

KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 160

Vaito Mustajärvi

Kalanviljelytekniikka

Helsinki 1999



RIISTAN- JA KALANTUTKIMUS



Ruokinta-automaatti toiminnassa Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Taivalkosken kalanviljelylaitoksella (kuva: Matti Karjalainen).

Julkaisija

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

KUVAILULEHTI

Julkaisu-aika

Elokuu 1999

Tekijä(t)

Vaito Mustajärvi

Julkaisun nimi

Kalanviljelytekniikka

Julkaisun laji

Toimeksiantaja

Toimeksiantopäivämäärä

Projektin nimi ja numero

Tiivistelmä

Kalanviljelymenetelmät ovat erityisesti parin viimeksikuluneen vuosikymmenen aikana tehostuneet ja teknistyneet. Yhä enenevässä määrin pyritään viljelyprosessia ohjaamaan ja säätelemään kullekin lajille ja tuotantotavalle mahdollisimman optimaaliseksi. Viljelylaitosten ympäristövaikutusten vähentämistarpeet ovat osaltaan voimakkaasti suuntaamassa kehitystä ympäristöystävällisempiin ratkaisuihin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos ja sen hoitama valtion kalanviljely ovat olleet monin tavoin edistämässä kalanviljelyn kehittymistä. Erityisesti 1960-luvulla käynnistyneeseen valtion kalanviljelylaitosten rakentamiseen ja uusimiseen liittyvässä suunnittelu-, kehitys- ja sovellutustyössä on kertynyt suuri määrä erilaista teknisluonteista tietämystä, jota on mm. talletettu laitosten suunnitteluasiakirjoihin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen aloitteesta on tätä hajallaan olevaa ja siten vaikeasti hyödynnettävää tietämystä koottu Suomen ympäristökeskuksessa yhtenäiseen muotoon. Julkaisussa käsitellään kalanviljelytekniikan keskeisiä kysymyksiä kuten laitosten suunnittelua, vedentarvetta, veden laatuvaatimuksia, vesitystekniikkaa, erilaisia mitoituskysymyksiä, viljelytekniisiä menetelmiä sekä kuormitusta ja sen vähentämistä.

Asiasanat

Sarjan nimi ja numero

Kala- ja riistaraportteja 160

ISBN

951-776-228-3

ISSN

1238-3325

Sivumäärä

118 s. + liitteet

Kieli

suomi

Hinta

100 mk

Luottamuksellisuus

Jakelu

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Vesiviljelyn tuloksikkö

PL 6

00721 Helsinki

Puh. 0205 751 252 Fax 0205 751201

Kustantaja

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

PL 6

00721 Helsinki

Puh. 0205 7511 Fax 0205 751201

SISÄLLYS

ESIPUHE: KALANVILJELYN KEHITTYMINEN SUOMESSA JA VILJELYTEKNIikka	1
KALANVILJELYTEKNIikka	3
ALKUSANAT	3
1. JOHDANTO	3
2. KALANVILJELYLAITOSTEN SUUNNITTELU	6
2.1 Veden laatu	6
2.2 Veden tarve.....	13
2.3 Viljelytekniikka	15
2.4 Vesitystekniikka	35
2.5 Vesimäärien mittaus	58
2.6 Kuormituksen muodostuminen.....	61
3. KUORMITUKSEN VÄHENTÄMINEN	74
3.1 Yleistä.....	74
3.2 Tekniset toimenpiteet.....	75
3.3 Muut toimenpiteet.....	98
4. KIERTOVELAITOS	102
5. KUORMITUS JA LAITOSTARKKAILU	104
5.1 Kuormitustarkkailu	104
5.2 Laitostarkkailu	106
5.3 Kalataloudellinen tarkkailu.....	107
5.4 Kalatautien tarkkailu.....	107
6. VESISTÖVAIKUTUSTEN MITTAAMINEN	108
7. KALANKASVATUKSEN YMPÄRISTÖNSUOJELUOHJELMA 1996-2005. SAARISTOMERI, SELKÄMEREN RANNIKKO JA AHVENANMAA.	111
7.1 Tavoitteet.....	111
7.2 Työryhmän suositukset.....	111
8 LAINSÄÄDÄNTÖ JA OIKEUSKÄSITTELY	113
8.1 Yleistä.....	113
8.2 Vesilainsäädäntö	113
8.3 Ilmoitusmenettely	113
8.4 Lupamenettely	114
8.5 Lupaehdot.....	115
8.6 Toimenpiteet rikkomustapauksissa.....	115
KIRJALLISUUTTA	116
LIITTEET	

KALANVILJELYN KEHITTYMINEN SUOMESSA JA VILJELYTEKNIikka

Kalanviljelyllä on Suomessa yli satavuotiset perinteet. Kehitys ei ole ollut suoraviivaista, vaan siinä on ollut sekä suvantovaiheita että myös varsin voimakkaan laajentumisen aikoja. Näihin on paljolti vaikuttanut kalanviljelytekniikassa tapahtunut kehitys.

Nykyisenkaltaisen kalanviljelyn alkuna voidaan pitää aikoinaan merkittävää viljelytekniistä innovaatiota, keinohedelmöityksen keksimistä. Tämän käyttöönotto mahdollisti luonnosta pyydytyistä emokaloista lypsetyn mädin hautomisen poikasiksi. Maasamme rakennettiin 1800-luvun puolivälistä alkaen tunnettujen lohijokien äärelle hautomoita, joissa tuotetut poikaset istutettiin vastakuoriutuneina luonnonvesiin taantuneiksi arvioitujen kalakantojen elvyttämiseksi.

Vaikka ensimmäisistä lohiahutomoista saadut kokemukset olivat huonoja, valtio jatkoi viljelyn koetoimintaa mm. Evon kalastuskoeaseman yhteyteen vuonna 1892 perustetussa kalanviljelylaitoksessa. Evolla saadut myönteiset tulokset ja viljelytekniikan parantuminen innostivat paitsi valtiota myös maanviljelysseuroja ja yksityisiä henkilöitä perustamaan uusia laitoksia eri puolille maata. Vuosisadan vaihdetta voidaankin kuvailla kalanviljelyn ”toisena tulemisena”.

Seuraava kalanviljelyn laajentumisvaihe ajoittuu 1920- ja 1930-luvuille. Tämä ei suoranaisesti johtunut viljelytekniikan kehittämisestä, vaan siitä, että viljelyillä poikasilla tehdyillä istutuksilla havaittiin olevan merkitystä kalakantojen hoidossa myös rakennetuissa vesissä. Tämän vuoksi ryhdyttiin uittosääntöihin ja voimalaitospatojen lupaehtoihin esittämään aikaisemmin ensisijaisina olleiden, mutta huonosti toimivien kalateiden sijaan kalanviljelylaitosten perustamista ja poikasten istutusvelvoitteita vahinkojen kompensoimiseksi. Näin syntyi lukuisia eri uittoyhdistysten kalanviljelylaitoksia.

Viljelyn laajentumiseen ovat olleet vaikuttamassa myös valtion erilaiset avustustoimet. Huomattava merkitys oli vuonna 1951 annetulla kalastuslailla, joka edellytti, että valtion tulo- ja menoarvioon otetaan varoja kalatalouden edistämiseen kalastuslupatulojen edellyttämä määrä. Tämä innoitti kalatalouden edistämisyjärjestöjä tehostamaan myös viljelyä ja uusia laitoksia rakennettiin ja entisiä kunnostettiin innokkaasti.

Kalanviljelyn tähän mennessä voimakkain kehitysjakso käynnistyi 1960-luvun alkupuolella, jolloin meillä heräsi voimakas kiinnostus kirjolohen kasvatukseen ruokakalaksi. Kun myös istutuspoikasten kysyntä samanaikaisesti monista syistä lisääntyi, johti tämä mittavaan yksityisten viljelylaitosten rakentamiseen. Viljelyn laajentumista helpotti viljelytekniikan monenlainen kehittyminen, mm. tehdasvalmisteisten kuivarehujen käyttöönotto. Mädituotannon turvaamiseksi tunnettua alkuperää olevista kannoista ja vesien rakentamisen erityisesti uhkaamien vaelluskalakantojen säilyttämiseksi ryhdyttiin 1960-luvulla myös laajentamaan valtion kalanviljelyä. Tuolloin käynnistettiin mm. Laukaan ja Taivalkosken (Ohtaaja) aikoinaan keskuskalanviljelylaitoksiksi kutsuttujen yksiköiden rakentaminen.

Viimeksi kuluneina vuosikymmeninä on kalanviljely laajentunut perinteisistä maalaitoksista merialueen verkkoaltaisiin ja luonnonravintolammikoihin. Viljelymenetelmät ovat tehostuneet ja teknistyneet. Yhä enenevissä määrin pyritään viljelyprosessia ohjaamaan ja säätelemään kullekin lajille ja tuotantotavalle mahdollisimman optimaaliseksi. Viljelylaitosten ympäristövaikutusten vähentämistarpeet ovat osaltaan voimakkaasti suuntaamassa kehitystä ympäristöystävällisempiin ratkaisuihin.

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos ja sen hoitama valtion kalanviljely ovat olleet näiden edeltäjäorganisaatiot mukaanlukien jo vuosisadan alusta lähtien monella tavoin edistämässä kalanviljelyn kehittämistä. Erityisesti 1960-luvulla käynnistyneeseen ja viime vuosiin asti jatkuneeseen valtion kalanviljelylaitosten uusimis- ja rakentamisvaiheeseen liittyvässä viljelyteknisessä suunnittelu-, kehitys- ja sovellutustyössä on kertynyt suuri määrä erilaista teknisluonteista tietämystä, joka on talletettu ao. kalanviljelylaitosten suunnitteluasiakirjoihin. Vaikka laitosten suunnittelua, rakentamista ja viljelyteknologiaa on käsitelty mm. monilla valtion kalanviljelyn neuvottelupäivillä ja näitä kysymyksiä tarkastelleita esitelmiä on julkaistu kymmenittäin (viitteet RKTL Kalatutkimuksia-Fiskundersökningar no 110, 1996) on valtaosa tiedosta edelleen vain asiakirjoissa ja siten hajallaan olevana vaikeasti saatavissa ja hyödynnettävissä. Viljelytekniistä tietämystä ja kokemusta on myös kertynyt toiminnassa mukana olleelle tutkimuslaitoksen henkilökunnalle ja valtion kalanviljelylaitoksia jo pitkään suunnitelleille ja rakentaneille tahoille erityisesti Suomen ympäristökeskukselle ja sen edeltäjille vesihallitukselle ja vesi- ja ympäristöhallitukselle sekä näiden käyttämille konsulttiyrityksille.

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksessa on jo pitkään ollut vireillä hanke tämän mittavan ja paljolti ainutlaatuisen viljelytekniikan tietämyksen kokoamisesta käyttökelpoiseen muotoon sekä valtion että yksityisen viljelyn hyödynnettäväksi. Erilaisten vaiheiden kautta Suomen ympäristökeskus otti työn tehdäkseen. Nyt ilmestyvässä teoksessa käsitellään kalanviljelytekniikan keskeisiä kysymyksiä mm. laitosten suunnitteluperusteita, vesitystä, mitoituksia, viljelytekniisiä menetelmiä sekä kuormitusta ja sen vähentämistä. Teoksen sisällöstä vastaa tunnettu ja tunnustettu alan asiantuntija insinööri Vaito Mustajärvi, joka on ollut mukana mm. lähes kaikkien valtion kalanviljelylaitosten uusimista ja rakentamista koskevissa hankkeissa jo 1960-luvulta lähtien. Hän on jo aikaisemmin tarkastellut valtion kalanviljelylaitosten rakentamista ja niiden käytöstä saatuja kokemuksia (Mustajärvi 1996). Hänelle parhaat kiitokset ansiokkaan ja monipuolisen teoksen laatimisesta. Vaito Mustajärven vakavan sairastumisen vuoksi hän ei kyennyt osallistumaan julkaisun viimeistelyyn, mikä näkyy lähinnä eräiden uusimpien tietojen puutteena. Kiitokset kuuluvat myös teoksen suunnittelussa mukana olleille Suomen ympäristökeskuksen yli-insinööri Kari Lampelalle, yksikönjohtaja Ilkka Mannille ja kehitysinsinööri Ari Strandmanille sekä Kati Manniselle ja Tapio Linnalle Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksesta, jotka ovat myös työstäneet teosta julkaisukuntoon.

Helsingissä 7. toukokuuta 1999

Kai Westman

Vesiviljelyjohtaja

KALANVILJELYTEKNIikka

ALKUSANAT

Suunniteltaessa ja rakennettaessa valtion kalanviljelylaitoksia on laitosten käyttäjien taholta esitetty toivomuksia kalanviljelytekniikkaa käsittelevän monisteen laatimisesta. Erityisesti on toivottu lisätietoa laitosten mitoituksista ja hydraulikasta. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen vesiviljelyn tulosityksikön aloitteesta on Suomen ympäristökeskus laatinut tämän teoksen, jonka tarkoituksena on antaa kalanviljelylaitosten käyttäjille perustietoa nykyaikaisesta viljelytekniikasta, laitosten mitoituksista ja vesitystekniikasta. Suomen ympäristökeskuksessa on teoksen laatiminen annettu vesivara- ja ympäristörakentamisen yksikölle ja siellä edelleen insinööri Vaito Mustajärvelle.

Viljelytekniikkaa koskevien lukujen kirjoittamisessa olen saanut arvokasta apua Taimvalkosken riista- ja kalantutkimuksen kalastusmestareilta Vesa Määtältä ja Matti Karjalaiselta. Tämän teoksen julkaisukuntoon on työstänyt Eeva Tuominen Suomen ympäristökeskuksesta, joille lausun kiitokseni.

1. JOHDANTO

YK:n elintarvikejärjestö FAO seuraa maailman vesiviljelyn tuotantoa. Viimeisimmän tilastokatsauksen mukaan maailman vesiviljely jatkoi edelleen kasvua v. 1993. Kokonaistuotanto nousi 22,4 miljardiin kiloon, mistä on kasvua edellisvuodesta 14 %.

Kalan ja äyriäisten osuus kokonaistuotannosta oli 16,3 miljardia kiloa ja niiden tuotanto kasvoi 13 %. Peräti 85 % kasvatetusta kalasta ja äyriäisistä tuotetaan Aasiassa. Kiina on maailman suurin tuottajamaa 8,8 miljardin kilon vuosituotannollaan. 14 johtavasta vesiviljelymaasta vain neljä maata: USA, Ranska, Italia ja Norja sijaitsevat Aasian ulkopuolella.

Kasvatetusta kalasta suosituin oli karppi, jota kasvatettiin maailmalla 7,64 miljardia kiloa. Atlantinlohen kokonaistuotanto oli v. 1993 717 miljoonaa kiloa ja kirjolohe 311 miljoonaa kiloa. Suomessa tuotettiin kirjolohta v. 1995 17,3 miljoonaa kiloa. Tästä tuotettiin meressä 13,9 miljoonaa kiloa ja sisävesissä 3,4 miljoonaa kiloa. Tuotannon arvo oli 285 Mmk.

Vesiviljely, moninaisissa ilmenemismuodoissaan, on parhaillaan voimakkaan kehityksen vaiheessa eri puolilla maailmaa. Huomattavia ovat ne panokset, joita on viime vuosina sijoitettu ja edelleen sijoitetaan vesiviljelyn laajentamiseen ja kehittämiseen niin teollisuus- kuin kehitysmaissakin. Viljelyn biologiset menetelmät ja tekniset ratkaisut ovat vilkkaan kehittelytyön alaisina. Työhön kohdistuvat odotukset ovat suuria ja ennusteet vesiviljelyn tulevasta kasvusta ovat mittavia. Vesiviljely nähdään monella taholla tulevaisuuden alana.

Suomessa kalanviljely on vakiinnuttanut asemansa varteenotettavana taloudellisen toiminnan muotona ja ala on tällä hetkellä rauhoittuneen kasvun vaiheessa. Monet kalanviljelymme erityisongelmat edellyttävät kalanviljelyn biologisten ja teknisten menetelmien jatkuvaa kehittelytyötä ja myöskin ympäristönäkökohtien entistä tarkempaa

huomiota. Uusia sovellutuksia otetaan myös käyttöön tämän päivän kalanviljelys-
sämme.

Kalanviljelyllä on maassamme yli satavuotiset perinteet. Kun kalanviljelytoiminta laajeni Euroopassa 1850- ja 60-luvulla keinollisen hedelmöityksen tultua yleiseen käytäntöön ja myös lohensukuisten lajien tultua kasvatuksen kohteeksi, heräsi kalanviljelyinnostus myös Suomessa. Ensimmäiset viljely-yritykset toteutettiin maassamme vuosina 1858-59, ja viljelyn kohteina olivat lohi, taimen ja nieriä sekä 1860-luvulla myös karppi. Vuosisadan vaihteeseen mennessä oli maahamme rakennettu kymmenkunta kalanviljelylaitosta. Toiminta kohdistui sekä luonnonvesien kalojen mädin haudottamiseen että ruokakalan kasvattamiseen. Kotimaisten lajien lisäksi viljelyn kohteena olivat kirjolohi (silloiselta nimeltään sateenkaarirautu), puronierä ja vähäisessä määrin myös karppi ja bassi. Vaikka useimmat perustetuista laitoksista lopettivatkin varsin pian toimintansa kannattamattomina, oli kalanviljelytyö maassamme pantu alulle, (esim. Siltamaa ja Westman 1992, Eskelinen ym. 1993).

Kalanviljelyn kehityksen kannalta merkittävin askel oli, nykyäänkin toiminnassa olevan, Evon kalanviljelylaitoksen ja kalastuskoeaseman perustaminen v. 1892 (Kirjavainen ja Westman 1992). Sen toiminta kohdistui useiden lammikkokalojen elin- ja viljelymahdollisuuksien selvittämiseen ja viljelytekniikan kehittämiseen. Sen lisäksi koeasemalla harjoitettiin merkittävää kalastukseen ja kalakantojen hoitotyöhön liittyvää koetoimintaa.

Kalanviljelytoiminnan painopiste oli varsin pitkään haudontatoiminnassa, joka kohdistui sekä syys-, että kevätkutuisiin lajeihin. Poikaset istutettiin luonnonvesiin vasta-kuoriutuneina, joskus myös syömään opetettuina. Näin ollen myös viljelytekniikan osalta pääpaino kohdistui haudontalaitteistoihin (haudontakoneisiin, kuten siihen aikaan sanottiin).

Pääasiallinen haudontamenetelmä oli suppilohaudonta. Kiinteiden hautomoiden lisäksi toiminnassa oli myös kevytrakenteisia kenttähautomoita, erityisesti hauen mädin haudottamiseksi. Myös laatikkohaudontamenetelmä oli laajalle levinnyt toimintamuoto. Käytettiin sekä virtaavaan veteen sijoitettavaa laatikkomallia että, etenkin hauen mädin harrasteluonteisessa viljelyssä, järveen sijoitettavaa mallia. Lohikalojen mädin haudonnassa käytettiin lohikaukaloita (lähinnä ns. kalifornialainen tyyppi). Haudotettava mäti oli peräisin luonnonkannoista tai ulkomailta tuotua. Emokalakantojen kasvatus tuli käyttöön lohikalojen osalta 1950-luvulla.

Varsin pitkään pääasiallinen viljelytoiminnan malli oli siis se, että emokalat hankittiin luonnosta, suoritettiin niiden lypsy ja keinohedelmöitys, mäti haudottiin ja poikaset istutettiin luonnonveteen vastakuoriutuneena. Vaikka istutuspoikasten jatkokasvatus onkin tullut yleisempään käytäntöön vasta lähinnä 1950-60-lukujen jälkeen, toteutettiin jatkokasvatukseen liittyviä kokeiluja mm. Evolla jo 1900-luvun alkupuolella, jossa jatkokasvatus tapahtui osaksi luonnonravinnolla osaksi lisäruokinnalla. Poikasten tehollinen allaskasvatus on tullut käytäntöön laajemmassa mitassa vasta 1960-luvulta lähtien lasikuitualtaiden yleistyessä. Poikasten ruokinta tapahtui 1960-luvulle asti tuoreista raaka-aineista (mm. teurasjätteet) valmistetuilla tuorerehuilla sekä planktonilla.

Nykyisen mittapuun mukaan tarkasteltuna maamme kalanviljelytoiminta oli suhteellisen vaatimatonta kuluvan vuosisadan puoliväliin asti. Suomen kalanviljelyn "uuden tulemisen" ja voimakkaan kehitysjakson alku sijoittuu 1960-luvun alkupuolelle. Samanaikaisesti istukastuotannon laajentumisen kanssa virisi yksityisten harrastajien keskuudessa voimakas kiinnostus lohikalojen, erityisesti kirjolohen, viljelyyn lähinnä Tanskasta saadun mallin mukaisesti. Keskeisinä sysäyksinä kehityksessä olivat mm. 1950- ja -60-lukujen taitteeseen ajoittunut kuivarehujen kehittäminen ja käyttöönotto sekä eittämättä myös suomalaisten kalatalousalan ammattimiesten Keski-Eurooppaan ja Tanskaan suuntautunut opintomatka v. 1958. Vuosikymmenen vaihde muodostui lo-pulliseksi kalanviljelyaatteen laajan läpimurron ajankohdaksi siten, että 60-luvun puo-

liväliin mennessä kalanviljelyinnostus oli levinnyt laajalle ja saanut kansanliikettä muistuttavia piirteitä; pienehköjä lammikkoalueita perustettiin runsaasti. Harrasteviljelystä saatujen kokemusten pohjalta käynnistyi varsin nopeasti myös kaupallinen kalanviljelytoiminta. Maassamme ryhdyttiin soveltamaan tehollisen laitoskasvatuksen menetelmiä ja melko pian laadittiin myös laitoskokonaisuuksia, jotka käsittivät ruokakalakasvatuksen kaikki tuotantovaiheet emokala- ja mädintuotannosta lähtien. Kalanviljely-yritysten lukumäärä saavutti erään huipun 1960-luvun lopulla, jolloin haudontatoiminta ja lammikkokasvatusta kaupallisessa mielessä harjoittavien kasvattajien lukumäärä lähenteli 200. Vuonna 1995 kalanviljelylaitoksia oli 691 kpl, joista ruokakalalaitoksia oli 310. Niin ruokakala- kuin myös poikastuotannon viljelytekniikka ovat kehittyneet nopeasti. Kalavesien hoitotoiminnan sektorilla esiintynyt tarve suurempikokoisiin istukkaisiin siirtymisestä asetti uusia viljelytekniisiä haasteita myös istukastuotannolle; jatkokasvatusmenetelmiä kehitettiin sekä intensiivisen (tehollisen ruokintakasvatus kalanviljelylaitoksilla) että ekstensiivisen (lähinnä luonnonravintokasvatus) viljelyn linjoilla.

Valtion harjoittaman kalanviljelytoiminnan erääksi tehtäväkentäksi on määritelty kalanviljelymenetelmien kehittäminen (esim. Westman 1994, 1995a). 1960-luvulla käynnistynyt valtion kalanviljelylaitosverkoston rakentaminen on mahdollistanut puitteet mm. tälle toiminnalle.

Kalojen keinollisen lisäämisen tekniikan jatkuva kehittyminen, kuivarehujen ym. rehukonsentraattien käytön lisääntyminen ja monet muutkin tekniset sovellutukset ovat tehneet mahdolliseksi tuotantotoiminnan pitkälle viedyn automatisoinnin ja rationalisoinnin sekä siirtymisen teollisluonteista tuotantotoimintaa muistuttavaan massakasvatukseen. Esimerkkinä olkoon pitkälle teknistetty lohikalojen viljely, jossa kasvatus tapahtuu suurelta osin tai kokonaan sisätiloissa ja jossa käytetään hyväksi kierto-vesijärjestelmää (veden lämmitys, ilmastus, suodatus), käyttöveden esikäsittelyä (mikro-suodatus ja sterilointi ultraviolettisäteilylaitteistoilla) automaattiruokintaa (esim. tietokonemallien pohjalta) automaattisesti rekisteröiviä veden virtauksen ja laadun valvontalaitteistoja sekä hälytysjärjestelmiä, pitkälle vietyä biologisten tekijöiden (perintötekijät, kutuaika yms.) säätelyä, valaistuksen säätelyä, moninaisia teknisiä apulaitteita kalojen käsittelyssä sekä laitokselta purkautuvien vesien puhdistusjärjestelmiä.

Voimaperäisen, osin pitkällekin teknistyneen viljelytoiminnan rinnalla on erityisesti meillä merkittävän kehityslinjan muodostanut luonnonravintolammikkokasvatusmenetelmän soveltaminen; viimeksi mainitusta on muodostunut viimeksi kuluneiden 20 vuoden aikana erittäin merkittävä toimintamuoto istukastuotannossa. Luonnonravintoviljelijöitä oli Suomessa v. 1995 316 ja lammikkopinta-alaa 9 000 ha.

Verkkoallasviljely alkoi ensin harrastusluonteisena kasvatuksen 1960-luvun puolivälissä, ja siitä tuli nopeasti merkittävä ruokakalakasvatuksen menetelmä. Erityisesti merikasvatus kasvoi voimakkaasti 1980-luvulla. Kirjolohen tuotannosta noin 80 % tapahtuu verkkoaltaissa meressä. Verkkoallasmenetelmää käytetään jossain määrin myös istukastuotannossa.

Viime aikoina erityisen mielenkiinnon kohteeksi ovat nousseet kalalaitosten ympäristövaikutukset. Tällä hetkellä kalanviljelylaitosten suunnittelussa eräs selvä painopiste onkin ympäristöhaittojen vähentämiseen liittyvien ratkaisujen, niin viljelytekniikkaa kuin kasvatuksessa käytetyn veden käsittelyä tarkoittavien menetelmien kehittämistä.

2. KALANVILJELYLAITOSTEN SUUNNITTELU

2.1 Veden laatu

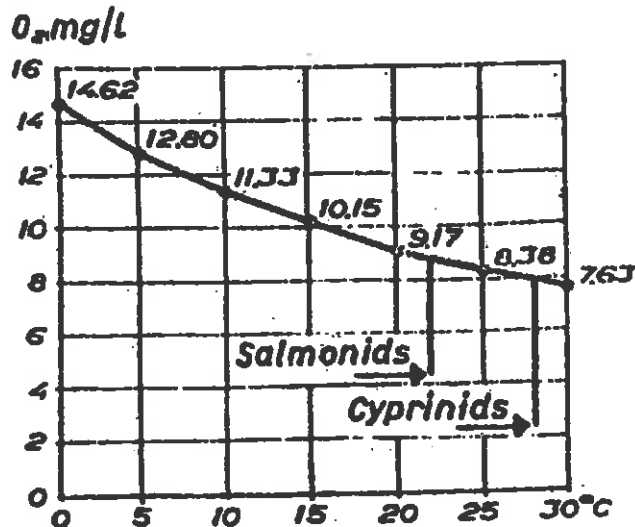
2.11 Happi

Veden soveltuvuutta kalanviljelytarkoituksiin arvostellaan pääasiassa lämpötilaolojen, happipitoisuuden, happamuuden ja veden mukana mahdollisesti kulkeutuvien epäpuhtauksien mukaan. Tärkeätä on myös estää typen ylikyllästyminen viljelyssä käytettävään veteen.

Puhtaaseen veteen liuenneen hapen kyllästyspitoisuus riippuu paineesta ja lämpötilasta. Useimpien lohikalojen happivaatimus on noin 9 mg/l, mikä on mahdollista normaalisti vain alle 20 asteen lämpötilassa (kuva 1). Lyhytaikaisesti happipitoisuus voi laskea huomattavasti edellä mainitun rajan alapuolellekin eli noin 5-6 mg/l. Samoin voidaan sallia hetkellinen ylitys 20 asteen lämpötilaan. Välimerenmaissa saattaa kirjolohilammikon veden lämpö nousta yli 25 asteen. Tällöin lammikossa on oltava sopivaa kasvillisuutta, joka yhteyttäessään tuottaa veteen happea yli kyllästysarvon. Taulukossa 1 on esitetty hapen kyllästysarvot (mg/l) tislatussa vedessä eri lämpötiloissa normaali-ilmanpaineessa 760 mm Hg.

Taulukko 1. Liuenneen hapen kyllästysarvot (mg/l) tislatussa vedessä eri lämpötiloissa normaali-ilmanpaineessa 760 mm Hg. Esimerkiksi 12,6 asteiseen veteen liukenee ilmasta normaali-ilmanpaineessa 10,6 mg/l happea ja veden kyllästysprosentti hapen suhteen on tällöin 100.

°C.	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0.....	14,65	14,61	14,57	14,53	14,49	14,45	14,41	14,37	14,33	14,29
1.....	14,25	14,21	14,17	14,13	14,09	14,05	14,02	13,98	13,94	13,90
2.....	13,86	13,82	13,79	13,75	13,71	13,68	13,64	13,60	13,56	13,53
3.....	13,49	13,46	13,42	13,38	13,35	13,31	13,28	13,24	13,20	13,17
4.....	13,13	13,10	13,06	13,03	13,00	12,96	12,93	12,89	12,86	12,82
5.....	12,79	12,76	12,72	12,69	12,66	12,62	12,59	12,56	12,53	12,49
6.....	12,46	12,43	12,40	12,36	12,33	12,30	12,27	12,24	12,21	12,18
7.....	12,14	12,11	12,08	12,05	12,02	11,99	11,96	11,93	11,90	11,87
8.....	11,84	11,81	11,78	11,75	11,72	11,70	11,67	11,64	11,61	11,58
9.....	11,55	11,52	11,49	11,47	11,44	11,41	11,38	11,35	11,33	11,30
10.....	11,27	11,24	11,22	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03
11.....	11,00	10,98	10,95	10,93	10,90	10,87	10,85	10,82	10,80	10,77
12.....	10,75	10,72	10,70	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,52
13.....	10,50	10,48	10,45	10,43	10,40	10,38	10,36	10,33	10,31	10,28
14.....	10,26	10,24	10,22	10,19	10,17	10,15	10,12	10,10	10,08	10,06
15.....	10,03	10,01	9,99	9,97	9,95	9,92	9,90	9,88	9,86	9,84
16.....	9,82	9,79	9,77	9,75	9,73	9,71	9,69	9,67	9,65	9,63
17.....	9,61	9,58	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,44	9,42
18.....	9,40	9,38	9,36	9,34	9,32	9,30	9,29	9,27	9,25	9,23
19.....	9,21	9,19	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04
20.....	9,02	9,00	8,98	8,97	8,95	8,93	8,91	8,90	8,88	8,86
21.....	8,84	8,82	8,81	8,79	8,77	8,75	8,74	8,72	8,70	8,68
22.....	8,67	8,65	8,63	8,62	8,60	8,58	8,56	8,55	8,53	8,52
23.....	8,50	8,48	8,46	8,45	8,43	8,42	8,40	8,38	8,37	8,35
24.....	8,33	8,32	8,30	8,29	8,27	8,25	8,24	8,22	8,21	8,19
25.....	8,18	8,16	8,14	8,13	8,11	8,10	8,08	8,07	8,05	8,04
26.....	8,02	8,01	7,99	7,98	7,96	7,95	7,93	7,92	7,90	7,89
27.....	7,87	7,86	7,84	7,83	7,81	7,80	7,78	7,77	7,75	7,74
28.....	7,72	7,71	7,69	7,68	7,66	7,65	7,64	7,62	7,61	7,59
29.....	7,58	7,56	7,55	7,54	7,52	7,51	7,49	7,48	7,47	7,45
30.....	7,44	7,42	7,41	7,40	7,38	7,37	7,35	7,34	7,32	7,31



Kuva 1. Lämpötilan vaikutus veden happipitoisuuteen ja kalojen hengitykseen. Esimerkkinä lohikala ja särkikala (Mustajärvi 1989). Kuvasta havaitaan, että lohella kriittinen happipitoisuus on noin 4,2 mg/l ja lämpötila noin 22 astetta. Särjellä vastaavat arvot ovat noin 2,2 mg/l ja 28 astetta.

Happea voidaan mitata vedestä titraamalla tai kannettavalla happimittarilla. Happimittareiden hinnat olivat v. 1996 noin 6500-9000 mk/kpl.

2.12 Typpi

Toinen tärkeä suunnitteluperuste on typen ylikyllästymisen estäminen. Typen ylikyllästys aiheuttaa ns. kaasukuplataudin, joka on syiltään sukeltajataudille sukua oleva tauti. Sille on tunnusomaista pienten kaasukuplien muodostuminen kalan kudoksissa. Se on tappava jo varsin pienelläkin ylikyllästysarvolla. Tauti aiheutuu veteen liuenneiden kaasujen, lähinnä typen pitoisuuden noususta yli sadan prosentin. Kaasukuplatautia saattaa joskus esiintyä luonnonvesissäkin.

Happea voi vedessä olla jopa 350 % lyhytaikaisesti sen aiheuttamatta haittaa, mutta typpikaasun ylikyllästymisestä tulee kaloille haittaa, kun kyllästysarvo on ylitetty 2-18 % riippuen kalan iästä. Nuoret kalat reagoivat voimakkaammin ylikyllästykseen kuin varttuneemmat. *Oncorhynchus* suvun lohilla vaarallinen kyllästysprosentti on vasta-kuoriutuneilla 103-104 %, ensimmäisen kesän sekä vuoden vanhoilla 105-113 % ja aikuisilla 118 % (Naukkarinen 1981).

Pitkäaikaisiksi kyllästysasteen ylärajoiksi on esitetty hapen osalta 105 % ja typen osalta haudonta- sekä alkuvaiheessa poikaskasvatusta 100 % ja myöhemmin 105 %.

Typen ylikyllästystä voi tapahtua jos ilmaa joutuu veden mukana paineelliseen tilaan tai vettä lämmitetään.

Mitä lämpimämpää vesi on, sen vähemmän se voi sisältää liuenneita kaasuja ja niin myös typpeä. Jos vettä lämmitetään, typpeä alkaa vapautua kuplina ilmakehään kunnes tasapainotilanne, 100 % kyllästystila on saavutettu. Veden nopea lämmittäminen esimerkiksi 1 asteesta 6 asteeseen aiheuttaa 113 % ylikyllästystilanteen ja typpikuplia alkaa muodostua. Taulukossa 2 on esitetty liuenneen typen kyllästysarvot (ml/l) tislatussa vedessä eri lämpötiloissa normaali-ilmanpaineessa 760 mm Hg.

Typpeä voidaan mitata vedestä kannettavalla saturometrillä. Saturometri maksoi v. 1996 noin 15 000 mk /kpl.

Taulukko 2. Lluenneen typen kyllästysarvot (ml/l) tislatussa vedessä eri lämpötiloissa normaali-ilmanpaineessa 760 mm Hg. Esimerkiksi 12,6 asteiseen veteen liukenee ilmasta normaali-ilmanpaineessa 14,1 ml/l typpeä ja veden kyllästysprosentti typen suhteen on tällöin 100.

°C.	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0.....	18,92	18,87	18,82	18,77	18,72	18,68	18,63	18,58	18,53	18,48
1.....	18,43	18,39	18,34	18,29	18,25	18,20	18,15	18,11	18,06	18,02
2.....	17,97	17,92	17,88	17,83	17,79	17,74	17,70	17,66	17,61	17,57
3.....	17,52	17,48	17,44	17,40	17,35	17,31	17,27	17,22	17,18	17,14
4.....	17,10	17,06	17,02	16,98	16,93	16,89	16,85	16,81	16,77	16,73
5.....	16,69	16,65	16,61	16,57	16,53	16,49	16,46	16,42	16,38	16,34
6.....	16,30	16,26	16,23	16,19	16,15	16,11	16,08	16,04	16,00	15,96
7.....	15,93	15,89	15,85	15,82	15,78	15,75	15,71	15,67	15,64	15,60
8.....	15,57	15,53	15,50	15,46	15,43	15,40	15,36	15,33	15,29	15,26
9.....	15,22	15,19	15,16	15,12	15,09	15,06	15,03	14,99	14,96	14,93
10.....	14,89	14,86	14,83	14,80	14,77	14,73	14,70	14,67	14,64	14,61
11.....	14,58	14,55	14,52	14,48	14,45	14,42	14,39	14,36	14,33	14,30
12.....	14,27	14,24	14,21	14,18	14,15	14,12	14,10	14,07	14,04	14,01
13.....	13,98	13,95	13,92	13,89	13,87	13,84	13,81	13,78	13,75	13,73
14.....	13,70	13,67	13,64	13,61	13,59	13,56	13,54	13,51	13,48	13,45
15.....	13,43	13,40	13,37	13,35	13,32	13,29	13,27	13,24	13,22	13,19
16.....	13,16	13,14	13,11	13,09	13,06	13,04	13,01	12,99	12,96	12,94
17.....	12,91	12,89	12,86	12,84	12,81	12,79	12,77	12,74	12,72	12,69
18.....	12,67	12,65	12,62	12,60	12,58	12,55	12,53	12,51	12,48	12,46
19.....	12,44	12,41	12,39	12,37	12,34	12,32	12,30	12,28	12,25	12,23
20.....	12,21	12,19	12,17	12,14	12,12	12,10	12,08	12,06	12,03	12,01
21.....	11,99	11,97	11,95	11,93	11,91	11,89	11,86	11,84	11,82	11,80
22.....	11,78	11,76	11,74	11,72	11,70	11,68	11,66	11,64	11,62	11,60
23.....	11,58	11,56	11,54	11,52	11,50	11,48	11,46	11,44	11,42	11,40
24.....	11,38	11,36	11,34	11,32	11,30	11,28	11,26	11,25	11,23	11,21
25.....	11,19	11,17	11,15	11,13	11,11	11,10	11,08	11,06	11,04	11,02
26.....	11,00	10,99	10,97	10,95	10,93	10,91	10,90	10,88	10,86	10,84
27.....	10,83	10,81	10,79	10,77	10,76	10,74	10,72	10,70	10,69	10,67
28.....	10,65	10,64	10,62	10,60	10,59	10,57	10,55	10,54	10,52	10,50
29.....	10,49	10,47	10,45	10,44	10,42	10,40	10,39	10,37	10,35	10,34
30.....	10,32	10,31	10,29	10,27	10,26	10,24	10,23	10,21	10,20	10,18

Jos putkessa vallitsee yhden metrin vesipatsasta vastaava ylipaine ja siihen pääsee liukenemaan ylipainetta vastaava määrä typpeä, tämä aiheuttaa paineen hellittäessä 110 % kyllästykseen. Kolmen metrin vesipatsaan paine aiheuttaisi vastaavasti 129 % kyllästykseen.

Kyllästystilanne voi myös syntyä, kun vesi syöksyy voimalaitoksen turbiinien läpi tai tulvaluukusta syvään altaaseen padon alapuolella vieden mukanaan ilmakuplia veteen, jossa niistä liukenee typpeä. Myös luonnonputousten alapuolella saattaa syntyä vastaava tilanne.

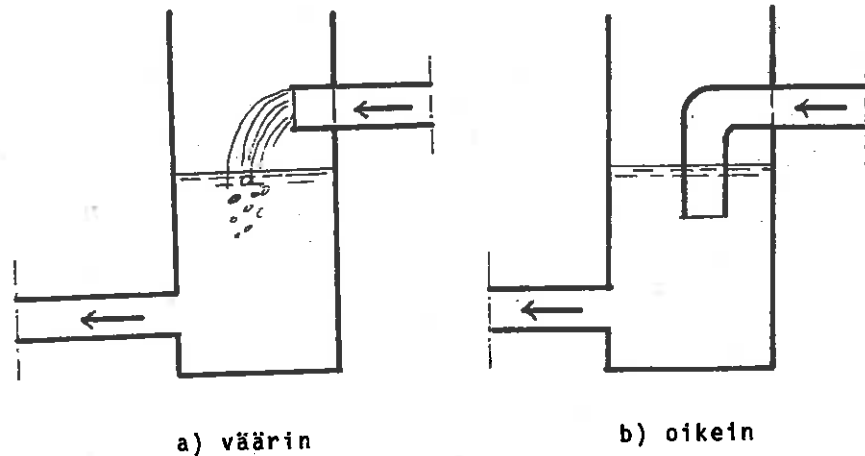
Kuvissa 2 ja 3 on esitetty tyypillisimmät tilanteet, jossa typen ylikyllästymisen on mahdollista vedenotto- ja jakelukaivoissa. Kuvissa on myös esitetty miten ylikyllästymisen voidaan välttää.

Veden ilmastuksessa tulee typen ylikyllästämisen estämiseksi myös välttää sellaisia ilmastimia, jotka johtavat ilmaa yli 1,5 metrin syvyyteen.

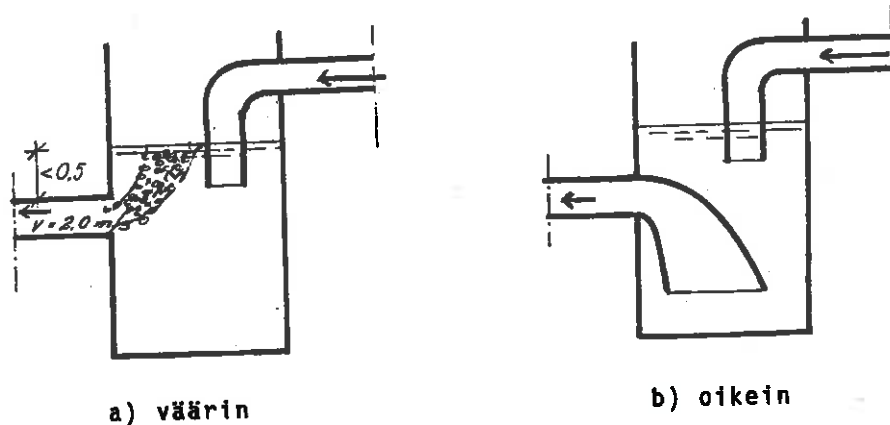
Typen ylikyllästyneisyyden poistamiseksi on olemassa erilaisia ilmastusmenetelmiä. Vanhin ja tunnetuin on "INKA" ilmastin. Siinä vesi johdetaan ohuena kerroksena reititetyin levyn läpi ja alta puhalletaan ilmaa niin paljon, että vesi kuohuu valkoisena. Kä-

sittelyn jälkeen veden hapen ja typen kyllästysaste on lähellä 100 %. Myös kennoilmastimia on käytetty typen ylikyllästyneisyyden poistamiseen. Ne eivät vaadi puhallusenergiaa. Vesi varisee niissä tehdasvalmisteisen mehiläiskennoja muistuttavan rakenteen läpi alas.

Kiertovesilaitoksissa joissa vettä lämmitetään (yleensä haudonnassa ja starttivaiheessa) typen ylikyllästyneisyyden poistaminen ilmastuksen avulla on aivan välttämätöntä.



Kuva 2. Vesi ilmastuu ennen joutumistaan paineelliseen tilaan (kuva a), jolloin on typen ylikyllästymisvaara. Kuvan b) mukaisella muutoksella ei vaaraa ole.



Kuva 3. Lähtöputki kuvassa a) imee ilmaa (häränsilmä). Korjaus kuvan b) mukaisesti.

2.13 Happamuus

Eri kalalajien happaman veden sietokyky vaihtelee. Taimenella ja kirjolohella sietorajat ovat:

	säilyy hengissä	viljelyssä suotava
Kirjolohi pH	5,4-9,2	6,3-8,4
Taimen	5,0-9,2	5,7-8,0

Happamuuden tulisi olla lähellä neutraalia eli pH 7,0, mutta veden katsotaan soveltuvan kalanviljelyyn kaikissa 6,2 ja 8,0 välisissä pH-arvoissa. Ehdottomana alarajana lohikaloille pidetään pH arvoa 5,0. Rautapitoisessa vedessä kuitenkin noin pH 5,5. Näissä arvoissa kalat voivat olla vain lyhytaikaisesti.

Suotavan alueen ulkopuolella mm. kasvunopeus heikkenee. Jos vesistön valuma-alueella on alunamaita pH voi laskea alle kalojen sietorajan. Samoin voi käydä silloin, kun valuma-alueesta suuri osa on suota (luonnonravintolammikot). Tämä tapahtuu usein kuivakausien jälkeisten rankkasateiden yhteydessä. Alunamaita esiintyy eniten Pohjanmaalla, jossa myös salaojitukset ja valtaojitukset pahentavat ilmiötä. Suoalueita on eniten Pohjois-Suomessa ja Lapissa. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Pohjois-Suomen keskuskalanviljelylaitokselle Taivalkoskella jouduttiin rakentamaan 1990 luvun alussa kalkinsyöttölaitteet, koska kevättulvalla suoalueilta tulevan veden pH uhkasi laskea hetkellisesti alle tason 5.

2.14 Raskasmetallit

Raskasmetallipitoisuuksille on esitetty mm. seuraavat enimmäispitoisuudet (Mustajärvi 1980).

Metalli	Sallittu pitoisuus (jatkuva) mg/l
Rauta Fe	0,3
Mangaani Mn	1,0
Alumiini Al	0,1
Sinkki Zn	0,04
Lyijy Pb	0,01
Elohopea Hg	0,1
Cadmium Cd	0,002
Kupari Cu	0,005
Kromi Cr	0,01

2.15 Lämpötila

Kevätkutuisilla lajeilla, joita ovat mm. kirjolohi, kuha, hauki ja harjus, voidaan mädin haudonta suorittaa suhteellisen lämpimällä vedellä. Sopiva lämpötila kirjolohen haudonnassa on 9-10 astetta (Mustajärvi 1980). Tämä on mahdollista vain lämmittämällä haudontavettä. Talvisin kalanviljelylaitoksilla veden lämpötila vaihtelee 0,1-3 asteen välillä. Pohjaveden lämpötila on ympäri vuoden Etelä-Suomessa noin 5,5-6 astetta ja Pohjois-Suomessa 1,5-3,0 astetta vähemmän. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Taivalkosken kalanviljelylaitoksessa pohjaveden lämpötila on talvisin vain 3 astetta.

Kuoriutumisen jälkeen lämpötilan tulisi tasaisesti nousta lähelle 10 astetta. Poikasille on eduksi jos lämpötila ei nouse tästä enää ruskuaispussivaiheessa.

Yleensä pidetään kasvatusveden optimilämpötilana lohikaloille väliä 15-18 astetta. Mädituotantoa varten pidettävien emokalojen kasvatusvesi voi olla viileämpää noin 13-15 asteista. Petomaiset lohikalat eivät siedä alle 0,1 asteista vettä ja sietokyvyn yläraja on noin 22 astetta jos happitilanne on hyvä. Talvella taimenen poikaset voivat jo-

pa kaksinkertaistaa painonsa 2-3 asteisessa vedessä. Nolla-asteisessa vedessä ne eivät kasva.

Tietyissä olosuhteissa veden lämpötila saattaa laskea nolla-asteen alapuolelle. Makeassa vedessä alijäähtymisestä on yleensä seurauksena supon esiintyminen, mistä on haittaa kaloille kidusten vahingoittuessa, mutta ennenkaikkea vaaraa laitoksen vesitykselle. Alijäähtynyt vesi tarttuu herkästi vesiteihin, välppiin ja munkkeihin ja lähinnä niiden metallirakenteisiin. Merialueella vesi laskee nollan alapuolelle ennen jäätymistään johtuen meriveden suolapitoisuudesta. Merialueella verkkokassikasvattajat huokaisevat helpotuksesta, kun meri jäätyy ja myrskyt poistuvat.

Siian haudonnan onnistumisella on veden lämpötilalla ja etenkin sen säätömahdollisuudella suuri merkitys. Koska haudonta-ajan kesto riippuu suoraan käytettävän veden lämpötilasta, saattavat poikaset kuoriutua niin aikaisin keväällä, että luonnonravintolammikoissa tai järvissä, joihin poikaset tulisi istuttaa ei ole vielä kehittynyt niille ravinnoksi sopivaa planktonia. Tällöin istutuserä saattaa tuhoutua. Kuoriutuneita siian poikasia ei voida pitää kalanviljelylaitoksella kuin pari kolme vuorokautta, sillä ne käyttävät ruskuaispussinsa ravinnon hyvin nopeasti, jonka jälkeen ne on siirrettävä luonnonmukaiseen ympäristöön. Jotta haudonta-aikaa voitaisiin pidentää tarvittaessa tulisi olla käytettävissä mahdollisimman kylmää vettä (jokivesi, järven jään alainen pintavesi), jonka avulla haudontavesi voitaisiin säätää sopivan lämpöiseksi tai sitten käyttää koneellista jäähdytystä.

Etsittäessä valtion kalanviljelylaitoksille rakentamispaiikkoja on käytetty seuraavan asetelman mukaisia lämpötilavaatimuksia:

Lämpötilasuositukset:

	Suositus	Sallittava	Hetkellisesti sallittava
Talvi	1-6 C	0,1 C	0,01 C
Kesä	18 C	20 C	22 C

2.16 Kalkki, kovuus, sameus, väri

Vesi soveltuu kalanviljelyyn sitä paremmin, mitä enemmän liuenneita kivennäisaineita se sisältää. Kalkkipitoinen vesi on hyvää. Sen pH on lähellä neutraalia, pH muutokset ovat vähäisiä, eivätkä myrkylliset aineet vaikuta siinä yhtä herkästi kuin pehmeässä vedessä. Runsas kiintoainepitoisuus ja humus (veden sameus ja ruskeus) haittaavat viljelyä. Vesianalyysin perusteella vesi on kalanviljelyyn sitä parempaa, mitä korkeampi on alkaliteetti, kovuus ja johtokyky ja mitä pienempi on väri, KMNO₄-kulutus ja kiintoaine.

2.17 Rehevyys

Rehevä, runsaasti fosforia ja typpeä sisältävä vesi soveltuu huonosti kalanviljelyyn. Rehevissä järvissä esiintyy usein hapen puutetta loppukesällä ja talvella etenkin alusvedessä. Kasviplankton aiheuttaa niissä kesäisin ajoittain leväsamennuksia, veden kukkaa. Tällöin hajoava ja kesäisin hengittävä kasviplankton voi yöllä alentaa voimakkaasti pintaveden happipitoisuutta ja pH:ta kun taas päivällä pH kohoaa normaalin yläpuolelle planktonin kuluttaessa hiilidioksidia yhteyttäessään.

2.18 Suolaisuus

Meriveden suolapitoisuus on eduksi lohikaloille poikasvaiheen jälkeen (lohella ja taimenella smolttivaihe). Suomen rannikon murtoveden suolaisuutta (1-6 0/00) ainakin lohi, taimen, kirjolohi, siika, kuha ja hauki kestävät jo ensimmäisenä kesänä, joskin niiden menestyminen voi olla huonompi kuin makeassa vedessä. Murtovedessä esiintyy erilaisia loisia ja tauteja kuin makeassa vedessä, mikä osaltaan vaikuttaa viljelytuloksiin. Haudontakin onnistuu laimeassa murtovedessä joskin usein huonommin kuin makeassa vedessä.

2.19 Vedenlaatusuositukset

Valtion kalanviljelylaitosten paikkojen etsinnässä on käytetty seuraavia Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen antamia vedenlaatusuosituksia:

	Suositus	Sallittava	Hetkellisesti sallittava
O ₂ -pit	90 %	80 %	70 %
pH	6,5	6,2	6,0
Johtokyky	40 us	30 us	20 us
Väri	30 mgPt/l	80 mgPt/l	120 mgPT/l
Rauta	0,2 mg/l	0,4 mg/l	0,6 mg/l

2.2 Veden tarve

Kaikki Suomessa viljeltävät kalalajit tarvitsevat suhteellisesti paljon hapekasta vettä. Veden vaihtoa tarvitaan tuomaan kaloille veden mukana happea kulutetun tilalle, poistamaan haitalliset aineenvaihduntatuotteet (mm. hiilidioksidi ja ammoniakki) sekä estämään taudinaiheuttajien kerääntyminen kasvatustiloihin.

Veden tarpeesta puhuttaessa käytetään virtaamasta (Q) määrällisesti yksikköä l/s (litraa sekunnissa) tai myös arvoa l/min (litraa minuutissa). Kalanviljelylaitoksen veden tarve on mitoitettava suurimman tarpeen mukaan. Se ajoittuu yleensä loppukesään, jolloin kalamäärät ovat suurimmillaan, veden lämpötila korkea ja vesistöjen virtaamat varsinkin vähäjärvisissä vesistöissä pieniä. Veden kokonaistarve on yhtäaikaan käytössä olevien eri viljely-yksiköiden yhteenlaskettu virtaama. Hautomossa käytettävää vettä ei kokonaistarvetta laskettaessa tarvitse ottaa lukuun, jos hautomoa, kuten yleensä, ei käytetä loppukesällä. Talvella, jolloin vesi on kylmää, veden tarve on noin 1/2-1/3 kesän maksimivirtaamasta.

2.21 Hautomo

Taulukko 3. Haudonnan vedentarve yhtä mättilitraa kohti erilaisilla haudontalaitteilla (Naukkarinen 1981).

Laite	Q (l/min)	Taivalkosken kalanviljelylaitoksen veden käyttö
Kaukalo	1,0 - 1,25	10 l/min (4-6 l mätää/kaupalo)
Laatikkosarja	1,0 - (3,0)	Ei ole käytössä
Suppilo	0,4	5 l/min (mätää 10 l/suppilo)
Suppilo	1,0	4 l/min (mätää 5 l/suppilo)
Siilo	0,32	Ei ole käytössä
Saavi	0,35 (arvio)	11 l/min (mätää noin 10 l/saavi)

Haudontaveden lämpötilan on taulukossa 3 otaksuttu olevan alle 10 astetta.

Yhdessä litrassa mätää on 4 000-5 000 lohen, 5 000-10 000 kirjolohen tai taimenen, 12 000- 15 000 nieriän ja noin 55 000 vaellus- tai planktonsiian mätimunaa (Huet 1979). Laji- ja kantakohtaiset vaihtelut ovat hyvin suuria.

Hautomotoimintaa on käsitelty jäljempänä kohdassa 2.32.

2.22 Jatkokasvatus

Luultavasti paras menetelmä veden tarpeen arvioimiseksi on Liaon (1971) kehittämä. Yli kolmensadan erilaisissa olosuhteissa tehdyn tulo- ja poistoveden happipitoisuuden mittauksella hän arvioi eri tekijöiden vaikutusta hapentarpeeseen. Näitä olivat mm. laji, kalan koko, kalatiheys, virtaama, lämpötila, rehutyypin, ruokinnan tehokkuus, kasvatusaltaiden tyyppi ja koko. Asettamalla poistuvan veden hapen minimiarvoksi 6 mg/l, Liaon esittämä yhtälö ottaa huomioon ruokintaintensiteetin ja rehutyypin ja varmistaa, että esitetyllä veden käytöllä kalat kasvavat kunnolla.

Liaon yhtälön pohjalta on Skjervold (1973) laskenut vuosikäyrät, jotka ilmoittavat veden tarpeen litroina minuutissa kalakiloa kohden. Käyrät on laadittu lohelle ja kirjolohelle erikseen, kun tulovedessä on happea 80, 85, 90 ja 95 % kyllästysarvosta. Skjervoldin käyriä voidaan käyttää kun kalatiheys on alle 32 kiloa vesikuutiometrille ja veden lämpötila korkeintaan 18 astetta. Käyrien perusteella voidaan kuitenkin arvioida vedentarvetta myös korkeammassa lämpötiloissa. Skjervoldin vedentarvekäyrät on esitetty kuvassa 4 lohen osalta, kun tulovedessä on happea 95 % kyllästysarvosta. Kirjolohen vedentarve on hieman pienempi kuin lohella. Kuvan 8 käyrillä voidaan määrittää veden tarve kaloille joiden koko on välillä 0,1 - 4 000 g. Veden lämpötila vaihtelee välillä 4-18 astetta.

Seuraavassa on esimerkin vuoksi laskettu veden tarve sellaisella kirjolohilaitoksella, jolla on loppukesästä 50 000 kiloa yksikiloisia kirjolohia sekä 10 000 kg 2-kesäisiä 200 gramman kirjolohen poikasia. Veden lämpötila on 18 astetta.

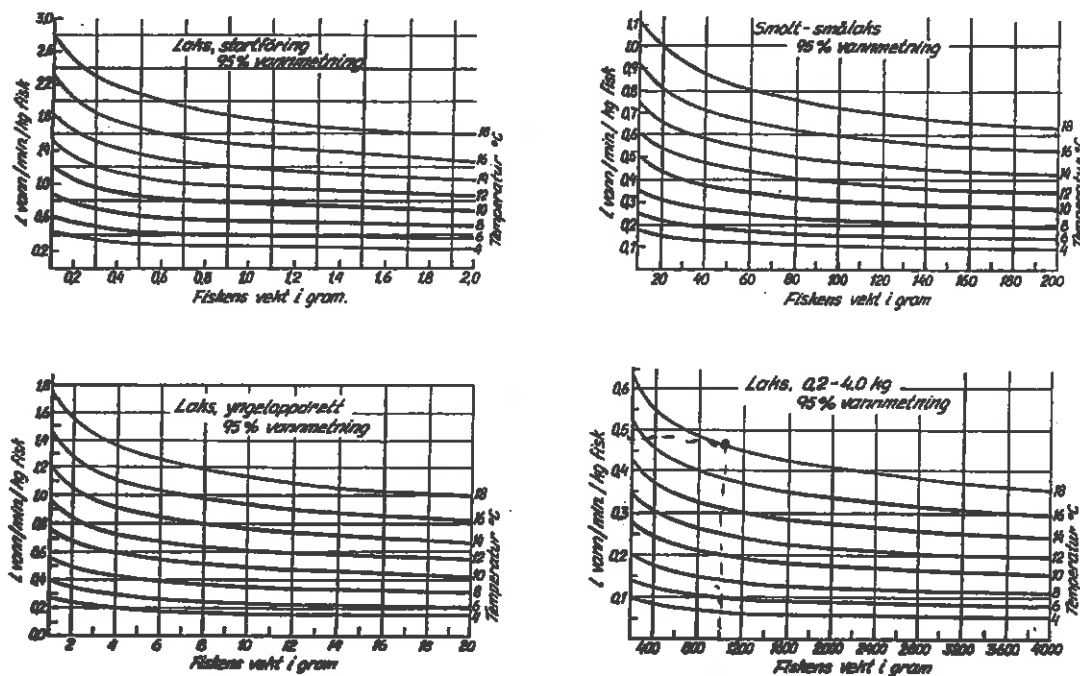
Isot (1000 g) kirjolohet tarvitsevat vettä noin 0,47 litraa minuutissa kalakiloa kohden. Isojen kirjolohien kokonaisvedentarve on $50\,000\text{ kg} \times 0,47\text{ l/min} = 23\,500\text{ l/min}$, mikä on 392 l/s.

Pienet (200 g) kirjolohet tarvitsevat vettä 0,65 litraa minuutissa kalakiloa kohden. Pienten kirjolohien veden tarve on $10\,000\text{ kg} \times 0,65\text{ l/min} = 6\,500\text{ l/min}$, mikä on 108 l/s. Koko laitos tarvitsee vettä 500 l/s.

Mikäli veden tarve arvioitaisiin 16 asteisella vedellä niin kokonaistarpeeksi saataisiin 423 l/s. Veden tarve olisi 16 asteisella vedellä noin 15 % pienempi kuin 20 asteisella vedellä. Likimäärin voidaan arvioida, että jos esimerkkitapauksessa veden lämpötila

nousisi 20 asteeseen niin 18 asteessa laskettua vedentarvetta olisi korotettava noin 20 prosentilla eli laitoksen kokonaisvedentarpeeksi saataisiin noin 600 l/s.

Kokemuspäisen tiedon perusteella kirjolohen kasvattajat arvioivat, että vettä tarvitaan noin 10 l/s kasvatettavaa 1000 kalakiloa kohti. Laskelma antoi saman tuloksen.



Kuva 4. Eri kokoisten lohien veden tarve (l/min) yhtä kalakiloa kohti eri lämpötiloissa, kun otettavan veden kyllästysaste hapen suhteen on 95 % (Skjervold 1973).

2.3 Viljelytekniikka

2.31 Yleistä

Tärkeimmät viljelykalat maassamme ovat lohi, kirjolohi, taimen ja siika. Muita viljeltyjä lajeja ovat nieriä, harjus, hauki ja kuha. Näistä hauki, kuha ja harjus kutevat keväällä jäiden lähdettyä, kirjolohi kevättälvellä ja lohi, nieriä, taimen ja siika syysjoulukuussa.

Viljeltävät kalalajit jaetaan lämpimien ja kylmien vesien kaloihin siten, että lämpimien vesien kaloilla tulee kesänaikainen veden lämpötila olla yli 20 astetta ja kylmien vesien kaloilla sen alle. Suomessa viljeltävät kalalajit kuuluvat kylmien vesien kaloihin.

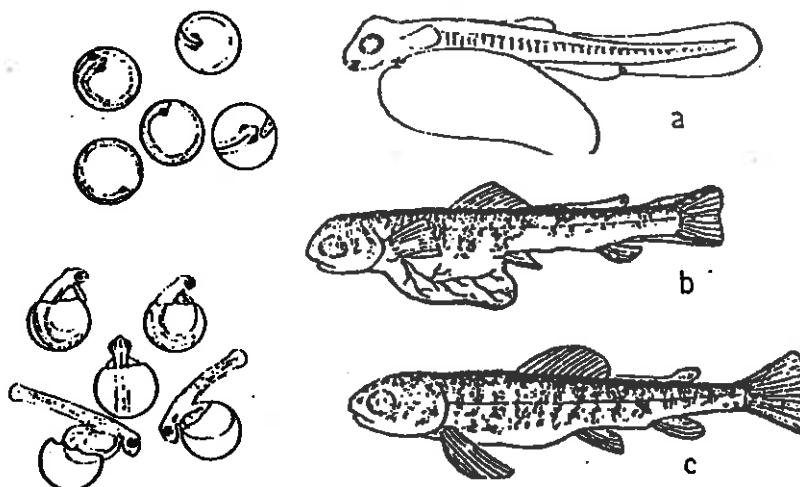
Lämpimän veden lajien, kuten karppien, kasvatusta tapahtuu yleensä matalissa heikosti virtaavissa lammikoissa, jopa riisiviljelmissä. Kylmän veden kalat kuten lohikalat tarvitsevat suhteellisen paljon virtaavaa vettä ja vastaavasti lammikkoon syvyttä niin paljon ettei veden lämpötila lämpiminä aikoina nouse haitalliseksi. Viljelymenetelmät vaihtelevat maassamme lajikohtaisesti. Lohen vaelluspoikanen tuotetaan yleensä kalanviljelylaitoksella, kun taas siian kasvatusta istutuskokoon suoritetaan yleensä vain

haudonnan osalta laitoksella ja sen jälkeen luonnonravintolammikossa. Viimeaikoina on kuitenkin myös laitoksilla kasvatettu siian poikasia 1- kesäisiksi. Tämän on mahdollistanut rehujen kehittyminen.

2.32 Haudonta

Hedelmöitetty mäti haudotaan kalanviljelylaitoksella poikasiksi virtaavassa riittävän happipitoisessa ja mahdollisimman puhtaassa vedessä. Hautomovesi on usein suodattava kiintoaineen poistamiseksi siitä ennen käyttöä.

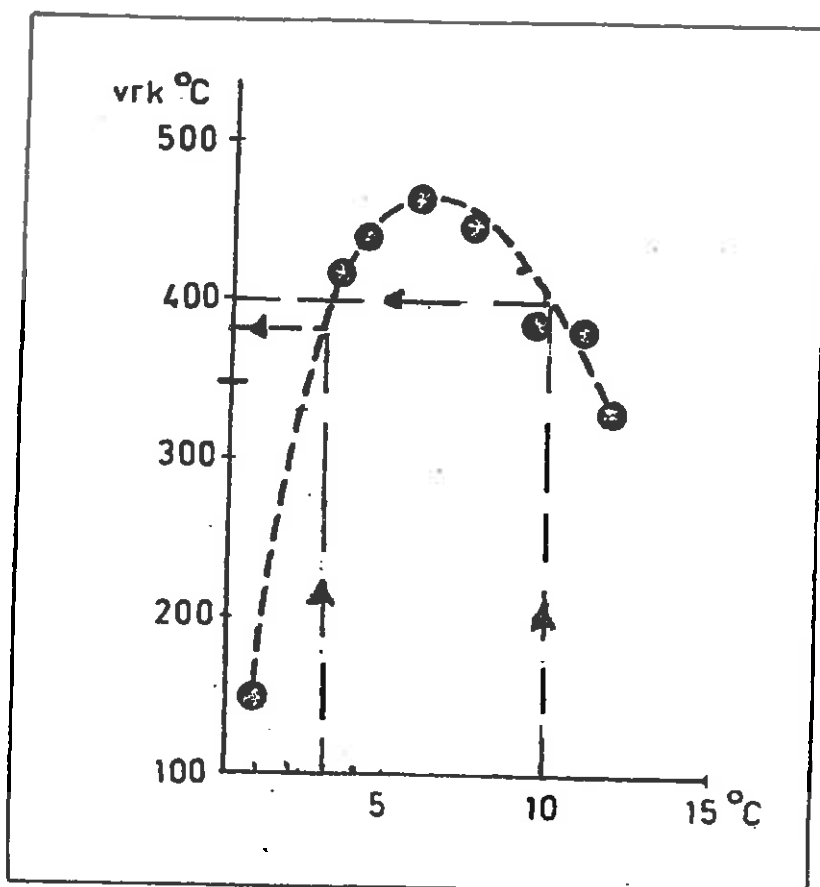
Haudonnan edistymistä voidaan seurata vaiheittain (kuva 5). Ensimmäinen vaihe käsittää ajan hedelmöityksestä ns. silmäpisteasteeseen. Mäti on tässä vaiheessa erittäin herkkää mekaaniselle käsittelylle ja voi tuhoutua pienestäkin haudontakaukalon tärähdyksestä. Silmäpisteasteella mätiä voidaan käsitellä ja siirtää paikasta toiseen. Toinen vaihe käsittää ajan silmäpisteasteelta poikasten kuoriutumiseen ja kolmas ajan, jossa poikanen käyttää alkuravintonaan olevan ruskuaispussin loppuun sekä alkaa liikkua ja etsiä ulkoista ravintoa.



Kuva 5. Kehitysvaiheet haudonnan aikana. Vasemmalla silmäpisteaste ja kuoriutuminen. Oikealla poikasen kehitys a) kuoriutunut b) ruskuaispussivaihe c) ulva poikanen (Huet 1979).

Mäti joko siirretään kuoriutumista varten poikasaltaiisiin asettimille, joissa niiden alkukasvatus tapahtuu tai poikaset pidetään haudontakaukaloissa, joista on poistettu mätiasettimet siihen saakka, kunnes ne ovat oppineet ottamaan ravintoa ja kestävät siirtämisen.

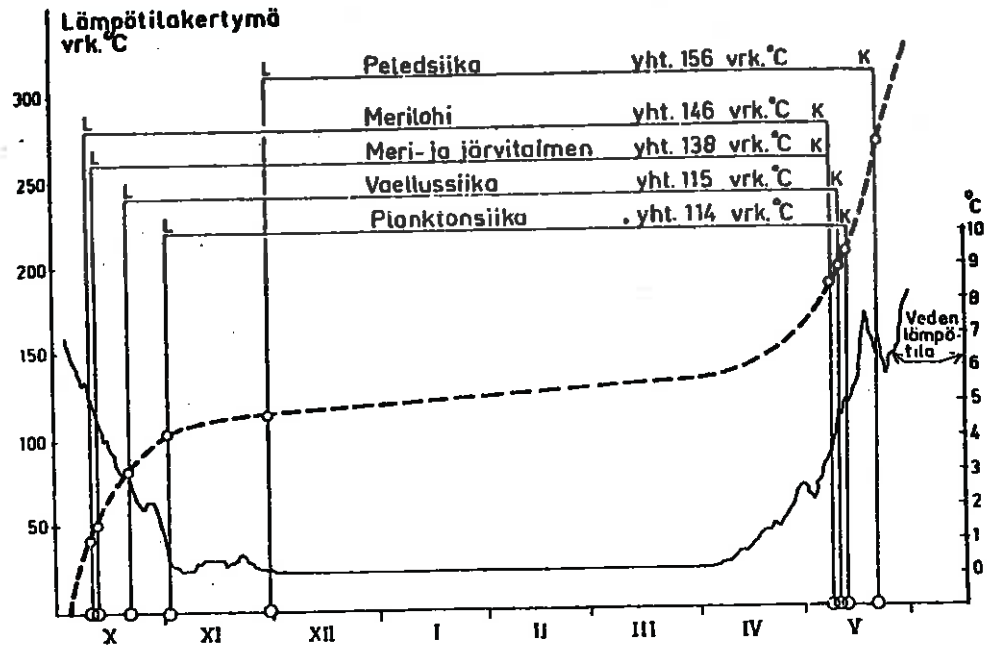
Haudonta-aika ja vaiheet lasketaan ns. vuorokausiasteina eli haudonnan aikana vuorokausittain mitattujen haudontaveden lämpötilojen summana. Lämpötilakertymää tarkkailemalla voidaan ennakoida odotettavissa olevat tapahtumat mädin kehityksessä ja varautua niihin. Haudonta-ajan pituutta voidaan siis säädellä muuttamalla haudontaveden lämpötilaa. Vuorokausiasteina laskettu haudonta-aika riippuu veden lämpötilasta, jonka takia eri laitoksille saadaan erilaisia vuorokausiastesummia. Taimenella riippuvuus on kuvan 6 mukainen.



Kuva 6. Lämpötilasumman riippuvuus haudontaveden lämpötilasta taimenen haudonnassa hedelmöityksestä kuoriutumiseen (Naukkarinen 1981). Esim. jos haudontaveden lämpötila on + 3 ° C, niin lämpötilasumma on 380 vrk ° C. Haudonta vie aikaa $380 \text{ vrk } ^\circ \text{C} : 3 ^\circ \text{C} = 126,7 \text{ vrk}$. Jos haudontaveden lämpötila on + 10 ° C, niin lämpötilasumma 400 nrk ° C. Haudonta-aika on 40 vrk.

Kuvassa 7 on esitetty Oulujoella Montan kalanviljelylaitoksen haudonta-ajan vedenlämpö ja lämpötilakertymä haudontakaudella 1979-1980. Kuvaan on merkitty eri kalalajien mädin haudonnan kesto ja vuorokausiastesumma.

Mäti sietää varovaista käsittelyä noin 100 tuntiaasteeseen saakka hedelmöityksestä. Tämän jälkeen seuraa vaihe, jolloin sen on annettava olla täysin rauhassa, kunnes silmäpisteaste on saavutettu. Tällöin voidaan poistaa kuolleet, valkeiksi muuttuneet mätimunat ja vaikkapa siirtää mäti toiseen laitokseen.



Kuva 7. Haudonnan kulku Montan kalanviljelylaitoksella Oulujoella haudontakaudella 1979-1980 (Naukkarinen 1981). L = lypsy K = kuoriutuminen

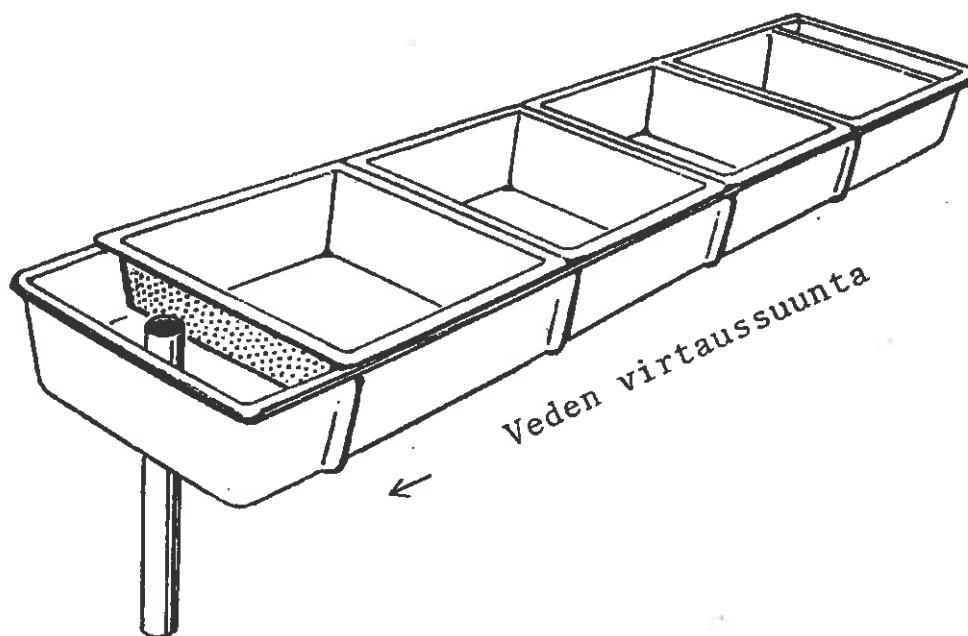
2.33 Haudontamenetelmät ja laitteet

Hautomo on useimmiten erotettu muusta kasvatustilasta. Hautomossa työskennellään säännöllisesti asetettaessa hedelmöitetty mäti haudontalaitteisiin sekä sen jälkeen kun mäti on tullut silmäpisteasteelle. Hautomon lämpötila tulisi voida nostaa työskentelyaikoina noin 10-15 asteeseen. Muulloin lämpötila voi olla noin 1-5 astetta. Valaistuksen tulee olla hyvä silloin kun siellä työskennellään mutta suoran auringonvalon osuminen mätimuniin on estettävä. Muutoin hautomo voi olla pimeänä. Mikäli hautomossa on ikkunat niin ne on varustettava kaihtimilla.

Lohi ja taimen ovat syyskutuaisia kaloja. Mädin lypsy tapahtuu yleensä lokakuussa. Hedelmöitetty mäti voidaan hautoa virtaavassa vedessä haudontakaukaloissa, silloissa, laatikoissa tai saaveissa. Paras tulos saavutetaan haudonnassa silloin, kun mätimunat voidaan asettaa alustalle siten, että kukin mätimuna on omalla paikallaan, jolloin mm. kuolleet (valkoiset) mätimunat voidaan poistaa (haudontakaukalot).

Haudontakaukalot

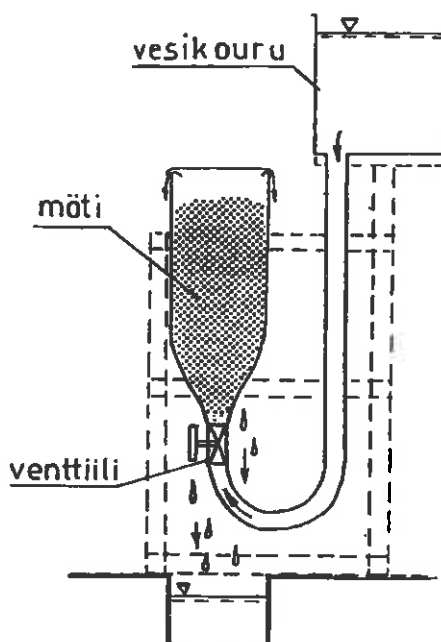
Lohikalojen mäti haudotaan tavallisimmin kaukaloissa (kuva 8). Kaukaloon kuuluvat laatikot, joiden päälle mäti sijoitetaan. Yhdessä kaukalossa voi olla yksi tai useampia laatikko, yleensä 4 kpl. Laatikon pohja ja yksi sivu on rei'itettyä alumiinilevyä. Vesi virtaa laatikon pohjan läpi, ulos laatikon sivulta ja sen jälkeen seuraavan laatikon alle jne.



Kuva 8. Haudontakaukalo neljällä asettimella. Yhdelle asettimelle laitetaan tavallisesti 1 litra mätää.

Haudontasuppilot

Siiian mätä haudotaan yleisimmin haudontasuppiloissa (kuva 9). Suppilon koon tulee olla sellainen, että siihen haudottavaksi asetettava mätimäärä on normaalisti saatavissa yhdellä kertaa, jotta saman suppilon poikaset kuoriutuisivat mahdollisimman yhtäaikaan. Paljon käytettyjä kokoja ovat 12, 18 ja 25 litran vetoiset suppilot. Mätää suppiloon laitetaan $1/3-2/3$ suppilon tilavuudesta. Parhaiksi ovat osoittautuneet lasista tehdyt suppilot.

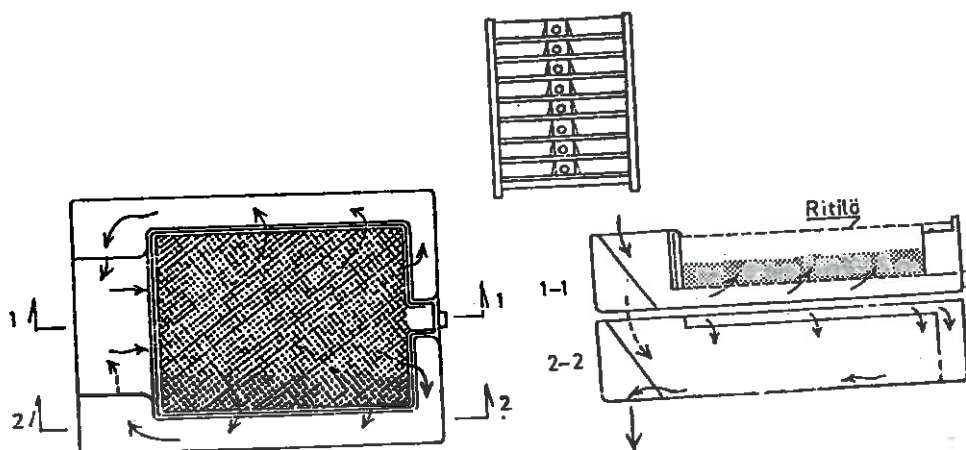


Kalanviljelylaitoksilla on ilmennyt typen ylikyllästyneisyyttä, kun venttiili on sijoitettu haudontasuppiloon vettä johtavan putken yläpäähän välittömästi kourun alle, sillä putkeen muodostuu alipainetta (vesi roikkuu putkessa). Venttiili pitää sijoittaa välittömästi suppilon alle.

Kuva 9. Haudontasuppilo.

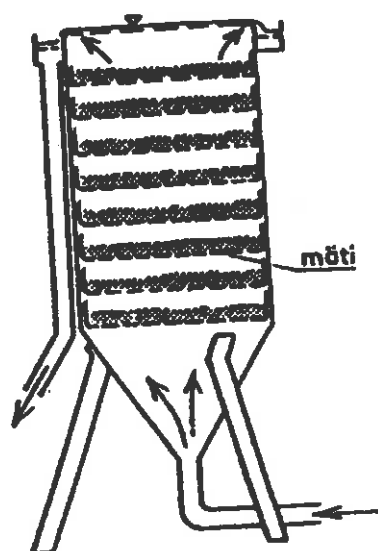
Muut haudontalaitteet

Matalia, kuvassa 10 esitettyjä haudontalaatikoita voidaan asettaa päällekkäin telineeseen laatikkosarjaksi ja näin vähentää hautomon tilantarvetta. Vesi virtaa ylhäältä alaspäin laatikosta toiseen. Haudontamenetelmää kutsutaan tihkuhaudonnaksi. Ennen kuoriutumista on mäti siirrettävä kaukaloihin tai asettimille poikasaltaaseen, jotta poikaset pääsevät uimaan. Tihkuhaudontamenetelmää käytetään lohikalojen haudonnassa. Yhteen laatikkoon laitetaan tavallisesti mätiä 1 litra. Käytettävä vesi joudutaan yleensä suodattamaan. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Muonion kalanviljelylaitoksella on käytössä kaksi kaappia, joissa kummassakin on päällekkäin 10 laatikkoa. Veden tarpeeksi on siellä mitattu vain 0,33 litraa minuutissa yhtä kaappia kohden.

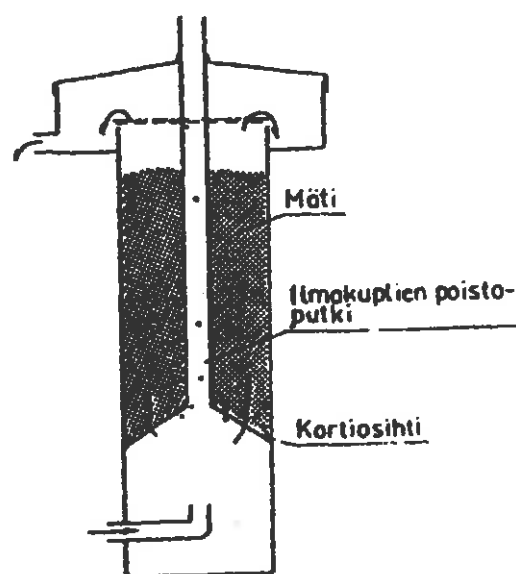


Kuva 10. Haudontalaatikkosarja ja virtausperiaate.

Suurien mätimäärien haudontaan on Norjassa käytetty kuvan 11 mukaisia haudontasiiloja. Mäti asetetaan päällekkäisille koreille ja veden virtaus tapahtuu alhaalta ylöspäin. Kuvassa 12 on esitetty kotimainen sovellutus haudontasiilosta.



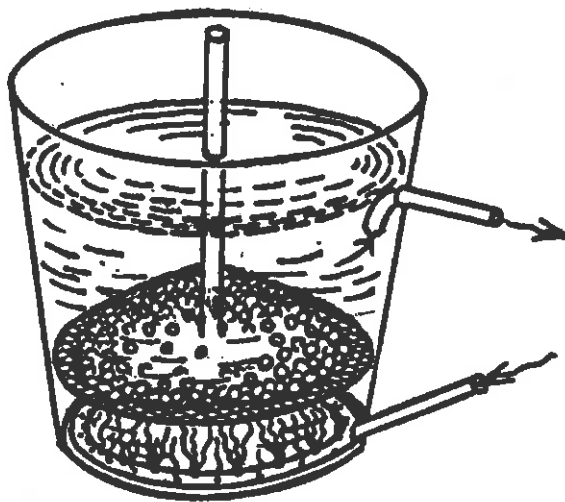
Kuva 11. Norjalainen haudontasiilo.



Kuva 12. Kotimainen sovellutus haudontasiilosta.

Haudontasaavit (kuva 13) ovat paljolti syrjäyttäneet haudontasiiloja. Etenkin kirjolohta haudotaan paljolti haudontasaaveissa, mutta myöskin lohta taimenta ja nieriää. Kirjolohen mädin haudonta alkaa yleensä huhti-toukokuussa ja poikaset kuoriutuvat kesäkuussa. Lämminviesihaudonnassa haudonta aloitetaan joulukuussa ja poikaset kuoriutuvat tammikuussa.

Haudontasaavin pohjalle asetetaan kartiomainen ritilä, joka on noin 15 cm irti pohjasta. Ritilän keskeltä johdetaan ilmakuplien poistoputki veden pintaan. Vesi johdetaan saaviin ritilän alle asennetulla rei'itetyllä noin 20 mm:n muoviletkulla. Kuhunkin saaviin (n 65 l) asetetaan mätää ritilän päälle noin 10-15 l. Veden tarve saavia kohden on noin 0,3 l/s. Kuolleitten mätimunien poistamista varten mäti joudutaan siirtämään silmäpisteasteella erillisille asettimille. Haudontaa voidaan jatkaa tämän jälkeen saaveissa lähelle kuoriutumista. Mäti kuoriutetaan kaukaloissa tai asettimilla poikasaltaissa. Haudontamenetelmä vaatii yleensä haudontaveden suodattamista.



Kuva 13. Mädin haudontasaavi.

2. 34 Poikaskasvatus

Poikasten istutus pyritään ajoittamaan niin, että niillä olisi mahdollisimman hyvät elinmahdollisuudet. Lohen ja taimenen istutuksissa paras tulos on yleensä saavutettu noin 20 cm:n pituisilla vaellusikäisillä poikasilla, mikä edellyttää kasvatusta kalanviljelylaitoksilla 2-3 vuotiaaksi asti. Lohikalojen poikaset kasvatetaan tavallisesti vähintään vuoden vanhoiksi sisätiloissa, jonka jälkeen ne usein siirretään ulkotiloihin altaiisiin tai lammikoihin, joskin käytäntö vaihtelee laitospöhtaisesti. Siian poikaset siirretään pääsääntöisesti kuoriutumisen jälkeen luonnonravintolammikoihin kasvaamaan kesän yli, jonka jälkeen ne ovat noin 10 cm:n pituisia. Poikaskasvatuksen alkuvaihe on riskialttein. Ensimmäisen kesän aikana tapahtuvat suurimmat kasvatustappiot.

Lohen, taimenen ja nieriän totutusruokintaan käytettiin aikaisemmin tuoreruokaa, pääasiassa jauhettua maksaa. Rehulaatujen kehityttyä on maksan käytöstä luovuttu ja nykyisin kuivarehua syötetään alusta alkaen.

Lohikalojen poikaset kasvatetaan tavallisesti vähintään vuoden vanhoiksi sisätiloissa, jonka jälkeen ne usein siirretään ulkotiloihin altaiisiin tai lammikoihin, joskin käytäntö vaihtelee laitoksittain. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalanviljelylaitoksilla poikaset kasvatetaan istutuskokoon (2-3 v.) asti sisätiloissa. Nykyisin istutetaan kaloja

myös pyyntikokoisina (yli 0,5 kg). Ne samoin kuin emokalat voidaan pitää myös ulkoaltaissa.

RKTL:n Taivalkosken kalanviljelylaitoksessa käytetään starttialtaina 3 ja 5 m²:n lujitemuovialtaita. Pieniä määriä startattaessa, esim. emokalaparvea perustettaessa käytetään myös 1 m²:n altaita. Isommille poikasille on käytössä 15 m²:n lujitemuovialtaita. Kaikki altaat ovat pyöreitä muodoltaan ja niissä on teleskooppimunkki.

Kaloja kasvatetaan Taivalkoskella pääsääntöisesti kaksi kesää 3 tai 5 m²:n altaissa, siis samoissa joissa ne on startattu. Kolmanneksi kesäksi ne on siirrettävä isompiin altaisiin. Kokonsa puolesta kaloja voitaisiin pitää vielä esimerkiksi 5 m²:n altaissa, tosin pienempiä määriä, mutta ongelmana on se, että kalat hyppivät yli laidan lattialle. Suuremmissa noin 15 m²:n altaissa on seinämäkorkeus noin 100 cm, joten altaissa voidaan pitää vettä enemmän kuin pienemmissä altaissa. 3 ja 5 m²:n altaissa seinämäkorkeus on noin 50 cm.

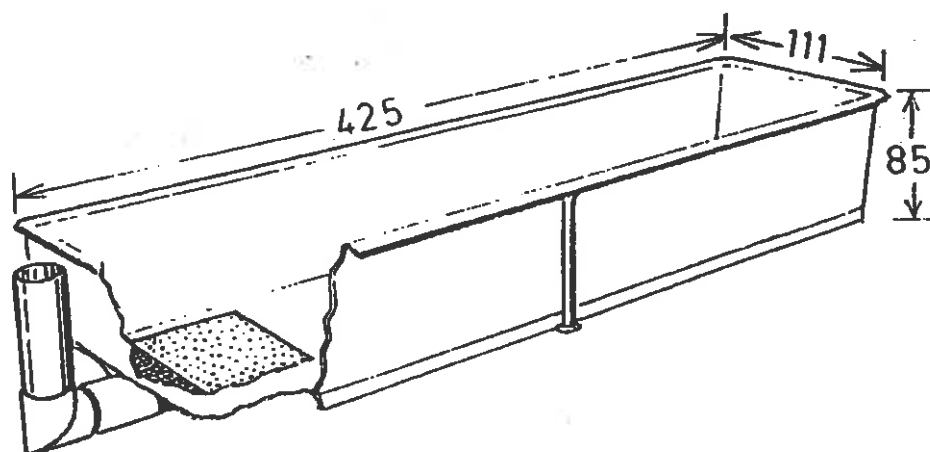
Taivalkosken kalanviljelylaitoksessa on starttitiheytenä käytetty 1500-2000 poikasta/m². Tällöin ensimmäisen kesän jälkeen lopputiheytenä on 5-8 kg/m². Nämä määrät ovat sopivia lohille ja taimenille. Nieriää voidaan kasvattaa hieman suurempia määriä. Kesän jälkeen nieriöitä voi olla 15-20 kg/m². Toisena ja kolmantena kesänä lohia ja taimenia on pidetty noin 10 kg/m². Nieriällä on käytetty toisena ja kolmantena kesänä tiheytenä samaa kuin ensimmäisen kesän lopulla. Edellä mainitut kalatiheydet eivät ole maksimaalisia kasvatustiheyksiä, mutta mm. kasvun hidastumisen ja tautivaaran vuoksi Taivalkoskella ei ole käytetty suurempia tiheyksiä.

Taivalkoskella 3 m²:n altaisiin johdetaan vettä noin 0,5 l/s ja 5 m²:n altaisiin 0,8 l/s. 15 m²:n altaisiin vettä johdetaan 2 l/s ja suuriin 50 m²:n emokala-altaisiin noin 10 l/s.

Hallien valaistuksen tulisi olla sellainen, ettei altaiden päällä tarvitsisi käyttää varjokatteita. Parhaaksi viljelyvalaistukseksi on Taivalkosken laitoksella päädytty ratkaisuun, jossa on harvaan sijoitetut hehkulamput, jolloin hallissa näkee tarkkailla kaloja ja ruokinta-automaatteja ilman lisävaloja. Sen lisäksi tulee olla kirkkaammat työvalot, joita käytetään tarvittaessa.

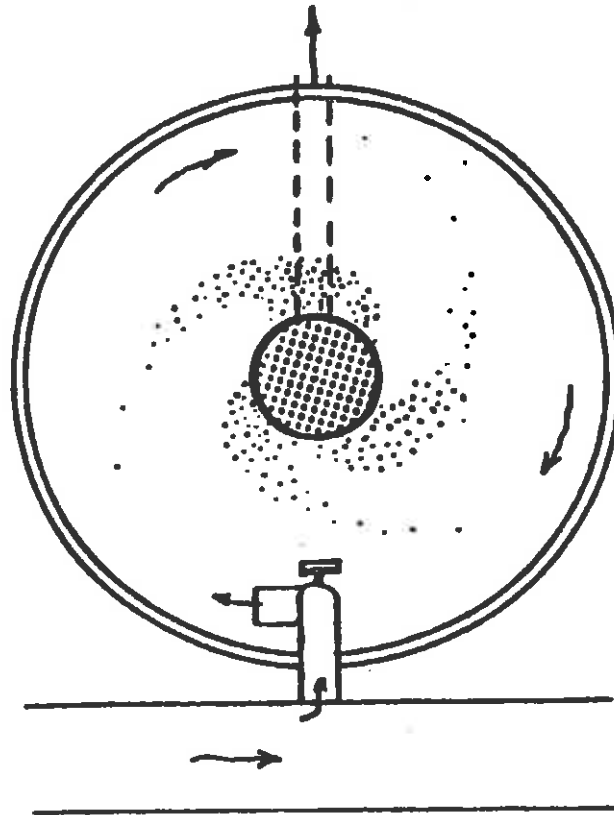
Poikasaltaat

Lohikalojen poikaset oppivat ottamaan ravintoa joko varsinaisissa poikasaltaissa tai haudontakaukaloissa, joista mätiasettimet on kuoriutumisen tapahduttua poistettu. Poikasaltaat voidaan jakaa niiden muodon perusteella kolmeen päätyyppiin: suorakaiteenmuotoisiin, neliömäisiin ja pyöreisiin (kuvat 14, 15 ja 16).

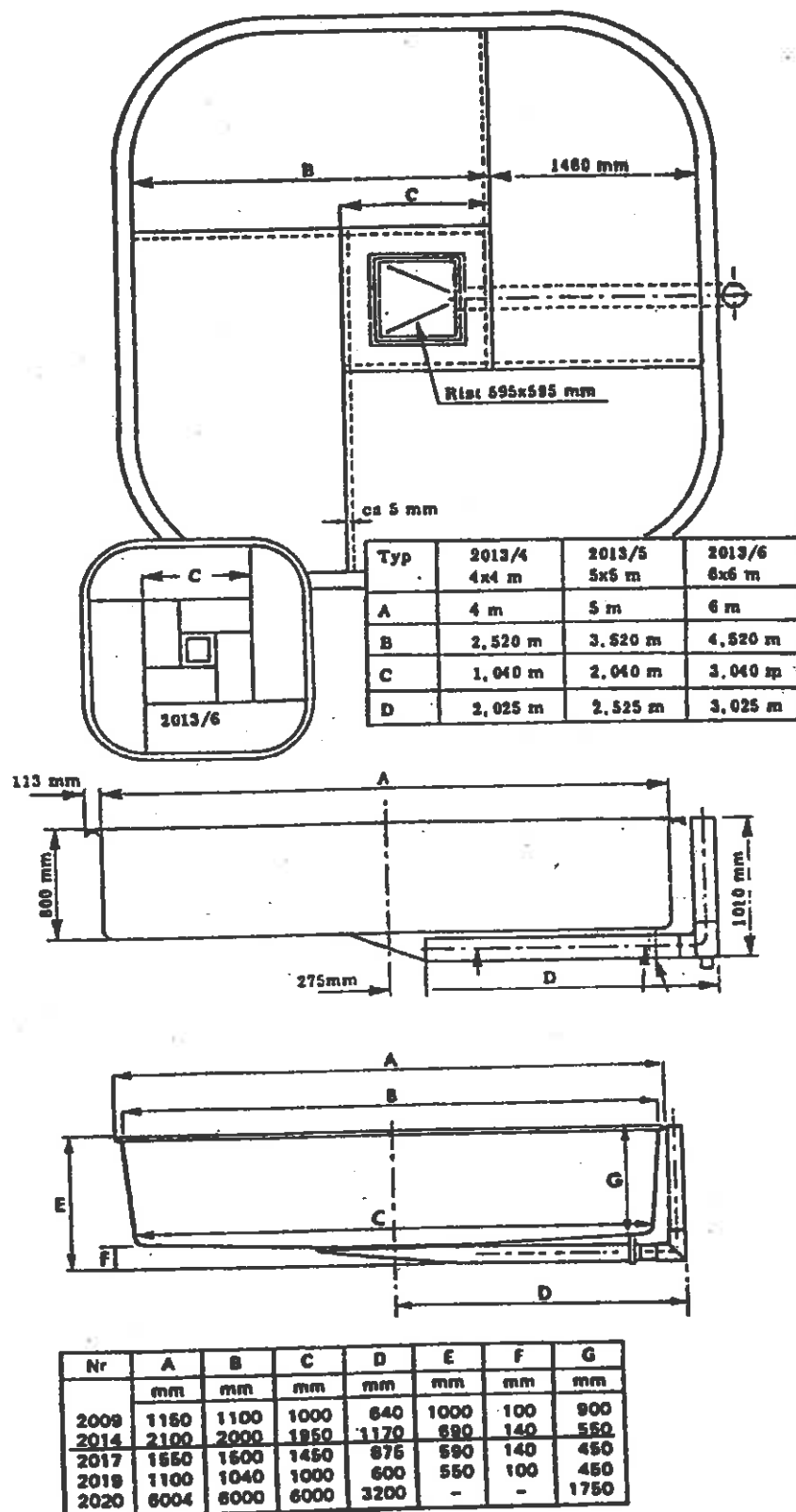


Kuva 14. Eräs malli suorakaiteen muotoisesta poikasaltaasta. Vesi kulkee päästä päähän poistuen tiheän sihdin lävitse.

Neliömäisissä ja pyöreissä altaissa vesi altaaseen johdetaan reunan suuntaisesti tangentiaalisesti, jotta altaan vesi saadaan kiertoliikkeeseen, jolloin myös kalat jakautuvat tasaisesti altaan pinta-alalle. Vesi poistuu altaan keskeltä. Altaista on ryhdytty käyttämään nimeä "itsepuhdistuvat altaat". Itsepuhdistuvuus perustuu ns. teekuppi-ilmiöön. Kun teekuppiin tiputetaan teen lehtijauhetta ja vesi kupissa saatetaan pyörivään liikkeeseen niin jauhe kasaantuu kupin keskelle. Samoin käy pyöreässä ja kulmiltaan pyöristetyssä kalanviljelyaltaassa kalojen ulosteelle ja rehulle. Ne kerääntyvät altaan keskelle, josta ne poistuvat veden mukana (kuva 15).



Kuva 15. Pyöreä allas (itsepuhdistuva).



Kuva 16. Vaklomallisten EWOS-lujitemuovialtaiden mitat. Altaiden myynti on lopetettu, mutta muut yksityiset allasvalmistajat ovat käyttäneet usein tuotteissaan näitä mittoja. Yleisin allaskoko (4 m²) on alleviivattu yllä olevassa taulukossa.

Poikasaltaiden yleisin materiaali on lujitemuovi, joka on keveää sekä osoittautunut helppohoitoiseksi. Altaita on tehty myös muovilevyistä hitsaamalla, puusta (vaneri), betonista, teräksestä ja alumiinista. Lujitemuovialtaan käyttöiäksi lasketaan yleensä noin 30 vuotta.

Suomessa Kuitunikkarit Ky Tornioista on valmistanut ehkä eniten haudontakaukaloita, kalanviljelyaltaita, vesityskouruja ja kalankuljetussäiliöitä eri kalanviljelylaitoksille. Seuraavassa on esitetty eräiden tuotteiden hintoja maaliskuun 1996 hintatasossa. Hinnat sisältävät arvonlisäveron 22 %.

Haudontakaukalo 18 x 44x 220 cm, asetteja 4 kpl	3 000 mk
Starttiallas 140 x 140 x 50 cm, lujitemuovijaloin	3 300 "
Poikasallas, pyöreä 120 x 50 cm, "	2 900 "
Poikasallas, pyöreä 220 x 55 cm "	4 950 "
Poikasallas, pyöreä 250 x 55 cm "	6 000 "
Poikasallas, pyöreä 320 x 60 cm "	9 800 "
Kasvatusallas, pyöreä 600 x 150 (3 osaa)	25 000 "
Kalankuljetussäiliö 2,0 m ³	14 000 "

2.35 Emokalakasvatus

Mädin hankinta tapahtuu joko emokalakasvatuksen tai mädinhankintapyyntin avulla. Lohen, taimenen ja nieriän mäti saadaan pääosin kasvatetuista emokaloista. Siian mädistä saadaan suurin osa laitoksilla kasvatettavista emokaloista, joita uusitaan luonnon mädin hankinnalla.

Lohiemokaloista saadaan mätiä noin 1500-2000 kpl/kala kg. Nieriällä määrä on suurempi eli 2000-4000 kpl/kala kg. Sukukypsyyden ne saavuttavat 4-7 vuoden ikäisinä, koiraat yleensä nuorempina kuin naaraat. Yhdestä noin puolenkilon painoisesta vaelussiiasta saadaan noin 1,5 dl mätiä, jossa on noin 5000-7000 mätimunaa. Siian sukukypsyys alkaa 4-5 vuoden iässä.

Kutuaajan lähestyessä emokatat lajitellaan ensinnäkin sukupuolen mukaan, naaraat mädin kypsyysasteen mukaan sekä erotetaan yksilöt, jotka ovat martoja. Martoja ovat kaikki kalat jotka ovat sukukypsiä, mutta eivät tuota mätiä tai maitia. Lohet esim. voivat olla sukukypsiä, mutta jostain syystä ne voivat pitää välivuoden eivätkä silloin tuota mätiä tai maitia. Yleisemmin martoja esiintyy naaraskaloissa.. Ne voidaan erottaa muista kaloista ulkoisten tekijöiden perusteella, kuten esim. tumma kutuväritys puuttuu (kalat ovat kirkkaita), koukkuleuka ei ole kehittynyt jne.

Lajittelun aikana yleensä lasketaan altaan tai lammikon vesi niin alas, että pystytään työskentelemään kahluusvyvydellä ja jakamaan allas tai lammikko lajitteluosiin verkoilla tai seinämillä.

Emokaloja voidaan kasvattaa perinteisissä maauomalammikoissa tai keinoaltaissa. Kustannuksiltaan maauomalammikot ovat kaikkein halvimmat rakentaa ja emokatat viihtyvät niissä hyvin. Ongelmana on se, että vesi jäätyy niissä Suomessa talvisin ja sairaita kaloja ei kyetä näkemään ja poistamaan niistä. Myös ruokinta talvisin joudutaan tekemään niissä jään läpi kairattavista rei'istä, jolloin ruokinnan onnistumista ei voida seurata. Lammikot ovat myös vaikeasti puhtaana pidettäviä eikä niissä saada mainittavasti lietettä ja vesitöille haitallisia ravinteita talteen. Ehkä vaikeimmat ongelmat maauomalammikoissa aiheutuvat routimisesta, joka liikuttaa ja katkoo erityisesti poistomunkkeja sekä vaurioittaa maauoma-altaan luiskaverhouksia vesirajan tienoilla. Kuvassa 17 on esitetty tyypillisen maauomalammikon piirustus ja luiskan

betoniverhous. Verhouksen routimisen seurauksena poikasia on päässyt laattojen alle ja väliin. Altaita on rakennettu Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Taivalkosken kalanviljelylaitokseen kahta eri kokoa ja niiden mitat ovat seuraavat:

Suurin pituus 25 ja 56 m

Suurin leveys molemmissa altaissa 8,5 m

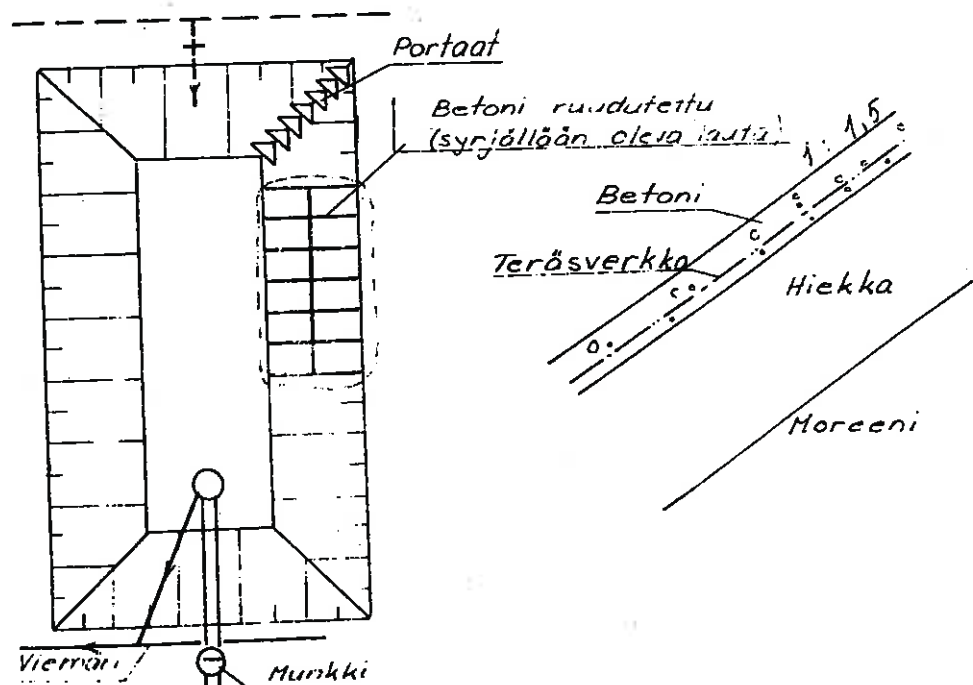
Vesitilavuus 160 m³ ja 390 m³

Vesipinta-ala 200 m² ja 380 m

Suurin syvyys molemmissa altaissa 1,75 m

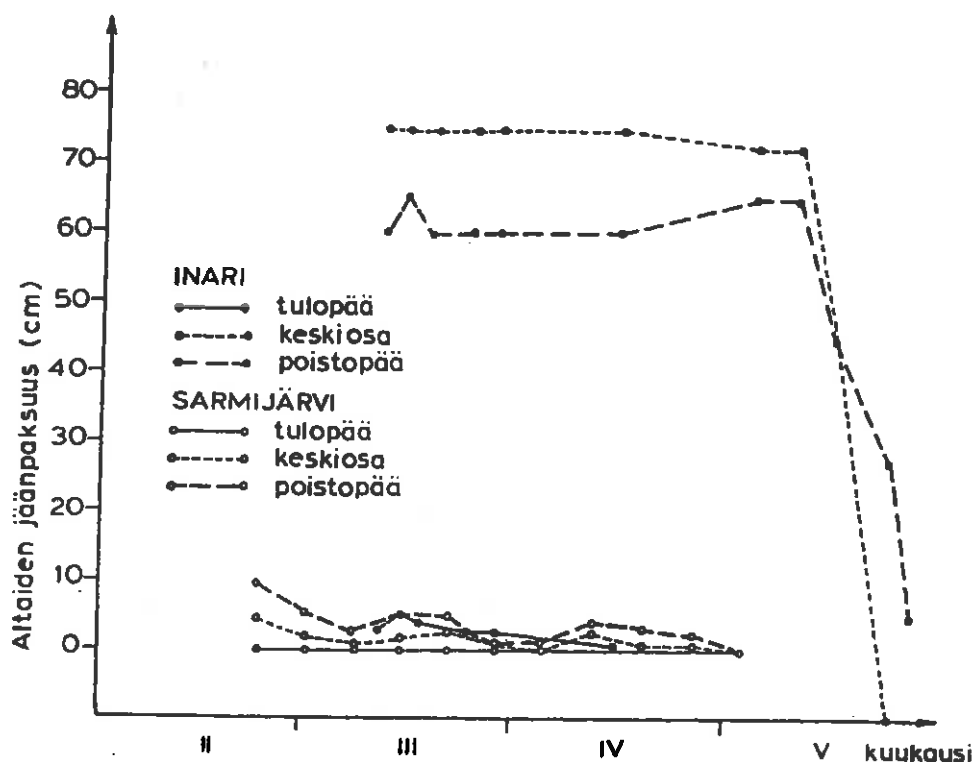
Virtaama 9 l/s ja 20 l/s

Luiskan kaltevuus molemmissa altaissa 1:1,5



Kuva 17. Perinteinen maaumalammikko ja sen betoninen luiskaverhous.

Talvella 1985 tutkittiin viidellä valtion kalanviljelylaitoksella mm. maaumalammikoiden jäänmuodostusta ja laitoksilla ilmenneitä routavaurioita (Selänne ym. 1983). Laukaan laitoksella altaat pysyivät sulana koko talven, mikä johtui laitoksen eteläisestä sijainnista ja siitä, että laitos ottaa talvella yläpuolisesta järvestä lämmintä alusvettä. Suurimmat jäänpaksuudet lammikoihin muodostuivat Taivalkosken ja Inarin kalanviljelylaitoksilla, jotka molemmat käyttivät kylmää alle 0,1 asteista jokivettä. Taivalkoskella tutkituissa altaissa oli jään paksuus enimmillään poistopäässä 103 cm ja Inarissa 60 cm. Sarmijärven laitoksella, joka ottaa yläpuolisesta järvestä talvella lämmintä noin 2 asteista alusvettä oli jäänpaksuus vain noin 10 cm. Talvella 1985 katkesi routimisen johdosta Inarin laitoksella kevättalven aikana seitsemästä altaasta poistomunkkiin tuleva putki. Aikaisempina talvina Inarissa on katkennut munkkiin tulevia putkia vähemmän (2-3 kpl/a). Routarajan syvyys oli Inarissa 20.6.1985 1m. ja roudan paksuus lammikkovalleissa 30 cm. Kuvassa 18 on esitetty talvella 1985 tehtyjen maauma-altaiden jäänpaksuusmittausten tulokset Inarin ja Sarmijärven laitoksilla.



Kuva 18. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Inarin ja Sarmijärven laitoksilla talvella 1985 tutkittujen maauma-altaiden jäänmuodostus. Kuvasta huomataan, että järvestä alusvettä ottavalla laitoksella (Sarmijärvi) jään muodostus on huomattavasti vähäisempää kuin joesta vettä ottavalla laitoksella (Inari). Molemmat laitokset toimivat Inarissa maantieteellisesti likipitäen samalla leveysasteella (vajaa 69 astetta pohjoista leveyttä).

Tutkimuksessa todettiin myös, että altaaseen vettä tuovan tuloputken kallistuksella on huomattava vaikutus jään muodostukseen. Jään muodostus on vähäisintä, jos tuloputken kallistus altaan pohjasta on 40 astetta.

Maauma-altaiden verhousmateriaalin tulisi olla pinnaltaan sellaista, etteivät kalat saa hankausvaurioita suomupeitteeseen ja eviinsä. Tässä mielessä luonnonmateriaalit, sorat ja kivet ovat hellävaraisia. Kivien koon tulee olla verhouksissa sellainen, etteivät kalat pääse pakenemaan niiden välisiin koloihin allasta tyhjennettäessä. Sora tai kivi-verhotussa altaassa on pohjan oltava niin leveä, ettei mahdollinen luiskan vyöryminen madalluta allasta haitallisesti.

Taulukko 4. Maa(uoma)-altaiden luiskan kaltevuudet erilaisilla verhousmateriaaleilla.

Verhous	Suurin kaltevuus	Sopiva kaltevuus	Huomautuksia
Karkea sora	1:1,5	1:2	max. kivikoko 150 mm
Kivilados	1:1,25	1:1,5	
Betoni-laatta	1:1	1:1,5	vahvuus 80-100 mm
Ei verhousta	1:1,75	1:2	perusmaa hiekkamoreeni

Kala-altaat puhdistetaan laskeutuvasta lietteestä sekä reunoihin tarttuvasta leväkasvustosta tavallisimmin painevedellä ja harjalla. Luiskaverhouksen tulee kestää pesutoimet sortumatta. Vesipinta lasketaan pesun ajaksi mahdollisimman alas. Tällöin on

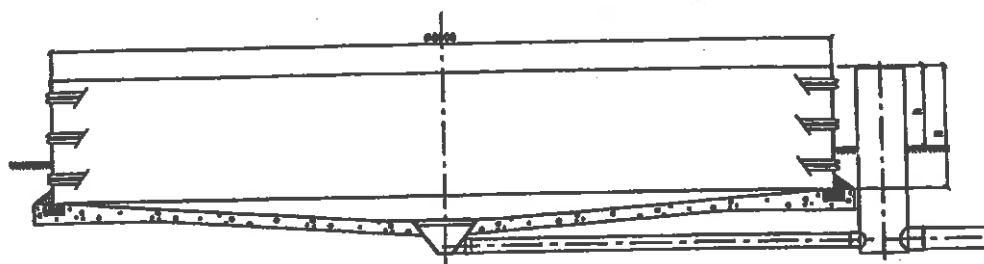
kuitenkin voitava lisätä tulovirtaamaa pesun aikana. Jos kalat ovat pesun ajan altaassa, on sen koon oltava sellainen, ettei puhdistuksesta aiheutuva veden laadun heikkeneminen ehdi aiheuttaa kaloille vahinkoa. Vinoluiskaisen emokala-altaan sopivana kokona pidetään 70-150 m² mitattuna vesisyvyyden puolivälistä. Liian pienissä yksiköissä vievät luiskat ja pengert suhteettoman suuren osuuden pinta-alasta. Tämän lisäksi joudutaan asentamaan enemmän vedenjakelu- ja poistolaitteita, mikä lisää kustannuksia.

Pyöreät emokala-altaat, jos ne sijoitetaan ulkotiloihin on rakennettu yleensä betonista (pohja sekä seinämä). Lujitemuoviset seinämät eivät kestä jään painetta vaan niihin tulee herkästi halkeamia ja käyttöikä jää lyhyeksi. Suomen olosuhteisiin ei ole ulos myöskään rakennettu seinämiä aaltoteräslevystä, koska seinämät joudutaan kasaamaan pulttiliitoksilla eikä niiden kestävyydestä ole meillä kokemusta esim. jään painetta vastaan. Tanskassa on aaltoteräslevyä käytetty runsaasti seinämien rakentamisessa sekä ulko- että sisätiloissa, koska siellä ei jäänpainetta esiinny.

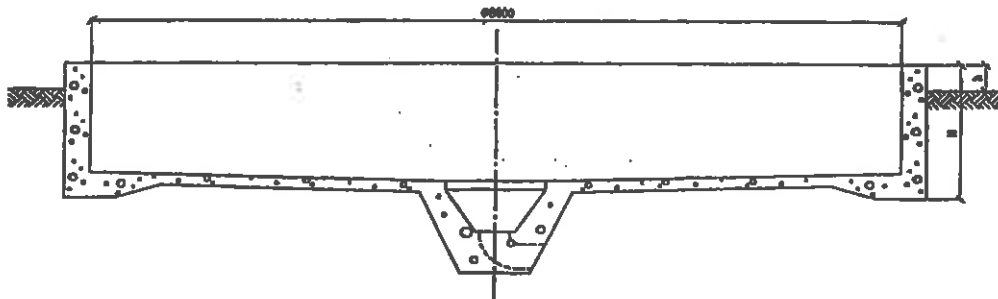
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Taivalkosken kalanviljelylaitokseen on rakennettu ulos koemielessä kaksi halkaisijaltaan 6 metrin allasta, joissa on pohja 5 %:n kaltevuudessa altaan keskustaa kohti. Altaiden pohjat ja seinämät tehtiin samasta materiaalista. Toinen altaista tehtiin paikalla hitsatuista vihreistä polyeteenilevyistä ja toinen haponkestävästä teräksestä. Polyeteeniallas, joka hitsattiin 10 mm:n levyistä, perustettiin myöhään syksyllä jäätyneen sorapohjan päälle. Kevään tultua altaan pohjan todettiin viruneen ja lommahtaneen alaspäin.

Polyeteeniallas on perustettava aina betonilaatalle. Haponkestävästä teräksestä tehty allas säilyttää muotonsa. Vaikka teräsaltaan pohjamaa pettäisi niin allas säilyttää siitä huolimatta muotonsa, koska teräs ei viru. Molemmat altaat ovat kestäneet jään paineen, joka ei kylläkään ole ollut suuri, koska altaisiin johdettiin osaksi lämmintä 3 ° C pohjavettä.

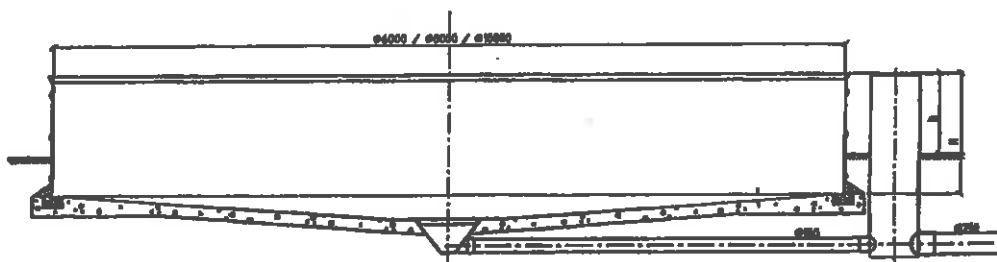
Polyeteenialtaat ovat osoittautuneet käytössä muutoin hyviksi, mutta ne eivät kestä puhdistusharjausta (karhunkieliharjaus) kuten lasikuitualtaat. Kuvissa 19 - 22 on esitetty eri materiaaleista tehtyjen suurten pyöröaltaiden piirustuksia.



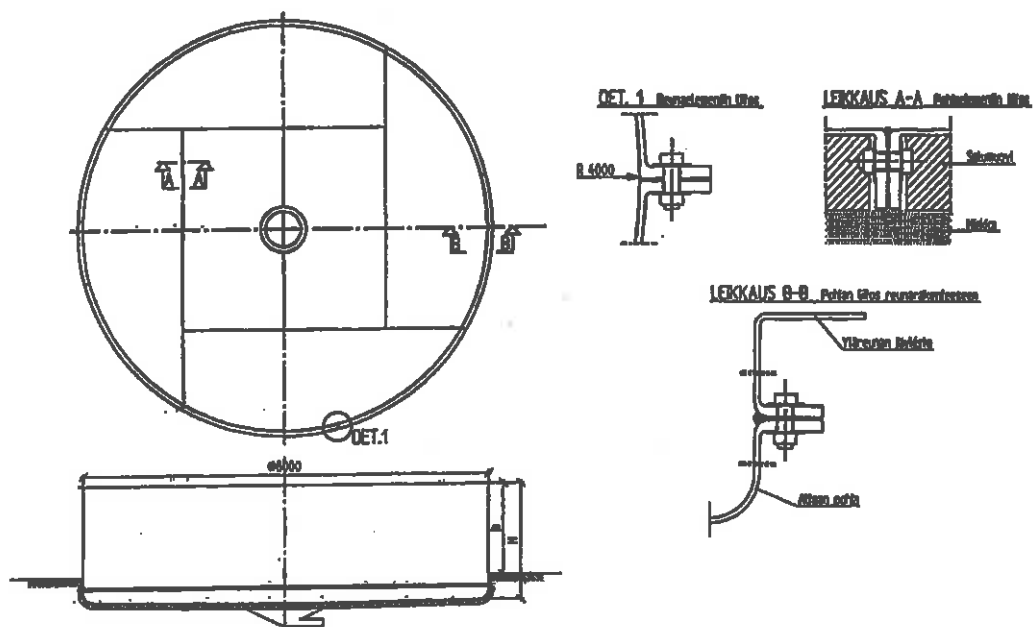
Kuva 19. Halkaisijaltaan 8,0 metrin pyöröallas. Seinämä terästä, pohja betonia. Altaan syvyys reunalla on 1460 mm. Altaan hinta noin 70 000 mk.



Kuva 20. Edellisen kuvan allas betonista tehtynä. Altaan hinta noin 75 000 mk.

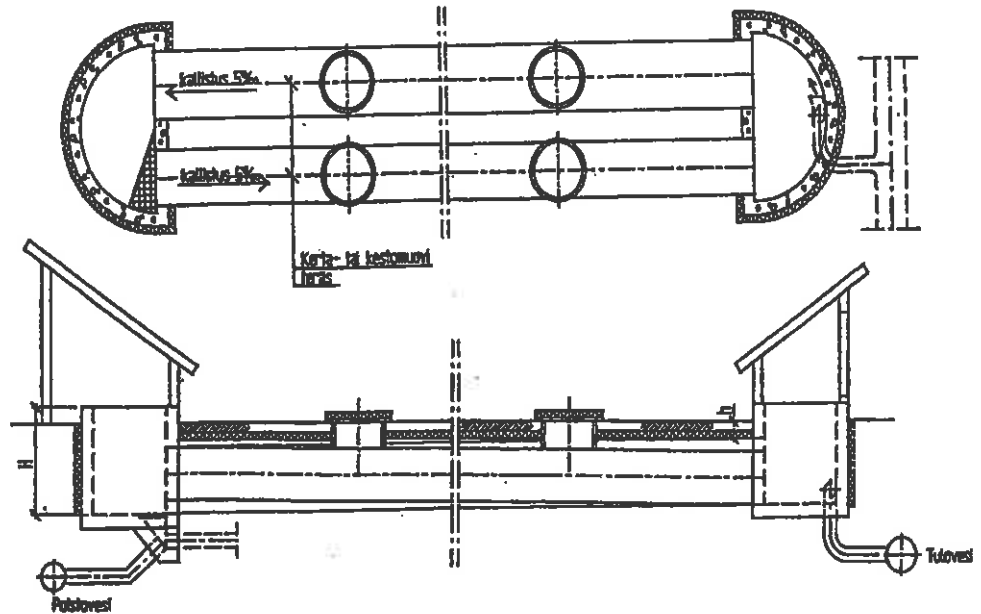


Kuva 21. Pyöröallas pohja betonia seinämät lasikuitua. Altaan hinta noin 60 000 mk.



Kuva 22. Halkaisijaltaan 8,0 metrin pyöröallas. Pohja ja seinämät lasikuitua. Altaan hinta noin 45 000 mk.

Aivan uutena allastyypinä on kokeiltu kalojen kasvatusta putkialtaissa. Kuvassa 23 on esitetty putkialtaan piirustus.



Kuva 23. Putkiallas. Rlista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Taivalkosken kalanviljelylaitokseen rakennettu 1000 mm:n Spiro-putkiallas L=10 m maksoi 90 000 mk.

Edellä mainitut altaiden hinnat sisältävät normaalit allasvarusteet: sihdit, munkin sekä keskikartion poistoputkineen.

Putkikasvatusta on kokeiltu Suomessa RKTL:n Taivalkosken kalanviljelylaitoksella, jossa on tutkittu lähinnä kalojen viihtyvyyttä ja kasvuominaisuuksia. Ympäristöhallinnon toimesta on putkikasvatusta kokeiltu kolmena vuotena 1991-1993 Hämeen läänin Kosken pitäjässä Hankalankoskessa. Täällä on tutkimuksessa keskitytty lähinnä siihen voidaanko lietteenpoistoa tehostaa putkikasvatusmenetelmällä.

Taivalkosken kokeista ei ole laadittu raporttia. Kalastusmestarien kokemusten mukaan putkikasvatus ei sovellu poikaskasvatukseen juuri lainkaan, koska kalojen havainnointi putkissa on hankalaa. Putkikasvatus soveltuu paremmin varttuneempien (min. 0,5-1,0 kg) kalojen kasvatukseen, mutta tällöinkin kalojen tarkkailu ja kiinniotto on hankalaa.

Ympäristöhallinnon kokeet osoittivat, että riittävän suurella (> 20 cm/s) virtausnopeudella lietteenpoisto oli tehokasta. Fosforireduktio oli parhaimmillaan yli 60 %. Ympäristöhallinnon kokeissa laskettiin kustannukset, jos yksi maa-uoma-allas saneerattaisiin putkialtaiksi. Maa-uoma-altaan mitat olivat vertailussa seuraavat:

-pituus 70 m, pintaleveys 10 m, pohjaleveys 5 m, syvyys 1,4 m ja tilavuus noin 730 m³.

Putkialtaan mitat ja sen rakentamiskustannukset olivat seuraavat:

2 kasvatusputkea SPIRO 1800/1600

2 x 50 m = 100 m x 2400 mk/m 240 000 mk

Muut rakennelmat ja hitsaustyöt 75 000 "

Tulokaivo, jossa kierrätyspumppu ja

veden säätömahdollisuus 2 kpl x 10 000 mk 20 000 "

Lietteenoroitin laitteineen 95 000 "

Lietteensiirtolaitteet 30 000 "

Sähkötyöt 40 000 "

Yhteensä 500 000 mk

Putkien tilavuus oli 200 m³. Niissä arvioitiin loppuvaiheessa voitavan pitää kalaa 50 kg/m³, eli 10 000 kg. Maauoma-altaassa (tilavuus 730 m³) arvioitiin loppuvaiheessa voitavan pitää sama kalamäärä kuin vertailtavissa putkialtaissa. Vähentämällä esim. kolmannen kesän kasvatuksessa kalojen alkupaino 6670 kpl x 0,25 kg/kpl = 1667 kg niin lisäkasvuksi jäisi noin 8300 kg. Jos putkialtaiden rakentamiskustannukset haluttaisiin kuolettaa 20 vuodessa niin 6 %:n korkokannalla kustannukset tuotettua kalakiloa kohti olisivat noin 5,25 mk. Putkialtaan rakentamisesta aiheutuvat kustannukset ovat tuotettua kalakiloa kohti niin suuret, että kannattavaan kalanviljelyyn ei ole edellytyksiä nykyisellä hintatasolla.

2.36 Kasvatus ruokakalaksi

Ruokakalakasvatuksella ymmärretään Suomessa lähinnä kirjolohen kasvatusta. Vuonna 1995 sitä tuotettiin ruokakalaksi noin 16,0 milj.kg Tästä noin 11 milj.kg tuotettiin Saaristomerellä ja Ahvenanmaalla verkkokasseissa. Sisävesilaitoksilla kirjolohta tuotettiin noin 3,3 milj.kg. Loppu tuotettiin Suomenlahdella ja Pohjanlahdella.

Kasvatus voidaan aloittaa joko luonnonlämpöisellä vedellä tai lämmitetyllä vedellä. Kasvatus luonnonlämpöisellä vedellä kauppakokoon vaatii kolmen kesän kasvukautta. Jos kasvatus aloitetaan lämmitetyllä vedellä niin myyntikoko saavutetaan toisen kesän jälkeen. Lämmitetyllä vedellä startatessa voitetaan siis yksi kasvukesi.

2.361 Kasvatus luonnonlämpöisellä vedellä

Kirjolohen lypsy suoritetaan huhtikuussa. Mäti hedelmöitetään koiraan maidilla jolloin se myös paisuu. Hedelmöitetty mäti asetetaan haudontakaukaloihin tai saaveihin (kohta 2.33). Poikasten kuoriutuminen tapahtuu toukokuussa ja ruokinta aloitetaan tämän jälkeen noin 2 viikon kuluttua. Syksyllä poikaset ovat noin 25 gramman ja seuraavana keväänä noin 40 gramman painoisia. Toisen kasvukesen jälkeen poikaset painavat noin 400-600 g. Kolmannen kesän jälkeen ne ovat kauppakokoa eli noin 1200-2500 grammaisia.

2.362 Kasvatus lämmitetyllä vedellä

Mäti lypsetään ja hedelmöitetään tammi-helmikuussa. Haudontavetenä käytetään noin +10 C asteista vettä. Kuoriutuminen tapahtuu huhtikuussa ja poikaset painavat kesäkuussa noin 5-10 g. Tällöin ne siirretään jatkokasvatukseen verkkokasseihin merelle.

Ennen siirtoa merelle suoritetaan makeassa vedessä rokotus vibrioosia ja furunkuloo-
sia vastaan piikkirokotuksena. Yhdellä pistolla annetaan yhdistelmärokotus. Ensimmäisen kesän jälkeen syksyllä poikaset painavat 150-350 g. Ensimmäisenä kesänä ruokinta suoritetaan käsin tai sähköisillä automaattiruokkijoilla. Kun poikaset ovat noin 60 grammaisia (elokuun puolivälissä) voidaan siirtyä pendeliruokintaan. Kasvatusta jatketaan ja loka-marraskuussa, kun veden lämpötila on laskenut noin +7 C asteeseen suoritetaan lajittelu koon mukaan. Harrin Lohi Ky:n kalanviljelylaitoksella Velkualla lajittelussa on saatu yleensä seuraavat kokojakautumat:

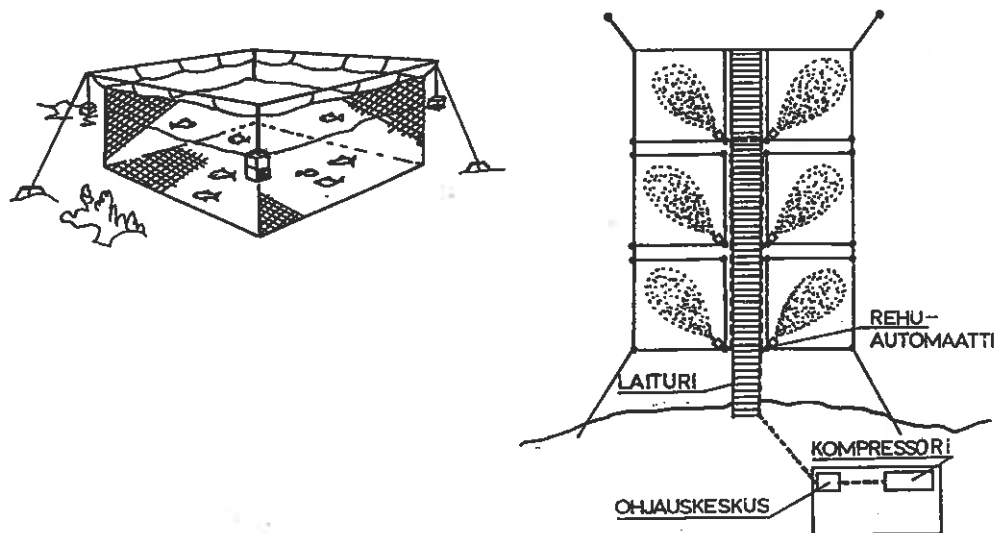
150 g 25%, 250 g 65%, 350 g 10 %.

Toisen kasvatuskesän jälkeen kalat ovat jo myyntikokoisia ja niiden paino vaihtelee 1500-2500 gramman välillä.

2.363 Verkkokassikasvatus

Verkkokassikasvatus on keskittynyt merialueelle. Verkkokassirakenteiden mittoja ei ole standardisoitu, vaan toimitukset tehdään tilaajan toiveiden mukaisesti. Pienimmillä laitoksilla käytetään usein myös itse tehtyjä kasseja. Pyöreän verkkokassin lisäksi suosittuja ovat 4- kulmainen, 6- kulmainen ja 8- kulmainen.

Verkkokassiin tarvitaan varsinaisen verkon lisäksi kohot ja ankkurit (ankkuriköydet ja painot) joiden avulla kassi saadaan pysymään paikoillaan. Pyöreässä kassissa käytetään kellukkeena hyvin usein pyöreätä muoviputkea, joka toimii samalla myös vaaka-
tukena. Verkkokassilaitoksen periaatteet selviävät kuvasta 24.



Kuva 24. Periaatepiirros verkkokassista ja verkkokassilaitoksen yleisjärjestelyistä.

Verkkokasseja voidaan kytkeä useita ryhmään ja ne voidaan ankkuroida maalle kiinnitetyn laiturin tai ulompana rannasta olevan ponttonilaiturin molemmiin puolin. Laitoksen hoito ja kalojen ruokinta tapahtuu laiturilta tai sen puuttuessa veneestä.

Sijoittamalla verkkokassit salmeen tai avoimen selän äärelle saadaan paras veden vaihtuvuus. Sopiva veden virtausnopeus on 3-10 m/min (Kalankasvatus ja vesiensuojelu, työryhmän selvitys 1988.). Kassien verkot pidetään puhtaana leväkasvustosta käsittelemällä ne vähintään kerran vuodessa sallituilla limoittumista estävillä maalajeilla. Toinen suositeltava menetelmä on verkkokassien salaovien puhdistus painepesurilla.

Epäedullisissa paikoissa virtausta voidaan lisätä ilmastimilla tai virran kehittimillä. Merialueella voidaan pitää verkkokasseissa 10-15 kalaa/m³ ilman, että tautivaara kasvaa tai kalojen lisäkasvu heikkenee olennaisesti. Hyvissä virtausolosuhteissa saattaa kalamäärä kasvukauden lopussa olla jopa 20-30 kg/m³.

Verkkokassikasvatuksen etuina ovat suhteellisen alhaiset investointikustannukset ja merellä toimivien laitosten hyvä tuotto. Toisaalta merellä kaukana rannasta sijaitsevat laitokset ovat alttiina myrskyille ja talvella jäiden vaikutuksille. Vakuutuksilla voidaan kuitenkin pienentää investointeihin liittyvää riskiä.

2.364 Ruokakalan teurastus

Ruokakalan kasvatuksessa tavoitteena on tuottaa korkealaatuista elintarviketta. Tavoite saavutetaan oikealla ruokinnalla ja hoidolla. Lopullinen "silaus" laatuun tehdään asianmukaisella teurastuksella.

Kalan säilyvyyden parantaminen ja bakteeritoimintojen hidastaminen edellyttää teuraskalan käsittelyssä asiantuntemusta kaikissa vaiheissa. Teurastukseen ja kalan toimittamiseen markkinoille kuuluu seuraavat vaiheet:

- paasto
- elävän kalan käsittely
- tainnutus
- veren poisto
- perkaus
- pakkaus ja jäittäminen
- kuljetus

Vuoden 1995 hintatasossa kilon suuruiselle kalalle muodostui perkauskuluja noin 1,2 mk ja pakkauskuluja noin 0,5 mk.

Perkaamon vesi otetaan yleensä kasvatusvesistöstä. Koko perkausprosessissa veden tarve on noin 3 litraa kalakiloa kohti. Työtavoista ja perkauslaitteista riippuen veden tarve vaihtelee kuitenkin huomattavasti eri laitoksilla. Perkeiden talteenotto alipainejärjestelmällä vähentää osaltaan veden kulutusta. Perkausjätevesien käsittely on hyvin kirjavaa. Tavallisesti jätevedet johdetaan sakokaivojen kautta laitoksen purkualueelle tai imeytetään maaperään. Purkualueista on usein tullut reheviä sekä epämiellyttävän hajuisia ja näköisiä. Joillakin laitoksilla jätevedet on ohjattu kunnalliseen viemäriverkostoon.

Paasto

Ennen perkausta kalan ruuansulatuskanavan tulisi olla tyhjä rehusta ja ulosteista. Lämpimänä kautena paastoamisen tulisi kestää noin viikon ja kylmänä kautena kaksi viikkoa. Paaston ansiosta kalan liha kiinteytyy ja suoliston bakteerimäärät laskevat, mitkä seikat ovat eduksi kalan jatkokäsittelyssä.

Elävän kalan käsittely

Noston ja kokoamisen yhteydessä tulee välttää kalan ylimääräistä rasittamista. Stressaantumisen seurauksena maitohappopitoisuus kohoaa lihaksistossa, mikä nopeuttaa kuolinjälkyystilan alkamista ja lyhentää sen kestoa. Punertavat läikät kalan lihassa johtuvat kalaan kohdistuneista iskuista. Eräät tilaukset voivat edellyttää myös kalojen lajittelua ennen perkausta.

Tainnutus

Pienillä kalankasvatuslaitoksilla nukutus tehdään "nuijanukutuksena". Isommilla laitoksilla kalat tainnutetaan sähköllä tai hiilidioksidikaasulla. Sähkötainnutuksen vaarana ovat sydämen lamaantuminen ja sisäiset verenvuodot, jolloin veren poistuminen kalasta ei ole täydellistä. Hiilidioksidia käytettäessä ei ole näitä vaaroja. Nukutusaltaan bakteeritason kohoamisen estämiseksi on turvattava riittävä veden vaihtuvuus. Kokeusperäisen tiedon mukaan veden vaihtuvuutta 0,2 l/kg on pidettävä riittävänä. Verivedet tulee johtaa käsittelyyn tai kerätä astiaan ja toimittaa käsiteltäväksi tai imeytettävä maasuodattimella.

Veren poisto

Ennen varsinaista perkausta kaloista lasketaan veri tyhjennysaltaaseen, jossa on oltava riittävä veden vaihtuvuus bakteerivaaran vähentämiseksi. Mittaustulosten mukaan kilon suuruinen kala vaatii huuhteluvettä 1,5-2,5 litraa. Yleisimmin veri poistetaan kalasta katkaisemalla kiduskaari puukolla tai puukkokoukulla. Verensä tyhjentänyt kala pitää nostaa mahdollisimman nopeasti perkauspöydälle.

Perkaus

Suolisto ja munuaiset poistetaan pääsääntöisesti käsityönä. Myös erityisiä pesureilla varustettuja perkauskoneita on jo käytössä. Harjapesureiden vaatima vesimäärä kalakiloa kohti on noin 0,3 l. Suoliston poiston yhteydessä on huolehdittava verihyytymien ja epäpuhtauksien poistamisesta vatsaontelosta, kalojen ulkopinnalta sekä erityisesti kiduksista. Poistamalla kidukset kokonaan vältettäisiin samalla niiden aiheuttama hygieeninen haitta. Käytännössä kuitenkin kidukset jätetään paikalleen, jotta ostaja näkee, onko kala tuore.

Kirjolohen perkauksessa muodostuu jätettä noin 15 % kalan painosta ja peratun kalan fileoinnissa noin 40 %. Yli 70 % perkausjätteistä menee hyötykäyttöön, enimmäkseen eläinten rehuksi, mutta myös pelloille lannoitteeksi. Vajaa 20 % jätteistä viedään kaatopaikoille tai haudataan maahan. Perkausjätteiden käsittely tulee tehdä jätehuoltoviranomaisen hyväksymällä tavalla.

Kilon suuruisen kalan sisäelimet painavat noin 150 g. Kasvatuskautena sisäelimet ovat huomattavasti suuremmat kuin talvikautena.

Sisäelimistä voidaan ottaa talteen mäti ja maksa. Kirjolohen mäti on merikasvatuksessa jo valmiiksi kehittyntä marraskuussa. Joulukuun alusta tammikuun loppuun mätää voidaan käyttää ihmisravinnoksi ja tämän jälkeen rehuksi. Kirjolohen mädin määrässä ei joulukuun - toukokuun välisenä aikana tapahdu oleellisia muutoksia.

Pakkaus ja jäittäminen

Ennen varsinaista pakkausta kalat tulisi jäähdyttää 0-asteisiksi, jolloin bakteeritoiminta jäisi vähäiseksi. Yleensä perkauksen jälkeen kalat pakataan asettamalla vatsaontelo alaspäin ja jäitetään sekä alta että päältä. Tässä pakkaustavassa on haittana se, että jäähileet voivat sulaa osittain vedeksi. Vesi kuitenkin ohjautuu laatikoiden pohjalokeroihin.

Kuljetus

Nopea kuljetus myyntiin tai kuluttajalle sekä kuljetuslämpötilan pitäminen lähellä 0-astetta on tärkeää kalan laadun pitämiseksi hyvänä.

Ongintalammikot

Ongintalammikossa ei kasvateta kaloja, vaan ne siirretään siihen 1-2 kilon painoisina joko läheisyydessä olevista kasvatusaltaista tai muilta laitoksilta. Kalaa ei ongintalammikossa ruokita, koska kalan laadun vuoksi ruoansulatuskanavan tulisi olla ennen ongintaa ja perkausta tyhjä rehusta ja ulosteista.

2.4 Vesitystekniikka

2.41 Yleistä

Kalanviljelylaitoksen tarvitsema vesi otetaan sijoituspaikasta riippuen järvestä, joesta tai maaperästä.

Mikäli vesi voidaan ottaa järvestä litoraalivyöhykkeen ulkopuolelta syvänteestä valikoidulta syvyydeltä (vähintään kahdesta tasosta) voidaan välttää silmäloisten (imumatot, jotka leviävät keuhkokotiloiden välityksellä) haitat ja valita vedenotto lämpötilan ja happipitoisuuden perusteella.

Täysin riskitön ei ole edellä mainittukaan vaihtoehto poikkeuksellisen helteen sattuessa, sillä pintakerroksessa vesi saattaa olla liian lämmintä ja syvemmällä voi esiintyä huomattavaa hapen vajausta. Käytettäessä järvivettä on aina syytä varautua veden hapatukseen.

Mikäli vesi otetaan joesta ei lämpötilaa voida valita. Vesi saattaa alijäähtyä, josta on vaaraa kalojen kiduksille. Alijäähtynyt vesi (suppo) voi jäätyä etenkin metallirakenteisiin (sihdit, välvät) kuin myös koskien kivikkoihin jolloin veden tulo saattaa vähentyä tai katketa. Joessa veden laadun vaihtelut ovat suuremmat kuin järvessä. Jokivedessä on yleensä hyvä tai tyydyttävä happitilanne ympäri vuoden.

Pohjavesi soveltuu haudontaan ja pienpoikasten viljelyyn puhtautensa ja tasaisen lämpötilan vuoksi. Jatkokasvatukseen pohjavesi soveltuu huonosti, koska se on kesäisin liian kylmää.

2.42 Suunnitteluperusteita

Vesitys on jaettu käsitteenä kahteen osaan: ulkoinen vesitys ja sisäinen vesitys. Ulkoisella vesityksellä tarkoitetaan veden johtamista kalanviljelylaitokselle ja sisäisellä vesityksellä sen jakelua käyttökohteisiin.

Vesityksen varmuuteen on kiinnitettävä aivan erityistä huomiota. Jo muutaman tunnin vesityskatko saattaa aiheuttaa kalaston tuhoutumisen.

Valtion kalanviljelylaitosten vesityksen suunnittelussa on käytetty periaatetta, että vaikka päävesitysjärjestelmässä tapahtuisi missä tahansa kohtaa vaurio niin jokaiseen käyttökohteeseen on voitava toimittaa jotain toista kautta 2/3 osaa mitoitusvirtaamasta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että putkivesityksessä vesi tuodaan laitokselle kahdella putkella, joista kummankin antoisuus mitoitetaan vähintään 2/3 koko laitoksen yhteenlasketusta suurimmasta virtaamasta, joka sattuu yleensä loppukesäksi. Mikäli ottoputket johtavat erilaista vettä (syvänte-/pintavesi) on syvänteputken mitoittamista vieläkin suuremmalle vesimäärälle harkittava olosuhteiden mukaan. Laitosalueen sisällä päävesityspotket kytketään yhteen rengasjohdoksi, jolloin vaurion sattuessa vaurioitunut kohta suljetaan lähimmistä venttiileistä ja veden syöttöä käyttökohteisiin voidaan jatkaa rengasjohdon avulla toista kautta. Näin menetellen vahingot jäävät pieniksi tai ne voidaan välttää kokonaankin siirtämällä kalat pois sellaisesta altaasta johon vettä ei voida johtaa ennenkuin vaurio on korjattu. Altaiden vesitys on lisäksi suunniteltava aina niin, että allas ei pääse tyhjenemään vaikka veden tulo siihen katkeaisikin.

Vesityksen katkaisevaa vauriota ei ole kuitenkaan katsottu voivan tapahtua avouomissa, sisätiloissa olevissa kouruissa eikä kalliitunnelissa.

Riittävän happipitoisuuden varmistamiseksi viljelyvedessä on jokaisella laitoksella oltava varalla happipullopatteristo. Valtion laitoksilla on käytössä yleensä 12 pullon

patteristo, joissa kussakin pullossa on kaasumaista happea 50 l (10 m^3 200 baarin paineessa). Uusimmilla Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen laitoksilla (Saimaa, Kainuu, Tornionjoki) on lisäksi valmius siirtyä käyttämään tarvittaessa nestemäistä happea. Säiliö ja nestemäinen happi tuodaan tarvittaessa paikalle. Saimaan laitoksella on oma 3000 kg:n säiliö. Kainuun ja Tornionjoen laitoksilla joudutaan tarvittaessa turvautumaan vuokrasäiliöihin. Jos hapen tarve muodostuu kriisitilanteessa suureksi on nestemäisen hapen käyttö edullisempaa kuin kaasumaisen hapen käyttö pulloista. Nestemäistä happea on tähän mennessä käytetty vain Saimaan laitoksella. Vuonna 1993 sitä käytettiin 4 000 kg ja v.1994 6 000 kg. Jokivettä käyttävillä laitoksilla ei ole yleensä hapen suhteen ongelmia.

2.43 Hydraulikka

Seuraavaan on pyritty kokoamaan kalanviljelylaitoksen suunnittelussa tavallisimmin tarvittavat hydraulikan perusteet. Päähuomio on kiinnitetty käytännön suunnittelun helppouteen. Tästä syystä on jäljempänä käytetty paljon kuvaajia ja nomogrammeja.

2.431 Merkintöjä ja määritelmiä

A	poikkileikkauksen pinta-ala
a	paineaallon etenemisnopeus
b	leveys
c	pitoisuus, aallon etenemisnopeus
D	$4R$ = hydraulinen halkaisija, diffuusiokerroin
d	ympyräputken, aukon, partikkelin halkaisija
E	veden kimmokerroin, dispersiokerroin
F	voima
F_x, F_y, F_z	voiman komponentit
Fr	$v/\sqrt{gh}$ = Frouden luku
f	yleinen virtausvastuskerroin
g	maan vetovoiman kiihtyvyys
H	energiakorkeus
h	korkeus, veden syvyys
h_1	energiakorkeuden alenema
I	kaltevuus, hitausmomentti
k	ekvivalenttikarkaus, kynnyskorkeus, kokoonpuristuvuuskerroin
L	putki- tai uomajakson pituus, aallon pituus
n	Manningin kerroin
$\bar{p}$	paine, märkäpiiri
Q	virtaama
R	A/p = hydraulinen säde, ks. kuva 80
Re	vD/ν (putkelle) = Reynoldsin luku
r	paikkakoordinaatti, säde
s	paikkakoordinaatti
t	aika
V	tilavuus, tuulen nopeus
v	virtausnopeus
v_x, v_y, v_z	nopeuden komponentit
x, y, z	paikkakoordinaatit
α	liike-energian korjauskerroin, kulma
β	kulma
γ	ominaispaino, kulma
ζ	paikallishäviökerroin
η	dynaaminen viskositeetti
ν	kinemaattinen viskositeetti
ϱ	tiheys
τ	leikkausjännitys

Merkintöjä täsmennetään indekseillä.

Hydrauliikka eli virtausoppi on teknisesti sovellettua hydromekaanikkaa. Aikaisemmin hydromekaanikan tutkimuskohteena ovat olleet kaikki virtaavat aineet, sekä nesteet että kaasut, mutta nykyisin kaasumeekanikka sekä hyvin viskoosien aineiden mekaniikka erotetaan omiksi aloikseen ja hydromekaanikan piiriin kuuluvat vain lievästi viskoosit nesteet, esim. vesi. Hydromekaanikka jakautuu hydrostatikkaan, joka tutkii nesteen tasapainoa, ja hydrodynamikkaan, joka tutkii nesteen liikettä ja siihen vaikuttavia voimia.

Viskositeetti eli sitkeys on nesteen kyky vastustaa nestepartikkelien välistä liikettä. Viskositeetin aiheuttaa partikkelien välinen koheesio ja sen suuruus määritellään kaavalla (1)

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} = \eta \frac{F}{A} \quad (1)$$

Dynaaminen viskositeetti η jaettuna nesteen tiheydellä ϱ on kinemaattinen viskositeetti (2)

$$\nu = \frac{\eta}{\varrho} \quad (2)$$

Ideaalineeste on viskoositonta eli $\eta = 0$. Newtonilaisen nesteen dynaaminen viskositeetti on vakio, ei-newtonilaisen nesteen viskositeetti vaihtelee nopeuden muutoksen funktiona

Laminaari- eli virtaviivavirtaus. Nestepartikkelin hetkellinen nopeus on sama kuin virtauksen keskimääräinen nopeus. Nestekerrosten välillä ei tapahdu sekoittumista

Turbulenssivirtaus. Partikkelin hetkellisen nopeuden suuruus ja suunta poikkeavat sattumanvaraisesti keskimääräisistä arvoista. Nestekerrokset sekoittuvat keskenään

Stationäärinen eli pysyvä virtaus. Virtaus ei muutu ajan mukaan.

Epästationäärinen eli muuttuva virtaus. Virtaus muuttuu ajan mukaan.

Tasainen virtaus. Virtaustekijät eivät muutu paikan mukaan.

Epätasainen virtaus. Virtaus muuttuu paikan mukaan.

Verkasvirtaus. Virtausnopeus on pienempi kuin matalan häiriöaallon etenemisnopeus, $Fr < 1$.

Kiiltovirtaus. Virtausnopeus on suurempi kuin matalan häiriöaallon etenemisnopeus, $Fr > 1$.

2.432 Bernoullin energiayhtälö

Koko hydrauliikka perustuu Bernoullin energiayhtälöön (Daniel Bernoulli, sveitsiläinen fyysikko 1700-1782). Bernoullin energiayhtälö ideaalinesteelle on seuraava:

$$\frac{v_1^2}{2g} + Y_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + Y_2 + \frac{P_2}{\gamma}$$

Todellisen nesteen sitkeys ja kitkavoimat vastustavat virtausta, joten osa energiasta muuttuu lämmöksi, eikä virtausenergia pysy vakiona niinkuin Bernoullin yhtälö edellyttää. Lisäksi virtausnopeus on on epätasaisesti jakautunut poikkileikkauksessa eikä keskimääräistä nopeutta käyttäen laskettu nopeuskorkeus ($v^2/2g$) vastaa todellista liike-energiaa. Nämä kaksi tekijää voidaan ottaa huomioon korjaamalla Bernoullin yh-

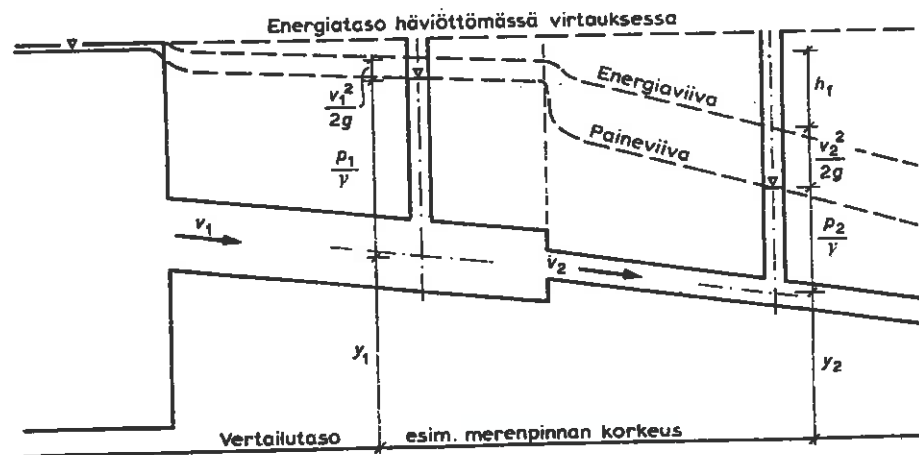
tälöä. Jos on kyseessä stationäärinen kitkallinen virtaus saadaan edellä esitetystä yhtälöstä laajennettu Bernoullin yhtälö:

$$\infty \frac{v_1^2}{2g} + Y_1 + \frac{p_1}{\gamma} = \infty \frac{v_2^2}{2g} + Y_2 + \frac{p_2}{\gamma} + hf$$

∞ = nopeuden epätasaisesta jakautumisesta aiheutuva korjauskerroin

h_f = energiakorkeuden alenema jaksossa 1...2 = paikallishäviö + kitkahäviö

Kuvassa 25 on Bernoullin yhtälö esitetty energiatason avulla.

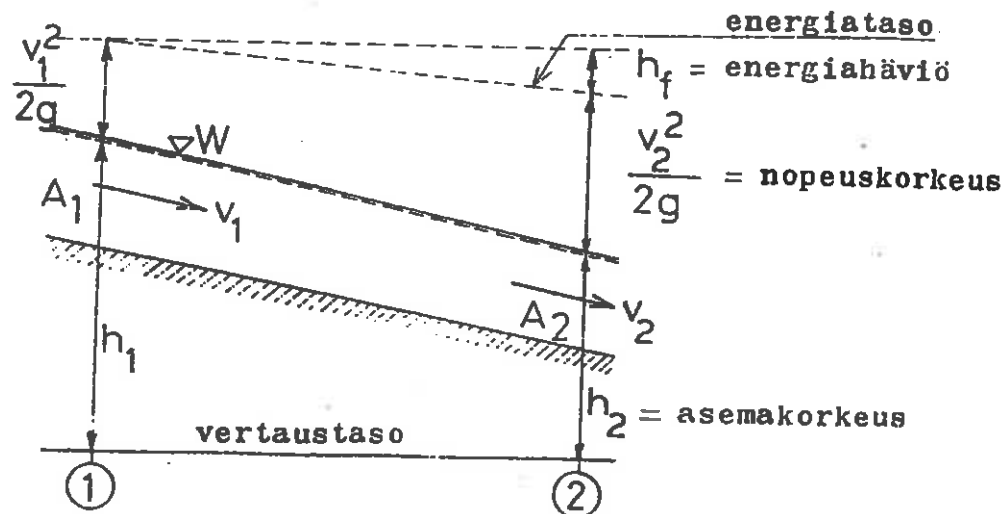


Kuva 25. Bernoullin energiayhtälö kitkalliselle nesteelle putkivirtauksessa.

Kuvassa 25 on:

$\frac{v^2}{2g}$	nopeuskorkeus
Y	asemakorkeus
$\frac{p}{\gamma}$	painekorkeus

Kuvassa 26 on esitetty Bernoullin energiayhtälö sovellettuna tasaiseen virtaukseen avouomassa.



Kuva 26. Bernoullin energiyhtälö tasaisella virtauksella avouomassa.

Bernoullin energiyhtälöitä ei voida käyttää sellaisenaan uomien tai putkistojen mitoittamiseen. Energiahäviön h_f laskeminen on hydraulikan keskeinen ongelma. Vain poikkeustapauksissa, kuten laminaarisessa putkivirtauksessa h_f voidaan laskea teoreettisesti. Tavallisesti joudutaan turvautumaan kokeisiin, joista saatujen tulosten avulla johdetaan kitkahäviölausekkeet ja -kertoimet.

2.433 Impulssilause

Newtonin mekaniikan peruslauseesta, voima = massa kertaa kiihtyvyys, seuraa impulssilause: ulkoisten voimien summa on sama kuin liikemäärän muutos. Stationäärisen virtauksen tapauksessa impulssilauseke saa muodon:

$$\rho Q (\vec{V}_2 - \vec{V}_1) = \sum \vec{F}$$

jossa F -voimiin kuuluvat tarkasteltavan virtausjakson 1-2 reunoihin vaikuttavat voimat, kuten seinämäkitka. v_1 on virtausnopeus jakson alussa ja v_2 on nopeus jakson lopussa. Impulssilauseen avulla arvioidaan esim. rajakerroksessa syntyviä häviöitä, nestesuihkun seinään aiheuttamaa voimaa, putkien tai uoman äkillisessä muutoskohdassa syntyviä häviöitä. Impulssilause on vektoryhtälö, mikä on otettava huomioon sitä käytettäessä.

Esimerkki: Vesisuihku osuu kohtisuorasti seinään. Impulssilauseen perusteella seinään

$$F = \rho Q (v_1 - v_2) = 2 \gamma A \frac{v_1^2}{2g}$$

vaikuttava voima on

v_1 suihkun tulonopeus

v_2 suihkun poistumisnopeuden komponentti tulonopeuden suuntaan ($= 0$)

A suihkun poikkileikkaus

Käytännön esimerkki: Kuinka suuri voima kohdistuu seinään, kun siihen syöksyy 400 mm:n suuruisesta putkesta vesi, jonka virtausnopeus on 1,0 m/s.

Ratkaisu: Kaavassa on

$$Q = \text{veden ominaispaino} = 1 \text{ T/m}^3 \text{ (} 10\,000 \text{ N s}^2/\text{m}^4 \text{)}$$

$$A = D^2/4 = 0,1256 \text{ m}^2$$

$$v = 1,0 \text{ m/s}$$

$$g = \text{maan vetovoiman kiihtyvyys} = 9,82 \text{ m/s}^2$$

$$F = 2 \times 1,0 \text{ T/m}^3 \times 0,1256 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m}^2/\text{s}^2 : 19,64 \text{ m/s}^2 = 0,01279 \text{ T} = 12,8 \text{ kp.}$$

Impulssilausekkeen avulla voidaan laskea myös putkeen kaarteessa veden virtauksesta kohdistuvat voimat. Bernoullin laajennetusta energiayhtälöstä voidaan johtaa kaava:

$$p_2 = \gamma \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

Tästä saadaan impulssilauseen perusteella edelleen x- suunnassa yhtälö:

$$p_1 A_1 + F_x - p_2 \cos \alpha A_2 = \rho Q (v_2 \cos \alpha - v_1)$$

josta F_x voidaan laskea:

$$F_x = \rho Q (v_2 \cos \alpha - v_1) + p_2 \cos \alpha A_2 - p_1 A_1$$

vastaavasti y-suunnassa saadaan :

$$F_y - p_2 \sin \alpha A_2 = \rho Q v_2 \sin \alpha A_2$$

josta F_y voidaan laskea

$$F_y = \rho Q v_2 \sin \alpha + p_2 \sin \alpha A_2$$

Kalanviljelylaitoksilla päärunkoputket ovat varsin suuria (600-1000 mm) ja niiden kaarrevoimat ovat huomattavia ja ne on putkien tukemista varten tunnettava.

Laskuesimerkki:

Putken sisähalkaisija on 800 mm

Virtaama $Q = 500 \text{ l/s}$

Paine putkessa on $0,5 \text{ kp/cm}^2$ (vastaa 5 metrin vesipainetta)

Putki tekee kaarteessa 30 asteen mutkan

Kuinka suuret ovat voimat F_x ja F_y sekä voimien resultantti, jota vastaan putki on tuettava.

Ratkaisu:

$$Q = 500 \text{ l/s} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$p = 0,5 \text{ kp/cm}^2 = 0,05 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$g = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$v = Q/A = 0,9947 \text{ m/s}$$

$$F_x = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,5 \text{ m}^3/\text{s} (0,9947 \text{ m/s} \times \cos 30^\circ - 0,9947 \text{ m/s}) + 0,05 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \times \cos 30^\circ \times 3,14 \times 0,8^2/4 - 0,05 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \times 3,14 \times 0,8^2/4 = 3434 \text{ N} (-350 \text{ kp})$$

Vastaavalla tavalla saadaan

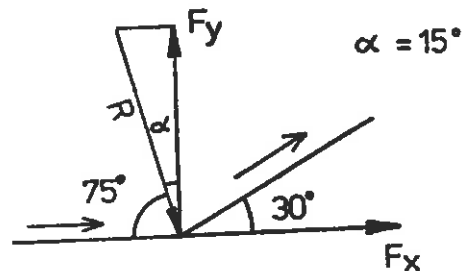
$$F_y = 1505 \text{ kP}$$

Resultantti jota vastaan tuenta on suoritettava kohdistuu kaarteeseen (150°) puolivälin suuntaan eli sen poikkeama pystysuunnasta on 15° ja vaakasuunnasta 75° .

$$\text{Resultantin } R \text{ suuruus on } F_y / R = \cos 15^\circ. \cos 15^\circ = 0,966$$

$$F_y / R = 1306 \text{ kP} / R = 0,966$$

$$R = 1352 \text{ kp.}$$



2.434 Putkivirtaus

Putkivirtausta luonnehtii Reynolds'in luku, joka ilmaisee hitausvoiman suhteen kitkavoimiin. Pyöreille putkille Re-luku määritetään yhtälöllä:

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

Kaavassa v on keskimääräinen virtausnopeus putkessa, d on putken halkaisija ja ν on nesteen kinemaattinen viskositeetti, joka vedellä riippuu sen lämpötilasta. Esimerkiksi 0 asteisella vedellä ν on $1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Kun vesi lämpenee niin sen viskositeettiarvo pienenee. Esimerkiksi 20 asteisella vedellä ν on $1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Mikäli ympyräputken Re-luku on < 2300 niin virtaus putkessa on laminaarista. Suuremmilla Re-luvuilla pienikin häiriö muuttaa virtauksen pysyvästi turbulentsiksi. Veden virtaus putkissa on lähes aina turbulentsista, sen sijaan hyvin viskoosien nesteiden, kuten öljyjen virtaus on usein laminaarista.

Esimerkki Reynolds'in luvun laskemisesta:

$$v = 1,0 \text{ m/s}$$

$$d = 0,8 \text{ m}$$

$$t = +200$$

$$\nu = 1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = 1,0 \text{ m/s} \times 0,8 \text{ m} : 1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 800\,000$$

Putkihäviöt voidaan jakaa kahteen ryhmään; kitkahäviöt ja paikallishäviöt. Häviöitä ei voida matemaattisesti laskea vaan kaikki laskentakaavoissa esiintyvät häviökertoimien arvot perustuvat kokeellisesti tehtyihin selvityksiin. Kitkahäviöt voidaan laskea Darcy'n kaavalla:

$$h_f = f \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Kaavassa f = kitkahäviökerroin, L = putken pituus ja d = putken halkaisija

Häviökerroin f saadaan Colebrookin kaavasta:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,71d} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Kaava pätee, kun putkessa vallitsee turbulenttinen virtaustila eli Reynolds'in luku on suurempi kuin 2300. Kun putkissa johdetaan vettä niin virtaustila on aina turbulenttinen edellyttäen, että putki on täynnä vettä.

Putkivirtaukselle on laadittu nomogrammeja edellä esitettyihin Darcy'n ja Colebrookin kaavoihin perustuen. Colebrookin kaavassa esiintyvä tekijä k tarkoittaa virtauspinnan keskimääräistä karkeutta ja se ilmaistaan millimetreinä. Taulukossa 5 on esitetty tavallisimpien virtauspintojen karkeusarvoja (Press 1966).

Taulukko 5. Tavallisimpien virtauspintojen karkeusarvoja.

Pinta	k-arvo (mm)
Muovi	0,007-0,01
Lasikuitubetoni	0,1
Puu, höylätty	0,3
Betoniputki	0,8
Pelti	0,3
Teräshiertobetoni	0,8
Betoni, sileä muotti	1,8
Puu, höyläämätön	1,5
Betoni, puuhierto	5-15
Sora	30-90
Sepeli	75

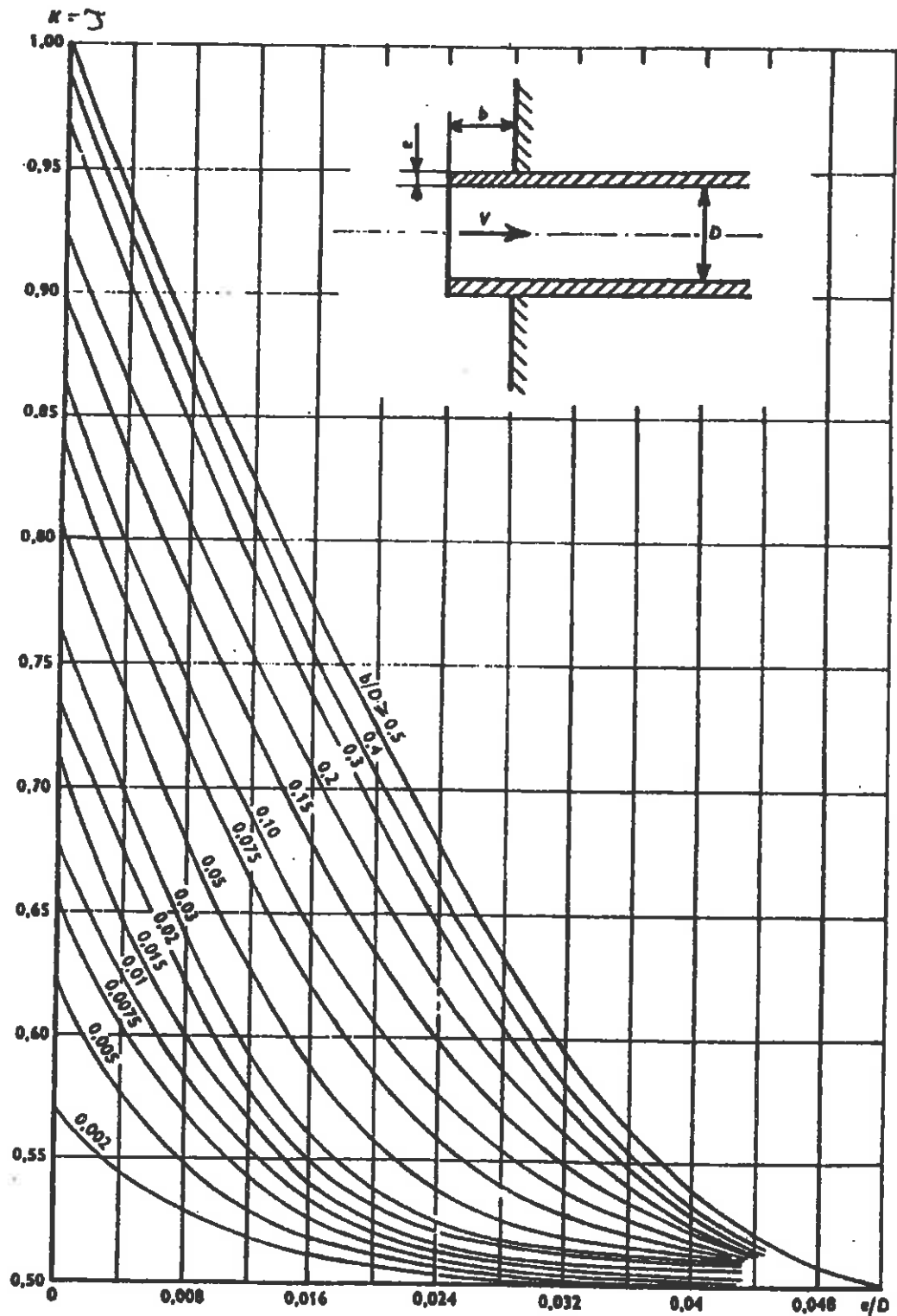
Paikallishäviöt

Paikallishäviöt voidaan arvioida kaavalla:

$$h_p = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

Häviökerroin ζ on kokeellisesti saatu kerroin ja vaihtelee tapauksen mukaan. Seuraavassa esitetään yleisimmin esiintyviä paikallishäviöitä.

Nieluhäviöt riippuvat nielun rakenteesta. Kun putki alkaa säiliöstä saadaan häviökerroimien arvot kuvasta 27.



Kuva 27. Nieluhäviöt putken alkaessa säiliöstä. Putken reunoja ei ole muotoiltu.

Esimerkki paikallishäviön laskemisesta.

Säiliöstä lähtee muoviputki PEH 200 NP 6. Putken seinämän vahvuus on 11,9 mm, sisähalkaisija on 176,2 mm. Putken pää ei ole muotoiltu ja se ulottuu altaan seinämän ulkopuolelle 100 mm. Veden nopeus putkessa tulee olemaan 1,0 m/s ja virtaama 24,3 l/s. Mikä on paikallishäviön suuruus?

Ratkaisu:

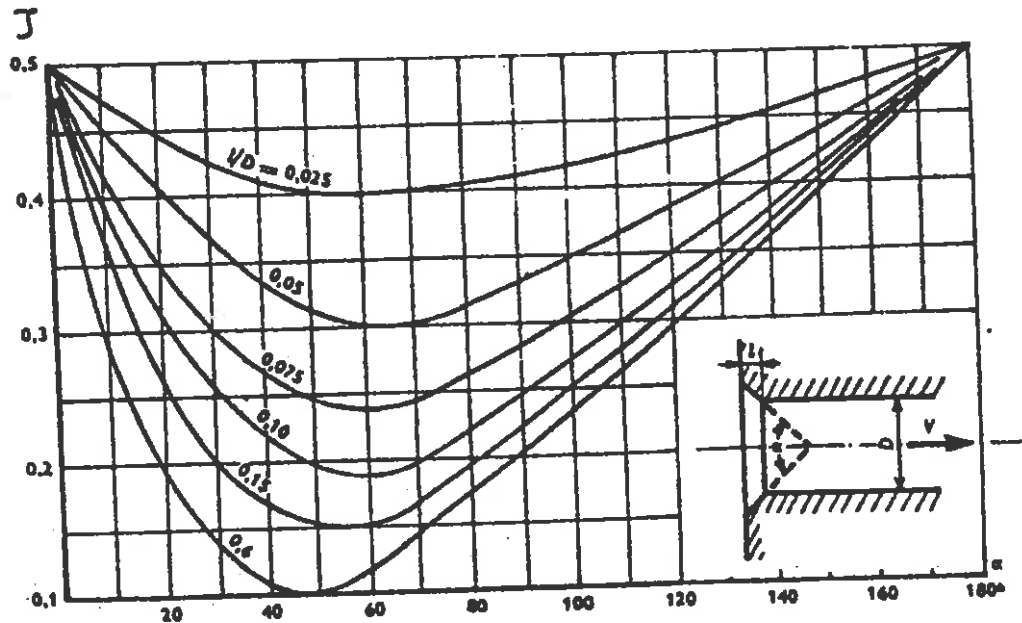
$$e/D = 11,9/176,2 = 0,0675$$

$$b/D = 100/176,2 = 0,5675$$

Kuvasta 27 havaitaan, että suhde e/D (0,0675) ei sovi käyrästäälle. Häviökerroin ζ on 0,5 ja paikallishäviön h_p suuruus on

$$h_p = 0,5 \times 1,0^2 : 2 \times 9,82 = 0,025 \text{ m} = 2,5 \text{ cm}$$

Kuvassa 28 on esitetty paikallishäviökertoimen arvot ζ silloin, kun nielu on viistetty.



Kuva 28. Paikallishäviökerroin viistetyssä nielussa.

Laskuesimerkki. Sama putki kuin edellisessä esimerkissä, mutta nielu on viistetty. Kulma $\alpha = 90^\circ$ ja $l = 0,03 \text{ m}$. $l/D = 0,03/0,1762 = 0,1703$. Kuvasta 28 saadaan häviökertoimen arvoksi likimäärin $\zeta = 0,21$

Paikallishäviö $h_p = 0,002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$. Viistetyssä nielussa paikallishäviö on vain noin 10 % siitä mikä se on silloin, kun putki alkaa säiliöstä.

Kaarrehäviöt

Suunnanmuutokset putkilinjassa tehdään joko kaarteena tai taitteisena. 1-taitteisena suunnanmuutos voidaan tehdä 45° kulmaan saakka ja siitä jyrkemmillä kulmilla 2-taitteisena. Kaarteita käytetään yleensä vain pienehköillä putkilla, jotka voidaan laskea suoraan kelalta monttuun, eli alle 100 mm:n putkilla.

Kaarteessa syntyvän paikallishäviön arvioiminen on hyvin epävarmaa. Häviöihin vaikuttavat mm. kaarresäde (R), putken sisähalkaisija (d) ja kaarrekulma. Kaarteen aiheuttama paikallishäviö arvioidaan yleisellä paikallishäviökaavalla (katso sivu 40). Likimääräisesti häviökertoimelle ζ voidaan esittää seuraavia arvoja, kun tunnetaan kaarresäde $= r$ ja putken läpimitta $= d$.

Kaarrekulma = 90°

r/d	10	5	3	2	1-0,5
ζ =	0,60	0,60	0,65	0,75	1,0

Kaarrekulma 45°

ζ = noin 75 % yllä luetelluista arvoista

Kaarrekulma 22,5°

ζ = noin 50 % yllä luetelluista arvoista

Esitetyt arvot ovat varsin korkeita, karkeissa putkissa on saatu puolet ja sileissä putkissa kolmannes näistä arvoista. Paikalliset kaarrehäviöt eivät ole yleensä häviöinä merkittäviä, mikä ilmenee seuraavasta esimerkistä:

Kaarresäde 10 m

Putken läpimitta 1,0 m

Kaarrekulma 45°

$$v = 1,2 \text{ m/s}$$

$$r/d = 10$$

$$\zeta = 0,75 \times 0,60 = 0,45$$

$$h_p = 0,45 \times 1,2^2 : 2 \times 9,82 = 0,0067 \text{ m} = 6,7 \text{ mm}$$

Useimmiten mitoituksessa tyydytään siihen, että putki mitoitetään vain normaaleille kitkahäviöille.

Välppähäviö

Välppähäviön ζ-kerroin lasketaan kaavalla:

$$\zeta = \beta \left(\frac{d}{a} \right)^4 / 3 \sin \alpha$$

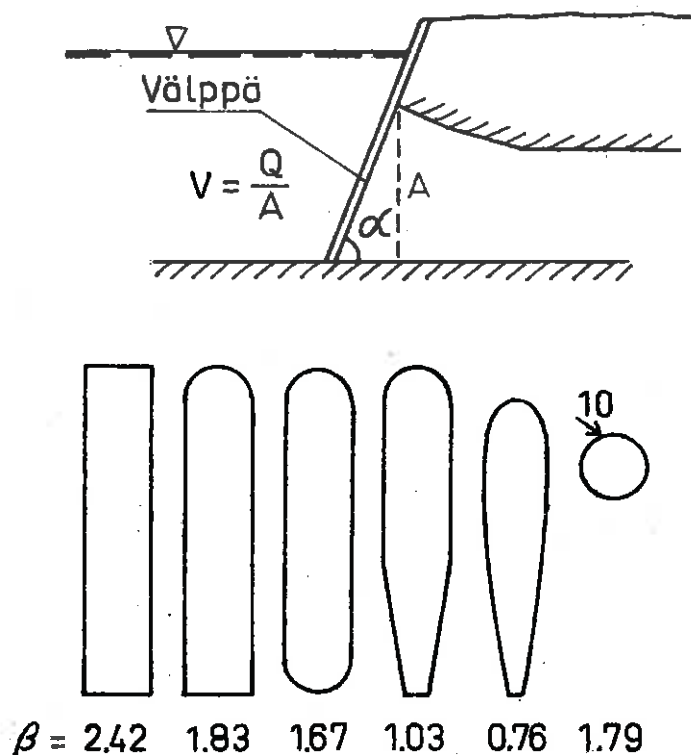
Kaavassa on:

β välppärautojen muodosta johtuva kerroin (kuva 29)

α välpän ja virtaussuunnan välinen kulma

d välppärautojen paksuus

a välppärautojen vapaa väli



Kuva 29. Välppärautojen muodosta johtuva kerroin β .

Kalanviljelylaitoksilla joudutaan vedenottoputkien päihin tekemään varsin tiheät välppät, jotta voidaan estää pienten roskakalojen pääsy tulovesiputkiin ja edelleen yksittäisten altaiden syöttöputkistoon ja venttiileihin esim. yläpuolisesta järvestä. Valtion kalanviljelylaitoksilla etenkin Saimaalla ja Kainuussa tämä on koettu ongelmaksi. Saimaan kalanviljelylaitoksessa on jopa altaallinen kaloja kuollut, kun kalliotunnelissa ja runkoputkistoissa kasvanut kala on joutunut allassyöttöventtiiliin ja tukkinut sen, jolloin allas kuivui ja kalat kuolivat. Molemmille laitoksille on jouduttu rakentamaan jälkikäteen tiheä 5 mm:n levyinen ruostumaton konevälppä toiseen runkoputkeen (kustannus noin 400 000 mk/välppä).

Esimerkki välppähäviön h_p laskemisesta.

välppä pyöröteräksestä $d = 10 \text{ mm}$

välppärautojen vapaa väli $a = 5 \text{ mm}$

välppän ja virtaussuunnan välinen kulma $\alpha = 60^\circ$

välppäraudan muotokerroin $\beta = 1,79$

$$\zeta = 1,79 \times (10/5)^{4/3} \times \sin 60^\circ = 3,90575 \quad h_p = \zeta v^2 / 2g; \quad v = 1,2 \text{ m/s}; \quad h_p = 0,286 \text{ m}$$

Edellisessä laskelmassa välppähäviö on varsin suuri. Kun vedennopeus 1,2 m/s sovitetaan esim. halkaisijaltaan 1000 mm:n putkeen, niin putkessa on virtaama $Q = v \times A = 1,2 \text{ m/s} \times 0,785 \text{ m}^2 = 0,942 \text{ m}^3/\text{s}$. Käytännössä tämän kokoiseen putkeen on myös vaikea asentaa konevälppää, joka huolehtii automaattisesti välppään kertyvien roskien puhdistamisesta. Yleisin tapa on, että jos putki ottaa vettä esim. järvestä niin rannalle rakennetaan välppää varten oma kammio, jonka takaa putki johtaa vettä laitokselle. Edellisessä tapauksessa välppän ja betonikammion leveys voisi olla 2000 mm ja välppän takana vettä 1500 mm. Kuvan 29 pinta-ala A on tällöin $3,0 \text{ m}^2$. Laitokselle lähtevä putki lähtee kammion takaseinästä, jolloin putken paikallishäviö määritetään nieluhäviönä ja välppän häviö välppähäviönä. Näin tehtynä saadaan vedennopeus v välppän pystyleikkauksessa $v = 0,942 \text{ m}^3/\text{s} : 3,0 \text{ m}^2 = 0,314 \text{ m/s}$. Paikallishäviön h_p suuruudeksi välppässä saadaan:

$$h_p = \zeta v^2 / 2g = 3,90575 \times (0,314 \text{ m/s})^2 : 2 \times 9,82 \text{ m/s}^2 = 0,02 \text{ m}$$

Välppähäviöön tulee lisätä häviö, joka syntyy kun putki tuo vettä kammioon veden alle sekä lähtevän putken nieluhäviö. Nämä häviöt on laskettu seuraavassa esimerkin vuoksi. Kun vesi tuloputkesta virtaa kammioon niin sen liike-energia häviää pyörteisiin. Häviökerroin $\zeta = 1,0$. Purkautumishäviö h_p .

$$h_p = \zeta v^2 / 2g = 1,0 \times (1,2 \text{ m/s})^2 : 2 \times 9,82 \text{ m/s}^2 = 0,07 \text{ m}$$

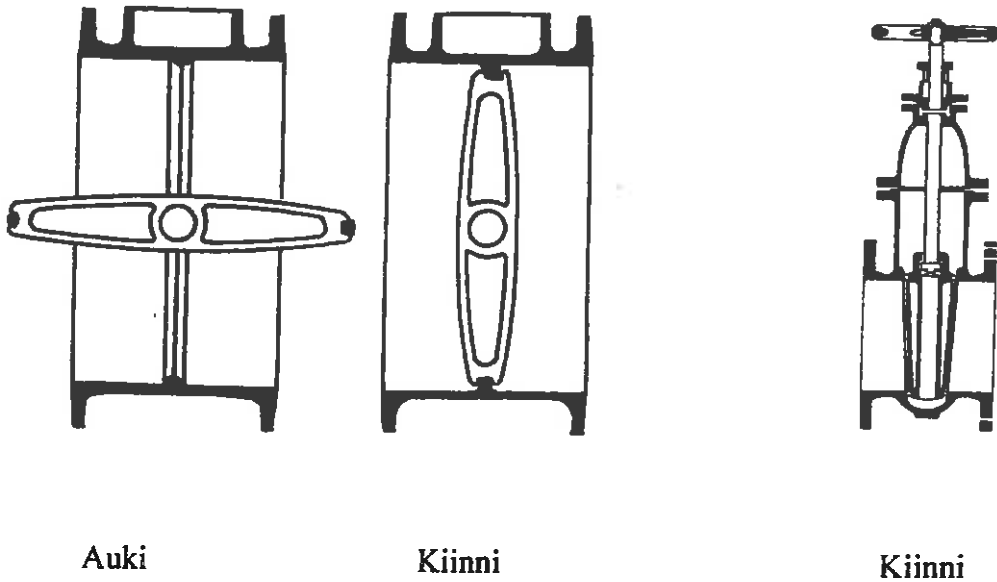
Nieluhäviö h_p . $\zeta = 0,5$

$$h_p = 0,035 \text{ m}$$

Koko välppäkammion paikallishäviöiden h_p summaksi saadaan yhteensä 14 cm.

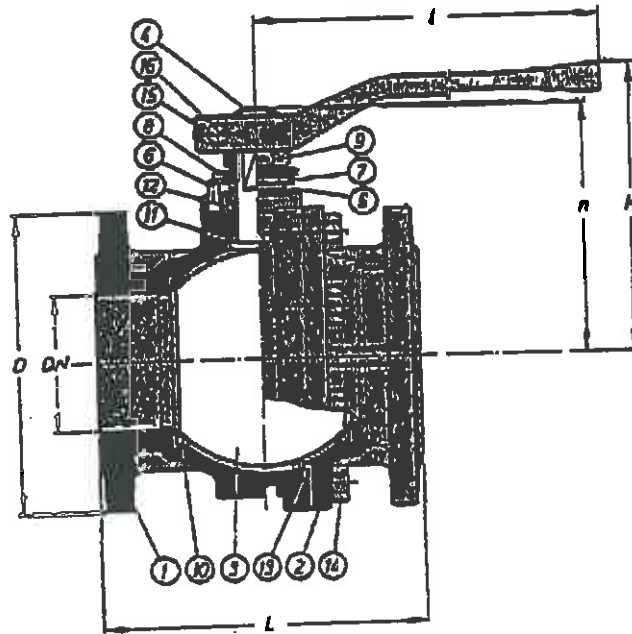
Venttiilihäviöt

Venttiilistä aiheutuvat häviöt ilmoittaa tavallisesti valmistaja. Sulkuventtiilejä on rakenteensa puolesta mitä erilaisimpia. Kalanviljelylaitoksilla runkoputkistoissa on käytetty eniten läppä- ja luistinventtiileitä. Kyseisten venttiilien toimintaperiaate ilmenee kuvasta 30.



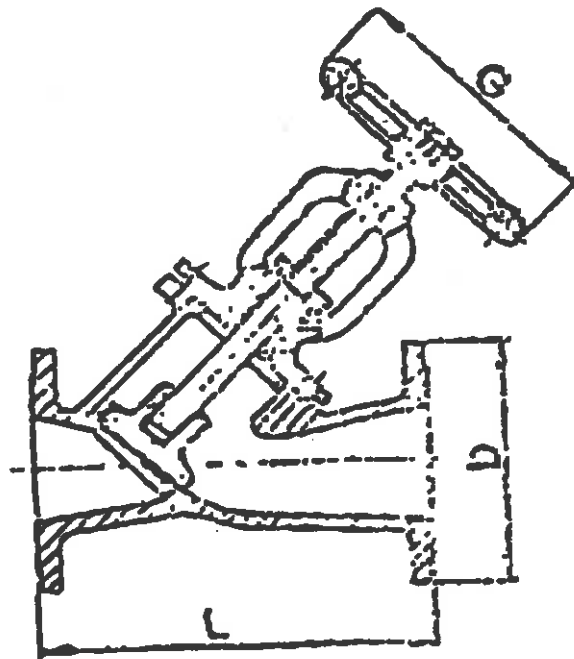
Kuva 30. Läppä- ja luistinventtiilit.

Pienissä putkissa on kalanviljelylaitoksilla käytetty palloventtiileitä (< 100 mm) ja vinoistukkaventtiileitä (10-50 mm). Palloventtiileitä on käytetty lähinnä allassyöttöventtiileinä ja vinoistukkaventtiileitä hautomoissa. Palloventtiilin ja vinoistukkaventtiilin toiminta ilmenee kuvista 31 ja 32.



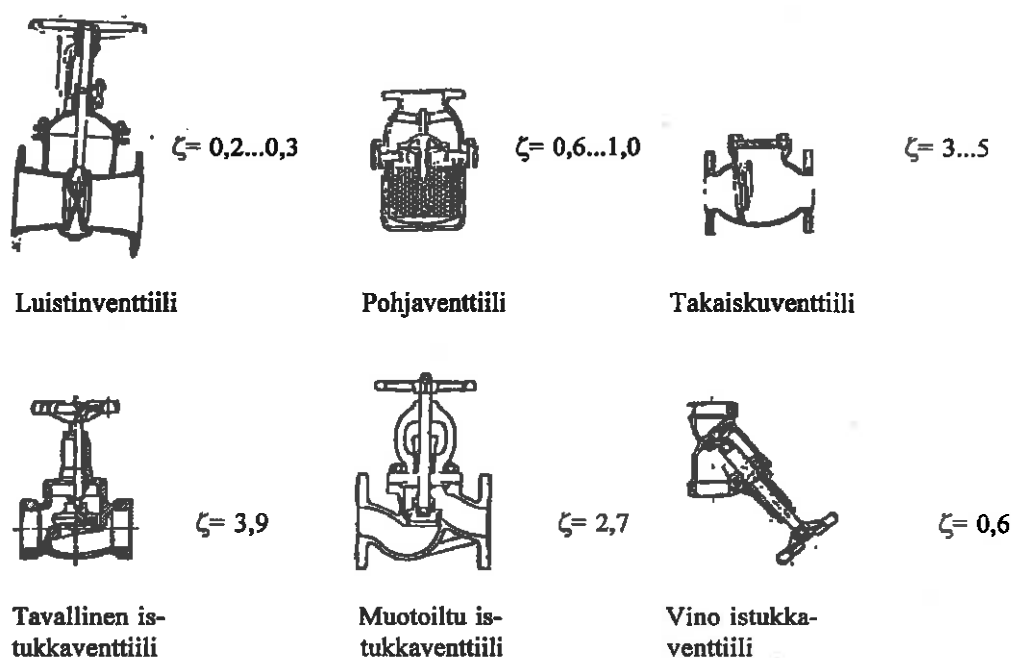
Kuva 31. Palloventtiili.

Palloventtiilin toimintaperiaate on seuraava: Laippojen välissä olevaan tilaan on asennettu suuri pallo (kuvassa nro 3), jonka läpi on porattu venttiilin kokoluokan mukainen reikä DN. Palloa voidaan pyörittää käsivivun ja karan avulla. Kun pallossa oleva reikä on täysin siihen liitetyn putken suuntainen eli venttiili on täysin auki ovat venttiilin painehäviöt erittäin pienet eikä niitä tarvitse huomioida mitoituksessa. Palloventtiileitä kokoluokassa 25-200 mm valmistaa Suomessa Högforsin nimellä Sento Oy Salossa. Pienin venttiili DN 25 painaa 4 kg ja maksaa noin 550 mk. Suurin venttiili DN 200 painaa 175 kg ja maksaa noin 9000 mk (hintataso 6/96).



Kuva 32. Vinoistukkaventtiili.

Kuvassa 33 on esitetty eräiden venttiilityyppien painehäviökertoimia.



Kuva 33. Eräiden venttiilityyppien painehäviökertoimia ζ .

Kuten edellä olevasta kuvasta ilmenee niin suurimmat painehäviöt muodostuvat tavallisessa istukkaventtiilissä. Putkistomitoituksessa käytetään yleisesti virtausnopeuksia noin 1,0 m/s. Tällöin tavallisen istukkaventtiilin painehäviö on venttiilin koosta riippumatta:

$$h_p = \zeta v^2 : 2g \quad h_p = 3,9 \times (1,0 \text{ m/s})^2 : 2 \times 9,82 \text{ m/s}^2 = 0,20 \text{ m}$$

Paineisku

Yleensä kalanviljelylaitoksilla Suomessa on putousta eli painekorkeutta putkistoissa vain noin 5 metrin (0,5 bar) suuruusluokkaa. Merkittäviä paineiskuja pääsee syntymään vain suurissa ($D > 500 \text{ mm}$) ja pitkissä runkoputkistoissa, jos linjan alapäässä oleva venttiili suljetaan liian nopeasti. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että suuretkin venttiilit voi sulkea noin 80 prosenttisesti hyvinkin nopeasti, mutta loppusulkemista tulee hidastaa. Seuraavassa on pyritty kuvaamaan paineiskun syntyyn liittyvää teoriaa. Yleisessä muodossa paineaallon etenemisnopeuden yhtälö on:

$$a = \frac{(K / \rho)^{1/2}}{(1 + \frac{K}{E} \frac{D}{e} C)^{1/2}}$$

Edellisessä kaavassa on

a = paineaallon etenemisnopeus

K = nesteen kimmomoduli. Vedellä $K = 2,07 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ($2,1 \times 10^4 \text{ kp/cm}^2$).

ρ = nesteen tiheys, vedellä 1 kg/dm^3

E = putkimateriaalin kimmomoduli

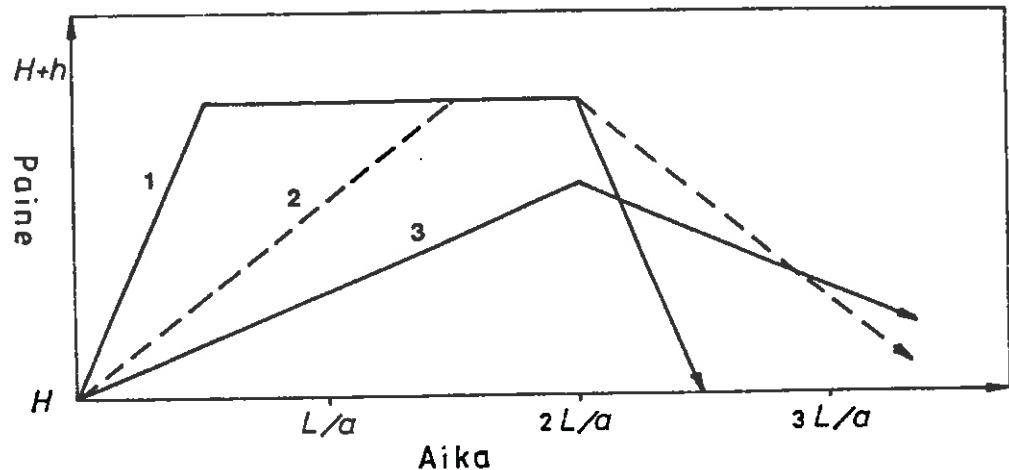
D = putken halkaisija

e = putken seinämän paksuus

C = tekijä, joka riippuu putken ankkuroinnista (katso RIL 168-1986 sivu 29)

Paineaallon teoreettiseksi maksimiarvoksi saadaan edellä olevasta yhtälöstä 1430 m/s. Tämä teoreettinen arvo on kuitenkin liian suuri edes alustavissa paineiskutarkasteluissa käytettäväksi. Alustavissa tarkasteluissa voidaan otaksua, että teräs-, valurauta- ja betoniputkissa paineaallon nopeus on 1 100 m/s, kovissa muoviputkissa (PVC) 400 m/s ja pehmeissä muoviputkissa (PEH) 200 m/s.

Sulkuventtiilin sulkeutumisajalla on selvä vaikutus paineaallon amplituudiin. Jos sulkeutumisaika on pienempi kuin paineaallon heijastumisaika, täysimittainen paineaalto saattaa syntyä kuvan 34 mukaisesti.



Kuva 34. Vasta venttiilin sulkemisajan ylitettyä $2 L/a$ (käyrä 3) maksimipaine laskee.

Venttiilin sulkemisajan pidentämisessä on otettava huomioon venttiilin tehollinen toiminta-alue. Monia venttiileitä on kuristettava 70...90 % maksimiarvostaan ennen kuin paineeseen tai virtaamaan voidaan tehokkaasti vaikuttaa. Tästä syystä sulkeutumisen viimeisen 10...30 %:n tulee kestää kauemmin kuin $2 L/a$, jotta maksimipaine vältetään. Tätä vähäisempi sulkeutumisaste ei juurikaan auta asiaa. Kun jätetään venttiiliä kohden pyrkivän vähäisen lisävirtaaman vaikutukset huomiotta, kaikki $2 L/a$:ta lyhyemmät sulkemisajat johtavat kuvan 34 mukaisesti maksimipaineen muodostumiseen.

Eräänlaisena nyrkkisääntönä, elleivät tarkemmat laskelmat edellytä muuta, venttiilien sulkeutumisaikoina voidaan käyttää:

$DN \leq 500$ sulkeutumisaika noin 2 min

$DN \geq 600$ sulkeutumisaika yli 3 min

Luistiventtiileiden (suurissa putkissa yleisin venttiili) osalta voidaan yleisesti todeta, että sulkeutumisasteen viimeiset 5...10 % ovat ratkaisevia. Sulkeutumisasteen nousu 95 %:sta 100 %:iin tulisi kestää kauemmin kuin $2 L/a$, jos maksimipaineen halutaan merkittävästi laskevan.

Esimerkki. Mikä on luistiventtiilin sulkeutumisajan oltava vähintään, kun venttiili suljetaan 95 %:n sulkuasennosta täysin kiinni. Putki PEH 800 NP 4. Putken pituus 500m. Putken seinämän vahvuus 30,6 mm.

Lasketaan paineaallon etenemisnopeus a .

Tarvittavat lähtöarvot:

K = veden kimmomoduli = $2,07 \times 10^9 \text{ Nm}^2$

ρ = veden tiheys = 1000 kg/m^3

E = putkimateriaalin kimmomoduli, PEH = $1,0 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

D = putken halkaisija = 0,7388 m

e = putken seinämän paksuus = 0,0306 m

c = tekijä, joka riippuu putken ankkuroinnista, $c = 1 - \mu^2$. μ = Poissonin luku = 0,35 (katso RIL 168-1986.) $c = 1 - 0,35^2 = 0,888$.

$$a = \frac{(2,07 \times 10^9 / 1000)^{1/2}}{(1 + \frac{2,07 \times 10^9}{1,0 \times 10^9} \times \frac{0,7388}{0,0306} \times 0,888)^{1/2}} = \frac{(2,07 \times 10^6)^{1/2}}{(45,38)^{1/2}} = 213,6 \text{ m/s}$$

$$T = \frac{2xL}{a} = \frac{2 \times 500}{213,6} = 4,7 \text{ s}$$

Jos sama laskelma suoritetaan PEH 400 NP 4 muoviputkella, joka on yhtä pitkä, ja jonka $e = 0,0153$ m ja $D = 0,364$ m, niin paineaallon a etenemisnopeus on 216 m/s. Viimeisen 5 %:n sulkemisaika olisi likipitään sama kuin edellisessä eli vähintään 4,6 s.

2.435 Putkien mitoittaminen

Nykyisin putkistot mitoitetaan yleisimmin tietokoneohjelmien avulla. Putkien mitoittamiseksi on laadittu myös erilaisia nomogrammeja joilla painehäviöt voidaan määrittää. Nomogrammit ovat varsin käyttökelpoisia yksittäisissä mitoitus tehtävissä.

Syntyvät painehäviöt (kitkahäviöt) ovat voimakkaasti riippuvaisia putken materiaalista eli materiaalin sileydestä. Eri putkimateriaaleille on niiden karkeuden mukaan laadittu omat nomogramminsa. Tavallisimpien virtauspintojen karkeusarvoja (k -arvoja) on esitetty edellä taulukossa 5 sivulla 42. Paikallishäviöt on laskettava tapauskohtaisesti kuten edellä sivuilla 42-51 on esitetty. Painehäviöiden ja paikallishäviöiden summana saadaan kokonaishäviöt selville. Kun kaikki häviöt on määritetty ja ne vähennetään lähtövesipinnan korkeudesta saadaan painetaso johtolinjan eri paikoissa, sen purkupäässä ja viljelyaltaissa.

Liitteessä 1 on esitetty mitoitusnomogrammi muoviputkille. Täydellisimmät nomogrammit, taulukot ja esimerkkimitoitukset on esitetty saksankielisenä julkaisuna teoksessa *Hilfstafeln zur Lösung wasserwirtschaftlicher und wasserbaulicher Aufgaben*.

Mitoitusnomogrammit teoksessa on esitetty putkivirtauksen lisäksi mm. avouomavirtaukselle, patoaukkojen ja ylisyyksypatojen mitoitukselle jne.

Seuraavassa on esitetty eräs käytännön esimerkki putkistojen mitoituksesta:

Tehtävä:

Kalanviljelylaitos suunnittelee ottavansa vettä yläpuolisesta järvestä enimmillään 400 l/s. Vesi otetaan järvisyvänteestä 7 m:n syvyydestä ja pinnasta 3 m:n syvyydestä. Järvisyvänteestä on matkaa rantaan rakennettavaan vedenottamorakennukseen 700 m. Pintavesiputken pituus vedenottamorakennukseen on 250 m. Vedenottamorakennuksesta on matkaa laitosalueelle rakennettavaan vedenjakorakennukseen 850 m. Vedenjakorakennuksesta vesi johdetaan yhteen halliin siten, että hallissa vesi jaetaan kahteen reunakouruun ja yhteen keskikouruun. Reunakouruihin johdetaan vettä 100 l/s ja keskikouruun 200 l/s. Vedenjakorakennuksesta on matkaa kourujen päihin 50 m. Vesi kouruihin johdetaan maanalaisissa putkissa, jotka nostetaan ylös kourujen päissä. Putkien päihin tulee siis kaksi 90° mutkaa, toinen maasta ylösnousuun ja toinen käännettäessä putki hallissa kouruun.

Mitoita putkistot ja ilmoita vedenkorkeudet a) rannassa olevassa vedenottamorakennuksessa, b) vedenjakorakennuksessa ja c) kouruissa.

Ratkaisu:

Valitaan putkimateriaaliksi PEH NP 4. Syväneputki mitoitetaan koko vedentarpeelle (400 l/s) rannassa olevaan vedenottamorakennukseen saakka ja siitä laitokselle vedenjakorakennukseen saakka 2/3 virtaamalle. Pintavesiputki mitoitetaan koko matkalla laitoksen vedenjakorakennukseen saakka 2/3 virtaamalle. Vedenjakorakennuksesta kouruihin vettä johtavat putket mitoitetaan täydelle virtaamalle. Virtausnopeudet putkissa eivät saa ylittää arvoa 1,5 m/s. Järvestä lähtevien putkien päihin tehdään pystyhaarat joiden päihin tulee vaakasuorat 30 mm:n rakovälillä olevat 10 mm:n pyöröteräksestä tehdyt välpät.

Syväneputken mitoitus: Mitoitetaan putki virtausnopeudelle 1,0 m/s. Putken poikkileikkausalan A tulee olla tällöin 0,4 m². Lähinnä tätä kokoa olevat 4 kilon PEH-putkivaihtoehdot ovat 710x27,2 ja 800x30,6 (liite 2). Huom. Muoviputkien halkaisija ilmoitetaan aina ulkohalkaisijan mitoilla. Jos valitaan 710 mm:n putki, niin sen ala A = 0,3374 m² ja virtausnopeudeksi muodostuu 1,18 m/s. Jos valitaan 800 mm:n putki niin sen A = 0,428 m² ja virtausnopeudeksi muodostuu 0,933 m/s. Teknisesti molemmat putket ovat tässä tapauksessa kelvollisia. Painehäviöitä pienemmässä putkessa syntyy 1,2 metriä kilometrille ja suuremmassa 0,7 m/km (liite 1). Kun putken pituus on 700 m niin pienemmän putken painehäviöt ovat 0,84 m ja suuremman 0,49 m. Jos putouskorkeutta olisi runsaasti käytössä niin valinta kohdistuisi pienempään putkeen ja päinvastaisessa tapauksessa suurempaan putkeen. Pienempi putki (710 mm) maksaa 1380 mk/m ja suurempi (800 mm) 1751 mk/m. Valitaan pienempi putki.

Paikallishäviöt putken ottopäässä:

Välppähäviö

Ottoputken päähän hitsataan samasta putkesta 90° mutka, jonka päähän asennetaan pyöreä halkaisijaltaan 1,0 metrin lieriö, jonka sivut ja yläpinta tehdään ruostumattomasta 3 mm:n teräsverkosta # 30 mm:n silmävälein. Lieriön korkeus on 1,0 m. Vesi putkeen virtaa teräsverkon läpi sen sivuilta ja päältä.

$$h_p = \zeta v^2 : 2g, \quad \zeta = \beta (d/a)^{4/3} \sin \alpha = 1,79 (3/30)^{4/3} \times 1 = 1,79 \times 0,0464 = 0,08$$

$$v = Q/A = 0,4 \text{ m}^3/\text{s} : 3,925 \text{ m}^2 = 0,1 \text{ m/s}$$

$$h_p = 0,08 \times 0,1^2 : 2 \times 9,82 = 0,00004 \text{ m}$$

Välppähäviötä ei tarvitse huomioida.

Nieluhäviö

$$h_p = \zeta v^2 : 2g$$

Häviökerroin ζ saadaan kuvasta 27, kun $e/D = 30,6 \text{ mm} : 738 \text{ mm} = 0,04$ ja

$$b: D \geq 0,5, \quad \zeta = 0,54, \quad v = Q/A = 0,4 \text{ m}^3/\text{s} : 0,3374 \text{ m}^2 = 1,18 \text{ m/s}$$

$$\text{Nieluhäviö } h_p = 0,54 \times 1,18^2 : 2 \times 9,82 = 0,04 \text{ m}$$

Vedenottamorakennuksessa putket on varustettava sulkuventtiileillä. Käytetään luis-tinventtiileitä. Häviökerroin $\zeta = 0,25$ (kuva 33). Venttiilihäviö $h_p = 0,25 \times (1,18 \text{ m/s})^2 : 2 \times 9,82 \text{ m/s}^2 = 0,02 \text{ m}$.

Häviöt putken ottopään ja rannalla olevan vedenottamon välillä ovat:

Painehäviö	84 cm
Nieluhäviö	4 "
Venttiilihäviö	2 "
Yhteensä	90 cm

Pintaputken mitoitus:

Pintavesiputki mitoitetetaan virtaamalle $2/3 Q$ eli $2/3 \times 400 \text{ l/s} = 267 \text{ l/s}$

Mitoitetaan putki alustavasti virtausnopeudelle $1,0 \text{ m/s}$, jolloin putken $A = 0,267 \text{ m}^2$.

Valitaan putki PEH 630x24,1 (liite 2). Putken $A = 0,2657 \text{ m}^2$ ja virtausnopeus putkessa $1,004 \text{ m/s}$.

Painehäviö on $0,25 \text{ km} \times 1,1 \text{ m/km} = 0,275 \text{ m}$ (liite 1).

Painehäviö on pitkän putken painehäviöön ($0,84 \text{ m}$) verrattuna niin pieni, että putken kokoa kannattaa pienentää. Mitoitetaan putki suurimmalle sallitulle virtausnopeudelle $1,5 \text{ m/s}$. Putken $A = 0,267 \text{ m}^2/\text{s} : 1,5 \text{ m/s} = 0,178 \text{ m}^2$.

Valitaan putki PEH 500x19,1. Sen $A = 0,1813 \text{ m}^2$. Virtausnopeus putkessa on $1,47 \text{ m/s}$. Painehäviö = $3,2 \text{ m/km}$ (liite 1) eli $0,25 \text{ km} \times 3,2 \text{ m/km} = 0,8 \text{ m}$.

Nieluhäviö $h_f = \zeta v^2 : 2g$ $e/D = 0,04$, $b:d \geq 0,5$, $\zeta = 0,54$, $h_f = 0,54 \times 1,47^2 : 2 \times 9,82 = 0,06 \text{ m}$.

Venttiilihäviö $h_f = 0,25 \times (1,47 \text{ m/s})^2 : 2 \times 9,82 \text{ m/s}^2 = 0,03 \text{ m}$.

Häviöt yhteensä $0,80 \text{ m} + 0,06 \text{ m} + 0,03 \text{ m} = 0,89 \text{ m}$.

Häviöt rannalla olevan vedenottamorakennuksen ja laitoksella olevan veden- jakorakennuksen välillä:

Vedenottamorakennuksessa syntyy välppä-, venttiili ja nieluhäviöitä. Vedenottamorakennuksen vesikammioon rakennetaan koneellinen hienovälppä 10 mm:n ruostumattomasta lattateräksestä pyöristetyllä etureunalla. Välppän säleiden vapaaväli on 5 mm . Välppä asennetaan 60° kaltevuuteen ja sen vedessä olevan osan leveys on $1,5 \text{ m}$ ja pystysuoraan mitattu korkeus $1,5 \text{ m}$. Putket laitokselle lähtevät välppän takaa.

Välppähäviö: $h_f = \zeta v^2 : 2g$, $\zeta = \beta (d/a)^{4/3} \sin \alpha$

$\zeta = 1,67 (10 : 5)^{4/3} \times \sin 60^\circ = 1,67 \times 2,52 \times 0,308 = 1,30$

$h_f = 1,30 \times (0,4 \text{ m}^3/\text{s} : 2,25 \text{ m}^2)^2 : 2 \times 9,82 \text{ m/s}^2 = 0,002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$. Välppähäviö on niin pieni, ettei sitä tarvitse tässä huomioida.

Nieluhäviön laskemiseksi on ensin mitoittettava laitokselle vedenjakorakennukseen menevät putket, jotta tiedetään veden virtausnopeus putkissa. Vesi laitokselle johdetaan kahdella 850 metriä pitkillä putkilla, jotka mitoitetaan siten, että kummastakin putkesta saadaan $2/3$ maksimiviesimäärästä eli $2/3 \times 400 \text{ l/s} = 267 \text{ l/s}$.

Jos virtausnopeus putkissa on noin $1,0 \text{ m/s}$, niin molemman putken poikkileikkausalan täytyy olla $0,267 \text{ m}^2$. Putken sisähalkaisija $d_i = \sqrt{4A/\pi} = \sqrt{4 \times 0,267 \text{ m}^2/3,14} = 0,583 \text{ m}$. Lähinnä tätä kokoa oleva putki on PEH 630x24,1 mm NP 4 (liite 2). Putken sisähalkaisija on $581,8 \text{ mm}$ ja $A = 0,2657 \text{ m}^2$. Virtausnopeus putkessa on $1,004 \text{ m/s}$.

Nieluhäviö $h_f = \zeta v^2 : 2g$. Häviökertoimen ζ arvot saadaan kuvasta 27, kun $e/D = 24,1 / 581,8 = 0,041$ ja $b:D = 1/581,8 = 0,0017$, $\zeta = 0,50$.

$h_f = 0,5 \times (1,004 \text{ m/s})^2 : 2 \times 9,82 = 0,05 \text{ m}$.

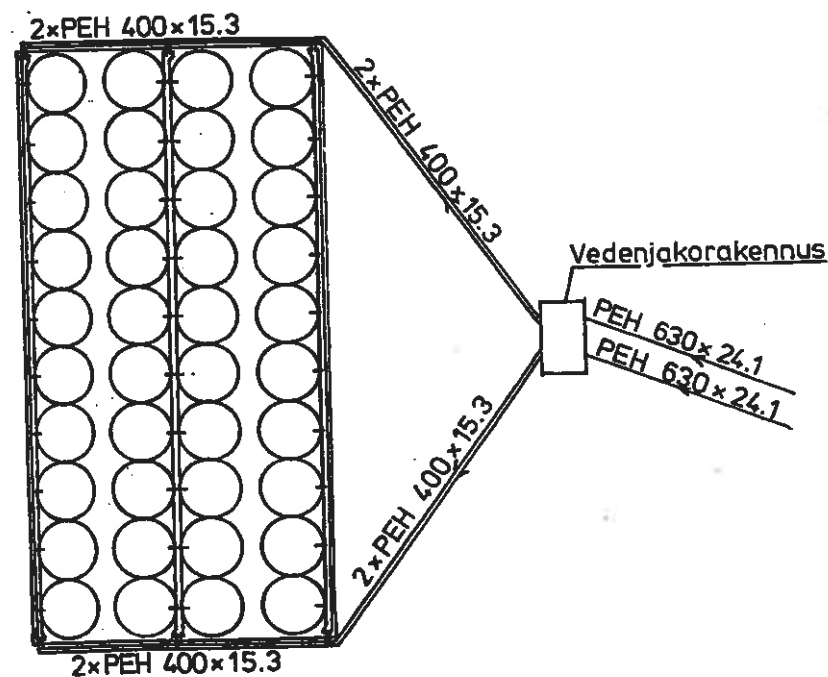
Venttiilihäviö $h_f = 0,25 \times (1,004 \text{ m/s})^2 : 2 \times 9,82 \text{ m/s}^2 = 0,01 \text{ m}$.

Painehäviö (kitkahäviö) putkessa on 1,1 m/km (liite 2). Kun putkien pituus on 850 m niin painehäviö on $0,85 \times 1,1 \text{ m} = 0,935 \text{ m}$. Koska laitos tarvitsee vettä normaalitilanteessa 400 l/s niin toisen putken kautta tulevaa vesimäärää joudutaan venttiilillä kurostamaan niin, että siitä otetaan vain 133 l/s. Kriisitilanteessa jolloin toinen putkista vaurioituisi niin toisesta putkesta saataisiin aina vesimäärä $\frac{2}{3} Q_{\text{maks}} = 267 \text{ l/s}$. Laitos voi toimia tilapäisesti turvallisesti tällä vesimäärällä niin kauan kun putkirikko saadaan korjattua.

Häviöt vedenottamorakennuksen ja vedenjakorakennuksen välillä ovat yhteensä $0,05 \text{ m} + 0,01 \text{ m} + 0,935 \text{ m} = 0,995 \text{ m}$. Järvestä syväneputken ottopäästä vedenjakorakennukseen saakka ovat häviöt yhteensä 1,885 m.

Valtion kalanviljelylaitosten rakentamisessa on osoittautunut parhaaksi tavaksi johtaa vesi vedenjakelukouruihin kourujen molemmista päistä ja poistaa vesi kourujen keskelle asennettavasta ylivuotoputkesta. Tämä koskee etenkin pitkiä yli 50 m:n pituisia kouruja. Jos vesi johdetaan pitkiin kouruihin vain toisesta päästä, niin virtausnopeudet kourujen alkupäässä muodostuvat niin suuriksi, että siitä on haittaa johdettaessa vettä kourun alkupäästä viljelyaltaisiin.

Vedenjakorakennuksesta hallin vedenjakelukouruihin vesi johdetaan hallin molempiin päihin kahdella rinnakkaisella putkella siten, että jokainen putki mitoitetetaan virtaamalle 100 l/s. Putket asennetaan hallin seinien ulkopuolelle, jotta ne saadaan vauriotilanteessa helposti esille (kuva 35). Vesi kuhunkin kouruun otetaan molemmista putkista. Reunakouruihin johdetaan vettä 100 l/s ($2 \times 50 \text{ l/s}$) ja keskikouruun 200 l/s ($2 \times 100 \text{ l/s}$). Vedenjohtomatkaa putkien päihin saakka on 95 m.



Kuva 35. Veden johtaminen vedenjakorakennuksesta kalanviljelyhalliin.

Mitoitetaan kukin putki virtaamalle 100 l/s ja alustavasti vedennopeudelle 1,0 m/s. Kunkin putken poikkileikkausala on tällöin $0,1 \text{ m}^2$. Putkien laskennalliset sisähalkaisijat ovat tällöin 0,36 m. Valitaan putkiksi PEH 400 x 15,3. Virtausnopeudet putkissa ovat 1,07 m/s. Nieluhäviö $h_p = \zeta \times v^2 : 2 \times g = 0,25 \times 1,07^2 : 2 \times 9,82 \text{ m/s}^2 = 0,015 \text{ m} \approx 0,02 \text{ m}$. Painehäviö putkessa PEH 400 on 1,8 m/km (liite 1) eli $95/1000 \times 1,8 \text{ m} = 0,17 \text{ m}$. Häviöiden summa vedenjakorakennuksen ja hallin välisessä putkessa PEH 400 on 0,19 m.

Pääputkista vesi johdetaan kouruihin PEH-paineputkilla PN 4. Mutkat ja kulmat tehdään hitsaamalla. Putket mitoitetaan virtaamalle $2/3 Q_{\max}$. Reunakouruihin menevät putket mitoitetaan virtaamalle $2/3 \times 100 \text{ l/s} = 67 \text{ l/s}$ ja keskikouruun menevät putket virtaamalle $2/3 \times 200 \text{ l/s} = 133 \text{ l/s}$. Mitoitetaan putket alustavasti virtausnopeudelle $1,0 \text{ m/s}$. Reunakouruihin johtaviksi PEH putkiksi valitaan putki PEH 315 x 12,1, jonka $A = 0,066 \text{ m}^2$ ja vedennopeus putkessa $1,0 \text{ m/s}$.

Nieluhäviö PEH 315 putkessa on $h_p = \zeta \times v^2 : 2g = 0,25 \times 1,0^2 : 2 \times 9,82 \text{ m/s}^2 = 0,01 \text{ m}$. Kaarrehäviö putken 90° nousussa on $h_r = \zeta \times v^2 : 2g = 1,0 \times 1,0^2 : 2 \times 9,82 \text{ m/s}^2 = 0,05 \text{ m}$. Putki viedään suoraan kourun pohjasta läpi. Häviöiden summa vedenjakorakennuksen ja hallin reunakourun välillä on $0,25 \text{ m}$.

Keskikouruun vettä johtaviksi putkiksi valitaan PEH 400 x 15,3. Putken $A = 0,107 \text{ m}^2$ ja veden virtausnopeudeksi putkessa tulee $1,24 \text{ m/s}$. Nieluhäviö on $0,02 \text{ m}$ ja kaarrehäviö 90° nousussa on $0,08 \text{ m}$. Häviöiden summa vedenjakorakennuksen ja keskikourun välillä on $0,29 \text{ m}$.

Otettaessa vesi järvisyvänneestä hallin reunalla oleviin vedenjakokouruihin syntyy häviöitä yhteensä $213,5 \text{ cm}$. Keskikouruun saakka syntyy häviöitä yhteensä $217,5 \text{ cm}$.

Käsitteenä esim kustannusarvion laadinnassa ulkoisella vesityksellä tarkoitetaan veden johtamista vedenjakorakennukseen saakka. Sisäisellä vesityksellä tarkoitetaan veden johtamista kulutuspisteisiin ja edelleen käytetyn veden johtamista pudistukseen ja siitä purku-uomaan.

Vesityskourujen mitoitusta käsitellään jäljempänä avouomavirtauksen yhteydessä.

2.436 Avouomavirtaus

Veden tasainen virtaus esiintyy luonnonuomissa varsin harvoin, koska uomien poikkileikkausala vaihtelee jatkuvasti. Sensijaan rakennetuissa tekouomissa on osia, joissa virtaus on ainakin ajoittain tasaista (vedenpinnan ja pohjan kaltevuudet ovat yhtäsuuria, poikkileikkaus pysyy vakiona jne.). Uoma voidaan tällöin mitoittaa tasaisen liikkeen kaavan avulla.

Chézy'n kaava (Antoine Chézy, ranskalainen insinööri, kehitti kaavan v. 1796) veden virtaukselle avokanavassa on

$$v = c\sqrt{RJ}$$

Kaavassa on:

v = veden keskimääräinen nopeus poikkileikkauksessa

C = Chézy'n kerroin

R = A/p on hydraulinen säde

A = vesipoikkipinta-ala, p on märkäpiiri (poikkileikkauksen määrän osan pituus pohjaa vasten)

J = vedenpinnan ja uoman pituuskaltevuus

Chézy'n kertoimen C määrittämiseksi on kehitetty useita kokeellisia kaavoja. Nykyisin käytetään eniten Manningin kaavaa, (Robert Manning, irlantilainen insinööri, kehitti kaavan v. 1889) jonka mukaan

$$C = 1/n R^{1/6}$$

Kaavassa n on Manningin karkeuskerroin. Yhdistämällä edellä oleva kaava Chezy'n kaavaan saadaan

$$v = 1/n R^{2/3} J^{1/2}$$

Kun $J = h_f/L$, jossa h_f on putoushäviö matkalla L ja $v = Q/A$ saadaan putoushäviölle lauseke

$$h_f = n^2 Q^2 L : A^2 R^{4/3}$$

Manningin karkeuskerroin n on useimmiten arvioitava. Putoushäviön h_f yhtälöstä käy ilmi, että uoman karkeuskerroin n vaikuttaa putoushäviön h_f suuruuteen varsin voimakkaasti, koska n arvo on toisessa potenssissa. Manningin kertoimen n arvioimiseksi voidaan käyttää taulukon 6 arvoja.

Taulukko 6. Manningin kaavan karkeuskertoimen n arvoja (Press 1966).

Tekouomat, kourut Uoman tyypit	Minimi	Normaali	Maksimi
Sileä teräspinta			
Maalamaton	0,011	0,012	0,014
Maalattu	0,012	0,013	0,017
Puu			
Höylätty	0,010	0,012	0,014
Höyläämätön	0,011	0,013	0,015
Betoni			
Teräshierretty	0,011	0,013	0,015
Puuhierretty	0,013	0,015	0,016
Muotteja vastaan valettu	0,014	0,017	0,020
Kaivettu uoma			
Maa, suora ja tasainen			
Puhdas äsken valmistunut	0,016	0,018	0,020
Sora, tasainen pohjaleveys, puhdas	0,025		0,030
Lyhyttä ruohoa, vähän kasvillisuutta	0,022	0,027	0,033
Maa, kaarteita			
Ei kasvillisuutta	0,023	0,025	0,033
Kivinen pohja, luiskat ruohottuneet	0,025	0,035	0,040
Louhospohja, puhtaat luiskat	0,030	0,040	0,050

Mitoitettaessa uusia avouomia putoushäviö määräytyy uoman kaltevuuden mukaan. Jos kaltevuutta on esimerkiksi käytössä 1 m kilometrille niin putoushäviö on sama. Vesisyvyys uomassa määräytyy tällöin uoman karkeuden, leveyden ja luiskakaltevuuksien mukaan.

Tehtävä:

Kuinka paljon virtaa vettä uudessa kaivetussa uomassa, jonka pituuskaltevuus on 0,7 m kilometrille, uoman pohjan leveys on 0,8 m, luiskat kaltevuudessa 1:2 ja vesisyvyys 1,2 m.

Ratkaisu:

$$h_f = \frac{n^2 Q^2 L}{A^2 R^{4/3}} \text{ virtaama}$$

$$Q = \sqrt{\frac{A^2 R^{4/3} h_f}{n^2 L}}$$

Valitaan taulukosta 6 n arvo 0,027.

$$A = 3,84 \text{ m}^2$$

$$R = A/p = 3,84/6,16 = 0,62 \text{ m}$$

$$h_f = 0,7 \text{ m}$$

$$L = 1000 \text{ m}$$

$$Q = \sqrt{\frac{3,84^2 \times 0,62^{4/3} \times 0,7}{0,027^2 \times 1000}} = 2,73 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toisinpäin matemaattisesti ratkaistuna tehtävä on vaikeampi. Jos tehtävänä on mitoittaa uoma, kun kaltevuutta on 0,7 m/km, virtaama 2,73 m³/s, vesisyvyys 1,2 m ja luisakat on tehtävä sivukaltevuudelle 1:2, niin ratkaisu onnistuu asettamalla kaavaan pinta-alaa A kuvaavan matemaattisen yhtälön (edellisessä esimerkissä $A = bh + 2h^2$) tai kokeilemalla erilaisia pohjanleveyksiä.

Liitteissä 2 ja 3 on esitetty mitoitusnomogrammit avokanavien mitoittamiseksi tavallisin kysymykseen tulevissa tapauksissa. Kyseisten nomogrammien avulla voidaan mitoittaa avokanavat, joiden virtaamat ovat välillä 1-20 000 l/s. Liitteessä 4 on esitetty nomogrammi, jonka avulla voidaan mitoittaa vedenjakelukourut. Seuraavassa on esitetty esimerkki hallin kourujen mitoituksesta.

Tehtävä:

Mitoita halliin tulevat vesityskourut, jotka tehdään laminoimalla lasikuidusta. Seinien vierellä kulkeviin kouruihin johdetaan vettä 100 l/s ja keskellä kulkevaan kouruun 200 l/s. Hallissa on yhteensä 40 kalanviljelyallasta joiden halkaisija on 8 m. Seinien vierellä on 2 x 10 allasta ja keskellä kourun kahtapuolen yhteensä 20 allasta. Kuhunkin altaaseen johdetaan kourusta vettä 10 l/s. Jokaisen kourun pituus on 85m.

Ratkaisu:

Periaatteessa kourut voitaisiin mitoittaa niin, että kourun koko pienenesi jatkuvasti siinä virtaavan vesimäärän mukaisesti. Käytännössä näin ei kuitenkaan kannata tehdä, koska kourun valumuotit olisi rakennettava monista osista ja se lisäisi kustannuksia. Kouruille kannattaa valita sama pohjanleveys koko matkalle.

Valtion kalanviljelylaitoksilla on käytetty yleisimmin kahta kourunkokoa. Pitkissä halleissa on käytetty kourua $b \times h = 30 \times 50 \text{ cm}$ ja lyhyemmissä $30 \times 40 \text{ cm}$. Pitkissä kouruissa on vesisyvyys ollut 40 cm ja lyhyemmissä 35 cm. Liitteenä 4 olevalla nomogrammilla voidaan mitoittaa vain kouruja joiden pienin pohjanleveys on 40 cm. Valtion kalanviljelylaitosten suunnittelussa on osoittautunut hyväksi ratkaisu, jossa kouruihin vesi syötetään molemmista päistä ja "liikavesi" poistuu kourun keskeltä yli-putken kautta. Jos vesi syötetään kouruun vain toisesta päästä, niin vesi purkaantuu niin suurella voimalla kouruun, että siitä aiheutuu vaikeuksia kourun alkupäässä ennenkuin virtaus tasoittuu. Valitaan kourujen leveydeksi 40 cm ja sallitaan putoushäviöitä kouruissa puolen kourun pituudella (42,5 m) 2 cm eli kourun vesipinnan kaltevuudeksi J muodostuu 0,47 ‰. Nomogrammiin on merkitty opastukseksi viivoilla ja numeroilla 1-5 keskikourun mitoittaminen, kun karkeuskertoimena k_s käy-

tään arvoa 100. Nomogrammista voidaan lukea, että virtaama $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ vaatii vesisyvyyttä kourussa noin 45 cm. Valitaan keskikouruksi $b \times h = 40 \text{ cm} \times 55 \text{ cm}$.

Reunakourut, jotka mitoitetaan virtaamalle 50 l/s , vaativat vesisyvyyttä 25 cm. Valitaan reunakouruiksi $b \times h = 40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$.

Valtion kalanviljelylaitosten rakentamisessa on käytäntö opettanut, että kourujen virtaushäviöt ovat merkityksettömiä, kun kourut mitoitetaan suoraan vedennopeudella $0,6 \text{ m/s}$. Edellisessä tehtävässä keskikourussa virtausnopeus on $0,56 \text{ m/s}$ ja reunakouruissa $0,5 \text{ m/s}$.

Inarin kalanviljelylaitoksella tehdyissä virtauskokeissa on osoittautunut hyväksi ratkaisu, jossa kouru sijoitetaan siten, että kourun vesipinta on 90 cm halkaisijaltaan 8 m etrin viljelyaltaan vesipinnan yläpuolella. Kourusta vesi johdetaan altaaseen kahdella altaan reunaan sen vastakkaisille puolille asennettavalla 125 mm:n pystyputkella jotka varustetaan viidellä 25 mm:n reiällä ja reiät suunnataan tangentialisesta altaan reunan suuntaan. Kustakin reiästä tulee vesisuihku, jonka antoisuus on noin 1 l/s . Virtausnopeudeksi altaan reunalla on em. järjestelyllä mitattu $0,30 \text{ m/s}$ ja keskimäärin altaassa $0,15 \text{ m/s}$.

2.5 Vesimäärien mittaus

2.51 Yleistä

Vesioikeuden lupapäätöksessä veloitetaan aina vedenkäyttäjää eli tässä tapauksessa kalanviljelijää mittaamaan ja pitämään kirjaa käyttämistään vesimääristä. Vesimäärätiedoilla on tärkeä merkitys myös kalanviljelyn kannalta, sillä kalanviljelijä voi käyttää niitä hyväkseen käytännön kalanviljelytoiminnassa. Viranomaisvalvontaa varten riittää yleensä yksi vesimäärän mittauspiste, joka sijoitetaan joko tulopäähän tai purkupäähän.

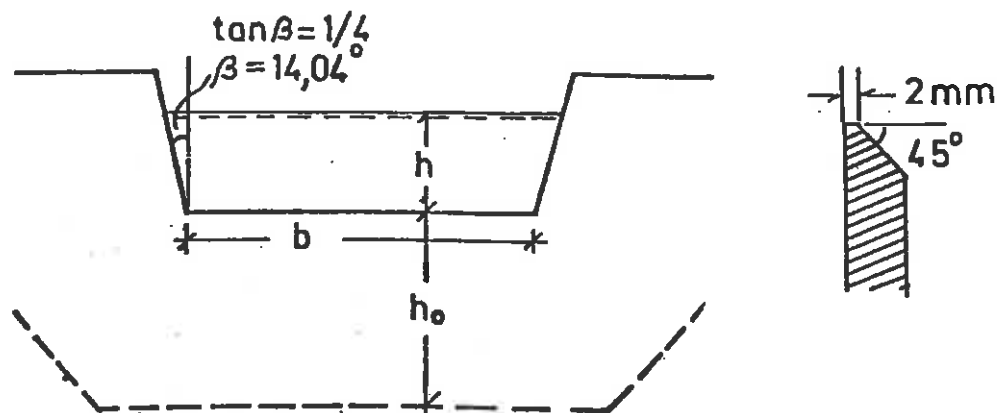
2.52 Mittapadot

Mittapadon muoto määritetään sellaiseksi, että saavutetaan riittävä tarkkuus kyseisellä virtaaman vaihteluvälillä. Jotta mittapatojen purkautumiskäyrä saataisiin määritetyksi luotettavasti laskennallisin keinoin on sijoitus- ja virtausolosuhteiden täytettävä seuraavat vaatimukset (Rinne 1945).

- padon harja on vaakasuora ja terävä
- yläveden minimikorkeus on mittaustarkkuuden kärsimättä $6\text{--}10 \text{ cm}$
- yläveden korkeus on korkeintaan puolet padon leveydestä ($h \leq b/2$)
- yläveden korkeus on korkeintaan puolet padon korkeudesta ($h \leq h_0/2$)
- yläkanavan syvyys on oltava vähintään kolme kertaa yläveden korkeus ($h_0 + h \geq 3h$)
- vedenkulun on oltava tasaista ja alkunopeuden mahdollisimman pieni ($v_0 \text{ maks} \approx 0,2\text{--}0,3 \text{ m/s}$).

Suurehkoissa avouomissa voidaan mittapadonä käyttää Cipolettin patoa, jonka kulma $\beta = 14,04^\circ$. Cipolettin pato on esitetty kuvassa 36, josta käyvät ilmi myös edellä tarkoitettu sijoitus- ja virtausolosuhteita koskevat matemaattiset merkinnät. Virtaama laskeaan kaavalla :

$$Q = 1,865 \times b \times h^{3/2} \text{ (Rinne 1945)}$$



Kuva 36. Cipolettin pato.

Laboratorio-olosuhteissa ja pienillä vesimäärillä luonnossa käytetään usein V-patoa. Yleisimmän eli 90-asteisen Thompson padon käyttökelpoinen mittausalue on 20-300 l/s ilman erillistä padon kalibrointia. V-muotoisen padon virtaama saadaan kaavalla:

$$Q = 8 / 15 \mu \tan \alpha / 2 h^{5/2} \sqrt{2g} \quad (\text{Stephenson 1978})$$

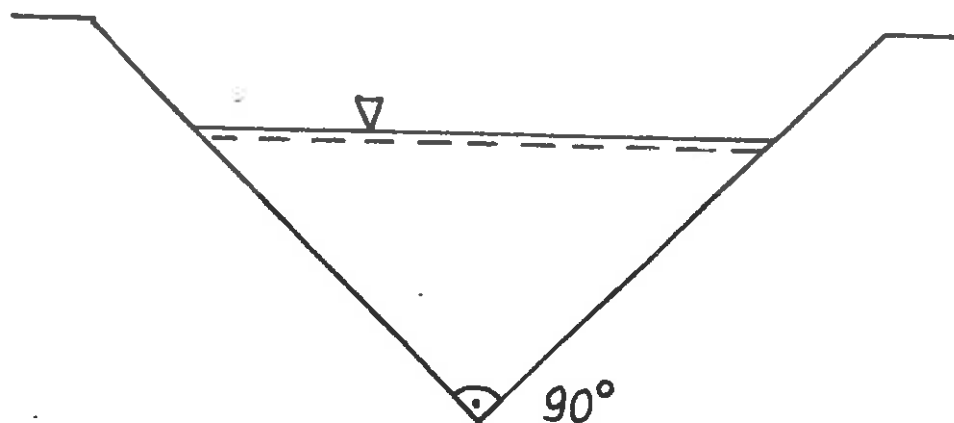
Purkautumiskertoimen μ arvo Barrin mukaan

$$\mu = 0,565 + 0,087 h^{-0.5}$$

Varsinaisen Thompson- padon virtaama saadaan kaavalla:

$$Q = 0,0146 h^{5/2}$$

Thompsonin pato on esitetty kuvassa 37.



Kuva 37. Thompson pato.

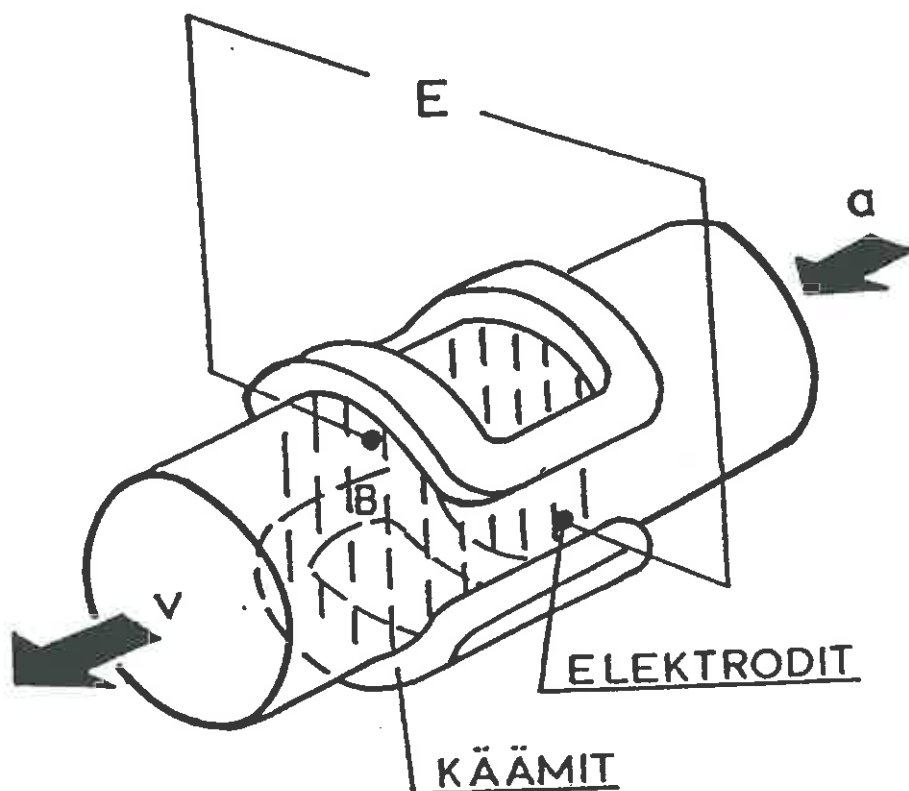
Jotta purkautuminen tapahtuisi vapaasti, tulee ilman päästä virtaavan vesisäikeen alle. Padon yläpuolella virtauksen tulee olla rauhallinen ja mahdollisimman hidas ($\leq 0,5$ m/s). Alaveden pinnan tulee olla selvästi padon harjan alapuolella ($t \geq 0,3$ m). Putouskorkeutta teräväharjainen mittapato tarvitsee siis vähintään 30 cm harjalta alaspäin.

2.53 Putkimittaus

Kalalaitoksen tulo- ja poistovirtaamia voidaan mitata myös putkeen sijoitetulla mittalaitteella. Aikaisemmin tähän tarkoitukseen oli käytössä vain putkiventureita. Viime vuosina ovat magnetinen mittaus sekä ultraäänimittaus syrjäyttäneet putkiventurit tarkkuutensa vuoksi.

Magneettinen mittaus

Mittaus perustuu Faradayn induktiolakiin (kutsutaan myös induktiiviseksi virtaamanmittaukseksi). Menetelmä soveltuu nesteille, joilla on tietty vähimmäissähkönjohtavuus. Mittausputki on vuorattu jollain eristeaineella, vain vastakkain putken sisälle sijoitetut elektrodit koskettavat mitattavaa nestettä. Vuorauksen ulkopuolella olevilla käämeillä aikaansaadaan mittausputkeen magneettikenttä (kuva 38).



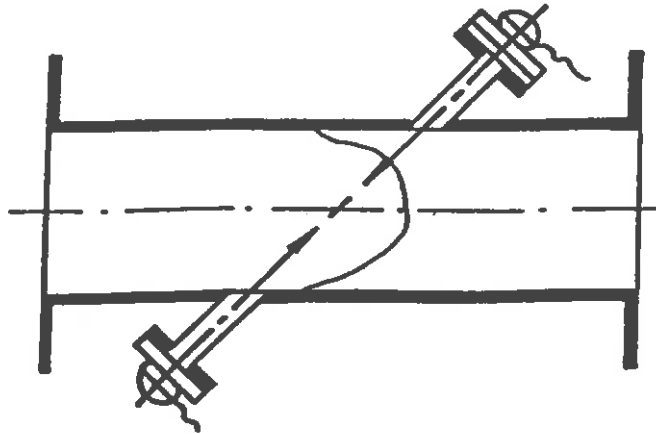
Kuva 38. Magneettisen mittauksen periaate.

Magneettinen mittaus on osoittautunut erittäin käyttökelpoiseksi mittauksena sekä vesille että lietteille. Mittaustarkkuus on luokkaa $\pm 2\%$. Luotettavan mittauksen edellytyksenä on, että mittausputki on täynnä nestettä. Hinnaltaan mittausmenetelmä kilpaillee ultraäänimittauksen kanssa lähinnä vain pienehköissä putkissa. Etuna magneettimittauksessa on se, että mittari asennettuna vaatii putkipituutta vain putken halkaisijan pituuden verran. Magneettinen mittari esim kokoluokaltaan noin 200 mm:n putkeen maksaa noin 25 000 mk (kesä 1996).

Ultraäänimittaus

Mittaustapana on kulkuaikaeromenetelmä, jossa käytetään yhtä tai useampaa lähetin/vastaanotinparia. Parit sijaitsevat vinosti putkessa ja niillä lähetetään vuorotellen äänipulssi myötä- ja vastavirtaan. Nestevirtaus lisää myötävirtaan liikkuvan impulssin nopeutta, josta johtuen sen kulkuaika lyhyempi kuin vastavirtaan kulkevan pulssin, jota nestevirtaus hidastaa. Kun kulkuaikat on mitattu, saadaan laitteiston elektroniikassa

lasketuksi virtaama. Ultraäänimittaus soveltuu soveltuu niin jäteveden kuin puhtaan veden määrittämiseen sekä paineputkessa että vapaaviettoputkessa, joka on aina täynnä vettä. Ultraäänimittari on esitetty kuvassa 39.



Kuva 39. Ultraäänimittari.

Suurissa putkien kokoluokissa on ultraäänimittari hinnaltaan huomattavasti halvempi kuin magneettimittari. Esimerkiksi kokoluokassa 800 mm maksaa ultraäänimittari noin 6 000 mk. Magneettimittareita esiintyy hinnastoissa vain kokoluokkaan 400 mm saakka ja sen hinta on noin 60 000 mk.

Ultraäänimittari vaatii paljon pitemmän häiriöttömän putkenosan mittarin edellä ja sen takana kuin magneettimittari. Maksimissaan edellä tulee olla häiriötöntä putkea matka $50 \times D$ ja jälkipuolella $5 \times D$ (D = putken halkaisija). Yleensä kuitenkin mittarin edellä riittää häiriötöntä putkea matka $10 \times D$. Yksi ja sama ultraäänimittari käy putkille joiden halkaisija on 10 mm - 400 mm. Toinen ultraäänimittari käy putkille 400-4000 mm. Mittari kalibroidaan putken halkaisijan mukaan.

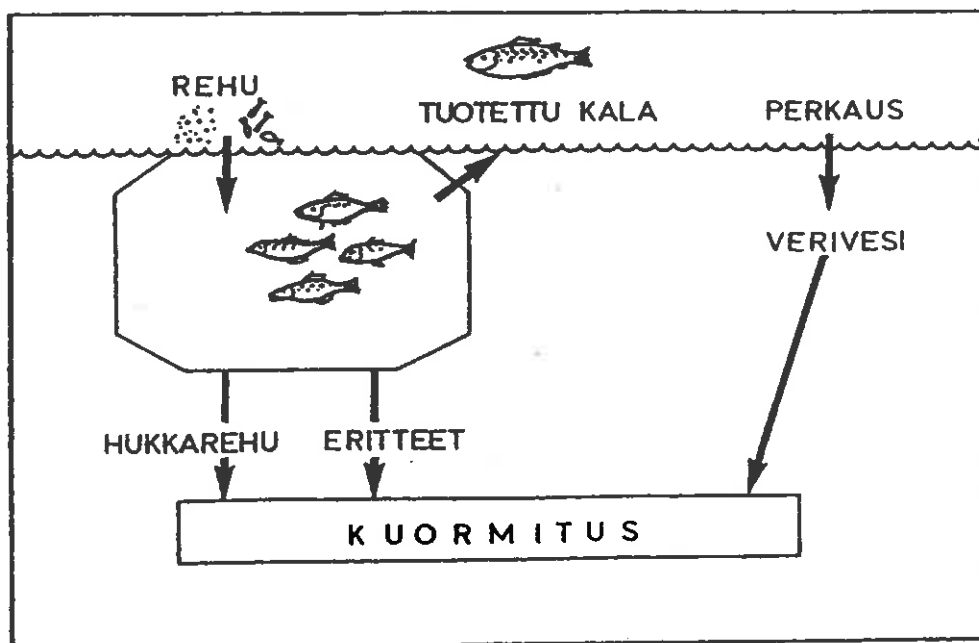
Valtion kalanviljelylaitosten rakentamisessa on päädytty kokemusten kautta ratkaisuun, että vaikka suurissa runkoputkissa on tarkat ultraäänimittarit, niin siitä huolimatta esimerkiksi yhteiseen purkukanavaan kannattaa rakentaa mittapato, jonka kautta menevät virtaamat varmuuden vuoksi voidaan tarkistaa. Esimerkiksi Saimaan kalanviljelylaitoksella ultraäänimittarit näyttivät heti alussa, että laitos käyttää vettä noin 800 l/s. Todellisuudessa laitos oli käyttänyt vettä muutaman kuukauden ajan noin 2000 l/s, minkä seurauksena yläpuolinen järvi, josta vesi otettiin uhkasi laskea sallitun alarajan alle. Ultraäänimittari oli kalibroitu väärin. Kun vika huomattiin, niin mittarin kalibrointiin kului aikaa vain 1-2 min. Tämän jälkeen purkukanavaan rakennettiin mittapato, joka kalibroitiin siivikkomittauksilla. Tulokset mittapadolta siirtyvät keskusvalvomon näytölle yksikössä l/s kuten ultraäänimittareistakin.

2.6 Kuormituksen muodostuminen

2.61 Liete

Kalalaitoksen kuormitus on pääasiassa peräisin kalojen ruokintaan käytetystä, rehusta. Jätteenä vesistöön jää kaloihin sitoutumaton osa, joka joutuu veteen kalojen kiinteinä ulosteina, liukoisina eritteinä (virtsa) sekä syömättä jääneenä rehuna (hukkarehu). Hukkarehun osuudeksi arvioidaan 1-5 % kuivarehulla, 5-10 % puolikuivilla pelleteillä ja 10-30 % tuorerehulla (Kalankasvatus ja vesiensuojelu 1988). Kuormitusta muo-

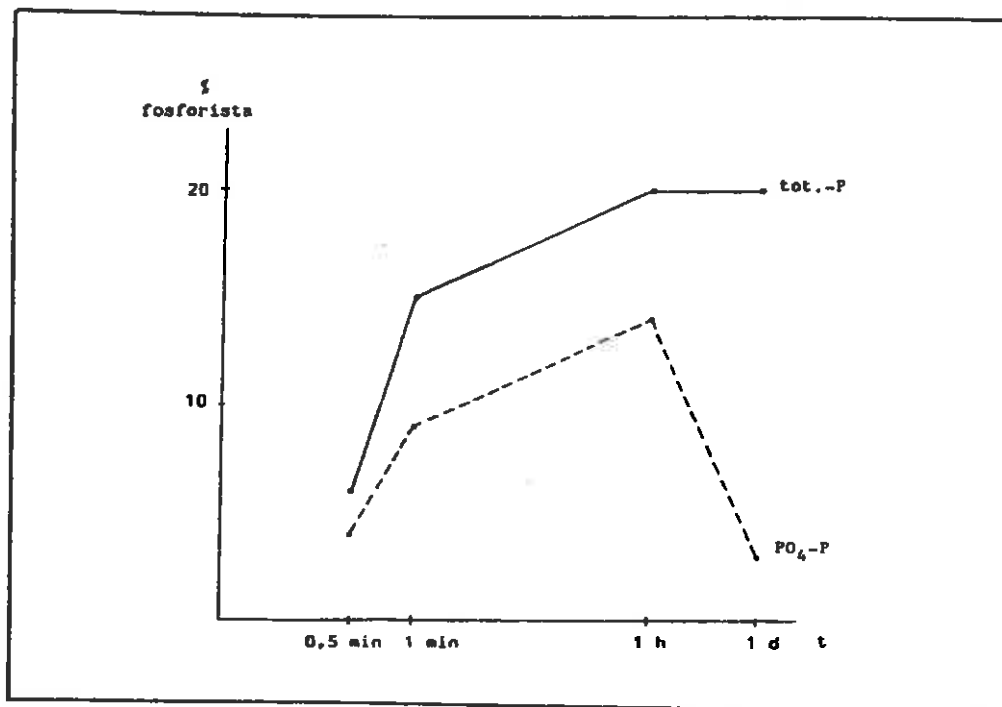
dostuu myös perkauksen yhteydessä perkausjätteestä, huuhteluvesistä ja verivedestä (kuva 40). Lisäksi laitoksilta joutuu purkuvesistöön kalatautien hoitoon ja ennaltaehkäisyyn käytettyjä kemikaaleja ja lääkkeitä. Ruokinnan ja perkauksen yhteydessä vesistöön joutuu usein myös rasvaa.



Kuva 40. Kaavio kalalaitoksen kuormituksen syntymisestä.

Kalojen tuore uloste sekä hukkarehu laskeutuvat pohjalle muodostaen lietettä, mikäli veden virtausnopeus on riittävän alhainen. Lieite sisältää myös kala-altaissa muodostunutta biomassaa. Kalan uloste on tuoreena tiivistä ja sillä on suuri ominaispaino. Kalan tuore uloste laskeutuu nopeasti. Ulosteliete on saatu laskeutumaan lähes kokonaan parin ensimmäisen minuutin aikana (Kalankasvatus ja vesiensuojelu 1988). Pohjalle laskeutuneessa lietteessä alkavat välittömästi hajoamisprosessit, joiden seurauksena lietteen koostumus muuttuu ja siihen sitoutuneet ravinteet alkavat liueta veteen.

Tuoreesta ulosteesta liukeni minuutin kuluessa 15 % ulosteen fosforista ja rehuista vain 6 % lähtötilanteen fosforista kun lämpötila oli + 22°C. Tunnissa rehuista liuenneet fosforimäärät vaihtelivat 15-50 % alkupitoisuudesta. Samana aikana ulosteesta liukeni fosforia alle 20 %. Hukkaan menneen rehun aiheuttaman fosforikuormituksen vähentämisen kannalta on oleellista poistaa hukkarehu nopeasti. Vuorokauden jälkeen voidaan saada talteen 30-60 % hukkarehun fosforista, kun minuutin kuluessa kerätystä hukkarehun fosforista saadaan talteen yli 90 %. Ulostesta liukenevan fosforin kannalta ei ulostepartikkeleiden poisto minuutin sisällä vähennä kuormitusta oleellisesti verrattuna tunnin kuluessa tapahtuvaan ulosteen keräämiseen. Vuorokaudessa fosforista oli liennut suunnilleen yhtä paljon fosforia kuin tunnissa, joten vuorokauden sisällä ulostelietteen poistaminen vähentää kuormitusta suunnilleen yhtä paljon kuin välitön tunnin sisällä tapahtuva lietteen poisto (Eskelinen 1988). Kuvassa 41 on esitetty kirjolohen ulosteesta vuorokauden aikana liennut suodattava kokonais- ja fosfaattifosfori 22°C lämpötilassa.



Kuva 41. Kirjolohen ulosteesta vuorokauden aikana liennut suodattava kokonaisfosfori P ja fosfaattifosfori PO₄-P 22° C lämpötilassa (Eskelinen 1988).

Mekaaniseen hajoamiseen vaikuttaa mm. veden virtausnopeus altaan pohjassa ja pohjan sileys sekä kalakoko, -tiheys ja -laji. Liukoiset aineet sekä osa hajoavasta lietteestä poistuvat maalla olevista laitoksista alapuoliseen vesistöön. Kasvatusaltaisiin ja mahdollisiin laskeutusaltaisiin pidättävän lietteen määrä on riippuvainen laitoksen rakenteesta ja tyypistä.

Verkkoallaslaitoksissa kaikki liete joutuu ilman erityistoimenpiteitä vesistöön. Osa lietteestä laskeutuu pohjalle altaiden alapuolelle, osa kulkeutuu virtauksen mukana kauemmaksi. Suojaisilla vesialueilla lähes kaikki liete jää laitoksen välittömään läheisyyteen. Virtaavissa salmissa liete kulkeutuu virtauksen mukana. Meren salmissa virtauksen suunta vaihtelee, järvien salmissa ja joissa virtaus on yksisuuntaista. Liete laskeutuu lopulta lähimmille sedimentoitumispohjille.

Verkkoaltaan alapuolelle kerääntyvän lietteen on havaittu muodostavan kaloille myrkyllistä rikkivetyä. Syy-yhteyden selvittäminen lietesedimentin ja kalasairauksien välillä olisi ensiarvoisen tärkeää.

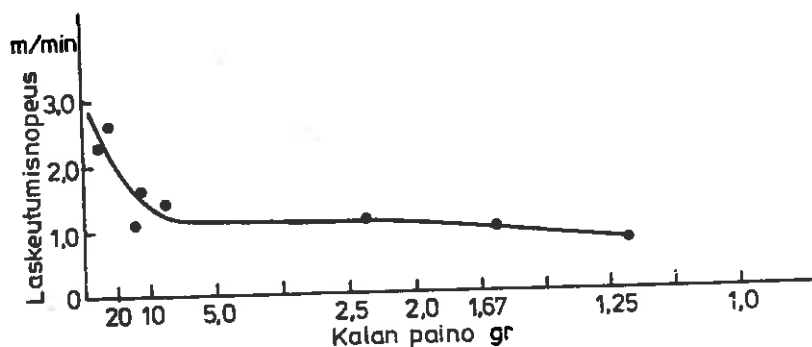
2.62 Lietteen ominaisuudet

Vesipitoisuus ja laskeutuvuus

Kala-altaista poistettava liete sisältää runsaasti vettä. Altaista poistettua lietettä sanotaankin yleisesti lietevedeksi, sillä sen vesipitoisuus on erittäin suuri (> 95 %). Vesipitoisuus on sitä suurempi mitä pienempi on kuiva-aineen (TS) ja kiintoaineen (SS) määrä. Kalalaitoslietteillä kuiva- ja kiintoainepitoisuudet ovat lähes yhtä suuret (Kalan kasvatus ja vesiensuojelu 1988).

Ulosteen laskeutumisominaisuuksia kuvataan laskeuma-arvoilla, esim m/min. Lohikalajojen hajoamattomat ulosteet laskeutuvat nopeasti, ja sitä nopeammin mitä suuremmasta kalasta on kysymys, kuva 42, (Warrer-Hansen 1979).

Yleensä normaaleissa kalanviljelyaltaissa uloste laskeutuu altaan pohjalle 1-2 minuutissa.



Kuva 42. Laskeutumisnopeudet hajoamattomille lohen poikasten ulosteille (Warrer-Hansen 1979).

Kala-altaasta poistetun lietteen (lieteveden) laskeutumisominaisuuksia kuvataan laskeuma-arvoilla. Laskeutuva aines määritetään ns. Imhoff-kartiassa antamalla 1 litran suuruisen vesimäärän seistä siinä 1/2 ja 2 tuntia ja lukemalla kartion asteikosta pohjalle laskeutuneen lietteen tilavuus.

Kala-altaasta imetyn tai muuten poistetun lietteen laskeuma riippuu käytetystä poistomenetelmästä. Esim. alipainemenetelmällä lasikuituisen kala-altaan lietepesästä imetyn lietteen 1/2 tunnin laskeumaksi on saatu erilaisilla lietteenpoistotiheyksillä:

Lietteenpoistotiheys	Laskeuma
kerran viikossa	362 ml/l
kahdesti viikossa	295 "
viisi kertaa viikossa	146 "

Seuraavassa on verrattu kalankasvatukseen käytettyä vettä puhtaaseen jokiveteen ja taajamajäteveteen (Warrer-Hansen 1979). Pitoisuudet ilmoitettu yksikössä mg/l.

	Jokivesi	Puhdistamaton kalanviljely- vesi	Puhdistamaton taajamajäte- vesi
BHT	1,0 - 5,0	5,0 - 20	300
Kok N	1,0 - 2,0	1,0 - 4,0	75
Kok P	0,02 - 0,1	0,05 - 0,15	20
Susp.kiintoaine	-	5 - 10	500

Kuiva-ainepitoisuus

Lietteen kuiva-ainepitoisuudella eli haihdutusjäännöksellä tarkoitetaan lietteen sisältämää kuiva-aineen kokonaismäärää. Määrittäminen tapahtuu haihduttamalla liete 105°C:ssa kunnes paino on vakio. Tulos ilmoitetaan joko yksikkönä mg/l tai prosentteina näytteen kokonaispainosta.

Lietteen kuiva-ainepitoisuus on ratkaisevasti riippuvainen näytteenottotavasta. Koska kalalaitoslietteen näytteenottotapaa ei ole standardoitu, ei haihdutusjäännös sinänsä

anna eri lietteiden kuiva-ainepitoisuuksista vertailukelpoista tietoa. Viimevuosina on haihdutusjäännökset usein ilmoitettu lieteveden puolen tunnin laskeuma-arvoina, jotta eri tutkimuksista saadut tiedot olisivat vertailukelpoisia.

Tuoreen ulostelietteen kuiva-ainepitoisuutena laskeutettua (1/2 h) lietelitraa kohti voidaan pitää noin 65 g/l (Kalankasvatus ja vesiensuojelu 1988). Pyörreselkeytinlietteen ja verkkokassista pumpatun lietteen kuiva-ainepitoisuudeksi on saatu noin 40 g/l (Selänne, Mäkinen ja Helkiö 1983).

Ravinnepitoisuus

Lietteen hyväksikäytön kannalta sen sisältämällä ravinteilla on huomattava merkitys. Maanviljelykäytössä tulevat kyseeseen lähinnä neljä pääravinnetta: typpi (N), fosfori (P), kalium (K) ja kalsium (Ca). Seuraavassa tarkastellaan pääravinteista vain typpeä ja fosforia.

Kalalaitoslietteeseen on sitoutunut eri tutkimusten mukaan noin puolet kalanviljelytoiminnassa syntyvästä fosforista. Tällöin nopealla lietteenpoistolla on myös suuri vesiensuojelullinen merkitys, sillä fosforin sitoutuminen kiintoaineeseen on lyhytaikaista.

Lietteen fosforimäärä vaihtelee paitsi rehun fosforipitoisuuden myös lietteen iän ja kalan koon sekä kalalajin mukaan. Tuoreen ulostelietteen fosforipitoisuudeksi (P-pitoisuudeksi) on saatu 10-40 mg/g rehulaadusta riippuen. Tutkimuksissa on ilmennyt, että rehulla jonka fosforipitoisuus oli pienin, oli syntyvä lietemäärä suurin eli talteenotettu lietteen sisältämä fosforimäärä ei vaihdellut eri lietteillä paljonkaan.

Rehun P-pitoisuuden ja tuoreen lietteen P-pitoisuuden välille on Selänne ja Lindgren (1984) esittänyt seuraavan korrelaation:

$$y = 28,2x - 5,4$$

missä x = rehun P-pitoisuus prosentteina (%)

ja y = lietteen P-pitoisuus mg/g kuiva-ainetta

Käytettäessä nykyaikaisia rehuja kaava antaa lietteelle liian suuret fosforiarvot.

Eskelisen (1988) mukaan, kun käytettiin rehuja joiden fosforipitoisuus oli noin 1,0 %, ulostenäytteiden fosforipitoisuuksien keskiarvo oli 15,6 mg/g. Mannisen (1982) tutkimuksissa tuoreen ulosteen P-pitoisuus oli samaa suuruusluokkaa 13,6 mg/g.

Tuoreen ulostelietteen typpipitoisuudeksi on eri selvityksissä saatu 26-60 mg N/g kuiva-ainetta. Typpeä ei vapaudu lietteestä yhtä nopeasti kuin fosforia.

Raskasmetallipitoisuudet

Raskasmetalleiksi luetaan yleensä yhdeksän alkuainetta: kadmium (Cd), koboltti (Co), kromi (Cr), kupari (Cu), elohopea (Hg), mangaani (Mn), nikkeli (Ni), lyijy (Pb) ja sinkki (Zn). Osa näistä, kuten Cu, Mn ja Zn ovat pieninä määrinä välttämättömiä kasvien ja eläinten normaalille kehitykselle, mutta liian suurina määrinä haitallisia. Vahingollisimmat raskasmetallit ovat Cd, Pb ja Hg, jotka kerääntyvät ihmisen elimistöön.

Taulukkoon 7 on koottu puhdistamolietteen sekä kalankasvatuslietteiden keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet sekä maanviljelyskäyttöön kelpaavan lietteen suurimmat sallitut pitoisuudet (Kalankasvatus ja vesiensuojelu 1988).

Saaristomerellä on todettu sinkin ja kuparin pitoisuuksien kohonneen pohjalla verkkokassien alla. Kustavin Ströömässä tehdyissä tutkimuksissa ovat Cu-pitoisuudet (maks. 104 mg/g) olleet kolminkertaisia ja Zn-pitoisuudet 2-3 kertaisia muihin Ströömän arvoihin verrattuna (Aulio 1986).

Taulukko 7. Puhdistamolietteiden ja kalankasvatuslietteiden keskimääräiset raskasmetallipitoisuudet sekä maanviljelyskäyttöön kelpaavan lietteen suurimmat sallitut pitoisuudet (Selänne 1988).

	Puhdistamo- liete mg/kg kuiva-ainetta	Kalankasvatus- liete mg/kg kuiva-ainetta	Maanviljelykäsytöön kelpaavan lietteen suurin sallittu pitoisuus mg/kg kuiva-ainetta *)
cd Kadmium	5,3	0,9	3,0 (1,5)
cr Kromi	99	9,5	300
cu Kupari	337	109	600
Hg Elohopea	2,1	16	2,0 (1,0)
Pb Lyijy	125	16	150 (100)
Ni Nikkeli	62	7,5	100
zn Sinkki	790	600	1500

*) Valtioneuvoston päätös 282/94. 14.8.1994

2.63 Lietteen määrä

Syntyvän lietteen määrä vaihtelee eri tutkijoiden mukaan märkälietteenä 1,8-3,1 l (keskiarvo 2,3 l) ja kuivalietteenä 83-255 g (keskiarvo 157 g) syötettyä kuivarehukiloa kohti kalan koosta riippuen (taulukko 8).

Taulukko 8. Kalalaitoslietteen määrä.

Lähde	Rehu	Märkä- lietettä l/rehukilo	Kuiva- lietettä g/rehukilo	Kalalaji	Ikä
Selin ym. (1981)	Koerehu Kontrolli- rehu	2,1	96	Kirjolohi	2-kesäinen
		2,5	181		
Sumari ym. (1982)	Koerehu Kontrolli- rehu	-	167	Nevan lohi	1-kesäinen
		-	167		
Selänne ym. (1983)	Ewos T40	1,8	117	Kirjolohi	1-kesäinen
	Ewos T40	2,0	83	Kirjolohi	2-kesäinen
	Tess	3,1	255	Kirjolohi	2-kesäinen
	Forelli	2,8	192	Kirjolohi	2-kesäinen
Eskelinen (1983)*	Koerehu 1	2,2	142	Kirjolohi	3-kesäinen
	Koerehu 2	1,9	122	Kirjolohi	3-kesäinen
	Koerehu 3	2,5	236	Kirjolohi	3-kesäinen
	Koerehu 4	2,4	127	Kirjolohi	3-kesäinen

*käytetty koejaksojen keskiarvoja

2.64 Ravinnekuormitus

Kalankasvatuksen ravinnekuormitus on peräisin kalojen ruokintaan käytetyistä rehuista. Tärkein merkitys on fosforilla, joka on yleensä vesiemme perustuotantoa sää-

televä minimitekijä. Ainetasetutkimusten perusteella keskimäärin noin kolmannes rehun sisältämästä fosforista sitoutuu kalaan. Kalan ulkopuolelle jäävästä fosforista noin puolet tulee veteen liukoisena ja puolet on aluksi sitoutuneena lietteeseen (taulukko 9).

Taulukko 9. Fosforin jakaantuminen kalaan, veteen ja lietteeseen eri tutkimusten mukaan.

Lähde	Rehu kerroin	Fosforia rehussa %	Fosforin jakaantuminen %				selittämätön osuus %
			rehu	kala	liete	vesi	
Selin ym.1981	1.38	1.3	100	20	41	34	-5
	1.08	1.0	100	33	24	29	-14
Sumari ym. 1982	1.66	1.1	100	18	34	40	-8
	1.73	1.4	100	15	44	28	-13
Selänne ym. 1983	1.0	0.9	100	42	39	13	-6
	1.15	0.9	100	36	24	41	+1
	1.42	0.75	100	35	36	32	+3
	1.10	0.93	100	37	28	44	+9
Eskelinen ym.1983	1.54	1.07	100	23	35	40	-1
	1.81	1.14	100	18	43	41	+3
	2.11	0.86	100	21	50	40	+11
	1.27	0.96	100	31	30	32	-8
Selänne ym. 1983	1.54	1.40	100	23	27	43	-7
	1.06	1.45	100	33	21	54	+8
	1.32	1.39	100	28	24	33	-15
Keskiarvo	1.41	1.10	100	28	33	36	-3

Typen osalta vastaavia ainetaselaskelmia ei ole käytettävissä. Pääosa typpikuormituksesta tulee veteen liukoissa muodossa ammoniakkinä ja ureana.

Kalankasvatuksen ravinnekuormitus voidaan laskea, kun tunnetaan rehun ja tuotetun kalan ravinnesisältö sekä tuotetun kalan ja käytetyn rehun määrät. Ennen 1980-lukua kuivarehut ovat sisältäneet fosforia 1,0-1,5 %. Nykyisin rehun fosforipitoisuudet ovat 1 %:n molemmin puolin ja ns. vesistöystävällisillä rehuilla noin 0,7-0,8 %.

Typpeä kuivarehussa on 7-8 %. Tuorerehussa (yleisimmin paloitetu silakka) on fosforia 0,35-0,50 % ja typpeä noin 2,5 %. Tehdasvalmisteinen kiinteytyspaineella valmistettu semimoist-rehu sisältää fosforia 0,8-0,9 % ja typpeä noin 5 %. Pelkällä kalajauholla kiinteytetty semimoist-rehu saattaa sisältää fosforia jopa 1,3 % ja typpeä 8,5 %. Tuore kirjolohi sisältää fosforia 0,35-0,45 % ja typpeä 2,7-2,8 %.

Ruokakalalaitoksilla kuivarehua käytettäessä rehukerroin on yleensä verkkokassilaitoksilla on 1,5-1,8 ja maalaitoksilla 1,2-1,5, keskimäärin 1,4. Poikaslaitoksilla päästään tasoa 1,0-1,2 oleviin rehukertoimiin. Tuorerehulla rehukerroin on 5-7 ja semimoistrehulla 2-3.

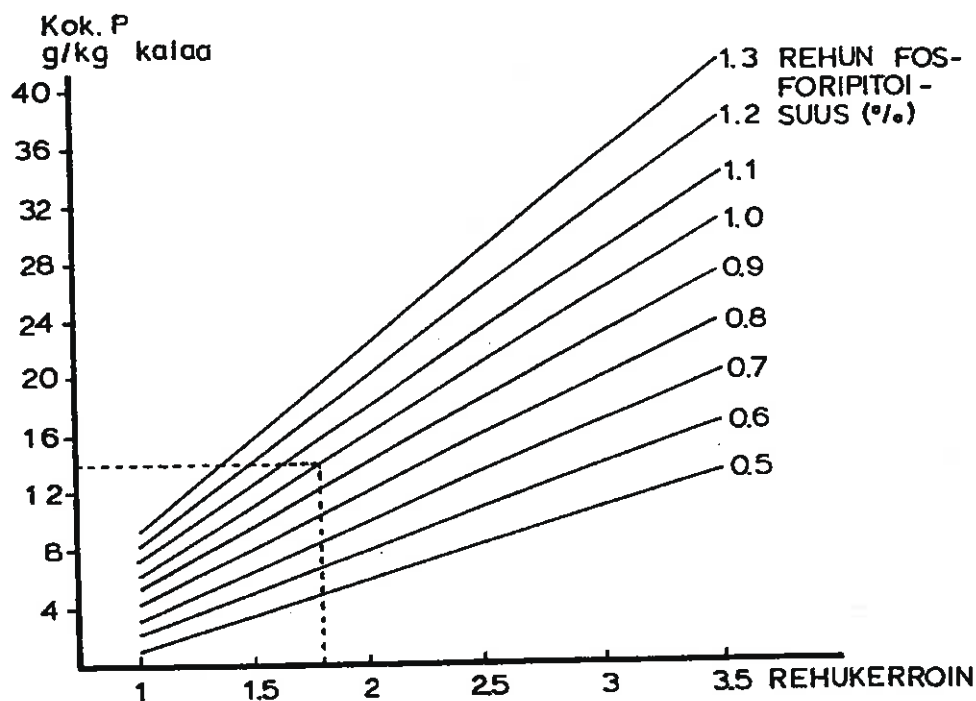
Seuraavassa esitetään laskelma yhden kuivarehukilon sisältämän fosforin ja typen jakautumisesta tuotettuun kalaan ja veteen. Rehun fosforipitoisuus on 1 % ja typpipitoisuus 7,5 %. Rehukerroin on 1,8 eikä lietettä ole otaksuttu otettavan talteen.

altaaseen tuleva rehumäärä	1000 g
kalanlisäkasvu	560 g
altaaseen tuleva fosforimäärä	10 g
altaaseen tuleva typpimäärä	75 g

kalaan jäävä fosforimäärä	2,2 g
kalaan jäävä typpimäärä	14,6 g
vesistöön joutuva fosforimäärä	7,8 g
vesistöön joutuva typpimäärä	60,4 g

Yhden kirjolohikilon tuottaminen aiheuttaa näin ollen 14 g fosforikuormituksen ja 108 g typpikuormituksen.

Kuvassa 43 on esitetty yhden kirjolohikilon kasvattamisen aiheuttaman fosforikuormituksen riippuvuuden kuivarehun fosforisisällöstä ja rehukertoimesta.



Kuva 43. Yhden kalakilon kasvattamisesta jäljelle jäävän fosforimäärän riippuvuus rehun fosforisisällöstä ja rehukertoimesta.

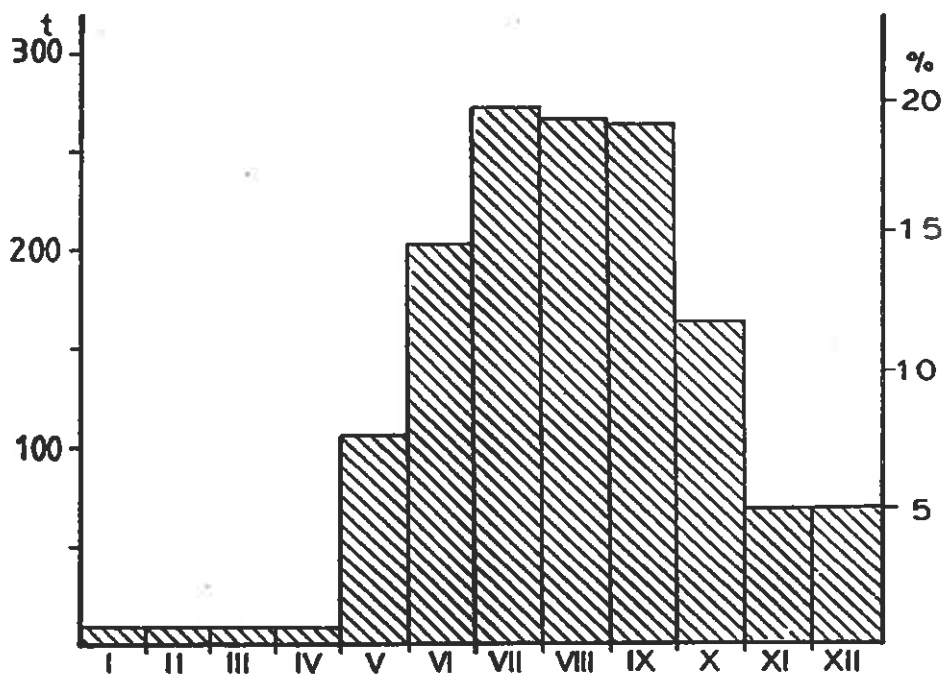
Tuorerehua käytettäessä vesistökuormitus on suurempi. Jos tuorerehun fosforisisältö on 0,4 % ja typpisisältö 2,5 % sekä rehukerroin 6, niin vesistöön joutuva fosforikuormitus on tuotettua kirjolohikiloa kohti 20 g fosforia ja 123g typpeä. Suurempi kuormitus johtunee hukkaan menevän rehun suuresta määrästä. Semimoist-rehulla vesistökuormitus on pienempi. Jos semimoist-rehun fosforisisällöksi otaksutaan 0,8 % ja rehukertoimeksi 2,5, saadaan laskennalliseksi 16 g vesistökuormitukseksi fosforin osalta 16 g /tuotettu kalakilo. Kalajauholla kiinteitetyn semimoistrehun fosforisisältö on 1,3 %. Jos rehukerroin on 2,5 niin vesistökuormitus on fosforin osalta 28,5 g /tuotettu kalakilo eli kaksinkertainen kuivarehuun verrattuna.

Verkkokassilaitoksilla, missä kaikki kuormitus joutuu suoraan vesistöön, kuormitus voidaan laskea suoraan edellä esitetyllä tavalla. Maa-allaslaitoksilla kuormituksen suuruus riippuu olennaisesti lietteenpoiston tehokkuudesta ja laitospoistosta. Eräiden tulosten mukaan rehukiloa kohti laskettu ominaiskuormitus lisäantyy laitospoistossa kasvaessa. Taulukossa 10 on esitetty eri tutkimusten mukaan saatuja fosforin kuormitusarvoja.

Taulukko 10. Kalankasvatuksen aiheuttama ravinnekuormitus käytettyä rehukiloa kohti.

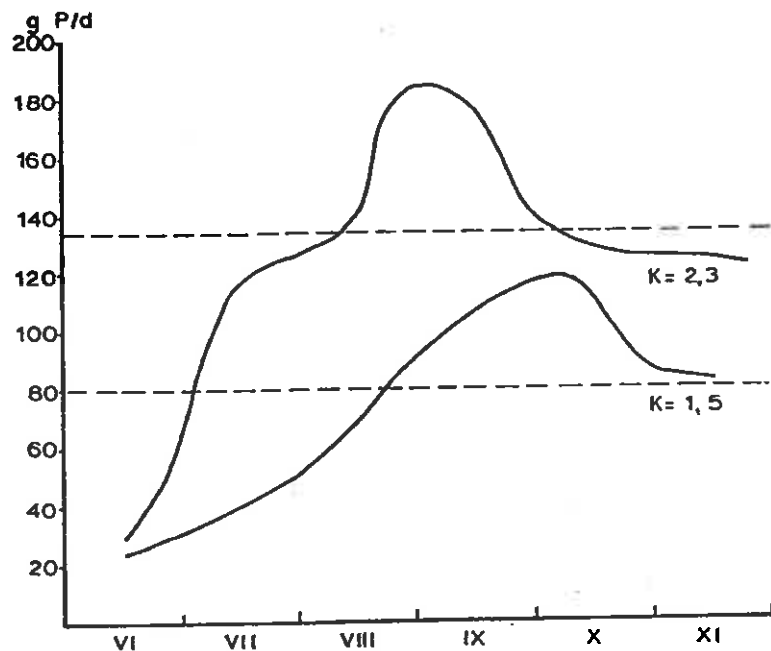
Lähde	Kuormitus syötettyä rehukiloa kohti	
	Fosfori (g)	Typpi (g)
Haavisto 1974	4...5,6	16,9...30
Myllylä 1976	8,5	•
Lappalainen ym 1976	9,8	46,4
Myllymaa 1981	7,7	33
Selin ym. 1981		
- kontrollirehu	4,4	•
- koerehu	2,9	•
Sumari ym. 1982		
- vertailurehu	7,6	•
- koerehu	9,8	•

Kalankasvatuslaitoksen kuormitus on riippuvainen käytetyn rehun määrästä ja keskittyy voimakkaasti loppukesään. Tehokkain ruokinta ja kasvatuskausi ajoittuu touko-lokakuulle. Sen pituus vaihtelee laitoksen maantieteellisestä sijainnista ja vuoden sääoloista riippuen välillä 150-200 d. Lyhyin kasvatuskausi on Pohjois-Suomen sisävesillä ja pisin Saaristomerellä. Talvella kylmässä vedessä kalat syövät vähän. Yli 90 % vuotuisesta rehunkäytöstä ajoittuu kasvatuskaudelle. Suurinta rehun käyttö on heinä-syyskuussa (kuva 44) (Kalankasvatus ja vesiensuojelu 1988).



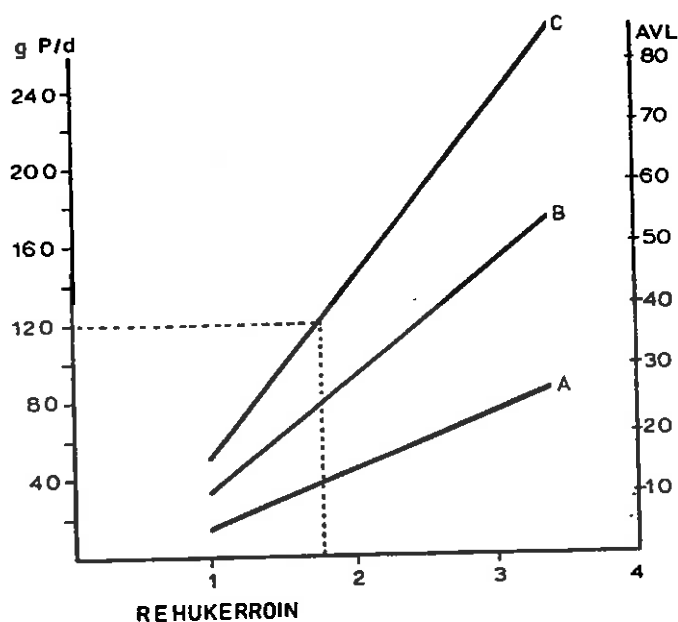
Kuva 44. Rehun käytön jakautuminen vuoden aikana 20:llä laitoksella Saaristomerellä v. 1984.

Kuvassa 45 on esimerkki fosforikuormituksen jakautumisesta kasvukaudella (g P/d) tuotettua kalatonnaa kohti kahdella eri rehukertoimella.



Kuva 45. Esimerkki fosforikuormituksen jakautumisesta kasvukaudella (g P/d) tuotettua kalatonnaa kohti rehukertoimilla 1,5 ja 2,3. Rehun fosforipitoisuudeksi on arvioitu 1,09 % (Karligen 1981).

Kuvassa 46 on esitetty keskimääräisen fosforikuormituksen suuruus (g P/d) tuotettua kalatonnaa kohti eri rehukertoimilla eri aikoina.



Kuva 46. Keskimääräinen fosforikuormitus (g P/d) tuotettua kalatonnaa kohti, A vuoden keskiarvo, B kasvukauden keskiarvo, C huippukuormituksen alkana elo-syyskuussa. Kuivarehun fosforipitoisuudeksi on arvioitu 1 %. AVL= asukasvastineluku, joka kuvaa asutuksen puhdistamattomien jätevesien sisältämän fosforin määrää ilmoitettuna asukkaiden määrällä (Kalankasvatus ja vesiensuojelu 1988).

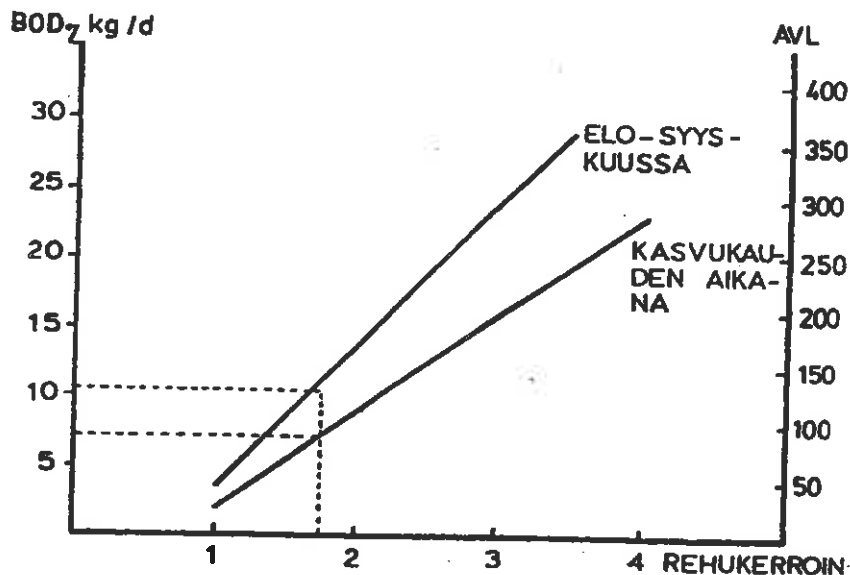
2.65 Hapetta kuluttava kuormitus

Kalankasvatuksessa hapetta kuluu kalojen hengitykseen sekä kalojen eritteiden ja syömättä jääneen rehuylijäämän (hukkarehu) hajoamiseen.

Hengityksen aiheuttama hapenkulutus tapahtuu kasvatusaltaassa ja kuluttaa altaan tai verkkokassin läpi virtaavan veden hapetta. Hengitykseen kuluva happimäärä yhdessä kalojen aineenvaihdunnassa syntyvän ammoniakin kanssa ratkaisee vesitilavuutta kohden kasvatettavan kalamassan enimmäismäärän. Hapen kuluminen on riippuvainen lämpötilasta, kalojen koosta ja aktiivisuudesta, sekä niiden käyttämästä ruokamäärästä. Ruotsissa tehtyjen verkkoallaskokeiden (Karlgrén 1981) mukaan hengitykseen kuluva hapen määrä kasvatuskaudella on keskimäärin luokkaa 3-4 kg O₂ /d ja kriittisinä aikoina 5-6 kg O₂ /d tuotettua kalatonta kohti.

Vesistöön joutuva varsinainen hapetta kuluttava kuormitus johtuu käyttämättä jääneestä rehusta sekä kalan kiinteistä ja liukoista eritteistä ja ulosteista, jotka joutuvat vesistössä biokemiallisen hajotusprosessin kohteeksi. Nopeammin hajoavat orgaaniset ja liukoiset yhdisteet hajoavat jo vesifaasissa, mutta pääosa kiinteistä ulosteista painuu nopeasti pohjalle. Näinollen pääosa hapen kulutuksesta tapahtuu pohjalla ja pohjanläheisessä vesikerroksessa. Orgaanisten aineiden aiheuttamaa kuormitusta mitataan yleensä biologisen hapenkulutuksen (BOD₇) arvoina. BOD₇ (biological oxygen demand) on orgaanisen aineen hajoamisnopeutta kuvaava käsite eli se happimäärä, jonka veden sisältämät orgaaniset aineet kuluttavat hapetta aerobeissa olosuhteissa hajotessaan biologisesti standardiajassa ja - lämpötilassa. Hapenkulutus mitataan laboratoriossa +20 °C lämpötilassa 7 vuorokauden aikana.

Ruotsalaisten verkkoallastutkimusten mukaan on hapetta kuluttavan kuormituksen todettu olevan merkittävästi riippuvainen rehukertoimesta. Rehukertoimen ollessa 1,5 on vielä pääosa BOD₇ -kuormituksesta peräisin kalojen eritteistä ja ulosteista. Rehukertoimella 2,3 hukkarehun osuus BOD₇ kuormituksesta on jo vallitseva. Rehukertoimella 1,8 keskimääräinen BOD₇ kuormitus yhden kalatontin tuottamisesta olisi koko kasvatuskaudelle jaettuna noin 7 kg O₂ /d (kuva 47) (Karlgrén 1981).



Kuva 47. Yhden kalatontin tuottamisen aiheuttaman BOD₇ kuormituksen riippuvuus rehukertoimesta (Karlgrén 1981).

2.66 Hygieninen kuormitus

Kalalaitosten tarkkailuissa on havaittu, että vesistöä rehevöittävien aineiden lisäksi laitoksilta poistuva vesi sisältää lämpiminä vuodenaikoina huomattavia määriä bakteereja, joita käytetään veden hygienisen laadun ilmentäjinä. Meillä käytetään veden hygienisen laadun indikaattoribakteereina mm. fekaalisia streptokokkeja, kokonaiskoliformisia ja fekaalisia koliformisia bakteereja.

Fekaalisten (ulosteperäisten) streptokokkien on todettu lisääntyvän kalalaitoksilla varsin runsaasti etenkin loppukesällä ja syksyllä. Streptokokkien määrä on yleensä pieni laitokselle tulevassa vedessä ja kalan rehussa. Kalojen ulosteissa ja altaiden lietteessä määrät ovat sitävastoin korkeita. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että kalalaitoksilla lisääntyvät sellaiset streptokokit, joita ei pidetä ihmisen ja tasalämpöisten eläinten ulosteille ominaisina. Samoin kokonaiskoliformisista bakteereista lisääntyvät sellaiset lajit, jotka eivät osoita suolistoperäistä saastutusta. Runsaana esiintyy mm. *Aeromonas hydrophila*, joka on tyypillinen kaloissa ja vesissä esiintyvä laji. Sitä vastoin tyypillistä tasalämpöisten suolistobakteeria *Escherichia coli* esiintyy vähän. Fekaalisista koliformisista bakteereista *Escherichia coli* on kuitenkin yleisin. Fekaalisten koliformisten bakteerien määrä on kalalaitoksilla yleensä pienempi kuin muiden suolistoperäisten indikaattoribakteerien. Mikäli fekaalisten koliformisten bakteerien määrä nousee laitoksella, on nousu tapahtunut jo tulevassa vedessä. Tällöin bakteerit ovat huuhtoutuneet vesistöön esimerkiksi sateiden seurauksena karjalaitumilta tai ovat peräisin haja-asutuksesta. Laitoksilla tapahtunut fekaalisten koliformisten bakteerien määrän lisääntyminen altaiden reunamilta huuhtoutuvasta lintujen ulosteista.

Kalankasvatuslaitoksilla esiintyvien alustavien fekaalisten streptokokkien on osoitettu pääasiassa olevan muita kuin tasalämpöisten eläinten ulostebakteereita. Sen vuoksi näitä näytteitä tutkittaessa on tärkeätä tehdä standardin mukaiset tarkistustestit väärin positiivisten karsimiseksi. Tällöin pystytään erottamaan ulostesaastutus häiriölähteistä ja voidaan arvioida veden hygieenistä tilaa uimarantojen veden laatuvaatimusten perusteella (STM:n päätös No 292/96).

2.67 Kalataudit ja loiset

Kalankasvatuslaitoksilla kalatiheydet ovat luonnonolosuhteisiin verrattuna suuret sekä virtaus- ja lämpöolosuhteet saattavat olla ajoittain huonot. Sairaat ja huonokuntoiset yksilöt eivät poistu kalaparvesta luonnollisella tavalla. Kaloja ja mätää saatetaan myös siirtää laitokselta toiselle, mikä voi myös levittää taudinaiheuttajia. Tästä johtuen tautien esiintyminen ja puhkeaminen epidemiaksi on paljon todennäköisempää laitoksilla kuin luonnonvesissä. Käytännössä jokaisella kalalaitoksella esiintyy ajoittain kalatauteja tai loisia.

Pahimpia ja pelätyimpiä ovat virusten aiheuttamat taudit, joihin ei ole hoitokeinoja ja joissa kuolleisuus on suuri. Euroopassa laajalle levinneitä tuhoisia virustauteja ovat kalojen tarttuva haimakuolientauti (IPN) ja kirjolohen verenvuotoseptikemia (VHS). Näiden leviäminen rannikoillemme olisi tuhoisaa kalankasvatuksellemme. IPN-tautia on havaittu maassamme mm. vuosina 1988-1990 yhteensä 13 merilaitoksella. VHS-tautia ei maassamme ole havaittu. Pääasiassa näiden tautien takia meillä onkin voimassa ankarat elävien kalojen ja mädin tuontirajoitukset.

Tällä hetkellä pahin kalatautimme on *Vibrio anguillarum*-bakteerin aiheuttama vibrioosi, jota nykyisin esiintyy kaikkialla merialueellamme. ASA ja furunkuloosi ovat *Aeromonas salmonicæ*-bakteerin aiheuttamia lohikaloja vaivaavia tauteja. ASA-tautia eli tarttuvaa ihotulehdusta esiintyy Suomessa lohella, taimenella ja kirjolohella. Myös furunkuloosia (paisetautia) esiintyy Suomessa lohella, taimenella, kirjolohella, nieriällä ja harjuksella. Furunkuloosin rajoittamiseksi on kalojen siirtoa vesistöalueelta toiselle rajoitettu.

Muut kalalaitoksissa esiintyvät infektiot, esimerkiksi *Aeromonas hydrophila* ja vesihomeen *Saprolegnia* aiheuttamat vauriot johtuvat lähinnä ulkoisista stressitekijöistä tai kaloja kohdanneista mekaanisista vaurioista.

Erilaiset loiset saattavat vaivata kalalaitoksia etenkin lämpiminä kesinä. Merkittävimpiä loisia ovat kalatäit, ihosamennusta aiheuttavat *Ichthyobodo necator* ja *Chilodonella*, valkopilkkutautia aiheuttava *Ichthyophthirius multifiliis* ja loiskaihia aiheuttava *Diplostomum spathaceum*. *Gyrodactylus salaris* lohiloisen takia on elävien kalojen siirto Teno- ja Paatsjoen vesistöalueille kielletty. Loista esiintyy luontaisesti Itämereen laskevissa joissa, eikä se aiheuta Itämereen laskevien jokien lohenpoikasille normaalia suurempaa kuolevuutta. Norjassa lohiloinen on tuhonnut noin 30:stä Atlantiin ja jäämereen laskevasta joesta lohen poikaset. Lohiloisen hävittäminen ja lohen poikastuotannon elvyttäminen on vaikeaa ja erittäin kallista.

Kalalaitokset ovat potentiaalisia kalatautien (bakteerit, virukset) ja kalaloisten levittäjiä luonnonkalastoon. Yleensä loistaudit tulevat kuitenkin laitoksille ensin luonnonkaloista. Yksittäistapauksissa on mm. merilaitoksilla yleisesti esiintyvää vibrioosia todettu verkkoaltaiden lähistöllä luonnonkaloissa. Olosuhteet luonnossa, mm. harva populaatio, vaikeuttavat laajojen epidemioiden syntyä.

2.68 Perkauksen aiheuttama kuormitus

Perkauksessa syntyy jätettä kirjolohesta noin 15 %. Esimerkiksi laitoksella, jossa perataan kirjolohta 100 tonnia, syntyy perkausjätettä noin 15 tonnia. Maksaa saadaan talteen noin 3,5 % eli 3,5 tonnia. Perkauksesta tulevasta kuormituksesta suurin osa on peräisin verestä, jota on noin 5 % kalan painosta. Perkauksessa syntyvän jäteveden laadusta on esitetty seuraavia tietoja.

Laatuominaisuus	Tavanomainen arvo	Vaihteluväli
kok. P mg/l	20	2-40
kok. N mg/l	200	30-500
BOD ₇ mg O ₂ /l	2 000	100-5400
kiintoaine mg/l	350	100-11000
NH ₄ -N mg/l		0,3-68
CODMn mg O ₂ /l		41-1500
pH		5,7-7,5

Perkausjätevedet sisältävät mm. rasvaa ja huomattavia määriä kalojen suolistoperäisiä bakteereja. Jätevesien laadun suuret erot johtuvat perkaamon toiminnan vaihteluista, veden käytön vaihteluista ja prosessiteknikasta.

Vuonna 1995 kasvatetun kirjolohimäärän (noin 16 milj.kg) perkauksessa muodostuva jäteveden aiheuttama vesistökuormitus voidaan arvioida seuraavaksi edellyttäen, että perkausjätteet kerätään huolella talteen:

BOD ₇	80 t
kok. P	0,8 t
kok. N	8 t
kiintoaine	14,5 t

Vuonna 1995 kertyneiden perkausjätteiden sisältämän fosforimäärän voidaan lisäksi arvioida olevan noin 8 t. Perkausjätevesien kuormitus on kalankasvatuksen aiheuttamaan kuormitukseen verrattuna oleellisesti pienempi. Perkausjätevesistä aiheutuva kuormitus ajoittuu lähes kokonaisuudessaan loppusyksyyn ja alkutalveen.

3. KUORMITUKSEN VÄHENTÄMINEN

3.1 Yleistä

Koska kalankasvatuksen pääasialliset vesistöhaitat johtuvat ravinteiden aiheuttamasta rehevöitymisestä, on päähuomio kuormituksen pienentämisessä kiinnitetty fosforiin, joka useimmiten säätelee levätuotannon määrää. Fosfori on se vesien tuotantoketjua ajatellen hyvin tavoiteltu ravinne, minimitekijä, eli sen niukkuus säätelee perustuotantoa ja tätä kautta koko vesistön rehevyytensä. Sisävesillä fosfori on lähes aina minimitekijänä, murtovesialueellamme se voi olla usein myös typpi.

3.11 Sisäiset toimenpiteet

Ensimmäinen keino vesistökuormituksen pienentämiseksi on kuitenkin vähentää kuormituksen lähdettä ts. rehun kulutusta ja sen fosforipitoisuutta. Eri tekijöiden vesiensuojelullista painoarvoa arvioitaessa on vesilain mukaisesti ensin arvioitava hankkeen vaikutusta vesistöä käsin. Tämän jälkeen, jos toimenpiteet todetaan tarpeelliseksi, tulisi tapahtua näiden tehon ja kustannusten arviointi. Seuraavassa on laskennallisessa esimerkissä verrattu kolmen tekijän vaikutusta vesistöön joutuvaan kuormitukseen. Tekijöinä ovat: rehun fosforisisältö, rehukerroin ja lietteen talteenotto-teho (Mäkinen 1983). Esimerkissä laitoksen tuotanto (lisäkasvu) on 100 tonnia/a.

Kalan fosfori	0.4 %	0,4	0.4 %
Rehun fosfori	1.5 %	1,5	1.0 %
Rehukerroin	2.0	2,0	1.5
Fosforin talteenotto lietteenä	0 %	50	50 %
Vesistöön vuodessa joutuva fosforikuorma	2 600 kg	1 300	550 kg

Kuormituksen vähentyminen on tässä tapauksessa lähes 80 %, josta rehun fosforipitoisuuden alentumisen ja rehukertoimen vaikutus on yhtä suuri (750 kg, 36.5 %) ja lietteen talteenoton hieman pienempi (550 kg, 27.0 %). Kalaan kasvussa sitoutuneen fosforimäärän vaihtelu 0,3-0,5 % vaikuttaa vain vähän kuormitukseen. Hukkarehun lisääntyminen kasvattaa kuormitusta suurentamalla rehukerrointa tarpeettomasti.

Kalojen kasvua ja rehun hyväksikäyttöominaisuuksia voidaan parantaa valintajalostuksella ja rehujen kehitystyöllä.

3.12 Ulkoiset toimenpiteet

Fosforikuormituksen vähentämiseen on olemassa hyviä teknisiä mahdollisuuksia. Kaikki eivät vain sovellu esim. vanhoihin maauomalaitoksiin. Teknisten menetelmien kehittäminen myös verkkokassilaitosten kuormituksen pienentämiseksi ovat vielä kehitteillä.

Tehokkaan fosforinpoiston yhteydessä poistuu samalla myös valtaosa BHK-kuormasta ja osa jätetypistä. Edellytyksenä on, että liete saadaan talteen mahdollisimman tuoreena eli pian ruokinnan jälkeen ja liete (lietevesi) käsitellään siten, että sen sisältämät ravinteet eivät joudu vesistöön.

3.2 Tekniset toimenpiteet

3.21 Yleistä

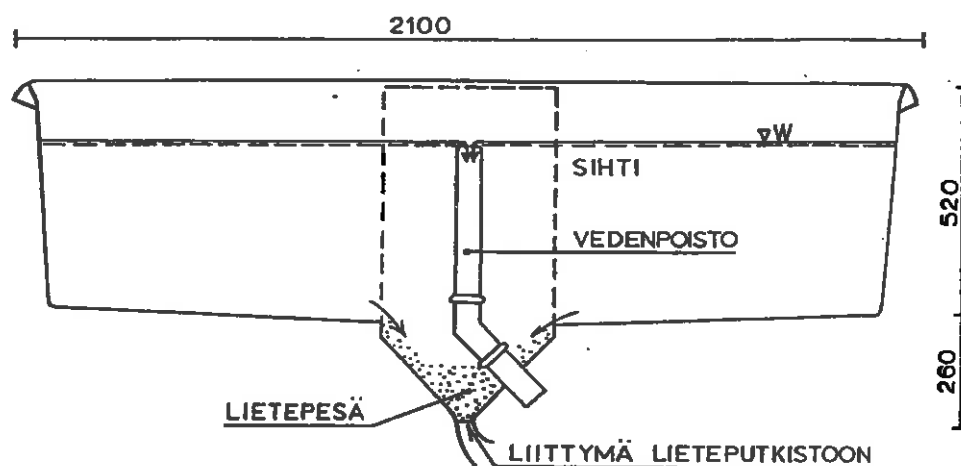
Kalalaitosten vesitaloudelliset ratkaisut ovat johtaneet runsaaseen veden käyttöön, joka käytettynä on ominaisuuksiltaan hyvin laimeata (vertaa sivu 64, taulukko). Tämän takia yleisimmin käytetyt yhdyskunta- ja teollisuusjätevesien puhdistusmenetelmät eivät tule kysymykseen. Käytettävissä on kuitenkin nykyisin jo monia ratkaisuja, joilla laitosten vesistökuormitusta voidaan merkittävästi vähentää.

Vähintään yhtä tärkeää kuin varsinainen jäteveden puhdistus on onnistunut lietteen poisto altaista. Tärkeintä on, että liete (kalojen ulosteet) saadaan nopeasti talteen. Tähän seikkaan on kiinnitetty paljon huomiota etenkin valtion omien kalanviljelylaitosten suunnittelussa. Lietteeseen liittyvät tekniset toimenpiteet voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Ensimmäinen on lietteen kerääminen kasvatusaltaassa tiettyyn paikkaan ja poistaminen hallitusti siitä. Toinen vaihe on lieteveden käsittely, jossa se pyritään erityyppisillä puhdistusyksiköillä erottelemaan niin, että kirkaste voidaan johtaa vesistöön tai tarvittaessa erilliskäsittelyyn. Kolmas vaihe on lietteen käsittely.

3.22 Lietteen poisto

Itsepuhdistuvat altaat

Itsepuhdistuvilla altailla tarkoitetaan altaita joissa liete kerääntyy tiettyyn kohtaan josta se voidaan ottaa helposti talteen jatkokäsittelyä varten. Parhaiten se onnistuu pyöreillä sileäpintaisten altailla. Pienillä altailla yleisin materiaali on lasikuitu. Suurilla altailla ($D \geq 6$ m) pohja tehdään yleensä betonista ja reunat joko lasikuidusta tai haponkestävästä teräspelistä. Kuvassa 48 on esimerkki itsepuhdistuvasta lasikuitualtaasta.



Kuva 48. Esimerkki lasikuituisesta itsepuhdistuvasta pyöreästä kalaltaasta, jossa on erillinen putkisto poistovedelle ja lietevedelle.

Kuvan 48 mukaisella kaksoisputkiratkaisulla lietevesi poistetaan yleensä omapainaisesti jaksoittain tussauttamalla. Lietevesi voidaan poistaa myös jaksoittain alipainemenetelmällä. Selänteen ja Lindgrenin (1984) mukaan märkälietettä kertyi 1,7 l rehukiloa kohti, kun lietevesi imettiin alipaineella tyhjäksi kerran viikossa ja 2 l rehu-

kiloa kohti, kun lietepesä tyhjennettiin 5 kertaa viikossa. Puhdistuskertojen lisäys ei oleellisesti lisännyt talteen saatavan lietteen määrää. Sen sijaan puhdistuskertojen lisäys 5 kertaan viikossa pienensi veteen liukenevan fosforin määrää 23 % verrattuna siihen, että lietepesät imettiin tyhjäksi vain kerran viikossa. Siitä veteen heitetystä fosforista, joka ei sitoutunut kalaan saatiin alipainejärjestelmällä talteen 40 %, kun lietepesät tyhjennettiin 1-5 kertaa viikossa. Jaksoittaisen poiston etuna on, että käsiteltävien lietevesien määrä vähenee oleellisesti.

Maa- altaat

Tyypillisin suomalainen kalankasvatusallas on maaumalammikko, jossa vesi vaihtuu noin kerran kahdessa tunnissa. Aiemmin luultiin, että liete poistuu kasvatusaltaista riittävässä määrin virtauksen mukana kasvatusaltaan jälkeen olevaan laskeutusaltaaseen. Virtausnopeudet ovat kuitenkin niin hitaita, että syntyvä liete laskeutuu pääosin kasvatusaltaan pohjalle, eikä kulkeudu siitä pois. Liete on paras ottaa talteen sieltä missä se syntyy eli kasvatusaltaiden pohjalta. Sitä varten on altaisiin tehtävä liettekeruujärjestelmä. Toinen mahdollisuus on, että maa-altaiden hydrauliiikka jo alunperin suunnitellaan tai olemassa olevilla laitoksilla muutetaan siten, että kalan ulosteet ja rehun tähteet eivät laskeudu kasvatusaltaihin vaan huuhtoutuvat virtaaman mukana laskeutusaltaaseen (itsepuhdistuvat altaat).

Maa-altaista on perinteisesti poistettu liete vain kalojen siirron yhteydessä yleensä kerran vuodessa syksyllä. Liete on poistettu joko kuivatyönä altaan ollessa tyhjillään tai märkätyönä lieteimurilla. Tämä ei sanottavasti vähennä laitoksen kuormitusta, koska liete on vanhaa ja siinä olleet ravinteet ovat ehtineet liueta veteen.

Lietteen laskeutumisen ja poistamisen helpottamiseksi on maa-altaisiin kehitetty erilaisia apulaitteita kuten urapeltejä, lietetaskuja ja lieteakaivoja. Lietetaskut on yleensä verhottava jollain materiaalilla esim. laudalla, vanerilla tai pellillä. Lietetaskuista liettä voidaan poistaa imuroimalla myös kasvukauden aikana kaloja häiritsemättä esimerkiksi kaksi kertaa viikossa. Lietetaskun toiminta perustuu siihen, että ylimääräinen rehu ja kalojen kiinteät ulosteet laskeutuvat ja jäävät lietetaskuun. Lietteen laskeutumista voidaan tehostaa esim. kahdella peräkkäisellä lietetaskulla (kuva 49).

RUOKINTA-
PAIKKA



Kuva 49. Periaatepiirros lietetaskuista.

Lietetaskujen paikat on yleensä ratkaistava tapauskohtaisesti. Helkiön (1984) mukaan kalojen ruokinta tulisi sijoittaa 10-15 m lietetaskun yläpuolelle, jolloin syntyvä liete kulkeutuisi virtauksen ja kalojen liikehännän seurauksena alapuolella olevaan lietetaskuun. Helkiö tutki vuonna 1983 Siikataimen Oy:n Siikakosken kalanviljelylaitoksella Konnevedellä lietetaskujen toimintaa fosforikuormituksen vähentäjänä. Koeallas oli vesipinnasta mitaten 72 metriä pitkä ja 10 metriä leveä. Altaaseen rakennettiin kolme lietetaskua, jotka sijoitettiin 13m:n, 37 m:n ja 52 m:n päähän altaan yläpäästä. Lietetaskut rakennettiin puurakenteisina altaan penkalla ja nostettiin altaan pohjalle konetyönä kaivettuihin uriin. Taskujen syvyys altaan pohjan tasosta oli 0,5 m. Taskujen etureuna oli pystysuora ja takaluiska kaltevuudessa 1:2. Taskujen pohjan leveys oli 0,7m. Luiskissa lietetaskujen syvyys oli 0,2 m. Altaaseen johdettiin vettä keskimäärin 140 l/s. Altaaseen laitettiin toisen kesän kasvatusta varten 900 kg kirjolohia, joiden al-

kupaino oli 44,7 g. Taskuihin kertynyt liete poistettiin imuroimalla kaksi kertaa viikossa traktorivetoiseen tyhjiötankkiin, joka tyhjennettiin turvesuodattimelle. Ensimmäinen eli ylin lietetasku keräsi tehokkaimmin lietettä. Koko laitoksen osalta arvioitiin tutkimusten perusteella päästävän vähintään 40 %:n reduktioon ylijäämäfosforista. Tulos on laskettu siten, että rehun fosforista on vähennetty kalaan sitoutunut osa ja veden mukana poistunut fosfori. Loppu on oletettu kerääntyvän lietetaskuihin. Samasta aineistosta Selänne sai tulokseksi vain 11 % poistetun lietteen fosforipitoisuuden perusteella laskien. Eri tutkimuksissa on lietetaskujen avulla saatu poistetun lietteen fosforin osuudeksi 0-14,5 % hukkafosforista. Lietetaskujen avulla ei ole päästy siis tehokkaaseen fosforin poistoon.

Eräillä laitoksilla on saatu lupaavia tuloksia pyöreistä maapohja-altaista. Kertyvä liete on tulovirtauksen ohjauksella suunnattu altaan keskellä olevaan lietekaivoon, josta liete on imetty kiinteän pohjaputken kautta jatkokäsittelyyn.

Avovesikasvatus

Verkkokassilaitoksilla lietteen ja ravinteiden poisto on ongelmallista. Teknisesti ja taloudellisesti käyttökelpoisia menetelmiä pyritään kuitenkin kehittämään sekä Suomessa että ulkomailla. Suomessa on tehty muutamia kokeita, joissa erilaisin teknisin järjestelyin kalankasvatuslietettä on pyritty poistamaan verkkoaltaiden alapuolelta (esim. Niinimäki 1982, Leminen ym. 1986, Sokka 1986, Selänne 1990). Enell ym. (1984) tutkivat Ruotsissa fosforinpoiston tehokkuutta teräsrakenteisten kasvatusaltaiden alle asennettujen lietteenkeräyssuppiloiden avulla. Kustannus-hyötytarkastelun pohjalta arvioituna tulokset eivät kuitenkaan ole olleet niin hyviä, että näitä ns. ulkoisen kuormituksen vähentämiseen tähtääviä menetelmiä olisi otettu käyttöön. Taulukossa 11 on esitetty verkkokassi- ja aitaustyypisten kalankasvatuslaitosten lietteen poiston vaikutuksia fosforikuormitukseen.

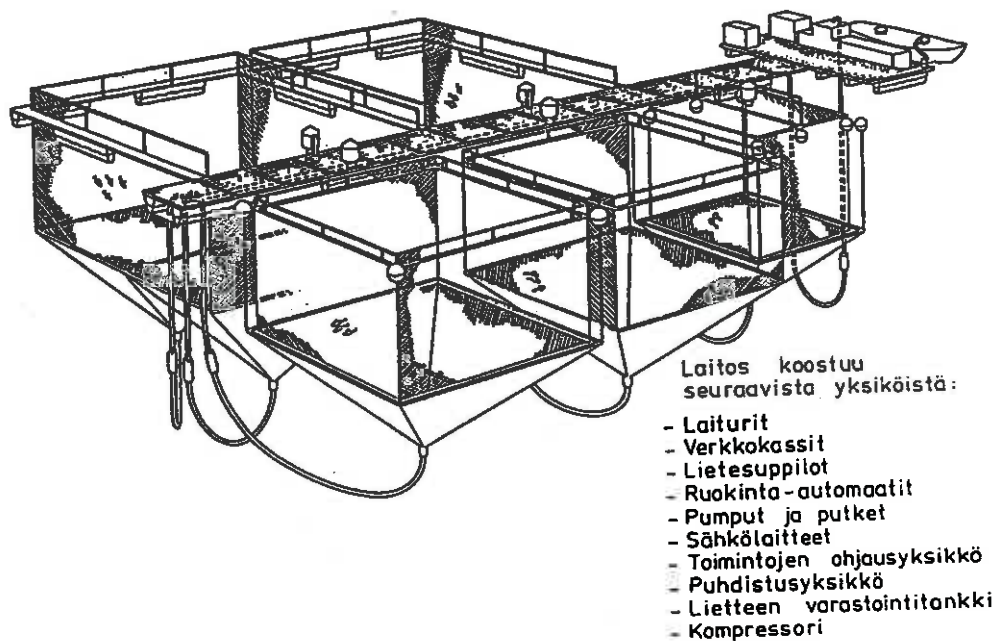
Taulukko 11. Verkkokassi- ja yhden verkkoaitauslaitoksen lietteenpoiston vaikutus P-kuormitukseen.

Lähde	P-reduktio % (kalaan sitoutumat- tomasta fosforista)	Laitos	Lietteen kerääjä	Mitta- kaava	Lietteen pumppaus- tiheys
Leminen 1985	24 %	kassi/ meri	kartio	pienois- malli	ruokintakertojen jälkeen
Poutanen 1984	16 %	verkko- aitaus/ sisävesi	lietealta ja pohja- kaukalo	laitosmit- takaava	
Sokka 1986	30 %	kassi/ sisävesi	suppilot	laitosmit- takaava	mm. 1/vrk
Karttunen 1986	15 %	kassi/ meri	suppilot	laitosmit- takaava	mm. 2/vrk
KERA 1987	22 %	kassi/ meri	suppilot	laitosmit- takaava	mm. 2/vrk
Enell ym. 1984	90 %	kassi/ meri	suppilot	laitosmit- takaava	1/13 min (päivällä)

Taulukossa 10 olevien tulosten keskinäistä vertailua vaikeuttavat erot ruokinnan järjestämisessä, kalalajissa, kalan koossa ja ruokintaan käytetyn rehun laadussa. Kun ruokinta saadaan optimoitua vähenee hukkaan joutuvan rehun osuus merkittävästi. Ulostelietteen määrä vaihtelee myös kalalajeittain ja ikäryhmittäin. Nuorten ikäluokien kasvatuksesta aiheutuu suhteessa vähemmän kuormitusta vanhempiin ja kookkaampiin yksilöihin verrattuna. Poikaskasvatuksen kuormitus on kirjolohen kasvatuksessa vähäistä verrattuna toisen ja kolmannen kesän kasvatukseen.

Suomessa tehdyissä verkkoallastutkimuksissa lietteenpoistotiheys on vaihdellut kerran tai useammin päivässä aina kahteen kertaan kuukaudessa toteutettuun lietteenpoistoon. Tasetarkastelussa rehun fosforista kalaan on sitoutunut 20-45 % ja lietteeseen 9-32 %, fosforireduktion vaihdellessa välillä 3-40 %. Yleisimmin fosforia on saatu talteen keskimäärin 20 %.

Ruotsissa v.1984 (Enell ym. 1984) kokeiltua verkkokassilaitoksen lietteenpoistojärjestelmää esittää kuva 50.



Kuva 50. Ruotsissa v.1984 kokeiltu verkkokassilaitoksen lietteenkeräysjärjestelmä (Enell ym. 1984).

Lietteen keräystä varten verkkokassin alle on tehty PVC-muovista suppilo, johon kala-
laulosteet ja käyttämätön rehu laskeutuvat. Suppilon alaosa on yhdistetty poistoletkuun. Liettevesi pumpataan mammut-pumpulla ylös hoitotasolle, jossa poistoletkut yhdistyvät keräyslinjaan. Kasseista pumpattu lietevesi menee rehunerotusyksikön kautta lietteen erotukseen.

Käyttämätön rehu eroitetaan lietevedestä karkealla siivilillä, johon rehu partikkeli-
kooltaan kala-
laulostetta suurempana jää. Rehun talteenottoa parantaa infrapunalampan avulla tapahtuva kuivaus, jolloin talteen saadun rehun varastointi ennen uudelleen käyttöä on mahdollista.

Varsinainen lietteen erotus tapahtuu suodattamalla lietevesi hienojakoisen polyeteeniverkon lävitse. Suodatinkankaalle jäänyt liete kaavitaan ja varastoidaan laitoksen vierellä kelluvaan säiliöön.

Kokeessa ruokinta- ja puhdistustapahtumat muodostivat vuorottelevan syklin. Sen käynnistymistiheys riippui veden lämpötilasta ja valon intensiteetistä, jotka toimivat

syklin ohjausimpulsseina. Ohjelman puitteissa jokainen kassi puhdistettiin vähintään joka 13. minuutti. Sykli toimi vain vuorokauden valoisana aikana.

Tutkimuksen perusteella saatiin laitoksen fosforitase, jonka mukaan syötetyn rehun sisältämästä fosforista joutui:

- 15 % kasvatettuun kalaan
- 11 % lietteestä poistettuun rehuun
- 59 % talteenotettuun lietteeseen
- 3 % suodatetun veden mukana vesistöön
- 12 % kala-altaasta suoraan vesistöön

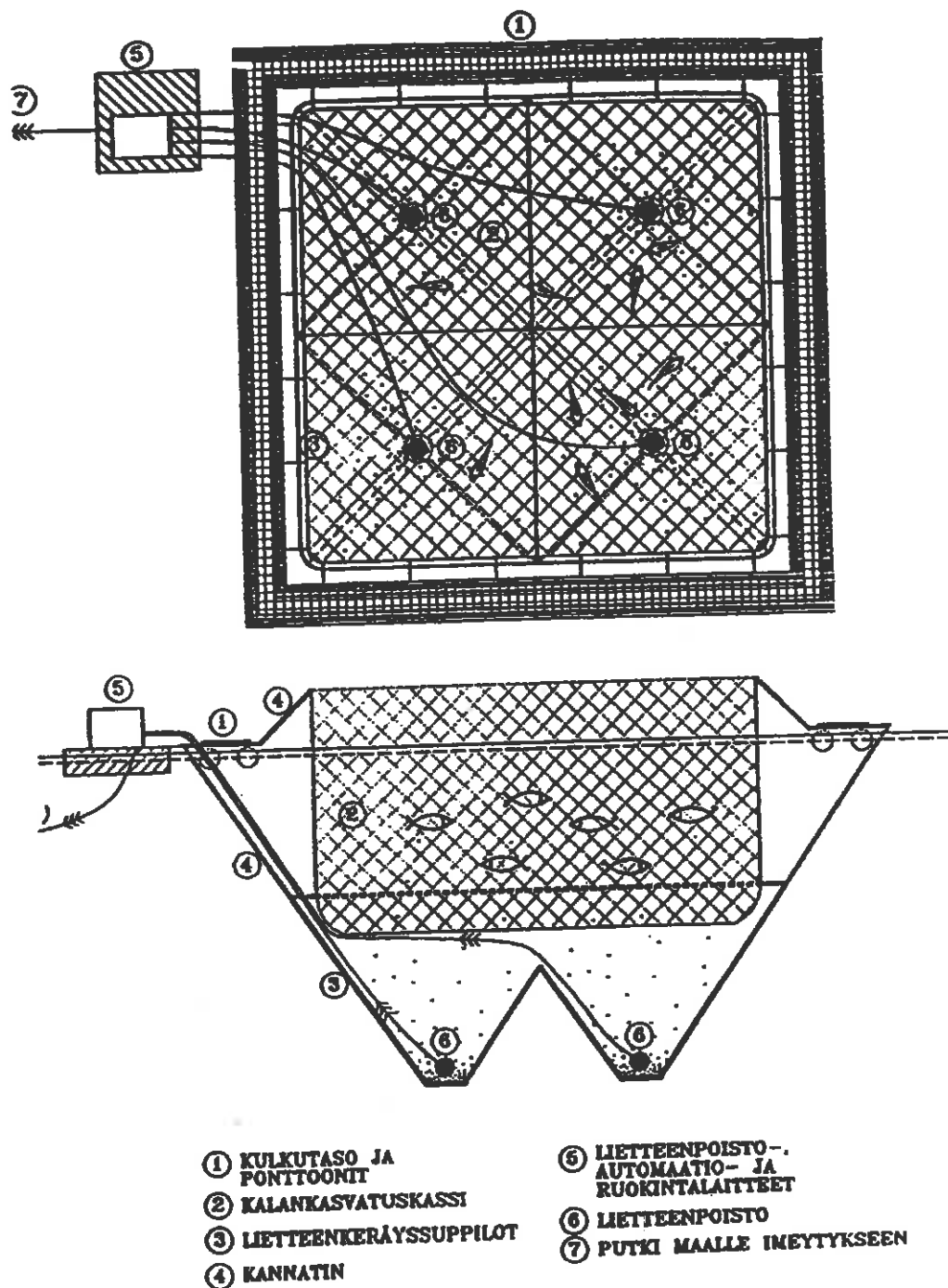
Edellisen perusteella lietteen poistolla saatiin kalaan sitoutumatonta ylijäämäfosforia vähennetyksi noin 80 %. Reduktio vaikuttaa yllättävän hyvältä ja selittyy osaksi suurella hukkarehun määrällä. Lietteen mukana pumpattiin 10-15 % kaloille annetusta rehusta uudelleen käytettäväksi.

Laitoksen fosforikuormitukseksi saatiin noin 4 g P/ 1 kg kalaa. Yleensä verkkoallaslaitosten fosforikuormitukseksi tutkimusajankohtana v.1984 arvioitiin noin 15 g P/ 1kg kalaa, joten tähän nähden tulos vastaisi noin 70 %:n fosforireduktiota.

Tulosten edustavuutta heikensi koejakson lyhyys. Tulokset määritettiin yhden kuukauden seurannan perusteella. Hyvään tulokseen vaikutti myöskin vääristymä, joka syntyi sen johdosta, että rehua syötettiin miltei määrättömästi kaloille. Tutkimuksessa ei selvitetty säilöön johdetun lietteen jatkokäsittelyä.

Ruotsissa Statens Naturvårdsverket teki vastaavanlaisella systeemillä vuonna 1987 omat kokeensa (Rapport 3419). Koejärjestelyt eivät olleet aivan identtiset, mutta eivät poikenneet kuitenkaan merkittävästi Enellin ym. (1984) kokeista. Kokonaisfosforista saatiin tällöin talteen vain 2-4 %. Kokeet epäonnistuivat, koska ulosteliete tarttui kartion seinämiin, eikä kulkeutunut kartion pohjalle.

Suomessa on vastaavanlaista tutkimusta tehty viimeksi myös vuosina 1995 ja 1996. Vuonna 1995 tutki Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy ympäristöministeriön sekä maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannosta ravinnekuormituksen vähentämismahdollisuutta verkkokassilaitoksella Kotkan Mussalossa (Ravinnekuormituksen vähentäminen kalojen verkkoallaskasvatuksessa 1996). Lietteenpoiston periaate on esitetty kuvassa 51.



Kuva 51. Suomessa Kotkan Mussalossa v. 1995 toteutetun lietteenpoistokokeen periaatepiirros.

Kokeessa käytettyjen kalojen kasvatusta tapahtui verkkokassissa, jonka pohjan ala oli 10 x 10 m ja korkeus 4 m (veden alla 3 m). Kasvatusyksikön tilavuus oli 300 m³ ja siihen laitettiin 1-vuotiaita kirjolohia 3998 kpl joiden keskipaino oli kokeen alussa 192 g ja kokeen päätyttyä lokakuussa 1060 g. Kalojen alkutiheys koealtaassa oli 3 kg/m³ ja lopputiheys 14 kg/m³. Lietepartikkelit pyrittiin laskeuttamaan kassin alle metallikehikkoon jäykistettyyn pohjakartioon (suppiloon). Kartio muodostui neljästä lietesuppilosta, jotka oli yläosastaan saumattu yhtenäiseksi. Lienesuppilon materiaalina käytettiin PVC-pinnoitettua polyesterikangasta (680 g/m²) jonka sisäpuoli oli lakattu leväkasvun ehkäisemiseksi. Kunkin suppilon vesitilavuus oli 22 m³. Suppiloista lietevesi pumpattiin uppopumpuilla maalle maimeytykseen.

Ruokinta tapahtui automaattisen ruokintalaitteiston avulla kaksi kertaa päivässä, aamulla ja illalla. Ruokintajakso alkoi kolme tuntia auringon nousun jälkeen ja päättyi tuntia ennen auringonlaskua. Kumpikin jakso kesti kaksi tuntia. Rehumäärä säätyi automaattisesti veden lämpötilan ja kalojen keskipainon mukaan.

Lietteenpoisto oli ajoitettu siten, että ruokinta-aikana toteutettiin tiheennetty ja muuna aikana käyntiväleiltään harvennettu pumppausrytmi. Syklin (30 kpl/kaksi ruokintaa ja 50 kpl/ei ruokintaa) aikana kukin pumppu oli vuorollaan toiminnassa yhden minuutin ja ja pysäytettynä kuusi tai kuusitoista minuuttia. Käyntiajat vuorokautta kohti olivat pumpuilla yhteensä 120 ja 228 minuuttia. Kustakin suppilosta kerralla pumpattu lietevesimäärä oli 120 l. Kokeen aikana suppiloista pumpattiin lietevedettä yht. 5512 m³.

Kokeessa käytetyn rehun ja kalojen ravinnepitoisuudet olivat seuraavat:

	rehu vakuustodistus %	rehu VTT %	kala VTT %
fosfori	1,2	1,25	0,40
typpi	7,0	6,7	2,56

Koealtaan fosforitase (g P/ 1 kg kalaa) kasvukaudella oli seuraava:

	g	%
Rehun sisältämä fosforimäärä	13,7	100,0
Kalojen lisäkasvuun sitoutunut fosforimäärä	4,0	29,2
Lieteveden mukana poistunut fosforimäärä	4,4	32,1
Koealtaan vesistökuormitus	5,3	38,7

Lietesuppiloista poistetun lieteveden sisältämäksi fosforireduktioksi saatiin siis 32,1%. Kun altaaseen johdetun rehun fosforisisällöstä vähennetään kaloihin sitoutunut osuus niin altaaseen viedystä fosforista poistui vesistöön 5,3 g P/ 1 kg kalaa. Jos lietettä ei olisi poistettu niin vesistöön olisi kohdistunut fosforikuorma noin 10 g P/ 1 kg kalaa.

Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy on jatkanut kesällä 1996 ravinnekuormituksen vähentämiseen tähtäävää tutkimusta Kotkan Mussalossa. Tampereen teknillinen korkeakoulu on aloittaneet myös kesällä 1997 oman vastaavan tutkimuksensa Hiittisissä umpikassitekniikalla ja flelaatioyksiköllä.

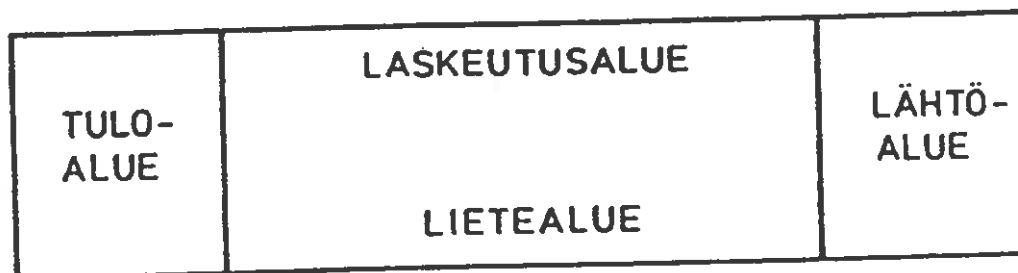
3.23 Lietteen käsittely

Lietevesi on hyvin vetistä (vettä ≥ 95 %), jonka vuoksi normaalit lietteenkäsittelymenetelmät eivät tule yleensä kysymykseen. Altaista poistettua lietevedettä on monissa tapauksissa johdettu suoraan turvesuodattimen päälle. Tällöin voi tulla kuitenkin ongelmia, ellei suureen hydrauliseen kuormaan ole varauduttu. Turvesuodattimen pinnalle muodostuu kuiva korppumainen pinta, joka läpäisee huonosti vettä ellei pintaa möyhennetä välillä. Turvesuodattimen toimintaa on käsitelty lähemmin jäljempänä. Kalanviljelyvedestä erotettu liete (lietevesi) voidaan joissakin erityistapauksissa johtaa myös kunnan tai taajaman puhdistamolle, kuten tehdään RKTL:n Kuusamon ja Inarin kalanviljelylaitoksilla. Tällöin lietevesi on edullista johtaa puhdistamolle yöllä, jolloin muu puhdistamolle tuleva kuormitus on vähäistä. Lietteen käsittelystä on puhdistamolle maksettu korvaus, joka on ollut 20-30 % suurempi kuin asumajätevesien käsittelystä maksettu. Seuraavassa on esitelty eräitä lieteveden käsittelymenetelmiä, jotka soveltuvat lieteveden käsittelyyn eli lietteen erotteluun.

Laskeutusallas

Perinteisessä vaakalaskeutusaltaassa joka sijaitsee kasvatusaltaiden jälkeen ja jonka läpi virtaus menee ei ole mainittavaa hyötyä sen paremmin lietteenpoistossa ja sitä kautta kuormituksen vähentäjänä (fosforireduktio 0-10 %) kuin lietteen erottelussakaan. Tällainen laskeutusallas toimii vain kuormitushuippujen vähentäjänä ja jossakin määrin kiintoaineen talteenottajana.

Kasvatusaltaiden yhteydessä voidaan käyttää pitkänomaisia laskeutusaltaita, joihin johdetaan lietevedtä kasvatusaltaiden pohjalta, mutta ei altaiden poistovesiä. Suora-kaiteen muotoisen laskeutusaltaan tulee sisältää neljä erilaista vyöhykettä kuvan 52 mukaisesti.



Kuva 52. Vaakalaskeutusaltaan neljä erilaista vyöhykettä.

Tulo- ja lähtöalueiden tarkoituksena on saada aikaan tasainen laminaarinen virtaus laskeutusalueella. Tämä saavutetaan parhaiten mikäli tulokohta laskeutusalueelle ja lähtökohta laskeutusalueelta ovat yhtä leveät kuin laskeutusalue.

Tuloalueella vesi jaetaan tasaisesti altaan koko poikkileikkaukselle käyttäen apuna suoria tai kaarevia estelevyjä, vaimennussäleikköjä tai suuntaamalla virtaus altaan päätyseinää vasten.

Laskeutusaltaan suunnittelussa on otettava huomioon seuraavia seikkoja:

- hajoamaton kalan uloste on nopeasti laskeutuvaa
- suuremman kalan uloste laskeutuu nopeammin kuin pienemmän
- rehusta, kalatiheydestä ja virtausolosuhteista johtuen uloste voi olla myös hyvin hajoavaa
- ravinteiden pysyvyys kiintoaineiden muodossa on lyhytaikaista.

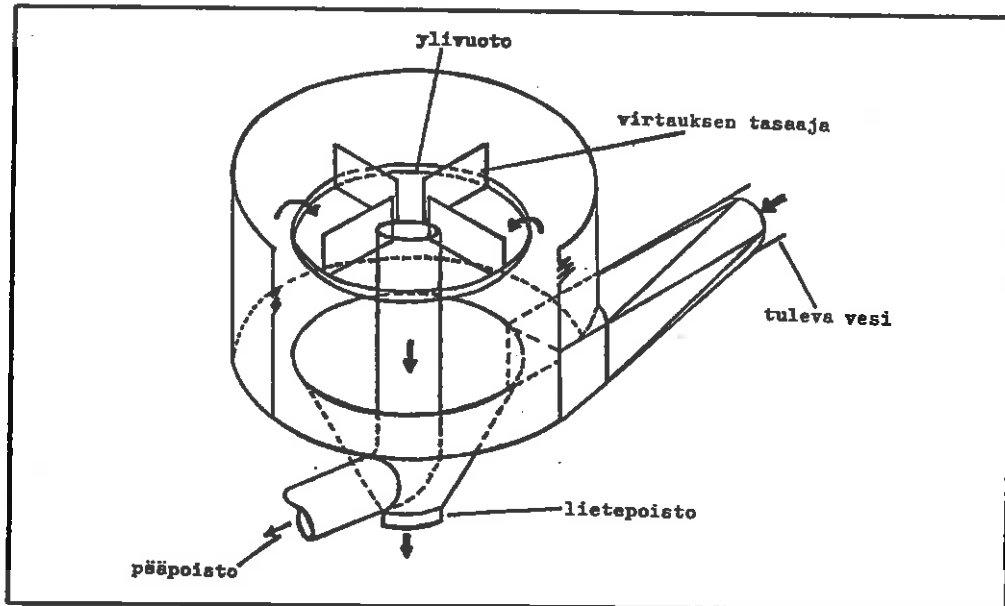
Em. seikoista johtuen laskeutusallas on pyrittävä sijoittamaan mahdollisimman lähelle kiintoaineen tuottajaa eli kalaa.

Vuonna 1983 tutkittiin Hankasalmen kunnassa sijaitsevalla Hankakoski Oy:n kalan kasvatuslaitoksella laskeutusaltaan ravinteidenpoistotehoa (Enell ym. 1984). Koe tehtiin siten, että kalanviljelyhallissa olevista itsepuhdistuvista 4 m²:n lasikuitualtaista (2 kpl) lietepesä puhdistettiin alipaineimurilla 1-5 kertaa viikossa, ja rehuntahteet ja ulosteet johdettiin laskeutusaltaisiin. Laskeutusaltaan fosforireduktioksi saatiin tutkimuksessa 32 %.

Pyörreselkeytin

Pyörreselkeytin on Yhdysvalloissa kehitetty mekaaninen jätevesien puhdistuslaite, jota alunperin on sovellettu hulevesien puhdistamiseen. Laitteen kehitys- ja mitoitustyo tehtiin 1970-luvulla USA:n ympäristönsuojeluvirastossa (EPA). Laitteen etuina on pidetty sitä, että siinä ei ole häiriöille alttiita liikkuvia osia ja että sillä pystytään erottamaan suuriakin kiintoainepitoisuuksia. Pyörreselkeytintä voidaan käyttää hyvin vaihtelevilla virtaamilla puhdistustehokkuuden siitä vähenemättä. Laite toimii tehokkaasti vielä, kun mitoitusvirtaama ylitetään kaksinkertaisesti.

Pyörreselkeytin on pyöreä allas, jossa tulovirtaaman aiheuttaman veden pyörimisliikkeen avulla kerätään laskeutuva kiintoaine keskelle allasta. Ilmiö voidaan havaita esim. teekupista, jossa neste laitetaan pyörivään liikkeeseen, jolloin teelehdet kerääntyvät kupin keskelle. Perinteistä keskuspoistolla toimivaa pyörreselkeytintä (kuva 53) on Suomessa käytetty useilla Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen ja yksityisten kalanviljelylaitoksilla.



Kuva 53. Perinteinen keskuspoistolla toimiva pyörreselkeytin. Valmistusmateriaaliksi esimerkiksi teräsbetonin tai lasikuitu.

Tässä yhteydessä esitettävät pyörreselkeyttimen mitoitusohjeet pohjautuvat suurelta osin EPA:n raportissa EPA-600/82-013 esitettyihin ohjeisiin. Mitoitusohjeita on tarkistettu Suomessa kalanviljelyvesien puhdistukseen ainakin kahdessa tutkimuksessa. Mäkinen ja Naukkarinen tutkivat pyörreselkeyttimen soveltuvuutta ja mitoitusta kalanviljelyvesien puhdistukseen RKTL:n Laukaan kalanviljelylaitoksella v. 1981. Tutkimuksen kohteena oli perinteinen keskuspoistolla toimiva selkeytin. Pärjälä ja Heikkinen (1984) tutkivat reunapoistolla toimivan pyörreselkeyttimen toimintaa v. 1983 Nilakkalohen kalanviljelylaitoksella Tervon kunnassa (nykyisin RKTL:n laitos).

Tutkimuksen perusteella suositellaan kalanviljelyvesien käsittelyssä pyörreselkeytin mitoittavaksi pintakuormalle 20 m/h ($20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$). Selkeyttimen halkaisija saadaan tällöin kaavalla:

$$D = 0,48 \sqrt{Q} \quad (Q = \text{l/s})$$

Tällä mitoituksella saatiin Laukaan kalanviljelylaitoksen kiintoaineesta talteen noin 67 % (Naukkarinen 1981).

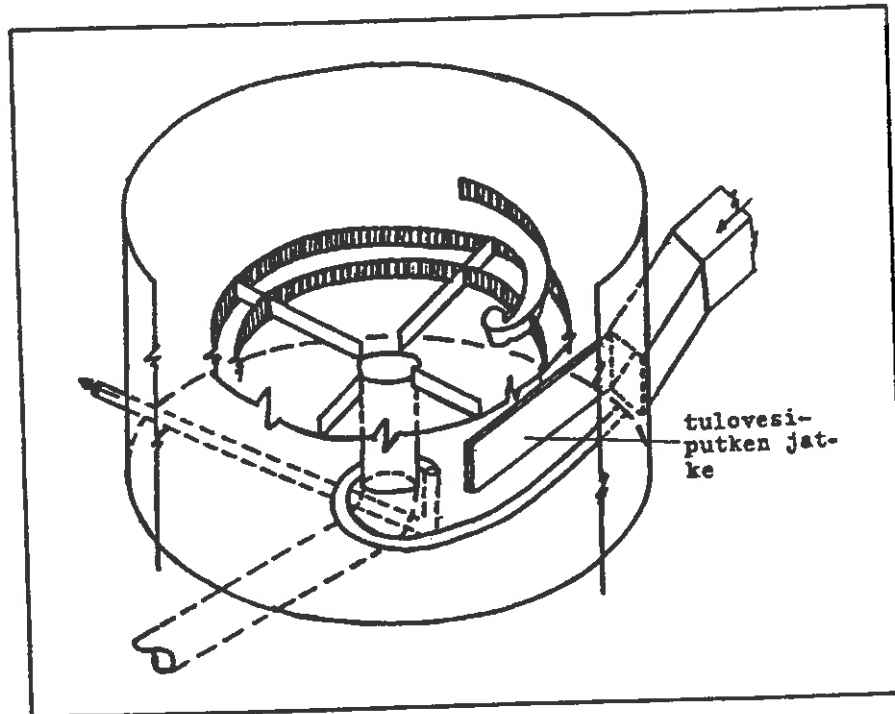
Tulovesiputkessa virtausnopeus ei saa olla yli 0,15 - 0,2 m/s.

Jotta virtaus tulovesiputkessa olisi mahdollisimman laminaarista ja jotta kiintoaine alkaisi laskeutua jo tulovesiputkessa, on ilmeistä, että sen suunnittelulla on keskeinen merkitys selkeyttimen toiminnalle, koska etenkin huonosti laskeutuvalla kiintoaineella laskeutuminen altaassa on vähäistä verrattuna laskeutumiseen tulovesiputkessa.

Tulovesiputken halkaisijan tulisi olla muuttumaton ainakin matkalla 3 x halkaisija. Putken minimipituus on $7 \times \sqrt{A}$, missä A = putken pinta-ala. Tätä putken osaa kutsutaan myös rauhoitusputkeksi. Tulovesiputken avulla vesi ohjataan tangentiaalisesti altaan pohjalle, jolloin kiintoaine ohjautuu heti selkeyttimen alhaisimpiin osiin. Tulo-

vesiputken kaltevuus saisi olla enintään 1:2, jotta turbulenssi ei kasva liian suureksi. Tulovesiputken halkaisija voidaan suurentaa altaan korkuiseksi ilman, että siitä olisi haittaa puhdistustulokselle. Tulovesiputken laajennuskulmaksi Mäkinen ja Naukkarinen suosittelevat 14°.

Kiintoaineen erottumista parantamaan tulovesiputkea tulee jatkaa kuvan 54 mukaisesti selkeyttimen sisälle.



Kuva 54. Tulovesiputken jatke selkeyttimen sisälle.

Kun tulovesiputkea jatketaan altaan sisälle niin vesimassa, joka tekee ensimmäistä kierrosta altaassa, törmää tulovesiputken seinämään, jolloin se heijastuu altaan sisäosaan päin muodostaen vesimassan joka tekee toisen kierroksen altaassa. Näin vesimassan altaassa kulkema matka pitenee. Ilman tätä heijastavaa seinämää altaassa kiertävä vesimassa nopeasti muodostaa pinnalle vapaan pyörteen, mikä vähentää kiintoaineen erottumista.

Tulovesiputken muoto voi olla suorakaideputkenä sellainen, että korkeus = 2 x leveys. Näin häiritään vähemmän selkeytysaltaan virtausta kuin täysin neliömäisellä pohjalle asennetulla putkella.

Jos tulovesiputken jatke on ylhäältä avonainen, altaan pintakerroksessa kiertävä vesimassa muodostaa tulevalle vesimassalle katon, mikä pyrkii pitämään tulovedessä olevan kiintoaineen lähellä pohjaa ja samalla puhtaamman yläkerroksessa virtaavan veden erillään tulevasta vedestä.

Normaalimitoituksen mukaan ylivuodon halkaisija on altaan halkaisija miinus kaksi kertaa tulovesiputken halkaisija.

Selkeyttimen keskellä pohjalla oleva lietepesä on tavallisesti 60° kulmassa altaan pohjaan nähden. Jos kulma on pienempi kuin 45° niin kiintoaine voi kertyä lietepesän reunalle poistumatta altaasta. Suomessa on eniten rakennettu pyörreselkeyttimiä kalanviljelylaitoksille siten, että pohjan kallistus on aloitettu selkeyttimen reunoilta keskustaa kohti. Pohjan kaltevuutena on käytetty 50° - 60°.

Jos lietteenpoisto tapahtuu selkeyttimen alakautta, täytyy lietepoiston mutkan olla tarpeeksi pohjan alapuolella, ettei synny pyörrevirtauksia. Sopiva etäisyys pohjasta on sama kuin tulovesiputken halkaisija. Lietepoistoputken täytyy olla kohtisuoraan tuloputkea vastaan, jotta hydrauliset olosuhteet lietepoistossa olisivat optimaaliset.

EPA:n mallikokeissa virtaama lietepoiston kautta on ollut tavallisesti 2 % kokonaisvirtaamasta. Suomalaisille valtion kalanviljelylaitoksille rakennetuissa pyörreselkeyttimissä on päädytty ajoittaiseen lietepoistoon, joka on toteutettu joko omapaineisesti pohjaventtiiliä avaamalla ja sulkemalla tai liete on poistettu altaan pohjalta lietepesästä lietepumpun avulla. Näin menetellen on saatu lieteveden määrä rajoitettua kohtuulliselle tasolle jatkokäsittelyä ajatellen. Lietteen poistoputken kokona on käytetty yleisesti 100 mm.

RKTL:n Saimaan kalanviljelylaitos on tutkinut v.1994 mm. laitoksella olevien pyörreselkeyttimien toimintaa kalanviljelyvesien puhdistamisessa (Pursiainen ja Makkonen 1995). Laitoksella on 5 kpl erisuuruisia pyörreselkeyttäjiä. Itsepuhdistuvista altaista saatiin poikashallista selkeyttimeen johdettua 78 % lietteen kokonaisfosforista ja 83 % kiintoaineesta. Selkeyttimessä saatiin kokonaisfosforista edelleen talteen lähes 50 % ja kiintoaineesta lähes 73 %. Emokalahallin kaikki altaat toimivat hyvin itsepuhdistuvina ja lietteen erottelussa pyörreselkeyttimeen saatiin lähes 82 % kokonaisfosforista ja 94 % kiintoaineesta. Pyörreselkeyttimellä saatiin kokonaisfosforista talteen enää 28 % ja kiintoaineesta 57 %.

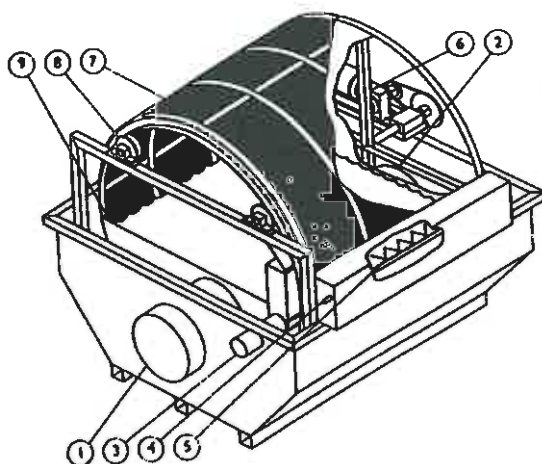
Ulkona olevista pyöreistä betonialtaista ($D = 9.0$ m) liete johdetaan pyörreselkeyttimiin sysäyksittäin. Altaiden itsepuhdistuvuus on huono, koska pyörreselkeyttimiin saatiin johdettua kokonaisfosforista vain 28 % ja kiintoaineesta 32 %. Liukoisen fosforin sitoutumista kiintoaineeseen tapahtuu voimakkaasti. Pyörreselkeyttimissä saatiin sinne johdetusta kokonaisfosforista talteen 33 % ja kiintoaineesta 68 %. Sysäyksittäinen pyörreselkeyttintointo ei ollut laitoksella puhdistusteholtaan yhtä hyvää kuin jatkuvatoiminen.

Tutkimus osoitti, että sekä pyörreselkeyttimiin johdetuissa kokonaisfosfori- että kiintoainemäärissä oli suuria eroja, kuin myös pyörreselkeyttimien puhdistustehoissa. Sama on voitu todeta myös muilla laitoksilla. Erot johtuvat osittain siitä miten vesi johdetaan itse altaisiin pyörrevirtauksen aikaansaamiseksi ja myös siitä miten kalat liikehdinnällään edistävät lietteen kulkeutumista altaan keskikartioon. Pyörreselkeyttimien puhdistustuloksiin vaikuttaa myös paljon se kuinka nopeasti ulostepartikkeli saadaan johdettua pyörreselkeyttimeen. Pyörreselkeyttimen ei pitäisi sijaita kaukana itse kasvatusaltaasta, jotta ulostepartikkelit eivät hajoaisi matkalla.

Rumpusuodatin

Rumpusuodattimeen tuleva jätevesi ohjataan laitteen sisään. Rumpusuodattimessa jätevesi siivilöityy pyörivän rummun vaipassa olevien suodatuslementtien lävitse, jolloin kiintoainepartikkelit erottuvat rummun sisäkehälle, josta ne huuhdellaan jatkokäsittelyyn. Suodatuslementti muodostuu kennomaisesta polystyreenirungosta, jonka päälle on lämpökiinnitetty suodatusverkko (malli HYDROTECH). Verkon materiaalina voi olla polyester tai haponkestävä teräs. Rumpusiivilä on esitetty kuvassa 55.

Malli 1, tankilla



- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1. Sisääntulo | 6. Käyttökoneisto |
| 2. Lähtö | 7. Suodatinelementit |
| 3. Lietteen poisto | 8. Kannatuspyörä |
| 4. Huuhteluvesi | 9. Kumitiiviste |
| 5. Huuhtelusuuttimet | |

Kuva 55. Rumpusiivilä, malli HYDROTECH/ SARLIN sisäpuolisella veden- syötöllä.

Viiran reikä- rakokokona on RKTL:n kalanviljelylaitoksilla käytetty puhdasvesipuolella 5-10 µm, mikä vastaa hiekkasuodatusta. Jätevesipuolella on käytetty viiraa 30-40µm, silloin kun on pyritty 100 % lietteenpoistoon esim. tiukkojen vesioikeuden lupaehtojen vuoksi. Normaalisti kalanviljelyvesien käsittelyssä riittää viirakoko 60-100 µm. Erotusastetta voidaan tarvittaessa muuttaa vaihtamalla suodatuselementit.

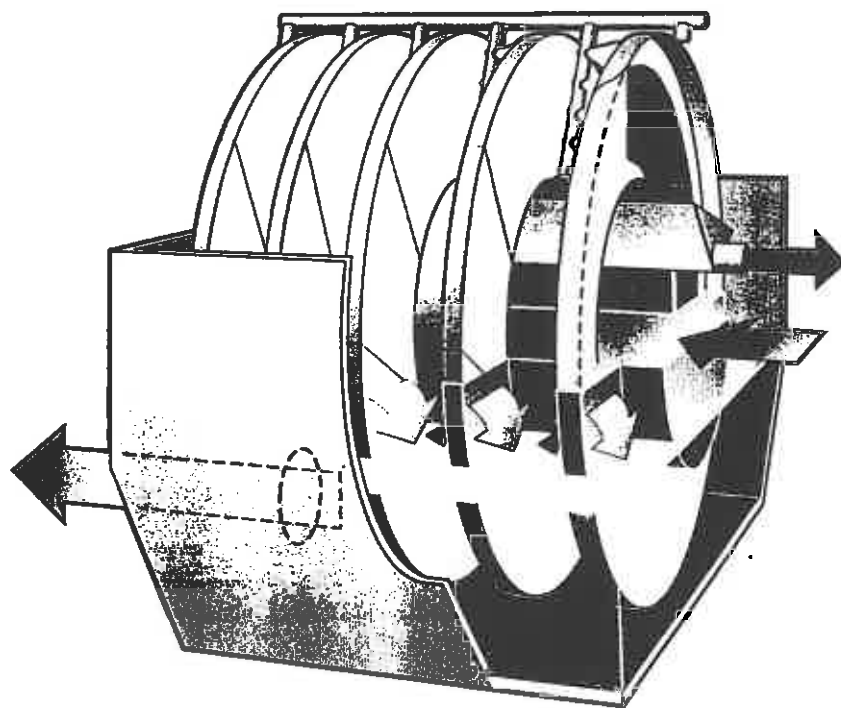
Kalanviljelylaitoksilla on rumpusiivilän eroittaman siivilöintijätteen kuiva-ainepitoisuus noin 1 % ja se on helposti käsiteltävää. Yhdellä rumpusiivilällä voidaan käsitellä jätevesiä aina määrään noin 1500 l/s asti.

Viira puhdistetaan siihen kertyneestä lietteestä huuhteluvedellä, jonka tarvitsema paine on noin 9 bar. (9 m vesipainetta). Laitteistoon kuuluu vakiona korkeapainehuuhtelupumppu. Paineen lisäksi vaikuttaa huuhtelun tehokkuuteen huuhtelusuuttimien rakenne ja sijoitus. Suihku puhaltaa läpi suodatuselementistä ja irroittaa sisäpuolelle tarttuneen kiintoaineen, joka poistuu huuhteluveden mukana suodattimesta. Yleensä huuhtelu hoidetaan pinnanvalvonta-automaatiikalla jolloin rumpu pyörii/puhdistuu vain silloin kun kiintoainetta on erottunut riittävästi eli kun vesipinta rummun sisällä alkaa nousta. Huuhteluvesimäärä on noin 0,5 % tulovirtaamasta. Rumpusiivilä on puhdistimena erittäin tehokas.

Rumpusiivilä erotusasteella 40 µm ja kapasiteetilla 50 l/s kalalaitoksen jätevedelle, jossa kiintoainetta on noin 25 mg/l täysautomaattisena, tankilla varustettuna, kaikki metalliosat haponkestävää terästä (AISI 316) maksaa noin 95 000 mk (malli HYDROTECH/ SARLIN, hintataso 9/96). Sama malli kanaaliin asennettavana ilman tankkia ja automatiikkaa maksaa noin 80 000 mk.

Kiekkosuodatin

Kiekkosuodatin on eräs rumpusiivilän sovellutus ja se on tarkoitettu kohteisiin, joissa käsitellään suuria vesimääriä pienillä erotusasteilla, mutta tilat laitteen sijoittamiseksi ovat rajatut (kuva 56)



Kuva 56. Kiekkosuodatin, malli HYDROTECH/SARLIN.

Kiekkosuodattimessa tuleva jätevesi ohjataan laitteen sisään. Kiekkosuodattimessa jätevesi siivilöityy pyörivään runkoon kiinnitettyjen suodatuskiekkojen lävitse, jolloin kiintoainepartikkelit jäävät kiekkojen sisään, josta ne huudellaan jatkokäsittelyyn (esim. flotaatio). Suodatuselementti muodostuu kiekkomaisesta metallirungosta, jonka päälle on lämpökiinnitetty suodatusverkko. Verkon materiaali on joko polyester tai haponkestävä teräs. Erotusaste on valittavissa 10 μ :sta alkaen suodatuskiekkoja vaihtamalla. Tilanteen vaatiessa voidaan suodattimen kapasiteettia lisätä n. 50 % lisäkiekkoja asentamalla. Yhdellä laitteella voidaan käsitellä jätevesiä aina määrään 900 l/s asti. Huuhteluvesimäärä on noin 1 % tulovirtaamasta.

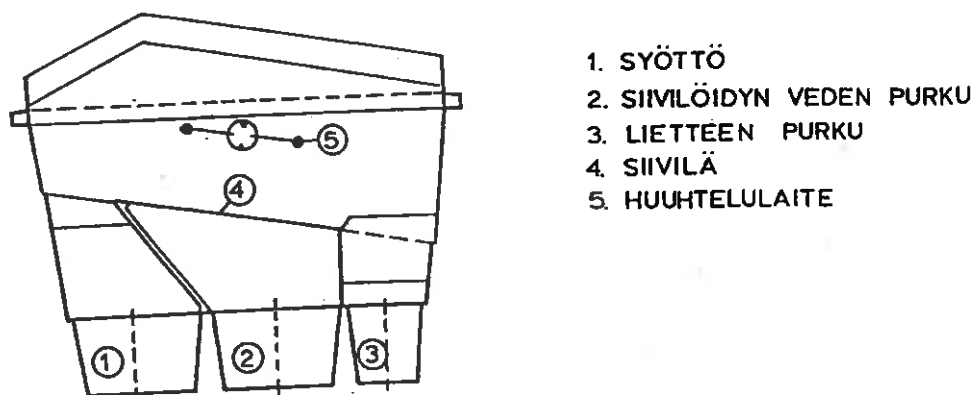
Kiekkosuodatin (malli Hydrotech/Sarlin) erotusasteella 40 μ m ja kapasiteetilla 60 l/s kalalaitoksen jätevedelle, jossa kiintoainetta on noin 25 mg/l, maksaa täysautomaattisena tankilla varustettuna noin 105 000 mk. Sama malli kanaaliin asennettavana ilman tankkia ja automatiikkaa maksaa noin 90 000 mk (hintataso 9/96).

Kolmiosiivilä

Rumpusiivilän asemasta voidaan käyttää myös kolmiosiivilää. Siinä jätevesi suodetaan kaltevan silmäkooltaan yleensä 25-80 μ m siiviläpinnan läpi. Siivilään kuuluu automaattisesti toimiva huuhtelulaite ja huuhteluun tarvittava vesimäärä on huomattavasti pienempi kuin rumpusiivilällä. Kolmiosiivilä soveltuu hyvin kalaviljelyvesien käsittelyyn koska:

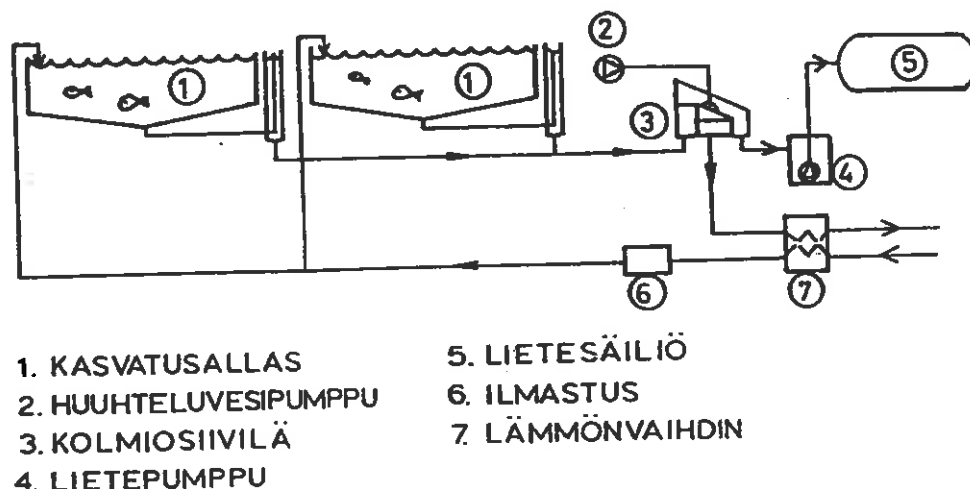
- sillä on korkea puhdistuskyky (kiintoaine ≥ 90 %, fosfori 70-80 %)
- sillä on suuri vedenkäsittelykapasiteetti
- se on taloudellinen, ympäristöystävällinen ja käyttövarma

Kolmiosiivilä soveltuu parhaiten, kuten rumpusiiviläkin, itsepuhdistuvien altaiden viljelyvesien käsittelyyn. Kuvassa 56 on esitetty eräs ruotsalainen kolmiosiivilä.



Kuva 57. Kolmiosiivilä.

Kuvassa 58. on esitetty kolmiosiivilän sijoitusesimerkki kalalaitokselle.



Kuva 58. Kalalaitos, jossa käytetään kolmiosiivilää.

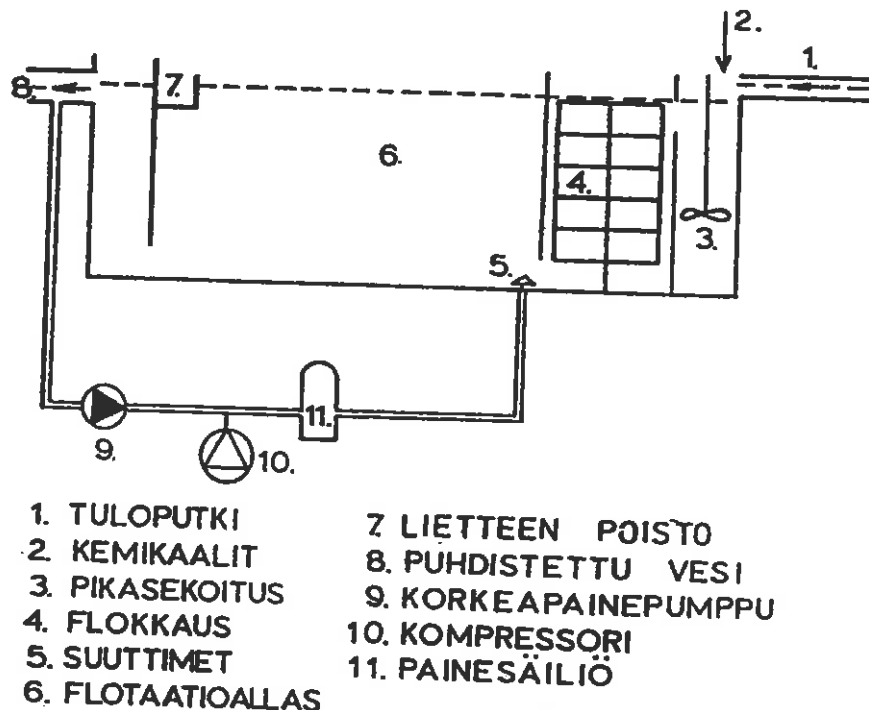
Suomessa kolmiosiivilää on kokeiltu ainakin RKTL:n Laukaan kalanviljelylaitoksella kesällä 1985 ja Hankakoski Oy:n laitoksella Hankasalmella kesällä 1986. Tulosten mukaan kolmiosiivilällä käsitelty laitoksen poistovesi sisältää enää runsaat 30 % ylijäämäfosforista. Noin 50 l/s vesimäärän käsittelevä kolmiosiivilän hinta on noin 75 000 mk.

Flotaatio

Flotaatio on puhdistusmenetelmä, jossa nesteeseen saatujen ilmakuplien avulla erotetaan nesteestä kiinteitä partikkeleita. Yleisin on korkeapaineflotaatio. Sen toimintaperiaate on, että kemiallisessa koagulaatiossa aikaansaadaan sopivilla aineilla veteen tilavuudeltaan suuri limantyyppinen sakka, johon suspensio- ja kolloidimuodossa olevat ja jossain määrin myös liuenneet veden epäpuhtaudet pidätyvät. Kun sakkaa sisältävää vettä varovasti hämmennetään, syntyy sakkahiutaleita eli flokkeja jotka voidaan poistaa selkeytyksen ja suodatuksen avulla. Yleensä flokit nostetaan pienten ilmakuplien avulla veden pintaan. Flotaatioaltaaseen johdetaan yhdessä käsiteltävän veden kanssa ns. dispersiovettä johon on liuotettu paineen alaisena ilmaa. Tämä paineilmaistettu vesiosuus johdetaan erikoisten suuttimien kautta puhdistettavaan veteen, jolloin

paine äkkiä laskee ja ilma irtoaa vedestä muodostaen erittäin pieniä kuplia, halkaisijaltaan jopa alle 0,1 mm. Nämä ylöspäin nousevat kuplat tarttuvat vedestä poistettaviin hiukkasiin, flokkeihin, jolloin ne tulevat vettä kevyemmäksi ja nousevat veden pintaan. Flotaatioaltaan pinnalta flokit poistetaan lietekouruihin ja edelleen jatkokäsittelyyn.

Flotaatiota kalanviljelylaitoksen jätevesien käsittelyssä tutkittiin kesällä 1985 Laukaan kalanviljelylaitoksella (Vääränen 1986b). Koelaitteen kaavio on esitetty kuvassa 59.



Kuva 59. Laukaan kalanviljelylaitoksella kesällä 1985 tutkittu flotaatiokoelaitte.

Laukaan kalanviljelylaitoksella käytettiin kokeessa koagulenttina eli flokkien muodostamiseen tarvittavana kemikaalina alumiinisulfaattia ja lisäksi natriumhydroksidia pH:n säätöön.

Tutkimusten perusteella flotaatio on hyvin tehokas kiintoaineen, kokonaisfosforin, kokonaistypen, biologisen hapenkulutuksen ja bakterologisten epäpuhtauksien vähentämisessä kalanviljelylaitoksen jätevesistä. Reduktiot olivat 95 % luokkaa, jopa parempiakin muiden paitsi kiintoaineen osalta, jota sitäkin poistui lähes 90 %. Kun koelaitteeseen johdettiin Laukaan kalanviljelylaitoksen itsepuhdistuvien kalanviljelyaltaiden käsittelemätöntä poistovettä, jonka fosforipitoisuus oli keskimäärin 59,1 µg/l (laitokselle tuleva vesi sisälsi fosforia keskimäärin 12,8 µg/l), oli flotaation puhdistus-teho laitteeseen tulevan ja sieltä lähtevän kokonaisfosforin, kokonaistypen ja kalsiumpermanganaatin suhteen yli 100 %, kun taustakuormitus tulevassa vedessä huomioitiin. Flotaation avulla pystyttiin käsittelemään laitokselta lähtevä vesi niin puhtaaksi, että lähtevän veden ainepitoisuudet edellä mainittujen laatutekijöiden osalta olivat alhaisemmat kuin laitokselle tulevassa vedessä.

Kainuun kalanviljelylaitokselle Paltamoon rakennettiin flotaatioyksikkö v.1994. Yksikössä käsitellään lähinnä rumpusiivilöiden pesuvesiä. Tehtyjen tutkimusten perusteella reduktiot kiintoaineen, fosforin ja typen suhteen ovat lähennelleet 100 %.

3.24 Lietteen käsittely

Lieteveden käsittelyssä erotettava liete on vielä niin vetistä, ettei lopullinen sijoittaminen ja hyötykäyttö ilman jatkokäsittelyä ole mahdollista. Lietteen käsittelyn tarkoituksena on saada lietteen teknisiä ja hygieenisiä ominaisuuksia parannetuksi, jotta liete voidaan hävittää tai käyttää hyväksi. Teknisessä mielessä lietteestä pyritään poistamaan sen sisältämää vettä sekä saamaan se muutoin parempaan kuljetus- tai hyväksikäyttökuntoon. Hygieenisessä mielessä pyritään tuhoamaan lietteessä olevia patogeenisiä bakteereita ym. taudinaiheuttajia.

Vesi sitoutuu lietteeseen välivetenä, adheesio- ja kapillaarivetenä sekä solunsisäisenä absorptiovetenä. Välivesi voidaan poistaa lietteen tiivistyksellä, adheesio- ja kapillaarivesi koneellisella kuivatuksella sekä absorptiovesi teknisellä kuivatuksella.

Seuraavassa on esitetty erilaisia puhdistamolietteen käsittelymenetelmiä:

TIIVISTYS	sedimentointi flotaatio	KUIVAUS	kuivauslavat laguunit kuivausrummut kerroskuivurit märkähapetus
STABILOINTI	mädätys aerobi stabilointi (lahotus) poltto kompostointi	POLTTO	pyöröuunit kerrosuunit leijukerrosuunit märkämpoltto yhteispoltto
VEDENPOISTO	vakuumisuodatus sentrifugointi suotopuristus siivilöinti ruuvipuristus	KOMPOSTOINTI	pelkkä liete muiden jätteen kanssa

Kalanviljelylaitosten lietteelle soveltuvia menetelmiä ovat tiivistys, stabilointi, lava-kuivaus ja suodatus. Koska monet laitokset ovat pieniä yksiköitä ja lietemäärät vähäisiä ei muiden lietteenkäsittelymenetelmien käyttö yleensä tule kustannussyistä kysymykseen. Kuljetus tai johtaminen kunnalliselle tai muulle puhdistamolle on suositeltavaa, jos sellainen laitos tai viemärin pää on lähellä.

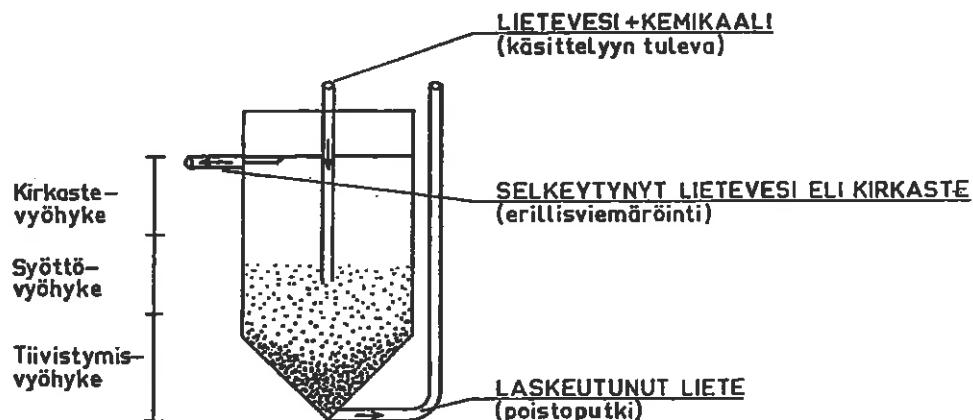
Eri menetelmiä on usein järkevää yhdistellä. Esimerkiksi pyörreselkeyttimeltä tuleva liete olisi hyvä käsitellä jollain tavoin ennen turvesuodattimelle johtamista. Kysymykseen tulisi lähinnä jonkin saostuskemikaalin käyttö.

Tiivistys

Kalankasvatuslaitoksilla liete poistetaan kala-altaasta pyörreselkeyttimestä tms. pumppaamalla, imuvaunulla tai pohjakartioon kertynyt liete voidaan poistaa myös jaksoittain "tussauttamalla" (esim. RKTL:n Kuusamon ja Muonion kalanviljelylaitokset). Kaikissa tapauksissa lietteen mukana tulee paljon vettä. Lietteen tiivistyksessä nestemäisen lietteen kuiva-ainepitoisuutta nostetaan poistamalla lietteestä välivettä. Kalalaitoslietteelle soveltuvat tiivistysmenetelmät perustuvat lähinnä gravitaation hyväksikäyttöön.

Jaksottainen eli panostiivistäjä toimii täyttö-tyhjennys- periaatteella. Tiivistetyn lietteen poisto tapahtuu tiivistäjän alimmasta kohdasta ja kirkasteveden poisto pinnasta esim. ylivuotokourun kautta. Tiivistäjän pohjaosa on jyrkkäseinäinen kartio. Tiivistäjässä ei ole hämmennys- eikä kaavintalaitteistoa.

Jatkuvatoiminen tiivistäjä on rakenteeltaan samanlainen kuin pyöreä selkeyttäjä (kuva 59).



Kuva 60. Jatkuvatoiminen pystylaskeutukseen perustuva lieteveden tiivistäminen.

Jatkuvatoiminen tiivistäminen on syytä varustaa pyörivällä hämmentimellä, joka edistää veden erottumista lietteestä ja estää lietteen kovettumisen kartion pohjalle. Laahaimen avulla saadaan liete kerättyä kartion pohjalle poistettavaksi.

Mitoituksessa käytetään puhdistamolietteelle seuraavia ohjearvoja:

Panostiivistäminen

- laskeutusaika 6-12 h
- kuiva-ainekuormitus 6-8 kg TS/m² h
- syvyyden suhde läpimittaan noin 1:1, pienet puhdistamot 2:1
- läpimitta yleensä 3-10 m.
- tilavuus = 0,5 x vuorokautinen lietemäärä

Jatkuvatoiminen tiivistäminen

- suositeltava kuiva-ainekuormitus 2-6 TS/m² h
- pintakuorma 0,2-0,5 m/h
- tiivistämön reunasyvyys noin 3 m
- liete-kerroksen paksuus 1,5- 2 m ja
- kirkaste-kerroksen paksuus noin 1m.

Kalkkistabilointi

Kalkkistabilointi on kemiallinen stabilointimenetelmä. Sillä tarkoitetaan kalkin, Ca (OH)₂ tai Cao, syöttämistä lietteeseen niin, että lietteen pH pysyy yli arvon 11 tietyn ajan. Lietteiden pH:n kohottaminen näin ylös pysäyttää lietteessä olevien mikro-organismien elintoiminnat. Stabiloinnin pysyvyys riippuu lietteeseen syötetyn kalkin määrästä ja laadusta. Kalkkistabiloinnilla ei ole mainittavaa vaikutusta lietteen orgaanisen aineen määrään, mutta kuiva-ainemäärä sen sijaan kasvaa. Kalkin tarve on yleensä 15-30 % lietteen sisältämästä kuiva-ainemäärästä. Laukaan kalanviljelylaitoksella v.1983 tehtyjen kokeiden mukaan sopiva kalkkiannostus oli 2-4 kg/m³. Tällöin saatiin seuraavat kiintoaine- ja fosforireduktiot, kun pyörreselkeyttimestä pumpattua lietettä stabiloitiin.

Annostus	kiintoaine-reduktio %	fosforireduktio %
2 000 g Ca (OH) ₂ /m ³		95
4 000 g Ca (OH) ₂ /m ³	98	99,6

Käytettäessä sammutettua kalkkia tarvitaan kalkinsyöttölaitteiksi siilo, liotusallas ja pumppu. Märkäsyöttö kalkkimaitona on helpompi suorittaa ja sekoitus saadaan paremmin onnistumaan kuin kuivasyötössä. Kuivasyötössä sekoitus suoritetaan joko ilman avulla tai mekaanisesti hämmentäen, ja sen kesto aika on noin 20 min.

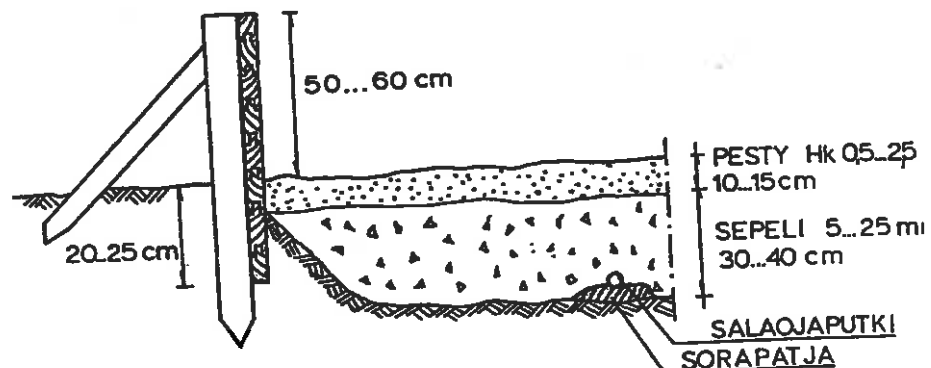
Käytettäessä sammuttamattomaa kalkkia tulee sen käyttö kysymykseen lähinnä jo kuivattun lietteen lisästabiloinnissa. Tällöin tarvitaan kalkin ja lietteen sekoittamista varten ruuvi tai rumpu. Käytännössä sammuttamattoman kalkin käyttö on vaikeampaa ja kalliimpaa, mutta sillä saavutetaan lietteen jatkokäsittelyä ajatellen hygienisesti parempi tulos.

Lavakuivaus

Perinteinen lietelava on laidoilla varustettu alue, jonka pohjalla on salaojitettu hiekkasuodatin (kuva 61). Lavan reunat rakennetaan yleensä betonista tai painekyllästetystä puusta. Lavan yhdelle reunalle rakennetaan portti, josta traktorikaivuri tai etukuormaaja pääsee lavalle tyhjennyksen ajaksi. Pienet lietelavat voidaan tyhjentää myös lapiomalla.

Lietevesi syötetään lava-alueelle mieluummin roudalta suojattua putkistoa pitkin. Lietevesi ei saa pudota putken päästä lavalle vapaasti, sillä vesi porautuu helposti sorakerroksen läpi ja tukkii salaojat. Tämä voidaan estää rakentamalla erillinen tasanne esim lankuista, josta vesi virtaa lavalle.

Lietelavan toiminta perustuu lietteen pinnasta tapahtuvaan haihduntaan sekä lavan pohjan läpi tapahtuvaan suotautumiseen. Suurin osa vedestä poistuu lavan pohjan kautta, joskin haihdunnan osuus kasvaa kuivattaessa ohuita liete kerroksia. Kuivumisaikaan vaikuttavat paljon ilmasto-olosuhteet.



Kuva 61. Eräs lietelavan rakennustapa.

RKTL:n Kainuun kalanviljelylaitoksella on kolme lietelavaa joiden pinta-alat ovat 100-120 m². Lietelavat ovat viistoreunaisia, kuva 62.

pienentävät huokoskokoa ja vedenläpäisevyyttä. Täysin maatunut turve läpäisee vettä huonosti, mutta heikosti maatunut turve hyvin.

Turpeen biologinen suodatinvaikutus perustuu sen sisältämiin helposti hajoaviin orgaanisiin aineisiin. Pieneliöstö käyttää niitä hyväkseen energian lähteenä muodostaessaan uutta biomassaa. Samalla se ottaa ympäristöstään typpeä ja fosforia. Orgaanisen aineen määrällä on näin suuri merkitys biologisen turvesuodattimen puhdistusvaikutukselle. Rahkaturpeet sisältävät ligniiniä vain 10-30 %, joten ne soveltuvat parhaiten tähän tarkoitukseen.

Turpeen pinta-aktiivisuus perustuu molekyylien välisiin koheesiovoimiin, jotka aikaansaavat fysikaalisen adsorption. Mitä suurempi on kiinteän aineen ulkopinta painoyksikköä kohti, sitä tehokkaammin se pidättää pinnoilleen molekyylejä ja erilaisia muita hiukkasia. Rahkasammaleen ulkopinta lienee suuruusluokaltaan 200 m²/g.

Turpeen vedensitomiskyky perustuu toisaalta seinmävahvennoksien varustettujen rahkasolujen sisäiseen kapillaarisysteemiin ja toisaalta taas ulkopintojen aikaansaamaan ulkoiseen kapillaarisysteemiin. Turpeen painoyksikköä kohti laskien pintaturve sitoo 10-13-kertaisen määrän vettä.

Kalalaitoslietteen suodatuksen on käytetty menestyksellisesti turvesuodatinta, joka on periaatteessa turvepohjainen lietelava. Taimen Oy:n Joutsan kalalaitoksella v.1983 ko-keillun turvesuodattimen pidätyskyky oli Selänteen ym. 1983) selvityksen mukaan:

- kok.P	96 %
- kok N	89 %
- kiintoaines	98 %
- kuiva-aines	97 %
- kMnO ₄	876 %
- PO ₄ -P	97 %
- BHK	91 %

Tutkimuksen tekijät antavat seuraavia ohjeita turvesuodattimen rakentamiseksi:

- Turvekerroksen paksuus 30-50 cm.
- Turvekerroksen alla salaojasoraa tai mursketta sekä salaojat.
- Tuleva liete/lietevesi tulisi johtaa tasaisesti suodattimelle jakolevyn tai syöttötasan-teen avulla.
- Turve tulisi tiivistää tasaisesti kostuttamalla suodattimelle oikovirtauksien ja kel-lumisen estämiseksi.
- Maareunainen allas on hyvä, sillä esim. turpeen ja vaneriseinän väliin muodostuu turpeen kuivuessa helposti rako, joka aiheuttaa oikovirtauksia.
- Turvekerroksen yläosan (täyttövara) tulisi olla riittävä (noin 0,5 m), jotta ylivuotoa ei tapahdu.
- Turvesuodatin tulisi sijoittaa niin, että siitä suotautuvan kirkasteveden laatua voi-daan seurata.
- Salaojien kaltevuuden tulee olla riittävä tukkeutumisen estämiseksi.
- Salaojien huuhtelu mahdollistettava.

Vuorivillasuodatus

Vuorivillan soveltuvuutta kalalaitosten lietevesien käsittelyyn on tutkittu v. 1993 RKTL:n Tornionjoen kalanviljelylaitoksella Muoniossa ja Montan kalanviljelylaitok-sella Muhoksella (Ylitalo 1993). Suodatusta varten Paroc Oy on kehittänyt oman vuo-

rivillalaadun, jonka ominaispaino eli tiheys voi vaihdella välillä 40-125 kg/m³. Vuorivillalevyn tyssäysprosentti suodatuskäytössä on 72 %. Levyn tyssäys tarkoittaa sitä, että villaa valmistettaessa rainan alapuoli kulkee esim. 72 % nopeammin kuin yläpuoli (72 % tyssäys). Kokeissa käytettiin lähinnä vuorivillaa, jonka ominaispaino oli 80 kg/m³. Vuorivillan hinnaksi kokeissa arvioitiin noin 590 mk/m³.

Vuorivillasuodattimella, jonka vahvuus oli 10 cm saavutettiin kaikki kokeet huomioon ottaen keskimäärin 91 % kiintoainereduktio. Kokonaisfosforin osalta puhdistustulos oli keskimäärin 81 %. Puhdistustulos vastaisi turve- ja hiekkasuodatuksella saavutettuja tuloksia. Kokeissa suodatinlevyjä harjattiin pintaan kertyvän lietteen poistamiseksi. Kokeitten perusteella yksi 10 cm:n suodatinlevy kestää noin 350 harjauskertaa, jolloin harjaa lasketaan 0,2 mm yhtä harjauskertaa kohti. Tällöin kulutetaan villapintaa 70 mm ja pois heitettäessä villalevyn paksuus on 30 mm. Suodattimella erotetun lietteen kuiva-ainepitoisuus oli noin 20 %. Villalaatu ja suodattimen koko valitaan yksilöllisesti kohdelaitoksen lieteveden laadun ja määrän perusteella.

Vuorivillasuodatus tulee kalanviljelylaitoksilla kyseeseen lähinnä kiertovesilaitoksilla jolloin kierrossa olevat vesimäärät ovat pieniä.

3.25 Kirkasteveden käsittely

Lieteveden samoin kuin lietteen käsittelyssä kiintoaineen ja nesteen erottelussa syntyvä kirkastevesi voi olla laadultaan sellaista, ettei sitä voi johtaa sellaisenaan suoraan vesistöön. Vaikka mekaaniset puhdistuslaitteet, kuten pyörreselkeyttimet tai erilaiset siivilät ovat suhteellisen varmatoimisia, voivat kuormitusvaihtelut saada aikaan reduktion heikkenemistä. Muutenkin yksivaiheinen mekaaninen käsittely on joskus riittämätön puhdistusvaatimuksen kannalta.

Kirkasteveden käsittelyyn siinä olevien liuenneiden ravinteiden poistamiseksi sopii kemiallinen puhdistus esim. kalkkistabilointi tai pelkästään esim. turvesuodatus. Eräissä tapauksissa sadetus saattaa myös olla hyvä vaihtoehto.

3.26 Lietteen hyötykäyttö ja sijoitus

Yleistä

Lietteen aiheuttamista vesiensuojelu-, haju- ym. haitoista päästään eroon vasta sitten, kun liete saadaan hyväksikäytetyksi tai sijoitetuksi asianmukaisella tavalla. Ensisijaisesti lietteen sijoituspaikan ja sen käytön valinnassa tulisi ottaa huomioon mahdollisuudet saada liete palautetuksi takaisin luonnon kiertokulkuun. Tällöin liete voidaan kompostoida tai käyttää suoraan lannoitus- ja maanparannusaineena.

Kompostointi

Kompostoinnissa epäorgaanisia yhdisteitä (ravinteita) ja orgaanisia yhdisteitä sisältävät jätteet yhdistetään, jonka jälkeen kompostiin kasvatetaan sopivien hoitotoimenpiteiden avulla sieni- ja mikrobikanta. Tämä suorittaa materiaalisia humus- ja proteiini-synteesin käyttäen hyväkseen kompostiin tarjottua, orgaanisen aineen ylimäärän muodossa olevaa energiaa.

Parhaana kompostointiratkaisuna pidetään normaalin talousjätteen ja lietteen yhteiskompostia. Haittana on se, että normaalia talousjätettä ei kaikissa tapauksissa saada riittävästi.

Yksinkertaisimmat kompostirakenteet ovat hauta, keko tai auma. Suositeltavin korkeus on 1,0-1,8 m. Kupolimainen muoto on edullinen sateita vastaan. Pohjan leveydeksi suositellaan 2,5-3,5 metriä. Kompostin on tärkeä saada ilmaa. Tämä voidaan tehdä

esim.siten, että auman pohjalle asennetaan normaali salaojaputki. Kompostia on kuitenkin käännettävä ajoittain, joko käsin tai koneellisesti. Kääntämistiheys on riippuvainen kompostin kosteudesta. Kompostin lämpötilaa säädellään ilmastuksella ja myös kasan korkeudella. Suositeltava kompostin lämpötila-alue on 45-75 C°. Kompostoitua lietettä voidaan käyttää mm. viher- ja istutusalueiden perustamiseen.

Käyttö lannoitus- ja maanparannusaineena.

Kalkkistabilointi parantaa lietteen ominaisuuksia, sillä Suomen maaperä on kalkkiköyhää. Lietettä käytetään lannoitus- ja maanparannusaineena tavallisesti pelloilla sekä istutusten, nurmetusten yms. perustamiseen. Lieite voidaan levittää paksuksi kerrokseksi pellolle, missä sitä muokataan pari kertaa viikossa noin kahden viikon ajan. Saatu tuote vastaa lähinnä ruokamultaa.

Mitä pitemmälle lietteen käsittely viedään, sitä vähemmän lietteeseen on sitoutunut ravinteita. Tämän vuoksi on harkittava kuinka pitkälle lietteen käsittely viedään, jotta lietteen käyttö esim. maanparannusaineena hyödyttäisi. Kuljetuksen kannalta liete luokitellaan seuraavasti:

- nestemäinen	TS 0,5-10 %
- puolikuiva	TS 10-40 %
- kuiva	TS yli 40 %

Nestemäisen lietteen kuljetus kannattaa vain lyhyillä matkoilla, koska tällöin joudutaan kuljettamaan suuria määriä vettä. Nestemäisen lietteen kuljetus tapahtuu yleensä traktorin lietevaunulla. Puolikuivalle ja kuivalle lietteille sopii kuljetukseen reunallinen lava.

Seuraavassa on esitetty karjanlannan sekä naudan ja sian typpi- ja fosforipitoisuudet verrattuna kalalaitoslietteen vastaaviin ominaisuuksiin:

Lanta/Liete	kok-N mg N/g kuiva-ainetta	kok-P mg P/g kuiva-ainetta
Karjanlanta	22	6
Naudan liotelanta	43	9
Sian liotelanta	92	27
Tuore kalalaitosliete	26-60	10-40

Tuore kalalaitosliete vastaa siis fosforipitoisuudeltaan jopa sian liotelantaa. Typpipitoisuus on samaa suuruusluokkaa kuin karjanlannalla ja naudan liotelannalla.

Kalalaitoslietteen suodattimena toimineesta turpeesta tehdyt analyysit osoittavat, että turve soveltuu parhaiten maanparannusaineeksi. Tällainen turve sisältää ravinteista fosforia eniten, joten sen käyttö kannattaa ajoittaa syksyyn, mikä sopii myös kalan kasvatuksen rytmiin.

Pelloille levitettävät lietemäärät vaihtelevat eri maissa. Suomessa suositellaan määrää 4-6 t TS/ha vuodessa levitysvälin ollessa 3-4 vuotta. Lietettä on käytetty lähinnä viljakasveille.

Sijoitus kaatopaikalle

Lietteen sijoitusta kaatopaikalle tulee välttää, koska ilman huolellista sekoittamista muihin jätteisiin liete aiheuttaa helposti ympäristöhaittoja. Tämä koskee erityisesti kuivaamatonta lietettä.

Sijoitustapana kaatopaikalle voidaan hyväksyä vain sekoitus muihin jätteisiin, mikä tekee kompostoinnin mahdolliseksi, tai sijoituksen altaisiin, jotka toimivat lietelavojen tapaan.

3.27 Perkauksesta aiheutuvan kuormituksen vähentäminen

Perkausjätteiden hyötykäyttö

Ensisijaisesti perkausjätteet tulisi ottaa hyötykäyttöön. Niistä voidaan valmistaa rehua ainakin turkiseläimille ja kaloille. Tavallisin hyötykäyttötapa on jätteiden toimittaminen joko rehunsekoittamoille tai suoraan turkistarhoille. Mäti ja maksa on mahdollista hyödyntää arvokkaina erikoistuotteina, joskin maksan hyödyntäminen edellyttää varo-vaista perkausta, jottei sappea vaurioiteta ja maksaa pilata. Maksan osuus kalan painosta on noin 3 %. Mädillä on markkinoita sekä kotimaassa että ulkomailla. Kokonaisuudessaan perkausjätteiden käsittely ja hyötykäyttö on hyvin kirjavaa. Yhtenä syynä on tuotteiden huono säilyvyys. Sen parantaminen vaatisi esim. pakastuksen tai happosäilönnän käyttöä.

Perkausjätteistä voidaan valmistaa semimoist-kalanrehua. Valmistuksessa perkausjätteisiin lisätään sideaineeksi esim. vehnäjauhoa 30-50 % ja seos jauhetaan pelletointimyllyllä rehuksi.

Perkausjätevesien käsittely

Kunnan viemäri

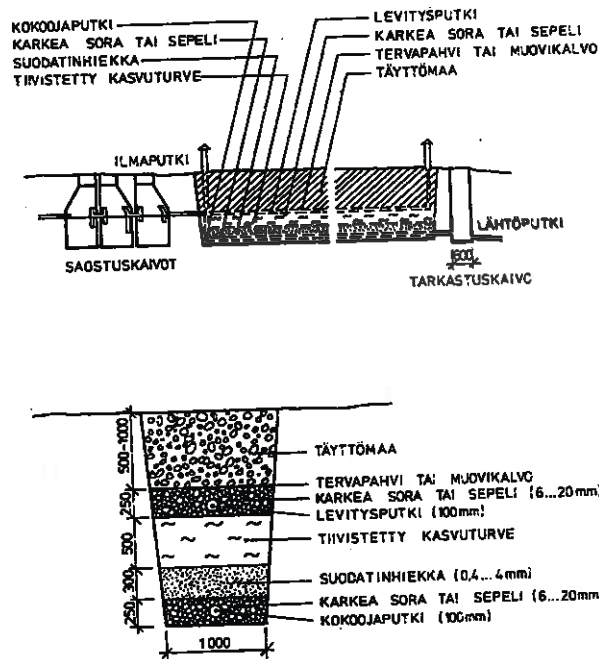
Perkausjätevedet, jotka ovat pääasiassa pesu ja verivettä tulee ensisijaisesti johtaa yleiseen viemäriverkostoon, mikäli se on perkaamon sijainnin vuoksi mahdollista. Yleiseen viemäriin johdettuna jätevesien jatkokäsittely ja seuranta ei aiheuta lisätyötä perkaamolle. Kuitenkin suurien kalamäärien käsittelystä syntyvät vedet saattavat pienissä kunnallisissa puhdistamoissa aiheuttaa hetkellisiä toimintahäiriöitä. Tällaisissa tilanteissa on perkaamon yhteyteen rakennettava tasausallas. Esikäsittelyn tarvetta harkittaessa voi kyseeseen tulla kiintoaineen erotuksen lisäksi myös rasvan erotus. Jätevesien johtaminen kunnan viemäriin on kustannuksiltaan yleensä kohtuullinen ratkaisu.

Sakokaivo ja suodatus

Perkausjätevesien käsittelyyn soveltuu hyvin ratkaisu, jossa jätevedet johdetaan saostuskaivojen kautta turve-hiekkasuodatukseseen. Suodatuksella on tarkoitus pidättää sakokaivosta lähtevän jäteveden mukana tulevat rasvat, riekaleet ja ravinteet turve- ja hiekkasuodatuskerrokseen. Ravinteilla kyllästynyt turvekerros vaihdetaan tarvittaessa uuteen. Alue, johon suodatin sijoitetaan, on valittava niin ettei aiheuteta pohjaveden pilaantumista.

Laboratoriossa tehtyjen perkausjätevesien suodatuskokeiden perusteella 5-6 m³ jätevesimäärän käsittelyyn tarvitaan 1 m³ (105 kg) turvetta, jotta BOD 7:n ja fosforin poistoteho olisi yli 50 %.

Perkausjätevesien suodattimen rakenne on esitetty kuvassa 63.



Kuva 63. Perkausjätevesien suodatin.

Keräys säiliöön ja kuljetus muualle

Jos perkausjätevesimäärä on vähäinen, se voidaan koota umpikaivoon. Umpikaivoa tulee käyttää jos on pohjavesien pilaantumisvaara. Kaivon tyhjentämistä kaatopaikalle ei enää hyväksytä. Jätteet on vietävä umpikaivosta jätevedenpuhdistamolle tai käytettävä esim. peltöjen lannoitteena.

Monet pienet kalankasvatuslaitokset toimivat maaseudulla maatilan tukielinkeinona. Niillä perkaustilat on järjestetty usein karjakeittiöön, josta jätevedet on johdettu lietesäiliöön tai virtsakaivoon. Menettelyä voidaan pitää suositeltavana, mikäli jättilat on mitoitettu riittävän suuriksi ja jätteet käytetään lannoitusaineena.

3.3 Muut toimenpiteet

3.31 Kalojen valintajalostus

Valintajalostuksen päämääränä on parantaa viljeltävien kantojen tuotanto-ominaisuuksia. Jalostustavoitteet ovat lajikohtaiset ja riippuvat viljelyajan pituudesta ja kalojen kasvuympäristön olosuhteiden muuntelusta. Jalostustavoitteet määräytyvät lajikohtaisesti ja sen mukaan, onko tarkoitus jalostaa kalakantoja laitosoloihin ruokakalan tuotantoon vai onko tarkoitus parantaa kantoja, jotka ovat osan elämänsä luonnonoloissa.

Ruokakalan tuotantoon soveltuvan kirjolohen jalostussuunnitelmassa (Sumari ym.1984) esitetään seuraavat tavoitteet:

- mahdollisimman nopea kasvu kaikissa ikäryhmissä ja erilaisissa kasvuympäristöissä sekä makeassa että merivedessä
- sukukypsyyden saavuttaminen 3-vuotiaana

- tautien vastustuskyvyn ja stressinsietokyvyn parantaminen ja niiden seurauksena alhainen kuolevuus
- teuraslaadun parantaminen
- hyvä ravinnonkäyttökyky

Kirjolohen ravinnonkäyttökyvyn paranemisesta on hyötyä viljelykustannusten alenemisena ja vesistökuormituksen vähenemisenä. Rehun hyväksikäytön hyötysuhteen parantuessa rehunkulutus tuotettua kalakiloa kohti pienenee. Rehunkulutuksen pienentyessä vähenee myös vesistöön joutuvien ravinteiden ja happea kuluttavien aineiden määrä.

Kirjolohen valintajalostusohjelman tehneen työryhmän arvion mukaan kirjolahikilon tuottamisessa saadaan 10 vuoden jalostuksella muuttuvia ja kiinteitä kustannuksia pienennettyä 10-20 % nykyisestä.

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos on aloittanut valintajalostustoiminnan Laukaan kalanviljelylaitoksella v. 1992. Kun valtio osti Tervosta entisen Nilakkalohen tuotantotilat v. 1994 siirtyi valintajalostus näihin tiloihin. Kirjolohen valintajalostuksesta oletetaan saatavan merkittävää hyötyä 1990 luvun lopussa.

3.32 Rehun ja ruokintatekniikan kehittäminen

Rehujen fosfori sisältyy valtaosaltaan niiden valkuaisraaka-aineisiin. Kalan valkuaisstarve on suuri ja rehujen valkuaispitoisuus onkin korkea, 35-60 %. Useimmissa rehuissa pääasiallinen valkuaislähde on kalajauho, jonka fosforipitoisuus on noin 2 %. Korvaamalla kalajauhoa muilla valkuaisraaka-aineilla (esim. soija- ja maissivalkuainen) voidaan fosforipitoisuutta laskea. Kala käyttää rehun valkuaista solujensa rakennusaineeksi, loppu muutetaan energiaksi. Korvaamalla edelleen osa valkuaisesta rasvalla ja hiilihydraateilla (esim. kypsennetty vilja) voidaan fosforikuormitusta pienentää.

Rehun raaka-aineiden valinnalla ja aineosien optimoinnilla voidaan rehun sulavuutta ja käyttökelpoisuutta parantaa, mikä puolestaan heijastuu kuormituksessa. Edellä mainituin keinoin on rehujen fosforipitoisuutta 1980 luvulta alkaen pienentämään useita kymmeniä prosentteja ilman, että kasvatustulos olisi huonontunut. Vesistön kannalta parhaissa rehuissa fosforipitoisuus on nykyisin tasolla 0,7 %. Kalojen fosforintarpeesta on esitetty hieman toisistaan poikkeavia arvioita, mutta yleisesti on arvioitu vähimmäistarpeen olevan 0,6-0,8 %.

Rehun fosforipitoisuuden pienentämisen vaikutusta fosforikuormitukseen voidaan arvioida seuraavan kaavan avulla (Selänne 1988).

$$\Delta p = \frac{r(P_0 - P_1)}{P_0 r - 0,4} \cdot 100\%, \text{ missä}$$

Yhtälössä on oletettu, että kalan lisäkasvuun sitoutuu fosforia 0,4 %. Yhtälön perusteella voidaan laskea, että teuraskalojen rehun P-pitoisuuden pienentäminen 1 %:sta 0,7 %:iin pienentää rehukertoimella 1,8 kuormitusta 39 %.

Kaavassa on

ΔP = kuormituksen väheneminen %:na

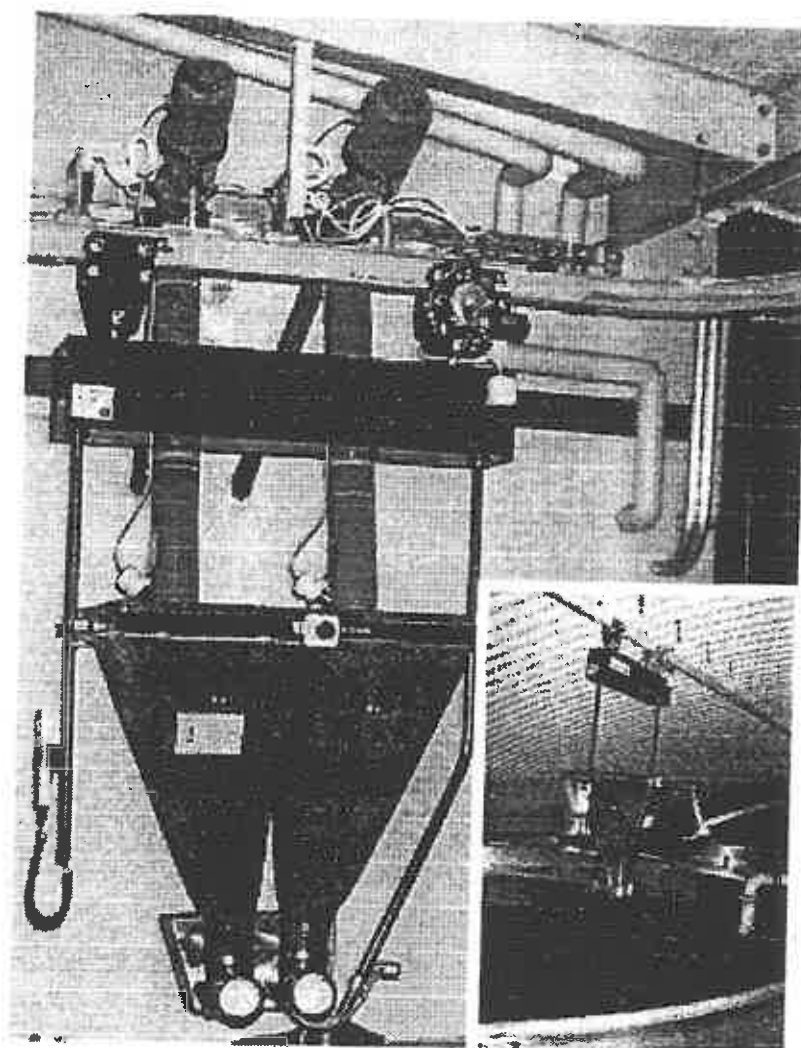
P_1 = uusi rehun fosforipitoisuus %:na

r = alkuperäinen rehukerroin

P_0 = alkuperäisen rehun fosforipitoisuus %:na

Rehun typpipitoisuus vaihtelee 6-9 % välillä rehulaadusta riippuen. Typpikuormitusta voitaneen nykyisestään pienentää vähentämällä rehujen typpipitoisuutta optimiin valkuaisainepohjaa muuttamalla ja korvaamalla kalan energiaksi käyttämää valkuaista rasvoilla ja hiilihydraateilla. Varsinkin merialueilla käytettävän kalanrehun typpikuormituksen vähentämismahdollisuuksiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota.

Ruokintalaitteiden ja menetelmien kehittämisellä on mahdollisuus pienentää hukkaan menevän rehun määrää ja parantaa rehukerointa. Viimeisintä ruokintatekniikkaa edustaa ns. robottiruokinta, jossa tietokone ohjaa kiskoilla kulkevan ruokintarobotin rehun syötön annostelua allaskohtaisesti. Kuvassa 64 on esitetty suomalainen Arvotec 100 ruokintarobotti (Arvo-Tec Oy 79620 Huutokoski) Ruokintarobotteja valmistetaan myös Norjassa (Aqua Produkter AS 6600 Sundalsöra). Norjalaisia robotteja on käytössä mm. RKTL:n Tervon kalanviljelylaitoksella ja suomalaisia robotteja mm. Tai-
valkosken ja Tornionjoen kalanviljelylaitoksilla.



Kuva 64. Suomalainen Arvotec 100 ruokintarobotti (ks. myös kansikuva).

Arvotec 100 ruokintarobottin tekniset tiedot ovat:

- nopeus 9m/min
- käyttöjännite 24 V DC akuilla
- 2 eri rehua, laajennettavissa 4:ään
- kiskon pituus enintään 200m/robotti
- enintään 200 allasta /robotti
- korkeintaan 4 robottia/järjestelmä
- ruostesuojattu 80 mm teräksinen I-kisko.
- lämpötilaan ja happipitoisuuteen suhteutettu ruokinta
- automaattitäyttöasema
- esteentunnistin
- MS-Windows- liitäntä
- liitäntä tietokantajärjestelmään.

Ruokintarobottien käytöstä on saatu erittäin hyviä kokemuksia em. valtion kalanviljelylaitoksilla. Usein tapahtuva ruokinta pienillä rehuerillä on myös vesistön kannalta suotuisin vaihtoehto. Harvoin tapahtuva ruokinta siihen pisteeseen, että kalat eivät enää ota vastaan ravintoa, johtaa lisääntyneeseen kuormitukseen syömättä jääneen rehun muodossa ja toisaalta rehun epätäydellisen sulamisen takia. Yliaruokinnan vaara on

suuri myös kylmän tai erittäin lämpimän veden aikoina jolloin kalan ravinnonotto on hyvin vähäistä.

Suomessa on paljon käytössä myös kiinteitä allaskohtaisia ruokinta-automaatteja, joiden toimintaa ohjataan tietokoneella kuten robottienkin toimintaa. Molemmissa järjestelmissä tietokone laskee jokaiselle kasvatusryhmälle kalojen energiantarpeen. Järjestelmälle annetaan perustiedot kasvatusryhmistä, vesityksestä ja rehusta. Järjestelmän ohjelmisto laskee kalan biomassan kasvun ja muuttaa annosteltavaa rehumäärää kalan kasvun, veden lämpötilan ja happipitoisuuden mukaan.

Tuorerehun hukkaprosentti on käytännössä suurempi kuin kuivarehun. Tuorerehua ei saa jauhaa vaan se on syötettävä paloitetuna. Tuorerehun hyväksikäyttöä voidaan parantaa kiinteyttämällä se esim. vehnäjauholla, maissilla tai soijalla puolikuivaksi eli semimoist-rehuksi. Kun tuorerehuruokinnasta siirrytään semimoist-rehuun pienenee fosforikuormitus noin 20 % (Kalankasvatus ja vesiensuojelu 1988).

Verkkokassilaitoksilla on paikallisruokkijoiden lisäksi käytetty paineilmalla toimivia rehun syöttöpumppuja. Rehu pumpataan putkistoa pitkin verkkokassien päälle. Rehu on tällöin yleensä käytetty semimoist-rehua.

Kalalaitosten kuormituksen vähentämiseksi on kokeiltu myös ravinteiden sitomista biomassan avulla (Selänne 1988). Keskikokoisella laitoksella biomassaltaan koon tulisi olla 4000-10 000 m² ja vesisyvyyden alle 1,0 m. Menetelmä voi tulla kyseeseen vain joillakin laitoksilla. Kasvimassan korjuu on osoittautunut varsin vaikeaksi, eikä menetelmää ole kokeita laajemmin otettu käyttöön.

Kalankasvatuksen ympäristöhaitat liittyvät yleensä vesistön paikalliseen sietokykyyn nähden liian suuriin yksiköihin. Suurilla tuotantoyksiköillä sanotaan olevan parhaat mahdollisuudet kuormitusta vähentävien toimenpiteiden toteuttamiseen. Tehokkaimmin kuormitusta voidaan kuitenkin toistaiseksi vähentää rehua ja ruokintatekniikkaa kehittämällä, jolloin pienten laitosten mahdollisuudet vesiensuojelun tehostamiseen näiltä osin ovat yhtä hyvät, ruokinnan osalta ehkä paremmatkin. Tehokas tapa ristiriitojen välttämiseksi olisi tuotannon hajauttaminen vesistön sietokyvyn kannalta sopivan kokoiisiin yksiköihin. Tuotannon hajauttaminen ei vähennä kuormitusta, mutta jakaa sen laajemmalle alueelle ja paremmin vesistön sietoon sopivaksi.

4. KIERTOVEDASILAITOS

Kalankasvatuksen kiertovesijärjestelmällä tarkoitetaan kalantuotantomuotoa, jossa laitoksen läpi mennyttä vettä käytetään puhdistettuna ja käsiteltynä uudelleen tuotantoprosessissa.

Pohjoismaissa 1980 luvulla tapahtunut nopea kalankasvatusalaiden ja lietteen erotteluratkaisujen kehittyminen itsepuhdistuviksi on mahdollistanut kiertovesijärjestelmien kehittymisen entistä luotettavammaksi, yksinkertaisemmiksi ja kustannuksiltaan edullisimmiksi.

Kiertovesijärjestelmän käytölle voidaan osoittaa tuotantotaloudellisia, kalataloudellisia ja, erityisesti Suomessa, myös vesiensuojelullisia perusteita. Tällaisella laitoksella on mahdollista päästä lähes kokonaan eroon kalankasvatuksen aiheuttamista ympäristöongelmista.

Veden kierrättäminen ympärivuotisesti on mielekästä viljeltäessä lajeja, jotka ovat sopeutuneet lämpimään veteen tai kun vettä on rajoitetusti käytettävissä. Suomessa vettä kierrätetään lähinnä vain haudonnassa ja poikasviljelyssä. Jatkokasvatus lämmitetyssä vedessä ei ole taloudellisesti perusteltua, ellei viljelijällä ole käytettävissä poikkeuksellisen suurta, kalanviljelylaitoksen ulkopuolista, lämpömäärää. Myös karanteenilaitoksilla (esim. RKTL:n Lautiosaaren laitos), joilla poistuva vesi joudutaan desinfioi-

maan veden kierrätys tulee kyseeseen desinfiointikustannusten alentamiseksi. Valtion kalanviljelylaitoksilla on yleensä eristysosasto kalatautien tarkkailua varten, mutta niiden poistovesiä ei desinfioida.

Kiertovesijärjestelmän soveltamisen edellytyksenä on kohtuullisin kustannuksin tapahtuva veden lämmitys ja kontrollointi, joilla pystytään tehostamaan ja säätelemään kalan kasvua. Yhden vesilitran lämpötilan kohottaminen yhdellä asteella sekunnissa vaatii 4,2 kW:n tehon. Seuraavassa taulukossa on esitetty tehon tarve eri virtaamilla ja 3 °C ja 5 °C lämpötilan nostolle sekä eri ikäisten kalanpoikasten mahdollinen kasvatusmäärä ilman veden uudelleen kierrätystä ja lämmön talteenottoa.

Taulukko 12. Tehon tarve lämmitettäessä kalanviljelyvettä sekä esimerkki kasvatusmääristä, kun vettä ei kierrätetä eikä hukkalämpöä oteta talteen (Naukkarinen 1981).

Q l/s	P (kW)					
	t 3°C	5°C	ikä 3 viikkoa 3 kk			
				6 kk	12 kk	
10	126	210	600 000	200 000	100 000	50 000
20	252	420	1 200 000	400 000	200 000	100 000
50	630	1 050	3 000 000	1 000 000	500 000	250 000

Mikäli vettä kierrätetään voidaan kasvatusmääriä lisätä huomattavasti. Tällöin vesi on kuitenkin käsiteltävä. Tanskalaisissa sovellutuksissa ovat kalamäärien suunnitteluvarvot vaihdelleet välillä 20-150 kg/m³ (Kalankasvatus ja vesiensuojelu 1988). Käyttöveden laadusta riippuen päästään helposti ja turvallisesti 5-10 %:n vedentarpeeseen tavanomaisen läpivirtauslaitoksen vedentarpeesta. Pitkälle integroiduissa, biologiseen suodatukseseen perustuvissa kiertovesijärjestelmissä veden tarve pystytään tarvittaessa rajoittamaan 1 %:n, jopa allekin, läpivirtauslaitoksen vedentarpeesta.

Kalojen ruokinnan ja aineenvaihdunnan seurauksena veteen alkaa kertyä viljelyn kannalta haitallisia aineenvaihduntatuotteita seuraavan jaotelman mukaisesti

- liuenut happi vähenee → hiilidioksidimäärä kasvaa
- kiinteän, suspendoituneen ja liunneen orgaanisen aineen määrä kasvaa
- valkuaisaineenvaihdunnan seurauksena kokonaisammoniakkimäärä kasvaa
- veden hygieeninen laatu huononee.

Veden lämmityksen seurauksena tapahtuu molekylaarisen typen ylikyllästyminen, mikä on purettava ennen veden johtamista viljelyaltaisiin.

Veden käsittely- ja puhdistusaste riippuvat käyttövesimäärästä, kalakuormasta, ruokinnasta ja prosessin sisäisistä tekijöistä. Veden kierrätys- ja lämmitysmenetelmien yksikköoperaatiot ovat seuraavat:

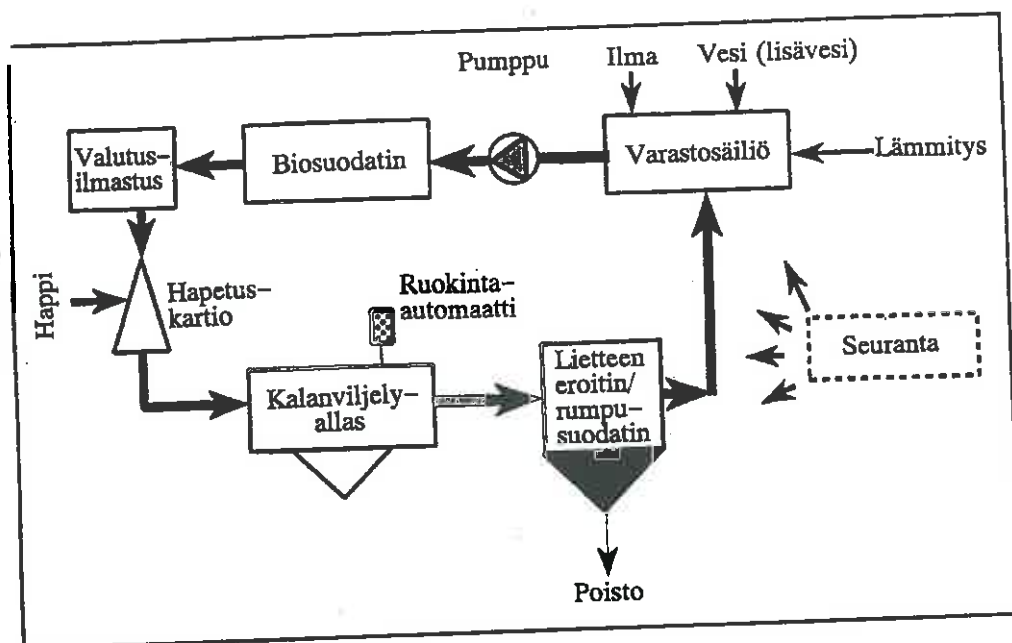
1. typen ylikyllästyksen poisto
2. ilmastus/hapetus ja hiilidioksidin strippaus
3. orgaanisen aineen poisto mekaanisesti
4. orgaanisen aineen ja typpiyhdisteiden poisto biologisella suodatuksella tai muilla menetelmillä.
5. veden hygieenisen laadun parantaminen (sterilointi).

Kohdat 1-3 ovat yleensä rutiinitoimenpiteitä sekä kierrätys- että lämmitysjärjestelmissä. Kohdat 4-5 tulevat kysymykseen pitkälle integroiduissa kiertovesijärjestelmissä.

Pitkälle viedyissä kiertovesilaitoksissa veden käsittelyyn kuuluu yleensä orgaanisen aineen poisto esim. selkeyttämällä, suodattamalla (rumpusuodatin) tai flotaation avulla. Kasvatusaltaista vesi menee ensin johonkin em. menetelmillä tapahtuvaan lietteen poistoon. Tärkeä elementti kalojen aineenvaihduntatuotteiden eli ammoniumtypen hapettamisessa nitraatiksi ja edelleen typpikaasuksi on biosuodatin. Biosuodattimessa on kaksi osaa: hapellinen ja anaerobinen (hapeton). Hapellisessa osassa aikaansaadaan

nitrifikaatio eli ammoniumtypen muuttuminen nitraatiksi. Tämän jälkeen seuraa anaerobinen vaihe, jossa tapahtuu denitrifikaatio eli nitraatti muuttuu molekyylitypeksi, joka on haihtuvaa typpikaasua N_2 . Biosuodattimen jälkeen veden on päästävä ilman kanssa tekemisiin, jotta vältetään typen ylikyllästys. Tämä voi tapahtua esim. valutusilmastimen avulla. Lopuksi vesi vielä hapetetaan esim. happikartion avulla ennen uudelleen käyttöä. Kuvassa 64 on esitetty Tanskan Kalatalousteknologian ja vesiviljelyn instituutin esittämä kiertovesilaitoksen periaatekaavio. Periaatekaaviosta puuttuu yleisesti käytettävät ultraviolettisäteilytyslaitteet, joilla tuhotaan mahdolliset tautia aiheuttavat bakteerit. Bakteerit tuhoutuvat valtaosaltaan biosuodattimessa ja hapettimessa.

Tanskassa ja Hollannissa on useita kiertovesilaitoksia joissa viljellään lajeja jotka vaativat korkeata lämpötilaa ($+ 25\text{ C}^\circ$). Viljeltävät lajit ovat lähinnä lämpimään veteen sopeutuneita lajeja ja ankeriasta.



Kuva 65. Danish Institute for Fisheries Technology and Aquaculture:n (DIFTA) esittämä periaatekaavio kiertovesilaitoksen toiminnasta (Fish Farming International 10/1996).

5. KUORMITUS JA LAITOSTARKKAILU

5.1 Kuormitustarkkailu

Yleistä

Vesilain (10:24) mukaan vesioikeus voi lupapäätöksessään antaa määräyksiä siitä, millä tavoin jäteveden tai muun aineen muodostumisen, käsittelyn, päästämisen ja sen vaikutusten tarkkailu on järjestettävä (tarkkailuvelvoite). Alueellisen ympäristökeskuksen antamaan, kalankasvatusta koskevan ilmoituksen tarkastuslausuntoon sisältyy myös tarkkailuehto.

Kuormitustarkkailulla seurataan kalankasvatustoiminnasta vesistöön joutuvien aineiden pitoisuuksia ja määriä. Tietoja tarvitaan mm. vesistövaikutusten arvioimisessa ja ennustamisessa sekä vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusten arvioimisessa.

Menetelmät

Kuormitustarkkailussa otetaan vesinäytteitä laitokselle tulevasta ja sieltä lähtevästä vedestä ja lasketaan tulosten perusteella laitoksen kuormitus. Verkkokassilaitoksilla kuormitus joudutaan arvioimaan teoreettisesti laskien kasvatetun kalamäärän, rehun määrän ja rehun fosforipitoisuuden perusteella.

Kalalaitosten kuormitustarkkailujen heikkoutena on usein ollut laitoksen vaihtelevan kuormituksen määrittämiseen riittämätön näytteenottotiheys. Pienimmillä on otettu kertaanäyte muutaman kerran kasvukaudessa, suurimmilla useita 8-24 tunnin kokoomanäytteitä.

Kokoomanäytteen ottamiseksi automaattinen jatkuvatoiminen näytteenotin sijoitetaan lähtevän veden kanaaliin siten, että se ottaa näytteen lähtevää vettä hyvin edustavasta vesijaoksesta.

Lähtevästä vedestä tulisi ottaa kokoomanäytteet useamman kerran vuodessa laitoksen koosta riippuen. Yhden koomanäytteen keruujakson on oltava riittävän pitkä. Mitä pidempi näytteenottojakso on, sitä luotettavampi kuva kuormituksesta saadaan. Vuorokauden pituiseen tai lyhyemmän kuormitustarkkailun aikana tulokseen vaikuttavat ruokinnan ajoittaminen ja laitoksen hoitorutiinit.

Virtaaman mittauksella on olennaisen tärkeä osa oikean kuormituksen selvittämisessä. Eri mittaustapoja ja soveltuvuutta on käsitelty edellä kohdassa 2.5.

Parametrit

Tärkeimmät kalalaitosten jätevesien sisältämät vesien tilaan ja käyttöön vaikuttavat kuormittavat tekijät ovat ravinteet ja mahdolliset suolistoperäistä saastumista osoittavat bakteerit. Suurimmalla osalla tarkkailujaksoista voidaan pitäytyä kokonaisfosforikuormituksen seurantaan. Osalla tutkimusjaksoista voivat tulla kysymykseen myös kokonaistyyppi, hygienian indikaattoribakteerit, BOD 7, kiintoaine ja valinnaisesti myös muita parametrejä (fosfaattifosfori, typpiyhdisteet, CODMn, sähkönjohtavuus, sameus, väri, pH jne.).

Raportointi

Kuormitustarkkailutulokset toimitetaan välittömästi tutkimustulosten valmistuttua alueelliselle ympäristökeskukselle. Ympäristökeskus tarkistaa tuloksista mahdolliset kuormitusrajojen ylitykset, epätavalliset mittaustulokset tms. Kalankasvatuksen valvonnassa noudatetaan velvoitetarkkailusta ja sen viranomaisvalvonnasta annettuja valvontaohjeita ja määräyksiä. Viimeisin kalankasvatuksen valvontaohje nro 39 on vuodelta 1991. Velvoitetarkkailun yleisohjetta on täydennetty v. 1994 vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisussa nro 586 (Hakala ym. 1994). Lisäksi tarkkailun suorittajan tulee tehdä kustakin vuodesta kuormitustarkkailun yhteenvetoraportti tähän tarkoitettulla lomakkeella.

Laitoksen laskennallista fosforitasetta käytetään kuormitustarkkailutulosten vertailupohjana. Laskentatapa perustuu ainetaseajatteluun: rehun mukana altaisiin joutuvista ravinteista vähennetään kalan lisäkasvuun sitoutuvat ravinteet, ja poistuvan lietteen mukana talteenotetut ravinteet, jolloin jäljelle jää vesistöön mennyt kuormitus.

5.2 Laitostarkkailu

Yleistä

Kalalaitosten luvissa ja ennakkoilmoitusten tarkastuslausunnoissa on aina määrätty, että kalankasvattajan on pidettävä alueellisen ympäristökeskuksen (entinen vesi- ja ympäristöpiiri) hyväksymällä tavalla laitoksen toiminnasta hoitopäiväkirjaa. Kirjaan on merkittävä mm. käytetyn rehun määrä ja laatu, veden määrä sekä tiedot kasvateista ja laitokselle ja laitokselta siirretyistä kalamääristä, kuin myös lietteenpoistosta. Hoitopäiväkirja on velvoitettu säilytettäväksi laitoksella. Pyydetty tiedot hoitopäiväkirjasta on toimitettava alueelliselle ympäristökeskukselle sen määrääminä ajankohtina. Päivittäin kirjatut havainnot palvelevat kalankasvattajia laitoksen toiminnan seurannassa ja helpottavat ilmoitusjakson raportointia.

Tietojen keruu ja käsittely

Valvontaviranomaisen kannalta on tärkeintä saada niitä tietoja, joilla suunnitellaan tulevia vesiensuojelutoimenpiteitä ja joilla seurataan laitoksen lupaehtoja ja velvoitteita.

Kalankasvatus tulee rinnastaa muuhun kuormittavaan toimintaan ja tietojen keruussa tulee soveltaa yhtenäistä käytäntöä muiden kuormittavien laitosten kanssa.

Maalaitoksilla sisävesialueella kalalaitosten toimintaan liittyy veden otto ja joskus myös yläpuolisen järven säännöstely. Käytetyistä vesimääristä tulee pitää kirjaa ja säännöstellyn järven vedenkorkeuksia tarkkailla. Tiedot kirjatusta havainnoista tulee toimittaa alueelliselle ympäristökeskukselle yleensä kuukausittain. Raportoinnin yhtenäistämiseksi tarkkailutulokset ilmoitetaan vahvistetuilla lomakkeilla.

Maalaitoksilla fosforipoistotehon selvittäminen riippuu laitoksen vesiensuojelutoimenpiteistä ja laitosrakenteista. Yleisin vesiensuojelutoimenpide maalaitoksilla on lietteenpoisto. Lietteenpoiston merkitys saadaan selville mittaamalla tarkasti poistettavat lietemäärät sekä analysoimalla lietteen fosforipitoisuus.

Verkkokassilaitoksen kuormitustarkkailua ei voida tehdä tulevan ja lähtevän veden laadun ja määrän tarkkailuna, vaan kuormitustarkkailu perustuu käyttötarkkailuun eli hoitopäiväkirjan huolelliseen pitämiseen. Verkkokassilaitoksen kuormitustarkkailu edellyttää käytettyjen rehulaatujen fosfori- ja typpipitoisuuden sekä rehunkäyttömäärän tuntemista.

Verkkokassilaitosten, jotka käyttävät vuosittain yli 125 tonnia itse tekemiään ja sekoittamiaan rehuja (pehmeärae-, puolikuivat rehut) tulee teettää rehusta fosfori- ja typpianalyysit kerran kuukaudessa kasvatuskauden aikana. Vuosittain 50- 125 tonnia itse tehtyjä rehuja käyttävän laitoksen tulee teettää fosfori- ja typpianalyysit kolme kertaa kasvatuskauden aikana. Mikäli yli 50 tonnia kasvattavalla laitoksella on talvisäilytystä, niin rehuanalyysit tehdään kerran talvisäilytyksen aikana. Alle 50 t itse tehtyjä rehuja vuosittain käyttävän laitoksen tulee teettää ravinneanalyysit kaksi kertaa kasvatuskauden aikana. Rehunäytteet tulisi ottaa ennalta ilmoittamattomana ajankohdantana, laitoksella sillä hetkellä käytössä olevista rehulaaduista vesistö tarkkailua suorittavan laitoksen toimesta. Muilla kerroilla laitos toimittaa rehunäytteet laboratorioon annettujen ohjeiden mukaisesti (Hakala ym. 1994).

Rehujen analysointia voidaan harventaa myöhemmin edellyttäen, että rehujen raaka-aineet on analysoitu ja itse tehdyn rehun sekoitussuhteet eli resepti merkitään hoitopäiväkirjaan. Mikäli rehun raaka-aineiden ravinnepitoisuuksissa on vaihtelua yli 10 %, tulisi rehun fosfori- ja typpipitoisuudet tarkistaa analyysilla.

Teollisten kuivarehujen vakuustodistuksissa ilmoitettujen fosfori- ja typpipitoisuuksien tulisi riittää, mutta rehuasetuksen väljyydestä johtuen kuivarehujen fosforipitoisuudet voivat poiketa huomattavasti ilmoitetusta. Kalarehujen fosforipitoisuus saa rehuasetuksen nojalla annetun Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen päätöksen mukaan poiketa ylös- tai alaspäin 20 % (ennen vuotta 1992 30 %).

Rehuteollisuuden tulisi parantaa vakuustodistuksen fosfori- ja typpipitoisuustietojen luotettavuutta vapaaehtoisesti siten, että poikkeama olisi rehulaaduittain enintään ± 10 %. Tämän jälkeen voidaan luopua teollisten kuivarehujen analysoinnista kasvattajan kustannuksella kuormitustarkkailuun kuuluvana. Kuivarehujen yleistä, rehuasetuksen mukaista kontrollointia tekisi maatalouskemian osasto kuten tähänkin saakka. Alueellisen ympäristökeskuksen tulisi tarvittaessa ottaa kontrollinäytteitä itse tehdyistä rehuista ja eniten käytetyistä kuivarehuista.

Mikäli laitoksen käyttämien kuivarehulaatujen ravinnepitoisuus poikkeaa edellä mainittua enemmän vakuustodistuksesta, niin yli 80 tonnia kuivarehua vuosittain käyttävän laitoksen tulee teettää käyttämistään rehulaaduista fosfori- ja typpianalyysit kerran kuussa kasvatuskauden aikana ja kaksi kertaa muuna aikana. Kuivarehua 35-80 tonnia vuosittain käyttävän laitoksen tulisi teettää vastaavat analyysit kolme kertaa kasvatuskauden aikana ja kerran muuna aikana. Alle 35 tonnia kuivarehua vuosittain käyttävän laitoksen tulee teettää rehuanalyysi kaksi kertaa kasvatuskauden aikana. Kuormituslaskelmissa tulee käyttää analyysitulosten ravinnepitoisuuksia. Analyysitulokset tulee liittää hoitopäiväkirjaan (Hakala ym. 1994).

Kuormitus ja laitostarkkailun tulokset raportoidaan, mikäli lupaehdoissa ei ole toisin määrätty, suurien laitosten osalta yleensä kuukausittain ja pienempien laitosten osalta sopivissa jaksoissa.

5.3 Kalataloudellinen tarkkailu

Kalankasvatuksesta aiheutuu vaikutuksia myös kalataloudelle. Vaikutusten voimakkuuden ja laajuuden tarkkailu kuuluu kalankasvattajalle. Mikäli laitoksen toiminnasta on todettu aiheutuvan muutoksia kalastossa ja kalakantojen runsaudessa, tulee tarkkailulla selvittää tilanteen kehittyminen. Tarkkailuun sisältyy silloin keskeisesti kirjanpitokalastus ja saalistiedustelut.

Verkkojen limoittuminen ja siitä seuraava lisätyö ja saalisvähenemä ovat kalankasvatuksen kalataloudelle aiheuttamia yleisimpiä haittoja. Limoittumista voidaan selvittää perifyton tai havastutkimuksilla, joita on selostettu jäljempänä kohdassa 6.0.

5.4 Kalatautien tarkkailu

Kalatautien ja sairauksien ilmetessä on otettava huomioon eläintautilain (55/80) ja asetuksen määräykset. Johtavana laitoksena tämän lain valvonnassa toimii maa- ja metsätalousministeriössä eläinlääkintä- ja elintarvikeosasto. Kalanviljelylaitosten kalakuolemat kuuluvat eläinlääkintä- ja elintarvikelaitoksen sekä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen selvitettäväksi.

Kunnan eläinlääkärit käyvät nykyisin kaksi kertaa vuodessa jokaisella kalanviljelylaitoksella. Lisäksi laitoksilta otetaan näytteitä virustautien varalta.

Uusimmissa vesioikeusluvuissa on kalatautien ilmoittamisvelvollisuutta ja eläinlääkintäviranomaisten näytteenotto-oikeutta koskeva seuraavansisältöinen lupaehto:

" Luvan saajan on ilmoitettava lääninhallituksen sosiaali- ja terveysosastolle ja ryhdyttävä muihin tarvittaviin toimenpiteisiin, jos laitoksella olevissa kaloissa todetaan tai on syytä epäillä olevan eläintautilain nojalla vastustettavaa kalatautia tai muuta tarttuvaa kalatautia, jota Suomessa ei esiinny. Vakavissa sairastapauksissa ilmoitus on tehtävä myös alueelliselle ympäristökeskukselle. Kaikista kalasairauksista sekä niiden hoidosta on tehtävä tarpeelliset merkinnät hoitopäiväkirjaan."

6. VESISTÖVAIKUTUSTEN MITTAAMINEN

Kalalaitoksista joutuu vesistöön kiintoainetta, happea kuluttavia aineita, kasvinravinteita sekä hygienian indikaattoribakteereita. Näiden lisäksi vesistöön voi joutua lääkeaineita, kalatautien aiheuttajia, loisia sekä hajuaaineita, jotka saattavat vaikuttaa luonnonkalaston käyttäytymiseen.

Kalalaitosten kuormituksen vaikutukset purkuvesistössä ovat ensisijaisesti rehevöittäviä. Laitokselta veteen tulevat ravinteet lisäävät vedessä vapaana keijuvien levien eli kasviplanktonin tuotantoa. Yhteyttäminen vilkastuu ja happea kuluttavan hajoavan leväaineksen määrä lisääntyy. Planktonkasvustot tihenevät ja veden kuultavuus pienee. Myös rantakasvustot rehevöityvät. Rantavyöhykkeen rihmalevät ja mikroskooppisen pienet päällylevät reagoivat erittäin herkästi pieniinkin ravinnelisyksiin ja niiden tuotanto moninkertaistuu.

Tarkkailukohteita vesialueilla ovat vesi, rannat ja pohja. Olennaisen tärkeää kaikessa tarkkailussa on lähtötilanteen perusteellinen selvittäminen. Tähän kalankasvatustöiden tarkkailussa ei aina ole mahdollisuuksia, sillä toiminta on saattanut alkaa jo ennen tarkkailun käynnistymistä. Tällöin on löydettävä lähistöltä mahdollisimman samankaltainen, kuormittamaton vesialue, johon tarkkailun tuloksia verrataan. Vesialueen yleisen tilan kehittymisen tunteminen ja sen erottaminen kalankasvatuksen vaikutuksista on tärkeää. Tässä on apuna vertailuvesistön tilanteen seuraaminen sekä vesiviranomaisten laajoja vesialueita koskevien seurantatietojen hyväksikäyttö.

Verrattaessa erilaisten tutkimusmenetelmien käyttökelpoisuutta kalankasvatuksen vaikutusten ilmentäjinä on todettu biologisten menetelmien osoittavan muutoksia usein monin verroin selvemmin kuin veden fysikaalis-kemialliset laatuominaisuudet. Veden laatua kuvaavien suureiden käyttökelpoisuus kalankasvatustöiden aiheuttamien muutosten osoittajina on melko heikko etenkin alueilla, joilla kuormitus laimenee nopeasti suureen vesimäärään. Biologiset menetelmät heijastavat pitemmän ajanjakson kuluessa syntyviä vaikutuksia. Niiden toistaminen vuosittain ei yleensä ole tarpeen - ei ainakaan täydessä laajuudessaan. Kalankasvatuksen velvoitetarkkailu voidaan jaksoittaa niin, että määrävuosin tehdään sopivaksi katsottuja biologisia selvityksiä. Veden laadun fysikaalis-kemiallista tutkimusta tehdään rajoitetusti vuosittain tai määrävuosin pyrkien seuraamaan veden laadun yleistä kehitystä ja vaihtelua laajemmalla alueella.

Veden laatu

Veden laadun mittaamiseksi on useita standardoituja fysikaalis-kemiallisia ja mikrobiologisia menetelmiä. Veden vaihdoltaan heikoilla vesialueilla kalankasvatuksen vaikutukset näkyvät veden laadussa selvemmin seuraavien suureiden avulla: ravinteet (kokonaistyyppi ja -fosfori; nitraatti-nitriitti- ja ammoniumtyyppi sekä fosfaattifosfori), a-klorofylli, hapen kuluminen, näkösyvyys, sameus, orgaaninen aine sekä fekaaliset indikaattoribakteerit. Monet näistä tosin esiintyvät kohonneina arvoina vain kasvatusalaiden välittömässä läheisyydessä. Olosuhteista riippuen on seurattava myös yleistä vesien tilaa kuvaavia tekijöitä, jotta kuormituksesta riippumattomat muutokset voitaisiin selvittää. Esimerkiksi merialueilla mahdollisten kumpuamisaikojen tuntumassa tiheä lämpötilan ja sähkönjohtavuuden (tai suolaisuuden) mittaaminen on tärkeää, sillä näin voidaan todeta syvänteistä peräisin olevan ravinnerikkaan veden vaikutus alueella. Sähkönjohtavuuden avulla voidaan myös tehdä päätelmiä mm. jokivesien leviämisestä merialueelle.

Veden hygienistä tilaa seurataan yleensä lämpökestoisten kolibakteerien ja fekaalisten streptokokkien avulla. Streptokokit lisääntyvät lämpiminä aikoina kalalaitoksilla, mutta kyse on muista kuin ihmisen tai lämmänveristen ulostesaastutusta ilmentävistä lajeista. Fekaalisten streptokokkien avulla on mahdollista selvittää kalankasvatusvesien leviämistä. Sen sijaan lämpökestoisten koliformisten bakteerien (tai *Escherichia coli*) katsotaan kuvastavan kalalaitosten hygieniää. Veden hygieenisen tilan tarkkailu

on tärkeää erityisesti silloin, jos lähialueella on uimarantoja tai jos vesistön vettä käytetään talousvetenä.

Vedenlaatumääritykset on tehtävä useammalta syvyydeltä, varsinkin haluttaessa selvittää happitilanteen tai fosforipitoisuuksien kehittymistä. Päälysvesinäyte riittää usein rehevöitymisen toteamiseksi veden laadusta.

Vuosittaisen veden laadun tarkkailun tavoitteena on etupäässä yleistilanteen ja siinä tapahtuvien vuosien välisten vaihtelujen seuranta, mikä voidaan tehdä harvan havaintoverkon avulla. Haluttaessa erityisesti selvittää vaikutuksia veden laatuun paikallisesti, voidaan tämä tehdä valikoimalla vain keskeiset vedenlaatusuureet ja kartoittamalla alueelliset veden laadun vaihtelut tiheällä havaintopaikkaverkolla.

Näytteenottoajankohdista on tärkein loppukesä, jolloin haittoja aiheuttava leväkasvusto on voimakkaimmillaan. Erityisesti pitkät tyynet kaudet ovat rehevöitymishaittojen kannalta vaikeita. Mikäli näytteenotto voidaan suunnitella joustavasti, tulisi se ajoittaa näihin vesistön kannalta vaikeisiin kausiin. Jos vesistössä on happiongelmia tai alueella on selviä laaja-alaisia syvänteitä, on myös talviajan happitilannetta seurattava.

Eliöstö

Perifyton eli vedessä oleviin kiinteisiin alustoihin tarttuva tai niillä kasvava aines on osoittautunut varsin herkäksi rehevöitymisen indikaattoriksi. Varsinkin virtaavissa vesissä menetelmä kuvaa hyvin rehevöitymishaittoja, sillä perifytonlevät saattavat olla merkittävien perustuottajaryhmä nopeasti virtaavassa vedessä. Perifytonkasvuston mittaamiseksi on kehitetty menetelmä, jossa kasvualustana käytetään koetelineisiin asettuja muovilevyjä.

Havaksen limoittumiskoemittaa verkkohavakselle kertyvien levien määrää. Käytettäessä lyhyttä vuorokauden inkubointia havakseen kertyy järviolosuhteissa lähinnä planktonleviä. Käytännössä on huomattu, että esimerkiksi aallokon, virtausten tai havaskehikon noston aiheuttamat häiriöt aiheuttavat melko suurta hajontaa tuloksiin. Havaksen limoittumiskoetta käytetään ja siitä on hyviä kokemuksia tarvittaessa suoraa tietoa pyydysten limoittumisesta kalastukselle koituneiden menetysten arvioimiseksi.

Järvivesissä tai rannikkovesissä rehevöityminen ilmenee yleensä kasviplankton tuotannon nousuna, joskin myös perifyton tuotannolla voi olla merkitystä silloin, kun virtausten ja rantavyöhykkeen merkitys kyseisillä vesialueilla on suuri. Järvissä ja rannikkovesissä rehevöitymisen mittaamiseen soveltuvat parhaiten levämäärää ilmaiseva veden a-klofyllipitoisuus tai levätuotantoa mittaavat menetelmät.

Kasviplanktonlajistomittaukset ovat yleensä varsin työläitä mikroskoopoinnin vuoksi, eivätkä tule kyseeseen tavanomaisessa kalankasvatuslaitosten tarkkailussa. Niiden käyttöä voidaan harkita laajoissa ja perusteellisissa tarkkailuissa. Niiden etuna on se, että kasviplankton tulosten tulkintaan on kehitetty useita menetelmiä, joilla voidaan vesialueen rehevyystaso ilmaista tarkasti joko lajistoon, biomassaan tai tuotantoon perustuen. Erityisesti kasviplanktonyhteisön rakenteen katsotaan kuvastavan veden rehevyyttä paremmin kuin kokonaisbiomassan, perustuotannon tai a-klofyllipitoisuuden mittauksen.

Haitallisten leväilmiöiden selvittämiseen tulee varautua etukäteen jo velvoitetarkkailuohjelmia suunniteltaessa. Tällaisissa tapauksissa riittää yleensä planktonyhteisön valtalajien määrittäminen, jolla saadaan viitteitä leväkukinnan mahdollisesta myrkyllisyydestä. Leväkukintojen varalta on tarkkailuohjelmassa oltava oltava maininta menettelyistä tällaisessa tilanteessa. Esimerkkejä tarkkailuohjelmista on esitetty lähemmin kirjallisuusviitteessä (Hakala ym. 1994).

Kalankasvatuksen kuormitus muuttaa pohjan laatua vaikutusalueellaan. Pohjan ravinteisuuden ja happiolosuhteiden muutoksia voidaan seurata pohjaeläintarkkailun avulla. Pohjaeläinmenetelmät ovat jo osaksi standardoituja. Lisäksi sekä sisä- että merialuei-

den pehmeille pohjille on kehitetty käyttökelpoisia luokituskriteerejä pohjaeläinbiomassaan ja -lajistoon perustuen. Tietyn pohjaeläinlajin yksilöiden jakaantumista eri kokoluokkiin voidaan käyttää kuvaamaan lisääntymisolojen vaihteluja havaintopäikkällä eri vuosina. Tähän tarkoitukseen käytetään usein merialueella Itämeren simpukkaa tai valkokatkaa.

Pohjaeläinkannoissa on ja -tuotannossa on vuosien välisiä luonnollisia vaihteluja. Niiden huomioonottaminen edellyttää usein vuosittaista seurantaa tähän valitulla intensiivitarkkailupisteellä.

Pohjan tila

Ravinteisuuden ohella kalankasvatus myös muuttaa pohjan tilaa esimerkiksi pohjalle kertyvän orgaanisen aineksen peittäessä pohjan eliöyhteisöt.

Sedimentin ulkonäkö ja koostumus kuvaavat hyvin pohjan tilaa, mutta sedimenttitutkimukset edellyttävät sopivaa näytteenottopaikkaa, jollaista ei aina ole löydettävissä. Sedimenttinäytteenotto on häiriöille altista ja kokemusta vaativaa, minkä vuoksi se vain harvoin tulee kysymykseen kalankasvatustieteen rutiinitarkkailussa. Sedimentin laadusta ja tilasta tulee kuitenkin tehdä silmämääräinen arvio pohjaeläinnäytteenoton yhteydessä. Tähän yhteyteen voi liittää sedimentin tilan dokumentoinnin esimerkiksi valokuvaamalla putkinäytteenottimessa oleva sedimenttipatsas.

Sedimentaatio kuvaa pohjalle laskeutuvan aineksen määrää ja sitä voitaisiin näin käyttää eräänä liettymisen arvioimistapana. Kokemukset sedimentaation mittauksesta osoittavat kuitenkin, että menetelmä on hyvin häiriöaltis ja tulosten tulkinnan kannalta riittävän laajan aineiston saaminen on työlästä. Menetelmän käytön edellytyksenä on myös, että alueella ei ole voimakkaita pohjavirtauksia.

Rannat

Veden vaihdoltaan heikoilla vesialueilla kalankasvatuksen rehevöittävä vaikutus saattaa näkyä rantojen tilan heikkenemisenä. Vesikasvillisuus runsastuu ja rannat limoittuvat. Vesikasvillisuuden kartoitukseen on olemassa pitkälle kehitettyjä menetelmiä. Korkeamman vesikasvillisuuden muutokset ovat yleensä hitaita, ja kasvillisuuskartoituksia kannattaa tehdä esim. 5 - 10 vuoden välein. Lisäksi menetelmä sopii vain silloin, kun kyse on matalasta, kasvupaikkana yhtenäisestä vesialueesta.

Merialueella voidaan kalalaitosten rehevöittäviä vaikutuksia seurata myös rantavyöhykkeen rihmalevien biomassaa mittaamalla. Etelä-Suomen rannikkovesien tuotannon kannalta on rakkolevävyöhyke erittäin tärkeä. Rakkolevät kärsivät rehevöitymisestä, minkä vuoksi tämän vyöhykkeen tilan seuraaminen olisi keskeinen tarkkailukohde. Rakkoleväkasvustojen tiheyden, liettymisasteen päällyskasvuston määrän tai kasvustojen uusiutumiseen ei kuitenkaan ole olemassa velvoitetarkkailuun sopivia kvantitatiivisia menetelmiä. Mikäli on mahdollisuus käyttää apuna sukeltajaa, sopii rakkolevävyöhykkeen tilan selvittäminen osaksi tarkkailua.

Rantojen liettyminen ja limoittuminen on konkreettinen haitta vesien käyttäjille, mutta sen mittaamiseen ei ole käytettävissä tarkkoja kvantitatiivisia menetelmiä. Liettymis- ja limoittumisselvitykset voidaan tehdä silmämääräisi tarkasteluin valitsemalla kohdealueella esiintyviä erilaisia rantatyyppisiä (kallio-, hiekkaranta) tai pintoja (laiturit, kivikot, rantakasvillisuus) sekä likaantuneelta alueelta että puhtaalta vertailualueelta. Limoittumisen ja liettymisen määrä havainnoidaan silmämääräisesti suhteellisella asteikolla verrattuna luonnonoloiltaan vastaavan tyyppiseen vertailualueeseen. Havainnot tehdessä kiinnitetään huomiota myös esimerkiksi rasva- ja öljymäisten kalvojen, leväkukintojen tai kalalaitostoinnista peräisin olevien roskien esiintymiseen. Silmämääräisen arvion lisäksi tilanne on syytä dokumentoida valokuvaamalla.

7. KALANKASVATUKSEN YMPÄRISTÖNSUOJELUOHJELMA 1996-2005. SAARISTOMERI, SELKÄMEREN RANNIKKO JA AHVENANMAA.

7.1 Tavoitteet

Vesi- ja ympäristöhallituksen pääjohtaja Kaj Bärlund asetti 21.6.1994 työryhmän seuraavan sisältöisellä kirjeellä:

" Vesi- ja ympäristöhallitus on tänään asettanut työryhmän, jonka tehtävänä on laatia kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohjelma vuosille 1996-2005. Ohjelman kohdealueita ovat Saaristomeri, Selkämeren rannikko ja Ahvenanmaa. Ohjelman tulee sisältää esityksiä toimenpiteiksi, joita voidaan soveltaa myös muualla rannikkoalueen kalankasvatuksessa. Tehtävässään työryhmän tulee ottaa huomioon vuoteen 2005 ulottuvan vesiensuojelutavoiteohjelman, ympäristöministeriössä valmisteltavan ympäristöohjelman ja kansainvälisten sopimusten aiheuttamat vaatimukset".

7.2 Työryhmän suositukset

Työryhmän raportti on julkaistu v.1996 Suomen ympäristökeskuksen monistesarjassa Nro 14 (Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohjelma 1996-2005, 1996). Suomen ympäristökeskus on yhtynyt työryhmän esitykseen ja lähettänyt sen keväällä 1996 Ympäristöministeriölle hyväksyttäväksi, joka ei ole vielä ottanut kantaa työryhmän esitykseen. Lounais-Suomen ympäristökeskus ja Ahvenanmaan maakuntahallitus noudattavat jo kuitenkin työryhmän suosituksia.

Seuraavassa on lainattu suoraan työryhmän raportin Yhteenveto tekstiä:

Saaristomerien, Selkämeren rannikon ja Ahvenanmaan alueen ympäristönsuojeluohjelma on laadittu YM:n ympäristönsuojeluohjelman ja vesiensuojelun tavoiteohjelman vuoteen 2005 linjausten ja tavoitteiden pohjalta.

Ympäristönsuojeluohjelma määrittää suunnittelualueen kalankasvatukselle vuoteen 2005 ulottuvat tavoitteet ja tarvittavat toimenpiteet.

Suunnittelualueen kalankasvatuksen kokonaiskuormitusta vähennetään ohjelman toimenpiteillä vuoden 1993 tasosta (n. 116 t fosforia ja n. 808 t typpeä) vuoteen 2005 mennessä siten, että vesistöön joutuva kuormitus on enintään 75 t fosforia ja enintään 520 t typpeä.

Vuoden 1993 tuotannon määrä, runsaat 11 milj. kg kalaa, voidaan säilyttää tai mahdollisesti jopa lisätä, edellyttäen, että työryhmän suositukset käytännössä toteutetaan.

Ympäristönsuojeluohjelman tavoitteiden ja suositusten suunnittelun perustana ovat olleet mm:

- paikalliset olosuhteet
- suunnittelualueen kalankasvatustoiminnan määrä
- kalankasvatuksen vesistökuormituksen määrä ja muoto
- kalankasvatuksen taloudellinen ja työllistävä merkitys
- kalankasvatusta ohjaava kansallinen normisto
- kansainväliset sopimukset ja suojeluohjelmat

Työryhmä on perehtynyt ja kuullut asiantuntijoita eri menetelmistä, joilla kalankasvatuksen ympäristövaikutuksia voidaan vähentää.

Työryhmän avuksi ja ympäristönsuojeluohjelman ratkaisujen tueksi tehtiin mm. erillinen päätösanalyysi, jonka avulla arvioitiin eri ympäristönsuojelutoimien tehokkuutta erilaisten tavoitteiden suhteen.

Työryhmä on suositellut toteutettavaksi mm. seuraavia ratkaisuja:

- kaikilla kalankasvatamoilla on käytettävä parhaita ns. sisäisiä kuormitusta vähentäviä kasvatusmenetelmiä, jolloin toiminnan ominaiskuormitus saa olla enintään 8 g fosforia ja 70 g typpeä kasvatettavaa kalakiloa kohti vuodessa
- erityisolosuhteissa ja yleensäkin mahdollisuuksien mukaan on käytettävä tehostettuja ns. ulkoisia puhdistusmenetelmiä, jolloin toiminnan ominaiskuormitus saa olla enintään 5 g fosforia ja 50 g typpeä kasvatettavaa kalakiloa kohti vuodessa
- kalanperkaamojen jätevesien käsittelyä ja jätehuoltoa on tehostettava

Työryhmä suositaa myös kalankasvatustoimintaa ohjaavien lupapäätösten ja niiden lupaehtojen muuttamista tavoitteelliseksi siten, että niillä kannustetaan kalankasvatusyrittäjiä tehokkaammin pyrkimään vähemmän vesistöjä kuormittaviin kasvatusmenetelmiin.

Kalankasvatustilojen nykyisten lupapäätösten määräaikojen perusteella pääosa (n. 90 %) suunnittelun alueen kalankasvatustoiminnasta olisi toteuttanut tarpeelliset vesien suojeluratkaisut vuoteen 2002 tai 2003 mennessä.

Työryhmä on suosittanut suunnittelun alueelta laadittavaksi vuosittain kalankasvatustoiminnan kokonaistilannetta seuraavan raportin, jossa arvioidaan tilanteen kehittymistä ja annetaan mahdollisesti jatkosuosituksia ympäristönsuojeluohjelman tavoitteen saavuttamiseksi. Raportit on otettava huomioon kalankasvatustoimintaa koskeissa viranomaislausunnoissa.

Työryhmä suositaa ympäristönsuojeluohjelman mukaisia ratkaisuja käytettäväksi kalankasvatustoiminnan ohjauksessa ja suunnittelussa koko Suomen merialueella. Työryhmä on esittänyt joukon ympäristöohjelman tavoitteiden sekä vesiensuojelutoimien suuntauksen ja valinnan kannalta tärkeitä tutkimus- ja kehittämishankkeita. Yhtenä jatkohankkeena tulisi laatia konkreettinen kasvatus- ja suojelusuunnitelma valitulle merialueelle ja kokeilla siellä myös menetelmiä käytännön olosuhteissa.

8 LAINSÄÄDÄNTÖ JA OIKEUSKÄSITTELY

8.1 Yleistä

Kalankasvatusasioita käsittelevät useat eri viranomaiset: ympäristöministeriön alaiset alueelliset ympäristökeskukset, maa- ja metsätalousministeriön alaiset maaseutuelinkeinopiirit sekä kunnissa ympäristönsuojelulautakunta (ympäristölupa, joka sisältää sijoitusluvan) ja rakennuslautakunta (rakennuslupa rakennuksille). Vesilain mukaisina lupaviranomaisina toimivat Länsi-, Itä- ja Pohjois-Suomen vesioikeudet. Vesiylioikeus, korkein hallinto-oikeus ja jossain tapauksissa korkein oikeus toimivat valitustuomioistuinina.

8.2 Vesilainsäädäntö

Kalankasvatuslaitosten rakentamiseen ja käyttöön liittyvät toiminnot vesistöä koskevilta osilta kuluu vesilainsäädännön piiriin. Vesilaissa ei ole kalankasvatukselle omia pykäläitä, vaan hankkeet käsitellään yleissäännösten perusteella kuten muutkin vastaavanlaiset hankkeet, esim. jätevesi- ja säännöstelyasiat.

Sulkemiskielto on määritelty vesilain 1 luvun 12 ja 13 §:ssä. Kielto suojaa valtaväylä-etuja (vapaa vedenjuoksu, vesiliikenne, uitto, kalan kulku) ja se koskee jokia ja sellaisia järvestä tai meressä olevia salmia tai kapeikkoja, joissa säännöllisesti harjoitetaan liikennettä tai puutavaran uittoa tai joita kala käyttää kulkutienään. Sulkemiskiellon rikkominen tulee kyseeseen esim. salmessa sijaitsevilla verkkokassi- tai verkkoaitauslaitoksilla tai sellaisilla maalaitoksilla, jotka patoavat joen tai pengertävät vesialueelle alaita.

Muuttamiskielto on määritelty vesilain 1 luvun 15 §:ssä. Kyseinen säännös kieltää ilman lupaa johtamista vettä vesistöstä tai ryhtymästä muihin toimenpiteisiin siten, että vesistön asema, syvyys, vedenkorkeus tai vedenjuoksu muuttuu haitallisella tavalla. Tämän kiellon perusteella ovat luvanhakuvollisia sellaiset maalaitokset, jotka käyttävät huomattavan osan joen vedestä tai säännöstelevät vesistöä laitoksen tarpeisiin. Eräät korkeimman hallinto-oikeuden päätökset viittaavat siihen, että myös verkkokassi- ja aitauslaitosten luvat tulee tutkia vesilain 1:15 perusteella. Tällöin myös vesimaisemaa rumentavat ovat lainkohdassa tarkoitettuja edunloukkauksia.

Pilaamiskielto on määritelty vesilain 1 luvun 19 ja 20 §:ssä, ja se koskee kaikkia kalankasvatuslaitoksia.

Joulukuun 1. päivänä 1987 voimaan tulleessa vesilaissa on muuttamis- ja pilaamiskieltoa täydennetty kieltojärjestelmän kattavuuden takaamiseksi. Vesistöihin liittyvät ympäristön viihtyvyys, virkistyskäyttö ja kulttuuriarvot on lisätty säännöksiin suojeltavina etuina.

8.3 Ilmoitusmenettely

Vesiensuojelun ennakko-toimenpideasetuksessa (283/62, 429/70, 309/79, 499/80) on säädetty ilmoitusvelvollisuus eräitä jätevesipäästöjä varten. Kalankasvatuslaitokset eivät sisälly kyseisessä asetuksessa lueteltuihin laitoksiin. Käytännössä vastaavaa menettelyä on kuitenkin sovellettu myös niihin. Vesi- ja ympäristöhallitus onkin tehnyt esityksen asetuksen muuttamisesta mm. siten, että 1000 kg vuodessa kalaa tuottavat tai 2000 kg vuodessa kuivarehua käyttävät kalankasvatuslaitokset lisättäisiin asetukseen, eli tämänkokoiset ja suuremmat laitokset tulisivat ilmoitusvelvollisiksi. Olosuh-

teista riippuen voivat kuitenkin jopa tätä pienemmät laitokset joutua hakemaan toiminnalleen lupaa vesioikeudelta.

Kalankasvattajan on usein vaikea tietää milloin hän tarvitsee hankkeelleen vesioikeuden luvan. Hän saa kuitenkin asiasta vesi- ja ympäristöhallituksen kannanoton tekeillä toiminnastaan ilmoituksen. Saatuaan ilmoituksen siihen liittyvine jäteveden johtamis- ja käsittelysuunnitelmineen sekä vesi- ja ympäristöpiirin näistä antaman lausunnon vesi- ja ympäristöhallitus antaa siasta lausunnon takaisin ilmoituksentekijälle. Siinä vesi- ja ympäristöhallitus ilmaisee käsityksensä siitä, aiheutuuko ilmoituksessa tarkoitettua toiminnasta vesistön pilaantumista, ja onko jätevesien johtamiselle haettava vesioikeuden lupa. Vakiintuneen käytännön mukaan lausunto voi sisältää ehtoja, esim. tietyn tasoisena jätevesien käsittelyn.

Koska ilmoitusmenettelyssä on kyse haitattomuuden toteamisesta, voi ilmoitusmenettelyn puitteissa olla vain sellaista toimintaa, joka ei aiheuta vesilain 1 luvun 19 §:ssä tarkoitettua vesistön pilaantumista. Menettelyä ei voida lainkaan soveltaa, jos laitoksen rakentamisesta tai veden ottamisesta aiheutuisi vesilain 1 luvun 15 pykälän (muuttamiskielto) vastainen seuraus, vaan tällöin on toiminnalle aina haettava vesioikeuden lupaa.

8.4 Lupamenettely

Luvan kalalaitokselle myöntää vesioikeus. Vesioikeuden päätöksestä voidaan valittaa vesiylöioikeuteen, jonka päätös pääsääntöisesti on lopullinen. Korkein hallinto-oikeus voi määrättyissä tapauksissa antaa valitusoikeuden vesiylöioikeuden päätöksestä, jolloin asia siirtyy korkeimman hallinto-oikeuden ratkaistavaksi. Eräissä tapauksissa vesiylöioikeuden päätökseen haetaan muutosta korkeimmalta oikeudelta.

Vanhimmat vesioikeuksien antamat kalalaitosten luvat ovat peräisin 1960-luvun lopulta. Tällöin laitosten jätevesivaikutuksista ei ollut täsmällistä tietoa eikä jätevesien johtamiseen kiinnitetty juuri lainkaan huomiota. Kalankasvatuslaitoksia käsiteltiin etupäässä vesistöön rakentamis- ja vedenjohtamishankkeina. Luvissa ei annettu muita vesiensuojeluvetoitteita kuin tarkkailuvetoitteet ja lietteenpoisto. Nämäkin määräykset olivat tavallisesti hyvin ylimalkaisia. Tuotantoa ei useimmissa päätöksissä määritelty lainkaan tai sitä rajoitettiin vain vesimäärän perustella. Vesimäärärajoitus vaihtelee nykyisissäkin luvissa laajasti Käytännössä esim. v. 1986 vaihteli Keski-Suomen laitoksissa kalatonta kohti laskettu vesimäärä 5-120 l/s.

Vesioikeus- ja lupamenettelyyn liittyviä vaikeuksia ovat mm. hankkeiden käsittelytavan valinta (kuulutusmenettely/katselmusmenettely) ja samaa vesialuetta kuormittavien laitosten hakemusten käsittely erillisinä. Vaikeuksia on aiheuttanut myös vanhojen pysyvien vedenottolupien muuttaminen määräaikaikaisiksi ja lupaehtojen tarkistaminen vastaamaan nykyistä tietämystä.

Luvan myöntämisen edellytykset määräytyvät eri tavoin se mukaan, mistä vesilain kiellosta poikkeamiseen lupaa haetaan. Rakentamis- ja vedenjohtamisluvan ts. sulke- mis- ja muuttamiskiellon vastaisen toiminnan luvan harkinta perustuu vesilain 2 ja 9 luvun säädöksiin. Luvan antamisen edellytys tällöin on kaikkein haitattomimpia hankkeita lukuunottamatta se, että hanke on yleisen tarpeen vaatima tai että hyödyt ovat huomattavasti edunmenetyksiä suurempia. Kalankasvatuslaitoshankkeen rakentamis- ja vedenjohtamisluvan harkinnassa tulee kysymykseen jälkimmäinen vaihtoehto eli intressivertailu. Veden johtaminen laitokselle saattaa olla luvanvaraista myös sillä perusteella, että laitoksen omistaja ei ole vesialueen omistaja tai osakas.

Jäteveden johtamisluvan harkinta perustuu 10 luvun säädöksiin. Luvan myöntämisen edellytyksenä on 10 luvun 25 §:n mukaan se, että hankkeesta aiheutuva haitta on saatavaan etuun verrattuna suhteellisen vähäinen, eikä vesistöä pilaavan aineen poistami-

nen ole kohtuullisin kustannuksin mahdollista. Jäteveden johtamisluvan harkinnassa-kin tulee siis kyseeseen intressivertailu ja lisäksi kustannustarkastelu.

Hankkeen oikeudellisiin edellytyksiin liittyy selvitys hakijan hallintaoikeudesta suunniteltuun kasvatusalueeseen. Tätä oikeutta ei ole hakemussuunnitelmissa aina riittävän hyvin selvitetty. Asiaa on omiaan vaikeuttamaan jako- ja kalastuskuntien vuokraamis-oikeuksiin liittyvä monimutkainen lainsäädäntö. Lupaharkinnan ja kasvattajan itsensä kannalta on välttämätöntä, että hallintaoikeus on selvä.

Hakemussuunnitelmassa tulee selvittää ainakin seuraavat asiat:

Selostus toiminnasta ja sen laajuudesta

- laitoksen rakenteet
- laitoksen sijainti

Vedenotto- ja purkuvesistö

- otettavan veden määrä
- kuormitus
- vesiensuojelutoimenpiteet ja niiden kustannukset
- vesistövaikutukset
- vaikutukset kalastoon ja kalatalouteen

Luettelot hakemussuunnitelmassa esitettävistä asioista on vesiasetuksessa.

8.5 Lupaehdot

Vesioikeuden antamassa lupapäätöksessä on määräykset laitoksen toiminnalle. Kun vesi- ja ympäristöhallinto antaa lausunnon lupahakemuksesta esittää se samalla käsit-tyksen siitä millaiset lupaehdot toiminnalle tulisi asettaa.

Lupapäätöksessä on määräyksiä mm. kasvatettavalle kalamäärälle, allastilavuudelle, veden johtamiselle, käytettävälle rehun määrälle ja suoritettaville kuormituksen alen-tamistoimenpiteille. Lisäksi päätöksessä määrätään tarkkailuvelvoitteet. Laitoksen si-jainnista ja tyypistä johtuen myös muita lupaehtoja tai määräyksiä voi sisältyä päätök-seen.

8.6 Toimenpiteet rikkomustapauksissa

Epäkohtana on monesti ollut se, että toiminta on aloitettu ennen kuin sille on satu vesioikeuden lupa, joissakin tapauksissa lupaa ei ole edes haettu. Laillisen tilan saavut-tamista on hidastanut myös hakemusten ruuhkautuminen vesioikeuksiin. Osaltaan ve-sioikeuskäsittelyä on hidastanut myös hakemusten puutteellisuus. Hakija on voinut joutua täydentämään asiakirjoja useita kertoja.

Vesilain ja lupamääräysten rikkomusten käsittelyssä on ollut kirjavuutta. Yleensä rik-komukset pyritään oikaisemaan kehotuksella. Mikäli tilanne kehotuksen jälkeen ei korjaannu lailliseksi, haetaan virkaa-apua vesioikeudelta. Sekä kehoitus että virka-apu ovat oikaisutoimenpidevaatimuksia. Jos teko katsotaan rangaistavaksi, annetaan rik-komuksen tekijälle huomautus asiasta tai ilmoitetaan asia viralliselle syyttäjälle. Tämä päättää, nostetaanko asiassa syyte rikkojaa vastaan. Mikäli oikeus toteaa kasvattajan rikkoneen vesilakia, tuomitsee se sakkoa ja luvattomalla tai luvan vastaisella toimin-nalla saadun laittoman hyödyn menetetyksi valtiolle.

KIRJALLISUUTTA

- Aulio, K. 1986. Kirjolohen verkkoallaskasvatuksen ympäristövaikutusten seuranta: rihmalevien ja pohjakerrostumien kemialliset ominaisuudet. Turun yliopisto biologian laitos. Moniste. 11 s.
- Enell, M., Löf, J. & Björklund, T.-L. 1984. Fiskkasseodling med rening.- Teknisk beskrivning och reningseffekt. Limnologiska institutionen. Lunds universitet, 35 s.
- Eskelinen, P. 1988. Fosforin välitön liukeneminen veteen kalarehuista ja kirjolohen ulosteesta. Vesitalous 3, s. 10-13.
- Eskelinen, U., Mäkinen, T. & Ruohonen, K. 1992. Kalanviljelyn kehitys kokeilusta elinkeinoksi ja kalakantojen suojeluksi. Suomen kalatalous 60. S. 121-131.
- Hakala, J. ym. 1994. Velvoitetarkkailun yleisohjeen täydennys: Kalankasvatuksen velvoitetarkkailu. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 586, 51 s.
- Helkiö, R. 1984. Maa-allastyypisten kalankasvatustilastosten vesistökuormituksen vähentämisestä. Vesihallituksen monistesarja 239, 40 s.
- Hilfstafeln Aufgaben Zur Lösung Wasserwirtschaftlicher Und Wasserbaulicher. Press/Bretschneider, Verlag Paul Parey, Berlin Und Hamburg.
- Huet, M. 1979. Textbook of Fish Culture. Breeding and Cultivation of Fish. Norwich, 436 s.
- Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohjelma 1996-2005. 1996. Saaristomeri, Selkämeren rannikko ja Ahvenanmaa, Vesi- ja ympäristöhallituksen moniste Nro 14, 122 s.
- Kalankasvatus ja vesiensuojelu. 1988. Työryhmän selvitys. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 128. 172 s.
- Karlgrén, L. 1981. Föroreningar från fiskodling. Naturvårdsverket SN Pm 1395. 65 s.
- Karttunen, E. 1986b. Verkkoallaskasvatuksen vesistökuormituksen vähentäminen merialueilla. Teoksessa: Kalanviljelylaitosten vesistökuormituksen pienentäminen. INSKO. Julkaisu 282-86V, 20 s.
- Kehitysaluerahasto, 1987. Kalanviljelyn verkkoallaskasvatuksen vesistökuormituksen vähentäminen. Tutkimus A 7, 1-75, 73 s.
- Kirjavainen, J. & Westman, K. 1992. Evon kalastuskoeasema ja kalanviljelylaitos 100 vuotta. (Sammandrag: Evis fiskeriförsöksstationen och fiskodlingsanstalt 100 År. Abstract: Evo State Fisheries and Aquaculture Research Station 100 years old). - Suomen Kalatalous 60, s. 1-69.
- Leminen, E., Mäkinen, T. Junna, J. 1986. Kalanviljelyn vesistökuormituksen vähentäminen verkkokalasilaitoksella: kenttätutkimus meriolosuhteissa. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 6, 32 s.
- Manninen, P. 1982. Kalankasvatuksen vesistövaikutuksista. Verkkoallastutkimus. Vesihallituksen tiedotus 221, 79 s.
- Mustajärvi, V. 1980. Kalanviljelylaitosten vesitys. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus s. 149-180. Helsinki.
- Mustajärvi, V. 1996. Valtion kalanviljelylaitosten rakentamisesta ja käytöstä saatuja kokemuksia. - Suomen ympäristökeskuksen moniste 31, 28 s.
- Mäkinen, T. 1983. Kalanviljelyn kuormituksen vähentäminen, lietteen erottelu ja lieveden jatkokäsittely. Vesihallituksen monistesarja 241, 55 s.
- Mäkinen, T. & Naukkarinen, M. 1981. Pyörreselkeytintutkimukset Laukaan keskus-kalanviljelylaitoksella kesällä 1981. Suomen Kalankasvattaja 4, s. 30-34.

- Naukkarinen, M. 1981. Kalanviljelystä ja kalanviljelylaitoksen vesityksen suunnittelusta. Vesihallituksen monistesarja nro 87, 119 s.
- Niinimäki, J. 1982. Ruokakalankasvatuksen kalaulosteen talteenottokokeet Villilohi Oy:ssä v. 1982. Kala- ja vesitutkimus Oy. Espoo. Moniste 28 s.
- Press, H. 1966. Hydromechanik im Wasserbau. Berlin, 548 s.
- Pursiainen, M. & Makkonen, J. 1995. Jätefosforin ja -kiintoaineen virrat ja talteenotto kalanviljelyssä. Selvitys Saimaan vesiviljelyn aiheuttaman vesistökuormituksen osatekijöistä. Kalaraportteja nro 27. Saimaan kalantutkimus ja vesiviljely, Enonkoski. 17 s.
- Puustinen, M. & Lindqvist, O.V. 1982. Kalanviljelylaitosten ravinnepäästöt ja niiden vähentäminen. Biomassa ravinteiden sitojana. Moniste 102. Soveltavan eläintieteen laitos, Kuopion korkeakoulu, 103 s.
- Puustjärvi, V. 1971. Rahkasammalturpeen käyttö jäteveden puhdistuksessa. Vesitalous 6, s. 10-11.
- Pärjälä, E. & Heikkinen, V. 1984. Pyörreselkeytin. Vesitalous 6, s. 21-29.
- Ravinnekuormituksen vähentäminen kalojen verkkoallaskasvatuksessa, 1996. Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy, Ympäristöministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö. 21 s., kuv., taul + 6 liitettä.
- Rinne, V. 1945. Vesirakentajan virtausoppi. Helsinki, 353 s.
- Selänne, A. & Mäkinen, T. & Helkiö, R. 1983. Kalankasvatusliete ja sen jatkokäsittely. Vesihallituksen monistesarja 173, 105 s.
- Selänne, A. 1988. Maapohjaisten kalankasvatusaltaiden vesistökuormituksen vähentäminen. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 91, 138 s.
- Selänne, A. 1990. Lietteenpoistotutkimus Pentti Rossin verkkoallaslaitoksella kesällä 1989. Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiirin moniste. 31 s. + liitteet.
- Selänne, A. Lindgren, S. 1984. Kalankasvatusaltaiden lietteenpoisto alipainejärjestelmällä. Vesihallituksen monistesarja 223, 25 s.
- Siltamaa, E. & Westman, K. 1992. Valtion kalanviljelyn alkutaipaleelta. (Sammandrag: Statens fiskodlings begynnelsesekede. Abstract: State aqua-culture - the formulative years). - Suomen Kalatalous 60: 132-141.
- Skjervold, H., 1973. Vannebehov ved oppdret av örret og laks. Oslo.
- Sokka, T. 1986a. Kalan verkkoallaskasvatuksen vesistökuormituksen vähentäminen. Vesihallituksen monistesarja nro 409, 91 s.
- Stephenson, J.P. 1978. Trout Farming Manual, Farnham, Surrey, England, 186 s.
- Warrer-Hansen, I. 1979. A Note on Wastewater Treatment in the Fish Farming Industry. Water Quality institute, Hershølm, Denmark. Muistio.
- Westman, K. 1994. Vesiviljelyn tulosalueen tehtävät ja tavoitteet. Teoksessa: Lankinen, Y. & Pirhonen, J. (toim.), Valtion kalanviljelyn XVIII neuvottelupäivät 29.-30.3.1994, Jyväskylä. - Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia-Fiskundersökningar 85: 13-25.
- Westman, K. 1995. Kalakantojen monimuotoisuus ja valtion kalanviljely. Teoksessa: Heinimaa, P. & Juntunen, K. (toim.), Valtion kalanviljelyn XIX neuvottelupäivät. Kalakantojen monimuotoisuuden hoito. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia-Fiskundersökningar (96): 1-5.
- Westman, K. 1995. Vesiviljelyn strategia ja tulevaisuuden haasteet. - Teoksessa: Heinimaa, P. & Manninen, K. (toim.), Valtion kalanviljelyn XIX neuvottelupäivät, 2. päi-

vä. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen uusia toimintatapoja. Riistan- ja kalan- tutkimus. Kala- ja riistaraportteja 38: 1-14.

Westman, K. 1997. Uhanalaisten kalojen säilyttäminen.. -Teoksessa: Simola, H. (toim). Valtion kalanviljelyn XXI neuvottelupäivät, Viljely-ympäristön säätely, Rovaniemi 9.-10.4.1997. Kala- ja riistaraportteja nro 103: 14-28.

Vääränen, I. 1986b. Flotaation käyttö kalanviljelylaitoksen jätevesien käsittelyssä. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennustekniikan osasto. 55 s. + liitteet.

Ylitalo, A. 1993. Vuorivillan käyttö kalanviljelylietteiden suodatuksessa. Diplomityö, Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta, 103 s. + liitteet

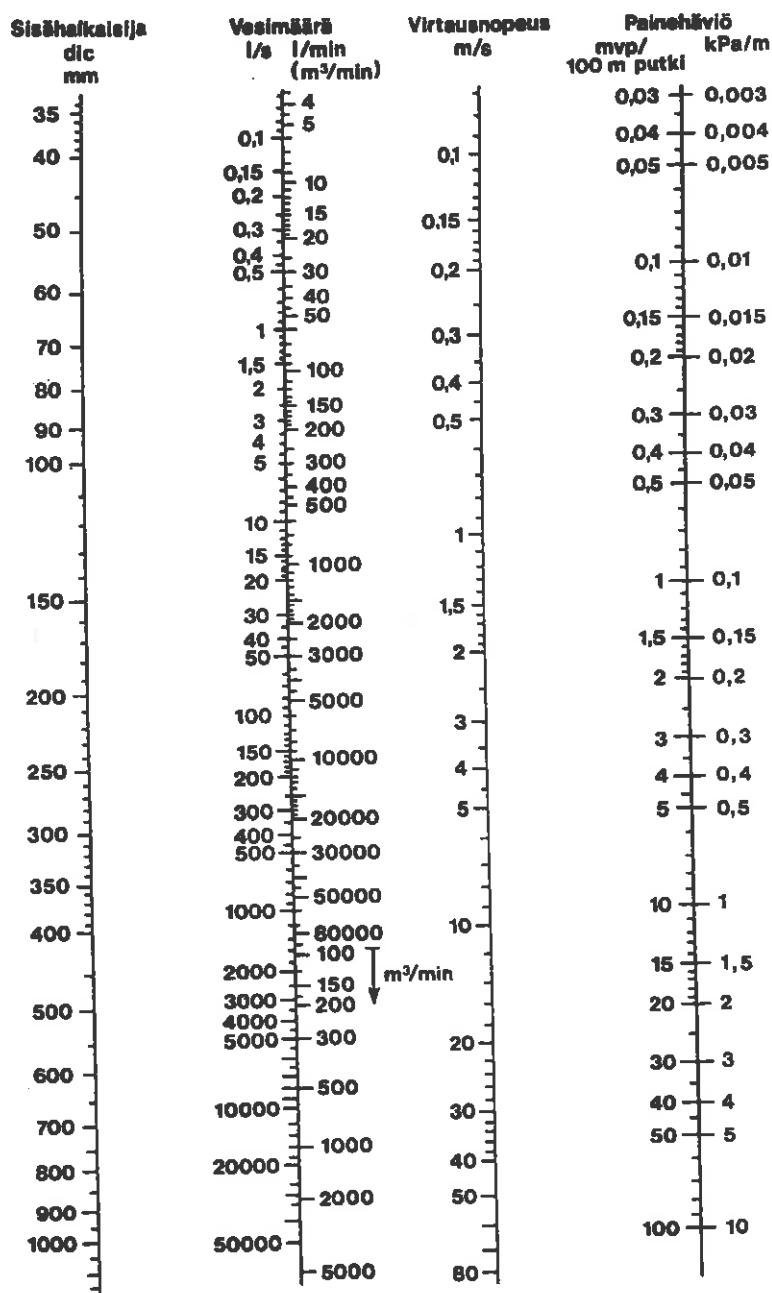


Oy Polyputki Ab

Teknisiä taulukoita

10.04.01
1983

PVC- ja PEH-paineputket



Nomogrammi on laadittu Prandtl-Colebrookin kaavan mukaan, jossa käytetty kerrointa $k = 0,007$ (suorille PE-putkille) putkistossa olevien kertavastusten vaikutus ilman tarkempia laskelmia voidaan ottaa huomioon pienentämällä nomogrammin antamaa vesimäärää 5 ... 15 %

Jos virtauslaskelmissa käytetään Hazen-Williamsin kaavaa, karkeuskertoimen arvoina käytetään muoviputkille

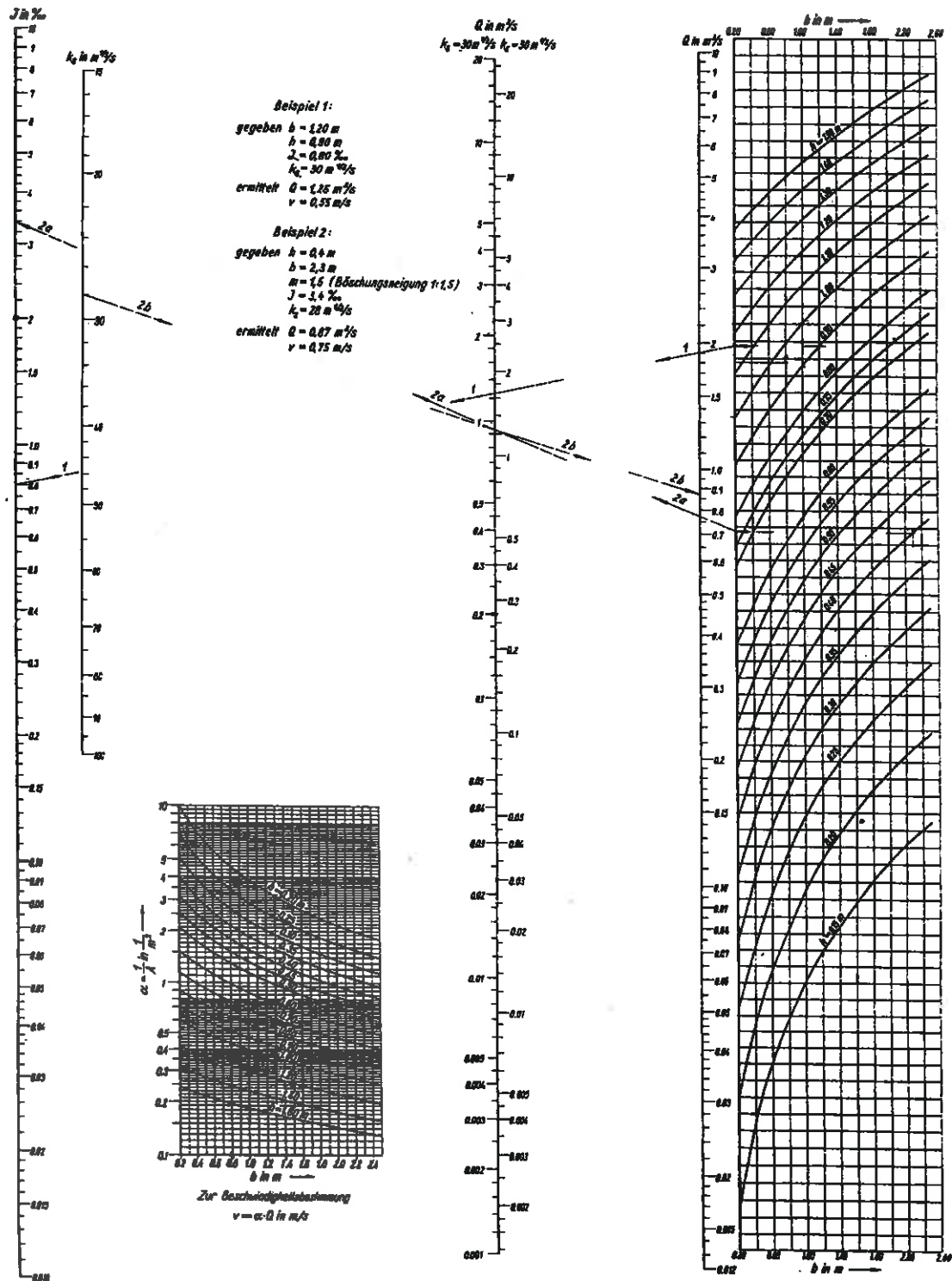
$d < 600$ mm
 $d > 600$ mm

$C \approx 150$
 $C \approx 153$

$$Q = k_s A R^{2/3} I^{1/2}$$

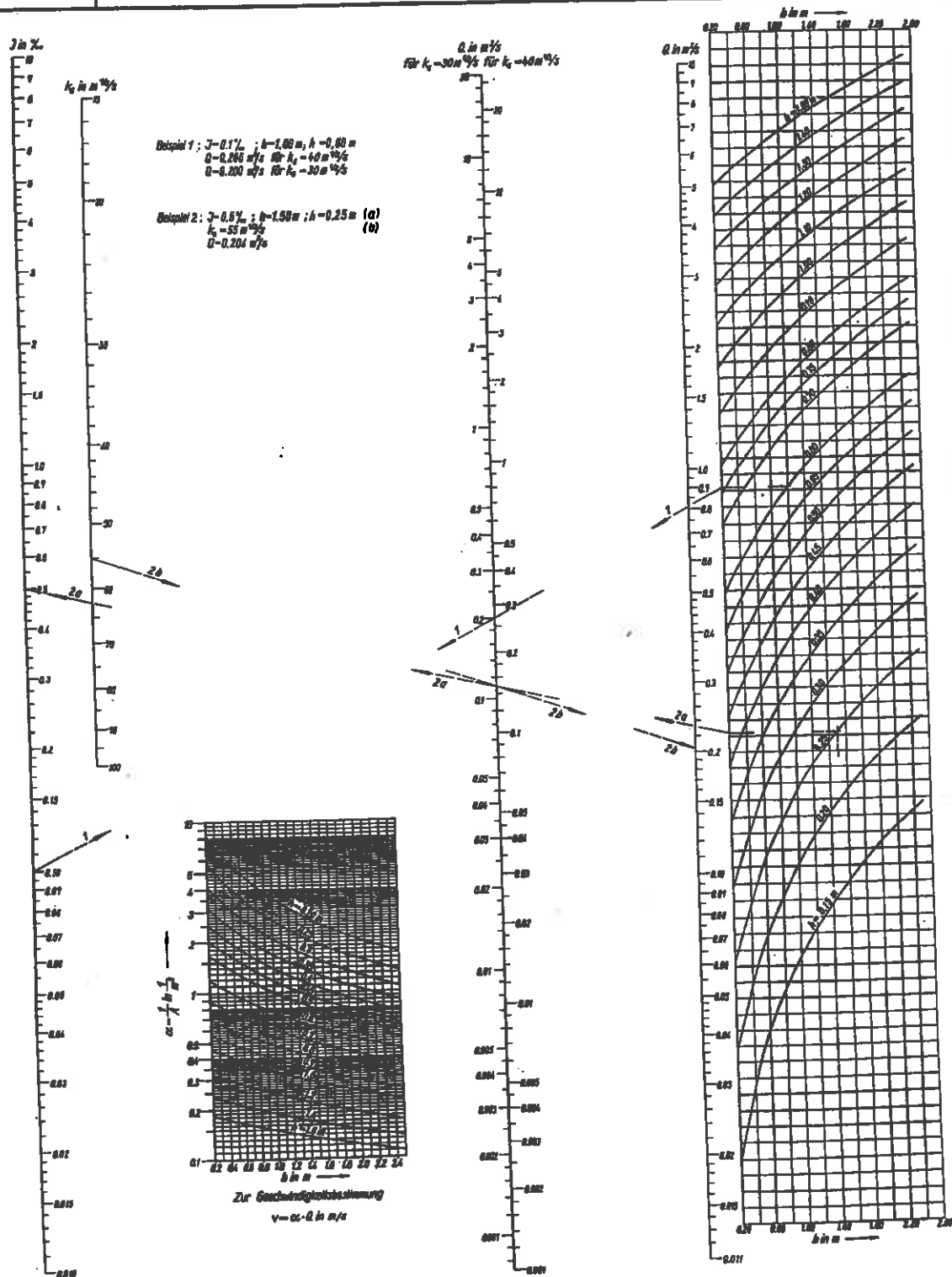
Gräben mit Trapezquerschnitt
Böschungsneigung 1 : 1,5

28



Gräben mit Trapezquerschnitt Böschungsneigung 1 : 2

$$Q = k_s A R^{2/3} I^{1/2}$$



$$Q = k_s A R^{2/3} I^{1/2}$$

Gräben mit Trapezquerschnitt
Böschungsneigung 1 : 0

26

