

Opinnäytetyö (AMK)

Tekniikka, ympäristö ja talous

Kala- ja ympäristötalous

2011

Mari Virtanen

KIERTOVEDESILAITOKSEN KÄYNNISTÄMINEN

– RKTL:n Rymättylän kalantutkimusaseman
Paraisten yksikkö



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Kala- ja ympäristötalouden koulutusohjelma

Opinnäytetyön valmistumisajankohta 30.5.2011 | Sivumäärä 50 ja 4 liitettä

Ohjaajat: Pasi Korvonen ja Susanna Airaksinen

Mari Virtanen

KIERTOVESILAITOKSEN KÄYNNISTÄMINEN -RKTL:N RYMÄTTYLÄN KALANTUTKIMUSASEMAN PARAISTEN YKSIKKÖ

Paraisilla on vuoden 2010 alusta toiminut Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen uusi murtovertä käyttävä kiertovesilaitos. Kiertovesilaitoksessa kala-altaiden vesi puhdistetaan biologisesti ja käytetään uudelleen. Puhdistus perustuu nitrifikaatioon, jossa biosuodattimeen kasvatetut bakteerit hapettavat ammoniumin nitraatiksi. Kiertovesilaitoksia on Suomessa jonkin verran, mutta muita murtovedellä toimivia laitoksia ei Suomessa vielä ole.

Tutkimuksen avulla haluttiin saada tietoa, miten ja kuinka nopeasti murtovertä käyttäviin laitoksiin saadaan biosuodattimiin toimiva bakteerikanta ja kasvatusvedenlaatu vaatimusten mukaiseksi. Tutkimuksessa laitoksen veden puhdistus käynnistettiin kasvattamalla biosuodattimien bakteerikanta kemiallisesti ammoniumkloridin avulla sekä toisena vaihtoehtona pienen kalamäärän avulla ilman kemiallisia apuaineita.

Kiertovesijärjestelmä käynnistyi kemiallisesti seitsemässä viikossa eli samassa ajassa kuin vastaavat makean veden laitokset. Pienellä määrällä kalaa laitos saatiin käyntiin kolmessa kuukaudessa.

Tutkimuksen perusteella murtovertä käyttävä kiertovesilaitos voidaan käynnistää kemiallisesti ammoniumkloridin avulla tai ottamalla laitokseen pieni määrä kalaa tuottamaan ammoniumia ja kasvattamaan vettä puhdistavaa bakteerikalvoa biosuodattimiin. Molemmilla tavoilla saadaan laitos käynnistymään kahdessa, kolmessa kuukaudessa, eikä murtoveden suolaisuus näytä hidastavan bakteerikasvuston kehittymistä. Laitteisiin kiteytyvä suola lisää hieman laitoksen rutiinitöitä.

ASIASANAT:

Vesiviljely, kiertovesilaitos, nitrifikaatio, biologinen vedenpuhdistus, kalankasvatus

Mari Virtanen

THE STARTING OF THE BRACKISH WATER RECIRCULATING SYSTEM -THE FINNISH GAME AND FISHERIES RESEARCH INSTITUTE, PARAINEN

The Finnish Game and Fisheries Research Institute built a recirculating aquaculture system in Parainen early in the year 2010. There are some fresh water recirculating systems, but the system of the study is the first brackish water recirculating system in Finland.

In the recirculating system water is cleaned by biofilters and then it is used again. The cleaning of water is based on nitrification. In other words, the process occurs in the biofilter that converts toxic ammonia and nitrite into much less toxic nitrate. New recirculating systems have not enough bacteria established in the biofilter to reduce ammonia and nitrite to non-toxic levels.

The objective of the study was to examine how long it takes to start a brackish water recirculating system, and to provide a suitable environment for intensive fish production. The bacteria in the biofilter were established in two ways: by adding ammonia directly into the system and by adding a small number of fish into the system.

The results indicate that it required seven weeks to establish biofilter by adding ammonia and three months by adding some fish. Based on this it requires no longer time to cycle a biofilter with brackish water than fresh water. Some extra work must be done because of crystallized salt. The results of the study can be used to starting new brackish water recirculating systems.

KEYWORDS:

Fish farming, aquaculture, recirculation, recirculating system, water reuse system, water quality, biofilter, bioreactor

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 KIERTOVEDSIJÄRJESTELMÄ VESIVILJELYSSÄ	9
2.1 Tulovesi	10
2.2 Mekaaninen puhdistus	11
2.3 Biologinen puhdistus	11
2.4 Ilmastus ja hapetus	13
2.5 Kiertoveden desinfiointi	14
3 VEDEN LAATU VESIVILJELYSSÄ	15
3.1 Typpiyhdisteet	17
3.1.1 Ammonium (NH_4^+ ja NH_3)	17
3.1.2 Nitriitti (NO_2^-)	18
3.1.3 Nitraatti (NO_3^-)	18
3.2 pH ja alkaliniteetti	19
3.3 Happi	20
3.4 Lämpötila	21
3.5 Hiilidioksidi	21
3.6 Kiintoaine	22
3.7 Makua aiheuttavat yhdisteet	22
3.8 Raskasmetallit	23
4 JÄRJESTELMÄN KÄYNNISTYS	23
5 MENETELMÄT	26
5.1 Murtovesi	26
5.2 Paraisten kiertovesilaitos	27
5.3 Käynnistäminen kaloilla	31
5.4 Käynnistäminen kemikaaleilla	32
5.4.1 Järjestelmän käynnistäminen	32
5.4.2 Näytteenotto	34
6 TULOKSET	35
6.1 Käynnistys kaloilla	35
6.2 Käynnistys kemikaalilla	37
7 TULOSTEN TARKASTELU	42
7.1 Typpiyhdisteiden muutokset kalakäynnistyksessä	42
7.2 Typpiyhdisteiden muutokset kemikaalikäynnistyksessä	43

7.3 Muiden mittaustulosten arviointia	44
7.4 Lopuksi	45
LÄHTEET	47

LIITTEET

Liite 1. Kiertovesilaitoksen pohjakuva	
Liite 2. Kemikaalikäynnistyksessä tehdyt toimenpiteet	
Liite 3. Kemikaalikäynnistyksen mittaustulokset	
Liite 4. Vesianalyysin tulokset	

KUVAT

Kuva 1. Kiertovesilaitoksen toimintaperiaate	10
Kuva 2. Bakterikalvon kehittyminen biosuodattimen muovirakeissa. A kohdassa rae on puhdas, B kohdassa on kehittynyt jo pieni bakterikalvo ja C kohdassa bakterikalvo on tarpeeksi kehittynyt toimiakseen kunnolla. (Tal ym. 2003, 192.)	24
Kuva 3. Tutkimuksen kiertovesilaitos.	27
Kuva 4. Kiertovesilaitoksen suodattimia. Vasemmassa alakulmassa on rumpusuodatin, siniset ovat ”moving bed”-biosuodattimia.	29
Kuva 5. Biosuodattimessa bakterikalvon kasvualustana toimivia muovirakeita.	30
Kuva 6. Laitoksen bioblokkisuodatin. Bioblokkisuodatin on sinisen tankin vieressä oleva musta laatikko. Vasemmalla on hapetukolonni ja takana veden välisäiliö.	30

KUVIOT

Kuvio 1. Tyypillinen ammoniumin (NH_4) ja nitriitin (NO_2) kehittyminen vuorokausissa kasvatettaessa bakteereja biosuodattimiin. (Masser ym. 1999, 5.) Muokattu	25
Kuvio 2. Typpiyhdisteiden (ionisoitunut ammonium NH_4 , ei-ionisoitunut ammonium NH_3 ja nitraatti NO_3) pitoisuus kalakäynnistyksessä.	36
Kuvio 3. Ammoniumipitoisuudet (TAN, NH_4+NH_3 , mg/l) käynnistämisvaiheessa.	38
Kuvio 4. Nitriittipitoisuudet (NO_2 , mg/l) käynnistämisvaiheessa.	39
Kuvio 5. Nitraattipitoisuudet (NO_3 , mg/l) käynnistämisvaiheessa.	39
Kuvio 6. Typpiyhdisteiden suhde toisiinsa tutkimuksen aikana.	40

TAULUKOT

Taulukko 1. Lohikalojen veden laadun vaatimukset vesiviljelyssä. Luvut ovat mg/l. (Summerfelt 1996; Timmons ym. 2002; Masser ym. 1999.)	16
Taulukko 2. Lämpötilan ja pH:n vaikutus ammoniumpitoisuuteen. Ei-ionisoituneen ammoniumin (NH_3) osuus prosentteina kokonaisammoniumista. (Masser ym. 1999, 4) Muokattu	17
Taulukko 3. Paraisten kiertovesilaitoksen vesitilavuudet (m^3) ja virtaamat (l/aikayksikkö) (Kalavesi Konsultit Oy 2008)	28

Taulukko 4. Kalakäynnistyksen pH- ja happipitoisuus (%) tutkimuksen aikana.	35
Taulukko 5. Typpiyhdisteiden pitoisuudet kalakäynnistyksessä	37
Taulukko 6. Laajemman vesianalyysin tulokset huhtikuussa 2011.....	41
Taulukko 7. Kontrollikierrossa mitatut pitoisuudet.	41

1 JOHDANTO

Neljän viimeisen vuosikymmenen aikana vesiviljely ja kalankasvatus ovat käyneet läpi suuria muutoksia pienestä sivuelinkeinosta isoksi osaksi Suomen kalataloutta. Kalankasvatus on maailmalla edelleen nopeimmin kasvava elintarviketuotannon ala, joka tarjoaa ratkaisevan osan ruokatuotannosta väestön koko ajan lisääntyessä. (Vielma ym. 2006, 1; Setälä ym. 2007, 3; Guerdat ym. 2010, 38.)

Kalan kaupallinen kasvatus alkoi Suomessa 1950-luvun lopussa lohikalojen istukastuotantona ja ravintolammikkokasvatuksena. 1980-luku oli alalla voimakkaan kasvun aikaa, kunnes 1990-luvun puolivälistä alkaen vesistöjen rehevöityminen aiheutti ympäristökiistoja ja kalankasvatus nousi voimakkaan julkisen huomion kohteeksi sen ekologisten vaikutusten vuoksi. Toiminnalta alettiin vaatia vesioikeuden lupa. Kalankasvatusluvissa, jotka pyrkivät rajoittamaan ravinnekuormitusta, säädeltiin aluksi tuotantomäärää, mutta nykyään on siirrytty kuormituslupa. (Vielma ym. 2006, 1.) Kalankasvatuksen kuormitus on laskenut 1990-luvun alkupuolelta lähtien. Varsinais-Suomen puoleiseen Saaristomereen kalankasvatuksesta on päässyt vuosina 2005 – 2009 noin 18 tonnia fosforia ja 145 tonnia typpeä vuosittain. Osuus merialueen fosforikuormituksesta oli noin 3% ja typpikuormituksesta 2%. (Varsinais-Suomen elinkeino- ja ympäristökeskus 2011, 24.)

Kotimaisen kalankasvatuksen menestyminen kansainvälistyneillä markkinoilla edellyttää tuotantoyksiköiden koon kasvattamista, mikä on nykyisillä ympäristölupaehdoilla erittäin vaikeaa. Suomalaisten haasteena onkin kehittää sellaisia tuotantostrategioita, joilla kalankasvatuksen toiminnan kannattavuus paranee ja ympäristökuormitus laskee. (Vielma ym. 2006, 2.) Kiertovesikasvatus edustaa uutta, maailmalla laajenevaa tuotantoteknologiaa, jolla voidaan vastata varsinkin ympäristön vaatimukseen (Guerdat ym. 2010, 38). Läpivirtaussysteemiin perustuvassa viljelyssä vesi käytetään vain kerran, jolloin

veden ravinnepitoisuudet ovat suhteessa vesimäärään niin pieniä, ettei ole taloudellisesti järkevää puhdistaa laitokselta poistuvaa vettä (Myyrä 2008, 5). Kiertovesilaitoksen vedenkäsittelytekniikalla voidaan ravinnepitoinen lietevesi kerätä ja jatkokäsitellä, mikä vähentää huomattavasti laitoksen aiheuttamaa ympäristöön kohdistuvaa kuormitusta (Vielma ym. 2006, 5; Myyrä 2008, 5). Esimerkiksi lohikalojen kiertovesikasvatuksessa vedestä voidaan poistaa fosforista noin 80% (Setälä ym. 2007, 21).

Kiertovesiviljely lisää kuitenkin laitoksen kiinteitä kustannuksia, eikä tällä hetkellä ole perinteisen kassikasvatuksen kilpailukykyinen vaihtoehto. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksessa tehdyn tutkimuksen mukaan noin 600 tonnin laitoksen pääoma- ja energiakulut ovat kirjolohen kiertovesikasvatuksessa noin 0,7 €/kg suuremmat kuin verkkoallaskasvatuksessa. (Setälä ym. 2007, 21.) Taloudellisesti kannattava kiertovesituotanto tarvitseekin tuotantomenetelmien tehostamista (Koskela ym. 2008, 1).

Kiertovesikasvatus kuitenkin tarjoaa etuja perinteisiin viljelymenetelmiin verrattuna. Koska kasvatuksessa voidaan tarjota ympäri vuoden viljelylajeille optimaaliset olosuhteet, mahdollistaa se esimerkiksi joidenkin arvokkaiden lajien kysynnän mukaisen tehokkaan ja hallitun tuotannon. Suomessa uusien kasvatustajien, kuten siian ja nieriän, tuottajahinnat ovat olleet korkeat niiden kysynnän vuoksi. Uusien lajien korkea hintataso ja uusiin ympäristöystävällisiin kasvatustajien suunnatut investointituet ovat mahdollistaneet arvokkaimpien lajien kiertovesikasvatusta. (Setälä ym. 2007, 6 – 7.) Kiertovesikasvatuksella voidaan hyödyntää myös lämpimässä vedessä kasvatettavan kuhan kasvupotentiaalia ja lisätä tuotantoa markkinoiden tarpeita vastaaviksi (Koskela ym. 2007, 25).

Kiertovesikasvatuksen osuus kokonaistuotannosta on kuitenkin vielä pientä ja kokemusta kasvatustavasta on vain muutamalla yrityksellä. Myöskään tutkimuksia kiertovesilaitoksista ei Suomessa ole juuri tehty. (Vielma ym. 2006, 4.)

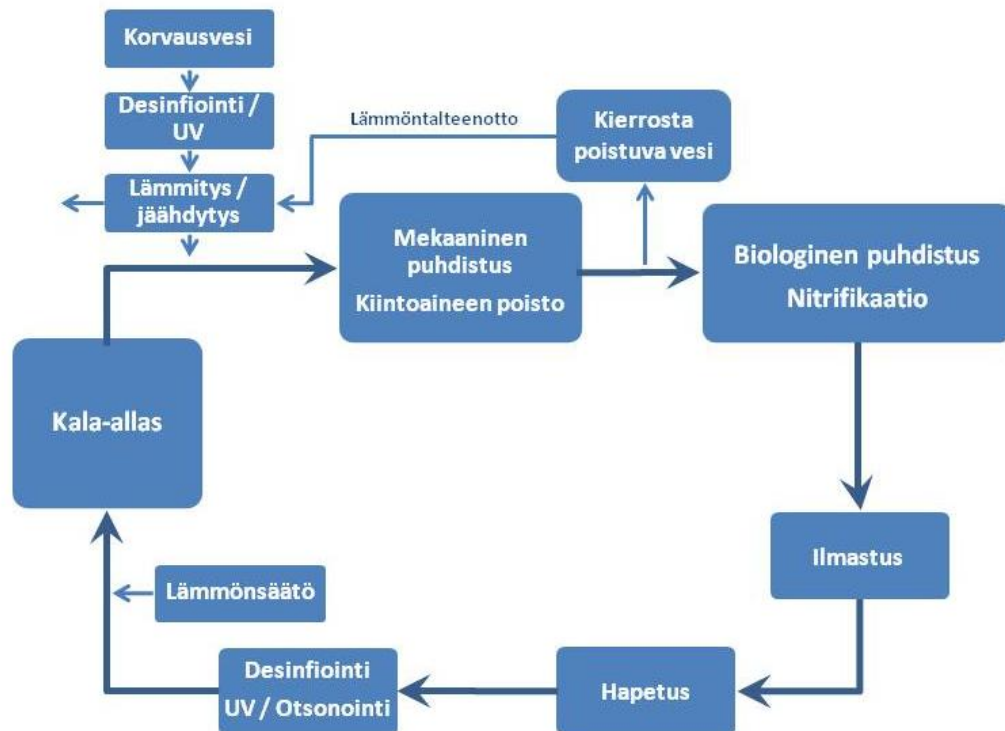
Paraisilla on vuoden 2010 alusta toiminut Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen uusi murtovedtä käyttävä kiertovesilaitos. Laitos täydentää RKTL:n tutkimustiloja – makeanveden kiertovesilaitos sijaitsee Laukaalla. Kiertovesilaitoksia on Suomessa jonkin verran, mutta muita murtovedellä toimivia laitoksia ei Suomessa vielä ole. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kiertovesilaitoksen käynnistämistä murtovedellä. Tutkimuksen avulla haluttiin saada tietoa, miten ja kuinka nopeasti vastaaviin laitoksiin saadaan biosuodattimiin toimiva bakteerikanta ja kasvatusvedenlaatu vaatimusten mukaiseksi. Tutkimuksessa laitoksen veden puhdistus käynnistettiin kasvattamalla biosuodattimien bakteerikanta kemiallisesti ammoniumkloridin avulla sekä toisena vaihtoehtona pienen kalamäärän avulla ilman kemiallisia apuaineita. Tässä työssä esitellään myös kiertovesilaitoksen toimintaperiaatteita sekä laitoksen käynnistämisvaiheessa tapahtuvia veden laadun muutoksia.

2 KIERTOVEDSIJÄRJESTELMÄ VESIVILJELYSSÄ

Kiertovesikasvatuksella tarkoitetaan kalantuotantomuotoa, jossa kiertovesijärjestelmän läpi mennyttä vettä käytetään uudelleen puhdistettuna ja käsiteltynä. Järjestelmässä uuden veden tarve on suhteellisen pientä. Pitkälle integroidussa, biologiseen suodatukseen perustuvissa kiertovesijärjestelmissä uutta vettä lisätään alle 10 % kokonaisvedentarpeesta vuorokaudessa (Mustajärvi 1999, 103; Twarowska ym. 1997, 135; Losordo ym. 2000, 99). Järjestelmässä voidaan käyttää makeaa vettä tai merivettä ja kasvattaa kylmän tai lämpimän veden kaloja (Setälä ym. 2007, 20).

Kiertovesijärjestelmien teknologia ei ole yhtä vakiintunutta kuin muissa intensiivisissä eläintuotantomuodoissa. Sen tekninen toteutus ja mitoitus riippuvat olosuhteista, kuten veden saannista ja kasvatuslaitoksen koosta sekä kasvatuslajista. (Yanong 2003a; Setälä ym. 2007, 20.) Toimintaperiaate järjestelmissä on kuitenkin samanlainen. Kiertovesijärjestelmässä kala-altailta tulevan veden puhdistus aloitetaan kiintoaineen poistolla rumpusuodattimessa (Kuva 1). Sen jälkeen kalojen aineenvaihduntatuotteista ammoniakki muutetaan nitraatiksi biopuhdistimessa. Vedestä poistetaan hiilidioksidi ilmastuksen avulla

ja veden happipitoisuus pidetään riittävällä tasolla hapetuksen avulla ennen kuin vesi kiertää uudelleen kala-altaisiin. (Summerfelt 1996, 277; McGee ym. 2000, 1)



Kuva 1. Kiertovesilaitoksen toimintaperiaate

2.1 Tulovesi

Kiertovesilaitos käyttää pienen määrän uutta vettä eli korvausvettä. Korvausvettä tarvitaan suodatinhuuhtelusta, puhdistuksesta ja haihtumisesta johtuvan vedenhukan korvaamiseksi sekä laimentamaan kiertovettä, jotta veden nitraattitaso ei nousisi liian korkeaksi (Åbo Academi 2006a). Monet kierto-vesilaitokset on suunniteltu siten, että järjestelmään tulee uutta vettä viidestä kymmeneen prosenttia joka päivä (Masser ym. 1999, 6).

Jotta välttyttäisiin tautipatogeeneilta, on korvausvesi desinfioitava ennen kiertoön pääsemistä. Aarnipuron (2004, 27) mukaan tuloveden desinfiointiin soveltuu lähinnä UV-käsittely. UV-käsittelyn jälkeen vesi on vaaratonta kaikille

eliöille, mutta menetelmän teho heikkenee, jos vesi sisältää paljon vieraita aineita tai kiintoainesta (Åbo Academi 2006a). Käsittelyn jälkeen vesi johdetaan lämmönsiirtimelle, jossa vettä lämmitetään tai jäädytetään kierrosta poistuvasta vedestä talteenotetun lämmön / kylmän avulla (Kalavesi Konsultit Oy 2008, 3).

2.2 Mekaaninen puhdistus

Kala-altaista poistuva vesi suodatetaan ensimmäisenä mekaanisesti. Tällöin ei muuteta veden kemiallisia ominaisuuksia vaan ainoastaan vähennetään vedessä kiinteässä muodossa olevien aineiden määrää (Aarnipuro 2004,19). Altaista poistuvassa vedessä on kiintoainetta, joka on peräisin syömättömästä rehusta ja kalojen ulosteista. Kiertävästä vedestä kiinteä aines on poistettava niin pian kuin mahdollista, koska se huonontaa veden laatua ja kuluttaa vedestä happea. Kiintoaines myös kuormittaa biologista suodatusta sekä veden desinfiointia orgaanisella aineksella, jolloin puhdistuksen teho heikkenee. (Summerfelt 1996, 281; Masser ym. 1999, 2.)

Yleisesti mekaaniseen puhdistukseen käytetään kiertovesilaitoksissa rumpusuodatinta. Rumpusuodattimessa käytetään tiheäsilmäisiä suodatusverkkoja, jotka keräävät vedestä kiintoainetta (Kalavesi Konsultit Oy 2010. 6). Rumpusuodattimet ovat suosittuja myös, koska vaikka suodatusmekanismi lakkaisi toimimasta, vesi virtaisi kuitenkin laitteen läpi, eikä poistuisi järjestelmästä (Summerfelt 1996, 281).

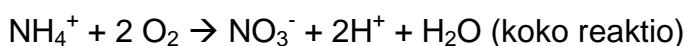
2.3 Biologinen puhdistus

Kiertovesilaitoksen biologiseen puhdistukseen on kehitetty monenlaisia laitteistoja. Useimmiten puhdistus perustuu ammoniumin hapettamiseen nitraatiksi (nitrifikaatio) ja joissakin akvaariotyypisissä laitoksissa lisäksi nitraatin pelkistämiseen typpikaasuksi (denitrifikaatio). Nitrifikaatioon perustuvissa biopuhdistimissa kasvatetaan ohut bakteerikalvo suodatinmateriaalin päälle. Kasvualustaksi käy melkein mikä tahansa materiaali, jossa pieneen tilaan saadaan suuri pinta-ala bakteerikasvustolle,

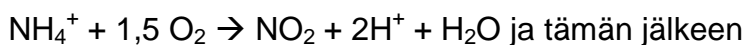
kuten osterin kuoret, sora, nailonverkko tai muovirakeet. (McGee & Cichra 2000, 2)

Nitrifikaatioissa biosuodattimien nitrifikaatiobakteenien peittämässä suodatinmassassa myrkyllinen ammonium (NH_4^+) hapetetaan suhteellisen harmittomaksi nitraatiksi (NO_3^-) (McGee & Cichra 2000, 1). Prosessi on kaksiosainen, jossa ensin nitrifikaatiobakteerit eli *Nitrosomonas*-bakteerit hapettavat ammoniumin nitriitiksi (NO_2^-). Tämän jälkeen nitriittiä hapettavat *Nitrobacter*-suvun bakteerit muuttavat nitriitin nitraatiksi. (Chen ym. 2006, 179; Masser ym. 1999, 5.) Uuden kiertovesilaitoksen käynnistämisessä tärkein vaihe onkin saada nitrifikaatioprosessi kunnolla käyntiin.

Nitrifikaatioprosessi tapahtuu seuraavanlaisessa kemiallisessa reaktiossa:



Mutta jos reaktio jaetaan kahteen osaan, niin kuin vedessä todellisuudessa tapahtuu, reaktio on seuraava:



Nitrifikaation aikaansaamiseen biosuodatinmassassa liittyy monta fysikaalista, kemiallista ja biologista reaktiota, jotka vaikuttavat oikeanlaisen bakteerikalvon kasvamiseen. Tärkeimmät tekijät onnistuneeseen nitrifikaation käynnistymiseen ovat suodatinmassan ja käytävissä olevan hapen määrä, orgaaninen aines eli bakteerien ravinto, lämpötila, pH, alkaliniteetti, suolapitoisuus ja biosuodatinmassan liikkuvuus. (Chen ym. 2006, 179.)

Jos vedestä halutaan poistaa myös nitraattia, on nitrifikaatiota täydennettävä denitrifikaatiolla. Denitrifikaatioissa nitraatti pelkistyy typpikaasuksi hapettomissa tai vähähappisissa oloissa ja kuplii pois vedestä. Denitrifioivat bakteerit ovat heterotrofisia ja tarvitsevat hiiltä energiaksi. Hiilenlähteenä voidaan käyttää esimerkiksi orgaanista ainesta tai metanolia. (Kalavesi Konsultit Oy 2010. 6.) Denitrifikaatiolaitteiden käyttöä kiertovesilaitosjärjestelmissä on tutkittu yli 30

vuotta, mutta laitteita ei ole kuitenkaan vielä paljoakaan käytössä (van Rijn ym. 2006, 364).

Nitrifikaatioon perustuvien biosuodattimen teho riippuu toimivien bakteerien määrästä. Bakteereilla on oltava riittävästi ammoniumia ja happea käytettävissä, jotta biopuhdistus toimisi. Biosuodatin mitoitetaan kiertovesilaitoksen käyttämän rehumäärän mukaan, koska käytetty rehumäärä on suoraan verrannollinen tuotettavaan ammoniakkimäärään. (Åbo Academi 2006b.)

Biosuodattimet jaetaan toimintaperiaatteiltaan vesi-ilmatila-biosuodattimiin ja uppobiosuodattimiin. Vesi-ilmatila-biosuodattimissa bakteerikalvo on jatkuvasti kosteana, mutta ei kuitenkaan koko aikaa upoksissa vedessä. Koska bakteerikalvo on veden lisäksi kosketuksissa myös ilman kanssa, bakteerit saavat tehokkaasti käyttöönsä happea. Samalla puhdistettava vesi ilmastuu ja siitä poistuu hiilidioksidia. (Myyrä 2008, 12.)

Uppobiosuodattimissa taas bakteerikalvo on koko ajan veden peitossa. Kellupetityyppisissä uppobiosuodattimissa vesi johdetaan joko paineella alakautta umpisäiliöön tai yläkautta painovoimaisesti avoimeen säiliöön. Tällainen biosuodatin toimii myös veden selkeyttäjä ja kiintoaineen poistajana, koska suodatinmateriaali on sekä bakteerien kasvualusta että mekaaninen suodatin. Leijupetityyppisissä uppobiosuodattimissa (moving bed, MBBR) vastaavasti bakteerien kasvualusta on jatkuvassa liikkeessä vesimassan mukana. Suodatinmateriaalia pyöritetään ilmasuihkun avulla, jolloin puhdistettava vesi myös ilmastuu ja hiilidioksidi vähenee. (Myyrä 2008, 12-13.)

2.4 Ilmastus ja hapetus

Kiertoveden ilmastus on tärkeää hiilidioksidin poistamiseksi vedestä sekä typen ylikyllästykseen välttämiseksi. Vettä ilmastettaessa siirtyy kaasuja, kuten happea, typpeä ja hiilidioksidia, joko ilmaan tai veteen sen mukaan onko vedessä prosentuaalista ali- tai ylikyllästystä. (Aarnipuro 2004, 22.) Ilmastus on useimmiten yhdistetty biosuodattimien tekniikkaan. Suodattimissa, joissa

suodatinmateriaalia liikutellaan ilman avulla, kaasujen vaihto on tehokasta, koska veden ja ilman välinen pinta-ala on suuri ja sen vuoksi hiilidioksidi poistuu helposti vedestä (Åbo Academi 2006b).

Kalat ja biopuhdistimen toiminta kuluttavat happea kiertävästä vedestä. Happipitoisuuden ylläpitämiseksi vettä pitää hapettaa syöttämällä veteen puhdasta happea. Happea voidaan hankkia kaasuna, nestemäisenä tai vaihtoehtoisesti happea voidaan puhdistaa ilmasta paikan päällä happigeneraattorilla. Happigeneraattorilla voidaan tuottaa happea, jonka pitoisuus ylittää yli 90%. Kun altaisiin menevä vesi ylikyllästetään hapella, saadaan ylläpidettyä hyväksyttäviä happitasoja, vaikka hapen kulutus on suuri. (Åbo Academi 2006c.)

2.5 Kiertoveden desinfiointi

Kala-altaat, joissa on sairas kala, sisältää suuren määrän tauteja aiheuttavia mikro-organismeja. Kun sama vesi kiertää toisiin kala-altaisiin, on terveillä kaloilla lisääntynyt riski sairastua. Kiertoveden desinfiointia tarvitaankin estämään taudinaiheuttajien leviämistä vesityksen mukana altaasta toiseen. Useimmin käytetyt desinfiointitavat ovat ultravioletti-käsittely ja otsonointi. (Yanong 2003b.)

Ultravioletti-käsittelyssä käytetään lasi- tai kvartsikuorisia lamppeja, joiden ohi vesi menee. Lamput säteilevät ultraviolettivaloa (optimaalinen aallonpituus 254nm), joka tunkeutuu mikro-organismien soluihin ja tuhoaa perintöaineksen (DNA:n ja RNA:n) ja proteiinit. Eri mikro-organismit sietävät kuitenkin UV-käsittelyä eri tavoin, joten käytännössä UV-käsittelyllä ei aina ole mahdollista tuhota kaikkia mikro-organismeja kuten joitakin pienimpiä viruksia. (Yanong 2003b.)

Desinfiointimenetelmänä otsonointi perustuu siihen, että veteen lisätty otsoni (O_3) reagoi orgaanisen aineksen (kuten tautipatogeenit) kanssa hajottaen ne (Yanong 2003b). Otsoni sopii hyvin vesiviljelyn desinfiointivaatimukseen, koska otsonilla on nopea desinfiointiteho ja reaktion lopputuotteena on happi.

Kiertoveden otsonoinnilla on desinfioinnin lisäksi muitakin etuja veden laatuun kuten veden kirkastuminen ja kiintoaineen määrän pieneneminen. (Summerfelt ym. 1997, 61.) Otsonointi myös hapettaa nitriittiä nitraatiksi, joten se lisää biosuodattimien bakteereiden vaikutusta. Toisaalta, jos otsonointi keskeytetään, nitriittitaso voi hetkellisesti nousta, koska otsonointi vähentää myös biosuodattimen bakteereita ja väliaikaisesti biosuodattimissa ei ole tarpeeksi nitriittiä hapettavia bakteereita. (Yanong 2003b.)

Otsonia käytettäessä on varmistettava, että kaikki otsoni on poistunut vedestä ennen kala-altaita, koska otsoni on erittäin myrkyllinen vesieliöille jo pieninä määrinä. Summerfeltin (1996, 300) mukaan otsoni tuhoaa kalojen kidusten lamellien epiteelit. Jos kala ei heti kuole, on se erittäin herkkä infektioille. Pienin otsonipitoisuus, josta kala kuolee, on noin 0,01 mg/l, riippuen tietenkin lajista ja kalan iästä. Myös ihmiselle otsoni on erittäin vaarallinen myrkky. (Summerfelt 1997, 300.)

3 VEDEN LAATU VESIVILJELYSSÄ

Kiertovesilaitoksessa hyvä veden laatu on perustana ylläpitämään viljeltävien kalojen terveyttä ja kasvua sekä biosuodattimien tehokasta toimintaa. Valtioneuvoston asetuksessa viljeltävien kalojen suojelusta (1.11.2010, §5) vaaditaan:

- a) Pitopaikan veden laatu on tarkastettava riittävän usein. Vedestä on sen laadun arvioimiseksi mitattava vähintään happipitoisuus, lämpötila ja happamuus. Veden laadun äkillisiä vaihteluita on vältettävä. Veden happamuuden on oltava mahdollisimman vakaa.
- b) Veden happipitoisuuden on oltava kalalajille ja kalan kehitysvaiheelle sopiva. Happipitoisuutta on seurattava erityisesti lämpimällä säällä tai jos kalatiheys on suuri.
- c) Eritteiden ja aineenvaihduntatuotteiden määrät vedessä eivät saa nousta haitallisen korkeiksi. Tämä on varmistettava veden virtausta ja vaihtumista säätelemällä.

Veden laadun tärkeimmät parametrit, joita pitää seurata, ovat lämpötila, happi, hiilidioksidi, pH, ammonium, nitriitti ja kiintoaine. Lisäksi on muita veden laatuun vaikuttavia tekijöitä, joita tulisi seurata, kuten alkaliniteetti, nitraatti ja kloridi. (Masser ym. 1999, 2.) Näiden parametrien tarkkoja raja-arvoja on vaikea määrittellä, koska eri kalalajien herkkyys niille vaihtelee huomattavasti. Tärkeää onkin vesiviljelyssä ottaa huomioon lajikohtaiset raja-arvot. Taulukkoon 1 on koottu kirjallisuudesta lohikaloille optimaalisia veden laadun raja-arvoja.

Taulukko 1. Lohikalojen veden laadun vaatimukset vesiviljelyssä. Luvut ovat mg/l. (Summerfelt 1996; Masser ym. 1999; Timmons ym. 2002.)

	suositus	max
Alkaliniteetti	50 - 100	400
Hiilidioksidi	0 - 10	20
Happi	> 5	< 250 %
pH	6,5 - 8	8
Kupari (alkaliniteetti <100 mg/l)		0,006
(alkaliniteetti >100 mg/l)		0,6
Kokonaisammoniumtyppi		1
ionisoitunut ammonium		2,5*
ammoniakki	< 0,02	0,05
Nitriitti	0 – 0,1	0,5
Nitraatti	100 - 200	300

*riippuu pH:sta

Toisaalta vesiviljelyssä ei ole tärkeää seurata vain yksittäisiä parametrejä vaan kaikkien veden laatuun vaikuttavien osien yhteisvaikutusta, mikä vaikuttaa enemmän kalojen kasvuun ja terveyteen kuin yksittäinen arvo (Summerfelt 1996, 277). Kala on herkkä veden laadun suurille vaihteluille, jotka johtavat usein kalojen alentuneeseen vastustuskykyyn ja suurempaan mahdollisuuteen sairastua (Yanong 2003b).

3.1 Typpiyhdisteet

3.1.1 Ammonium (NH_4^+ ja NH_3)

Typhenkierto vedessä tapahtuu monimutkaisessa ketjussa, jossa bakteerit muuttavat typhen olomuotoa. Kalojen viljelyvedessä kalat vapauttavat typpiyhdisteitä veteen enimmäkseen ammoniumina erittäen sitä kiduskalvon läpi. Virtsassa, kiintoaineessa ja syömättömässä ruoassa on typpiyhdisteitä ja näin ollen ne ovat myös ammoniumin lähteitä. (McGee & Cichra 2000, 2.) Ammonium esiintyy vedessä kahdessa muodossa, ionisoituneena (NH_4^+) ammoniumina ja ei-ionisoituneena (NH_3) ammoniumina eli ammoniakkinä. Ionisoitunut ammonium on suhteellisen vaaratonta, mutta ammoniakki on kaloille erittäin myrkyllistä. Happamassa vedessä (pH alle 7) ammonium esiintyy ionisoituneena, mutta pH:n noustessa yli 7 se muuttuu ammoniakiksi. Ammoniakin määrä riippuu veden pH:n lisäksi lämpötilasta. (Masser ym. 1999, 4.) Taulukosta 2 nähdään, että veden pH:n noustessa yhdellä yksiköllä ammoniakin (NH_3) pitoisuus kymmenkertaistuu.

Taulukko 2. Lämpötilan ja pH:n vaikutus ammoniumpitoisuuteen. Ei-ionisoituneen ammoniumin (NH_3) osuus prosentteina kokonaisammoniumista. (Masser ym. 1999, 4) Muokattu

pH	Lämpötila °C				
	16	18	20	22	24
7.0	0.30	0.34	0.40	0.46	0.52
7.2	0.47	0.54	0.63	0.72	0.82
7.4	0.74	0.86	0.99	1.14	1.30
7.6	1.17	1.35	1.56	1.79	2.05
7.8	1.84	2.12	2.45	2.80	3.21
8.0	2.88	3.32	3.83	4.37	4.99
8.2	4.49	5.16	5.94	6.76	7.68
8.4	6.93	7.94	9.09	10.30	11.65
8.6	10.56	12.03	13.68	15.40	17.28
8.8	15.76	17.82	20.08	22.38	24.88
9.0	22.87	25.57	28.47	31.37	34.42

Yleisesti hyväksytty ammoniakkin pitoisuus kalojen kasvatusvedessä on vain 0,0125 mg/l, mutta toisissa tutkimuksissa kiertovesilaitoksen ammoniakkin pitoisuudeksi on hyväksytty 0,025 mg/l (Chen ym. 2006, 1). Timmons ym. (2002, 32) mukaan ionisoituneen ammoniumin määrä vedessä voi olla korkeintaan 2,5 mg/l, mutta luku riippuu pH:sta. Ammoniakin ja ionisoituneen ammoniumin parametrien sijaan käytetään monesti vesiviljelyn veden laadun parametrinä kokonaisammoniumtyyppiä, TAN (Guerdat ym 2010, 38). Timmons ym. (2002, 33) on määritellyt korkeimmaksi TAN-pitoisuudeksi 1 mg/l, kun taas Summerfeltin ym. (1996, 277) mukaan TAN voi olla vain 0,02 mg/l. Liian suuret ammoniumpitoisuudet aiheuttavat kidusten tummumista sekä pistemäisiä verenpurkauksia (Rahkonen ym. 2000, 22). Jos ammoniumpitoisuus on pitkään korkea, kalojen kidukset vaurioituvat ja kalat ovat alttiimpia esimerkiksi kidustulehduksille (Åbo Academi 2006d).

3.1.2 Nitriitti (NO_2^-)

Typenkierrossa ammonium hapettuu nitriitiksi (NO_2^-). Nitriitti on pieninäkin pitoisuuksina erittäin myrkyllinen yhdiste kaloille. Kalojen sietämä nitriittipitoisuus vaihtelee jonkin verran, mutta jo alle 5 mg/l pitoisuus on vaarallista useimmille kaloille. Nitriittimyrkytys aiheuttaa kaloille niin kutsutun ”ruskea veri” –sairauden. Tämä kuvaa veren väriä, kun nitriitti muuttaa veren hemoglobiinin methemoglobiiniksi. Methemoglobiini ei pysty kuljettamaan happea ja kalat reagoivat kuten liian alhaisessa happipitoisuudessa, eli lopettavat syömisen ja niiden käytös on apaattista. Nitriittipitoisuuden nousu kertoo yleensä biosuodattimien toiminnan häiriöstä tai siitä, että biosuodattimien kapasiteetti on liian pieni tuotettuun ammoniumiin nähden. (Masser ym. 1999, 5 – 6.)

3.1.3 Nitraatti (NO_3^-)

Nitraatti on nitrifikaation lopputuote ja suhteellisen vaaraton aine kaloille paitsi erittäin korkeissa pitoisuuksissa (yli 300 mg/l) (Masser ym. 1999, 6). Eri

tutkimuksissa nitraatin sallittu pitoisuus kuitenkin vaihtelee todella paljon. Esimerkiksi Gutierrez-Wingin & Malonen (2006, 167) mukaan kalanviljelyssä yleisesti hyväksytty määrä nitraattia on 50 mg/l, kun taas Summerfeltin (1996, 277) mukaan vedessä voi olla nitraattia 100 – 200 mg/l. Korkeissa pitoisuuksissa esimerkiksi emokalojen kutu hidastuu ja mätimunien määrä vähenee. Muita liiallisen nitraatin vaikutuksia voivat olla hitaampi kasvuvauhti, alttius sairauksille, kehityksen hidastuminen, alhainen hedelmällisyys ja huonompi hengissä säilyminen. (Gutierrez-Wing & Malone 2006, 167.)

Yleensä nitraattipitoisuus ei kuitenkaan nouse vaarallisiin lukemiin, jos päivittäinen veden vaihtuvuus on riittävää. Nitraattipitoisuus onkin hyvä veden laadun mittari, koska nitraattipitoisuuden muutos kuvaa hyvin veden laadun kehitystä pitkällä aikavälillä. Korkea nitraattipitoisuus kertoo, että veteen on kertynyt myös haitallisia yhdisteitä ja osittainen veden vaihto on tällöin tarpeellista. (Dernjatin 2008, 5.)

3.2 pH ja alkaliniteetti

Veden pH ilmaisee veden happamuutta, kun taas alkaliniteetti kuvaa veden pH:n puskurointikapasiteettia eli kykyä vastustaa happamuuden muutoksia. Biosuodattimissa tapahtuvan nitrifikaation sivutuotteena veteen vapautuu vetyä (H^+), joka laskee veden pH:ta. Tämä kuluttaa vedestä karbonaatteja (CO_3^{2-}) ja bikarbonaatteja (HCO_3^-), mikä taas vähentää veden alkaliniteettia. Alkaliniteetin putoaminen voi aiheuttaa ammonium- ja nitriittiäkin vedessä, koska biosuodattimet tarvitsevat toimiakseen bikarbonaatteja. Alkaliniteetin karbonaatti ja bikarbonaatti neutralisoivat happoja ja näin estävät pH:n laskun. Jos alkaliniteetti laskee, veden pH laskee ja tällä on haitallisia vaikutuksia sekä kaloihin että biosuodattimeen. (Yanong 2003a.)

Kalat tulevat toimeen, kun pH on 6 – 9,5 välillä, mutta biosuodattimien bakteerit eivät toimi tehokkaasti korkeassa pH:ssa. Optimi pH kiertovesilaitoksessa onkin 7 – 8 (Masser ym. 1999, 4), kun taas alkaliniteetin minimipitoisuudeksi suositellaan 100 – 180 mg/l (käytännössä bikarbonaatti- ja karbonaatti-ionien pitoisuus) (Yanong 2003a).

3.3 Happi

Kalanviljelyssä happea kuluu kalojen hengitykseen ja kalojen eritteiden sekä syömättä jääneen rehun hajoamiseen (Mustajärvi 1999, 71). Kiertovesilaitoksessa myös biosuodattimet tarvitsevat happea toimiakseen ammoniumin ja nitriitin hapettamisessa (Masser ym. 1999, 3). Kalojen hapenkulutus riippuu veden lämpötilasta sekä kalojen aktiivisuudesta, lisäksi pieni kala kuluttaa enemmän happea kokoonsa nähden kuin iso kala (Åbo Academi 2006c). Liian alhaisessa happipitoisuudessa kalojen hengitysliikkeet nopeutuvat ja ne haukkovat ilmaa. Kalat eivät syö ja niiden väri vaalenee. Ne uivat happipitoisimman veden kohdalle, esimerkiksi tulovesiputken suulle. (Rahkonen ym. 2000, 22.)

Veteen liunneen hapen kyllästyspitoisuus riippuu lämpötilasta, paineesta sekä suolapitoisuudesta (Masser ym. 1999, 3). Kylmään veteen liukenee enemmän happea kuin lämpimään veteen. Useimpien lohikalojen happivaatimus on noin 9 mg/l, mikä on mahdollista yleensä vain alle 20 asteen lämpötilassa (Mustajärvi 1999, 6). Kiertovesilaitoksessa vesi saadaan kuitenkin myös ylikyllästettyä hapettamalla vettä. Mustajärven (1999, 6) mukaan vedessä voi hetkellisesti olla jopa 350 % happea aiheuttamatta kaloille haittaa, mutta pitkäaikaisesti hapen ylikyllästykseen ylärajaksi on esitetty 105 %. Liian korkeassa happipitoisuudessa kalat hidastavat hengitystään, jolloin aineenvaihduntatuotteiden erityis kidusten kautta vähenee ja kalan terveys vaarantuu (Åbo Academi 2006c).

Kun kalatiheys on suuri, on parempi ruokkia kaloja siten, että rehua annetaan 15 – 20 tunnin aikana moneen kertaan pieninä annoksina kuin antaa 2 – 3 isoa rehuannosta vuorokaudessa. Ruoansulatuksen aikana kalan hengitys tihenee huomattavasti aiheuttaen voimakkaan happipitoisuuden laskun altaan vedessä. Kun ruokitaan pieniä annoksia ruokinta-automaattien avulla vähitellen, happipitoisuus saadaan pysymään tasaisena ilman suuria vaihteluita. (Masser ym. 1999, 3.)

Happi on kierto-vesilaitoksen toiminnassa rajoittavin tekijä. Ilman happea kalat alkavat voida huonosti puolessa tunnissa ja lämpimässä vedessä

nopeamminkin. Myös biosuodattimet kärsivät, jos happi loppuu. Tällöin bakteerit kuolevat ja bakteerikalvo irtoaa suodatinmateriaalin pinnalta. Rikkivetybakteerit kuitenkin jatkavat toimintaansa ja tästä erittyy kaloille erittäin myrkyllistä rikkivetyä veteen. (Åbo Academi 2006c.)

3.4 Lämpötila

Kalat ovat vaihtolämpöisiä ja sen vuoksi aineenvaihdunnan aktiivisuus, ruumiin lämpötila sekä puolustusmekanismit ovat riippuvaisia ympäröivän veden lämpötilasta. Lämpötilan noustessa kalojen aineenvaihdunta nopeutuu ja ravinnonkulutus sekä hapenkulutus kasvavat. Ravinnonkulutus alkaa kuitenkin laskea lämpötilan noustessa lajille liian korkeaksi. Hapenkulutus sen sijaan edelleen nousee. (Ruohonen & Vielma 1994, 12 – 15.)

Veden lämpötilaa kiertovesilaitoksella voidaan pitää kasvatettavalle lajille optimaalisena. Lajille sopivassa lämpötilassa kalat kasvavat nopeasti, hyödyntävät rehun tehokkaasti ja ovat vastustuskykyisiä monille sairauksille. Veden lämpötila vaikuttaa myös biosuodattimien tehokkuuteen, mutta kiertovesilaitoksissa vesi on yleensä tarpeeksi lämmintä tähän. (Masser 1999, 2.) Lohikaloille kasvatusveden optimilämpötilana pidetään 15 – 18 astetta, mutta mädintuotantoa varten pidettävien emokalojen kasvatusvesi voi olla viileämpää, noin 13 – 15 asteista (Mustajärvi 1999, 11 – 12).

3.5 Hiilidioksidi

Hiilidioksidia tulee veteen kalojen ja bakteerien hengityksen kautta. Kalat alkavat stressaantua yli 20 mg/l:n pitoisuuksissa, koska niiden hapenkuljetus häiriintyy. Korkeasta hiilidioksidipitoisuudesta kärsivät kalat nousevat pintaan ja kerääntyvät altaassa happipitoisimpaan kohtaan. Vetämätön ja apaattinen käyttäytyminen ja äkillisesti vähentynyt ruokahalu ovat merkkejä liiallisen hiilidioksidin aiheuttamasta stressistä. (Masser 1999, 3.) Kiertovesijärjestelmässä alkaa helposti kerääntyä hiilidioksidia veteen, joten se on poistettava esimerkiksi ilmastuksen avulla.

3.6 Kiintoaine

Kiintoaine koostuu enimmäkseen kalojen ulosteesta ja syömättömästä rehusta. On ehdottoman tärkeää poistaa kiintoaine kala-altaista niin pian kuin mahdollista. Kiintoaine ärsyttää ja tukkii kalojen kidukset ja aiheuttaa hengitysvaikeuksia. Myös kalojen kasvu hidastuu ja kalatautien ja niistä aiheutuvan kuolleisuuden esiintyminen lisääntyy. Kiintoaine lisää myös hapenkulutusta kala-altaiden vedessä, jolloin alentunut veden happipitoisuus huonontaa entisestään kalojen hyvinvointia. (Mustajärvi 1999, 71; Rahkonen ym. 2000, 22.)

Erittäin pienet kiintoainepartikkelit jäävät kuitenkin veteen. Vaikka näiden partikkelien hajoaminen kuluttaa happea ja tuottaa jonkin verran ammoniumia, ne myös ovat nitrifikaatiobakteerien kasvualustoja. Tämän vuoksi pienellä määrällä veteen jäänyttä kiintoainetta on myös hyötyä kierto-vesijärjestelmässä niin kauan kuin ne eivät kiusaa kalojen kiduksia. (Masser 1999, 6.)

3.7 Makua aiheuttavat yhdisteet

Kierto-vesilaitoksessa kasvatetussa kalassa voi esiintyä samanlaista sivumakua kuin pienissä lammikoissa kasvatetulla kalalla. Tämä ”maan ja mudan” maku johtuu kalan lihaan kertyneestä geosmiinista ja metyyliisoborneolista (MIB). (Schrader ym. 2005. 177.) Näitä yhdisteitä tuottavat kierto-vesilaitoksen biosuodattimissa kasvavat cyanobakteerit ja aktinomykeetit. Vedessä geosmiini ja metyyliisoborneoli sitoutuvat kalaan ja varastoituvat rasvakudokseen aiheuttaen sivumakuja. (Houle ym. 2010. 1.)

Näiden yhdisteiden ja sivumaun saaminen pois kalan lihasta on paljon hitaampaa kuin sitoutuminen. Jotta ne saadaan pois, on kaloja pidettävä puhtaassa ja raikkaassa vedessä muutamista päivistä viikkoihin ennen kuin ne voidaan teurastaa ruokakalaksi. (Masser ym. 1999, 8.) Maun poistuminen on hitaampaa matalissa lämpötiloissa ja rasvaisemmilla kaloilla (Houle ym. 2010, 1).

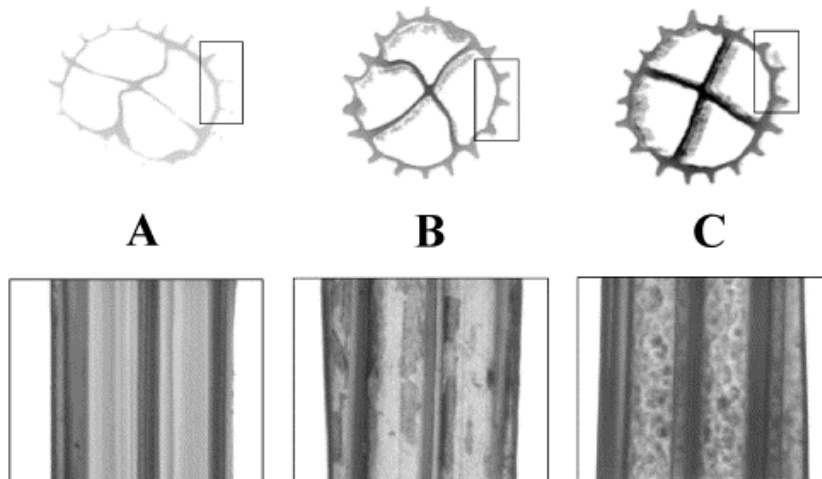
3.8 Raskasmetallit

Raskasmetalleja, kuten kuparia, sinkkiä ja lyijyä, saattaa esiintyä tulovedessä. Nämä ovat myrkyllisiä kaloille, joten raskasmetallit pitää suodattaa jo tulovedestä pois ja järjestelmän toimivuus on tarkastettava säännöllisesti. Lisäksi raskasmetalleja on saatettu käyttää järjestelmän laitteissa, joista niitä voi liueta ajan kuluessa veteen pH:n laskiessa. Tämä tosin on erittäin harvinaista. (Yanong 2003a.)

4 JÄRJESTELMÄN KÄYNNISTYS

Kiertovesilaitoksen käynnistämisessä on varmistettava, että veden virtaus on riittävä ja ettei järjestelmässä ole vuotoja tai esiinny muita oleellisia puutteita. Vesi, jolla testataan näitä mahdollisia puutteita, on vaihdettava vähintään kerran ennen varsinaista laitoksen käyttöönottoa mahdollisten rakennusmateriaalien pinnalta liuenneiden epäpuhtaiden aineiden vuoksi. (Yanong 2003c.)

Uudessa kierto-vesijärjestelmässä ei aluksi ole vettä puhdistavaa bakteerikalvoa biosuodatinmassassa, vaan se on kasvatettava biosuodattimeen. Kuvassa 2 on kuvattu bakteerikalvon kehitysvaiheita biosuodattimen muovirakeissa. Toimivan bakteerikalvon kehittyminen kestää kolmesta kahdeksaan viikkoa 25 – 27 °C:n lämpötilassa ja jopa kauemmin viileämmässä lämpötiloissa (Yanong 2003a.) Toisaalta tutkimuksissa on huomattu, että suolaisessa vedessä nitrifikaatio pysähtyy usein ammoniumin hapetuksen jälkeen. Vasta kolmen, neljän kuukauden kuluttua nitrifikaatio käynnistyy kunnolla hapettaen myös nitriitin nitraatiksi. Syitä tähän ei ole vielä löydetty, mutta sen arvellaan johtuvan useista eri syistä kuten korkeasta orgaanisen aineksen määrästä ja suolapitoisuuden muutoksista. (Gutierrez-Wing & Malone 2006, 168.)



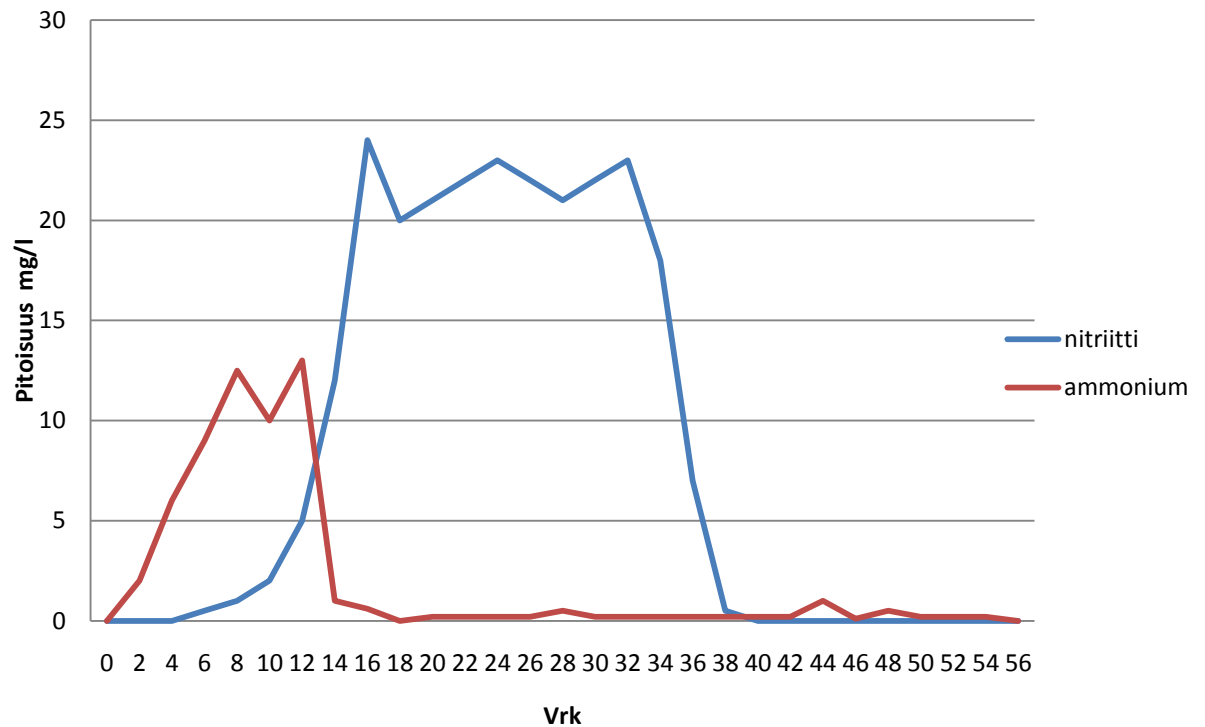
Kuva 2. Bakterikalvon kehittyminen biosuodattimen muovirakeissa. A kohdassa rae on puhdas, B kohdassa on kehittynyt jo pieni bakterikalvo ja C kohdassa bakterikalvo on tarpeeksi kehittynyt toimiakseen kunnolla. (Tal ym. 2003, 192.)

Bakterikalvon kehittymistä voidaan nopeuttaa eri tavoin. Yanong (2003c) on listannut eri käynnistämismenetelmiä seuraavasti:

- a) Lisätään vähitellen pieniä määriä kalaa järjestelmään käyttäen lajia, jota aiotaan kasvattaa laitoksella. Vettä pitää vaihtaa, jos ammoniumin tai nitriitin pitoisuudet nousevat liian korkeiksi.
- b) Pidetään altaissa aluksi kestävämpiä lajeja ja hitaasti lisätään järjestelmään sen lajin kaloja, joita laitoksella aiotaan kasvattaa.
- c) Lisätään järjestelmään jo käynnissä olevan laitoksen vettä. Ennen lisäämistä pitää varmistaa, ettei kyseisellä laitoksella ole ongelmia kalojen terveyden kanssa.
- d) Lisätään järjestelmään nestemäistä ammoniumia matalina pitoisuuksina (suunnilleen 2 – 3 mg/l kokonaisammoniumtyyppiä, TAN). Tämä menetelmä kasvattaa bakterikalvoa ilman kaloja.
- e) Lisätään järjestelmään aktiivisessa biosuodattimessa viljeltyjä bakteereita luotettavasta lähteestä. (Yanong 2003c.)

Käynnistämisvaiheessa ammoniumpitoisuus vedessä nousee voimakkaasti, kuten kuviosta 1 voidaan nähdä. Kun ammoniumia hapettavat bakteerit (*Nitrosomonas*) kehittyvät noin kahden viikon kuluttua, ammoniumpitoisuus laskee, mutta nitriittipitoisuus nousee. Nitriitin määrä vedessä pysyy korkealla

kunnes toinen ryhmä bakteereja (*Nitrobacter*) on kehittynyt ja alkaa hapettaa nitriittiä nitraatiksi. Kun nitriittipitoisuus vedessä laskee, on biosuodatinmassa molempien nitrifikaatiobakteereiden peittämä ja kiertovesilaitos on saavuttanut suhteellisen vakaan toiminnan. (Masser ym. 1999, 5.)



Kuvio 1. Tyypillinen ammoniumin (NH_4) ja nitriitin (NO_2) kehittyminen vuorokausissa kasvatettaessa bakteereja biosuodattimiin. (Masser ym. 1999, 5.) Muokattu

Riippumatta käynnistämisvaiheen menettelytavasta veden laatua on seurattava päivittäin kunnes ammonium- ja nitriittipitoisuudet ovat laskeneet turvalliselle tasolle. Myös jatkossa ammoniumin, nitriitin ja nitraatin seuranta on välttämätöntä. Kohonneet ammonium- ja nitriittipitoisuudet johtuvat yleensä liiallisesta kuormituksesta, alimitoitetusta suodatinlaitteistosta tai nitrifikaatiobakteerien puutteellisesta kasvusta, kun taas korkeat nitraattipitoisuudet ovat merkki puutteellisesta veden vaihtuvuudesta. Nitraattipitoisuuden nousua voidaan hillitä lisäämällä korvausveden määrää. (Dernjatin 2008, 5.)

Myös muita veden laadun parametrejä on hyvä seurata toistuvien väliajoin. Nitrifikaatiossa vapautuu energiaa bakteerien käyttöön, mutta reaktio myös kuluttaa happea ja tuottaa vetyioneja (H^+). Vetyionien vapautuessa veden pH voi ajan mittaan laskea, joten pH:ta on seurattava. (Chen ym. 2006, 179.) Ajan kuluessa happipitoisuus ja alkaliniteetti voivat myös laskea ja hiilidioksidipitoisuus nousta (Yanong 2003a).

5 MENETELMÄT

RKTL:n Paraisten kiertovesilaitos rakennettiin syksyllä 2009 vesiviljelyn tutkimuksia varten palaneen Rymättylän tutkimuslaitoksen tilalle. Uuden laitoksen laitteet olivat käyttövalmiit marraskuussa.

Laitoksen vesi otetaan Saaristomerestä, Länsi-Turunmaan Hessundin salmesta. Vesi on murtoveettä. Koska Suomessa ei vielä ole muita murtovedellä toimivia kiertovesilaitoksia, haluttiin tutkimuksen avulla saada tietoa, miten nopeasti kiertovesilaitoksen biosuodattimien bakteerikanta saadaan toimimaan ja nitrifikaatioprosessi alkamaan niin tehokkaasti, että myrkylliset typpiyhdisteet muuttuvat vähemmän haitalliseksi nitraatiksi. Tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää apuna vastaavien laitosten käynnistämisvaiheessa.

Tutkimuksessa laitoksen veden puhdistus käynnistettiin kahdella tavalla: talvella 2010 kasvattamalla biosuodattimien bakteerikanta pienen kalamäärän avulla sekä syksyllä 2010 kemiallisesti ammoniumkloridin avulla. Näiden kokeiden välillä laitos oli tyhjillään kesän 2010, jolloin se kuivatettiin ja olemassa oleva bakteerikanta kuoli.

5.1 Murtovesi

Murtovesi on järvien ja jokien makeanveden ja valtameren suolaisen veden sekoitusta. Alueella, josta kiertovesilaitoksen vesi otetaan, suolapitoisuus pintavesikerroksessa on vaihdellut 5,5 ‰ ja 6,5 ‰ välillä. Pohjan lähellä suolapitoisuus vaihtelee 5,6 ‰ ja 7 ‰ välillä. (Varsinais-Suomen elinkeino- ja ympäristökeskus 2011, 11.)

Kiertovesilaitoksen rakentamisvaiheessa pitää ottaa huomioon murtoveden syövyttävä vaikutus. Laitteistot pitää valita merivettä kestäviksi, eikä niiden toimivuus saa huonontua kiteytyvästä suolasta. Käynnistysvaiheessa pitää ottaa huomioon murtoveden suolaisuuden vaikutus, koska veden suolaisuus voi hidastaa käynnistystä verrattaessa makeaan veteen. (Vaajala, M. Henkilökohtainen tiedonanto, 16.1.2010)

5.2 Paraisten kierto-vesilaitos

Paraisten kierto-vesilaitoksella on 12 kappaletta halkaisijaltaan 1,5 m allasta ja kolme halkaisijaltaan 2,35 m kala-allasta (Kuva 3). Molempien allastyypin syvyys on 1m. Altaat ovat kahdessa eri vesikierrossa siten, että kuutta keskimmäistä allasta voidaan liittää tarpeen mukaan kumpaankin tahansa vesikiertoon. Laitoksen vesitilavuudet ja virtaamat on esitetty taulukossa 1.



Kuva 3. Tutkimuksen kierto-vesilaitos.

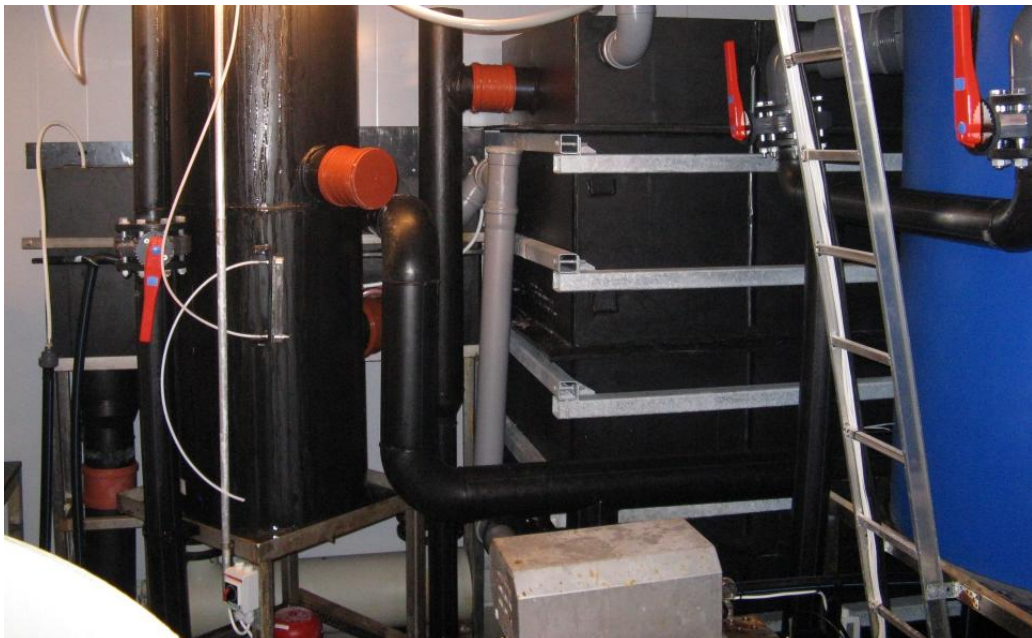


Kuva 4. Kiertovesilaitoksen suodattimia. Vasemmassa alakulmassa on rumpusuodatin, siniset ovat ”moving bed”-biosuodattimia.

Biologisessa puhdistuksessa käytetään kahden erityyppisen biologisen suodattimen yhdistelmää, ”moving bed”-tyyppisen biosuodattimen ja ”fixed bed – up flow” -tyyppisen, kiinteärakenteisen bioblokkisuodattimen yhdistelmää. Kummassakin vesikierrossa on kaksi ”moving bed”-suodatinta ja yksi bioblokkisuodatin. Vesi johdetaan ensin ”moving bed” - tyyppiseen biosuodattimeen, jossa suodattimena toimivat pienet muovirakeet (kuva 5). Suodatinmateriaalia liikutellaan biosuodattimissa ilmapuhalluksen avulla, jolloin tapahtuu nitrifikaatiota ja samalla vesi ilmastuu. Biosuodattimen malli on Aquatic Ecosystems, Clearwater LSB35-2. Niiden koko on n. 1.2 * 1.8 m ja suodatusmateriaalin tilavuus n. 1m³. Tässä järjestelmässä maksimikuormitus on 17 kg rehua/vrk, mutta käytettävien lämpötilojen vuoksi kapasiteetti on mitoitettu periaatteella 60 g ammoniumia/rehukilo → 1 kg ammoniumia/vrk, jolloin tarvitaan 2.2 m³ suodatinmateriaalia kiertoa kohden (tässä on käytetty laskennallista puhdistuskapasiteettia 450 g ammoniumia/m³/vrk). (Kalavesi Konsultit Oy 2008.)



Kuva 5. Biosuodattimessa bakteerikalvon kasvualustana toimivia muovirakeita. Seuraavaksi vesi johdetaan kiinteärakenteiseen bioblokkisuodattimeen, jonka ominaispinta-ala on n. $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (kuva 6). Suodatin toimii myös pienten kiintoainepartikkelien poistajana. Biosuodatinten jälkeen vesi johdetaan hapettimelle, jossa mahdollisuus myös otsonointiin, tai suoraan vesisäiliöön, josta vesi on johdettavissa joko UV-laitteelle tai suoraan altaille.



Kuva 6. Laitoksen bioblokkisuodatin. Bioblokkisuodatin on sinisen tankin vieressä oleva musta laatikko. Vasemmalla on hapetuskolonne ja takana veden välisäiliö.

Veden desinfiointiin käytetään otsonia ja UV-säteilyä. Hapetuksen yhteydessä veteen syötetään hapen lisäksi myös otsonia. Otsonaattorissa hapettimeen johdettavasta hapesta enintään 5 % muuttuu valokaaren avulla otsoniksi. Otsonaattorin tuotto on noin 20 grammaa tunnissa, kun käytetään raaka-aineena puhdasta happea. Otsoni on ilmaan päästessään erittäin haitallinen kaasu ihmiselle, kuten vedessä kaloille, joten otsonin syöttö säädetään sellaiselle tasolle, ettei sitä pääse ilmaan. Otsoni hajoaa hapeksi osittain veden viipyessä hapettimessa ja välisäiliössä, johon vesi seuraavaksi johdetaan. Välisäiliöstä vesi johdetaan UV-laitteelle, jossa loppu otsoni häviää vedestä, koska UV-säteily katalysoi otsonin hajoamisreaktiota. Tämän jälkeen vesi on käytettävissä uudelleen.

5.3 Käynnistäminen kaloilla

Kiertovesilaitoksen vesi otettiin kiertoon loppuvuonna 2009. Kiertoon I otettiin kalat heti tammikuun alussa 2010. Viiteen altaaseen otettiin jokaiseen 11 kirjolohta, jotka olivat kooltaan noin 300 g, eli yhden altaan biomassa oli 3 300g ja koko kierrossa oli alussa kalaa 16,5 kg. Veden lämpötila nostettiin hitaasti noin viiteentoista asteeseen ja pidettiin siinä koko ajan.

Aluksi kalat ruokittiin käsin. Kalojen ruokahalua arvioitiin heittämällä ensin vain vähän rehua altaaseen ja sen jälkeen kaloja ruokittiin niiden syöntiaktiivisuuden mukaan. Kalat ruokittiin kaksi kertaa päivässä, ei kuitenkaan viikonloppuisin. Kalat pyrittiin ruokkimaan jokaisella ruokintakerralla kylläisiksi, jotta kaikki altaissa olevat kalat saivat rehua ja kalojen kasvu olisi mahdollisimman tasaista. Hyvä kalojen kasvuvauhti varmistettiin punnitsemalla kalat kaksi kertaa kokeen aikana.

Ruokinta-automaatteihin siirtymisen jälkeen siirryttiin useampaan ruokintakertaan vuorokaudessa, koska kalojen tarvitsema rehumäärä on vaikea saada ruokituksi esimerkiksi kahdella puolituntia kestäväällä ruokintakerralla. Vaikeaksi sen tekee suuri rehun määrä, joka ruokitaan lyhyessä ajassa. Tällöin voi rehua mennä hukkaan, mikäli kalojen ruokahalu on jostakin syystä normaalia huonompi. Ruokintakertoja lisäämällä annoskoko pienenee ja

huononkin ruokahalun omaavat kalat saavat yleensä syötyä kaiken automaatin antaman rehun.

Kala-altaiden olosuhteita ja hygieniaa tarkkailtiin päivittäin. Kalojen hyvinvointia arvioitiin kaksi kertaa päivässä. Kuolleita kaloja ei ollut seuranta-aikana. Altaat puhdistettiin päivittäin lapon avulla siten, että kalojen ulosteet saatiin kiertoon, jolloin ulosteen sisältämä ammonium ravitsi bakteerikasvustoa.

Veden lämpötilaa ja happitilannetta seurattiin Marvet Junior 2000-happimittarilla kala-altaissa joka päivä sen jälkeen, kun altaisiin asennettiin ruokinta-automaatit. Vettä hapetettiin hapetustornissa, koska samaan aikaan haluttiin tutkia kuinka paljon saadaan hapen kylläisyyttä nostettua altaissa. Kalojen hyvinvointia seurattiin edelleen joka päivä altaiden puhdistuksen yhteydessä. Myös kalojen syöntiaktiivisuutta seurattiin ylikuokinnan välttämiseksi.

Veden laatua alettiin seurata 9.2.2010 Turun ammattikorkeakoulun YSI-moniparametrisondilla. Vedestä mitattiin happi, lämpötila, ammonium (NH_3), ei-ionisoitunut ammonium eli ammoniakki (NH_4) ja nitraatti (NO_3). Mittari asetettiin joka päivä kahdeksi tunniksi kalattomaan altaaseen kierrossa, jolloin se siirsi dataa tietokoneelle koko ajan. Vettä mitattiin 21 päivää. Korvausvedenmäärä pidettiin pienenä, 0,5 l/min, jotta kiertävän veden ravinteet eivät laimenisi vaan ruokkisivat bakteerikasvustoa tehokkaasti.

5.4 Käynnistäminen kemikaaleilla

5.4.1 Järjestelmän käynnistäminen

Toinen koe tehtiin syys-lokakuussa, jolloin laitos käynnistettiin kemiallisesti. Kokeen alussa kaikki laitoksen altaat täytettiin vedellä. Laitoksen pohjakuva on liitteessä 1. Kuvassa oikealla ja keskellä olevat altaat olivat mukana koekierrossa ja vasemmalla olevat isot altaat kuuluivat kontrollikiertoon (kierto II). Kontrollikiertossa vesi kiersi vapaasti sellaisenaan koko tutkimuksen ajan. Kiertoon I (koekierto) alettiin lisätä ammoniumkloridia bakteerikannan kasvattamiseksi. Ammoniumkloridi (NH_4Cl) ruokkii tyypibakteereja ja saa ne

lisääntymään biosuodattimissa. Ammoniumkloridi sekoitettiin pieneen määrään vettä ja lisättiin paineenkorotuslaatikkoon. Tämän jälkeen vesi meni hapetustornin kautta altaisiin ja jatkoi kiertoa. Hapetus ei ollut kokeen aikana päällä.

Ammoniumkloridia lisättäessä tavoitteena oli saada veden ammoniumpitoisuus nousemaan ensin 20 mg:aan/l. Kun pitoisuus oli laskenut noin 5 mg:aan/l, lisättiin ammoniumkloridia sen verran, että pitoisuus olisi vedessä noin 10 mg/l ja sen jälkeen vielä pitoisuus haluttiin nostaa 6 mg:aan/l. Lisättävän ammoniumkloridin määrä laskettiin seuraavasti:

Ammoniumkloridin (NH_4Cl :n) moolimassa M on 53,49 g/mol, josta saadaan laskettua NH_4 :n osuus:

$$M(\text{NH}_4) / M(\text{NH}_4\text{Cl}) * 100\% = 18,042 / 53,49 * 100\% = 33,73 \%$$

→ eli ammoniumia tässä ammoniumkloridissa on 33,73 %. Koekierron vesitilavuus on noin 33 500 l ja ammoniumpitoisuutta haluttiin aluksi nostaa 20 mg/l. Ammoniumia tähän nostoon tarvitaan 670 g. Kun ammoniumkloridista ammoniumia on 33,7 %, ainetta pitää lisätä 1 970 g eli noin kaksi kilogrammaa.

Kun kolmannen ammoniumkloridin lisäyksen jälkeen ammoniumpitoisuus väheni muutamassa päivässä alle 2 mg/l, pääteltiin, että biosuodattimissa olisi kehittynyt tarpeeksi vahva bakteerikanta ja nitrifikaatio toimisi. Toimivuus haluttiin kuitenkin varmistaa lisäämällä kiertoon vielä ammoniumkloridia sekä natriumnitriittiä. Mittausten mukaan kierrossa voi olla jo toimiva bakteerikanta, mutta todellisuudessa on huomattu, että bakteerit voivat olla pelkästään *Nitrosomonas*-bakteereita ja biosuodattimista puuttuukin tarpeeksi vahva *Nitrobacter*-kanta, jolloin nitriittien muuttuminen nitraatiksi on puutteellista. Natriumnitriitin lisääminen tehostaa *Nitrobacter*-suvun bakteerikannan kehittymistä. Liitteessä 2 on esitetty aikajanalla tarkat toimenpiteet kokeen aikana.

Korvausveden määrä pyrittiin pitämään mahdollisimman pienenä, jotta kiertävä vesi ei laimenisi ja bakteerikanta syntyisi nopeammin. Korvausveden määrä

tutkimuksen aikana vaihteli 0,45 – 1 l/min välillä ja veden virtaus oli 2,15 min/l. Välillä korvausvesi suljettiin kokonaan ja vesikiertoon tyhjennettiin joidenkin altaiden vesi, jotta tarvittava vesimäärä saatiin pysymään riittävänä veden kiertämiseen.

5.4.2 Näytteenotto

Veden laatua ja sen muutoksia seurattiin ottamalla vesinäytteitä. Tutkimuksen aikana koekierrosta otettiin vesinäyte yhteensä 19 kertaa muutaman päivän välein ja kontrollikierrosta kahdeksan kertaa vajaan viikon välein. Näytteistä mitattiin nitraatti, nitriitti ja kokonaisammonium välittömästi näytteenoton jälkeen. Vesinäytteet otettiin aina samasta altaasta (allas 1, tulovesi). Vesinäytteet analysoitiin kolorimetrillä (Hach DR/890 Colorimeter). Ennen näytteen käsittelyä vesi suodatettiin suodatinkankaan läpi. Sitten näyte käsiteltiin vesimittarin valmistajan (Hach) ohjeiden mukaan.

Tutkimuksen aikana seurattiin myös veden lämpötilaa ja happipitoisuutta. Lämpötila kirjattiin ylös laitoksen ohjauskaapista ja happipitoisuus mitattiin Marvet Junior 2000-happimittarilla. Vettä ei lämmitetty kokeen aikana eikä hapetin ollut käytössä. Vesinäytteiden mittaukset lopetettiin tulosten näyttäessä, että biosuodattimiin on kehittynyt tarpeeksi vahva bakteerikanta.

Huhtikuussa 2011 altaissa oli ollut kolme kuukautta kaloja. Tutkimuksessa haluttiin vielä varmistaa biosuodattimien toimivuus ja veden laatu laitoksen ollessa toiminnassa. Vedestä mitattiin ammonium-, nitriitti- ja nitraattipitoisuus. Samaan aikaan vedestä teetettiin perusteellinen vesianalyysi Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:ssä. Näytteet otettiin molemmista kierroista sekä korvausvedestä. Vedestä mitattiin pH, sähkönjohtavuus, kiintoaine, kokonaiskovuus, alkaliniteetti, kokonaistyyppi, ammonium, nitriitti ja nitraatti.

6 TULOKSET

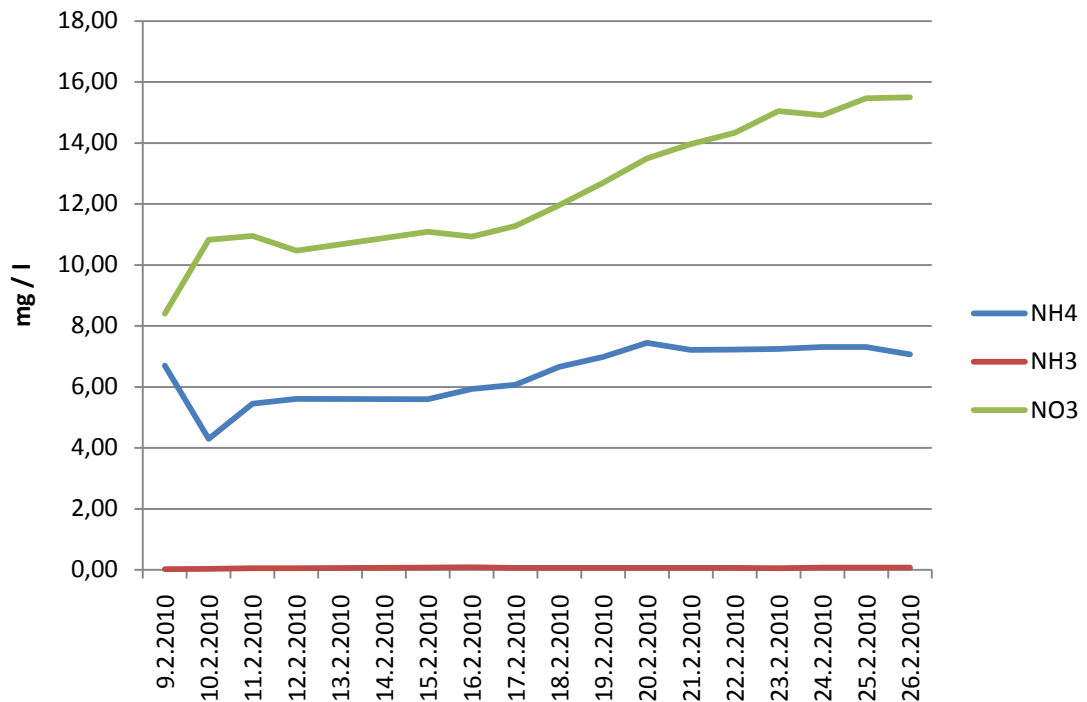
6.1 Käynnistys kaloilla

Veden laatu koekierrossa pysyi suhteellisen hyvänä koko kokeen ajan eikä veden laatuun muodostunut ammoniumpiikkejä. Kalojen vointi ja ruokahalu pysyivät hyvinä koko kokeen ajan ja niiden kasvu oli lämpötilaan ja kulutettuun rehumäärään suhteutettuna oikeanlainen. Lämpötila pidettiin koko ajan lämmityksen avulla +15 asteessa. Veden pH-pitoisuudessa ei tapahtunut suuria muutoksia tutkimuksen aikana, vaan pH pysyi keskimäärin 7,6:ssa, mikä on normaali murtoveden pH. Altaiden happipitoisuus oli kokeen ajan erittäin korkea (taulukko 4). Korkea happipitoisuus johtui siitä, että samalla testattiin millainen happikylläisyys saadaan hapetuksen avulla altaisiin, kun niihin myöhemmin otetaan isompia kalamääriä.

Taulukko 4. Kalakäynnistysten pH- ja happipitoisuus (%) tutkimuksen aikana.

pv	happi	pH	Kalamassa
	%		g
9.2.2010	158,1	7,2	
10.2.2010	163,3	7,5	
11.2.2010	169,9	7,5	
12.2.2010	185,1	7,5	
15.2.2010	154,3	7,7	28480
16.2.2010	208,6	7,7	
17.2.2010	174,7	7,6	
18.2.2010	174,7	7,6	<-- rehumäärää lisätty
19.2.2010	177,2	7,5	
20.2.2010	192,3	7,5	
21.2.2010	194,5	7,5	31760
22.2.2010	195,5	7,5	
23.2.2010	198,1	7,5	
24.2.2010	182,2	7,6	
25.2.2010	163,5	7,6	
26.2.2010	156,4	7,6	

Ei-ionisoitunut–ammonium-, ionisoitunut–ammonium- ja nitraattipitoisuus pysyivät koko kokeen ajan melko samalla tasolla eikä mitään korkeampaa pitoisuuden piikkiä syntynyt vedessä (kuvio 2).



Kuvio 2. Typpiyhdisteiden (ionisoitunut ammonium NH_4 , ei-ionisoitunut ammonium NH_3 ja nitraatti NO_3) pitoisuus kalakäynnistyksessä.

Kaloille melko vaaraton NH_4^+ -ammonium oli tutkimuksen aikana eniten koholla. Sen pitoisuudet vaihtelivat välillä 6 – 7,3 mg/l (Taulukko 5). Taulukosta 5 nähdään myös, että kaloille myrkyllisen NH_3 -ammoniumin pitoisuudet vaihtelivat välillä 0,027 – 0,077 mg/l. Korkeimmat pitoisuudet tulivat kokeen lopussa.

Nitraattipitoisuus pysyi alhaisena kokeen ajan ja vaihteli alun 8,4 mg/l ja lopun 15,5 mg/l välillä. Pitoisuudet ovat selkeästi alle suositellun maksimiarvon.

Rehumäärän lisäys kohotti helmikuun puolivälin jälkeen nitraatti- ja ammoniumpitoisuutta.

Taulukko 5. Typpiyhdisteiden pitoisuudet kalakäynnistyksessä

pv	NH ₄	NH ₃	NO ₃
	mg/l	mg/l	mg/l
9.2.2010	6,70	0,027	8,40
10.2.2010	4,30	0,037	10,82
11.2.2010	5,45	0,049	10,95
12.2.2010	5,61	0,054	10,47
15.2.2010	5,60	0,073	11,09
16.2.2010	5,94	0,085	10,93
17.2.2010	6,07	0,066	11,28
18.2.2010	6,66	0,067	11,96
19.2.2010	6,99	0,065	12,69
20.2.2010	7,45	0,066	13,49
21.2.2010	7,22	0,061	13,96
22.2.2010	7,23	0,059	14,33
23.2.2010	7,24	0,058	15,04
24.2.2010	7,31	0,077	14,91
25.2.2010	7,31	0,077	15,47
26.2.2010	7,06	0,077	15,50

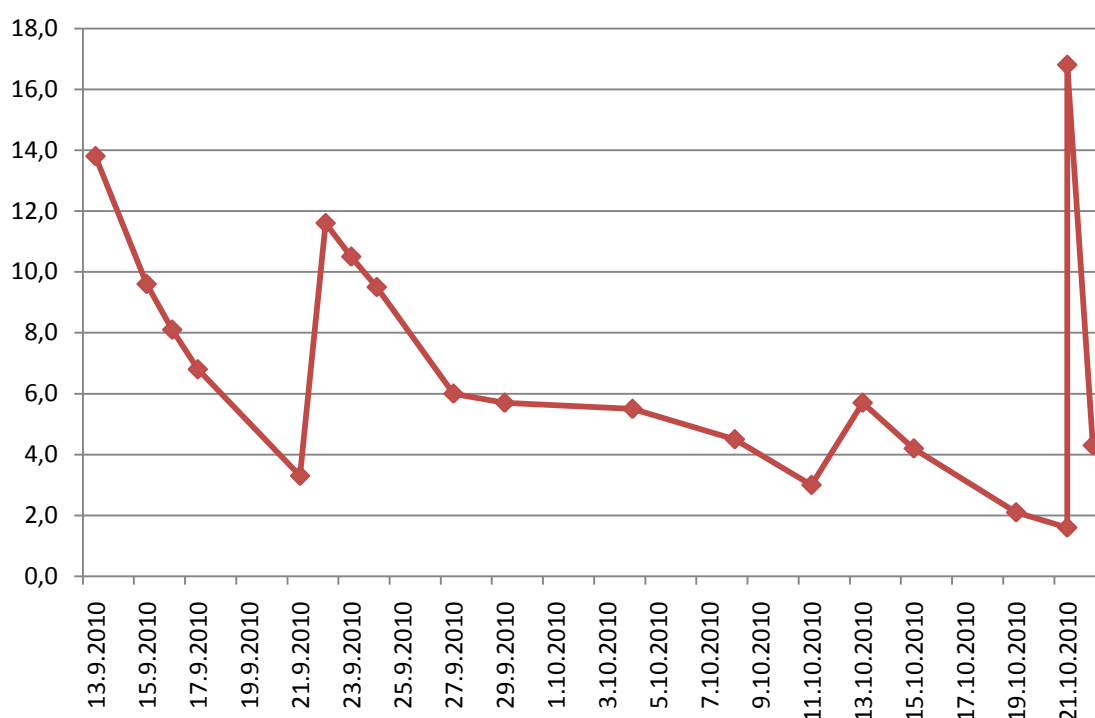
6.2 Käynnistys kemikaalilla

Oikeanlaiset typpiyhdisteiden pitoisuudet vedessä saavutettiin seitsemän viikon kuluttua laitoksen käyttöönotosta, jolloin voitiin todeta kiertovesilaitoksen biosuodattimiin kehittyneen puhdistava bakteerikanta ja veden puhdistuksen toimivan tarpeeksi tehokkaasti.

Suoritetun tutkimuksen aikana kiertoveden lämpötila vaihteli 16,3 °C – 19,2 °C välillä, tutkimuksen lopussa vedenlämpötila laski 14,4 °C:seen. Altaiden happipitoisuus vaihteli 8,3 mg/l – 10,6 mg/l välillä. Veden keskilämpötila tutkimuksen aikana oli 17,2 °C ja happipitoisuus keskimäärin 9,48 mg/l. Pitoisuudet ovat hyviä sekä kaloille että biosuodattimen toiminnalle. Tarkat mittaustulokset ovat liitteessä 3.

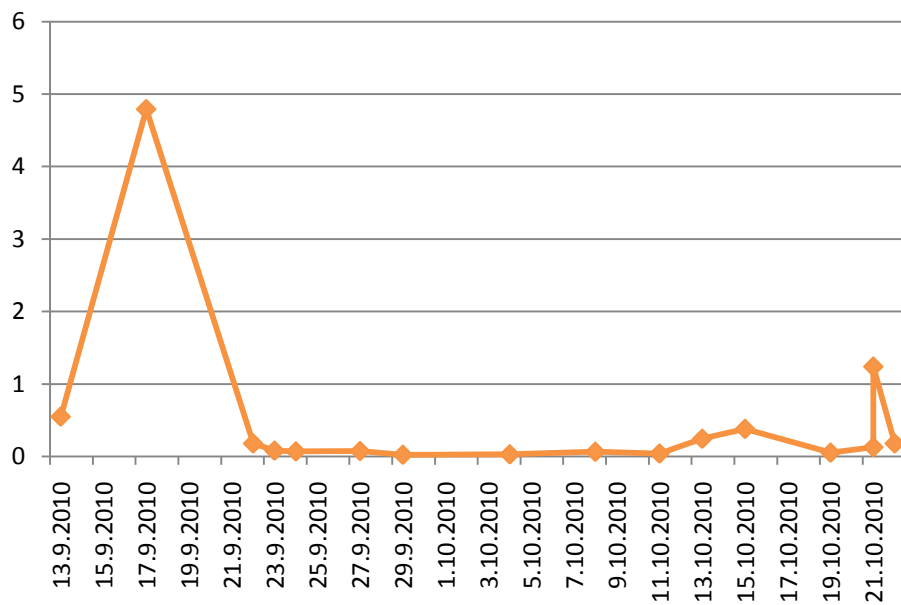
Ammoniumpitoisuus oli heti mittausten alkaessa korkealla (13,8 mg/l), koska ammoniumkloridi lisättiin veteen viikko ennen mittausten alkua (kuvio 3). Ammoniumpitoisuus vähenee vedessä tasaisesti, mutta kohoaa

ammoniumkloridia lisättessä. Toisen ammoniumkloridilisäyksen jälkeen ammoniumpitoisuus oli 11,6 mg/l ja väheni viikossa 5,7 mg:aan/l. Seitsemän viikon kuluttua käynnistyksestä ammoniumpitoisuus oli 1,6 mg/l. Ammoniumkloridin ja natriumnitriitin lisäys kohotti pitoisuuden vedessä 16,8 mg:aan/l, mutta vuorokauden kuluttua pitoisuus oli vähentynyt 4,3 mg:aan/l.



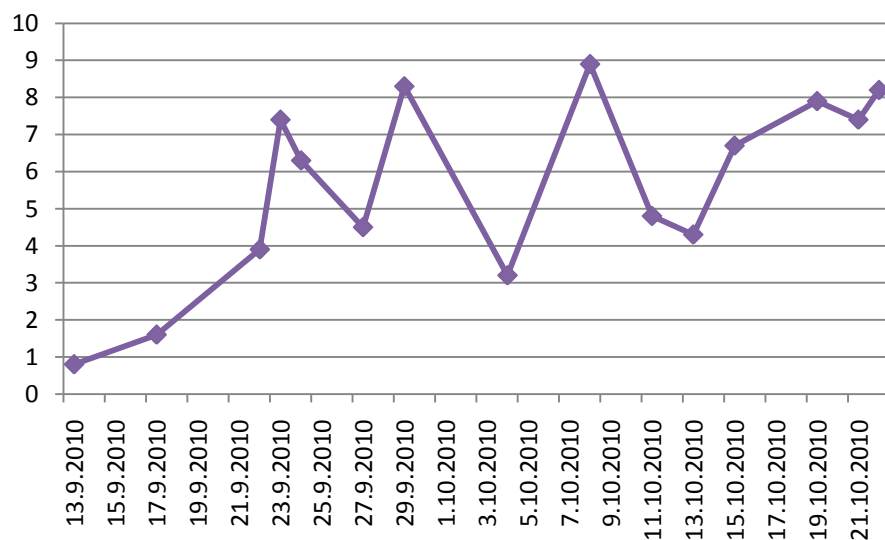
Kuvio 3. Ammoniumipitoisuudet (TAN, NH_4+NH_3 , mg/l) käynnistämisvaiheessa.

Kuviosta 4 nähdään miten viikko ammoniumkloridin lisäyksen jälkeen nitriittipitoisuus kasvaa vedessä huomattavasti. Korkeimmillaan nitriittipitoisuus vedessä on 4,79 mg/l. Kahden viikon kuluttua laitoksen käynnistämisestä nitriittipitoisuus vähenee ja jo kolmen viikon kuluttua pitoisuus on melko pieni. Tutkimuksen lopussa lisätty natriumnitriitti nostaa nitriittipitoisuutta vedessä huomattavasti (1,24 mg/l), mutta pitoisuus vähenee vuorokauden aikana 0,18 mg:aan/l.



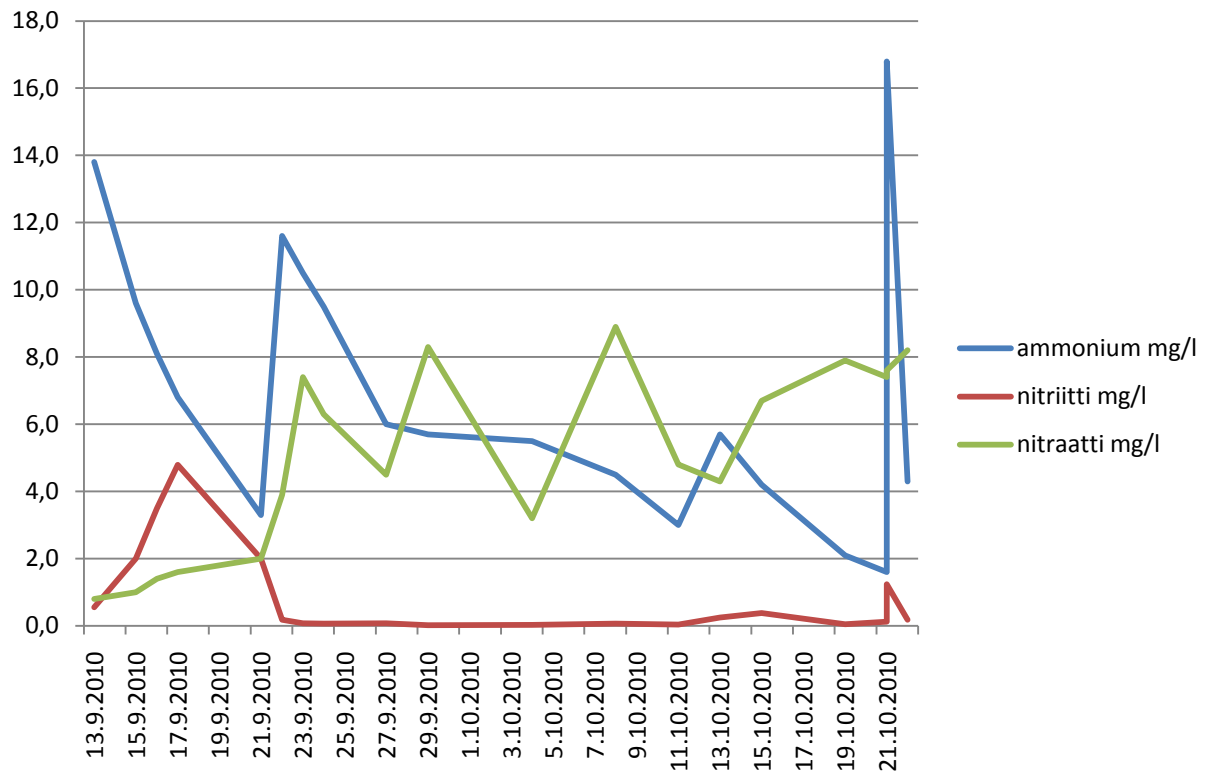
Kuvio 4. Nitriittipitoisuudet (NO₂, mg/l) käynnistämisvaiheessa.

Nitraattipitoisuus oli pieni viikko ammoniumkloridin lisäyksen jälkeen. Nitraattipitoisuus kohosi kahden viikon kuluttua laitoksen käynnistämisestä eli ensimmäisestä ammoniumkloridin lisäyksestä (kuvio 5). Samaan aikaan nitriittipitoisuus vedessä laski. Nitraattipitoisuus vaihteli tutkimuksen aikana jonkin verran, koska kierrossa muutettiin kiertävää vesimäärää. Kuvio 5 voidaan kuitenkin todeta nitraattipitoisuuden vähitellen nousevan.



Kuvio 5. Nitraattipitoisuudet (NO₃, mg/l) käynnistämisvaiheessa.

Kuviosta 6 nähdään typpiyhdisteiden suhde toisiinsa. Aluksi vain ammoniumpitoisuus on koholla. Kun se laskee, nitriittipitoisuus kohoaa odotusten mukaisesti. Nitraattipitoisuus vedessä alkaa nousta, kun nitriittipitoisuus laskee.



Kuvio 6. Typpiyhdisteiden suhde toisiinsa tutkimuksen aikana.

Kuviosta 6 nähdään myös, miten kokeen lopussa lisätty ammoniumkloridi ja natriumnitriitti nostavat sekä ammonium- että nitriittipitoisuuden koholle, mutta molempien yhdisteiden pitoisuudet myös pienenevät nopeasti.

Huhtikuussa 2011, jolloin altaissa oli ollut kolme kuukautta kaloja, mitattiin ammoniumpitoisuudeksi 0 mg/l, nitriittipitoisuudeksi 0,059 mg/l ja nitraattipitoisuudeksi 6,9 mg/l. Laajemmassa vesianalyysissä ammoniumpitoisuus oli 0,15 mg/l, nitriittipitoisuus 0,063 mg/l ja nitraattipitoisuus 12 mg/l (taulukko 6).

Taulukko 6. Laajemman vesianalyysin tulokset huhtikuussa 2011.

Määrittäminen	Yksikkö	Koekierto	Kontrollikierto	Korvausvesi
pH		7,2	7,9	7,7
Sähkönjohtavuus	mS/m	1090	1050	1050
Kiintoaine	mg/l	<2	<2	2,6
Kokonaiskovuus	mmol/l	12	11	11
Alkaliniteetti	mmol/l	0,8	1,6	1,6
Kokonaistyyppi	mg/l	13	0,54	0,51
Ammoniumtyppi	mg/l	0,15	0,01	0,04
Nitraattityppi	mg/l	12	0,25	0,23
Nitriittityppi	mg/l	0,063	<0,003	0,005

Veden pH-pitoisuus koekierrossa laski jonkin verran. Murtoveden normaali pH-pitoisuus on noin 7,7, minkä voi todeta korvausveden pH:sta. Koekierron pH oli 2011 huhtikuussa 7,2. Samoin alkalinitetipitoisuus laski. Kun korvausveden alkaliniteetti oli 1,6 mmol/l koekierron veden alkaliniteetti oli 0,8 mmol/l. Kiintoaine laitokseen tulevassa vedessä oli 2,6 mg/l, mutta kierrossa kiintoainepitoisuus oli pienempi kuin 2 mg/l. Tarkat mittaustulokset ovat liitteessä 4.

Kontrollikierrosta, jossa kiersi puhdas vesi, otettiin näytteet kuusi kertaa kokeen aikana. Veden lämpötila kokeen alussa oli 17,7 °C ja kokeen lopussa 15 °C. Vettä ei lämmitetty kokeen aikana. Kontrollikierrossa ei tapahtunut tyyppiyhdisteiden pitoisuuksissa minkäänlaista muutosta, vaan arvot pysyivät odotetusti lähellä nollaa (Taulukko 7). Myös laajemmassa vesianalyysissä pitoisuudet olivat korvausveden kaltaisia.

Taulukko 7. Kontrollikierrossa mitatut pitoisuudet.

päivä	ammonium mg/l	nitriitti mg/l	nitraatti mg/l	lämpötila C°
13.9.2010	0,05	0,013	0,3	17,7
17.9.2010	0,04	0,006	0,4	17,2
22.9.2010	0	0,005	0,4	15,1
27.9.2010	0,02	0,005	0,4	15,7
4.10.2010	0	0,004		15
15.10.2010	0	0,004		

Kiertovesijärjestelmän laitteisiin ei tehty muutoksia eikä korjauksia tutkimuksen aikana. Murtoveden sisältämä suola alkoi kiteytyä mm. altaissa oleviin vesihanoihin, mikä lisäsi hieman laitoksen rutiinitöitä.

7 TULOSTEN TARKASTELU

Kiertovesilaitoksen käynnistyminen eli tarvittavan biosuodattimen bakteerikalvon kehitys kestää eri tutkimusten mukaan kolmesta viikosta kahdeksaan viikkoon, mutta voi kestää jopa kolme kuukautta (Yanong 2003a; Gutierrez-Wing & Malone 2006, 168; Kalavesi Konsultit Oy 2010, 7). Kalavesi Konsultit Oy:n (2010, 7) mukaan noin 20 °C vedessä käynnistyminen kestää ainakin kuukauden ja kymmenessä asteessa aikaa kuluu huomattavasti enemmän. Suolaisessa vedessä nitraattia hapettavien bakteerien kehitys voi kestää jopa neljä kuukautta (Gutierrez-Wing & Malone 2006, 168). Tässä tutkimuksessa murtovetä käyttävä kierto-vesijärjestelmä käynnistyi kemiallisesti seitsemässä viikossa eli samassa ajassa kuin vastaavat makean veden laitokset. Kalojen avulla laitos saatiin käyntiin kunnolla kolmessa kuukaudessa.

7.1 Typpiyhdisteiden muutokset kalakäynnistyksessä

Nitrifikaation käynnistymistä seurataan mittaamalla veden typpiyhdisteiden pitoisuuksia. Samanaikaisesti tutkitut ammonium- ja nitriittipitoisuus kertovat muutoksillaan, kun prosessi on lähtenyt käyntiin ja halutut bakteerit ovat saaneet reaktiot aikaan. (Kalavesi Konsultit Oy 2010, 7.) Kalakokeen tuloksista voidaan todeta, että biosuodattimiin oli ehtinyt muodostua jo jonkinlainen vettä puhdistava bakteerikanta ja osittainen nitrifikaatio oli jo käynnissä ennen mittauksia, koska ammoniumpitoisuus ei enää noussut hetkellisesti korkealle. Jo pelkkä veden kierrättäminen kuukauden verran on todennäköisesti kehittänyt bakteerikantaa ja kalojen lisäys kolme viikkoa ennen mittauksia lisäsi veden ammoniumpitoisuutta, jonka ansiosta biosuodattimiin oli kehittynyt vettä puhdistava bakteerikalvo. Ammoniumpitoisuuksien kuitenkin pysyessä koko ajan hieman koholla, voidaan olettaa, että biosuodattimien teho ei ollut vielä kokonaan käytössä. Nitriittiä ei kokeessa mitattu, mutta molemmat

bakteerikannat (nitriitti- ja nitraattibakteerit) olivat kehittyneet jonkin verran, koska altaiden nitraattipitoisuus nousi. Jos *nitrobacter*-suvun bakteerit eivät olisi vielä kehittyneet, ei vedessä olisi nitraattia. Ammoniumpitoisuutta vedessä nosti myös se, että kala-altaiden liete ja syömätön rehu lapottiin altaista takaisin kiertoon ruokkimaan lisää bakteerikasvustoa. Jos tätä ei olisi tehty, olisivat arvot olleet pienempiä.

7.2 Typpiyhdisteiden muutokset kemikaalikäynnistyksessä

Kemikaalikäynnistyksen tuloksista ilmenee, että kahden viikon kuluttua käynnistyksestä ja toisen ammoniumkloridin lisäyksen jälkeen ammoniumpitoisuus pienenee aluksi nopeasti, mistä voidaan päätellä, että jo tässä vaiheessa biosuodattimiin oli kehittynyt jonkinlainen *nitrosomonas*-bakteerikanta ja suodattimissa ammonium muuttui nitriitiksi. Sama voidaan todeta nitriittipitoisuuksista. Nitriittipitoisuuden huomattava nousu viikko ammoniumkloridin ensimmäisen lisäyksen jälkeen, kertoo ammoniumin muuttuvan nitriitiksi, mutta nitriitin nitraatiksi muuttavien *nitrobacter*-suvun bakteerien vielä puuttuvan biosuodattimista.

Veden nitraattipitoisuus alkoi nousta kahden viikon kuluttua käynnistyksestä, kun samaan aikaan nitriittipitoisuus laski. Tämä varmistaa sen, että nitrifikaatio alkoi toimia ja oikeanlainen bakteerikalvo kehittyä biosuodattimiin. Nitraattipitoisuus vaihteli jonkin verran kokeen aikana, koska kiertoon otettu korvausvesi ja altaiden tyhjennykset kiertoon todennäköisesti aiheuttivat nitraattipitoisuuden heilahteluja.

Kun laitoksen käynnistämisestä oli kulunut seitsemän viikkoa, kiertoon lisättiin vielä ammoniumkloridia ja natriumnitriittiä, millä haluttiin varmistaa, että molemmat bakteerikannat (*nitrosomonas* ja *nitrobacter*) olivat kehittyneet kunnolla. Ammonium- ja nitriittipitoisuuden nopea väheneminen vedessä kertoo bakteerikannan olevan tarpeeksi kehittynyt kuormituksessa tulevan ammoniumin hapettamiseen nitriitiksi sekä edelleen nitraatiksi ja laitos voidaan ottaa kalojenkasvatustuotantoon. Kevään 2011 mittauksissa typpiyhdisteiden

pitoisuudet vedessä olivat erittäin pienet, mikä kertoo toimivasta suodatinjärjestelmästä.

Kun laitoksessa todettiin syksyllä 2010 olevan riittävä bakteerikanta laitoksen käyttöönottoon, oli kokonaisammonium 4,3 mg/l. Huhtikuun tarkemmassa vesianalyysissä pitoisuus oli 0,15 mg/l, eli suositusten alapuolella. Kun kokonaisammoniumpitoisuudessa otetaan huomioon pH (7,2) ja veden lämpötila (syksyllä 14,4 °C ja keväällä 24 °C), kaloille myrkyllisen ammoniakkin pitoisuus vedessä oli laskujen mukaan syksyllä 0,02 mg/l ja keväällä vain 0,0012 mg/l (Vrt taulukko 2). Nämä luvut osoittavat, että ammoniumpitoisuus vedessä on tarpeeksi alhainen kalojen kasvatukseen.

7.3 Muiden mittaustulosten arviointia

Intensiivisessä kierto-vesijärjestelmässä uutta vettä tarvitaan alle 10 % päivittäisestä vedentarpeesta ja korvausveden määrä riippuu nitraattipitoisuudesta (Losordo & Hobbs 2000. 98). Tässä tutkimuksessa korvausveden määrä pidettiin kummassakin kokeessa erittäin pienenä, vain 0,5 – 1,0 l/min. Tämä tarkoittaa, että uutta vettä otettiin kiertoon vain 1,33 – 2,67 % vuorokaudessa nitraattipitoisuuden silti pysyessä alhaisena. Suurempi määrä kalaa ja kalamassan kasvu tuottavat kuitenkin enemmän ammoniumia kuin nyt kiertoon syötettiin, jolloin myös nitraattipitoisuus voi nousta. Tämän vuoksi todellisessa tilanteessa korvausveden määrä voi olla suurempi, jolloin veden vaihtuvuus on suurempi ja nitraattipitoisuus laskee.

Kiertovedenlaatua on seurattava koko ajan, jotta kalat pysyisivät terveinä. Typpipitoisuuksien lisäksi vedestä on seurattava pH:ta, alkaliniteettia, lämpötilaa, happipitoisuutta sekä kiintoainetta. (Summerfelt ym. 1996, 277; Yanong 2003a.) Happea kiertävässä vedessä tarvitsevat kalojen lisäksi nitrifikaatiobakteerit (Losordo & Hobbs 2000. 100). Suositeltava hapen määrä kasvatusvedessä lohikaloille on yli 7 mg/l. Kun happea lisätään veteen, ylikyllästys ei saisi nousta yli 250 %. (Timmons ym. 2002, 29.) Kemikaalikäynnistyksen aikana veden happipitoisuus oli keskimäärin 9,5 mg/l, mikä on hyvä sekä kaloille, että biosuodattimien toiminnalle. Kalakäynnistyksen

aikana veden happipitoisuus oli erittäin korkea, mutta ei ylittänyt missään vaiheessa kaloille vaarallista 250 % pitoisuutta. Tämän tutkimuksen mukaan hapetuksen avulla saadaan kiertovesilaitoksen happipitoisuus pysymään tarvittavalla tasolla suuremmallakin kalamäärällä ja kuormituksella.

Kiintoaine poistuu tehokkaasti järjestelmän vedestä. Altaiden vedessä oli vähemmän kiintoainetta kuin korvausvedessä. Veteen tulee kiintoainetta myös kalojen ulosteesta sekä syömättä jääneestä rehusta, joten järjestelmä poistaa tehokkaasti kiintoaineen rumpusuodattimen avulla. Kiintoaine onkin poistettava kiertovesijärjestelmästä niin pian kuin mahdollista, koska se kuluttaa happea sekä tuottaa hiilidioksidia ja ammoniumia hajotessaan (Twarowska ym. 1997, 133).

Biosuodattimen bakteerikalvoa kasvatettaessa paras veden pH on seitsemän ja kahdeksan välillä, pH:n ollessa alle 6, bakteerit eivät kasva (Masser ym. 1999, 3). Nitrifikaatiossa vapautuu vetyioneja, jotka reagoidessaan karbonaattien ja bikarbonaattien kanssa vähentävät alkaliniteettiä. Vähentynyt alkaliniteetti taas laskee pH:ta. (Yanong 2003a.) Paraisten laitoksessa käytetyn murtoveden pH on 7,7. Tutkimuksen lopussa pH oli 7,2 eli se oli laskenut jonkin verran. pH on kuitenkin vielä hyvä, koska neutraali pH pitää ammoniumin ionisoituneessa muodossa, eikä muutu kaloille vaaralliseksi ammoniakiksi. Veden alkaliniteetti oli vielä tarpeeksi korkealla vastustamaan happamuuden muutoksia. Näitä arvoja on kuitenkin seurattava jatkossa. Alkaliniteetin vähentyessä on veteen lisättävä esimerkiksi natriumbikarbonaattia tai kalsiumkarbonaattia, jotta alkaliniteetti ja pH kohoaisivat (Masser ym. 1999, 3).

7.4 Lopuksi

Vertailua kokeiden välillä ei tehty, koska kokeissa oli eri muuttujia. Suurin näistä muuttujista oli eri mittalaite, jolla veden laatua mitattiin. Kevään ja syksyn kokeissa mitattiin myös eri parametrejä. Sen verran tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että kemiallisen apuaineen käyttö kiertovesilaitosta käynnistäessä nopeuttaa saamaan biosuodattimet tehokkaaseen käyttöön. Kevään kalakäynnistyksessä vettä oli kierrätetty kolme kuukautta arvojen ollessa

edelleen hieman koholla, kun taas kemiallisesti kasvatettu bakteerikanta puhdisti veden tehokkaasti jo kahden kuukauden kuluttua veden ottamisesta laitokseen.

Paraisten kiertovesilaitos on ensimmäinen Suomessa murtovettä käyttävä laitos, eikä vastaavanlaisia tutkimuksia Suomessa ole ennen tehty. Tulokset antavat kuitenkin riittävästi tietoa vastaavanlaisten kiertovesilaitosten käynnistämisen avuksi. Murtovettä käyttävä kiertovesilaitos voidaan käynnistää kemiallisesti ammoniumkloridin avulla tai ottamalla laitokseen pieni määrä kalaa tuottamaan ammoniumia ja kasvattamaan vettä puhdistavaa bakteerikalvoa biosuodattimiin. Molemmilla tavoilla saadaan laitos käynnistymään kahdessa, kolmessa kuukaudessa, eikä murtoveden suolaisuus näyttäisi hidastavan bakteerikasvuston kehittymistä. Laitteisiin kiteytyvä suola lisää hieman laitoksen rutiinitöitä. Kiertovesijärjestelmän huoltoa ja kunnossapitoa onkin hoidettava säännöllisesti kiteytyvän suolan ja murtoveden syövyttävän vaikutuksen vuoksi.

KIITOKSET

Haluan lämpimästi kiittää RKTL:n Susanna Airaksista ja Jari Riihimäkeä avusta ja kannustavasta ohjauksesta työni eri vaiheissa sekä Markku Vaajalaa työn aiheesta. Jari Riihimäkeä haluan lisäksi kiittää hänen panoksestaan vesianalyyysien teossa, jotka minun piti tehdä, mutta jäivät hänelle olosuhteiden pakosta. Kiitokset myös ohjaajalleni Pasi Korvoselle avusta ja ohjeistuksesta sekä Raisa Kääriälle kannustavasta tuesta työni eri vaiheissa.

LÄHTEET

- Aarnipuro, Y. 2004. Kalanviljelyn laitostekniikka Suomessa. Tuloveden johtaminen ja käsittely. Kala- ja riistaraportteja nro 302. RKTL. Helsinki
- Chen, S., Ling, J. & Blancheton, J-P. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering*. 34: 179-197.
- Dernjatin, M. 2008. Leijuva-alustaisen denitrifikaatioprosessin optimointi suljetussa kiertovesijärjestelmässä. Pro gradu –opinnäytetyö. Helsingin yliopisto. Biotieteellinen tiedekunta.
- Guerdat, T., Losordo, T., Classen, J., Osborne, J. & DeLong, D. 2010. An evaluation of commercially available biological filters for recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*. 42: 38 – 49.
- Gutierrez-Wing, M. T. & Malone, R. F. 2006. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering* 34(3): 163-171.
- Houle, S., Schrader, K., Le Francois, N., Comeau, Y., Kharoune, M., Summerfelt, S., Savoie, A. & Vanderberg, G. 2010. Geosmin causes off-flavour in arctic charr in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Research*. 1 – 6.
- Kalavesi Konsultit Oy. 2010. Kalanviljelyn kehittäminen. Kiertovesilaitoksen soveltaminen istukkaiden ja virkistyskalastukseen tuotettavan kalan kasvatukseen. Selvitys Muuttolan Lohi Ky:lle.
- Kalvesi Konsultit Oy. 2008. Kiertovesilaitoksen suunnitelma ja kustannisarvio. RKTL:n koetila, Parainen.
- Koskela, J., Kankainen, M., Setälä, J., Naukkarinen, M. & Vielma, J. 2007. Kuhan ruokakalakasvatuksen kannattavuus verkkokasvatuksessa ja lämminvesiviljelyssä. Kala- ja riistaraportteja nro 403. Helsinki: RKTL

Koskela, J. & Vielma, J. 2008. Kalojen kiertovesikasvatuksen tutkimusympäristön kehittäminen. Loppuraportti. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.

Losordo, T. & Hobbs, A. 2000. Using computer spreadsheets for water flow and biofilter sizing in recirculating aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering*. 23: 95 – 102.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2010. Valtioneuvoston asetus viljeltävien kalojen suojelusta. Viitattu 18.1.2011. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100812>

Masser, M., Rakocy, J. & Losordo, T. 1999. Recirculating aquaculture tank production systems. Management of recirculating systems. SRAC Publication no. 452.

McGee, M., Cichra C. 2000. Principles of Water Recirculation and filtration in aquaculture. University of Florida

Mustajärvi, V. 1999. Kalanviljelytekniikka. Kala- ja riistaraportteja nro 160. RKTL. Helsinki

Myyrä, R. 2008. Kirjolohen (*oncorhynchus mykiss*) kasvun, eväindeksien muutosten ja kuolleisuuden vertailu kiertovesi- ja läpivirtaussysteemissä. Pro gradu-tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Bio- ja ympäristötieteiden laitos.

Rahkonen, R., Vennerström, P., Rintamäki-Kinnunen, P. & Kannel, R. 2000. Terve kala. Tautien ennaltaehkäisy, tunnistus ja hoito. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Nykypaino: Helsinki.

Ruohonen, K. & Vielma, J. 1994. Kalojen pehmeäraehut. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.

Schrader, K., Rubio, S.A., Piedrahita, R. & Rimando, A. 2005. Geosmin and 2-Methylisoborneol Cause Off-Flavors in Cultured Largemouth Bass and Sturgeon Reared in Recirculating-Water Systems. *North American Journal of Aquaculture* 67: 177 – 180.

Setälä, J., Vielma, J. Koskela, J., Honkanen, A. Saarni, K., Jokelainen, T., Suvanto, M., Kankainen, M. & Virtanen, J. 2007. Ahvenanmaan kestävä kalankasvatuksen kehittämismallit. Kala- ja riistaraportteja nro 412. Turku: RKTL.

Summerfelt, S.T., Hankins, J.A., Weber, A.L. & Durant, M.D. 1997. Ozonation of a recirculating rainbow trout culture system II. Effects on microscreen filtration and water quality. *Aquaculture* 158: 57-67.

Summerfelt, S.T. 1996. Engineering design of a water reuse system. Pages 277-309. Teoksessa Summerfelt, (toim.) Walleye culture manual. NCRAC Culture Series 101. North Central Regional Aquaculture Center Publications Office, Iowa State University, Ames.

Tal, Y., Watts, J., Schreier, S., Sowers, K. & Schreier, H. 2003. Characterization of the microbial community and nitrogen transformation processes associated with moving bed bioreactors in a closed recirculated mariculture system. *Aquaculture* 215: 187 – 202.

Timmons, MB, Ebeling, J.M, Wheaton, F.W, Summerfelt, S.T, Vinci, B.J. 2002. *Recirculating Aquaculture Systems* 2nd edition. Ithaca NY: Cayuga Aquaventures.

Twarowska, J., Westerman, P. & Losordo, T. 1997. Water treatment and characterization evaluation in an intensive recirculating fish production system. *Aquacultural Engineering*. 16: 133 – 147.

Vaajala, M. Henkilökohtainen tiedonanto. 16.1.2010.

van Rijn, J., Tal, Y. & Schreier, H. 2006. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. *Aquacultural Engineering* 34(3):364 – 376.

Varsinais-Suomen elinkeino- ja ympäristökeskus. 2011. Kirkkaasta sameaan. Meren kuormitus ja tila Saaristomerellä ja Ahvenanmaalla. Varsinais-Suomen elinkeino- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 6: 23 - 24.

Vielma, J., Kankainen, M., Setälä, J., Naukkarinen, M. & Koskela, J. 2006. Fosforikuormituksen alentamisen yritystaloudelliset vaikutukset kirjoloihen kasvatuksessa sisävesialueella. Kala- ja riistaraportteja nro 394. Helsinki: RKTL.

Åbo Academi. 2006a. Kalankasvatusta kiertovesijärjestelmissä; kalaterveysaspekteja. Raakaveden desinfiointi. Viitattu 9.10.2010. <http://web.abo.fi/instut/fisk/Fin/Odling/rdesrav.htm>

Åbo Academi. 2006b. Kalankasvatusta kiertovesijärjestelmissä; kalaterveysaspekteja. Upotettu biosuodatin. Viitattu 11.10.2010. <http://web.abo.fi/instut/fisk/Fin/Odling/rbiof1.htm>

Åbo Academi. 2006c. Kalankasvatusta kiertovesijärjestelmissä; kalaterveysaspekteja. Happi ja hapetus. Viitattu 10.10.2010. <http://web.abo.fi/instut/fisk/Fin/Odling/rsyrgas.htm>

Åbo Academi. 2006d. Kalankasvatusta kiertovesijärjestelmissä; kalaterveysaspekteja. Pumput. Viitattu 12.10.2010. <http://web.abo.fi/instut/fisk/Fin/Odling/rpump.htm>

Yanong, R.P.E. 2003a. Fish Health Management Considerations in Recirculating Aquaculture systems. Part 1: General Recommendations and Problem-Solving Approaches. viitattu 12.1.2011. <http://edis.ifas.ufl.edu/FA099>

Yanong, R.P.E. 2003b. Fish Health Management Considerations in Recirculating Aquaculture systems. Part 2: Pathogens. viitattu 12.1.2011. <http://edis.ifas.ufl.edu/FA100>

Yanong, R.P.E. 2003c. Fish Health Management Considerations in Recirculating Aquaculture systems. Part 3: General Recommendations and Problem-Solving Approaches. viitattu 12.1.2011. <http://edis.ifas.ufl.edu/FA101>

Kemikaalikokeessa tehdyt toimenpiteet

6.9.	• NH ₄ Cl lisätty 1000 g
7.9.	• NH ₄ Cl lisätty 1000 g
13.9.	• Korvausvesi on 0,45 l/min
17.9.	• Korvausvesi kokonaan auki 2h, altaat täyteen
21.9.	• Altaat täytetty, korvausvesi 0,75 l/min. NH ₄ Cl lisätty 1200 g.
27.9.	• Korvausvesi suljettu
28.9.	• Allas 12 pois kierrosta, 1/2 allasta laskettu kierto
29.9.	• Loput altaasta 12 kierto
30.9.	• Allas 11 laskettu kierto
1.10.	• Allas 10 laskettu kierto
4.10.	• Allas 9 laskettu kierto
5.10.	• Allas 8 laskettu kierto
6.10.	• Allas 7 laskettu kierto
8.10.	• Altaat 7-12 täytetty vedellä, korvausvesi 1 l/min
11.10.	• Korvausvesi suljettu
12.10.	• NH ₄ Cl lisätty 800 g
13.11.	• Allas 12 laskettu kierto
15.10.	• Allas 11 laskettu kierto
18.10.	• Altaat 9 ja 10 laskettu kierto
19.10.	• Altaat täytetty vedellä, korvausvesi 1 l/min
21.10.	• Korvausvesi poikki, NH ₄ Cl lisätty 1000 g, NaNO ₂ lisätty 100 g

Kemikaalikäynnistyksen mittaustulokset

päivä	ammonium mg/l	nitriitti mg/l	nitraatti mg/l	lämpötila C°	happi mg/l
13.9.2010	13,8	0,55	0,8	19,2	
15.9.2010	9,6				
16.9.2010	8,1				
17.9.2010	6,8	4,79	1,6	18,5	8,3
21.9.2010	3,3				
22.9.2010	11,6	0,18	3,9	17,7	
23.9.2010	10,5	0,081	7,4	17,7	
24.9.2010	9,5	0,07	6,3	17,8	
27.9.2010	6,0	0,075	4,5	17,6	10,2
29.9.2010	5,7	0,024	8,3	16,7	
4.10.2010	5,5	0,03	3,2	17,4	
8.10.2010	4,5	0,065	8,9	17,0	8,6
11.10.2010	3,0	0,041	4,8	16,5	10,6
13.10.2010	5,7	0,245	4,3	16,3	
15.10.2010	4,2	0,381	6,7	16,7	9,7
19.10.2010	2,1	0,053	7,9	16,3	
21.10.2010	1,6	0,129	7,4	14,9	
21.10.2010	16,8				
22.10.2010	4,3	0,18	8,2	14,4	

Vesianalyysin tulokset

Lounais-Suomen
vesi- ja ympäristötutkimus OyTESTAUSSELOSTE
Akkreditoitu laboratorio (μ)
26.4.201111-1666 1 (2)
#2Riista- ja kalatalouden tutkimuskeskus
Parainen
Kalakouluntie 72
21610 KIRJALATilausno 132777 (X/S), saapunut 13.4.2011, näytteet otettu 13.4.2011 (13)
Näytteenottaja: Jari Riihimäki

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
4641	A = Kierro I (kalat)
4642	B = Kierro II (tyhjä)
4643	C = Tulovesi

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	4641	4642	4643
Ammoniumtyppi	μg/l	150	10	41
pH (25 °C) *		7,2	7,9	7,7
Sähkönjohtavuus *	mS/m	1090	1050	1050
Kiintoaine *	mg/l	<2	<2	2,6
Kokonaiskovuus *	mmol/l	12	11	11
Alkaliteetti *	mmol/l	0,80	1,6	1,6
Kokonaistyyppi *	μg/l	13000	540	510
Nitraattityppi *	μg/l	12000	250	230
Nitriittityppi *	μg/l	63	<3	5

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

* -merkityt analyysit ovat akkreditoituja.

LAUSUNTO

Tämä tutkimustodistus korvaa edellisen, keskeneräisen tutkimustodistuksen 1666-1.

Sanna Nurmela
mikrobiologiTutkimustodistus pätee vain tutkitulle näytteelle. Asiakirjan osittainen kopioiminen on kielletty.
Analysimenetelmien viitteet ja mittauspävarmuustiedot ovat liitteellä. Akkreditointi ei koske näytteenottoa eikä lausuntoa.Katuosoite
Telekatu 16
20360 TURKUPostiosoite
Telekatu 16
20360 TURKUPuhelin
*(02) 274 0200Telekopio/Sähköposti
(02) 238 1838Alv.rek.
Y 1564941-9
Krnro 774822

Vesianalyysin tulokset



Lounais-Suomen
vesi- ja ympäristötutkimus Oy

TESTAUSSELOSTE
Akkreditoitu laboratorio (μ)
26.4.2011

11-1666 2 (2)
#2

MENETELMÄTIEDOT

Määrittäminen	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
Ammoniumtyppi	Sis. A42QuickChem method 31-107-06-1-B; 2003 (TL27)
pH (25 °C) *	SFS 3021:1974 (TL27)
Sähkönjohtavuus *	SFS-EN 27888:1994 (TL27)
Kiintoaine *	Sisäinen menetelmä A06 (TL27)
Kokonaiskovuus *	SFS 3003:1987 (TL27)
Alkaliteetti *	Sis A01, Standard Methods... 20th ed. method 2320 (TL27)
Kokonaistyyppi *	SFS-EN ISO 11905-1:1998 (TL27)
Nitraattityppi *	SFS-EN ISO 13395:1997 (TL27)
Nitriittityppi *	SFS-EN ISO 13395:1997 (TL27)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL27	Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittämisspvm.
Ammoniumtyppi	2011/4641	±10 %	14.4.2011
	2011/4642	±3 μg/l	14.4.2011
	2011/4643	±10 %	14.4.2011
pH (25 °C) *	2011/4641	±0,2 yks.	14.4.2011
	2011/4642	±0,2 yks.	14.4.2011
	2011/4643	±0,2 yks.	14.4.2011
Sähkönjohtavuus *	2011/4641	±3 %	14.4.2011
	2011/4642	±3 %	14.4.2011
	2011/4643	±3 %	14.4.2011
Kiintoaine *	2011/4641	Määrittämissrajien alitus	14.4.2011
	2011/4642	Määrittämissrajien alitus	14.4.2011
	2011/4643	±2 mg/l	14.4.2011
Kokonaiskovuus *	2011/4641	±5 %	15.4.2011
	2011/4642	±5 %	15.4.2011
	2011/4643	±5 %	15.4.2011
Alkaliteetti *	2011/4641	±5 %	14.4.2011
	2011/4642	±5 %	14.4.2011
	2011/4643	±5 %	14.4.2011
Kokonaistyyppi *	2011/4641	±10 %	26.4.2011
	2011/4642	±10 %	18.4.2011
	2011/4643	±10 %	18.4.2011
Nitraattityppi *	2011/4641	±10 %	14.4.2011
	2011/4642	±10 %	14.4.2011
	2011/4643	±10 %	14.4.2011
Nitriittityppi *	2011/4641	±10 %	14.4.2011
	2011/4642	Määrittämissrajien alitus	14.4.2011
	2011/4643	±2 μg/l	14.4.2011

Tutkimustodistus pätee vain tutkitulle näytteelle. Asiakirjan osittainen kopioiminen on kielletty.
Analyysimenetelmien viitteet ja mittausepävarmuustiedot ovat liitteellä. Akkreditointi ei koske näytteenottoa eikä lausuntoa.