25.6.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	3	11,5	8,5	283,3
Kiintoaine mg/l	48	20	28	58,3
Öljy mg/l	11	1,5	9,5	86,4
COD mg/l	4100	4100	0	0

Taulukko 6. 10-prosenttinen lipeä lisätty

26.6.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	4,5	1,6	55,2
Kiintoaine mg/l	25	12	13	52,0
Öljy mg/l	12	2,8	9,2	76,7
COD mg/l	4600	4300	300	6,5

Taulukko 7. 20-prosenttinen lipeä lisätty

29.6.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	12,1	9,2	317,2
Kiintoaine mg/l	30	14	16	53,3
Öljy mg/l	27	1,4	25,6	94,8
COD mg/l	4600	4500	100	2,2

Taulukko 8. 20-prosenttinen lipeä lisätty

30.6.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	12	9,1	313,8
Kiintoaine mg/l	25	14	11	44,0
Öljy mg/l	8,6	2,2	6,4	74,4
COD mg/l	4500	4300	200	4,4

Taulukko 9. Syötössä kiintoainepitoinen lattiakaivon sisältö.

1.7.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	11,3	8,4	289,7
Kiintoaine mg/l	92	93	-1	-1,1
Öljy mg/l	32	26	6	18,8
COD mg/l	5200	5100	100	1,9

Taulukko 10. 20-prosenttinen lipeä lisätty

2.7.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	8,1	5,2	179,3
Kiintoaine mg/l	32	15	17	53,1
Öljy mg/l	15	1,4	13,6	90,7
COD mg/l	4900	4700	200	4,1

Taulukko 11. 20-prosenttinen lipeä lisätty

3.7.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	11,5	8,6	296,6
Kiintoaine mg/l	170	82	88	51,8
Öljy mg/l	200	20	180	90,0
COD mg/l	5600	4800	800	14,3

Taulukko 12. 20-prosenttinen lipeä ja polymeeri lisätty

6.7.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	12,1	9,2	317,2
Kiintoaine mg/l	39	43	-4	-10,3
Öljy mg/l	52	64	-12	-23,1
COD mg/l	4800	4800	0	0

Taulukko 13. 20-prosenttinen lipeä ja polymeeri lisätty

7.7.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
Hiilivedyt	293,4	246,6	46,8	15,9
MTBE	0,0	0,0	0,0	0,0
ETBE	0,0	0,0	0,0	29,7
Metanoli	209,9	157,8	52,1	24,8
Etanoli	45,0	44,7	0,3	0,7
TAME	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	2,9	11,2	8,3	287,2
DOC	1500,0	1530,0	-30,0	-2,0
Ksyleenit	0,4	0,3	0,0	13,6
Asetoni	43,9	40,3	3,6	8,1
Tolueeni	0,2	0,1	0,1	56,0
Asetonitrilli	269,9	5,8	264,1	97,8
Bentseeni	0,1	0,1	0,0	36,6
Kiintoaine	32,0	24,5	7,5	23,4
Öljy-gc	30,5	3,4	27,1	88,9
TAAE	0,3	0,1	0,2	56,8
Et-bents	0,2	0,0	0,1	76,6
COD	4600,0	4520,0	80,0	1,7

Taulukko 14. 20-prosenttinen lipeä ja polymeeri lisätty

8.7.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
Hiilivedyt	312,5	247,2	65,2	20,9
MTBE	0,0	0,0	0,0	0,0
ETBE	0,0	0,0	0,0	43,7
Metanoli	216,3	175,4	40,9	18,9
Etanoli	42,7	45,4	-2,7	-6,4
TAME	0,0	0,0	0,0	100,0
pH	2,9	9,9	7,0	241,7
DOC	292,2	294,1	-1,9	-0,7
Ksyleenit	0,4	0,2	0,1	37,5
Asetoni	45,2	39,6	5,6	12,4
Tolueeni	0,2	0,1	0,1	55,0
Asetonitriili	277,2	5,7	271,5	97,9
Bentseeni	0,1	0,1	0,0	19,7
Kiintoaine	137,5	93,5	44,0	32,0
Öljy-gc	133,0	54,4	78,6	59,1
TAAE	0,3	0,2	0,1	38,3
Et-bents	0,1	0,0	0,1	74,2
COD	4950,0	4800,0	150,0	3,0

Taulukko 15. 20-prosenttinen lipeä ja polymeeri lisätty, prosessikaivo ilman lämmitystä

9.7.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	4,65	10,98	6,33	136,1
Kiintoaine mg/l	19,5	34	-14,5	-74,4
Öljy mg/l	3,15	1,7	1,45	46,0
COD mg/l	4750	4490	260	5,5

Taulukko 16. 20-prosenttinen lipeä ja polymeeri lisätty, prosessikaivo ilman lämmitystä

10.7.	Syöttö	Lähtevä	Muutos	Muutos %
pH	2,9	10,9	8	275,9
Kiintoaine mg/l	62	29	33	53,2
Öljy mg/l	32	6,9	25,1	78,4
COD mg/l	4900	4700	200	4,1

Pilotoinnin tulokset tukittujen ominaisuuksien mukaan taulukoituna

Taulukko 1. Tulevan ja lähtevän veden pH koeajon jokaiselta päivältä

Pvm	Ennen	Jälkeen	Muutos	Muutos %
16.6.	2,9	3,1	0,2	6,90
17.6.	2,9	3	0,1	3,45
23.6.	2,9	3,3	0,4	13,79
24.6.	3	5,1	2,1	70,00
25.6.	3	11,5	8,5	283,33
26.6.	2,9	4,5	1,6	55,17
29.6.	2,9	12,1	9,2	317,24
30.6.	2,9	12	9,1	313,79
1.7.	2,9	11,3	8,4	289,66
2.7.	2,9	8,1	5,2	179,31
3.7.	2,9	11,5	8,6	296,55
6.7.	2,9	12,1	9,2	317,24
7.7.	2,9	11,19	8,29	285,86
8.7.	2,9	9,91	7,01	241,72
9.7.	4,65	10,98	6,33	136,13
10.7.	2,9	10,9	8	275,86

Taulukko 2. Tulevan ja lähtevän veden kiintoainepitoisuus koeajon jokaiselta päivältä

Pvm	Ennen	Jälkeen	Muutos	Muutos %
16.6.	17	2	15	88,24
17.6.	39	9,5	29,5	75,64
23.6.	22	110	-88	-400,00
24.6.	11	8,8	2,2	20,00
25.6.	48	20	28	58,33
26.6.	25	12	13	52,00
29.6.	30	14	16	53,33
30.6.	25	14	11	44,00
1.7.	92	93	-1	-1,09
2.7.	32	15	17	53,13
3.7.	170	82	88	51,76
6.7.	39	43	-4	-10,26
7.7.	32	24,50	7,50	23,44
8.7.	137,5	93,5	44	32,00
9.7.	19,5	34	-14,5	-74,36
10.7.	62	29	33	53,23

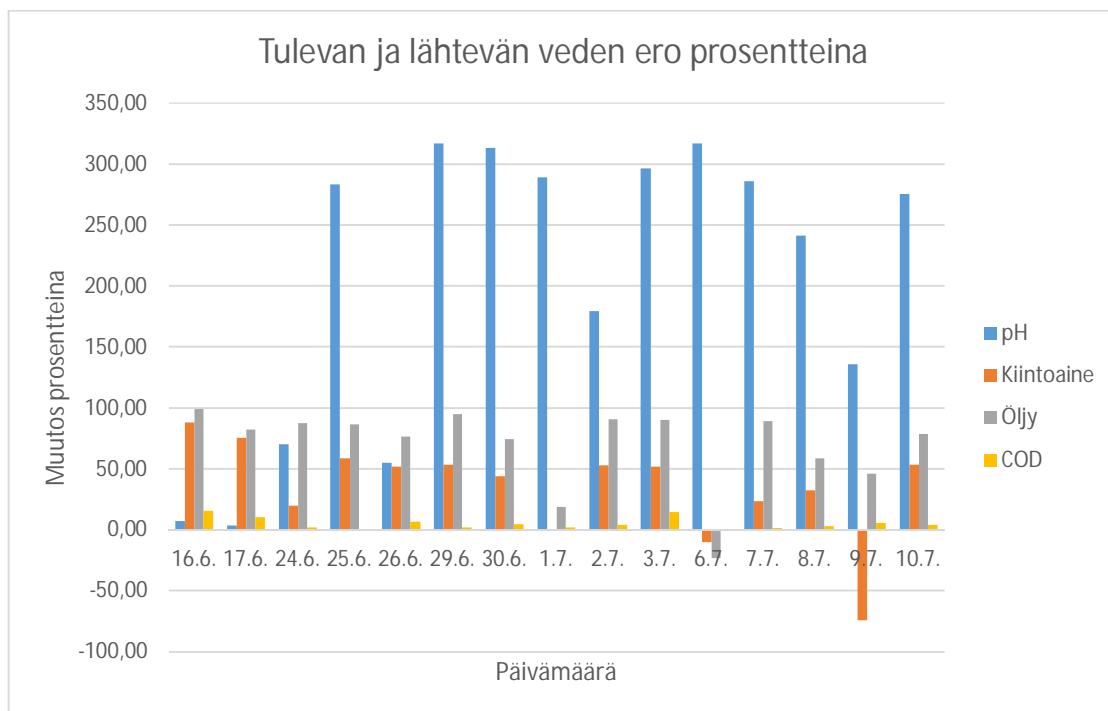
Taulukko 3. Tulevan ja lähtevän veden öljypitoisuus koeajon jokaiselta päivältä

Pvm	Ennen	Jälkeen	Muutos	Muutos %
16.6.	31	0,31	30,69	99,00
17.6.	15	2,7	12,3	82,00
23.6.	7,4	37	-29,6	-400,00
24.6.	12	1,5	10,5	87,50
25.6.	11	1,5	9,5	86,36
26.6.	12	2,8	9,2	76,67
29.6.	27	1,4	25,6	94,81
30.6.	8,6	2,2	6,4	74,42
1.7.	32	26	6	18,75
2.7.	15	1,4	13,6	90,67
3.7.	200	20	180	90,00
6.7.	52	64	-12	-23,08
7.7.	30,51	3,38	27,13	88,92
8.7.	133,01	54,37	78,64	59,12
9.7.	3,15	1,7	1,45	46,03
10.7.	32	6,9	25,1	78,44

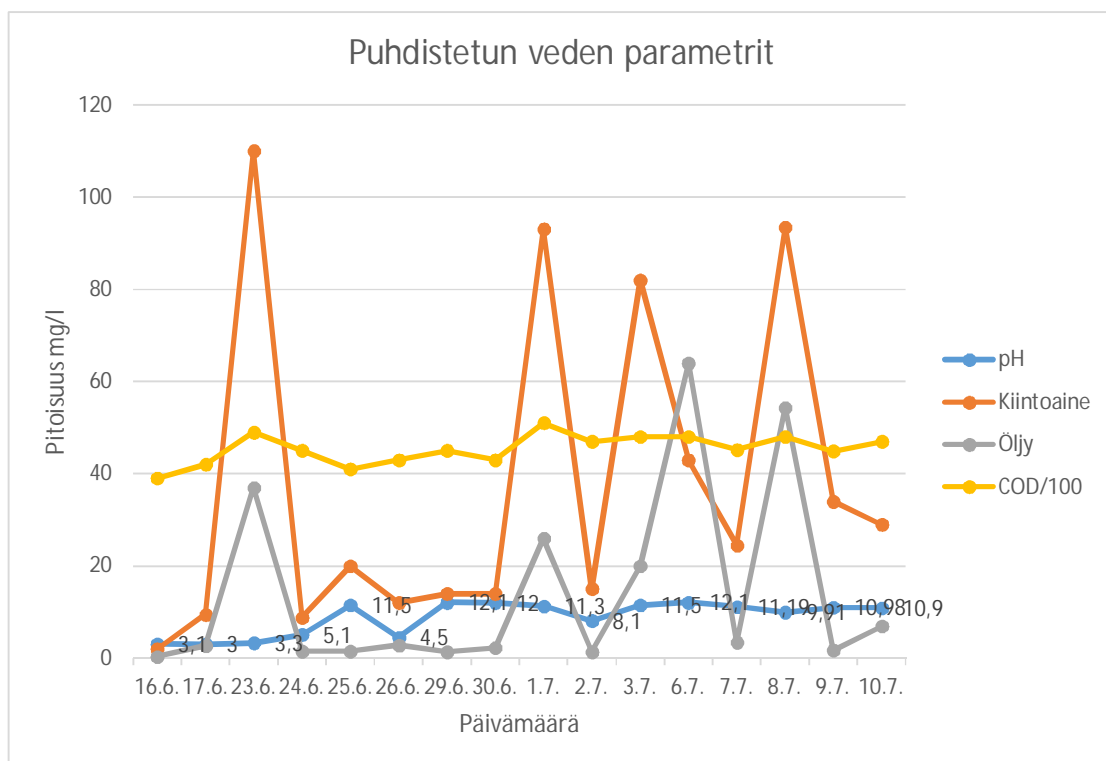
Taulukko 4. Tulevan ja lähtevän veden COD koeajon jokaiselta päivältä

Pvm	Ennen	Jälkeen	Muutos	Muutos %
16.6.	4600	3900	700	15,22
17.6.	4700	4200	500	10,64
23.6.	4700	4900	-200	-4,26
24.6.	4600	4500	100	2,17
25.6.	4100	4100	0	0,00
26.6.	4600	4300	300	6,52
29.6.	4600	4500	100	2,17
30.6.	4500	4300	200	4,44
1.7.	5200	5100	100	1,92
2.7.	4900	4700	200	4,08
3.7.	5600	4800	800	14,29
6.7.	4800	4800	0	0,00
7.7.	4600	4520	80	1,74
8.7.	4950	4800	150	3,03
9.7.	4750	4490	260	5,47
10.7.	4900	4700	200	4,08

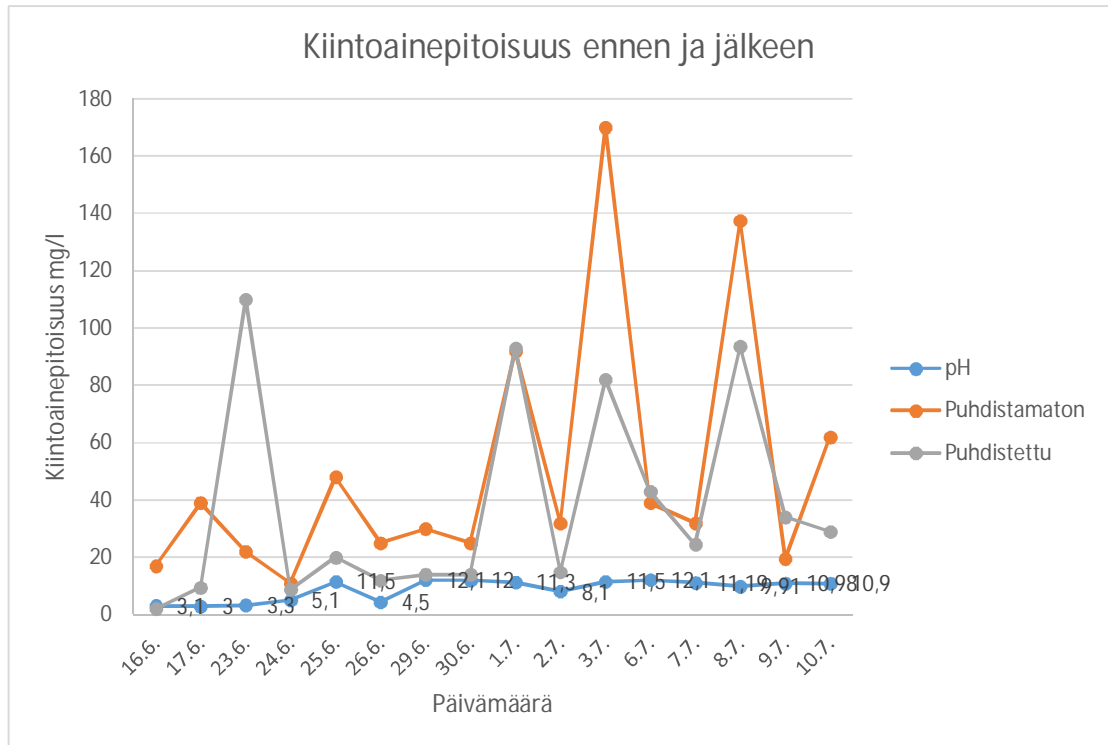
Pilotoinnin tulokset kaavioina



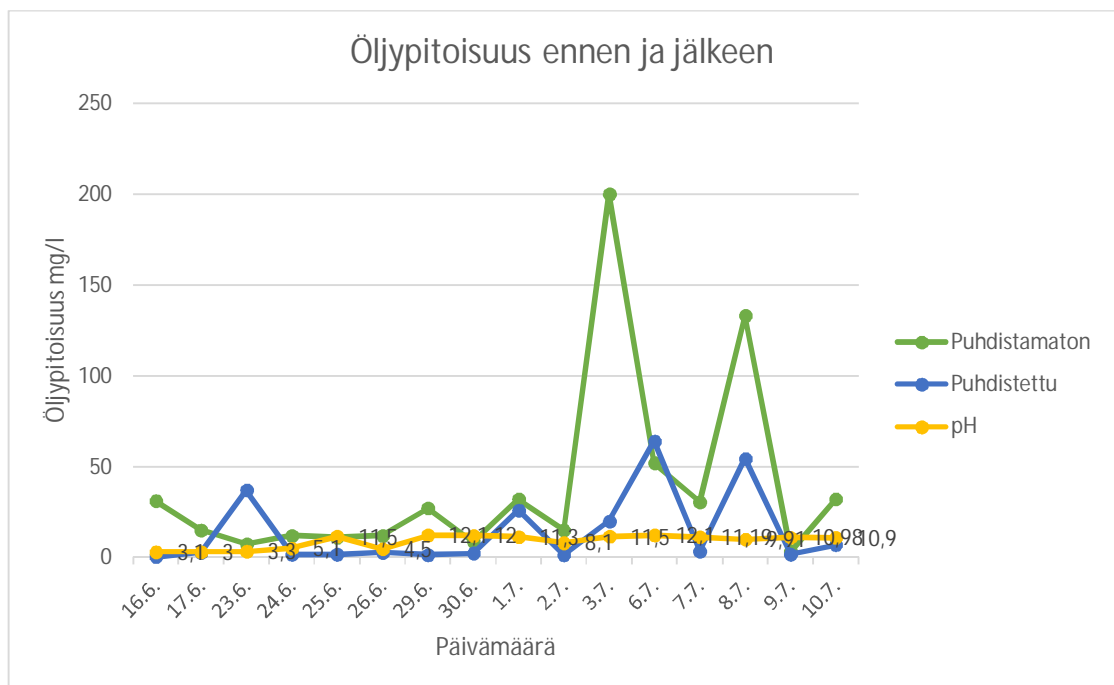
Kuva 1. Muutosprosentit kertovat, kuinka paljon veden sisältämiin epäpuhtauksiin on pystytty vaikuttamaan kunakin koeajon päivänä. Kuvaajassa näkyy myös pH:n raju vaihtelu koeajon aikana.



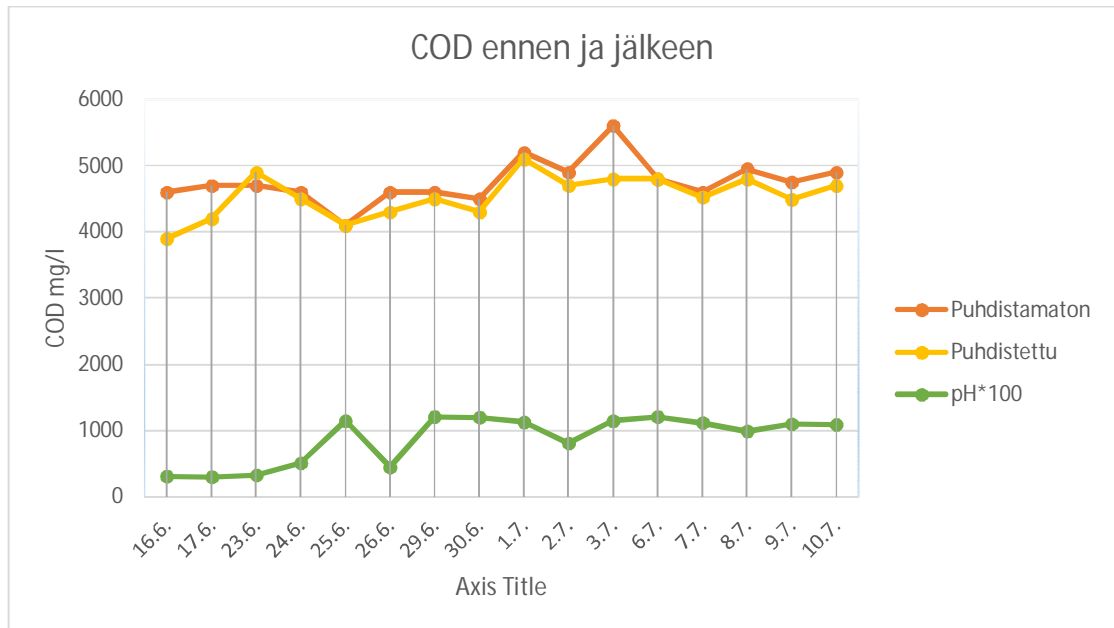
Kuva 2. Puhdistetun veden tuloksista voidaan havaita flotaattorin puhdistusteho. Sekä öljy- että kiintoainepitoisuudessa päästiin useimpina koeajopäivinä alle 50 mg/l. Kuvaajan skaalauksen vuoksi COD on esitetty sadanasana varsinaisesta arvostaan.



Kuva 3. Veden kiintoainepitoisuus ennen flotaattoria ja sen jälkeen.



Kuva 4. Veden öljypitoisuus ennen flotaattoria ja sen jälkeen.



Kuva 5. Veden sisältämä COD ennen flotaattoria ja sen jälkeen. Kuvaajasta nähdään, että CODiin on pystytty vaikuttamaan jonkin verran läpi koeajon, joskin pH:lla ei ole ollut vaikutusta puhdistumiseen.