

Kalanviljelyn kehittäminen

**Kiertovesilaitoksen soveltaminen istukkaiden ja
virkistyskalastukseen tuotettavan kalan kasvatukseen**

Selvitys Muuttolan Lohi Ky:lle

15.12.2010

**Suomen elinkeinokalatalouden toimintaohjelma 2007-2013
Hankenr 0816006
Diaarinr 457/3561/2008**

**Kalavesi Konsultit Oy
Orimattilantie 524 B
07600 Myrskylä
p. 0405144155**

Sisällysluettelo

1. Perusteita	3
1.1 Poistoveden puhdistaminen	3
1.2 Kasvatuskauden lämpötilat	3
1.3 Lämpötila kasvatusaikana	3
2. Tuotantotilat	3
2.1 Betoniuoma-altaat	4
2.2 Pyöröaltaat	4
2.3 Suojarakennus	5
2.3.1 Eristetty halli	5
2.3.2 Kevytrakenteinen suoja	5
3. Vedenkäsittely	5
3.1 Mekaaninen vedenkäsittely	6
3.1.1 Rumpusuodatin	6
3.1.2 Kantoainesuodatin	6
3.1.3 Kerätyn kiintoaineen jatkokäsittely	7
3.2 Biologinen käsittely	7
3.2.1 Trickling-reaktori (valutussuodatin)	8
3.2.2 Moving bed –suodatin (ilmastettu kellupeti)	8
3.2.3 Fluidized bed –suodatin (leijupeti)	9
3.3 Hapetus	9
3.3.1 Painehapetus	9
3.3.2 Keraamiset hapettimet	10
3.3.3 Matalapainehapetin	10
3.3.4 Hapen hankinta	10
3.4 Ilmastus – CO ₂ –poisto	10
3.5 Kiertoveden desinfiointi	10
4. Vesitykset ja pumppaus	11
4.1 Putket	11
4.2 Kourut	11
4.3 Pumppaus	11
5. Kiertovesityksen soveltaminen luonnonlämpötiloja seurailevaan kalankasvatukseen	11
5.1 Muuttolan Lohi Ky:n laitospaikka kehityskohteena	11
5.2 Perusratkaisut laitoksen toteuttamiseksi	12
5.2.1 Allastus	13
5.2.2 Virtaama	13
5.2.3 Vedenkäsittely	13
5.2.4 Poistoveden puhdistus	13
5.2.5 Rakennus	14
6. Järjestelmän alustava mitoitus	14
6.1 Biologinen käsittely	14
6.2 Hapetus	14
6.3 Hapen hankinta	14
6.4 Hiilidioksidin poisto	15
6.5 Lämmitys	15
6.6 Lietteen poisto ja fosforin saostaminen	15
6.7 Kosteikko	16
6.8 Vesilinjat	16
6.9 Vedenhankinta	16
6.10 Pumput	17
6.10.1 Kiertopumppu (valutusilmastimelle)	17
6.10.2 Kiertopumppu (pelkkä veden siirto)	17
6.10.3 Hapetuspumput (veden nosto kolonneihin)	17
7. Pohjaratkaisu	17

Muuttolan Lohi Ky

Kiertovesilaitoksen soveltaminen istukkaiden ja virkistyskalastukseen tuotettavan kalan kasvatukseen

1. Perusteita

Tuotannon suunnittelun periaatteena pidetään kierto-vesijärjestelmän soveltamista siten, että samalla kun menetelmän ansiosta poistoveden puhdistaminen tulee mahdolliseksi, istukaskasvatuksen luontainen lämpötilarytmi voidaan säilyttää ja poistaa kesäaikaisten liian lämpimien kausien aikaiset haitat tuotannolle.

Yleensä kierto-vesilaitokset suunnitellaan ympärivuotiseen tehokkaaseen kasvatukseen, jonka periaatteena on jatkuva perkaus. Tässä tapauksessa näin ei voida menetellä, vaan on haettava menettely, jossa kalamassaa voidaan harventaa vuoden aikana mahdollisimman tehokkaasti ja sovittaa kalavaraston maksimi kylmälle kaudelle.

1.1 Poistoveden puhdistaminen

Tarkoituksena on vähentää tehokkaasti erityisesti fosforin määrää poistettavasta vedestä kemiallisella selkeytyksellä ja selvittää myös typen sitomista kosteikon avulla. Myös liete kerätään ja käytetään hyväksi ravinteena kasvinviljelyssä.

1.2 Kasvatuskauden lämpötilat

Lämpötilarytmi säilytetään luontaisena, mutta kasvukautta voidaan jatkaa noin kuukaudella sekä keväällä että syksyllä. Tällä saavutetaan suurempi yksilökoko sekä istukkaille että virkistyskaloille.

1.3 Lämpötila kasvatusaikana

Kesäaikana pyritään optimaalisiin kasvatuslämpötiloihin käyttämällä sopivan lämpöistä järven vettä, jota voidaan ottaa joko syvältä järvestä tai pintakerroksesta sekä näiden sekoitusta. Talvella käytetään syvänevettä, koska se on lämpötilaltaan muutamia asteita ja pitää laitoksen altaat sulina talvisin.

2. Tuotantotilat

Seuraavassa on vertailtu tuotantotilojen käytännön vaihtoehtoja oletuksena, että maa-altaat eivät sovi kierto-vesijärjestelmän altaiksi. Toinen lähtökohta tilojen suunnittelulle on, että altaat ja vedenkäsittelylaitteet suojataan säitä vastaan tarpeellisella rakennuksella.

Allastyypit, joita yleisesti käytetään kierto-vesilaitoksessa, ovat betoniuomat tai pyöröaltaat. Niiden välinen valinta tehdään yleensä itsepuhdistuvuuden, rakennuskustannusten ja hoidettavuuden välillä. Lisäksi valintaan vaikuttaa altaan kalankasvatuskapasiteetti sen mahdollistamien tiheyksien perusteella. Altaan toiminta häiriötilanteissa on myös tärkeä huomioon otettava seikka.

2.1 *Betoniuoma-altaat*

Uoma-altaita käytetään Tanskan kirjolohilaitoksilla yleisimmin. Entisiä maa-allaslaitoksia ja myös betoniuomarakenteisia on muutettu kiertovesikasvatukseen sopiviksi. Uomien leveydet ovat yleensä 3 – 5 m välillä ja syvyys 1,5 m kahden puolen. Uoma-altaan itsepuhdistuvuus edellyttää suhteellisen paljon virtausta ja tasaisesti altaaseen jakautuvan kalaston. Virtausnopeuden lukemia 5 – 6 cm/s on kerrottu. Virtausta näissä ylläpidetään useimmiten mammut-pumppujen avulla. Riittävä kalamassa yhdessä virtaaman kanssa pitää kiintoaineen liikkeellä niin, että se saadaan kerätyksi altaan loppupäässä. Sinne on yleensä sijoitettu suppilorivistö altaan poikki. Altaiden puhdistaminen on hankalaa, jos lietettä, rehua ja kuolleita kaloja kertyy altaaseen.

Kalojen automaattinen käsittely on järjestettävissä. Uoma voidaan jakaa ritilöin ja koneellisesti liikkuva väliseinä mahdollistaa lajittelun vaikka kaukosäädintä käyttäen. Kalojen siirtämiseen voidaan käyttää esimerkiksi kalaruuvia. Betoniuoma-altaiden rakennuskustannukset ovat edulliset, jos betoniasema sijaitsee riittävän lähellä kalalaitosta.

Altaiden pituus on vaihteleva, mutta kala-massan kuluttaman hapen, sen tuottaman hiilidioksidin ja altaan itsepuhdistuvuuden välillä joudutaan tekemään vertailuja kunkin laitoksen suunnittelussa. Erityisesti häiriötilanteissa toimimiseen on suunnittelun yhteydessä keskityttävä.

2.2 *Pyöröaltaat*

Pyöröaltaiden itsepuhdistuvuus saadaan hyväksi, jolloin voidaan operoida pienemmällä virtaamalla. Yksikkökokona on altaan toimivuuden kannalta turvallisinta pysytellä enintään 10 m halkaisijassa. Jotta suuremman altaan saisi toimimaan hyvin, tulee veden virtausnopeus reunoilla niin suureksi, etteivät kalat yleensä siellä viihdy. Altaan mitat riippuvat monesta tekijästä, mutta lähtökohtana pidetään altaan syvyyden ja halkaisijan välisen suhteen osumista välille 1:3 – 1:4,5. Näin mitoitettuna itsepuhdistuvuus pyörivän virtauksen avulla yleensä toimii ja kiintoaine kertyy keskelle allasta hyvinkin nopeasti.

Kalankäsittely sen sijaan on pyöröaltaalla työläämpää, koska se vaatii nuottaamista. Nuottaus on kuitenkin tehtävissä, vaikka altaassa on läpivirtaus päällä työn ajan. Häiriötilanteissa pyöröallas on selkeästi helpompi hoidettava kuin uoma, sillä veden pyörivän liikkeen ansiosta allasta pystytään hapettamaan ja ilmastamaan niin, että altaan vesi jatkaa pyörimistään koko ajan ja happi sekoittuu tasaisesti veteen.

Pyöröaltaiden rakennuskustannukset ovat yleensä hiukan korkeammat kuin betonilla, mutta pidemmälle aikavälille laskettuna vaikutus ei ole kovin merkittävä. Allas voi yleensä olla syvempi kuin vastaavalle kalastolle suunniteltu uomatyypin. Tästä syystä pyöröaltaiden tarvitsema kokonaispinta-ala on samaa luokkaa kuin uomaratkaisulla.

Nykyisin on alettu käyttää myös sivupoistoa pyöröaltaissa keskipoiston lisänä, sillä sen ei ole todettu muuttavan altaan toivottua virtauskuviota merkittävästi. Altaista poistuvan veden pinta nousee kierrätyssesteimeissä lähes altaan vedenpinnan tasolle, jotta ei tule painehäviötä, joka nostaisi pumppauskustannusta. Altaiden tyhjennys on siten järjestettävä erikseen.

2.3 Suojarakennus

Suojarakennus altaiden ja vedenkäsittelylaitteiden suojaksi on tarpeellinen kylmän kauden ja kesällä suoran auringonpaisteen takia. Kasvukauden jatkaminen ympärivuotiseksi vettä lämmittämällä edellyttää hyvin eristettyä rakennusta ja ilmanvaihtoa lämmön talteenotolla varustettuna.

Käsillä olevassa tapauksessa pyritään kasvatuskautta pidentämään kasvatusvettä lämmittämättä. Tanskan kasvattamot ovat pääasiassa kattamattomia. Tanskan ilmasto on jo jonkin verran leudompi kuin meillä ja kasvatuskausi keskimäärin pidempi. Laitoksilla yleensä käytetään pohjavettä, joten tuloveden lämpötila on suhteellisesti korkeampi kuin mihin täällä pintavesissä pystytään, vaikka vettä otettaisiinkin talvisin syvänteestä.

Ottamalla vettä syvänteestä ja sijoittamalla altaat suojarakennukseen altaiden vesipinta pysyy sulana. Keväisin veden lämpötila kuitenkin alkaa aiemmin kohota ja jatkuu syksyisin vastaavasti myöhempään lämpimänä kuin suojattomassa altaikossa.

2.3.1 Eristetty halli

Eristettynä hallirakenteena käytetään nykyisin jänneviltiltään suuremmissa (20 m) rakennuksissa teräsrunkoista PUR-eriste-elementein kuoritettua rakennusta. Tavanomaiset hankintakustannukset vaihtelevat johtuen perustuskustannuksista rakennuspaikalla. Biologisen suodattimen käynnissä pitäminen edellyttää veden pysymistä riittävän lämpöisenä ympäri vuoden, joten ainakin osa vedenkäsittelyosaston altaista on tehtävä eristettynä kummassakin tässä tarkastellussa vaihtoehdossa. Eristettyä rakennusta tarvitaan, mikäli kasvatustiloissa pidetään kasvatusveden lämpöä yllä talvella. Mikäli poikasia kasvatetaan, on tämä välttämätöntä, jotta voidaan ajoittaa poikasten siirto oikea-aikaisesti kasvatusosastolle.

2.3.2 Kevytrakenteinen suoja

Kun eristystarve on vähäinen, mutta suojaus kuitenkin oleellista, käytetään kevyempiä ratkaisuja altaiden suojaamiseksi. Tavanomainen mahdollisuus on muovikankaalla ympäröity teräsrunkohalli, jonka pystytys on nopeaa ja rakennuskustannus neliötä kohden noin puolet eristetyn peltihallin kustannuksista. Meidän ilmastossamme kylmän kauden aikana suoja ei riitä systeemin pitämiseksi lämpöisenä taloudellisesti, ellei ole käytössä riittävästi hukkalämpöä. Tällaista kaksikerroksista, ilmalla eristettyä muovikangashallia on käytetty mm. Tainionkosken sampilaitoksella Imatralla.

3. Vedenkäsittely

Käyttöveden lämpötila on noin puoli vuotta kaloja hyvin kasvattava ja samalla biologisen käsittelyn kannalta sopiva. Toinen puoli vuotta lämpötila laskee lähelle nollaa, arviolta noin 2°C paikkeille. Tällä on vaikutusta ruokinnan määrään ja biologisen vedenkäsittelyn toimintaan. Tanskan laitoksilla voidaan käyttää pohjavettä, mutta silti ilmasto vaikuttaa avoimiin altaisiin niin, että lämpötilat eivät voi olla samat kuin kesällä. Kalojen aktiivisuus on kylmässä vedessä muutenkin vähäisempää, joten varsinaisen kasvukauden ja talven aikana vedenkäsittelyssä on mahdollisuus säätää laitteet toimimaan kaikin puolin kapasiteettia madaltamalla.

3.1 Mekaaninen vedenkäsittely

Mekaanisella vedenkäsittelyllä tarkoitetaan laskeutusta ja suodatusta. Laskeutusta käytetään sekä pyöröaltaiden yhteydessä että uoma-altailla. Uoma-altaiden loppupään suppilorivistö kerää laskeutuneen kiintoaineksen ja suppilot tyhjennetään pohjaventtiili avaamalla päivittäin. Pyöröaltaissa kiintoaine kertyy keskellä allasta olevaan lietepesään, josta se poistetaan ajoittain tai jatkuvan virtauksen mukana. Liete johdetaan yleensä vastaanottoaltaaseen, josta se tavallisesti pumpataan eteenpäin riippuen sen jatkokäsittelystä. Erillisiä vesikierrossa olevia laskeuttimia harvemmin käytetään, eikä niitä ole tässä käsitelty. Suodatukseen on vaihtoehtoja ja niiden yhdistelmiä voidaan soveltaa tarpeen mukaan.

3.1.1 Rumpusuodatin

Rumpusuodatinta on yleisesti käytetty kiintoaineen keräämiseen kiertovesilaitoksilla. Pyöröaltaiden yhteydessä sen käyttö on yleensä pienemmän virtaaman vuoksi taloudellisempi kuin uoma-altailla. Suodatin voi olla pienempi ja sillä käsitellään yleensä koko kiertävä vesi. Altaan lietepesään kerätty kiintoaine voidaan poistaa erillisesti suoraan lietekaivoon tuomatta sitä ollenkaan siivilälle tai sitten antaa poistoveden virrata jatkuvasti altaan keskiön kautta siivilöintiin kiintoaineet mukanaan. Mikäli keskikuppi tyhjennetään ajoittain, menee tämä osa vedestä yleensä kierrosta pois. Jatkuvassa virtauksessa sen sijaan on mahdollista palauttaa lähes kaikki vesi takaisin kiertoon mukaan lukien suodattimen huuhteluvesi. Tämä vaatii vielä huuhteluveden jatkokäsittelyn.

Rumpusuodattimissa käytetään yleensä suodatusverkkoina silmäkooltaan 30 – 80 mikronia olevia teräs- tai muoviverkkoja. Suodatin huuhdellaan tarpeen mukaan ajastimen, pintakytkimen tai molempien ohjaamana. Yleensä huuhteluun käytetään kierrosta otettua suodattimen läpäissyttä vettä.

3.1.2 Kantoainesuodatin

Kantoainesuodattimella on kiintoaineen keräämisen lisäksi myös biologisesti puhdistava toimintaominaisuus. Tämä suodatintyyppi sijoitetaan kiertoon lähinnä pyydystämään pienimpiä kiintoainepartikkeleita pienten partikkeleiden ja kantoaineen välisten vetovoimien avulla (adheesio). Tanskan kirjolohilaitoksilla on käytetty irrallista kantoainemassaa, jonka ominaispaino on yli yhden, jolloin massa laskeutuu rei'itetyn pohjan päälle ja virtauksen suunta on ylhäältä alas. Suodatin on matala ja sen tarvitsema pinta-ala on suhteellisen suuri. Suodatin puhdistetaan aika-ajoin ravistelemalla kantoainetta puhallettavan ilman avulla ja huuhtelemalla se vastavirtaan. Huuhteluvesi kerättyine partikkeleineen johdetaan jatkokäsittelyyn. Kantoaineen ominaispinta-ala voi olla 500 – 800 m²/m³.

Toinen rakennevaihtoehto on pystyrakenteinen suodatin, jossa kantoaineena on bioblokkikennosto. Kenno on veden alla ja virtaus käy yleensä alhaalta ylös. Kennon kantoaineen ominaispinta-ala on yleensä 200 -300 m²/m³. Tämä suodatintyyppi on useiden kiertovesijärjestelmien toimituksissa mukana. Suodatin huuhdellaan määrääjain, jolloin se yleensä ravistellaan ilmakuplituksella ja kiintoainepartikkeleiden irrottua kennoista tyhjennetään ja vesi johdetaan jatkokäsittelyyn. Säiliön tyhjennyksessä menetetään paljon vettä ja sen talteen ottaminen puhdistettuna olisi joissain tapauksissa tarpeen.

Kantoainesuodattimilla käsitellään yleensä osavirtaamia, mutta voidaan myös johtaa kaikki kiertokin suodattimeen. Tällöin suodatin on sitten yleensä mitoitettu biologisen käsittelyn vaatiman biofilmin mukaan (submerged biofilter).

3.1.3 Kerätyn kiintoaineen jatkokäsittely

Liete halutaan tiivistää niin, ettei tarvittaisi turhaan siirrellä vetistä lietettä. Erilaisia mahdollisuuksia tähän on, mutta vakiintuneita käytäntöjä varsinkin kylmiin olosuhteisiin vielä haetaan. Kiintoaineen jatkokäsittely yleensä yhdistetään fosforin poistoon saostamalla.

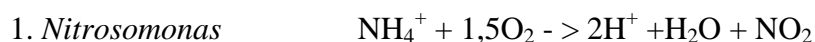
3.2 Biologinen käsittely

Kalanviljelyn kierto-vesijärjestelmissä biologinen vedenpuhdistus tehdään erilaisten kantoainereaktoreiden/suodattimien avulla. Erilaisia kantoaineita käytetään ja niiden käyttötapojenkin välillä voidaan soveltaa erilaisia variaatioita. On upotettuna oleva kantoaine, vedenpinnan yläpuolelle sijoitettu, jatkuvasti kasteltava kantoaine ja vuoronperään upoksissa ja pinnan yläpuolella käyvä kantoaine, esimerkiksi bioroottori.

Kierto-vesiviljelyssä käytettävä vesi on puhdistettava kalojen aineenvaihdunnan aikaan saamista kaloille haitallisista yhdisteistä. Kalojen tuottama ammoniakki muuntuu nitrifikaatiossa nitriitin kautta nitraatiksi. Suurin osa kierto-vesilaitoksista toimii pelkästään nitrifikaatioon perustuvan biologisen käsittelyn avulla. Systeemiin vaihdetaan vettä sen verran, että pysytään hankalien tyyppiyhdisteiden pitoisuuksissa turvallisella alueella.

Kaavamaisesti esitettynä nitrifikaatiota käsitellään kahden bakteerisuvun yhteisen toiminnan tuloksena:

Nitrifikaatio



Bakteerit käyttävät reaktioissa syntyvän energian solumassan tuottamiseen, mutta koska tämä tapahtuu hitaasti ja tehottomasti, nitrifioivien bakteerien kasvu on myös hidasta. Tämän vuoksi nitrifikaatiosuodattimissa käytetään kantoaineena erityyppisiä materiaaleja, joilla tarjotaan mahdollisimman paljon pinta-alaa bakteerien asettua ja saadaan riittävästi toimivaa biofilmiä käsittelemään tuleva ammoniakkikuorma. Nitrifikaation käynnistymistä seurataan mittaamalla kiertävän veden tyyppiyhdisteiden pitoisuuksia. Koska veden lämpötila vaikuttaa bakteerien kasvunopeuteen, on kalanviljelyssä yleensä viileissä vesissä varauduttava melko pitkiin käynnistysaikoihin. Noin 20°C lämpöisessä vedessä käynnistyminen vie ainakin kuukauden, ja jos ollaan lähempänä kymmentä astetta kestää käynnistys kaksi – kolme kuukautta.

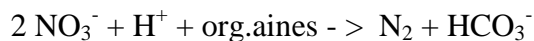
Käynnistysvaihe on yleensä hankalin ja vaatii huolellista seurantaa. Samanaikaisesti tutkitut ammoniakki ja nitriitti kertovat muutoksillaan, että prosessi on lähtenyt käyntiin ja reaktion ovat saaneet aikaan halutut bakteerit. Nitrifikaatio käynnistetään yleensä ottamalla altaaseen kohtuullinen määrä kalaa ja ruokkimalla sitä normaalisti. Ensimmäisellä kerralla luotetaan siihen, että luonnon vesistä valikoituu ajan kanssa oikea bakteeripopulaatio reaktioita hoitamaan.

Myöhemmin, kun ollaan varmoja ympin turvallisuudesta kalatautien osalta, voidaan käynnistystä nopeuttaa siirtämällä valmista biofilmiä uuteen reaktoriin. Alussa veden vaihto pidetään sellaisella tasolla, että laskennallisesti tiedetään oltavan turvallisissa pitoisuuksissa. Asia varmistetaan mittauksin. Kun todetaan nitriitin kertymistä, ollaan erityisen tarkkana ja seurataan kalojen käyttäytymistä sekä muita vedenlaatutekijöitä, kuten pH-arvoa.

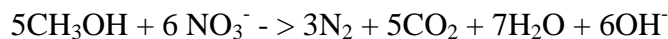
Kun on todettu, että nitrifikaatio toimii, huolehditaan siitä, että olosuhteet pysyvät sen jälkeen hyvinä sekä kaloille että biofilmille. Kaikki liian äkilliset muutokset ovat haitallisia. Lääkeaineet, jos lääkintään joudutaan, voivat aiheuttaa ongelmia (onneksi se on harvinaista). Nitrifikaatioon tuleva vesi on mekaanisesti melko hyvin käsiteltyä laskeutuksen ja siivilöinnin takia. Vedenlaatututkimusten väliä voidaan harventaa, kun kokemusta kertyy. Kuitenkin kerran kahdessa viikossa on hyvä tarkastaa tilanne.

Mikäli vettä kierrätetään lähes 100 %, on vedestä poistettava myös nitraattimuotoinen typpi. Tämä tapahtuu denitrifikaation avulla. Denitrifikaatiossa typpi pelkistyy kaasuksi vähähappisissa olosuhteissa ja kupliintuu pois käsitelystä vedestä. Denitrifioivat bakteerit ovat heterotrofisia ja ne tarvitsevat hiiltä. Kalanviljelyn kiertovesitykseen denitrifikaatioreaktori sijoitetaan yleensä sivukiertona. Viipymä voi olla kahden tunnin luokkaa, jolloin päästään lähes hapettomiin olosuhteisiin. Reaktorista ulos tuleva vesi suodatetaan ja ilmastetaan ennen johtamista takaisin kala-altaan kiertoon. Koska denitrifikaatio nostaa alkaliniteettia, on se siltäkin osalta hyödyllinen kiertovesijärjestelmän osana. Systemin kerätyt lietteet pumpataan reaktoriin, jotta saadaan kulutetuksi happi pois käsiteltävästä vedestä. Tavallisesti tämä ei riitä hiilen lähteeksi, vaan käytetään esimerkiksi metanolia lisänä.

Reaktiot, kun hiilenlähteenä on orgaaninen aines:



Hiilenlähteenä metanoli:



Seuraavassa on esitelty kolmea eniten käytettyä suodatintyyppiä, jotka voivat olla käyttökelpoisia tässä hankkeessa.

3.2.1 Trickling-reaktori (valutussuodatin)

Trickling-reaktorissa käytetään kantoaineena ominaispinta-alaltaan 150 -300 m²/m³ olevaa muovikennoa. Yleensä korkeussuunnassa kennoston mitta on noin 2,5 – 3,5 m. Vesi pumpataan kennoston päälle ja pisaroidaan erikoissuuttimien avulla. Vesi putoaa kennoston läpi samalla ilmastuen. Kennoston alla on yleensä levy, jonka päälle vesi putoaa (splash board). Tämä levy helpottaa puhtaanapitoa.

Trickling-reaktoria voidaan käyttää kahden peräkkäisen reaktorityypin sarjassa yleensä jälkimmäisenä ilmastusvaikutuksensa vuoksi. Suodatin tuottaa noin 85-90 % -kyllästeiseksi hapetettua vettä kiertoon. Ilmankiertoa voidaan tehostaa reaktorissa vetämällä reaktorin läpi ilmaa imurilla alhaalta ylös vasten veden kulkua.

3.2.2 Moving bed –suodatin (ilmastettu kellupeti)

Suodatinsäiliöt voivat olla muodoltaan hyvinkin erilaisia riippuen asennuspaikasta tai laitevalmistajasta. Kantoaineena käytetään esimerkiksi tarkoitukseen erikseen suunniteltuja muovikappaleita, joilla haetaan mahdollisimman suurta ominaispinta-alaa. Noin 700-800 m²/m³ on yleensä ilmoitettu tehokkaaksi ominaispinta-alaksi bakteereiden kiinnittyä. Petiä yleensä ilmastetaan jatkuvasti suhteellisen voimakkaasti. Muovipatjan paksuus riippuu myös ilmastuksen voimakkuudesta, koska koko peti olisi saatava liikkumaan ja vedenvaihto onnistumaan.

Peruseriaate on, että veden virtaus jakautuu tasaisesti suodattavalle massalle ja rakenne on sellainen, että massa pysyy sihtien pitämänä reaktorissa. Koska petiin puhalletaan ilmaa, on sen hapensaanti hyvin turvattu ja nitrifikaation toiminnasta on hyvät kokemukset. Ominaispaine näillä on yleensä 0,92-0,96, joten ne kelluvat lepotilassa niin, että pinta on hiukan veden päällä. Reaktoreita on sekä vaakavirtaukselle että ylhäältä alaspäin tai alhaalta ylöspäin suuntautuvalle. Moving bed -suodatin on tavallisesti ilmastettu puhaltimen ja ilmanhajotusputkiston avulla. Oletuksena on, että saavutettava kyllästysaste on 85 %.

3.2.3 Fluidized bed –suodatin (leijupeti)

Virtaussuunta vertikaalisessa suodattimessa on alhaalta ylös. Muodoltaan allas voi olla pyöreä tai nelikulmainen. Tärkeintä on, että vesi voidaan jakaa hyvin tasaisesti leijuttamaan hiekkapatjaa, joka muodostaa kantoaineen. Koko patjan on oltava mukana liikkeessä. Laajapohjaisissa säiliöissä tämä ei ole helposti toteutettavissa. Suomessa on käytössä muovirakenteisia (PE-rotatiovalettuja) ja lasikuitulujitteisia muovisäiliöitä. Hiekan raekoko on keskimäärin alle millimetrin, noin 0,5 mm. Ominaispinta-ala lisääntyy, kun raekoko pienenee ja hiekalla onkin teoreettisesti laskettuna huima ominaispinta-ala eli se on luokkaa 10 000-20 000 m²/m³. Käytännössä kaikki pinta ei ole hyötypintaa, sillä leijuessaan hiekka hankautuu ja osa biofilmistä lähtee kiertoon virtauksen mukana. Hiekkakerroksen annetaan laajentua käyttötilanteessa enintään noin kaksinkertaiseksi lepopaksuudesta. Viipymä säiliössä on yleensä muutamia minuutteja. Leijupetin jälkeen vesi on ilmastettava. Tämän käsittelyn jatkoksi myös sopii tästä syystä hyvin trickling-reaktori. Fluidized bed on suodatin, johon ei voi syöttää ilmaa eikä happea sekaan, koska kaasukuplat tarttuisivat pieniin hiekanmuruihin ja keventäisivät niitä niin, että niitä lähtisi virtauksen mukana pois suodattimesta. Tällaiseen suodattimeen menevän veden onkin sisällettävä happi, jonka suodattimen toiminta tarvitsee. Leijupetiin voidaan käyttää myös pieniä muovirakeita, mutta niiden on oltava ominaispainoltaan selvästi yli yhden.

3.3 Hapetus

Viljeltäessä kaloja kiertovesisysteemeissä on huolehdittava veden riittävästä happipitoisuudesta sekä kalojen hyvinvoinnin että biosuodattimien toiminnan kannalta. Hapetukseen on käytettävissä erilaisia menetelmiä. Käytännössä kaikki kiertovesilaitoksen happi on laitettava veteen joko puhtaana happena tai ilmastaen, yleensä näiden yhdistelmänä. Tavallisesti lasketaan, että yhden kalakilon tuottaminen kuluttaa happea yhden kilon. Tämä arvio on selvästi varman puolella ja ottaa huomioon kalan oman kulutuksen noin 250 g per lisäkasvukilo ja suunnilleen saman biologiselle suodattimelle, jolloin arvioon sisältyy noin 50 % varmuusvaraa.

3.3.1 Painehapetus

Painehapetus tehdään yleensä eräänlaisessa paineastiassa, jonka rakenne riippuu paineen suuruudesta. Yleensä hapetin on muodoltaan kolonnimainen tai kartio, jonka paksumpi pää on alhaalla. Vesi pumpataan hapettimen yläosaan keskipakopumpulla. Paine tämän tyyppin hapettimissa on yleensä 1-2 bar. Painehapettimen avulla saadaan laskennalliseksi kyllästysarvoksi 250-300 % hyötysuhteella n. 90 %.

Painehapetin toimii sivukiertona kiertovesisysteemeissä ja on lisättävissä kiertoon tarvittaessa. Painehapettimeen voidaan myös tehdä sellainen rakenne sisään, että voidaan hyödyntää kaasun vaihtoa, jolloin kyllästysarvoksi voidaan saada korkeampikin arvo esim. 400-500 %. Korkeakyllästeinen vesi sekoitetaan pääkiertoon.

3.3.2 Keraamiset hapettimet

Keraamisia hapettimia käytetään suoraan kala-altaissa. Hyötysuhteena voidaan laskelmia varten pitää noin 50 - 70 %, mikäli kala-altaan happikyllästeisyys on luokkaa 70 %, kuten yleensä altaan poistoveden osalta halutaan. Suoraan altaan veteen tehty kuplitus lisää esimerkiksi häiriötilanteiden aikaista varmuutta, koska varajärjestelmäksi sopiva systeemi on valmiina käyttöön.

3.3.3 Matalapainehapetin

Hapetus ilman paineistusta voidaan tehdä hapetuskolonnissa tai erityisessä laatikkomaisessa hapettimessa, jonka läpi vesi putoaa. Kolonnin hyötysuhteeksi oletetaan 85 %. Kolonnin avulla happitasoksi saadaan noin 180 %. Hapetettava vesi nostetaan kolonnin yläpäähän pumpulla, jonka jälkeen vesi putoaa hajottajakappaleilla täytetyn sylinterin läpi. Pudotessaan kaasut vaihtuvat niin, että vastasuuntaan alhaalta ylös nouseva happi korvaa mm. veteen liunneen typen. Hyötysuhde on hyvä, mikäli ei haeta korkeita kyllästysarvoja. Tässä yhteydessä on mahdollista käyttää desinfioivaa otsonia osana happea. Otsonista on hyötyä kolonnin puhtaana pysymisessä. Vaihdettu kaasu johdetaan ulos hapettimen yläosasta aktiivihilisuodattimen kautta mahdollisen otsonipitoisuuden vuoksi.

3.3.4 Hapen hankinta

Hapen hankinta on tehtävissä kahdella tavalla. Nestehapen osto on toinen tapa ja toinen on happigeneraattorin käyttö paikan päällä. Kustannuksien vertailu tehdään vertaamalla nestehapen hintaa ja säiliön vuokrakustannusta generaattorin hankintakustannuksista pääomitettuun vuosikustannukseen lisättyinä vuotuisilla energia- ja huoltokuluilla. Happigeneraattorin käyttöiäksi voidaan laskea ainakin kymmenen vuotta. Tältä osin tarkastelu on jätetty jäljempänä seuraavan esimerkkitapauksen käsittelyn yhteyteen.

3.4 Ilmastus – CO₂ –poisto

Hengittäessään kalat kuluttavat happea ja palamistuotteena on hiilidioksidi, jota syntyy 1,38 g jokaista kulutettua happigrammaa kohti. Hiilidioksidi (CO₂) altaan veteen kertyessään laskee sen pH:ta ja tämän jatkuessa alkaa muuttua hiilihapoksi. pH:n laskiessa noin 5,5 paikkeille kalojen ongelmat alkavat tulla akuutisti esiin, kalalajista riippuen jo aiemminkin. Kiertovesisysteemissä pH-muutokset vaikuttavat myös tyyppiyhdisteiden tasapainoon, eikä pH:n tulisi päästä koskaan alle 6, koska nitriitin myrkyllisyys lisääntyy rajusti. Tavallisesti pH pidetään 6,5 – 7,0 välillä. Muutosta torjutaan esimerkiksi ilmastamalla kala-altaan tai kierron vettä suhteellisen voimakkaasti. Veteen kuplitettu ilma poistaa hiilidioksidia ja lisää samalla happea, mikäli ilmastettavassa altaassa hapen kyllästysarvo on alle 100 %. Hiilidioksidia ei saa olla yli 20 mg/l. Tarkkoja arvoja ei varmuudella näytä olevan tiedossa, vaan kirjallisuudessa on esitetty poikkeavia tietoja. Hiilidioksidia on poistettava kierrosta koko ajan. Biologisen käsittelyn yhteydessä trickling-reaktorissa eli valutus-suodattimessa hiilidioksidia irtoaa vedestä ja samoin moving-bed –suodattimessa.

3.5 Kiertoveden desinfiointi

Kiertovedestä pyritään vähentämään mahdollisia taudinaiheuttajaorganismeja pääasiassa kahdella desinfiointitavalla. Pienemmissä järjestelmissä, kuten poikaslaitoksissa, käytetään ultraviolettisäteilytystä ja suuremmissa otsonia tai otsonin ja UV:n yhdistelmää. Virtaaman kasvaessa UV-laitteiden koko kasvaa suureksi ja hinta niin korkeaksi, ettei tällä hetkellä ole kovin

realistista mahdollisuutta sijoittaa kasvattamoon UV-desinfiointia muuten kuin otsonoinnin kanssa yhteiskäyttöön.

4. Vesitykset ja pumppaus

4.1 Putket

Käytettävät putkimateriaalit ovat nykyisin lähes pelkästään muoveja. Muovilaatuina käytetään polypropeenä (PP), polyeteeniä (PE) ja polyvinyylidikloridia (PVC). Materiaalien valinta riippuu asennuspaikasta, ympäröivästä lämpötilasta, käyttötarkoituksesta ja kustannuksista. Putkikoko vaikuttaa siten, että tarvittaessa suuria putkia, halkaisijaltaan yli 630 mm, on esimerkiksi PE-putkiliitoksiin saatavana maasta vain muutama hitsauskone, jolloin muutaman sauman tekeminen voi osoittautua kalliiksi. Paikalla käsin ekstruder-hitsauksella tehty sauma saattaa tällöin olla järkevämpi vaihtoehto. PE-putkiin voidaan hitsaamalla kiinnittää erilaisia osia, haaroituksia, kulmia ym. Yleensä PP- ja PVC putket ovat joko liimaten tai kumitiivistemuhvein yhdistettäviä. Paras pakkasenkesto on polyeteenimuovilla ja se on myös mekaanista rasitusta parhaiten sietävä materiaali.

Putkia käytettäessä kiertovesilaitoksessa putkien pinnat likaantuvat vähitellen ja niitä on puhdistettava ajoittain. Tätä varten putkiin on järjestettävä tyhjennysmahdollisuus.

4.2 Kourut

Vesikouruja käytetään, jotta kiertovesityksessä syntyvä virtausvastus voitaisiin minimoida. Poistopuolen vesilinja on helposti puhdistettavissa vaikka päivittäin ja likaantumista voidaan seurata katsomalla tilannetta kourussa. Materiaalivaihtoehdot ovat betoni, PE- tai PP- muovi ja teräs. Valinta tehdään pääasiassa laskemalla kokonaiskustannus ottaen huomioon myös kouruun tarvittavat liitokset ja kourun kannakointi.

4.3 Pumppaus

Kiertävän veden pumppaus on kiertovesilaitoksen tärkein kustannuserä. Kustannukseen vaikuttaa pumppauskorkeus ja virtaama. Mikäli vettä ei tarvitsisi nostaa, vaan pitää vain liikkeessä, kustannus olisi pienin mahdollinen. Kuitenkin veteen on saatava liuotetuksi happi ja vettä on ilmastettava hiilidioksidin poistamiseksi. Vesi on myös käsiteltävä biologisella puhdistuksella ja altaan vedenvaihto pidettävä sellaisena, että vedenkäsittelyllä aikaansaadun veden laatu ei ehdi muuttua altaassa viipymäaikana kaloille haitalliseksi.

Järjestelmän toteuttamiseksi on useita vaihtoehtoisia ratkaisuja. Niiden energiavertailut tehdään, kun on selvitetty lopulliset valintavaihtoehdot. Suunnittelussa tulee päätyä enintään kahteen tekniseen vaihtoehtoon.

5. Kiertovesityksen soveltaminen luonnonlämpötiloja seurailevaan kalankasvatukseen

5.1 Muuttolan Lohi Ky:n laitospaikka kehityskohteena

Ajatuksena järjestelmän kehittämisessä on kiertovesityksen hyödyntäminen siten, että vedenottovesistön luonnollisia lämpötiloja hyödyntäen leikataan kesien huippulämmöt sekä

jatketaan kasvukautta noin kuukaudella syksyisin ja keväisin. Tällä tavoin saadaan kasvua aikaisiksi aikaisemman 3½ - 5 kk kestävänsä kasvukauden sijaan noin 7½ - 8 kk (ei optimilämpötilaa koko ajalle). Käytännössä tämä tarkoittaa istukaskasvatuksessa kolmen kasvatukseen muuttamista kahdeksi. Tämä on biologisen vedenkäsittelyn osalta vaikeampi toteuttaa kuin ympärivuotinen tasalämpöviljely. Jos bioreaktorin annetaan kylmän veden mukana laantua ja samalla laitoksen kalamassa onkin suurimmillaan odottamassa kevättä ja veden lämpiämistä, bioreaktori ei ehdi kehittää bakteeripopulaatioita vettä käsittelemään samassa vauhdissa kuin vesi lämpenee ja kalat alkavat kuormittaa vedenkäsittelyä.

Vedenotto on muutettava niin, että Kymijärven syvänteestä, ainakin 8 – 10 m syvyydestä saadaan laitokselle käyttövetä sekä kesällä että talvella. Keväällä ja tarvittaessa muinakin aikoina käytetään myös matalammasta 3 – 5 m tasolta otettavaa vettä, jotta saadaan säädellyksi kiertoveden lämpötilaa. Vesi nostetaan järvestä pumpuilla.

Bioreaktorista tietty osa pidetään aktiivisena talven yli annostelemalla siihen ravinnetta ja pitämällä lämpötila riittävän korkealla. Tämän lisäksi keväällä lisätään reaktorin aktiivista osuutta ennen kuin luonnon vesi alkaa suuremmin lämmitä.

Muuttolan Lohen kalalaitoksen maa-altaikon vesipinnat seuraavat nykyisellään Kymijärven pintaa ja hetkellä, kun vesipinta on alhaalla, altaiden vesitilavuus ja virtaama ovat pieniä verrattuna korkean veden aikoihin. Kiertovesityksen ansiosta allastilavuudet olisivat vakiot ja vedenvaihtoa voitaisiin säädellä sitä mukaan kuin kalojen hyvinvointi edellyttää.

Kesän ja talven ääriolosuhteiden vaikutukset voidaan torjua. Kesällä voidaan noudattaa optimilämpötiloja, koska syväneputkella saadaan jäähdyttävää vettä tarvittava määrä. Talvella syväneputkella otettavassa vedessä on lämpömäärä sellainen, että suojatuissa kasvatustiloissa altaat pysyvät sulina. Ääriolosuhteiden poistaminen vähentää kalakuolemia vähentämällä kesällä kalatautiriskejä ja talvella jään alla tapahtuvia ilmiöitä, esimerkiksi mahdollista hiilidioksidin kertymistä jään alle altaisiin.

Tarkoituksena on, että samalla kun tuotantoa nostetaan, vesistövaikutuksia torjutaan niin, ettei kasvatuksen lisääminen lisää vesistön kuormitusta. Kiertovesityksestä poistettavasta vedestä saadaan keräytyksi pois huomattava osa fosforista sekä kiintoaineksen tehokkaalla keräyksellä että myös liuenneen fosforin talteenotolla.

Kasvatusmallilla, jota käytetään ohjattaessa laitoksen tuotantoa, ennakoidaan tulevat biomassan harvennukset ja uusien kalojen sisäänotto. Vanhat maa-altaat säilytetään mahdollisesti kunnostettuina käytettäväksi kiertovesilaitoksesta ulos kasvaneen, toimitusta odottavan kalan varastoaltaina.

5.2 Perusratkaisut laitoksen toteuttamiseksi

Laitoksen mitoituksessa lähdettiin tuotannon osalta noin 2000 m³ kasvatustiloista. Nämä päätettiin jakaa kahteen identtiseen osastoon. Tämän kokoinen laitos on jo niin iso, ettei koon kasvattaminen enää tuo paljoa yksikkökustannussäästöä. Säilytysaltaina toimivat nykyiset maa-altaat. Peruseriaatteena on hakea optimaalinen ratkaisu energiankäytön suhteen.

5.2.1 Allastus

Altaiden kooksi valittiin halkaisijaltaan 8 m ja syvyydeltään 2 m allas. Yhden altaan pohjan pinta-ala on 50 m^2 ja tilavuus 100 m^3 . Altaat varustetaan pohjapoistoin sekä sivupoistoin, joita kumpaakin on yksi per allas. Materiaalivaihtoehdot ovat polyeteenilevy tai lujitemuovilevy. Mitoituksessa huomioitavaa on maanpaineen vaikutus, vahvistustarve eri tuennalla sekä myös mahdollinen lisätuenta altaan pohjan ja seinän väliselle liitokselle. Vaihtoehtona voi olla myös yhdistelmä rakenne, jossa pohjassa on betoninen laatta ja seinämänä lujitemuovi, joka on metallipuikoin ankkuroitu valun sisään. Kummassakin osastossa on kymmenen allasta sijoitettuna kahteen riviin. Altaiden väliin jätetään yli 2,5 m kulkutila.

5.2.2 Virtaama

Kiertävän veden virtaama mitoitetaan siten, että maksimivirtaamalla vesi vaihtuu altaissa kerran 40 minuutissa eli on $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ yhtä systeemiä kohden. Minimivirtaama vaihtaa altaan veden kerran tunnissa kasvatuskauden aikana ja talvella voidaan virtaama todennäköisesti vielä tästä puolittaa. Pumpumitointusta varten virtaama on maksimina noin 420 l/s per systeemi ja miniminä talvella 100 l/s.

5.2.3 Vedenkäsittely

Altaiden pohjapoistot kerätään altaiden sivulla kulkevaan vesikouruun ja vesi johdetaan rumpusiivilöihin mekaanista puhdistusta varten. Altaiden pinta-/sivupoistot johdetaan altaan seinämästä läpi suoraan erilliseen poistokouruun ja mekaanis-biologiseen suodattimeen, jossa vesi virtaa staattisen kantoainepedin läpi. Tämä kerää pienemmät laskeutumattomat kiintoainepartikkelit pinoilleen. Molemmat vesijakeet yhdistyvät ja vesi virtaa ilmastettuun muoviseen kellupetiin (moving bed), joka käsittelee koko virtaaman (nitrifikaatio). Tämän jälkeen puhdistettu kiertovesi nostetaan kierrätyspumppulla ilmastimeen, jossa bioblokkikennosto on noin 1,65 m korkuinen. Energian tarve muodostuu kellupedin vaatimasta ilmanpuhalluksesta ja veden nostosta ilmastimeen sekä siitä nostosta, minkä veden virtaaminen takaisin altaille vaatii.

Happi syötetään pääasiassa suoraan altaiisiin keraamisten hapettimien kautta. Lisäksi kiertovesi hapetetaan kaasunvaihtokolonnilla syöttäen happi otsonigeneraattorin kautta kolonniin. Otsonointi pidetään kaloille turvallisella tasolla.

5.2.4 Poistoveden puhdistus

Poistoveden puhdistaminen on osana prosessia toteutuvan kiintoaineen talteenoton ja erillisen puhdistamon yhdistelmä. Kiintoaine kerätään rumpusiivilöiden ja staattisen kantoainepedin avulla. Niiden huuhteluvedet muodostavat pääasiassa systeemeistä tulevan ylivuodon kanssa puhdistamalla käsiteltävän poistovirtaaman. Nämä vesijakeet johdetaan vastaanottavaan (pumppaus- ja) sekoituskaivoon, jonka jälkeen liunneen fosforin saostamiseksi veteen pikasekoitetaan saostuskemikaali sekä polymeeri. Tämän jälkeen veden kiintoaine sekä saostettu fosfori on suodatettavissa nauhasuodatinta käyttäen. Kosteikon rakentamista vaihtoehtoisena puhdistamona tai täydennyksenä voidaan tutkia, mikäli niistä saadaan riittävästi kokemukseräistä uutta tietoa muualta Euroopasta.

5.2.5 Rakennus

Rakennuksen tyyppin valinta jätetään ratkaistavaksi tarjousten perusteella. Todennäköisin on muovikangashalli teräsrungolla.

6. Järjestelmän alustava mitoitus

6.1 Biologinen käsittely

Yhden kiertosysteemin maksimiruokinnaksi oletetaan 700 kg vuorokaudessa. Tämän aiheuttamaksi ammoniakkikuormaksi arvioidaan 40 g TAN per kilo. Yhteensä siis vuorokaudessa käsiteltävää tulee 28 000 g maksimitilanteessa. Moving bed-suodattimen tarvittavaksi kapasiteetiksi arvioidaan 250 g TAN/m³/vrk, mikäli sen tulee suoriutua käsittelystä yksistään. Kantoaineen määrä on tällöin 112 m³ ominaispinta-alalla 750 m²/m³. Staattisen suodattimen sisältämä kantoaine sekä valutusilmastimen osuus voidaan vähentää pois, jolloin saadaan kokonaismääräksi moving bed-suodattimeen kantoainetta 80 m³ ja staattiseen petiin 20 m³ sekä valutusilmastimeen 24 m³ (ominaispinta-ala 300 m²/m³).

Koko kiertävä virtaama käsitellään kelluvan, ilmastetun kantoainepedin avulla. Puhallettava ilmamäärä on noin 1000 m³/h. Ilmastussyvyys on noin 1,5 m. Altaista tuleva pintavirtaama johdetaan ensiksi biologiseen käsittelyyn staattiseen kantoainepetiin. Tämä staattinen osasto pidättää kantoaineen pinnoille kiintoainetta, mutta on kuitenkin pääasiassa aerobinen. Suodattimessa saattaa syntyä hapettomia kohtia, jolloin typenpoistoa voi tapahtua. Mikäli tämä käänteinen biologinen reaktio ei pääse loppuunsa, voi suodattimesta tulla ulos nitriittiä. Virtaus viedään tämän jälkeen aerobiseen moving-bed - reaktoriin, joka käsittelee nitriitin.

6.2 Hapetus

Happi lisätään sekä keraamisten hapettimien kautta suoraan altaisiin että hapetuskolonnien avulla. Hapetettavaksi virtaamaksi otetaan 2 x 100 l/s ja tämän virtaaman happikylläisyys nostetaan noin 200 %:iin eli 20°C lämpöisessä vedessä tasolle 18 mg/l. Hapen kulutus kolonnissa on silloin noin 2 x 15 mg/l x 100 l/s x 86400 s = 260 kg päivässä. Pumppaus yhdelle hapettimelle siis 100 l/s x 3 m. Kolonnin koko Ø 2000 x 2500 mm.

Altaisiin voidaan syöttää keraamisten hapettimien kautta 24 l/min per allas eli 240 l minuutissa systeemiä kohden. Tämä on vuorokaudessa 480 kg. Yhteensä kolonnien kanssa 740 kg.

Kolonnin kautta yhteen systeemiin syötettävä otsoni tuotetaan otsonigeneraattorilla, jonka kapasiteetti on noin 50 g O₃ tunnissa.

6.3 Hapen hankinta

Happikustannus riippuu hapen hankintahinnasta tai sen paikalla tuottamisen kustannuksesta. Ostokaasuna käytetään nestemäistä happea, jonka etuna on sen toimitusten ja huoltovastuun kuuluminen kaasuntoimittajalle. Lisäksi hapetus toimii sähköhäiriönkin aikana suoraan altaisiin syötettynä. Kaasun hinta ja säiliön vuokra ym. kulut lasketaan yhteen vuoden jaksolla ja jaetaan kulutettavalla happimäärällä, josta saadaan yksikkökustannus per kg happikaasua. Myös nestehapelle tarvitaan varajärjestelmä.

Happea voidaan myös erottaa ilmasta happigeneraattorin avulla. Tällöin kaasun hankintakustannukseen vaikuttaa generaattorin ja siihen liittyvien laitteiden hankinta, kompressorin ja sen apulaitteiden hankinta sekä käyttöenergian ja vuotuiset huollon kustannukset. Tämän hetkiset hintatasot tuotettua happikiloa kohti ovat samassa hintaluokassa. Happigeneraattoreita on noin 4 bar käyttöpainelle sekä toinen tyyppi alle 1 bar painelle. Matalapaineisella generaattorilla hapen tuotantokustannus jää nykyisellään pienimmäksi, mutta niiden soveltuvuus suurempiin järjestelmiin on rajoitettu eikä niillä saada pienen paineen vuoksi hapetetuksi keraamisia hapetinlaitteita käyttäen suoraan altaisiin. Tähän tarvittaisiin vähintään 1,5 – 2 bar painetta.

Matalapaineisen generaattorin energiankulutus on noin 0,8 - 0,9 kWh/1 kgO₂. Mikäli käytetään 4 bar paineessa toimivaa happigeneraattoria, on vastaava arvo noin 1 kWh/1 kgO₂. Koska kiertovesilaitoksilla nyrkkisääntönä pidetään kilo tuotettua kalaa ja kilo happea, muodostuu hapen valmistuksen käyttökustannusosuudeksi kalakilosta vähintään tuo noin 1 kWh:n hinta.

Happigeneraattoreille tarvitaan varajärjestelmä sähkökatkon tai konerikon varalle.

6.4 Hiilidioksidin poisto

Bioreaktoreita ilmastettaessa niissä poistuu vapaaseen ilmaan hiilidioksidia. Lisäksi rakennetaan valutusilmastin, jonka kautta pumpataan vuodenajasta riippuen 100 – 200 l/s. Tämä pumppaus on osana kiertoa. Ilmastin mitoitetaan vaakapinta-alaansa nähden maksimivirtaamalle 15 l/s per neliometri ja se saa olla rakenteeltaan avoin. Pumppauksen nostokorkeus virtausvastuksineen on noin 3,5 metriä.

6.5 Lämmitys

Systeemeihin ei sijoiteta erillistä lämmitystä, mutta se kannattaa ottaa joka tapauksessa varauksena huomioon esimerkiksi sähkösuunnittelussa. Tehontarvearvio 40 kW.

6.6 Lietteen poisto ja fosforin saostaminen

Altaan pohjapoisto johdetaan omaa kourulinjaansa pitkin käsiteltäväksi rumpusuodattimeen ja sieltä edelleen aerobiseen bioreaktoriin. Virtaama maksimissaan pohjapoiston kautta on noin 200 l/s ja rumpusiivilän verkon tiheys 60 mikronia. Rumpusiivilän keräämä kiintoainetta virtaa huuhteluveden mukana jätevedenpuhdistamolle. Staattiset kantoainepedit puhdistetaan vähintään kerran viikossa ja niiden puhdistusvedet johdetaan puhdistamon vastaanottoaltaaseen putkella. Puhdistamolla vesi käsitellään saostamalla kemiallisesti ja lopuksi suodattamalla nauhasuodattimella. Kerätty liete sijoitetaan omaan käyttöön maanparannukseen. Denitrifikaation käyttöä typen poistoon kannattaa selvittää, kunhan laitos on toiminnassa.

Fosforin saostamiseen käytetään polyalumiinikloridia ja saostumista lisätään polymeerin avulla. Kemikaalit sekoitetaan pikasekoitusaltaassa poistoveteen ja johdetaan virtaus viipymäaltaan kautta nauhalle. Vastaanottoallas puhdistettavalle vedelle on kooltaan esimerkiksi Ø 2,5 m ja vesisyvyys noin 2-2,5 m. Se varustetaan kartiopohjalla ja uppopumppu sijoitetaan keskelle pohjaa. Säiliötä sekoitetaan tarvittaessa esimerkiksi potkurisekoittimella tai ilmastamalla. Kerätty liete kerätään betoniseen kaivoon tai muuhun säiliöön. Tämän tilavuus mitoitetaan mahdollisten tyhjennyskertojen mukaan, mutta sen on oltava ainakin 50 m³, jos lietettä joudutaan säilyttämään kylmän kauden yli eikä lietettä enempää kuivateta.

6.7 Kosteikko

Kosteikon rakentamisen kustannuksia selvitetään ja verrataan fosforin ja typen poiston kustannuksiin toteutettuna kemiallisesti ja denitrifikaatiobioreaktorin avulla. Kosteikon tarvitsema pinta-ala suunnitellulle tuotannolle on luokkaa 1 - 2 ha. Noin 1 ha kosteikon rakentaminen lienee paikalle käytännössä mahdollista. Sekin edellyttää kohtalaisia maansiirtoja. Viipymäksi tarvitaan kokemusten mukaan hyvissä oloissa ainakin noin 4 vrk, joten virtaamalla 10 l/s tilavuutta tulisi olla noin 3200 m³. Vesisyvyydellä 0,6 m olisi hyötöpinta-ala noin 5300 m². Penkkoineen tarvittava ala on jonkin verran suurempi.

6.8 Vesilinjat

Vesilinjat rakennetaan sekä putkin että kouruin. Paluupuoli altailta tehdään kouruin ja tulopuoli putkin. Mitoitukset ovat väljät, jotta virtaushäviöt pystytään pitämään niin pieninä, ettei niillä ole käytännössä vaikutusta virtaushäviöihin. Materiaalit valitaan kustannusten ja teknisen toimivuuden perusteella. Vaihtoehtoina ovat lujitemuovikouru, teräskehysellä vahvistettu polyeteeni/polypropeeni tai ruostumattomasta teräksestä valmistettu kouru. Kourut voivat olla esimerkiksi 12 m palasissa ja laippaliitoksin toisiinsa kiinnitettäviä.

Tulovesiputket upotetaan maahan ja niissä käytetään hitsausliitoksia. Koska niiden halkaisijat ovat suhteellisen suuria (d=630 mm), rakennetaan putkisto paikanpäällä suoraan asennuskohteeseen. Putket varustetaan tyhjennysmahdollisuudella.

Virtauksen säätö altaisiin voitaisiin toteuttaa kevytrakenteisin venttiilein, mikäli sopivia löytyy. Kaikki valmiit tavanomaiset venttiilit ovat suhteettoman painavia asennettavia kohteeseen, jossa ei tarvita paineenkestävyyttä.

Altaiden tyhjennystä varten asennetaan venttiilein varustetut putket haaroituksina pohjapoistoista.

6.9 Vedenhankinta

Vedenotto Kymijärven syvänteestä voidaan tehdä upottamalla painotettu vedenottoputki järveen. Imupumppu asennetaan rantaan ja pumppaamo suojataan eristetyllä rakennuksella. Linjaan asennetaan yksisuuntaventtiili, ettei pumpun imu lakkaa ilman vuoksi. Pumpattavaksi virtaamaksi on suunniteltu noin 15 l/s, jonka perusteella imuputken halkaisijan on oltava, mikäli vedennoutomatka on 1 km tai vähemmän, noin 200 mm putken sisähalkaisijana mitattuna. Mikäli noutomatka on pitempi tai virtaama selvästi suurempi, on valittava suurempi putki. Pumpun tehontarve on 2 – 3 kW.

Toinen putki, jolla pumpataan vettä noin 3-5 m syvyydestä, voi olla lyhyempi ja sen kapasiteetti suurempi. Todennäköinen pituus on noin 300 m ja tällöin halkaisijaltaan 200 mm putkesta saadaan 3 kW pumpulla noin 30 l/s.

Putket asennetaan järveen siten, että niiden ottopäät ovat noin 1 - 1,5 m pohjan yläpuolella. Painotus tehdään rannan läheisyydessä puolelle tyhjän putken nosteesta. Syvemmällä voidaan pienentää painotusta 35 % arvoon. Putken ottopäätä suunnitellaan niin, että se voidaan nostaa tarkastusta varten pintaan.

6.10 Pumpput

Koska kaiken kaikkiaan sähkön hinnalla on merkittävä vaikutus kiertovesilaitoksen tuotantokustannuksiin, haetaan ratkaisua, jolla pumppaus- ja ilmastuskustannus olisi pienin mahdollinen ja jolla saavutetaan hyvä vedenlaatu. Hapetuksella voidaan alentaa pumppauskustannusta siihen saakka, kunnes altaan hiilidioksiditaso tulee vastaan. Nämä rajat ovat kuitenkin useammasta tekijästä riippuvaisia, eikä voida aina verrata kahden tekijän yhteisvaikutusta, vaan tekijöitä voi olla monia. Systeemi suunnitellaan niin, että pumppuja voidaan käyttää joustavasti tilanteesta riippuen pienimmällä mahdollisella teholla.

6.10.1 Kiertopumppu (valutusilmastimelle)

Veden nostokorkeus on n. 2,5 m. Tälle nostokorkeudelle haetaan pumppua, jonka hyötysuhde on mahdollisimman korkea, koska tämä pumppu käy lähes ympäri vuoden ja nostokorkeus on huomattava. Pumppauksen tehontarve hyötysuhteella 70 % on noin 7,5 kW. Tähän valitaan potkuripumppu tai haluttaessa kaksi erillistä. Hyötysuhteen ero parhaimpien potkuri- ja keskipakopumppuratkaisujen välillä on yli 15 prosenttiyksikköä eli käytännössä tehona 2-3 kW. Ympärivuotisessa käytössä käyttökustannusero on jo sellainen, että kannattaa hankkia selvästi keskipakopumppua kalliimpi potkuripumppu.

6.10.2 Kiertopumppu (pelkkä veden siirto)

Veden pumppauksen minimoimiseksi allas on suunniteltu niin, että sen läpi vesi virtaa noin 0,6 m painehäviöllä mitattuna vedenkäsittelytilassa lähtö- ja paluupintojen erona. Kiertopumppaus, joka pelkästään siirtää vettä vedenkäsittelystä kala-altaille, mitoitetaan virtaamalle 220 l/s ja nostokorkeudelle 1,0 m. Tämä pumppu on myös vedenalaisena asennettava potkuripumppu. Käytössä se kuluttaa tehoa noin 3,5 kW. Tämä pumppu käy myös suurimman osan vuodesta.

6.10.3 Hapetuspumput (veden nosto kolonneihin)

Hapetuksen vaatima pumppaus jaetaan kahteen osaan. Kokonaisvirtaama on 200 l/s ja nostokorkeus häviöineen 3,5 m. Tämä pumppaus on sivukiertona systeemissä tarkoittaen sitä, että vesi palaa hapetuksen jälkeen samalle tasolle, mistä se on pumpattu. Pumppaus jaetaan kahteen osaan a' 100 l/s x 3,5 m. Tehontarve on 6 kW per pumppu. Tähän käytetään keskipakopumppuja, joiden hyötysuhteeksi haetaan noin 60 %.

7. Pohjaratkaisu

Ehdotetun laitoksen pohjaratkaisu on esitetty liitepiirustuksessa. Kasvatushallin koko on 2000 m² ja vedenkäsittelyosaston noin 700 m². Puhdistamo noin 70 m².