

KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 387

*Juha Lilja
Erkki Jaala
Erkki Jokikokko
Atso Romakkaniemi*

**Simojoen nousulohien kaikuluotaustutkimukset
vuosina 2003 - 2005**

**Hydroacoustic assessment of salmon spawning migration
into the River Simojoki in 2003 - 2005**

Helsinki 2006

Juha Lilja, Erkki Jaala, Erkki Jokikokko ja Atso Romakkaniemi

Simojoen nousulohien kaikuluotaustutkimukset vuosina 2003–2005

Tutkimusraportti

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

EU-näytteenotto, vähimmäisohjelma sekä Itämeren lohi, Simojoki; tutkimukset 705009 ja 204023

Raportti esittelee Simojoen alajuoksulla vuosina 2003–2005 tehtyjen kaikuluotausten tuloksia Simojokeen nousevien lohimäärien arvioimiseksi. Menetelmänä käytettiin viistokaikuluotausta ja laitteistona digitaalista lohkoilakaikuluotainta. Luotain asennettiin vuosittain alkukesällä 4,5 kilometriä jokisuulta ylävirtaan joenkohtaan, missä vapaata jokiuomaa kavennettiin rantojen läheltä keskivirtaan ohjausaidoilla kalojen havainnoinnin helpottamiseksi. Luotausaineistoja kerättiin yhtäjaksoisesti vähintään heinäkuun puoliväliin saakka. Lohien erottamiseksi muista kalakohteista käytettiin –29dB:n kohdevoimakkuuden raja-arvoa. Tätä rajaa suuremmat kalat ovat teoreettisesti vähintään 63 sentin pituisia eli usean merivuoden ikäisten lohien kokoisia.

Vähintään –29dB:n kalakohteita vaelsi ylävirtaan luotainkeilojen kattamalla alueella noin 940, 680 ja 900 yksilöä vuosina 2003, 2004 ja 2005. Suurimmat nousukalamäärät havaittiin kesäkuun jälkimmäisellä puoliskolla. Alavirtaan meneviä suuria kaikukohteita havaittiin paljon vähemmän kuin ylävirtaan meneviä kohteita. Osa kaikukohteista saattoi olla edestakaisin luotauspaikan ohi liikkuvia lohia. 70%-80% ylävirtaan liikkuvista vähintään –29dB:n kalakohteista havaittiin luotainkeilan alemmalla puoliskolla eli lähellä joenpohjaa. Kaikuluotaimella saadut arviot nousulohien koosta eivät kaikilta osin sopineet emokala- ja jokipyynnistä saatuihin vastaaviin tietoihin.

Usean merivuoden lohien kokoa pienempiä kaloja havaittiin runsaasti kaikuluotaimella. Ylävirtaan vaeltaneiden pienempien kalakohteiden ajoittuminen oli samankaltainen kuin suuremmilla kohteilla.

Valittu kaikuluotauspaikka on akustisesti hyvä, mikä mahdollistaa hyvinkin pienten kalakohteiden havainnoinnin normaaleissa olosuhteissa. Toisaalta joenpohja ei ole riittävän tasainen, vaan kentäkokeissa havaittiin katvealueita lähellä pohjaa, missä kalat voivat vaeltaa luotauspaikan ohi tulematta havaituiksi. Lohien erottaminen muista kalalajeista pelkästään lohkoilakaikuluotaimen antamien kohdevoimakkuustietojen perusteella on epätarkkaa. Näiden ongelmien vuoksi kaikuluotaimella kerätyt tiedot Simojokeen nousevista lohimääristä ovat toistaiseksi indeksityyppisiä kertoen mm. vuosien välisistä suhteellisista vaihteluista ja nousun ajoittumisesta. Riittävän korkealla kohdevoimakkuuden raja-arvolla voidaan lisäksi antaa vähimmäisarvioita nousulohimääristä. Uudemman luotausteknologian käyttöönotto vanhan rinnalla saattaisi kuitenkin johtaa luotettaviin nousulohien kokonaisuusmäärien arvioihin.

Simojoki, lohi, kutuvaellukset, kaikuluotaus, kalakantojen arviointi, jokikalastus

Kala- ja riistaraportteja 387

951-776-535-5

1238-3325

24 s.

Suomi

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Oulun riistan- ja kalantutkimus
Atso Romakkaniemi
Puh. 0205 751 416

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 2
00791 Helsinki
Puh. 0205 7511 Faksi 0205 751 201

<http://www.rktl.fi/tutkimuslaitos/julkaisut> (pdf)

www.rktl.fi

Published by

Finnish Game and Fisheries Research Institute

Date of Publication

August 2006

Author(s)

Juha Lilja, Erkki Jaala, Erkki Jokikokko and Atso Romakkaniemi

*Title of Publication***Hydroacoustic assessment of salmon spawning migration into the River Simojoki in 2003–2005***Type of Publication*

Research report

Commissioned by

Finnish Game and Fisheries Research Institute

*Date of Research Contract**Title and Number of Project*

EU Data Collection (minimum programme) and Baltic salmon, Simojoki; projects 705009 and 204023

Abstract

The report presents the results of hydroacoustic studies on salmon upstream migration in the river Simojoki during the years 2003–2005. Digital split-beam techniques with horizontal echo sounding was applied. The echo sounder was annually mounted 4.5 km upstream from the estuary. At the site, weirs were extended from the river banks towards the main channel to guide upstream migrating fish into the echo sounder beams. Fish passage was monitored annually at least till the mid-July. A threshold target strength of -29 dB was used to distinguish multi-sea-winter salmon spawners (>63 cm total length) from other fish.

Total of 940, 680 and 900 targets of the size of at least -29 dB migrated upstream through the sounder beams during the years 2003, 2004 and 2005, respectively. Upstream migration was the most intense during the latter half of June. Much fewer targets were observed to move downstream than upstream. Some of these targets, however, may have been milling salmon. Upstream migration was bottom-oriented. The size distribution of salmon estimated by the echo sounder and by the estuary and river fishery did not fully correspond each other.

Numerous fish targets smaller than -29 dB were observed to move upstream. The timing of migration of these targets was fairly similar to the timing of salmon-sized targets.

The acoustic properties of the selected study site were good allowing detection of even small fish targets on their way through the sounder beams. However, the river bottom at the site is irregular, apparently allowing an unknown proportion of fish to pass the site outside the coverage of the echo sounder. Also the species differentiation based only on the echo sounder data is inaccurate. Therefore, the results serve mainly as indices of the magnitude of annual spawning migration, spawning run timing etc. Applying high enough threshold for species differentiation also results in minimum estimates of the size of the total spawning run. Appropriate estimates of the total size of the spawning run might be derived by introduction of newer echo sounding technology parallel to the older technology in the Simojoki.

Key word

River Simojoki, Atlantic salmon, spawning migration, hydroacoustics, target strength, stock assessment, river fishery

Series (key title and no.)

Kala- ja riistaraportteja 387

ISBN

951-776-535-5

ISSN

1238-3325

Pages

24 p.

Language

Finnish

*Price**Confidentiality*

Public

Distributed by

Finnish Game and Fisheries Research Institute
Oulu Game and Fisheries Research
Atso Romakkaniemi
Phone +358 205 751 416
atso.romakkaniemi@rktl.fi
<http://www.rktl.fi/tutkimuslaitos/julkaisut> (pdf)

Publisher

Finnish Game and Fisheries Research Institute
P.O. Box 2
FI-00791 Helsinki, Finland
Phone +358 205 7511 Fax +358 205 751 201

www.rktl.fi



**Simojoen luotauspaikka joen länsirannalta katsottuna,
ohjausaidat ja luotainanturit asennettuina.**

Kuva Atso Romakkaniemi

Sisällys

1. JOHDANTO.....	1
2. MENETELMÄT	2
2.1 Luotauspaikka ja seuranta-aika	2
2.2 Kaikuluotauslaitteisto	3
2.3 Kalan koon määrittäminen kaikuluotaimella	4
2.4 Nousun kokonaismäärän ja ajallisen jakautumisen laskeminen.....	5
2.5 Luotaustulosten ja lohisaaliin vertaaminen	7
3. TULOKSET	8
3.1 Nousukalojen kokonaismäärät	8
3.2 Nousukalamäärien, vedenkorkeuden ja veden lämpötilan ajallinen vaihtelu.....	9
3.3 Kalojen kohdevoimakkuusjakaumat ajan suhteen	11
3.3.1 Ylävirtaan uineet lohen kokoluokkaa olevat kalat ($TS \geq -29$ dB).....	11
3.3.2 Ylävirtaan uineet pienempää kokoluokkaa olevat kalat ($TS < -29$ dB).....	12
3.3.3 Alavirtaan uineet lohen kokoluokkaa olevat kalat ($TS \geq -29$)	13
3.4 Simojokisuun emolohipyynnin ja joen vapakalastuksen saalislohien koot verrattuna luotaimella havaittuihin kokojakaumiin	14
3.5 Kalat äänikeilassa ja äänikeilojen kattavuus	15
4. TULOSTEN TARKASTELU	18
4.1 Nousukalojen kokonaismäärät	18
4.2 Nousukalojen kokojakaumat	19
4.3 Luotauspaikan soveltuvuus	19
4.4 Luotauksen kehittämistarpeet ja -mahdollisuudet.....	20
KIITOKSET	22
6. KIRJALLISUUS	23

1. Johdanto

Kaikuluotaus soveltuu hyvin vedenalaisten eläinten kuvaamiseen ja tutkimiseen, sillä toisin kuin sähkömagneettinen säteily (esim. valo), ääniaallot kulkeutuvat vedessä pitkiäkin matkoja. Erityisesti kaikuluotausta käytetään pelagisten merikalojen ja meriäyriäisten tiheys- ja kanta-arvioissa. Jokeen kudulle nousevien emolohien lukumäärän laskeminen kiinteästi paikalleen asetetulla sivuttaissuuntaisella kaikuluotauksella on melko uusi menetelmä kalakantatutkimuksissa. Lohkokeilakaikuluotaimen (split-beam) tekninen kehittyminen 1990-luvun vaihteessa oli suuri edistysaskel tämän menetelmän kannalta. Kalojen kolmiulotteinen sijainti, liikesuunta ja nopeus voitiin nyt määrittää kalasta heijastuneiden kaikujen perusteella (Traynor ja Ehrenberg 1990, Ransom ym. 1998). Kaikuluotaus on myös valikoimaton menetelmä ja sillä pystytään keräämään aineistoa reaaliajassa. Kaloja ei tarvitse myöskään pyydystää, jolloin vältetään niiden mahdolliselta fyysiseltä vahingoittamiselta sekä niiden luontaisen nousuvietin häirinnältä.

Suomessa ensimmäiset vaeltavien kalojen kaikuluotaus tutkimukset jokiolosuhteissa tehtiin Oulujoella ja Paatsjoella 1990-luvun vaihteessa (single-beam tekniikka) (Hyvärinen ym. 1992, 1996). Tornionjoella aloitettiin 1990-luvun puolivälissä tutkimukset sivuttaissuuntaisen kaikuluotauksen mahdollisuuksista jokeen nousevien emolohien laskemisessa (Romakkaniemi ym. 1997, 2000, Lilja ja Romakkaniemi 2003). Simojoella lohien kutuvaellusta on seurattu lohkoikeilakaikuluotaimella vuosina 1998 – 1999 Nikkilänsuvannon alaosassa, noin 3 km jokisuulta (Jurvelius 1999). Nikkilänsuvanto oli akustisesti luotaukseen soveltuva, mutta joen pohjan muoto oli ongelmallinen. Kartoitusten perusteella kaikuluotaukseen soveltuvia paikkoja on Simojoen alaosassa arvioitu olevan 4-6 kpl (Atso Romakkaniemi, RKTL, suullinen tiedonanto). Kiinteästi paikalleen asennetussa, sivuttaissuuntaisessa kaikuluotauksessa on paikan valinnalla suuri merkitys. Hitaasti virtaava, tasaisesti syvenevä jokiuoma, jossa pohjamateriaali on heikosti ääntä heijastava, ovat joen tärkeimmät ominaisuudet luotauspaikkaa valittaessa (Ransom ym. 1998). Lisäksi kalojen tulisi aktiivisesti vaeltaa ylävirtaan luotauspaikan läpi, eikä esimerkiksi uida edestakaisin ylä- ja alavirtaan luotauslinjalla.

Simojoki on ainoa kokonaisuudessaan Suomen alueella vapaana virtaava jokivesistö, jossa on jäljellä joen oma luontaisesti lisääntyvä lohikanta. Pituutta Simojoella on noin 180 km, josta ensimmäiset 50 km jokisuulta ylävirtaan ovat pääasiallista lohien kutu-alueita. Tämä osuus Simojoesta on erittäin koskinen, vaikkakaan putoukset ei ole erityisen suuri. Simojoen vesi on humuspitoista ja siten väriltään hieman ruskeahkoa. Simojoki laskee Perämereen (65.5°N, 25°E) Pohjanlahden perukassa. Simojoen lohet, kuten muidenkin Perämereen laskevien lohijokien lohet, käyvät syönnösvaelluksellaan aina Itämeren päältä saakka ja palaavat sitten kutemaan 1–4 merivuoden jälkeen. Tavallisesti lohet nousevat Simojokeen kesä- heinäkuun aikana ja nousun huippu ajoittuu yleensä kesäkuun viimeiselle viikolle (Jokikokko ja Jutila 2005).

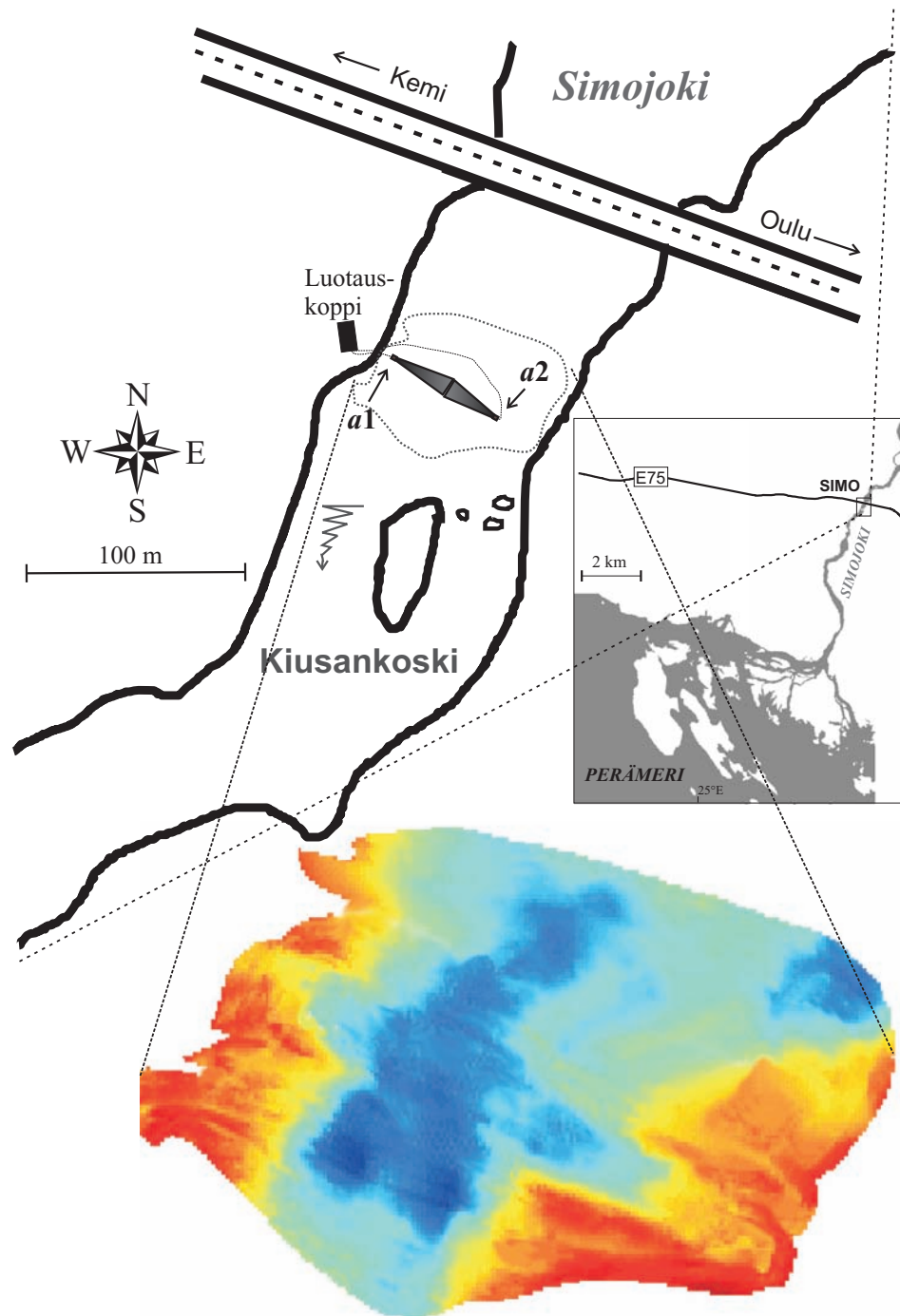
Tämän työn tarkoituksena oli tutkia valitun luotauspaikan soveltuvuus sivuttaissuuntaiselle kaikuluotaukselle sekä kehittää kaikuluotauksesta luotettava ja rutiini tutkimusmenetelmä Simojokeen nousevien emolohien lukumäärän laskemiseen. Luotaukset tehtiin kahdella anturilla otantatutkimuksena vuonna 2003 ja yhtäjaksoisena seuranta vuosina 2004 ja 2005. Saatua luotauksia verrattiin rysäpyynnillä jokisuusta saatuun lohisaaliisiin (Simojoen emolohipyynti) sekä kalastustiedustelulla arvioituun vapaa-ajankalastajien Simojoesta pyydystämään lohisaaliisiin.

2. Menetelmät

2.1 Luotauspaikka ja seuranta-aika

Aikaisempien kartoitusten sekä keväällä 2003 (22.–28.5.) tehtyjen koeluotausten perusteella luotauspaikaksi Simojoessa valittiin Kiusankosken niskan ylävirran puoleinen laminaarisen virtauksen alue (kuva 1). Paikka sijaitsee noin 4,5 km jokisuulta ylävirtaan. Joen leveys luotauslinjalla on noin 80 m. Joen pohja kartoitettiin maatumkalla 2003 sekä uudelleen keväällä 2004 *AquaticSonar* laajakulmaisella kaikuluotaimella. Kartoitusten perusteella valittiin värähtelijöiden (antureiden) tarkemmat paikat suhteessa joen poikkileikkaukseen. Kaikuluotainlaitteisto sijoitettiin luotauskoppisiin joen länsirannalle ja luotaimen kytketyt kaksi anturia molemmille puolille jokea siten, että anturien lähettämät äänikeilat oli suunnattu vaakatasossa joen keskiosaa kohti. Luotauspaikalla vedenlämpötila mitattiin automaattisella lämpötila-loggerilla, jonka mittaustiheydeksi oli säädetty 1 mittaus h^{-1} . Päivittäinen lämpötila-arvo oli tällöin saman vuorokauden tuntihavaintojen keskiarvo. Simojoen vedenkorkeusarvot saatiin Lapin ympäristökeskuksen mittauspisteestä 6400410, joka sijaitsi aivan luotauspaikan läheisyydessä. Kesän kuluessa vedenkorkeus joessa laski niin, että länsirannan anturia oli siirrettävä syvemmälle, noin 5 m keskiuomaa kohti. Itärannan anturi oli jo valmiiksi niin syvällä, ettei sitä tarvinnut siirtää. Simojoen keskivirtaama on noin $40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mutta virtaamat vaihtelevat voimakkaasti kesän säistä riippuen. Luotauslinjalla vedenvirtaus oli laminaarista, eikä ”akanvirtauksia” esiintynyt. Tällöin kaikkien ylävirtaan liikkuvien kohteiden oletettiin olevan kaloja, jotka aktiivisesti uimalla ohittivat luotauslinjan. Lisäksi molemmilla rannoilla käytettiin ohjausaitoja, jotta kalat saatiin ohjattua sopivalle etäisyydelle antureista sekä estettiin niiden uinti rannan ja anturin välillä. Äänikeilojen katvealueiden osuus pyrittiin arvioimaan vuonna 2004 tehdyillä keilakartoituksilla, jolloin äänikeilan alareunan ja pohjan välinen katvealue määritettiin molemmille keiloille erikseen.

Kaikuluotaukset aloitettiin joka vuosi niin aikaisin kuin mahdollista eli kun vedenkorkeus joessa oli laskenut niin alas että anturit voitiin asentaa niiden oikeille paikoille. Ensimmäisen seurantajakson (2003) alussa aikaa käytettiin luotaimen säätöjen ja antureiden paikkojen etsimiseen, joten yhtäjaksoinen seuranta aloitettiin vasta 10. kesäkuuta. Vuonna 2004 luotaukset aloitettiin jo 21.5. ja yhtäjaksoinen seuranta lopetettiin 14. heinakuuta, jolloin voimakas salama aiheutti laitteistorikon. Vuonna 2005 kaikuluotauksella toteutettu seurantajakso kesti ajallisesti edellisiä vuosia kauemmin. Kaikuluotaus aloitettiin länsipuolen anturilla 27. toukokuuta. Itäpuolen anturi liitettiin seurantaan 29.5. Kaikuluotaus lopetettiin 6. syyskuuta. Luotaimen toiminnassa oli pitempiaikainen katkos elokuun 28:sta päivästä eteenpäin. Tämän vuoksi tässä raportissa tarkastellaan luotautuloksia vuoden 2005 osalta pääasiassa kyseiseen päivään saakka.



Kuva 1. Kaikuluotauspaikan sijainti Simojoessa ($a1$ = länsirannan ja $a2$ = itärannan anturi). Kesäaikaan lähes kaikki vesi Kiusankoskessa virtaa länsirannan ja joen keskellä olevan saaren välistä. Luotauspaikan pohjakartassa (vuosien 2004-2005 tilanne) tummansininen kuvaa syvintä ja tummanpunainen matalinta aluetta.

2.2 Kaikuluotauslaitteisto

Tutkimuksessa käytettiin Hydroacoustic Technology, Inc. (HTI) Model 243 digitaalista lohkokoilakaikuluotainta (split-beam), johon oli kytketty kaksi elliptistä äänikeilaa

lähettävää anturia. Laitteistoon kuului myös luotainta ohjaava tietokone, oskilloskooppi ja digitaalinen kasettinauhuri. Anturit oli kiinnitetty rotaattoreihin, joilla äänikeilojen suuntaa voitiin kontrolloida luotauskopista. Luotaimen käyttämä äänitaajuus oli 200 kHz, äänipulsseja lähetettiin 6 s^{-1} vuonna 2003 ja 10 pulssia s^{-1} vuosina 2004 ja 2005 siten, että joka toinen pulssi itärannalta ja joka toinen vastaavasti länsirannalta. Antureiden lähettämien elliptisten äänikeilojen avautumiskulmat olivat horisontaalitasossa 10° ja vuonna 2003 vertikaalitasossa länsirannan anturilla (a_1) se oli $2,8^\circ$ ja itärannan anturilla (a_2) 4° . Vuonna 2004 ja 2005 molempien antureiden äänikeilat olivat $4^\circ \times 10^\circ$. Kaikuluotain oli toiminnassa 24 tuntia vuorokaudessa ja kertynyt kaikuaineisto tallentui luotainta ohjaavalle tietokoneelle siten, että jokaisen tunnin aineisto oli omana tiedostona. Aineistot siirrettiin päivittäin toiselle tietokoneella jälkikäsitteilyä varten.

Raaka-aineistosta kalakaiut etsittiin ja analysoitiin HTI EchoScape-ohjelmalla. Jokaisesta kalaksi hyväksytystä kohteesta (vähintään 5 kaikua/kala) tallentui taulukkoon kaiun ensimmäisen ja viimeisen numero, ensimmäisen kaiun aika (sekunnin tarkkuudella), kaikujen kokonaismäärä, ensimmäisen kaiun koordinaatit (x = horisontaalitasossa, y = vertikaalitasossa ja z = etäisyys anturista), ensimmäisen ja viimeisen kaiun väliset muutokset (x -, y - ja z -tasossa), uintinopeus, keskiarvo kohdevoimakkuushavainnoista, keskimääräinen poikkikeikkauspinta-ala ja kohdevoimakkuushavaintojen keskihajonta. Muutos x -tasossa kertoo kalan uintisuunnan (ylä- tai alavirtaan) ja poikkikeikkauspinta-alojen keskiarvo kalan koon.

2.3 Kalan koon määrittäminen kaikuluotaimella

Kaikuluotaimella kalan koko määritetään kalasta heijastuneen kaikuvoimakkuuden perusteella. Sivuttaissuuntaisessa kaikuluotauksessa kalan kyljet ovat anturin värähtelypinnan kanssa samassa tasossa. Tällöin kala on sivuaspektissa värähtelypintaan nähden ja kalasta mitattua kohdevoimakkuutta kutsutaan sivuaspektikohdevoimakkuudeksi (side-aspect target strength, TS). Äänikeilan läpi uineiden kalojen keskimääräiset kohdevoimakkuudet laskettiin akustisten poikkikeikkauspinta-alojen keskiarvoista (σ , backscattering cross-section) seuraavasti:

$$\overline{TS} = 10 \log_{10}(\overline{\sigma} / 4\pi) \text{ dB}, \quad (1)$$

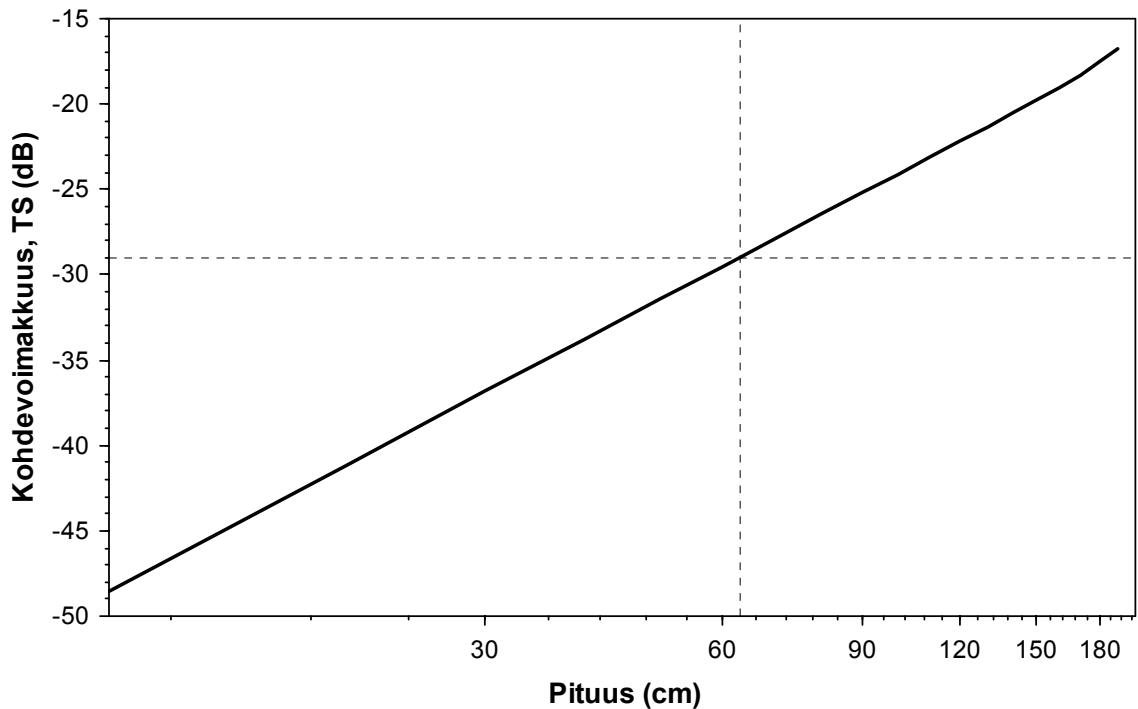
missä 4π on referenssipallon poikkikeikkauspinta-ala (säde 2 m $\rightarrow TS = 0$ dB) (MacLennan ja Simmonds 1992). Kalojen keskimääräiset kohdevoimakkuudet muutettiin kalan pituuksiksi koeolosuhteissa mitattujen uivien lohien kohdevoimakkuuden ja pituuden välisen riippuvuuden perusteella seuraavasti:

$$TS = 24,4 \log_{10}(L) - 72,9 \text{ dB} \quad (2)$$

jolloin

$$L = 10^{(TS+72,9)/24,4} \text{ cm}, \quad (3)$$

missä L on kalan pituus (cm) (Lilja ym. 2004). Tällöin kalan kohdevoimakkuus -29 dB vastaa pituutta 63 cm (kuva 2), mitä pidettiin myös raja-arvona eriteltäessä lohennokoiset kalat pienemmistä kaloista (Lilja 2004). Tämä laskennallinen pituusraja sisällyttää lohennokoisiin kaloihin kaikki useamman kuin yhden merivuoden lohett, mutta pudottaa niistä pois yhden merivuoden lohett eli ns. kossit. Jatkossa 'lohennokoisista kohteista' tai 'lohista' puhuttaessa tarkoitetaan siis käytännössä usean merivuoden lohien kokoisten kaikukohteiden tuottamia havaintoja, ellei toisin mainita.



Kuva 2. Lohen pituuden ja sivuaspekti-kohdevoimakkuuden (TS) välinen riippuvuus. Pystysuuntainen katkoviiva kuvaa lohen pituutta 63 cm, mikä vastaa kohdevoimakkuutta -29 dB.

2.4 Nousun kokonaismäärän ja ajallisen jakautumisen laskeminen

Kalojen nousujankohta luotauslinjalla tallentui luotaimelle reaaliajassa mutta pienimmäksi mittaustarkkuudeksi valittiin 1 tunti (kaloja h^{-1}). Vuonna 2003 anturit olivat toiminnassa siten, että ko. tunnin ensimmäinen puolituntia aineistoa kerättiin länsirannan anturilla ($a1$) ja itärannan anturi ($a2$) oli toiminnassa jälkimmäisen puolituntia. Tällöin kummankin anturin keräämä aineisto laajennettiin kattamaan koko tunti seuraavasti (Eggers ym. 1995):

$$\hat{y}_{a1j} = \frac{60}{t_{a1j}} c_{a1j}, \quad (4)$$

missä \hat{y}_{a1j} on laajennettu kalamäärä länsirannan anturilla ($a1$) tuntina j ja c_{a1j} on havaittu kalamäärä kyseisellä anturilla $a1$ tuntina j sekä t_{a1j} on anturin $a1$ toiminta aika minuutteina tuntina j . Tällöin laajennettu nousukalamäärä vuorokaudessa i on (\hat{y}_i) summa molempien antureiden tuntikohtaisista laajennetuista kalamääristä.

$$\hat{y}_i = \sum_{j=1}^{24} (\hat{y}_{a1j} + \hat{y}_{a2j}), \quad (5)$$

Vuonna 2004 ja 2005 molemmat anturit keräsivät aineistoa yhtäaikaaisesti, jolloin edellä kuvattu laajennuskerroin ($60/t_{a1j}$) oli 1 eikä laajennuksesta aiheutuvaa epävarmuutta syntynyt (kaava 15). Jos toinen anturi oli poissa toiminnasta kokonaisen tunnin, aineisto paikattiin (imputoitiiin) käyttämällä hyväksi vastapuolen anturin havaitsemia kalamääriä kyseisenä tuntina. Tätä varten laskettiin suhde-estimaattorit \hat{r}_{a1} ja \hat{r}_{a2} (Cochran 1977), joiden avulla vastarannan puuttuva aineisto paikattiin.

$$\hat{r}_{a1} = \frac{\sum_{j=1}^{n_1} \hat{y}_{a1j}}{\sum_{j=1}^{n_1} \hat{y}_{a2j}} \quad (6)$$

ja

$$\hat{r}_{a2} = \frac{1}{\hat{r}_{a1}} \quad (7)$$

missä n_1 on niiden tuntien lukumäärä, jolloin molemmat anturit olivat toiminnassa yhtä monta minuuttia ja joita käytettiin suhde-estimaattorien laskentaan. Suhde-estimaattorit luonnollisesti muuttuivat aineiston lisääntyessä. Puuttuvien tuntien imputoinnissa käytettiin koko aineistosta laskettuja suhde-estimaattoreita (Eggers ym. 1995). Tällöin imputoitu kalamäärä esimerkiksi anturille $a1$, sen ollessa pois päältä tunti m , on $a1$:n suhde-estimaattori (\hat{r}_{a1}) kerrottuna $a2$:n laajennetulla kyseisen tunnin m kalamäärällä (\hat{y}_{a2m}).

$$\hat{y}_{a1m} = \hat{r}_{a1} \hat{y}_{a2m} \quad (8)$$

Tilanteessa, jossa molemmat anturit olivat poissa toiminnasta saman tunnin (esim. sähkökatkos), laskettiin vuorokausikohtainen arvio (\hat{d}_i) ylävirtaan vaeltavista kaloista käyttäen apuna kyseisen vuorokauden aikana havaittuja kalamääriä.

$$\hat{d}_i = \frac{1440}{t_{a1i} + t_{a2i}} (c_{a1i} + c_{a2i}), \quad (9)$$

missä t_{a1i} ja t_{a2i} ovat antureiden $a1$ ja $a2$ luotausajat minuutteina vuorokautena i , jolloin c_{a1i} ja c_{a2i} ovat antureilla havaitut kalamäärät vastaavana vuorokautena i .

Äänikeilojen alueilta ylävirtaan uivien kalojen kokonaismäärä (Y) saadaan laskemalla yhteen laajennetut kalamäärät tunnissa (Y_h), imputoidut kalamäärät (X_{a1} ja X_{a2}) ja puuttuvia tunteja sisältävät päivät (D), jolloin

$$\hat{Y} = \hat{Y}_h + \hat{X}_{a1} + \hat{X}_{a2} + \hat{D} \quad (10)$$

missä

$$\hat{Y}_h = \sum_{i=1}^N \hat{y}_i \quad (11)$$

$$\hat{X}_{a1} = \hat{R}_{a1} \sum_{m=1}^{M_{a1}} \hat{y}_{a2m} \quad (12)$$

$$\hat{X}_{a2} = \hat{R}_{a2} \sum_{m=1}^{M_{a2}} \hat{y}_{a1m} \quad (13)$$

ja

$$\hat{D} = \sum_{i=1}^N \hat{d}_i \quad (14)$$

missä N on seuranta päivien lukumäärä, \hat{X}_{a1} ja \hat{X}_{a2} puuttuvien tuntien imputoidut kalamäärät, \hat{R}_{a1} ja \hat{R}_{a2} suhde-estimaattorit koko seurantajaksoilta sekä M_{a1} ja M_{a2} imputoitujen tuntien lukumäärä antureille $a1$ ja $a2$.

Edellä kuvatussa otanta-asetelmassa on kolme tunnistettavaa epävarmuuslähdettä. Ensiksi kesän 2003 aineistossa laajennuksesta aiheutuva virhevarianssi, joka syntyy kun 30 min aikana havaitut kalamäärät laajennetaan koskemaan koko tunnin aikana nousseita kaloja. Toiseksi imputoinnista johtuva virhe, kun puuttuvia aineistoja paikataan vastarannalta havaituilla kalamäärillä ja kolmanneksi puuttuvia tunteja sisältävien päivien estimoinnista aiheutuva epävarmuus. Laajennuksesta aiheutuva varianssi laskettiin systemaattisen otannan kokonaissumman varianssiestimaattorilla, kun kyseessä on kaksi rinnakkaista otosta:

$$Var(\hat{y}_h) = (N_h - n_{a1} - n_{a2})^2 \left(\frac{1 - f_h}{N_h} \right) \sum_{j=2}^{N_h} \frac{(\hat{y}_j - \hat{y}_{j-1})^2}{2(N_h - 1)} \quad (15)$$

missä \hat{y}_j on laajennettu nousukalojen lukumäärä molemmille antureille tuntina j , N_h on seurantajakson tuntien lukumäärä ja $(1 - f_h)$ on perusjoukon äärellisyydestä johtuva korjauskerroin, jonka vaikutus korostuu otantasuhteen kasvaessa (Pahkinen ja Lehtonen 1989). Imputoinnista aiheutuva virhevarianssi laskettiin molemmille antureille erikseen, joten esim. länsirannan anturille ($a1$) varianssiestimaattori oli

$$Var(\hat{x}_{a1}) = (n_1 + n_{a1})^2 (1 - f_{a1}) \frac{\sum_{m=1}^{n_1} (\hat{y}_{a1j} - \hat{r}_{a1} \hat{y}_{a2m})^2}{n_1(n_1 - 1)} \quad (16)$$

missä n_{a1} on niiden tuntien lukumäärä, jolloin länsirannan anturi ei ollut toiminnassa, $(1 - f_{a1})$ on perusjoukon äärellisyydestä johtuva korjauskerroin, missä f_{a1} on $n_1/(n_1+n_{a1})$. Tällöin estimoitu virhevarianssi nousukalojen kokonaismäärälle on em. varianssikomponenttien summa

$$Var(\hat{Y}) = Var(\hat{y}_h) + Var(\hat{x}_{a1}) + Var(\hat{x}_{a2}) \quad (17)$$

2.5 Luotaustulosten ja lohisaaliin vertaaminen

Vuosittaista kaikuluotaimella havaittua nousulohien kokonaismäärää verrattiin kalastustiedustelulla laskettuun vapaa-ajankalastajien joesta pyydystämään lohien kokonaissaaliiseen, sikäli kun saalis oli tiedossa. Simojoen emolohipyynnin yhteydessä saatujen lohien pituusluokkajakauma muutettiin kohdevoimakkuusjakaumaksi (kaava 2) ja saatuja arvoja verrattiin kaikuluotaimella havaittuihin nousukalojen kohdevoimakkuusarvoihin. Vertailtavuuden vuoksi luotaustuloksista valittiin sama ajanjakso kuin mitä rysä oli ollut pyynnissä. Kalastustiedustelun tuloksista saatua Simojoen saalislohien vuosittaista keskikokoa (kaavalla 2 kohdevoimakkuudeksi muutettuna) verrattiin luotaimella havaittujen vähintään -30 dB:n kaikukohteiden vuosittaiseen kohdevoimakkuuden keskiarvoon. Vertailua varten kalastustiedustelun antamat keskipainot piti muuntaa keskipituuksiksi massa-pituus regressiolla. Regression muodostamisessa käytettiin Tornionjoelta viimeisen kymmenen vuoden aikana kerättyjä saalisnäytteitä:

$$y = 249,01Ln(x) - 1290,7 \quad (18)$$

missä y on pituus millimetreinä ja x on paino grammoina.

3. Tulokset

3.1 Nousukalojen kokonaismäärät

Vuonna 2003 nousukalojen seuranta aloitettiin 10. kesäkuuta klo 17:00. Ensimmäiset 23 tuntia aineistoa kerättiin ainoastaan länsirannan anturilla (a1) ja 11. kesäkuuta klo 16:00 lähtien kahdella anturilla molemmilta rannoilta. Ensimmäiset ylävirtaan uineet, lohien kokoluokkaa ($TS \geq -29$ dB) olevat kalat, havaittiin jo ensimmäisen vuorokauden aikana. Vuonna 2003 kaiken kaikkiaan seurantajakson aikana arvioitiin luotauspaikan ohittaneen äänikeilojen kattamalta alueelta noin 940 lohta (Taulukko 1). Ylävirtaan uineita kaloja, jotka olivat kokoluokaltaan pienempiä kuin lohet ($TS < -29$ dB), arvioitiin olevan noin 1000 kpl. Vapaa-ajankalastajien kokonaissaalis oli vuonna 2003 noin 1000 kg ja lohien keskipaino oli 3,7 kg, joten lohia saatiin yhteensä noin 270 kappaletta.

Vuonna 2004 kaikuluotaukset aloitettiin jo 21. toukokuuta klo 18:00 ja ensimmäiset ylävirtaan vaeltaneet lohenkokoiset kalat havaittiin jo seuraavan yön aikana. Veden lämpötila oli tuolloin vielä alle 10 °C ja vedenkorkeuskin noin 90 cm. Ensimmäiset puolitoista viikkoa vain länsirannan anturi oli toiminnassa, jonka jälkeen aineistoa kerättiin molemmilla antureilla samanaikaisesti. Koko seurantajakson aikana arvioitiin äänikeilojen kattamalta alueelta nousseen 680 lohta ($TS \geq -29$ dB), mikä oli noin 30 % vähemmän kuin vuotta aikaisemmin (Taulukko 1). Myös vapaa-ajankalastajien lohisaaalis oli vuonna 2004 selvästi pienempi kuin mitä se oli vuotta aikaisemmin. Lohisaaaliin arvioitiin vuonna 2004 olleen noin 550 kg ja keskipainon 4,6 kg, joten lohia saatiin yhteensä noin 120 kappaletta.

Vuonna 2005 nousukalojen seuranta aloitettiin 27. toukokuuta klo 18:00. Ensimmäiset 41 tuntia aineistoa kerättiin ainoastaan länsirannan anturilla. Aineiston keruu kahdella anturilla alkoi 29. toukokuuta klo 11:00. Aineiston keruu lopetettiin 6. syyskuuta klo 11:00. Tarkkailujakson aikana vuonna 2005 arvioitiin äänikeilojen kattamalta alueelta luotauspaikan ohittaneita ylävirtaan uineita lohia ($TS \geq -29$ dB) olleen noin 900 kpl (Taulukko 1). Ylävirtaan uineita kaloja, jotka olivat kokoluokaltaan pienempiä kuin lohet ($TS < -29$ dB) ohitti luotauspaikan n. 2500 kpl. Pienien kalojen osuus kasvoi selvästi kahteen edelliseen vuoteen verrattuna. Usean merivuoden lohien lukumäärä oli kuitenkin samalla tasolla kuin vuonna 2003. Vapaa-ajankalastajien kokonaislohisaaalis vuodelta 2005 ei ollut vielä tiedossa mutta 50 lohien keskipaino oli noin 6 kg.

Taulukko 1. Simojoen kaikuluotauspaikan ohittaneiden lohenkokoisten (kohdevoimakkuus, $TS \geq -29$ dB) nousukalojen lukumäärät vuosina 2003 – 2005. Lisäksi myös 1 dB pienemmät ja kaikki havaitut ylävirtaan nousseet kalat sekä vapaa-ajankalastajien kokonaislohisaaalis kiloina ja kappaleina. Suluissa otannasta ja aineiston imputoinnista lasketut 95 %:n luottamusvälit nousukalamäärille. Vuonna 2005 em. virhelähteiden osuus oli niin pieni ettei luottamusvälejä laskettu.

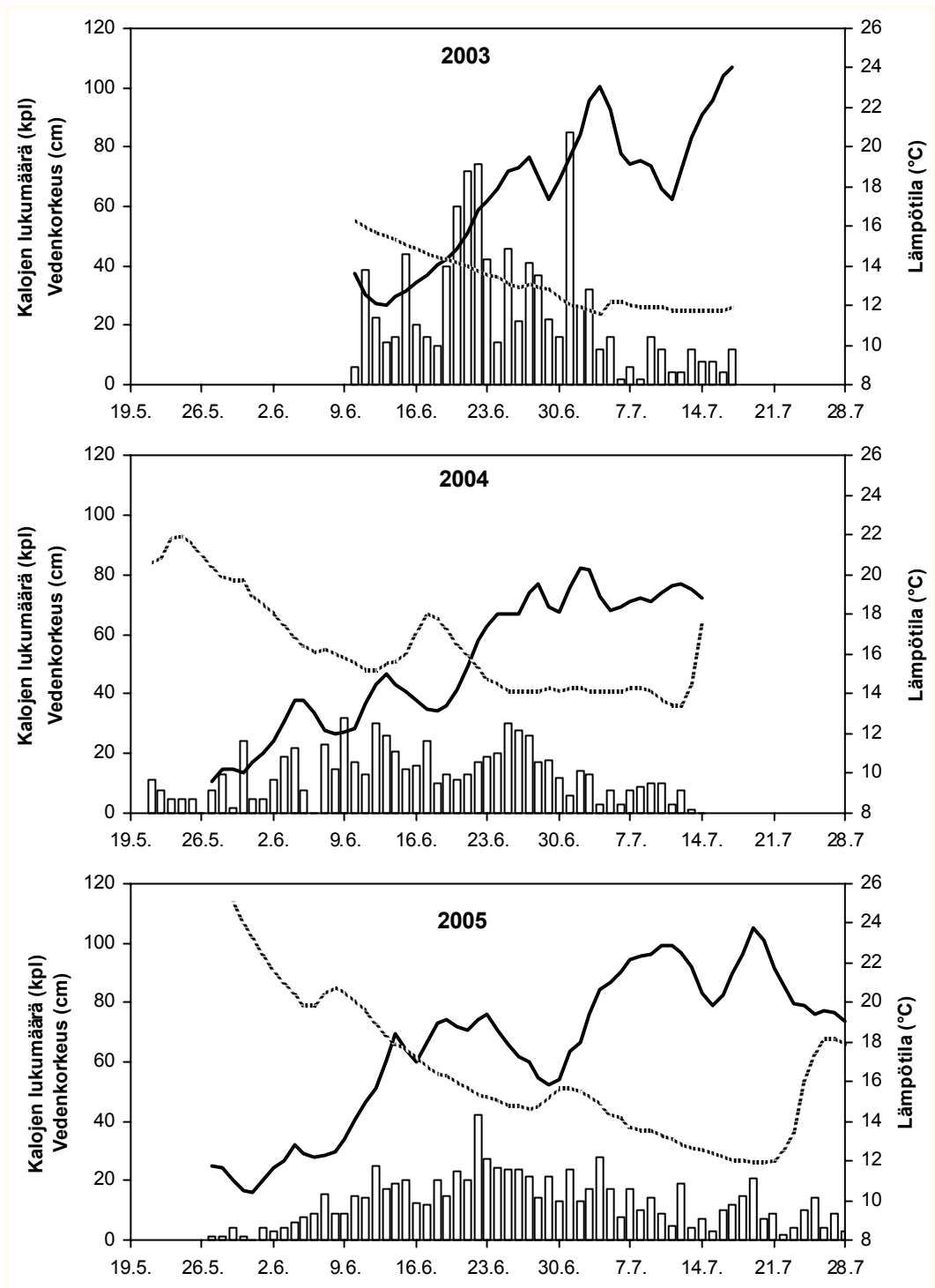
Vuosi	$TS \geq -29$ dB (kpl)	$TS \geq -30$ dB (kpl)	Kaikki (kpl)	Lohisaaalis (kg / kpl)
2003	936 (± 69)	1128 (± 70)	1947	995 / 269
2004	680 (± 58)	870 (± 72)	1805	558 / 121
2005	898	1089	3466	

3.2 Nousukalamäärien, vedenkorkeuden ja veden lämpötilan ajallinen vaihtelu

Vuosi 2003: Päivittäisiä kalamääriä tarkastelemalla havaitaan, että kalojen nousu oli runsaslukuisinta 1. heinäkuuta, jolloin yhden vuorokauden aikana ylävirtaan vaelsi 85 lohenkokoista kalaa (kuva 3). Kaksi päivää ennen ja jälkeen juhannuspäivän kaloja oli liikkeellä myös runsaasti, sillä 19.–23. kesäkuuta laskettiin noin 30 % koko seurantajakson lohenkokoisista kaloista siirtyneen ylävirtaan luotauslinjan ohi. Heinäkuun alkupäiviin mennessä oli 87 % lohenkokoisista kaloista ohittanut luotauspaikan, minkä jälkeen kalamäärät vähenivät ja pysyivät alhaisina aina seurantajakson loppuun saakka. Aineiston keruu lopetettiin 17. heinäkuuta klo 16:00, joten seurantajakson kokonaispituus oli noin 890 tuntia. Vedenkorkeus laski Simojoessa lähes koko seurantajakson ajan. Vedenkorkeuden ja nousukalamäärien välillä ei havaittu tilastollista riippuvuutta. Vedenlämpötila joessa alkoi nousta kesäkuun puolivälin (13.6) jälkeen ja nousi melko tasaisesti aina heinäkuun alkupäiviin saakka saavuttaen tällöin 23 °C lämpötilan. Seurantajakson lopussa lämpötila oli 24 °C.

Vuosi 2004: Aikaisesta aloitusajankohdasta huolimatta lohenkokoisia nousukaloja oli liikkeellä jo ensimmäisestä seurantavuorokaudesta lähtien. Kalamäärät pysyttelivät kuitenkin alhaisella tasolla koko seurantajakson ajan ja parhaimpanakin vuorokautena (9. kesäkuuta) havaittiin vain 32 lohenkokoista nousukalaa (kuva 3). Välillä 7.-30. kesäkuuta nousevia lohia havaittiin tasaisesti noin 10 – 30 kpl vuorokaudessa. Tämän jälkeen kalamäärät laskivat alle 10 kpl vuorokaudessa ja pysyttelivät alhaisella tasolla aina seurantajakson loppuun saakka. Vesi joessa oli korkeimmillaan muutama päivä luotauksen aloituksen jälkeen, mutta laski sitten tasaisesti aina kesäkuun puoliväliin saakka, jolloin sateet saivat vedenkorkeuden nousemaan. Tällöin veden lämpötila myös laski noin 2 °C. Seurantajakson lopussa vedenkorkeus nousi nopeasti noin 30 cm voimakkaiden ukkoskuurojen seurauksena, jotka vioittivat myös luotauslaitteistoa. Aineiston keruu lopetettiin 13. heinäkuuta.

Vuosi 2005: Ensimmäiset ylävirtaan uineet lohen kokoluokkaa olevat kalat havaittiin jo ensimmäisen seurantavuorokauden aikana. Runsaslukuisinta nousu oli juhannusviikolla, jolloin n. 20 % (186 kpl) koko seurantajakson lohista ohitti luotauslinjan. Yksittäisiä päiviä tarkasteltaessa huomataan, että vilkkainta lohennousu oli 22. kesäkuuta, jolloin luotauslinjan ohitti 42 lohta (kuva 3). Lohien nousua kesti runsaslukuisena heinäkuun 19. päivään saakka, jonka jälkeen nousevien lohien määrät alkoivat laskea ja pysyivät alhaisina aina seurantajakson loppuun saakka. Vedenkorkeus laski Simojoessa heinäkuun 20. päivään saakka, jonka jälkeen vedenpinta nousi runsaista sateista johtuen 42 cm viidessä päivässä. Kesäkuun alkupuolen lämpimät säät nostivat Simojoen veden lämpötilan nopeasti yli 18 °C, jonka jälkeen se pysyi melko korkealla tasolla lähes elokuun loppuun saakka.



Kuva 3. Kaikuluotaimella lasketut päivittäiset nousukalamäärät ($TS \geq -29$ dB, pylväät), jokiveden lämpötilan vuorokausikeskiarvo luotauspaikalla (—) ja vedenkorkeus (---) Simojoessa vuosina 2003, 2004 ja 2005. Seurantajakson aloitusajankohta ja pituus vaihtelevat vuosien välillä. Vuoden 2005 aineisto on katkaistu 28. elokuuta, jonka jälkeen havaittiin vain muutama lohenko-koinen nousukala (katso taulukko 2).

3.3 Kalojen kohdevoimakkuusjakaumat ajan suhteen

3.3.1 Ylävirtaan uineet lohen kokoluokkaa olevat kalat ($TS \geq -29$ dB)

Vuosi 2003: Seurantajakso alkoi myöhemmin kuin vuosina 2004 ja 2005. Simojokeen nousi heinäkuun puoleen väliin mennessä yli 900 lohta. Kokoluokkiin jaotelluista lohista kappalemääräisesti eniten kuului luokkaan > -27 dB ja ≤ -26 dB (76,2- 83,6 cm). Nousulohet jakaantuivat melko tasaisesti eri kokoluokkiin ja suurimmankin kokoluokan > -23 dB (>101 cm) lohia oli 144 kpl. Lohien nousu jokeen oli vilkkainta kesäkuun loppupuolella (taulukko 2).

Vuosi 2004: Lukumääräisesti eniten Simojokeen nousi lohia, jotka kuuluivat kohdevoimakkuusluokkiin ≥ -29 dB ja ≤ -28 dB (63,0- 69,2 cm) ja > -28 dB ja ≤ -27 dB (69,3- 76,1 cm). Nousulohien kappalemäärät vähenivät suurempiin kokoluokkiin siirtäessä. Lohien nousu oli vilkkainta kesäkuussa.

Vuosi 2005: Myös vuonna 2005 lukumääräisesti eniten jokeen nousi lohia, jotka kuuluivat kohdevoimakkuusluokkiin ≥ -29 dB ja ≤ -28 dB sekä > -28 dB ja ≤ -27 dB. Näiden kahden kokoluokan lohia oli yli 50 % kaikkien nousseiden lohien lukumäärästä. Kokoluokkien > -27 dB ja ≤ -26 dB ja > -26 dB ja ≤ -25 dB (83,7- 91,9 cm) osuus kaikista nousseista lohista oli 33 %. Kohdevoimakkuuden perusteella suurimpiin luokkiin, > -25 dB ja ≤ -24 dB (92,0- 100,9 cm) ja > -23 dB, kuuluneita lohia oli yhteensä 93 kpl. Eri kokoisten lohien nousussa ei ole havaittavissa ajallisia poikkeavuuksia. Erittäin kookkaiden yksilöiden nousun huippu ajoittui kesäkuun kahdelle viimeiselle viikolle. Samalle ajankohdalle ajoittui myös pienempien lohien nousun huippu.

Taulukko 2. Kaikuluotaimella havaittujen ylävirtaan uineiden lohien kappa-lemääräiset kohdevoimakkuusjakaumat (dB) vuosina 2003-2005.

Pvm.	TS						yht.
	≥-29≤-28	>-28≤-27	>-27≤-26	>-26≤-25	>-25≤-24	>-24	
2003							
10.-15.6.	24	24	26	16	18	33	141
16.-30.6.	109	101	117	72	52	83	534
1.-17.7.	64	29	56	44	40	28	261
2004							
21.-31.5.	7	21	21	8	8	10	75
1.-15.6.	66	48	40	36	22	25	237
16.-30.6.	62	57	61	38	27	29	274
1.-14.7.	27	22	21	13	8	4	95
2005							
27.-31.5.	1	1	2	0	1	0	5
1.-15.6.	44	45	37	22	14	15	177
16.-30.6.	91	98	55	40	10	19	313
1.-15.7.	52	52	43	29	13	5	194
16.-31.7.	45	28	24	18	4	3	122
1.-15.8.	7	13	7	7	6	2	42
15.-22.8.	2	3	0	3	0	1	9

3.3.2 Ylävirtaan uineet pienempää kokoluokkaa olevat kalat (TS < -29 dB)

Vuosi 2003: Suurin osa lohta pienemmistä ylöspäin uineista kaloista kuului kohdevoimakkuusluokkaan ≤ -33 dB (taulukko 3). Kalojen nousun ajallinen jakautuminen noudatti melko tarkkaan lohien nousun ajankohtaa ja suurin osa ylöspäin menneistä kaloista ohitti luotauspisteen kesäkuun loppupuolella.

Vuosi 2004: Vuonna 2004 lohta pienempien kalojen nousu luotauslinja läpi oli vilkkainta kesäkuun alkupuolella. Kesäkuun loppupuolella kaloja nousi Simojokeen huomattavasti vähemmän kuin vuosina 2003 ja 2005. Suurin osa kaloista kuului kokoluokkaan ≤ -33 dB.

Vuosi 2005: Jokeen nousseiden kalojen määrä kasvoi pienempiin kohdevoimakkuusluokkiin päin mentäessä. Kohdevoimakkuusarvoa -29 dB pienempien kalojen jokeen nousun ajoittuminen ajan suhteen on samankaltainen kuin suuremmilla (TS ≥ -29 dB) kaloilla. Nousu alkoi vilkkaana kesäkuun alussa ja päättyi heinäkuun loppuun mennessä. Ylävirtaan nousu oli vilkkainta kesäkuun loppupuolella, jolloin kaloja nousi jokeen huomattavasti enemmän kuin vuosina 2003 ja 2004.

Taulukko 3. Kaikuluotaimella havaittujen ylävirtaan uineiden pienempien kalojen kappalemääräiset kohdevoimakkuusjakaumat (dB) vuosina 2003-2005.

Pvm.			TS			yht.
			≤-33	≤-32>-33		
2003						
10.-15.6.	19	19	16	12	9	75
16.-30.6.	248	94	78	100	105	625
1.-17.7.	71	55	51	56	78	311
2004						
21.-31.5.	42	57	56	49	51	255
1.-15.6.	135	93	107	78	73	486
16.-30.6.	26	29	24	57	47	183
1.-14.7.	72	36	39	37	16	200
2005						
27.-31.5.	3	2	1	1	0	7
1.-15.6.	198	119	79	40	39	475
16.-30.6.	491	296	195	101	94	1177
1.-15.7.	202	118	84	34	50	488
16.-31.7.	148	88	60	28	32	356
1.-15.8.	9	12	8	15	7	51
15.-22.8.	1	1	2	5	5	14

3.3.3 Alavirtaan uineet lohen kokoluokkaa olevat kalat (TS ≥ -29)

Luotauspaikalla alavirtaan päin menneiden lohennokkoisten kaikukohteiden suhteelliset kappalemäärät kokoluokittain noudattelivat melko tarkasti ylöspäin menneiden lohennokkoisten kaikukohteiden vastaavia määriä vuosina 2003-2005. Eniten alavirtaan liikuneita kohteita oli kesäkuun loppupuolella. Lohennokkoisia kaikukohteita meni luotauslinjan ohi merta kohti melko tasaisesti kesäkuun alusta heinäkuun loppuun saakka (Taulukko 4).

Taulukko 4. Kaikuluotaimella havaittujen alavirtaan uineiden lohien kokoisten kaikukohteiden kappalemääräiset kohdevoimakkuusjakaumat (dB) vuosina 2003-2005.

Pvm.	TS						yht.
	$\geq -29 \leq -28$	$> -28 \leq -27$	$> -27 \leq -26$	$> -26 \leq -25$	$> -25 \leq -24$	> -24	
2003							
10.-15.6.	14	10	5	12	1	10	52
16.-30.6.	40	30	44	45	10	27	196
1.-17.7.	16	14	17	7	16	5	75
2004							
21.-31.5.	7	2	2	2	5	5	23
1.-15.6.	27	11	10	5	5	11	69
16.-30.6.	10	11	7	8	5	7	48
1.-14.7.	2	1	1	1	2	1	8
2005							
27.-31.5.	3	1	2	0	1	0	7
1.-15.6.	15	14	13	8	7	1	58
16.-30.6.	21	30	21	15	7	9	103
1.-15.7.	17	14	9	10	3	1	54
16.-31.7.	7	14	3	5	1	5	35
1.-15.8.	2	1	2	3	3	1	12
15.-22.8.	1	1	0	2	0	0	4

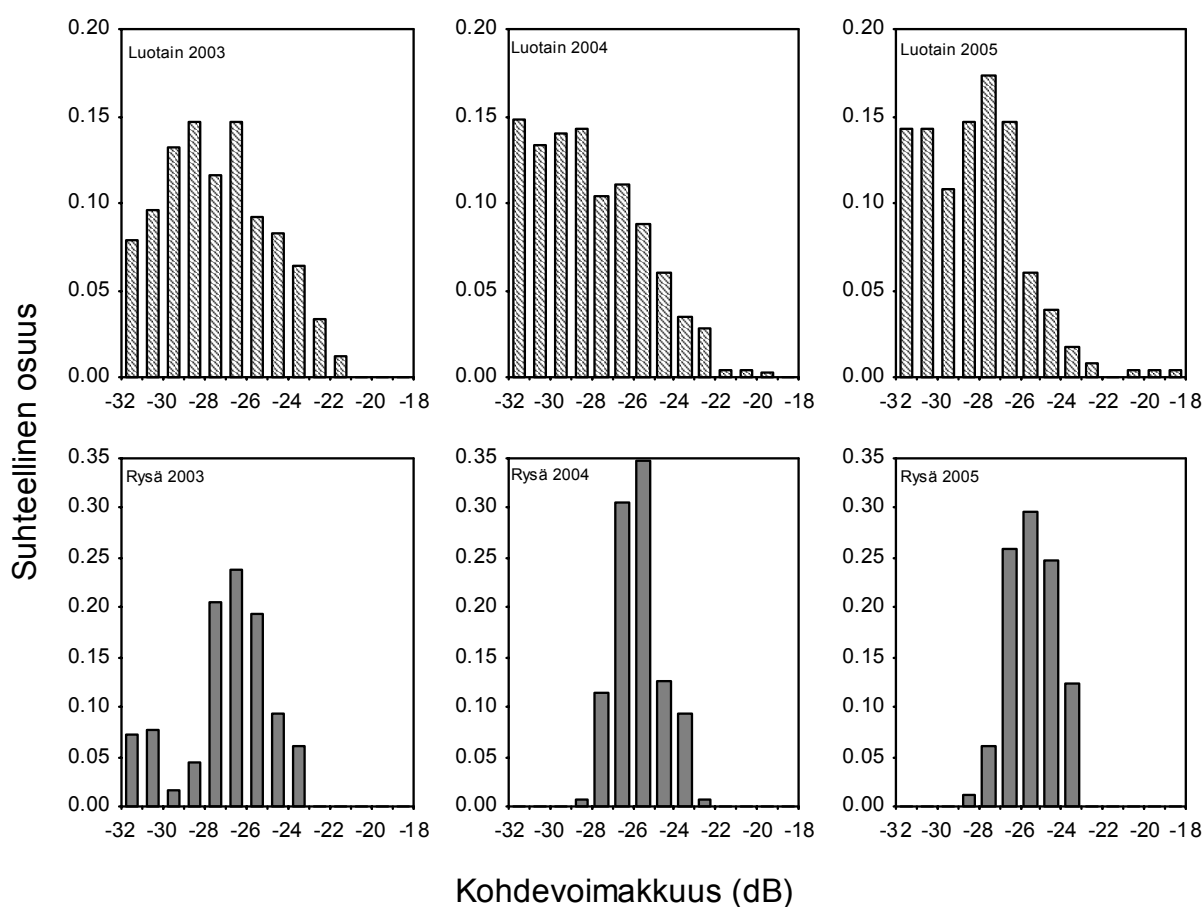
3.4 Simojokisuun emolohipyynnin ja joen vapakalastuksen saalislohiin koot verrattuna luotaimella havaittuihin kokojakaumiin

Luotaimella havaittujen yli -29 dB kohdevoimakkuudeltaan olevien kalojen kokojakaumat olivat vuosina 2003 ja 2004 melko samankaltaisia. Kohdevoimakkuudeltaan tätä pienempiä kaloja nousi jokeen vuonna 2003 suhteellisesti hieman vähemmän kuin vuosina 2004 ja 2005. Emolohipyynnin perusteella tilanne on ollut juuri päinvastainen ja vuonna 2003 pienemmän kokoluokan kalojen suhteellinen osuus jokeen nousseista kaloista oli suurempi kuin esimerkiksi vuonna 2004. Vuonna 2003 emokalapyynnillä saaduista lohista lähes 25 % oli kohdevoimakkuudeltaan -27 dB:n ja -26 dB:n väliltä. Saman kohdevoimakkuusluokan osuus kaikuluotauksella havaituista kaloista oli 15 %. Vuonna 2004 rysällä pyydetyistä emokaloista suurin osa, 35 %, kuului kokoluokkaan -26 dB:n ja -25 dB:n väliltä. Vastaavan kokoluokan osuus kaikuluotauksella havaituista lohista oli alle 10 %.

Kesäkuun toisella viikolla vuonna 2005 käynnissä olleessa Simojokeen nousevien lohien emokalapyynnissä saatiin yhdeksän päivän aikana 81 lohta. Kohdevoimakkuuksiltaan $-29 \leq TS \leq -27$ dB kokoluokkaa olleita lohia saatiin emokalapyynnillä huomattavasti vähemmän, kuin samankokoisia lohia havaittiin kaikuluotauksella (kuva 4).

Yli metrin pituisten ($TS > -24$) lohien osuus kaikista pyydetyistä lohista oli n. 13 %. Vastaavasti kaikuluotauksessa 8.6.-19.6.2005 havaituista lohista noin 59 % kuului kohdevoimakkuudeltaan luokkaan $-29 \leq TS \leq -27$ dB. Vuonna 2005 kohdevoimakkuudeltaan > -24 dB kaikuluotauksessa havaituista lohienkokoisista kaloista oli vain noin 4 %.

Vuonna 2003 joesta vapakalastuksella pyydystettyjen lohien keskimääräinen laskennallinen TS oli -26,1 dB ja kaikuluotaimella havaittujen lohien keskimääräinen TS oli -26,7 dB. Vuonna 2004 vastaavat luvut olivat -27,0 dB ja -27,3 dB kaikuluotaimen havainnoista laskettu arvo viimeksi mainittuna. Vuonna 2005 saalislohiin ja kaikuluotaimen antamat keskimääräiset kohdevoimakkuudet erosivat hieman edellisvuosia enemmän toisistaan: saaliin keskimääräinen TS oli -28,1 dB ja kaikuluotaimen havaintojen keskimääräinen TS oli -27,4 dB. Kaikuluotaimen havaintojen keskimääräinen TS siis laski vuodesta 2003 vuoteen 2005 kuten myös joesta pyydystettyjen lohien keskikoko.

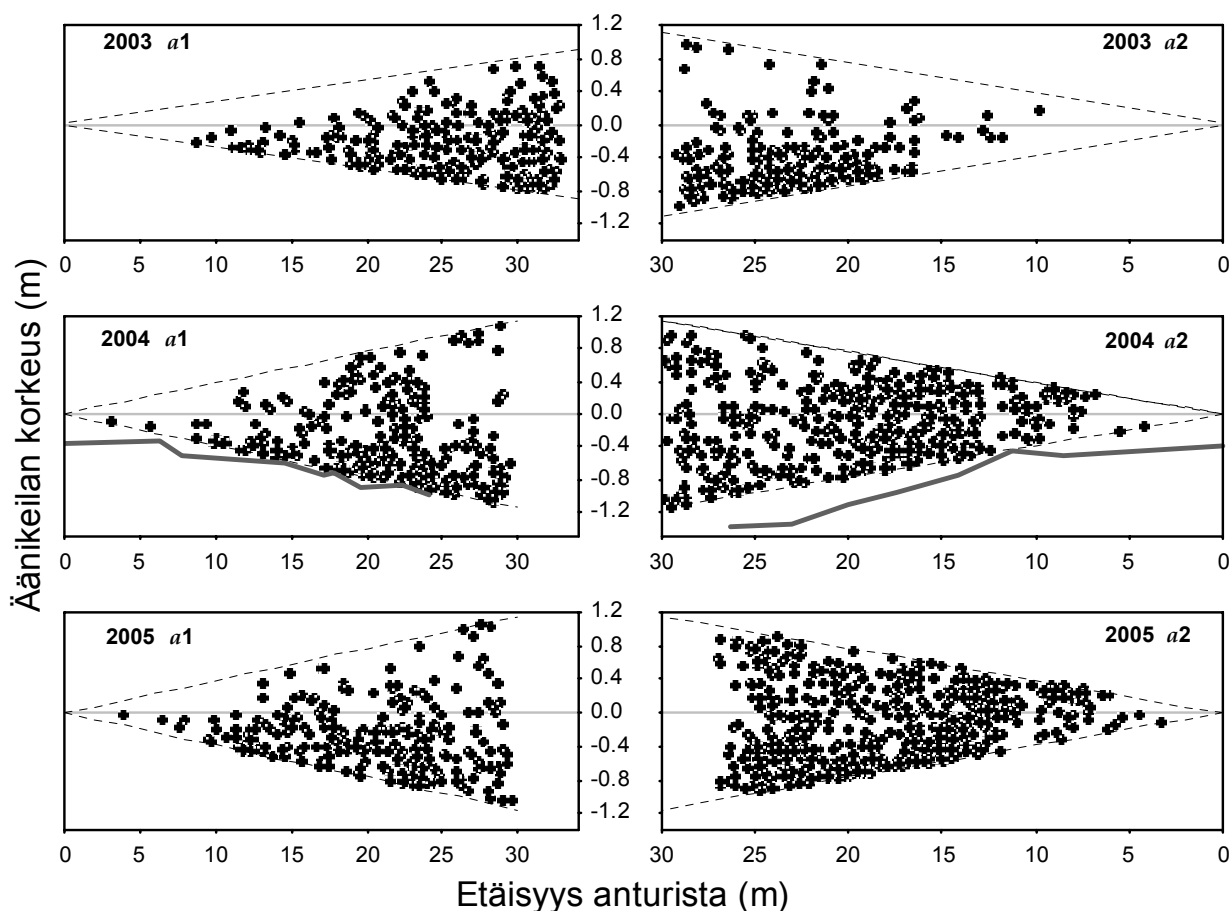


Kuva 4. Kaikuluotaimella havaitut sekä emolohipyynnillä (rysä) saatujen lohien lasketut ($TS = 24.4 \log_{10}(L) - 72.9$ dB) kohdevoimakkuusjakaumat vuosina 2003 – 2005.

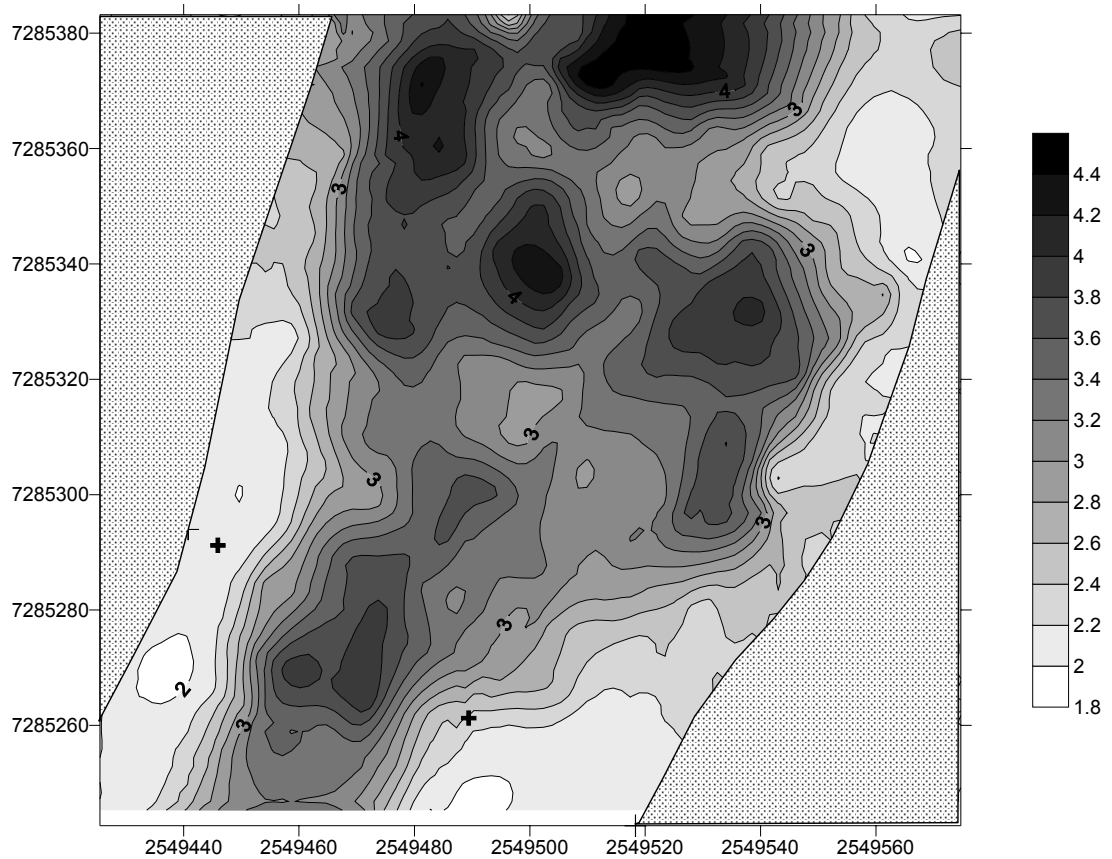
3.5 Kalat äänikeilassa ja äänikeilojen kattavuus

Äänikeilojen suuntaaminen mahdollisimman lähelle pohjaa osoittautui myös Simojossa tärkeäksi tekijäksi lohien havaitsemisen kannalta, sillä havaituista kaloista ($TS \geq -29$ dB) 82 % vuonna 2003, 70 % vuonna 2004 ja 69 % vuonna 2005 ui ylävirtaan äänikeilan alemman puolikkaan läpi (kuva 5).

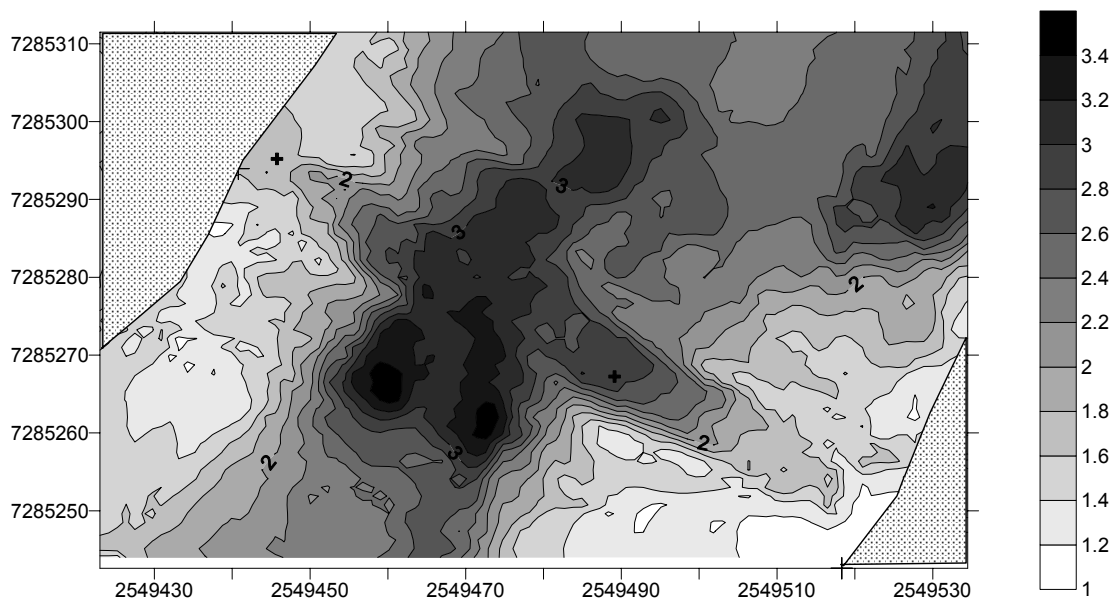
Luotauslinjalla joenpohja ei ollut muodoltaan kaikuluotaukselle optimaalinen, sillä lievästi U-muotoisessa poikkileikkausprofiilissa ja osin kivikkoisessa pohjassa ei äänikeiloja saatu kulkemaan aivan pohjaa viistäen koko poikkileikkauksen matkalta. Vaikka kattavia keilakartoituksia ei tehtykään vielä vuonna 2003, luotautulosten laatua näytti erityisesti heikentävän joenpohjan aiheuttamat ongelmat. Antureiden välinen välimatka oli 53 m (kuva 6). Vuonna 2004 luotauspaikan pohjaa oli muokattu katvealueiden vähentämiseksi luotaukseen paremmin sopivaksi, mikä näkyy kuvassa 7 muutoksina syvyyvyöhykkeissä. Keilakartoitusten perusteella länsirannan anturin ($a1$) äänikeila kulki hyvin pohjan tuntumassa ja katvealueen korkeus oli suurimmaksi osaksi välillä 10 – 15 cm (kuva 5). Sitä vastoin itärannan anturin ($a2$) äänikeilan alareuna törmäsi pohjaan jo 11 m kohdalla eikä keilaa voitu suunnata tämän alemmaksi. Keilan alareunan ja pohjan välinen ero oli korkeimmillaan 60 cm (23 m anturista). Joenpohjan muotoilu ei siis onnistunut toivotulla tavalla itärannan osalta.



Kuva 5. Lohenkokoisten kalojen ($TS \geq -29$ dB) ensimmäisen havaitun kaiun sijainti äänikeilassa (katsottuna alavirrasta ylävirtaan päin) ($a1$ = länsirannan ja $a2$ = itärannan anturi). Äänikeilan korkeus on ilmoitettu etäisyytenä keilan keskijonjalta (—). Vuonna 2004 määritettiin keilan alareunan etäisyys pohjasta (—). Vuonna 2003 $a1$:n äänikeilan oli avautumiskulma 2.8° , kun se muissa tapauksissa oli 4° .



Kuva 6. Kiusankosken niskan ja maantiesillan välinen syvyyskartta (syvyys, m) kevään 2003 mittauksen perusteella sekä antureiden paikat (+) heinäkuussa 2003 (antureiden väli 53 m). Rantaviiva arvioitu yhden mittauspisteen perusteella. KKJ, peruskoordinaatisto.



Kuva 7. Luotauspaikan syvyyskäyrät (m) kevään 2004 kartoituksen perusteella sekä antureiden paikat (+) heinäkuussa 2004 (antureiden väli 51.5 m). Vuonna 2005 anturit pyrittiin asentamaan samoihin paikkoihin kuin vuonna 2004. Rantaviiva arvioitu yhden mittauspisteen perusteella. KKJ, peruskoordinaatisto.

4. Tulosten tarkastelu

4.1 Nousukalojen kokonaismäärät

Vuosina 2003-2005 kaikuluotausseurantojen perusteella Simojokeen nousevien usean merivuoden ikäisten lohien lukumäärä oli melko vakaa. Arvioitu lohimäärä vaihteli 700 ja 1000 yksilön välillä ja oli moninkertainen joesta pyydystettyihin lohisaaliisiin nähden. Perämeren ruotsinpuoleisissa lohijoissa Pite-joessa ja Byske-joessa kalaporaslaskennoissa on kuluvalle vuosikymmenellä havaittu vuosittain 700-1400 usean merivuoden nousulohta/joki (ICES 2005). Kyseiset joet ovat jonkin verran suurempia kuin Simojoki, mutta toisaalta ainakin Byske-joessa nousukalalaskenta kattaa vain osan kokonaismääristä. Lisäksi Simojoessa lohi-istutukset ovat olleet viime vuosiin saakka runsaita, mikä on osaltaan kasvattanut jokeen takaisin pyrkivien lohien määrää. Näin ollen kaikuluotaimen tuottamat lohimääräarviot Simojoella ovat suunnilleen odotusten mukaisia, mikäli oletetaan, että pääosa nousukaloista havaittiin luotauksella.

Joka vuosi seurantajakso kattoi lohien pääasiallisen nousuajankohdan, mikä Simojoella näyttäisi olevan viikko ennen ja jälkeen juhannuksen. Jokikokko ym. (2004) mukaan usean merivuoden ikäiset lohet nousevat Simojokeen melko lyhyessä ajassa vaeluskauden alussa. Kaikuluotauksen aloitusajankohta määräytyi lähinnä vedenkorkeuden mukaan eli anturit voitiin asentaa jokeen, kun vedenkorkeus oli laskenut alle 100 cm. Lohien nousua seurattiin intensiivisesti heinäkuun puoliväliin saakka, jolloin päivittäiset nousukalamäärät olivat jo hyvin pieniä. Tämän jälkeenkin luotaimet keräsivät aineistoa mutta päivittäisen huollon puuttumisen seurauksena aineistoon saattoi tulla pitkiä katkoksia. Tässä työssä aineistot on rajattu käsittämään luotausten aloituksen ja ensimmäisen pidemmän katkoksen välistä aikaa.

Vuonna 2005 Simojokeen nousi n. 900 lohta, mikä on samaa suuruusluokkaa, kuin vuonna 2003. Lohien nousun vilkkainta aikaa oli juhannusviikko, kuten oli myös vuosina 2003 ja 2004. Kesän 2005 havaintojen perusteella alavirtaan menneiden lohien päiväkohtaiset kappalemääräjakaumat noudattelivat suhteellisesti ylöspäin menneiden lohien kappalemääräjakaumia. Esimerkiksi vuonna 2005 kesäkuun kahden viimeisen viikon aikana ylöspäin menneiden lohien kokoluokkaa olevien kalojen osuus kaikista ylävirtaan menneistä lohista oli 36 % ja vastaava osuus alaspäin menneiden lohien osalta oli 37 %. Näiden seikkojen perusteella voidaan olettaa, että osa lohista on voinut uida luotauslinjan kohdalla ylä- sekä alavirtaan. Toisaalta vuosina 2003 ja 2004 tehtyjen radiotelemetriaseurantojen perusteella em. lohien osuus on kuitenkin hyvin pieni (Petri Karppinen, RKTL, suullinen tiedonanto). Ainakin osa alavirtaan uineista kaikuluotaimen havaitsemista kohteista on epäilemättä ollut ns. laskulohia eli edellisellä syksynä kuteneita, jokeen talvehtimaan jääneitä yksilöitä.

Pienten kalojen liikehdintä luotauspaikalla lisääntyi selvästi vuonna 2005. Luotaimen herkkyys (noise threshold) oli joka vuosi samalla tasolla, joten se ei selitä pienten kohteiden suurta määrää vuonna 2005. Pienet kalat voivat olla esim. ahvenia tai särkiä, sillä mm. Frouzova ym. (2005) ovat todenneet että -33 dB vastaa sivuaspektissa noin 20 cm:m ahventa, särkeä tai lahnaa ja vastaavasti -37 dB tarkoittaisi noin 13 cm kalaa. Näitä lajeja ja kokoluokkia epäilemättä esiintyy myös Simojoen luotauspaikalla mutta niiden runsaudesta tai runsauden muutoksista ei ole olemassa muita kuin kaikuluotaimen tuottamia havaintoja. Luotauspaikan läheisessä smolttipyynnissä saatiin saaliiksi salakoita ja siikoja, joista ainakin jälkimmäisten tiedetään heijastavan ääntä selvästi voimakkaammin kuin samanpituiset lohet (Lilja ym. 2000).

4.2 Nousukalojen kokojakaumat

Luotaustulosten mukaan suurten, yli metrin, pituisten lohien osuus jokeen vaeltavista lohista on pienentynyt vuodesta 2003. Vastaavaa kehitystä ei kuitenkaan ollut nähtävissä emokalapyynnin saaliissa. Emokalapyynnin saalislohien kokoluokkajakauma vastasi kuitenkin pääpiirteissään suurimpien yksilöiden osalta kohtalaisesti kaikuluotauksella havaittujen lohien kokoluokkajakaumaa. Ainoastaan -29 dB:n -28 dB:n (63,0- 69,2 cm) sekä -28 dB:n ja -27 dB:n (69,3- 76,1 cm) välillä olevien kalojen havainnot olivat selvästi ristiriidassa kaikuluotauksenhavaintojen kanssa. Tähän yhtenä selityksenä voi olla kaikuluotauksessa olevat kalan koon määrittämisen epätarkkuudet, sillä etenkin sivuttaissuuntaisessa kaikuluotauksessa kohdevoimakkuuden on todettu kuvaavan kalan kokoa melko epätarkasti (Burwen ja Fleischman 1998, Lilja 2004). On kuitenkin myös todennäköistä, että emokalapyynnin saaliit eivät kuvaa harhattomasti Simojoen nousulohien kokojakaumaa johtuen pyynnin ajoituksesta ja pyydyksen rakenteesta.

Saalistiedustelun perusteella jokikalastuksen saalislohen keskimääräinen koko pienentyi vuosina 2003-2005. Saalislohen keskimääräinen laskennallinen TS oli vuonna 2003 -26,1 dB ja vastaavasti vuonna 2005 -28,1 dB. Lohien keskikoon pienentyminen oli havaittavissa myös kaikuluotaimella, vaikkakaan ei yhtä voimakkaana kuin jokisaaliissa.

4.3 Luotauspaikan soveltuvuus

Luotauspaikka oli akustisesti hyvä, joten kohinakaikujen kynnysarvo (noise threshold) voitiin pitää niinkin alhaisena kuin -43 dB (-37 dB koko keilan alueella). Tällöin kaikuluotaimella voitiin havainnoida myös pienempien kalojen liikehdintää. Toisaalta voimakas tuuli ja sade lisäsivät häiriökaikujen määrää, mutta ne eivät kuitenkaan ratkaisevasti vaikeuttaneet kalakaikujen havaitsemista.

Tässä tutkimuksessa havaittu kohde määritettiin (usean merivuoden) loheksi, jos keskimääräinen kohdevoimakkuusarvo oli ≥ -29 dB. Eri kalalajeista kaikuluotauksella saatava kohdevoimakkuusarvo voi kuitenkin vaihdella samanpituuisilla kaloilla lajikohtaisesti (Lilja ym. 2000). Oletettavasti Simojoen luotauspaikalla ≥ -29 dB kohdevoimakkuuksia saadaan mm. hauista, joiden kohdevoimakkuuden on todettu olevan suurempi kuin vastaavan kokoisilla lohilla (Lilja ym. 1998, 2000). Kalan asento äänikeilassa vaikuttaa myös merkittävästi kohdevoimakkuuteen. Kalan sivuaspektikohdevoimakkuus on yleensä suurin, kun kalan pituussuuntainen akseli on kohtisuorassa äänikeilan akustiseen akseliin nähden. Kulmapoikkeaman kasvaessa kohdevoimakkuus heikkenee ja se on pienimmillään kalan pyrstön tai kuonon osoittaessa kohti luotainta. Tämä kalan asennosta johtuva kohdevoimakkuuden vaihtelu voidaan mallintaa esim. \cos^3 -funktiolla (Kubecka 1994, Lilja ym. 2000). Kalan asennon ja kohdevoimakkuuden välisen riippuvuuden hyödyntäminen on kuitenkin ongelmallista, koska kalan asentoa äänikeilassa ei voida tarkkaan määrittää, vaan se on arvioitava esim. äänikeilan läpi uivan kalan kulkusuunnan perusteella.

Alavirtaan siirtyvien kohteiden tunnistaminen kaloiksi erilaisten häiriötekijöiden joukosta on myös erittäin ongelmallista pelkän kaikutiedon perusteella. Siksi tässä työssä ei käsitelty lainkaan alavirtaan menneitä kohteita, joiden keskimääräinen kohdevoimakkuus oli < -29 dB. Osa näistä kohteista on luonnollisesti alavirtaan uivia pieniä kaloja, esimerkiksi smoltteja. Toisaalta virran mukana ajelehti myös roskia ja muita kohteita, jotka heijastavat ääntä kuten kalat ja havaitaan täten myös kaikuluotaimella (Nealson ja Gregory 2000).

Yhtenä keskeisenä ongelmana jokikaikuluotauksessa ovat katvealueet, joita voi syntyä esimerkiksi kivistä tai pohjan epätasaisesta muodosta. Katvealueilla liikkuvista kaloista ei saada kaikhavaintoja, joten niitä ei havaita lainkaan kaikuluotaimella. Vuonna

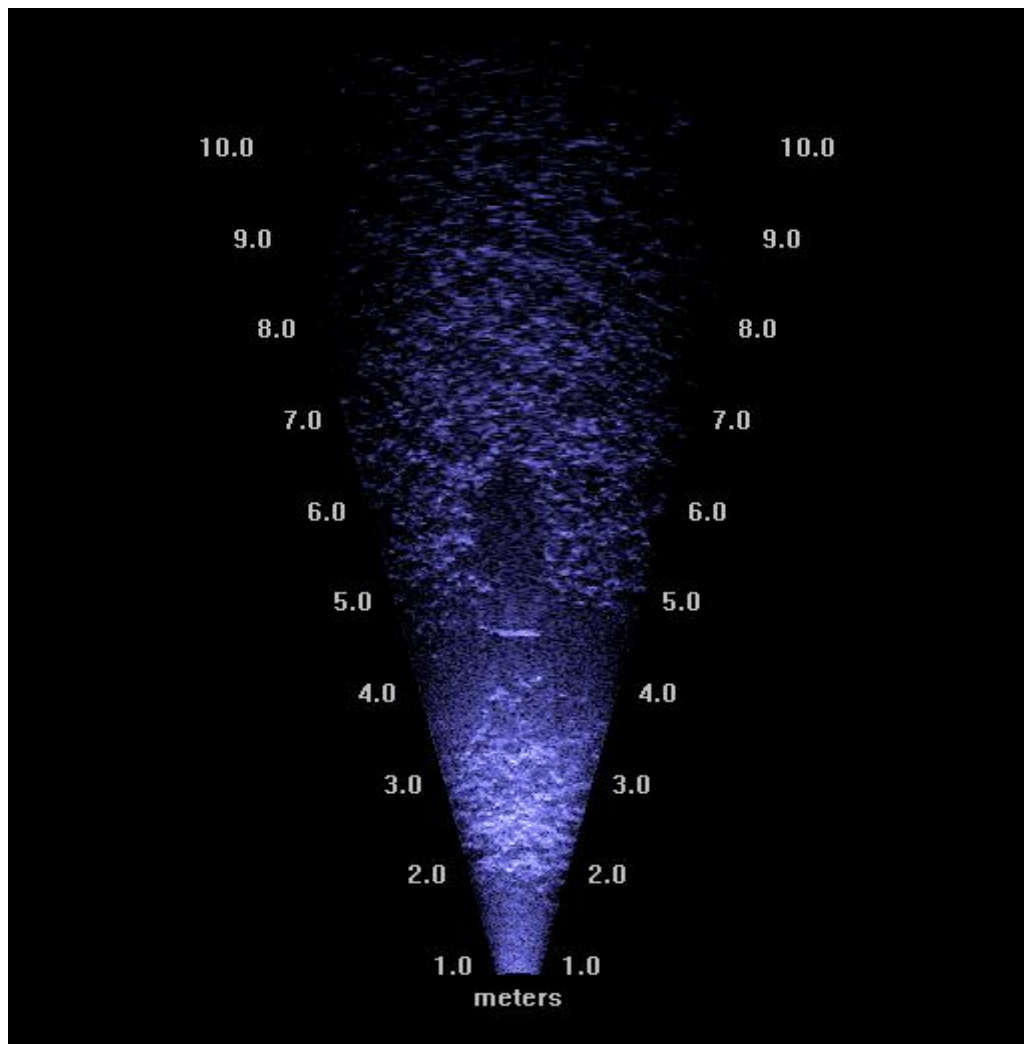
2004 määritettyjen katvealueiden perusteella voidaan päätellä, että ainakin itärannan puolelta osa lohista on voinut uida äänikeilan alitse ja jäädä täten laskennan ulkopuolelle. Osa kaloista on voinut luonnollisesti uida myös äänikeilojen ylitse, jolloin niitä ei myöskään havaita luotaimella. Tulosten perusteella myös keilan ylittäneiden kalojen osuus on ollut itärannan puolella suurempi kuin länsirannalla.

4.4 Luotauksen kehittämistarpeet ja -mahdollisuudet

Tulokset osoittavat, että kaikuluotaus soveltuu tietyin rajoituksin ylävirtaan uivien lohien laskemiseen ja nousujankohdan määrittämiseen Simojoella. Lisäksi kaikuluotauksella pystyttiin seuraamaan jokeen nousevia kaloja reaaliajassa, ja tieto edellisen päivän aikana nousseista lohien kokoisista kaloista oli päivittäin nähtävillä internetissä (www.infokartta.fi/simojoki) vuosina 2003–2005. Tämä reaaliaikainen tiedottaminen lisäsi tutkimuksen avoimuutta ja palveli myös osaltaan Simojoen lohien liikkeistä kiinnostunutta yleisöä sekä lähialueen kalastajia.

Split-beam -kaikuluotaustekniikkaan liittyy kuitenkin joukko ongelmia, jotka heikentävät menetelmän tarkkuutta. Menetelmä vaatii toimiakseen tarkoituksenmukaisen paikan, ja tästäkin huolimatta se on kykenemätön havaitsemaan kaloja läheltä pintaa tai pohjaa. Simojoen luotauspaikka ei ole ihanteellinen vaikka sitä on pyritty parantamaan Simojoen entisöintitöiden yhteydessä. Katvealueiden aiheuttaman ongelman vähentämiseksi joen pohjaa pitäisi edelleen parantaa luotausta varten tai vaihtoehtoisesti on etsittävä keinoja arvioida katvealueita vaelluksellaan käyttävien lohien määrä/osuus.

Hiljattain sotilaskäyttöön kehitetty uusi kaikuluotain, DIDSON (Dual-frequency Identification Sonar), on osoittautunut lupaavaksi luotauksysteemiksi kalojen liikkeitä seurattaessa (Moursund ym. 2003, Holmes ym. 2005, Cronkite ym. 2006). DIDSON kaikuluotain pystyy tuottamaan lähes videokameran tasoista kuvaa kaloista ja muista vedenalaisista kohteista ja siksi sitä kutsutaan myös akustiseksi kameraksi (kuva 8). Kalojen laskeminen perustuu liikkuvien hahmojen tunnistamiseen, jolloin kalan koko, uinti suunta sekä paikka äänikeilassa ovat suoraan nähtävissä luotaimen näytöltä. Kivinen ja epätasainen pohja eivät myöskään aiheuta tälle luotaimelle yhtä suuria ongelmia kuin split-beam -luotaimelle. Lisäksi luotain kattaa sekä horisontaali- että vertikaalisuunnassa paljon split-beam -luotainta laajemman alueen, joten esimerkiksi pinnan lähellä uivat kalat tulevat havaittua tehokkaammin. Tämä uusi luotaustekniikka toisi ratkaisun suurimpaan osaan edellä esitettyihin ongelmakohtiin Simojoella, sillä luotain kykenee havaitsemaan uivat kalat vaikka äänikeilat osuisivatkin pintaan tai pohjaan koko luodattavalta matkalta. Lisäksi kohdevoimakkuuteen perustuvaa kalojen kokoeroittelua ei enää tarvita ja alavirtaan ajelehtivat kohteet olisi helposti tunnistettavissa ja eriteltävissä. DIDSON -luotainta voitaisiin alkuvaiheessa käyttää split-beam -luotaimen tulosten tarkentamiseen. Siirtyminen käyttämään heti pelkästään DIDSON -luotausta tulisi kalliiksi luotaimen kalliin nykyhinnan (Simojoen kattamiseksi tarvittaisiin ainakin kaksi DIDSON-yksikköä) ja luotaimen keräämän datan automaattisen jälkikäsitteilyn puutteiden vuoksi.



Kuva 8. Pysäytyskuva DIDSON:n näytöstä, missä noin 60 cm pitkä punalohi (*Oncorhynchus nerka*) on uimassa ”näkökentän” lävitse (vasemmalta oikealle) noin 4,5 m etäisyydellä luotaimesta. Kuvassa näkyy myös joen sora-pohja sekä kalan aiheuttama akustinen ”varjo”.

Kiitokset

Esko Knuutille lämpimät kiitokset luotaukopin paikasta ja sen sähkösaannin turvaamisesta. Lisäksi haluamme kiittää Simon kuntaa ja kunnanjohtaja Esko Taviaa aktiivisesta toiminnasta kaikuluotaustutkimuksen hyväksi. Uuteen luotaustekniikkaan tutustuminen ja sen käyttömahdollisuuksien arvioiminen Simojoella ei olisi ollut mahdollista ilman Suomen Akatemian J. Liljalle myöntämää apurahaa.

6. Kirjallisuus

- Burwen, D.L. & Fleischman, S.J. 1998. Evaluation of side-aspect target strength and pulse width as potential hydroacoustic discriminators of fish species in rivers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 55, 2492-2502.
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. John Wiley & Sons, New York. 428 s.
- Cronkite, G.M.W., Enzenhofer, H.J., Ridley, T., Holmes, J., Lilja, J. & Benner, K. 2006. Use of high-frequency imaging sonar to estimate adult sockeye salmon escapement in the Horsefly River, British Columbia. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* (painossa).
- Eggers, D.M., Skvorc, P.A. & Burwen, D.L. 1995. Abundance estimates of Chinook salmon in the Kenai River using dual-beam sonar. *Alaska Fishery Research Bulletin* 2, 1-22.
- Frouzova, J., Kubecka, J., Balk, H. & Frouz, J. 2005. Target strength of some European fish species and its dependence on fish body parameters. *Fisheries Research* 75, 86-96.
- Holmes, J.A., Cronkite, G. & Enzenhofer, H.J. 2005. Feasibility of deploying a dual-frequency identification sonar (DIDSON) system to estimate salmon spawning ground escapement in major tributary systems of the Fraser River, British Columbia. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 2592, 51 s.
- Hyvärinen, P., Salojärvi, K., Pushkin, S. & Ahonen, M. 1992. Kalojen vaellus Oulujärvestä Oulujokeen. *Vesi- ja ympäristöhallinnon Julkaisuja, sarja A* 115, 92 s.
- Hyvärinen, P., Vehanen, T., Tiginov, S., Mäki-Petäys, A. & Konttinen, E. 1996. Kalojen vaellus Inarijärvestä Paatsjokeen. *Suomen ympäristö. Luonto ja luonnonvarat* 11, 60 s.
- ICES 2005. Report of the Baltic Salmon and Trout Working Group. ICES, Doc. CM 2005/ACFM:18.
- Jokikokko, E. & Jutila J. 2005. Effect of fishing regulation on the occurrence of repeat spawners and age distribution of Atlantic salmon in a northern Baltic river. *Fisheries Management and Ecology* 12, 341-347.
- Jokikokko, E., Kallio-Nyberg, I. & Jutila, E. 2004. The timing, sex and age composition of the wild and reared Atlantic salmon ascending the Simojoki River, northern Finland. *Journal of Applied Ichthyology* 20, 37-42.
- Jurvelius, J. 1999. Simojokeen kudulle nousevan lohen (*Salmo salar*) kaikuluotausarviointi vuosina 1998-99. *Moniste*, 6 s.
- Kubecka, J. 1994. Simple model on the relationship between fish acoustical target strength and aspect for high-frequency sonar in shallow water. *Journal of Applied Ichthyology* 10, 75-81.
- Lilja, J. 2004. Assessment of fish migration in rivers by horizontal echo sounding: problems concerning side-aspect target strength. *Doctoral thesis*. ISBN 951-39-1725-8. Jyväskylän yliopisto.
- Lilja, J. & Romakkaniemi, A. 2003. Early-season river entry of adult Atlantic salmon: its dependency on environmental factors. *Journal of Fish Biology* 62, 41-50.
- Lilja, J., Marjomäki, T.J., Riikonen, R. & Jurvelius, J. 1998. Tainnutetun lohen ja taimenen sivuaspektikohdevoimakkuus. *Kaikuluotaus Tornionjoen nousulohen koon ja määrän arvioinnissa. Kala- ja riistaraportteja* 124.

- Lilja, J., Marjomäki, T.J., Riikonen, R. & Jurvelius, J. 2000. Side-aspect target strength of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), whitefish (*Coregonus lavaretus*), and pike (*Esox lucius*). Aquatic Living Resources 13, 355-360.
- Lilja, J., Marjomäki, T.J., Jurvelius, J., Rossi, T. & Heikkola, E. 2004. Simulation and experimental measurement of side-aspect target strength of salmon at high frequency. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 61, 2227-2236.
- MacLennan, D.N. & Simmonds, E.J. 1992. Fisheries Acoustics. Chapman & Hall, Lontoo.
- Moursund, R.A., Carlson, T.J. & Peters, R.D. 2003. A fisheries application of a dual-frequency identification sonar acoustic camera. ICES Journal of Marine Science 60, 678-683.
- Nealson, P.A. & Gregory, J. 2000. Hydroacoustic differentiation of adult Atlantic salmon and aquatic macrophytes in the River Wye, Weles. Aquatic Living Resources 13, 331-339.
- Pahkinen, E. & Lehtonen, R. 1989. Otanta-asetelmat ja tilastollinen analyysi. Helsinki. Gaudeamus. Scientilia-sarja. 286 s.
- Ransom, B.H., Jonston, S.V. & Steig, T.W. 1998. Review on monitoring adult salmonid (*Oncorhynchus* and *Salmo* spp.) escapement using fixed-location split-beam hydroacoustics. Fisheries Research 35, 33-42.
- Romakkaniemi, A., Marjomäki, T.J. & Jurvelius, J. 1997. Hydroacoustic estimation of salmon (*Salmo salar*) spawning run in the River Tornio. Project results 1995-1996. Kala- ja riistaraportteja 89.
- Romakkaniemi, A., Lilja, J., Nykänen, M., Marjomäki, T.J. & Jurvelius, J. 2000. Spawning run of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the River Tornionjoki monitored by horizontal split-beam echosounding. Aquatic Living Resources 13, 349-354.
- Traynor, J.J. & Ehrenberg, J.E. 1990. Fish and standard sphere target-strength measurements obtained with dual-beam and split-beam echo-sounding system. Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer. 189, 325-334.