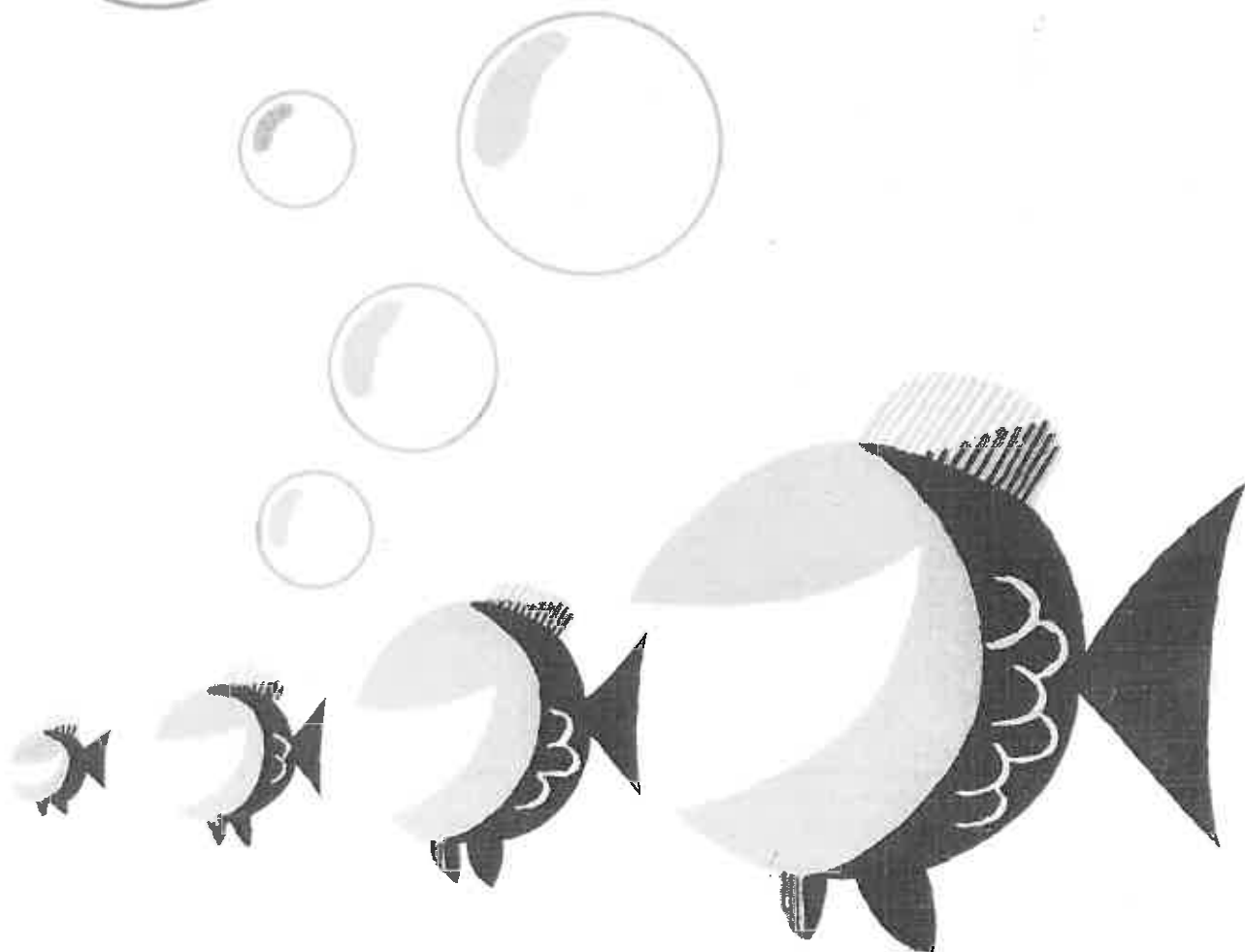


RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS
KALANTUTKIMUSOSASTO



MONISTETTUJA JULKAISUJA

85
1989





RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS
KALANTUTKIMUSOSASTO

MONISTETTUA JULKAISUA

Toimittaja: Viljo Nylund. Toimitussihteerit: Marja-Liisa Koljonen, Petri Suuronen.

Julkaisun jakelusta päätetään kunkin numeron osalta erikseen.

Julkaisua koskevat tiedustelut osoitetaan Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston kirjastolle, PL 202, 00151 Helsinki.

Monistettuja julkaisuja on jatkoa sarjalle: "Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja". Kalantutkimusosaston muut julkaisusarjat ovat "Finnish Fisheries Research", "Suomen kalatalous", "Tiedonantoja" ja "Meddelanden".

Redaktör: Viljo Nylund. Redaktionssekreterare: Marja-Liisa Koljonen, Petri Suuronen.

Publikationens distribuering fastställs skilt för varje nummer.

Förfrågningar angående tidskriften riktas till bibliotekarien, Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet, fiskeriforskningsavdelningen, PB 202, 00151 Helsingfors.

Tidskriften är fortsättning på "Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja". Övriga publikationsserier från fiskeriforskningsavdelningen är "Finnish Fisheries Research", "Suomen kalatalous", "Tiedonantoja" och "Meddelanden".

RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS, KALANTUTKIMUSOSASTO

MONISTETTUJA JULKAISUJA

No 85

1989

JÄTELÄMMÖN HYVÄKSIKÄYTTÖ KALANVILJELYSSÄ

ERKKI VIRTANEN, UNTO ESKELINEN, KAI WESTMAN,
MARKKU HUHTINEN, LENA SÖDERHOLM-TANA JA TIMO MÄKINEN

KATSAUS JÄTELÄMMÖN KÄYTÖSTÄ VESIVILJELYSSÄ

POHJOISMAINEN MINISTERINEUVOSTO

HELSINKI 1989

ISBN 951-8914-17-6
ISSN 0358-4623
HELSINKI 1989
YLIOPISTOPAINO

JÄTELÄMMÖN HYVÄKSIKÄYTTÖ

KALANVILJELYSSÄ

Erkki Virtanen¹, Unto Eskelinen², Kai Westman¹, Markku Huhtinen³,
Lena Söderholm-Tana¹ & Timo Mäkinen²

¹ Riista- ja kalantutkimuslaitos, kalantutkimusosasto

² Laukaan keskuskalanviljelylaitos

³ EKONO Oy

ESIPUHE

Lämmintä vettä käytetään kalanviljelyssä useimmiten mädin kuoriutumisen aikaistamiseksi, poikasten kasvukauden pidentämiseksi ja kasvatusveden lämpötilaerojen tasaamiseksi. Vettä lämmittämällä voidaan kalojen kasvua nopeuttaa huomattavasti; vuotuinen lisäkasvu saattaa olla moninkertainen luonnonlämpöiseen kasvatusve-teen verrattuna.

Lämpimän veden käyttöön liittyvien merkittävien etujen vuoksi on lämmitetyn veden käyttö meillä lisääntymässä. Lämmityksen vaatimien suurten energiakustannusten vuoksi voidaan viljelyvettä kuitenkin lämmittää vain hyvin rajoitetussa määrin.

Maamme teollisuus ja voimalaitokset tuottavat vuosittain suuria määriä lämpimiä jätevesiä, jotka tarjoavat merkittävän, mutta toistaiseksi varsin vähäisessä määrin hyödynnetyn mahdollisuuden kalanviljelyn kehittämiseen ja tuotannon kohottamiseen energia-kustannuksia lisäämättä. Jätelämmön hyödyntäminen onkin keskeisessä asemassa kalojen, rapujen ja mahdollisesti muidenkin vesieliöiden lämminvesiviljelyn kehittämisessä.

Oheinen selvitys jätelämmön hyödyntämisestä kalanviljelyssä on tehty kauppa- ja teollisuusministeriö rahoituksella. Tutkimuksen johtoryhmään ovat kuuluneet ylitarkastaja Heikki Kotila kauppa- ja teollisuusministeriöstä, professori Pekka Tuunainen Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksesta (RKTL) ja dosentti Antti Soivio Helsingin yliopistosta. Tutkimusta on johtanut ylitarkastaja Kai Westman (RKTL) ja siihen ovat osallistuneet tutkijat Erkki Virtanen ja Lena Söderholm-Tana (RKTL), johtaja Unto Eskelinen ja tutkija Timo Mäkinen RKTL:n Laukaan keskuskalanviljelylaitoksesta sekä diplomi-insinööri Markku Huhtinen EKONO Oy:stä. Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy on konsultoinut teknisiin ratkaisuihin ja niiden kustannuksiin liittyvissä kysymyksissä.

Tutkimukseen liittyen on Pohjoismaisen Ministerineuvoston Oslossa 19.-20.2.1985 järjestetyn lämpimien jätevesien hyväksikäyttöä vesiviljelyssä koskevan symposion raportti (Nordisk Ministerråd, 1985) käännetty suomeksi. Käännöksen on tehnyt Lena Söderholm-Tana ja se on liitetty tähän niteeseen.

1. JOHDANTO

Vesiviljely käsittää Suomessa ruokakalan tuotannon, istutuspoikastuotannon ja rapujen viljelyn. Vesiviljelyn tuotanto ja merkitys on jatkuvasti lisääntymässä ja siitä on muodostunut yhä tärkeämpi kalatalouden osatekijä.

Ruokakalantuotannosta, jonka määrä oli vuonna 1987 Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen (RKTL) kalanviljelytilaston mukaan 12 678 tn, oli 99 % kirjolohta. Jäännös oli lohta ja taimenta. Kirjolohen viljely on laajentunut voimakkaasti 1970-luvun lopulta lähtien ja erityisesti verkkoaltaissa meressä, jossa tuotetaan

yli puolet kirjolohesta. Kirjolohen vienti on parin lamavuoden jälkeen jälleen elpymässä. Ennakkotiedon mukaan vienti nousee vuonna 1988 noin 3 milj. kg.

Kalaistutukset ovat Suomessa lisääntyneet 1960-luvulta lähtien. 1980-luvulla ovat etenkin velvoiteistutukset ja valtion suorittamat istutukset voimakkaasti lisänneet lohen, taimenen ja siikojen istutuksia. RKTL:n tilaston mukaan vuonna 1987 tuotettiin 20 kalalajin ja kahden rapulajin poikasia istutuksia varten. Vastakuoriutuneita poikasia istutettiin n. 86 milj. kpl, yksikesäisiä poikasia n. 39 milj. kpl ja yksivuotiaita tai vanhempia kalanpoikasia n. 9.3 milj. kpl.

Rapujen viljely on Suomessa 1980-luvulla nopeasti lisääntynyt. Kotimaisen ravun ohella viljellään Pohjois-Amerikasta kotoisin olevaa rapuruttoa kestävää täplärapua. Vuonna 1987 tuotettiin rapujen poikasia n. 100 000 kpl.

Tuottajahintojen mukaan arvioituna kalanviljelytuotteiden arvo oli vuonna 1987 n. 386 milj. mk. Tästä oli ruokakalaksi kasvate-
tun kirjolohen osuus n. 304 milj. mk ja istutuspoikastuotannon arvo n. 82 milj. mk. Vuodesta 1982 on kalanviljelytuotteiden arvo kasvanut yli 90 %.

Vuonna 1985 oli kalanviljelyn tuotannon arvo jo yli puolet maan kalansaaliin arvosta (kalansaalis oli n. 150 000 tn, arvoltaan 456 milj. mk) ja kirjolohen tuotantoarvo oli suurempi kuin yhdenkään saalislajin. Suuri osa lohen taimenen ja siian saaliista perustuu lisäksi viljeltyjen poikasten istutuksiin.

Vesiviljelyä on äskettäin lähemmin tarkasteltu mm. Hakasen ym. (1987), Valtion kalanviljelyn tavoiteryhmän (1988) ja Westmanin ym. (1988) selvityksissä. RKTL:n kalanviljelytilastot on julkaistu sarjassa Suomen Kalatalous (ESKELINEN, 1988).

Suomella on luontaisesti monessa suhteessa erinomaiset mahdollisuudet vesiviljelyn harjoittamiseen ja kehittämiseen. Maan sijainti Itämeren ja sen lahtien äärellä, pitkä rannikko ja runsaat sisävedet ovat vesiviljelyn kannalta edullisia lähtökohtia. Suomi on, pinta-alaan verrattuna, Euroopan runsasvesistöisin maa. Sisävesiä on lähes 10 % maan pinta-alasta. Noin 80 % järviolasta on käyttökelpoisuudeltaan luokiteltu hyväksi tai erinomaiseksi, n. 18 % tyydyttäväksi ja n. 2 % välttäväksi tai huonoksi.

Kalojen kasvukauden lyhyys ja vesien jäätyminen rajoittavat ja haittaavat merkittävästi vesiviljelyn harjoittamista ja kehittämistä. Maan pohjoisosassa järvet ovat jäässä lähes seitsemän kuukautta, ja eteläosassa noin viisi kuukautta. Vesien lämpötila on noin puolet vuodesta niin alhainen (0-4 °C), että vaihtolämpöisten kalojen ja rapujen kasvu on lähes pysähtynyt ja tehokasta kasvuaikaa on monille kalalajeille vain 3 - 4 kk vuodessa. Kaikkien kalalajien osalta ei optimaalista kasvulämpötilaa saavuteta edes kesällä.

Vettä lämmittämällä voidaan kalojen kasvua nopeuttaa huomattavas-

ti ja siten esim. tuotantokierto lyhentää puoleen luonnonlämpöiseen kasvatusveteen verrattuna. Suurista energiakustannuksista johtuen veden lämmittäminen on nykyisellään kuitenkin kannattavaa vain tietyissä, vähän vettä vaativissa tuotantokierron vaiheissa kuten esim. mädin kuoriuttamisessa ja poikasten alkukasvatuksessa.

Teollisuuden ja voimalaitosten lämpimät jätevedet tarjoavat siten merkittävän mahdollisuuden kalanviljelyn kehittämiseen ja tuotannon kohottamiseen energiakustannuksia lisäämättä. Lämpimien jätevesien käyttöä kalanviljelyyn onkin tämän vuoksi selvitetty useissa Euroopan maissa sekä mm. USA:ssa ja Japaissa. Aihetta on viime aikoina käsitelty myös monissa kansainvälisissä kokouksissa ja symposioissa mm. FAO:n järjestämässä laajassa kokouksessa vuonna 1980 (TIEWS, 1981a, 1981b) sekä Pohjoismaisen Ministerineuvoston vuonna 1985 järjestämässä Pohjoismaisessa symposiossa. Symposion raportti on suomeksi käännettynä tämän julkaisun toisena osana. Lämpimien jätevesien hyväksikäyttö kalanviljelyssä onkin nopeasti lisääntymässä monissa maissa, mm. Ruotsissa ja Norjassa, joissa on myös tehty varsin kattavia aihetta koskevia selvityksiä ja inventointeja.

Suomessa on kalojen kasvatuskokeita jäähdytysvedessä suoritettu Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen ja Imatran Voima Oy:n toimesta vuosina 1975 - 1978 Inkoon voimalaitoksella ja vuodesta 1981 lähtien RKTL:n, Pohjolan Voima Oy:n, Kemijoki Oy:n ja Helsingin yliopiston toimesta Olkiluodon lohilaitoksessa Olkiluodon ydinvoimalaitoksen jäähdytysvedessä (TIEWS, 1981a, 1981b, WESTMAN et al. 1983, 1984, WESTMAN, 1985, 1986, WESTMAN & LOUHIMO, 1983). Vuonna 1987 aloitti toimintansa Loviisan ydinoimalaitoksen jäähdytysvesiä käyttävä kalanviljelylaitos, Loviisa Smoltti Oy. Vesivoimalaitosten jäähdytysvesiä on äskettäin myös ryhdytty käyttämään kalanviljelyssä mm. Ossauskosken ja Vanttauskosken kalanviljelylaitoksissa Kemijoen varrella. Kasvatuskokeet ovat osoittaneet, että kalanviljelyn avulla on muutoin hukkaan meneville teollisuuden ja voimalaitosten lämpimille jäte- ja jäähdytysvesille saatavissa merkittävää taloudellista käyttöä. Kysymys on lisäksi varsin suurista vesimääristä, sillä pelkästään rannikoilla sijaitsevat voimalaitokset tuottavat yli 200 m³/s lämmintä jäähdytysvettä. Vesimäärä riittäisi yli 200 suuren kalanviljelylaitoksen vesitykseen. Kalojen nopean kasvun takia on niiden kasvattaminen lämpimässä vesissä taloudellisesti huomattavasti edullisempaa tavanomaiseen viljelyyn verrattuna.

Lämpimien jätevesien hyödyntämistä kalanviljelyssä on erityisesti vaikeuttanut kokonaisselvityksen puuttuminen teollisuuden ja voimalaitosten lämpimien jäte- ja jäähdytysvesien saatavuudesta ja solveltavuudesta kalanviljelyyn.

EKONO Oy ja Imatran Voima Oy selvittivät v. 1983-1985 kauppa- ja teollisuusministeriön toimeksiannosta matalalämpöisen jätelämmön hyväksikäyttöä lämpöpumpun avulla (KTM, 1986). Tutkimuksen yhtenä osana on kysely n. 200 suurimmalle jätelämmön tuottajalle. Kyselyä on käytetty hyväksi tässä tutkimuksessa, jonka tarkoituksena oli selvittää kalanviljelyyn soveltuvien lämpimien teollisuuden

ja voimalaitosten jäte- ja jäähdytysvesien lähteet, saatavuus ja hyödynnettävyys.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimus koostuu kahdesta osasta:

- jätelämmön hyväksikäytön edellytysten tarkastelu
- kysely 65 jätelämmön tuottajalle jätelämmön hyväksikäyttömahdollisuuksista

Kyselyn kohteet valittiin pääosin Imatra Voima Oy: ja Ekono Oy:n tutkimuksesta "Teollisuuden matalalämpötilaisen jätelämmön hyväksikäyttö lämpöpumpun avulla kaukolämmitykseen". Valinta tehtiin lähinnä jätelämpömäärän riittävyyden ja säännöllisyyden perusteella. Kysely lähetettiin 50 teollisuuslaitokselle, joiden jätelämmön teho oli vähintään 4 MW (n. 1/2 näistä >20 MW) sekä 15 jätelämpömäärältään suurimmalle kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle. Puutteena kyselyssä voidaan pitää erityisesti sitä, että konventionaalisista voimaloista suuri osa jäi kyselyn ulkopuolelle niiden vähäisen käyttöasteen vuoksi. Mikäli voimaloiden käyttöaste lisääntyy olennaisesti, muodostavat ne huomattavan lisän kalanviljelykäyttöön mahdollisesti soveltuvien jäähdytysvesien lähteenä.

Kyselyssä kartoitettiin jätelämmön tuotannon säännöllisyyttä, jäte/jäähdytysveden laatua, puhtaan veden saatavuutta ja kalanviljelyn rakentamisen edellytyksiä liitteenä olevan kyselylomakkeen mukaisesti (Liite 1). Vastauksia saatiin 49 kpl, eli 75 % kyselyyn osallistuneista. Teollisuus- ja voimalaitoksista vastasi 40 kpl (80 %), ja kunnallisista jäteveden puhdistamoista 9 kpl (60 %). Vastaukset on esitetty taulukossa 2. Annettujen tietojen perusteella sekä viljelyn biologisten, teknisten ja taloudellisten edellytysten valossa arvioitiin kalanviljelyn toteuttamiskelpoisuutta kussakin kohteessa. Arviot tehtiin lähinnä nykyisen pääviljelylajin, kirjolohen vaatimusten perusteella, mutta ne ovat pääosin sovellettavissa myös muihin lohikalalajeihin. Sen sijaan lämpimämpää vettä suosivien lajien, esim. karpin ja ankeriaan, viljely asettaa varsin erilaiset vaatimukset mm. viljelyveden lämpötilalle ja laadulle.

Tehtyjen arvioiden lisäksi valittiin kolme kohdetta lähempään tarkasteluun. Nämä esimerkkikohteet edustavat kolmea eri tyyppistä jätelämmön hyväksikäyttötyyppiä:

1. jäähdytysveden suora käyttö kalanviljelyyn
2. lämmön siirto puhtaaseen veteen
3. lämmön siirto puhtaaseen veteen sekä lämpötilan nosto lämpöpumpputekniikalla.

Esimerkkikohteiden tuotto/kustannussuhdetta tarkasteltiin asettamalla käytetty vesimäärä, lämpötila ja kalatuotto vakioiksi ja vertaamalla kohteiden investointi- ja käyttökustannuksia.

3. VILJELYN BIOLOGISET EDELLYTYKSET

Kalan ympäristövaatimukset kalanviljelyssä voidaan tiivistää ravitsemuksen, veden laadun ja määrän sekä valaistuksen vaatimuksiin. Näistä vesitys ja valaistus ovat etenkin ne seikat, joiden säätely ja optimialueiden tuntemus ovat tarpeen hyödynnettäessä lämmitettyä vettä kalanviljelyssä.

Veden laatu on tärkein kalanviljelyn ympäristötekijä. Kalanviljelyn kannalta keskeisiä vedenlaatutekijöitä ovat:

- lämpötila
- veteen liuenneiden kaasujen, etenkin hapen, pitoisuus
- happamuus
- haitallisten aineiden (esim. rauta, kiintoaines) pitoisuus.

Suomen leveysasteilla kalanviljely on suuntautunut pääasiassa lohensukuisiin lajeihin, joiden vedenlaatuvaatimukset ovat erityisen korkeat. Seuraavassa vedelaatuvaatimuksia on käsitelty mm. RKTL:n omien kokemusten ja Alabaster ym. (1980) antamien tietojen perusteella.

3.1. Lämpötila

Kalanviljelyssä veden optimilämpötila riippuu suuresti kalalajista ja viljelyvaiheesta sekä jatkokasvatusmenetelmästä. Esim. haudontaveden optimilämpötila oloissamme on 0.1-3.0 °, jos jatkoviljely tapahtuu luonnon lämpötilassa. Syyskutuisilla lajeilla (esim. lohi, taimen, nieriä) voidaan lämpötilaa haudonnan nopeuttamiseksi nostaa haitatta korkeintaan 8-9 asteeseen, ja ruskuaispussi- ja lähtöruokintavaiheessa korkeintaan 10-12 asteeseen. Kevätkutuisilla lajeilla (esim. kirjolohi, kuha, hauki, harjus) voidaan lämpötila haudonnassa nostaa hieman korkeammaksi, n. 9-10 asteeseen.

Lohikalojen pienpoikasten kasvatuksen optimilämpötilana pidetään n. 10 astetta. Tämän jälkeen voidaan lämpötilaa nostaa nopeimman kasvun alueelle, jonka lohikaloilla lajista riippuen katsotaan olevan n. 15-18° lohikaloilla, mutta esim. ankeriaalla 25 °.

Viljelyveden lämpötilan tulee olla melko tasainen. Vuorokautisten vaihteluiden vaikutus on huonosti tunnettu, mutta tämän hetken tietämyksen perusteella sen tulee rajoittua n. viiden asteeseen. Suurempien lämpötilamuutosten tulee tapahtua hitaasti ja tasaisesti. Yht'äkkiset suuret lämpötilamuutokset ovat aina riskitekijä ja heikentävät joka tapauksessa kalojen kasvua.

On huomattava, että lämpötilan nosto merkitsee useimmiten kalatautien puhkeamistodennäköisyyden kasvua sekä muutosta tarvittavan vedenvaihtuvuuden, kalatiheyden ja muiden ympäristötekijöiden suhteen. Siten tuotannon kannalta on vaikea esittää tarkkaa kasvun optimilämpötilaa. Kunkin tuotantolaitoksen tulee laatia oma viljelysuunnitelma, jossa vasta voidaan optimoida käytettävissä olevien lämmitysresurssien käyttö ja jaksotus.

3.2. Happipitoisuus

Hapen liukoisuus veteen vähenee voimakkaasti lämpötilan noustessa kalojen hapentarpeen samalla kasvaessa. Lohikaloiden elinympäristön happipitoisuuden lasku alle 7 mg/l heikentää kasvua ja alle 3-4 mg/l on tappava. Käytettäessä lämmitettyä vettä ja suuria kalakuormia hapen lisäys on usein tarpeellista ja tehostaa lämmitysresurssien käyttöä.

3.3. Veteen liuenneiden kaasujen ylikyllästys

Veden lämmittäminen nostaa siihen liuenneiden kaasujen kyllästystä. Jo lieväkin (n. 10 %) typen ylikyllästys voi aiheuttaa kaloissa ns. kaasukuplatautia. Ylikyllästys on poistettava lämminvesiviljelyssä tehokkaalla ilmastuksella.

3.4 Happamuus

Kalanviljelyyn käytettävän veden pH:n tulee olla lähellä neutraalia, pH 7.0. Sopivaksi katsotaan vesi, jonka pH vaihtelee välillä 6.2-8.5. Ehdoton alaraja on pH 4.5 ja mikäli vesi sisältää liuennutta rautaa, pH 5.5. Ylärajana pidetään pH 9.2. Happamuuden sieto vaihtelee kalalajeittain.

3.5 Metallit

Metalleille voidaan esittää seuraavat enimmäispitoisuudet:

Rauta	Fe	0.3 mg/l
Mangaani	Mn	1.0 "
Alumiini	Al	0.1 "
Sinkki	Zn	0.04 "
Lyijy	Pb	0.01 "
Elohopea	Hg	0.1 "
Kadmium	Cd	0.002 "
Kupari	Cu	0.005 "
Kromi	Cr	0.01 "

Rautaa, mangaania ja alumiinia lukuunottamatta em. metallit eivät esiinny mainittavissa pitoisuuksissa luonnonvesissä, vaan kysymyksessä ovat teollisuuden päästöt. Erityisesti kadmium on akuutistikin hyvin myrkyllinen jo pienissä pitoisuuksissa. Raudan myrkyllisyys riippuu pH-arvosta siten, että happamemmassa ympäristössä raudasta suurempi osa voi esiintyä liuenneessa muodossa. Liuennut rauta voi saostua kalan kidusten emäksiselle pinnalle ja näin vaikeuttaa hengitystä. Humukseen tai muihin partikkeleihin sitoutuneena rauta aiheuttaa vähemmän tällaisia ongelmia, mutta on joka tapauksessa epäsuotavaa kalanviljelyssä.

3.6. Kiintoaine

Vedessä suspensiona esiintyvä hienojakoinen aines on haitallista kaloille, koska se takertuu kalan kiduksiin ja aiheuttaa tukkeutumista ja tulehduksia kiduksissa. Mädin haudonnassa voidaan sallia vain hyvin pieniä kiintoainemääriä, koska kiintoaineella

on taipumus saostua mädin pinnalle ja estää hapensaanti. Kiinto-
aineen pitoisuus ei saisi ylittää 25 mg/l poikasten kasvatusve-
dessä. Tilapäisesti voidaan korkeampia pitoisuuksia sallia, jos
samanaikaisesti ei tapahdu muiden haitallisten aineiden pitoisuu-
den nousua. Mädin haudonnassa suositusta ei pidä ylittää.

Kiintoaineen poistamiseksi on käytettävissä erilaisia suodatusme-
netelmiä.

3.7. Vedenlaatusuositukset

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos on asettanut seuraavat
suositukset noudatettavaksi valtion kalanviljelylaitosten suun-
nittelussa:

	suositus	sallittava	hetkellisesti sallittava
happikyllästys tulovedessä %	90	80	70
pH	6.5	6.2	6.0
johtokyky uS/cm	40	30	20
väri mg Pt/l	30	80	120
rauta mg/l	0.2	0.4	0.6

3.8. Veden tarve

Kalojen veden tarpeen määräävät pääasiassa:

- kalojen aineenvaihdunnan aiheuttama hapen väheneminen ja
kuona- aineiden lisääntyminen viljelyvedessä
- altaan toiminnan (tuloveden ja rehun jakautuminen, kuona-
aineiden poisto) kannalta tarpeellisten virtausolosuhteiden
ylläpitäminen

Kylmän veden aikana jälkimmäinen tekijä on ratkaisevampi; lämpi-
mässä vedessä aineenvaihdunnan vaatimukseen tarvittava vesimäärä
turvaa myös virtausolosuhteet. Kalalajien väliset erot ensinmai-
nitun tekijän suhteen ovat huomattavat.

Kalojen ominaisvedentarve (l/min vettä kalakiloa kohden) kasvaa
lämpötilan noustessa ja tuloveden happipitoisuuden laskiessa sekä
pienenee kalan koon kasvaessa. Kun tulovesi on happikyllästeistä,
riippuu kirjolohen vedentarve (l/min/kg) lämpötilasta ja kalan
koosta seuraavasti:

Lämpötila (°C)	Kalan paino (g)				
	0.1	1.0	10	100	1000
4	0.55	0.4	0.3	0.22	0.15
10	1.5	1.1	0.8	0.58	0.43
16	3.0	2.2	1.6	1.15	0.84

Lisäämällä happea veteen voidaan ominaisvedentarvetta vähentää
jossain määrin, mikä on edullista lämminvesiviljelyssä. Rajoituk-
sia asettavat kuitenkin tulovede väheemisen vaikutukset veden
laatuun ja altaan virtausolosuhteisiin.

4. LÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN KALANVILJELYSSÄ

4.1. Yleistä

Merkittävin hyöty viljelyveden lämmittämisestä saadaan kalojen mädinkehityksen ja kasvun nopeutumisenä, mikä mm. lyhentää tuotantokiertoa ja lisää tuotantokapasiteettia. Muita hyödyntämismahdollisuuksia ovat mm. kalojen kutuajankohdan säätely veden lämpötilan avulla. Menettelyllä voidaan saada aikaan normaalikauden ulkopuolinen mädin ja poikasten tuotanto, ja lisäksi se vaikuttaa ruokakalan markkinakauden pituuteen.

Lämmitetyn veden turvin voidaan myös kasvattaa kala-, äyriäis- ja nilviäislajeja, jotka eivät ilmasto-oloissamme muuten menesty. Lämmintä vettä vaativien lajien muut ympäristövaatimukset eivät yleensä ole viljely este, sillä esimerkiksi valorytmiikan säätelyyn on olemassa kehittyneet tekniset järjestelmät.

4.2. Kasvun ja lämpötilan suhteet

Kalat kuten myös äyriäiset ja nilviäiset ovat vaihtolämpöisiä, mistä syystä niiden kyky sulattaa ravintoa ja kasvaa riippuu ensisijaisesti veden lämpötilasta. Lämpötila ja yksilökoko ovat tärkeimmät lajikohtaiseen kasvunopeuteen vaikuttavat tekijät. Eri lajien optimi- ja sietoalueet vaihtelevat suuresti. Meillä viljellyt lohikalat ovat nk. kylmän veden lajeja, joiden optimikasvuväli on välillä 10-20° ja jotka kasvavat merkittävästi vielä alle 10-asteisessa vedessä. Oheisessa taulukossa on eri kokoisten kirjolohien vuorokautinen lisäkasvu (%/vrk) eri lämpötiloissa:

Lämpötila (°C)	Kalan paino (g)		
	10	100	1000
4	1.5	0.7	0.4
10	2.8	1.4	0.6
16	3.8	1.8	0.9

Jotta kasvu noudattaa yllä esitettyä riippuvuutta, tulee viljelyolosuhteiden olla muilta osin optimaalisia: veden happikylläisyyden on oltava hyvä ja ravintoa saatavilla ruokahalua vastaavasti (ad libitum -ruokinta).

4.3. Tekniset ratkaisut lämmön hyödyntämiseksi

Kalanviljelyveden lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavat mm. seuraavat tekijät:

- veden tarpeen ajoittuminen ja tarvittava virtaama
- viljeltävä laji ja viljelyvaihe
- viljelykäytön biologinen kuormittavuus
- eri energiamuotojen ostohinta
- mahdollisen jätelämmön lähteen veden laatu ja määrä sekä lämpötilan taso ja sen vaihtelut.

Oheisissa kuvissa 1a ja 1b on esitetty vaihtoehtoisia periaattei-

ta viljelyveden lämmittämiseksi.

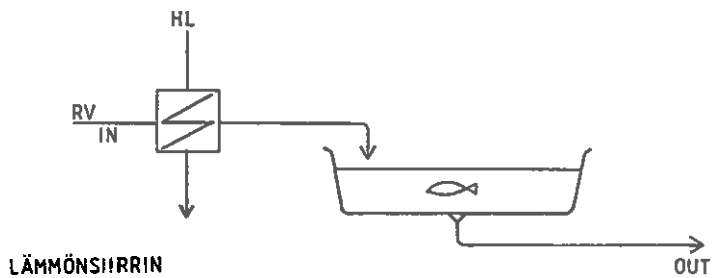
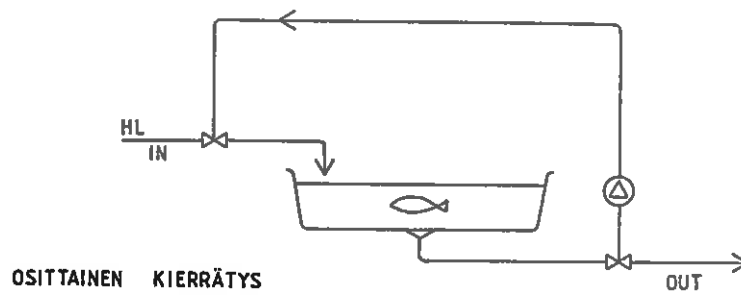
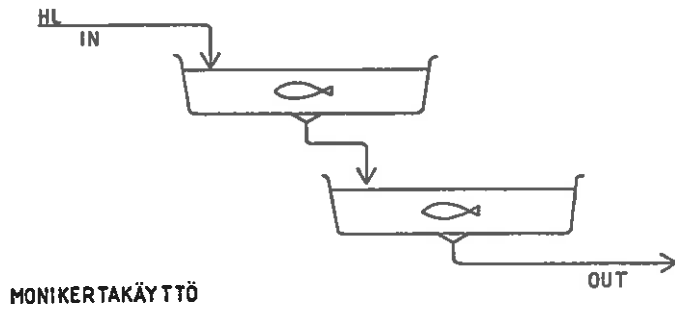
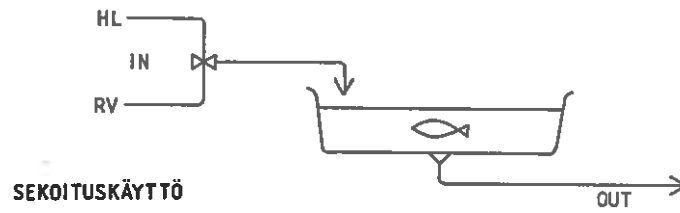
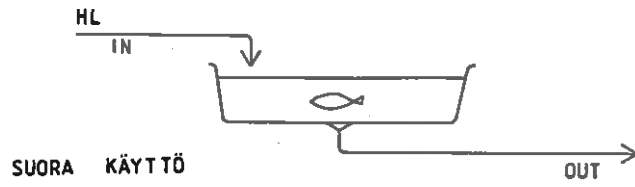
Lämmön lähteenä olevan veden suora käyttö viljelyyn joko sellaisenaan tai vähäisellä esikäsitteilyllä (suodatus, kalkitus tms.) edellyttää, että veden laatu on hyvä, lämpötila sopiva ja tasainen sekä riittävyys turvattu. Jos ongelmana on vain lämpötilan vaihtelu, on järkevin käyttöratkaisu useimmiten sekoitus muuhun vesilähteeseen. Samalla vähenevät vesityskatkoriskit.

Suoraan kalanviljelykäyttöön sopivia jätelämpövesiä lienevät vain eräät jäädytysvedet. Useimmissa tapauksissa lämpö on siirrettävä jätelämmön lähteestä viljelyveteen. Siirrossa voidaan käyttää lämmönsiirtimiä ja lämpöpumppuja.

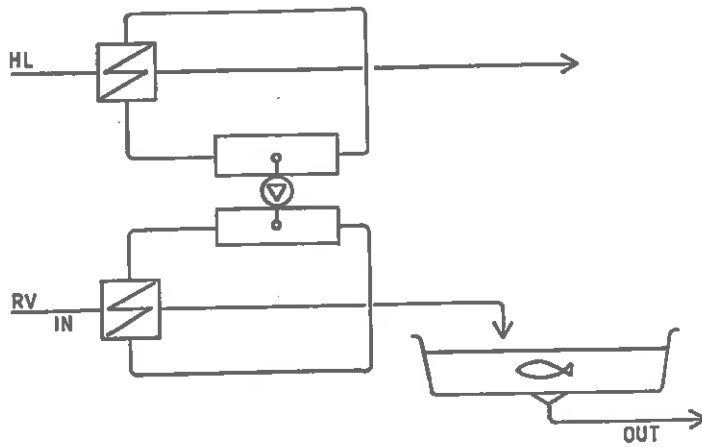
Pelkän lämmönsiirtimen käyttö edellyttää, että lämmönlähteen lämpötila on pysyvästi korkeampi kuin haluttu viljelyveden lämpötila. Lämpöpumppuratkaisussa riittää se, että lämmönlähteen teho on tarpeeksi suuri. Lämpöpumpun yhteydessä käytetään yleisesti myös siirtimiä; tuloveden esilämmitys poistovedellä parantaa kokonaishyötysuhdetta. Lauhdutin- ja höyrystinpiireissä siirtimet vähentävät kemikaalivuotoriskiä.

Nykyisin lämpöpumppua on kalanviljelyssä sovellettu lähinnä poikaslaitoksilla, joiden vedentarve on pieni. Useimmiten ei ole käytetty ulkopuolisia lämmönlähteitä, vaan lämpö on otettu tuloveden esilämmityssiirtimellä ja höyrystinkierrolla talteen viljelystä poistuvasta vedestä. Ulkoisen lämmönlähteen käytön etuna pumppujärjestelmässä on se, että lämpötilan nostotarve on pieni ja hyötysuhde (lämpökerroin) siten korkea.

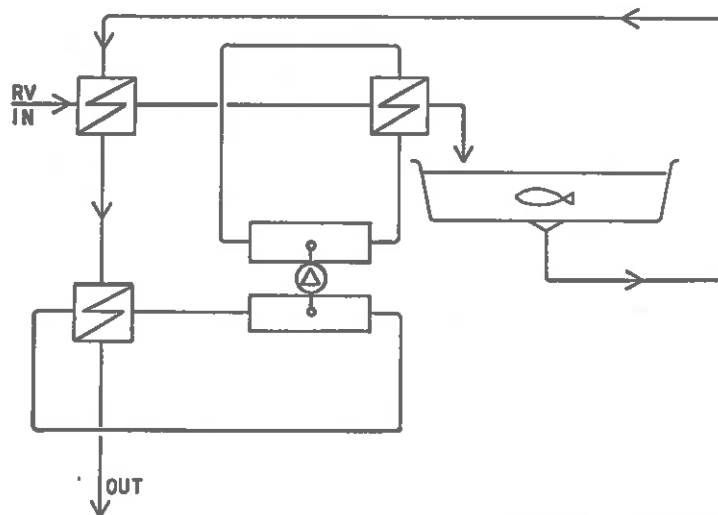
Viljelyveden osittainen kierrättäminen tai monikertakäyttö saattaa hukkalämmön hyödyntämisessä tulla kyseeseen tapauksissa, joissa on vähän jätelämpöä, puhdasta jäädytysvettä tai vähän vettä, johon lämpö siirretään. Yleisemmin kierrätys sopii parhaiten kohteisiin, joissa tuotannon biologinen kuormittavuus on pieni (haudonta) tai sallittava kuormitus suuri (esim. ankeriaan viljely).



KUVA 1a. Jätelämmön hyväksikäyttötapoja kalanviljelyssä. HL = jätelämpö, RV = raakavesi, I = tulovesitys, OUT = poistovesi



LÄMPÖPUMPPU, ULKOINEN LÄMMÖNLÄHDE



LÄMPÖPUMPPU, LÄMMÖN TALTEENOTTO

KUVA 1b. Jätelämmön hyväksikäyttötapoja kalaviljelyssä. Lyhenykset kuten kuvassa 1a.

5. TALOUDELLISUUSTARKASTELU

Jotta veden lämmitys olisi mielekästä, täytyy menettelyllä saavuttaa parempi taloudellinen tulos kuin turvautumalla luonnon lämpötiloihin. Tuloksen parantamisessa pyritään nostamaan laitoksen tuotto/kapasiteetti -suhdetta (P/C -ratio) lyhentämällä tuotantokiertoa.

Seuraavassa tarkastellaan lämmityksen hyötyä ja kustannuksia teoreettisina jättäen huomiotta eräät tilanteeseen vaikuttavat käytännön seikat (mm. lupa- ja markkinakysymykset).

Lämmityksen kannattavuusrajan ilmaisuun on käytetty useita suureita sen mukaan, miten lämpöä on hyödynnetty ja mitkä tekijät on oletettu vakioiksi. Selkeintä on hakea prosessissa käytetylle lämmölle korkein sallittava yksikköhinta. Jätelämpöä hyväksikäytettäessä energian yksikköhinnan määräävät lämmönsiirron aiheuttamat investointi- ja käyttökulut.

Prosessissa käytetyn lämpöenergian määrä on tulovirtaaman ja lämpötilan noston funktio. Läpivirtauslaitoksessa sisäinen virtaama on tulovirtaaman suuruinen. Vettä uudelleenkierrättämällä voidaan sisäinen virtaama nostaa käytetystä tekniikasta riippuen jopa moninkertaiseksi tulovirtaamaan nähden. Veden ominaislämpö on $4.18 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$, joten lämpötilan nosto vaatii astetta ja sekuntilitraa kohti 4.18 kW:n tehon.

Tärkeimmät energian yksikköhintaan vaikuttavat tekijät ovat:

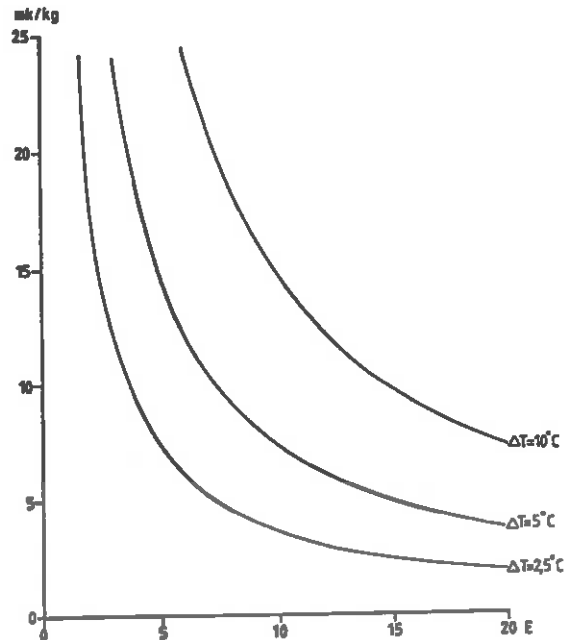
- investointikustannukset suhteessa tehoon
- lämpökerroin E, lämmön hyväksikäyttötehokkuutta kuvaava suhdeluku = sisäinen teho/ottoteho. Suoran läpivirtauksen tekniikassa $E = 1$; siirtimillä voidaan päästä kertoimiin 2-4, siirrin/lämpöpumppu -yhdistelmillä kertoimiin 8-20.
- energian hinta.

Investointi- ja käyttökustannusten suhde on käänteinen: käyttökustannuksia voidaan alentaa nostamalla lämpökerrointa raskaammilla investoinneilla.

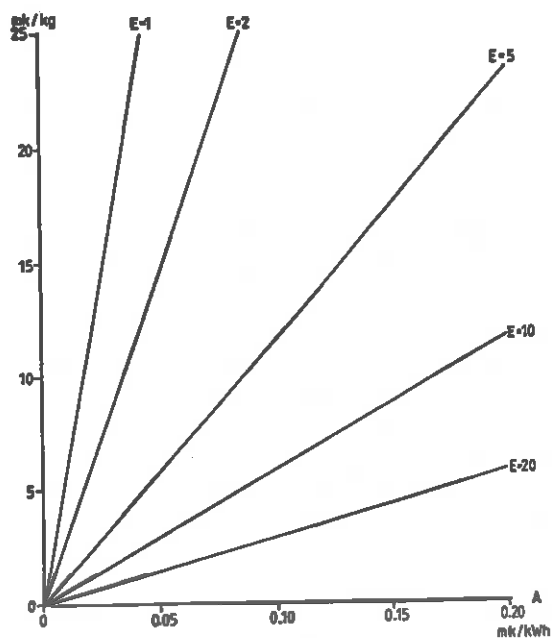
Energiayksikköä kohden saavutettavaan hyötyyn vaikuttavat eniten seuraavat tekijät:

- ominaisvedentarve (l/min/kala-kg); kalalajista ja -koosta sekä veden lämpötilasta ja happipitoisuudesta riippuva suure
- lämpötilamuutoksen kasvuvaste
- tuotteen kilohinta.

KUVA 2. Lämpötilan nostotarpeen (T) ja lämpökertoimen (E) vaikutus lämmitykseen energiakustannuksiin (mk/tuotettu kala-kg), kun 1kWh = 0.25 mk. Tarvittava vesitys = 50 m³/lisäkasvukilo, viljelyveden lämpötila = 12 °.



KUVA 3. Jätelämmön hinnan (A) ja lämpökertoimen (E) vaikutus lämmityksen energiakustannuksiin, kun tarvittava vesitys = 50 m³/lisäkasvukilo, lämpötilan nosto = 10 °.



Lohikaloilla, joita tässä selvityksessä käytetään esimerkkinä, ovat etuina hyvä kasvuvaste ja korkea hinta, häittana taas suurehko ominaisvedentarve.

Lämmityksen kustannukset peittävä tuotto on saatava P/C -suhteen nousuna. Jos P, lisäkasvu, on vakioitu (suomalainen lupakäytäntö), tarvitaan haluttuun lisäkasvuun pienempi kapasiteetti (tuotantotilavuus). Jos taas kapasiteetti on vakioitu (kohteen sanelemat rajoitukset), saadaan kapasiteetilla suurempi lisäkasvu. Molemmissa tapauksissa P/C -suhteen vapaan säädeltävyyden edellytyksenä on, että tuotetta voidaan myydä kautta vuoden ja lähtöateriaalia on saatavissa useita kertoja vuodessa. Lohikalojen ruokakalatuotannossa tämä on mahdollista.

6. JÄTELÄMMÖN HYVÄSIKÄYTTÖMAHDOLLISUUDET LÄMMÖN TUOTTAJIEN MUKAAN

Jätelämmön tuottajien antamat tiedot lämmön tuoton säännöllisyydestä sekä virtaaman ja lämpötilan vaihtelusta olivat useimmissa tapauksissa riittävät. Näiden kriteerien perusteella tehtiin arvio kalanviljelyn tuotantokapasiteetista. Sen sijaan tiedot veden laadusta, kalanviljelylaitoksen sijoittamismahdollisuuksista ja siihen liittyen veden siirtoetäisyyksistä jäivät useissa vastauksissa puutteellisiksi. Koska tämän tutkimuksen puitteissa ei ollut mahdollisuuksia kunkin kohteen lähempään tarkasteluun, on veden laatua jä käsittelytarvetta arvioitu jätelämmön tuotantoprosessin perusteella; kalanviljelyn rakentamisedellytyksistä tehty arvio on siten varsin karkea. Veden siirto- ja käsittelykustannuksia on arvioitu jätelämmön laadun, lämpötilan ja ilmoitettujen siirtoetäisyyksien perusteella. Näiden kriteerien sekä yrityksen oman suhtautumisen perusteella on kohteet luokiteltu neljään toteuttamiskelpoisuusluokkaan. Kaikissa tapauksissa ei luokittelua ole puutteellisista tiedoista johtuen voitu tehdä. Muutamassa kohteessa on tarkasteltu erikseen yrityksen eri tyyppisiä jätelämpölähteitä (esim. puhdas jäähdytysvesi/jätevesi).

Tulokset on koottu yhteen taulukossa 1. Koska tiedot on kerätty luottamuksellisina laitosten nimet on jätetty pois taulukosta. Tarkempia tietoja antaa RKTL:n kalanviljelytutkimusosasto.

6.1. Jätelämmön tuoton säännöllisyys ja jätelämmöllä saavutettava kalanviljelyn tuotantokapasiteetti

Kalanviljelyn tuotantokapasiteetti arvioitiin lähinnä jätelämmön tehon (virtaaman ja lämpötilan) avulla, jolloin kalatonnin (teuraskirjolohti) tuottamiseen tarvittavaksi vesimääräksi määritettiin 5 l/s. Tämän vesimäärän riittävyys saattaa tilapäisesti edellyttää veden hapetusta ja/tai uudelleenkierrätystä. Tuotannon suuruusluokkien määrittämiseen käytettiin Kalatalouden Keskusliiton kalanviljelylaitosluettelossa olevaa luokitusta.

Vastanneista teollisuus- ja voimalaitoksista 15:ssä (37 %) jätelämmön määrä mahdollistaa "suuren" kalatuotannon (>50 t teuraskirjolohta) ja lisäksi kolmessa tapauksessa päästiin n. tälle

rajalle. Lopuista kohteista 8-14:ssa on mahdollista päästä "keskisuureen" (20-50 t) tuotantoon ilman lämmön talteenottoa kalanviljelyn poistovesistä.

Kunnallisista puhdistuslaitoksista useimmat sijoittuivat "keskisuuren" tuotannon luokkaan. Kyselyn ulkopuolelta molemmat ydinvoimalaitoksemme tarjoavat lämpimän jäähdytysveden saatavuuden suhteen lähes rajattoman kalanviljelyn tuotantokapasiteetin.

Jätelämmön tuotto oli valtaosassa kohteista jatkuvaa lukuunottamatta lyhyitä tilapäisiä katkoksia. Kuudessa "suuren" tai "keskisuuren" tuotantokapasiteetin kohteessa katkoksia oli yleisemmin. Kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla ongelmia saattaa aiheuttaa yöajan minimivirtaama. Lievä lämpötilan lasku yöllä ei kuitenkaan liene haitallista.

6.2. Jätelämpöä sisältävän veden laatu ja käsittely

Vain harvoissa kyselyn piiriin kuuluneissa laitoksissa jätelämpöä sisältävän veden lämpötila ja laatu mahdollistavat kalanviljelyn suoraan tässä vedessä. Vastanneista ko. kohteita oli korkeintaan kuusi, minkä lisäksi ydinvoimaloidemme jäähdytysvesi on sellaiseenaan käyttökelpoista kalanviljelyyn. Myös useissa muissa voimalaitoksissa tuotetaan lämpötilaltaan ja laadultaan kalanviljelyyn sopivaa jäähdytysvettä, mutta sen tuotanto on usein epäsäännöllistä tai jäähdytysvesi sekoitetaan likaisiin jätevesiin.

Kahdessatoista kohteessa jätelämmön laatu mahdollistanee sen käytön kalanviljelyyn sekoituksen ja/tai kevyen esikäsitteilyn jälkeen. Valtaosassa tapauksista tarvitaan kuitenkin lämmön siirto puhtaaseen veteen. Teollisuuslaitosten jätevesistä suuressa osassa on lämpötila lohenviljelyn kannalta riittävä "normaaleilla" lämmönsiirtokertoimilla (0.5-0.7). Sen sijaan kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla tarvitaan lisäksi lämpötilan nostoa lämpöpumpulla. Teollisuus- ja voimalaitoksista lämpöpumppua tarvitaan n. viidessä kyselyn kohteessa.

Eräissä laitoksissa puhdasvesilähteen etäisyys on ongelma. Tätä koskevat tiedot ovat kuitenkin varsin puutteelliset. Viidessä kohteessa tiedon antaneista puhdasvesilähteen etäisyydeksi on ilmoitettu vähintään 1 km.

6.3. Edellytykset kalanviljelyrakentamiselle

Jätelämpöä käyttävän kalanviljelyn keskeisiä ongelmia on viljelylaitokselle sopivan paikan löytäminen riittävän läheltä jätelämmön lähdettä sekä jätelämpö- ja puhdasvesilähteen vertikaalinen sijainti kalanviljelyyn nähden. Pitkät pumppausetäisyydet ja suuret nostokorkeudet kohottavat investointi- ja käyttökustannukset helposti liian suuriksi. Valtaosassa (80 %) kyselykohteista on vesi kalanviljelyyn pumpattava, mutta pumppauskorkeudet - milloin niistä on tietoja annettu - ovat yleensä kohtuullisia (<5 m). Ehkä suuremman ongelman muodostaa sopivan kalanviljelypaikan etäisyys lämmönlähteestä tai puhdasvesilähteen etäisyys. Tiedot antaneista teollisuus- ja voimalaitoksista vain kymmenen

ilmoitti kalanviljelylaitoksen rakentamisen lähialueelle mahdolliseksi, kunnallisista jäteveden puhdistamoista kolme. Huomattava osa vastaajista jätti kuitenkin kysymyksen avoimeksi. Kaiken kaikkiaan veden siirtoetäisyydet ja muut rakentamisedellytykset ovat tämän kyselyn perusteella merkittävin kalanviljelyä rajoittava tekijä.

6.4. Yrityksen suhtautuminen kalanviljelyyn

Lähes puolet vastaajista ei ottanut kantaa kalanviljelyn sopivuuteen ja suotavuuteen. Kahdeksassa kohteessa kalanviljelyhanke katsottiin mahdolliseksi. Viidessätoista kohteessa ei olosuhteita kalanviljelylle pidetty sopivina tai kalanviljelyä muuten suotavana. Lisäksi kahdeksassa kohteessa lähinnä muutokset jätelämmön tuotossa aiheuttivat sen, ettei kalanviljelykyselyyn katsottu aiheelliseksi antaa tarkempia tietoja. Negatiiviseen suhtautumiseen vaikutti eräissä tapauksissa se, ettei lämmön siirtomahdollisuutta puhtaaseen veteen ollut otettu huomioon.

6.5. Kalanviljelyhankkeen toteuttamiskelpoisuus

Edelläesitettyjen tekijöiden perusteella on taulukossa 1 arvioitu kohdekohtaisesti kalanviljelyhankkeen toteuttamiskelpoisuutta. Arvio on tietojen puutteellisuuden vuoksi hyvin karkea. Ensimmäiseen toteuttamiskelpoisuusluokkaan, jossa jätelämmön käytön aiheuttamat lisäkustannukset ovat saavutettuun hyötyyn nähden pienet, sijoittui ydinvoimaloiden lisäksi neljä kohdetta. Kahdeksassa muussa kohteessa arvioitiin jätelämmön hyödyntäminen kannattavaksi, mutta näissä tämä hyödyntäminen aiheuttaa jo huomattavia lisäkustannuksia (luokka 2). Suuressa osassa kohteita (21 kpl, luokka 3) jätelämmön hyödyntämisen kustannukset heikentävät oleellisesti kannattavuutta tai kalanviljelyn edellytykset ovat muutoin heikot. Ensinmainitussa tapauksessa voitaneen kannattavuutta parantaa lisäämällä tuotantoa suhteessa vedentarpeeseen esim. viljelylajia vaihtamalla ja/tai viljelyveden uudelleenkäytöllä. Muissa kohteissa (17 kpl) edellytykset kalanviljelylle olivat riittämättömät tai annetut tiedot liian puutteelliset arvion tekemiseksi.

7. ESIMERKKIKOHTEIDEN TARKASTELU

Kyselyn perusteella valittiin esimerkkikohteiksi Kemiran Siilinjärven kaivos ja tehdas, Enso-Gutzeitin Uimaharjun tehdas ja Kuopion kaupungin jätevedenpuhdistamo, jotka edustavat jätelämmön hyväksikäytön tekniikaltaan erilaisia tyyppejä. Tuotantolinjaksi valittiin teuraskirjolohen tuotanto mädistä lähtien keinoaltaisissa. Tällaisen tuotantolinjan kannattavuus nykyisellä kirjolohen hinnalla on heikko viljeltäessä luonnon lämpötilassa, koska pääomakustannukset kohoavat liian suuriksi. Teuraskirjolohen tuotannon kustannuksista on kuitenkin saatavissa parhaiten meidän oloihimme sovellettavaa tietoa, ja se tarjoaa joka tapauksessa vertailumahdollisuuden luonnonlämpötilassa tapahtuvan ja eri tavoin jätelämpöä hyväksikäyttävän viljelyn välillä. Laskelmat on tehty v. 1986 kustannustason mukaisesti.

Laitoksen koko mitoitettiin 100 tonnin kalakuorman perusteella, joka edellyttää n. 5000 m²:n allaspinta-alaa ja 500 l/s tulovesitystä. Perinteisellä viljelymenetelmällä laskettiin laitoksen tuotannoksi 78 t/v, lämminvesiviljelyssä lähtömateriaalin saataavuudesta riippuen seuraavasti:

- 100 t, mikäli lähtömateriaalia saatavissa vain kerran vuodessa
- 150 t, mikäli lähtömateriaalia saatavissa jatkuvasti.

Jälkimmäinen vaihtoehto on realistinen ja ainoa mielekäs lämpimiä vesiä tehokkaasti hyödynnettäessä, joten se on otettu kustannusvertailun pohjaksi.

Esimerkki 1: Kemiran Siilinjärven tehtaat ja kaivos

Jätelämpö on puhdasta jäähdytysvettä, jonka lämpötila on talvella n. 15° ja kesällä n. 30°. Sekoittamalla järvivettä jäähdytysvetten saadaan haluttu viljelylämpötila. Jäähdytysvesi lienee mahdollista johtaa omalla paineellaan, järvivesi on pumpattava laitokselle. Mikäli jäähdytysvettä ei saada vapaalla paineella, lienee syytä käyttää yhteistä pääpumppaamoa molemmille vesityslähteille pumppaamoinvestointien pienentämiseksi. Nostokorkeus on n. 5 m, putkiston pituus 300 m, putken halkaisija 0.5 m ja painehäviö virtauksella 500 l/s n. 1 m/100 m. Tarvittava pumpun teho on tällöin 40 kW.

Investointikustannukset (kmk):

- viljelytilat vesityksineen ja säätölaitteineen	3000
- pumppaamo	400
- putkisto	200

Yhteensä 3600

Veden/lämmön siirron käyttökustannukset:

- pumput 64 kmk/v.

Esimerkki 2: Enso-Gutzeitin Uimaharjun tehtaat

Jätelämpö on likaista puunjalostusteollisuuden jätevettä, jota ei voida käyttää sellaisenaan eikä kevyellä käsittelyllä kalanviljelyyn. Lämpötila on talvella n. 20°, joten siirtämällä lämpö lämmönvaihtimella puhtaaseen luonnonlämpöiseen veteen saavutetaan haluttu lämpötila (n. 12°). Vesi kalanviljelyyn saadaan läheisestä Rukajärvestä, josta se on pumpattava kalalaitokselle. Jäteveden johtaminen ainakin osittain omalla paineellaan lämmönsiirtimeen lienee mahdollista. Pumppauskorkeus 5 m, putkiston pituus 450 m, halkaisija 0.5 m ja painehäviö 500 l/s -virtauksella 5 m. Pumppujen teho yht. 80 kW. Lämmönvaihtimen teho 23 MW (500 kg/s * 4.186 kJ/kgC° * 11°C).

Investointikustannukset (kmk):

- viljelytilat vesityksineen ja säätölaitteineen	3000
- pumppaamot	600
- putkisto	300
- lämmönvaihdin	1200

Yhteensä 5100

Veden/lämmön siirron käyttökustannukset:

- pumppaus 200 kmk/v.

Esimerkki 3: Kuopion kaupungin jäteveden puhdistamo

Mitoitustilanteessa laitoksen vesitykseen käytettävän järiveden (Kallavesi) lämpötila on $+1^{\circ}$, joka lämmitetään jätevedellä lämmönvaihtimessa 8° :een. Lämmönvaihtimen teho 14.6 MW ($500 \text{ kg/s} * 4.186 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} * 8^{\circ}\text{C}$). Loppulämmitys lämpöpumpulla 12° :een. Lämpöpumpun teho 8.4 MW ($500 * 4.186 * 4$). Lämpöpumpun lämpökerroin mitoitetaan 18:ksi. Lämpöpumpun tehontarve $8.4 \text{ MW}/18 = 465 \text{ kW}$. Sekä järvi- että jätevesi on pumpattava siirtimeen, nostokorkeus 5 m. Putkiston pituus 200 m, halkaisija 0.5 m ja painehäviö 2 m. Pumppausteho 50 kW.

Investointikustannukset (kmk):

- viljelytilat vesityksineen ja säätölaitteineen	3000
- pumppaamot	400
- putkisto	200
- lämmönvaihtimet	2900
- lämpöpumppu	3300

Yhteensä 9800

Veden/lämmön siirron käyttökustannukset:

- veden pumppaus 100 kmk/v
 - lämpöpumpun käyttö (200 vrk/v) 446 kmk/v.

Esimerkki 3B: edellinen esimerkki siten, että käytetään veden uudelleenkierrätystä, jossa tuoreen tuloveden osuus 50 %.

Investointikustannukset (kmk):

- viljelytilat vesityksineen	3000
- pumppaamo	500
- putkisto	150
- lämmönvaihtimet	1500
- lämpöpumppu	1700

Yhteensä 6850

Veden/lämmön siirron käyttökustannukset (kmk):

- veden pumppaus 150 kmk/v
 - lämpöpumpun käyttö 223 kmk/v.

Esimerkkikohteiden tuotto/kustannus -vertailu:

Seuraavassa taulukossa 1 esitetyt laskelmat perustuvat mm. seuraaviin arvioihin:

- kalan myyntihinta on normaalisesongin puitteissa keskimäärin 22 mk/kg, ympärivuotisen myynnin keskihinta on 25 mk/kg
 - rehukustannukset ovat suoraan suhteessa kalatuottoon

Taulukko 1. Luonnon lämpötilassa tapahtuvan ja eri tavoin jätelämpöä hyväksikäyttävän kirjoloihen viljelyn tuotto/kustannusvertailu. Selitykset tekstissä.

	Viljely luonnon lämpötilassa	Siilinjärvi Jäähd. veden suora käyttö	Uimaharju Lämmön siirto vilj. veteen	Kuopio Lämmön siirto ja lämpöt. nosto	Kuopio Edellinen 50 % uudelleenkierr.
<u>Tuotanto:</u>					
Max. kalamassa (t)	100	100	100	100	100
Vuosituotanto (t)	78	150	150	150	150
Myyntitulot kmk	1716	3750	3750	3750	3750
<u>Kustannukset (kmk):</u>					
<u>Muuttuvat:</u>					
Rehut	634	1237	1237	1237	1237
Mäti	15	20	20	20	20
Muut muuttuvat kustannukset	195	375	375	375	375
<u>Kiinteät:</u>					
Palkat	250	250	250	250	250
Veden/lämmön siirron käyttökust.	-	64	200	546	373
Muut kiinteät kustannukset (sähköt, huollot, vuokrat, vakuutukset, isännöinti)	200	300	300	300	350
<u>Käyttökate</u>	422	1504	1368	1022	1145
<u>Pääomakustannukset</u>	682	792	1122	2156	1507
<u>Tulos</u>	-260	+712	+246	-1134	-362

- muut muuttuvat kustannukset (mm. perkauksen ja pakkauksen aiheuttamat työvoimakustannukset) ovat 2.5 mk/kg - pääoman korko on 10 % ja kuoletus 12 % (Nordisk Ministerråd, 1985).

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1. Sopivien jätelämpölähteiden määrä ja alueellinen jakautuma

Laajamittaiseen kalanviljelyyn soveltuvia kohteita, joissa lämmön ja veden siirtokustannukset muodostunevat kohtuullisiksi, löytyi kyselyn perusteella 10-12. Näiden lisäksi jätelämpöä käytetään hyödyksi, joskin vasta pieneltä osin, molemmilla ydinvoimaloilla lamme. Huomattava osa muidenkin lauhdevoimalaitosten jäähdytysveistä soveltuu kalanviljelyyn, mikäli niiden käyttöaste lisääntyy olennaisesti.

Puolet kyselyn perusteella soveltuvista kohteista sijaitsee rannikolla, toinen puoli Järvi-Suomen alueella.

Soveltuvuutta on tarkasteltu lähinnä runsaasti hyvälaatuista vettä vaativan suurikokoisen kirjolohen viljelyn perusteella. Käytettäessä tuotantolinjoja, joissa veden tarve on pieni (esim. mädin haudonta ja pikkupoikasten tuotanto) ja/tai vaatimukset veden laadusta vähäisemmät (esim. ankeriaan viljely), voidaan jätelämpöä hyödyntää huomattavasti laajemminkin. Myös veden uudelleenkäyttökniikan kehittyminen laajentaa jätelämmön käyttömahdollisuuksia.

8.2. Lämminvesiviljelyn kustannuskysymys

Hyödynnettäessä jätelämpöä viljelyveden käytön kustannukset aiheutuvat pääosin lämmön ja veden siirron vaatimista investoinneista. Mikäli lämmön hyödyntämisessä käytetään lämpöpumppua, ovat myös lämmön noston vaatimat energiakustannukset merkittävät.

Jos jätelämpöä sisältävä vesi on riittävän hyvälaatuista kalanviljelyyn, aiheutuvat jätelämmön käytön kustannukset lämpimän ja luonnonlämpötilaisen veden pumppaamisesta, pääosin pumppaamo- ja putkistoinvestoinneista. Mikäli pumppausetäisyydet ja nostokorkeudet eivät ole erityisen suuret, jäävät kustannukset huomattavasti pinemmiksi kuin lämpimän viljelyveden mahdollistama tuotannon kasvu. Ryhdyttäessä konkreettiseen laitossuunnitteluun on syytä selvittää mahdollisuudet jätelämmön tuottajan oman pumppaamon käyttämiseksi kalalaitoksen vesitykseen.

Jos jätelämpö joudutaan siirtämään puhtaaseen veteen, kustannuksia aiheuttaa em. seikkojen lisäksi lämmönvaihtimen investointi. Tällöin jätelämmön hyödyntämisen kannattavuus riippuu oleellisesti pumppausetäisyydestä ja nostokorkeudesta.

Mikäli jätelämmön lämpötila jää samaan tai matalammaksi kuin haluttu viljelyveden lämpötila, joudutaan lämpötilaa nostamaan lämpöpumpulla. Lämpöpumpun ja lämmönsiirtimien investointikustannukset sekä lämpöpumpun käyttökustannukset ovat niin suuret,

ettei suurikokoisen kirjolohen viljely -ainakaan ilman tehokasta veden uudelleenkäyttöä ole kannattavaa. Mikäli lämpöpumpua käytetään vähän vettä vaativissa viljelyn vaiheissa ja jatkokasvatus tapahtuu viileämmässä vedessä, jäävät lämpöpumpun investointi- ja käyttökustannukset oleellisesti pienemmiksi. Liitteessä 2 on lyhyt kustannustarkastelu alle vuoden vanhojen kirjolohen poikasten tuotannosta lämpöpumpun avulla lämmitetyssä vedessä.

Esimerkistä havaitaan, että lämmitetyn veden avulla tuotetut poikaset muodostavat sekä määrältään että erityisesti rahallisel- ta arvoltaan pääosan tuotannosta kyseisissä olosuhteissa. Ulkoi- sen lämmönlähteen (jäte/jäähdytysveden) käyttö ei kuitenkaan tämällytyypisessä ratkaisussa oleellisesti paranna kannattavuutta.

8.3. Viljelynäköalat lämpimässä vedessä ja alan tutkimustarpeet

Lämmitetyn veden käyttö avaa runsaasti uusia mahdollisuuksia kalanviljelyssä. Nyt viljelyssä olevien lajien tuotantokierron nopeutumien ja irtautuminen tiukasta sidonnaisuudesta vuodenai- kaiskiertoon merkitsee, paitsi ruokakalan tuotannon tehostumista ja markkina-ajan pidentymistä, parantuneita mahdollisuuksia emo- kalakantojen ylläpitoon ja kalanviljelyn lähtömateriaalin jatku- vaan tuotantoon. Tällä tavoin voidaan tehostaa myös luonnon läm- pötilassa tapahtuvaa viljelyä.

Toinen merkittävä lämmitetyn veden tarjoama etu on mahdollisuus varsinaisten lämpimän veden lajien viljelyyn. Näistä erityisesti ankerias täyttää lämminvesiviljelyn edellytykset: sen lämpötila- optimi on korkea, veden määrä- ja laatutarve pieni ja hinta kor- kea. Myös ravun viljelyssä kannattavuuden edellytyksenä on lämpi- män veden käyttö.

Jätelämmön hyödyntämisen tärkeimmät tutkimusalueet ovat lämmön- siirtotekniikan kehittäminen kalanviljelyn tarpeisiin, eri kala-, rapu- ja nilviäislajien soveltuvuus lämminvesiviljelyyn, muuttu- neen vuodenaikaisrytmiikan viljelybiologiset vaikutukset sekä lämminvesiviljelyn tuotto/kustannus -vertailu.

Koska hyvälaatuista jätelämpöä on - ydinvoimaloitamme lukuunotta- matta - rajoitetusti käytettävissä laajamittaiseen kalanvilje- lyyn, on syytä kehittää menetelmiä veden/energian tarpeen vähen- tämiseksi kalanviljelyssä. Tällaisia menetelmiä ovat mm. lämpö- pumpun käyttö ja lämmön talteenotto sekä viljelyveden uudelleen- kierrätys. Kalanviljelyn vaatiman suuren vesimäärän ja toisaalta verraten pienen lämpötilan noston vuoksi muihin tarkoituksiin kehitetyt lämmön siirto- ja talteenottomenetelmät eivät ole sel- laisenaan sovellettavissa kalanviljelyyn.

Vaikka lämpimien vesien käytöstä kalanviljelyssä on jo jossain määrin kokemuksia, tarvitaan lämmön tehokkaaksi hyödyntämiseksi vielä runsaasti tietoa mm. eri viljelylajien sopeutumisesta muut- tuneisiin lämpötilaoloihin ja vuodenaikaisrytmiikkaan. Tämä edel- lyttää laajamittaisia viljelykokeita useilla potentiaalisilla lämminvesiviljelylajeilla.

Lämminvesiviljelyn kustannuskysymysten selvittämisessä on keskeisellä sijalla yksityisten viljelijöiden ja jätelämmön tuottajien yhteistyön kehittäminen ja perustettavien jätelämpölaitosten seuranta. Tämän raportin tarkoituksena onkin ensisijaisesti osoittaa kalanviljelijöille potentiaalisia kohteita lämminvesiviljelylle. Tarkempien tietojen saamiseksi viljelijöitä pyydetään ottamaan yhteys tutkimuksen tekijöihin.

8.4. Jätelämmön hyödyntämisen energiataloudellinen merkitys

Maassamme tuotetusta jätelämmöstä suuri osa on matalalämpöistä hukkalämpöä, jonka hyödyntäminen teollisuudessa tai kunnallistekniikassa ei nykyisin ole taloudellisesti kannattavaa. Tällaisen jätelämmön siirto kalanviljelykäyttöön vaatii huomattavasti vähemmän kustannuksia. Kalanviljelyn energiantarve on suuri, joten muilta edellytyksiltään kalanviljelyyn soveltuvissa kohteissa voidaan huomattava osa jätelämmöstä hyödyntää. Lisäksi on huomattava, että useimmissa tapauksissa kalanviljelyssä käytetty jätelämpö voidaan edelleen hyödyntää mahdollisiin muihin tarkoituksiin.

KIRJALLISUUS

ALABASTER, J.S., LLOYD, R., 1980: Water quality criteria for fresh water fish. Cambridge, 297 pp.

ESKELINEN, U. 1988: Kalanviljely Suomessa vuonna 1984. Suomen Kalatalous 54:39-40.

HAKANEN et. al. 1987: Kalanviljelyn elinkeinotutkimus. KERA Oy, Kuopio, 84 s.

KAUPPA- JA TEOLLISUUSMINISTERIÖ, Energiaosasto, 1986: Kaukolämpöpumput - Yhdyskuntien ja teollisuuden jätelämpöä kaukolämpöön hyödyntävien lämpöpumppujen potentiaali Suomessa. Ekono Oy, sarja D:98.

NORDISK MINISTERRAD, 1985: Energiekonomisering i akvainsustriens eller utnyttelse av spillvarme til akvakulturformål. Toim. E. Lygren, Köbenhavn, 80 pp.

TIEWS, K. 1981a: Aquaculture i Heated Effluents and Recirculation systems. Vol I. Proceedings of a EIFAC and ICES World Symposium in Stavanger, May 28.- 30., 1980.

TIEWS, K. 1981b: Aquaculture in Heated Effluents and Recirculation systems. Vol. II. Proceedings of a EIFAC and ICES World Symposium in Stavanger, May 28.-30., 1980.

Valtion kalanviljelyn tavoitetyöryhmän muistio 1988. Työryhmämuistio, Maa- ja metsätalousministeriö. 1988:14.

WESTMAN, K. & LOUHIMO, J., 1983: Ydinvoimalaitoksen lämpimiä

jäähdytysvesiä käyttävän kalanviljelylaitoksen suunnittelu. Monistettuja julkaisuja 14:17-25, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto.

WESTMAN, K., SAVOLAINEN, R., LOUHIMO, J. & PURSIAINEN, M. 1983: Lohenpoikasten kasvatuskoe Olkiluodon ydinvoimalan jäähdytysvedessä talvella 1981-1982. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 50 s. Helsinki.

WESTMAN, K., SAVOLAINEN, R., LOUHIMO, J. & PURSIAINEN, M. 1984: Lohenpoikasten kasvatuskoe Olkiluodon ydinvoimalan jäähdytysvedessä talvikautena 1982-1983. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 49 s. Helsinki.

WESTMAN, K., 1985: Lohenpoikasten kasvatuskokeet Olkiluodon kalanviljelylaitoksessa. Monistettuja julkaisuja 31:61-65, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto.

WESTMAN, K., 1986: Lohenpoikasten kasvatuskoe Olkiluodon kalanviljelylaitoksessa talvikautena 1982-1983. Monistettuja julkaisuja 51:111-113, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto.

WESTMAN, K., BÄCKSTRÖM, M. & WESTMAN, P. 1989: Vesiviljely Suomessa. Kirjassa: Tietoja kalanviljeystä, toim. Kaisa Rossi, Suomen Lohenkasvattajan Liitto r.y..

LIITE 1. Yhteenveto jäteilmän tuottajien antamista tiedoista ja arvio kalanviljelyn tuotannosta, kustannuksista ja kalanviljelyhankkeen toteuttamiskelpoisuudesta. Yläviitteiden selitykset:

a) virtaama- ja lämpötilatietojen perusteella arvioitu

1) tauot: 1 - tauoton tai lyhyitä taukoja, ei usein
2 - pitkiä taukoja, ei usein
3 - jatkuvia taukoja

2) Veden käsittely: 1 - voidaan käyttää sellaisenaan
2 - sekoitus tai vähäinen käsittely
3 - lämmön siirto puhtaaseen veteen
4 - lämmön siirto ja lämpötilan nosto lämpöpumpulla

3) puhtaan veden etäisyys (m)/ pumppaustarve (on/ei)/ rakennettavuus

4) Tuotannon suuruusluokka: 1 - suuri (>50 t)
2 - keski suuri (20-50 t)
3 - pieni (<20 t)

5) Veden siirto- ja käsittelykustannukset: 1 - pienet
2 - keski suuret
3 - suuret

6) Yrityksen suhtautuminen ja toteuttamiskelpoisuusluokka:

- + - kalanviljelyä jäteilmässä pidetään mahdollisena ja suotavana
- - kalanviljelylle ei katsota olevan edellytyksiä tai sitä ei pidetä muista syistä suotavana
- ? - ei otettu kantaa
- 1 - toteutettavissa, jäteilmän käyttöön asetettavat lisäinvestoinnit ja käyttö-kustannukset pienet
- 2 - toteutettavissa, mutta veden siirto- ja käsittelykustannukset ja/tai lämmönsiirtokustannukset huomattavat
- 3 - suuret veden siirto- ja käsittelykustannukset ja/tai lämmönsiirtokustannukset heikentävät oleellisesti kannattavuutta tai rakentamisedellytykset heikot
- 4 - edellytykset kalanviljelylle huonot

Jäteilmän teho (MW _e) min max	talviaikainen virtaama (l/s) min max	lämpötila (°C) min max	tautit	Veden laatu/ käsittely	Rakentamis- edellytykset	Tuotanto- arvio	Veden siirto- ja käs. kust.	Yrityksen suhtautuminen ja muu toteutuskelpoisuus
--	---	---------------------------	--------	---------------------------	-----------------------------	--------------------	--------------------------------	--

Teollisuus ja voimalaitokset

Voimalaitokset

1) Lauhdetuotto hyvin tilapäistä, v. 1984 tuottoa vain 22 t								
2) 40 80 1000 2000	1	12	1	Jäähd./1-2,4	900/ ei/ huono	1	1	7/2
3) 2 4 100 200	5	7	1	Jäähd./1-2	?/ on/ mahd.	2	1-2	7/2
(Ydinvoimalat, kyselyn ulkopuolelta:)								
4) 2400	60 000	10 17	1	Jäähd./1	?/ on/ mahd.	1	2	+/1
5) 2000	50 000	10 17	1	Jäähd./1	?/ on/ mahd.	1	1-2	+/1

Jätelämmön talviaikainen teho (MW_e) virtaama (l/s) lämpötila (°C) tautot₁ Veden laatu/ käsittely₂ Rakentamis- edellytykset₃ Tuotanto- Veden siirto- ja käs.₄ Yrityksen suhtau- tuminen ja muu toteutuskelppoisuus₅

Kemian teollisuus

23)	8	8	195	195	10	15	1	Jäte+jäähd./3	1000/ on/ ?	2	3	?/4
24)	Muuttuneen tilanteen vuoksi ei riittävää määrää jätelämpöä											
25)	Muuttuneen tilanteen vuoksi ei riittävää määrää jätelämpöä											
26)	50	75	870	960	15	20	1	Jäähd./1-2	500/ on/ mahd.	1	2	?/2
27)	45	45	1000	1000	10	12	1	Jäähd./1	100/ ? / mahd.	1	1	+/1
28)	25	30	350	350	20	30	1	Jäte+jäähd./3	?/?/ huono	1-2	3	-/3
29)	64	220	800	1600	20	40	1	Jäähd./2	-/ ei/ ?	1	1-2	+/1
30)	12	60	300	600	10	30	1	Jäähd./2	-/ ei/ ?	1	1-2	+/1

Vuori-, metalli- ja rakennusaineteollisuus

31)	13	48	220	800	15	20	1-2	Jäte/jäähd./3	300/ on/ huono?	1-2	1-2	-/4
32)	1	16	80	800	4	25	1	Jäte/jäähd./3	?/?/huono	2-3	3	-/4

33) Ei ilmeisesti tätä nykyä kalanviljelykäyttöön sopivaa jätelämpöä

34)	7	34	237	1209	7	12	1	Jäte/jäähd./2	?/ on/ huono	1-2	2-3	-/3
	35	65	1269	2349	7	12	1	Jäte./2-4	?/ on/ huono	1	2-3	-/3

Elintarvike- ja lääkteollisuus

35)	<1	2	<1	22	22	22	3	Jäte/3	200/ ?/ ?	3	2-3	?/4
36)	7	0	35	?	?	?	2	Jäte/jäähd./3	2000/ on/ huono	3	3	-/4
37)	<1	1	80	80	2	6	1	Jäähd./1.4	1000/ ei/ ?	3	1	?/3
38)	6	15	58	155	25	25	1?	Jäähd./2	?/?/?	2	?	?/?
39)	4	20	60	170	15	35	3	Jäte/jäähd./3	100/ on/ mahd.	2	2	+/2

40) Ei enää merkittävää määrää jätelämpöä

	Jäteveden virtaus (l/s)		lämpötila (°C)		tautit	Veden laatu/ käsittely	Rakentamis- edellytykset	Tuotanto- arvio	Veden siirto- ja käs. toteutus	Yrityksen suhtautuminen ja muu
	min	max	min	max						

Kunnalliset jätevedenpuhdistamot

Heisinki

-Viikki	6	18	278	890	5	12	1	Jäte/4	2000/ on/ ?	1-2	3	3	?	3	?	3
-Kyläsaari	13	97	485	3480	7	13	1	Jäte/4	100/ on/ huono	1	3	3	-	3	-	3
-Vuosaari	6	29	186	917	8	14	1	Jäte/4	2000/ on/ ?	2	3	3	?	3	?	3
-Lauttasaari	1	6	28	195	8	15	1	Jäte/4	150/ on/ huono	3	3	3	-	3	-	4
-Munkkisaari	3	11	84	347	8	15	1	Jäte/4	300/ on/ huono	2-3	3	3	-	3	-	4

Puhdistamot on liitetty tai tullessaan liitettävään Viikin-Katajalaudon purkutunneliin, jonka jätelämpö määrä on huomattava. Mikäli lämmön talteenotto ja kalanviljelylle voidaan löytää sopiva sijoituspaikka, ja mahdollisesti johtaa meriveden ohella myös Päijännetunnein vettä kyseiselle paikalle, mahdollistuu laajamittainen ja monipuolinen kalanviljely.

Joensuu

Kouvola	1	9	63	365	6	13	1	Jäte/4	200/ on/ ?	3	3	3	?	4	?	4
Kuopio	3	30	100	600	8	16	1	Jäte/4	30/ on/ mahd.	2	3	3	+	3	+	3
Oulu	3	40	150	1000	5	20	1	Jäte/4	300/ on/ mahd.	1-2	3	3	+	3	+	3
Rovaniemi	4	10	138	347	7	10	1	Jäte/4	500/ on/ ?	2	3	3	?	3	?	3
Seinäjohti	1	10	163	493	2	5	1	Jäte/4	30/ on/ mahd.	2	3	3	-	4	-	4
Tampere	30	65	520	1200	14	18	1	Jäte/4	?/ on/ huono	3	3	3	-	3	-	3
Turku	2	>100	150	4300	3	18	1	Jäte/4	500/ on/ huono	1-2	3	3	-	3	-	3
Vaasa	6	11	150	250	9	17	1	Jäte/4	10/ on/ ?	2	3	3	?	3	?	3

LIITE 2. Esimerkki kirjolohen pikkupoikasten tuotantokustannuksista, kun viljelyvettä talvella lämmitetään lämpöpumpulla. Laskelmat tehty v. 1986 kustannustason mukaisesti.

- laitoksen tuotanto 200 000 5 gramman painoista kirjolohen poikasta seuraavalla aikataululla: lypsy tammikuussa, kuoriutumisen helmikuussa, ruokinnan aloitus maaliskuussa, poikaset myydään kesäkuun lopussa, ja laitosta käytetään loppuvuoden normaaliryttimien mukaan tuotettujen vastakuoriutuneitten poikasten jatkokasvatukseen (100 000 kpl 20 g:aan). Käytettävä vesimäärä 10 l/s, uudelleenkierrätys, jossa tuoreen veden osuus 30 %, lämpötilan nosto 11^o.

Investointikustannukset (kmk):

- viljelytila vesityksineen ja säätölaitteineen	1000
- lämpöpumppu (460 kW/18 = 25 kW)	180
- pumput 4 kW 2 kpl	12
<hr/>	
- yhteensä	1192

Veden ja lämmön siirron käyttökustannukset (kmk):

- veden pumppaus 14 kmk/v
- lämpöpumpun käyttö 24 kmk/v

Tuotanto: 300 000 kpl 5-g poikasia kesäkuussa à 2 mk = 600 kmk
 sekä 100 000 kpl 20-g poikasia lokakuun alussa à 1.76 mk = 176 kmk, yhteensä 776 kmk (lähde: Lohikunnan poikashinnat 1987).

Kustannukset:

- Muuttuvat: Rehu 35 kmk
 Mäti ja vastakuoriutuneet 55 kmk
 Muut muuttuvat kustannukset 20 kmk
- Kiinteät: Palkat 200 kmk
 Veden/lämmön siirron käyttökustannukset 38 kmk
 Muut kiinteät kustannukset 100 kmk
- Yhteensä: 448 kmk

Käyttökate 328 kmk, pääomakustannukset 262 kmk, tulos +66 kmk

RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS, KALANTUTKIMUSOSASTO

MONISTETTUJA JULKAISUJA

- No 69. HEIKINHEIMO-SCHMID, O. ja HUUSKO, A.: Kemijärven kalatalouden nykytila ja ehdotukset kalakantojen hoitotoimenpiteiksi. Helsinki 1987. 212 s.
- No 70. AHLFORS, P., KUMMU, P. ja WESTMAN, K.: Karppi Suomessa — Katsaus viljely- ja istutustoimintaan 1951—1981. s. 1—22.
AHONEN, M.: Kalkituksen, lannoituksen ja istutustiheyden vaikutukset Inarin luonnonravintolammikoiden siianpoikastuot-
toon vuosina 1976—1983. s. 23—45.
KALLIO-NYBERG, I. ja PRUUKI, V.: Tornionjoen lohikannan kutunousu ja monimuotoisuus. s. 47—74.
SARJAMO, H.: Jerisjärven kalastus ja siikakannat vuosina 1978—1982. s. 75—104. Helsinki 1987.
- No 71. HONKASALO, L. ja JOKIKOKKO, E.: Uittoperkaukset ja perattujen jokien kunnostus kalatalouden kannalta. s. 1—45.
JUTILA, E.: Lohenpoikastuotannon ja kalansaaliiden kehitys Simojoessa koskien kunnostuksen jälkeen vuosina 1982—1985.
s. 47—96.
KÄNNÖ, S.: Kalakannan kehitys Rovaniemen maalaiskunnan Kuohunkijoessa koskien kunnostuksen jälkeen. s. 97—132.
JOKIKOKKO, E.: Taimenmäärät Suomussalmen Piispa- ja Mustajoen kunnostetuissa koskissa vuosina 1978—1985. s. 133—166.
JUTILA, E.: Taimenen poikastuotanto, kalastus ja saaliit Mäntyharjun reitin Puuskankoskessa kunnostuksen jälkeen vuosina
1978—1985. s. 167—206.
PURSAINEN, M., KUITTINEN, E., KANNEL, R. ja LOUHIMO, J.: Rapukannan kotiuttaminen kunnostettuun Tiilikanjo-
keen. s. 207—234. Helsinki 1987.
- No 72. AHVONEN, A.: Vaskiveden ja Toisveden kalakanta-arviot sekä suositus kalastuksen järjestämiseksi. Helsinki 1987. 54 s.
- No 73. Laukaan keskuskalanviljelylaitoksella vuosina 1978—1984 tehtyjä tutkimuksia. Helsinki 1987. 275 s.
- No 74. NATIONAL CONTRIBUTIONS ON SUSPENDED SOLIDS FROM LAND-BASED FISH FARMS: Papers presented at the
first session on the EIFAC Working Party on Fish Farm Effluents. The Hague, Netherlands, 22—30 May and 1 June 1987. Edited
by M. Pursiainen. Helsinki 1988. 93 pp.
- No 75. VALKEAJÄRVI, P., BAGGE, P., ERONEN, T., HAKKARI, L., KÄRKKÄINEN, P. ja MÄKINEN, T.: Rautalammin reitin
koskien kalastosta ja erityisesti taimenen poikastuotannosta vuosina 1978—1984. (On the fish stocks of the rapids in the
Rautalampi watercourse, especially the densities of brown trout juveniles, in 1978—1984.) s. 1—22.
ROMAKKANIEMI, A. ja PRUUKI, V.: Könkämäen taimenkantojen tila ja hoitomahdollisuudet. (The status of the brown
trout stocks of the Könkämäeno River, northern Finland, and proposals for management.) s. 23—64. Helsinki 1988.
- No 76. KOLARI, I.: Etelä-Saimaalle istutettujen merkittyjen järviheimien istutustulokset. (Results of stocking with brown trout
(Salmo trutta m. lacustris L.) in the southern part of Lake Saimaa according to tag returns). Helsinki 1988. 69 s.
- No 77. Suunnitelma Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston toiminnaksi vuodelle 1988. (Programme for the
Fisheries Division of the Finnish Game and Fisheries Research Institute in 1988). Helsinki 1988. 135 s.
- No 78. HONKASALO, L. ja MANKKI, J.: Virkistys- ja kotitarvekalastus Kokemäenjoen vesistössä Nokian alapuolella vuonna 1984.
(Recreational and subsistence fisheries in the River Kokemäenjoki and in Lakes Kulovesi and Rautavesi in 1984). Helsinki 1988.
123 s.
- No 79. BÖHLING, P.: Ahvenen (Perca fluviatilis L.) kasvu ja kasvuun vaikuttavat tekijät Suomen rannikkoalueella. (The growth of
perch (Perca fluviatilis L.) and the factors affecting it in Finnish coastal waters). Helsinki 1988. 96 s.
- No 80. MUTENIA, A. ja VIHERVUORI, A.: Ammattikalastuksen kannattavuuden kehitys Inarijärvellä vuosina 1976—1985. (The
profitability of the professional fishery in Lake Inari in 1976—1985). s. 1—30.
PALOMÄKI, R.: Selvitys kalojen ravintoeläinten siirtoistutuksista Inarijärveen. (Transplantation of fish prey animals to Lake
Inari). s. 31—79. Helsinki 1988.
- No 81. TOLONEN, J.: Ankeriaan ikä, sukupuolijakaumat ja kasvu eräissä eteläsuomalaisissa järvissä. (Age, sex ratio and growth of
the eel (Anguilla anguilla L.) in some lakes in southern Finland). Helsinki 1988. 106 s.
- No 82. Järvikalastussymposiumi, 5.—6.11.1987 Kerimäki. (Symposium on Lake Fishery, 5.—6.11.1987, Kerimäki). Toim. (ed.) A.
Lappalainen ja T. Paananen. Helsinki 1988. 89 s.
- No 83. HONKASALO, L. ja PENNANEN, J.T.: Kalatalouden ja vesistön käytön kehitys Kokemäenjoen vesistössä Nokian
alapuolella. (The development of fisheries and other ways of making use of the Kokemäenjoki watercourse downstreams of the
town of Nokia). Helsinki 1988. 104 s.
- No 84. TUUNAINEN, P., VUORINEN, P., RASK, M., JÄRVENPÄÄ, T. ja VUORINEN, M.: Happaman laskeuman vaikutukset
kaloihin. Raportti vuodelta 1987. English summary: Effects of acidic deposition on fish, Report 1987. Helsinki 1988. 103 s.

SISÄLTÖ — CONTENTS

VIRTANEN, E., ESKELINEN, U., WESTMAN, K., HUHTINEN, M., SÖDERHOLM-TANA, L. ja MÄKINEN, T.: Jätelämmön hyväksikäyttö kalanviljelyssä. (Utilization of heated effluents in fish culture)	1—28
POHJOISMAINEN MINISTERINEUVOSTO: Katsaus jätelämmön käytöstä vesiviljelyssä. (Survey of the utilization of heated effluents in aquaculture)	29—80