

**KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 302**

*Yrjö Aarnipuro*

**Kalanviljelyn laitostekniikka Suomessa**  
Tuloveden johtaminen ja käsittely

Helsinki 2004

Yrjö Aarnipuro

**Kalanviljelyn laitostekniikka Suomessa – Tuloveden johtaminen ja käsittely**

Vesiviljelyn tulosyksikkö

Valtion kalanviljelylaitosten rakentamiseen ja peruskorjaukseen liittyvässä suunnittelu-, kehitys- ja sovellutustyössä on kertynyt suuri määrä mm. laitosten vesitystä ja veden käsittelyä koskevaa teknisluonteista tietämystä, jota on talletettu laitosten suunnitteluasiakirjoihin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen aloitteesta on tätä hajallaan olevaa ja siten vaikeasti hyödynnettävää tietämystä koottu laitosten suunnittelussa mukana olleen Insinööritoimisto Ylitalo Oy:n toimesta yhtenäiseen muotoon sekä valtion että yksityisen viljelyn hyödynnettäväksi. Julkaisussa käsitellään kalanviljelyn keskeistä aihepiiriä; tuloveden johtamista ja käsittelyä. RKTL:n viljelylaitoksissa on viljelyssä toistakymmentä eri kalalajia, näistä monet luonnossa uhanalaisia. Näiden säilymisen turvaaminen, mädintuotanto yksityiselle viljelylle ja laitosten käyttö tutkimus- ja koetoimintaan asettaa vesitykselle ja sen varmistamiselle suuret vaatimukset. Kun viljelyprosessia, emokalojen viljelyä, mädin haudontaa ja poikaskasvatusta pyritään lisäksi ohjaamaan ja säätelemään kullekin lajille ja tuotantotavalle mahdollisimman optimaaliseksi ja turvallisesti joudutaan vettä käsittelemään monin tavoin, lämmittämään, jäähdyttämään, ilmastamaan, hapettamaan, suodattamaan ja desinfioimaan. Tässä raportissa on kattavasti käsitelty kaikkia em. aihepiirejä; vedenotto- ja siirtolaitteita ja niiden rakenteita, tuloveden käsittelyä, laitoksen sisäistä vesitystä sekä lisäksi vesitysjärjestelmien hoitoa ja valvontaa. Raportti on jatkoa viljelytekniikkaa (Mustajärvi 1999. Kalanviljelytekniikka. RKTL, Kala- ja riistaraportteja nro 160, 118 s.) ja kalanviljelyaltaita sekä niiden rakenteita (Aarnipuro 1999, Kalanviljelyaltait; materiaalit ja rakenteet. RKTL, Kala- ja riistaraportteja nro 168, 93 s.) koskeville teoksille.

kalanviljelylaitokset, kalanviljelytekniikka, vedenkäsittely, vesirakennus

Kala- ja riistaraportteja 302

951-776-434-0

1238-3325

43 s.

suomi

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos  
Vesiviljelyn tulosyksikkö  
PL 6  
00721 HelsinkiRiista- ja kalatalouden tutkimuslaitos  
PL 6  
00721 Helsinki  
Puh. 0205 7511 Faksi 0205 751 201

# Sisällys

ESIPUHE – KALANVILJELYN LAITOSTEKNIikka SUOMESSA. TULOVEDEN JOHTAMINEN JA KÄSITTELY.....	1
1. VEDEN JOHTAMINEN LAITOKSELLE.....	3
1.1 Kalanviljelyn vesityksille asettamat vaateet .....	3
1.2 Vedenottolaitteet .....	5
1.3 Veden siirto ja mittaus.....	11
1.4 Johtoverkon materiaalit ja rakenteet .....	15
2. TULOVEDEN KÄSITTELY.....	19
2.1 Käsittelyprosessin valinnan perusteet .....	19
2.2 Mekaaniset käsittelymenetelmät .....	19
2.3 Veden lämmitys ja jäädytys, ilmastus ja hapetus .....	21
2.4 Desinfiointimenetelmät .....	26
3. LAITOKSEN SISÄINEN VESITYS.....	31
3.1 Veden tarpeen arvioiminen .....	31
3.2 Veden jakelu.....	32
4. VESITYSJÄRJESTELMIEN HOITO JA VALVONTA .....	40

# Esipuhe – kalanviljelyn laitostekniikka Suomessa. tuloveden johtaminen ja käsittely

Valtion kalanviljely on jo 1800-luvun lopulta lähtien monilla tavoin vaikuttanut kalanviljelyn kehittämiseen sekä kalakantojen hoitoon maassamme. Ensimmäinen kalanviljelylaitos rakennettiin vuonna 1892 Evon kalastuskoeaseman yhteyteen viljelyn koetoiminnan kehittämiseksi. Evon esimerkki, viljelytekniikan parantuminen ja viljelyillä poikasilla tehdyillä istutuksilla saadut myönteiset tulokset kalakantojen hoidossa innostivat valtiota kuten myös yksityisiä perustamaan uusia laitoksia eri puolille maata. 1900-luvun alkupuolella rakennetuista lukuisista valtion laitoksista vielä toiminnassa olevia ovat Kuusamon (Käylä, rakentaminen alkoi vuonna 1932), Kainuun (Hakasuo 1934), Inarin (1951) ja Muonion (Särkijärvi 1956) kalanviljelylaitokset.

Kirjolohen kasvatuksen voimakas lisääntyminen 1960-luvulta lähtien ja samanaikainen istutuspoikasten kysynnän kasvu johti mittavaan yksityisten viljelylaitosten rakentamiseen. Märintuotannon turvaamiseksi tunnettua alkuperää olevista kannoista ja vesien rakentamisen uhkaamien vaelluskalakantojen säilyttämiseksi ryhdyttiin 1960-luvulla myös laajentamaan valtion kalanviljelyä. Tuolloin käynnistettiin Taivalkosken (Ohtaaja 1966) ja Laukaan (1967) aikoinaan keskuskalanviljelylaitoksiksi kutsuttujen yksiköiden rakentaminen. Myöhemmin rakennettiin vielä Saimaan (Itä-Suomen keskuskalanviljelylaitos 1989), Sarmijärven (1981) ja Tornionjoen (Leustojärvi 1988) laitokset. Viimeksi mainitun toiminta lopetettiin vuonna 2001 Tornionjoen lohikannan elvyttyä kalastuksen säätelyn ja poikasistutusten ansiosta. Vuonna 1994 ostettiin Tervon (Nilakkalohi) laitos valtiolle. Lautiosaaren laitos toimii karanteeniyksikkönä. Valtion kalanviljelylaitokset siirtyivät vuonna 1971 Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen hallintaan ja vuonna 1995 Valtion kiinteistölaitokselle, jolta tutkimuslaitos on vuokrannut ne käyttöönsä.

Valtion kalanviljelylaitosten rakentamiseen ja peruskorjaukseen liittyvässä suunnittelu-, kehitys- ja sovellutustyössä on kertynyt suuri määrä erilaista teknisluonteista tietämystä, jota on mm. talletettu laitosten suunnitteluasiakirjoihin, mutta on hajallaan olevana vaikeasti saatavissa ja hyödynnettävissä. Vastaavaa tietämystä ja kokemusta on myös kertynyt RKTL:n henkilökunnalle ja valtion kalanviljelylaitoksia suunnitelleille ja rakentaneille tahoille.

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksessa käynnistettiin 1990-luvulla hanke tämän mittavan ja paljolti ainutlaatuisen viljely- ja laitosteknisen tietämyksen kokoamisesta yhtenäiseen, käyttökelpoiseen muotoon sekä valtion että yksityisen viljelyn hyödynnettäväksi. Ensimmäisessä teoksessa (Mustajärvi 1999, Kalanviljelytekniikka. RKTL, Kala- ja riistaraportteja nro 160, 118 s.) käsiteltiin viljelytekniikan keskeisiä kysymyksiä mm. laitosten suunnitteluperusteita, vesitystä, mitoituksia, viljelytekniisiä menetelmiä sekä kuormitusta ja sen vähentämistä. Toisessa raportissa tarkasteltiin vuorostaan kalanviljelyaltaita ja niiden rakenteita (Aarnipuro 1999, Kalanviljelyaltait; materiaalit ja rakenteet. RKTL, Kala- ja riistaraportteja nro 168, 93 s.). Laitosten suunnittelussa ja rakentamisessa tehdyistä ratkaisuista saadut henkilökunnan kokemukset on myös kirjattu em. teokseen tarkoituksena estää samojen virheiden uusiminen.

Nyt käsillä olevassa teoksessa tarkastellaan vuorostaan kalanviljelyn keskeisintä aihepiiriä; tuloveden johtamista ja käsittelyä. RKTL:n viljelylaitoksissa on viljelyssä toistakymmentä eri kalalajia, näistä monet luonnossa uhanalaisia. Näiden säilymisen turvaaminen, märintuotanto yksityiselle viljelylle ja laitosten käyttö tutkimus- ja koetointaan asettaa vesitykselle ja sen varmistamiselle suuret vaatimukset. Kun viljelyprosessia, emokalojen viljelyä, mädin haudontaa ja poikaskasvatusta pyritään lisäksi ohjaamaan ja säätämään kullekin lajille ja tuotantotavalle mahdollisimman optimaaliseksi ja turvallisesti joudutaan vettä käsittelemään monin tavoin, lämmittämään, jäähdyttämään, ilmastamaan, hapettamaan, suodattamaan ja desinfiioimaan. Tässä ra-

portissa on kattavasti käsitelty kaikkia em. aihepiirejä; vedenotto- ja siirtolaitteita ja niiden rakenteita, tuloveden käsittelyä, laitoksen sisäistä vesitystä sekä lisäksi vesitysjärjestelmien hoitoa ja valvontaa.

Raportin on tehnyt Insinööritoimisto Ylitalo Oy ja sen sisällöstä vastaa DI Yrjö Aarnipuro. Ylitalo Oy ja DI Aarnipuro ovat olleet mukana mm. useiden valtion kalanviljelylaitosten peruskorjausta koskevissa hankkeissa jo 1980-luvulta lähtien. Kiitokset kuuluvat myös teoksen suunnittelussa mukana olleelle toimitusjohtaja Jussi Ylitalolle. Kati Manninen on osallistunut teoksen julkaisukuntoon saattamiseen.

Kai Westman

# 1. Veden johtaminen laitokselle

## 1.1 Kalanviljelyn vesityksille asettamat vaateet

Valtion kalanviljelylaitosten uudisrakentamisten ja peruskorjausten jakso ajoittui 1980- ja 1990-luvuille. Nämä yhteiskunnan varoin toteutetut hankkeet ovat tuoneet sekä tutkimukseen ja käyttökokemukseen että valitettavasti myös yrittämiseen ja erehtymiseen pohjautuvaa tietoa. Valtion kalanviljelylaitosten omistusjärjestelyjen ja rakentamisorganisaatioiden muutosten vuoksi on katsottu tarpeelliseksi kirjata muistiin nyt vallitseva tilanne ja luoda suunnittelijoiden, valmistajien ja käyttäjien tarpeisiin ohjeisto niistä tiedoista ja taidoista, jotka on ollut mahdollista hankkia pitkäjänteisessä, noin 15-20 vuotta kestäneessä rakentamisjaksossa. Tämä teos on jatkoa saman tekijän RKTL:n Kala- ja riistaraporttiin nro168, jossa käsiteltiin kalanviljelyaltaita, niiden materiaaleja ja rakenteita.

Valtion kalanviljelylaitokset sijaitsevat pääasiassa samalla ilmastovyöhykkeellä ja vesistöalueella, joka on kasvatettavien lajien tai kantojen luontainen elin- tai istutusalue. Laitokset on myös pyritty sijoittamaan tautitorjunnan kannalta turvallisesti eli vesistöjen yläosiin ja yläpuolella ei ole muita laitoksia. Laitoksissa on käytössä nykyaikaiset, kalojen hyvinvoinnin kannalta riittävät tuotantotilat, joiden suunnittelussa on lähdetty säilytys- ja tuotantoriskien minimoinnista, mm. jakamalla toiminnot kuten emokalastot, haudonta ja poikaskasvatus erillisiin osa-alueisiin. Vesitysjärjestelmät on myös varmennettu monin eri tavoin. Viljelyvesi (tulovesi) täyttää kaikki kalanviljelyvedelle asetetut yleiset laatuvaatimukset ja tuotannollinen mitoitus varmistaa, että vettä on käytettävissä riittävästi ympäri vuoden. Monella laitoksella käytössä on myös useiden vesijakeiden ja lämpötilojen käyttömahdollisuus optimiolosuhteiden varmistamiseksi ja tehokkaat valvontajärjestelmät vesitys- ja vedenlaatuhäiriöille. RKTL otti vuoden 1999 alussa käyttöön ISO 9001:1994 –standardin mukaisen laatujohtajärjestelmän. Järjestelmälle haettiin sertifiointia ja sertifikaatti myönnettiin 4.12.2000. Sertifikaatti on voimassa vuoden 2003 loppuun. Laatukäsikirjaa uudistettaessa on ympäristönhallintajärjestelmä ISO 14001 päätetty ottaa täysimääräisesti huomioon käsikirjaa uudistettaessa ja tavoitteena on laatia uusi kokonaisvaltainen vesiviljelyn hallinta- ja toimintajärjestelmä.

Kalanviljelylaitoksen sijaintipaikan valinta ja siinä käytettävissä olevat vesilähteet ovat riippuvaisia ympäristö- ja vesitalousluvasta. Ympäristönsuojelu- ja vesilainsäädännön uudistus tuli voimaan 1.3.2000. Uudistuksen keskeisenä lähtökohtana on ollut EU:n neuvoston IPPC-direktiivi, jonka mukaan jäsenvaltioilla on oltava yhtenäiseen ja kokonaisvaltaiseen tarkasteluun perustuva ympäristölupajärjestelmä. Päästöjen torjunnassa on käytettävä parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa (BAT) ja toiminnassa ympäristön kannalta parhaan käytännön (BEP) toteutumista. Ympäristölupauudistuksen jälkeen toimintojen luvanvaraisuus perustuu ympäristönsuojelulakiin (YSL) 86/2000 ja sen nojalla annettuun ympäristönsuojeluasetukseen (YSA) 169/2000. Lupa-asioiden päätöksenteko keskitettiin kolmelle ympäristölupavirastolle ja yhtenäistämisen vuoksi luovuttiin pelkästään vesiasioita käsittelevästä vesituomioistuinjärjestelmästä. Vesioikeuksien lakkauttamisen myötä pääosa niiden tehtävistä siirtyi 1.3.2000 perustetuille ympäristölupavirastoille. Vesiasioita käsittelevät myös alueelliset ympäristökeskukset ja kunnan ympäristönsuojeluviranomaiset.

Varsin monet vesistöön kohdistuvat ja veden käyttöä tarkoittavat toimenpiteet ovat vaikutuksiltaan sellaisia, että ne edellyttävät ympäristölupaviraston lupaa. Luvan saamista varten on hakijan laadittava hanketta koskeva hakemussuunnitelma, joka toimitetaan käsitteilyä varten ympäristölupavirastolle. Luvan hakemisen määräajoista säädetään voimaanpanolaissa ja yksityiskohtaisemmin ympäristönsuojeluasetuksen 9 luvus-

sa. Vesilaililla 264/1961 ja vesilain muutoksella 88/2000 säädellään vesitaloushankkeiden lupa-asioita. Vesitaloushankkeet määritellään vesilain (VL) 2-9 luvuissa. Niitä ovat esimerkiksi padon rakentaminen, vesistön järjestely, vesistön säännöstely sekä veden johtaminen nesteenä käytettäväksi ja pohjaveden ottaminen. Ympäristölupahakemuksen tekemisestä säädetään ympäristönsuojelulain 35 §:ssä ja ympäristönsuojeluasetuksen 3 luvussa (8–15§). Vesilain 16 luvussa säädetään vesilain mukaisten hakemusasioiden käsittelystä ympäristölupavirastossa. Ympäristönsuojelulain 39 §:ssä ja vesilain 16:2 §:ssä säädetään, että käsiteltävässä hakemusta hankkeessa, johon tarvitaan sekä ympäristönsuojelulain että vesilain mukainen lupa, otetaan lupahakemuksessa huomioon, mitä ympäristönsuojelulaissa ja -asetuksessa lupahakemuksesta säädetään. Ympäristönsuojelulain 28 § 3 momentin mukaan lupa on puolestaan oltava luvan saaneen toiminnan päästöjä tai niiden vaikutuksia lisäävään tai muuhun toiminnan olennaiseen muuttamiseen. Hankkeeseen tarvitaan lisäksi vesilain mukainen lupa silloin jos hankkeella saattaa olla seurauksia, jotka rikkovat vesistön sulkemis- tai muuttamiskieltoa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kalanviljelylaitokselle tulee hakea vesilain mukainen lupa. Luvat käsitellään yhteiskäsittelyssä. Jos kalanviljelylaitos sijaitsee Natura 2000 -alueella, sen läheisyydessä tai sen vaikutukset voivat ulottua alueelle, hakemukseen on lisäksi liitettävä luonnonsuojelulain (1096/1996) 65 §:ssä tarkoitettu arviointi (YSL 35 § 3 momentti).

Kalanviljelylaitoksen ympäristö- ja vesitalouslupahakemus voidaan tehdä Suomen ympäristökeskuksen lomakkeelle (6024) tai vapaamuotoisesti ympäristönsuojeluasetuksen 9-12 §:n ja vesilain 16 luvun 1 §:n sekä vesiasetuksen mukaisesti. Vesilain 16:1 §:ssä, 16:3 §:ssä, ja vesiasetuksen 42–58, 60, 65–68 §:ssä säädetään lupahakemuksesta ja lupahakemuksen sisällöstä. Ympäristö- ja vesitalouslupa ovat voimassa toiminnan luonteesta johtuen joko toistaiseksi tai määräajan.

Pintavedenottohankkeissa luvan tarpeellisuuden kannalta on vesilain mukaan oleellista, otetaanko vettä vedenottolaitteiden avulla vai ei, mihin tarkoitukseen vettä otetaan sekä millainen oikeus vedenottajalla on vedenoton kohteena olevaan vesialueeseen. Pintavedenottohankkeissa luvan myöntämisen edellytysten osalta on voimassa, mitä vesilain 2 luvussa säädetään vesistöön rakentamisesta. Kalanviljelylaitos tarvitsee yleensä vesilain mukaisen luvan veden johtamiseen vesistöstä. Vedenjohtamislupa tarvitaan aina, kun hakija ei ole vesialueen omistaja tai osakas. Myös omistaja ja osakas tarvitsevat vedenjohtamisluvan, mikäli veden otosta aiheutuu tai saattaa aiheutua seurauksia kuten, että hanke sulkee tai supistaa vesistössä valtavyöhykettä, yleisen tai muun säännöllisen liikenne- tai uittovyöhykettä tai kalankulkutien tai hanke muuttaa vesistön asemaa, syvyyttä, vedenkorkeutta, virtaamaa tai muuta vesiympäristöä siten, että tästä aiheutuu vahinkoa tai haittaa yleiselle tai yksityiselle edulle.

Pohjaveden muuttamiskiellon mukaan pohjavettä ei saa käyttää tai ryhtyä pohjaveden ottamista tarkoittavaan toimeen ilman ympäristölupaviraston lupaa siten, että siitä pohjaveden laadun ja määrän muuttumisen vuoksi voi aiheutua jonkin pohjavettä ottavan laitoksen vedensaannin vaikeutuminen, tärkeän tai muun vedenhankintakäyttöön soveltuvan pohjavesiesiintymän antoisuuden olennainen vähentyminen tai toisen kiinteistöllä talousveden saannin vaikeutuminen. Pohjavedenottamalla tarkoitetaan sellaista kaivoa tai muuta laitosta, josta pohjavettä juoksetetaan, pumpataan, tai otetaan muulla tavalla talouteen, teollisuuteen tai muuhun tarkoitukseen. Ympäristölupaviraston vesilain mukainen lupa tarvitaan pohjaveden ottamiseen toisen maalta ja alueen omistajasta riippumatta aina, mikäli muu kuin tilapäinen pohjavedenotto on suunniteltu vähintään 250 m<sup>3</sup>/d suuruisen vesimäärän ottamiseen tai aikaisemmin rakennettu ottamo laajennetaan sellaiseksi, että sen tuotto ylittää 250 m<sup>3</sup>/d tai kun siitä voi aiheutua pohjaveden muuttamiskiellon vastainen seuraus.

Tuloveden johtamisen ja käsittelyn tulee edellä kuvattujen reunaehtojen puitteissa perustua sellaisiin mitoituksiin ja teknisiin ratkaisuihin, jotka mahdollistavat veden laadun, lämpötilan ja muiden olosuhteiden riittävän laaja-alaisen säätelyn kalojen ja mädin hyvinvoinnin turvaamiseksi erilaisissa vaihtelevissa olosuhteissa. Eniten mädin laatuun ja haudontatulokseen voidaan vaikuttaa luomalla emokaloille mahdollisimman

hyvät olosuhteet kuten oikea valaistus, virtaama, tiheys ja ravinto. Käytännössä laitoksen sijaintipaikka ja siihen liittyvät ympäristö- ja vesitalousluvut kuitenkin suuntavat ja rajoittavat käytettäviä teknisiä ratkaisuja. Kukin kalanviljelylaitos on suunniteltava juuri siihen liittyvien erityisolosuhteiden ja mahdollisuuksien puitteissa.

Kalanviljelylaitoksen tarvitsema vesi otetaan sijoituspaikasta riippuen järvestä, joesta tai maaperästä. Vedenottamon vedenkorkeus, virtaama, vedenlaatu ja lämpötila sekä näihin liittyvät erilaiset biologis-kemialliset ilmiöt muodostavat laajan hallintakokonaisuuden, jotka mitoittavat tulovesijärjestelmän ja määrittelevät tarvittavat vedenkäsittelyn eri osaprosessit.

Tässä selvityksessä kiinnitetään huomiota erityisesti vedenottamoiden ja tulovesityksen perusmitoitukseen ja eri rakenneratkaisujen luotettavuuteen. Toisen osa-alueen muodostaa tuloveden käsittely kattaen veden mekaaniset puhdistamismenetelmät, veden lämmityksen ja jäädytyksen, ilmastuksen ja hapetuksen sekä desinfiointin. Laitoksen sisäisen vesityksen osalta tarkastellaan vedentarpeen arviointia ja vedenjakelun tekniikkaa ja mitoitusta. Selvityksen loppuosaan on kerätty näkökohtia vesitysjärjestelmien hoitoon ja valvontaan sekä vesitysjärjestelmien käytöstä saatuja kokemuksia.

## 1.2 Vedenottolaitteet

Kalanviljely asettaa vedenottamolle vaateita pääasiassa riittävän vesimäärän ja painekorkeuden, lämpötilaolojen, happipitoisuuden ja yleisen kaasutasapainon, happamuuden ja kiinteiden epäpuhtauksien osalta. Pohjavesiesiintymien hyödyntämisen yhteydessä on lisäksi selvitettävä laajemmin liuenneiden haitallisten aineiden määrät kuten mm. rauta- ja mangaanipitoisuudet. Tässä selvityksessä ei varsinaisesti anneta vedenlaatusuosituksia, vaan kuvataan ne menettelyt ja tekniikat, joita on käytetty valtion kalanviljelylaitosten vesitysjärjestelmien rakentamisessa.

Vedenhankinnassa tarvitaan tietoja vesistöistä ja pohjavesiesiintymistä sekä niiden soveltuvuudesta vedenottopaikoiksi. Vedenottamon suunnittelun kannalta tärkeimpiin selvitettäviin tietoihin kuuluu mitoituksen lähtöperusteena olevan vesistön tai pohjavesiesiintymän antoisuus sekä vedenkorkeuden vaihteluvälit. Antoisuuteen eli poistojohdettavissa tai saatavilla olevaan jatkuvaan vesimäärään vaikuttavat vesitaseen eri komponentit: sadanta, haihdunta, valunta ja varastoituminen. Pohjavesiesiintymän antoisuuden selvittämisessä on tutkittava muodostumisalueen laajuus, imeytisolosuhteiden vaihtelevuus sekä kartoitettava maaperässä tapahtuvat virtaukset. Tarvittavat hydrologiset selvitykset ja näihin perustuvat lupahakemusmenettelyt ovat kaiken vedenottamosuunnittelun lähtökohtana. Valtion kalanviljelylaitosten osalta aiemmat paikalliset vesipiirit suorittivat laajamittaisia aluekartoituksia, virtaamaselvityksiä ja koe-pumppauksia sekä laskivat vesitaseita keräämällä ja tarkastelemalla vedenottamojen mahdollisten sijaintipaikkojen hydrologista havaintoaineistoa.

Huolellinen, koko laitoksen toiminnat kattava, korkeusasematarkastelu on vedenottamon toimivuuden selvittämiseksi välttämätöntä. Korkeusasematarkastelu on myös laitoksen rakentamiskustannusten kannalta olennaisen tärkeää. Valtion kalanviljelylaitosten kustannushallintaa kehitettäessä päädyttiin edellyttämään kaikista uusista laitoshankkeista useampivaiheista suunnitteluprosessia alkaen alustavasta teknisestä yleisuunnitelmasta. Suunnittelun alkuvaiheessa määriteltiin toimivuus ja kokonaistaloudellisuus yhteen sovittaen laitoksen korkeus- ja virtauskaaviot. Näissä perussuunnitelmissa varattiin erikseen käytettävissä olevasta hydrostaattisesta kokonaiskorkeuserosta osa vedenottamolle ja tulovesilinjoille, osa viljelyveden käsittelyyn ja jakeluun. Viljelysuunnitelman perusteella jaettiin vesimäärä ja varattiin riittävä painekorkeus eri viljely-yksiköille halutun virtaaman ja virtausliikkeen aikaansaamiseen. Loppuosa korkeuserosta varattiin poistoveden käsittelyyn ja johtamiseen. Perussuunnittelun huolellista tekemistä ja siinä eri vaihtoehtojen selvittämistä kustannusvaikutuksineen on valitettavasti aina aika-ajoin vähätelty. Puutteet perussuunnittelussa ja kokonaisuuksi-



en hallinnassa heijastuvat helposti kaikkein tärkeimpään eli kalojen viihtyvyyteen ja kalaterveyteen.

Kalanviljelylaitosten vedenottamoita on rakennettu sekä järvi- että jokivesistöihin. Näitä täydentämään on rakennettu mahdollisuuksien mukaan pohjavedenottamoita. Pintavedenottamot on yleensä suunniteltu painovoimaisiksi eli kalanviljelylaitoksen kaikki toiminnot on suunniteltu ja sijoitettu vedenotto- ja purkuvesistöjen vesipintojen vaihteluvälin pienimmän korkeuseron mukaisesti. Pohjavedenottamoissa on jouduttu useimmiten turvautumaan pumppaukseen.

Lähteiden, pohjavesiesiintymien ja muiden päävesityksistä erillään olevien vedenottamoiden merkitys on kasvanut viime vuosina. Muiden vesilähteiden poikkeuksellinen lämpötila ja puhtaus kalatautimielessä antavat niille suuren lisäarvon laitoksen muusta tuotannosta erillään olevien yksiköiden jäädytykseen tai lämmitykseen sekä karanteeniosastojen vesitykseen.

Järvestä tapahtuva vedenotto pyritään suunnittelemaan ja toteuttamaan siten, että järven lämpötilakerrostuneisuutta voidaan hyödyntää. Vedenottoputket on upotettu järven pohjaan ulottaen ne yleensä kahteen eri vesikerrokseen alusveteen ja väliveteen ns. syväne- ja pintavesiputkiksi. Lisäksi esimerkiksi Kivesjärven vedenottamoon rakennettiin erillinen rantavedenottamo kylmän pintaveden johtamiseksi haudontaan.

Tietyssä hetkenä tietyssä järven vesimassan pisteessä vallitseva lämpötila on monien fysikaalisten prosessien ja niiden vuorovaikutusten tulos. Nämä prosessit voidaan karkeasti jakaa järven pinnalla tapahtuviin lämpöenergian siirtymisprosesseihin sekä lämpöenergiaa vesimassassa siirtäviin prosesseihin. Eri syvyyksillä vallitsevat lämpötilat määräävät kaasujen liukoisuuden ja biokemiallisten reaktioiden nopeuden.

Suomen järvien termisessä vuodessa voidaan erottaa seuraavat tärkeät ajankohdat:

- jäänlähtö, käänteinen kerrostuneisuus häviää ja alkaa nopea pintaveden lämpeneminen
- keskilämpötilan maksimi, vesipatsaan lämpöenergia on suurimmillaan
- syyshomogeenisuuden alkaminen, koko vesimassa saavuttaa pintaveden jäädytyessä saman lämpötilan
- syksyn tiheysmaksimi, koko vesimassan lämpötila on + 4 °C
- jäätyminen, talvitilanne alkaa
- keskilämpötilan minimi, vesipatsaan lämpöenergia on pienimmillään

Edellä kuvatut järven luontaiset olosuhdevaihtelut ja mahdollinen vesiekosysteemin epätasapaino ravinteikkuudesta johtuen, vaikuttavat merkittävästi vesilähteen happitalouteen. Esimerkiksi järven täyskierron aikana voi happitaso pudota kriittisen alhaalle tai lämpötila ja yleinen kaasutasapaino vaihtelevat kaloille liian nopeasti. Käytettäessä järvivettä on aina varauduttava veden lisähapetukseen mielellään kiinteillä hapetusrakenteilla.

Järven vedenpinnan pitäminen halutussa minimikorkeudessa voi vaatia purkuvesistön säännöstelyä. Esimerkiksi Hakasuolla rakennettiin Varisjokeen tarkoitusta varten pohjapato.

Joesta tapahtuva vedenotto vaatii yleensä jokivesistöön rakenteellisia muutoksia, jotta voidaan turvata vedenottamon riittävä antoisuus ja painekorkeus myös alivirtaamien aikana. Esimerkiksi Ohtaojaan on rakennettu säännöstelypato ja tekoallas. Juutuanjokeen on puolestaan rakennettu tekoallas ja pengerpato. Patorakenteet ja niissä olevat säännöstelylaitteet ovat patoturvallisuuslain alaisia, tarkkailtavia rakenteita.

Joen vesi on yleensä tasalaatuista, joten lämpötilan vuoksi ei tarvita erillistä vesistöön ulotettavaa imujohtoa. Mikäli vedenotto on aivan rantavyöhykkeestä kuten Käylässä, eikä voida mataluudesta johtuen käyttää riittävästi pohjan yläpuolelle ulottuvaa imusiivilää, voidaan saada kaloille haitaksi keuhkokotiloiden levittämiä silmäloisia. Joki-veden happitilanne on useimmiten hyvä tai tyydyttävä ympäri vuoden.

Vedenottamo joessa on yleensä sijoitettu tarkoitusta varten rakennettuun poukamaan tai tekoaltaaseen. Altaassa saadaan jäätyminen ja kiintoaineksen haittavaikutus pienemmäksi. Vedenottamon supphaittojen vähentämiseksi on edullista saada vedenottoaltaaseen jääkansi.

Jäänmuodostumisen edellytys on veden pintakerroksen alijäähtyminen. Riippuen siitä, onko joen virtaus laminaarista vai turbulenttista, voidaan jäätyminen jakaa staattiseen ja dynaamiseen jäänmuodostumiseen.

Staattisen jäänmuodostuksen tuloksena syntyy jäälevyjä ja rantajäätä. Dynaamisen jäänmuodostuksen mekanismi on varsin monimutkainen ilmiö, jonka tuloksena syntyy suppoa.

Staattinen ja dynaaminen jäänmuodostus tapahtuvat usein samanaikaisesti, mutta joen poikkileikkauksen eri kohdissa tai eri uomaosuuksilla. Kun veden lämpötila on hyvin lähellä nollaa astetta, kriittinen pintavirtausnopeus rantajään muodostukselle on 0,4...0,6 m/s. Jos pintavirtausnopeus on tätä suurempi, ei jokeen muodostu lämpöenergian poistumista estävää jääkanta. Tämä johtaa aluksi veden pintakerroksen ja myöhemmin mahdollisesti koko vesimassan alijäähtymiseen.

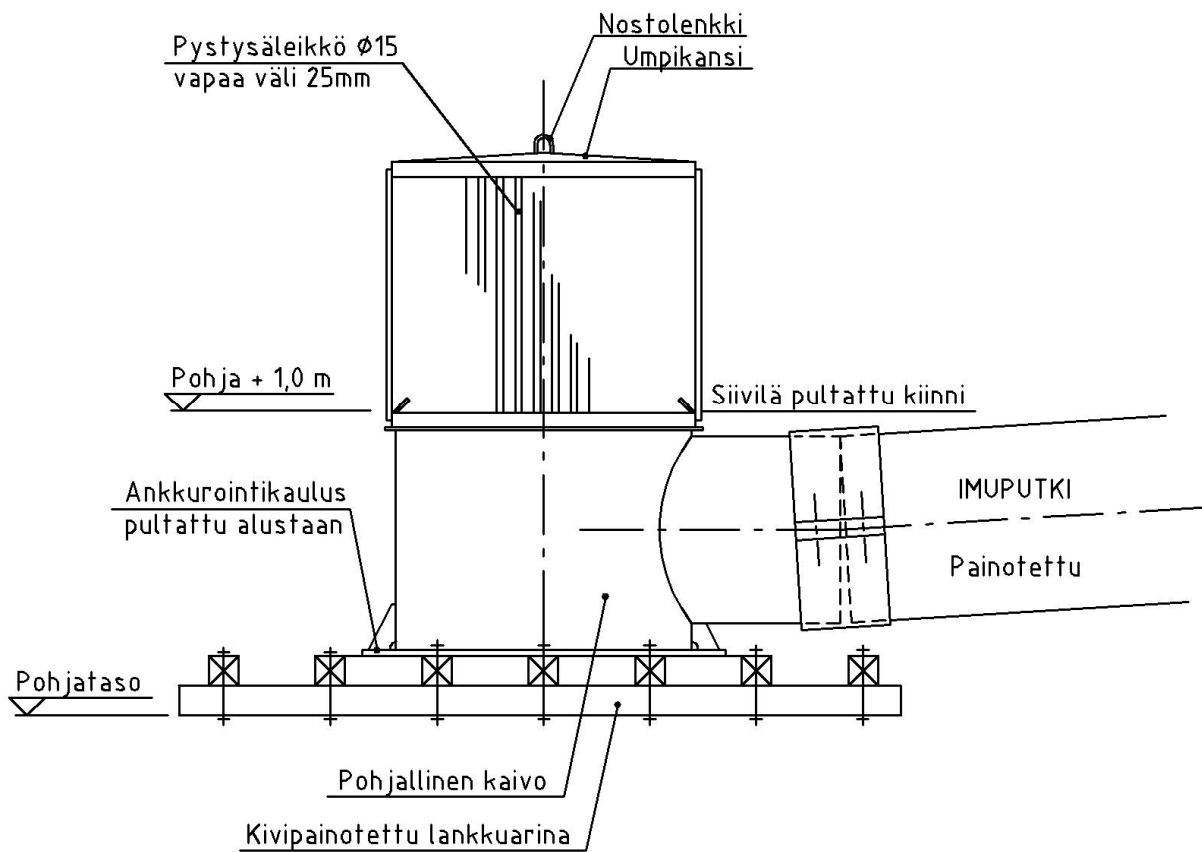
On esitetty kokemusperäinen suuruusluokkakaava, että joen vedenpinta alkaa jäätymään, kun virtausnopeuden ja veden lämpötilan tulo on alle  $0,02 \text{ }^{\circ}\text{Cm/s}$ . Esimerkiksi Juutuanjoen vedenottamon avokanavaosuuden mitoitus perustuu siihen, että pyritään pitämään veden lämpötilan ja pintavirtausnopeuden tulo alle edellä esitetyn arvon, jolloin avokanava saa jääkannen ja välttään alijäähtymiseltä.

Seuraavassa esitetään yleisiä näkökohtia ja mitoitusperusteita, joita noudatettiin Valtion kalanviljelylaitosten vedenottolaitteiden mitoituksessa.

Vedenottoaikkaan rakennetaan jonkin verran rantaviivan yläpuolelle vedenottamo tai vähintään venttiilikaivo, jolla voidaan erottaa vesistöä tulevat imuputket laitokselle johtavista putkista. Imuputkia rakennetaan mahdollisuuksien mukaan varmistusmielessä kaksi tai useampia. Imuputkien materiaali on yleensä PEH –muovia. Suurissa kokoluokissa kysymykseen tulee myös puuputki. Vesistöputkistot on rakennettu normin RIL-77 *Maahan ja veteen asennettavat kestomuoviputket* mukaisesti.

Imuputkien päihin asennetaan oheisen kuvan mukainen syöpymättömästä materiaalista valmistettu sihti tai säleikkö.

Siiviläosan etäisyyden pohjasta tulee olla noin 1,0 m, jotta pohjamuta, pohjaeliöstö tai pohjaan laskeutuneet roskat eivät pääse imuputkiin. Sopiva imuvalpän säleväli on 25 - 50 mm. Imuvalpän vapaa poikkipinta-ala mitoitetaan virtausnopeudelle 0,10 - 0,30 m/s.



Imuputkisto pyritään rakentamaan tasaisesti rantakaivolle nouseviksi ja rantakaivoon järjestetään joko avovesitila tai automaattiset ilmanpoistimet. Imuputkien mitoitusvirtausnopeuden tulee olla liettymisen estämiseksi yli 0,5 m/s ja enimmillään 1,0 m/s.

Putkiprofiilia suunniteltaessa on suoritettava riittävän laaja-alainen pohjakartoitus, selvitettävä vesiliikenne, apajapaikat ja muu vesistön käyttö. Imuputket asennetaan jäätymisrajan alapuolelle. Imurakenteet suojataan jääkuormilta ja merkitään määräysten mukaan.

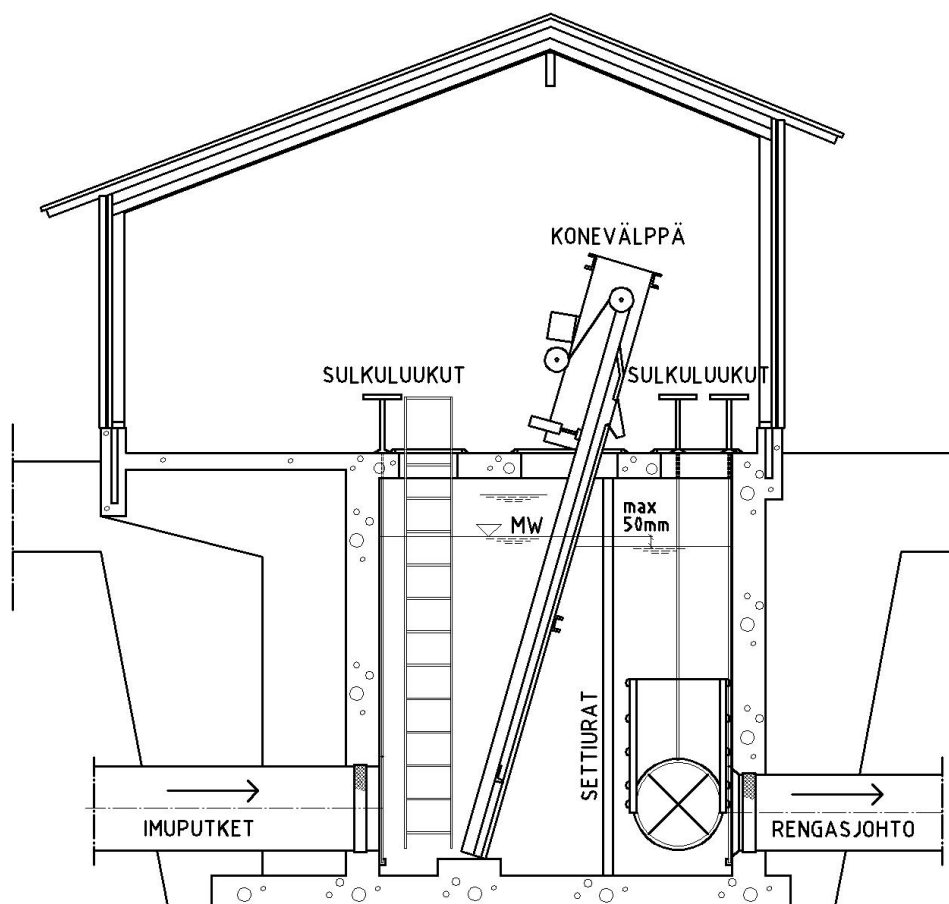
Imuputket painotetaan betonipainoin vähintään 30 %:n painotuksella tyhjän putken nostetta vastaan. Painotusta lisätään mikäli vesistössä on virtauskuormitusta tai putkeen voi päästä muodostumaan kaasutaskuja. Painojen liikkuminen ja pyöriminen on estettävä käyttämällä painolukkoja tai varmistusköyttä ja painoja, joilla on matala painopiste. Painotus on ulotettava riittävän etäälle maakannaksen sisään.

Jos vedenottamon kokoluokka on 500 l/s tai suurempi, tulee perustelluksi rakentaa imuvälppien lisäksi automaattisesti itsensä puhdistava konevälppäys rantakaivoon. Konevälppäys on rakennettu mm. Kivesjärven ja Ohtaajan vedenottamoihin.

Konevälppistä luotettaviksi ja helppohoitoisiksi ovat osoittautuneet kunnallisten jätevedenpuhdistamojen käyttötärpeisiin kehitetyt vaijerivetoiset tankovälppät. Konevälppä puhdistuu automaattisesti joko aikakellon tai padotuksen ohjaamana. Toimintaimpulsusi käynnistää puhdistusjakson siten, että hydraulisylinteri painaa vaijerivetoisen roskaharavan kiinni tankovälppän otsapintaan ja vetää säleväleihin tarttuneet roskat lattian yläpuoliseen roskakouruun

Sopiva vedenotamon välppärako on luokkaa 5 mm. Välppäkanavan virtausnopeus mitoitetaan suurimmalla veden käytöllä siten, että välppävastukseksi muodostuu noin 20 - 50 mm.

Pienemmille vesimäärille riittää käsin puhdistettava tankovälppä. Käsin puhdistettavista välpistä on helppohoitoisimmaksi osoittautunut pyöreistä pystyputkista rakennettu haravalla puhdistettava kasettivälppä. Pyöreillä rei'illä varustettuja sihti- ja välppärakenteita on syytä välttää.



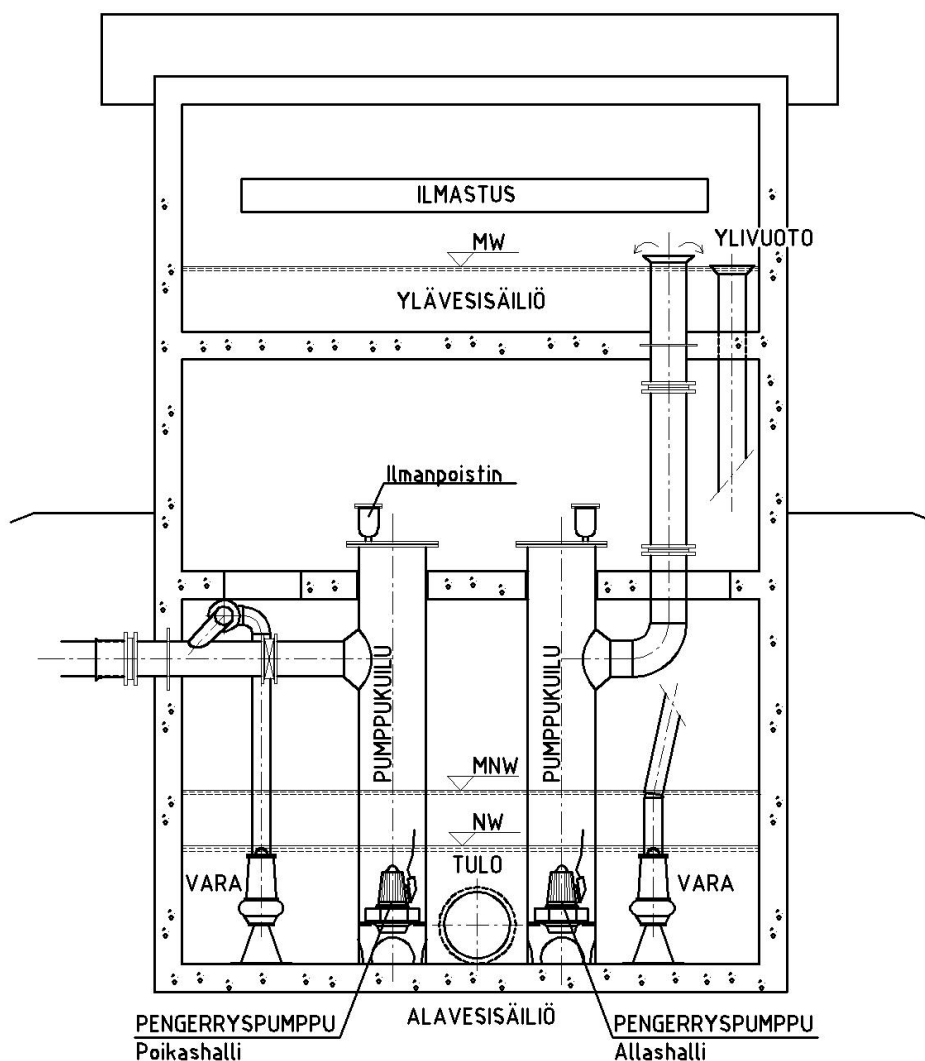
Tässä selvityksessä ei käsitellä erikseen pohjavesikaivojen erilaisia rakentamistekniikoita ja vain lyhyesti vedenottoa, jotka perustuvat pumppaukseen. Näiden rakentaminen on ollut hyvin tapauskohtaista ja kirjavaa.

Pienissä pumppaamoissa (kokoluokka kymmeniä litroja sekunnissa) käytetään viemäriveresien pumppauksessa yleisimmin käytettyjä uppoasenteisia radiaalisia (virtaussuunta kohtisuoraan pumpun akselia vastaan) keskipakopumppuja.

Suuremmissa pumppaamoissa on selvitetty tarkemmin pumppauksen energiataloutta ja suoritettu pumppaamon ja siihen liittyvän putkiston hydraulinen mitoitus tarkemmin.

Upoasenteisista keskipakopumppuista suurelle tuotolle ja pienelle nostokorkeudelle soveltuvat parhaiten aksiaaliset- ns. potkuripumput (esim. Hakasuon tutkimusyksikön tulovesipumppaamo) sekä erilaiset ns. pengeryspumppuiksi suunnitellut sekavirtauspumput (esim. oheisessa kuvassa oleva Tervon kvl:n tulovesipumppaamo). Suuret ja kalliit pumppukonstruktiot räätälöidään käyttäjän tarpeisiin aina tapauskohtaisesti. Tyypillisesti suurten vesimäärien pumppaamot varustetaan automaattisin säätö- ja ohjauslaittein sekä kytketään varavoimaverkkoon.

Potkuri- ja pengerryspumput ovat tyypillisesti ns. kuilupumppuja, jolloin pumppu maakaalla omalla painollaan pystykuilussa tiivistysrenkaan varassa ja vesi nousee pumpun läpi pitkin kuilua. Pumppauskuilu voi olla joko avonainen tai suljettu.



Suurille vesimäärille tarkoitetut potkuripumput suunnitellaan toimimaan erikseen kussakin käyttökohteessa parhaalla mahdollisella hyötysuhteella. Tällöin myös toimintaympäristö on mitoittava hydraulisesti mahdollisimman oikein. Pengerryspumput ovat rakenteeltaan lähempänä normaaleja uppopumppuja ja sallivat myös karkeammin mitoitetun toimintaympäristön. Potkuripumpun kokonaishyötysuhde on kokoporrastuksesta riippuen 70 - 80 %. Pengerryspumput mitoittuu alueelle 60 - 70 %.

Perusvesipumppaukseen on saatavissa usealta eri valmistajalta valmiita pumppaamopaketteja. Näissä pumput sijoitetaan yleensä suoraan pumppukaivon vesitilaan nostojohteiden ja pohjassa olevan kytkinistukan varaan. Perusvesipumppaukseen suunnitellut uppopumput ovat kokonaishyötysuhteeltaan luokkaa 40 - 50 %.

Uppoasenteisten pumppujen materiaaliksi voidaan valita suoraan joko syöpymätön teräs tai pumppurunko pintakäsittellään upotusrasituksen kestäväksi.

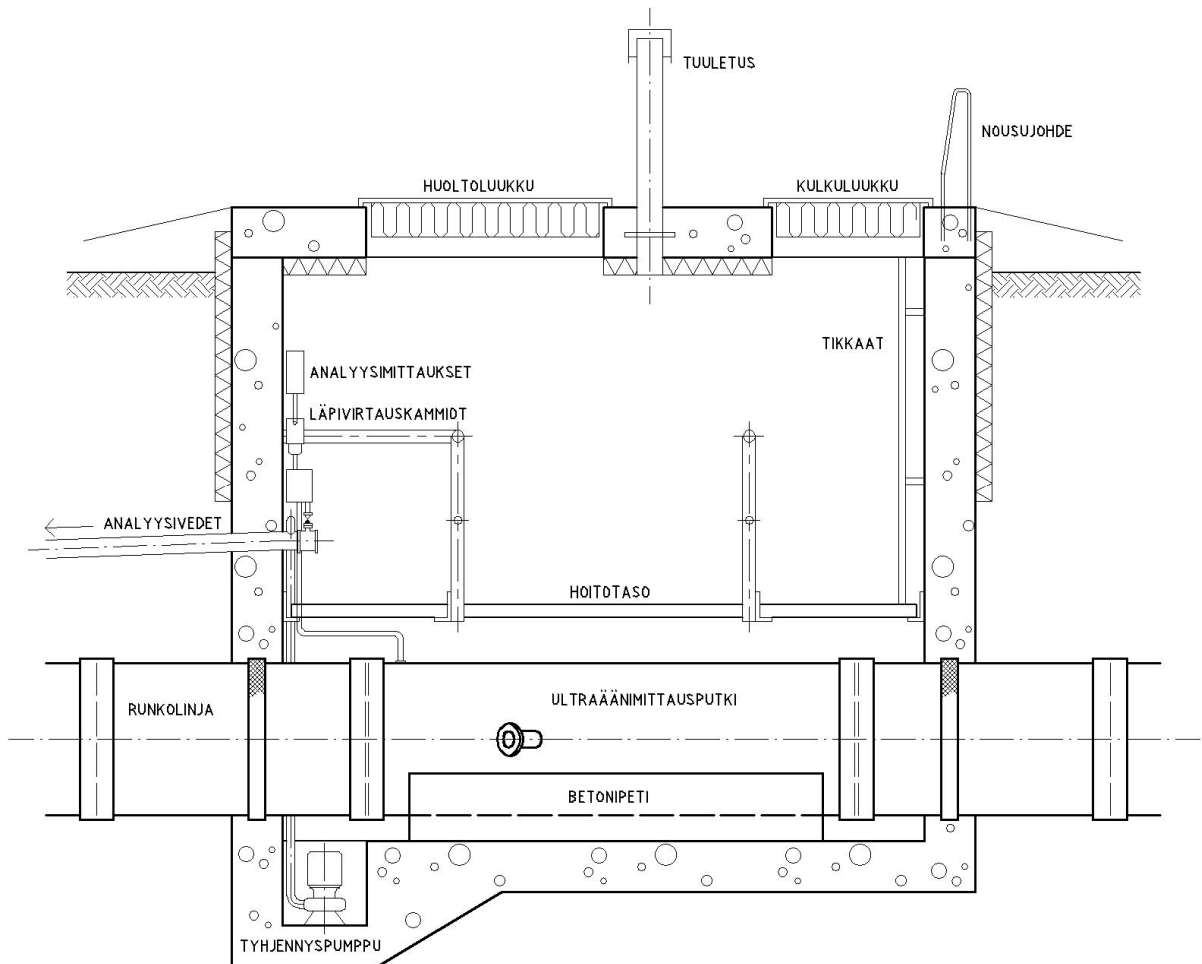
Pumpun sisämateriaalit kuten juoksupyörä ja akselirakenne toteutetaan haponkestävää teräksestä ja/tai pronssista.

Uppoasenteiset pumpput ovat öljytäytteisiä. Voiteluöljyksi valitaan luonnossa hajoava ja kaloille turvallinen öljyalaatu kuten rypsiöljy.

### 1.3 Veden siirto ja mittaus

Merkittävä osa kalanviljelylaitoksen rakentamiskustannuksista aiheutuu veden siirtoon ja jakeluun sekä jätevesien kokoamiseen tarkoitetuista rakenteista eli johtoverkoista. Laitossuunnittelun keskeisiä tehtäviä on vertailla eri vesitysvaihtoehtoja ja näiden rakentamis- sekä käyttökustannuksia.

Mittaukset liittyvät toisaalta laitoksen vedenkäytön lupaehtoihin ja toisaalta viljelyn hallintaan. Useassa laitoksessa on keskitetty päämittaukset suoraan laitoksen tulovesilinjojen yhteyteen ns. mittauskaivoiksi. Mittauskaivoon on asennettu runkolinjojen virtaamamittaus, lämpötilanmittaukset ja tapauskohtaisesti pH- ja O<sub>2</sub>-analyysimittaukset. Mittaukset on johdotettu valvomotiloihin ja liitetty joko ruokinnanohjauksen tai muuhun valvonta-automaatioon.



Virtausmittaukset edellyttävät riittävän suoran putkiosuuden ennen (30 - 50 x putkihalkaisija) ja jälkeen (5 - 10 x putkihalkaisija) mittauskohdan. Suorat osuudet varmistavat virtauskuvion mahdollisimman häiriöttömän muodon. Tulovesilinjojen virtausmittareina on käytetty lähinnä ultraääniluotaimia ja jossakin määrin magneettisia mittareita. Pienissä putkidimensioissa tulevat kysymyksen myös mekaaniset vesimittarit.

Tulovesilinjojen maadoitukseen/potentiaalintasaukseen ja mittalaitteiden elektroniikan ylijännite-/induktiosuojaukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tällöin vältytään ukkosen aiheuttamilta laiterikoilta.

Saneerattaessa valtion kalanviljelylaitoksia havaittiin tulovesijärjestelmien mitoitus- sissa ja rakenteissa seuraavia puutteita:

- tavoitevesimääriin ei päästä
- allasaluetta korkeammalle perustettujen hautomo- ja alkukasvatustilojen painetaso ei ole riittävä
- putkistojen ja venttiilien kuntoa ei tiedetä
- putkistoja ei ole rakennettu rengasjohdoiksi, jolloin varasyöttöjärjestelmää ei ole
- vesimäärien mittausta ei ole tai mittaus ei toimi

Vesitysvaihtoehtojen selvitykset laadittiin käyttäen lähtötietoina viljelysuunnitelman vedentarvelaskelmia sekä silloisen vesihallinnon valtion kalanviljelylaitoksien suunnitteluun asettamia laatutaso- ja mitoitusperusteita.

Peruskorjaukset laajenivatkin useimmiten täysimittakaavaisiksi uudelleen rakentamisiksi vaikka olemassa olevilla järjestelmillä olisi vielä ollut oikein mitoitettuina ja rakennettuina käyttöikä jäljellä. Tyypillisesti tulovesijärjestelmän saneeraus sisälsi:

- uusien ottoputkien rakentaminen vesistöön
- uuden vedenottamon rakentaminen vesistöineen
- vanhan pato- tai pengerrakenteen korottaminen tai muu peruskorjaus
- uusien päärunkoputkistojen rakentaminen
- mittauskaivon rakentaminen

Uusia laitoshankkeita käynnistettäessä on perussuunnitteluun panostettava ja edellytettävä seuraavassa kuvattuja tarkasteluja.

Putkijohtojen vertailulaskelmat on hyvä esittää graafisesti, jolloin eri vaihtoehdoista muodostuu paras kokonaisnäkemys. Myöhemmin muussa suunnittelussa laitoksen tarkkaa sijaintia ja korkeusasetelmia sekä viljely- ja puhdistusprosessia päätettäessä voidaan arvioida näiden vaikutuksia putkidimensioihin ja saatavissa olevaan painekorkeuteen. Vesitysvaihtoehdoista laaditaan näiden vertailua varten rakennuskustannusennusteet.

Vesitysvaihtoehtona voidaan selvittää esimerkiksi seuraavia yhdistelmiä:

- tulovesi pumpataan laitokselle tarvittavaan painekorkeuteen ja prosessin poistovesi johdetaan painovoimaisesti takaisin vesistöön (esim. Lautiosaari)
- täysin painovoimainen laitoksen vesitys (yleisin)
- ns. pumppulaitosvaihtoehto 1. sekä tulo- että poistovesi pumpataan
- tulovesi johdetaan laitokselle painovoimaisesti ja korotetaan laitoksella pumppaamalla riittävään painekorkeuteen (esim. Tervo)

Putkijohtojen mitoituksessa käytetään tapauskohtaisesti erikseen määriteltäviä maksimivirtaamia.

Vesitysjärjestelmän pääputkistot pyritään rakentamaan rengasjohdoksi ja varustaa siten sulkuventtiileillä, että kuhunkin kulutuskohteeseen voidaan ottaa vettä ainakin kahdesta pääjohtolinjasta.

Kun käytetään kahta tulovesilinjaa, mitoitetaan molemmat rungot kattamaan 2/3 mitoitusvirtaamasta putkiryököjen varalta.

Em. 2/3-osan kriisivesitysarvio päärunkolinjoja mitoitettaessa on altaita täytettäessä osoittautunut käyttökelpoiseksi arvioksi suurimmista kulutusvaihteluista, jolla turvataan riittävän tasainen painetaso eri kulutusasteissa.

Viljelyhallien suunnittelun yhteydessä on käytetty täyttötilanteena neljän suurimman altaan yhtäaikaista täyttöä. Tällöin esimerkiksi neljän 50 m<sup>2</sup>:n altaan samanaikainen täyttö aiheuttaa tulovesijärjestelmään n. 60 l/s suuruisen lisävirtaaman.

Jos laitoksen tulovesirunkona käytetään vain yhtä johtolinjaa, on laitoksen vesitys syytä varmistaa pumppausmahdollisuudella laitoksen läheisyydestä.

Kun kalanviljelylaitoksen tulovesijärjestelmän mitoitus suoritetaan varavesityksen edellyttämällä kokonaisvirtaamalla, saavutetaan seuraavia etuja:

- altaiden virtausnopeus on säädeltävissä varsin laajoissa rajoissa
- paine-energiaa suutinputkistoilla liike-energiaksi hyödyntäen saadaan allasvirtaus paremmin allasta pohjalietteestä puhdistavaksi
- virtavesikalaille tai muuhun tutkimuskäyttöön saadaan riittävä virtausnopeus
- vesi voidaan nostaa vesiposteissa riittävän ylös, esim. kuljetussäiliöihin
- vedenottamon vesipinnan laskiessa turvataan painetaso mahdollisimman pitkään
- saadaan tasattua suuret hetkelliset kulutushuiput esim. altaiden täyttötilanteissa
- viljelyrakenteiden perustamistasoissa ja niiden vesitysjärjestelyissä on monipuoliset muuntelumahdollisuudet
- pienillä virtausnopeuksilla tulovesi pysyy mahdollisimman häiriintymättömässä tilassa ja kaasutasapaino-ongelmat johtolinjassa minimoituvat

Väljän mitoituksen aiheuttamaksi haittapuoleksi voidaan lukea putkiston liettyminen pienillä virtausnopeuksilla. Lietyvät heikentävät putkistojen hygieniää ja vedenlaatua. Ääritilanteissa lietyvät aiheuttavat virtausvastuksen kasvua ja jopa tukkeumia ulosottoputkiin. Putkilinjoja on varauduttava huuhtelemaan aika-ajoin.

Toinen mahdollisesti haitaksi luettava tekijä on suuren runkolinjadimension kasvattama veden viipymäaika putkistossa, joten maaperän lämmittävä/jäähdyttävä vaikutus nostaa/laskee tuloveden lämpötilaa. Normaali virtaamalla on maanalaisessa runkojohdossa tapahtuva lämpötilamuutos varsin vähäinen (teoreettisesti laskien esimerkiksi Ohtaajalla vajeat 0,01...0,02 °C).

Putkijohdon virtaushäviöt muodostuvat toisaalta veden ja putken sisäpinnan välisestä hankaushäviöstä ja toisaalta erilaisten putkessa olevien epäjatkuvuuskohtien aiheuttamista paikallishäviöistä.

Hankaushäviöitä laskettaessa otetaan huomioon kunkin putkimateriaalin teknillisen pintakarheuden lisäksi putken likaantuminen ja sisäpinnan muu epätasaisuus kuten hitsausaumat. Laskennassa käytettävät putkien sisähalkaisijat lasketaan putkille esitettyjen normien sallimien mittapoikkeamien keskiarvojen perusteella.



Putkilinjan virtausvastukset lasketaan yleensä kokoonpuristumattoman nesteen stationääristä kitkallista putkivirtausta kuvaavalla laajennetulla Bernoullin yhtälöllä. Virtauksen kitkahäviön suuruuden määrittelyyn tarvittavat kitkahäviökertoimet voidaan laskea esimerkiksi ns. Churchillin kaavalla, joka pätee sekä laminaarisessa että turbulentsissa virtauksessa hydraulisesti sileällä (Pradtl) ja hydraulisesti karkealla (Nikuradse) sekä näiden välisellä siirtymäalueella (Colebrook/White). Virtauksen paikallishäviöiden laskentaan on taulukoitu erilaisten virtaushäiriöiden paikallishäviökertoimia. Paikallishäviökertoimien suuruus on suunnittelijan aina erikseen selvitettävä ja harkittava.

Putkistojen virtaushäviölaskentaan on räätälöity erilaisia laskentaohjelmia, joilla voidaan peruslaskennan lisäksi mitoittaa optimoiden verkostokokonaisuuksia ja tarkastella verkoston sisällä halutun pisteen olosuhteita. Yksinkertaisia johto-osuuksia voidaan mitoittaa myös putkivalmistajien suoran putken mitoitusnomogrammeilla muuttamalla taulukotietojen avulla putkilinjan eri paikallishäviöt vastaamaan niihin ekvivalenttisia putkipituuksia.

Osittain veden täyttämien, epätasaisen virtausliikkeen, avokanavien ja tunneleiden virtaustekniset laskelmat suoritetaan vesisyvyyttä iteroiden yleensä ns. Manningin kaavalla joko vastavirtaan (verkausvirtaus) tai myötävirtaan (kiitovirtaus) tarkastellen.

Kalanviljelylaitoksen avokanavien tasaiseen virtauksen häviöiden laskentaan (tulovesikourut) voidaan soveltaa myös edellä mainittuja putkijohtojen laskentakaavoja. Tällöin mitoituskaavaan sijoitetaan putkihalkaisijan tilalle avouomaa kuvaava ns. hydraulinen halkaisija ( $d_h = 4A/p$ ;  $A$  = virtausleikkauksen poikkipinta-ala ja  $p$  = virtausleikkauksen hankauspiirin pituus).

Putkijohdoissa on edullisimman virtausnopeuden määrävänä tekijänä tavallisesti pyrkimys kokonaiskustannuksiltaan edullisimpaan ratkaisuun, jolloin otetaan huomioon sekä johdon hankintakustannus että laitoksen käyttökustannukset. Putkijohdon hinta koostuu putkistohankinnoista, asennuksesta ja maarakennustöistä. Kustannukset lasketaan tehtyjen maaperäselvitysten tietojen pohjalta käyttäen putkistojen ja laitteiden yksikköhintoina suurten putkijohtolinjojen jälkilaskennasta saatuja hintoja. Pumpausvaihtoehtoissa lasketaan vuotuiset käyttökulut kuukausittaisen kokonaisvedenkäytön jakautuman perusteella.

Taloudellisimman johtokoon määrittäminen on optimointitehtävä, jossa etsitään sitä teknistä järjestelyä, jonka perustamiskustannusten ja laitoksen koko käyttöiän käyttökustannusten nykyarvojen summa on pienin mahdollinen. Laskemalla edellä mainitut parametrit erisuuruisille johdoille ja piirtämällä kuvaajat ja niiden summakäyrä samaan akselistöön (kustannukset / putkihalkaisija), saadaan taloudellisin johtokoko graafisesti funktioiden summan minimikohdalta.

Tarkastelu yksinkertaistuu painovoimaisissa vesitysjärjestelmissä. Tällöin riittää tarkastella eri putkimateriaalivaihtoehtojen investointikustannuksia putkidimension funktiona ja putouskorkeudesta johto-osuuden virtaushäviöihin taloudellisesti käytettävissä olevaa osuutta.

Tulovesilinjan putkijohdon kokonaistaloudellinen virtausnopeus mitoittuu yleensä alueelle 0,80 – 1,60 m/s. Tätä pienemmillä nopeuksilla on putkiston liettymisvaara. Suuremmilla nopeuksilla veden kaasutasapaino häiriintyy ja paineiskujen suuruus kasvaa.

Taloudellinen virtausnopeus ole kuitenkaan yksin tärkeä putkidimension mitoituskriteeri. Putkistomitoitus on kokonaisuuden hallintaa siten, että laitoksen kaikki vesityksen osa-alueet vedenottamosta poistovesien purkukanavaan kulkevat mukana tarkastelemissa.

Viljely-yksiköihin on saatava oikeat virtaamat ja tulonopeudet. Lisäksi on otettava huomioon poikkeukselliset olosuhteet ja erilaiset laitoimet kuten putkistojen huuh-

telu- ja altaiden täyttövirtaamat. Laitoksessa on oltava myös riittävästi muunteluvaraa, on visioitava tulevaisuutta.

## 1.4 Johtoverkon materiaalit ja rakenteet

Vedenjakelujärjestelmän rakenteiden mitoituksessa on lähtökohtana pidetty vähintään 50 vuoden teknistä käyttöikää putkijohtojen ja sen kiinteiden rakennusosien osalta.

Venttiilit, koneikot ja vastaavat laitteet on mitoitettu vähintään 30 vuoden tekniselle käyttöiälle.

Putkistomateriaalien valintaan ja verkosto-osien pinnoitustöiden suorittamiseen on kestoikävaatimuksen perusteella kiinnitetty erityistä huomiota.

Materiaalivalinnoissa on otettava huomioon kalanviljelylaitoksen erityisvaatimukset mm. korroosionkestävyyden ja hygieenisyyden suhteen. Kaikkien nestekontaktissa olevien tai jatkuvan kosteuden altistamien tarvikkeiden ja materiaalien tulee olla sellaisia, ettei niistä liukene mitään käytölle tai ympäristölle haitallisia tai vahingollisia aineita. Materiaalien tulee olla mekaanisilta ja muilta ominaisuuksiltaan ympäristöolosuhteet pitkäaikaisesti kestäviä ja syöpymättömiä. Eri materiaalit tulee valita keskenään soveltuviksi, esimerkiksi metallien jännitesarja huomioiden siten, ettei synny galvaanista korroosiota. Vakiorakenteiset tehdasvalmiit tarvikkeet edellyttävät useimmiten muutos- ja lisätöitä mm. pinnoitusten ja kiinnitystarvikkeiden osalta.

Kalanviljelylaitosten tulovesiputket on yleisimmin rakennettu muovimateriaalista. Tarkoitukseen soveltuvat sekä ns. kesto- että kertamuovit. Kestomuovi -nimitys johtuu siitä, että kestopuovit kestävät toistuvasti kuumentamalla tapahtuvaa muovausta niiden rakenteen muuttumatta peräkkäisten kuumennusten ja jäähdytysten jälkeen. Kertamuovia voidaan muovata vain kerran nimensä mukaisesti. Tällöin se kestää suhteellisen korkeita lämpötiloja sen rakenteen muuttumatta.

Kestomuoveilla (plastomeerit, termoplastit) on perustyyppinä lineaaristen lankamolekyylien sotkeumasta muodostunut rakenne. Kertamuoveilla on puolestaan tiiviistä verkkoutumisesta syntynyt avaruusristikkorakenne.

Kestomuoveista tulovesilinjoissa tulevat kysymykseen lähinnä PEH (polyeteeni, high density), PP (polypropeeni) ja PVC (polyvinyylidikloridi). Yleisimmin valtion kalanviljelylaitoksien tulovesiputkina on käytetty massiiviseinäisiä (umpimuovia) PEH-putkia paineluokassa PN 4 ja PN 6 bar.

Kertamuoveista tulovesiputkistoihin soveltuu lujitemuovirakenteista yleisimmin käytössä oleva laminaattirakenne, jossa kantavana aineosana toimivat tavoiteltujen lujuus- ja rakenneominaisuuksien perusteella asetellut lasikuidut (nk. E-lasi) ja näiden lisäksi suoja-aineina erilaiset polyesterihartsit (UP-hartsit). Näiden putkistojen valmistusmenetelmät voidaan jakaa karkeasti käsin- ja konelaminointiin. Lujitemuoviputkista yleisimmin on käytetty keskipakovallettua Hobas-putkea. Keskipakovalamalla tehty putki valmistetaan sandwichrakenteena tyydyttämättömästä polyesterihartsista, kvartsihiekasta ja katkokuidusta. Menetelmällä saadaan ulkopinnaltaan määrämittäisiä ja sileitä lujitemuoviputkia. Liitokset tehdään monihuulitiivisteisillä muhveilla, jolloin putkilinjasta tulee joustava. Putki soveltuu ominaisuuksiltaan hyvin paineputkeksi, mutta ohuesta seinämästään johtuen edellyttää huolellista ja valvottua maarakennustyötä.

Nykyisin on saatavilla myös kevennettyjä (ontelarakenteisia) PEH- ja PP-putkia. Näitä putkia ei ole tarkoitettu paineelliseen käyttöön. Ei hitsattavia, muhveilla liitettäviä PVC-putkia on käytetty vain vähäisessä määrin.

Runkojohtolinjojen asennuksen ja hitsaustyön laadunvalvontaan on kiinnitetty erityistä huomiota. Näiden putkilinjojen rakentamisessa ovat valtion kalanviljelylaitokset olleet laatuajattelun edelläkävijöitä Suomessa.

PEH-runkolinjojen hitsaussaumamat on leimattu sulaan saumaan juoksevin numeroin ja merkitty hitsauspöytäkirjaan. Tällä menettelyllä voitiin varmistaa oikea työn laatu ja merkinnöistä sekä erittelyistä jäljittää virheen aiheuttaneet olosuhteet.

Toinen merkittävä tekijä korkeassa työn laadussa oli putkielementtien käyttö työmaalla. Työmaille tuotiin suuria esivalmisteita, jotka vain liitettiin toisiinsa työmaolosuhteissa.

Viimeisten laitoshankkeiden PEH- muoviputkistojen puskuhitaustyöt on kaikilta osin suoritettu puskuhitauksena DVS (Deutscher Verlag für Schweisstechnik) normin 2207 Teil 1 mukaisesti.

Vanhemmissa laitoksissa on PEH-putkien haaroitusten liitosmenetelmänä käytetty ns. ekstruuderihitsausta (DVS 2209). Tässä hitsausmenetelmässä kuumennetaan hitsausaumakohta yleisimmin kuumailmapuhalluksella (erikoistapauksissa infrapunalämmitys tai inertti suojakaasu) ja samaa muovia oleva hitsauslisäaine painetaan suulakkeesta saumakohtaan sulana muovimassana. Ekstruuderihitsausmenetelmää käytetään yleisesti kaivorakenteissa ja levytöissä, joihin ei voi soveltaa puskuhitausta. Hitsausta- pahtuman hallittavuus (lämpötila, paine, hapettuminen) ei ole osoittautunut riittäväksi putkijohtorakentamiseen. Ekstruuderihitsatut putkijohto-osat eivät vastaa muun putkiston rakennelujuutta. Tehdyissä kuormituskokeissa ja tutkituissa vauriotapauksissa on päädyttiin siihen, että valtion kalanviljelylaitosten maanalaisiin ns. ei vaihdettaviin rakennusosiin ei enää saa käyttää ekstruuderihitsausta.

Tulovesirunkolinjojen vesitiiveyspaineokeet on suoritettu ja arvosteltu PEH-paineputkien osalta SFS 3115 (koeylipaine 1,3 x nimellispaine) ohjeiden mukaisesti.

Viimeisimpien vesihuoltoputkistoista tehtyjen tutkimusten mukaan ei ole näköpiirissä tekijöitä, jotka heikentäisivät oikean rengasjäykkyyden omaavia, maahan asennettuja kestopuovisia putkimateriaaleja siten, ettei niillä saavutettaisi 100 vuoden kestoikää. Kestomuoviset putkilinjat viskoelastisina ja viruvina materiaaleina ovat peruslähtökohdaltaan kuitenkin mitoitettu vanhenemisen osalta 50 vuoden materiaaliominaisuuksien perusteella, jota myös voidaan pitää tämänhetkisenä käyttöikäarviona. Myös keskipakovalettujen lujitemuoviputkien (Hobas) osalta kestoikäarviona voidaan pitää samaa 50 vuotta.

Uusien muoviputkistojen vauriot liittyvät joko inhimilliseen virheeseen liitosvaiheessa tai väärin tehtyyn maarakennustyöhön. Muita vauriolle altistavia tekijöitä ovat lämpöliikkeet, jäätyminen ja sulaminen. Äkilliset virtaamamuutokset kuormittavat putkistojen taitekohtia. Paineiskut ovat suurimmillaan täytettäessä tyhjää putkilinjaa.

Muista materiaaleista kysymykseen tulevat austeniittiset ruostumattomat teräkset, valurauta ja puu. Markkinoilla on myös pinnoitettuja, yleistä rakenneterästä olevia putkistoja, mutta niistä ei ole juurikaan käyttökokemuksia valtion kalanviljelylaitoksilla.

Ruostumattomia teräksiä on käytetty lähinnä erilaisina putkihaaroituksina ja rakenteiden läpivientiputkina.

Vesihuoltoon tarkoitettuja valurautaputkia on jossakin määrin edelleen käytössä (Ohtaajan hautomohalli). Tasainen korrosio syövyttää valurautaputkistoja noin 0,07 mm/a sisäpuolelta ja pohjavesipinnan alapuolisessa upotuksessa arviolta noin 0,02 mm/a. Pohjavesipinnan yläpuolinen osuus syöpyy huomattavasti nopeammin. Pistemäinen korrosio on tuhoisampi ja nopeammin etenevä. Pistekorrosionopeus voi olla epäedullisissa olosuhteissa tasaiseen korrosioon verrattuna kymmenkertainen. Tasaisen korrosion perusteella laskien on putkistojen elinikä asennushetkestä suuruusluokaltaan 75...100 vuotta. Tällöin seinämä on ohentunut alle puoleen uuden putken seinämästä. Pistemäisen korrosion perusteella elinikäarvio puolittuu ollen 40...50 vuotta. Muoviputkistot ovatkin syrjäyttäneet valuraudan uudemmissa laitoshankkeissa.

Puuputki soveltuu ominaisuuksiltaan suuriin putkilinjoihin sekä paine- että viettokäyttöön. Suuren vesimäärän vesistöasennusputkena (Enonkoski) puu on edelleen yksi

varteenotettava vaihtoehto. Puuputki vaimentaa hyvin paineiskua ja sen hinta on edullinen.

Hyvin rakennettu puuputki kestää mitoitusikävaateen 50 vuotta. Rakennusmateriaalina on yleensä käytetty mäntyä, mutta myös kuusi- ja lehtikuusilankkua on käytetty. Lankkujen paksuuden mitoitukseen on esitetty kokemusperäisiä laskentakaavoja. Tyypillisesti lankut mitoittuvat 1,5"..."4" paksuisiksi.

Lankut sidotaan joko pyörö- tai vanneteräksillä. Siteiden tulee kestää vedenpaineen lisäksi puun turpoamisesta johtuva paine. Siteet on suositeltavaa tehdä syöpymättömää materiaalista ja ne varustetaan lukkolaitteilla, joilla siteitä voidaan tarvittaessa kiristää.

Lankkujen jatkokset sovitetaan eri kohdille ja varustetaan ruostumattomasta teräksestä tehdyillä tiivistelevyillä, jotka estävät myös lankun päiden kiertymisen.

Puuputken rakentamisen valvontaan on voitava asettaa perinteisen puurakentamisen taitava henkilö. Valvonnan tulee kattaa puutavaran hankinta, kuivaus ja höyläys, erilaisiin määrämittäisiin sahaus sekä niputus ja säilytys. Kaikki putkeen käytettävät lankut on pyrittävä saamaan tasalaatuisiksi ja syyrakenteeltaan oikein suunnatuiksi.

Puuputki kuluu käytössä ja sen virtausvastus kasvaa, rakenne ns. tikkuuntuu. Puuputkea on varauduttava sen käyttöaikana huoltamaan ja korjaamaan. Kevennetyt, ontelorakenteiset PEH-putket ovat syrjäyttämässä puuputket suurina vesistöasennusputkina.

Putkistoissa, varusteissa ja näihin liittyvissä laitteissa ja osissa on noudatettu laatu- määritysten, mittojen, materiaalien ja asetetun paine- tai jäykkyyden osalta voimassa olevia Suomen Standardisoimisliiton SFS-standardeja ja DIN-standardeja (tai näiden kanssa vertailukelpoisia kansainvälisiä standardeja). Suurissa hankkeissa on standardinmukaisuus osoitettu ao. toimituserästä aineistodistuksella SFS-EN 10204-2.2, laatuvaraus.

Kalanviljelylaitoksella ei ole suositeltavaa käyttää suojaamattomia alumiinimetalleja, kupariputkistoja ja -rakenteita eikä sähkösinkityt tai keltapassivoituja teräsosia esim. kiinnitystarvikkeina.

Teräsrakenteiden kuumasinkityksen tulee vastata vanhan SFS 2765 standardin määrittelyä Fe/Zn luokka B. Tämä tarkoittaa ainevahvuuksilla  $> 6$  mm sinkkikerrosvahvuutta  $115 \mu\text{m}$ , jolloin massa-arvo  $830 \text{ g/m}^2$ . Kuumasinkityt teräsrakenteet eivät soveltu upotusrasitukseen. Kuumasinkityt laipat ja ruuvitarvikkeet on maa-asennuksissa lisäpinnoitettu epoksitervallalla. Työmaalla on sinkkipinnoitteiden vaurioita korjattu sivelinmaalauksena sinkkipölypohjamaalilla ja epoksitervapintamaalilla. Kokonaiskalvonpaksuudeksi tulee saada 2-3 sivelykerralla yht. noin  $500 \mu\text{m}$ . Nimellismitaltaan 16 mm pienemmät ruuvitarvikkeet on yleensä vaadittu syöpymättömästä materiaalista kuten haponkestävästä teräksestä Aisi 316 kylmämuovaamalla laatu- ja lujuusluokkaan A4-80(70). Upotusrasituksessa on kaikki kierrekoot tehty syöpymättömästä materiaalista.

Maasulkuventtiileistä kunnallistekniikassa käytettävät valurautaiset, täysiaukkoiset kumiluistiventtiilit ovat yleensä sellaisenaan käyttökelpoisia tulovesijohtojen sulkuventtiileiksi. Näiden taloudellinen koko ylittää kokoluokkaan DN 300...DN 400, jonka jälkeen läppäventtiili tulee edullisemmaksi. Venttiilit ovat raskasrakenteisia, niissä ei ole vaihteistoja ja ne kestävät kohtuullisen voimakasta käsittelyä.

Kumiluistiventtiilien jatkovarret on kiinnitetty holkkiliitoksella alapäästään venttiilin karalle. Normaalisti maasulkuventtiileiden käyttöavaimella, momenttivarsi noin 0,5 m, eivät nämä venttiilit vaurioidu ns. normaalikäytön miehen tasaisella vääntömomentilla. Toisaalta ei ole sallittua kuormittaa ääriarjoille jatkovartta, venttiilien haponkestävän karan kierrettä eikä kumivuoratun luistin rakennetta. Tyypillisin venttiilivaurio syntyy yritettäessä väkisin aukaista juuttunutta rakennetta. Venttiilien säännönmukainen toiminnan testaus pitää ne aina käyttökuntoisina ja eliminoi väkisin vääntämisen tarpeen. Toinen vauriolle altis tilanne on jäätyneen rakenteen aukaisu talviolosuhteis-

sa. Jäätynyt varsisto aukaistaan vasta lämpömattojen avulla tapahtuneen sulatuksen jälkeen.

Kumiluistiventtiilien kierre on ns. oikeakätinen eli venttiili sulkeutuu myötäpäivään kierrettäessä ja vastaavasti aukeaa vastapäivään. Venttiileitä ei tule jättää auki-asennossa ääriasentoonsa. Karan kierre on tiheä, joten luistin yläkohtaan voidaan jättää 2...3 kierrosta klappia, josta seuraavalla kerralla havaitaan kummassa asennossa venttiili on. Venttiilien avauksen ja sulkemisen liikeaika on noin 2 minuuttia. Aika tuntuu käyttäjältä pitkälle, mutta tällä ehkäistään paineiskut ja vähennetään hallitsematonta lietteen liikkeelle lähtöä.

Yli DN 400 suuruiset maasulkuventtiilit ovat läppäventtiileitä. Näiden rakenne on huomattavasti heikompi käsikäytön suhteen kuin maasulkuventtiilien.

Läppäventtiilin runko on valurautaa, kara ja läppä haponkestävää terästä. Venttiilin runko on sisäpuolelta kumivulkanoitu, jota vasten läppä kiinniasennossa tiivistyy.

Suuret läppäventtiilit on asennettu vaakaan eli läpän kara on vaakasuorassa. Tällöin pohjavirtaama on vapaa. Jotta läppä mahtuu kääntymään putken sisään on PEH-putkien kaulukset kevennyssorvattu.

Venttiilin läppä vaatii varsin suuren sulkua- ja avausmomentin, joten akselisto on varustettu kierukkavaihteella. Vaihteisto on rasva- tai öljytäyteinen ja se on suojattu vettä ja korroosiota vastaan. Vaihteisto laskee sallitun tulovääntömomentin suuruusluokkaan 150 Nm eli 1 m:n vääntövarrella suurin sallittu kuorma on 15 kg. Liian suuri momentti vaurioittaa voimansiirtorakenteen. Kierukkavaihteen käyttö kierrokset vaihtelevat 8...30 välillä.

Tämän kokoluokan läppäventtiilien avauksen ja sulkemisen liikeajan tulee aina olla yli 3 minuuttia. Alkuavaus on kaikkein kriittisin samoin sulkuvaiheen loppuosa.

Myös läppäventtiileiden auki-asentoon on hyvä jättää tunnistamista varten selvä klappi. Kierukkavaihteiden käyttösuunta on sama kuin luistiventtiileillä

PEH-muoviset putkijohtolinjat maarakenteessa on mitoitettu paineluokkaan PN 2,5 bar. Tällöin on käytetty PN 4 paineluokan putkia ja osia eikä haaroituksia ole välttämättä valettu betoniin. Kuormitettaessa putkilinjoja äkillisillä virtaamavaihteluilla, on mahdollista vaurioittaa tukemattomia rakenteita. Tässä selvityksessä on kuvattu ne mitoitus- ja käyttöperusteet, joita noudattamalla putkilinjoja ei kuormiteta tarpeettomasti.

## 2. Tuloveden käsittely

### 2.1 Käsittelyprosessin valinnan perusteet

Veden soveltuvuutta kalanviljelytarkoituksiin arvostellaan pääasiassa lämpötilaolojen, happipitoisuuden, happamuuden ja veden mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien mukaan.

Pintaveden laadun vuodenaikaiset vaihtelut tekevät välttämättömäksi ainakin yhden havaintovuoden havaintosarjan ottamisen. Virtavesistöissä vesinäytteet otetaan tasaisin väliajoin ja järvissä limnologisesti merkittävien aikojen kulminaatioajankohtina.

Pohjavedet ovat Suomessa poikkeuksetta varsin aggressiivisia. Riittävän pitkäaikaisin koepumppauksin ja vesianalyysien perusteella selvitetään kuinka kaukana veden koostumus on viljelyveden laatuvaatimuksista.

Vesianalyysien ja ilmastus- sekä suodatuskokeiden perusteella tehdään johtopäätökset veden käyttävyydestä ja tarvittavista käsittelyprosesseista. Tarvittaessa suoritetaan päätelmiä tukevia laboratorioskokeita.

Useat valtion kalanviljelylaitokset on sijoitettu paikkoihin, joissa on jo aiemmin viljelty kaloja. Tällöin on muodostunut hyvä kuva todellisista viljelyolosuhteista ja niistä käsittelyprosesseista, joita tarvitaan tai joihin pitää varautua.

Tässä selvityksessä kuvataan niitä vedenkäsittelymenetelmiä, joita rakennettiin valtion kalanviljelylaitoksien peruskorjausten ja uudisrakentamisten jaksossa 80- ja 90-luvuilla.

Luonnossa tapahtuvat olosuhdemuutokset ja kalasairauksien leviäminen korostuvat nykyisin erilaisina eristys- ja desinfiointitarpeina. Mukaan on otettu myös nyt ajan-kohtainen laitosvesien desinfiointi. Desinfiointimenetelmiä suunniteltiin aikanaan usealle laitokselle, mutta valitettavasti niitä toteutettiin hyvin rajallisesti, joten käyttökokemuksia ei ole muihin menetelmiin verrattavaa määrää.

### 2.2 Mekaaniset käsittelymenetelmät

Mekaanisilla vedenkäsittelymenetelmillä ei voida muuttaa veden kemiallisia ominaisuuksia, ainoastaan vähentää vedessä kiinteässä muodossa olevien aineiden määrää.

Mekaanisilla käsittelymenetelmillä tarkoitetaan tässä yhteydessä veden välppäystä, siivilöintiä ja suodatusta.

Välppäystä on käsitelty aiemmin vedenottamoiden yhteydessä. Samat mitoitusperusteet ja rakenneratkaisut toivat myös muissa vedenkäsittelyn tarpeissa. Välppien normaali käyttöalue päättyy muutaman millin säleväliin. Parempaa erotustarkkuutta tarvittaessa valitaan jokin siivilöintimenetelmä.

Siivilöitä on markkinoilla ainakin rumpu-, kiekko-, nauha- ja tasomallisina. Siivilöistä käytetään yleensä nimitystä makrosiivilä, jos siivilähavaksen silmäkoko on luokkaa 100...300 ja mikrosiivilä, jos havaksen silmäkoko on luokkaa 10...80 µm.

Mikrosiivilät poistavat vedestä kiintoainetta, kuten hiekkaa, hiesua ja levää, mutta ne eivät paranna veden kemiallista laatua, eli ne eivät poista liuenneita aineita (humusta, väriä, ammoniakkia, fosforia) eivätkä mm. bakteereja.

Kalanviljelykäytössä luotettavimmaksi on osoittautunut rumpusiivilä. Rumpusiivilä on vaakasuoran akselin ympäri pyörivä, osittain veteen upotettu sylinteri, jonka vaippa

toimii siivilänä. Veden virtaus on yleensä rummun sisältä ulospäin suuntautuva. Puhdistustyön tekevää siiviläkangasta huuhdellaan vastavirtaan puhtaalla painevedellä, joko jatkuvasti, kellokoneiston tai siivilän padotuksen ohjaamana. Huuhteluveden tarve vaihtelee kuormituksesta, laitteen mitoituksesta ja pesun tehokkuudesta riippuen enimmillään 0,5...2,0 % suodatetusta vesimäärästä.

Mikrosiivilän reiät ovat hyvin pieniä, joten siivilällä on taipumus tukkeentua helposti. Toisaalta siiviläkudoksen pinnalle pidättyvä kiintoainne muodostaa itsessään siivilöivän kerroksen, joka edelleen parantaa siivilän erotuskykyä ts. siivilän vapaata aukkoa pienemmätkin hiukkaset pidättyvät kerrokseen.

Tyypillinen rumpusiivilän maksimi painehäviö on suodattimen yli mitattuna korkeuserona 50...150 mmvp. Siivilärummun kehänopeus (5...50 cm/s) on moderneissa laitteissa säädettävissä, jolloin voidaan parantaa siivilöintitehoa, jos veden laatu huononee. Siivilävaipan mitoituspintakuorma tehollista märkää pintaa kohti on noin 75 m/h.

Mikrosiivilöitä on markkinoilla sekä kevennettyjä (huokeampi hinta) että teollisuuteen tarkoitettuja tuotantokoneita. Jos siivilän käyttö on jatkuvaa, on suositeltavaa valita kalliimpi vaihtoehto.

Siivilän keventäminen tarkoittaa siiviläkankaan pinta-alan ja sen upotussyvyyden pienentämistä, jolloin runko-, laakerointi ja pyörityskoneisto kuormittuvat vähemmän. Haettaessa hyvää siivilöintitulosta (tukkeutumisaste ennen pesua), on kankaan kokonais- ja märkä pinta-alan suuruus keskeinen mitoitus tekijä.

Vedessä olevia kiinteitä epäpuhtauksia voidaan poistaa suodattamalla vesi riittävän hienorakeisen suodatinainekerroksen läpi. Suodatukselle on luonteenomaista se, että prosessissa on vaikuttamassa siivilöinnistä poiketen useita fysikaalisia tekijöitä, jotka vain osaksi riippuvat suodatinaineen raakoista.

Suodatuksessa tarttuvat vedestä poistettavat epäpuhtaudet suodatinaineen rakeiden pinnoille ja väleihin, mistä ne poistetaan suodatinta huuhtelemalla. Hiukkasten pidätykseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kuuteen ryhmään:

- siivilöityminen
- sieppaus, hiukkanen tarttuu suodatinrakeeseen adheesiovaikutuksesta
- diffuusio, tarttumisen aiheuttajana on lämpöliike
- jatkuvuus, tarttuminen perustuu inertian vaikutukseen
- laskeutuminen, sedimentaatio suodatinrakeen pinnalle
- hydrodynamiikka vie hiukkasen suodatinrakeen pidätyskyvyn piiriin

Lueteltujen tekijöiden yhteisvaikutuksen ansiosta suodatinaineeseen voi pidättyä hiukkasia, joiden koko on selvästi pienempi kuin suodattimen huokosten läpimitta, usein vain muutama prosentti siitä.

Kalanviljelylaitoksilla on käytetty hautomo- ja alkukasvatusveden suodatukseseen hiekkasuodatusta (esim. Ohtaajalla). Paras suodatustulos saadaan perinteisillä avohiekkasuodattimilla. Edullisempi tapa suodatukseseen on painehiekkasuodatus. Hiekkasuodattimet voivat olla joko ns. monikerrossuodattimia tai tasarakeisia suodattimia.

Monikerrossuodattimen toimintaperiaatteena on, että raekoko pienenee alaspäin siirryttäessä, jolloin lika-ainne pidättyy tasaisemmin suodattimen koko syvyydelle. Jotta tämä järjestys säilyisi myös huuhtelun jälkeen, on suodatinaineen oltava sitä raskaampaa mitä pienemmästä raakoista on kysymys.

Avohiekkasuodattimen suodatusnopeus on enimmillään luokkaa 7 m/h. Painesuodattimen enimmäissuodatusnopeus on vastaavasti 20 m/h. Suodatinkerroksen paksuus on

yleensä luokkaa 0,8...1,2 m ja suodatinhiekan raekoko 0,5...1,2 mm. Huuhtelunopeus vastavirtaan on vedellä tai vesi-ilma yhdistelmällä luokka 50...75 m/h.

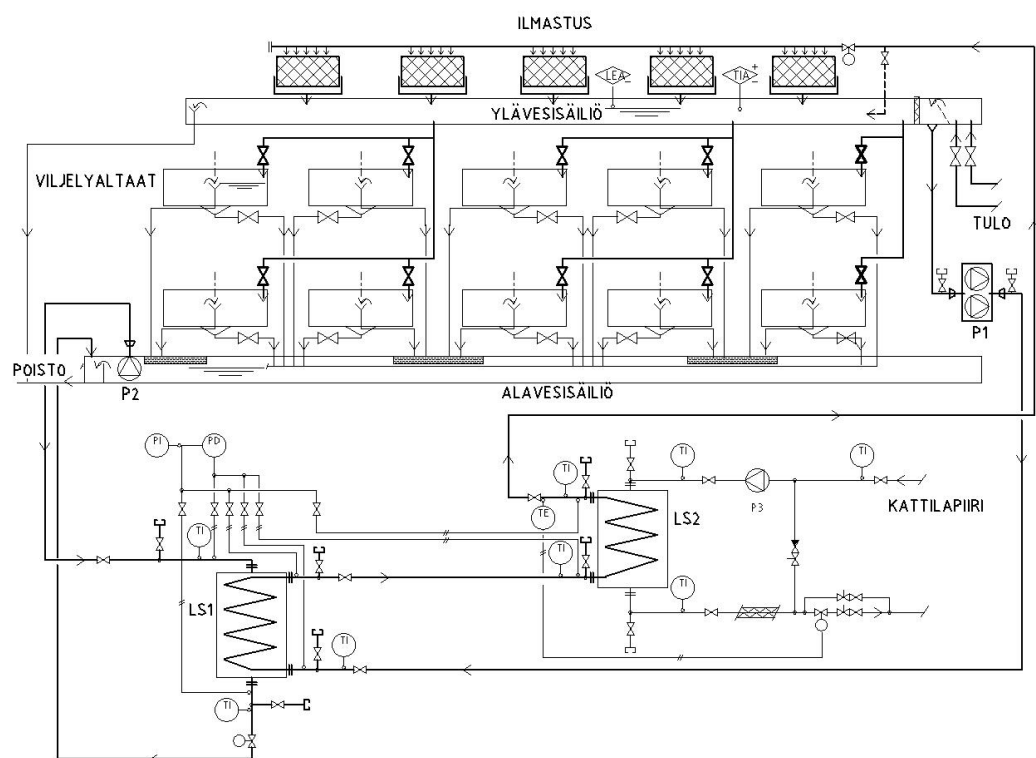
Hiekkasuodatuksen tehoa voidaan parantaa syöttämällä hiekkakerroksen pintaan aktiivihiehtä. Painehiekkasuodattimien puhdistustapahtuman seuranta varten on hyvä varustaa suodinsäiliö ikkunalla hiekkapintaan ja valaista suotimen sisäpuolen yläosa.

Hiekkasuodatusta tulisi käyttää nykyistä enemmän kalanviljelylaitosten tuloveden käsittelyssä. Hiekkasuodatintekniikka on yleisin suodatustapa akvaario- ja uimaallasvesien suodatuksessa. Nämä käyttökohteet ovat kehittäneet suodatustekniikkaa ja kalanviljelyyn on siirrettävissä valmista suodatintietoutta.

## 2.3 Veden lämmitys ja jäähdytys, ilmastus ja hapetus

Valtion kalanviljelylaitoksille on rakennettu haudonnan ja alkukasvatuksen tarpeisiin veden lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä. Järjestelmien mitoitus ja tekninen suunnittelu on suoritettu aina tapauskohtaisesti käyttökohteeseen räätälöiden.

Lämmityskiertoihin liittyy yleensä viljelyn vaatimuksesta tuloveden suodatus. Kun käytetään kiertovettä tai poistovedestä otetaan lämpöä talteen, on lämmönsiirtimien lämpöpintojen likaantumista estettävä suodatuksella. Oheisessa kuvassa on esitetty yksinkertainen veden lämmitysjärjestelmä ja sen energiataloudellinen tarkastelu.



TULOVEDEN LÄMMITYS VAKIOLÄMPÖTILAAN +10°C						
Kuukausi	Virtaama	Tuloveden lämpötila	Lämmitystehon tarve	Lämmöntalteenotto-teho LS1	Lisälämmitysteho LS2	Energiankulutus
maaliskuu	3,0 l/s	+2,0°C	107 kW	75 kW	32 kW	23 MWh
huhtikuu	5,0 l/s	+3,0°C	158 kW	110 kW	48 kW	36 MWh
toukokuu	3,0 l/s	+4,0°C	82 kW	57 kW	25 kW	18 MWh
kesäkuu (3/4)	5,0 l/s	+7,0°C	74 kW	42 kW	32 kW	17 MWh



Kalanviljelylaitosten veden lämmitykseen on käytetty suoraa sähkölämmitystä, kiinteistön kattilalaitosta lämpöjohtoverkoston välityksellä, lämpöpumpputekniikkaa ja näiden yhdistelmiä. Yleensä selvitetään myös, onko mahdollista hyödyntää jonkin tuotantolaitoksen häviölämpöä. Energiataloudellinen laskenta selvittää mikä tapa on kulloinkin edullisin. Lämmön talteenotto on suunnittelussa keskeisellä sijalla. Kuinka hyvin siinä onnistutaan, luodaan perusta käyttötaloudelle.

Lämpöpumpputekniikkaa voidaan käyttää sekä lämmitykseen että jäähdytykseen. Lämpöpumppulaitos on sekä mitoituksellisesti että rakennekokonaisuutena varsin monimutkainen kytkentä. Lämpöpumppulaitoksen toiminnot on syytä automatisoida. Laitekniikassa kannattaa käyttää vain tunnettujen valmistajien luotettaviksi koettuja komponentteja.

Viljelyveden kanssa kosketuksissa olevien lämmönsiirtimien lämpöpintojen materiaaleiksi valitaan korkealuokkainen haponkestävä teräs esimerkiksi Cr20/Ni18/Mo6,1. Putkistoissa käytetään haponkestävää terästä esim. Aisi 316L.

Lisälämpöä tuovien lämmönsiirtimien lämpöpinnat mitoitetaan korkeintaan 30 – 40 °C pintalämpötilalle, jolloin minimoidaan kaasukuplien erottumista. Kaikkien viljelyveden kanssa kosketuksissa olevien siirtimien tulee olla rakenteeltaan luotettavia (kaksosvaippa) tai lämmitys on toteuttava välikierron siten, että estetään viljelyveden saastuminen.

Lämmönsiirtimien puhdistettavuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Puhdistusta varten (esim. kuumalipeäpesu) rakennetaan riittävä määrä pesuyhteitä ja verkosto varustetaan pesun kohdistamista varten sulkuventtiileillä.

Voimakkaiden pesuaineiden käyttöä voidaan tuntuvasti vähentää rakentamalla lämmönsiirtimille paineilmapesu. Paineilmapuhdistuksessa syötetään siirtimen putkiverkoon paineilmasyökäyksiä, jotka kasvattavat virtausnopeuden hetkellisesti 5 – 10 kertaiseksi vakiovirtaamaan nähden. Ilmakuplat irrottavat siirripintojen lian. Huuhteluviedet ohjataan viemäriverkkoon.

Veden lämmitykseen liittyy aina veden kaasutasapainon hallinta ilmastuksella. Veteen liuenneiden kaasujen tasapainotila riippuu sekä paineesta että lämpötilasta ns. Henryn lain mukaan. Mitä kylmempää vesi on sitä enemmän se voi sisältää tasapainotilassa kaasuja. Lämmitettäessä viljelyvettä muodostuu kaloille haitallinen typen ylikyllästystilanne, jolloin typpikaasu muodostaa pieniä kaasukuplia kalan kudoksiin.

Vettä ilmastettaessa siirtyy happea ja muita kaasuja joko ilmaan tai veteen sen mukaan onko vedessä (prosentuaalista) ali- tai ylikyllästystä. Käsitteinä ilmastus ja hapetus ovat aiheuttaneet sekaannusta kalanviljelytekniikkaa suunniteltaessa. Valtion kalanviljelylaitoksille rakennettiin alkuaikoina ilmastimia niillä suunnitteluperusteilla, joita käytettiin vesihuoltotekniikassa. Tämä tarkoitti sitä, että veteen syötettiin tavalla tai toisella paineilmaa (Inka-ilmastin, diffuusioilmastimet), rakennettiin erilaisia porrastai reikälevykaskadeja jne. Kaikkien mainittujen vesihuoltotekniikan ilmastimien tarkoituksena on lisätä veteen happea, kun taas puolestaan kalanviljelyn näkökulmasta typen ylikyllästykseen poisto on välttämätöntä. Diffuusioilmastimilla, joissa kuplitetaan paineilmaa huokoisten lautasten tai pieniä reikiä tai viiltoja sisältävien muovi- tai kumiputkien läpi, aikaansaatii myös kalakuolemia, kun typen ylikyllästys kasvoi yli 1,5 m:n ilmastussyvyyksillä liian suureksi.

Kalanviljelytekniikassa on selvintä asettaa ilmastuksen tarkoituksiksi ainoastaan typen ylikyllästykseen poistaminen. Hapetuksen tehtäväksi taas asetetaan vain veden happikyllästykseen lisääminen. Nämä toimintaperiaatteet on pidetty täysin toistaan erillään rakennettaessa viimeisiä laitoshankkeita.

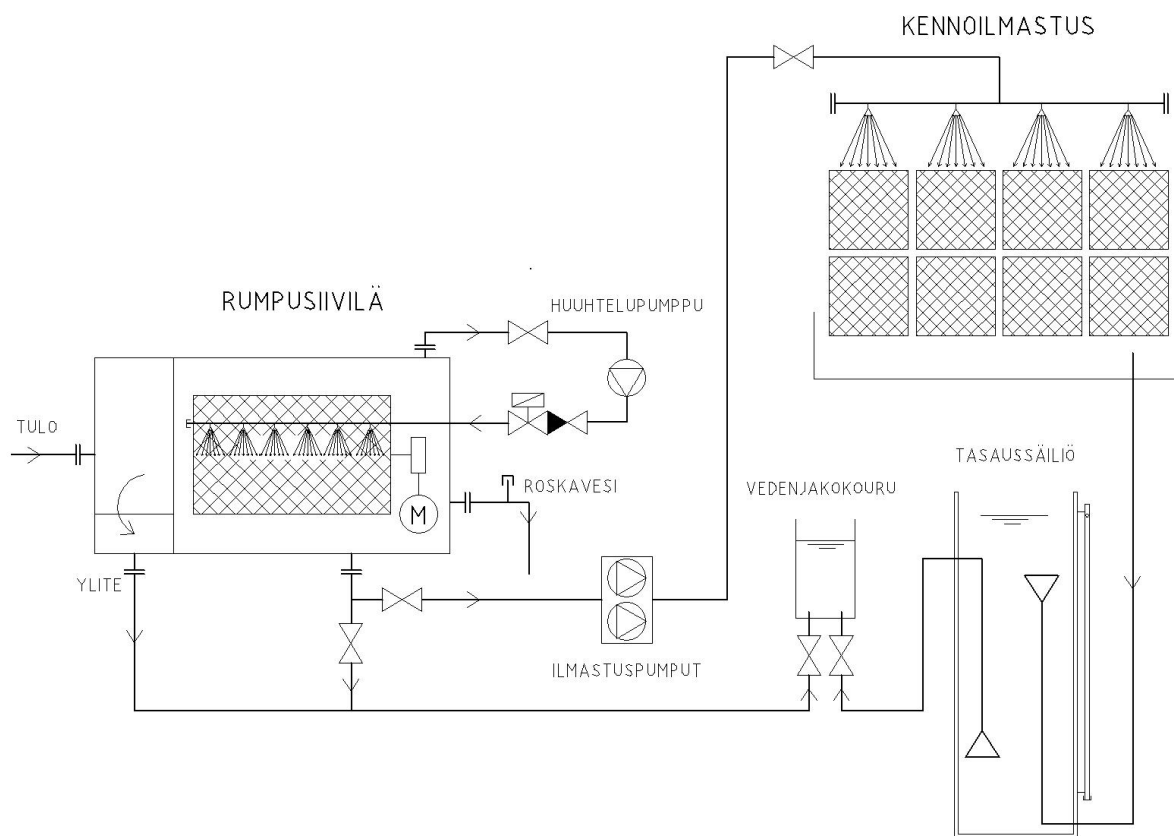
Saturometrimittausten mukaan typen ylikyllästykseen poiston kannalta toimiviksi ja käyttökuluiltaan edullisiksi (ei puhallintyötä) ilmastimiksi ovat osoittautuneet kenoilmastimet, joissa vesi valutetaan ilman kanssa suuren vapaan kontaktipinnan omaavan lamelli- tai papiljottikerroksen läpi.

Vesi, joka esimerkiksi lämmityksen takia sisältää ylimäärin typpeä, vapauttaa typen laajasta kennoston pintafilmistä nettona ilmaan. Vapautumista voidaan tehostaa järjestämällä kennoilmastimien yhteyteen hyvä ilmanvaihto.

Tyypillisesti kennoilmastin muodostuu muovikuutioista joiden kylkimitta on noin 0,50 m. Kennorakenteeksi on valittu yleensä vaakasuorassa oleva papiljottimalli, jossa veden ja ilman välistä kontaktipinta-alaa on 150...200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> kennoa. Mitoituspinta-kuormana on käytetty 0,10 m/h. Tällä laskentaperusteella esimerkiksi vesivirtaaman 5,0 l/s = 18 m<sup>3</sup>/h ilmastus vaatii 8 kpl 0,5 m:n kennokuutioita.

Tulovesi jaetaan oheisen mallipiirustuksen mukaisesti kennoston päälle. Ilmastettu vesi kerätään kennojen alle valumakaukaloon ja johdetaan siitä rauhallisesti ilman imu-pyörrettä ja pudotuksia tasausaltaaseen. Tasausallas mitoitetaan tapauksesta riippuen muutamasta minuutista 10...15 minuutin viipymälle.

Ilmastuksen korkeusasetelma suunnitellaan siten, että tasausaltaasta viljelyyn on veden virtaus vapaapaineista ja rauhallista ( $v = 0,60$  m/s).



Viljelyveden lisähapetukseen voidaan käyttää joko erilaisia ilmastusmenetelmiä tai puhdasta happea. Puhdasta hapen käyttö on näistä helpoimmin ja turvallisimmin toteutettavissa.

Puhtaalla hapella tapahtuva veden hapetus voidaan jakaa karkeasti matalapaineisiin ja korkeapaineisiin menetelmiin.

Matalapainemenetelmällä tarkoitetaan alle 10 – 12 mvp tapahtuvaa hapetusta. Näitä ovat tyypillisesti suoraan reikäletkusta tai keraamisesta suutinelementistä veteen happea syöttävät järjestelmät ja erilaiset säiliöhapettimet. Säiliöhapettimet voivat olla joko

muotoilultaan hapetukseen edullisia kuten kartiohapetin tai säiliö voi sisältää täyteaineita, joilla kaasun ja veden kontaktipintaa lisätään. Kartiohapetus on yleisimmin käytetty hapetusmenetelmä valtion kalanviljelylaitoksilla. Kartiohapetuksessa happikaasu syötetään kartiosäiliön kaulalla alaspäin suunnattuun vesisuihkuun. Virtaama rauhoittuu alaspäin mentäessä ja säiliön laajetessa. Happilykyllysteinen vesi otetaan käyttöön kartion alaosaan. Matalapainemenetelmillä saavutetaan varsin hyvällä hyötysuhteella paineesta riippuen 200 – 400 %:n hapen ylikyllästys.

Korkeapainemenetelmistä käyttökelpoisin lienee kuiluhapetus. Tässä menetelmässä porataan maaperään 40 – 50 m syvä putkikaivo, jonka kautta vesi ja happi pumpataan. Korkeussuunnassa kasvava hydrostaattinen paine ja sopiva viipymä aikaansaavat tehokkaan hapen liukenemisen. Korkeassa paineessa saadaan hapen ylikyllästys hyvin suuressa määrässä. Käytännössä liian suuri ylikyllästys ei ole tavoiteltavaa, koska hapen kupliminen paineen laskiessa heikentää hyötysuhdetta.

Happikaasua voidaan tuottaa joko itse tai sitä hankitaan valmiina varastoon. Koska puhtaan kaasun valmistaminen vaatii monimutkaisen laitteiston, sisältyy tekniikkaan myös riskejä. Käytännössä happi on ostettu kaasuyhtiöiltä ja varastoitu vuokra- tai omiin säiliöihin.

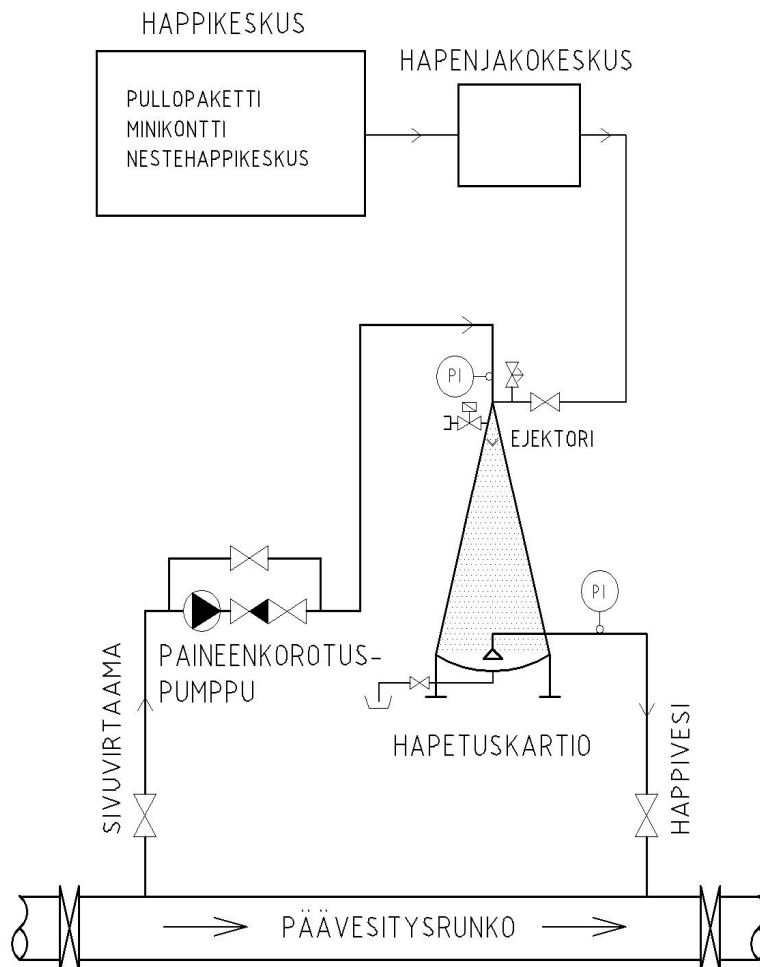
Hapen varastointitekniikka mitoitetaan kulloisenkin tarpeen mukaan. Varastoitaessa nesteytettyä happea, on otettava huomioon itsehöyrystyminen. Nestehappisäiliön lämpenemisestä johtuva paineen nousu estetään purkamalla kaasua automaattisesti pois säiliöstä, jos kulutus on liian pieni. Useimpiin käyttötarkoituksiin riittääkin paineellisen kaasun varastointi.

Happi aggressiivisena kaasuna liukenee hyvin veteen. Saatava kyllästysaste riippuu veden lämpötilasta ja paineesta kaasutasapainoteorian mukaisesti. Hapen puutteessa, alle 70...80 % kyllästysasteesta, on kalojen rehunkäyttö epätaloudellista.

Hapetus edistää ammoniumtyypen hapettumista ja tyypin haihtumista kaasuna ilmaan eli hapetus edistää typpikiertoa. Luonnon vesissä tyypin kierto on tervettä ja monimuotoista vain hapellisissa oloissa.

Ensi alkuun rakennettiin valtion kalanviljelylaitoksille erillisiä happivesiverkostoja, joilla oli tarkoitus johtaa monipuolisesti happivettä kunkin viljely-yksikön tarpeisiin. Myöhemmin happivesiverkostoista on haluttu luopua liian suuren työmäärän vuoksi. On yksinkertaisempaa nostaa suoraan koko laitoksen tai allasalueen tulovesirungon happitaso halutuksi.

Oheisessa kuvassa on esitetty kytkentä, jossa otetaan runkolinjasta sivuvirtaama, nostetaan sivuvirtaaman happitaso runkolinjan vajeen verran ylikyllästeiseksi, ja johdetaan sivuvirtaama takaisin runkolinjaan. Sivuvirtaaman ylikyllästeinen happitaso voi olla enimmillään jopa 50 mg/l, mutta käytännössä kaasutasapainon kannalta toimiva ja hyvän hyötysuhteen antava happitaso on suuruusluokkaa 25...35 mg/l. Kartion kaulan ylipaineeksi säädetään 1..1,2 bar kartion jälkeisellä venttiilillä.



Kaasutäytteinen paineastia on erittäin vaarallinen ja sitä koskee varsin tiukka lainsäädäntö turvallisuusohjeineen ja määräaikaistarkastuksineen. Happikartiot on rekisteröity 4 bar:n ylipaineisiksi paineestioiksi. Hapen syöttö mahdollistaa rakennepaineen moninkertaisen ylityksen mikäli varoventtiili ei ole toimintakunnossa testaamattomuuden tai roskatukoksen vuoksi. Hapetusjärjestelmää ja siihen liittyvää kaasuvälikäyttöä saavat käyttää vain tehtävään määrättyt ja siihen vaaditun riittävän pätevyyden omaavat käyttäjät. Paineastia-asetuksen edellyttämän pätevyystason määrittelee Turvatekniikan keskus (TUKES).

Seuraavassa on esitetty laskentaesimerkki lisähapetuksesta.

Veden kulutus on 640 l/s. Tuloveden lämpötila on +14 °C. Tuloveden happikylläystasaste on mittausten mukaan noin 90 %, jolloin tulovedessä on liuennutta happea noin  $0,9 \times 10,3 \text{ mg/l} = 9,27 \text{ mg/l}$ .

Happikartiolla on tarkoitus nostaa tuloveden happitaso sellaiseksi, että altaista poistuvan veden happitason keskiarvo on noin 80 %. Mittausten perusteella on poistuvan veden happitaso vain 63,2 % kylläystasosta eli  $0,632 \times 10,3 \text{ mg/l} = 6,51 \text{ mg/l}$ . Vajusta on tällöin tavoitetasoon nähden  $8,24 - 6,51 \text{ mg/l} = 1,73 \text{ mg/l}$ .

Tuloveden happitasoa nostetaan 1,73 mg/l eli tasoon 11 mg/l. Happikartiolle johdettava sivuvirtaama on 60 l/s. Sivuvirtaaman happitason on tällöin oltava vähintään  $(640 \text{ l/s} \times 11 \text{ mg/l} - 580 \text{ l/s} \times 9,27 \text{ mg/l}) : 60 \text{ l/s} = 27,72 \text{ mg/l}$ .

Sivuvirtaamaan happitasoa on teoriassa nostettava  $(27,72 - 9,27) \text{ mg/l} = 18,45 \text{ mg/l}$ . Happikartio toimii pumppauksen 1 bar:n ylipaineessa noin 90 %:n hyötysuhteella, joten todellinen nostotarve on  $18,45 \text{ mg/l} : 0,9 = 20,5 \text{ mg/l}$ . Tämä happitason nousu saa-

daan aikaan happisyötöllä  $20,5 \text{ mg/l} \times 60 \text{ l/s} = 1230 \text{ mg/s}$ . Vuorokausikulutuksena vastaa kyseinen syöttömäärä  $106 \text{ kgO}_2/\text{d}$ .

Hapen molekyylipaino  $M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$  ja  $1 \text{ mol} = 22,4 \text{ l (NTP)}$ . Tästä seuraa  $1 \text{ l}(\text{O}_2) = 32/22,4 \text{ g} = 1428 \text{ mg}$ . Tästä saadaan happea annostelevan rotametrin  $\text{l/min (NTP)}$ -asteikolla tilavuusvirta  $1230 \text{ mg/s} : 1428 \text{ mg/l (+0 }^\circ\text{C)} = 0,861 \text{ l/s} = 52 \text{ l/min}$ .

Happivaraston valinta ja mitoitus voidaan tehdä seuraavan laskentaesimerkin mukaisesti. Viiden pullon happikaasua sisältävä pullopatteri,  $\phi$  50 l x 200 bar, sisältää noin  $70 \text{ kgO}_2$ . Tällöin kolme pullopatteria riittäisi edellä lasketulla  $106 \text{ kgO}_2/\text{d}$  kulutuksella kaksi vuorokautta. Minikontissa on nestemäistä happea noin  $610 \text{ kg}$ . Tällöin kontti pitäisi vaihtaa viikoittain. Mikäli hapentarve jatkuu maksimaalisena useampia viikkoja tulee kysymykseen suurempi nestehappisäiliö.

## 2.4 Desinfiointimenetelmät

Seuraavassa tarkastellaan lähinnä karanteenilaitosten tulo- ja kiertovesien desinfiointin menetelmiä ja tekniikoita.

Desinfiointimenetelmille voidaan asettaa yleisiä vaatimuksia, kuten:

- niiden tulee hävittää kalatauteja aiheuttavat mikro-organismit, joita voi esiintyä tulo- tai poistovedessä hyväksyttävässä ajassa ja kaikissa esiintyvissä lämpötiloissa sekä käsiteltävän veden kaikkien kysymykseen tulevien laadunvaihtelujen aikana
- niitä käytettäessä veteen lisätyt aineet eivät saa olla myrkyllisiä tai muulla tavoin haitallisia vedessä esiintyvänä konsentraatioina
- niissä käytettävien menetelmien ja aineiden tulee olla kohtuuhintaisia ja helppoja käyttää
- niissä käytettävät olosuhteet, annokset tai aineiden konsentraatiot on voitava mitata helposti, nopeasti ja mieluummin automaattisesti
- niiden vaikutuksen tai niissä käytettävien aineiden konsentraation tulisi säilyä vedessä riittävän pitkään, jotta saadaan kohtuullinen jälkivaikutus veden uudelleen likaantumista vastaan

Karanteenilaitoksen poistovesien määrä tulisi saattaa mahdollisimman pieneksi käyttämällä harkintaa viljelytiheyksien, haudontalaitteiden yms. mitoituksessa. Mikäli vesimäärä kuitenkin jää suhteellisen suureksi, kannattaa harkita veden kierrätystä. Kiertovesilaitos tulee kuitenkin varsin kalliiksi rakentaa varsinkin, jos viljelytoiminta on monimuotoista ja eri vesijakeet joudutaan erottelemaan toisistaan käyttökohteittain. Yksinkertaisessakin tuotannossa tarvitaan teknisiä järjestelmiä veden elvyttämiseksi ja kierrättämiseksi sekä hygieenisen laadun ylläpitämiseksi.

Poistovesien desinfiointi voidaan jakaa kahteen pääalueeseen l. suodatettuun veteen ja suodattamien pesuvesiin sekä puhdistamattomiin vesiin. Hiekkasuodatuksen tasoon suodatettujen ( $5 \dots 10 \mu\text{m}$ ) poistovesien käsittelyssä tulevat kysymykseen klooraus, UV-säteilytys ja otsonointi. Pesuvesien ja puhdistamattomien vesien (myös suodatettujen vesien) desinfiointiin voidaan käyttää lähinnä kuumennusta tai maahan imeytystä. Keräilevinä (viipymä) menetelminä tulevat kysymykseen klooraus, pH:n nosto ja lämpökäsittely. Em. menetelmiä yhdistelemällä voidaan varmistaa ja tehostaa desinfiointin toimintaa (sähkökatkokset yms. käyttöhäiriöt).

Useimmat patogeeniset bakteerit tuhoutuvat hyvin happamissa ja hyvin alkalisisissa olosuhteissa, raja-arvoina voidaan pitää  $\text{pH} \leq 3,5$  tai  $\text{pH} \geq 12$ . Eräissä käsittelyprosesseissa, esimerkkinä mangaanin poisto tai jäteveden kemiallinen käsittely kalkilla, pH nousee lähelle desinfiointiin tarvittavaa emäksisyyttä. Tarkoituksellisesti poistovesien desinfiointiin pH:n muuttamisen kautta käytetään lipeää (emäksinen) ja muurahais-happoa (hapan).

Eristystilojen poisto- ja lietevesien desinfiointi voidaan toteuttaa tehokkaasti kuumennuskäsittelyllä. Kuumennus on kuitenkin kallis desinfiointikeino, mikäli syntyvää lämpöä ei voida hyödyntää esimerkiksi esilämmittämään desinfioitavaa vettä. 100 °C lämpötilassa desinfiointiin riittää 30 sekunnin kontaktiaika, 90 °C vaatii 1 minuutin, 80 °C vaatii 3 minuuttia, 70 °C vaatii 5 minuuttia ja alin desinfiointilämpötila 65 °C vaatii 10 minuuttia.

Eräiden metallien ioneilla on hyvät desinfiointiominaisuudet jo varsin pieninäkin konsentraatioina. Vesilaitoskäyttöön on kehitetty ns. Katadyn-menetelmän nimellä tunnettu desinfiointimenetelmä, jossa veteen lisätään hopeaa. Hopealla on selvä bakteereja tuhoava vaikutus alkaen konsentraatiosta 0,015 mg Ag/l. Hopean vaikutus on kuitenkin hidasta ja sitä häiritsevät monet vedessä yleiset epäpuhtaudet, kuten rauta, orgaaninen aines ja sameus.

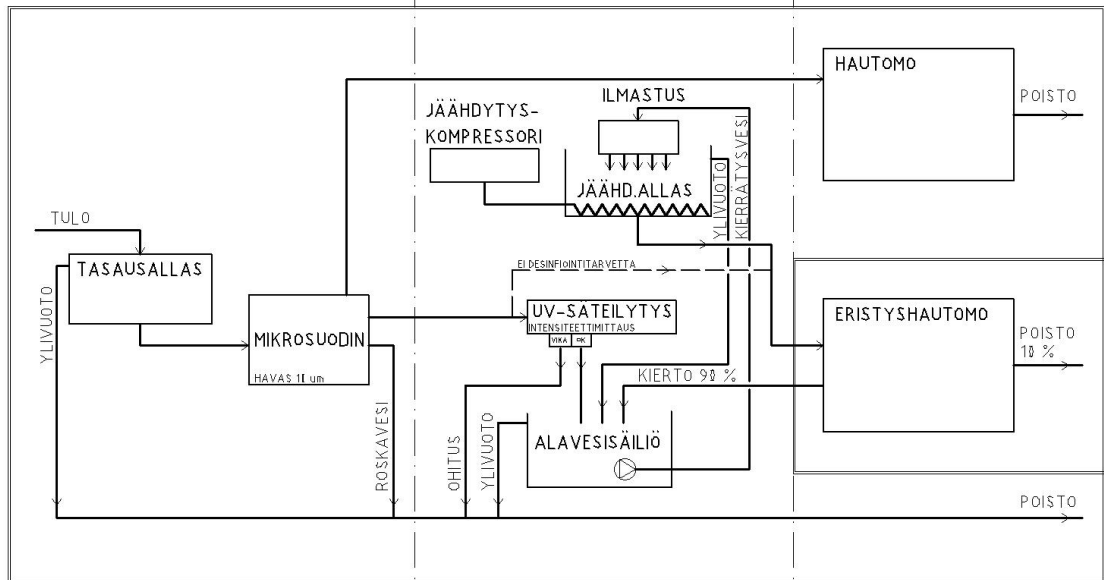
Hapettaviin aineisiin perustuvien desinfiointimenetelmien merkitys on muussa vesihuoltotekniikassa käytännössä ylivoimaisesti tärkein. Hapettavista aineista on tärkein kloori, poikkeuksellisesti ja tilapäisolosuhteissa käytetään muitakin halogeenejä, lähinnä jodia. Toinen tärkeä hapettava desinfiointiaine on otsoni. Otsonointi on sovellettavissa myös kalanviljelyyn sekä tulo- että poistoveden desinfiointiin. Järjestelmään liittyy kuitenkin riskejä, koska otsoni on myrkyllinen vesiorganismeille kuten kloorikin. Lisäksi otsoni voi aiheuttaa hajotessaan voimakkaan hapen ylikyllästyksen. Norjalaisten lähteiden mukaan on tuloveden otsonidesinfiointissa järjestettävä käsittelyä edeltäen mikro-suodatus ja saavutettava otsonin jäännöspitoisuus vähintään kolmen minuutin kontaktiajan jälkeen  $\geq 0,1$  mg/l. Vastaavasti poistoveden otsonin jäännöspitoisuuden pitää olla vähintään viidentoista minuutin kontaktiajan jälkeen  $\geq 0,15$  mg/l. Otsoni on hyväksytty vain rajoitetusti poistovesien desinfiointiin. Kloorin osalta poistovesien desinfiointi edellyttää mekaanisen suodatuksen 300  $\mu\text{m}$ :n havaksen läpi ja taudinaiheuttajista riippuen 10...35 mg/l jäännösklooripitoisuuden vähintään 15...30 minuutin kontaktiajan jälkeen.

Karanteenilaitoksen tulovesien desinfiointiin soveltuu lähinnä UV-käsittely. Käsittelyn mitoittamista varten on mitattava vesinäytteiden UV-läpäisevyys. Suodatus ennen UV-käsittelyä tulisi tapahtua vähintään tasoon 5 -10  $\mu\text{m}$  (hiekkasuodatus, mikrosiivilöinti). UV-lamppuina käytetään matalapainelamppuja (254 nm), joiden kestoikä ja intensiteetti mitoitetaan lampun kulumisen perusteella (7000 h) sekä säteilytysvoimakkuus ja UV-annos vesinäytteiden ja tuhoavien taudinaiheuttajien perusteella. Käyttöhäiriötilanteiden takia on varmistettava mm. sähkösyöttö. Ultraviolettisäteily on tehokas veden desinfiointikeino, mutta se edellyttää hyvän esisuodatuksen ja lyhyen tunkeutumismatkan. UV-säteilytyksellä ei ole jälkivaikutusta kuten kloorilla. Tavallisin ultraviolettisäteilyn lähde on elohopeahöyrylamppu, jonka energiankulutus käsiteltävä vesikuutiota kohti on suuruusluokkaa 0,06...0,08 kWh/m<sup>3</sup>.

TULOVEDEN SUODATUS

DESINFIOINTI JA JÄÄHDYTYYS

VILJELYTOIMINNOT



ERISTYSHAUTOMON PROSESSIKUVAUS:

ERISTYSHAUTOMON TULOVEDSI DESINFIOIDAAN JATKUVATOIMISELLÄ UV-SÄTEILYKSELLÄ MIKROBEJA TUHOAVALLA 254 nm:n UV-C AALLONPITUUDELLA. SÄTEILYANNOS MÄÄRÄTÄÄN TUHOETTAVIEN TAUDINAIHEUTTAJIEN PERUSTEELLA (MATALA/KORKEATAZO = 25/122 mWs/cm l.

MÄDIN KUORIUTUMISTA AJOTETAAN IIVIVÄSTYTYTÄÄNI VEDEN LÄMPÖTILAA LASKEMALLA. JÄÄHDYTYKSALTAANA VOIDAAN KÄYTTÄÄ TEHDASVALMISTAMAIDONJÄÄHDYTYSSIKKÖÄ.

UV-LAITTEISTON MITOITUSTA VARTEN ON TULOVEDEN LAATU JA SEN UV-SÄTEIDEN LÄPÄISEVYYS MÄÄRITETTÄVÄ MITTAAMALLA. UV-LAMPUT MITOITETAAN RIITTÄVÄLLE SÄTEILYANNOKSELLE JA TIETYLLE KÄYTTÖTUNTIMÄÄRÄLLE, SÄTEILYKAMMIOT MITOITETAAN OIKEALLE VIRTAAALLE. UV-LAITTEISTO, JOS MAHDOLLISTA, VARUSTETAAN HÄIRIÖTTÖMÄLLÄ SÄHKÖNSYÖTÖLLÄ. LAITTEISTO VARUSTETAAN SÄTEILYYSKAMMIOSSA TAPAHTUVAA UV-INTENSITEETTISEURANTAA VARTEN VALOKENNOLLA, JOKA HÄIRIÖTILANTEESSA OHJAA VEDEN AUTOMAATTISESTI OHITUKSEEN. ENNEN SÄTEILYTYSTÄ SUODATETAAN TULOVEDSI MIKROSIIVOLÄNNILLÄ TAVOITELLEN HIEKKA-SUODATUKSEN TASOA (EROTUSTARKKUUS 11 um)

Ultraviolettisäteily on sähkömagneettista säteilyä, joka sijoittuu sähkömagneettisessa spektrissä röntgensäteiden ja näkyvän valon väliin. Ultraviolettisäteilyn aallonpituusalue on 100...400 nm. Alle 200 nm aallonpituusalueella on vähän biologista merkitystä, koska ilmakehä absorboi sitä. 100...200 nm:n aallonpituuden omaavaa säteilyä kutsutaan vakuumi-UV:ksi. Sekä infrapunasäteily, näkyvä valo, että UV-säteily ovat optista säteilyä.

Lähinnä biologisten vaikutusten perusteella UV-säteily jaetaan aallonpituutensa mukaan kolmeen tyyppiseen UV-säteilyyn:

- UV-A 315...400 nm
- UV-B 280...315 nm
- UV-C 200...280 nm

Lyhytaaltoisin UV-C -säteily (200...280 nm) kykenee tuhoamaan mikrobeja. Auringon UV-säteilystä ilmakehän otsonikerros absorboi tämän säteilyn, joten auringon säteily koostuu lähinnä vain UV-B- ja UV-A -säteilystä.

Säteilyn energiaa kuvaavat sen taajuus tai aallonpituus. Säteilyä, jolla on vain yksi aallonpituus ja taajuus, sanotaan monokromaattiseksi eli yksitaajuiseksi.

UV-säteilyä desinfiointimenetelmänä käsittelevässä kirjallisuudessa esiintyy osittain puutteita säteilyn suureiden ja yksiköiden suhteen. Esimerkiksi pelkkä lampun säteilytehon ilmoittaminen ei vielä kerro mitään säteilyvoimakkuudesta tai UV-annoksesta.

Säteilyteho (W) on teho, joka lähtee, siirtyy tai saapuu säteilynä. Säteilyenergia (J) on säteilynä siirtyvä energia. Säteilytysvoimakkuus (W/m<sup>2</sup>) jossakin pinnan pisteessä on tarkasteltavan pisteen ympärillä olevalle äärettömän pienelle pintaelementille saapuvan säteilytehon suhde elementin pinta-alaan. UV-sädehoidossa ja biologiassa viimeksi mainittuna suuretta kutsutaan annostehoksi.

UV-annos saadaan säteilytysvoimakkuuden ja sen kestoajan tulona seuraavasti:

$$\text{UV-annos (J/m}^2\text{)} = \text{säteilytysvoimakkuus (W/m}^2\text{)} \times \text{aika (s)}$$

Lähdekirjallisuudessa säteilytysvoimakkuus on usein ilmoitettu neliösenttimetriä kohden  $\mu\text{W/cm}^2$  tai  $\text{mW/cm}^2$ . UV-annos on samoissa yksiköissä siten  $\text{mJ/cm}^2$ .

Keinotekoista UV-säteilyä saadaan muuttamalla sähköenergiaa sähkömagneettiseksi säteilyksi. Lamppuissa UV-säteilyä tuotetaan sähköpurkauksen kautta virittämällä kaasun atomeja elektronipurkauksella. Lamput voidaan jakaa kahteen luokkaan lampun höyrinpaineen perusteella: suuri (1...20 MPa), keskisuuri (noin 100 kPa) tai matala höyrinpaine (alle 10 kPa).

Käsiteltäessä UV-lamppujen vaikutusta mikrobeihin riittää tapa jakaa lamput matalapainelamppuihin ja korkeapainelamppuihin. UV-käsittelyssä käytetään paljon matalapainelamppuja, koska ne emittoivat 95 %:sti säteilyä aallonpituudella 253,7 nm, joka on lähellä nukleiinihappojen maksimiabsorptiota.

Tavallisen 30 W desinfektio lampun säteilytysvoimakkuus eri etäisyyksillä on esitetty alla olevassa taulukossa. Siitä nähdään, että säteilytysvoimakkuus laskee voimakkaasti etäisyyden kasvaessa, joten tietyn UV-annoksen saavuttamiseksi pitää säteilytyksen kestoaikaa lisätä etäisyyden suuretessa.

Desinfektio lampun säteilytysvoimakkuus etäisyyden mukaan:

Etäisyys (m)	Voimakkuus ( $\mu\text{W/cm}^2$ )
0,05	3200
0,10	1600
0,20	830
0,40	380
0,50	270
1,00	90
1,50	42
2,00	24
3,00	9

Viime vuosien aikana ovat UV-laitteet kehittyneet huomattavasti. Nykyisin pystytään käsittelemään pienillä laitteilla yhä suurempia vesimääriä (laitteen koko, lamppujen määrä). Kammion seinämässä virtausputken ulkopuolelle sijoitetaan valokenno tarkistamaan UV-säteilyn voimakkuutta, ts. veden säteilyn läpäisevyyttä. Valokennon rekisteröimä arvo ilmaistaan vahvistettuna ohjauskaapissa intensiteettimittarilla. Ulostulopuolen venttiili voidaan sulkea, kun UV-säteilyn läpäisy tai voimakkuus on liian pieni.

Säteilykammiossa voi olla yksi tai useampia lamppuja. Yhden lampun systeemiä käytetään, kun virtausnopeus ja UV-läpäisy ovat pieniä sekä silloin, kun vedelle on asetettu korkeat mikrobiologiset vaatimukset. Virtausputkeen pitkittäin sijoitettu UV-



lamppu, jonka kvartsilasi erottaa käsiteltävästä nesteestä, on tehokas ja suunnittelultaan yksinkertainen. Rakenteen symmetrisyys helpottaa laskettaessa UV-annosta. Haultaessa UV-säteilyttää suuria vesimääriä voidaan tuotantolaitokseen asettaa useita UV-lampullisia virtausputkia rinnakkain. UV-laitteen teho paranee, kun muutetaan veden virtaus turbulentiksi pyörresiivekkeillä, jolloin vesipartikkelit tulevat monta kertaa lähelle säteilijää. Edellä kuvatuissa laitteissa UV-lamput olivat vedessä, mutta ne voivat olla myös virtausputken ulkopuolella. Laitteen teho lamppua kohden on silloin pienempi, koska heijastimista huolimatta osa UV-emissiosta menetetään.

UV-säteilytyksen etuina veden käsittelyssä pidetään pieniä kokonaiskustannuksia. Klooraukseen verrattaessa hankaluutena voidaan pitää sitä, että veteen ei jää mitään jäännösvaikutusta. UV-käsittely ei muuta veden luonnollista makua, väriä, pH:ta tai koostumusta. UV-säteilytys ei aiheuta korroosiota putkistöihin. Matalapainelamppujen kestoikä on n. 7 000 tuntia, jolloin niiden intensiteetti on laskenut n. 75 %:iin.

Veden kirkkaus vaikuttaa säteilyn läpäisevyyteen. Läpäisyä vähentää veteen suspendoitunut materiaali, rautaionit, humushapot ja orgaaninen materiaali yleensä. Veden kirkkaus ei saisi vaihdella paljon, jotta säteilyn voimakkuus pysyisi saman suuruisena koko käsittelyn ajan.

Norjalaisissa lähteissä viljelyveden UV-desinfiointiannoksen alarajaksi on yleensä asetettu 25...30 mJ/cm<sup>2</sup>. Uv-käsittelyä edeltäen on suoritettava mikro-suodatus (7 µm).

UV:n bakteereja tappava vaikutus perustuu siihen, että säteily aiheuttaa vaurioita niiden perimään l. DNA:han. Mikäli vaurioitunutta bakteeria käsitellään valolla, jonka aallonpituus on 300...600 nm, saattaa siinä liian pienen annoksen vuoksi (väärä mitoitus, likaantuminen) käynnistyä fotoreaktivaatio-ilmiö, jonka seurauksena bakteerien tuottama entsyymi korjaa syntyneen vaurion ja kasvu alkaa uudelleen. Mm. edellä mainitun syyn takia täytyy UV-laitteet mitoittaa huolellisesti sovellettaessa laboratorio-olosuhteissa mitattuja taudinaiheuttajien UV-annoksien kestoisuuksia käytäntöön. Seuraavassa taulukossa on esitetty muutamien kalatauteja aiheuttavien mikro-organismien tuhoamiseksi 99,9 %:sti tarvittavat suuntaa-antavat UV-säteilytysannokset.

Mikro-organismi	UV-annos, mJ/cm <sup>2</sup>
Y.ruckeri	2,7
V.anquillarum	1,8
V.salmonicida	1,5
A.salmonicida	3,4...4,5
IPN-virus	122,0
IHN-virus	3,0

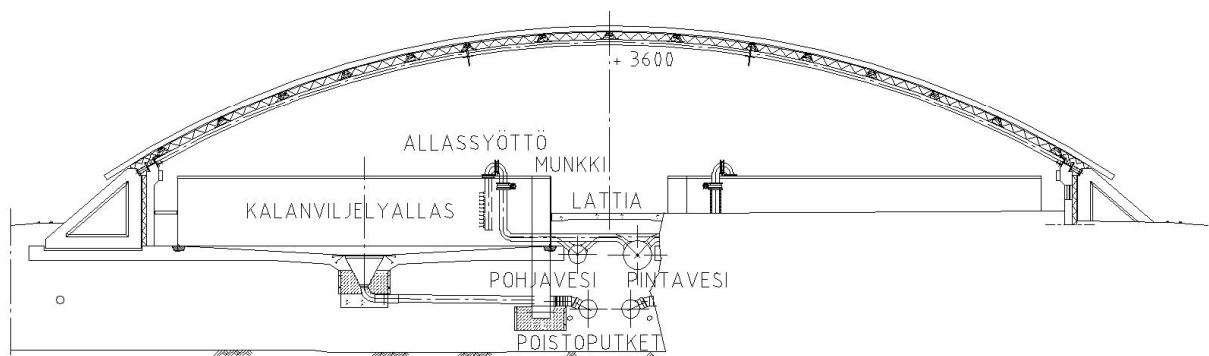
## 3. Laitoksen sisäinen vesitys

### 3.1 Veden tarpeen arvioiminen

Valtion kalanviljelylaitosten suunnittelussa on veden tarpeen arviointi ollut osana tuotannosta vastaavan käyttöhenkilökunnan laatimaa viljelysuunnitelmaa.

Tekniseen suunnitteluun on kuulunut suunnitella tulovesijärjestelmät täyttämään viljelysuunnitelman vesimäärävaateet. Suunnittelija on lisäksi ottanut huomioon eri viljelykalusteiden ja niiden käytön vaatimukset ja halutut muuntelu- ja varavesitystarpeet.

Tulovesisuihkun työntövoima saadaan hyödynnettyä mahdollisimman hyvin, kun rakennetaan halutun virtauskuvion mukainen suihkuputki. Esimerkiksi kuvan mukaisen kaarihallin 50 m<sup>2</sup>:n pyöröaltaan 1,0...1,2 m:n vesimassan keskimääräinen (1/3 altaan ulkoreunasta) pyörimisnopeus 30 cm/s toteutuu vesimäärällä 10 l/s, kun tuloveden painekorkeus on 1,10 m altaan vesipinnasta. Vastaavasti 7 l/s riittää virtausnopeuteen 20 cm/s. Tällöin tulovesiputki, jossa on 7 kpl suunnattavia uima-allassuuttimia, on pystysuorassa altaan sisäkehällä. Jos haluttaisiin samalla rakenteella virtausnopeus 40 cm/s ja vettä on käytettävissä vain 5 l/s, olisi tuloveden painekorkeuden oltava luokkaa 3,5...4,0 m.



Pelkkä vesimäärien tarkastelu kalojen hapentarpeen kannalta ei siis riitä tulovesijärjestelmän suunnittelun suorittamiseen. Tehtävää on laajennettava kalojen vaatimaan virtauskuvioon ja -nopeuteen sekä altaan puhdistuvuuteen.

Viljelyaltaan tulovesiputken energiakorkeus tarkastelutasoon nähden (esimerkiksi altaan vesipinta) muodostuu tulovesiputken asemakorkeudesta, tuloveden nopeuskorkeudesta ( $v^2/2g$ ) ja tuloveden painekorkeudesta ( $p/\rho g$ ). Altaaseen saatava virtausnopeus taas riippuu siitä, miten hyvin vesisuihkun liikemäärä saadaan muutettua allasveden liikemääräksi.

Tässä selvityksessä esitetyt kalanviljelylaitoksen tulovesityksen suunnitteluperusteet korostavat kokonaisvaltaisen mitoituksen tärkeyttä. Jos esimerkiksi tulovesilinjoin on kulutettu liikaa käytettävissä olevasta kokonaiskorkeuserosta tai korkeusasetelmat eivät ole tasapainossa keskenään, ei viljelyaltaisiin saada haluttua virtauskuviota.

Tuloveden riittämätön painekorkeus on ongelmana mm. Särkijärven kaarihallissa, jossa järven päärunkolinjat jätettiin kustannussyistä uusimatta. Kokonaisuus ei ole myöskään paras mahdollinen Hakasuon ulkoalueella, jossa ongelmaa on yritetty paikata altaiden kaksoisvesityksellä (toinen painovoimaisesta, toinen pumppuverkostosta).

Joissakin yksittäisissä tapauksissa on tekniseen suunnitteluun kuulunut myös kalojen tarvitseman vesimäärän arviointia. Tällöin suunnittelija on käyttänyt lähtöaineistona yleensä muiden toteutettujen hankkeiden viljelysuunnitelmia ja näitä täydentäen mm. Skjervoldin esittämiä eri kokoisten lohikalojen vedentarvekäyrästäjä.

## 3.2 Veden jakelu

Valtion kalanviljelylaitoksilla on tyypillisesti avokouruvesitys pienallashalleissa ja hautomoissa ja putkivesitys suurilla altailla.

Seuraavassa vertaillaan avokouruvesitystä putkivesitykseen.

### kouruvesitys

- + pieni painehäviö, helppo säädettävyys, tasainen vedenjako
- + hyvä muunneltavuus
- + helppo asentaa mittauksia
- + toimintavarma, kaikki saavat vettä, jos tulovesitys on liian pienellä
- + avoin vesitila on puhdistettavissa
- + estää allassyöttöputkien tukkeutumisen
- tilantarvevaatimus
- haittaa altaiden hoitoa ja esim. epäsuoraa valaistusta
- arviolta 10 % kalliimpi kuin putkivesitys

### putkivesitys

- + koko painekorkeus on hyödynnettävissä
- + voidaan toteuttaa edullisemmin kuin kouruvesitys
- maanalaisasennuksena huonosti muunneltavissa
- allassyöttöputket voivat tukkeutua
- ahtaana painetaso huojuu, vakiovirtaamien säätäminen on hankalaa
- suljetun rakenteen seuranta ja hoito on rajoittunutta

Poikashallien ja hautomon tulovesikourut on rakennettu asianmukaisissa lujitemuoviverstaissa käsin laminoidusta lujitemuovista. Lujitemuovitoimitukseen on yleensä sisällytty kourujen koontityöt ja kaikki työmaalla tarvittavat laminointityöt.

Lujitemuovitoimissa on ollut toistuvasti käsityövaltaisuudesta johtuen erilaisia työvirheitä. Seuraavassa esitetään toimivan lopputuloksen antava lujitemuovirakenteen tekninen erittely.

*Koururakenteena käytetään käsinlaminointua lasikuitulujitemuovia, jossa vettä vastaan tuleva pinta on sileä muottipinta. Isoftaalihappopohjainen (alhaisempi vesiabsorptio kuin yleisesti käytettävillä ortoftaalihappopohjaisilla hartseilla) polyesterihartsi muodostaa rakenteen sisäpinnan. Seuraavan kerroksen muodostaa vähintään kahdella pulverisidotulla matolla lujitettu sulkukerros. Tukikerros koostuu vuoroittaisista kerroksista katkokuitua ja roving-kudosta, joilla rakenteen paksuus kasvatetaan lopulliseen mittaansa. Lujitekerroksissa käytetään ortoftaalihappopohjaista polyesterihartsia. Rakenteen ulkopinnan (topcoat) muodostaa periaatteessa samanlainen hartsipinta kuin sisäpinnankin, pinnanlaatu ei kuitenkaan vastaa muottipintaa.*

*Valmistajan tulee laatia tilaajan toimittamien mittapiirustusten pohjalta kaikki lujitemuovirakenteiden valmistukseen tarvittavat lujuuslaskelmat ja työpiirustukset. Lujuuslaskelmissa tulee ilmetä käytetyt lujitteet laminointijärjestyksessä ja kudosten suuntaus laminaatissa. Lisäksi on arvioitava eri lujitekerrosten lujitepitoisuus. Selvä rakennesuunnitelma auttaa laminoitsijaa asettamaan oikeat lujitteet oikeaan järjestykseen ja oikeaan suuntaisesti.*

*Suunnitelmat ja laskelmat tulee esittää hyvissä ajoin ennen tuotannon aloittamista tilaajalle hyväksyttäväksi. Tilaajan hyväksyntä ei kuitenkaan vapauta toimittajaa vastuusta. Kourut mitoitetaan normaalikuormituksena täydelle vesikuormalle, jolloin kouru on reunoja myöten täynnä. Mitoituksessa on otettava huomioon muovimateriaalin erityisominaisuudet ja näistä johtuvat vaatimukset mm. varmuuslukujen suhteen.*

*Kourujen ulkopinnan väritys on yleensä tummanvihreä tai harmaa. Kourujen sisäpinnat ovat valkeat.*

*Kourut valmistetaan määrämittaisista elementeistä, jotka lujitemuovitoimittaja liittää työmaalla valmiiksi rakenteiksi. Missään rakennusosissa ei saa käyttää purettavia liitoksia niistä erikseen sopimatta.*

*Lujiteaineet, hyväksyttävää kauppalaatua:*

- pulverisidottu katkokuitumatto (E-lasia), jonka kuitupitoisuus on 10-50 mm
- ruiskutuslaatuun soveltuva roving-lanka E-lasia, joka on käsitelty kromi-silan tyyppisellä pinnoitteella
- roving-kudos, palttinasiidoksinen

*Hartsit, hyväksyttävää kauppalaatua:*

- topcoat ja gelcoat, isoftaalihappopohjainen polyesterihartsi
- lujitekerrokset, ortoftaalihappopohjainen hartsi

*Jäykistämateriaali:*

- kova polyuretaanivaahdo, tiheys n. 40 kg/m<sup>3</sup>

Kiinnitysruuvit:

- kouruissa käytettävät kiinnitysruuvit ovat haponkestävää terästä Aisi 316, valmistus kylmämuovaamalla, lujuusluokka A4-80(70)

Isoftaalihappopohjainen polyesterihartsi muodostaa kourun sisäpinnan. Gelcoat-kerroksen paksuuden tulee olla 0,40 - 0,60 mm. Gelcoat-hartsina on käytettävä tunnettujen hartsin valmistajien tuotteita.

Sulkukerros muodostuu vähintään kahdesta pulverisidotusta matosta. Sulkukerroksen paksuuden tulee olla vähintään 2,0 mm ja lujiteainepitoisuuden 20...30 %. Kyseisiin arvoihin päästään lujitemäärällä n. 750 g/m<sup>2</sup>.

Tukikerroksessa käytetään lujitteena katkokuitua ja roving-kudosta vuoroittaisina kerroksina, kunnes vaadittu laminaatin paksuus on saavutettu. Lujitepitoisuus katkokuitukerroksessa n. 30...35 % ja kudokerroksessa 45...50 %.

Ulkopinta (topcoat) on periaatteessa samanlainen kuin sisäpinta. Ulkopinnan valmistuksessa on huolehdittava siitä, että saavutetaan riittävä kovettumisaste.

Edellä määritellyllä laminaatin rakenteella saavutetaan vetomurtolujuus  $\sigma_v = 115$  N/mm<sup>2</sup> ja murtotaivutusmomenttia vastaava taivutuslujuus  $\sigma_t = 160$  N/mm<sup>2</sup>.

Lujuuslaskelmissa tulee laskennallisille seinämille käyttää normaalikuormituksessa kokonaisvarmuuslukua  $K = 10$  ja poikkeuksellisessa kuormituksessa  $K = 6$  (kokonaisvarmuusluku muodostuu laskentavarmuuden ( $n = 2,7$ ) ja eri osavarmuuslukujen tulona, mm. pitkäaikaislujuuden kuormitusajalle yli  $2,6 \times 10^5$  h (30 vuotta) ja valmistusmenetelmän perusteella). Sallittuna venymäärä on käytettävissä korkeintaan  $\varepsilon_{max} = 0,1...0,15$  %. Lujuuslaskenta suoritetaan ja siinä käytettävät muut materiaaliominaisuudet määritetään ruotsalaisen Plastkärlnormer-teoksen (tai vastaavan yleisesti hyväksytyyn normiston) mukaan.

Tulovesikourujen riittävään jäykkyyteen on kiinnitettävä huomiota. Tämä koskee myös kourujen reunajäykkyyttä. Reunavahvikkeen tulee ottaa vastaan täyden vesipaineen aiheuttama sivuttaiskuorma määrättyllä tukivälillä. Tulovesikourut mitoitetaan itseksentaviksi rakenteiksi määrättyllä tukivälillä ja täydellä vesikuormalla. Mitoituksessa voidaan ottaa huomioon kourutukirakenteeseen kuuluva kourun alapuolinen tuelta tulle kulkeva kulmajäykiste. Kourutukien kulmateräsjäykistys ottaa pystysuuntaisesta vesikuormasta vastaan 25 %.

Rakenteen taipumien tulee jäädä täydellä kuormituksella pienemmäksi kuin  $f/l = 1/250$ . Taipumat eivät saa heikentää rakenteen toimivuutta.

Lujitemuovitoimittajalla tulee olla riittävän laaja-alaista näyttöä vaaditun valmistustekniikan hallinnasta ja kokemusta kalanviljelyrakenteista.

*Lujitemuovin rakenteellinen pitkäaikaiskestävyys riippuu ratkaisevasti raaka-aineiden laadusta ja valmistuksen huolellisuudesta. Huolella valmistettu lujitemuovituote on kestävä ja soveltuu hyvin suunnitelluiksi rakenteiksi. Jos lujitemuovituotteessa on vikoja, ne johtuvat useimmiten rakenteellisista heikkouksista, jotka taas aiheutuvat valmistajan huolimattomuudesta. Valmistusvirheitä ovat mitoitusvirheiden lisäksi laminaatin ali- tai ylikovettuminen tai väärä hartsin ja lujitemateriaalin suhde. Myös raaka-aineissa saattaa olla vikoja. Ulkopuolisista syistä, iskuista, törmäyksistä, puutoamisista jne., syntyy myös vaurioita.*

*Lujitemuovirakenteiden sisäpinnoissa ei saa esiintyä ilmakuplia, säröjä, halkeamia, murtumia tai lujiteainetta. Pinnan tulee olla sileä, joka saavutetaan käyttämällä hyvälaatuista, lasimaiselle pinnalle hiottua lujitemuovimuottia. Pinnan sileys tarkastetaan mallituotteesta.*

*Sulku- ja tukikerros on tehtävä huolellisesti siten, ettei siinä esiinny kuivia kohtia, ilmakuplia, irtautuneita kerroksia jne..*

*Laminaatin on oltava myös ulkopinnoiltaan tasaista. Ulkopinnan laatuvaatimukset ovat kuten sisäpinnassa huomioiden, ettei kyse ole muottipinnasta. Leikatut pinnat on peitettävä topcoat-pintahartsilla. Ulkopinnan laadussa ovat määrävärinä pitkäaikaiskestävyys ja lujuustekniset ominaisuudet. Ulkopinnan tulee olla niin sileä, että se on helposti puhdistettavissa, pinnassa ei saa olla kuituja tai vastaavia pintavirheitä.*

*Kourujen muotoilussa ja valmistuksessa on otettava huomioon, että niiden ympärillä työskennellään ja niitä sekä ympäristöä pidetään puhtaana.*

*Kourujen asennussaumat on viimeisteltävä erityisesti sisäpinnaltaan muuta pinnanlaatua vastaavaan tasoon. Lujitemuovirakenteiden jatkokset tehdään standardin SFS 5164 rakenneperiaatteita noudattaen. Kourujen jatkoslaminoinneissa ei saa esiintyä virtaussuuntaan hammastusta eikä sellaisia korokkeita tai vikoja, jotka keräävät likaa.*

*Kovettumisasteen tulee olla 90 % hartsin valmistajan ilmoittamasta kovuudesta. Kovuus mitataan Barcol-kovuusmittarilla (ASTM D-2503-07/SFS 3912). Laminaatin kovuusasteen, tasaisen lujuuden ja kemiallisen kestävyyden varmentamiseksi on valmis tuote jälkikovetettava +60 C 5 h:n ajan.*

*Valmis tuote on pakattava kuljetusta ja varastointia varten riittävän hyvin, ettei vaurioita ja kolhiintumia synny. Tilaaja ei hyväksy kuljetuksissa sisäpinnaltaan vaurioituneita tuotteita. Ulkopintojen vähäisiä kuljetusvaurioita voidaan sallia korjattavan siitä erikseen sovittaessa.*

*Laadunvalvontaa suoritetaan seuraavasti:*

- *tiedot käytettävistä materiaaleista ja työsuunnitelma lujuuslaskelmineen toimitetaan kirjallisesti valvojalle hyväksyttäväksi hyvissä ajoin ennen sarjavalmistuksen edellyttämien tarvikkeiden tilausta tai muutoin valmistustyön aloittamista*
- *muottikalusto tarkastetaan lujitemuoviverstaalla (valmistaja ilmoittaa tarkastusajankohdan), mikäli mahdollista suoritetaan muottitarkastuksen yhteydessä samalla mallituotteen tarkastus, muutoin mallituotteen tarkastus sovitaan erikseen*

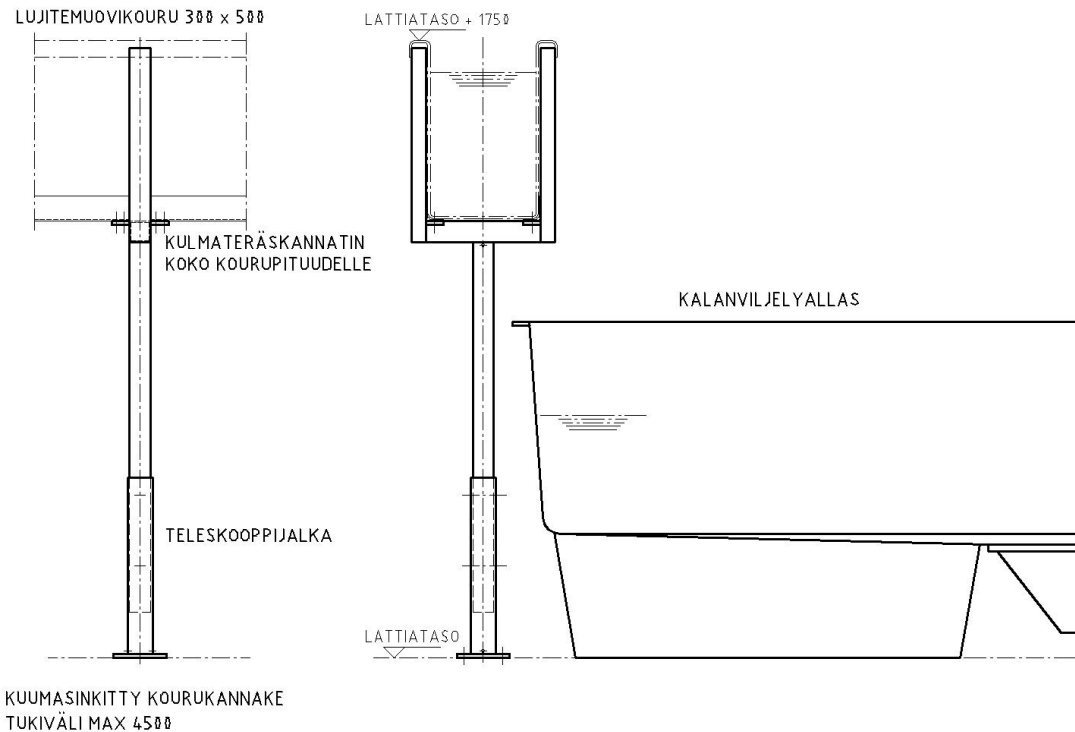
- valmistajan tulee, tilaajan siitä erikseen ilmoittamatta, sallia valvojalle hyväksytyyn mallisuorituksen mukaisten valmiiden tuotteiden sekä niiden valmistuksen pistokoeluntoiset tarkastukset lujitemuoviverstaalla
- valmistaja suorittaa yleisten vaatimusten edellyttämää laadunvalvontaa, josta esittää pyydettyä yksilöidyt, kirjalliset dokumentit sekä näytepalat

Nostoissa ja siirroissa on oltava varovaisia. Laminaattia ei saa kolhia eikä siihen saa kohdistua teräviä iskuja esim. putoavista työkaluista. Valmis tuote on huolellisesti pakattava ja tuettava kuljetukseen ja mahdolliseen välivarastointiin.

Kaikki leikatut pinnat, esim. laippaporaukset työmaalla, on huolellisesti hartsattava.

Valmistajan on annettava työmaalle riittävät ohjeet rakenteiden varastoinnista, käsittelystä ja asentamisesta.

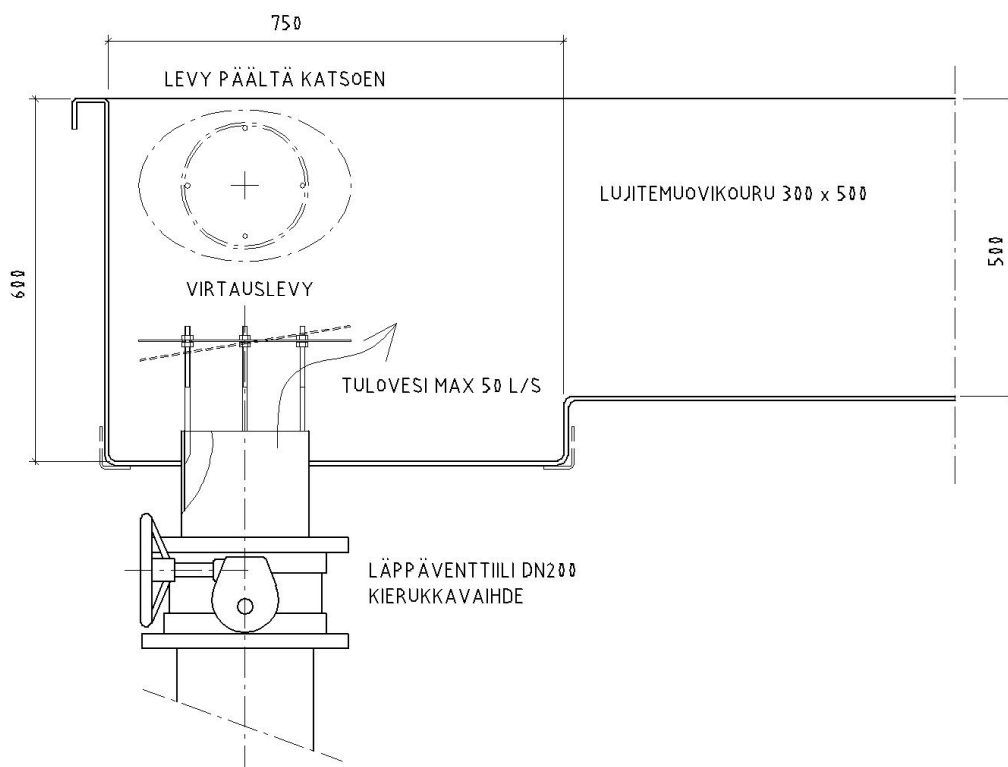
Oheisessa piirustuksessa on esitetty tyypillinen tulovesikourun rakenne.



Tulovesikourujen päätylaatikot on suunniteltava ja toteutettava siten, että vältetään kouruun helposti muodostuva aaltoilu. Päätylaatikon rakenteena on toimivaksi osoittautunut oheisen kuvan mukainen konstruktkio. Pitkiin tulovesikouruihin syötetään vesi molemmista päistä.

Kourut asennetaan haluttuun korkeuteen vaakasuoraan. Asennusta helpotetaan, kun kourukannakkeet ovat säädettäviä.

Kourut varustetaan ylisyoxyputkilla ja tarpeen mukaan välillä. Altaille ja muille viljelyvarusteille otetaan vesi kourun seinämän läpi esimerkiksi valmiilla säiliöyhteillä.



Sisäisen vesityksen putkistot on rakennettu maanalaisiin linjojen osalta PEH-muovista ja sisätiloissa kova PVC-putkesta ja putkenosista. Joissakin kohteissa kuten Inarissa on käytetty sisäasennuksissa myös lujitemuoviputkia.

Seuraavassa on esitetty tyypillinen sisäisen vesityksen putkistomääritys.

*Allassyöttöputket rakennetaan kova PVC-putkista, paineluokka  $\geq$ PN 10. Määritys: PVC-U PN10 DIN 8061/8062, ulkohalkaisijatoleranssi ISO 3606.*

*Putkistojen koot ja tyypit on esitetty virtaus- ja toimintakaaviossa. Kulmien, haarojen ja supistusten yms. osalta noudatetaan DIN- mitta- ja laatustandardeja. Vakio-osien on oltava tehdasvalmisteisia.*

*Aina kun se on teknillisesti mahdollista, rakennetaan putkilinjat putkistoesivalmisteista siten, että liitokset työmaalla jäivät mahdollisimman vähäisiksi ja kaikki istutus- yms. erikoistyöt suoritetaan asianmukaisissa verstastiloissa.*



*Mikäli putkistojen seinämävahvuus poikkeaa liitospinnoissa, on paksumpi seinämä sorvattava loivalla viisteellä samaan ainevahvuuteen.*

*Toisiinsa liitetyt putkiosat viimeistellään virtauspinnaltaan sileiksi aina kun se on työteknillisesti mahdollista. Liimaliitettävien putkien päät on aina viistettävä määrätyn liimausohjeen mukaan.*

*Putket asennetaan määrättyjen normien ja ohjeiden mukaisesti, noudattaen lisäksi kunkin muoviputkiputkilaadun osalta putken valmistajan laatimia asennusohjeita.*

*Liitostyöt työmaalla on suoritettava sellaisissa olosuhteissa, ettei vesi tai pöly pääse vaarantamaan lopputulosta. Ennen asennusta on putket huolellisesti puhdistettava epäpuhtauksista ja putkien katkaisussa syntyneet purseet on tarkoin poistettava. PVC-putkia liimattaessa on noudatettava kaikilta osin liimaus- ja asennusohjetta mm. liitospäiden viistämisen, puhdistamisen ja liiman oikean levittämisen osalta. Työaikana avoimiksi jääneet putkenpäät suljetaan muovitulpalla vesi- ja pölytiivisti.*

*Laippojen ruuvien kiristysmomenteina käytetään putken valmistajan mitoittamia ohjearvoja. Yleisohjeena tasotiivisteiselle PVC putken laippaliitokselle käytetään: DN50→25Nm, DN100→45Nm, DN150→60Nm, DN200-300→75Nm. Kumivuoratut läppäventtiilit kiristetään ylikiristystä välttämällä kunnes pesä on kiinni laipassa ja "metalli vasten metallia". Kumivuorattujen läppäventtiileiden yhteydessä ei saa käyttää tiivisteitä.*

*Venttiilit ovat pääsääntöisesti putkiston nimelliskokoa. Päälinjoissa olevat venttiilit eivät saa aiheuttaa tarpeetonta virtausvastusta.*

*Sulkuventtiilit DN 10...65 ovat muovisia PVC-U-palloventtiileitä. Tulovesikourujen yhteydessä olevat runkolinjojen sulku- ja säätöventtiilit ovat laippojen väliin asennettavia, kumivuorattuja läppäventtiilejä, tiiviste EPDM, läppä ja kara SS 2343, runko valurautaa, paineluokka PN 10. Läppäventtiilit varustetaan kierukkavaihteella, asennonosoittimella ja käsipyörällä.*

*Kaikki läppäventtiilien kauluslaipat ovat teräsydinvahvisteisia PP muovilaippoja. PVC-putkien laipat ovat putkivalmistajan tasolaippoja. Laippaliitokset tehdään PN 10 paineluokan mukaisesti. Silumiinilaippoja ei käytetä. Laipat on valittava käytetyn kauluksen mukaan siten, että sisäreikä vastaa kauluksen valmistusstandardia. Liitettäessä eri putkimateriaaleja laippaliitoksilla toisiinsa on huomioitava, että tietyillä putkidimensioilla saman nimellismitan laipat/kaulukset eivät ole yhdenmukaisia liitosmitoittaan. Muoviputkistojen laippaliitosten tiivisteinä käytetään putkivalmistajan mitoittamia EPDM tai FPM- tiivistekumimateriaalia. Pehmitettyä PVC-P materiaalia olevia tiivisteitä ei saa käyttää jännityskorroosiovaaran takia PVC-U/C putkien laippaliitoksissa. Kumivuorattujen läppäventtiilien yhteydessä ei saa käyttää tiivisteitä.*

*Pantaliittimet ovat putken paineluokan asettamin vaatimuksin mallia Straub Flex, materiaali Hst (myös ruuvit), tiiviste EPDM.*

*Merkintälaatat tehdään kerrosmuovista vähintään kokoa 60 mm x 40 mm x 2 mm, kaiverrettu peiliteksti on musta ja pohja valkoinen. Päänimikkeen kirjaimen on oltava vähintään 10 mm ja alanimikkeen 7 mm korkea. Merkintöjen on oltava yhtenäiset ulkoasultaan ja esitystavaltaan.*

*Merkintälaatat kiinnitetään mekaanisesti Hst-ruuvein tai niitein. Kysymykseen tulee paikoitellen myös Hst-kuulaketjun käyttö mm. paikaltaan purettavien laitteiden osalta.*

*Virtaavan aineen mukaan teetetyt merkintäteipit, SFS 3701 ja 3702, liimataan putkiin niin, että kytkentä saadaan havainnolliseksi. Kondensoivissa yms. olosuhteissa joissa teippi ole pysyvä merkintä, on käytettävä vastaavia merkintäkilpiä. Putkiin liimataan merkintäteippi n. 20 m välein, rakenteiden lävistyksien yhteydessä ja aina pumppujen ja venttiilien läheisyydessä.*

*Merkinnöistä on käytävä selvästi ilmi virtaussuunta, virtaava aine ja käyttötarkoitus.*

## 4. Vesitysjärjestelmien hoito ja valvonta

Kalanviljelylaitoksen tulovesijärjestelmistä on tarpeellista laatia yksityiskohtaiset käyttö- ja huolto-ohjeet. Putkijohdoista, rakenteista ja vedenkäsittelyjärjestelmistä laaditaan rakenneselvitykset ja ajantasapiirustukset. Seuraavassa on esitetty luettelomaisesti laitoksen ylläpitoon ja vesitysjärjestelmien hoitoon ja valvontaan liittyviä tehtäviä.

Kalanviljelylaitoksella on huolehdittava siitä, että käyttöhenkilökunta tuntee putkiverkostojen rakenteet ja on koulutettu lukemaan niiden käyttöön tarvittavia piirustuksia ja piirustuksia on saatavilla riittävän nopeasti. Tärkeimpiä kaavioita ja detaljipiirustuksia muovitetaan ja sijoitetaan asianmukaisiin paikkoihin käyttökohteiden läheisyyteen.

Kriisitilanteita varten on harjoiteltava käytännön kokeilla ja mitattava toimenpiteisiin kuluva aika sekä arvioitava olivatko toimenpiteet riittäviä. Esimerkkinä voidaan mainita, että äkilliset virtaama- ja virtaussuuntamuutokset irrottavat huuhtelemattomiin putkistoihin kertyvää lietettä ja saattavat aiheuttaa kriisitilanteissa ennalta arvaamattomia ongelmia. Näillä kokeilla havainnollistetaan säännöllisten huuhteluiden merkitys.

Käyttäjille on selvitettävä eri toimenpiteiden tärkeysjärjestys ja annettava ohjeet niistä kalalajeista ja viljely-yksiköistä, joiden vesitys on kriittisin. Suunnitellaan etukäteen mahdollisesti tarvittavat kalaston siirrot viljely-yksiköistä toisiin.

Kaikki tarvittavat venttiilit ja pumput on selvästi merkittävä kiinteisiin rakennusosiin ja maastoon eri tunnusvärisin kilvin sekä apulaitteet kuten venttiilinavaimet on löydyttävä sovitusta paikoista.

Mikäli kriisitilanteissa joudutaan turvautumaan ulkopuoliseen apuun, on näiden yhteistyötahojen kanssa myös etukäteen harjoiteltava tarvittavia toimenpiteitä.

Suurten, ei normaalimarkkinoilla olevien, putkijohtojen korjaussarjat sijoitetaan sovituu paikkaan. Sama käytäntö koskee pumppuja ja muita kulutusosia.

Hankitaan tai sovitaan jonkin yhteistyötahon kanssa hätävesitykseen tarvittavan varapumppauskaluston saatavuudesta kaikkine pumppaukseen tarvittavine kytkentäosineen ja toimintoineen.

Lisähapetusta varten varataan riittävästi kapasiteettia ja harjoitellaan hapetuksen käynninajoa.

Tuloputkista on mahdollista johtaa kulutukseen huomattavasti enemmän vettä, kuin mihin vedenottamoiden kapasiteetti riittää. Toisaalta tuloputkistojen kapasiteetti voi alentua liettymisen, erilaisten kasvustojen tai mahdollisesti putkissa olevien kalojen takia. Vaillinaisesti avattu tai jopa väärään asentoon jäänyt runkosulkuventtiili alentaa myös merkittävästi kapasiteettia veden joutuessa kulkemaan rengasverkostossa pidempää reittiä. Muoviputkistojen paikallinen suuri deformaatio voi myös toimia kuristuskohtana.

Allasvesitysten säädöistä on annettava käyttäjille riittävä ohjaus. Yleensä putkistojen väljyys ja vedenottamoiden varastotilavuudet riittävät turvaamaan varsin suuria hetkellisten kulutushuippujen aiheuttamia virtaamavaihteluita. Kulutushuippuja syntyy esim. altaita täytettäessä tai niitä huuhdeltaessa. Suoritettaessa laajempia vesityssäätöjä on jätettävä riittävä seuranta-aika, vähintään muutamia tunteja, jotta muuttunut tilanne saadaan luotettavasti hallintaan. Vedenottamoiden antoisuuksien seuranta ja eri ajankohdista riippuva kapasiteettiarviointi sekä eri luukustojen ja venttiileiden säätö-asetnot on opeteltava kokemuseräisesti kullakin laitoksella ja niitä on omaksuttava hoitamaan vuotuisella käyttörotiinilla.

Mahdollisten laitosalueen ulkopuolisten (eri vesistöjärjestelyissä rakennettujen) patojen, sulkuluukkujen sekä vedenjohtokanavien kunto tulee säännöllisesti aika-ajoin tarkistaa.

Runkolinjojen painetasoa tulee jatkuvasti seurata. Ilman seurantaa ei voida juurikaan päätellä mikä tuntematon tekijä olisi voinut aiheuttaa painetason hiipumisen tai sen äkillisen aleneman. Sovelias mittauspaikkoja ovat hallien ylösnousuputkistot. Yhdistettynä vedenottamoiden pinnankorkeustietoihin, voidaan arvioida saatavan painetason oikeellisuus käytetyillä virtaamilla.

Äkillinen vedensaannin heikentyminen saattaa aiheutua eri ottamoilla imusiivilöiden tukkeutumisesta. Tukkeutumisen voi aiheuttaa joko roskaantuminen tai riittävän suuri esim. muovikalvo. Imusiivilöiden puhdistamisessa tarvitaan mahdollisesti sukeltajan apua.

Jokivesistöissä saattaa myöhäisyyksyn jääkannettomana aikana tapahtuva äkillinen veden jäähtyminen lumipyryn johdosta synnyttää sihdit tukkivan suppotilanteen. Suppohaittoja voidaan torjua siirrettävällä höyrykehittimellä. Suppotilannetta varten on syytä selvittää varapumppauskaluston saatavuus ja toiminta- sekä kytkentämahdollisuudet.

Imuvälppien ennakoivalla puhdistamisella on suuri merkitys tukkeutumisten estämisessä. Suuri avoin pinta-ala alentaa virtausnopeutta ja suppoutumisen tai kerralla roskaista tukkeutumisen vaara pienenee olennaisesti. Välppien puhdistaminen on varsin edullinen varotoimenpide. Puhdistaminen on syytä suorittaa säännöllisin väliajoin, suurten sihtien osalta vähintään määrävuosina, pumppujen ja vastaavien imusiivilöiden osalta vuosittain.

Suurten vedenottamoiden konevälppien toiminta edellyttää huolto-ohjelman täyttämistä. Konevälppien asianmukainen toiminta ja koneistovaurioiden estäminen edellyttävät päivittäisiä, joka toinen viikko ja 1-2 kertaa vuodessa suoritettavia seuranta- ja huolto-toimenpiteitä.

On mahdollista, että laitoksella havaitaan epänormaalin suuri vedenkulutus. Suuri kulutus saattaa johtua virheellisistä venttiiliasennoista, jolloin vesi pääsee joko suoraan viemäriin tai esimerkiksi eri vedenottamot yhdistyvät hallitsemattomasti. Väärien venttiiliasentojen aiheuttamat ongelmat voidaan nopeasti jäljittää pitämällä kirjaa kaikesta tehdyistä asentomuutoksista ja antamalla käyttöoikeus vain tietyille vastuhenkilöille. Mikäli tuntematon kulutus ei selviä kirjattuja toimenpiteitä takaisinpäin purkamalla on kyseessä putkirikkotilanne. Tällöin on systemaattisesti vedenottamolta päin edeten suljettava runkosulkuventtiilein kokonaisia kulutusyksiköjä hetkellisesti pois verkostosta ja haettava liian suuren kulutuksen alue.

Maanalaisten linjojen suuret vuotovesimäärät näkyvät yleensä varsin nopeasti maanpinnan yläpuolisena valumana. Toinen havainnointikeino on seurata virtausmittauksen muutoksia. Kuten aiemmin on esitetty on aiheellista kirjauttaa muistiin kaikki päävesityslinjojen venttiiliasentomuutokset. Selittämättömät vesimäärän kasvut paljastuvat kirjanpidon perusteella.

Pienten vuotojen löytäminen on yleensä hyvin ongelmallista. Vuotojen etsintään voidaan käyttää erilaisia kuuntelu- ja kuvausmenetelmiä, väriaine- ja vedenlaatuanalyysia. Varsin tarkka, mutta työläs paikallistamiskeino on kaivaa koekaivantoja putkilinjojen vierustalle ja tutkia onko kaivannoissa kulkeva vesi pohja- vai pintavettä. Runkosulkujen välisiä linjaosia voidaan sulkea systemaattisesti ja mitata kulutuksen muutoksia ja paineen alenemisiä. Voidaan arvioida peruskuivatusvesien ja pohjavesiesiintymien antoisuuksien ja vedenlaatujen muutoksia.

Aina kun havaitaan putkilinjan vuoto, on ryhdyttävä kiireellisesti toimenpiteisiin. Vesivuoto kuljettaa nopeasti hienoa maa-ainesta ja löyhdyttää putkikaivantoja vaarantaen maarakenteen ja putkilinjan yhteistoiminnan. Suurten putkilinjojen osalta pitkään jatkunut vuoto aiheuttaa putkeen muuttuvasta epätasaisesta kuormituksesta liian suuren

deformaation ja korjaustyönä joudutaan vuotokohdan korjaamisen lisäksi koko löyh-  
tynyt linjaosus perustamaan ja kerroksittain tiivistämään ja täyttämään uudelleen.  
Rakennusten lähellä tai niiden lattian alla tapahtuva putkirikko löyhdyttää lisäksi pe-  
rustusten ja lattioiden alustäytöt johtaen hyvinkin laajamittaisiin ja kalliisiin korjaus-  
töihin.

Laitosalueella veden tulvimiseen voivat johtaa joko tulovesipuolen putkistovauriot tai  
poistopuolella oleva viemäririkko, tukkeuma tai viemäriosien kapasiteetin ylitys.

Viljely-yksiköiden viemärit on yleensä mitoitettu tulopuolen mitoitusvirtaamaan näh-  
den 1,5 kertaisiksi kapasiteetiltaan. Tulovirtaaman tulee ylittää huomattavasti viemäri-  
kapasiteetti, jotta tulvatilanne saataisiin aikaan. Viemäreitä kriittisempiä kohtia suuril-  
le virtaamille ovat altaiden poistosäätimet, vedenjakokourujen ylivirtausrakenteet se-  
kä poistojen sihtirakenteet. Nämä viljely-yksiköiden kapasiteettirajat kannattaa hakea  
käytännön kokeilla. Veden tulvimista voi aiheuttaa myös viemäririkko tai tukkeuma.  
Ehkä helpoimmin tukkeuma syntyy kalaparven kuollessa, jolloin altaan poistosihtti  
tukkeutuu. Pienten viemäreiden tukoksen saattavat aiheuttaa leväkasvusto tai viemä-  
riin rakennusaikana jääneet kivet, betoni tai muut rakennusjätteet, jotka ovat keränneet  
kiintoainesta. Viemärit maastossa ovat niin väljiä, että tukkeutuminen on hyvin epäto-  
dennäköistä muutoin kuin vaurioon yhdistettynä.

Tulovesilinjoina käytetyt muoviputkistot ovat virtausteknisesti varsin sileitä sisäpin-  
noiltaan, syöpymättömiä, eivätkä muodosta helposti tartunta-alustaa epäpuhtauksille.  
Putkien liitoskohdat, haaroitukset ja muuta vastaavat epäjatkuvuuskohdat muodostavat  
kuitenkin katvekohtia, joihin on mahdollista kertyä hienoainesta ja imuvälvät läpäis-  
seitä roskia.

Putkiston huuhtoutumiseen tarvittava minimivirtausnopeus voidaan laskea määritte-  
lemällä putkiston huuhtoutumisen varmistava hankausjännityksen arvo ja putkidimen-  
sion ja virtausliikkeen energiaviivan kaltevuuden perusteella huuhtoutumisen edellyt-  
tämä virtaama. Hankausjännityksen tulee olla suurempi kuin  $1,0 \text{ N/m}^2$ . Vesihuoltotek-  
niikassa putkistojen mitoituksessa käytetään paineputkistojen liettymisen estävänä mi-  
nimivirtausnopeutena  $0,5 - 0,6 \text{ m/s}$ . Minimivirtausnopeuden mukainen virtaama riittää  
normaalisti putkiston itsepuhdistuvuuteen. Erilaiset kasvustot, kotilot, rakennusaikana  
putkistoihin joutunut hiekka ja kivet sekä muut poikkeukselliset epäpuhtaudet eivät  
kuitenkaan välttämättä huuhtoudu pois putkistosta ilman mekaanista puhdistusta.

Pieni käytettävissä oleva korkeusero ja vedenkäytön rajoitukset johtavat suurilla put-  
kidimensioilla itsepuhdistuvuuden heikkenemiseen ja putkistojen liettymiseen.

Putkistoihin laskeutunut ja heikosti tarttunut liete saadaan irrotettua lisäämällä vir-  
tausnopeus noin 3 - 5 kertaiseksi normaaliin käyttötilanteeseen nähden. Virtausnopeus  
voidaan nostaa lieteen irrottamiseen riittäväksi kasvattamalla vesivirtaa ja/tai lisäämäl-  
lä verkostoon paineilmaa.

Huuhteluvirtaamien käyttö edellyttää toimintaohjeita paineiskujen aiheuttamien vauri-  
oiden välttämiseksi ja ohitusreittejä viljely-yksiköiden likaantumisen estämiseksi. Pai-  
neilmaa käytettäessä on otettava huomioon, että paineilmapuhdistuksessa tarvittava  
syöttöpaine voi riittää rikkomaan suljettuja putkirakenteita ja sysäyksittäinen virtaus  
aiheuttaa suuren normaalista poikkeavan lisäkuormituksen johtolinjoihin ja niiden tu-  
entoihin.

On tärkeää mitoittaa huuhteluventtiilien käyttölaitteiden avautumisnopeus siten, ettei  
niillä voi vaurioittaa rakenteita. Käytännössä huuhtelu tapahtuu siten, että virtausno-  
peus kasvatetaan muutaman minuutin aikana huippuarvoon, pidetään huippuarvossa ja  
tarkkaillaan puhdistumista. Virtaus rauhoitetaan lopuksi sulkemalla huuhteluventtiili  
vähintään yhtä hitaasti kuin se on avattukin. Jos tarkempia laskelmia ei ole suoritettu,  
tulee  $DN \leq 500 \text{ mm}$  venttiilin liikeajan olla luokkaa 2 min ja  $DN \geq 600 \text{ mm}$  vastaavas-  
ti 3 min. Laskelmissa voidaan arvioida sulkuventtiilin liikeajaksi riittävän likimäärin  
 $20 \times$  paineaallon heijastumisaika  $\mu$ . Heijastumisaika  $\mu = 2L/a$ , jossa L on putken pituus  
ja a paineaallon etenemisnopeus.

Likimääräiset eri putkimateriaalien paineaallon etenemisnopeudet ovat:

- Puuputki mänty (kuusi)  $a = 120 \text{ m/s}$
- Kestomuovi PEH  $a = 300 \text{ m/s}$
- Kestomuovi PVC  $a = 500 \text{ m/s}$
- Kertamuovi Hobas  $a = 425 \text{ m/s}$
- Teräsputki  $a = 950 \text{ m/s}$
- Valurautaputki  $a = 1\,050 \text{ m/s}$
- Teräsbetoniputki  $a = 1\,100 \text{ m/s}$

Laitoksen sisällä kaksoisvesitystä käyttävissä toiminnoissa tulee rakentaa runkolinjojen huuhteluyhteiden lisäksi huuhteluyhteitä aina syöttölinjojen päihin, esimerkiksi hautomoon.

Huuhtelua aloitettaessa suljetaan kulutuskohteiden venttiilit ja ohjataan lietevedet suoraan viemäriin. Näin toimimalla ohjautuvat epäpuhtaudet ohi kulutuspisteiden ja vältytään viljelyaltaiden, kourujen yms. ylimääräiseltä puhdistukselta. Koska tulovesiputkien liete ei ole peräisin kalanviljelystä, on edullista johtaa lietevedet ohi puhdistuksen. Näin toimien vältytään myös puhdistamon käyttöhäiriöiltä.