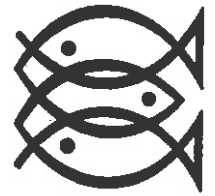
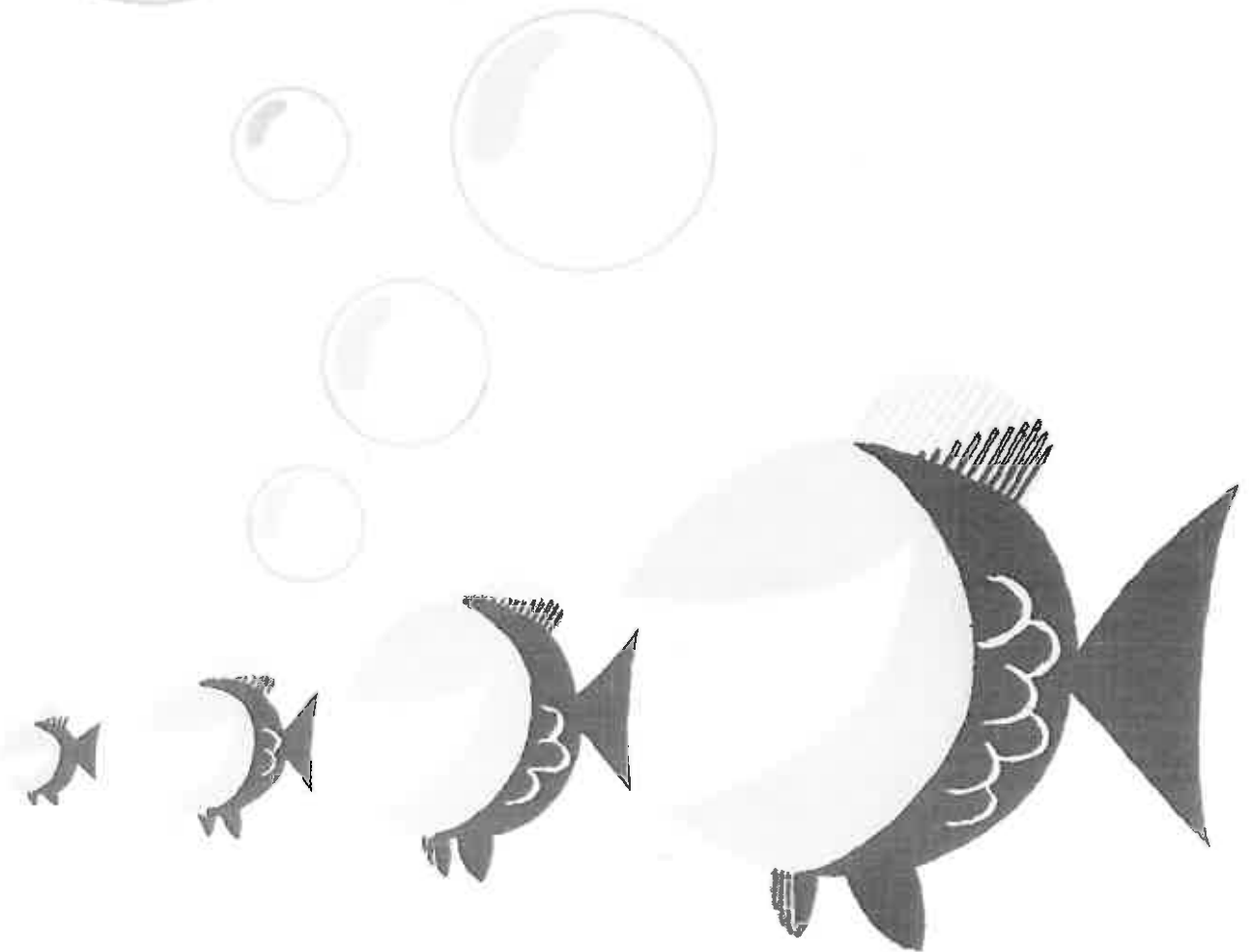


RIISTA-JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS

**KALATUTKIMUKSIA-
FISKUNDERSÖKNINGAR**



47
1992



RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS

KALATUTKIMUKSIA - FISKUNDERSÖKNINGAR



Vastaava toimittaja: Lauri Urho

Toimittajat: Irma Kolari, Marja-Liisa Koljonen, Antti Lappalainen, Riitta Rahkonen, Atso Romakkaniemi, Matti Salminen, Lena Söderholm-Tana, Pirkko Söderkultalahti ja Aune Vihervuori

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Kalantutkimusosasto
Kalanviljelyosasto
PL 202
00151 Helsinki

puh. 90 - 624 211
telex 19101236 vdx sf
telefax 90 - 631 513
telebox tbx668

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar sarjassa julkaistaan kalatalouteen liittyviä tutkimuksia, suunnitelmia, raportteja, selvityksiä, lausuntoja, esitelmiä sekä tutkimusten aineistoja tai muita vastaavia kirjoituksia. Julkaisukieliä ovat pääsääntöisesti suomi ja ruotsi. Kirjoitusohjeita on saatavilla Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen tietopalvelussa (PL 202, 00151 Helsinki).

Julkaisun jakelusta päätetään kunkin numeron osalta erikseen. Julkaisua koskevat tiedustelut osoitetaan tietopalveluun.

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar on jatkoa sarjoille: "Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja" (no:t 1–42) ja "Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja" (no:t 1–98), "Tiedonantoja" (no:t 1–24) ja "Meddelanden" (no:t 1–21).

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston ja kalanviljelyosaston muut julkaisusarjat ovat "Finnish Fisheries Research" ja "Suomen Kalatalous".

Ansvarig redaktör: Lauri Urho

Redaktörer: Irma Kolari, Marja-Liisa Koljonen, Antti Lappalainen, Riitta Rahkonen, Atso Romakkaniemi, Matti Salminen, Lena Söderholm-Tana, Pirkko Söderkultalahti och Aune Vihervuori

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet
Fiskeriforskningsavdelningen
Fiskodlingsavdelningen
PB 202
00151 Helsingfors

tel. 90 - 624 211
telex 19101236 vdx sf
telefax 90 - 631 513
telebox tbx668

I serien Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar publiceras undersökningar, planer, rapporter, utredningar, utlåtanden, föredrag samt forskningsmaterial eller motsvarande artiklar som behandlar fiskerihushållningen. Publikationsspråken är i huvudsak finska och svenska. Skrivinstruktioner kan erhållas från Vilt- och fiskeriforskningsinstitutets informationstjänst (PB 202, 00151 Helsingfors).

Publikationens distribuering fastställs skilt för varje nummer. Förfrågningar angående tidskriften bör riktas till informationstjänsten.

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar är en fortsättning på "Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja" (nr 1–42) ja "Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja" (nr 1–98), "Tiedonantoja" (nr 1–24) och "Meddelanden" (nr 1–21).

Övriga publikationsserier från Vilt- och fiskeriforskningsinstitutets fiskeriforskningsavdelning och fiskodlingsavdelning är "Finnish Fisheries Research" och "Suomen Kalatalous".

RIISTA- JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS
KALATUTKIMUKSIA – FISKUNDERSÖKNINGAR

No 47

1992

**Ilmaston muutosten vaikutukset kaloihin, kalanviljelyyn,
kalakantoihin ja kalastukseen**

Kirjallisuusselvitys

**Hannu Lehtonen, Jyrki Lappalainen, Leena Forsman, Antti Soivio,
Lauri Urho, Pekka J. Vuorinen ja Christina Tigerstedt**

**RKTL, kalantutkimusosasto
Helsinki**

Helsinki 1992

ISSN 0787-8478
Helsinki 1992
Yliopistopaino

1. JOHDANTO	1
2. ILMASTON MUUTOSENNUSTEET	1
3. VAIKUTUKSET VESISSÄ	3
3.1. Hydrologiset muutokset	3
3.1.1. Veden lämpötila ja kerrostuneisuus	3
3.1.2. Happipitoisuus ja veden korkeus	4
3.1.3. Jääpeitteen kesto aika	5
3.1.4. Sadanta	6
3.1.5. Valumat ja virtaamat	8
3.1.6. Ravinteet, torjunta-aineet ja happamuus	9
3.2. Muutokset perustuotannossa ja planktonissa	10
4. VAIKUTUKSET KALOIHIIN JA KALANVILJELYYN	12
4.1. Veden laadun vaikutus kaloihin	14
4.1.1. Happipitoisuus	14
4.1.2. Happamuus	18
4.1.3. Haitalliset aineet	21
4.1.3.1. Kiintoaine	21
4.1.3.2. Metallit	22
4.1.3.3. Torjunta-aineet	24
4.2. Otsonikerroksen ohentumisen vaikutus	25
4.3. Lämpötilan ja valaistuksen vaikutus	27
4.3.1. Emokalat ja mädintuotanto	27
4.3.2. Ennenaikaisesti sukukypsiksi tulevat lohikalat	34
4.3.3. Alkio- ja poikasvaiheen kehitys	36
4.3.4. Lohikalojen smolttiutuminen	40
4.3.5. Kasvu	44
4.3.6. Ravunviljely	48
4.3.7. Taudit ja loiset	49
4.4. Vaikutukset kalanviljelytekniikkaan	51
4.5. Taloudellisia näkökohtia	54
5. VAIKUTUKSET KALAKANTOIHIIN	55
5.1. Lisääntyminen	55
5.1.1. Lämpötila ja vuosiluokan voimakkuus	56
5.1.2. Happipitoisuus	57
5.1.3. Hydrologisten muutokset	60
5.1.4. Lisääntymis- ja poikasalueet	62
5.1.5. Kutuaika	63
5.1.6. Ravinto	65
5.1.7. Predaatio	67
5.1.8. Yhteisvaikutukset	68
5.2. Kalakantojen lajikoostumus	69
5.2.1. Kalayhteisön rakenteen muuttuminen	70
5.2.2. Levinneisyysalueiden muutokset	73
5.2.2.1. Sisävedet	73
5.2.2.2. Itämeri	75
6. VAIKUTUKSET KALASTUKSEEN	77
TIIVISTELMÄ	79
SAMMANFATTNING	84
KIRJALLISUUS	88

1. JOHDANTO

Ilmaston ennustettu muutos lähivuosisikymmeninä on suurimpia vesiimme kohdistuvia paineita ja toteutuessaan sen vaikutukset tulisivat ulottumaan kaloihin, kalakantoihin, kalanviljelyyn ja kalastukseen. Tässä katsauksessa pyritään hahmottamaan tapahtuvia muutoksia, erityisesti lämpötilan nousun seurauksena odotettavissa olevia muutoksia kirjallisuuden perusteella. Työ on tehty Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksessa osin virkatyönä, mutta pääasiallisesti Suomen Akatemian ympäristötieteellisen toimikunnan myöntämän määrärahan tuella. Sen tarkoituksena on muodostaa perusta käynnistymässä oleville ilmaston muutosten kalataloudellisten vaikutusten tutkimuksille. Kirjoittajien ohella työhön ovat osallistuneet FK Juha Koskela, FK Marja Vuorinen ja fil. yo. Seppo Peuranen. Suomen Akatemian SILMU-tutkimushanke on avustanut merkittävästi taustatietojen hankkimisessa. Lammilla syyskuussa 1991 pidetyn seminaarin antia mm. taustatietojen ja kontaktien luomisen kannalta ei myöskään voi olla mainitsematta.

2. ILMASTON MUUTOSENNUSTEET

Kasvihuoneilmiö on nykyisen eliökunnan eilinehto. Suurelle yleisölle termi on tullut tutuksi vasta viime vuosien aikana. Ilmiön mahdollistavat jo miljoonia vuosia ilmakehässä esiintyneet ns. kasvihuonekaasut, vesihöyry (H_2O), hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), otsoni (O_3) ja typpioksiduuli (N_2O), jotka läpäisevät hyvin lyhytaaltoista auringon säteilyä, mutta estävät pitkäaaltoista lämpösäteilyä heijastumasta alemman ilmakehän ulkopuolelle. Tästä ns. kasvihuoneilmiöstä johtuen maapallon nykyinen keskilämpötila on $15\text{ }^{\circ}C$. Tämä on $33\text{ }^{\circ}C$ korkeampi kuin lämpötila olisi ilman kasvihuonekaasuja (IPCC 1990).

Kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kasvuun on johtanut fossiilisten polttoaineiden käyttö, laajat metsien hakkuut, muu maankäyttö ja freonipäästöt (taulukko 1). Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on noussut ennen teollista

vallankumousta vallinneesta 280 ppmv:stä nykyiseen 353 ppmv:ään. Kloorattuja hiilivetyjä ei tavattu ilmakehässä lainkaan ennen 1930-lukua. Nykyisin niiden pitoisuus kasvaa 4 %:n vuosinopeudella (IPCC 1990).

Taulukko 1. Tärkeimmät kasvihuonekaasut ja niiden pitoisuudet (IPCC 1990).

	<i>Hiilidioksidi ppmv</i>	<i>Metaani ppmv</i>	<i>CFC-11 pptv</i>	<i>CFC-12 pptv</i>	<i>Typpioksiduuli ppbv</i>
Esiteollinen aika (1750-1800)	280	0.8	0	0	288
Nykyinen pitoisuus (1990)	353	1.72	280	484	310
Nykyinen kasvu- nopeus vuodessa	1,8 (0,5 %)	0,015 (0,9 %)	9,5 (4 %)	17 (4 %)	0,8 (0,25 %)
Elinikä ilmakehässä (vuosia)	(50-200)	10	65	130	150

ppmv=tilavuuden miljoonasosa (10^{-6})
ppbv=tilavuuden miljardisosa (10^{-9})
pptv=tilavuuden triljoonasosa (10^{-12})

Ilmasto on jääkauden jälkeen ollut milloin selvästi nykyistä lämpimämpi milloin taas kylmempi. Muutokset ovat kuitenkin aina tapahtuneet pitkän ajan kuluessa, jolloin osalla eliöistä on ollut aikaa sopeutua siihen. Ongelmana on nyt nimenomaan muutoksen nopeus.

Kasvihuoneilmiön voimistumista tutkitaan malleilla, joita on kehitetty säänennustusmalleista (Cubasch ja Cess 1990). Nykyisillä ilmastomalleilla ei pystytä arvioimaan riittäväällä tarkkuudella maalla tapahtuvia hitaita ja paikallisia muutoksia eikä merivirtausten muuttumista. Tästä syystä mallin perusmuuttujien antamien tulosten soveltaminen mannerta pienempiin alueisiin on epävarmaa. Ennusteiden luotettavuutta voidaan parantaa vain lisäämällä mallien alueellista tarkkuutta (Mitchell ym. 1990) ja ottamalla paremmin huomioon pilvisuus ja sen jakautuminen, meren ja

ilmakehän välinen suhde, lämmön ja kosteuden johtuminen maan pinnalta, ilmavirtaukset, maa- ja merijää sekä biosfääri (Cubasch ja Cess 1990, Kuhn ja Marshall 1991, Pielke 1991). Edellä mainittujen tekijöiden avulla voidaan veden kiertokulun muutoksia arvioida nykyistä paremmin (Holopainen 1987, Cubasch ja Cess 1990).

Jos kasvihuonekaasujen päästöt pysyvät nykyisen suuruisina, ilmakehän CO₂-pitoisuuden on laskettu kaksinkertaistuvan vuoteen 2030 mennessä. Maapallon keskilämpötilan on arvioitu kohoavan vuoteen 2025 mennessä yhdellä asteella ja vuoteen 2100 mennessä 4 asteella (IPCC 1990). Lämpeneminen olisi pohjoisilla leveyspiireillä keskimääräistä voimakkaampaa. Suomen ilmaston on arvioitu lämpenevän keskimäärin 0,4 °C vuosikymmenessä (Carter ja Holopainen 1991). Toisen arvion mukaan vuoteen 2030 mennessä kaksinkertaistuneessa ilmakehän hiilidioksidipitoisuudessa lämpötila olisi talvisin keskimäärin 2 - 8 °C ja kesäisin 2 - 6 °C nykyistä korkeampi (Mitchell ym. 1990).

Havaintojen mukaan maapallon keskilämpötila on noussut 0,3 - 0,6 °C viimeisten sadan vuoden aikana, josta kaupungeista johtuva mittausvirhe on alle 0,05 °C. Lämpötilan nousun seurauksena jäätikköala on pienentynyt ja merenpinta noussut keskimäärin 1 - 2 mm vuodessa. Nämä havainnot sopivat myös luonnollisen ilmaston vaihtelun piiriin, joten ilmaston lämpeneminen voitaneen varmistaa mittauksilla vasta ensi vuosikymmenellä (IPCC 1990).

Freonit toimivat sekä kasvihuonekaasuina että tuhoavat yläilmakehän otsonia. Freonipitoisuuksien kasvaessa otsonipitoisuudet ovat vähentyneet erityisesti napa-alueiden yläpuolella (Levine 1991). Otsoni absorboi erittäin tehokkaasti alle 300 nm:n aallonpituista UV-säteilyä. UV-säteilystä saapuu maanpinnalle vain 280 - 320 nm:n aallonpituisen säteily eli UV-B -säteily. Tämä on biologisesti vaarallisin UV-säteilyn muoto (Huovila 1989, Voytek 1990). Otsonin vähentymisen seurauksena maanpinnalle saapuvan UV-B säteilyn määrän on arvioitu lisääntyvän

vuoteen 2060 mennessä 16 prosenttia (Hardy ja Gucinski 1989).

3. VAIKUTUKSET VESISSÄ

3.1. Hydrologiset muutokset

3.1.1. Veden lämpötila ja kerrostuneisuus

Järvien pintavesien lämpötila seuraa ilman keskilämpötilan vaihteluja (Kuusisto 1988). Tästä syystä pintaveden voidaan kesäisin arvioida lämpenevän seuraavan neljänkymmenen vuoden aikana 2 - 8 °C (IPCC 1990). Virtaavan veden lämpötilan vaihtelu voidaan selittää ilman lämpötilalla kenties vieläkin paremmin. Jokien lämpötilan vuorokausi- ja vuodenaikaissykliin vaikuttavat lisäksi varjostuksen sekä pohja- ja sulamisvesien määrä. Biologisesti on merkittävää, että jokien keskilämpötilan noustessa erityisesti lämpötilan vuorokaudenaikainen vaihtelu kasvaa (Beran 1989).

Järvien lämpötilojen vaihtelu riippuu mm. tietyille leveyspiirille tulevasta auringon säteilyenergiasta, järven syvyydestä, tuuliolosuhteista ja avoimen selän pituudesta (Kuusisto 1988). Pintaveden lämpötilan kohoaminen johtaa yhä vahvempaan kerrostuneisuuteen ja kerrostuneisuusajan pitenemiseen (Kuusisto 1988, McCormick 1990, Schindler ym. 1990). Muutosten suuruus luonnollisesti vaihtelee järvittäin erityisesti syvyydestä riippuen (Kuusisto 1988). On mahdollista, että järvien talvilämpötilat tulevat olemaan nykyistä alhaisempia jääpeitteisen ajan lyhetessä.

Itämeren lämpötilojen vuosittainen vaihtelu on voimakasta (Alenius 1989). Tämän vuosisadan ensimmäiset vuosikymmenet olivat kylmiä. Itämeressä seurasi 1920-luvulta 1930-luvun loppuun lämmin jakso. Tämän jälkeen meri viileni 1960-luvun puoleen väliin saakka. Saaristo- ja Perämerellä viileneminen on jatkunut nykypäiviin asti (Alenius ja Haapala 1991). Itämeren lämpötilat seurasivat melko hyvin 1960-luvun loppuun asti pohjoisen pallonpuoliskon keskilämpötilaa (IPCC

1990), minkä jälkeen Itämeri on ollut viileämpi kuin ilman keskilämpötilan perusteella voisi olettaa. Sen sijaan veden keväinen lämpötila on kohonnut tämän vuosisadan ajan (Harmajan mittausasema Helsingissä) Mahdollisiksi syiksi tähän on arveltu kevään stabiileja hydrodynaamisia olosuhteita, leväkukinnasta johtuvaa veden tummaa väriä ja lisääntyntä ravinnekuormitusta (Alenius ja Haapala 1991). Itämeren lämpötilojen vaihtelu ei Aleniuksen (1989) mukaan tule kuitenkaan pieneneään mahdollisen ilmaston keskimääräisen lämpenemisen seurauksena.

3.1.2. Happipitoisuus ja veden korkeus

Vesipatsaan vahvasta kerrostuneisuudesta ja nykyistä korkeammista lämpötiloista johtuen vesien happipitoisuudet tulevat pieneneään kesäisin. Muutos on suurin syvien ja rehevien järvien pohjakerroksessa (Kuusisto 1988, Schertzer ja Sawchuk 1990). Tämä on seurausta pienentyneestä kaasujen vaihtumisesta vesikerrosten välillä (Kuusisto 1988). Myös matalissa, kerrostumattomissa järvissä happipitoisuudet saattavat pienetä, koska lämpötilan kohoamisen seurauksena mikrobitoiminta kiihtyy (Blumberg ja Di Toro 1990).

Meressä tapahtuvia muutoksia on sisävesiä vaikeampi ennustaa. Jo nykyisin Itämeri on voimakkaasti suolapitoisuuden suhteen kerrostunut. Pysyvä halokliini sijaitsee 50 - 70 metrin syvyydessä (Voipio ja Mälkki 1972, Pesonen 1988). Tämä pienentää erityisesti syvänteiden happipitoisuuksia. Happitilanteen on havaittu paranevan silloin, kun Tanskan salmista virtaa hapekasta ja suolaista vettä syvänteisiin. Vastaavanlainen tilanne vallitsee useimmissa Suomen rannikolla sijaitsevissa lahdissa, joissa vesipatsas on kesällä kerrostunut. Kerrostuneisuus estää hapen kulun pinnasta pohjakerrokseen. Tällöin happitilanne voi parantua merkittävästi vain, jos hapekasta ja suolaista vettä pääsee purkautumaan sisälle lahtiin (Niemi 1977, Lappalainen 1990).

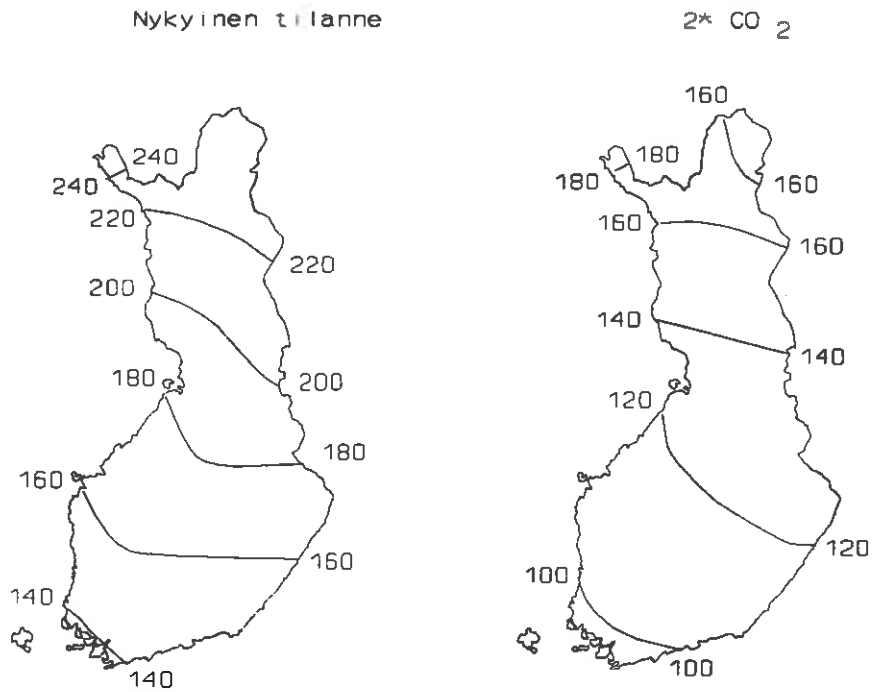
Merenpinnan vuotuinen keskikorkeuden nousu on ollut viimeisten sadan vuoden aikana 1 - 2 mm (vaihteluväli 0,5 - 3,0 mm). Nousunopeus ei ole kuitenkaan kiihtynyt. Ilmaston muutoksen seurauksena merenpinnan arvioidaan kohoavan 8 - 29 cm vuoteen 2030 mennessä. Nousu olisi seurausta lähinnä meren lämpölaajenemisesta sekä vähemmässä määrin vuoristo- ja napajäätiköiden sulamisesta (Warrick ja Oerlemans 1990). Merenpinnan nousu lisää Tanskan salmien poikkipinta-alaa ja mahdollisesti parantaa Itämeren veden vaihtumista (Falkenmark 1989). Vuotuisen sademäärän kasvaminen lisää makean veden virtaamia ja Itämereen tulevan suolattoman veden määrää. Edellämainittujen tekijöiden vaikutuksia Itämeren suola- ja happipitoisuuksiin on vaikea ennustaa (Alenius 1991, suull. tiedonanto).

3.1.3. Jääpeitteen kesto aika

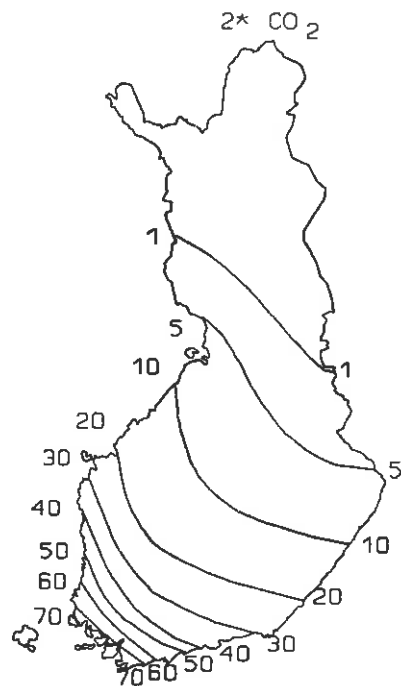
Talven keskilämpötilan nousu lyhentäisi jääpeitteen kesto aikaa arviolta 40 - 60 vuorokautta (kuva 1). Suurimpien järvien selkävedet eivät jäätyisi leudoimpina talvina lainkaan. Esimerkiksi Säkylän Pyhäjärvi olisi joka toinen talvi jäätön. Näsijärvi pysyisi sulana kerran kolmessa vuodessa ja Oulujärvi kerran 20 vuodessa (kuva 2). Lisäksi järvien jääpeitteen keskimääräinen maksimipaksuus ohenisi noin 20 cm ja jää olisi lisääntyneen sadannan seurauksena rakenteellisesti heikompaa (kuva 3) (Kuusisto 1989). Ilman keskilämpötilan nousu yhdellä asteella siirtää Itämeren jäätymistä kuudella vuorokaudella. Normaali 50 cm:n paksuinen jääpeite ohenisi 8 cm:llä ja sulaminen aikaistuisi 8 vuorokaudella (Leppäranta 1989).

3.1.4. Sadanta

Esitettyjen mallien mukaan sademäärät kasvaisivat talvisin ja pysyisivät nykyisellä tasolla tai vähenisivät kesäisin (Bach 1989, Mitchell ym. 1990, Carter ja Holopainen 1991). Lumipeitteen kesto aika lyhenisi yli kaksi kuukautta ja lumen osuus kokonaissateesta pienenesi 15 - 20 % (kuva 4) (Kuusisto 1989). Sadannan muutosten ennustaminen on

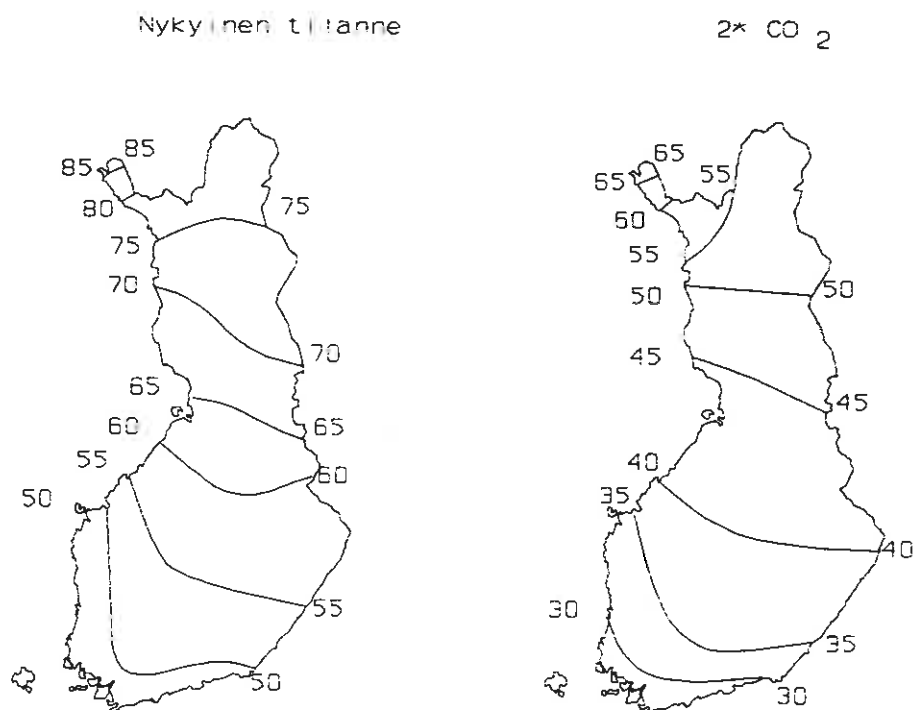


Kuva 1. Jääpeitteen kestoaika nykyisessä ja ennustetussa ilmastossa Kuusiston (1988) mukaan.



Kuva 2. Jäättömien talvien prosenttiosuus isoissa järvissä ennustetussa ilmastossa Kuusiston (1988) mukaan.

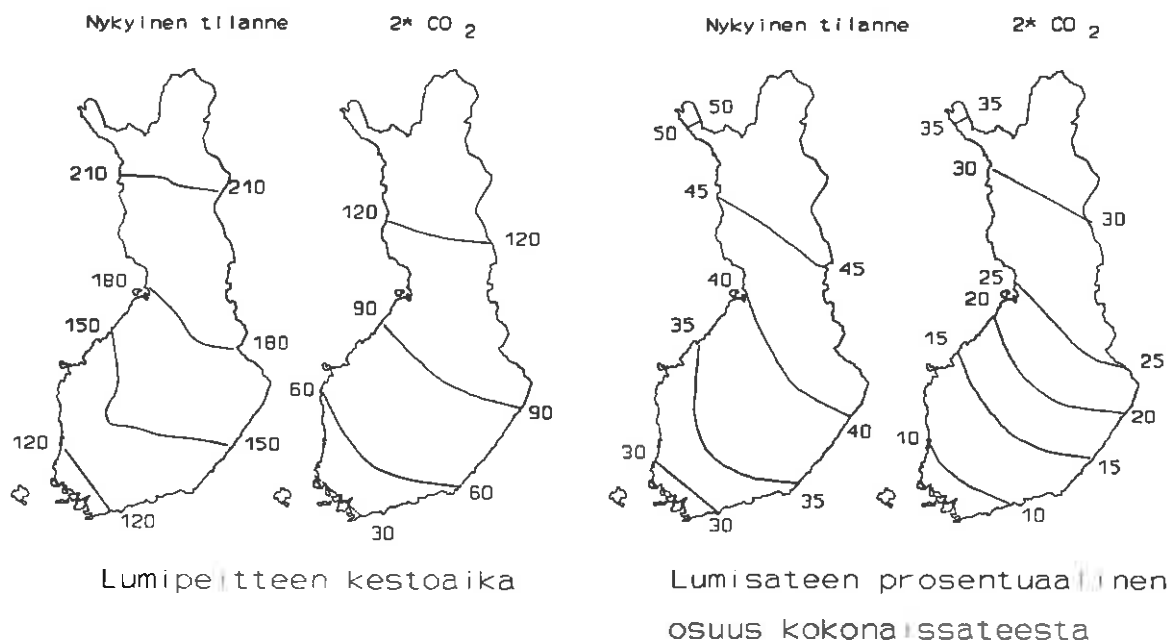
kuitenkin paljon epävarmempaa kuin esimerkiksi lämpötilan muutoksen ennustaminen (Holopainen 1991).



Kuva 3. Maksimaalinen jäänpaksuus nykyisin ja ennustetussa ilmastossa Kuusiston (1988) mukaan.

3.1.5. Valumat ja virtaamat

Vesialtaiden ulosvirtaaman muutokset on arvioitu vähäisiksi. Virtaamat eivät poikkeaisi nykyisistä enempää kuin ± 15 prosenttia. Etelä- ja Keski-Suomessa ulosvirtaamat vähenisivät ja Pohjois-Suomessa kasvaisivat (Kuusisto 1988). Samanaikaisesti kesäkuukausina haihtuminen kasvaisi eteläisessä Suomessa 30 - 40 mm ja Lapissa noin 20 mm kuukaudessa. Vaikka keskimääräiset sisäänvirtaamat eivät kasvaisi huomattavasti, tulisivat eri kuukausien väliset erot olemaan suuria. Lämpimämpien talvien seurauksena lumikerros ohenisi ja sisäänvirtaamat kaksinkertaistuisivat talvella, vähenisivät keväällä ja kesällä ja kasvaisivat jälleen syksyllä. Kuukausimuutosten seurauksena kevättulvat heikkenisivät ja syystulvat voimistuisivat (Holopainen 1987, Kuusisto 1988).



Kuva 4. Vasemmalla lumipeitteen kestoaika nykyisin ja nykyaikaan verrattuna kaksinkertaistetussa hiilidioksidipitoisuudessa. Oikealla lumisateen prosenttiosuus kokonaissateesta samoissa olosuhteissa Kuusiston (1989) mukaan.

3.1.6. Ravinteet, torjunta-aineet ja happamuus

Liuenneen ja partikkelimaisen aineksen huuhtoutuminen vesiin saattaa lisääntyä orgaanisen aineksen hajoamisen nopeutuessa. Sateiden lisääntyminen ja lumipeitteen oheneminen voivat kiihdyttää eroosiota talvella (Anon. 1990). Maa-aineksen kiihtynyt mineralisaatio lisää ravinteiden huuhtoutumista. Nitriittihuuhtoutumia voi lisätä myös maa- ja metsätalouden kasvava tuotanto (Anon. 1990, WMO 1990).

Järvien ravinnekuormitus tulee näin ollen lisääntymään talvella ja pienemään keväällä ja kesällä. Rehevyyden lisääntyisi erityisesti pienissä runsasravinteisissa järvissä, joissa myös ravinteiden kierto nopeutuu. Jokien ravinnekuormitukset korreloivat yleensä positiivisesti virtaamien kanssa (Simeonidis 1989, DeAngelis ja Cushman 1990).

Ilmaston lämpeneminen mahdollistaa nykyisten kasvitautien ja tuholaisten aiheuttamien vahinkojen lisääntymisen sekä uusien tautien ja vahingollisten hyönteisten leviämisen etelästä (Lappalainen ja Heikinheimo 1992). Torjunta-aineiden huuhtoutuminen riippuu mm. sääolosuhteista, torjunta-aineen ja maaperän ominaisuuksista, viljelykasveista sekä käytetystä viljelymenetelmästä. Varsinkin kesäsateiden aiheuttama valunta lisäävät huuhtoutumia (Rekolainen ym. 1988). Torjunta-aineiden käytön oletettava lisääntyminen johtanee huuhtoutumisen kasvuun.

Ilmakehän CO₂ -pitoisuuden kaksinkertaistumisen on arvioitu laskevan suoraan merien pH-arvoa 0,3 -yksikköä (Sibley ja Strickland 1985). Myös sateiden lisääntyminen talvella ja lumipeitteen ohentuminen lisäävät vesien happamoitumista (WMO 1990). Seurauksena on myös nykyisten happamuushuippujen (Hudd ym. 1984, Tuunainen ym. 1990) aikaistuminen.

3.2. Vesien eliöyhteisöjen muutokset

3.2.1. Plankton ja perustuotanto

Lämpötilan nousu lisää perustuotantoa ja muuttaa eliöiden lajisuhteita. Esimerkiksi Ontariossa sijaitsevassa tutkimusjärvessä havaittiin selvä korrelaatio veden lämpötilan ja kasviplanktonin runsauden välillä vuosina 1970 - 1987. Alueen ilman keskilämpötila nousi tuolloin 2 °C. Kasviplanktonin lajidiiversiteetti kasvoi, mutta perustuotanto ei vaikka useimpien ravinteiden määrä lisääntyi järvessä (Schindler ym. 1990).

Talven ja kesän lisääntyneiden valumien tuomat ravinteet voivat lisätä perustuotantoa. Runsasravinteisissa järvissä voi kuitenkin esiintyä eläinplanktonille ravinnoksi kelpaamattomien kasviplanktonilajien kukintaa. Tämä vähentää eläinplanktonille sopivan ravinnon määrää (Holten 1990).

Merien pintavesien planktonlajeissa tapahtuvien muutosten arviointi on nykytietämyksellä mahdotonta. Todennäköisesti

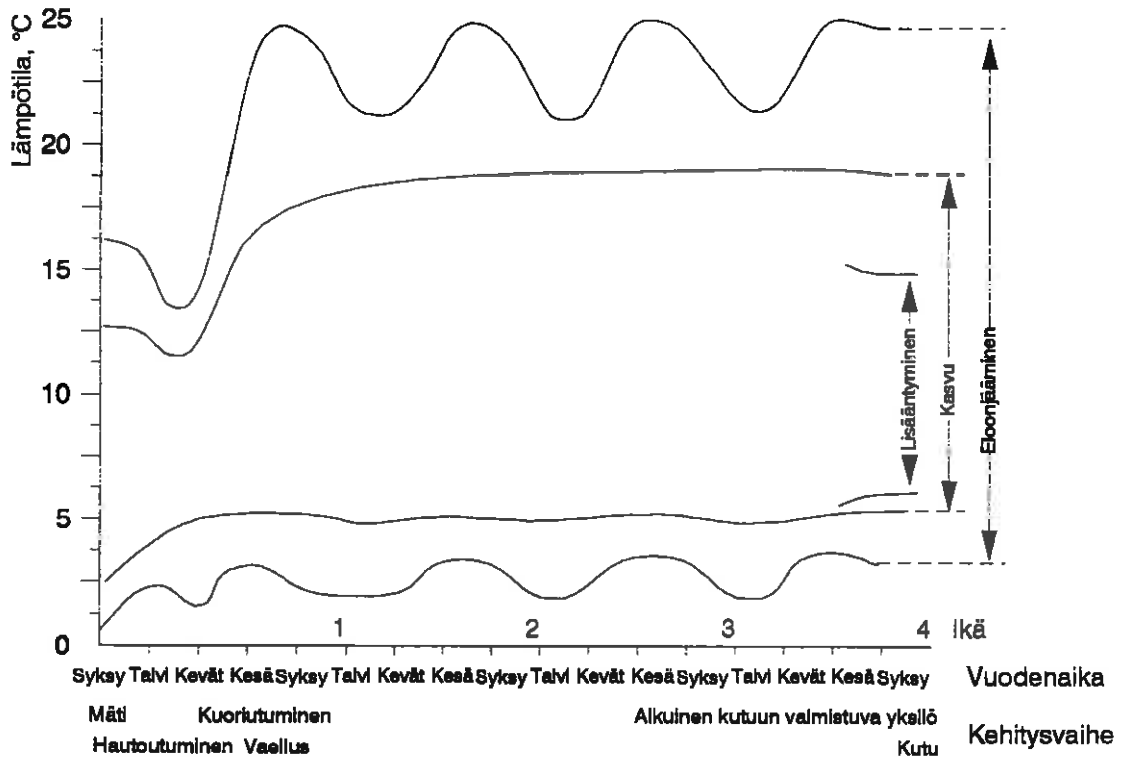
virtausten ja veden sekoittumisen muutokset vaikuttavat tuottavan kerroksen ravinnepitoisuuksiin ja fotosynteesissä tarvittavan auringon valon määrään. Ravinnepitoisuuksissa ja ylemmissä vesikerroksissa tapahtuvat muutokset heijastuvat nettoperustuotantoon ja planktonyhteisöihin (Melillo ym. 1990). Esimerkiksi vertikaalisen kerrostuneisuuden voimistuessa fotosynteesi lisääntyy ja plankton pysyy tuottavassa kerroksessa aikaisempaa pidempään (Strickland ym. 1985). Voimakkaasti kerrostuneissa vesissä suurin osa energiasta kiertää ylemmissä vesikerroksissa. Tästä johtuen orgaanisen hiilen ja typen sedimentaatio on kääntäen verrannollinen kerrostuneisuuden voimakkuuteen (Hargrave ym. 1985). Levät kuluttavat nopeasti ravinteet vesipatsaan pintakerroksesta. Tuotanto mahdollisesti aikaistuu ja planktonin laikuittainen esiintyminen lisääntyy (Sibley ja Strickland 1985). Korkeat lämpötilat nopeuttavat kasviplanktonin hajoamista (Petersen ja Curtis 1980).

Meren pintaan tulevan kokonaissäteilyn määrä riippuu leveysasteesta, vuoden- ja vuorokaudenajasta sekä pilvisyydestä. Tietylle syvyydelle saapuva säteily riippuu taas meren pinnan ominaisuuksista, valon sironnasta ja absorptiosta (Hardy ja Gucinski 1989). Esimerkiksi meren pintaan saapuvasta UV-B säteilystä on kirkkaissa vesissä 28 metrin syvyydessä jäljellä yksi prosentti. Sameissa vesissä säteily vähenee yhteen prosenttiin jo 1 - 2 metrin syvyydessä (Baker ja Smith 1982). Näkyvän valon vastaavat arvot ovat 100 metriä kirkkaissa ja 15 metriä sameissa vesissä (Hardy ja Gucinski 1989). UV-B säteilyn lisääntyminen saattaa pienentää perustuotantoa merien pintakerroksessa, vaikka sen pitkäaikaisista vaikutuksista tiedetään vähän (Hardy ja Gucinski 1989, Oeschger ja Dütsch 1989).

Holten (1990) arvioi kahden asteen lämpötilan nousun lisäävän eläinplanktonin nettotuotantoa 12 prosenttia. Voimistuvan UV-B säteilyn aiheuttama kuolleisuuden kasvu kuitenkin pienentää pintavesien eläinplanktontuotantoa (Hardy ja Gucinski 1989).

4. VAIKUTUKSET KALOIHIN JA KALANVILJELYYN

Kaloilla on hyvin kehittynyt lämpöaisti - niiden on todettu pystyvän aistimaan jopa 0,03 °C lämpötilaeroja (Murray 1971). Kalat hakeutuvat yleensä kullekin lajille sopivimpaan lämpötilaan, sillä kalojen lämpötilahakeutumisella on tärkeä merkitys mm. kalojen liikkumisaktiivisuudessa, ravinnonotossa ja lisääntymisessä (Nyman 1975a, Neuman 1983), kasvussa ja gonadien kehityksessä (Fry 1971). Käyttäytymisen muutokset riippuvat lajista, kehitysvaiheesta, ravintotilanteesta, vuodenajasta ja päivän pituudesta (kuva 5) (Koenst ja Smith 1976, Herzig ja Winkler 1986, Bergman 1987). Lämpötilan vaihtelu laukaisee kudun ja vaellusten alkamisen (Nyman 1975b).

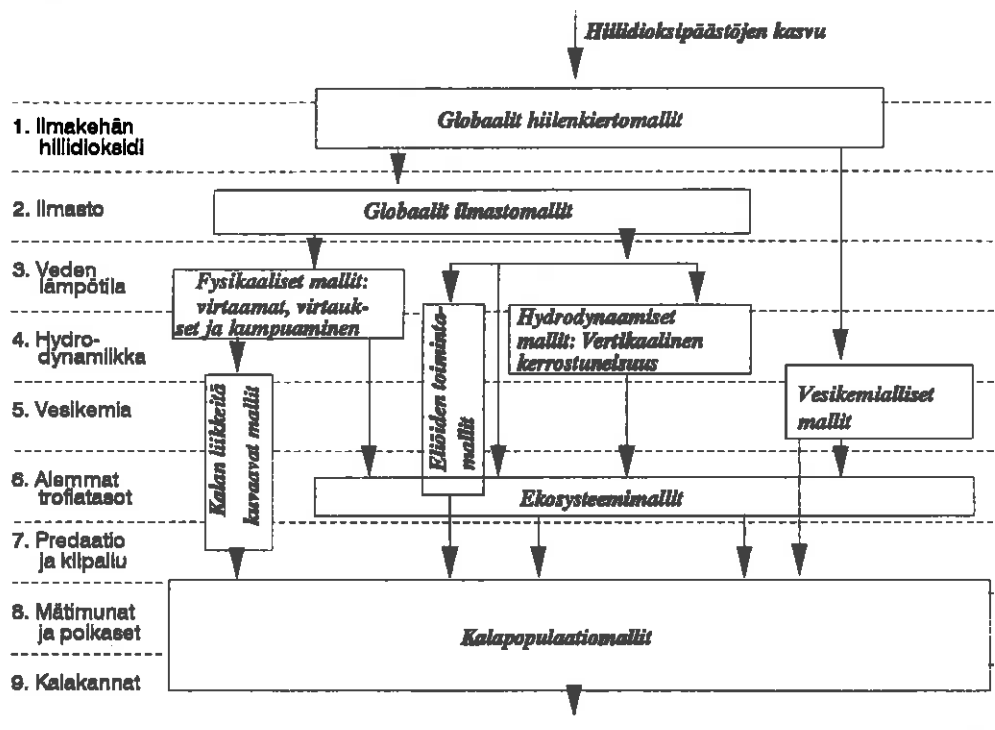


Kuva 5. Kuningaslohen (*Oncorhynchus tshawytscha*) eri elämän vaiheiden herkkyys lämpötilan muutoksille (Brett 1960). Kennedyn (1990) mukaan.

Nopeat ja lyhytaikaiset lämpötilan muutokset voivat olla kaloille tuhoisia. Stenotermiset lajit vaativat tasaisia, eurytermiset sietävät suuriakin lämpötilan vaihteluja (Nikolsky 1978). Veden lämpötila heijastuu suoraan kalojen ruumiinlämpöön, aineenvaihduntaan ja ravinnon käyttöön (Hill ja Magnuson 1990). Veden lämpötilan nousun aiheuttamat

välilliset vaikutukset mm. hapenkulutuksen lisääntyminen, ravintoverkossa tapahtuvat muutokset ja vesikasvillisuuden lisääntyminen voivat olla suoria vaikutuksia merkittävämpiä (DeAngelis ja Cushman 1990).

Hiilidioksidipäästöjen kasvu vaikuttaa suoraan ilmastoon ja vesistöihin. Esimerkiksi ilmaston lämpeneminen vaikuttaa veden lämpötilaan ja sitä kautta myös kaloihin. Hiilidioksidipitoisuuden kasvun vaikutuksia on tutkittu havaittujen riippuvuussuhteiden avulla. Riippuvuussuhteita on käytetty esimerkiksi ennustettaessa muutoksia kalojen levinneisyysalueissa tai lisääntymisajassa (Mandrak 1989, Coutant 1990, Meisner 1990a, 1990b, Matthews ja Zimmerman 1990). Ennustamiseen on myös käytetty erilaisia malleja, joista DeAngelis ja Cushman (1990) ovat esittäneet periaatteellisen kaavakuvan (kuva 6).



Kuva 6. Hiilidioksidipäästöjen kasvun vaikutusten arvioinnissa käytettyjä malleja DeAngeliksen ja Cushmanin (1990) mukaan.

Ympäristömuuttujat, kuten lämpötila, vaikuttavat hyvin monimuotoisesti kalojen elämään sen eri vaiheissa; niiden fysiologisiin toimintoihin, lisääntymisen eri vaiheisiin, kasvuun ja kuolevuuteen. Seuraavassa tarkastellaan ilmaston

muutosten mahdollisia vaikutuksia ensin kalojen elintoimintoihin ja kalanviljelyyn. Seuraavaksi tarkastellaan vaikutuksia kalojen lisääntymiseen, joka ympäristömuutoksille herkkänä vaiheena vaikuttaa eniten kalantuotantoon. Lisäksi tarkastellaan mahdollisia vaikutuksia kalayhteisöjemme lajikoostumuksiin ja lyhyesti kalastukseen.

4.1. Veden laadun vaikutus kaloihin

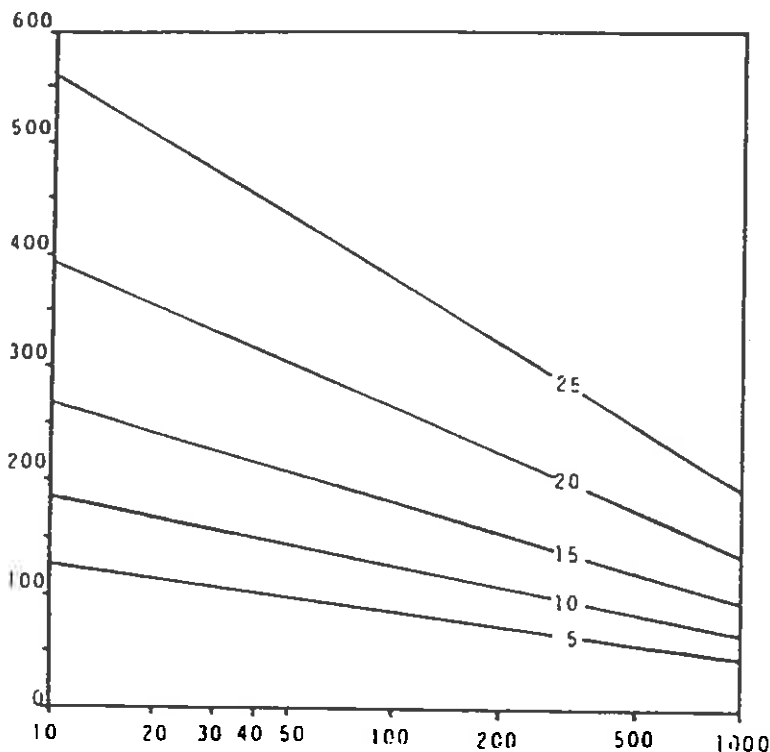
Seuraavassa on esitetty lyhyesti kalojen hapentarpeesta sekä happamoitumisen ja joidenkin haitallisten aineiden vaikutuksista kaloihin, vaikkakin näistä aiheista on saatavissa yhteenvedoja. Haitallisten aineiden vaikutuksista ja tutkimusmenetelmistä on suomenkielisiäkin kirjallisuusselvityksiä (esim. Vuorinen ym. 1984) samoin kuin happamoitumisesta (Nikunen ja Soivio 1984). Happamuuden ja metallien vaikutuksia ovat käsitelleet muun muassa Peterson ym. (1982) ja aikakauslehdessä Research Journal of the Water Pollution Control Federation ilmestyy vuosittain teemanumero, joka sisältää yhteenvedon viimeisen vuoden aikana julkaistusta kirjallisuudesta jätevesien ja muiden haitallisten ympäristötekijöiden vaikutuksista vesieliöihin.

4.1.1. Happipitoisuus

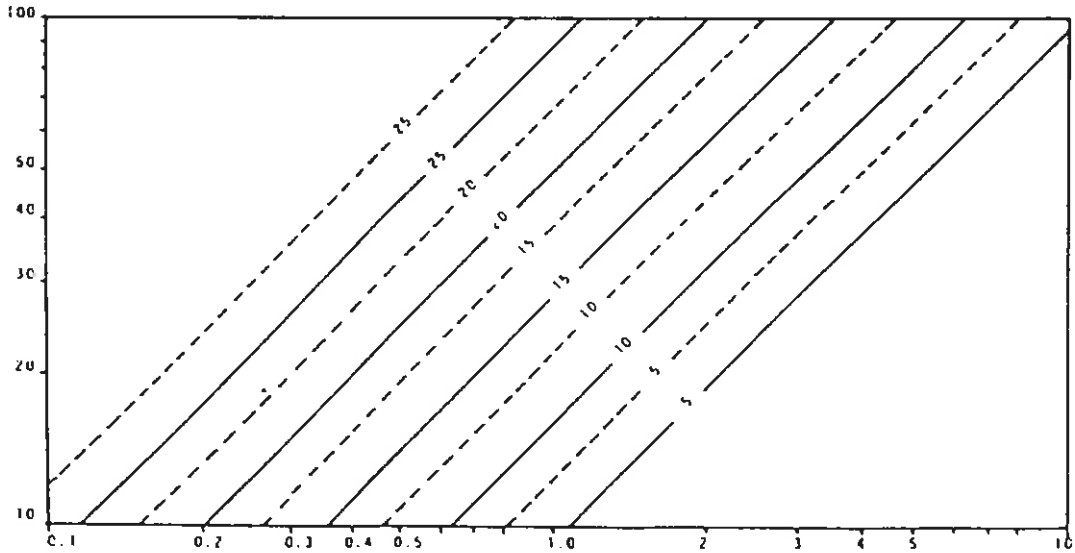
Mitä lämpimämpää vesi on, sitä vähemmän se sisältää happea. Esimerkiksi 5 °C:ssa vedessä voi olla happea 12,8 mg/l, kun taas 20 °C:ssa ainoastaan 9,8 mg/l. Lohikalat vaativat varsin hapekasta vettä. Esimerkiksi lohen (*Salmo salar*) ja taimenen (*Salmo trutta*) kasvulle ja kehitykselle on yleisesti pidetty kriittisenä happipitoisuutena 5 mg/l ja alkioille pitoisuutta 7 mg/l (Brett 1979). Lohensukuisten kalojen letaali happipitoisuus on noin 1 - 2,5 mg O₂/l (0 - 24 °C) sekä mm. särkikalojen ja hauen alle 1 mg O₂/l. Saman lajin eri alueilla elävillä yksilöillä on eroja hapenpuutteen siedossa (Doudoroff ja Shumway 1970). Kalanviljelylaitoksilta on vain harvoin raportoitu

kalakuolemista, jotka olisivat johtuneet hapen puutteesta, kunhan liuenneen hapen pitoisuus on ollut yli 3 mg O₂/l (Doudoroff ja Shumway 1970). Kalojen on mahdollista sopeutua veden happipitoisuuden vaihteluihin (Love 1970) ja vähitellen akklimoitua pieniin O₂-pitoisuuksiin (EIFAC 1973a). Nuoret kalat ovat herkimpiä vähähappisuudelle (Doudoroff ja Shumway 1970).

Mitä lämpimämpää vesi on, sitä enemmän kalat kuluttavat happea, ja tällöin veden tarve esimerkiksi kalankasvatuksessa suurenee. Kuvissa 7 ja 8 on esimerkki kirjolohen (*Oncorhynchus mykiss*) hapen ja veden tarpeesta eri lämpötiloissa. Lämpimässä saattavat ulosteet ja mahdollisesti syömätön rehu kerrostua pohjalle ja hajotesaan kuluttaa happea vedestä. Lämpimään aikaan poistoveden happipitoisuus voi helposti vähentyä vaarallisen pieneksi.



Kuva 7. Kirjolohen (10 - 1000 g) hapenkulutus eri lämpötiloissa (5 - 25 °C). Y-akseli kuvaa O₂-kulutusta (O₂ g/tn) ja x-akseli kalan painoa (g) (Stevenson 1980).



Kuva 8. Kirjolohjen happikyllästeisen veden tarve 5 - 25 °C:ssa. Yhtenäinen viiva kuvaa 200 g ja katkoviiva 50 g painoista kalaa. Y- akseli kuvaa veden määrää (m^3/h) ja x-akseli kalojen määrää (tn) (Stevenson 1980).

Pienessä happipitoisuudessa haudottujen lohensukuisten kalojen alkiot ovat olleet normaalia pienempiä, niiden kehitys on hidastunut, kuoriutumisen on myöhästynyt ja poikaset ovat olleet kuoriutumishetkellä pienempiä kooltaan kuin lähellä hapen kyllästysastetta haudottujen alkioiden (Silver ym. 1963, Shumway ym. 1964, Garside 1966, Hamor ja Garside 1977). Alhaisessa happipitoisuudessa alkion elintoimintojen ylläpitoon kuluu enemmän energiaa ja ruskuaisen päivittäinen hyväksikäyttö on heikompaa, mistä on seurauksena alkioiden pieni koko (Hamor ja Garside 1977). Lacroix (1985) havaitsi, että pieni liuenneen hapen määrä vedessä aiheutti lohien alkioiden ja vielä sorassa olevien vastakuoriutuneiden poikasten runsaan kuolleisuuden.

Nimenomaan alkionkehityksen alussa riittämätön hapen määrä hidastaa kehitystä, viivästyttää kuoriutumista ja lisää kuoriutumisprosessin kestoa (Siefert ym. 1974, Hamor ja Garside 1976, Brooke ja Colby 1980). Vähäinen hapen määrä alkionkehityksen lopussa taas aiheuttaa alkioiden kuolleisuutta tai ennenaikaista kuoriutumista (Alderdice ym. 1958,

Oppen-Berntsen ym. 1990). Alkionkehityksen aikana hapen tarve on suurimmillaan juuri ennen poikasen kuoriutumista (Rombough 1988). Poikasten kuoriutuessa poistuu munan kuoren muodostama este ja happitilanne paranee (O'Brien ym. 1978).

Veden pienen happipitoisuuden on todettu hidastavan kalojen kasvua (Stewart ym. 1967, Whitworth 1968). Kalat voivat myös lopettaa syömisen pienessä happipitoisuudessa (Bouck ja Ball 1965). Pedersonin ym. (1977) mukaan kirjolohen ravinnonotto ja ruokahalu vähenevät selvästi, kun happipitoisuus laskee alle 6 mg/l. Kasvu kuitenkin heikkenee jo happipitoisuuden laskiessa alle 7 mg/l. Mielenkiintoista on, että kirjolohen kasvu heikkenee ennen kuin ruokahalu (Ruohonen 1990). Pieni happipitoisuus saattaa myös hidastaa kalojen uintinopeutta (Dahlberg ym. 1968), mikä vaikuttanee kalojen alttiuteen predaatiolle.

Useat laboratoriokokeet ovat osoittaneet, että kalojen hapenkulutus ei riipu liuenneen hapen pitoisuudesta muulloin kuin sen ollessa alle lajikohtaisen kriittisen arvon (Madenjian 1990). Esimerkiksi puronieriällä (*Salvelinus fontinalis*) kriittinen pitoisuus on noin puolet liuenneen hapen kyllästysarvosta (Fry 1971). Veden happipitoisuuden ollessa alhainen kalat sietävät huonommin korkeita lämpötiloja (EIFAC 1968).

Monien aineiden myrkyllisyys lisääntyy veden happipitoisuuden pienentyessä, mm. syanidin (Doudoroff 1976), ammoniakin (Downing ja Merkens 1955), sulfaattisellutehtaan jätevesien (Hicks ja DeWitt 1971), rikkivedyn (Adelman ja Smith 1972), sinkin, lyijyn, kuparin ja fenolin (Lloyd 1961). Tähän on syynä kalojen hengityksen nopeutuminen ja siten kidusten ohi virtaavan veden määrän kasvaminen happitilanteen heikentyessä (Lloyd 1961).

4.1.2. Happamuus

Vesien pH:n muuttuminen vaikuttaa kaloihin monin tavoin eri elämänsyklinan vaiheissa. Keväällä lumen sulamisen aikaan vesi on happaminta. Tällöin kevätkutuiset kalat kutevat ja syyskutuisen kalon poikaset kuoriutuvat.

Veden happamoituminen heikentää kalakantoja erityisesti haittaamalla lisääntymistä. Kuitenkin myös aikuisten kalojen kuolemia on havaittu (Hudd ym. 1984, Nikinmaa ym. 1990, Rask ja Tuunainen 1990). Ainakin järvikutuisella siialla (*Coregonus lavaretus wartmanni*) ja puronieriällä on myös havaittu aikuisten kalojen kasvun heikkenevän happamuuden vaikutuksesta (Menendez 1976, Tam ja Payson 1986, Vuorinen ym. 1990).

Happamassa vedessä siikojen, muikun (*Coregonus albula*), ahvenen (*Perca fluviatilis*), puronieriän ja kirjolohen ovulaation ja kudun on todettu viivästyvän (Tam ja Payson 1986, Weiner ym. 1986, Tuunainen ym. 1988, Rask ym. 1990, Vuorinen ym. 1990). Esimerkiksi planktonsiialla (*Coregonus lavaretus pallasi*) koiraiden kutuvalmius ja naaraiden mädin kypsyminen oli myöhässä happamoituneessa järvessä (Tuunainen ym. 1990). Ahvenen kutu oli jopa kuukauden myöhässä hyvin happamassa järvessä, jonka veden alumiinipitoisuus oli suuri (Tuunainen ym. 1987). Altistuskokeissa osassa siikanaaraista mäti ei kehittynyt kutuvalmiiksi (Vuorinen ym. 1990, Vuorinen ja Vuorinen 1991). Osasyynä mädin kehityksen hidastumiseen voi olla kalsiumaineenvaihdunnan häiriintyminen. Kevätkutuisen kalon kudun viivästyminen voi johtaa alkionkehityksen epäonnistumiseen liian lämpimässä vedessä (Tuunainen ym. 1991). Jos poikasia kuitenkin kuoriutuu, kasvukausi jää lyhyeksi ja poikaset normaalia pienemmiksi. Ensimmäisen talven kuolleisuus voi siten olla suurempi kuin normaalioloissa.

Kaloiden mädin hedelmöitymisprosentti on ilmeisesti sitä pienempi mitä happamampaa vesi on (Tuunainen ym. 1991). Veden pH:n ollessa alle 4 useimpien kalalajien mädin hedelmöityminen epäonnistuu (Peterson ym. 1982). Siittiöiden

liikkuvuusaika lyhenee veden pH-arvon pienentyessä (Hudd ym. 1984). Tämä on havaittu muun muassa lohella, siialla, kuoreella (*Osmerus eperlanus*), ahvenella, hauella (*Esox lucius*) ja lahnalla (*Abramis brama*) (Daye ja Glebe 1984, Urho ym. 1984). Hauella on osoitettu mätimunien olevan hedelmöitymiskelpoisia lyhyemmän ajan pH:ssa 5,3 kuin pH:ssa 6,3 (Lindroth 1946).

Happamuus vähentää myös mm. lohen, kirjolohen, puronieriän, vaellussiian ja lahnan hedelmöityneiden mätimunien turpoamista (Peterson ja Martin-Robichaud 1982, Rombough ja Jensen 1985, St-Pierre ja Moreau 1987, Tuunainen ym. 1989, 1990). Veden pieni pH voi aiheuttaa kuoriutumisen viivästymisen ja osittaisen tai täydellisen estymisen - näin on havaittu muun muassa lohella (Peterson ym. 1980), puronieriällä (Menendez 1976), hauella (Tuunainen ym. 1987) ja ahvenella (Rask 1983). Vastakuoriutuneet poikaset ovat herkempiä äkillisille pH-muutoksille kuin alkiot (Daye ja Garside 1977). Happamuus lisää poikaskuolleisuutta; esimerkiksi pH-arvon 4,5 on todettu aiheuttavan mm. lohen ja puronieriän (Exley ja Phillips 1988) sekä siian poikasten kuolleisuutta (Tuunainen ym. 1990), kuitenkin eri lajeilla letaali pH vaihtelee paljon. Veden happamuus hidastaa vastakuoriutuneiden poikasten kehitystä, mm. kasvu ja ruskuaispussin imeytyminen hidastuvat ja ulkoisen ravinnon käytön aloittaminen viivästyy (Johansson ja Kihlström 1975, Menendez 1976, Skogheim ja Rosseland 1984, Cleveland ym. 1986, Tuunainen ym. 1987, 1988, Vuorinen ym. 1988). Edelleen happamuuden on todettu vähentävän poikasten uin-tiaktiivisuutta, etenkin jos vedessä on lisäksi alumiinia. Tämä tekee poikaset alttiimmiksi predaatiolle (Cleveland ym. 1986, Tuunainen ym. 1987, 1988, 1991). Puronieriän poikaset kaivautuivat esiin sorasta myöhemmin, kun veden pH laski 5,64:stä 4,65:een (Trojnar 1977).

Eri kalalajien välillä on suuria eroja herkkyydessä veden happamuudelle. Esimerkiksi särjen (*Rutilus rutilus*) poikaset kuolevat vedessä, jonka pH on pienempi kuin 5, mutta hauen poikaset saattavat elää jopa pH:ssa 4. Myös ahven, siika ja muikku ovat melko kestäviä (Tuunainen ym. 1987, 1988). Lohi

on ilmeisesti näitä huomattavasti herkempi, mutta taimen saattaa olla lähes yhtä kestävä (Fivelstad ja Leivestad 1984, Tuunainen ym. 1991, Vuorinen, julkaisematon). Granden ym. (1978) mukaan eräiden lohensukuisten kalojen herkkyyssjärjestys happamoitumiselle on kirjolohi > lohi > taimen > puronieriä. Kalakannat voivat jonkin verran sopeutua happamiin oloihin. Kalakantojen välillä onkin todettu eroja happamuuden siedossa (Grande ym. 1978, Tuunainen ym. 1988).

Myös rapu (*Astacus astacus*) on hyvin herkkä veden happamoitumiselle, erityisesti alkiot ja poikaset (Appelberg 1986).

Happaman veden haitallisuuteen vaikuttavat myös muut veden ominaisuudet, kuten humus-, kalsium- ja alumiinipitoisuus. Vedessä olevan humuksen ja kalsiumin on havaittu vähentävän happaman veden vahingollisuutta (McDonald ym. 1980, Witters ym. 1990). Alumiini sen sijaan lisää happaman veden haitallisuutta (Tuunainen ym. 1991). Esimerkiksi siian ja muikun kutukäyttämisen alkaminen ja koiraiden testisten palautuminen kudun jälkeen viivästyi, kun kaloja oli altistettu happamalle vedelle; vaikutus oli voimakkaampi, jos vedessä oli lisäksi alumiinia (Tuunainen ym. 1986, 1988, Vuorinen ym. 1990).

Veden pH puolestaan vaikuttaa vedessä olevien aineiden haitallisuuteen. Esimerkiksi nikkelisyanidin myrkyllisyyden on todettu kasvavan ja ammoniakkin myrkyllisyyden pienenevän alhaisessa veden pH:ssa (EIFAC 1969, 1973b). Myös selluteollisuuden jätevedessä esiintyvä dehydroabiетиinihappo on myrkyllisempää pienissä pH-arvoissa (Zanella 1983). Metallien liukoisuus riippuu pH:sta. Jos happamuus kasvaa, niitä mobilisoituu maa- ja kallioperästä ja sedimenteistä veteen (Almer ym. 1978, McDonald ym. 1989, Mannio ym. 1990, Steinnes 1990). Veden happamuus vaikuttaa myös metallien esiintymismuotoon ja siten myrkyllisyyteen. Vapaa ioni, joka on monien metallien biologisesti helpoiten saatavilla oleva ja myrkyllisin muoto, on useiden metallien vallitseva esiintymismuoto alhaisessa pH:ssa (Steinnes

1990). Veden happamuuden lisääntymisen on todettu lisäävän ainakin alumiinin (Brown 1983, McDonald ym. 1989, Tuunainen ym. 1991), raudan (Decker ja Menendez 1974, McDonald ym. 1989), kuparin (Howarth ja Sprague 1978) ja lyijyn (Lloyd ja Herbert 1962) myrkyllisyyttä. Happamuuden on sen sijaan havaittu vähentävän kadmiumin ja sinkin haitallisuutta (Mount 1966, Dave 1985, Cusimano ym. 1986) ja myös alumiinista (erittäin happamassa vedessä) ja kuparista on tällaisiakin mainintoja (Dave 1985, Cusimano ym. 1986). Tosin Daven (1985) havaintojen mukaan pH:lla oli vaikutusta kadmiumin myrkyllisyyteen vain lyhytaikaisessa altistuksessa.

4.1.3. Haitalliset aineet

4.1.3.1. Kiintoaine

Vedessä oleva kiintoaine haittaa kalaa. Kiintoaine voi mekaanisesti ärsyttää ja tarttua kiduksiin vaikeuttaen kalan hengitystä. Kiintoainetta voi joutua veteen esimerkiksi rankan sateen jälkeen tai tulvien vaikutuksesta. Talvisateiden odotettavissa oleva lisääntyminen tulee tuomaan myös kiintoaineita vesiin entistä enemmän. Vedessä oleva kiintoaine häiritsee mädin hautoutumista, mutta on viljelyoloissa osin poistettavissa. Suuri kiintoainepitoisuus voi aiheuttaa muun muassa kalojen kasvun hidastumista ja kuolleisuuden lisääntymistä (Sherk ym. 1975, Auld ja Shubel 1978, McLeay ym. 1984, Sigler ym. 1984).

Lohensukuiset kalat tarvitsevat kutualustakseen karkeaa soraa. Lisääntynyt sedimentaatio heikentää sorapohjaisia alueita kutualueina. Jos soraa sedimentaation vuoksi peittää hienojakoinen maa-aines, kalat välttävät kutemista sellaiselle alueelle (Olsson ja Persson 1986). Jos kalat kuitenkin kutevat, sedimentaatio häiritsee kalojen varhaiskehitystä huonontamalla pohjasoran läpäisevyyttä ja siten alkioiden ja vastakuoriutuneiden poikasten hapensaantia (Coble 1961, Moring 1982). Kokeissa sedimentaatio lisäsi taimenen alkiokuolleisuutta sekä aiheutti ennen aikaista kuoriutumista ja kuoriutumisen huomattavaa eriaikaisuutta

(Olsson ja Persson 1986). Varhain kuoriutuneet poikaset olivat tavallista pienempiä, ja niiden ruskuainen oli suurempi. Kuoriutumisajanjakson piteneminen voi olla etu sellaisissa luonnonvesissä, joissa ympäristö on hyvin ennustamaton (Witzel ja McCrimmon 1981). Toisaalta taas samanaikainen kuoriutuminen lisää eloonjäämismahdollisuuksia, koska tällöin saalistajille on tarjolla ravintoa yli tarpeen (Daan 1981). Liiallisen sedimentoitumisen on havaittu estävän poikasten kaivautumisen esiin sorasta (Bjornn 1968, Olsson ja Persson 1986).

4.1.3.2. Metallit

Lisääntyneiden talviaikaisten huuhtoumien seurauksena vesien metallipitoisuuksien voi ennustaa kasvavan ilmaston muuttuessa.

Alumiini viivästyttää happamassa vedessä kalojen ovulaatiota ja kutua (Tuunainen ym. 1989, Rask ym. 1990, Vuorinen ym. 1990). Alumiini lisää alkiodien ja vastakuoriutuneiden poikasten kuolleisuutta (Tuunainen ym. 1991). Esimerkiksi hauen vastakuoriutuneiden poikasten kehittymisen ja kasvun on todettu hidastuvan alumiinipitoisuudessa 0,1 mg/l happamassa vedessä (Tuunainen ym. 1987) ja särjen poikasten ionisäätelyä häiritsi jo alumiinipitoisuus 0,05 mg/l (Tuunainen ym. 1990). Alumiini haittaa myös aikuisten kalojen elintoimintoja (Vuorinen ym. 1990).

Vedessä oleva rauta voi saostua rautahydroksidina vesistön pohjalle, mikä heikentää pohjalle kutevien kalojen lisääntymismahdollisuuksia (Sykora ym. 1972), tai kalojen kiduksiin ja mätimunien pintaan, jolloin hengitys estyy (Schaeperclaus 1954, Lehtonen 1976, von Lukowicz 1976). Myös vedessä olevat rautahydroksidipartikkelit heikentävät kalojen elinolosuhteita (Sykora ym. 1972, Lehtonen 1976). Liiallisen raudan on todettu hidastavan kalojen kasvua, lisäävän kuolleisuutta ja heikentävän mäti- ja poikas- tuotantoa (Smith ym. 1973, Sykora ym. 1975, Smith ja Sykora 1976, Amelung 1982).

Elohopean kertyminen kaloihin suurina pitoisuuksina heikentää kalojen käyttökelpoisuutta ihmisravinnoksi. Kalojen elohopeapitoisuuden on osoitettu suurenevan veden pH:n pienetessä, ja esimerkiksi hauen lihan elohopeapitoisuus oli happamissa järvissä niin suuri, että se rajoittaa hauen käyttöä ihmisravinnoksi. Samoin oli järvissä, joiden veden humuspitoisuus oli suuri (Verta ym. 1990). Kalojen altistaminen elohopealle voi muun muassa lisätä alkio- ja poikaskuolleisuutta, nopeuttaa kuoriutumista ja hidastaa poikasten kasvua (Kihlström ja Hulth 1972, Wobeser 1975a, 1975b, Klaverkamp ym. 1983). Pienet elohopeapitoisuudet saattavat kuitenkin joskus parantaakin kuoriutumistulosta (Kihlström ja Hulth 1972).

Kuparipitoisen veden on myös havaittu hidastavan kalojen kasvua ja lisäävän kuolleisuutta sekä viivästyttävän tai estävän kutemista (Mount 1968, Mount ja Stephan 1969, Dixon ja Sprague 1981). Kupari esti hopealohen (*Oncorhynchus kisutch*) smolttien sopeutumisen suolaiseen veteen ja aiheutti niiden menehtymisen merivedessä (Lorz ja McPherson 1976). Myös lyijy ja kromi hidastavat kalojen kasvua (Benoit 1976, Sordyl 1984). Toisaalta on olemassa päinvastaisia havaintoja, joiden mukaan sinkin, kuparin ja kadmiumin pilaamassa järvessä valkoimukarpit (*Catostomus commersoni*) kasvoivat nopeammin ja tulivat aikaisemmin sukukypsiksi kuin puhtaassa järvessä. Kalojen mäti oli kuitenkin pienempää ja alkioiden sekä poikasten kuolleisuus suuri (McFarlane ja Franzin 1978). Kadmiumin on havaittu lisäävän alkiokuolleisuutta ja aikaistavan kuoriutumista. Lisäksi vastakuoriutuneet poikaset olivat pienempiä ja niiden kuolleisuus oli suurempi kuin vertailuryhmässä (Mounib ym. 1975, Nakagawa ja Ishio 1988).

Metallien myrkyllisyyteen vaikuttavat veden muut ominaisuudet - happamuuden lisäksi mm. veden kovuus ja kompleksinmuodostajien määrä. Veden kovuuden on todettu vähentävän ainakin alumiinin, kuparin ja lyijyn haitallisuutta kaloille (Lloyd ja Herbert 1962, Howarth ja Sprague 1978, Witters 1986). Monet vesistöissä olevat epäorgaaniset ja orgaaniset ligandit muodostavat suhteel-

lisen pysyviä komplekseja metallien kanssa (McDonald ym. 1989). Nämä kompleksit eivät yleensä ole kovinkaan myrkyllisiä.

4.1.3.3. Torjunta-aineet

Aurajoesta mitatut MCPA-pitoisuudet (rikkakasvien torjunta-aine), enimmillään 8 µg/l (Rekolainen ym. 1988), olivat satoja kertoja pienempiä kuin kaloille akuutteja myrkyvaikutuksia aiheuttavat pitoisuudet. Toisaalta MCPA:n pienten pitoisuuksien pitkäaikaisvaikutuksista kaloihin ei tiedetä, kuten ei tiedetä juuri muidenkaan, vain lievästi akuutisti myrkyllisten pestisidien subletaaleista vaikutuksista (mm. vaikutuksista lisääntymiseen tai kasvuun). MCPA:n on kuitenkin todettu aiheuttaneen ulkomailta kalakuolemia (Holden 1972; lainattu Murty 1986a) ja myös Suomessa (Hakala 1984). Rekolaisen ym. (1988) mukaan erityisesti dimetooatin huuhtoutumisosuus pelloilta oli runsaiden sateiden aikaan noin 6 %. Dimetooatti on käytetyin insektisidi Suomessa. Aine ei ole akuutisti kovin myrkyllistä kaloille (esimerkiksi kirjolohelle 96 tunnin LC50-arvo on noin 6 - 8 mg/l) (Mayer ja Ellersieck 1986), mutta hyönteismyrkkinä se tehoaa kylläkin vesissä eläviin äyriäisiin, joten epäsuorat vaikutukset ovat mahdollisia. Dimetooatti on organofosforiyhdiste, joka jo varsin pieninä pitoisuuksina (joitain satoja mikrogrammoja litrassa) inhiboi hermoston koliiniesteraasin toimintaa (Murty 1986b). Pitoisuuden 400 µg/l on todettu lisäksi vaurioittavan herkkiä kudoksia, kuten kiduksia, maksaa ja munuaisia (Gill ym. 1988), ja vaikuttavan hiilihydraattien aineenvaihduntaan (Ghosh 1986). Rekolaisen ym. (1988) mittauksissa muutaman pestisidin (fenitrotioni, malationi ja propaklori) pitoisuudet vedessä olivat vain 5 - 100 kertaa pienempiä kuin niiden kaloille mitatut LC50-arvot. Näistä kaksi ensin mainittua ovat organofosfori-insektisidejä ja viimeinen on herbisidi. Organofosforiyhdisteiden voi olettaa olevan myös kroonisesti myrkyllisiä, sillä kroonista myrkyllisyyttä luonnehtii usein yhdisteen vaikutuksen spesifisyys (Kenaga 1982) - siis organofosforiyhdisteiden tapauksessa niiden koliinieste-

raasin inhibointikyky. Kroonista myrkyllisyyttä voi lisätä myös yhdisteen muuttuminen myrkyllisemmäksi kalan aineenvaihdunnassa.

Suomen oloihin soveltuvia tietoja pestisidien hajoavuudesta ei ole juurikaan saatavilla. Kuitenkin esimerkiksi MCPA:n on todettu hajoavan suomalaisessa savihiekkamaassa puolet hitaammin kuin trooppisessa multahiekkamaassa (Paasivirta 1984). Jo mainittujen fenitrotonin, malationin ja propaklorin pitoisuudet jokivesissä olivat melko suuria huolimatta siitä, että niiden tiedetään hajoavan maaperässä melko nopeasti. Aurajoesta on tavattu myös kaloille hyvin myrkyllistä endosulfaania (orgaaninen klooriyhdiste) (Rekolainen ym. 1988). Organoklooriyhdisteet ovat pysyvyytensä vuoksi ongelmallinen ryhmä. Ongelmallisia ovat myös sellaiset pestisidit, jotka kertyvät eliöihin helposti ja joilla on taipumus rikastua ravintoketjussa, kuten mm. klooratuilla hiilivedyillä.

Suomessa käytettävien pestisidien hajoamisesta maaperässämme, kulkeutumisesta vesistöihin ja mahdollisista pitkäaikaisvaikutuksista kaloihin kaivattaisiin selvästi nykyistä enemmän tietoa.

4.2. Otsonikerroksen ohentumisen vaikutus

On mahdollista, että otsonikerroksen ohenemisen myötä auringon säteily, ennenkaikkea maahan tuleva ultraviolettisäteily, lisääntyy pohjoisella pallonpuoliskolla.

Veden sameus ja virtaus määräävät miten syvälle veteen UV-säteily ulottuu. Esimerkiksi metrin syvyydessä meressä UV-säteilyn määrä on noin 50 - 86 % meren pinnalle tulleesta säteilystä. Sameahkossa rannikkovedessä metrin syvyyteen pääsee vain noin 3 % pintaan kohdistuvasta säteilystä (Bullock 1988).

Hyvinkin pieni UV-B-säteily määrä voi vaurioittaa kalan ihoa. UV-säteilyn aiheuttamat vauriot kalan ihossa voidaan tunnistaa soluvaurioina. Ensimmäisenä oireena ihon limasolut turpoavat. Sen jälkeen auringon polttamia soluja ilmestyy ihoon, epidermi turpoaa ja tuhoutuu lopulta voimakkaassa säteilyssä. Kalassa nämä vauriot näkyvät harmaina paksuuntumina selässä, selkäevässä ja päässä. Vaurioitunut selkäevä voi irrota ja lihas tulla näkyviin. Bylund (1991, suull. tiedonanto) on havainnut auringon valon aiheuttavan silmävaurioita kaloissa. Poikaset ovat herkempiä UV-säteilylle kuin aikuiset kalat. Sekä Norjassa että Skotlannissa auringon säteily on ulkoaltaissa aiheuttanut lohen ja kirjolohen poikasten huomattavaa kuolleisuutta. Altaiden kattaminen vähensi kuolleisuutta huomattavasti. Skotlannissa jopa 500 - 1000 g painavat lohet kahden metrin syvyisessä vedessä saivat lieviä auringon aiheuttamia säteilyvaurioita ihoon. Tämän katsottiin edesauttavan kalojen infektoitumista *Aeromonas salmonicida*- bakteeriin. Siirto varjoon sekä lääkitys paransi kalat (Bullock 1988).

Suomessa UV-säteilylle voivat mahdollisesti altistua matalissa verkkokasseissa, luonnonravintolammikoissa ja maalammikoissa kasvatettavat kalat. Meillä vesi on usein niin sameaa tai humuspitoista, ettei UV-säteilystä liene suurempaa haittaa.

UV-säteilyn, erityisesti UV-B-säteilyn, on todettu olevan haitallista pelagisille kalan alkioille ja vastakuoriutuneille poikasille (Pommeranz 1974, Hunter ym. 1979). UV-B-säteilyaltistus, joka vastasi voimakkuudeltaan ennustettua otsonikerroksen ohenemisesta seuraavaa UV-B-säteilyn määrää, lisäsi kaliforniansardellin (*Engraulis mordax*) ja japaninmakrillin (*Scomber japonicus*) alkioiden ja ruskuaispussipoikasten kuolleisuutta sekä hidasti poikasten kehitystä ja aiheutti pigmenttihäiriöitä (Hunter ym. 1979). Altistetut poikaset olivat pienempiä ja niillä oli enemmän ruskuaista kuin vertailukaloilla. Sen lisäksi, että UV-säteily voi suoraan estää poikasten kasvua, myös ravinnon riittävä saanti voi estyä säteilyn aisteille tai muille elimille aiheuttamien vaurioiden vuoksi (Hunter ym. 1982).

Tyyntenmerenlohien alkioiden ja poikasten UV-säteilyaltistus aiheutti ennenaikaista kuoriutumista, kasvun hidastumista, pigmentaation viivästymistä ja kuolleisuuden lisääntymistä (Bell ja Hoar 1950, Dey ja Damkaer 1990). Kuningaslohen alkioiden havaittiin olevan herkempiä kuin poikasten; UV-säteily oli alkioille hyvin vahingollista jopa suhteellisen pieninä määrinä (Dey ja Damkaer 1990). On myös esitetty, että suhteellisen pieni määrä säteilyä saattaisi hidastaa sairauksien leviämistä tai sienien kasvua vahingoittamatta alkioita itseään (Dey ja Damkaer 1990). On huomattava, että luonnossa lohensukuisten kalojen alkiot ovat soran peitossa vesi- ja jäämassan alla, joten niiden altistuminen säteilylle on lähes olematonta.

4.3. Lämpötilan ja valaistuksen vaikutukset

Valaistuksen ja lämpötilan vaikutusta kaloihin on tutkittu pääasiallisesti laboratorio- tai viljelyoloissa. Viljelyssä kala ei kuitenkaan pääse pakoon vallitsevia oloja, joten ympäristön vaikutus näkyy voimakkaammin kuin luonnonoloissa.

Valo- ja lämpötilarytmi säätelevät kullekin lajille ja kannalle ominaisella tavalla kalojen lisääntymistä ja kasvua. Kalaa viljeltäessä on tärkeä tuntea kunkin viljeltävän lajin ympäristövaatimukset. Esimerkiksi istukkaalla tulee olla edellytykset sopeutua istutusvesistöön. Planktonia syöviä poikasia tuotettaessa tulee kalan olla syömäänoppimisvaiheessa silloin, kun luonnossa on planktonia tarjolla. Erilaisin viljelyllisin keinoin, esimerkiksi valoa ja lämpötilaa hyväksi käyttäen, pyritään saamaan kalan ja luonnon rytmi sopeutumaan toisiinsa ja palvelemaan kalantuotantoa.

4.3.1. Emokalat ja mädintuotanto

Kalan lisääntymiskiertoa ohjaa vuotuinen valorytmi. Jopa subtrooppisilla alueilla, missä päivän pituus muuttuu vain vähän, valorytmin on todettu vaikuttavan kalojen

kutuajankohtaan (Sundararaj ja Vasal 1976). Toiset kalalajit kutevat, kun päivä lyhenee ja toiset, kun päivä pitenee. Meillä viljeltävistä kaloista kevätkutuisia ovat lohikaloista kirjolohi ja harjus (*Thymallus thymallus*) sekä muista mm. kuha (*Stizostedion lucioperca*), toutain (*Aspius aspius*) ja hauki. Syyskutuisia ovat lohi, taimen, nieriä (*Salvelinus alpinus*) ja siika. Lohikalat ja yleensä viilleiden ja lauhkeiden vyöhykkeiden kalat kutevat kerran vuodessa. Monet alkavat valmistautua hyvin aikaisin seuraavaan kutuun. Esimerkiksi kirjolohen munasarjoissa näkyy histologisia muutoksia jo noin vuosi ennen kuin kypsät munasolut ovat valmiita (Elliott ym. 1984, Sumpter ym. 1984).

Pohjoisimpien ja kylmimpien jokien syyskutuiset lohikalat kutevat aikaisemmin kuin eteläisimmät lajitoverinsa. Esimerkiksi puronieriän on todettu kutevan Pohjois-Amerikassa 60 ° leveyspiirillä elo-syyskuussa, 44 ° leveyspiirillä lokakuussa ja 35 ° leveyspiirillä marraskuussa (Henderson 1963). Kyttyrälohi (*Oncorhynchus gorbuscha*) kutee Alaskan kylmissä virroissa aikaisemmin kuin Alaskan lämpimämmässä joissa (Sheridan 1962). Norjalaisen Sømnen (1954) mukaan erään joen lohet ja taimenet kutivat aikaisemmin joen kylmemmässä osassa. Heggbergetin (1988) tutkimissa joissa ei kuitenkaan ollut selvää korrelaatiota lohen kutuajan ja leveyspiirin välillä. Tutkitut Norjan jokien lohet kutivat päivän pituuden ollessa 5 - 9,5 tuntia ja lämpötilan ollessa 1,5 - 4,7 °C eli eri kannat kutivat sekä erilaisessa valorytmissä että eri lämpötilassa. Tähän voivat olla syynä erilaiset perintötekijät ja/tai lämmön ja valon summakertymät.

Valojaksoa muuttamalla voidaan muuttaa kalan kutuaikaa. Tästä syystä kirjolohen mätiä voi olla nykyään tarjolla koko vuoden. Kirjolohi kutee 3 - 4 kuukautta normaalia aikaisemmin, jos vuoden mittaisen valojakson lyhentää puolen vuoden mittaiseksi (Bromage ja Duston 1986). Jos kirjolohta pidetään tammikuusta toukokuulle pitkässä valojaksossa (≥ 12 tuntia valoa ja ≤ 12 tuntia pimeää) ja siirretään

toukokuussa lyhyeen valojaksoon saadaan kutu noin 4 kuukautta normaalia aikaisemmaksi (Davies ja Bromage 1991).

Pitkä päivä tai jatkuva valo heinäkuun jälkeen viivästytti viiden eri lohilajin kutua (Shiraidhi ja Fukuda 1966, Lundqvist 1980). Jos kirjolohta pitää kaksi kuukautta jatkuvassa valossa joulun- maaliskuussa kutu aikaistuu ja, jos niitä pitää jatkuvassa valossa heinä-syyskuussa kutu viivästyy (Randall ym. 1991). Yleissääntönä voidaan pitää, että pitkä päivä talvipäivän seisauksen jälkeen aikaistaa kutua ja pitkä päivä kesäpäivän seisauksen jälkeen viivästyttää kutua.

Lohen manipulointi erilaisin valorytmein on osoittautunut vaikeammaksi kuin kirjolohen. Johnston ym. (1990) lyhensivät vuoden valojakson puolen vuoden pituiseksi, eivätkä saaneet lohia kutemaan, vaikka kirjolohen kutu tässä valorytmissä aikaistuu. Lohen kutu saatiin jonkin verran aikaistumaan, kun kaloja pidettiin keväällä jatkuvassa valossa ja siirrettiin heinäkuussa lyhyelle päivälle. Kuitenkin vain 66 prosenttia naaraista kuti, kun taas luonnonvalossa olleista kuti 90 prosenttia (Taranger ym. 1991). Koko ajan jatkuvassa valossa pidetyistä lohista kuti vain 11 prosenttia ja niiden ovulaatio myöhästyi. Kirjolohen on kuitenkin todettu kutevan myös jatkuvassa valossa. Yleinen käsitys on, että lohi tarvitsee lyhenevän päivän ja kylmenevän veden kuteakseen. Kuitenkin muuttamalla valojaksoa edellisestä vuonna, on lohi saatu seuraavana vuonna kutemaan kesäkuussa luonnon valojaksossa eli, kun päivä on pisimmillään ja lämpötila nousussa (Johnston ym. 1990).

Suurin osa tutkimuksista, joissa on selvitetty valon vaikutusta kalan lisääntymiskiertoon, on tehty vakiolämpötilassa. Ympäristön lämpötila vaikuttaa vaihtolämpöisen eläimen sukurauhasiin. Valojakso saa keskushermoston ja hormonisäätelyn välityksellä aikaan sukusolujen tuoton käynnistymisen, mutta lämpötila säätelee sukusolujen kehitysnopeutta ja tehokkuutta (Billard 1983).

Kala pystyy kutemaan vasta sukusolujen saavutettua tietyn vaiheen. Sukusolujen kehityksen lämpötilavaatimuksia eri kehitysvaiheissa ei kunnolla tunneta. Erilaisen lämpötilan ja valojakson yhteisvaikutus on myös yhä epäselvä. Munan kokoon vaikuttaa pääasiassa maksasta munaan siirtyvän ravinnon määrä ja munan vesipitoisuus. Munan kehitykselle elintärkeä vitellogeeni syntyy maksassa (vitellogeneesi), josta se siirtyy munasoluun muodostamaan ruskuaisen proteiineja. Munasolun alkukehityksen aikana kasvu on hidasta, mutta vitellogeenin alkaessa kerääntyä munasoluun, kasvu kiihtyy huomattavasti. Olin ym. (1989) käsittelivät kahdessa eri lämpötilassa kasvatettuja ei-sukukypsiä lohia estrogeenillä saadakseen aikaan vitellogeenin muodostumisen maksassa. Kahdeksassa asteessa vitellogeenin synteesi ja siirtyminen vereen oli hitaampaa kuin 16 °C:ssa. Lämpötilan nousun on todettu tehostavan kirjolohen munarakkuloiden vitellogeenin ottoa (Tyler ym. 1987).

Tyler ym. (1987) totesivat kirjolohen munarakkuloiden ottavan vitellogeeniä jopa viidessä asteessa. Kuitenkin Suomessa kirjolohen sukusolujen kypsyminen tapahtuu osaksi talvella, jolloin veden lämpötila on selvästi alle viisi astetta. Ei-sukukypsille lohille annettu sukuhormoni (estradioli) ei 3 °C:ssa saanut aikaan vitellogeenin siirtymistä muniin, kuten 10 °C:ssa (Korsgaard ym. 1986). Jos lohen vitellogeneesi on alkanut, se voi jatkua 6 - 7 °C:ssa (Tyler 1987). Lohen munarauhanen aktivoitui ja kehittyi kylmässä (7 °C) luonnonvalorytmissä, mutta aikaisessa valorytmissä munarauhanen ei kehittynyt (Johnston ym. 1987).

Lämpötilan vaikutuksesta lohikalojen kutuaikaan on ristiriitaisia mielipiteitä. Davies ja Bromage (1991) aikaistivat kirjolohen kutua valojaksoa muuttamalla sekä luonnonlämpötilassa (0-10 °C kevään aikana) että jatkuvassa 8,5 °C lämpötilassa. Tasaisessa 8,5 °C lämpötilassa olleet kalat kutivat 3 - 4 viikkoa aikaisemmin kuin vertailuryhmien kalat. Valojakson muuttaminen aikaisti kutua noin neljä kuukautta. He päättelivät, että lämpötilan vaikutus kudun alkamiseen on suhteellisen pieni verrattuna valojakson

vaikutukseen. Morrison ja Smith (1986) kasvattivat kirjolohia 10-asteisessa vedessä ja normaalia lämpötilarytmiä seuraavassa purovedessä. Puroveden lämpötila pysyi kahdessa asteessa marraskuusta maaliskuuhun, jolloin se nousi nopeasti kymmeneen asteeseen. Kymmenasteisessa vedessä kasvaneet kalat kutivat joulu- tammikuussa, kun taas purovedessä kasvatetut kalat kutivat huhtikuussa veden lämpötilan ollessa 7 - 10 °C. Kutu siis aikaistui lämpimässä vedessä noin 4 kuukautta eli yhtä paljon kuin valojaksoa muuttamalla voidaan aikaistaa. Luonnonvalossa puronieriän sukurauhasten on todettu kehittyvän suunnilleen samalla nopeudella sekä 8 että 16 °C:ssa (Hokanson ym. 1973). Kun kalojen valorytmiä muutettiin reagoivat sukurauhaset eri tavoin 8 ja 16 asteessa (Hokanson 1963).

Näyttää siltä, että kutua voidaan jonkin verran viivästyttää tai aikaistaa muuttamalla lämpötilaa. Kylmässä vedessä kasvatettujen kirjolohiemojen munat olivat pienempiä, mutta munien määrä kalaa kohti oli yhtä suuri ja munien määrä emokiloa kohti suurempi kuin lämpimämmässä kasvatettujen emojen (Morrison ja Smith 1986). Suurin piirtein yhtä paljon molempien ryhmien munista tuli silmäpisteasteelle. Lämpimämmässä kasvaneet emokalat olivat selvästi suurempia kutuaikaan, mikä johtui lämpimässä vilkkaammasta aineenvaihdunnasta ja runsaammasta syömisestä.

Sekä lohi että taimen kutevat lämpötilan laskiessa, kun taas kirjolohi ja harjus lämpötilan noustessa. Leitrizin ja Lewisin (1973) mukaan kirjolohen munat eivät kypsy, eikä kala ovuloi alle neljässä asteessa. Taimenen kudun alaraja on 2 - 4 °C (Hokanson ym. 1973). Nieriä kutee vielä kolmeasteisessa vedessä.

Koska kutuaikaa voidaan muuttaa sekä valojaksoa että lämpötilaa muuttamalla ja luonnossakin voi ilmetä suuria lämpötilavaihteluja, herää kysymys, voisivatko kalat kutea lämpötiloissa, joissa kudettu mäti tuhoutuu. Edellä jo esitettiin, että Johnston ym. (1990) saivat lohet kutemaan kesäkuussa veden ollessa lämmintä. Hokanson ym. (1973) havaitsivat puronieriän yrittävän kutua normaalina

kutuaikana poikkeuksellisen lämpimässä vedessä koeolosuhteissa. Kun kirjolohille annettiin gonadotropiinia vapauttavaa hormonia, saatiin ne kutemaan melkein kuukautta normaalia aikaisemmin (Crim ym. 1983). Tällöin yli puolet emoista kuti 0,5 - 3,5 asteiseen veteen ja mäti tuhoutui suurimmaksi osaksi. Myös Dodge ja McCrimmon (1971) saivat kirjolohet kutemaan 0,3 - 2 asteiseen veteen, jolloin mätimunien kuolleisuus oli hyvin suuri. Kirjolohen ovuloidessa yli 13-asteisessa vedessä, munat pysyivät hengissä ruumiinontelossa vain lyhyen aikaa, tosin kauemmin kuin emon ulkopuolella (Billart ja Gillet 1981).

Mitä lämpimämpää vesi on, sitä nopeammin mätimunat ovulaation jälkeen tulevat ylikypsiksi. Esimerkiksi siian munat tulivat ylikypsiksi huomattavasti nopeammin 7,5 ja 11 asteessa kuin viidessä asteessa (Gillet 1991).

Suomessa eri kalanviljelylaitoksilla kalat kutevat vähän eri aikaan. Taulukossa 2 on esitetty muutamien kalalajien kutu- ja kuoriutumisaikoja Laukaan keskuskalanviljelylaitoksessa (LKKVL) ja Pohjois-Suomen keskuskalanviljelylaitoksessa (PSKKVL).

Taulukko 2. Eräiden lohikalajien keskimääräiset kutu- ja poikasten kuoriutumisaajat Laukaan (LKKVL) (n. 62,4 °N) ja Pohjois-Suomen (PSKKVL) keskuskalanviljelylaitoksilla (n. 65,6 °N).

laji	kutuaika		kuoriutumisaika	
	LKKVL	PSKKVL	LKKVL	PSKKVL
lohi	15.10.-20.11.	10.9.-15.10.	1.4.-20.5.	1.4.-20.5.
meritaimen	1.10.-10.11.	10.9.-5.10.	20.2.-10.5.	1.4.-20.5.
järvitaimen (pohjoiset kannat)	1.10.-10.11.	10.9.-20.10.	25.2.-15.5.	5.4.-20.5.
rautalamminkantta	5.10.-10.11.	-20.10.		
harjus v. 1991	10.5.	15.5.-30.5.		10.-15.6.

PSKKVL:ssa kalojen kasvukausi on huomattavasti lyhyempi kuin LKKVL:ssa. Vuosina 1980 - 1990 oli PSKKVL:ssa kasvukauden keskimääräinen veden lämpösusma 1558 °C (kasvukauden aikana veden lämpötila > 5 °C), kun taas lämpösusma vuosina 1980 - 1989 LKKVL:ssa oli 2205 °C. Yleistäen voidaan sanoa, että

PSKKVK:ssa syyskutuiset kalat kutevat noin kuukautta aikaisemmin kuin LKKVL:ssa. PSKKVL:ssa eteläinen, Rautalammin kannan järvitaimen kutee selvästi myöhemmin kuin pohjoisemmat kannat, mutta aikaisemmin kuin LKKVL:ssa. Lämpötila ei kuitenkaan yksin selitä eroja kutuajoissa. PSKKVL:ssa simojoenlohi kutee eri aikaan kuin keskenään samaan aikaan kutevat iijoen- ja torniojoenlohi (Määttä 1991, suull. tiedonanto). Eri siikamuodot ja kannat eivät kude syksyllä samanaikaisesti. PSKKVL:ssa ensimmäiset aloittavat kutunsa syys- lokakuun vaihteessa kun taas viimeisimmät kutevat marras- joulukuun vaihteessa. Kudun alkaminen vaihtelee eri vuosina.

Suomessa kirjolohen mädin kuolleisuus on suurempaa kuin lohen mädin. PSKKVL:ssa lohen mädin kuolleisuus on suurempaa kuin LKKVL:ssa. Lämpötilan mahdollista vaikutusta tähän ei tunneta.

Jos vedet lämpenevät nykyisestä, syyskutuiset kalat kutevat todennäköisesti myöhemmin. Lumen määrä jäällä keväällä ja jäiden lähdön ajankohta ovat erittäin tärkeitä kutua sääteleviä tekijöitä, sillä emot kasvatetaan pääosin ulkoaltaissa. Erilaisten keväiden vaikutusta lohikalajiemme kutuun ei ole selvitetty.

Jos talvet lämpenevät, kutevat kevätkutuiset kalat todennäköisesti aikaisemmin kuin nykyisin. Luultavimmin kevätkutuiset kalat hyötyvät nykyistä lämpimämmistä talvista; mädin ja maidin laatu voisi mahdollisesti parantua.

Sukukypsiä kuhia ja toutaimia pyydetään keväällä kutuaikaan ja kudetetaan niille kehitetyin menetelmin. Toutain kutee luonnossa noin 7 - 9 asteisessa vedessä toukokuussa ja kuha 13 - 14 asteisessa vedessä lähinnä kesäkuussa. Munat haudotaan kalanviljelylaitoksella ja poikaset istutetaan luonnonravintolammikoihin. Ahvenen on todettu kutevan menestyksellisesti pari viikkoa normaalia aikaisemmin ydinvoimalan jäähdytysvesissä (Karås 1987). Jotkut ahvenet kutivat jopa puolitoista kuukautta aikaisemmin, mutta

tällöin kutu ei onnistunut. Lämpiminä kesinä poikasten kasvu on nopeaa. Sekä lämpötila että lammikon rehevyys vaikuttavat poikasten kasvuun.

4.3.2. Ennenaikaisesti sukukypsiksi tulevat lohikalat

Varhaista sukukypsyyttä pidetään haitallisena kalankasvatuksessa. Lohi-, taimen- ja nieriäkoiraat voivat tulla sukukypsiksi jo ensimmäisen elinvuotensa aikana, tosin Suomessa yleensä 1 - 2-vuotiaina. Istutettaessa varhain sukukypsiksi tulevia lohenpoikasia, niistä saatava saalis jää pienemmäksi kuin normaalisti smolttiutuneista saatava saalis (Lundqvist ym. 1988). Toinen ongelma on ensimmäisen merivuoden aikana sukukypsyvät kalat. Nämä tulevat pienikokoisina jokiin kutemaan. Kutuasuisen lohen pyyntiarvo on pieni.

On osoitettu, että varhaisella sukukypsäksi tulemisella voi olla geneettinen perusta (Naevdal 1983, Thorpe ym. 1983, Gjerde 1984), mutta myös ympäristötekijöillä näyttää olevan erittäin suuri vaikutus. Useat tutkijat ovat eri kalalajeilla todenneet, että mitä paremmat ruokintaolosuhteet ovat, sitä nuorempana kala tulee sukukypsäksi (Vladykov 1956, McFadden ym. 1965, Wootton 1985), ja päinvastoin - huono ravintotilanne viivyttää sukukypsyyden saavuttamista (Scott 1962, Bagenal 1969, Rowe ja Thorpe 1990, Thorpe ym. 1990). Sekä pitkä päivä että korkea lämpötila todennäköisesti johtavat aikaisin sukukypsäksi tulevien lohien määrän lisääntymiseen (Rowe ja Thorpe 1990). Lohenpoikaset kasvavat paremmin pitkässä päivässä (Saunders ja Henderson 1970, Lundqvist 1980, Saunders ym. 1985), etenkin silloin, kun vesi on lämmintä (Thorpe ym. 1989). On todettu, että varhain sukukypsäksi tulevilla lohen ja nieriän poikasilla on suuri kuntokerroin tiettyyn aikaan keväällä (Rowe ja Thorpe 1990, Jobling ja Baardvik 1991). Erilaisen ravintotilanteen ja kasvun on todettu vaikuttavan myös puronieriän (McCormick ja Naiman 1984), kirjolohen (Skarphedinsson ym. 1985) ja punalohen (*Oncorhynchus nerka*) varhaiseen sukukypsyyteen (Kato 1978).

Nykyään kalanviljelyyn otetaan mielellään myöhään sukukypsäksi tulevia kantoja. Esimerkiksi Norjassa ruokakalan kasvatukseen valitaan tällaisia kantoja, mutta silti on vuosia, jolloin koko Norjan rannikolla monet lohet tulevat ensimmäisenä merivuonna sukukypsiksi (Saunders ym. 1983). Eri vuosien lämpötila- ja kasvueroja on esitetty syyksi. Kun Norjasta siirrettiin myöhään sukukypsäksi tulevaa kantaa Iso-Britanniaan, ensimmäisenä merivuonna tuli 30 - 50 prosenttia sukukypsiksi (Rowe ja Thorpe 1990). Esimerkiksi Søltnæs ym. (1991) havaitsivat syksyllä vähän lämpimämmässä olleessa ja silloin paremmin kasvaneessa ryhmässä enemmän ensimmäisenä merivuonna sukukypsäksi tulevia kaloja kuin vertailuryhmässä. Vertailuryhmä kasvoi paremmin keväällä, jolloin sitä kasvatettiin koeryhmää lämpimämmässä. Tässä on ristiriita Thorpen ym. (1990) tuloksiin, joka suosittelee lohen ruokinnan vähentämistä joulukuussa, jos halutaan estää naaraita tulemasta sukukypsiksi seuraavana syksynä. Ruokinnan vähentäminen helmi-maaliskuussa vähensi tehokkaimmin sukukypsien naaraiden ja koiraiden määrää. Voi olla, että eri kalakannat vaativat paaston vähän eri aikaan, jotta eivät tulisi sukukypsiksi tai Søltnæsin ym. (1991) koekalat olivat huonommasta kevätkasvusta huolimatta keväällä kylmemmässä vedessä rasvaisempia kuin vertailuryhmän kalat. On osoitettu, että lohenpoikasen rasvapitoisuus talvella ja keväällä vaikuttaa siihen, alkavatko sukusolut kehittyä ja, miten nopeasti ne kehittyvät (Rowe ja Thorpe 1990, Rowe ym. 1991).

Viljeltävissä lohi-, taimen - ja nieriäparvissa on toisinaan Suomessakin - jopa Lapissa - runsaasti varhain sukukypsyviä koiraita. Ei kuitenkaan tiedetä, mikä kasvun vaihe on kriittinen pohjoisiin olosuhteisiin sopeutuneille kaloillemme ja mistä runsas ennenaikaisesti sukukypsäksi tulevien koiraiden määrä johtuu.

4.3.3. Alkio- ja poikasvaiheen kehitys

Jo kauan on tiedetty lämpötilan pitkälti määräävän alkioiden kehitysnopeuden. Korkeissa lämpötiloissa mäti kehittyy nopeasti ja poikaset kuoriutuvat aikaisin (Crisp 1981, Treasurer 1983, Heggberget ja Wallace 1984, Herzig ja Winkler 1986, Laurila ym. 1987, Luczyński 1991). Kalanviljelyssä alkion kehitystä voidaan hidastaa pitämällä mätiä normaalia alhaisemmassa lämpötilassa (Bromage ja Cumaranatunga 1988). Alkion kehityksen nopeus ja kuoriutumisen ajankohta riippuvat mm. lajikohtaisista lämpötilaoptimeista (Beacham ja Murray 1986, Mills 1991), lämpötilan vaihtelusta (Murray ja Beacham 1986), veden happipitoisuudesta (Shumway ym. 1964, Hamor ja Garside 1977) ja ympäristön ärsykkeistä (Heggberget ja Wallace 1984, Luczyński ja Kolman 1987). Alkioiden kehitysnopeus lasketaan usein päivä- tai tuntiasteina. Taulukossa 3 on esitetty esimerkin vuoksi erilaisia lohikalujen alkioiden kehitysnopeuksia.

Erilaisin matemaattisin mallein voidaan tuntemalla haudontalämpötila ennustaa poikasten kuoriutumisaika tai syömäänoppimisaika (Jungwirth ja Winkler 1984, Crisp 1981, Crisp 1988, Kane 1988). Jos poikasten halutaan kuoriutuvan tiettyyn aikaan keväällä, voidaan laskea, missä lämpötilassa munat tulisi hautoa. Lämpimässä vedessä haudotuista munista poikaset kuoriutuvat suhteellisesti aikaisemmin kuin kylmässä vedessä haudotuista. Lämpimässä vedessä haudottaessa poikaset ovat kuoriutuessaan lyhyempiä ja ruskuaispussi on isompi kuin kylmässä vedessä haudottaessa (Peterson ym 1977, Pavlov 1984, Næsje ja Jonsson 1988) eli poikaset kuoriutuvat varhaisemmassa kehitysvaiheessa (Pavlov 1985, Luczyński ja Kolman 1987). Luczyński ym. (1987) totesivat muikulla ja siialla kuoriutumisesyymien aktiivisuuden kasvavan veden lämpötilan noustessa. Normaalia aikaisemman kuoriutumisen voi myös aiheuttaa veden liian pieni happipitoisuus (Luczyński 1984, Rombough 1988, Yamagami 1988, Oppen-Berntsen ym. 1990), mekaaninen häirintä (Næsje ja Jonsson 1988), äkillinen lämpötilan nousu

(Heggberget ja Wallace 1984) ja valo joillakin lajeilla (Oppen-Berntsen ym. 1990).

Taulukko 3. Alkion kehitysaika eri lämpötiloissa eri lohikaloilla.

laji	lämpötila	päiväasteet	vrk	lähde
kirjolohi	4,4	356	80	Brown ja Gratzek 1980
	7,2	347	48	Brown ja Gratzek 1980
	10	310	31	Brown ja Gratzek 1980
	12,8	307	24	Brown ja Gratzek 1980
	15,6	296	19	Brown ja Gratzek 1980
	5 - 12	310		Shepherd ja Bromage 1988
taimen	1,7	260	156	Brown ja Gratzek 1980
	4,4	444	100	Brown ja Gratzek 1980
	5,2		85	Elliott ym. 1984
	5,5		83	Elliott ym. 1984
	6,7		68	Elliott ym. 1984
	7,2	462	64	Brown ja Gratzek 1980
	10,0	410	41	Brown ja Gratzek 1980
	5 - 12	410		Shepherd ja Bromage 1988
	2,0	239		Jungwirth ja Winkler 1984
	6,0	76		Jungwirth ja Winkler 1984
10,0	42		Jungwirth ja Winkler 1984	
lohi	0,15 - 0,17	38 - 44	250 - 260	Wallace ja Heggberget 1988
	0,97 - 1,03	205 - 214	206 - 221	Wallace ja Heggberget 1988
	3 - 13	430		Shepherd ja Bromage 1988
	8,0	504	63	Gunnes 1979
	10,0	492	49	Gunnes 1979
	12	453	38	Gunnes 1979
nierikä	2,0		248	Jungwirth ja Winkler 1984
	6,0		75	Jungwirth ja Winkler 1984
	10,0		44	Jungwirth ja Winkler 1984
puronierikä	1,7	240	144	Brown ja Gratzek 1980
	4,4	458	103	Brown ja Gratzek 1980
	7,2	491	68	Brown ja Gratzek 1980
	10,0	444	44	Brown ja Gratzek 1980
	12,8	447	35	Brown ja Gratzek 1980
	4 - 12	410		Shepherd ja Bromage 1988
harmaanierikä	5 - 12	490		Shepherd ja Bromage 1988
harjus	2,0		106	Jungwirth ja Winkler 1984
	6,0		41	Jungwirth ja Winkler 1984
	10,0		22	Jungwirth ja Winkler 1984
	14,0		13	Jungwirth ja Winkler 1984
	16,0		11	Jungwirth ja Winkler 1984

Aikaisessa kehitysvaiheessa kuoriutuva poikanen aloittaa syömisen myöhemmin kuin kehittyneempi lajitoverinsa, jos poikasia pidetään samassa lämpötilassa (Luczyński ja Kolman 1987). Lämpimässä vedessä kuoriutumisen jälkeen poikasten kasvun on todettu olevan nopeaa (Luczyński 1991). Ruskuaisen absorboitumisen aikana kudosten kasvuun käytettävissä oleva energiamäärä on pienempi lämpimässä kuin kylmässä vedessä (Heming 1982), koska energiaa kuluu elintoimintojen

ylläpitoon enemmän (Hamor ja Garside 1977). Tämän seurauksena lämpimässä olleet poikaset voivat olla normaalia pienempiä ulkoisen ravinnonkäytön aloittamisen hetkellä (Heming 1982, Luczyński 1991, Buckley ym. 1990).

On selvitetty, mikä olisi kunkin lajin paras haudontalämpötila (taulukko 4). Syyskutuiset kestävät paljon kylmempää vettä kuin kevätkutuiset.

Taulukko 4. Joidenkin viljeltävien lajien mädin haudonnan optimilämpötila; suluissa on suositeltu lämpötila (Vernidub (1963) ja Ryzhkov (1976), Pavlovin (1985) mukaan).

laji	optimi T °C	letaali	lähde
lohi	4 - 8 (6) 6 - 10 (10)	12 3 - 4	Peterson ym. 1977 Gunnes 1979 Vernidub 1963
taimen	6 - 8 3 - 4	11 - 12	Jungwirth ja Winkler 1984 Ryzhkov 1976
nieriä	6 - 8	12 - 13	Jungwirth ja Winkler 1984
puronieriä	6	12,7	Hokanson ym. 1973
harjus	6 - 13,5	15	Jungwirth ja Winkler 1984
kirjolohi	4 - 13 3	16	Billard 1983, Morrison ja Smith 1986

Monet tutkijat pitävät kuitenkin parempana haudontaveden kylmenemistä tietyssä alkionkehitysvaiheessa ja sen jälkeen tapahtuvaa lämpenemistä kuin tasaista lämpötilaa. Venäläiset tutkijat suosittelevat lohen mädin haudontalämpötilaksi 5 - 5,5 °C ennen silmien pigmentaation alkua ja sitten lämpötilan laskua 0,2 - 0,5 °C:een, minkä jälkeen lämpötilan voi hiljalleen nostaa 10 - 12 °C:een asti, kun alkio ympäröi 2/3 - 3/4 ruskuaispussia (Pavlov 1985). Toinen vastaavanlainen suositus on hautoa mätiä ensin 4,5 °C:ssa organogeneesin alkuun, sitten alentaa lämpötilaa 0,5 - 1,5 °C:een ja jälleen nostaa lämpötilaa 4,5 °C:een ennen kuoriutumista (Pavlov 1985).

Myös kevätkutuisten kalojen mädin haudontaan on suositeltu muuttuvaa lämpötilaa. Timoshina (1972) suositteli kirjolohen

kasvatusta ensin 5 °C:ssa silmien pigmentoitumisen alkuun ja sitten lämpötilan nostoa 10 - 11 °C:een kuoriutumiseen asti.

Harmaanieriä (*Salvelinus namaycush*) on kylmän veden kala, ja sen alkionkehitys vaatii kylmää vettä. Yhdysvalloissa (Pennsylvaniassa) haudottiin harmaanieriän mätiä noin 8 - 10,5 °C:ssa huonoin tuloksin. Kun veden lämpötilaa laskettiin marraskuusta tammikuuhun noin 3,5 °C:een ja vasta helmikuussa lämpötila nostettiin noin 7,5 °C:een saatiin huomattavasti parempi tulos. Haudontavaiheen kuolleisuus oli tällöin 'vain' noin 30 prosenttia (Ostergaard 1987).

Lohen ja taimenen mädin suositeltavat haudontalämpötilat ovat pääsääntöisesti korkeampia kuin normaalisti käytetyt mädin haudontalämpötilat Suomessa. Nämä lajit ovat kuitenkin hyvin sopeutuneita kylmään. Wallace ja Heggberget (1988) tekivät kokeen, jossa hautoivat sekä Pohjois-Norjasta, Alta-joesta, että Etelä-Norjasta ja eräältä Etelä-Norjan kalanviljelylaitokselta peräisin olevaa lohen mätiä 0,15 ja 1 °C:ssa. Kalanviljelylaitoksella mäti haudottiin yleensä noin 6 - 8 °C:ssa. Tutkijat eivät havainneet eroja kuolleisuudessa (10 - 20 %) ryhmien välillä. Myös alkion kehitysnopeus oli kaikissa ryhmissä hyvin samanlainen; pieniä eroja löytyi, mutta niitä ei pidetty merkittävinä. Kokeen perusteella Wallace ja Heggberget (1988) päättelivät, etteivät lohet ole erityisesti lämpötilan perusteella sopeutuneet omiin jokiinsa. Kuitenkin Murray ym. (1990) havaitsivat hopealohen Vancouver- ja Queen Charlotte-saarilta peräisin olevien kantojen kestävän huommin 1,5 - 2 asteista vettä kuin mantereelta peräisin olevien kantojen. He olettavat, että mantereiset kannat ovat sopeutuneet kylmempään veteen kuin saarilla lisääntyvät kannat. He havaitsivat myös pohjoisten ja mantereisten kantojen tuottavan suurempia vastakuoriutuneita poikasia matalassa lämpötilassa (1,5 - 2 °C) kuin eteläisemmät ja mereisemmät kannat. Veden ollessa 8 °C tilanne oli päinvastainen. Pavlov (1984) tutki Muurmanskin seudun lohia ja havaitsi, että lohen mätiä ei tulisi hautoa yli 9 °C:ssa kehityksen alkuvaiheessa. Keski-Norjassa kuitenkin lohia haudotaan jopa 10 °C:ssa (Gunnes 1979).

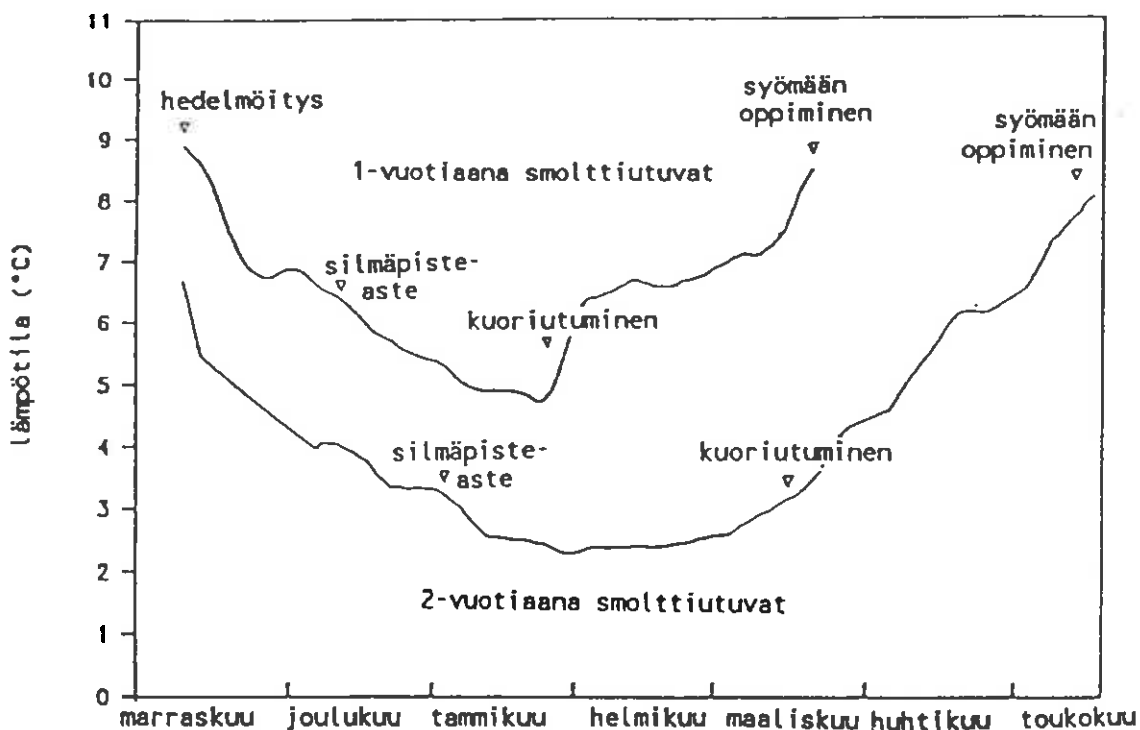
Meillä lohi haudotaan yleisesti luonnon lämpötilassa, joka vaihtelee haudonnan kuluessa ja vuodesta toiseen. Syyskutuisten kalojen haudontalämpötila on talvella esim. PSKKVL:ssa 0 - 1 °C, kun taas LKKVL:ssa 2 - 4 °C. PSKKVL:ssa mädin haudonta voi kestää pari kuukautta kauemmin kuin LKKVL:ssa. Vuonna 1988 tutkittujen lohien mädin haudontaan hedelmöitymisestä kuoriutumiseen tarvittiin Laukaassa 407 - 431 päiväastetta (151 - 160 vrk), kun taas PSKKVL:ssa vain 144 päiväastetta (217 vrk). Jos talvilämpötila nousee, haudonta-aika lyhenee. On erittäin tärkeää, että poikasten kuoriutuminen ajoittuu siten, että syömäänoppimisvaiheessa vesi on riittävän lämmintä. Lämpötila vaikuttaa myös siihen, miten pitkä aika kuluu kuoriutumisesta syömäänoppimiseen. PSKKVL:ssa siihen voi mennä 1,5 kuukautta. Jos tämä aika venyy erittäin pitkäksi, voi olla mahdollista, että poikaset nälkiintyvät. Esimerkiksi nierian on todettu syövän jo 3 °C:ssa, mutta lohelle tämä lämpötila on vielä liian kylmä. Jos pitkä syyskierto jäähdyttää järvet syvältä, tulee alusvettä käyttävissä laitoksissa syyskutuisten kalojen haudonta-aika pitenemään. Jos poikaset kuoriutuvat hyvin myöhään, kasvukausi jää lyhyeksi ja esimerkiksi lohen smolttiutuminen voi viivästyä tai syksyllä istutettavat poikaset ovat liian pieniä istutettaviksi.

4.3.4. Lohikalojen smolttiutuminen

Kehittyminen jokipoikasesta vaelluspoikaseksi (smolttiutuminen) on monimutkainen fysiologinen tapahtuma. Se on ilmeisesti valojakson laukaisema, hormonaalisesti säädelty ilmiö. Suomessa viljellyt lohen ja taimenen poikaset smolttiutuvat normaalisti 2-vuotiaina, jolloin ne myös istutetaan. Taimenen vaellusvalmiuden kehittyminen ei ole yhtä säännönmukaista kuin lohen. Maa-altaissa kasvatetuista taimenista usein vain osa on smolttiutunut istutusaikaan. Iijoentaimen harvemmin smolttiutuu laitosoloissa. Oletettavasti taimen smolttiutuu kuten lohikin, jos ympäristö on suotuista.

Tärkeimpiä smolttiutumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat valaistus, lämpötila ja kasvu. Lohenpoikasen tulee saavuttaa tietty koko (12 - 13 cm) ennen kuin sillä on edellytykset smolttiutua. Mitä pohjoisemmaksi mennään, sitä vanhempana lohi lähtee vaellukselle. Luonnonoloissa tornionjoenlohi smolttiutuu 3 - 5-vuotiaana. Suomen eteläpuolella osa lohista smolttiutuu säännönmukaisesti jo 1-vuotiaana.

Yksivuotiaiden lohenpoikasten tuotanto on kalanviljelylaitokselle edullisinta ja siksi monissa maissa pyritään tuottamaan mahdollisimman paljon 1-vuotiaana smolttiutuvia lohia. Tällöin mäti haudotaan usein luonnonlämpötilaa lämpimämmässä vedessä, jolloin poikaset kuoriutuvat normaalia aikaisemmin ja kasvukausi alkaa aikaisemmin, mikä johtaa aikaisempaan smolttiutumiseen (kuva 9) (Gunnes 1979, Kane 1988).



Kuva 9. Lämpötilan vaikutus lohen kehitykseen. Aikainen kuoriutuminen johtaa smolttiutumiseen yksivuotiaana (ylempi käyrä) (Kane 1988).

Thorpen (1986) mukaan altaassa olevista lohista keskikesällä osa jatkaa kasvua normaalisti ja smolttiutuu seuraavana keväänä, kun taas osan kasvu hidastuu ja nämä kalat smolttiutuvat vasta 2-vuotiaina. Mitä paremmassa ympäristössä poikaset ovat keski- ja loppukesästä, sitä pienempi on hitaasti kasvavien poikasten määrä altaassa (Thorpe ym. 1989). Myös syksyllä valojakson muuttamisen pitkäksi päiväksi on todettu vähentävän huonosti kasvavien poikasten määrää (Kristinsson ym. 1985, Saunders ym. 1989, Stewart ym. 1990, Saunders ja Harmon 1990), mutta kuukausia kestävä pitkä päivä syksyllä voi vähän myöhästyttää smolttiutumista (Saunders ym. 1989). Hyvin tärkeä smolttiutumista säätelevä tekijä on päivän piteneminen keväällä. Muuttamalla yksivuotiaan poikasen valorytmiä keväällä voidaan kalat saada smolttiutumaan normaalia aikaisemmin tai myöhemmin (Forsman ja Virtanen 1988). 2-vuotiaan poikasen smolttiutumisaikataulun selvä muuttaminen ei onnistunut.

Meilläkin on tuotettu 1-vuotiaita lohi-istukkaita sekä kalanviljelylaitoksilla ruokkimalla kaloja runsaasti, että ydinvoimaloiden jäähdytysvesissä. Silloin, kun 1-vuotiaiden tuottamiseen käytetään jäähdytysvesiä, tuodaan kalat syksyllä 0-vuotiaina lämminvesikasvatukseen. Tällöin poikaset voivat olla vaellusvalmiita jo helmi-maaliskuussa. Smolttiutumista voi viivästyttää siirtämällä kalat kylmään veteen smolttiutumisvaiheen alussa, jolloin ne ovat touku-kuussa normaaliin istutusaikaan vaellusvaiheessa (Soivio ym. 1988).

Dickhoff ym. (1989) kasvattivat marras-huhtikuussa sekä luonnonlämpöisessä että 11-asteisessa vedessä lohenpoikasia, jotka normaalisti smolttiutuvat keväällä. Kesällä mereen siirron jälkeen kuoli lämpimässä kasvatetusta ryhmästä paljon enemmän poikasia kuin luonnonlämpötilassa kasvatetuista. Islannissa (Johannesson 1982), missä kaloja kasvatetaan maalämmössä 10 - 12 -asteisessa vedessä, laitettiin 13 kuukauden ikäiset lohenpoikaset 4 asteiseen veteen. Kuuden viikon kuluttua kalat olivat smolttiutuneet, mutta lämpimässä vedessä ollut vertailuryhmä ei osoittanut

smolttiutumisen merkkejä. Näyttää siltä, että lohenpoikanen tarvitsee kylmän kauden ennen kuin se smolttiutuu ja voi selviytyä meressä. Duston ym. (1991) havaitsivat, että mitä lämpimämpää vesi on keväällä, sitä nopeammin smolttivaihe menee ohi.

Suomessa smoltit pyritään istuttamaan noin kymmenasteiseen veteen. Norjalaiset Jonsson ja Ruud-Hansen (1985) totesivat, että lohenpoikasen vaellus mereen on kytkeytynyt nopeaan lämpötilan nousuun suhteessa tiettyyn pitkäaikaisempaan peruslämpötilaan. Heidän tutkimansa smoltit vaelsivat veden lämpötilan ollessa 5,8 - 11,2 °C.

1-vuotiaana sukukypsäksi tulevan koiraslohen sukurauhaset voivat talven aikana osaksi regeneroitua. Nämä kalat osoittavat smolttiutumisen merkkejä samaan aikaan kuin juveniilit lohet, mutta ennenaikaisesti sukukypsäksi tulleet eivät kykene säätelemään suola- ja vesitasapainoaan suolavedessä aivan yhtä hyvin kuin normaalit smoltit (Eriksson ym. 1989). Mitä lämpimämpää vesi on keväällä, sitä nopeammin sukurauhaset pienenevät. Tästä huolimatta lämmin vesi Erikssonin ym. (1989) mukaan huononsi koiraiden suola- ja vesitasapainon säätelykykyä merivedessä. Kuitenkin Berglund ym. (1991) havaitsivat talvella viisi kuukautta lämpimässä vedessä (4-9 °C luonnon vettä lämpimämpi vesi) kasvatettujen 2-vuotiaden lohikoiraiden kykenevän säätelemään kudosten suola- ja vesitasapainoa merivedessä ja vaeltavan joesta mereen.

Ilmaston lämmitessä 1-vuotiaana smolttiutuvien lohenpoikasten määrä voi kasvaa. Toistaiseksi kuitenkin Suomessa 2-vuotias smoltti antaa paremman pyyntituloksen kuin 1-vuotias. Osaksi tähän voi vaikuttaa tutkimuksissa käytetty merkintämenetelmä, joka haittaa vähemmän isompien kalojen selviytymistä (Naarminen 1985).

4.3.5. Kasvu

Kalojen kasvu vaihtelee vuosittain ja alueittain sekä luonnossa että viljelylaitoksilla. Tärkeimpiä kalan kasvuun vaikuttavia tekijöitä ovat: lämpötila, kalalaji ja rotu (tai kanta), ravinnon määrä ja laatu, kalan terveys ja sukukypsyyssaste. Muita tekijöitä ovat kalan ikä, koko, aktiivisuus, sosiaalinen hierarkia ja valojakso. Luonnossa lisäksi vaikuttaa lajien välinen kilpailu. Huono veden laatu, esimerkiksi alhainen happipitoisuus rajoittaa kalan kasvua.

Kasvu on lajille tyypillisessä optimilämpötilassa nopeinta. Tätä alemmassa ja korkeammassa lämpötilassa kasvu hidastuu. Poikkeuksiakin on. Esimerkiksi amerikanmuikun (*Coregonus artedii*) vastakuoriutuneiden poikasten kasvu nopeutuu melkein letaaliin lämpötilaan asti; vähäistä kuolleisuutta esiintyy tosin jo vähän tätä alhaisemmissa lämpötiloissa (McCormick ym. 1971). Kasvun hidastuminen on optimia korkeammassa lämpötiloissa voimakkaampaa kuin alhaisemmissa (Magnuson ym. 1979). Esimerkiksi isoaurinkoahvenella (*Lepomis macrochirus*), kelta-ahvenella (*Perca flavescens*) ja punalohella kasvu on 5 °C optimia alemmassa lämpötilassa noin 82 prosenttia ja 5 °C korkeammassa 54 prosenttia maksimikasvusta. Monet lohikalat kasvavat parhaiten noin 15 °C:ssa, ja yli 20 °C:ssa kasvu hidastuu (taulukko 5).

Taulukko 5. Eri lajien optimi- ja kriittisiä lämpötila-alueita Elliottin (1981) mukaan.

laji	optimi T °C	alin	ylin
siika	8 - 15		20 - 25
harjus	4 - 18		18 - 24
lohi	6 - 20		20 - 34
tainen	4 - 19	0 - 4	19 - 30
kirjolohi	10 - 22	0 - 9	19 - 30
nieriä	5 - 16	n. 0	22 - 27
puronieriä	8 - 20	0 - 7	20 - 29
kuha	12 - 30		32 - 37

Kalat kestävät paremmin korkeita lämpötiloja, jos niitä on akklimoitu nousevaan lämpötilagradienttiin pitkän ajan kuluessa (Haschemeyer 1973). Kun, esimerkiksi taimenen poikasia altistettiin lämpötilan nousulle 4:stä 18:aan asteeseen siten, että lämpötilaa muutettiin 0,5 tai 1 °C viikossa, lämpötilan nousulla ei ollut vaikutusta kasvunopeuteen, koska kalat akklimoituiivat näin vähittäiseen olosuhteiden muutokseen (Brown 1946).

On laskettu, että suotuisassa ympäristössä lämpötilan kohotessa noin 10 °C, kalan aineenvaihdunta kaksinkertaistuu. Tästä seuraa, että myös energian tarve kasvaa. Lämpimämmässä vedessä kala tarvitsee enemmän ravintoa. Pieni kala syö suhteessa enemmän kuin iso. Kun lämpötila kohoaa liian suureksi, ruokahalu vähenee. Mm. kirjolohen, lohen ja taimenen ruokinnasta on julkaistu ruokintataulukkoita sekä kalanviljelyn opaskirjoissa että rehun valmistajien tuote-esitteissä. Näissä otetaan huomioon lämpötila ja kalan koko. Paras ruokintatehokkuus saavutetaan, kun kalan syömän kuivarehun määrä (esim. g/vrk) on mahdollisimman lähellä kalan kasvua (g/vrk). Tämä nk. rehukerroin on pienin silloin, kun kala on itselleen parhaiten sopivassa ympäristössä. Rehukertoimeen vaikuttavat veden lämpötila ja rehun määrä. Sekä ympäristön rehevöitymisen että rehukustannusten takia on tarkkaan tiedettävä eri lajien ja erikokoisten kalojen ravinnontarve eri lämpötiloissa. Kun kaloja on pidetty ilman ravintoa, painon menetyksen on todettu olevan nopeampaa lämpimässä vedessä kuin kylmässä vedessä, koska elintoimintoihin käytetyn energian määrä kasvaa lämpötilan noustessa. Luonnossa yleensä talviaikainen nälkiintyminen on 0-vuotiaille kaloille merkittävä stressi ja usein talven yli selviytyminen ratkaisee, onko kyseisen lajin elämä yleensäkin mahdollista ko. vedessä. Suurempi aineenvaihdunnan nopeus on mahdollisesti syynä myös kalojen lyhyempään elinikään lämpimässä vedessä (Alm 1959, Lehtonen 1973).

Kalan kasvu on tietyllä lämpötila-alueella lineaarista. Esimerkiksi taimen kasvaa lineaarisesti lämpötilassa 3,3 - 12,8 °C (Elliott 1975) ja nieriä -0,3 - 14 °C (Jobling

1983). Erilaisia lämpötilaan ja kalan kokoon perustuvia kasvumalleja on laadittu eri lohikaloille mm. taimenelle (Elliott 1975), yleensä lohikaloille (Iwama ja Tautz 1981), nieriälle (Jobling 1983), taimenelle ja nieriälle (Jensen 1985) ja siialle (Koskela 1991). Malleissa edellytetään, että kalat saavat riittävästi ravintoa. Esitetyt kasvumallit eivät välttämättä sovellu kaikille kannoille. Esimerkiksi nieriäkannoilla saadut kasvutulokset voivat poiketa merkittävästi toisistaan (Lyytikäinen ym. 1990). Lyytikäinen ja Rissanen (1990) havaitsivat Joblingin (1983) mallin arvioivan nieriä- ja harmaanieriäkantojen (molemmista lajeista kaksi kantaa) kasvun todellisuutta suuremmaksi, kun taas kylmässä, noin kolmeasteisessa vedessä ko. kasvumalli antoi liian pienen tuloksen (Rissanen 1990).

Ruokakalaksi meillä kasvatetaan miltei yksinomaan kirjolohta, mutta viime aikoina on selvitetty, miten sekä siian että nieriän kasvatus ruokakalaksi onnistuisi. Tässä yhteydessä on tutkittu nieriän ja siian kasvua eri lämpötiloissa.

Nieriä on kylmän veden laji. Wandsvik ja Jobling (1982) havaitsivat nieriän kasvavan parhaiten ja syövän eniten 13,1 °C:ssa. Lyytikäinen ym. (1990) kasvattivat inarinnieriän pikkupoikasia 6, 9, 12, 15, 18 ja 21 °C:ssa. Parhaiten kalat kasvoivat 12 °C:ssa, mutta erot kahteen korkeampaan lämpötilaan olivat pieniä (15 ja 18 °C). He totesivat myös, että tihkuruokinnalla (vähän ja usein) saadaan korkeammassa lämpötiloissa parempia tuloksia kuin ruokinnalla, jossa kaloille annetaan ruokaa esimerkiksi 2 kertaa päivässä. Kalojen rasva- ja energiapitoisuus oli suurimmillaan 9 - 12 °C:ssa. 18 °C:ssa kuolleisuus oli suurempaa kuin viileämmässä, ja 21 °C:ssa suurin osa kaloista kuoli kokeen aikana. Syynä suureen kuolleisuuteen oli valkopilkkutauti. Inarinnieriän letaalilämpötila pitkäaikaisessa altistuksessa on 23,5 °C (Lyytikäinen ym. 1989).

Planktonsiian maksimikasvunopeus saavutetaan noin 20 °C:ssa (Koskela 1989). Korkeammassa lämpötiloissa ruokintaa on syytä vähentää (Koskela 1990). Planktonsiian alkukasvatuksen

sopivan lämpötilan alarajana pidetään 10 - 11 °C (Koskela 1988). Alhaisemmissa lämpötiloissa kasvu on hitaampaa. Koskela (1988) arvelee sopivaksi alkukasvatuslämpötilaksi 12 - 22 °C. Vastakuoriutuneen planktonsiian letaalilämpötila on korkea (26,0 - 27,8 °C) (Mäkinen ja Koskela 1988). Koskela ja Eskelinen (1991) kasvattivat siian poikasia useassa eri lämpötilassa 10,7 - 24,2 °C:ssa. Poikasten kuolleisuus lisääntyi kylmän veden 16 %:sta lämpimän veden 43 %:iin. Siianpoikasen optimikasvulämpötila oli 19,3 - 20,6 °C.

Hill ja Magnuson (1990) tutkivat ilmaston lämpenemisen vaikutuksia toista kasvukauttaan aloittaviin isobassin (*Micropterus salmoides*), harmaanieriän ja kelta-ahvenen poikasten kasvuun ja ravinnon käyttöön. Harmaanieriä on kylmän, kelta-ahven viileän ja isobassi lämpimän veden laji. Tutkimuksessa käytettiin bioenergeettistä mallia, jonka avulla voidaan laskea kalan kasvunopeus ravinnon kulutuksen, hengitysnopeuden sekä ulosteiden ja eritteiden määrän perusteella (Rice ym. 1983). Mallissa käytettävät muuttujat ovat voimakkaasti lämpötilasta riippuvaisia. Lämpötilan nousu muutamalla asteella ja kasvukauden piteneminen lisäisi tutkittujen lajien kasvua ja ravinnon käyttöä. Hill ja Magnuson (1990) simuloivat edellä mainitun lisäksi tilanteen, jossa isobassin, harmaanieriän ja kelta-ahvenen ravinnonkäyttöä ei rajoitettu sekä oletettiin kalojen hakeutuvan lajilleen ominaiseen lämpötilaan. Tässä simulaatiossa kaikkien lajien kasvu nopeutui, eniten isobassin. Simulaatiossa, jossa kalojen ravinnon käyttöä rajoitettiin muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina, kaikkien lajien kasvu hidastui. Kun simulaatiosta jätettiin pois optimaalisen lämpötilan valinta, kylmää vettä suosiva harmaanieriä ei enää selvinnyt hengissä. Nämä kasvusimuloinnit osoittavat, että kalojen kasvun muutokset riippuvat pääasiallisesti mahdollisista muutoksista alemmissa trofiatasoissa (Hill ja Magnuson 1990).

Lämpötilan kohoaminen ei kuitenkaan välttämättä lisää kasvua kaikkina vuodenaikoina, sillä päivän pituus vaikuttaa kalojen kasvuun. Monet kalat eivät syö pimeässä, ainakaan merkittäviä määriä. Esimerkiksi useiden lohikalojen on

todettu viljelyolosuhteissa kasvavan paremmin pitkässä päivässä (Saunders ja Henderson 1988). Myös ahvenen kasvun havaittiin hidastuvan laboratorionkokeissa lyhyen päivän oloissa (Karås 1990). Kasvu hidastui talvella myös luonnossa, alueella, jonka veden lämpötila oli voimalaitoksen jäähdytysvesistä johtuen normaalia korkeampi. Kesällä veden lämpötilan kohoaminen sen sijaan lisäsi ahvenen kasvun moninkertaiseksi normaalilämpöisiin alueisiin nähden (Karås ja Neuman 1981).

4.3.6. Ravunviljely

Suomessa viljellään sekä kotimaista rapua että Pohjois-Amerikasta tuotua täplärapua. Rapu on alunperin Etelä-Suomen laji, mutta nykyään istutusten ansiosta sitä tavataan jopa Lapista. Veden lämpötila on voimakkain ravun kasvuun ja lisääntymiseen vaikuttava tekijä. Kesällä veden lämpötilan tulee olla riittävän pitkän ajan vähintään 15 °C, jotta ravun munasolut kypsyisivät (Hessen ym. 1987). Pohjoisemmissa ja kylmemmissä vesissä rapu ei tuota mätäitä joka vuosi kuten suotuisimmissa oloissa. Myöskin mädin määrä on yleensä Etelä-Suomessa suurempi kuin pohjoisessa. Täplärapu (*Pacifastacus leniusculus*) tuottaa enemmän mätäitä kuin samankokoinen kotimainen rapumme.

Etelä- ja Keski-Suomessa ravut parittelevat syys-lokakuussa. Tärkein parittelun laukaiseva tekijä on veden lämpötilan lasku (Westin ja Gydemo 1986). Luonnossa ravunpoikaset kuoriutuvat heinäkuussa, mutta vettä lämmittämällä ne saadaan kuoriutumaan huomattavasti aikaisemmin. Westin ja Gydemo (1986) saivat vettä lämmittämällä ravunpoikaset kuoriutumaan noin puolet normaalia aikaisemmin. Lämmin vesi kiihdyttää huomattavasti ravun kasvua. Virossa ravut saavuttavat 10 cm:n pyyntirajan tavallisemmin noin viidessä vuodessa, kun se Suomessa kestää 2 - 4 vuotta kauemmin. Aikuiset ravut vaihtavat Etelä-Suomessa kuorensa yleensä kerran vuodessa, keskikesällä. Jos rapuja pidetään koko ajan lämpimässä vedessä, ravut vaihtavat kuorta kaksi tai useampia kertoja vuodessa (Westin ja Gydemo 1986).

Suomessa ravunviljelyssä käytetään nykyään myös lämmitettyä vettä. Porlan kalanviljelylaitoksella on käytetty 15 - 19 asteista vettä ravun ja 13 - 17 asteista vettä täpläravun mädin haudontaan (Järvenpää 1992, suull. tiedonanto). Porlassa on havaittu kesän lämpösumman olevan suoraan verrannollinen ravunpoikasen kasvuun (Järvenpää 1992, suull. tiedonanto). Tällöin lammikon korkein lämpötila oli 28 °C. Lämpötilan kohoaminen todennäköisesti luo paremmat edellytykset Suomen ravunviljelylle, mikäli veden happamuus ja muut saasteongelmat pysyvät kurissa.

4.3.7. Taudit ja loiset

Kalojen tautiherkkyyteen vaikuttavat kalan vastustuskyky ja elinympäristön tila. Normaalisti kaloille kehittyy immuniteetti niihin taudinaiheuttajiin, joita se kohtaa toistuvasti. Sen sijaan vieraita taudinaiheuttajia vastaan immuniteetti ei aina riitä, jolloin tauti saattaa puhjeta. Sama vaikutus on äkillisillä ympäristön tilan muutoksilla (Bylund ja Fagerholm 1986). Kylmässä vedessä puolustusjärjestelmä toimii hitaasti ja vastaavasti lämpimässä nopeasti.

Lämpötilan ja luonnonpopulaatioiden tautien ja loisten välisiä suhteita ei juurikaan ole tutkittu. Säännöllisesti esiintyvän lämpimän merivirtauksen El Niñon vaikutuksia on tutkittu vienansillin (*Clupea harengus pallasi*) parasiitteihin Kalifornian rannikolla (Moser 1990). El Niñon seurauksena veden lämpötila kohosi nopeasti 14 °C:sta yli 16 °C:een. Saman aikaisesti muutamat sukkulamatojen lajit (*Anisakis simplex*, *Contracaecum* sp./*Hysterothylacium* sp.) yleistyivät. Moser (1990) tosin arvelee sukkulamatojen aiheuttamien infektioiden lisääntymisen liittyvän merileijonien ja muiden merinisäkselajien leviämiseen uusille alueille lämpötilan kohoamisen seurauksena. Brittiläisessä Columbiassa El Niñon vaikutuksesta suolistoperäisten imumatojen määrät lisääntyivät (Moser 1990). Tämän arvellaan olleen seurausta aikaisemmasta lämpimämmästä vedestä, joka kiihdytti kalojen

aineenvaihduntaa pakottaen ne syömään enemmän, jolloin ne saivat helpommin kyseisen imumatotartunnan.

Jäähdytysvesien aiheuttama veden lämpötilan kohoamisen havaittiin aikaistavan ja nopeuttavan imumatojen (*Diplostomum*) vapautumista kotiloista (Höglund ja Thulin 1988). Kerkariotoukat kerääntyivät kalojen silmiin nopeammin lämpimässä biotestijärvessä kuin vertailualueella. Vanhemmissa kaloissa ei havaittu eroja testijärven ja vertailualueen välillä. Syyksi tähän arveltiin silmäloisista kärsineiden kalojen joutumisen terveitä herkemmin alttiiksi predaatiolle. Laboratoriokokeessa havaittiin poikaskuolleisuuden kasvavan lisääntyvien kerkariomäärien ja kohoavan lämpötilan seurauksena (Höglund ja Thulin 1988).

Kalojen tauti- ja loisongelmat ovat sitä suurempia mitä lämpimämmällä ilmastoalueella ollaan. Yleisesti on tiedossa, että kohonnut lämpötila nopeuttaa bakteeritautien puhkeamista. Toisaalta kalan vastustuskyky toimii tehokkaammin korkeammassa lämpötiloissa (Rahkonen ja Westman 1990). Bakteerin aiheuttama paisetauti on levinnyt maassamme jo laajalle, ja lämmin kesä edesauttaa sen leviämistä edelleen. Kalat voivat kantaa bakteeria, kun vedet ovat viileät, mutta tauti puhkeaa vasta, kun vesi on riittävän lämmintä ja olot ovat kalalle epäedulliset. Virustaudit eivät välttämättä hyödy veden lämpötilan noususta. Monia loisia esiintyy myös viileässä vedessä, mutta esimerkiksi valkopilkkutaudin (*Ichthyobodo* sp.) on todettu hyötyvän korkeasta lämpötilasta ja pienestä veden virtauksesta (Roberts ja Shepherd 1974). Jos kala on huonokuntoinen tai epäedullisissa oloissa, vastustuskyky huononee ja tautiriski kasvaa. On havaittu, että toisilla kalakannoilla on parempi vastustuskyky. Näitä todennäköisesti tullaan suosimaan kalanviljelyssä.

Uusia bakteeritauteja ei ole välttämättä lähiaikoina leviämässä Suomeen ilmaston lämpenemisen myötä, ellei uusia kalalajeja tuoda maahan (Keränen 1991, suull. tiedonanto), mutta jo olemassa olevat pääsevät helpommin leviämään, kuten

jo Ahvenanmaalle levinnyt BKD (bakteeriperäinen munuaistauti).

Ilmaston muutokset tulevat todennäköisesti lisäämään kalatautien ja loisten esiintymistiheyttä. Eri eliölajien esiintymisalueiden laajenemisen myötä uusien tautien ja loistartuntojen esiintymistodennäköisyys kasvaa.

4.4. Vaikutukset kalanviljelytekniikkaan

Kaloja kasvatetaan kalanviljelylaitoksilla sekä sisätiloissa että ulkoaltaissa ja maalammikoissa. Merialueilla kasvatetaan kirjolohta verkkoaltaissa. Verkkoaltaissa voidaan säilyttää myös taimenen tai lohen poikasia ennen istutusta. Myös siian kasvatusta verkkoaltaissa on kokeiltu Suomen lisäksi mm. Saksassa, Puolassa, Baltian maissa, Venäjällä, Valkovenäjällä ja Sveitsissä.

Lämmin kesä on haitaksi lohikalojen viljelylle. Kuumana kesänä 1988 veden lämpötila useilla jokilaitoksilla kohosi lähes 28 °C:een, mistä seurasi lohenpoikasten kuolemia. Jos näin lämpimiä kesiä on odotettavissa, tulee varsinkin jokilaitoksilla olla saatavilla kylmää vettä, esimerkiksi lähde- tai kaivovettä. Jos laitos ottaa vettä järvestä, tulisi voida käyttää myös harppauskerroksen alapuolista viileää vettä.

Lämpimässä vedessä tai läheltä järven pohjaa laitokseen otettavassa vedessä ei välttämättä ole riittävästi happea lohikalaille. Tästä syystä kalanviljelylaitokset tarvitsevat veden ilmastus- ja/tai hapetuslaitteiston. Vettä ilmastetaan yleensä joko ohjaamalla laitokseen tuleva vesi ohuena kerroksena ilmastuslaitteessa ennen kala-altaisiin johtamista tai ruiskuttamalla vettä. Hyvin erilaisia veden ilmastuslaitteita on saatavilla. Toisinaan tarkoitukseen käytetään nestemäistä happea, varsinkin, jos ilmastuksen teho ei riitä.

Myös verkkoaltaissa voi olla riittämättömästi happea kaloille. Ne limoittuvat helposti, jos vesi on suhteellisen lämmintä ja siinä on paljon orgaanista materiaalia ja jos veden virtaus on heikohko. Tämä johtaa verkon silmäkoon pienenemiseen ja veden virtauksen vähenemiseen kassissa. Tällöin veden happipitoisuus vähenee ja aineenvaihduntatuotteita sekä mahdollisesti levien tuottamia myrkkyjä kerääntyy viljelyveteen. Limoittumiseen vaikuttavat myös mm. verkkoaltaan materiaali, silmäkoko ja solmut. Käsittelemällä verkkoaltaat tarkoitusta varten kehitetyllä kuparipitoisella aineella voidaan ne pitää puhtaampina. On myös olemassa limoittumista vastustavaa verkkoa (polyeteeniä, jossa kulkee kuparilanka), mutta se on kallista ja verkot tulisi uusia usein.

Paitsi limoittuminen, myös poikkeukselliset sääolot, kuten korkea lämpötila voivat aiheuttaa hapen puutetta verkkoaltaissa. Jos kasviplanktonia on paljon, voi hapenpuutetta esiintyä erityisesti ennen auringon nousua kasvien hengittäessä yöllä. Suomessa tämä lienee ongelma vasta loppukesällä. Helpoin tapa lievittää hapen puutetta verkkoaltaassa on vähentää kalojen määrää, mutta taloudellisesti kannattavampaa lienee kalojen elinolojen parantaminen.

Erilaisia laitteita on kehitetty lisäämään verkkoaltaan happipitoisuutta. Veteen voidaan lisätä ilmaa esim. uppopumpulla, josta on yhteys pintaan, tai puhaltamalla ilmaa veteen esim. hohkakiven läpi. On myös ilmastajia, jotka imevät vettä sisäänsä ja työntävät ilmastoitua vettä ulos. Kuitenkin on hyvin vähän tutkittu altaiden ilmastointia sekä ilmastuslaitteita. Laitteiden ongelmana voi olla altaan pohjalle laskeutuneen jätteen joutuminen uudelleen kiertoon; samoin laite voi nostaa pohjalta myös vähähappista vettä.

Järvissä ja joissa voi happamoituminen olla ongelma, varsinkin jäiden lähdön ja kevättulvien aikaan. Tällöin veden kalkituksesta voi olla apua. Usein luonnonravintolammikoita kalkitaan lisäämällä kalkki jään

päälle keväällä vähän ennen jään sulamista. Toinen vaihtoehto on lisätä kalkki lammikon pohjalle keväällä ennen poikasten istuttamista. Verkkoaltaiden kalkitukseen on kehitetty pumppusysteemi (White ym. 1984). On arvioitu, että joissakin tapauksissa verkkoallaskasvatuksessa syntyneet jätteet voisivat parantaa veden puskurikapasiteettia, mutta selvää tutkimustulosta asiasta ei ole.

Sadannan kasvusta voi olla hyötyä kalanviljelylaitoksille. Tällöin vettä riittää suuremman kalamäärän kasvattamiseen. Kuitenkin, jos kesällä virtaama pysyy nykyisellään, ei laitoksen kapasiteettia voida nostaa.

Ympäristöolot, kuten liian lämmin vesi, voivat aikaansaada kalassa stressiä, mikä voi johtaa tautien lisääntymiseen. Kaloja tulee rokottaa ja niitä tulee lääkittää joko kylvettämällä, ruiskuttamalla lääke kalaan tai antamalla lääke rehun mukana. Toisinaan itse lääkitys voi tuottaa ongelmia, toisinaan taas kyseiseen tautiin ei löydy tehokasta lääkettä, jolloin kalat kuolevat tai ne on syytä tappaa, jottei sairaus leviäisi.

Kaikki viljeltyjen kalojen hoidossa käytettävät aineet ovat myrkkijä. Sumari ym. (1979) havaitsivat, että taimenen kasvu hidastui, kun pintaloisia torjuttiin kerran tai kahdesti viikossa joko malakiittivihreällä (2 ppm) tai kaliumpermanganaatilla (10 ppm). Myös kalojen kuolleisuus oli suurempi näillä aineilla käsitellyissä ryhmissä kuin formaliinilla (250 ppm) kylvetetyissä kalaerissä. Nykyisin käytetyin aine on formaliini. Toiset kalalajit ovat herkempiä näille myrkyille kuin toiset. Esimerkiksi siika ja nieriä ovat herkempiä formaliinille kuin kirjolohi (Lyytikäinen ja Eskelinen 1990). Samat tutkijat havaitsivat formaliinin myrkyvaikutuksen kaksinkertaistuvan lämpötilan kaksinkertaistuessa.

Kalanviljelylaitosten poistoveden puhdistusta on todennäköisesti lisättävä ilmaston lämpenemisen seurauksena, sillä lämpimänä aikana kerääntyy enemmän rehua ja ulosteita.

Ei ole tutkittu, mitä yhteyttä on verkkoaltaiden pohjalle kerääntyneen sedimentin koostumuksella ja kalojen kuolleisuudella ja mikä on lämpötilan vaikutus siihen. On kuitenkin kehitelty erilaisia keinoja, miten sedimenttiä voi poistaa.

Suomessa suurimpia ongelmia verkkoallaskasvatukselle lienee veden ylijäähtymisen seurauksena syntyvä suppo. Muutama vuosi sitten etelä- ja lounaisrannikolla monilta kasvattajilta kuoli runsaasti kalaa tämän ilmiön seurauksena. Jos ilmaston lämpeneminen lisää veden suppoutumista tulee yhä tarkemmin harkita verkkoaltaiden paikkaa. Minkäänlaista teknistä ratkaisua tähän ongelmaan ei ole.

Jos UV-säteily lisääntyy merkittävästi voidaan ulkoaltaita ja verkkoaltaita syventää ja/tai varjostaa.

4.5. Taloudellisia näkökohtia

Ilmaston muutoksen vaikutusta kalanviljelyn kannattavuuteen on hyvin vaikea arvioida. Jos vedet lämpenevät ja kalojen elämänsykli nopeutuu, lisääntyy laitosten tuotanto. Esimerkiksi, jos lohismolttuja tuottava poikaslaitos siirtyy tuottamaan pääosin 1-vuotiaita smolttuja 2-vuotiaiden sijasta, kasvaa laitoksen tuotanto jopa kaksinkertaiseksi. Mitä nopeammin kalan saa laitoksesta markkinoille, sitä pienemmäksi jäävät kasvatuskustannukset ja sitä nopeammin viljelijä saa palkan työstään.

Ilmaston lämpenemisen seurauksena laitokset joutuvat investoimaan mm. erilaisiin ilmastus ja/tai hapetuslaitteisiin ja varmistamaan viileän veden saatavuuden kesällä. Näin voidaan vähentää ilmaston lämpenemisen aiheuttamia viljelyllisiä tappioita.

Lämpimänä kesänä taudit leviävät ja puhkeavat helposti. Tästä luonnollisesti syntyy tappiota. Monien kalojen hoitoon käytettyjen kylvetysaineiden on jatkuvassa käytössä havaittu

vähentävän kalan kasvua (Sumari ym. 1979). Jos lämpimän veden takia tulee lisätä sekä kylvetyksiä että lääkkeiden käyttöä, tulee muistaa, että miltei kaikki käytettävät aineet ovat myös kaloille jossain määrin myrkyllisiä.

Kalanviljelylle, lukuunottamatta ehkä nieriän viljelyä, ilmaston lämpeneminen on todennäköisesti etu, jos vain viljelijä pystytään pitämään muutoksessa mukana. Etenkin talvilämpötilan kohoaminen voi olla hyväksi. Tärkeää on, että laitoksessa opitaan synkronoimaan kalojen elinkierrolle tärkeät lämpötila ja valaistusrytmit luonnonrytmeihin soveltuviksi.

Uudet lajit voivat myös tuoda uusia näkymiä kalanviljelyyn. Lämpimän veden lajeista ehkä kuhankasvatus voisi tulla kannattavaksi ja sammen viljely mahdolliseksi. Istukkaaksi voisi mahdollisesti kasvattaa sekä karppia että monnia.

Englannissa on oletettu, että ilmaston muutoksen seurauksena ei lohia pian enää voida kasvattaa, vaan täytyy siirtyä eteläisempiin lajeihin. Meillä tuskin pitkään aikaan lohikalojen kasvatusta on vaarassa. Mikäli omien lohikalajiemme kanssa tulee ongelmia, tulee hankkia eteläisempiä kantoja ja lajeja viljelyyn.

5. VAIKUTUKSET KALAKANTOIHIN

5.1. Lisääntyminen

Kalataloudessa vuosiluokan kokoa pidetään lisääntymisen onnistumisen mittana. Vuosiluokkien kokoon vaikuttavat tekijät jaetaan usein abioottisiin ja bioottisiin tekijöihin. Abioottisista tekijöistä tärkeimpinä on pidetty veden lämpötilaa, mutta myös esimerkiksi veden happipitoisuuden, suolapitoisuuden, virtausten, sameuden ja happamuuden on havaittu vaikuttavan. Bioottisista tekijöistä tärkeimpiä ovat ravinnon saatavuus ja predaatio. Revii-rikäyttäytymistä omaavilla lajeilla, kuten hauella ja

lohella lisääntymisalueiden pinta-ala on kenties tärkein syntyvän vuosiluokan kokoon vaikuttava tekijä.

Kaloilla on lajikohtaiset optimaaliset lämpötilat elämänkierron eri vaiheille ja tapahtumille, kuten gonadien kehittymiselle, kudulle, alkionkehitykselle, kuoriutumiselle, poikasten kehitykselle ja kasvulle. Jos olot eivät ole optimaaliset, esimerkiksi vesi on liian lämmintä tai kylmää, kalojen tuottaman mädin laatu voi heikentyä (Leitritz ja Lewis 1976), kuoriutumisprosentti pienentyä (Luczyński 1985), metabolianopeus muuttua epäedullisemmaksi (Soin ja Novikov 1986), kasvu hidastua (Brett 1979) ja kuolleisuus lisääntyä (Brungs ja Jones 1977, Luczyński 1985).

Yleissääntönä voidaan pitää sitä, että mitä pienempi kuolleisuus mäti- ja poikasvaiheen aikana, sitä suurempi mahdollisuus on voimakkaan vuosiluokan syntymiseen (Viljanen 1988). Seuraavassa tarkastellaan odotettavissa olevien muutosten vaikutuksia mäti- ja poikasvaiheen aikaiseen kuolevuuteen lähinnä populaatiotasolla.

5.1.1. Lämpötila ja vuosiluokan voimakkuus

Useissa tutkimuksissa on havaittu, että vuosiluokan koon vaihtelut korreloivat lämpötilan vaihtelun kanssa (Svärdson ja Molin 1981, Loeng 1986, Henderson ja Nepszy 1988, Van Densen ja Grimm 1988, Böhling ym. 1991, Lehtonen ja Böhling 1991, Trippel ym. 1991). Siitä, miten lämpötila vaikuttaa vuosiluokan kokoon on runsaasti erilaisia hypoteeseja ja tutkimustuloksia.

Tiettyjen vuosien heikko vuosiluokka voi olla seurausta lyhytaikaisesta kylmästä kaudesta, esim. kumpuamisen tai tuulen vaikutuksesta. Tällöin kylmää vettä joutuu kutualueelle tai alueille, missä mäti ja poikaset ovat kehittymässä, ja tämä mahdollisesti lisää mädin ja poikasten

kuolleisuutta (MacLean ym. 1981, Böhling ym. 1991), vaikka veden lämpötilat muulloin olisivatkin olleet suotuisia. Yleensä lämmin kesä tuottaa hyvän vuosiluokan, sillä poikasilla on suotuisat kasvu- ja kehitysolosuhteet.

Ilmaston lämpeneminen pidentää kasvukautta, millä seikalla on merkitystä tulevan vuosiluokan vahvuuteen. Jos kalanpoikasten ensimmäinen kasvukausi on pitkä, esimerkiksi aikaisen kevään, lämpimän kesän tai leudon syksyn ansiosta, ne kasvavat isommiksi ja selviävät paremmin talven yli (Karås 1987, Shuter ja Post 1990). Tietyillä lajeilla vuosiluokkien vahvuudet tulevat ilmaston lämmitessä tästä syystä voimistumaan. Esimerkiksi siian vuosiluokkien vaihtelusta veden keskilämpötila huhtikuussa selitti 31 prosenttia, mistä johtuen Trippel ym. (1991) ennustivat, että ilmaston lämmitessä siian vuosiluokat vahvistuvat.

Veden lämpötila vaikuttaa suoraan ja epäsuorasti syntyvän vuosiluokan kokoon. Jos lämpötila on lajin kannalta sopiva, muut abioottiset ja bioottiset tekijät tulevat tärkeämmiksi kuten esimerkiksi veden happipitoisuus, sedimentaatio kutualueilla tai ravinnon saatavuus ja laatu (Lehtonen 1985).

Pintavesien lämpiäminen jyrkentää vesien kerrostuneisuutta. Murtovesissä kerrostuneisuuteen vaikuttaa lämpötilan lisäksi suolapitoisuus. Ilmaston muutoksen seurauksena erityisesti pohjalle kutevat lajit ovat vaarassa veden ja ilmakehän välisen kaasujen vaihdon heiketessä. Mädin kuolleisuus lisääntyy, jos pohjalla tai alusvedessä ei ole riittävästi happea.

5.1.2. Happipitoisuus

Ilmastoskenaarion yksi kalakantoja ajatellen merkittävimmistä vaikutuksista on varsinkin rehevien ja syvien vesien happipitoisuuden pieneneminen. Aikuiset kalat kykenevät sopeutumaan vaihteleviin happiolosuhteisiin tietyissä rajoissa. Kalat voivat myös osittain välttää

vähähappisia alueita. Kuitenkin laajat hapettomat, usein pohjanläheiset, alueet saattavat kuitenkin kaventaa myös aikuisten kylmän veden lajien (esim. härkäsimpun (*Myoxocephalus quadricornis*), nieriän ja mateen (*Lota lota*)) elinaluetta. Veden happipitoisuus ja kalojen hapen tarve on sidoksissa lämpötilaan. Mäti ja osin myös pienet poikaset eivät voi paeta niukkahappisia olosuhteita.

Hapen puute onkin pahimpia abioottisia uhkia mädille ja poikasille (Wootton 1991). Kaloille on kehittynyt erilaisia menetelmiä, joilla ne varmistavat kehittyvän mädin hapensaannin. Hedelmöitettyä mätiä mukanaan kuljettaa vain muutama meidän kaloistamme, hieman useampi sen sijaan vartioi pesään kudettua mätiä ja samalla hapetta sitä evien liikkeillään. Useat lajit pyrkivät turvaamaan mädin hapensaannin kutemalla paikkoihin, joissa on sopivasti virtauksia. Syyskutuisten kalojen pohjalle kudettu mäti joutuu pidemmäksi ajaksi alttiiksi ympäristömuutoksille. Virtaavissa vesissä lämpötilan mahdollisesta noususta huolimatta happipitoisuus on yleensä riittävä mädin kehittymiselle. Sen sijaan järvikutuisten lohikalojen, kuten nieriän, siian ja muikun mädin kehittymisen olosuhteet saattavat heikentyä vesien lämpötilamuutoksen ja sitä seuraavan happitilanteen heikkenemisen seurauksena.

Keväällä ja kesällä kutevista kaloistamme osa kutee myös virtauksille alttiisiin paikkoihin, jolloin mädin selviäminen riippuu enemmän muista vedenlaadullisista tekijöistä kuin happitilanteesta. Näiden useimmiten kivi- tai sorapohjalle kutevien lajien poikasilla on myös melko hyvin kehittyneet hengityselimet (Balon 1975). Fytophiilien (useimmiten kasveille kutevia) kalojen poikasilla hengityselimet ovat vielä paremmin kehittyneet, joka onkin tarpeen sillä kutuympäristössä happiolosuhteet saattavat olla melko heikkoja. Yhä heikentyvä happitilanne saattaa heikentää näiden lajien mädin eloonjäämistä. Täten esimerkiksi hauen mätimunille onkin tarpeellista takertua hedelmöittymisen jälkeen kasveihin, mikä estää niitä vajoamasta pohjalle vähähappisiin olosuhteisiin (Urho ym. 1989). Näihin kalalajeihin kuuluu useiden särkikalojen

lisäksi myös ahven, jonka lisääntymisen onnistumisen edellytykset tulevat yhä enemmän riippumaan sopivien kutualustojen löytymisestä. Ahvenen mädin kuoriutumisprosentti on normaalisti hyvin korkea, kun se onnistuu kutiessaan "ripustamaan" mätinauhansa mm. pohjan yläpuoliseen kasvillisuuteen.

Heikon happitilanteen tiedetään heikentävän pelaagisen ja semipelaagisen (ns. lito-pelagofiilisten kalojen (Balon 1975)) mädin selviämistä. Itämeressä pelaagista mätiä laskevan turskan (*Gadus morhua*) lisääntymistä rajoittaa alhainen suolapitoisuus pinnasta ja kutusyvänteiden heikko happitilanne pohjasta (Ohldag ym. 1991, Wieland ja Zuzarte 1991). Turskan mädin kehittymiselle sopiva alue Gotlannin luona on pienentynyt vuodesta 1978 lähtien ja vuosina 1989-90 se oli hyvin pieni (Uzars ym. 1991). Muiden pelaagisten kutijoiden, kuten kilohailin (*Sprattus sprattus*) ja kampelan (*Platichthys flesus*) mäti ei ole heikon happitilanteen takia yhtä uhattuna kuin turskan, sillä niiden mäti voi kehittyä myös lähempänä pintaa (Wieland ja Zuzarte 1991). Lisäksi Suomen rannikolla kampela tiettävästi kutee litoraalissa, jossa happitilanne on parempi. Pelaagisesta mädistä selviävien poikasten määrään vaikuttavat happitilanteen ohella myös muut tekijät kuten esimerkiksi alhainen lämpötila (Wieland ja Zuzarte 1991) ja vedessä olevat vierasaineet (Grauman 1986). Kuoriutuvien poikasten kuntoon ja uintikykyyn vaikuttavat tekijät tulevat myös merkitsevimmiksi.

Lito-pelagofiileihin luokiteltu made kutee usein virtaavaan veteen, millä se osittain turvaakin alkioden hapensaannin. Kuitenkin järvien ja rannikon kutupaikoilla alkion kehitys saattaa vaarantua mikäli happitilanne huonontuu. Mateen mädin hautoutuminen myöskään siedä useamman asteen lämpötilan kohoamista (Jäger ym. 1981), lisäksi sekä alkiot että poikaset ovat herkkiä happamuudelle (Volodin 1966, Hudd ym. 1984).

5.1.3. Hydrologisten muutokset

Sademäärien muutokset näkyvät vesistöihin tulevan veden määrän ja laadun muutoksina. Lisääntyneisiin sateisiin liittyvät usein myös lisääntyneet huuhtoutumat, joiden seurauksena vesistöihin joutuu mm. kiintoainesta ja ravinteita. Ravinteiden lisäys kohottaa planktonituotantoa. Eläinplanktonin runsaat määrät lisäävät kalanpoikasten ravinnon määrää ja siten poikasten kasvunopeutta. Esimerkiksi pasurin (*Blicca bjoerkna*) ja lahnan vuosiluokat ovat olleet vahvimmat vuosina, jolloin huhti- ja toukokuussa sataa runsaasti ja kesäkuussa vesi on normaalia huomattavasti lämpimämpää (Svårdson ja Molin 1981). Näinä vuosina maanviljelystä peräisin oleva fosforikuormitus on ollut huipussaan lisäten levien ja eläinplanktonin tuotantoa. Poikasilla on ilmeisesti ollut runsaasti ravintoa ja kuolevuus vähäistä.

Koska syystulvien arvioidaan voimistuvan ja kevättulvien heikkenevän (Kuusisto 1988), muutokset virtaamissa vaikuttavat suoraan joissa kutevien kalojen kutunousun ajoittumiseen ja sen onnistumiseen. Syyskutuisten vaelluskalojen kutunousu voi aikaistua (Jensen 1991). Voimakkaat virtaamat helpottavat jokisuun löytämistä (Jons-son 1991).

Talvisateiden lisääntyminen näkyy erityisesti syyskutuisten kalojen mädin kehityksessä. Seurauksia vuosiluokkien vaihteluun tai kevätkutuisten lajien talvehtiviin poikasiin on kuitenkin vaikea arvioida. Mädin kehittymisaika tulee kuitenkin lyhenemään ja poikasten kuoriutuminen aikaistumaan.

Järvien vedenpinnan korkeuden vuotuiset vaihtelut ovat merkittäviä kalojen lisääntymisalueiden kannalta. Veden korkeuden muutoksilla on suurimmat vaikutukset tulvaniityillä ja muualla matalissa rantavesissä kuteviin lajeihin. Kyseisten kalojen kutupaikat, mäti tai poikaset saattavat jäädä kuiville nykyistä pienempien kevättulvien vuoksi tai vedenpinnan nopeasti laskiessa (Sarjamo ja

Honkasalo 1987). Mitä enemmän veden korkeus vaihtelee mäti- ja poikasvaiheessa sitä todennäköisemmin se heikentää lisääntymisen onnistumista.

Useiden jokikutuisten lajien poikaset (mm. made, siika, kuore) käyttävät keväisiä virtaamia levittäytyäkseen sopiville syönnösalueille. Virtaamien voimakkuuksien muutokset sekä ajalliset muutokset virtaamissa tai poikasten kuoriutumisen saattavat heikentää poikasten levittäytymismahdollisuuksia. Lohen- ja taimenenpoikaset oleilevat soran seassa kunnes ruskuainen on loppumaisillaan. Poikasten liikkeelle lähdön ajankohtaa säätelee ympäristöolosuhteiden ohella kutuaika. Lohenpoikasten nousu sorasta tapahtuu ennen kuin veden lämpötila on kohonnut 8 °C:een joko ennen voimakkainta kevättulvaa tai sen jälkeen (Jensen ym. 1991). Poikasiin vaikuttaa myös kevättulvien heikkeneminen. Lohen ja eräiden muiden vaelluskalojen jokipoikasilla on ennen smolttiutumista syönnösreviiri, jolla poikasia voi esiintyä vain rajoitettu määrä. Täten jokien virtaamien ja vedenkorkeuden muutokset heijastuvat kalojen elinympäristön laajuuteen ja populaatioiden kokoon (Regier ja Meisner 1990).

Sadannan muutokset johtavat todennäköisesti laadullisiin muutoksiin ionikonsentraatioissa, liuenneissa kaasuissa ja orgaanisessa aineessa. Tämänkaltaiset riippuvuussuhteet ilmaston, vesiympäristön ja kalatuotannon välillä ovat kuitenkin heikosti tunnettuja (Regier ja Meisner 1990), eikä suoria johtopäätöksiä niiden vaikutuksista voida tehdä.

Merenpinnan nousu on arvioitu niin pieneksi (ks. kohta 3.1.2.), ettei sillä ole suurtakaan merkitystä useimpien kalojen kudun onnistumiseen tai kutupaikkoihin, koska Suomessa maanpinnan nousu osaltaan tasoittaa vaikutusta. Sen sijaan esimerkiksi pinnan kohoamisen aiheuttama mahdollinen Itämeren suolapitoisuuden mahdollinen muutos tai happitilanteen heikkeneminen voivat aiheuttaa huomattavia seurauksia.

5.1.4. Lisääntymis- ja poikasalueet

Kalat lisääntyvät yleensä alueilla, joilla ympäristöolosuhteet ovat vakaat ja ennustettavat (Sinclair 1988). Alueellisesti kutupaikat saattavat kudun kuluessa muuttua pitkän kutuajan omaavilla lajeilla, kuten mm. ahvenella ja silakalla (*Clupea harengus*). Itämeressä kevätkutuisen silakka kutee aluksi sisäsaariston matalassa vedessä, missä lämpötila on noin 5 - 6 °C. Kutu alkaa noin viikon jäiden lähdön jälkeen, ja jatkuu toukokuun alusta aina heinäkuuhun asti. Myöhemmin silakka kutee ulommaksi saaristoon (syvempiin vesiin), missä lämpötila on vielä noin 6 °C. Samaan aikaan sisäsaariston pintakerroksen lämpötila voi olla jo 18 °C (Oulasvirta ym. 1985, Oulasvirta ja Lehtonen 1988). Syyskutuisen silakka kutee ulkosaaristossa veden lämpötilan ollessa 9 °C (Oulasvirta 1988).

Kudun edellytyksenä on lajille ominainen kutuympäristö. Niissä tapahtuu muutoksia ilmaston muuttuessa. Kutualueiden laajuuteen vaikuttavat useilla kevätkutuisilla sisävesilajeilla mm. vedenpinnan korkeuden muutokset ja sopivien kutualustojen määrä. Jos sopivaa kutupaikkaa ei löydy, lisääntyminen estyy ja kalat reabsorboivat sukusolunsa. Tämä estää joillakin naarailla kudun myös seuraavana vuonna (Kokurewicz 1979).

Keväällä jäät sulavat ensimmäisenä virtapaikoista, joista ja rannanläheisiltä alueilta. Joet, jokisuistot, matalat ranta- ja lahtialueet sekä umpeenkasuvat merenlahdet ovatkin kevätkutuisien sisävesikalojen tärkeitä lisääntymis- ja poikasalueita (Kokko ym. 1988, Lehtonen ja Hudd 1990, Urho ja Hildén 1990, Urho ym. 1990). Matalassa kutevien kalojen pääsy olemassa oleville kutualueille vaikeutuu jos vedenpinta laskee liiaksi (Jensen 1991) ja helpottuu sen noustessa. Toisaalta myös uusia potentiaalisia kutualueita muodostuu vedenpinnan korkeuden muuttuessa. Myös useiden syyskutuisien lajien poikaset hakeutuvat keväällä kuoriutumisen jälkeen nopeammin lämpenevään rantavyöhykkeeseen (Auvinen 1988, Hudd ym. 1988, Huusko 1990). Vedenpinnan korkeuksissa mädin hautoutumisaikaan

tapahtuvilla muutoksilla on suuri merkitys monelle kalalajille. Rannanläheisten, matalien poikasalueiden etuna on oletettavasti paitsi korkeampi, kasvun kannalta edullisempi lämpötila, niin myös alueiden suojaisuus sekä pedoilta että äkillisiltä lämpötilan laskuilta. Mikäli lämpötilat tulevaisuudessa nousevat on todennäköistä, että potentiaalisten poikasalueiden koko kasvaa. Sinclairin (1988) mukaan poikasalueiden laajuus määrää kalakannan koon.

5.1.5. Kutuaika

Kalojen lisääntyminen tapahtuu kullekin lajille lajikohtaisissa lämpötiloissa. Kutuaika on erityisen herkkä vaihe lämpötilan vaihtelulle (Klinkhardt ym. 1987, Wilkónska ja Zuromska 1988). Kudun alkamiseen vaikuttavat veden lämpötila (Nikolsky 1978, Coutant 1990), virtaamat (Holten 1990) ja valojakson muuttuminen (Bromage ja Cumaranatunga 1988, Coutant 1990). Erot kutuajoissa ovat paitsi lajikohtaisia myös kantakohtaisia. Lämpötilasyklin muuttuessa kutu voi aikaistua tai viivästyä. Kudun alkua voi viivästyttää myös muunlainen ympäristöolosuhteiden muutos, kuten happamuus (Hudd ym. 1984, Rask ym. 1990, Vuorinen ym. 1990). Särkikaloiilla alin kutulämpötila on sama kuin alin mahdollinen alkiokehityksen lämpötila (Herzig ja Winkler 1986). Lämpötilan aikainen kohoaminen ja vaihtelu kesällä johtavat kesäkutuisten kalojen, esimerkiksi suutarin (*Tinca tinca*) ja salakan (*Alburnus alburnus*), kudun ajoittumiseen pidemmälle aikavälille (Kokurewicz 1979).

Monilla kalalajeilla tavataan eri aikoina kutevia kantoja. Esimerkiksi muikulla on syys- ja talvikutuiset (Eronen ja Lahti 1988) ja silakalla kevät- ja syyskutuiset kannat (Sjöblom 1978). Kudun jakautumisella eri aikoihin mitä ilmeisemmin kalat pyrkivät turvaamaan poikasten kuoriutumisen aikana, jolloin ravintoa on riittävästi. On myös esitetty, että sillillä kutukohortit vähentäisivät lajin sisäistä kilpailua kun poikaset kuoriutuvat eri aikoina (Lambert 1984). Tarkasteltaessa kaikkia sillikantoja voidaan todeta kutua tapahtuvan ympäri vuoden (Haegeler ja

Schweigert 1985). Poikasten erilaisista kehitysolosuhteista johtuen "metamorfoosi" tapahtuu kuitenkin vain tiettyinä vuodenaikoina (Sinclair 1988). Eri kannat ovat sopeutuneet kutemaan tiettyinä aikoina ja tiettyihin paikkoihin (Beacham ja Murray 1986, Bromage ja Cumaratunga 1988, Sinclair 1988). Esimerkiksi koiralohet (*Oncorhynchus keta*) nousevat syntymäjokiinsa vuodesta toiseen lähes samaan aikaan vuodesta ja kutevat samoihin paikkoihin. Tämä osoittaa niiden sopeutuneen paikallisiin olosuhteisiin (Beacham ja Murray 1986).

Useiden lajien lisääntymisajat tulevat muuttumaan ilmaston muuttuessa. Syyskutuiset lajit kutevat lämpötilan laskiessa. Siten niiden kutuajat siirtyvät nykyistä myöhäisemmäksi (Holten 1990) (ks. myös kohta 4.3.1.) ja vastaavasti kevätkutuisten lajien kutu aikaistuu (Coutant 1990, Holten 1990). Tästä on selviä tuloksia jäähdytysvesillä lämmitetyistä järvistä, missä kevätkutuisten kalojen (hauen, ahvenen, särjen, pasurin, kuhan ja lahnan) on todettu kutevan 1 - 3 kuukautta aikaisemmin, sekä kesällä kutevien lajien (sorvan (*Scardinius erythrophthalmus*) ja salakan) kutuajan huomattavasti pidentyneen (Wilkónska 1988). Vastaavanlaisia havaintoja on myös rannikkovesistä (Karås 1987). Lämpötilan ohella kudun alkamista säätelee päivän pituus (Karås 1987, Jensen 1991). Kutu on jossain määrin geneettisesti määräytynyt tiettyyn aikaan tai paikkaan eikä kalojen koko elinkierron sopeutumiskyky ole aina riittävä uusissa ympäristöolosuhteissa. Pitkäaikaisen lämpötilan muutoksen seurauksena tietyt lajit tai populaatiot saattavat siksi hävitä. Vastaavasti hävinneiden tilalle voi tulla uusia lajeja tai populaatioita. Useiden lajien pohjoisimmilla kannoilla on erikoispiirteitä, jotka osoittavat niiden sopeutuneen erityisen kylmään ilmastoon. Ilmaston lämmitessä nämä erityispiirteet voivat kadota (Coutant 1990).

Kutuajan muuttuminen merkitsee useimmiten myös poikasten kuoriutumisaajan muuttumista. Kuoriutumisen jälkeen poikaset tulevat toimeen jonkin aikaa ruskuaisen vararavinnon turvin, mutta ennenkuin ruskuainen on kokonaan kulutettu poikasen

tulisi löytää sopivaa ravintoa. Tämä vaihe voi joillakin lajeilla kestää viikkojakin, mutta useilla lajeilla on kyse muutamista päivistä. Täten muutokset kuoriutumisaajoissa saattavat olla merkittäviä poikasten selviämisen kannalta, riippuen siitä miten predaattorien ja ravintoeläinten elinkierrot muuttuvat ilmastonmuutosten mukana.

5.1.6. Ravinto

Cushingin (1975) esittämän match/mismatch -teorian mukaan kalat ajoittavat kutunsa kasviplanktonituotannon perusteella aikaan, jolloin kuoriutuville poikasille olisi mahdollisimman paljon ravintoa saatavilla. Jos ajoitus epäonnistuu, seuraa heikko vuosiluokka ja päinvastaisessa tilanteessa hyvä. Sinclair (1988) mukaan Cushingin (1975) teoria ei ainakaan sovellu kaikille lajeille, eikä selviä hypoteesia tukevia kenttäkokeita ole tehty. Poikaskohorttien ja niiden ravinnon ajallisen yhteisesiintymisen tärkeydestä poikasten selviämislle on sittemmin esitetty uusia todisteita (Fortier ja Gagné 1990).

Ravinnon saatavuus ruskuaispussivaiheen lopulla on kiistatta poikasille elintärkeä. Lämpötilalla on tärkeä merkitys paitsi ravinnon saatavuuteen, niin myös poikasten kykyyn käyttää ravintoa. Normaalia kylmemmässä vedessä hautuneista mätimunista kuoriutuu pitkiä ja kehittyneempiä poikasia, joilla aktiivinen ravinnonotto alkaa normaalilämmössä kehittyneen mädin poikasia nopeammin. Esimerkiksi kylmässä haudotun mädin muikunpoikaset voivat siirtyä ulkoiseen ravintoon kolmessa vuorokaudessa ja siianpoikaset muutamassa tunnissa, kun normaalisti siihen kuluu aikaa muikunpoikasilla kuusi ja siianpoikasilla kaksi vuorokautta (Luczyński ja Kolman 1987, Luczyński 1991). Myös kuoriutumisen jälkeinen veden lämpötila vaikuttaa poikasten ravinnonoton alkamiseen. Kylmässä vedessä poikanen elää pitkään ruskuaispussin varassa ja ravinnonoton alkaminen viivästyy (Huusko ym. 1988, Ruuhijärvi 1988). Ulkoisen ravinnonoton aloittamisikä on lajikohtainen ja esimerkiksi valtaosa kuhanpoikasista aloittaa eläinplanktonin syönnin 14

- 19 °C:ssa. Sen sijaan 11 - 14 °C:ssa olleet poikaset nääntyivät viikon kuluessa, vaikka eläinplanktonia oli saatavilla (Ruuhijärvi 1988). Veden lämpötilan laskiessa alle 10 °C:een myös ahvenenpoikasten ravinnonoton aktiivisuus laskee (Karås 1987).

Varhaisimman poikasvaiheen tärkein ja usein ainoa ravinnonlähde on eläinplankton. Planktonlajisto, sen runsaus ja planktoneläinten koko vaikuttavat kalanpoikasten ravinnon määrään ja laatuun (Johansson ja Johansson 1974). Tutkimustuloksia ilmaston välillisistä, alempien trofiatasojen kautta tapahtuvista muutoksista, ei voida suoraan soveltaa Suomen oloihin. Ne voivat toimia kuitenkin esimerkkeinä. Atlantin rannikolla on voimistuvan kerrostuneisuuden ennustettu syrjäyttävän piilevät panssarilevien tieltä. Tämä johtaisi ravintoverkon tasojen lisääntymiseen, sillä panssarilevät ovat piileviä pienempiä. Koska energiaa hukataan joka ravintoverkon tasolla, pienenee myös kalatuotantoon jäävä osuus (Frank ym. 1988). Runsaaravinteisissa järvissä kasviplanktonlajisto voi muuttua eläinplanktonille kelpaamattomaksi (Holten 1990). Samoin kumpuamisen yhteydessä (Lasker 1981). Rehevöitymisen lisääntyminen puolestaan usein lisää pienten kalojen ravintovaroja.

Veden lämpötila vaikuttaa välillisesti kalanpoikasten ravinnon määrään ja siten kuolevuuteen ja kasvunopeuteen. Mitä nopeammin poikaset kasvavat, sitä paremmat mahdollisuudet niillä on löytää ravintoa ja vältellä petoja. Keväällä veden aikainen lämpeneminen ja tasaiset kesälämpötilat edesauttavat poikasten nopeaa kasvua (Hargrave ym. 1985).

Kasvukauden aikaiset muutokset näkyvät siis ilmeisesti kalanpoikasten ravinnon määrissä ja mahdollisesti myös vuosiluokan koossa. Lämpötilan nousu muuttaa kalojen kutuaikoja. Se, miten kutuaikojen muuttuminen vaikuttaa kalanpoikasten ravintoon tulee riippumaan paljolti muiden trofiatasojen reagoinnista lämpötilan nousuun. Todennäköisesti eläinplanktonituotanto aikaistuu ja kasvaa.

5.1.7. Predaatio

Mädin ja ruskuaispussipoikasten suuri kuolleisuus ei voi johtua ravinnosta, vaan joko abioottisista tekijöistä tai predaatiosta. Monien selkärangattomien ja etenkin kalojen on akvaario- ja allaskokeissa todettu predatoivan kalojen varhaisvaiheita. Predaation merkityksestä luonnon populaatioihin on vaikeampi todentaa, sillä syödyn mädin ja erityisesti pienten poikasten jäännökset hajoavat hyvin nopeasti. Yhteenvedoja kalojen varhaisvaiheiden predaatiosta ovat koonneet mm. Dahlberg (1979) ja Hunter (1982).

Mitä pienempi poikanen on sitä alttiimpi se on saalistajille. Poikasten koko riippuu taas kasvuolosuhteista ja ravinnosta. Kasvaakseen poikasen täytyy löytää ravintoa ja sitä etsiessään se joutuu asettumaan alttiiksi predaatiolle. Ilmaston lämmitessä metabolianopeus kasvaa ja kalat tarvitsevat nykyistä enemmän ravintoa (Bergman 1987, Hill ja Magnuson 1990). Kalanpoikasen kasvaessa ja kehittyessä sen liikuntakyky paranee, mikä takaa paremmat mahdollisuudet löytää ravintoa ja paeta petoja. Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, että predaatio tai sen merkitys vähenisivät suoraviivaisesti poikasen kasvaessa. Poikasilla on muitakin keinoja vähentää altistumista pedoille, esimerkiksi petojen kohtaamisen välttäminen. Predaatioalttius voi muuttua jommankumman osapuolen paikallisen tai ajallisen esiintymismuutoksen kautta. Varsinkin ajallisia esiintymismuutoksia on odotettavissa ilmastonmuutosten yhteydessä.

Lämpötilan muutokset heijastuvat suoraan tai esimerkiksi ravinnon kautta eri lajien esiintymiseen ja runsauteen, jossa yhteydessä myös peto-saalissuhde herkästi muuttuu. Ravinteiden lisääntyminen on johtanut monessa järvessä särkikalojen yleistymiseen, mutta petokalat eivät ole runsastuneet samassa suhteessa. Tätä epäsuhdetta on nykyään yritetty paikata tehokalastuksin ja petokalaistutuksin (Horppila 1989). Tosin muutosmekanismi ei ole vielä selvillä.

Kalakannat vaihtelevat myös luontaisestikin. Koska havainnot kalakannan koon muutoksista koskevat lähinnä aikuisia, kalastuksen piirissä olevia kaloja ei muutoksen syistä tai predaation merkitystä muutokseen ole voitu osoittaa. Lukuisia esimerkkejä on tarjolla kalakantamuutosten oletetuista syistä, ja näissä predaatiolla on usein tärkeä merkitys. Vuosina 1990 ja 1991 varsinaisen Itämeren pohjoisosassa, Suomenlahden länsiosissa ja Selkämerellä on havaittu nälkiintyneitä, aikuisia silakoita, minkä on katsottu johtuvan paitsi kalastuksen vähenemisestä, niin myös ennen kaikkea turskakannan pienenemisestä ja silakan ravinnon saatavuuden muutoksista (Aro ym. 1991). Syitä turskan vähenemiseen on käsitelty kohdassa 5.1.2. Silakan ravintoeläimiin taas vaikuttavat suolapitoisuus ja lämpötila veden kerrostuneisuuden kautta (Aro ym. 1991).

5.1.8. Yhteisvaikutukset

Vuosiluokkien runsauteen vaikuttavat useat tekijät samanaikaisesti, joten yhdellä muuttujalla vaikutus voi jonain vuonna olla suuri ja toisena pieni. Uusimmissa tutkimuksissa on vuosiluokkien vaihtelua yritetty selittää useamman muuttujan avulla (Mann ja Mills 1986, Eckmann ym. 1988, Henderson ja Nepszy 1988, Hudd ym. 1988, Parmanne 1991). Ilmastolliset tekijät selittävät usein parhaiten vuosiluokkavoimakkuuden vaihteluita kalakannoissa (Leggett ym. 1984, Henderson ja Nepszy 1988, Eckmann ym. 1988, Parmanne 1991). Täten ilmastollisten tekijöiden muuttuminen mitä ilmeisemmin tulee vaikuttamaan vuosiluokkien kokoon.

Syntyvän vuosiluokan koon kannalta tärkein vaihe on poikasvaihe. Vuosiluokasta tulee usein vahva kun poikaset kasvavat nopeasti (Hudd ym. 1988, Viljanen 1988, Parmanne 1991, Lehtonen ja Böhling 1991). Vaikutusmekanismeja ei kuitenkaan tunneta. Poikkeukselliset ilmaston tai vedenlaadun muutokset voivat alueellisesti tai paikallisesti aiheuttaa normaalista poikkeavia vuosiluokkia ja saaliita. Lisääntymisalueilla heikentyneiden olosuhteiden takia vähentynyt poikastuotanto näkyy selvästi normaalia

heikompina vuosiluokkina (Urho ym. 1990, Böhling ym. 1991) ja vaikuttaa jopa kalastukseen kun useita sellaisia vuosiluokkia on peräkkäin (Hudd ym. 1984, 1986). Kuinka ilmaston muutokset tulevat vaikuttamaan vuosiluokkiin riippuu siis hyvin monista eri tekijöistä, joista toiset ovat samansuuntaisia ja toiset taas vastakkaisia. Happamuiden ja haitallisten aineiden lisääntyminen vesistöissä tulee varmasti heikentämään kalakantoja ja yksipuolistamaan kalastoa. Lämpötilan ja happipitoisuuden muutosten vaikutukset riippuvat paitsi niiden intensiteetistä, niin myös muutosten ajankohdasta ja lajeista joihin muutokset vaikuttavat joko suoraan tai toisten lajien välityksellä.

5.2. Lajikoostumus

Ilmastonmuutoksen mukanaan tuoma lämpötilojen nousu, jääpeitteisen ajan lyheneminen ja muut vesissä havaittavat muutokset voivat vaikuttaa yksittäisiin kalalajeihin ja koko kalayhteisöön useammallakin tavalla. Kalojen sopeutumiskyvyllä on lajikohtaiset perinnölliset rajansa. Ilmaston ennustettu muutos on kuitenkin siksi nopea, että kaikki populaatiot eivät tule pysymään vauhdissa mukana. On siten kolme vaihtoehtoa; (1) levinneisyysalueiden muuttuminen, (2) häviäminen kyseisestä vesistöistä tai (3) muuttuminen perinnöllisten tekijöiden sallimissa rajoissa (Henttonen 1991). On todennäköistä, että kaikki edellämainitut kolme vaihtoehtoa tulevat toteutumaan tavalla tai toisella. Populaation olemassaolon kannalta paras ratkaisu olisi tietenkin sopeutuminen. Eri lajien sopeutumiskyky on kuitenkin erilainen. Yleissääntönä voidaan pitää sitä, että lämpötilaltaan tai muilta ominaisuuksiltaan vaihtelevassa elinympäristössä elävät kalapopulaatiot voivat paremmin sopeutua muutoksiin kuin vakaassa ympäristössä elävät populaatiot (Matthews ja Zimmerman 1990).

5.2.1. Kalayhteisön rakenteen muuttuminen

Olosuhteiden muutoksen aiheuttamassa tilanteessa lajien väliset suhteet joutuvat aivan uudentilanteelle koetukselle. Kahdesta lajista heikompi joutuu tavallisesti siirtymään uuteen elinympäristöön tai uudentilanteen ravinnon käyttöön. Vastaava tilanne johtaa kuitenkin tappiolle jääneen lajin häviämiseen. On olemassa lajeja, jotka voivat elää vain tarkoin määrätynlaisissa olosuhteissa ja väistyvät voimakkaamman lajin kanssa samassa vedessä eläessään sekä lajeja, jotka ovat sopeutuvaisia. Muiden kalojen kanssa kilpailemaan pystyvistä kotimaisista lajeista mainittakoon mm. ahven, särki, kuha, taimen ja hauki (Koli 1990). Kilpailussa heikosti pärjäävistä kaloista esimerkkeinä voi mainita nieriän ja ruutanan (*Carassius carassius*) (Nilsson 1963, Magnuson ym. 1990). Ruutana muutoin soveltuisi elämään miltei kaikissa Etelä-Suomen vesissä, mutta se on joutunut väistymään järviin ja lampiin, joissa muita kaloja ei juurikaan tavata.

Lajien välisiin runsaussuhteisiin vaikuttaa myös petosaalisuhde. Monille petokalalajeille tietty saaliskalalaji, esimerkiksi muikku taimenelle, kuore kuhalle ja kilohaili lohelle, on erityisen tärkeä (Rose ja Leggett 1989, Kuikka 1991). Peto-saalissuhteissa tapahtuvien muutosten vaikutus riippuu siitä, onko korvaavia ravintolajeja olemassa.

Elinympäristössä, jossa ravinnon jakautuminen ei pakota kaloja oleskelemaan jollain tietyllä alueella, ne hakeutuvat niille mieluisimpaan lämpötilaan. Lämpötilavaatimusten mukaan kalat voidaan jakaa karkeasti lämpimän, viileän ja kylmän veden lajeihin. Eri kehitysvaiheet suosivat kuitenkin erilaisia lämpötiloja. Lähes kaikkien lajien nuoruvaiheet viihtyvät parhaiten lämpimässä. Ilmaston lämpenemisen voidaan siten olettaa suosivan lämpimän veden lajien ohella kylmän veden kalojen nuoruvaiheita.

Odotettavissa oleva kasvukauden piteneminen lisää kasvunopeutta ja parantaa lämpimän veden kalojen poikasten selviämisen edellytyksiä talven yli. Useat kalakannat

joutuvat niille uudenlaisiin elinympäristöihin, ja niistä tapahtuva kilpailu tulee lisääntymään (Coutant 1987, Meisner ym. 1987, Meisner 1990a, 1990b). Tällöin ne lajista riippuen saattavat hävitä kokonaan (Matthews ja Zimmerman 1990) tai runsastua muiden lajien kustannuksella. Kohonneista lämpötiloista johtuva lisääntynyt ravinnon tarve lisää myös osaltaan lajien välistä kilpailua (Hill ja Magnuson 1990). Lämpimän veden lajit tulevat hyötymään eniten (Hillbricht-Ilkowska ja Zdanowski 1988, Ciepielewski 1990, Sandström ja Svensson 1990). Sopivan elinympäristön pienenemisen seurauksena kilpailu kylmän veden lajien välillä lisääntyy. Myös kilpailu sopivista kutualueista ja poikasten syönnösalueista voi kiihtyä. Mahdollisten uusien lajien leviäminen voi muuttaa jo olemassa olevaa lajien välistä kilpailutilannetta.

Kylmän veden lajien toimeentuloedellytykset tulevat säilymään parhaiten syvissä järvissä, joissa lämpötilan kerrostuneisuus takaa viileän veden olemassaolon myös kesäaikana. Nykyistä jyrkemmän harppauskerroksen yläpuolelta laskeutuva eloperäinen aines saattaa kuitenkin joissakin tapauksissa aiheuttaa hapen puutetta ja hidastaa kalojen kasvua. Suurimmat ekologiset muutokset tapahtunevatkin matalissa, pohjaa myöten lämpiävissä järvissä. Koska lämpö siirtyy nopeammin virtaavaan kuin seisovaan veteen, saattaa jokivesien lämpiäminen muodostua järviä suuremmaksi. Tämä seikka saattaa estää lohikalojen ja mateen esiintymisen. Lämmin vesi lisäänee myös loisten ja tautien esiintymistä kaloissa. Pohjalle kutevien kalojen lisääntymisedellytykset saattavat huonontua kutupohjien liettymisen seurauksena. Näiden seikkojen seurauksena kylmän veden lajit tulevat suhteellisesti vähenemään ja lämpimän veden lajit runsastumaan (Gran ja Pruuki 1989, Lehtonen 1990, 1991).

Kylmän veden lajien runsaus ja koko olemassaolo on pääasiassa riippuvainen harppauskerroksen alapuolisessa vedessä vallitsevista olosuhteista. Suhteellisessa runsaudessa voidaan odottaa tapahtuvan siirtymistä lämpimän veden kalojen suuntaan. Useimmat merikalamme, mm. silakka ja turska sekä sisävesilajeista mm. made ja lohikalat tullevat

väheneeseen tai ainakin supistamaan elinpiiriään. Syyskutuisen silakan osuuden on todettu olevan voimakkaasti leutojen talvien jälkeen (Sjöblom 1978). Nykyisin Pohjois-Itämerellä elävistä silakoista lähes 100 prosenttia on kevätkutuisia. Lounaisella Itämerellä syyskutuisten osuus on suurempi. Onkin odotettavissa, että tulevaisuudessa Suomen silakkasaalis koostuu aikaisempaa suuremmassa määrin syyskutuisista kaloista.

Äärimmäinen esimerkki kylmään veteen sopeutuneesta lajista on nieriä, joka saattaa hävitä kokonaan Lapin pikkuvesistä. Muualla Suomessa sitä ei nykyisin pienvesissä esiinnykään. Syvissä järvissä, kuten Inarinjärvessä ja Saimaassa kannan olemassaolo ei ole uhattuna veden kesäisen lämpötilakerrostuneisuuden ansiosta.

Tutkimuksiin perustuvia havaintoja lämpötilan muutoksen kalakantavaikutuksista on olemassa lämpimien jäädytysvesien purkualueilta. Esimerkiksi Ruotsissa Forsmarkissa sijaitsee noin yhden neliökilometrin laajuinen Selkämerestä patoamalla erotettu allas, jonka veden lämpötila on ydinvoimalan jäädytysvesien ansiosta talvella 8 - 10 °C ja kesällä 3 - 5 °C ympäröivän vesialueen lämpötilaa korkeampi. Lämpötilan muutos on johtanut seuraaviin vaikutuksiin (Sandström ja Svensson 1990):

- 1) Lämpimän veden kalalajien poikastuotanto on ollut runsasta joka vuosi. Vuosiluokkien runsauden vaihtelut ovat tasoittuneet.

- 2) Ahvenen kasvu on lämpimän veden purkualueella meressä, biotestialtaan ulkopuolella, 4 - 7 kertaa aikaisempaa nopeampi. Talvella kasvu on kuitenkin lähes pysähdyksissä. Syyksi on arveltu valon vähyyttä (Karås 1987).

- 3) Kylmän veden kalat ovat hävinneet ja lajisto koostuu yksinomaan lämpimän veden lajeista.

- 4) Kalojen elinikä on lyhentynyt.

Edellämainittuja tuloksia yleistettäessä on syytä kuitenkin muistaa, että tutkimukset on tehty suljetulla ja matalalla alueella, jossa ei esiinny lämpötilakerrostuneisuutta. Lisäksi talviset lämpötilat ovat huomattavasti korkeampia kuin ennustetussa ilmastoskenaariossa.

Vaikka Suomessa ei olekaan odotettavissa suuria muutoksia kalalajien lukumäärässä, tilanne on arvioitu toisenlaiseksi muualla. Pohjois-Amerikan suurten järvien alueelle arvioidaan leviävän 27 uutta lajia mahdollisista 58:sta. Samaan aikaan kylmän ja viileän veden lajeja tulee väistymään ja katoamaan (Mandrak 1989). Kylmän veden lajien häviäminen on seurausta sopivan elinympäristön supistumisesta. Matalissa järvissä kylmän veden lajit tavallaan puristuvat hapettoman pohjakerroksen ja liian lämpimän pintakerroksen väliin (Coutant 1987, Regier ja Meisner 1990, McCormick 1990, Blumberg ja Di Toro 1990).

5.2.2. Levinneisyysalueiden muutokset

5.2.2.1. Sisävedet

Tärkein pohjoisten alueiden kalakantojen levinneisyyteen vaikuttava ilmastollinen tekijä on lämpötila (Magnuson ym. 1979). Ilmaston muuttumisen on ennustettu vaikuttavan kuitenkin myös muihin ympäristötekijöihin, kuten tuulten voimakkuuteen, virtaamiin ja veden pinnan tasoon. Kaikki nämä seurausilmiöineen vaikuttavat kalojen toimeentuloedellytyksiin vesissämme. Jos jonkin lajin elinolosuhteet kaventuvat liiaksi, laji saattaa hävitä kyseisestä vedestä.

Lämpötilan muuttumisen vaikutuksista kalojen levinneisyyteen ja runsauteen on havaintoja kuluvalta vuosisadalta. Suomessa tapahtui lievää lämpenemistä 1800-luvulta 1940-luvun alkuun. 1940 - 1960-luvuilla ilmasto kylmeni ja sen jälkeen on taas tapahtunut lämpenemistä. Nämä odotettavissa oleviin verrattuna vähäiset muutokset jättivät kuitenkin jälkensä kalakantoihin. 1950 - 1960-luvuilla esimerkiksi kuha hävisi

tai harvinaistui monessa levinneisyytensä rajamailla olevassa Keski- ja Pohjois-Suomen järvessä (Lehtonen ym. 1984). Tähän muutokseen on kuitenkin olemassa myös toinen mahdollinen syy. Verkkomateriaalien muuttuminen puuvillasta nailoniin 1950-luvun lopulla aiheutti kalastustehon kasvun, mikä on saattanut jouduttaa kuhakantojen romahtamista. Myös eräät muut lämpimän veden kalat, kuten lahna, kokivat saman kohtalon. Ilmaston kylmenemisen voidaan sitä vastoin olettaa vaikuttaneen päinvastaisella tavalla kylmän veden kalojen elinmahdollisuuksiin. Tästä on esimerkkejä mm. Pohjois-Amerikan suurten järvien alueelta, jossa pikkubassi (*Micropterus dolomieu*) laajensi levinneisyyttään pohjoiseen ja puronieriä hävisi eteläisimmistä vesistä 1930-luvun lämpimän jakson aikana (Meisner ym. 1987).

Nykyisen kotimaisten kalojen levinneisyyden pohjoisraja on muodostunut lajista riippuen joko ilmastollisista tekijöistä tai leviämissesteistä, joista merkittävin on Maanselän vedenjakaja. Ilmastollisena pohjoisrajana voidaan pitää ainakin lahnan, kuhan, kuoreen, pasurin, kivennuoliaisen (*Noemacheilus barbatulus*) ja kiiskan (*Gymnocephalus cernuus*) nykyistä levinneisyyttä Pohjanlahden perukan tasolle (Koli 1990). Sama johtopäätös voidaan tehdä lajeista, joita tavataan ainoastaan Suomen etelä- ja keskiosissa. Tällaisia ovat turpa (*Leuciscus cephalus*), vimpa (*Vimba vimba*), sorva, toutain, sulkava (*Abramis ballerus*), suutari, törö (*Gobio gobio*) ja rantaneula (*Cobitis taenia*) (Koli 1990). Vesi on pohjoisempana liian kylmää kaikkien edellä mainittujen lajien lisääntymiselle.

Vastakohtaan lämpimän veden sisävesikaloille muodostavat ne kylmää ja runsashappista vettä vaativat kalalajit ja -muodot, joiden levinneisyysalue käsittää pohjoisimman Suomen sekä eräitä alueita Itä-Suomessa. Näitä ovat nieriä ja harjus. Nieriän levinneisyysalue tulee lämpenemisen myötä supistumaan ja mahdollisesti ennen pitkää siirtymään maamme rajojen ulkopuolelle. Taloudellisesti tärkeistä kylmän veden sisävesikaloista siika ja muikku tulevat olemaan vaarassa vähetä monista Etelä-Suomen vesistä. Eri siikamuodot esiintyvät kesällä erilaisissa lämpötiloissa (Resetnikov

1988). Kylmää vettä suosivien harvasiivilähampaisten pohjasiian, karisiian ja vaellussiian voidaan odottaa kärsivän voimakkaammin kuin tiheäsiivilähampaisten peledsiian (*Coregonus peled*), planktonsiian ja järvisiian.

Mahdollisia Suomeen omin neuvoin vaeltajia voisivat olla ne lajit, joiden levinneisyys ulottuu nykyisin lähelle rajaa. Tällaisia ovat mm. mutakala (*Misgurnus fossilis*) ja monni (*Silurus glanis*). Virossa ja Pietarin alueella elävistä kaloista saattavat Suomeen levitä kultakala (*Carassius auratus*), punasalakka (*Alburnus bipunctatus*), allikkosalakka (*Leucaspis delineatus*), katkerokala (*Rhodeus sericeus*) ja sapa (*Abramis sapa*). Monnia lukuunottamatta niiden leviäminen tänne ei olisi kuitenkaan erityisemmin toivottavaa, sillä muilla näistä lajeista ei ole taloudellista merkitystä. Luontainen leviäminen on kuitenkin ilman ihmisen toimenpiteitä epätodennäköistä ja joka tapauksessa erittäin hidasta. Esimerkiksi yhdenkään lajin ei tiedetä viimeisten sadan vuoden aikana omin avuin levinneen muualta Suomeen ja muodostaneen täällä pysyviä kantoja. Ainoastaan yksi laji, monni, on hävinnyt kokonaan, eikä senkään häviämisestä voida syyttää ilmaston muuttumista. Lajiston lisääminen on mahdollista tuomalla ulkomailta uusia lajeja olosuhteiden salliessa niiden toimeentulon. Mahdollisia tämänkaltaisia taloudellisesti arvokkaita lajeja olisivat mm. tonavanjokinieriä (*Hucho hucho*), monni ja sammet (*Acipenser* sp.).

5.2.2.2. Itämeri

Itämeressä elää sekä suolaisen että makean veden kalalajeja. Molempien ryhmien nykyinen levinneisyys Suomen rannikkovesissä on ensi sijassa riippuvainen veden suolapitoisuudesta ja lämpötilasta. Siten ilmaston muutoksen aiheuttamat lämpötilan ja suolaisuuden muutokset heijastuvat kalojen levinneisyyteen rannikoillamme. Lämpötilan siedon suhteen useimmat suomalaiset merikalat ovat kylmää ja sisävesikalat lämmintä vettä suosivia. Nykyinen suolapitoisuus ei rajoita kuin muutaman sisävesilajin

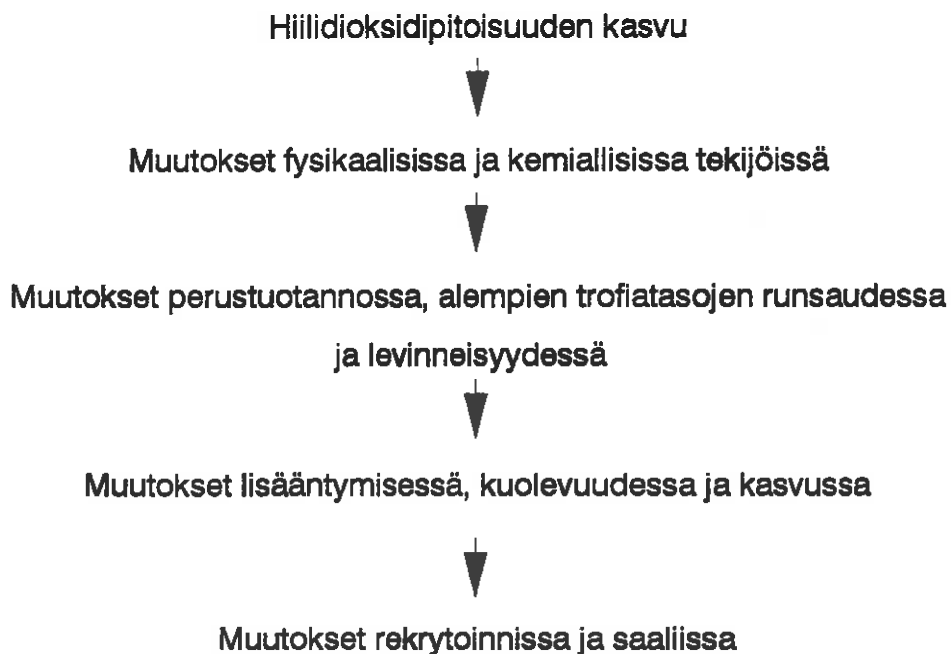
levinneisyyttä rannikkovesissämme, mutta merikaloille se on tärkein tekijä.

Merikaloista koko Suomen rannikkoalueella tavataan nykyisin vakituksena silakka, siloneula (*Neropsis ophidion*), pikkutuulenkala (*Ammodytes lanceolatus*), kivinilkka (*Zoarces viviparus*), kampela, hietatokko (*Pomatoschistus minutus*), isosimppu (*Myoxocephalus scorpius*) ja rasvakala (*Cyclopterus lumpus*) (Koli 1990). Vakituisten merikalojen lukumäärä on Perämeren pohjoisosassa 8, Merenkurkussa ja Suomenlahden itäosassa 16 sekä Lounais-Suomessa 22. Erot ovat selitettävissä suolapitoisuudella. Kuitenkin esimerkiksi liejutokon (*Pomatoschistus microps*) puuttumisen Perämerestä voi selittää veden kylmyydellä (Koli 1990).

Merialueella kalat voivat, päinvastoin kuin sisävesissä, levitä uusille alueille, mikäli ympäristöolosuhteet sen sallivat. Nykyisissä levinneisyysalueissa tapahtuneet muutoksia sekä levinneisyyden pohjois- että etelärajoissa. Lämpimän veden merikalalajit, jotka esiintyvät runsaina ainoastaan lounais- ja etelärannikolla tullevat laajentamaan aluettaan pohjoiseen. Merikalojen levinneisyyden muutokset ovat yhteydessä pääasiassa mahdollisiin suolapitoisuuden muutoksiin. On myös otettava huomioon se mahdollisuus, että suolapitoisuuden suurentuessa etelämpää Itämereltä vaeltava vesimme aivan uusia kalalajeja. Nykyisten lajien ja mahdollisten tulokkaiden määrä Itämeressä on kuitenkin pieni verrattuna useisiin muihin vastaaviin merialueisiin. Kun Suomen rannikoilla tavataan nykyisin vakituisesti 22 merikalalajia, on vastaava määrä Pohjanmeressä kymmenkertainen. Mahdollisina tulokkaina Suomen kalastossa voisivat tulla kyseeseen ne lajit, joiden levinneisyys ulottuu jo nykyisin Itämeren etelä- ja keskiosiin. Tällaisia ovat esimerkiksi molva (*Molva molva*), kyhmykurnusimppu (*Eutrigla gurnardus*), merituulenkala (*Ammodytes marinus*), silokampela (*Scophthalmus rhombus*) ja liejukampela (*Hippoglossoides platessoides*) (Curry-Lindahl 1985, Koli 1990).

6. VAIKUTUKSET KALASTUKSEEN

Ilmaston muutoksen vaikutukset kalastukseen riippuvat pääasiassa kaloissa ja niiden lajisuhteissa tapahtuvista muutoksista. Kalansaaliissa ilmenevät vaihtelut on osattu yhdistää ilmaston vaihteluihin jo kuluvaan vuosisadan alussa kun havaittiin, että saalisvaihtelut ovat useissa tapauksissa seurausta ilmastotekijöiden aiheuttamista eroista vuosiluokkien runsauksissa (Hjort 1914, Sjöblom 1978, Van Winkle ym. 1979). Saalis ei aina kuitenkaan sellaisenaan ole riittävä mittari ilmaston muutosten vaikutusten havaitsemiseksi, sillä tehokas kalastus saattaa peittää luontaiset vaihtelut (Sjöblom 1978). Ilmaston muuttuminen tulee siten vaikuttamaan saaliiden määrään laajalti. Kuvassa 10 on esitetty ilman hiilidioksidipitoisuuden määrän vaikutustapa kaloihin ja kalastukseen.



Kuva 10. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvun vaikutukset kaloihin ja kalastukseen (Strickland ym. 1985).

Kalat liikkuvat ja jäävät pyydyksiin sitä enemmän mitä lähempänä veden lämpötila on kyseisen lajin optimia (Neuman 1979, Danzmann ym. 1991). Pohjois-Amerikassa sijaitsevassa St.Clair-järvessä lämpötila vaikutti merkittävästi useimpien lajien pyydystettävyyteen. Lämpötilan noustessa osalla lajeista pyydystettävyys parani ja osalla heikkeni (Danzmann ym. 1991).

Christie ja Regier (1988) vertasivat saaliita kullekin lajille sopivien lämpötila-alueiden laajuuteen. Tämän perusteella arvioitujen saaliiden odotettavissa olevat muutokset ilmaston muuttuessa olivat kuitenkin pieniä (Magnuson ym. 1990). Todelliset muutokset tullevat olemaan suurempia, koska käytetyissä malleissa ei huomioitu kasvukauden mahdollista pidentymistä.

Kalojen kasvu lisääntyy lämpötilan noustessa, mikäli muut tekijät eivät muodostu rajoittavaksi (Hill ja Magnuson 1990). Kasvun myötä kalantuotanto ja saaliit paranevat.

Lajiston sekä kalojen kutuaikojen muuttuessa kalastustavat, -paikat ja -ajat muuttuvat. Vanhan kalastustietouden merkitys vähenee. Apajapaikat vanhoine pyyntimenetelmineen saattavat menettää merkityksensä. Jääpeitteisen kauden lyhentymisen pidentää avovesikalastusta, jolloin perinteinen jäältä tapahtuva kalastus kuten esimerkiksi muikun talvinuottaus ja pilkintä korvautuvat avovesipyynnillä ja vaikeutuvat ohuen jääpeitteen seurauksena. Kalastajien liikkuminen jäällä saattaa vaikeutua kelirikkoajan pidentymisen vuoksi.

Perustuotannon lisääntyessä pyydysten limoittuminen yms. haitat lisääntyvät. Pyydykset kuluvat nopeammin ja niiden kalastavuus heikkenee puhumattakaan likaantumisen aiheutuvasta lisätyöstä kalastajille. Tämä johtanee siirtymiseen seisovista pyydyksistä esimerkiksi troolaukseen ja koukkupyyntiin (Gran ja Pruuki 1989).

TIIVISTELMÄ

Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on tarkastella kasvihuoneilmion voimistumisen vaikutuksia kaloihin, kalakantoihin, kalastukseen ja kalanviljelyyn. Työ muodostaa alun asiaa koskeville tutkimuksille Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksessa.

Useat kalalajit elävät Suomessa ilmastollisista tekijöistä johtuen levinneisyytensä rajoilla. Pienetkin ilmaston muutokset vaikuttavat niiden toimeentuloon, kalakantojen rakenteeseen, kalantuotantoon ja levinneisyysalueisiin. Myös kalastuksen ja kalanviljelyn edellytykset tulevat muuttumaan ilmaston muuttuessa. Esimerkiksi kylmeneminen 1940 - 1960 -luvulla heikensi tai jopa hävitti mm. useita kuhakantoja Keski- ja Pohjois-Suomen järvistä. Odotettavissa oleva ilmastonmuutos on kuitenkin huomattavasti jo tapahtunutta suurempi ja nopeampi.

Kalanviljelyssä on Suomessa kaksi painopistealuetta. Luonnossa esiintyvien uhanalaisten kalalajien elossasäilymisen turvaaminen ja ruokakalanviljely. Lämpötilan nousu ilmaston muutoksen seurauksena vaikuttaa kumpaankin painopistealueeseen. Vaikutukset viljeltyihin kaloihin ovat suoraviivaisempia kuin luonnonpopulaatioihin, koska viljelyolosuhteissa kalat eivät voi välttää epäedullisia ympäristöolosuhteita olinpaikkaa vaihtamalla. Viljelyveden lämpötila vaikuttaa suoraan esimerkiksi kalojen lisääntymiseen, kasvuun ja kuolevuuteen. Joillakin lajeilla lämpötilan nousu voi lisätä kasvua, toisilla taas heikentää sitä riippuen lajikohtaisista kasvun optimilämpötiloista.

Tärkeimpiä viljeltäviä lajeja ovat lohikalat, jotka ovat herkkiä korkeille lämpötiloille. Lämpötilan nousun seurauksena kasvu saattaa kesällä hidastua ja kuolleisuus kohota. Kummassakin tapauksessa kalanviljelijälle tulee taloudellisia tappioita.

Huuhtouman on ennustettu kasvavan ja siksi myös enemmän haitallisia aineita, kuten kiintoainetta, happamoittavia

aineita, metalleja ja torjunta-aineita, joutuu vesiin. Kiintoaineen sedimentoituminen kutusoraikkoihin pilaa kutualueita tai huonontaa alkioiden ja kuoriutuvien poikasten selviytymisedellytyksiä. Kiintoainepitoisuuden kasvu haittaa myös suoraan kaloja. Happamuuden ja veden alumiinipitoisuuden kasvaminen vaikuttaa kalojen lisääntymiseen viivästyttämällä ja jopa estämällä sukusolujen kehitystä sekä huonontamalla mädin hedelmöitymistä ja kuoriutumistulosta. Myös kuoriutuneiden poikasten kehitys hidastuu happamassa vedessä ja vaikutus voimistuu, jos vedessä on lisäksi alumiinia. Torjunta-aineiden pitkäaikaisvaikutuksista kaloihin ei ole juurikaan tietoja saatavilla.

Lämpötilavaatimusten mukaan kalat voidaan jakaa karkeasti lämpimän ja kylmän veden lajeihin. Jakoa ei kuitenkaan voi soveltaa nuoruusvaiheisiin, sillä eri kehitysvaiheet suosivat erilaisia lämpötiloja. Lähes kaikkien lajien nuoruusvaiheet viihtyvät parhaiten lämpimässä. Kesäisen kasvukauden piteneminen lisää ravinnon tuotantoa ja kalojen kasvunopeutta sekä parantaa poikasten elossa pysymisen mahdollisuuksia kriittisen ensimmäisen talven yli. Lämpimän veden kalojen oletetaan runsastuvan ja kylmän veden lajien vähenevän. Lajisuhteiden muuttumisen seurauksena esimerkiksi lajien sisäinen ja välinen kilpailu, predaatio ja peto-saalissuhteet muuttuvat. Se, millaisia muutoksia nämä aiheuttavat kalakantojen rakenteeseen ja keskinäisiin runsaussuhteisiin, on vielä suuressa määrin epäselvää.

Kylmän veden lajien toimeentulon edellytykset tulevat säilymään parhaiten syvissä järvissä, joissa lämpötilan kerrostuneisuus takaa viileän veden olemassaolon myös kesäaikana. Nykyistä jyrkemman harppauskerroksen yläpuolelta laskeutuva eloperäinen aines saattaa joissakin tapauksissa tosin aiheuttaa hapen puutetta ja hidastaa näin ainakin vaatelialimpien kalojen kasvua. Suurimmat kalakantamuutokset tapahtunevatkin matalissa, pohjaa myöten lämpiävissä järvissä. Jokivesissä muutokset voivat muodostua järviä suuremmiksi. Tällä seikalla tullee olemaan vaikutuksena mm.

lohikalojen ja mateen runsauteen ja esiintymiseen. Lämmin vesi lisäänee myös loisten ja tautien yleisyyttä.

Kalojen nykyisen levinneisyyden pohjoisraja on muodostunut lajista riippuen joko ilmastollisista tekijöistä tai leviämisteistä. Lajin lisääntyminen ei onnistu ellei ensimmäisen kesän kasvu ole riittävän suuri.

Itämeressä elää sekä suolaisen että makean veden kalalajeja. Molempien ryhmien nykyinen levinneisyys Suomen rannikkovesissä on ensi sijassa riippuvainen veden suolapitoisuudesta ja lämpötilasta. Siten ilmaston muutoksen näissä aiheuttamat muutokset heijastuvat kalojen levinneisyyteen rannikoillamme. Merialueella kalat voivat levitä uusille alueille, mikäli ympäristöolosuhteet sen sallivat. Nykyisissä levinneisyysalueissa tapahtuneet muutoksia sekä levinneisyyden pohjois- että etelärajoissa. Lämpimän veden merikalalajit, jotka esiintyvät runsaina ainoastaan lounais- ja etelärannikolla tullevat laajentamaan aluettaan pohjoiseen. Merikalojen levinneisyyden muutokset ovat yhteydessä pääasiassa mahdollisiin suolapitoisuuden muutoksiin. On myös mahdollista, että etelämpää Itämereltä vaeltaa vesiimme aivan uusia kalalajeja ja satunnaisten lajien esiintyminen yleistyy.

Ravintovarot ja kalantuotanto lisääntyvät ilmaston lämmetessä. Pohjalle kutevien kalojen, varsinkin syys- ja talvikutuisten, lisääntymisedellytykset saattavat sen sijaan huonontua kutupohjien liettyamisen ja nykyistä alhaisempien talvilämpötilojen seurauksena. Ilmaston lämpeneminen siirtää syyskutuisten ja aikaistaa kevätkutujen kutuaikaa. Kutuaikojen määräytymiseen vaikuttaa lämpötilan ohella myös valaistus.

Poikasten kuoriutumisaajan ravinnon määrällä on tärkeä merkitys poikaskuolleisuuteen. Aikaistunut kutu ja kuoriutuminen edellyttävät siten myös aikaistunutta eläinplanktontuotantoa poikasten oleskelualueilla. Jääpeitteisen ajan lyheneminen muuttaa luonnonvesien valaistusoloja. Talviaikaisen valoisuuden ja lämpötilan

mahdollisen alenemisen seurauksista mätä- ja poikasvaiheille ei kuitenkaan vielä tiedetä riittävästi.

Kuoriutumisen muuttuminen aikaisemmaksi saattaa lisätä poikasten alttiutta äkillisille lämpötilan muutoksille esimerkiksi tuulen tuodessa kylmää vettä poikasalueille. Kasvukauden pitenemisen ja kohoavan lämpötilan seurauksena kalat ja varsinkin kalanpoikaset tulevat kasvamaan nykyistä nopeammin. Kalanpoikasten selviytyminen riippuu paljolti siitä, miten nopeasti ne varttuvat ensimmäisen kasvukauden aikana. Mitä suurempia poikaset ovat, sitä paremmat mahdollisuudet niillä on liikkua ja löytää ravintoa ja sitä helpommin ne voivat vältellä petoja. Vuosiluokkavaihtelut ovat seurausta alkio- ja poikaskuolevuuden vaihteluista, mikä riippuu pääasiassa ympäristöolosuhteiden vaihteluista. Useiden lajien, esimerkiksi silakan, ahvenen, kuhan ja muikun vuosiluokkien vahvuuksien on todettu korreloivan kevään ja kesän lämpötilan kanssa.

Ilmaston muutoksen vaikutukset kalastukseen ovat pääosin seurausta kalakannoissa tapahtuvista muutoksista. Eräitä yleistäviä oletuksia voidaan kuitenkin tehdä. Esimerkiksi lämpenemisen on todettu lisäävän kalantuotantoa, mikä näkyy suurentuneina saaliina. Samanaikaisesti kuitenkin lajikoostumus muuttuu lämpimän veden lajeja suosivaksi. Lämpimän veden kalat ovat joitakin poikkeuksia (mm. ahven, kuha, hauki) lukuun ottamatta vähemmän haluttuja saaliina kuin kylmän veden lajit. Kalastajan kannalta tilanne ei siis välttämättä kehity odotettavissa olevista suurista kilomääräisistä saaliista huolimatta suotuisaan suuntaan. Oleellinen muutos on myös jääpeitteisen kauden lyhentyminen. Tämä vähentää pilkki- ja muun talvikalastuksen merkitystä. Kasvavan perustuotannon vuoksi pyydysten limoittuminen tulee lisääntymään ja aiheuttamaan kalastajille lisätyötä.

Kalojen liikkumisaktiiviteetti on suurimmillaan silloin kun ne ovat lähellä optimilämpötila-aluetta. Vesistöjen lämmitessä lämpimän veden kalat liikkuvat siten entistä enemmän. Joka tapauksessa useimpien kalalajien aktiivisuudessa tulee tapahtumaan muutoksia. Kasvanut

liikkumisaktiiviteetti lisää kalojen mahdollisuuksia joutua pyydyksiin.

SAMMANFATTNING

Många fiskarter lever i Finland vid gränsen av sitt utbredningsområde. P.g.a. detta påverkar även små klimatologiska förändringar fiskars livsvillkor, beståndens struktur, fiskproduktionen och utbredningsområdena. Även förutsättningarna för fiske och fiskodling kommer att förändras om den förutspådda klimatförändringen kommer att ske. Exempelvis avkylningen under 1940 - 1960 -talen försvagade eller t.o.m. förstörde bl a flera gösbestånd i mellersta och norra Finlands sjöar. Den förutspådda klimatförändringen kommer att vara mycket snabbare och större än de förändringar som skett under de gångna åren.

Finlands fiskodling har två tyngdpunktssektorer; tryggheten av hotade arter och bestånd samt matfiskodling. Temperaturhöjningen kommer att påverka båda. Inverkan på odlade fiskar är tydligare än på vildfiskar, eftersom odlade fiskar inte kan undvika oförmånliga miljöförhållanden genom att byta sitt vistelseort. Odlingsvattnets temperatur påverkar direkt reproduktionen, tillväxten och dödligheten. Beroende på artspecifika optimaltemperaturer kan en temperaturökning öka eller minska tillväxten.

Laxfiskar, som är känsliga för höga temperaturer, är de viktigaste odlingsfiskarna i Finland. Deras tillväxt kan bli långsammare och dödligheten öka som följd av en temperaturhöjning. I båda fallen kommer fiskodlarna att lida ekonomiska förluster.

Man har förutspått att avrinningen och mängderna av skadliga substanser, såsom suspenderade och sura ämnen, metaller och bekämpningsmedel kommer att öka. Sedimentation av suspenderade ämnen till lekbottnar förstör eller försämrar embryonas och nykläckta fiskyngels levnadsvillkor. Stora halter av suspenderade ämnen kan även skada gälarna direkt. Ökning av försurningen och vattnets aluminiumhalt påverkar reproduktionen genom att fördröja och t.o.m. förhindra könszellernas utveckling och försämma kläckningsresultatet.

Också redan kläckta yngel utvecklas långsammare i surt vatten och hög aluminiumhalt förstärker effekten.

Enligt temperaturbehovet kan fiskarna grovt indelas i varm- och kallvattenarter. Denna fördelning kan inte tillämpas på yngel och ungfiskar, eftersom olika utvecklingstadier gynnar olika temperaturer. Ungfiskar av nästan alla arter trivs bäst i varmt vatten. En förlängd tillväxtsäsong ökar födoproduktionen och tillväxthastigheten samt förbättrar ungfiskarnas möjligheter att överleva den kritiska första vintern. Därför kan man anta, att varmvattenfiskarnas antal ökar och kallvattenfiskarnas minskar. Förändringar i arternas relativa riklighet förändrar t ex konkurrensen mellan och inom arterna, predationen och förhållandena mellan predatorer och bytesfiskar. Det är dock ännu oklart, hur dessa faktorer förändrar fiskbeståndens struktur och olika arters relativa riklighet.

Förutsättningarna för kallvattenarternas fortbestånd kommer att vara bäst i djupa sjöar, där ett tydligt språngskikt tryggar tillgången på kallt vatten även sommartid. Från ytan till hypolimnion sjunkande organiska ämnen kan i några fall förorsaka syrgasbrist och således försämra levnadsvillkoren för de mest krävande fiskarterna. De största förändringarna i fiskbestånden antas ske i grunda, till botten uppvärmda vatten. I rinnande vatten kan förändringarna bli ännu större. Detta kommer att påverka bl. a. laxfiskarnas och lakens riklighet och utbredning. Varmt vatten kommer också att öka parasit- och sjukdomförekomsten hos fiskar.

Nästan varje arts nuvarande norra utbredningsgräns har bildats antingen av klimatologiska orsaker eller spridningshinder. Reproduktionen lyckas inte om tillväxten under det första levnadsåret inte är tillräckligt stor.

I Östersjön lever både havs- och sötvattensfiskar. Den nuvarande utbredningsgränsen för båda grupperna vid våra kuster är främst beroende på saliniteten och temperaturen. Sålunda påverkar klimatförändringens effekter på temperatur och salinitet direkt utbredningen. I havsområdet kan fiskar

sprida sig till nya områden, om miljöförhållandena tillåter. I de nuvarande utbredningsområdena torde det ske förändringar både då det gäller de norra och södra utbredningsgränserna. Varmvattenhavsfiskar, som förekommer rikligt endast vid sydväst- och sydkusten kommer att sprida sig norrut. Förändringarna i havsvattenfiskarnas utbredning är närmast sammankopplade med förändringarna i saliniteten. Det är också möjligt, att helt nya fiskarter vandrar in i våra havsområden och förekomsten av tillfälliga arter blir vanligare än idag.

Näringsresurserna och deras produktion kommer att öka när temperaturen blir högre. Bottenlekande fiskar, framför allt höst- och vinterlekande, kommer att ha sämre förhållanden för reproduktionen p.g.a. för slamningen av lekbottarna. Höstlekande fiskar kommer att leka senare och vårlekande tidigare än idag. Förutom temperaturen, spelar även ljuset en viktig roll för bestämningen av lektiden.

Näringstillgången under ynglens kläckning påverkar deras dödlighet. Tidig lek och kläckning förutsätter således även tidigare djurplanktonproduktion i yngelområdena. Kortvarigare istäcke förändrar ljusförhållandena i vattnet. Man känner dock inte tillräckligt bra konsekvenserna av ökade ljus- och temperaturförhållanden för embryo- och yngelstadiet.

Tidig kläckningstid ökar risken för att ynglen befinner sig i områden där plötsliga temperaturförändringar är möjliga t.ex. då vindar för kallt vatten till yngelområdena. Som följd av en förlängd tillväxtsång och ökad temperatur kommer fiskarna och framför allt fiskynglen att växa snabbare. Deras överlevnad är beroende av tillväxten under första sommaren. Ju större ynglen är, desto bättre möjligheter har de att röra sig och undvika predatorer. Årsklassvariationer är således en följd av variationer i embryo och yngeldödligheten, vilket beror huvudsakligen på variationer i miljöförhållanden. Årsklasstorleken av flera arter, bl. a. strömming, abborre och gös korrelerar med vår- och sommartemperaturerna.

Klimatförändringens effekter på fisket är mestadels beroende på förändringar i fiskbestånden. Några generella antaganden kan emellertid göras. Varma somrar ökar fiskproduktionen vilket syns som större fångster. Samtidigt förändras artsammansättningen från kallvattenarter till varmvattenarter. Varmvattenfiskar är med några undantag (bl. a. gädda, abborre, gös) mindre populära bytesfiskar än kallvattenarter. För fiskarens del kommer situationen sålunda inte att förbättras trots större viktmässiga fångster. Förkortningen av den istäckta perioden är också en väsentlig förändring. Detta minskar betydelsen av pilk- och annat isfiske. En ökad primärproduktion ökar förslemningen av nät och ryssjor och förorsakar rensningsarbete.

Fiskarnas rörelseaktivitet är störst när de lever nära sina optimala temperaturer. I varmt vatten rör sig varmvattenarterna mera än i kallt vatten. Det kommer att ske förändringar i rörelseaktiviteten hos all arter. Ökad aktivitet ökar fiskens möjlighet att bli fångad.

KIRJALLISUUS

- Adelman, I. R. ja Smith, L. L., Jr. 1972. Toxicity of hydrogen sulfide to goldfish (*Carassius auratus*) as influenced by temperature, oxygen, and bioassay techniques. J. Fish. Res. Board Can. 29, s. 1309 - 1317.
- Alderdice, D. F., Wickett, W. P. ja Brett. J. R. 1958. Some effects of temporary exposure to low dissolved oxygen levels on Pacific salmon eggs. J. Fish. Res. Board Can. 15, s. 229 - 249.
- Alenius, P. 1989. Variation of the sea temperature around the coasts of Finland. Teoksessa: Conference on Climate and Water, Helsinki, Finland 11 - 15 September 1989. Suomen Akatemian julkaisu 9/89. Vol. 1, s. 51 - 62.
- Alenius, P. ja Haapala, J. 1991. Ilmastonmuutosten vaikutus Itämeren hydrografiaan. SILMU VESI-osaohjelman tutkijakokous Lammilla 9. - 10.9. 1991. Käsikirjoitus. 9 s.
- Alm, G. 1959. Connection between maturity, size and age in fishes. Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm 40, s. 5 - 145.
- Almer, B., Dickson, W., Ekstrom, C. ja Hornstrom, E. 1978. Sulphur pollution and the aquatic ecosystem. Teoksessa: Nriagu, J. O. (toim.), Sulfur in the Environment, Pt. II. Chichester. John Wiley. s. 271 - 311.
- Amelung, M. 1982. Auswirkungen gelöster Eisenverbindungen auf die Ei- und Larvalentwicklung von *Salmo gairdneri* (Richardson). Arch. Fisch Wiss. 32, s. 77 - 87.
- Anon. 1990. Impact of climatic change on natural ecosystems, with emphasis on boreal and arctic/alpine areas. Recommendations. Group 4: Aquatic ecosystems. Trondheim, Norway. November 27 - 29, 1990. s. 20 - 24.
- Appelberg, M. 1986. The crayfish *Astacus astacus* L. in acid and neutralized environments. Acta Univ. Ups., Comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the faculty of science 23. Upsala. 16 s.
- Aro, E., Flinkman, J., Kotilainen, P., Raid, T. ja Lankov, A. 1991. Miksi osa silakoista on laihoja? Kalastaja (5), s. 16 - 17.
- Auld, A. H. ja Schubel, J. R. 1978. Effects of suspended sediment on fish eggs and larvae: a laboratory assessment. Estuar. Coast. Mar. Sci. 6, s. 153 - 164.
- Auvinen, H. 1988. Distribution and food of vendace (*Coregonus albula* (L.)) larvae in Lake Pyhäjärvi (Karelia, SE Finland). Finnish Fish. Res. 9, s. 107 - 115.
- Bach, W. 1989. Projected climatic changes and impacts in Europe due to increased CO₂. Teoksessa: Conference on Climate

and Water, Helsinki, Finland 11 - 15 September 1989. Suomen Akatemian julkaisuja 9/89. Vol. 1, s. 31 - 50.

Bagenal, T. B. 1969. The relationship between food supply and fecundity in brown trout, *Salmo trutta* L. J. Fish Biol. 1, s. 167 - 182.

Baker, K. S. ja Smith, R. C. 1982. Bio-optical classification and model of natural water. Limnol. Oceanogr. 27 (3), s. 500 - 509.

Balon, E.K. 1975. Reproductive guilds of fishes: A proposal and definition. J. Fish. Res. Board Can. 32, s. 821 - 864.

Beacham, T. D. ja Murray, C. B. 1986. Comparative developmental biology of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) from the Fraser river, British Columbia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43, s. 252 - 262.

Beacham, T. D. ja Murray, C. B. 1990. Temperature, egg size, and development of embryos and alevins of five species of Pacific salmon: A comparative analysis. Trans. Am. Fish. Soc. 119, s. 927 - 941.

Bell, G. M. ja Hoar, W. S. 1950. Some effects of ultraviolet radiation on sockeye salmon eggs and alevins. Can. J. Res. 28, s. 35 - 43.

Benoit, D. A. 1976: Toxic effects of hexavalent chromium on brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Water Res. 10, s. 497 - 500.

Beran, M. 1989. The impact of climatic change on the aquatic environment. Teoksessa: Conference on Climate and Water, Helsinki, Finland 11 - 15 September 1989. Suomen Akatemian julkaisuja 9/89. Vol. 2, s. 7 - 27.

Berglund, I., Hansen, L. P., Lundqvist, H., Jonsson, B., Eriksson, T., Thorpe, J. E. ja Eriksson, L.-O. 1991. Effects of elevated winter temperature on seawater adaptability, sexual rematuration, and downstream migratory behaviour in mature male Atlantic salmon parr (*Salmo salar*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48, s. 1041 - 1047.

Bergman, E. 1987. Temperature-dependent differences in foraging ability of two percids, *Perca fluviatilis* and *Gymnocephalus cernuus*. Env. Biol. Fish. 19 (1), s. 45 - 53.

Billard, R. 1983. Environmental factors in salmonid culture and the control of reproduction. Iwamoto, R.N. ja Sower, S. (toim.), Salmonid reproduction; An international symposium, review papers. Bellevue, Washigton, 31.10. - 2.11.1983. Seattle, USA.

Billard, R. ja Gillet, C. 1981. Vicillissement des ovules et potentialisation par la température des effets des micropolluants du milieu aqueux sur les gametes chez la truite. Cahiers Lab. Montereau, 12, s. 35 - 42.

- Bjornn, T. C. 1968. Survival and emergence of trout and salmon fry in various gravel-sand mixtures. Teoksessa: Myren, R. T. (toim.), Logging and salmon. Proc. Forum am. Inst. Fish. Res. Biol., Alaska District, Juneau, Ak. s. 80 - 88.
- Blumberg, A. F. ja Di Toro, D. M. 1990. Effects of climate warming on dissolved oxygen concentrations in Lake Erie. Trans. Am. Fish. Soc. 119, s. 210 - 223.
- Bouck, G. R. ja Ball, R. C. 1965. Influence of a diurnal oxygen pulse on fish serum proteins. Trans. Am. Fish. Soc. 94, s. 363 - 370.
- Brett, J. R. 1960. Thermal requirements of fish - three decades of study, 1940 - 1970. Teoksessa: Tarzwell, C. M. (toim.), Biological problems in water pollution; Transactions of the 1959 seminars. U. S. Department of Health, Education, and Welfare. R. A. Taft Sanitary Engineering Center, Technical Report W 60 - 3 Cincinnati, OH. Lainattu Kennedy (1990).
- Brett, J. R. 1979. Environmental factors and growth. Teoksessa: Hoar, W. S., Randall, D. J. ja Brett, J. R. (toim.), Fish physiology VIII. Academic Press, Lontoo. s. 599 - 667.
- Bromage, N. ja Cumaranatunga, R. 1988. Egg production in the rainbow trout. Teoksessa: Muir, J.F. ja Roberts, R. J. (toim.), Recent Advances in Aquaculture. Timber press, USA. s. 63 - 138.
- Bromage, N. ja Duston, J. 1986. The control of spawning in the rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) using photoperiod techniques. Inst. Freshwater Res. Drottningholm, Rep., 63, s. 26 - 35.
- Brooke, L. T. ja Colby, P. J. 1980. Development and survival of embryos of lake herring at different constant oxygen concentrations and temperatures. Prog. Fish-Cult. 42, s. 3 - 9.
- Brown, D. J. A. 1983. The effect of calcium and aluminium concentrations on the survival of brown trout (*Salmo trutta*), at low pH. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 30, s. 582 - 587.
- Brown, E.E. ja Gratzek, J.B., 1980. Fish farming handbook. The AVI Publishing Company. Inc. Westport, Connecticut. 391 s.
- Brown, M. E. 1946. The growth of brown trout (*Salmo trutta* Linn.). III. The effect of temperature on the growth of 2-year-old trout. J. Exp. Biol. 22, s. 145 - 155.
- Brungs, W. A. ja Jones, B. R. 1977. Temperature criteria for freshwater fish. protocol and procedures. EPA-600/3-77-061, U. S. Environmental Protection Agency. 130 s.

- Buckley, L. J., Smigielski, A. S., Halavik, T. A. ja Laurence, G. C. 1990. Effects of water temperature on size and biochemical composition of winter flounder *Pseudopleuronectes americanus* at hatching and feeding initiation. Fish. Bull. 88 (3), s. 419 - 428.
- Bullock, A. M. 1988. Solar ultraviolet radiation. A potential environmental hazard in the cultivation of farmed finfish. Teoksessa: Muir, J. F. ja Roberts, R. J. (toim.), Recent advances in aquaculture. Vol. 3. s. 139 - 224.
- Bylund, G. ja Fagerholm, H.-P. 1986. Kalataudit. Helsinki 1986. 93 s.
- Böhling, P., Hudd, R., Lehtonen, H., Karås, P., Neuman, E. ja Thoresson, G. 1991. Variations in year-class strength of different perch (*Perca fluviatilis*) populations in the Baltic Sea with special reference to temperature and pollution. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48, s. 1181 - 1187.
- Carter, T. ja Holopainen, E. 1991. Climatic scenarios for impact studies in Finland. SILMU-programme, moniste. 6 s.
- Christie, G. C. ja Regier, H. A. 1988. Measures of optimal thermal habitat and their relationship to yields for four commercial fish species. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45, s. 301 - 314.
- Ciepielewski, W. 1990. Long-term changes in fish catches, biomass and production of some exploited fish species in heated lakes near Konin. Ekol. pol. 38 (2), s. 123 - 161.
- Cleveland, L., Little, E. E., Hamilton, S. J., Buckler, D. R. ja Hunn, J. B. 1986. Interactive toxicity of aluminum and acidity to early life stages of brook trout. Trans. Am. Fish. Soc. 115, s. 610 - 620.
- Coble, D. W. 1961. Influence of water exchange and dissolved oxygen in redds on survival of steelhead trout embryos. Trans. Am. Fish. Soc. 90, s. 469 - 474.
- Coutant, C. C. 1987. Thermal preference. when does an asset become a liability? -Env. Biol. Fish. 18 (3), s. 161 - 172.
- Coutant, C. C. 1990. Temperature-oxygen habitat for freshwater and coastal striped bass in a changing climate. Trans. Am. Fish. Soc. 119, s. 240 - 253.
- Crim, L. W., Sutterlin, A. M., Evans, D. M. ja Weil, C. 1983. Accelerated ovulation by pelleted LHRH analogue treatment of spring-spawning rainbow trout (*Salmo gairdneri*) held at low temperature. Aquaculture 35, s. 299 - 307.
- Crisp, D. T. 1981. A desk study of the relationship between temperature and hatching time for eggs of five species of salmonid fishes. Freshw. Biol. 11, s. 361 - 368.

Crisp, D. T. 1988. Prediction, from temperature, of eyeing, hatching and 'swim-up' times for salmonid embryos. *Freshwater Biology* 19, s. 41 - 48.

Cubasch, U. ja Cess, R. D. 1990. Processes and modelling. Teoksessa: Houghton, J. T., Jenkins, G. J. ja Ephraums, J. J. (toim.), *Climate Change. The IPCC Scientific assessment.* Cambridge. Cambridge University Press. s. 69 - 92.

Curry-Lindahl, K. 1985. *Våra fiskar.* Norstedt ja Söners förlag. Stockholm. 528 s.

Cushing, D. H. 1975. *Marine ecology and fisheries.* Cambridge University Press, London. 278 s.

Cusimano, R. F., Brakke, D. F. ja Chapman, G. A. 1986. Effects of pH on the toxicities of cadmium, copper and zinc to steelhead trout (*Salmon gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43, s. 1497 - 1503.

Daan, S. 1981. Adaptive daily strategies in behaviour. Teoksessa: Aschhoff, J. (toim.), *Handbook of behavioural neurobiology.* New York. s. 275 - 298.

Dahlberg, M. D. 1979. A review of survival rates of fish eggs and larvae in relation to impact assessments. *Marine Fisheries Review (March)*, s. 1 - 12.

Dahlberg, M. L., Shumway, D. L. ja Doudoroff, P. 1968. Influence of dissolved oxygen and carbon dioxide on swimming performance of largemouth bass and coho salmon. *J. Fish. Res. Board Can.* 25, s. 49 - 70.

Danzmann, R. G., MacLennan, D. S., Hector, D. G., Hebert, P. D. N. ja Kolasa, J. 1991. Acute and final temperature preferenda as predictors of lake St. Clair fish catchability. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, s. 1408 - 1418.

Dave, G. 1985. The influence of pH on the toxicity of aluminum, cadmium, and iron to eggs and larvae of the zebrafish, *Brachydanio rerio*. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 10, s. 253 - 267.

Davies, B. ja Bromage, N. R. 1991. The effects of fluctuating seasonal and constant temperatures on the photoperiodic advancement of reproduction in female rainbow trout. 4th International symposium on reproductive physiology of fish. University of East Anglia, Norwich, U.K. 7. - 12.6. 1991.

Daye, P. G. ja Garside, E. T. 1977. Lower lethal levels of pH for embryos and alevins of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Zool.* 55, s. 1504 - 1508.

Daye, P. G. ja Glebe, B. D. 1984. Fertilisation success and sperm motility of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in acidified water. *Aqua* 43, s. 307 - 312.

- DeAngelis, D. L. ja Cushman, R. M. 1990. Potential application of models in forecasting the effects of climate change on fisheries. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119, s. 224 - 239.
- Decker, C. ja Menendez, R. 1974. Acute toxicity of iron and aluminum to brook trout. *Proc. W. Virg. Acad. Sci.* 46, s. 159 - 167.
- Densen, W. L. T. Van ja Grimm, M. P. 1988. Possibilities for stock enhancement of pikeperch (*Stizostedion lucioperca*) in order to increase predation on planktivores. *Limnologica* (Berlin) 19 (1), s. 45 - 49.
- Dey, D. B. ja Damkaer, D. M. 1990. Effects of spectral irradiance on the early development of chinook salmon. *Prog. Fish-Cult.* 52, s. 141 - 154.
- Dickhoff, W. W., Mahnken, C. V. W., Zaugg, W. S., Waknitz, F. W., Bernard, M. G. ja Sullivan, C. V. 1989. Effects of temperature and feeding on smolting and seawater survival of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 82, s. 93 - 102.
- Dixon, D. ja Sprague, J. B. 1981. Acclimation to copper by rainbow trout (*Salmo gairdneri*) - A modifying factor in toxicity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38, s. 880 - 888.
- Dodge, D. P. ja MacCrimmon, H. R. 1971. Environmental influences on extended spawning of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Trans. Am. Fish. Soc.* 2, s. 312 - 318.
- Doudoroff, P. 1976. Toxicity to fish of cyanides and related compounds. A Review. EPA-600/3-76-038, U. S. Environmental Protection Agency. 155 s.
- Doudoroff, P. ja Shumway, D. L. 1970. Dissolved oxygen requirements for freshwater fishes. *FAO Fish. Techn. Pap.* 86. 291 s.
- Downing, K. M. ja Merkens, J. C. 1955. The influence of dissolved oxygen concentration on the toxicity of un-ionized ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Ann. Appl. Biol.* 43, s. 243 - 246.
- Duston, J., Saunders, R. L. ja Knox, D. E. 1991. Effects of increases in freshwater temperature on loss of smolt characteristics in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, s. 164 - 169.
- Eckmann, R., Gaedke, U. ja Wetzlar, H. J. 1988. Effects of climatic and density-dependent factors on year-class strength of *Goregonus lavaretus* in lake Constance. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, s. 1088 - 1093.
- EIFAC 1968. Water quality criteria for European freshwater fish. Report on water temperature and inland fisheries based mainly on Slavonic literature. EIFAC Technical Paper 6. 32 s.

EIFAC 1969. Water quality criteria for European freshwater fish. Extreme pH values and inland fisheries. Water Res. 3, s. 593 - 611.

EIFAC 1973a. Water quality criteria for European freshwater fish. Report on dissolved oxygen and inland fisheries. EIFAC Technical Paper 19. 10 s.

EIFAC 1973b. Water quality criteria for European freshwater fish. Report on ammonia and inland fisheries. Water Res. 7, s. 1011 - 1022.

Elliott, J. A. K., Bromage, N. R. ja Springate, J. R. C. 1984. Changes in reproduction function of three strains of rainbow trout exposed to constant and seasonally-changing light cycles. Aquaculture, 43, s. 23 - 34.

Elliott, J. M. 1975. The growth rate of brown trout (*Salmo trutta*) fed on maximum rations. J. Anim. Ecol. 44, s. 805 - 821.

Eriksson, L.-O., Lundqvist, H. ja Berglund, I. 1989. Effects of temperature on gonadal resorption and seawater adaptability among sexually mature Baltic salmon (*Salmo salar* L.) parr. Aquaculture 82, s. 384.

Eronen, T. ja Lahti, E. 1988. Life cycle of winter spawning vendace (*Coregonus albula* L.) in Lake Kajoönjärvi, eastern Finland. Finnish Fish. Res. 9, s. 197 - 203.

Exley, C. E. ja Phillips, M. J. 1988. Acid rain. Implications for the farming of salmonids. Teoksessa: Muir, J. F. ja Ronald, J. R. (toim.), Recent advances in aquaculture. Vol. 3, s. 225 - 341.

Falkenmark, M. 1989. Climate induced hydrological shifts in Europe and their implication spectrum. Teoksessa: Conference on Climate and Water, Helsinki, Finland 11 - 15 September 1989. Suomen Akatemian julkaisuja 9/89. Vol. 2, s. 43 - 67.

Fivelstad, S. ja Leivestad, H. 1984. Aluminium toxicity to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.). mortality and physiological response. Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm. 61, s. 69 - 77.

Forsman, L. ja Virtanen, E. 1989. Valorytmi vaikuttaa lohen smolttiutumiseen. Genom att förändra ljusrytmen kan man påverka smoltifieringen hos lax. Suomen kalankasvattaja 1989 (2), s. 22 - 24.

Fortier, L. ja Gagné, J. A. 1990. Larval herring (*Clupea harengus*) dispersion, growth, and survival in the St. Lawrence Estuary: Match/Mismatch or Membership/Vagrancy? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47, s. 1898 - 1912.

Frank, K. T., Perry, R. I., Drinkwater, K. F. ja Lear, W. H. 1988. Changes in the fisheries of Atlantic Canada associated with global increases in atmospheric carbon dioxide. A

preliminary report. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 1652. 52 s.

Fry, F. E. J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. Teoksessa: Hoar, W. S. ja Randall, D. J. (toim.), Fish physiology. Vol. 6. Acad. Press, New York and London. s. 1 - 98.

Garside, E. T. 1966. Effects of oxygen in relation to temperature on the development of embryos of brook trout and rainbow trout. J. Fish. Res. Board Can. 23, s. 1121 - 1131.

Ghosh, T. K. 1986. Effect of dimethoate on tissue glucogen content of some freshwater fishes. Environment ja Ecology 4, s. 554 - 557.

Gill, T. S., Pant, J. C. ja Pant, J. 1988. Gill, liver, and kidney lesions associated with experimental exposures to carbaryl and dimethoate in the fish (*Puntius conchonus* Ham.). Bull. Environm. Contam. Toxicol. 41, s. 71 - 78.

Gillet, C. 1991. Egg production in a whitefish (*Coregonus shinzi palea*) brood stock. Effects of photoperiod on the timing of spawning and the quality of eggs. Aquat. Living Resour. 4, s. 33 - 39.

Gjerde, B. 1984. Response to individual selection for age at sexual maturity in Atlantic salmon. Aquaculture 38, s. 229 - 240.

Grauman, G. 1986. Morphological anomalies in the Baltic Sea fishes at early stages of ontogenesis. Symposium on ecological investigations of the Baltic Sea environment, Riga, USSR, 16 - 19 March 1983. p. 282 - 291. (Reprints of the proceedings to be published in russian in the series "Ekologija Baltijskogo morja", vypusk 3, Gidrometeoizdat, 1986, Leningrad). Government Printing Centre, Helsinki 1985.

Gran, V. ja Pruuki, V. 1989. Ilmaston lämpeneminen ja sen vaikutukset Suomen vesistöihin ja kalakantoihin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Käsikirjoitus. 22 s.

Grande, M., Muniz, I. P. ja Andersen, S. 1978. Relative tolerance of some salmonids to acid waters. Verh. Internat. Verein. Limnol. 20, s. 2076 - 2084.

Gunnes, K. 1979. Survival and development of Atlantic salmon eggs and fry at three different temperatures. Aquaculture 16, s. 211 - 218.

Haegeler, C. W. ja Schweigert, J. F. 1985. Distribution and characteristics of herring spawning grounds and description of spawning behavior. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42 (Suppl. 1), s. 39 - 55.

Hakala, J. 1984. Muistio Säskylän Pyhäjärveen laskevan Pyhäjoen kalakuolemasta loppukesällä 1983. Moniste. 9 s.

Hamor, T. ja Garside, E. T. 1976. Developmental rates of embryos of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in response to various levels of temperature, dissolved oxygen, and water exchange. Can. J. Zool. 54, s. 1912 - 1917.

Hamor, T. ja Garside, E. T. 1977. Size relations and yolk utilization in embryonated ova and alevins of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in various combinations of temperature and dissolved oxygen. Can. J. Zool. 55, s. 1892 - 1898.

Hardy, J. ja Gucinski, H. 1989. Stratospheric ozone depletion. Implications for marine ecosystems. Oceanography 2 (2), s. 18 - 21.

Hargrave, B. T., Harding, G. C., Drinkwater, K. F., Lambert, T. C. ja Harrison, W. G. 1985. Dynamics of the pelagic food web in St. Georges Bay, southern Gulf of St. Lawrence. Mar. Ecol. Prog. Ser. 20, s. 221 - 240.

Haschemeyer, A. E. V. 1973. Control of protein synthesis in the acclimation of fish to environmental temperature changes. Teoksessa: Chavin, W. (toim.), Responses of fish to environmental changes. Springfield. s. 3 - 30.

Heggberget, T. G. 1988. Timing of spawning in Norwegian Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45, s. 845 - 849.

Heggberget, T. G. ja Wallace, J. C. 1984. Incubation of the eggs of atlantic salmon, *Salmo salar*, at low temperatures. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41, s. 389 - 391.

Heming, T. A. 1982. Effects of temperature on utilization of yolk by chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) eggs and alevins. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39, s. 184 - 190.

Henderson, B. A. ja Nepszy, S. J. 1988. Recruitment of yellow perch (*Perca flavescens*) affected by stock size and water temperature in lakes Erie and St. Clair, 1965-1985. J. Great Lakes Res. 14 (2), s. 205 - 215.

Henderson, N.E. 1963. Influence of light and temperature on the reproductive cycle of the eastern brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill). J. Fish. Res. Bd Can. 20, s. 859 - 897.

Henttonen, H. 1991. Ilmastonmuutos ja pienriistakannat. Suomen Riista 37, s. 79 - 85.

Herzig, A. ja Winkler, H. 1986. The influence on the embryonic development of three cyprinid fishes, *Abramis brama*, *Chalcalburnus chalcoides* and *Vimba vimba*. J. Fish Biol. 28, s. 171 - 181.

Hessen, D. O., Agerberg, A., Kjellberg, G., Odelstrøm ja Westman, K. 1987. Teoksessa: Skurdal, J., Westman, K. ja Bergan, P. I. (toim.), Crayfish culture in Europe. Report

from the workshop on crayfish culture. 16 - 19. November 1987, Trondheim, Norway.

Hicks, D. B. ja DeWitt, J. W. 1971. Effects of dissolved oxygen on kraft pulp mill effluent toxicity. *Water Res.* 5, s. 693 - 701.

Hill, D. K. ja Magnuson, J. J. 1990. Potential effects of global climate warming on the growth and prey consumption of Great Lakes fish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119, s. 265 - 275.

Hillbricht-Ilkowska, A. ja Zdanowski, B. 1988. Main changes in the Konin lake system (Poland) under the effect of heated-water discharge pollution and fishery. *Ekol. Pol.* 36 (1 - 2), s. 23 - 45.

Hjort, J. 1914. Fluctuations of the great fisheries of northern Europe. *Rapp. P.-V. Reunions* 20, s. 1 - 228.

Hokanson, K. E. F., McCormick, J. H., Jones, B. R. ja Tucker, J. H. 1973. Thermal requirements for maturation, spawning, and emryo survival of the brook trout, *Salvelinus fontinalis*. *J. Fish. Res. Bd Can.* 30, s. 975 - 984.

Holden, A. V. 1972. The effects of pesticide on life in fresh waters. *Proc. R. Soc. London, Ser. B.* 180. s. 383 - .
Lainattu Murty (1986a).

Holopainen, E. 1987. Kasvihuoneilmiön voimistumisen vaikutukset veden kiertokulkuun. *Vesitalous* (2), s. 2 - 5.

Holopainen, E. 1991. Ilmaston kehitysnäkymät. Teoksessa: Anttila, P. (toim.), Ilmastonmuutos ja Suomi - kohti kansallista toimintastrategiaa. Suomen akatemian julkaisuja 4/91. s. 22 - 26.

Holten, J. I. 1990. Biological and ecological consequences of changes in climate in Norway. *NINA Utredning* 11, 59 s.

Horppila, J. 1989. Tiheän särkikannan vaikutus Vesijärven Enonselän rehevyyteen. Lisensiaattitutkimus, Helsingin yliopiston limnologian laitos. 90 s.

Howarth, R. S. ja Sprague, J. B. 1978. Copper lethality to rainbow trout in waters of various hardness and pH. *Water Res.* 12, s. 455 - 462.

Hudd, R., Hildén, M., Urho, L., Axell, M.-B. ja Jåfs, L.-A. 1984. Kyrönjoen suisto- ja vaikutusalueen kalatalousselvitys 1980 - 1982. Vesihallitus. Tiedotus 242A, Helsinki 1984. 275 s.

Hudd, R., Hildén, M. ja Urho, L. 1986. The effects of anthropogenic acidification on the stocks and fisheries of bream and burbot in the sea area influenced by the river Kyrönjoki in the Gulf of Bothnia. Publications of the Water Research Institute, National Board of Water, Finland, No. 68, s. 134 - 138.

Hudd, R., Lehtonen, H. ja Kurttila, I. 1988. Growth and abundance of fry; factors which influence the year-class strength of whitefish (*Coregonus widegreni*) in the southern Bothnian Bay (Baltic). Finnish Fish. Res. 9, s. 213 - 220.

Hunter, J. R. 1982. Predation and recruitment. Teoksessa: Rothschild and Rooth (toim.), Fish Ecology III. Univ. Miami Tech. Rep. No 82008, s. 172 - 209.

Hunter, J. R., Kaupp, S. E. ja Taylor, J. H. 1982. Assessment of effects of UV radiation on marine fish larvae. Teoksessa: Calkins, J. (toim.), The role of solar ultraviolet radiation in marine ecosystems. NATO Conf. Ser. IV. Mar. Sci. 7, s. 459 - 493.

Hunter, J. R., Taylor, J. H. ja Moser, H. G. 1979. Effect of ultraviolet irradiation on eggs and larvae of the northern anchovy, *Engraulis mordax*, and the Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, during the embryonic stage. Photochem. Photobiol. 29, s. 325 - 338.

Huovila, S. 1989. Ylemmän ilmakehän fysiikka. Helsingin yliopisto. Meteorologian laitos. Luentomoniste. 87 s.

Huusko, A. 1990. Kirjallisuusselvitys kalojen mäti- ja poikasvaiheiden ekologiasta. RKTL, kalantutkimusosasto. Kalatutkimuksia 11, 58 s.

Huusko, A., Sutela, T., Karjalainen, J., Auvinen, H. ja Alasaarela, E. 1988. Feeding of vendace (*Coregonus albula* L.) fry in a natural-state lake and a regulated lake in Northern Finland. Finnish Fish. Res. 9, s. 447 - 456.

Höglund, J. ja Thulin, J. 1988. Parasitangrepp i ögon hos fisk, som lever i kylvatten från kärnkraftsreaktorer. SNV Rapport 3539, 47 s.

IPCC 1990. Policymakers Summary. Teoksessa: Houghton, J. T., Jenkins, G. J. ja Ephraums, J. J. (toim.), Climate change. The IPCC Scientific assessment. Cambridge. Cambridge University Press.

Iwama, G. K. ja Tautz, A. F. 1981. A simple growth model for salmonids in hatcheries. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38, s. 649 - 656.

Jensen, J. W. 1985. The potential growth of salmonids. Aquaculture 48, s. 223 - 231.

Jensen, A. J. 1991. Possible effects of climatic changes on the ecology of Norwegian Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). ICES C.M. 1991/M:34. (Mimeogr.).

Jensen, A. J., Johnsen, B. O. ja Heggberget, T. G. 1991. Initial feeding time of Atlantic salmon, *Salmo salar*, alevins compared to river flow and water temperature in Norwegian streams. Env. Biol. Fish. 30, s. 379 - 385.

Jobling, M. 1983. Influences of body weight and temperature on growth of arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. J. Fish Biol. 23, s. 471 - 475.

Jobling, M. ja Baardvik, B. M. 1991. Patterns of growth of maturing and immature Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in a hatchery population. Aquaculture 94, s. 343 - 354.

Johannesson, B. 1982. Observations of a 4 °C groundwater source as a release site for Atlantic salmon. Prog. Fish-Cult. 44, s. 136 - 137.

Johansson, C. ja Johansson, J.-Å. 1974. Födoval hos mört- och braxenyngel (*Cyprinidae*) i Sövdesjön, Skåne. Inform. Sötvatt. Lab. Drottningholm. 13, s. 1 - 30.

Johansson, N. ja Kihlström, J. E. 1975. Pikes (*Esox lucius* L.) shown to be affected by low pH values during first weeks after hatching. Environm. Res. 9, s. 12 - 17.

Johnston, C. E., Gray, R. W., McLennan, A. ja Paterson, A. 1987. Effects of photoperiod, temperature, and diet on the reconditioning response, blood chemistry, and gonad maturation of Atlantic salmon kelts (*Salmo salar*) held in freshwater. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44, s. 702 - 711.

Johnston, C. E., Farmer, S. R., Gray, R. W. ja Hambrook, M. 1990. Reconditioning and reproductive responses of Atlantic salmon smolts (*Salmo salar*) to photoperiod and temperature manipulation. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47, s. 701 - 710.

Jonsson, B. ja Ruud-Hansen, J. 1985. Water temperature as the primary influence on timing of seaward migrations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42, s. 593 - 595.

Jonsson, N. 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. Nordic. J. Freshw. Res. 66, s. 20 - 35.

Jungwirth, M. ja Winkler, H. 1984. The temperature dependence of embryonic development of grayling (*Thymallus thymallus*), Danube salmon (*Hucho hucho*), Arctic char (*Salvelinus alpinus*) and brown trout (*Salmo trutta fario*). Aquaculture 38, s. 315 - 327.

Jäger, T., Nellen, W., Schöfer, W. ja Shodjai 1981. Influence of salinity and temperature on early life stages of *Coregonus albula*, *C. lavaretus*, *R. rutilus*, and *L. lota*. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 178, s. 345 - 348.

Kane, T. R. 1988. Relationship of temperature and time of initial feeding of Atlantic salmon. Prog. Fish-Cult. 50, s. 93 - 97.

Karås, P. 1987. Food consumption, growth and recruitment in perch (*Perca fluviatilis* L.). Acta Univ. Ups., Comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the faculty of science 108. 19 s.

Karås, P. 1990. Seasonal changes in growth and standard metabolic rate of juvenile perch, *Perca fluviatilis* L.. J. Fish Biol. 37, s. 913 - 920.

Karås, P. ja Neuman, E. 1981. First year growth of perch (*Perca fluviatilis* L.) and roach (*Rutilus rutilus* (L.)) in a heated Baltic Bay. Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm 59, s. 48 - 63.

Kato, T. 1978. Relation of growth to age of maturity and egg characteristics in kokanee (*Oncorhynchus nerka*). Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. 28, s. 61 - 75.

Kenaga, E. E. 1982. Predictability of chronic toxicity from acute toxicity of chemicals in fish and aquatic invertebrates. Environm. Toxicol. Chem. 1, s. 347 - 358.

Kennedy, V. S. 1990. Anticipated effects of climate change on estuarine and coastal fisheries. Fisheries 15 (6), s. 16 - 24.

Kihlström, J. E. ja Hulth, L. 1972. The effect of phenylmercuric acetate upon the frequency of hatching of eggs from the zebrafish. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 7, s. 111 - 114.

Klaverkamp, J. F., MacDonald, W. A., Lillie, W. R. ja Lutz, A. 1983. Joint toxicity of mercury and selenium in salmonid eggs. Arch. Environm. Contam. Toxicol. 12 (4), s. 415 - 419.

Klinkhardt, M. B., Straganov, A. A. ja Pavlov, D. A. 1987. Motoricity of Atlantic salmon embryos (*Salmo salar* L.) at different temperatures. Aquaculture 64, s. 219 - 236.

Koenst, W. M. ja Smith Jr, L. L. 1976. Thermal requirements of the early life history stages of walley, *Stizostedion vitreum vitreum*, and sauger, *Stizostedion canadense*. J. Fish. Res. Board Can. 33, s. 1130 - 1138.

Kokko, H., Törrönen, J. ja Päivänen, K. 1988. Kymijoen ja Iso-Ruhmaan tulvaniittyjen lämpötilamittaukset keväällä 1988. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja (117), s. 1 - 25.

Kokurewicz, B. 1979. Spawning of fish and their embryonic and larval development. Pol. Ecol. Stud. 5 (3), s. 64 - 71.

Koli, L. 1990. Suomen kalat. WSOY, Porvoo. 357 s.

Korsgaard, B. Mommsen, T. P. ja Saunders, R. L. 1986. The effect of temperature on the vitellogenic response in Atlantic salmon post-smolts, *Salmo salar*. Gen. Comp. Endocrinol. 62, s. 193 - 201.

Koskela, J. 1988. Siian alkukasvatuksesta kuivarehulla. Suomen kalankasvattaja 17, s. 26 - 28.

- Koskela, J. 1989. Lämpöä siian alkukasvatukseen. Suomen kalankasvattaja 18, s. 20 - 22.
- Koskela, J. 1990. Ruokintamalli siialle. Suomen kalankasvattaja 19, s. 16 - 18.
- Koskela, J. 1991. Growth rates and feeding levels of European whitefish (*Coregonus lavaretus*) under hatchery conditons. Käsikirjoitus.
- Koskela, J. ja Eskelinen, U. 1990. Growth of larval European whitefish (*Coregonus lavaretus*) at different temperatures. Int. Coregonid Symp. August 1990. Quebec.
- Kristinsson, J. B., Saunders, R. L. ja Wiggs, A. J. 1985. Growth dynamics during development of bimodal length-frequency disributions in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Aquaculture 45, s. 1 - 20.
- Kuhn, W. R ja Marshall, H. G. 1991. Climate modeling. Teoksessa: Kainlauri, E., Johansson, A., Kurki-suonio, I. ja Geshwiler, M. (toim.), Energy and Environment. 1991 International Symposium on Energy and Environment. August 25 - 28, 1991 Espoo, Finland. 86 - 92 s.
- Kuikka, S. 1991. Effects of some external factors on the predictability and production capacity of Baltic salmon stocks. ICES C. M. 1991/M:29. (Mimeogr.).
- Kuusisto, E. 1988. The hydrology of Finnish lakes in the year 2050. Nordic Hydrological Conference, Rovaniemi, Finland. 23 s.
- Kuusisto, E. 1989. Snow and ice - nonrenewable natural resources in the future? Teoksessa: Conference on Climate and Water, Helsinki, Finland 11 - 15 September 1989. Suomen Akatemian julkaisuja 9/89. Vol. 1. 300 - 318 s.
- Lacroix, G. L. 1985. Survival of eggs and alevins of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in relation to the chemistry of interstitial water in redds in some acidic streams of Atlantic Canada. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42, s. 292 - 299.
- Lambert, T. C. 1984. Larval cohort succession in herring (*Clupea harengus*) and capelin (*Mallotus villosus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41, s. 1552 - 1564.
- Lappalainen, J. 1990. Automaattisen mittauslaitteen käyttömahdollisuudet velvoitetarkkailussa. Helsingin Kaupungin Vesi- ja Viemärilaitoksen Tutkimustoimiston tiedonantoja 19. 47 s.
- Lappalainen, H. ja Heikinheimo, M. 1992. Plant disease and insect pest responses to variability. Teoksessa: Salinger, M. J. (toim.), Effects of climate change and variability on agriculture and forests. WMO Technical Note 71 - 86 s. (painossa).

Lasker, R. 1981. Factors contributing to variable recruitment of the northern anchovy (*Engraulis mordax*) in the California Current: contrasting years, 1975 through 1978. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 178, s. 375 - 388.

Laurila, S., Piironen, J. ja Holopainen, I. J. 1987. Notes on egg development and larval and juvenile growth of crucian carp (*Carassius carassius* (L.)). Ann. Zool. Fennici 24, s. 315 - 321.

Leggett, W. C., Frank, K. T. ja Carscadden, J. E. 1984. Meteorological and hydrographic regulation of year-class strength in capelin (*Mallotus villosus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41, s. 1193 - 1201.

Lehtonen, H. 1973. Mateen biologiasta Suonteenjärvässä ja Tvärminnessä. Luonnon tutkija 77 (3 - 4), s. 91 - 100.

Lehtonen, H. 1976. Tutkimus Kemira Oy:n Porin tehtaiden jätevesien kalataloudellisista vaikutuksista sekä kalataloudellinen tarkkailu- ja hoitosuunnitelma. RKTL, kalantutkimusosasto. Tiedonantoja 6, s. 1 - 289.

Lehtonen, H. 1985. Changes in commercially important freshwater fish stocks in the Gulf of Finland during recent decades. Finnish Fish. Res. 6, s. 61 - 70.

Lehtonen, H. 1990. Muuttuvatko kalakannat ilmaston lämmetessä? Teoksessa: Ympäristö muuttuu - virkistyskalastaja vieraantuu. Suomen Kalamiesten Keskusliitto. Seminaari 4.5.1990. s. 6 - 12.

Lehtonen, H. 1991. Kestääkö kuha kasvihuoneessa? Elinympäristö 1991, s. 20 - 22.

Lehtonen, H., ja Böhling, P. 1991. Effects of climate on the recruitment of freshwater fish in the coastal waters of Finland. Käsikirjoitus, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos.

Lehtonen, H. ja Hudd, R. 1990. The importance of estuaries for the reproduction of freshwater fish in the Gulf of Bothnia. Teoksessa: van Densen, W. L. T., Steinmetz B. ja Hughes, R. H. (toim.), 1990. Management of freshwater fisheries. Proc. Symp. EIFAC, Göteborg, Sweden 31 May - 3 June 1988. Pudoc. Wageningen, s. 82 - 89.

Lehtonen, H., Miina, T. ja Frisk T. 1984. Natural occurrence of pike-perch (*Stizostedion lucioperca* (L.)) and success of introductions in relation to water quality and lake area in Finland. Aqua Fennica 14 (2), s. 189 - 196.

Leitritz, E. ja Lewis, R. C. 1973. Trout and salmon culture (hatchery methods). California department of fish and game. Fish Bulletin 164.

Leitritz, E. ja Lewis, R. C. 1976. Trout and salmon culture. Calif. Dep. Fish Game Fish. Bull. 164. 197 s.

- Leppäranta, M. 1989. On climatic variations of the Baltic sea ice conditions. Teoksessa: Conference on Climate and Water, Helsinki, Finland 11 - 15 September 1989. Suomen Akatemian julkaisuja 9/89. Vol. 1, s. 63 - 72.
- Levine, J. S. 1991. Energy, atmospheric chemistry, and global climate. Teoksessa: Kainlauri, E., Johansson, A., Kurki-suonio, I. ja Geshwiler, M. (toim.), Energy and Environment. 1991 International Symposium on Energy and Environment. August 25 - 28, 1991 Espoo, Finland. 15 - 24 s.
- Lindroth, A. 1946. Zur Biologie der Befruchtung und Entwicklung beim Hecht. Kungl. Lantbruksstyrelsen Medd. från Statens undersöknings och försöksanstalt för sötvattensfisket 24, s. 1 - 173.
- Lloyd, R. 1961. Effect of dissolved oxygen concentrations on the toxicity of several poisons to rainbow trout (*Salmo gairdnerii* Richardson). J. Exp. Biol. 38, s. 447 - 455.
- Lloyd, R. ja Herbert, D. W. M. 1962. The effect of the environment on the toxicity of poisons to fish. J. Inst. Publ. Hlth Engrs. 61, s. 132 - 145.
- Loeng, H. 1986. Havklimaets betydning for fiskeressursene. Teoksessa: Seminar om Barentshavets ressurser, Scandic Hotel, Trondheim, 6 - 7 Mai 1986. s. 29 - 43.
- Lorz, H. W. ja McPherson, B. P. 1976. Effects of copper and zinc in fresh water on the adaptation to sea water and ATPase activity, and the effects of copper on migratory disposition of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). J. Fish. Res. Board Can. 33, s. 2023 - 2030.
- Love, R. M. 1970. The chemical biology of fishes. Academic Press. London. 547 s.
- Luczyński, M. 1984. Temperature and electric shock control the secretion of chorionase in Coregoninae embryos. Comp. Biochem. Physiol. 78A, s. 371 - 374.
- Luczyński, M. 1985. Survival of *Coregonus albula* (L.) (Teleostei) embryos incubated at different thermal conditions. Hydrobiologia 121, s. 51 - 58.
- Luczyński, M. 1991. Temperature requirements for growth and survival of larval vendace, *Coregonus albula* (L.). J. Fish Biol. 38, s. 29 - 35.
- Luczyński, M. ja Kolman, R. 1987. Hatching of *Coregonus albula* and *C. lavaretus* embryos at different stages of development. Env. Biol. Fish. 19 (4), s. 309 - 315.
- Luczyński, M., Strzezek, J. ja Brzuzan, P. 1987. Secretion of hatching enzyme and its proteolytic activity in Coregoninae (*Coregonus albula* L. and *C. lavaretus* L.) embryos. Fish Physiol. Biochem. 4, s. 57 - 62.

- Lukowicz, M. von 1976. Der Eisengehalt im Wasser und seine Wirkung auf den Fisch. *Fisch Umwelt* 2, s. 85 - 92.
- Lundqvist, H. 1980. Influence of photoperiod on growth in Baltic salmon parr (*Salmo salar* L.) with special reference to the effect of precocious sexual maturation. *Can. J. Zool.* 58, s. 940 - 944.
- Lundqvist, H., Clarce, W. C. ja Johansson H. 1988. The influence of precocious sexual maturation on survival to adulthood of river stocked Baltic salmon, *Salmo salar*, smolts. *Holarct. Ecol.* 11, s. 60 - 69.
- Lyytikäinen, ja Eskelinen, P. 1990. Formaliinin myrkyllisyys nieriälle ja siialle ja lämpötilan vaikutus siihen. *Suomen kalankasvattaja* 19, s. 19 - 20.
- Lyytikäinen, T., Koskela, J. ja Rissanen, I. 1989. Nieriän lämpötilan sieto. *Suomen kalankasvattaja* 18, s. 48 - 50.
- Lyytikäinen, T., Koskela, J. ja Rissanen, I. 1990. Nieriän kasvu kuudessa eri lämpötilassa jatkuvassa valossa. *Suomen kalankasvattaja* 19, s. 30 - 32.
- MacLean, J. A., Shuter, B. J., Regier, H. A. ja MacLeod, J. C. 1981. Temperature and year-class strength of smallmouth bass. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer*, 178, s. 30 - 40.
- Madenjian, C. P. 1990. Nighthtime pond respiration rate. Oxygen or temperature dependent? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47, s. 180 - 183.
- Magnuson, J. J., Crowder, L. B. ja Medvick, P. A. 1979. Temperature as an ecological resource. *Amer. Zool.* 19, s. 331 - 343.
- Magnuson, J. J., Meisner, J. D. ja Hill, D. K. 1990. Potential changes in the thermal habitat of Great Lakes fish after global climate warming. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119, s. 254 - 264.
- Mandrak, N. E. 1989. Potential invasion of the Great Lakes by fish species associated with climatic warming. *J. Great Lakes Res.* 15 (2), s. 306 - 316.
- Mann, R. H. K. ja Mills, C. A. 1986. Biological and climatic influences on the dace *Leuciscus leuciscus* in a southern chalk-stream. *Rep. Freshwat. biol. Assoc.* 54, s. 123 - 136.
- Mannio, J., Verta, M. ja Iivonen, P. 1990. Raskasmetallit latvajärvissä - laskeuman ja happamoitumisen merkitys. *Vesitalous* (3), s. 5 - 13.
- Matthews, W. J. ja Zimmerman, E. G. 1990. Potential effects of global warming on native fishes of the southern Great Plains and the southwest. *Fisheries* 15 (6), s. 26 - 32.
- Mayer, F. L. Jr. ja Eilersieck, M. R. 1986. Manual of acute toxicity. Interpretation and data base for 410 chemicals and

66 species of freshwater animals. U.S. Fish and Wildlife Service, Resource Publication 160. 579 s.

McCormick, M. 1990. Potential changes in thermal structure and cycle of lake Michigan due to global warming. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119, s. 183 - 194.

McCormick, J. H., Jones, B. R. ja Syrett, R. F. 1971. Temperature requirements for growth and survival of larval ciscos (*Coregonus artedii*). *J. Fish. Res. Board Can.* 28, s. 924 - 927.

McCormick, S. D. ja Naiman, R. J. 1984. Some determinants of maturation in brook trout, *Salvelinus fontinalis*. *Aquaculture* 43, s. 269 - 278.

McDonald, D. G., Höbe, H. ja Wood, C. M. 1980. The influence of calcium on the physiological responses of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, to low environmental pH. *J. Exp. Biol.* 88, s. 109 - 131.

McDonald, D. G., Reader, J. P. ja Dalziel, T. R. K. 1989. The combined effects of pH and trace metals on fish ionoregulation. Teoksessa: Morris, R., Taylor, E. W., Brown, D. J. A. ja Brown, J. A. (toim.), *Acid toxicity and aquatic animals*. Cambridge University Press, Cambridge. s. 221 - 242.

McFadden, J. T., Cooper, E. L. ja Andersen, J. K. 1965. Some effects of environment on egg production in brown trout (*Salmo trutta* L.). *Limnol. Oceanogr.* 10, s. 88 - 95.

McFarlane, G. A. ja Franzin, W. G. 1978. Elevated heavy metals. a stress on a population of white suckers, *Catostomus commersoni*, in Hamell Lake, Saskatchewan. *J. Fish. Res. Board Can.* 35, s. 963 - 970.

McLeay, D. J., Ennis, G. L., Birtwell, I. K. ja Hartman, G. F. 1984. Effects on Arctic grayling (*Thymallus arcticus*) of prolonged exposure to Yukon placer mining sediments. A laboratory study. *Can. Techn. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1241.

Meisner, J. D., Goodier, J. L., Regier, H. A., Shuter, B. J. ja Christie, W. J. 1987. An assessment of the effects of climate warming on Great Lakes basin fishes. *J. Great Lakes Res.* 13 (3), s. 340 - 352.

Meisner, J. D. 1990a. Potential loss of thermal habitat for brook trout, due to climatic warming, in two southern Ontario streams. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119, s. 282 - 291.

Meisner, J. D. 1990b. Effect of climatic warming on the southern margins of the native range of brook trout, *Salvelinus fontinalis*. *Can. J. Fish. Sci.* 47, s. 1065 - 1070.

Melillo, J. M., Callaghan, T. V., Woodward, F. I., Salati, E. ja Sinha, S. K. 1990. Effects on ecosystems. Teoksessa: Houghton, J. T., Jenkins, G. J. ja Ephraums, J. J. (toim.),

- Climate Change. The IPCC Scientific assessment. Cambridge. Cambridge University Press. s. 283 - 310.
- Menendez, R. 1976. Chronic effects of reduced pH on brook trout (*Salvelinus fontinalis*). J. Fish. Res. Board Can. 33 (1), s. 118 - 123.
- Mills, C. A. 1991. Reproduction and life history. Teoksessa: Winfield, I. J. ja Nelson, J. S. (toim.), Cyprinid Fishes. Chapman ja Hall. 483 - 508 s.
- Mitchell, J. F. B., Manabe, S., Tokioka T. ja Meleshko, V. 1990. Equilibrium climate change. Teoksessa: Houghton, J. T., Jenkins, G. J. ja Ephraums, J. J. (toim.), Climate Change. The IPCC Scientific assessment. Cambridge. Cambridge University Press. s. 131 - 172.
- Moring, J. R. 1982. Decrease in stream gravel permeability after clear-cut logging. an indication of intragravel conditions for developing salmonid eggs and alevins. Hydrobiologia 88, s. 295 - 298.
- Morrison, J. K. ja Smith, C. E. 1986. Altering the spawning cycle of rainbow trout by manipulating water temperature. Prog. Fish- Cult. 48, s. 52 - 54.
- Moser, M. 1990. Biological tags for stock separation in pacific herring (*Clupea harengus pallasii* Valenciennes) and the possible effect of "El Niño" currents on parasitism. Teoksessa: Proc. Int. Herring Symposium. Oct. 1990, Anchorage, Alaska. s. 245 - 254.
- Mounib, M. S., Rosenthal, H. ja Eisan, J. S. 1975. Some effects of cadmium on the metabolism of developing eggs of Pacific herring. Fisheries Improvement Committee/ C.M. E:20. 6 s.
- Mount, D. I. 1966. The effect of total hardness and pH on acute toxicity of zinc to fish. Air Water Pollut. Int. J. 10, s. 49 - 56.
- Mount, D. I. 1968. Chronic toxicity of copper to fathead minnows (*Pimephales promelas*). Water Res. 2, s. 215 - 223.
- Mount, D. I. ja Stephan C. E. 1969. Chronic toxicity of copper to the fathead minnow (*Pimephales promelas*) in soft water. J. Fish Res. Board Can. 26, s. 2449 - 2457.
- Murray, R. W. 1971. Temperature receptors. Teoksessa: Hoar, W. S. ja Randall, D. J. (toim.), Fish physiology. Vol. 5. Acad. Press, New York and London. s. 121 - 133.
- Murray, C. B. ja Beacham, T. D. 1986. Effect of varying temperature regimes on the development of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) eggs and alevins. Can. J. Zool. 64, s. 670 - 676.
- Murray, C. B., Beacham, T. D. ja McPhail, J. D. 1990. Influence of parental stock and incubation temperature on

the early development of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in British Columbia. Can. J. Zool. 68, s. 347 - 358.

Murty, A. S. 1986a. Toxicity of pesticides to fish. Vol I. CRC Press, Inc. 178 s.

Murty, A. S. 1986b. Toxicity of pesticides to fish. Vol II. CRC Press, Inc. 143 s.

Mäkinen, T. ja Koskela, J. 1988. Temperature tolerance of newly hatched whitefish (*Coregonus muksun pallas*). Finn. Fish. Res. 9, s. 329 - 332.

Naarminen, M. 1985. Lohi- ja taimenmerkintöjen yhteydessä tapahtuvasta kalojen käsittelystä, kuljetuksesta ja istutuksesta. Opinnäyte kalatalousteknikon tutkintoa varten. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki. Moniste Huja julkaisuja 42, s. 29 - 62.

Naesje, T. F. ja Jonsson, B. 1988. Impacted stress. A causal agent of reduced whitefish (*Coregonus lavaretus*) egg incubation time. Can. J. Fish Aquat. Sci. 45, s. 27 - 31.

Naevdal, G. 1983. Genetic factors in connection with age at maturation. Aquaculture 33, s. 97 - 106.

Nakagawa, H. ja Ishio, S. 1988. Toxicity of cadmium and its accumulation on the egg and larva of medaka *Oryzias latipes*. Nippon Suisan Gakkaishi 54 (12), s. 2153 - 2158.

Neuman, E. 1979. Activity of perch, *Perca fluviatilis* L., and roach, *Rutilus rutilus* (L.) in a Baltic bay, with special reference to temperature. Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm 58, s. 107 - 125.

Neuman, E. 1983. Thermal discharge and fish fauna in Sweden. Wat. Sci. Tech. 15, s. 67 - 87.

Nilsson, N.-A. 1963. Interaction between trout and char in Scandinavia. Trans. Am. Fish. Soc. 92 (3), s. 276 - 285.

Niemi, Å. 1977. Hydrography and oxygen fluctuations in Pojoviken, southern coast of Finland, 1972 - 1975. Meri 4, s. 23 - 35.

Nikinmaa, M., Salama, A. ja Tuurala, H. 1990. Respiratory effects of environmental acidification in perch (*Perca fluviatilis*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. ja Kenttämies, K. (toim.), Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. s. 929 - 940.

Nikolsky, G. V. 1978. The ecology of fishes. T. F. H Publications Inc. Ltd. Hong Kong. 352 s.

Nikunen, E. ja Soivio, A. 1984. Happamoitumisen vaikutukset kaloihin. Kirjallisuuskatsaus. Suomen Voimalaitosyhdistys Ry. Helsinki 33 s.

- Nyman, L. 1975a. Behaviour of fish influenced by hotwater effluents as observed by ultrasonic tracking. Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm 54, s. 63 - 74.
- Nyman, L. 1975b. Allelic selection in a fish (*Gymnocephalus gernua* (L.)) subjected to hotwater effluents. Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm 54, s. 75 - 82.
- O'Brien, R. N., Visaisouk, S., Raine, R. ja Alderdice, D. F. 1978. Natural convection. a mechanism for transporting oxygen to incubating salmon eggs. J. Fish. Res. Board Can. 35, s. 1316 - 1321.
- Oeschger, H. ja Dütsch, H. U. 1989. Ozone and the greenhouse effect. Nature 339, s. 19.
- Ohldag, S., Schnack, D. ja Waller, U. 1991. Development of Baltic cod eggs at reduced oxygen concentration levels. Copenhagen, ICES Hydrography Committee, Marine Environmental Quality Committee. C.M. 1991/J:39. 11 p. (Mimeogr.).
- Olin, T., Westman, A. ja von der Decken, A., 1989. Time- and temperature-dependent appearance of vitellogenin in golgi vesicles and serum after estrogen treatment of salmon (*Salmo salar*). J. exp. Zool. 249, s. 213 - 220.
- Olsson, T. I. ja Persson, B.-G. 1986. Effects of gravel size and peat material concentrations on embryo survival and alevin emergence of brown trout, *Salmo trutta* L. Hydrobiologia 135, s. 9 - 14.
- Oppen-Berntsen, D. O., Bogsnes, A. ja Walther, B. Th. 1990. The effects of hypoxia, alkalinity and neurochemicals on hatching of Atlantic salmon (*Salmo salar*) eggs. Aquaculture 86, s. 417 - 430.
- Ostergaard, D. E. 1987. Effects of water temperature on survival of eggs and fry of lake trout. Prog. Fish-Cult. 49, s. 115 - 116.
- Oulasvirta, P. 1988. Spawning of autumn-spawning Baltic herring (*Clupea harengus* L.) in the Bothnian Sea. Finnish Fish. Res. 7, s. 31 - 37.
- Oulasvirta, P. ja Lehtonen, H. 1988. Effects of sand extraction on herring spawning and fishing in the Gulf of Finland. Marine Poll. Bull. 19 (8), s. 383 - 386.
- Oulasvirta, P., Rissanen, J. ja Parmanne, R. 1985. Spawning of Baltic herring (*Clupea harengus* L.) in the western part of the Gulf of Finland. Finnish Fish. Res. 5, s. 41 - 54.
- Paasivirta, J. 1984. Suomessa käytettyjen torjunta-aineiden ympäristöriskit ja myrkkypäpuhtaudet. - Maa- ja metsätaloudessa käytettävät torjunta-aineet ja niiden vesistövaikutukset. Yhteistyöseminaari. Vesihallinnon tieteellinen neuvottelukunta. Helsinki 16.11. 1984. 11 s.

Parmanne, R. 1991. Is it possible to predict the recruitment of herring in the Bothnian sea? ICES C.M. 1991/J:32. (Mimeogr.).

Pavlov, D. A. 1984. Effects of temperature during early ontogeny of Atlantic salmon, *Salmo salar*. 1. Variability of morphological characters and duration of development of Atlantic salmon under different temperatures. Voprosy Ikhtiologii (5), s. 794 - 802.

Pavlov, D. A. 1985. Effects of temperature during early ontogeny of the Atlantic salmon, *Salmo salar*. 2. Growth of the embryo and consumption of yolk during development at various temperatures. Voprosy Ikhtiologii (1), s. 116 - 126.

Pesonen, L. 1988. Tarkkailualue, -menetelmät, puhdistamoiden purkualueet ja sääolot. Teoksessa: Pesonen, L. (toim.), Helsingin ja Espoon edustan merialueen velvoitetarkkailu vuosina 1970 - 1986. Helsinki. s. 25 - 38.

Petersen, G. H. ja Curtis, M. A. 1980. Differences in energy flow through major components of subarctic, temperate and tropical marine shelf systems. Dana 1, s. 53 - 64.

Peterson, R. H., Daye, P. G., Lacroix, G. L. ja Garside, E. T. 1982. Reproduction in fish experiencing acid and metal stress. Teoksessa: Johnson, R. E. (toim.), Acid rain/fisheries. Proceedings of an International Symposium on Acidic Precipitation and Fishery Impacts in Northeastern North America. American Fisheries Society. s. 177 - 196.

Peterson, R. H., Daye, P. G. ja Metcalfe, J. L. 1980. Inhibition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) hatching at low pH. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37, s. 770 - 774.

Peterson, R. H. ja Martin-Robichaud, D. J. 1982. Water uptake by Atlantic salmon ova as affected by low pH. Trans. Am. Fish. Soc. 111, s. 772 - 774.

Peterson, R. H., Spinney, H. C. E. ja Sreedharan, A. 1977. Development of Atlantic salmon (*Salmo salar*) eggs and alevins under varied temperature regimes. J. Fish Res. Bd Can. 34, s. 31 - 43.

Pielke, R. A. 1991. Overlooked scientific issues in assessing hypothesized greenhouse gas warming. Env. Software 6 (2), s. 100 - 107.

Pommeranz, T. 1974. Resistance of plaice eggs to mechanical stress and light. Teoksessa: Blaxter, J. H. S. (toim.), The early life history of fish. Springer - Verlag, New York. s. 397 - 416.

Rahkonen, R. ja Westman, K. 1990. Tarttuvat kalataudit. Tilanne Suomessa, tautien leviäminen ja torjunta. RKTL, kalantutkimusosasto. Kalatutkimuksia 11, 88 s.

Randall, C. F., Bromage, N. R. ja Symes, J. 1991. Short periods of continuous light can advance and delay spawning

in the rainbow trout. 4th International symposium on reproductive physiology of fish. University of East Anglia, Norwich, U.K. 7. - 12. kesäkuuta 1991.

Rask, M. 1983. The effect of low pH on perch, *Perca fluviatilis* L. III. The effects of low pH on the development of eggs of perch. Ann. Zool. Fennici 20, s. 73 - 76.

Rask, M. ja Tuunainen, P. 1990. Acid - induced changes in fish populations of small Finnish lakes. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. ja Kenttämies, K. (toim.), Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. s. 911 - 927.

Rask, M., Vuorinen, P. J. ja Vuorinen, M. 1990. Delayed spawning of perch, *Perca fluviatilis* L., in acidified lakes. J. Fish Biol. 36, s. 317 - 325.

Regier, H. A. ja Meisner, J. D. 1990. Anticipated effects of climate change on freshwater fishes and their habitat. Fisheries 15 (6), s. 10 - 15.

Rekolainen, S. 1988. Torjunta - aineiden myrkyllisyys vesieliöille. Vesihallituksen monistesarja 435. 40 s.

Rekolainen, S., Erkomaa, K., Korhonen, K. ja Huovinen, J. 1988. Eräiden maataloudessa yleisesti käytettyjen torjunta - aineiden esiintyminen vesistöissä ja huuhtoutuminen maatalousalueilta. Vesitalous (6), s. 11 - 17.

Resetnikov, Ju. S. 1988. Coregonid fishes in recent conditions. Finnish Fish. Res. 9, s. 11 - 16.

Rice, J. A., Breck, J. E., Bartell, S. M. ja Kitchell, J. F. 1983. Evaluating the constraints of temperature, activity and consumption on growth of largemouth bass. Env. Biol. Fish. 9, s. 263 - 275.

Roberts, R. J. ja Shepherd, C. J. 1974. Handbook of trout and salmon diseases. University of Stirling. Lontoo.

Rombough, P. J. 1988. Respiratory gas exchange, aerobic metabolism, and effects of hypoxia during early life. Teoksessa: Hoar, W. S. ja Randall, D. J. (toim.), Fish physiology 11, Part A. Academic Press, London. s. 59 - 161.

Rombough, P. J. ja Jensen, J. O. T. 1985. Reduced water uptake and resistance to deformation in acid - exposed eggs of steelhead *Salmo gairdneri*. Trans. Am. Fish. Soc. 114, s. 571 - 576.

Rose, G. A. ja Leggett, W. C. 1989. Interactive effects of geophysically - forced sea temperatures and prey abundance on mesoscale coastal distributions of a marine predator, atlantic cod (*Gadus morhua*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46, s. 1904 - 1913.

Rowe, D. K. ja Thorpe, J. E. 1990. Suppression of maturation in male Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) by reduction

- in feeding and growth during spring months. *Aquaculture* 86, s. 291 - 313.
- Rowe, D. K., Thorpe, J. E. ja Shanks, A. M. 1991. Role of fat stores in the maturation of male Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, s. 405 - 413.
- Ruohonen, K. 1990. Paljonko vettä, paljonko happea kirjolohelle. *Suomen kalankasvattaja* 19, s. 22 - 24.
- Ruuhijärvi, J. 1988. Ravinnon ja lämpötilan vaikutus kuhanpoikasen eloonjäämiseen ja kasvuun luonnonravintolammikossa. Helsingin yliopisto. Pro gradu. Käsikirjoitus. 77 s.
- Sandström, O. ja Svensson, B. 1991. Kylvattnets biologiska effekter. *Forskningen i Biotestsjön, Forsmark, 1984 - 1988.* 55 s.
- Sarjamo, H. ja Honkasalo, L. 1987. Kirakkajoen vesistön säännöstelyn vaikutukset Rahajärven, Hammasjärven ja Ukonjärven kalakantoihin sekä kalakantojen hoitosuunnitelma. RKTL, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 66, 70 s.
- Saunders, L. ja Henderson, E. B. 1988. Effects of constant day length on sexual maturation and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, s. 60 - 64.
- Saunders, R. L., Henderson, E. B. ja Glebe, B. D. 1982. Precocious sexual maturation and smoltification in male Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 28, s. 211 - 229.
- Saunders, R. L., Henderson, E. B., Glebe, B. D. ja Loudenslager, E. J. 1983. Evidence of a major environmental component in determination of the grilse. Larger salmon ratio in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 33, s. 107 - 118.
- Saunders, R. L. ja Henderson, E. B. 1970. Influence of photoperiod on smolt development and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Fish. Res. Bd Can.* 27, s. 1295 - 1311.
- Saunders, R. L. ja Harmon, P. R. 1990. Influence of photoperiod on growth of juvenile Atlantic salmon and development of salinity tolerance during winter - spring. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119, s. 689 - 697.
- Saunders, R. L., Henderson, E. B. ja Harmon, P. R. 1985. Effects of photoperiod on juvenile growth and smolting of Atlantic salmon and subsequent survival and growth in sea cages. *Aquaculture* 45, s. 55 - 66.
- Saunders, R. L., Specker, J. L. ja Komourdjian, M. P. 1989. Effects of photoperiod on growth and smolting in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 82, s. 103 - 117.

Schaeperclaus, W. 1954. Fischkrankheiten. Akademie Verlag, Berlin. s. 563 - 564.

Schertzer, W. M. ja Sawchuk, A. M. 1990. Thermal structure of the lower great lakes in a warm year. Implications for the occurrence of hypolimnion anoxia. Trans. Am. Fish. Soc. 119, s. 195 - 209.

Schindler, D. W., Beaty, K. G., Fee, E. J., Cruikshank, D. R., DeBruyn, E. R., Findlay, D. L., Linsey, G. A., Shearer, J. A., Stainton, M. P. ja Turner, M. A. 1990. Effects of climatic warming on lakes of the central boreal forest. Science 250, s. 967 - 970.

Scott, D. P. 1962. Effect of food quantity on fecundity of rainbow trout *Salmo gairdneri*. J. Fish. Res. Bd Can. 19, s. 715 - 731.

Shepherd, C. J. ja Bromage, N. R. 1988. Intensive fish farming. BSP Professional Books, Billing ja Sons Ltd, Worcester. 404 s.

Sheridan, W. L. 1962. Relation of stream temperatures to timing of pink salmon escapements in southeast Alaska. Teoksessa: Wilimovsky, N. J. (toim.), Symposium of pink salmon. H. R. MacMillan lectures of fisheries, Institute of Fisheries, University of Brititish Columbia, Vancouver. Lainattu Beacham ja Murray (1986).

Sherk, J. A., O'Connor, J. M. ja Neumann, D. A. 1975. Effects of suspended and deposited sediments on estuarine environments. Teoksessa: Cronin, L. E. (toim.), Estuarine research, volume 2. New York. s. 541 - 588.

Shiraidhi, Y. ja Fukuda, Y. 1966. The relation between the daylength and maturation in four species of salmonid fish. Bull. Freshwater. Fish. Res. Lab. Tokyo. 16, s. 103 - 111.

Shumway, D. L., Warren, C. E. ja Doudoroff, P. 1964. Influence of oxygen concentration and water movement on the growth of steelhead trout and coho salmon embryos. Trans. Amer. Fish. Soc. 93 (4), s. 342 - 356.

Shuter, B. J. ja Post, J. R. 1990. Climate, population viability, and the zoogeography of temperate fishes. Trans. Am. Fish. Soc. 119, s. 314 - 336.

Sibley, T. H. ja Strickland, R. M. 1985. Fisheries. Some relationships to climate change and marine environmental factors. Teoksessa: White, M. R. (toim.), Characterization of information requirements for studies of CO₂ effects. Water resources, Agriculture, Fisheries, Forests and human health. United states department of energy, carbon dioxide research division, Washington, D. C., s. 95 - 143.

Siefert, R. E., Carlson, A. R. ja Herman, L. J. 1974. Effects of reduced oxygen concentrations on the early life stages of mountain whitefish, smallmouth bass, and white bass. Prog. Fish - Cult. 36, s. 186 - 190.

- Sigler, J. W., Bjornn, T. C. ja Everest, F. H. 1984. Effects of chronic turbidity on density and growth of steelheads and coho salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 113, s. 141 - 150.
- Silver, S. J., Warren, C. E. ja Doudoroff, P. 1963. Dissolved oxygen requirements of developing steelhead trout and chinook salmon embryos at different water velocities. *Trans. Am. Fish. Soc.* 92, s. 327 - 343.
- Simeonidis, A. 1989. The impact of precipitation variability on the quality of running waters. Teoksessa: Conference on Climate and Water, Helsinki, Finland 11 - 15 September 1989. Suomen Akatemian julkaisu 9/89. Vol. 2. 28 - 36 s.
- Sinclair, M. 1988. Marine populations. An essay on population regulation and speciation. University of Washington Press, Seattle and London. 252 s.
- Sjöblom, V. 1978. The effect of climatic variations on fishing and fish populations. *Fennia* 150, s. 33 - 37.
- Skarphedinsson, O., Bye, V. J. ja Scott, A. P. 1985. The influence of photoperiod on sexual development in underyearling rainbow trout, *Salmo gairdneri*, Richardson. *J. Fish Biol.* 27, s. 319 - 326.
- Skogheim, O. K. ja Rosseland, B. O. 1984. A comparative study on salmonid fish species in acid aluminium - rich water. I. Mortality of eggs and alevins. Nat. Swedish Board Fish. Drottningholm (Report) No 61. Sweden. s. 177 - 185.
- Smith, E. J. ja Sykora, J. L. 1976. Early developmental effects of lime - neutralized iron hydroxide suspensions on brook trout and coho salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2, s. 308 - 312.
- Smith, E. J., Sykora, J. L. ja Shapiro, M. A. 1973. Effect of lime neutralized iron hydroxide suspensions on survival, growth, and reproduction of the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *J. Fish. Res. Board Can.* 30, s. 1147 - 1153.
- Soin, S. G. ja Novikov, G. G. 1986. Über den Einfluß der Temperatur auf die Embryonalentwicklung bei Fischen. *Z. Binnenfisch. DDR*, 3, s. 95 - 99.
- Soivio, A., Virtanen, E. ja Muona, M. 1988. Desmoltification of heat - accelerated Baltic salmon (*Salmo salar*) in brackish water. *Aquaculture* 71, s. 89 - 97.
- Sordyl, H. 1984. Konzentrations - und zeitabhängige Untersuchungen zur Wirkung der Umweltfaktoren pH, NH₃ und Pb²⁺ auf das Blut von Regenbogenforellen (*Salmo gairdneri* Rich.). Diss. A, WPU Rostock.
- Sølsnæs, E., Taranger, G. L., Stefansson, S. O., Berg, A. ja Hansen, T. 1991. Growth and sexual maturation on Atlantic salmon under two temperature regimes in floating enclosures. 4th International symposium on reproductive physiology of

fish. University of East Anglia, Norwich, U.K. 7. - 12.6. 1991.

Sømme, S. 1954. Undersøkelser over lakens og sjøørretens gyting i Eira. Jeger fisk. 6, s. 7 - 10.

Steinnes, E. 1990. Lead, cadmium and other metals in Scandinavian surface waters, with emphasis on acidification and atmospheric deposition. Environm. Toxicol. Chem. 9, s. 825 - 831.

Stewart, M. W., Saunders, R. L. ja Wiggs, A. J. 1990. The effects of extended daylength on autumn growth dynamics of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47, s. 755 - 759.

Stewart, N. E., Shumway, D. L. ja Doudoroff, P. 1967. Influence of oxygen concentration on the growth of juvenile largemouth bass. J. Fish. Res. Board Can. 24, s. 475 - 494.

Stevenson, J. P. 1980. Trout farming manual. Fishing News Books Limited. Farnham, Surrey, England. 186 s.

St - Pierre, M. ja Moreau, G. 1987. Résistance et viabilité des gamètes d'Ombles de fontaine, *Salvelinus fontinalis*, à différents pH. Hydrobiol. 153, s. 139 - 148.

Strickland, R. M., Grosse, D. J., Stubin, A. I., Ostrander, G. K. ja Sibley, T. H. 1985. Definition and characterization of data needs to describe the potential effects of increased atmospheric CO₂ on marine fisheries from the Northeast Pacific Ocean. U.S. Dept. Energy, DOE/NBB - 0075. 139 s.

Sumari, O., Virtanen, H. ja Soivio, A. 1979. Formaliini-, suola-, malakiittivihreä- ja kaliumpermanganaattihoiton vaikutuksesta taimenen (*Salmo trutta*, L.) kasvuun ja kuntoon. Suomen kalatalous 49, s. 1 - 8.

Sumpter, J. P., Scott, A. P., Baynes, S. M. ja Witthames, P. R. 1984. Early stages of the reproductive cycle in virgin female rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). Aquaculture 43, s. 235 - 242.

Sundararaj, B. S. ja Vasal, S. 1976. Photoperoid and temperature control in the regulation of reproduction in female catfish, *Heteropneustes fossilis*. J. Fish. Res. Bd Can. 33, s. 959 - 973.

Svärdson, G. ja Molin, G. 1981. The impact of eutrophication and climate on a warmwater fish community. Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm (59), s. 142 - 151.

Sykora, J. L., Smith, E. J. ja Synak, M. 1972. Effect of lime neutralized iron hydroxide suspensions on juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*, Mitchill). Water Res. 6, s. 935 - 950.

Sykora, J. L., Smith, E. J., Synak, M. ja Shapiro, M. A. 1975. Some observations on spawning of brook trout

(*Salvelinus fontinalis*, Mitchill) in lime neutralized iron hydroxide suspensions. Water Res. 9, s. 451 - 458.

Tam, W. H. ja Payson, P. D. 1986. Effects of chronic exposure to sublethal pH on growth, egg production, and ovulation in brook trout, *Salvelinus fontinalis*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43, s. 275 - 280.

Taranger, G. L., Haux, B. T., Walther, S. O., Stefansson, S. O., Björnsson, B. Th. ja Hansen, T. 1991. Photoperiodic control of growth, incidence of sexual maturation and ovulation in adult Atlantic salmon. 4th International symposium on reproductive physiology of fish. University of East Anglia, Norwich, U.K. 7. - 12. kesäkuuta 1991.

Thorpe, J. E. 1986. Age at first maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*. Freshwater period influence and conflicts with smolting. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 87, s. 7 - 14.

Thorpe, J. E., Talbot, C., Miles, M. S. ja Keay, D. S. 1990. Control of maturation in cultured Atlantic salmon, *Salmo salar*, in pumped seawater tanks, by restricting food intake. Aquaculture 86, s. 315 - 326.

Thorpe, J. E., Morgan, R. I. G., Talbot, C. ja Miles, M. S. 1983. Inheritance of developmental rates in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. Aquaculture 33, s. 119 - 128.

Timoshina, L. A. 1972. Embryonic development of the rainbow trout, *Salmo irideus* Gibb., at different temperatures. Vopr. Ikhtiol. 12 (3), s. 471 - 478.

Treasurer, J. 1983. Estimates of egg and viable embryo production in a lacustrine perch, *Perca fluviatilis*. Env. Biol. Fish. 8 (1), s. 3 - 16.

Trippel, E. A., Eckmann, R. ja Hartmann, J. 1991. Potential effects of global warming on whitefish in Lake Constance, Germany. Ambio 20 (6), s. 226 - 231.

Trojnar, J. 1977. Egg hatchability and tolerance of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) fry at low pH. J. Fish. Res. Board Can. 34, s. 574 - 579.

Tuunainen, P., Vuorinen, P. J., Rask, M., Järvenpää, T. ja Vuorinen, M. 1986. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin. Raportti vuodelta 1985. English summary. Effects of acidic deposition on fish. Report 1985. Riista - ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 50. s. 1 - 39.

Tuunainen, P., Vuorinen, P. J., Rask, M., Järvenpää, T. ja Vuorinen, M. 1987. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin. Raportti vuodelta 1986. English summary. Effects of acidic deposition on fish. Report 1986. Riista - ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 67. 72 s.

Tuunainen, P., Vuorinen, P. J., Rask, M., Järvenpää, T., Vuorinen, M. ja Niemelä, E. 1988. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin. Raportti vuodelta 1987. English summary. Effects of acidic deposition on fish. Report 1987. Riista - ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 84. 103 s.

Tuunainen, P., Vuorinen, P. J., Rask, M., Järvenpää, T., Vuorinen, M. ja Niemelä, E. 1989. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin ja rapuihin. Raportti vuodelta 1988. English summary. Effects of acidic deposition on fish and crayfish. Report 1988. Riista - ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 93. 86 s.

Tuunainen, P., Vuorinen, P. J., Rask, M., Järvenpää, T., Vuorinen, M. ja Niemelä, E. 1990. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin ja rapuihin. Raportti vuodelta 1989. Sammandrag. Effekterna av surt nedfall på fisk ock kräftor. Rapport för år 1989. English summary. Effects of acidic deposition on fish and crayfish. Report 1989. Riista - ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia - Fiskundersökningar 8. 97 s.

Tuunainen, P., Vuorinen, P.J., Rask, M., Järvenpää, T., Vuorinen, M., Niemelä, E., Lappalainen, A., Peuranen, S. ja Raitaniemi, J. 1991. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin ja rapuihin. Loppuraportti. Abstrakt. Effekterna av surt nedfall på fisk ock kräftor. Slutrapport. Abstract. Effects of acidic deposition on fish and crayfish. Final report. Suomen Kalatalous 57. s. 1 - 44.

Tyler, C., Sumpter, J. ja Bromage, N. 1987. Uptake of vitellogenin into cultured ovarian follicles of rainbow trout. Teoksessa: Idler, D. R., Crim, L. W. ja Walsh, J. M. (toim.), Proceedings of the third international symposium on reproductive physiology of fish. St. John's, Newfoundland, Canada 2 - 7.8.1987. Marine science research laboratory. Memorial University of Newfoundland. Canada.

Urho, L. ja Hildén, M. 1990. Distribution patterns of Baltic herring larvae, *Clupea harengus* L., in the coastal waters off Helsinki, Finland. J. Plankton Res. 12 (1), s. 41 - 54.

Urho, L., Hildén, M. ja Hudd, R. 1990. Fish reproduction and the impact of acidification in the Kyrönjoki River estuary in the Baltic Sea. Env. Biol. Fish. 27, s. 273 - 283.

Urho, L., Hudd, R. ja Hildén, M. 1984. Kalojen siittiöiden liikkumisaika pH:n funktiona. Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica 60, s. 41 - 42.

Urho, L., Laurila, S. ja Hildén, M. 1989. Hauen ensimmäinen kesä. Luonnon Tutkija 93, s. 130 - 135.

Uzars, D., Plikshs, M., Grauman, G., Kalejs, T. ja Baranova, T. 1991. Cod distribution and spawning in the Gotland basin in the 1980 - ices. Copenhagen, ICES Baltic Fish Committee. C.M. 1991/J:5. 13 p. (Mimeogr.).

- Verta, M., Mannion, J., Iivonen, P., Hirvi, J.-P., Järvinen, O. ja Piepponen, S. 1990. Trace metals in Finnish headwater lakes - Effects of acidification and airborne load. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. ja Kenttämies, K. (toim.), Acidification in Finland. Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg. s. 883 - 908.
- Viljanen, M. 1988. Relations between egg and larval abundance, spawning stock and recruitment in vendace (*Coregonus albula* L.). Finnish Fish. Res. 9, 271 - 289.
- Vladykov, V. D. 1956. Fecundity in the speckled trout (*Salvelinus fontinalis*) in Quebec lakes. J. Fish. Res. Bd Can. 13, s. 799 - 841.
- Voipio, A. ja Mälkki, P. 1972. Variations of the vertical stability in the Northern Baltic. Merentutkimuslait. Julk. (237), s. 3 - 12.
- Volodin, V. M. 1966. Vliânie temperatury i pH na èmbrional'noe razvitie nalima (The effect of different temperatures and pH on the embryonal development of the burbot). Byull. Inst. Biol. Vodokhran. 7, s. 26 - 30. (Venäjäksi).
- Voytek, M. A. 1990. Addressing the biological effects of decreased ozone on the antarctic environment. Ambio 19 (2), s. 52 - 61.
- Vuorinen, P. J., Vuorinen, M. ja Nyholm, K. 1984. Vesistöihin joutuvien aineiden haitallisista vaikutuksista kaloihin ja vaikutusten tutkimusmenetelmistä. Riista - ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 23, s. 35 - 188.
- Vuorinen, P. J., Rask, M., Vuorinen, M. ja Raitaniemi, J. 1988. Espoon järvien happamoitumistutkimus 1987. vaikutukset kaloihin. Pohjois - Espoon järvien happamoituminen, tutkimusraportit vuonna 1987. Espoon ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 2/88. 23 s.
- Vuorinen, P. J. ja Vuorinen, M. 1991. Effects of long - term prespawning acid/aluminium exposure on whitefish (*Coregonus wartmanni*) reproduction and blood and plasma parameters. Finn. Fish. Res. 12, s. 125 - 133.
- Vuorinen, P. J., Vuorinen, M. ja Peuranen, S. 1990. Long - term exposure of adult whitefish (*Coregonus wartmanni*) to low pH/aluminium. Effects on reproduction, growth, blood composition and gills. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. ja Kenttämies, K. (toim.), Acidification in Finland. Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg. s. 941 - 961.
- Wallace, J. C. ja Heggberget, T. G. 1988. Incubation of eggs of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from different Norwegian streams at temperatures below 1 °C. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45, s. 193 - 196.

Wandsvik, A. ja Jobling, M. 1982. Observations on growth rates of Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) reared at low temperatures. *J. Fish. Biol.* 20, s. 689 - 699.

Warrick, R. ja Oerlemans, J. 1990. Sea level rise. Teoksessa: Houghton, J. T., Jenkins, G. J. ja Ephraums, J. J. (toim.), *Climate Change. The IPCC Scientific assessment.* Cambridge. Cambridge University Press. s. 257 - 282.

Weiner, G. S., Schreck, C. B. ja Li, H. W. 1986. Effects of low pH on reproduction of rainbow trout. *Trans. Am. Fish. Soc.* 115, s. 75 - 82.

Westin, L. ja Gydemo, R. 1986. Influence of light and temperature on reproduction and moulting frequency of the crayfish, *Astacus astacus* L. *Aquaculture* 52, s. 43 - 50.

White, W. J., Watt, W. D. ja Scott, C. D. 1984. An experiment on the feasibility of rehabilitating acidified Atlantic salmon habitat in Nova Scotia by addition of lime. *Fisheries* 9 (1), s. 25 - 30.

Whitworth, W. R. 1968. Effects of diurnal fluctuations of dissolved oxygen on the growth of brook trout. *J. Fish. Res. Board Can.* 25, s. 579 - 584.

Wieland, K. ja Zuzarte, F. 1991. Vertical distribution of cod and sprat eggs and larvae in the Bornholm Basin (Baltic Sea) 1987 - 1990. Copenhagen, ICES. C.M. 1991/J:37. 12 p. (Mimeogr.).

Wilkónska, H. 1988. The effect of heated - water discharge in the Konin Lakes (Poland) on their ichthyofauna. *Ekol. Pol.* 36, s. 145 - 163.

Wilkónska, H. ja Zuromska, H. 1988. Effect of environment on *Coregonus albula* (L.) spawners, and influence of their sexual products on the numbers and quality of offspring. *Finnish Fish. Res.* 9, s. 81 - 88.

Winkle, W. van, Kirk, B. L. ja Kirk, B. L. 1979. Periodicities in Atlantic coast striped bass (*Morone saxatilis*) commercial fisheries data. *J. Fish. Res. Board Can.* 36, s. 54 - 62.

Witters, H. E. 1986. Acute acid exposure of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. effects of aluminium and calcium on ion balance and haematology. *Aquat. Toxicol.* 8, s. 197 - 210.

Witters, H. E., van Puymbroeck, S., Vangenechten, J. H. D. ja Vanderborght, O. L. J. 1990. The effect of humic substances on the toxicity of aluminium to adult rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *J. Fish Biol.* 37, s. 43 - 53.

Witzel, L. D. ja McCrimmon, H. R. 1981. Role of gravel substrate on ova survival and alevin emergence of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Can. J. Zool.* 59, s. 629 - 636.

WMO 1990. Studies and models for evaluating the impact of climate variability and change on water resources within WMO - Regional Association VI (Europe). Technical Report of Rapporteurs. Annex I. Impacts of climatic change on the water cycle and on water resources management. Government printing Centre, Helsinki. s. 43 - 45.

Wobeser, G. 1975a. Acute toxicity of methyl mercury chloride and mercuric chloride for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fry and fingerlings. J. Fish. Res. Board Can. 32, s. 2005 - 2013.

Wobeser, G. 1975b. Prolonged oral administration of methyl mercury chloride to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fingerlings. J. Fish. Res. Board Can. 32, s. 2015 - 2023.

Wootton, R. J. 1985. Energetics of reproduction. Teoksessa: Tytler, P. ja Calow, P. (toim.), Fish energetics. Croom Helm. London. s. 231 - 254.

Wootton, R. J. 1991. Ecology of teleost fishes. Chapman & Hall. London 404 s.

Yamagami, K. 1988. Mechanisms of hatching in fish. Teoksessa: Hoar, W. S. ja Randall, D. J. (toim.), Fish Physiology, Vol. XI, osa A. Academic Press, New York, NY, s. 447 - 499.

Zanella, E. 1983. Effect of pH on acute toxicity of dehydroabiatic acid and chlorinated dehydroabiatic acid to fish and *Daphnia*. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 30, s. 133 - 140.



- No. 32. JUNTUNEN, K. ja MUJE, P.: Isokoiteloiden (*Mergus merganser*) saalistuksen vaikutus Inarin Juutanjoen taimenistutusten tulokellisuuteen (Predation by mergansers (*Mergus merganser*) on planted brown trout smolts in the River Juutanjoki). Helsinki 1991. 58 s.
- No. 33. SALMINIITYY, J.: Merialueen kalanviljely-yritysten taloudellisen kehityksen arviointi perinteisen tilinpäätösanalyysin avulla (Economic development of marine fish farms evaluated from analysis of accounts). Helsinki 1991. 70 s.
- No. 34. VALKEAJÄRVI, P., BAGGE, P., HAKKARI, L., JANHONEN, I. ja OLKIO, K.: Konneveden nuotta-apajat (Seining sites in Lake Konnevesi). Helsinki 1991. 28 s. + 22 karttaa.
- No. 35. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston ja kalanviljelyosaston toimintakertomus vuodelta 1989 (Report on the activities of the Fisheries Division and Aquaculture Division of the Finnish Game and Fisheries Research Institute in 1989). s. 1-70.
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston ja kalanviljelyosaston toimintakertomus vuodelta 1990 (Report on the activities of the Fisheries Division and Aquaculture Division of the Finnish Game and Fisheries Research Institute in 1990). s. 71-148. Helsinki 1991.
- No. 36. NYLANDER, E., AHVONEN, A. ja PRUUKI, V.: Kalastustilastoja Tornionjoen vesistöstä vuosilta 1987-1989 (Statistics on fishing in the Tornionjoki River basin in 1987-1989). s. 1-48.
KARTTUNEN, V., ROMAkkANIEMI, A. ja PRUUKI, V.: Kalastustilastoja Tornionjoen vesistöstä vuodelta 1990 (Statistics on fishing in the Tornionjoki River basin in 1990). s. 49-78.
AHVONEN, A.: Kalastuskirjanpidon käytökelpoisuus Tornion-Muonionjoen kalakantojen seuramassa (The value of fishermen's book-keeping data in monitoring fish stocks in the Rivers Tornionjoki and Muonionjoki). s. 79-113. Helsinki 1991.
- No. 37. MUTENIA, A. ja SALONEN, B.: Lokan ja Porttipahdan peled- ja vaellussiikakantojen tila vuosina 1982-1989 (The state of peled (*Coregonus peled* (Gmelin)) and migratory whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) in the Lokka and Porttipahta reservoirs, Northern Finland, in 1982-1989). 68 s. Helsinki 1991.
- No. 38. AHONEN, M., JÄÄSKÖ, O., HEINIMAA, P., PASANEN, P. ja SIMOLA, O.: Inarijärveen vuosina 1972-1985 tehtyjen harmaanierian Carlin-merkintöjen tulokset (Results of Carlin tagging experiments with lake trout (*Salvelinus namaycush* (Walbaum))) in Lake Inari in 1972-1985). 53 s. Helsinki 1991.
- No. 39. LEHTONEN, H.: Suomen ja Japanin välisen elintarvikealan tutkimusyhteistyön ja tutkijavaihdon kehittämisen arviointivaltuuskunnan matka Japaniin (Report of the visit of Finnish study group to Japan for evaluating targets for advancement of scientific collaboration and exchange of scientist in food research between Finland and Japan). s. 1-12.
TUUNAINEN, P., WESTMAN, K. ja PARMANNE, R.: Suomen ja Japanin kalatalouden tieteellisen ja teknisen yhteistyön kehittäminen (Possibilities to develop scientific cooperation in fisheries between Finland and Japan). s. 13-48.
RUOHONEN, K.: Japanin vesiviljelystä ja sen tutkimuksesta (Aquaculture and its research in Japan). s. 49-104.
SUURONEN, P.: Pyyntitekniikasta ja sen tutkimuksesta Japanissa (Fishing technology in Japan). s. 105-157. Helsinki 1991.
- No. 40. Rapu-Kräft-Symposium (Symposium on Crayfish). 23.-24.8.1990, Hämeenlinna. Wallin, I. ja Westman, K. (toim.). Helsinki 1991. 116 s.
- No. 41. HEIKINHEIMO-SCHMID, O., RAHKONEN, R., WESTMAN, K. and TUUNAINEN, P.: Country report of Finland for the intersessional period of the European Inland Fisheries Advisory Commission (EIFAC) 1990-1991. (Suomen kansallinen raportti Euroopan sisävesikalastuskomission (EIFAC) istuntojen väliseltä ajalta 1990-1991). 29 p. Helsinki 1992.
- No. 42. Valtion kalanviljelyn XI neuvottelupäivät. Kalastustien torjunta. Valtion kalanviljelylaitosten suunnittelun ja rakentamisen nykytila (State fish culture conference, No. XI. Prevention of fish diseases. The present situation in the planning and building of the state fish culture stations). 31.3.-1.4.1987, Polvijärvi. Lavikainen, R. ja Rahkonen, R. (toim.). 68 s. Helsinki 1992.
- No. 43. AHONEN, M.: Inarijärveen vuosina 1965-1986 tehtyjen nierian Carlin-merkintöjen tulokset (Results of Carlin tagging experiments with arctic char (*Salvelinus alpinus* (L.)) in Lake Inari in 1965-1986). 38 s. Helsinki 1992.
- No. 44. SETÄLÄ, J. ja KLEMOLA, O.: Siian kalastajahinnanmuodostus Merenkurkussa (Factors affecting the price formation in the whitefish fishery in the northern Quark, the Baltic Sea). s. 1-46.
SETÄLÄ, J. ja AHLFORS, A.: Siian fileoimnin kannattavuus (Profitability of filleting whitefish (*Coregonus lavaretus* s.l. L.)). s. 47-77. Helsinki 1992.
- No. 45. AHVONEN, A., JUTILA, E., JÄRVENPÄÄ, T., LAPPALAINEN, A., RASK, M. ja VUORINEN, P.: Metsätalouden vaikutukset kaloihin, rapuihin ja kalatalouteen. Kirjallisuusselvitys (Effects of forestry on fish, crayfish and fishery. A review of the literature). 69 s. Helsinki 1992.
- No. 46. LECKLIN, T.: Nukutusainoiden toissijaiset fysiologiset vaikutukset järvitaimenessa (The secondary physiological effects of some anesthetics on brown trout (*Salmo trutta* m. *lacustris* (L.))). 38 s. Helsinki 1992.
- No. 47. LEHTONEN, H., LAPPALAINEN, J., FORSMAN, L., SOIVIO, A., URHO, L., VUORINEN, P. J. ja TIGERSTEDT, C.: Ilmaston muutosten vaikutukset kaloihin, kalanviljelyyn, kalakantoihin ja kalastukseen. Kirjallisuusselvitys (The effects of climate change on fishes, aquaculture, fish stocks and fishing. A review of the literature). 119 s. Helsinki 1992.

RIISTA-JA KALATALOUDEN TUTKIMUSLAITOS

**KALATUTKIMUKSIA-
FISKUNDERSÖKNINGAR**



SISÄLTÖ – INNEHÅLL – CONTENTS

**LEHTONEN, H., LAPPALAINEN, J., FORSMAN, L., SOIVIO, A., URHO, L.,
VUORINEN, P. J. ja TIGERSTEDT, C.: Ilmaston muutosten vaikutukset kaloihin,
kalanviljelyyn, kalakantoihin ja kalastukseen. Kirjallisuusselvitys (The effects of climate
change on fishes, aquaculture, fish stocks and fishing. A review of the literature) (Samman-
drag: Litteraturutredning angående klimatförändringarnas effekter på fisk, fiskodling,
fiskbestånd och fiske). 119 s.**

**ISSN 0787-8478
Helsinki 1992
Yliopistopaino**