

*Pauliina Louhi
Aki Mäki-Petäys*

Elämää soraikon ulkopuolella ja sisällä –
lohen ja taimenen kutupaikan valinta sekä
mädin elinympäristövaatimukset

Helsinki 2003
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Vastaava toimittaja: Raimo Parmanne

Kansi: Kutevia lohia. Kuva Eero Niemelä

ISBN 951-776-419-7

ISSN 0787-8478

Edita Prima Oy

Helsinki 2003

Sisällys

1. JOHDANTO	1
2. ELINKIERTOKETJUN ENSIMMÄINEN JA VIIMEINEN LENKKI.....	2
2.1. Taimen kutee yleensä lohta aiemmin.....	2
2.2. Koiraat kilpailevat kutumahdollisuuksista.....	2
2.3. Naaraat valitsevat kutupesän paikan	3
2.4. Naaraan koko määrää kutupesän koon.....	4
3. LOHEN JA TAIMENEN KUTUPAIKAN VALINTA.....	5
3.1. Virrannopeus.....	5
3.2. Syvyys.....	6
3.3. Pohjan raekoko.....	6
4. KEHITYS MÄDISTÄ POIKASIKSI ON MONEN TEKIJÄN SUMMA	8
4.1. Veden lämpötila	8
4.2. Happi.....	9
4.3. Veden pH	10
4.4. Soraikon raekoko ja läpäisevyys.....	11
4.5. Tulvat, jää ja mekaaninen shokki voivat heikentää mädin säilyvyyttä.....	12
5. YHTEENVETO JA POHDINTA	13
5.1. Kutupaikan laatu vaikuttaa mädin kehitykseen ja elossa säilymiseen.....	13
5.2. Ihmistoiminnan aiheuttamia haittoja lohen ja taimenen lisääntymisalueisiin.....	14
5.3. Jokien uomakunnostuksilla ja vesiensuojelutoimilla lisätään ja parannetaan lohen ja taimenen kutualueita	14
5.4. Malleilla täsmäkunnostuksiin?.....	15
KIITOKSET	16
KIRJALLISUUS.....	17

1. Johdanto

Kalakantojen kestävä käyttö, hoito ja suojele edellyttävät kalojen elinkierron kokonaisvaltaista ymmärtämistä. Tämä koskee erityisesti lohta (*Salmo salar*) ja taimenkannoista (*Salmo trutta*) sellaisia, jotka syntyvät joessa, vaeltavat mereen tai järviin kasvamaan ja palaavat synnyinjokeensa lisääntymään. Ihmistoiminnan seurauksena monet jokiekosysteemit ovat muuttuneet voimakkaasti, mikä on usein johtanut lohi- ja taimenkantojen romahtamiseen (Calow ja Petts 1994). Vesivoimatuotantoon liittyvä jokien patoaminen on estänyt jokiin lisääntymään pyrkivien kalojen kutuvaelluksen, ja toisaalla jokien uomaperkaukset sekä oikaisut ovat vähentäneet lohikaloille sopivien kutualueiden määrää. Näiden lisäksi metsä- ja suo-ojituksista aiheutuva joenpohjien liettyminen on rajoittanut tai estänyt kokonaan lohen ja taimenen mätimunien kehittymisen monissa sellaisissakin paikoissa, missä lisääntymisedellytykset olisivat muutoin olleet olemassa (MacKenzie ja Moring 1988, Pauwels ja Haines 1994, Laine ym. 2001).

Ihmistoiminnan aiheuttamia kalataloudellisia haittoja on varsinkin aiemmin lievennetty erilaisilla tuki- tai kompensatioistutuksilla. Viime aikoina on kuitenkin yhä enenevässä määrin kiinnitetty huomiota myös kalojen elinympäristövaatimuksiin sekä virtavesien kunnostustarpeisiin kalakantojen hoitoa suunniteltaessa. Esimerkiksi poikasalueiden kunnostamisen yhteydessä on puhdistettu kutusoraikkoja tai tehty uusia koskien niska-alueille, joenmutkien sisäkaarteisiin sekä virtapaikkojen levennyksiin lohikalojen lisääntymisen onnistumiseksi (Yrjänä 1995, 1998, Huusko ym. 2002). Vaikka yleisesti ottaen kunnostuksien on todettu lisäävän virtavesien lohikaloille sopivaa elinaluetta (Yrjänä 1998), lohikalojen kutupaikkavaatimuksiin liittyvä sovellettava tutkimustieto on monilta osin vielä puutteellista.

Tässä selvityksessä kuvataan kirjallisuuteen perustuen lohen ja taimenen kutupaikan valintaa sekä kutusoraikoissa talvehtivien mätimunien elinympäristövaatimuksia. Jotta esitettävät tiedot hahmottuisivat paremmin lohen ja taimenen elinkierron kannalta, kuvataan aluksi yleisesti näiden lajien maantieteellistä levinneisyyttä, kututapahtumaa ja lisääntymisen ajoittumista. Työn tavoitteena on korostaa kutupaikkojen tärkeyttä lohikalojen luontaisessa elinkierrossa ja koota yhteen aihepiiristä sovellettavissa oleva julkaistu tieto jokielinympäristöjen kunnostuksien ja hoidon tarpeita varten.

2. Elinkiertoketjun ensimmäinen ja viimeinen lenkki

Lohi lisääntyy luontaisesti Pohjois-Atlantin molemmin puolin Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Lajin kotiuttaminen muualle on ollut melko tuloksetonta. Sen sijaan Euroopassa alkuperäisesti lisääntyvä taimen on onnistuttu kotiuttamaan useisiin maanosiin myös luontaisten esiintymisalueidensa ulkopuolelle. Lajin anadrominen muoto, meritaimen, lisääntyy lähinnä Pohjois-Atlantiin laskevissa joissa (Elliott 1989, Crisp 2000).

Lajien elinkierrot ovat hyvin samankaltaisia: kutu ajoittuu syksyyn, ja joen pohjalle lasketut hedelmötetyt mätimunat hautoutuvat soran huokosissa seuraavaan kevääseen. Poikaset kuoriutuvat mätimunista normaalisti jäiden lähdön aikaan, mutta pysyvät vielä soraikon sisässä, kunnes ovat käyttäneet ruskuaispussiravintonsa loppuun. Tämän jälkeen poikaset nousevat sorasta vapaaseen veteen valtaamaan omia elinalueitaan (Crisp 2000). Pääsääntöisesti poikaset oleilevat samoilla koskialueilla yhdestä kolmeen vuotta ennen lähtemistään syönnösvaellukselle mereen tai järviin. Pohjoisimman Euroopan jokisysteemeissä lohen jokipoikasvaihe voi kuitenkin kestää jopa 6 – 7 vuotta (Niemelä ym. 2000), ja niissä osa vanhemmista jokipoikasista vaeltaa pääuoman kutualueilta pienempiin sivujokiin kasvamaan (Erkinaro 1995). Merestä tai järvistä kalat palaavat yleensä 1 – 3 vuoden jälkeen synnyinjokiinsa kutemaan. Kudun jälkeen lohikalat palaavat mereen tai järveen, ja suurin osa kaloista kuolee seuraavan talven aikana. Vaikka kierto sinänsä vaikuttaa selväpiirteiseltä, lajien ja yksilöiden välillä esiintyy laajaa vaihtelua (Crisp 2000, Armstrong ym. 2003).

2.1. Taimen kutee yleensä lohta aiemmin

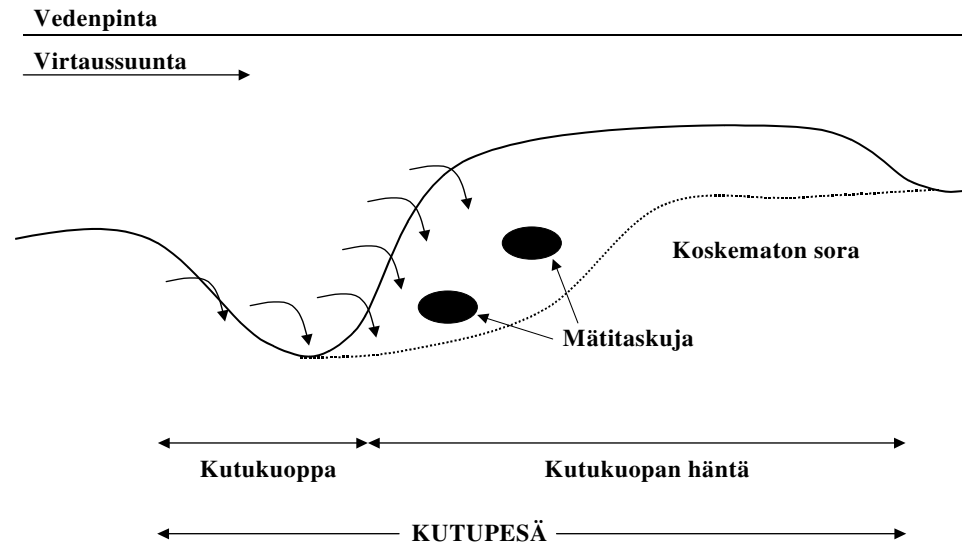
Lohen ja taimenen kudun ajankohta sekä kesto määräytyvät pääasiassa päivänpituuden ja lämpötilan mukaan, mutta eri jokien ja kalapopulaatioiden välillä esiintyy huomattavia eroja (Crisp 2000, Armstrong ym. 2003). Lajien kutuajankohdat menevät jonkin verran päällekkäin; taimen kutee yleensä syys-lokakuussa ja lohi lokamarraskuussa. Koko kutuaika kestää noin kuukauden, josta naaraiden aktiivisin vaihe ainoastaan 5 – 10 päivää (Heggberget 1988, Fleming 1996). Taimenen kutuaikana veden lämpötila on yleensä 2 – 6 °C (Jones 1959). Lohi kutee yleensä 1 – 5 °C lämpötilassa (Heggberget 1988). Kutemista tapahtuu vuorokauden kaikkina aikoina, mutta aktiivisinta sen on havaittu olevan yöllä (Fleming 1996).

2.2. Koiraat kilpailevat kutumahdollisuuksista

Syönnösvaellukselta jokiin palaavat koiraat etsivät kutualueilla jopa kuukauden ajan kutukypsiä naaraita, joista ne joutuvat kilpailemaan keskenään (Fleming 1996). Kutukypsät koiraat ovat tavallisesti väriltään tummia, niiden leuka on kasvanut koukkumaiseksi, ja ne puolustavat valtaamaansa kutualueita ajamalla heikompija koiraita pois lähetyviltä. Lohikoiraista pieni osa saavuttaa sukukypsyyden joessa ilman mereen suuntautuvaa syönnösvaellusta. Kamppailujen sijaan tällaiset kääpiökoiraat yrittävät hedelmöittää naaraan laskeman mädin ”livahtamalla” kutupesään ennen suurempia koiraita (esim. Fleming 1996, 1998).

2.3. Naaraat valitsevat kutupesän paikan

Lohen ja taimenen kututapahtuma on varsin samanlainen, ja yksityiskohtaisesti sitä ovat kuvanneet muun muassa Jones ja Ball (1954), Jones (1959), Chapman (1988), Fleming (1996) ja Crisp (2000). Ennen kutua kalat lepäävät huomattavan osan ajastaan suvannoissa lähellä kutualuetta. Naaraan kutukäyttäytymisen on todettu alkavan jo paljon ennen koiraiden saapumista paikalle (Crisp 2000). Chapmanin (1988) mukaan naaras etsii sopivan kutupesän paikan ja muokkaa sitä pyrstöllään. Pohjasta irtoavat isommat partikkelit muodostavat kuopalle hännän tai harjun sen alareunaan (kuva 1) samalla, kun hienojakoisempi aines kulkeutuu alavirtaan. Kutukuoppa ja sen häntä muodostavat yhdessä kutupesän, jonka pohjalle naaras jättää yleensä kahdesta neljään isompaa kiveä. Jos paikan virtausolosuhteet eivät tyydytä naaraa, tämä saattaa hylätä pesän tässä vaiheessa ja jättää jälkeensä tyhjän kutupesän (Hartman 1970, Chapman 1988, Crisp 1993, Fleming 1996).



Kuva 1. Lohen ja taimenen kutupesä (muokattu Crispin (2000) mukaan).

Kutuhetken lähestyessä koiraiden aktiivisuus lisääntyy, jolloin naaraiden suosiosta kilpailevat koiraat yrittävät tunkeutua kutupesään (Chapman 1988, Fleming 1996). Naaras laskee mädin kutukuopan pohjalle jättämiensä isompien kivien väliin, jossa se hedelmöittyy koiraan lähes samanaikaisesti laskemalla maidilla (Fleming 1996). Tämän jälkeen naaras siirtyy ylävirtaan kaivamaan seuraavaa mätitaskun paikkaa, jolloin aiemmin hedelmöitetty mäti peittyy sorataskun sisään (kuva 1). Tämä prosessi toistuu, kunnes kaikki mätimunat on laskettu. Kaiken kaikkiaan kututapahtuma kestää keskimäärin 24 tuntia vaihdellen neljästä tunnista yhdeksään vuorokautteen (Fleming 1996).

Mätimunat asettuvat vettä raskaampina tiiviiksi ryppääksi kutukuopan pohjakivien ympärille, jossa vähäinen ja päävirtaan nähden vastakkainen virtaus sekä isommat kivet suojaavat mätimunia (Mills 1989, Tähtinen 1997). Pesän rakenne mahdollistaa veden virtauksen mätitaskujen läpi tuoden happea kehittyville alkioille ja vie den pois haitallisia aineenvaihduntatuotteita. Mätimunat sijaitsevat soraikon sisällä keskimäärin 8 – 27 cm:n syvyydellä; yleensä sitä syvemmällä, mitä suuremman naaraan kutupesästä on kyse (Crisp ja Carling 1989, Crisp 1996, DeVries 1997).

Crispin (2000) mukaan keskimääräinen hautautumissyvyys, D (cm), voidaan laskea seuraavasti:

$$D = bL + a,$$

jossa L on naaraan pituus (cm), a on $2,4 \pm 7,53$ ja b on $0,262 \pm 0,098$ (95 %:n luottamusväli).

2.4. Naaraan koko määrää kutupesän koon

Yksittäisellä kutualueella saattaa sijaita useamman naaraan kutupesä (Fleming 1996, Crisp 2000), jolloin alueellisen naaraskannan kokoa ja vaihteluita, tulevia poikastiheyksiä sekä kalansaaliita on pyritty arvioimaan kutupesien lukumäärän perusteella (Heggberget ym. 1988, Beard ja Carline 1991, Takkunen 1997). Yleensä naaras tekee yhden kutupesän, jossa on yhdestä kolmeen mätitaskua (kuva 1) (Crisp 2000, ks. myös Tähtinen 1997). de Gaudemarin ym. (2000) mukaan lohien kutupesässä saattaa kuitenkin olla jopa 7 – 11 mätitaskua. Varmistaakseen kudun onnistumisen naaraat saattavat tehdä useampiakin kutupesä, mutta tällöin mätimunia on yleensä vähemmän viimeisimmissä pesissä (Fleming 1996, de Gaudemar ym. 2000).

Kutupesän kokoon vaikuttavat naaraan koko ja käyttäytyminen sekä kutupaikan laatu (Bjornn ja Reiser 1991, Fleming 1996, 1998, Crisp 1996, 2000). Crispin ja Carlingin (1989) ja Crispin (2000) mukaan *Salmo*-suvun kalojen kutupesän koko voidaan laskea seuraavasti:

$$\ln T = b \ln L + \ln a,$$

missä T kutukuopan hännän pituus (cm), L on naaraan pituus (cm). Yhtälössä b on $1,2 \pm 0,2$ ja $\ln a$ on $0,45 \pm 0,38$ (95 %:n luottamusväli). Kutupesän muut mitat voidaan laskea soveltamalla yhtälöä (taulukko 1).

Taulukko 1. Kutupesän mittojen laskeminen yhtälön $\ln y = b \ln T + \ln a$ avulla (y on laskettava mitta (cm), T on kutukuopan hännän pituus (cm) ja $\ln a$ ja b ovat vakioita) (Crisp ja Carling 1989, Crisp 2000).

y (cm)	$\ln a \pm 95\% \text{:n luottamusväli}$	$b \pm 95\% \text{:n luottamusväli}$
kuopan pituus	$0,46 \pm 0,66$	$0,80 \pm 0,13$
kuopan leveys	$0,35 \pm 0,71$	$0,80 \pm 0,14$
hännän leveys	$0,43 \pm 0,71$	$0,81 \pm 0,14$

Kutukuopan koolla voi olla merkitystä erityisesti sellaisissa tilanteissa, joissa kutupaikoilla tavataan useita naaraita: laskemalla yhteen tietyn kokoisten naaraiden kutupesien pinta-ala saadaan selville myös koko kutualueen vähimmäispinta-ala (Crisp 2000).

Moirin ym. (1998) mukaan lohien kutupesät ovat yleensä 2 – 3 m pitkiä, 1 – 1,5 m leveitä ja 0,2 – 0,3 m syviä. Saaren (1994) tutkimuksessa kutupesät olivat kuitenkin hieman suurempia; keskimääräiseksi pituudeksi mitattiin 3,1 m ja leveydeksi 2,1 m. Lohinaaraiden kutupesän pinta-alaksi de Gaudemar ym. (2000) ilmoittivat 2,3 – 5,7 m². Järvisalon ym. (1984) kartoituksissa taimenien kutupesien pinta-ala vaihteli 0,5 – 2,9 m²:n välillä. Vastaavasti Tähtinen (1997) ilmoitti kutupesien pinta-alojen vaihteluväliksi 2,5 – 6,3 m².

3. Lohen ja taimenen kutupaikan valinta

Soraan haudattu mäti ja siitä kuoriutuvat poikaset tarvitsevat elääkseen puhdasta virtaavaa vettä sekä sopivan kokoista pohjamateriaalia. Koska olosuhteet näiden tekijöiden suhteen vaihtelevat joen eri osissa ja virtaamamuutosten seurauksena myös samoilla jokialueilla (Takkunen 1997), lohi- ja taimennaaraiden täytyy haakeutua sellaisille kutualueille, missä niiden mätimunilla on parhaat edellytykset selviytyä pitkän hautoutumisajan yli soraikon sisällä. Siksi parhaat kutupaikat valitaan yleensä ensin, jolloin myöhemmin kutevat kalat joutuvat tyytymään heikompileatuisiin paikkoihin (Shirvell ja Dungey 1983).

Koko joen mittakaavalla (makrohabitaatti) tarkasteltuna lohen ja taimenen kutupaikat sijaitsevat yleensä jokivesistön eri osissa. Crispin (2000) mukaan lohet kutevat mieluummin jokien pääuomissa kuin pienissä sivujoissa, joita taas taimenet suosivat. Jokijaksojen tasolla (mesohabitaatti) molempien lajien kutupaikat löytyvät yleensä kynnyksien yläpuolelta suvantojen ja koskien vaihettumisalueilta. Tällaisissa paikoissa on valmiiksi karkeata soraa ja riittävä kaltevuus, jotka varmistavat kutusoraikon sisäisen vedenvirtauksen (Mills 1989, Bjornn ja Reiser 1991, Crisp 2000, de Gaudemar ym. 2000, Geist ym. 2000). Nämä tiedot tukevat Whiten (1942) yleiskuvausta lohen kutupaikasta: suvannon loppupään kohdatessa koskipaikan, jossa virrannopeus on suhteellisen suuri ja syvyys kohtuullinen. Pienellä mittakaavalla (mikrohabitaatti) kutupaikkoihin vaikuttavat useat fysikaaliset muutujat, joista tärkeimpinä pidetään veden virtausnopeutta, syvyyttä ja pohjan laatua (Bardonnat ja Baglinière 2000, Crisp 2000). Yleisesti ottaen optimaalisessa kutupaikassa tulee olla riittävän karkeaa ja läpäisevää soraa, jonka välitiloissa mätimunia hapettava vesi mahtuu virtaamaan.

Seuraavissa kappaleissa on koottu yhteen eri tutkimuksissa ilmoitettuja lohen ja taimenen kutupaikan ominaisuuksia virrannopeuden, syvyyden ja pohjan raekoon suhteen. Tutkimukset on toteutettu Skandinaviassa, Isossa-Britanniassa, Uudessa-Seelannissa ja Pohjois-Amerikassa. Kyseisten muuttujatietojen perusteella muodostettiin kummallekin lajille kutupaikan soveltuvuutta kuvaavat yleiset soveltuvuusindeksit asteikolla 0 (huono) – 1 (optimaalinen) (vrt. Bovee 1986, Nykänen ja Huusko 2002). Indeksiarvo 1 annettiin keskimäärin eniten käytetyille muuttujien arvoille, joita kuvasivat tutkimuksesta riippuen keskihajonta, vaihteluväli tai kvartiiliväli. Muut habitaattimuuttujien arvot saivat indeksiarvon 0, jolloin niitä pidettiin kutemisen kannalta huonoina.

Seuraavaksi muuttujat luokiteltiin, jonka jälkeen jokaiselle muuttujaluokalle laskettiin keskiarvo sen eri tutkimuksissa saamista indeksiarvoista. Kivikoon luokittelussa sovellettiin Wentworthin asteikkoa (Malavoi ja Souchon 1989) käyttäen eri raekokoluokkia orgaanisesta aineksesta kalliioon (0 = orgaaninen materiaali; 1 = 0,07-2 mm; 2 = 2,1-8 mm; 3 = 8,1-16 mm; 4 = 16,1-32 mm; 5 = 32,1-64 mm; 6 = 64,1-128 mm; 7 = 128,1-256 mm; 8 = 256,1-512 mm; 9 = 512,1-1 024 mm ja 10 = kallio). Näin saadut keskimääräiset indeksiarvot standardisoitiin välille 0 – 1. Näitä lopullisia indeksejä havainnollistettiin kutuhabitaatin soveltuvuuden yleiskäyrillä, joiden sovituksessa käytettiin SigmaPlot-ohjelman bisquare-optiota.

3.1. Virrannopeus

Kutupaikkoja luonnehtivat virrannopeudet olivat lohella yleensä 45 – 55 cm/s ja vastaavasti taimenella 25 – 40 cm/s (kuva 2). Tosin Rubin ja Glimsäter (1996) raportoivat taimenen kutupaikoista jopa yli 100 cm/s virrannopeuksia. Virtapaikkojen lisäksi kutualueita on havaittu seisovassakin vedessä pohjaveden purkauspaikkojen läheisyydessä (esim. Sowden ja Power 1985). Kutualueet olivat usein kiihty-

vän virtauksen paikkoja mataloituvassa vedessä, joissa virrannopeudet olivat vähintään 15 cm/s (Crisp ja Carling 1989, Crisp 1993). Soulsbyn ym. (2001) mukaan lohi kuti hieman kovemmissa virroissa (52 cm/s) kuin koko joen kutualueilla oli keskimäärin saatavilla (48 cm/s).

3.2. Syvyys

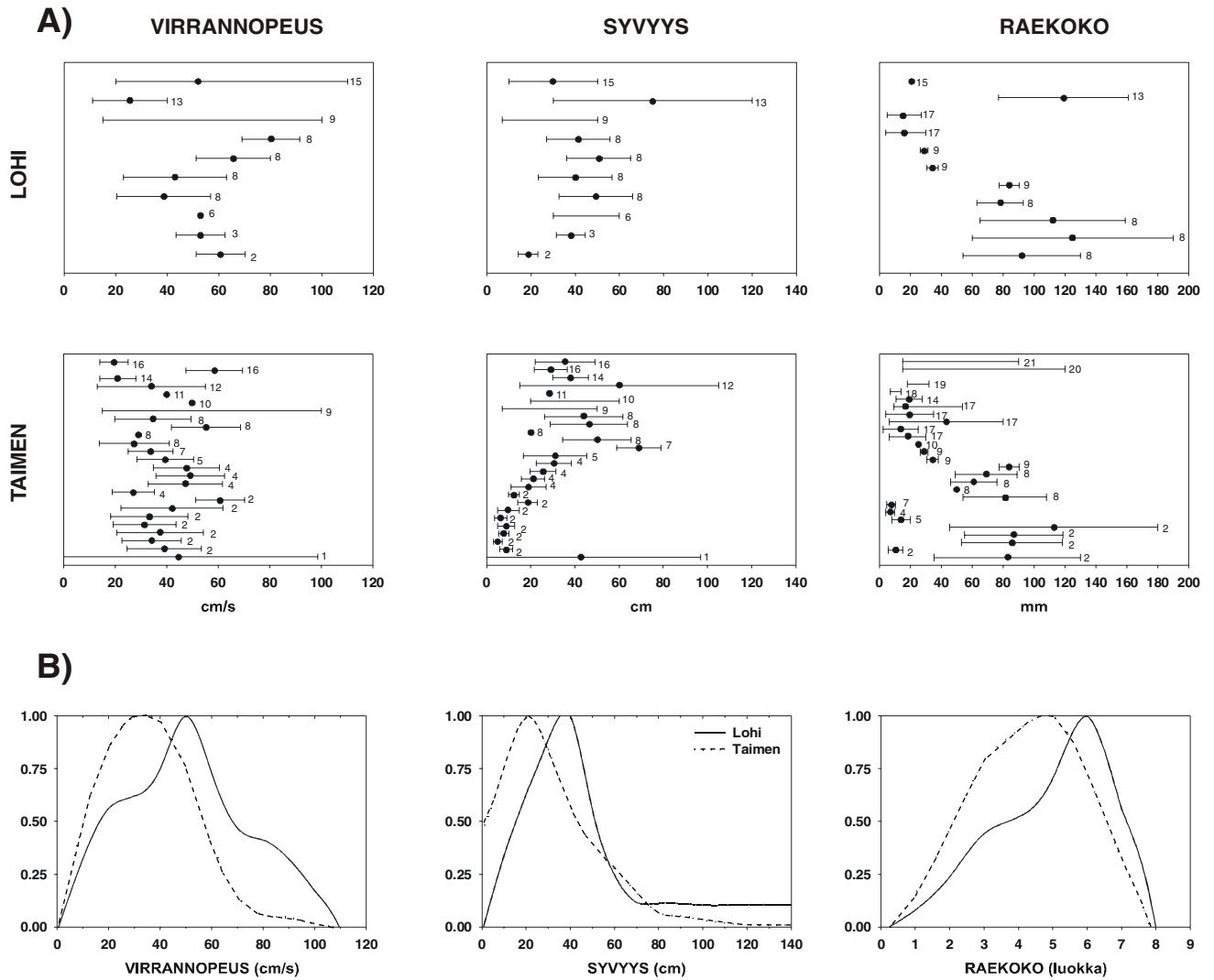
Lohen kutupaikkojen syvyydet painoutuivat yleisesti 30 – 40 cm:n välille ja taimenen hieman matalampiin, 20 – 30 cm:n välille (kuva 2). Lähes poikkeuksetta lohija taimennaaraat valitsivat kutupaikakseen vähintään itsensä peittävän syvyyden (Crisp ja Carling 1989, Crisp 1993). Näitä selvästi syvemmillä alueilla kutivat taimenet Järvisalon ym. (1984) ja Takkusen (1993) tutkimuksissa sekä lohi Saaren (1994) tutkimuksessa. Soulsbyn ym. (2001) mukaan lohi kuti hieman syvemmillä (26 cm) kuin mitä joen saatavilla olevilla kutualueilla syvyys keskimäärin oli (20 cm).

3.3. Pohjan raekoko

Lohen kutualueilla pohjan raekokoa luonnehti yleisesti ottaen karkea sora ja pikkukivet, joiden läpimitta painottui karkeasti välille 3 – 13 cm (luokat 5 ja 6). Taimenen kutupaikoissa vallitsi läpimitaltaan pienempirakeinen sora ja kivi: 1 – 7 cm (luokat 4 ja 5) (kuva 2). Lohikalat välttivät hienojakoisinta pohjamateriaalia, minkä lisäksi naaraat puhdistavat soraikkoa hienoimmista aineksista kaivaessaan kutukuoppaa ennen mätimunien laskemista (Kondolf ym. 1993). Kondolfin ja Wolmanin (1993) mukaan suurikokoiset naaraat hyväksyvät suurempia partikkeleita kuin pienemmät naaraat, mutta toisaalta liian suuret partikkelit vaikeuttavat naaraan kutukuopan kaivamista. Crispin (1993) mukaan kutusoraikon partikkelikoko riippuu naaraan koosta seuraavasti:

Partikkelikoon mediaanin yläraja P (mm) = $0,5 \times$ naaraan pituus (cm) + 4,6 cm.

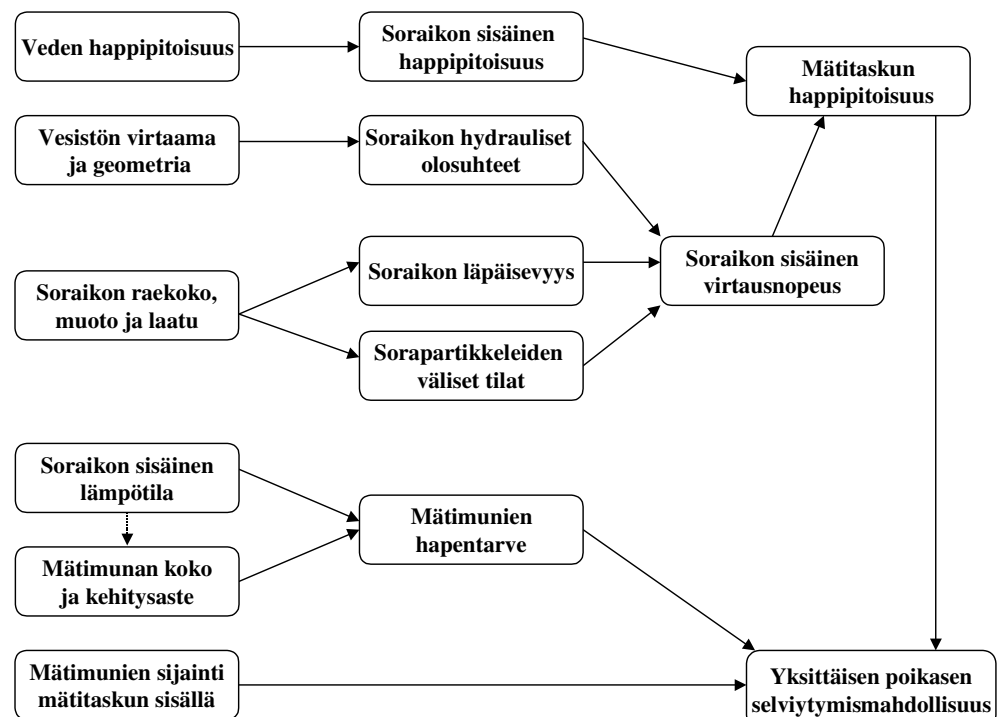
Rubin ja Glimsäter (1996) ilmoittavat taimenen luonnollisten kutupaikkojen muodostuvan pääasiassa karkeasta sorasta (30 – 60 mm) ja kivistä (60 – 120 mm). Beard ja Carline (1991) raportoivat taimenen kutusoraikon olleen 78-prosenttisesti 4 – 64 mm:n kokoista karkeaa soraa, ja hienojakoista ainesta (<0,8 mm) oli ainoastaan alle 7 %. Moir ym. (1998) havaitsivat lohen valitsevan kutusoraikkonsa alueilta, joissa oli korkeintaan 5,4 % hienoa kiintoainesta (<1,0 mm).



Kuva 2. A) Virrannopeuden, syvyyden ja raekoon jakaumat (keskiarvo \pm keskihajonta; *hajontalukuja ei saatavilla; **keskiarvo, vaihteluväli; *mediaani, kvartiiliväli) lohen ja taimenen kutupaikoilla: (1) Smith (1973), 2) Ottaway ym. (1981), 3) Beland ym. (1982), 4) Witzel ja MacCrimmon (1983a), 5) Shirvell ja Dungey (1983), 6) Gustafson-Marjanen ja Moring (1984)*, 7) Järvisalo ym. (1984), 8) Heggberget ym. (1988), 9) Crisp ja Carling (1989)*, 10) Kondolf ym. (1991)*, 11) Beard ja Carline (1991), 12) Takkunen (1993)**, 13) Saari (1994)**, 14) Tähtinen (1997), 15) Moir ym. (1998)**, 16) Essington ym. (1998), 17) Kondolf ja Wolman (1993)***, 18) Witzel ja MacCrimmon (1983b)**, 19) Olsson ja Persson (1986)**, 20) Rubin ja Glimsäter (1996)**, 21) Rubin (1998)** (18-21 kokeellisia tutkimuksia). B) Kutuhabitaatin sovellettuuden yleiskäyrät em. lähteiden perusteella.**

4. Kehitys mädistä poikasiksi on monen tekijän summa

Naaraan valitsema kutupaikka määrää pitkälti olosuhteet mätimunien kehittymiselle. Kututapahtumasta riippumatta mädin eloonjäantiin ja kehittymiseen vaikuttavat monet kemialliset, fysikaaliset ja hydrauliset ympäristötekijät (kuva 3). Mätimuni- en kehityksen ensimmäiset alkiovaiheet ovat verrattain hyvin tunnettuja, koska niitä on voitu tutkia hautomoissa kokeellisesti. Paljon vähemmän on tietoa myöhemmistä kehitysvaiheista ja poikasten käyttäytymisestä luonnollisten kutosoraikkojen sisällä (Crisp 2000). Ensimmäinen selvästi havaittava muutos mätimunissa on kehittyvän alkion silmäpisteiden ilmestyminen tammi – helmikuussa. Huhti – kesäkuussa mätimunista kuoriutuu poikasia, jotka pysyttelevät vielä soraikon sisässä keskimäärin 2 – 4 viikkoa ruskuaispussissaan olevan ravintonsa varassa (Pauwels ja Haines 1994). Vararavinnon loputtua poikasten uimarakko täyttyy ilmalla ja ne nousevat vapaaseen veteen käyttämään ulkoista ravintoa.

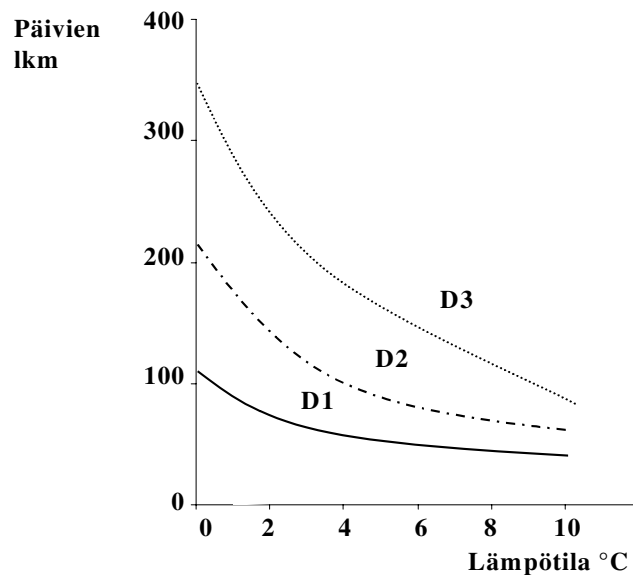


Kuva 3. Lohikalojen poikasten soransisäiseen selviytymiseen vaikuttavat tekijät Crispin (2000) mukaan.

4.1. Veden lämpötila

Veden lämpötila hautoutumisen aikana vaikuttaa mätimunien kehittymiseen: mitä korkeampi lämpötila, sitä nopeammin poikaset kehittyvät (Hamor ja Garside 1976) (kuva 4). Veden lämpötilasta riippuen mätimunien kuoriutumiseen saattaa kulua 70 – 160 päivää (Mills 1989). Crisp (1988, 1996, 2000) esittää, että lohikaloilla silmäpisteasteelle kehittymiseen kuluneiden päivien lukumäärä (D_1) on puolet poikasten kuoriutumisajankohtaan (D_2) verrattuna ($0,5D_2$) (kuva 4). Soraikosta vapaaseen ve-

teen nousuun kuluva aika (D_3) olisi luonnontilaisissa soraikoissa kaksinkertainen kuoriutumiseen kuluneeseen aikaan verrattuna ($2,0D_2$). Atlantin lohen mätimunista 50 %:n on havaittu kuoriutuvan 115 – 150 päivässä lämpötilan ollessa 4 °C, kun vastaava osuus poikasista kuoriutuu 12 °C lämpötilassa 35 – 60 päivässä (Bjornn ja Reiser 1991). Peterson ym. (1977) havaitsivat 2,5 asteessa lohen mätimunista 50 %:n saavuttavan silmäpisteasteen (D_1) 63 vuorokaudessa ja kuoriutuvan (D_2) 153,3 vuorokauden kuluttua hedelmöittämisestä. Taimenen mätimunien kehitys kuoriutuneiksi poikasiksi kesti jopa 208 vuorokautta, kun lämpötila oli -1 - 0 °C joulukuusta huhtikuun puoleen väliin saakka (Korsu ym. 2001).



Kuva 4. Päivien lukumäärät silmäpisteasteen (D1), kuoriutumisen (D2) ja soraikosta nousun (D3) mediaanien saavuttamiseen taimenelle veden eri lämpötiloissa Crispin (2000) mukaan.

Ennustettaessa soraikon sisäistä kehitysaikaa tulee huomioida soraikon yläpuolella ja sen sisällä virtaavan veden erilaiset lämpötilat. Talviaikana (lokakuusta helmikuuhun) soraikon lämpötila on noin 0,5 °C korkeampi kuin veden lämpötila (Crisp 1990, 1996), mikä nopeuttaa mätimunien ja poikasten kehitysvaiheita soraikon sisällä.

4.2. Happi

Yleensä kylmän veden lohikalojen optimaalinen veteen liuenneen hapen pitoisuus on 8 – 10 mg/l, mutta pienet poikasvaiheet kestävät happivajasta aikuisia kaloja huomattavasti heikommin (Alabaster ja Lloyd 1980). Soransisäisen mädin selviytyminen riippuu suuresti riittävästä veden virtauksesta, joka kuljettaa aineenvaihduntatuotteet pois soraikon sisältä. Virtauksen hidastuessa mädin hapensaanti pienenee, ja kaikkien haitallisten aineenvaihdunnassa syntyneiden yhdisteiden, kuten ammoniumin ($\text{NH}_4 / \text{NH}_3^+$), nitriittien (NO_2^-) ja hiilidioksidin (CO_2) määrä so-

raikossa kasvaa (Johnson 1980, Tappel ja Bjornn 1983, Rubin 1998, Massa ym. 2000).

Kutusoraikon sisäisen veden virtauksen tärkeyttä painotetaan monissa tutkimuksissa, koska suuri liuenneen hapen määrä ei yksinään takaa mätimunien kehittymistä (esim. Pauwels ja Haines 1994). Pauwelsin ja Hainesin (1994) tutkimuksessa heikon vedenvirtauksen vuoksi meritaimenen mätimunista selviytyi poikasiksi vain 4,9 – 6,1 %, vaikka happipitoisuus oli yli 11 mg/l. Coblen (1961) mukaan kirjoloihen mädin säilyvyys lisääntyi 17 %:sta lähes nelinkertaiseksi, kun virrannopeudet ja happipitoisuudet ensimmäisessä koekäsittelyissä olivat 17 cm/s ja 6,4 mg/l ja jälkimmäisessä 47 cm/s ja 9,2 mg/l.

Mätimunien hapentarpeeseen vaikuttavat munien koko, kehitysaste ja mahdollisesti myös laji, minkä vuoksi selvää liuenneen hapen minimitasoa mätimunien kehittymiselle on vaikeaa antaa (taulukko 2). Koska mätimunien kaasujenvaihto tapahtuu diffuusiona solukalvon lävitse, niiden hapentarve on sitä suurempi, mitä suuremmasta mätimunasta on kyse (Crisp 2000). Munien koko riippuu vuorostaan positiivisesti naaraan koosta ja ravintotasosta (Fleming 1996). Kidukset kehittyvät vasta kuoriutumisen yhteydessä, jolloin poikasten hapentarve vähenee (Crisp 2000).

Kun mädin kannalta ilmoitettuja keskimääräisiä vähimmäishappipitoisuuksia tarkasteltiin suhteessa veden lämpötilaan (taulukko 2), havaittiin voimakas positiivinen korrelaatio hapentarpeen ja lämpötilan välillä ($r = 0,823$, $p = 0,023$, $n = 7$). Mätimunien säilyvyyden kannalta ongelmaksi voi joissain tapauksissa muodostua liian lämmin vesi, koska lämpötilan noustessa mätimunien aineenvaihdunta kiihtyy ja hapentarve kasvaa (Crisp 2000) samalla, kun veteen liuenneen hapen määrä vähenee (Allan 1995).

Taulukko 2. Kirjallisuudessa esitetyt mätimunien soraikon sisäisen kehitysajan vähimmäishappipitoisuudet (mg/l) eri lämpötiloissa (°C).

Lähde	Laji	Happipitoisuus (mg/l)	Lämpötila (°C)	Kehitysaste
Everest ym. (1987)	lohikalat	5,0	-	-
Crisp (1989)	taimen	0,76	5,5	ennen kuoriutumista
		7-10	10-17	kuoriutumisen aikana
Bjornn & Reiser (1991)	lohikalat	5,0	-	-
Rubin & Glimsäter (1996)	taimen	9,0	-	silmäpisteasteelle asti
		9,9	-	kuoriutumiseen asti
		10,0	-	soransisäisen ajan loppuun
Crisp (1996)	lohikalat	7,0	12,5	soransisäisen ajan loppuun
Kondolf (2000)	lohikalat	2,0-8,0	-	-
Crisp (2000)	lohikalat	0,53	5,5	ennen kuoriutumista
		2,17	10,0	ennen kuoriutumista
		4,06	5,5	kuoriutumisen aikana
		7,0	17,0	kuoriutumisen aikana

4.3. Veden pH

Kalojen herkkyys veden happamuudelle vähenee mädin ja poikasten kehittymisen edistyessä (Alabaster ja Lloyd 1980). Happamuuden ja alhaisessa pH:ssa liukenevien metallien yhteisvaikutukset ovat usein monimutkaisia (Vuorinen ym. 1998). Happamissa oloissa mätimunien turpoamisen on todettu vähentyvän, jolloin mätimi-

munan koko ja alkiota suojaavan nesteen määrä jäävät vähäisiksi. Kuoriutumiseen tarvittavan entsyymin toiminta sekä poikasen ruskuaispussista saaman ravinnon imeytyminen, kasvu ja uintiaktiivisuus saattavat myös heikentyä (Tuunainen ym. 1991, Crisp 2000).

Happamuus on akuutisti haitallista lohien ja taimenen mätimunille, kun pH laskee tasolle 4,5 – 5,0 (Alabaster ja Lloyd 1980, Lacroix 1985, Peterson ja Martin-Robichaud 1986), ja tappavaa viimeistään alle 4,0:n (Crisp 2000). Korsu ym. (2001) havaitsivat taimenen mätimunien elossasäilyvyyden nousevan yli kaksinkertaiseksi (27 %:sta 58 %:iin) purojen alhaisimman pH:n kasvaessa 4,8:sta 5,1:een. Toisaalta myös emäksissä oloissa (pH > 9) kaikki lohikalat kärsivät yleisesti riippumatta niiden elinkierron vaiheesta (Alabaster ja Lloyd 1980).

4.4. Soraikon raekoko ja läpäisevyys

Yleistäen suurin osa mätimunista selviytyy elossa soraikoilla, joiden keskimääräinen raekoko on 20 – 30 mm ja hienojakoisinta ainesta (< 1 mm) on korkeintaan 10 – 20 %. Samalla soraikon sisäisen läpäisykyvyn eli virrannopeuden tulisi olla 250 – 650 cm/h ja happipitoisuuden vähintään 7,0 mg/l (Crisp 2000). Tämän perusteella kutupaikan laatuun vaikuttavat suuresti keskenään positiivisesti korreloivat soraikon läpäisevyys ja happipitoisuus (Findlay 1995) sekä niiden kanssa käänteisesti verrannollinen kiintoaineen sedimentoituminen (ks. myös Everest ym. 1987, Chapman 1988, Mills 1989, Gustafson-Greenwood ja Moring 1991, Gibson 1993, Newcombe ja Jensen 1996) (taulukko 3). Kiintoaineen sedimentoituminen pienentää soraikon sisäistä happipitoisuutta soravälkien tukkeutumisen sekä orgaanisen aineksen hajoamisen seurauksena (Lisle 1989). Sedimentaationopeus ja -syvyys riippuvat virtausolojen ja aineksen määrän lisäksi aineksen laadusta: mitä hienojakoisempaa aines on, sitä syvemmälle ja sitä enemmän ainesta sedimentoituu pohjalle (Kondolf 2000).

Karkeampi kiintoaines (> 1 mm) tai hiekka saattavat muodostaa soraikon päälle tasisen maton, jolloin kuoriutuneiden poikasten nousu soraikosta estyy tai ne pyrkivät hapen loppuessa nousemaan soraikosta liian aikaisin (Tappel ja Bjornn 1983, Kondolf 2000). Witzelin ja MacCrimmonin (1983b) mukaan soraikossa, jossa on yli 40 % hiekkaa, suurin osa poikasista kuolee ravinnon puutteeseen kuoriutumisen jälkeen, koska ne eivät kykene nousemaan soraikosta vapaaseen veteen. Jos poikaset sen sijaan nousevat soraikosta liian aikaisin, ne ovat todennäköisesti pieninä ja huonoina uimareina helppoa saalista pedoille (Olsson ja Näslund 1985, Olsson ja Persson 1986). Averyn (1996) mukaan erityisesti hiekka heikentää taimenen kutupaikkojen laatua ja aiheuttaa mädin huomattavaa kuolleisuutta. Takkusen (1993) tutkimuksissa taimenen mätimunista kuoriutumiseen asti säilyi hengissä yli 40 %, kun hienojakoista (<0,9 mm) ainesta oli kutusorassa 7 % ja karkeampaa (<3,4 mm) ainesta oli 17 %.

Taulukko 3. Kirjallisuudessa esitetyt kutusoraikon haitallisen kiintoaineen koko (mm) ja osuus (%) soraikon koostumuksesta sekä soraikon alin vaadittava läpäisykyky (cm/h).

Lähde	Laji	Haitallinen kiintoaine		Läpäisykyky
		mm	%	
Peterson (1978)	Atlantin lohi	<2,2		>600
Ottaway ym. (1981)	taimen	<2,0	>10	
Tappel & Bjornn (1983)	lohikalat	<1,7		
Witzel & MacCrimmon (1983b)	taimen	<9,2		
Olsson & Persson (1986)	taimen	<4,8		
Lloyd (1987)	lohikalat	0,1-0,4	>30	>1000
Rubin & Glimsäter (1996)	taimen	<15,0		>2000
Crisp (1996)	lohikalat	<1,0	>15	
Rubin (1998)	taimen	<15,0		>2000
O'Connor & Andrew (1998)	Atlantin lohi	<1,0	>10	
Kondolf (2000)	lohikalat	<10,0		
Milan ym. (2000)	taimen	<1,0	>14	
Soulsby ym. (2001)	lohikalat	<2,0	>23	

4.5. Tulvat, jää ja mekaaninen shokki voivat heikentää mädin säilyvyyttä

Tulvat muokkaavat jokien koski- ja suvanto-osuuksia liikuttelemalla mukanaan kiviä, soraa ja muuta pohjista tai rannoilta irtoavaa materiaalia. Samalla tulvat saattavat huuhtoa mukaansa myös lohien ja taimenen mätiä epäsuotuisille alueille, jotka siten altistuvat paitsi mekaanisille häiriöille, myös predaatiolle (Crisp 1993, 1996). Toisaalta, jos tulvien vaikutuksesta kutualueilta poistuu sinne laskeutunutta kiintoainetta, tulvilla voi ainakin joissakin tapauksissa olla myös positiivinen vaikutus lohikalojen kutualueisiin (ks. Louhi ym. 2003).

Pohjajään muodostuminen lisää mädin ja poikasten kuolevuutta, koska veden virtaus estyy. Pohjajään merkitys korostuu paikallisesti säännöstellyissä joissa kunnostamisen jälkeen tai peratuissa jokiuomissa, joissa jääkannen muodostumista nopeuttavat veden pinnan yläpuolelle ulottuvat lohikareet puuttuvat, ja jääkannen muodostuminen viivästyy suvantojen muututtua virtaavammiksi (Honkasalo & Jokikokko 1987).

Mekaanista häiriötä mätimunille voi aiheutua jäiden lähdöstä tai esimerkiksi soraikkojen yli kulkevista kalastajista. Herkkyys mekaaniselle shokille (iskut, tärinät tai paine) on suurimmillaan heti hedelmöitymisen jälkeen ja vähenee huomattavasti silmäpistevaiheen jälkeen. Mekaanisen shokin vaikutukset saattavat näkyä vasta 60 päivän jälkeen tapahtumasta tai kuoriutumisen viivästymisenä jopa kahdella viikolla (Crisp 1990).

5. Yhteenveto ja pohdinta

5.1. Kutupaikan laatu vaikuttaa mädin kehitykseen ja elossa säilymiseen

Lohen ja taimenen kutualueet sijaitsevat tyypillisesti koskien niskoissa, nivoissa ja сувantojen alavirran puoleisissa alueissa (White 1942, Kuusela ym. 1992, Fleming 1998, Crisp 2000). Näiden alueiden sisällä lohet ja taimenet valitsevat kutupaikansa yleensä virrannopeuden, syvyyden ja pohjan raekoon perusteella. Suuremmat yksilöt kutevat syvemmällä ja kovemmassa virrassa kuin pienempikokoiset (Beland ym. 1982, Crisp 2000). Yleisesti ottaen molemmat lajit suosivat paikkoja, joiden virrannopeus on 25 – 55 cm/s ja syvyys 20 – 40 cm/s (kuva 2B). Loheen verrattuna taimen näyttäisi kutevan hieman matalampiin ja hidasvirtaisempiin paikkoihin. Tuloksia pohdittaessa on syytä kuitenkin huomioida, että kudun on havaittu onnistuvan myös selvästi syvemmällä ja vuolasvirtaisemmilla alueilla, mutta käytännön ongelmista johtuen on tällaisia alueita harvemmin tutkittu (Takkunen 1997). Tästä syystä tämän raportin soveltuvuusindeksit lohen ja taimenen kutupaikoille saattavat olla jonkin verran painottuneita todellisuutta matalampiin ja hidasvirtaisempiin paikkoihin.

Lohi kutee mieluiten karkean soran tai pikkukivien (3 – 13 cm) sekaan välttämättä alle 2 cm:n pohjamateriaalia (kuva 2B). Taimenen kutupaikoissa pohjan raekoko on keskimäärin hieman pienempi kuin lohen kutupaikoissa (kuva 2B). Optimaalisen kutusoraikon koostumuksesta ei ole yhtä käsitystä, vaikkakin hienojakoista kiintoainesta pidetään yleisesti soransisäisen veden virtauksen ja mädin kaasujen vaihdon kannalta erityisen haitallisena (Chapman 1988). Tutkimuksesta riippuen mädin on havaittu säilyvän huonosti sellaisten hienojen sedimenttien kanssa, joiden raekoon ylärajaksi on ilmoitettu 0,9 – 6,5 mm (esim. Shirazi ja Seim 1981, Tappel ja Bjornn 1983, Everest ym. 1987).

Merkille pantavaa on kutupaikkoja luonnehtivien muuttujien huomattava vaihtelu eri tutkimuksien välillä (kuva 2A). Virrannopeudet vaihtelivat molempien lajien kutualueilla pääosin välillä 15 – 100 cm/s, syvyydet välillä 5 – 100 cm ja pohjan raekoko välillä 5 – 160 mm. Tämä voi aiheutua kalojen kutupaikkavaatimusten joustavuudesta, jolloin kalojen käyttämien lisääntymishabitaattien kirjoon vaikuttaa ratkaisevasti habitaattien saatavuus (Soulsby ym. 2001, Gibbins ym. 2002). Todennäköisesti myös naaraskalojen koon vaihtelu lisää tutkimusten välistä vaihtelua, koska suuremmat naaraat pystyvät kutemaan pienempiä lajikumppaneitaan suuremmissa virrannopeuksissa ja karkeammilla pohjilla (Beland ym. 1982, Kondolf ja Wolman 1993). Lisäksi vaihtelua voi lisätä kutukalojen tiheydestä riippuva kilpailu (Shirvell ja Dungey 1983), jolloin osa kaloista joutuu kutemaan optimaalisia kutupaikkoja huonommilla alueilla. Lopuksi on syytä korostaa eroja tutkimusmenetelmissä ja tulosten esitystavassa; erot vaikeuttavat tulosten yhdenmukaista tulkintaa ja voivat lisätä niiden hajontaa (vrt. Armstrong ym. 2003).

Erot kutupaikkavaatimuksia kuvaavien yksittäisten tekijöiden välillä saattavat osittain johtua siitä, että mädin kannalta kutupaikan optimiolosuhteet perustuvat monen tekijän yhteisvaikutukseen. Tällöin erilaisissa olosuhteissa kutuhabitaatin yksittäisten tekijöiden välillä voi esiintyä suurtakin vaihtelua kutupaikan laadun siitä kuitenkaan muuttumatta. Mädin elossasäilymiseen vaikuttavat kutupaikan lähiympäristön fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden lisäksi keskeisesti kutusoraikon sisäiset virtausolot. Vaikka lohen ja taimenen kutupaikan valintaa ja sen merkitystä mädin kannalta on tutkittu suhteellisen paljon, selkeitä mittaustuloksia mätitaskujen sisältä ei ole saatu käytännön ongelmien vuoksi (Chapman 1988). Ainakin osit-

tain on yhä epäselvää, millaiset kutusoraikon sisäiset ja lähiympäristön ominaisuudet sekä laajemman mittakaavan tekijät (esim. virtaama ja valuma-alueen maaperä) yhdessä takaavat kalan kannalta riittävän lisääntymismenestyksen eli mahdollisimman monta mätimunista kuoriutuvaa elinkykyistä poikasta.

5.2. Ihmistoiminnan aiheuttamia haittoja lohen ja taimenen lisääntymisalueisiin

Eräs merkittävimmistä virtavesiin kohdistuneista ihmistoiminnan haittavaikutuksista on ollut jokiuomien perkaus, joka Suomessa kohdistui voimakkaimmin pieniin ja keskisuuriin jokiin (Yrjänä 1992). Rakenteellisesti yksinkertaiseksi perattu jokiuoma tarjoaa vähän lohelle ja taimenelle soveltuvia kutu- ja poikasalueita, joten vesistön kalasto yleensä muuttuu lohikalavaltaisesta vähempiarvoiseen suuntaan (esim. Brookes 1988, Yrjänä 1992). Lohikalajien kutusoraikat vähenevät sekä jokiuomien ruoppaustöiden seurauksena että virtausolojen muuttuessa äärevämmiksi voimistuneiden tulvien huuhtoessa soraa pois vielä jäljelle jääneiltä kutupaikoilta. Joissakin tapauksissa kutualueiden määrää on vähentänyt myös soraikkojen peittyminen hienolla aineksella (Yrjänä 1992).

Kutualueisiin kohdistuneiden suorien perkausvaikutusten lisäksi kutualueiden määrään ja laatuun on vaikuttanut epäsuorasti valuma-alueen maankäyttö kuten rakentaminen, maa- ja metsätalous sekä turvetuotanto. Jokiekosysteemit ovat hierarkisia kokonaisuuksia, jolloin niiden valuma-alueilla tapahtuvat muutokset heijastuvat kauaskantoisesti virran mukana jokiuomaa alaspäin (Frissell ym. 1986, Crisp 1989). Yleensä valuma-alueen maankäyttö on lisännyt kiintoaineen, humuksen, raudan, alumiinin, typen ja fosforin huuhtoutumista (Calow ja Petts 1994), minkä seurauksena jokiuoman pohja on liettynyt ja virtausolot ovat muuttuneet. Lohikalajien kutualueiden ja mädin säilyvyyden kannalta erityisen haitallista on ollut kiintoaineen sedimentoituminen talvella ja keväällä sekä kevättulvien happamina aikoina (Laine ja Heikkinen 1991, Laine ym. 2001). Lisäksi veden samentuminen ja rehevöityminen ovat pienentäneet veden happipitoisuutta (Calow ja Petts 1994). Näistä aiheutuneista muutoksista jokieliöyhteisöihin ovat raportoineet muun muassa Ahtiainen (1992) ja Wood ja Armitage (1997, 1999).

5.3. Jokien uomakunnostuksilla ja vesiensuojelutoimilla lisätään ja parannetaan lohen ja taimenen kutualueita

Lohikalajien lisääntymisedellytysten parantamiseksi tarvitaan kokonaisvaltaista lähestymistapaa ihmistoiminnasta aiheutuneiden ongelmien vähentämiseksi tai poistamiseksi (esim. Yrjänä 2002, Erkinaro ym. 2003). Suomessa tällainen ajattelu on yleistynyt vasta viime aikoina, vaikka kalataloudellisia kunnostuksia on toteutettu jo 1970-luvun puolivälistä lähtien. Esimerkiksi kalateihin on alettu kiinnittää huomiota vasta viime vuosina, vaikka lohikalajien esteetön pääsy kutualueilleen on niiden lisääntymisen ensimmäinen edellytys (esim. Laine ym. 2001). Lisäksi kunnostuksien painopiste on nykyään siirtymässä yhä enemmän latvapurojen ja valuma-alueiden kunnostuksien suuntaan (esim. Sutela ym. 2002, Yrjänä 2002). Kotiutettavien lohikalakantojen kannalta tämä on erityisen tärkeää, koska yhä lisääntyvät metsäojien perkaukset sekä soiden turvetuotanto kasvattavat vesistöihin kohdistuvaa kiintoainekuormitusta (Heikkinen 1990, Salonen 1995, Ahti 1997, Kubin ym. 1997), uhaten etenkin lohen ja taimenen lisääntymisen onnistumista (Laine & Heikkinen 1991).

Kalataloudellisissa kunnostuksissa tietty osa koskipinta-alasta on yleensä pyritty kunnostamaan lohikalojen kutualueiksi. Esimerkiksi Perämereen laskevien Simo-, Kuiva-, Kiiminki- ja Pyhäjoen kunnostuksissa 1 – 2 % koskialasta on tehty tai on suunniteltu tehtäväksi lohikalojen kutualueiksi (esim. Erkinaro ym. 2003). Tulevaisuudessa kunnostustöissä soraistuksen lisäämistä kannattaa harkita, koska monissa tutkimuksissa kutusoran määrää ja sen alueellista jakaantumista pidetään keskeisenä virtavesien lohikalatuotantoon vaikuttavana tekijänä (esim. Kondolf ja Wolman 1993). Jokiuoman morfologia ja virtausolot asettavat kuitenkin omat rajoitteensa olemassa olevien soraikkojen siirtämiseen tai uusien kutusoraikkojen perustamiseen. Luonnostaan sopimattomille alueille asetettu sora huuhtoutuu pois ja kulkeutuu tulvien aikana koskien niska-alueille, mutkien sisäkaarteisiin sekä virtapaikoissa oleviin levennyksiin tai peittyä hienommalla kiintoaineella (Yrjänä 1998). Tästä johtuen laajoja ja yhtenäisiä sora-alustoja ei kannata rakentaa, vaan sora tulisi sijoittaa esimerkiksi rantojen tuntumaan tai lohikareiden ympärille pieniksi laikuiksi (Yrjänä 1998). Lisäksi suositellaan vanhojen kutusoraikkojen puhdistamista haitallisesta kiintoaineesta (Yrjänä 1998).

Latvapurojen ja valuma-alueiden kunnostusmenetelmistä ja niiden vaikutuksista lohikalojen lisääntymisedellytyksiin on verrattain vähän tietoa ja kokemusta. Sen sijaan vesistökuormituksen vähentämismenetelmistä ja niiden vaikutuksista vedenlaatuun, ja mahdollisesti sitä kautta myös lohikalojen lisääntymiseen, on runsaasti tutkimustietoa saatavilla (esim. Ahti ym. 1999, Joensuu ym. 1999, Finér ym. 2003). Iijoen vesistöalueella selvitettiin pintavalutuskenttien ja ojakatkokkien soveltuvuutta pienen metsäpuron valuma-aluekunnostuksissa. Itse purouomassa kokeiltiin muun muassa suisteita, imuruoppausta ja pohjan soraistamista. Eri kunnostusmenetelmien vaikutukset kalojen lisääntymisalueisiin, veden laatuun tai virtaamiin jäivät tässä pilottitutkimuksessa kuitenkin pääosiltaan epävarmoiksi luultavasti seurannan lyhyden takia (Sutela ym. 2002). Kiiminkijoen vesistöalueen latvapuroissa käynnistettiin vuonna 2001 viisivuotinen seurantatutkimus, jossa selvitetään lohikalojen kutualueiden parantamista metsäojitusten kiintoainekuormitusta vähentämällä (Mäki-Petäys ym. 2001). Tutkimuksessa sovelletaan Kiiminkijoella ja Pyhäjoella kehitettyä menetelmää, jonka avulla selvitettiin lohen mädin säilyvyyden ja pohjalietteen määrän välistä yhteyttä (Louhi ym. 2003).

5.4. Malleilla täsmäkunnostuksiin?

Tässä selvityksessä esitettyjä lohen ja taimenen kutupaikkavaatimuksia voidaan soveltaa uusien kutusoraikkojen rakentamisessa ja sijoittamisessa. Täsmällisempään tulokseen voidaan mikrotasolla päästä virtavesiin kehitettyjen elinympäristömallien (esim. Bovee 1986, Lahti 1999) avulla, joissa kalojen kutupaikan sopivuusindeksit yhdistetään fysikaaliseen tietoon jokiuoman rakenteesta ja topografiasta. Mallin avulla voidaan arvioida kutuun soveltuvien alueiden määrää eri virtaamatilanteissa, jonka jälkeen on mahdollista suunnitella tarkemmin uusien kutusoraikkojen rakentamistarvetta ja niiden optimaalista sijoittamista. Suomessa elinympäristömalleja on tähän mennessä sovellettu lähinnä lohikalojen poikasten näkökulmasta (esim. Huusko ja Yrjänä 1997, Lahti 1999). Monissa lohi- ja taimenkantojen elvytys- tai kotiutusjoissa kutualueiden riittämättömyyttä tai niiden huonoa laatua pidetään yhtenä elvytystavoitteiden keskeisimmistä ongelmista (esim. Erkinaro ym. 2003). Tästä syystä on suositeltavaa, että jatkossa erilaisissa virtavesien kunnostushankkeissa ja niihin liittyvissä mallinuksissa huomioidaan lohikalojen osalta korostetusti myös niiden kutupaikkavaatimukset.

Elinympäristömallinnuksen avulla saatavaa karkean tason tietoa kutupaikan lähiympäristön olosuhteista tulisi täydentää kutusoraikon sisäisillä tekijöillä, jos kutusoraikkojen optimaaliset paikat halutaan määrittää tarkemmin. Havis ym. (1993) esittivät matemaattisen simulaatiomallin, SSAM (Salmonid Spawning Analysis

Model), jossa lämpötilan, pohjan raekoon sekä liukoisen hapen määrän perusteella pyritään ennustamaan lohien mätimunien selviytymistä erilaisissa olosuhteissa. Malli pohjautuu kuitenkin Tyynenmeren lohien kutupaikkavaatimuksiin, joten sen soveltaminen lohelle ja taimenelle meidän olosuhteissamme vaatii kehittämistä ja testaamista. Merkittävä haaste lohikalorien lisääntymisedellytyksiä selvittäville tuleville tutkimustöille olisi erilaisten mallien yhdistäminen ja niiden tuottaman informaation liittäminen laajemman mittakaavan tekijöihin kuten jokilaaksojen pohjavesien purkautumisalueisiin sekä maa- ja kallioperän ominaisuuksiin.

Kiitokset

Jaakko Erkinaro, Ari Huusko ja Timo Yrjänä edistivät kommenteillaan ja tiedoillaan merkittävästi tämän raportin kokoamista. Kaikille heille lämmin kiitos.

Kirjallisuus

- Ahti, E. 1997: Kunnostusojituksen vaikutus Juutistenpuron veden laatuun. Loppuraportti. Metsäntutkimuslaitos. 16 s.
- Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.) 1999: Metsätalouden ympäristökuoritus. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745. Helsinki. 172 s.
- Ahtiainen, M. 1992: The effects of forest clear-cutting and scarification on the water quality of small brooks. *Hydrobiologia* 243/244: 465-473.
- Alabaster, J.S. & Lloyd, R. 1980: Water quality criteria for freshwater fish. FAO, Butterworths, London-Boston. 297 p.
- Allan, J.D. 1995: Stream ecology. Structure and function of running waters. Chapman & Hall, London. 388 p.
- Armstrong, J.D., Kemp, P.S., Kennedy, G.J.A, Ladle, M. & Milner, N.J. 2003: Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fish. Res.* 62: 143-170.
- Avery, E.L. 1996: Evaluations of sediment traps and artificial riffles constructed to improve reproduction of trout in three Wisconsin streams. *N. Am. J. Fish. Mgt.* 16: 282-293.
- Bardonnat, A. & Baglinière, J.-L. 2000: Freshwater habitat of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 497-506.
- Beard, T.D.Jr. & Carline, R.F. 1991: Influence of spawning and other stream habitat features on spatial variability of wild brown trout. *Trans. Am. Fish. Soc.* 120: 711-722.
- Beland, K.F., Jordan, R.M. & Meister, A.L. 1982: Water depth and velocity preferences of spawning Atlantic salmon in Maine rivers. *N. Am. J. Fish. Mgt.* 2: 11-13.
- Bjornn, T.C. & Reiser, D.W. 1991: Habitat requirements of salmonids in streams. In: Meehan, W.R. (ed.) Influences of forest and rangeland management on salmonid fishes and their habitats. *Am. Fish. Soc. Special Publ.* 19: 83-138, Bethesda, Maryland.
- Bovee, K.D. 1986: Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology. *Instream Flow Information Paper* 21. US Department of the Interior, Washington. 235 p.
- Brookes, A. 1988: Channelized rivers. Perspectives for environmental management. John Wiley & Sons, London. 326 p.
- Calow, P. & Petts, G.E. (eds.) 1994: The rivers handbook: hydrological and ecological principles. Blackwell Sciences, Oxford. 523 p.
- Chapman, D.W. 1988: Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 117: 1-21.
- Coble, D.W. 1961: Influence of water exchange and dissolved oxygen in redds on survival of steelhead trout embryos. *Trans. Am. Fish. Soc.* 90: 469-474.
- Crisp, D.T. 1988: Prediction, from temperature, of eyeing, hatching and "swim-up" times for salmonid embryos. *Freshw. Biol.* 19: 41-48.
- Crisp, D.T. 1989: Some impacts of human activities on trout, *Salmo trutta*, populations. *Freshw. Biol.* 21: 21-33.

- Crisp, D.T. 1990: Water temperature in a stream gravel bed and implications for salmonid incubation. *Freshw. Biol.* 23: 601-612.
- Crisp, D.T. 1993: The environmental requirements of salmon and trout in fresh water. *Freshw. Forum.* 3: 176-202.
- Crisp, D.T. 1996: Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in fresh water with particular relevance to physical and chemical aspects. *Hydrobiologia* 323: 201-221.
- Crisp, D.T. 2000: Trout and salmon. Ecology, Conservation and Rehabilitation. Blackwell Science, Iso-Britannia. 212 p.
- Crisp, D.T. & Carling, P.A. 1989: Observations on siting, dimensions and structure of salmonid redds. *J. Fish Biol.* 34: 119-134.
- DeVries, P. 1997: Riverine salmonid egg burial depths: review of published data and implications for scour studies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 1685-1698.
- Elliott, J.M. 1989: Wild brown trout *Salmo trutta*: an important national and international resource. *Freshw. Biol.* 21(1): 1-5.
- Erkinaro, J. 1995: The age structure and distribution of Atlantic salmon parr, *Salmo salar* L., in small tributaries and main streams of the subarctic River Teno, northern Finland. *Ecol. Freshw. Fish.* 4: 53-61.
- Erkinaro, J., Mäki-Petäys, A., Juntunen, K., Romakkaniemi, A., Jokikokko, E., Ikonen, E. & Huhmarniemi, A. 2003: Itämeren lohikantojen elvytysohjelma SAP vuosina 1997-2002. Kalatutkimuksia 186. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 31 s.
- Essington, T.E., Sorensen, P.W. & Paron, D.G. 1998: High rate of redd superimposition by brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*) in a Minnesota stream cannot be explained by habitat availability alone. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 2310-2316.
- Everest, F.H., Beschta, R.L., Scrivener, J.C., Koski, K.V., Sedell, J.R. & Cederholm, C.J. 1987: Fine sediment and salmonid production: a paradox. In: Salo, E. & Cundy, T. (eds.) 1987: Streamside management and forestry and fishery interactions. University of Washington, College of Forest Resources, Contribution 57, Seattle. p. 98-142.
- Findlay, S. 1995: Importance of surface-subsurface exchange in stream ecosystems: the hyporheic zone. *Limnol. Oceanogr.* 40: 159-164.
- Finér, L., Laurén, A. & Karvinen, L. (toim.) 2003: Ajankohtaista metsätalouden ympäristökuormituksesta – tutkimustietoa ja työkaluja - seminaari Kolin Luontokeskus Ukko 23.9.2002. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 886. Joensuu. 116 s.
- Fleming, I.A. 1996: Reviews: Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution. *Fish Biol. Fish.* 6: 379-416.
- Fleming, I.A. 1998: Pattern and variability in the breeding system of Atlantic salmon (*Salmo salar*), with comparisons to other salmonids. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55(Suppl. 1): 59-76.
- Frissell, C.A., Liss, W.J., Warren, C.E. & Hurley, M.D. 1986: A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Env. Mgt.* 10(2): 199-214.
- de Gaudemar, B., Schroder, S.L. & Beall, E.P. 2000: Nest placement and egg distribution in Atlantic salmon redds. *Env. Biol. Fish.* 57: 37-47.

- Geist, D.R., Jones, J., Murray, C.J. & Dauble, D.D. 2000: Suitability criteria analyzed at the spatial scale of redd clusters improved estimates of fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) spawning habitat use in the Hanford Reach, Columbia River. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 1636-1646.
- Gibbins, C.N., Moir, H.J., Webb, J.H. & Soulsby, C. 2002: Assessing discharge use by spawning Atlantic salmon: a comparison of discharge electivity indices and PHABSIM simulations. *River Res. Applic.* 18: 383-395.
- Gibson, R.J. 1993: The Atlantic salmon in fresh water: Spawning, rearing and production. *Rev. Fish Biol. Fish.* 3(1): 39-73.
- Gustafson-Marjanen, K.I. & Moring, J.R. 1984: Construction of artificial redds for evaluating survival of Atlantic salmon eggs and alevins. *N. Am. J. Fish. Mgt.* 4: 455-456.
- Gustafson-Greenwood, K.I. & Moring, J.R. 1991: Gravel compaction and permeabilities in redds of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquacult. Fish. Mgt.* 22: 537-540.
- Hamor, T. & Garside, E.T. 1976: Developmental rates of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in response to various levels of temperature, dissolved oxygen, and water exchange. *Can. J. Zool.* 54: 1912-1917.
- Hartman, G.F. 1970: Nest digging behaviour of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Zool.* 48: 1458-1462.
- Havis, R.N., Alonso, C.V., King, J.G. & Thurow, R.F. 1993: A mathematical model of salmonid spawning habitat. *Water Res. Bull.* 29(3): 435-444.
- Heggberget, T.G. 1988: Timing of spawning in Norwegian Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 845-849.
- Heggberget, T.G., Haukebø, T., Mork, J. & Ståhl, G. 1988: Temporal and spatial segregation of spawning in sympatric populations of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. and brown trout, *Salmo trutta* L. In: Heggberget, T.G. (ed.) 1988: *Reproduction in Atlantic salmon (Salmo salar): a summary of studies in Norwegian streams.* University of Trondheim, Norway. p. 89-114.
- Heikkinen, K. 1990: Transport of organic and inorganic matter in river, brook and peat mining water in the drainage basin of the River Kiiminkijoki. *Aqua Fennica* 20(2): 143-155.
- Honkasalo, L. & Jokikokko, E. 1987: Uittoperkaukset ja perattujen jokien kunnostus kalatalouden kannalta. Kirjallisuuskatsaus. Monistettuja julkaisuja 71. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 234 s.
- Huusko, A. & Yrjänä, T. 1997: Effects of instream enhancement structures on brown trout, *Salmo trutta* L., habitat availability in a channelized boreal river: a PHABSIM approach. *Fish. Mgt. Ecol.* 4: 453-466.
- Huusko, A., Kreivi, P., Korhonen, P., Marttunen, M., Hellsten, S. & Saura, A. 2002: Kalojen elinympäristön kunnostaminen. Teoksessa: Salminen, M. & P. Böhling (toim.) 2002: *Kalavedet kuntoon. Riistan- ja kalantutkimus, Helsinki.* 268 s.
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999: The effects of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. *Boreal Env. Res.* 4: 343-355.
- Johnson, R.A. 1980: Oxygen transport in salmonid spawning gravels. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 155-162.
- Jones, J.W. 1959: *The Salmon. The new naturalist special volume.* Collins, St. James's Place, London. 192 p.

- Jones, J. & Ball, J.N. 1954: The spawning behaviour of brown trout and salmon. *Anim. Behav.* 2: 103-114.
- Järvisalo, O., Heikkilä, T. & Kärkkäinen, P. 1984: Järvitaimenen (*Salmo trutta m. lacustris*) kutu ympäristö kunnostetussa Äyskoskessa. Vesihallituksen monistesarja 255, Kuopio. 18+3 s.
- Kondolf, G.M. 2000: Assessing salmonid spawning gravel quality. *Trans. Am. Fish. Soc.* 129: 262-281.
- Kondolf, G.M. & Wolman, M.G. 1993: The sizes of salmonid spawning gravels. *Water Resour. Res.* 29(7): 2275-2285.
- Kondolf, G.M., Sale, M.J. & Wolman, M.G. 1993: Modification of fluvial gravel size by spawning salmonids. *Water Resour. Res.* 29(7): 2265-2274.
- Kondolf, G.M., Cada, G.F., Sale, M.J. & Felando, T. 1991: Distribution and stability of potential salmonid spawning gravels in steep boulder-bed streams of the Eastern Sierra Nevada. *Trans. Am. Fish. Soc.* 120: 177-186.
- Korsu, K., Kiljunen, M., Karjalainen, J., Syrjänen, J. & Eloranta, A. 2001: Taimenen (*Salmo trutta*) ja harjuksen (*Thymallus thymallus*) mädin hautoutuminen Rautavaaran seudun happamissa joissa. Raporttiluonnos, Jyväskylän yliopisto & Keski-Suomen ympäristökeskus. 33 s.
- Kubin, E., Eskelinen, J., Välihalo, J. & Ylitölonen, A. 1997: Suojavyöhykkeet ja pintavalutus metsätalouden vesistövaikutusten torjunnassa, Mörkölän koekenttä. Loppuraportti. Metsäntutkimuslaitos & Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. 19 s.
- Kuusela, K., Paavola, R. & Tikkanen, P. 1992: Kutupaikan ominaisuuksista ja poikasten elinpaikan vaatimuksista lohella, taimenella ja vaellussiialla. Kirjallisuus selvitys, Oulun yliopisto. 28 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: 292-299.
- Lahti, M. 1999: Elinympäristömalli vesistöjen kunnostusten suunnittelussa. Tutkimusraportteja 2. Fortum Power and Heat oy, Teknologia, Vantaa. 105 + 48 s.
- Laine, A. & Heikkinen, K. 1991: Turvetuotannon kalastovaikutukset – kirjallisuus selvitys. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 82. 63 s.
- Laine, A., Heikkinen, K. & Sutela, T. 2001: Incubation success of brown trout (*Salmo trutta*) eggs in boreal humic rivers affected by peatland drainage. *Arch. Hydrobiol.* 150(2): 289-305.
- Lisle, T.E. 1989: Sediment transport and resulting deposition in spawning gravels, North Coastal California. *Water Resour. Res.* 25: 1303-1319.
- Lloyd, D.S. 1987: Turbidity as a water quality standard for salmonid habitats in Alaska. *N. Am. J. Fish. Mgt.* 7: 34-45.
- Louhi, P., Salmén, M., Paso, J., Laine, A., Heikkinen, K. & Mäki-Petäys, A. 2003: Kutupaikkojen liettyminen ja sen vaikutus mädin elossäilyvyyteen. Lohen lisääntymisedellytysten parantaminen pohjoisissa jokivesissä – yhteistutkimushankkeen loppuraportti 2003. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos ja Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu. 29 + 7 s.
- MacKenzie, C. & Moring, M.D. 1988: Estimating survival of Atlantic salmon during the intragravel period. *N. Am. J. Fish. Mgt.* 8: 45-49.
- Malavoi, J.R. & Souchon, Y. 1989: Methodologie de description et quatification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau a fond caillouteux: Example

- d'une station sur la Filliere (Haute-savoie). *Revue de Geographie de Lyon* 64: 252-259.
- Massa, F., Bagliniere, J.L., Prunet, P. & Grimaldi, C. 2000: Egg-to-fry survival of brown trout (*Salmo trutta*) and chemical environment in the redd. First meeting on Ichthyology in France, RIF 2000. Premieres Rencontres de l'Ichthyologie en France, RIF 2000, Societe francaise d'Ichthyologie, Paris (France), 2000, vol. 24, no. 3 S., pp. 129-140, Cybium. Paris.
- Milan, D.J., Petts, G.E. & Sambrook, H. 2000: Regional variations in the sediment structure of trout streams in southern England: benchmark data for siltation assessment and restoration. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 10: 407-420.
- Mills, D. 1989: *Ecology and Management of Atlantic Salmon*. Chapman and Hall, University Press, Cambridge. 336 p.
- Moir, H.J., Soulsby, C. & Youngson, A. 1998: Hydraulic and sedimentary characteristics of habitat utilized by Atlantic salmon for spawning in the Girnock Burn, Scotland. *Fish. Mgt. Ecol.* 5: 241-254.
- Mäki-Petäys, A., Erkinaro, J., Huusko, A. & Muotka, T. 2001: Seurantatutkimuksella uutta tietoa SAP-jokien elinympäristökunnostuksista. *Suomen Kalastuslehti* 108(8): 28-31.
- Newcombe, C.P., & Jensen, J.O.T. 1996: Channel suspended sediment and fisheries: A synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *N. Am. J. Fish. Mgt.* 13: 634-639.
- Niemelä, E., Mäkinen, T.S., Moen, K., Hassinen, E., Erkinaro, J., Lämsman, M. & Julkunen, M. 2000: Age, sex ratio and timing of the catch of kelts and ascending Atlantic salmon in the subarctic River Teno. *J. Fish Biol.* 56: 974-985.
- Nykänen, M. & Huusko, A. 2002: Suitability criteria for spawning habitat of riverine European grayling. *J. Fish Biol.* 60: 1351-1354.
- O'Connor, W.C.K. & Andrew, T.E. 1998: The effects of siltation on Atlantic salmon, *Salmo salar* L., embryos in the River Bush. *Fish. Mgt. Ecol.* 5: 393-401.
- Olsson, T.I. & Näslund, I. 1985: Effects of mire drainage and peat extraction on benthic invertebrates and fish. *International peat society symposium, Sweden, No. 17*: 147-152.
- Olsson, T.I. & 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: 9-14.
- Ottaway, E.M., Carling, P.A., Clarke, A. & Reader, N.A. 1981: Observations on the structure of brown trout, *Salmo trutta* Linnaeus, redds. *J. Fish Biol.* 19: 593-607.
- Pauwels, S.J. & Haines, T.A. 1994: Survival, hatching, and emergence success of Atlantic salmon eggs planted in three Maine streams. *N. Am. J. Fish. Mgt.* 14: 125-130.
- Peterson, R.H. 1978: Physical characteristics of Atlantic salmon spawning gravel in some New Brunswick streams. *Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* 785: iv + 28 p.
- Peterson, R.H. & Martin-Robichaud, D.J. 1986: Growth and major inorganic cation budgets of Atlantic salmon alevins at three ambient acidities. *Trans. Am. Fish. Soc.* 115: 220-226.
- Peterson, R.H., Spinney, H.C.E. & Sreedharan, A. 1977: Development of Atlantic salmon (*Salmo salar*) eggs and alevins under varied temperature regimes. *J. Fish. Res. Bd Can.* 34: 31-43.

- Rubin, J.-F. 1998: Survival and emergence pattern of sea trout fry in substrata of different compositions. *J. Fish Biol.* 53: 84-92.
- Rubin, J.F. & Glimsäter, C. 1996: Egg-to-fry survival of the sea trout in some streams of Gotland. *J. Fish Biol.* 48: 585-606.
- Saari, T. 1994: Atlantin lohen (*Salmo salar*) kutukuopan mikrohabitaatti. Erikoistumistyö, VKOL. 23 s.
- Salonen, H. 1995: Metsäojien perkauksen vesistövaikutukset Sorsuanojan-Yliojan alueella kesällä 1994. Loppuraportti. Pohjanmaan Tutkimuspalvelu. 15 s.
- Shirazi, M.A. & Seim, W.K. 1981: Stream system evaluation with emphasis on spawning habitat for salmonids. *Water Resour. Res.* 17: 592-594.
- Shirvell, C.S. & Dungey, R.G. 1983: Microhabitats chosen by brown trout for feeding and spawning in rivers. *Trans. Am. Fish. Soc.* 112: 355-367.
- Smith, A.K. 1973: Development and application of spawning velocity and depth criteria for Oregon salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 102: 312-316.
- Soulsby, C., Youngson, A.F., Moir, H.J. & Malcolm, I.A. 2001: Fine sediment influence on salmonid spawning habitat in a lowland agricultural stream: a preliminary assessment. *Sci. Total Env.* 265: 295-307.
- Sowden, T.R. & Power, G. 1985: Prediction of rainbow trout embryo survival in relation to groundwater seepage and particle size of spawning substrates. *Trans. Am. Fish. Soc.* 114: 804-812.
- Sutela, T., Yrjänä, T. & Huhta, P.-L. (toim.) 2002: Puron ja valuma-alueen kunnostus Lauttaojalla. Alueelliset ympäristöjulkaisut 284. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu. 71 s.
- Takkunen, T. 1993: Järvitaimenen (*Salmo trutta m. lacustris*) kutupesien lukumäärä ja kutuympäristö Rautalammin reitin koskilla vuosina 1986-1989. Teoksessa: Takkunen, T. 1997: Emotaimenten istutus ja järvitaimenen lisääntyminen Rautalammin reitillä. Lisensiaattitutkielma, Kuopion yliopisto, Soveltavan eläintieteen ja eläinlääketieteen laitos. 63 s.
- Takkunen, T. 1997: Emotaimenten istutus istutus ja järvitaimenen lisääntyminen Rautalammin reitillä. Lisensiaattitutkielma, Kuopion yliopisto, Soveltavan eläintieteen ja eläinlääketieteen laitos. 63 s.
- Tappel, P.D. & Bjornn, T.C. 1983: A new method of relating size of spawning gravel to salmonid embryo survival. *N. Am. J. Fish. Mgt.* 3: 123-135.
- Tuunainen, P., Vuorinen, P.J., Rask, M., Järvenpää, T., Vuorinen, M., Niemelä, E., Lappalainen, A., Peuranen, S. & Raitaniemi, J. 1991: Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin ja rapuihin. Loppuraportti. Suomen Kalatalous 57. 44 s.
- Tähtinen, Petri 1997: Taimenen (*Salmo trutta L.*) kutupaikan valinta Livojoen Kilsikoskella. Opinnäytetyö, Oulun yliopisto, Biologian laitos. 79 s.
- Vuorinen, P.J., Keinänen, M., Peuranen, S. & Tigersted, C 1998: Effects of iron, aluminium, dissolved humic material and acidity on grayling (*Thymallus thymallus*) in laboratory exposures, and a comparison of sensitivity with brown trout (*Salmo trutta*). *Boreal. Env. Res.* 3: 405-419.
- White, H.C. 1942: Atlantic salmon redds and artificial spawning beds. *J. Fish. Res. Bd Can.* 6(1): 37-44.
- Witzel, L.D. & MacCrimmon, H.R. 1983a: Redd-site selection by brook trout and brown trout in Southwestern Ontario streams. *Trans. Am. Fish. Soc.* 112: 760-771.

- Witzel, L.D. & MacCrimmon, H.R. 1983b: Embryo survival and alevin emergence of brook charr, *Salvelinus fontinalis*, and brown trout, *Salmo trutta*, relative to redd gravel composition. *Can. J. Zool.* 61: 1783-1792.
- Wood, P.J. & Armitage, P.D. 1997: Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environ. Mgt.* 21(2): 303-217.
- Wood, P.J. & Armitage, P.D. 1999: Sediment deposition in a small lowland stream – management implications. *Reg. Rivers: Res. & Mgt.* 15: 199-210.
- Yrjänä, T. 1992: Uittoväylien entisöintiin liittyvä koskien kunnostus Iijoen sivuve-sillä vuonna 1991. Raportti. Oulun vesi- ja ympäristöpiiri. 38 s.
- Yrjänä, T. (toim.) 1995: Entisten uittojokien kunnostaminen – esimerkkinä Iijoen vesistöalue. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 212. 84 s.
- Yrjänä, T. 1998: Virtavesikalojen elinympäristön parantaminen. Lisensiaattitut-kielma, Oulun yliopisto, Biologian laitos. 102 s.
- Yrjänä, T. 2002: Jokien kunnostaminen Suomessa ja muualla. *Vesitalous* 6: 13-16.

Pauliina Louhi ja Aki Mäki-Petäys

Elämää soraikon ulkopuolella ja sisällä - lohen ja taimenen kutupaikan valinta sekä mädin elinympäristövaatimukset

Tutkimusraportti

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Lohi- ja taimenkantojen heikentymisen keskeisenä ongelmana pidetään luontaisten lisääntymisedellytysten häviämistä. Viime vuosikymmeninä ongelmia on pyritty korjaamaan kalojen elinolojen parantamiseksi. Vaikka yleisesti ottaen jokikunnostuksien on todettu lisäävän virtavesien lohikaloille sopivaa elinalueita, lohikalojen kutupaikkavaatimuksiin liittyvä tutkimustieto on monilta osin vielä puutteellista. Tämä kirjallisuusselvitys kokoaa yhteen sovellettavissa olevan julkaistun tiedon lohen ja taimenen kutupaikan valinnasta sekä kutusoraikoissa hautoutuvien mätimunien elinympäristövaatimuksista.

Lohi ja taimen valitsevat kutupaikkansa yleensä virrannopeuden, syvyyden ja pohjan raekoon perusteella. Kutusoraikon sisäiset olosuhteet määräävät soraikossa hautoutuvan mädin eloonjäämismahdollisuudet. Soraikon sisäisen virtauksen tulee olla riittävä tuomaan kehittyvälle mädille happea ja poistamaan haitallisia aineenvaihduntatuotteita. Lisätietoa tarvitaan kuitenkin etenkin siitä, millaiset kutusoraikon sisäiset ja lähiympäristön ulkoiset ominaisuudet yhdessä takaavat mahdollisimman monta mätimunista kuoriutuvaa elinkykyistä poikasta.

lohikalat, kutupaikan valinta, mäti, elinympäristövaatimukset

Kalatutkimuksia Fiskundersökningar 191

951-776-419-7

0787-8478

23 s.

Suomi

8 €

Julkinen

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Asiakaspalvelu ja myynti
Pukimäenaukio 4, PL 6
00720 Helsinki
Puh. 0205 751 399 Faksi 0205 751 201
julkaisumyynti@rktl.fi

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 6
00721 Helsinki
Puh. 0205 7511 Fax 0205 751201

Utgivare

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet

Utgivningsdatum

September 2003

Författare

Pauliina Louhi och Aki Mäki-Petäys

*Publikationens namn***Livet utanför och inne i grusbädden – laxens och öringens val av lekplats och rommens krav på miljö***Typ av publikation*

Rapport

Uppdragsgivare

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet

*Datum för uppdragsgivandet**Projektman och -nummer**Referat*

Det centrala problemet då det gäller försvagningen av lax- och öringstammarna anses vara att de naturliga reproduktionsförutsättningarna gått förlorade. Under de senaste decennierna har man försökt komma till rätta med problemet genom att förbättra fiskens levnadsförhållanden. Trots att man allmänt taget kan konstatera att älvrestaureringarna ökat antalet lämpliga livsmiljöer i strömmande vatten, är informationen om forskningen gällande laxfiskarnas krav på lekplatser till många delar fortfarande bristfällig. Denna litteraturoversikt samlar den användbara information som publicerats om laxens och öringens val av lekplats samt de om de krav på miljö den rom som inkuberas i grusbäddarna har.

Lax och öring väljer i allmänhet sina lekplatser med utgångspunkt från strömhastighet, djup och gruskornens storlek på botten. Förhållandena inne i grusbäddarna är avgörande för rommens möjligheter att överleva under inkubationen. Strömmen inne i grusbädden måste vara tillräckligt stark för att föra in syre till rommen som håller på att utvecklas och för att avlägsna skadliga ämnesomsättningsprodukter. Kunskap krävs dessutom framförallt om vilka förutsättningar som måste finnas inne i grusbädden och i den närliggande yttre miljön för att de tillsammans skall kunna garantera att så många romkorn som möjligt kläcks till livsdugliga yngel.

Nyckelord

laxfiskar, val av lekplats, rommens miljökrav

Seriens namn och nummer

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar 191

ISBN

951-776-419-7

ISSN

0787-8478

Sidoantal

23 s.

Språk

Finska

Pris

8 €

Sekretessgrad

Offentlig

Försäljning

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet
Kundbetjäning och försäljning
Bocksbackaplanen 4, PB 6
00721 Helsingfors
Tel. 0205 751 399 Fax 0205 751 201
julkaisumyynti@rktl.fi

Förlag

Vilt- och fiskeriforskningsinstitutet
PB 6
00721 Helsingfors
Tel. 0205 7511 Fax 0205 751201

Published by

Finnish Game and Fisheries Research Institute

*Date of Publication*August 2003

*Author(s)*Pauliina Louhi and Aki Mäki-Petäys

*Title of Publication***Living outside and inside the gravel – the spawning habitat selection of Atlantic salmon and brown trout and the habitat requirements of intragravel embryos**

*Type of Publication**Commissioned by**Date of Research Contract*

Title and Number of Project

Abstract

The poor reproductive success of Atlantic salmon and brown trout is considered to be one of the main reasons for the decline in their native stocks. During recent decades, many enhancement projects have been launched to mitigate the problems of fish habitats. Although stream restorations have generally increased the amount of habitat suitable for salmonids, there is still little research into the spawning habitat requirements of salmonids. In this report, we gathered together the results of studies concerning the spawning habitat selection of salmon and trout and the intragravel requirements for incubated embryos.

The water velocity, depth, and substrate are often considered to be among the main factors for the spawning habitat selection of Atlantic salmon and brown trout. In spawning habitat, intragravel conditions mainly affect the survival of incubated eggs. The interstitial water flow through the gravel must be high enough to carry oxygen into developing eggs as well as to carry away waste. However, more information is needed to understand which characteristics near and inside the salmonid redds together ensure the highest amount of viable fry.

Key words

Series (key title and no.)

Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar 191

ISBN

951-776-419-7

*ISSN*0787-8478

Pages

23 p.

*Language**Price*

€ 8

*Confidentiality*Public

*Distributed by*Finnish Game and Fisheries Research Institute
Customer Service
P.O. Box 6
FIN-00721 Helsinki, Finland
Phone +358 205 751 399 Fax +358 205 751 201*Publisher*Finnish Game and Fisheries Research Institute
P.O.Box 6
FIN-00721 Helsinki, Finland
Phone +358 205 7511 Fax +358 205 751 201

KALATUTKIMUKSIA – FISKUNDERSÖKNINGAR

Aiemmin ilmestyneitä julkaisuja

190. MIKKOLA, J., YRJÖLÄ, R.

Suomalainen vapaa-ajankalastaja ja -kalastus vuosituhannen vaihtuessa. (Fritidsfiskaren och fritidsfisket i millennieskiftets Finland) (Finnish recreational fishermen and fishery at the turn of the century). Helsinki 2003.

189. LAUTALA, T.

Hybridisaatio taimenkantojen hoidossa – uhka vai oljenkorsi taimenen monimuotoisuudelle? (Hybridisering av öringstammarna - hot eller halmstrå för diversiteten?) (Hybridization in trout stock management – a threat, or an opportunity for trout diversity?). 21 s. Helsinki 2003.

187. TOIVONEN, A.-L., MIKKOLA, J., SALMI, P., SALMI, J.

Vapaa-ajankalastuksen monet merkitykset. (Det mångfacetterade fritidsfisket) (Multiple dimensions of recreational fisheries). 30 s. Helsinki 2003.

186. ERKINARO, J., MÄKI-PETÄYS, A., JUNTUNEN, K., ROMAkkANIEMI, A., JOKIKOKKO, E., IKONEN, E., HUHMARNIEMI, A.

Itämeren lohikantojen elvytysohjelma SAP vuosina 1997 – 2002. (Vitaliseringsprogrammet för laxstammarna i Östersjön SAP åren 1997-2002) (The Baltic Salmon Action Plan in Finland, 1997-2002). 31 s. Helsinki 2003.

185. KREIVI, P., SIIRA, A., IKONEN, E., SUURONEN, P., HELLE, E., RIIKONEN, R., LEHTONEN, E.

Hylkeen aiheuttamat saalistappiot ja pyydysvahingot lohirsäkalastuksessa vuonna 2001. (Fångstförluster och redskapsskador förorsakade av säl i fisket med laxryssjor år 2001) (Seal-induced damage to salmon trap net fishery in the year 2001). 20 s. Helsinki 2002.

184. SIIRA, A., IKONEN, E., SUURONEN, P., RIIKONEN, R., LEHTONEN, E.

Lohen eloonjäänti rysästä vapauttamisen jälkeen. (Laxarnas överlevnad sedan de släppts ur ryssjan) (Survival of trap net-caught and live-released salmon in the Gulf of Bothnia in Baltic Sea). 24 s. Helsinki 2002.

183.

Vesialueiden omistus ja alueellinen hallinnointi. Muje, K., Tonder, M. (toim.). (Vattenägande och regional förvaltning) (Ownership of water and regional management). 119 s. Helsinki 2002.

182.

Meritaimenen tila ja kalastus Pohjanlahden alueella. Kallio-Nyberg, I., Jutila, E. & Saura, A. (toim.). (Havsöringens tillstånd och havsöringsfisket i Bottniska viken) (The status and fishing of sea trout in the Gulf of Bothnia area). 69 s. Helsinki 2002.

181. ESKELINEN, P., PIIRONEN, J., PRIMMER, C.

Selviävätkö kaikki lohiperheet yhtä hyvin alkukasvatuksen aikana? (Klarar sig alla laxfamiljer lika bra i början av uppfödningen?) (Do all salmon families manage equally during the early culture stages?). 32 s. Helsinki 2002.

180. HUHMARNIEMI, A., ARONSUU, K.

Kalajoen vaellussiika – lisääntymisongelmia ja istukkaiden liikapyyntiä. (Vandringssiken i Kalajoki – reproduktionsproblem och en alltför intensivt fångst av utplanterad fisk) (Whitefish of the River Kalajoki – Problems with natural production and with overfishing of stocked fish). 32 s. Helsinki 2001.

179. NIVA T.

Perämeren ja sen jokien lohi-istutusten tuloksellisuus vuosina 1959-1999. (Utbytet av laxutsättningarna i Bottenviken och dess älvar åren 1959-1999) (Results of salmon smolt releases in the Bothnian Bay from 1959-1999). 67 s. Helsinki 2001.

178. PENNANEN, J. T.

Toutaimen istutukset ja niiden tulokset. (Utsättningar av asp och deras resultat) (Releases of asp and their results). 55 s. Helsinki 2001.

177. Paikallinen tieto, asiantuntijuus ja vuorovaikutus kalavesien hallinnassa. Salmi, P. (toim.)

(Lokal kunskap, sakkunskap och samverkan vid administration av fiskevatten) (Local knowledge, expert knowledge and communication in fisheries governance). 115 s. Helsinki 2001.

176. NIEMELÄ, E., ERKINARO, J., KYLMÄÄHO, M., JULKUNEN, M., MOEN, K.

Näätämojoen lohen poikastiheys ja kasvu. (Yngeltäthet och tillväxt hos laxen i Näätämojoki) (The density and growth of juvenile salmon in the River Näätämojoki). 27.s. Helsinki 2001.

175. SAURA, A.

Taimenkantojen tila Suomenlahden pohjoisrannikon joissa. (Öringsbeståndens tillstånd i åar och älvar längs Finska vikens norra kust) (Sea trout stocks in the rivers flowing from the northern coast into the Gulf of Finland). 48 s. Helsinki 2001.

174. KOIVURINTA, M., VÄHÄNÄKKI, P., SAURA, A.

Meritaimen ja sen kalastus itäisellä Suomenlahdella 1990-luvulla. (Havsöring och havsöringsfiske i östra Finska viken på 1990-talet) (Stocking results of sea trout in the eastern Gulf of Finland). 24 s. Helsinki 2001.

173. KALLIO-NYBERG, I., KOLJONEN, M.-L., JUTILA, E.

Taimenatlas. (Öringsatlas) (Atlas of brown trout stocks). 57 s. Helsinki 2001.

172. LÖNNSTRÖM, L.-G., RAHKONEN, R., GRÖNDAHL, A., PASTERNAK, M., LUNDÉN, T., KOSKELA, J., BYLUND, G.

Siian rokotus paisetautia ja vibrioosia vastaan. (Vaccinering av sik mot furunkulos och vibrios) (Vaccination against vibriosis and furunculosis in whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.)). 15 s. Helsinki 2001

171. KOSKELA, J., RAHKONEN, R., FORSMAN, L., NORRDAHL, O., LÖNNSTRÖM, L.-G.

Siika ruokakalanviljelyssä – kahden siikakannan ja kantaristeytymän vertailu. (Sik i matfiskodling – en jämförelse mellan två sikstammar och deras hybrider) (Whitefish in aquaculture: comparison of two stocks and their hybrids). 24 s. Helsinki 2001.

170. PARMANNE, R.

Silakan poikasten runsaus Suomen rannikolla vuosina 1974-1996. (Tätheten av strömmingsyngel vid Finlands kuster åren 1974-1996) (Abundance of Baltic herring larvae off the coast of Finland in 1974 – 1996). 44 s. Helsinki 2001.

169. MIKKOLA, J., LAAMANEN, M., JUTILA, E.

Kymijoen vaelluskalat ja kalastus 1990-luvulla. (Kymmene älvs vandringsfiskar och fisket under 1990-talet) (Migratory fish of the Kymijoki river and their fishing in the 1990s). 44 s. Helsinki 2000.

168. LAPPAINEN, A.

Sisävesikalastus muuttuvassa yhteiskunnassa. (Insjöfisket i ett föränderligt samhälle) (Inland Fishing in a Changing Society). 38 s. Helsinki 2000.

167. KOLARI, I., AUVINEN, H., HIRVONEN, E.

Kalastus Puruvedellä vuosina 1979-1995. (Fisket i Puruvesi åren 1979-1995) (Fishing in Lake Puruvesi in 1979-1995). 25 s. Helsinki 2000.

166. MÄKI-PETÄYS, A., HUUSKO, A., KREIVI, P.

Järvilohen poikasten elinympäristövaatimukset kesällä ja syksyllä. (Insjöaxnglens krav på sin livsmiljö under sommar och höst) (Summer and autumn habitat requirements and the habitat use of young landlocked salmon (*Salmo salar m. lacustris*)). 15 s. Helsinki 2000.

165. KEINÄNEN, M., TOLONEN, T., IKONEN, E., PARMANNE, R., TIGERSTEDT, C., RYTI LAHTI, J., SOIVIO, A., VUORINEN P.J.

Itämeren lohen lisääntymishäiriö – M74. (Östersjö laxens reproduktionsstörning – M74) (Reproduction disorder of Baltic salmon – M74). 38 s. Helsinki 2000.

164. KOIVURINTA, M., SYDÄNOJA, A., MARJOMÄKI, T., HELMINEN, H., VALKEAJÄRVI, P.

Taimenen ja järvilohen ravinto ja kasvu Puulassa, Päijänteessä, Konnevedessä ja Säskylän Pyhäjärvässä vuosina 1995-1996. (Öringens och insjö laxens föda och tillväxt i Puula, Päijänne, Konnevesi och Säskylä Pyhäjärvi åren 1995-1996) (Diet and growth of brown trout and landlocked salmon in lakes Puula, Päijänne, Konnevesi (central Finland) and Pyhäjärvi (SW Finland) from 1995-1996). 32 s. Helsinki 2000.

163. KOLARI, I., HIRVONEN, E., FRIMAN, T.

Nierriäistutusten tuloksellisuus Puruvedessä. (Utbytet av rödingsutsättningarna i Puruvesi) (The stocking results of Arctic charr in Lake Puruvesi). 42 s. Helsinki 1999.

162. Ahvenen ravinto Puruvedessä. Vuorimies, O. (toim.). (Abborrens föda i Puruvesi) (The food of perch in Lake Puruvesi). 44s. Helsinki 1999.

161. VALKEAJÄRVI, P.

Päijänteen säännöstelyn vaikutus siikakantaan. (Inverkan av Päijännes reglering på sikbeståndet) (Effect of water level regulation on the whitefish stock in Lake Päijänne). 34 s. Helsinki 1999.

160. SIIRA, A., HUUSKO, A., KORHONEN, P.

Taimenistutusten vaikutus vaikutus Kitkajärvien muikkukantaan ja kalansaaliiseen. (Inverkan av örngångsutsättningarna på beståndet av siklöja och på fiskfångsterna i Kitkajärvi-sjöarna) (Affects of stocking of Brown Trout on Vendace population and total catch of fish in Lake Kitkajärvi). 27 s. Helsinki 1999.

159. PARMANNE, R.

Silakan kudun ajoittuminen ja kutuparviin koostumus rysäkalastuksen perusteella. (Strömmingens lektider och de lekande stämmens sammansättning enligt ryssjefångster) (The spawning time and composition of spawning shoals according to trapnet fishing of Baltic herring). 41 s. Helsinki 1999.

158. MUTENIA, A., SALONEN, E., KOTAJÄRVI, M.

Lokan ja Porttipahdan vaellussiika – tekojärvien paikallinen arvokala. (Älvsiken i Lokka och Porttipahta - vattenmagasinens lokala värdefisk) (Whitefish: a Local Fish of Value in the Lokka and Porttipahta Reservoirs) 29. s. Helsinki 1999.

157. SAURA, A.

Taimenen säilyttäminen Gumbölenjoessa. (Åtgärder för att bevara öringen i Gumböleån) (Maintenance of the trout in the Gumbölenjoki River in Espoo). 19. s. Helsinki 1999.

156. NYKÄNEN, M., HUUSKO, A.

Harjuksen elinympäristövaatimukset virtavesissä - kirjallisuusselvitys. (Harrens miljökrav i rinnande vatten - litteraturundersökning) (Habitat requirements and habitat use of riverine European grayling (*Thymallus thymallus* (L.)) — a review). 23 s. Helsinki 1999.

155. Saimaan järvilohen elinolosuhteiden parantaminen. Makkonen, J. (toim.). (Hur kan förhållandena för insjöloxen i Saimen förbättras?) (Improving the living conditions for Saimaa landlocked salmon). 97 s. Helsinki 1999.

154. JUTILA, E., JOKIKOKKO, E., SALO, P.

Viehekalastuksen kehitys Simojoella - kalastus Simossa ja Ranualla 1994 -1997

(Utvecklingen av spöfisket i Simojoki - fisket i Simo och Ranua åren 1994 - 97) (Development of rod fishing in the Simojoki River: fishing in the municipalities of Simo and Ranua, 1994-1997). Helsinki 1999.

153. HEIKINHEIMO, O.

Siian kalastuksen säätely sisävesissä.

(Reglering av sikfisket i insjöområdet) (Management of the whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) fishery in inland waters). 26 s. Helsinki 1999.