

KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 124

*Juha Lilja
Timo J. Marjomäki
Raimo Riikonen
Juha Jurvelius*

**Tainnutetun lohen ja taimenen sivuaspektivoimakkuus
Kaikuluotaus Tornionjoen nousulohen koon ja määrän arvioinnissa**

Enonkoski 1998



RIISTAN- JA KALANTUTKIMUS

Juha Lilja, Timo J. Marjomäki, Raimo Riikonen ja Juha Jurvelius

Tainnutetun lohien ja taimenen sivuaspektikohdevoimakkuus. Kalkuluotaus Tornionjoen nousulohien koon ja määrän arvioinnissa.

Tutkimusraportti

Tornionjokeen nousevien lohien kaikuluotauseuranta 202 250

Tornionjokeen nousevien lohien (*Salmo salar m. Sebago*) lukumäärää ja kokojakaumaa on pyritty selvittämään sivuttaissuuntaisella kaikuluotauksella. Nyt käsillä olevan työn tarkoituksena oli selvittää Tornionjokeen nousevien kalojen määrä- ja kokoluokka-arvion tarkkuutta tutkimalla tainnutettujen lohien pituuden ja sivuaspektikohdevoimakkuuden välistä riippuvuutta allasolosuhteissa. Lisäksi tarkasteltiin kohdevoimakkuuteen vaikuttavia tekijöitä ja verrattiin altaassa uivien kalojen sivuaspektikohdevoimakkuutta Tornionjoesta mitattuihin kohteisiin. Kirjoituksen alussa käsitellään lyhyesti myös lohkekeilakaikuluotauksen (split-beam) teoriaa.

Tainnutettujen järvilohien ja taimenten (*Salmo trutta*) sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välinen regressiosuora ei poikennut merkittävästi Loven (1977) yhtälöstä. Siian (*Coregonus lavaretus*), hauen (*Esox lucius*) ja lahnan (*Abramis brama*) kohdevoimakkuus oli keskimäärin 5,5 dB suurempi kuin samanpituisten lohien. Kalan sivuaspektikohdevoimakkuus on suurin, kun kalan pituussuuntainen akseli on kohtisuorassa äänikeilan akustiseen akseliin nähden. Kulmapoikkeaman kasvaessa kohdevoimakkuus heikkenee. Ulmarakon vaikutus kohdevoimakkuuteen oli yli 50 cm:n taimenilla keskimäärin 7,5 dB ja 30-40 cm:n taimenilla 3,0 dB. Kalojen sivuaspektipinta-alaerot eivät selittäneet lohien ja muiden lajien kohdevoimakkuuseroa. Kalan uintiliike aiheuttaa vaihtelua sivuaspektivoimakkuuteen, mutta vaihtelun suuruutta ei tämän työn perusteella voitu arvioida.

Koska 50 cm hauen tai siian kohdevoimakkuus on yhtä suuri kuin yli 90 cm lohien, ei lajeja voida erottaa toisistaan esim. kohdevoimakkuuksien jakauman perusteella. Tämä korostaa kalkuluotauksesta riippumattoman lajimäärityksen tärkeyttä Tornionjokeen nousevien lohien määrän arvioimisessa.

lohi, taimen, kaikuluotaus, kohdevoimakkuus, sivuaspekti, Tornionjoki

Kala- ja riistaraportteja nro 124

951-776-170-8

1238-3325

Suomi

julkinen

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Saimaan kalantutkimus ja vesiviljely
Laasalantie 9
58175 Enonkoski
p. 0205 751 600 fax. 0205 751 609

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Pukinmäenaukio 4, PL 6
00721 Helsinki
p. 0205 7511 fax 0205 751 201

Sisällys

| | |
|---|----|
| 1. Johdanto | 1 |
| 2. Sivuttaiskaikuluotauksen periaatteet | 2 |
| 2.1. Lohkokeilakaikuluotain | 2 |
| 2.2. Kalan sivuaspektikohdevoimakkuus | 3 |
| 3. Aineisto ja menetelmät | 6 |
| 3.1. Tutkimuspaikka ja tutkittavat kalat..... | 6 |
| 3.2. Kaikuluotainlaitteisto..... | 7 |
| 3.3. Taustakohina ja kalibrointi | 8 |
| 3.4. Sivuaspektikohdevoimakkuuteen vaikuttavat tekijät..... | 9 |
| 3.4.1. Kalan pituus ja sivuaspektikulma..... | 9 |
| 3.4.2. Kalalaji ja sen pinta-ala | 10 |
| 3.4.3. Uimarakko | 11 |
| 3.5. Uivan kalan sivuaspektikohdevoimakkuus | 11 |
| 3.5.1. Altaassa uiva taimen..... | 11 |
| 3.5.2. Tornionjokeen nouseva kohde | 11 |
| 3.6. Tilastolliset menetelmät | 12 |
| 4. Tulokset | 13 |
| 4.1. Taustakohina ja in situ-kalibraatiot | 13 |
| 4.2. Tainnutetun kalan sivuaspektikohdevoimakkuus | 15 |
| 4.2.1. Kohdevoimakkuuden keskihajonta ja havaintojen jakauma | 15 |
| 4.2.2. Pituuden ja lajin vaikutus kohdevoimakkuuteen..... | 17 |
| 4.2.3. Sivuaspektikulmapoikkeaman vaikutus kohdevoimakkuuteen | 18 |
| 4.2.4. Sivuaspektipinta-alan vaikutus kohdevoimakkuuteen | 21 |
| 4.2.5. Uimarakon vaikutus kohdevoimakkuuteen | 23 |
| 4.3. Uivan kalan sivuaspektikohdevoimakkuus | 24 |
| 4.3.1. Altaassa uitettujen taimenten kohdevoimakkuus | 24 |
| 4.3.2. Tornionjokeen nousevien kohteiden kohdevoimakkuus | 26 |
| 5. Tulosten tarkastelu | 28 |
| 5.1. Kalojen pituus ja kohdevoimakkuus | 28 |
| 5.2. Tainnutetun kalan kohdevoimakkuus | 29 |
| 5.3. Uimarakon vaikutus kohdevoimakkuuteen | 30 |
| 5.4. Kalalajin vaikutus kohdevoimakkuuteen | 30 |
| 5.5. Uivan kalan kohdevoimakkuus | 31 |
| 6. Kirjallisuusluettelo | 32 |

1. Johdanto

Järvestä jokeen laskevien kalojen migraatioajankohtaa, yksilökokoa ja yksilöiden lukumäärää on pystytty arvioimaan usean yksikeilakaikuluotaimen (single-beam) järjestelmillä esim. Oulu- ja Paatsjoessa (Hyvärinen ym. 1992, Hyvärinen ym.1996). Joikiin nousevien ja mereen laskevien lohien lukumääriä ja kokoluokkia on arvioitu myös paikallaan olevalla parikeila- (dual-beam) tai lohkeilakaikuluotaimella (split-beam) (Burwen ym. 1995; Daum & Osborne 1996; Skalski ym. 1996; Osborne & Daum 1997; Xie ym. 1997). Suomessa Tornionjokeen nousevien lohien lukumäärää on arvioitu vuosina 1996 ja 1997 sivuttaissuuntaisella lohkeilaluotaimella (Romakkaniemi ym.1997).

Sivuttaiskaikuluotaus soveltuu pystysuuntaista paremmin kalakantojen arviointiin matalissa vesissä (Kubecka ym. 1994; Kubecka 1996; Mous & Kemper 1996). Joessa kohteiden havaitsemista vaikeuttaa virtauksesta syntyvät ilmakuplat ja pyörteet. Mm. tästä syystä uivan kalan pituutta ei ole voitu tarkasti määrittää kohdevoimakkuuden avulla (Mitson & Holliday 1990).

Sivuttaiskaikuluotauksessa yhtenä tavoitteena on kalan pituuden ja massan arviointi kaikuluotaimella mitatun sivuaspektikohdevoimakkuuden avulla. Kalojen kohdevoimakkuudella (TS, Target Strength) tarkoitetaan kaikuvoimakkuutta (ES, Echo Strength), jonka kala heijastaa ollessaan luotaimen äänikeilan akustisella akselilla. Akustinen akseli on etenevän äänikeilan äänienergialtaan voimakkaimman pisteen muodostama linja.

Kalojen kohdevoimakkuuden tutkimusmenetelmät ovat joko in situ -tutkimuksia kalojen luonnollisessa elinympäristössä tai luonnollisesta elinympäristöstä eristettyjä ex situ -tutkimuksia (esim.Foote 1991). Ensimmäinen allaskoe kaloista äänen heijastajina tehtiin vuonna 1929, mutta varsinaiset ex situ-tutkimukset kalojen kohdevoimakkuudesta alkoivat vasta 1960-luvulla (MacLennan & Simmonds 1992).

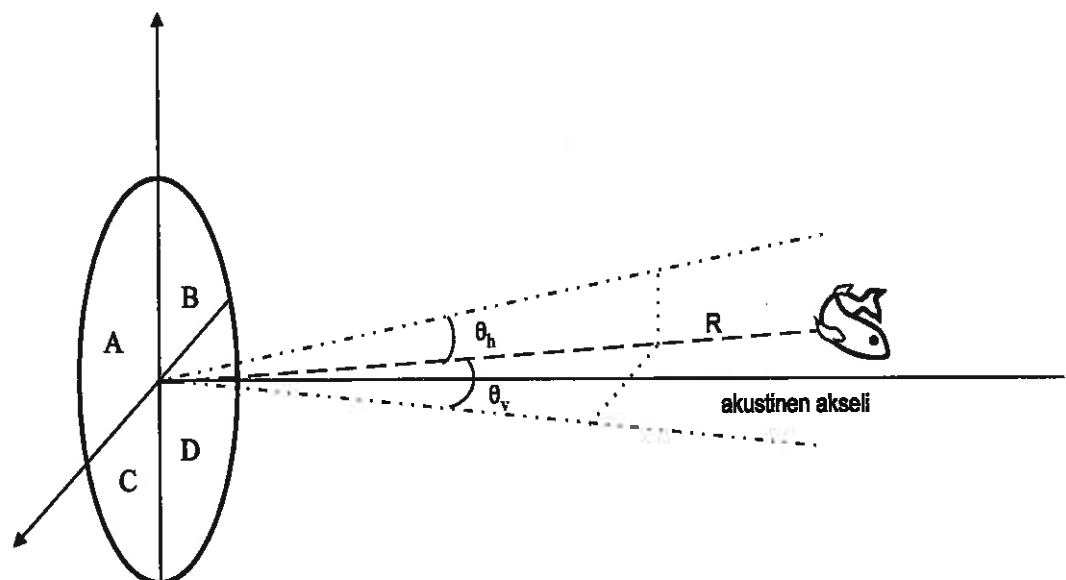
Tämän työn tarkoituksena oli tutkia Tornionjokeen nousevien kalojen määrä- ja kokoarvion tarkkuutta määrittämällä tainnutetun järvilohen ja -taimenen sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden välinen riippuvuus lohkeilaluotaimella. Työssä tarkasteltiin myös muita kalan sivuaspektikohdevoimakkuuteen vaikuttavia tekijöitä ja verrattiin siian, hauen ja lahnan kohdevoimakkuuksia lohilla mitattuihin arvoihin. Lisäksi verrattiin altaassa uivien kalojen sivuaspektikohdevoimakkuuksia Tornionjoesta mitattuihin kohteisiin.

2. Sivuttaiskaikuluotauksen periaatteet

Koska kalan sijaintia ei yksikeilaluotaimen äänikeilassa tunneta, on kohdevoimakkuus määritettävä epäsuorilla menetelmillä esimerkiksi Craigin-Forbesin (1969) algoritmilla. Parikeila- ja lohkoikeilaluotaimet määrittävät kohdevoimakkuuden suoraan jokaiselle kalasta heijastuneelle kaiulle (MacLennan & Simmonds 1992). Lohkoikeilaluotain määrittää lisäksi kalan sijainnin äänikeilassa. Siksi lohkoikeilaluotaimella voidaan havaita myös kalan liikesuunta ja nopeus. Tässä tutkimuksessa kaloja on luodattu lohkoikeilaluotaimella sivusta. Kalan kyljestä heijastuva ääni poikkeaa voimakkuudeltaan esim. selästä heijastuvasta äänestä.

2.1. Lohkoikeilakaikuluotain

Lohkoikeilaluotaimen värähtelijä on jaettu neljään yhtä suureen lohkokseen (Kuva 1). Äänipulssi lähetetään koko värähtelijällä, mutta kaiun vastaanotossa jokainen lohko toimii erikseen (MacLennan 1990; MacLennan & Simmonds 1992; HTI 1995). Kohteen horisontaalitason sijaintikulma (θ_h) mitataan vertaamalla äänen vaihe-eroa lohkoparien A+C ja B+D välillä, ja kohteen sijaintikulma (θ_v) luotaimen äänikeilan vertikaalitasossa äänen vaihe-erosta lohkoparien A+B ja C+D välillä. Kohteen sijainti luotaimen äänikeilassa ilmaistaan etäisyyden R sekä θ_h ja θ_v avulla.



Kuva 1. Lohkokellakaikuluotaimen värähtelijä koostuu lohkoista (A, B, C ja D). Kaiun vaihe-eroista lohkojen välillä voidaan määrittää kohteen sijainti vertikaali- (θ_v) ja horisontaalitasossa (θ_h).

Lohkokeilakaikuluotain laskee kohdevoimakkuuden (TS_i) jokaiselle kohteesta heijastuneelle kaiulle eli se muuntaa kaikuvoimakkuuden vastaamaan sitä kaikuvoimakkuutta, jonka kohde heijastaisi ollessaan äänikeilan akustisella akselilla.

$$TS_i = 20 \log_{10}(U_i) - SL - G_0 - R_g - G_{TVG} - 2*b_{\theta} + 2*TL, \quad (2.1)$$

missä

U_i = kaikuluotaimelle mitattu jännite kaiusta i (V)

SL = lähtötaso (dB). Värähtelijän lähettämä äänivoimakkuus tietyllä lähetysteholla

G_0 = systeemin läpäisytao 1 m etäisyydellä tietyllä vastaanottotasolla (dB)

R_g = vastaanottovahvistus

G_{TVG} = ajasta riippuva vahvistus = $40 \log_{10}(R)$, missä R on värähtelijän ja kohteen välinen etäisyys (m)

b_{θ} = keilan muotokorjaus (0 dB, jos kohde on akustisella akselilla).

TL = yhteen suuntaan värähtelijän ja kohteen välillä kulkevan äänipulssin leviämisestä ja absorptiosta johtuva äänen vaimeneminen

(= $20 \log_{10}(R) + \alpha$, missä R on kohteen ja värähtelijän välinen etäisyys (m) ja α on absorptiokerroin).

Lohkokeilakaikuluotaimen äänikeilan muotokorjaus b_{θ} (beam pattern factor) kompensoi äänen vaimenemisen kohteen siirtyessä keilan reunaa kohti. Keilan muotokorjaus on vertikaali- ($b_{\theta v}$) ja horisontaalikulman ($b_{\theta h}$) funktioiden summa. Tämän työn luotaimessa käytettiin neljännen asteen polynomia.

$$b_{\theta v} = a_v + b_v * y + c_v * y^2 + d_v * y^3 + e_v * y^4, \quad (2.2)$$

missä

$b_{\theta v}$ on keilan muotokorjaus vertikaalitasossa (dB), y on vertikaalisuuntainen kulmapoikkeama (°) akustiselta-akselilta ja vakiot $a_v - e_v$ on määritetty laboratorikalibraatiossa (arvot Taulukossa 2). Horisontaalitasossa keilan muotokorjaus on

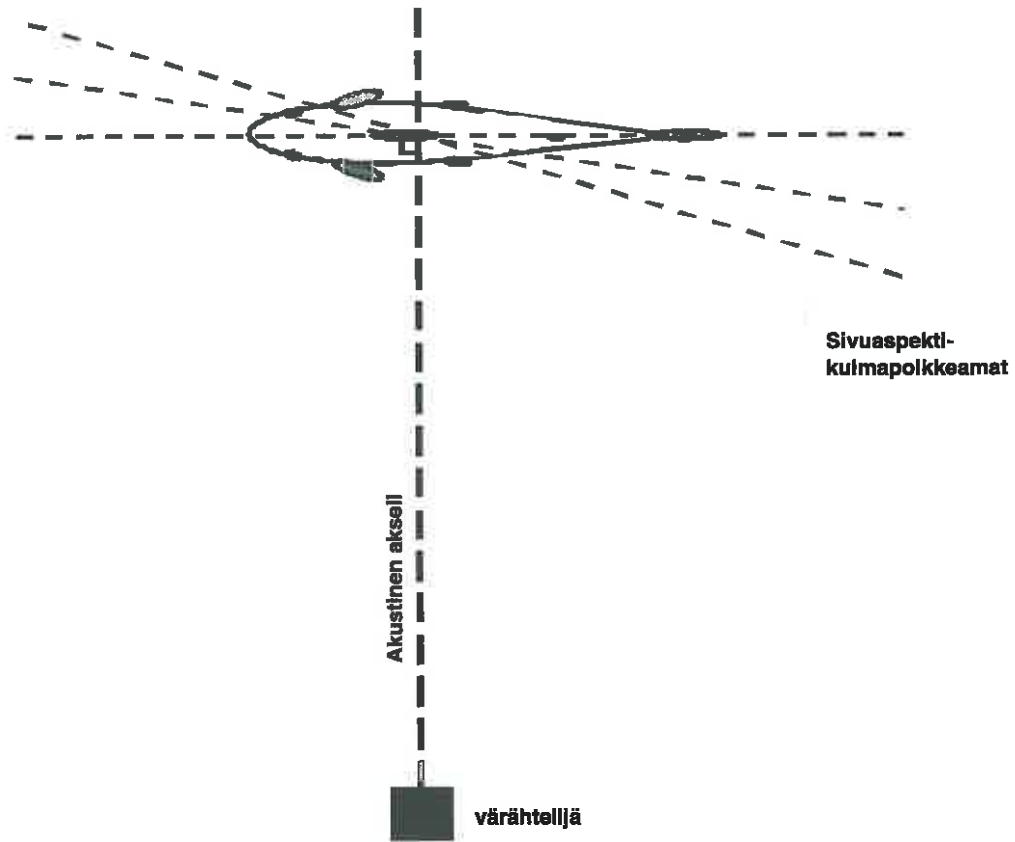
$$b_{\theta h} = a_h + b_h * x + c_h * x^2 + d_h * x^3 + e_h * x^4, \quad (2.3)$$

missä

x on horisontaalisuuntainen kulmapoikkeama (°) akustiselta-akselilta, $a_h - e_h$ ovat laboratorikalibraatiossa määritettyjä vakioita (arvot Taulukossa 2).

2.2. Kalan sivuaspektikohdevoimakkuus

Kun sivuttaissuuntaisessa kaikuluotauksessa äänikeilassa uivan kalan kyljet ovat värähtelijän värähtelypinnan kanssa samansuuntaisessa tasossa eli kala on sivuaspektisissä värähtelypintaan nähden. Kalan kyljestä mitattua kohdevoimakkuutta kutsutaan sivuaspektikohdevoimakkuudeksi. Kohdevoimakkuus on suurimmillaan kalan pituussuuntaisen akselin ollessa kohtisuorassa (90°) äänikeilan akustiseen akseliin nähden (Love 1977; Dahl & Mathisen 1982; Kubecka 1994). Kohdevoimakkuuteen vaikuttavat mm. kalan koko, poikkeama sivuaspektista ja pinta-ala sekä uimarakon tilavuus. Sivuaspektikulmalla tarkoitetaan kalan pituussuuntaisen akselin ja äänikeilan akustisen akselin välistä kulmapoikkeamaa 90°:n kulmasta (Kuva 2).



Kuva 2. Kalan pituussuuntaisen akselin ja akustisen akselin väliset sivuaspektikulmapolkkeamat 90°:n kulmasta (0°, 10° ja 20°).

Saman kokoisten eri lajien yksilöiden keskimääräinen sivuaspektikohdevoimakkuus voi vaihdella 2-3 dB (Love 1977; Foote 1980a). Kohdevoimakkuus vaihtelee myös samasta kalasta heijastuneiden kaikujen välillä johtuen siitä, että ääni heijastuu kalan uimarakosta, suomuista, ruodoista jne. Takaisin heijastuva äänienergia on näiden heijasteiden summa. Tämän interferenssiksi kutsutun ilmiön vuoksi kaiut joko vahvistavat tai vaimentavat toisiaan.

Love (1977) määritti yhtälön sivuaspektikohdevoimakkuuden ja kalan pituuden välille. Yhtälön riippumattomana muuttujana on kalan pituuden ja kaikuluotaimen käyttämän äänen aallonpituuden välinen suhde (L/λ). Yhtälö on voimassa, jos $1 < L/\lambda < 100$. Yhtälössä oletetaan, että

$$\delta/\lambda^2 = a(L/\lambda)^b, \quad (2.4)$$

missä δ on kalan akustinen poikkileikkaus (acoustic cross-section), λ on luotausäänen aallonpituus (m), L on kalan pituus (m), a ja b ovat empiirisesti määritettyjä vakioita. Kohdevoimakkuus (TS) desibeleinä saadaan yhtälöstä

$$TS = 10 \log_{10}(\delta/4\pi), \quad (2.5)$$

missä 4π on säteeltään 2 m ympyrän pinta-ala (m²). Yhtälöt (2.4) ja (2.5) yhdistämällä saadaan

$$TS = 10 \log_{10}((\lambda^2 a(L/\lambda)^b) / 4\pi). \quad (2.6)$$

Love (1977) määritti kokeellisesti yhtälön (2.4) vakiot a ja b . Luodattaessa kalaa sivuaspektista $\pm 15^\circ$ kulmavaihtelulla 0° -kulmasta saadaan vakioiksi $a = 0,074$ ja $b = 1,9$. Kalan pääpuolen ollessa käännettynä luotaimen värähtelijään päin $15 - 45^\circ$ saadaan

vakioiksi $a = 0,018$ ja $b = 1,96$, kun taas pyrstöpuolen ollessa käännettynä $15 - 45^\circ$ värähtelijään päin vakiot ovat $a = 0,023$ ja $b = 1,82$.

Love (1977) esitti kalan kohdevoimakkuuden myös kalan pituuden ja äänen taajuuden funktiona

$$TS = m \log_{10}(L) + a \log_{10}(f) + c, \quad (2.7)$$

missä m , a ja c ovat kokeellisesti määritettyjä vakioita ja riippuvat kalan asennosta luotaimen äänikeilassa. L on kalan pituus ja f on luotausäänen taajuus. Kalan kohdevoimakkuuden ja pituuden välinen riippuvuus on yleensä esitetty yksinkertaisemmin muodossa

$$TS = m \log_{10}(L) + b, \quad (2.8)$$

missä m ja b ovat kalalajista riippuvia vakioita (Middun 1984; Foote 1991).

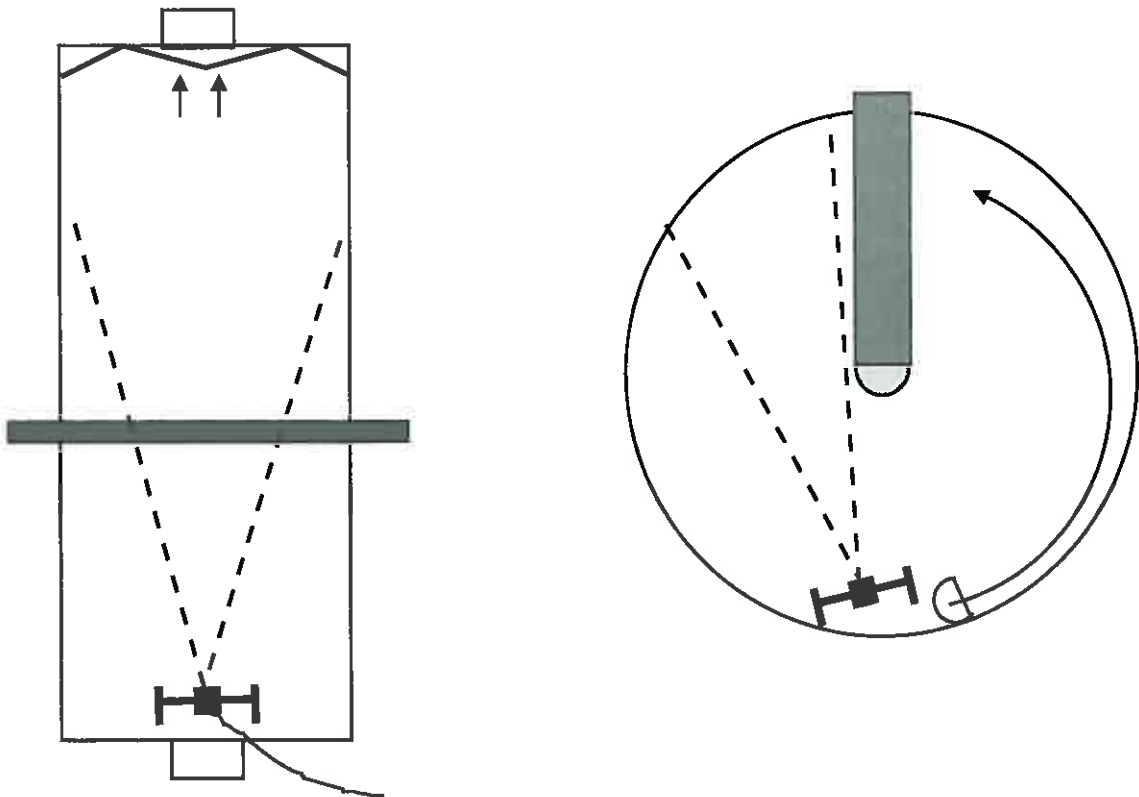
Yksinkertainen kohdevoimakkuuden ja kalan koon välisen riippuvuuden geometrinen malli olettaa, että takaisin heijastuva kaikuenergia on verrannollinen kalan horisontaalitason poikkileikkauspinta-alaan *so.* kalan pituuden neliöön (MacLennan 1990). Tällöin kalan kohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välisen lineaarisen riippuvuuden (2.8) kulmakerroin on 20 eli

$$TS = 20 \log_{10}(L) + b. \quad (2.9)$$

3. Aineisto ja menetelmät

3.1. Tutkimuspaikka ja tutkittavat kalat

Kalojen sivuaspektikohdevoimakkuusmittaukset tehtiin 1. - 18.4.1997 Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen (RKTL) Saimaan kalantutkimus ja vesiviljelyssä. Kaloja kaikuluodattiin sivusta betonisissa pitkittäis- ja pyörövirtausaltaissa (Kuva 3). Pitkittäisvirtausallas oli 30 m pitkä, 5 m leveä ja 1,2 m syvä. Pyörövirtausaltaan halkaisija oli 12 m ja vesisyvyys 1,2 m. Ennen luotauksia altaat tyhjennettiin ja kaikki kalat poistettiin. Vesi laskettiin altaisiin siiviläverkon läpi. Siksi voidaan olettaa, että kaiut ovat heijastuneet vain altaaseen päästetyistä kaloista, altaan seinästä tai veden pinnasta. Pitkittäisvirtausaltaassa oli äänenvaimentimena riisinjuurituroista tehty seinämä, joka oli luotaimen värähtelijään nähden altaan vastakkaisessa päädyssä.



Kuva 3. Pitkittäis- ja pyörövirtausaltaat yläpuolelta katsottuna. Molempiin altaisiin on merkitty luotaimen värähtelijän paikka, äänikeila, veden virtaussuunta ja silta. Pitkittäisvirtausaltaassa on vaimentimena riisinjuurituroista tehty seinämä.

Tutkimuskalat saatiin viljelylaitoksen emokalakannoista ja laitoksen yläpuolella olevasta Ylä-Enonvedestä, josta ne pyydystettiin verkoilla. Tutkimuksessa käytettiin järvi-tiloita (Salmo salar m. sebago) ja järvitaimenta (Salmo trutta). Muut lajit olivat siika (Coregonus sp.), hauki (Esox lucius) ja lahna (Abramis brama) (Taulukko 1).

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt kalalajit, kalojen lukumäärät, niiden pituuden ja massan vaihteluvälit sekä kalojen alkuperä. SKVY = Saimaan kalantutkimus ja vesiviljely.

| Kalalaji | Lukumäärä | Pituus [cm] Min.- Maks. | Massa [g] Min.- Maks. | Alkuperä |
|------------|-----------|----------------------------|--------------------------|--------------|
| Järvi-tilo | 10 | 30,2 - 69,0 | 279 - 3048 | SKVY |
| Taimen | 17 | 30,0 - 60,2 | 375 - 2424 | SKVY |
| Siika | 2 | 48,0 - 52,9 | 1029 - 1659 | SKVY |
| Hauki | 3 | 42,5 - 60,6 | 479 - 1442 | Ylä-Enonvesi |
| Lahna | 1 | 42,6 | 1098 | Ylä-Enonvesi |

Kalat siirrettiin tutkimusaltaiden vierelle 1 m³ siirtoaltaassa 2-3 kalaa kerrallaan. Ylä-Enonvedessä verkot olivat 4-10 metrin syvyydessä. Tästä johtuen kalojen uimarakon sisäinen paine oli suurempi kuin niitä tutkimustilanteessa ympäröivä paine. Koska kalan uimarakko on tärkeä ääntä heijastava elin, on uimarakon sisäisen paineen oltava kaikuluotauksen aikana kaikilla kaloilla sopeutunut tutkimussyvyyteen. Siksi verkoilla pyydystettyjen kalojen annettiin sopeutua 6-7 tuntia metrin syvyyttä vastaavaan paineeseen. Kaikista tutkimuksessa käytetyistä kaloista määritettiin pituus (mm), massa (g), sukupuoli, uimarakon pituus ja kalan korkeus viidestä kohdasta (ks. kuva 4).

3.2. Kaikuluotainlaitteisto

Tutkimuksessa käytettiin Hydroacoustic Technology, Inc. (HTI) Model 243 digitaalista lohkoikeilakaikuluotainlaitteistoa. Siihen kuului 200 kHz:n lohkoikeilaluotain, digitaalinen kaikuprosessori, elliptistä äänikeilaa lähettävä värähtelijä, värähtelijän rotaattori, 150 metriä kaikuluotainkaapelia (2 * 75 m), oskilloskooppi, digitaalinen kasettinauhuri, rotaattorin säätöyksikkö, matriisitulosin ja tietokone. Värähtelijän lähettämän elliptisen äänikeilan avautumiskulma oli horisontaalisuunnassa 10° ja vertikaalisuunnassa 4°.

HTI Model 243 lohkoikeilakaikuluotaimessa kohteesta rekisteröityy tietokoneen RAW-tiedostoon kohteen etäisyys (m), kaiun jännite (V), vertikaalinen ja horisontaalinen kulma (°) akustiselta-akselilta (HTI 1996). Tästä tiedostosta halutut kaiut poimitaan manuaalisesti TRAKMAN-ohjelmalla, josta kaiut tallentuvat MEC- ja MFC-tiedostoon.

Pitkittäisvirtausaltaan kohdevoimakkuusmittauksissa kaikuluotain lähetti kaksi äänipulssia sekunnissa. Tällöin äänipulssi kulki ennen seuraavan pulssin lähtöä noin 700 metriä ($1407,4 \text{ m/s} * 0,5 \text{ s} = 703,7 \text{ m}$) ja vaimentui niin, ettei se enää aiheuttanut häiriötä seuraaviin äänipulssihin. Pyörövirtausaltaan mittauksissa pulssitiheyttä nostettiin seitsemään äänipulssiin sekunnissa, jotta kohdevoimakkuutta laskettaessa kalasta heijastuneiden kaikuun lukumäärä olisi ollut > 5 kaiku/uinti äänikeilan läpi

(Burwen ym. 1995). Vastaanottimen kynnysarvoksi asetettiin 80 mV (-46 dB), jolloin tätä heikommät äänet eivät rekisteröityneet luotaimelle (Taulukko 2). Heijastuvan kaiun maksimiarvo oli 3 V (-14,5 dB).

Taulukko 2. Kaikuluotaimen asetukset. Muuttujien nimet, käytetyt lyhenteet sekä arvot ja yksiköt.

| Muuttuja | Muuttuja engl. | Lyhenne | Arvo ja yksikkö |
|---|---|-----------|---------------------|
| Lähetysteho | Transmit power | | 20 dB |
| Lähtötaso | Source level | SL | 211,00 dB |
| Systeemin läpäisytaaso | Through-system gain | G_0 | -174,97 dB |
| Kuuntelu- vahvistus | Receiver gain | R_g | -12,00 dB |
| Ajasta riippuva vahvistus | Time-varied gain function | G_{TVG} | $40 \log_{10}(R)^*$ |
| Äänipulssin kesto | Pulse width | | 0,4 ms |
| Äänipulssien tiheys | Ping rate | | 2 /s ja 7 /s |
| Kynnysarvo | Echo threshold | | 80 mV |
| Absorptiohävikki | Absorbtion coefficient | α | 0 dB/m |
| Keilan vertikaalisen muotokorjaus-funktion vakiot | Beam pattern factor coefficients (vertical) | a_v | 0 |
| | | b_v | 0,0014 |
| | | c_v | -1,4757 |
| | | d_v | 0,0287 |
| | | e_v | -0,0152 |
| Keilan horisontaalisen muotokorjaus-funktion vakiot | Beam pattern factor coefficients (horizontal) | a_h | 0 |
| | | b_h | 0,0004 |
| | | c_h | -0,2356 |
| | | d_h | -0,0002 |
| | | e_h | 0,0003 |

*) R = kohteen etäisyys värähtelijästä

3.3. Taustakohina ja kalibrointi

Taustakohinalla (background noise) tarkoitetaan luotaimen havaitsemia ääniä, jotka ovat joko heijastuneet ylimääräisistä kohteista (reverberation) tai ovat jonkun muun äänilähteen tuottamia (noise) (Mitson 1983). Taustakohinan voimakkuus TS_n (dB) laskettiin

$$TS_n = 20 \log_{10}(U) - SL - G_0 - R_g, \quad (3.1)$$

missä U = taustakohinasta aiheutuva jännite kaikuluotaimelle.

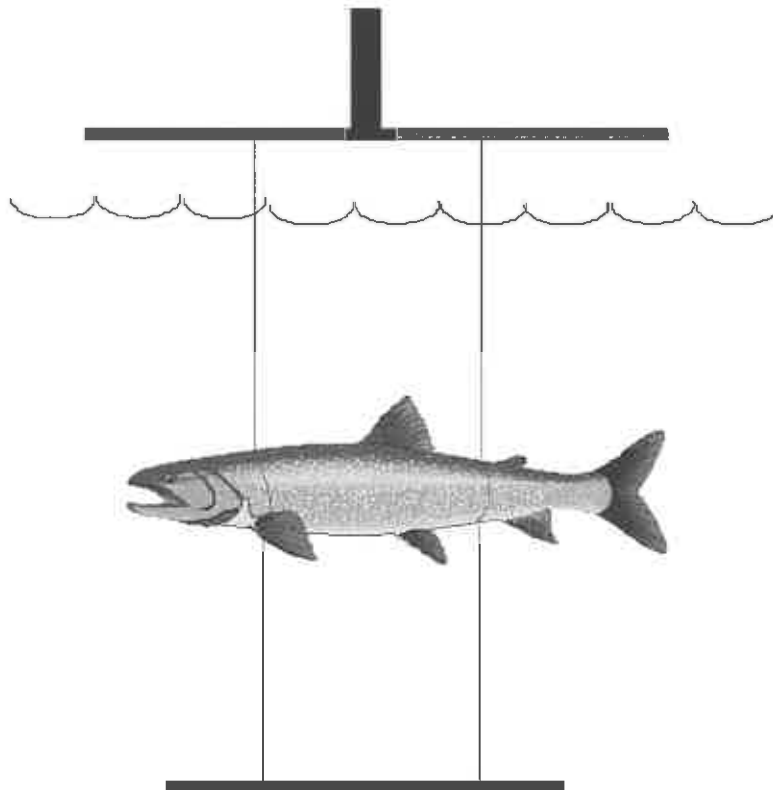
Kaikuluotainlaitteisto oli valmistajan toimesta kalibroitu laboratorio-olosuhteissa. Jokaisen tutkimuspäivän alussa ja lopussa laitteisto kalibroitiin in situ halkaisijaltaan 38,1 mm volframikarbidikalibraatiopallolla. Tutkimuksen alussa myös äänikeilan muotokorjausfunktion toiminta tarkastettiin mittaamalla kalibraatiopallon kohdevoimakkuus eri puolilla luotaimen äänikeilaa. Ennen jokaista kalibrointia pallo pestiin saippuavedellä, jolloin sen pinnalle ei jäänyt kohdevoimakkuuteen vaikuttavia ilma-

kuplia tai muita epäpuhtauksia. Myös luotaimen värähtelijän pinta pestiin aina ennen sen laskemista veteen. Koska kalibraatiopallon keskimääräinen kohdevoimakkuus ei pitkittäisvirtausaltaassa muuttunut merkittävästi tutkimusjakson aikana, pallon kohdevoimakkuutena voitiin pitää kaikkien in situ-kalibraatioiden kohdevoimakkuuksien aritmeettista keskiarvoa. Pyörövirtausaltaassa kalibraatiopalloa uitettiin edestakaisin luotaimen äänikeilan läpi. Uitoista laskettiin kohdevoimakkuuksien keskiarvo ja keskiahajonta.

3.4. Sivuaspektikohdevoimakkuuteen vaikuttavat tekijät

3.4.1. Kalan pituus ja sivuaspektikulma

Pitkittäisvirtausaltaassa mitattiin kaikuluotaimen äänikeilan keskellä 90° kulmassa äänikeilaan nähden olevan kalan kohdevoimakkuutta. Myös kalan ja äänikeilan akustisen akselin välisen sivuaspektikulmapoikkeaman vaikutusta kohdevoimakkuuteen tutkittiin. Kaikki kaikuluodatut kalat tapettiin kepillä niskaan kopauttamalla siten, että ne kuolivat välittömästi. Tämän jälkeen ne nopeasti sidottiin kahden siiman ($\varnothing = 0,30$ mm) ja painon avulla metalliseen ripustimeen (Kuva 4). Ripustimeen kiinnitetty kala laskettiin altaaseen ja ripustin kiinnitettiin altaan ylittävällä sillalla olevaan hahloon. Siimojen pituudet säädettiin siten, että paino oli alle 10 cm:n etäisyydellä altaan pohjasta. Kaikuluotain kytkettiin päälle heti, kun kalan ja rautatangon liike oli pysähtynyt. Kalat joutuivat käsittelyn aikana olemaan poissa vedestä noin yhden minuutin.



Kuva 4. Kalaa äänikellassa paikallaan pitävä ripustin. Kala kirstyi siimoissa olevien liikusolmujen väliin n. 1 kg painon avulla.

Ripustinta kääntämällä kala saatiin haluttuun sivuaspektikulmapoikkeamaan luotaimen äänikeilan akustiseen akseliin nähden. Kulmamuutosten aikana kaikuluotain oli kytketty päältä. Osalta kaloista mitattiin kulmamuutosten jälkeen kohdevoimakkuus uudestaan 0°-kulmasta. Tällöin kalan sivuaspektikohdevoimakkuutena on käytetty näiden kahden mittauksen keskiarvoa.

Kaikkien lohien kohdevoimakkuus mitattiin sivuaspektipoikkeamilla 0° (suorakulma), 10° ja 20°. Lisäksi puolella lohista kohdevoimakkuus mitattiin myös kulmilla 30°, 45° ja 90° (pyrstö kohti luotainta). Lohien sivuaspektikulmapoikkeaman vaikutusta kohdevoimakkuuteen tutkittiin yhtälön 2.8 kulmakertoimen m avulla. Kaikilla kulmapoikkeamilla määritettiin regressiosuora kohdevoimakkuuden ja kalan pituuden logaritmin välille. Regressiosuorien vakioksi b kiinnitettiin -64,7 dB, mikä oli aineistosta laskettujen eri aspektien regressiosuorien vakioiden b keskiarvo. Tällöin oletetaan, että kalan pituuden ollessa 0 cm heijastuva kohdevoimakkuus on ainoastaan taustakohinaa. Regressiosuoran vakioksi b valittiin -64,7 dB eikä oskilloskoopista arvioitua taustakohinan -62,3 dB äänenvoimakkuutta, joka on epätarkka. Tällöin

$$TS = f(m(\alpha)) = m(\alpha) * \log_{10}(L) - 64,7 \text{ dB}, \quad (3.2)$$

missä

$$m(\alpha) = d \cos(\alpha) + c. \quad (3.3)$$

Yhtälössä α on sivuaspektikulmapoikkeama (°), d ja c ovat havainnoista määritettyjä vakioita.

Tutkimusaikana veden lämpötila vaihteli välillä 0 - 2°C, jolloin äänipulssin nopeus vedessä oli 1407,4 m/s ja aallonpituus vastaavasti 0,007 m.

3.4.2. Kalalaji ja sen pinta-ala

Lajin vaikutusta kohdevoimakkuuteen tutkittiin järvilohen ja taimenen sekä siian, hauen ja lahnan välisten 0°-kulmasta mitattujen sivuaspektikohdevoimakkuuksien erojen avulla. Lohien ja muiden lajien sivuaspektikohdevoimakkuuksien ja kalan pituuksien logaritmien välisiä regressiosuoria verrattiin toisiinsa "dummy"-muuttujan avulla. Regressiosuoria vertailtiin toisiinsa sekä suorien kulmakertoimen ollessa kiinnitettynä arvoon 20 että kaikkien kalojen sivuaspektikohdevoimakkuuksista määritetyn yhteisen kulmakertoimen p kanssa.

$$TS = 20 \log_{10}(L) + c * \text{dummy} + b \quad (3.4)$$

$$TS = p \log_{10}(L) + c * \text{dummy} + b, \quad (3.5)$$

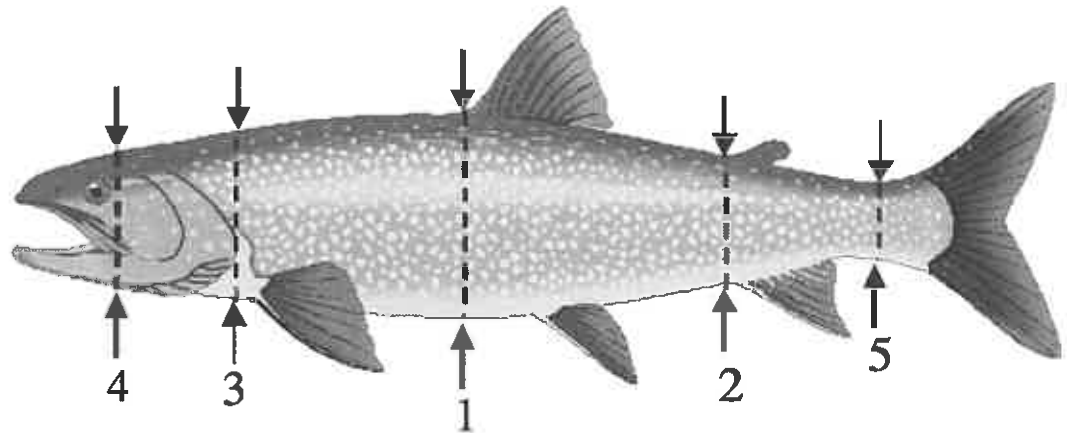
missä p, b ja c ovat aineistosta määritettyjä vakioita. "Dummy"-muuttuja oli lohilla 0 ja muilla lajeilla 1. Muuttujan c arvo määritteli lajien välisen kohdevoimakkuuseron dB:nä. Lohien ja muiden lajien sivuaspektikohdevoimakkuuksien (TS) ja -pinta-alojen (A) välisiä regressiosuoria verrattiin myös toisiinsa "dummy"-muuttujalla, jolloin

$$TS = p * A + c * \text{dummy} + b, \quad (3.6)$$

jossa kalojen sivuaspektipinta-ala (A, cm²) on

$$A = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5) / 7 * L, \quad (3.7)$$

missä h₁ - h₅ ovat kalan korkeuksia (cm) pisteissä 1 - 5 (Kuva 5) (kalan kuonon ja pyrstön päässä korkeus = 0) ja L on kalan pituus (cm). Kalan sivuaspektipinta-alaa tarkasteltiin suhteessa kalan pituuteen ja sivuaspektikohdevoimakkuuteen.



Kuva 5. Kalan korkeuden mittauspisteet: 1) selkäevän etureunasta, 2) peräaukon kohdalta, 3) kiduskannen takareunasta, 4) slimän takareunasta (suu suljettuna) ja 5) kapelmmalta kohdalta rasvaevän ja pyrstön välistä.

3.4.3. Uimarakko

Uimarakon vaikutusta kohdevoimakkuuteen tutkittiin kahdeksalla taimenella. Kaloja luodattiin ensin sivuaspektista uimarakko ehjänä. Sen jälkeen kaloihin viillettiin veden alla luotaimen värähtelijästä pois päin olevaan kylkeen uimarakon puhkaiseva viilto. Tällöin uimarakossa oleva kaasu korvautui vedellä. Tämän jälkeen kaloja luodattiin uudelleen sivuaspektista ja kohdevoimakkuuksia verrattiin ehjällä uimarakolla tehtyihin mittauksiin.

3.5. Uivan kalan sivuaspektikohdevoimakkuus

3.5.1. Altaassa uiva taimen

Pyörövirtausaltaassa tutkittiin virrassa uivan kalan sivuaspektikohdevoimakkuutta. Koska kalat eivät vapaaehtoisesti uineet äänikeilan läpi, niitä oli uitettava valjaiden avulla. Kalan rintaevien takaa sidottiin puuvillanarulla silmukka, johon sidottiin siima. Siiman toinen pää oli kolmemetrissä vavassa. Vavan avulla kalaa uitettiin edestataisin luotaimen äänikeilan läpi. Uivan kalan sivuaspektikohdevoimakkuudet mitattiin kuudelta taimenelta. Taimenista pienimmät olivat noin 35 cm:n ja suurimmat 55 cm:n mittaisia. Jokaisesta uitosta määritettiin kohdevoimakkuuksien keskiarvo, minimi, maksimi, keskihajonta ja kaikujen lukumäärä.

3.5.2. Tornionjokeen nouseva kohde

Tornionjokeen nousevien kohteiden sivuaspektikohdevoimakkuuksia tutkittiin kesällä 1997 horisontaalikaikuluotauksella. Tähän ex situ- tutkimukseen valittiin joen länsirannalle sijoitetun värähtelijän (4° x 10°) keräämiä kaikuja, jotka luotain oli havainnut aamupäivien 12. - 13. 6. aikana. Tornionjoella ja Enonkoskella käytettiin samaa

lohkokeilaluotainta. Joelta kerättyjen kaikujen kynnyksarvot olivat 699 mV (-37 dB etäisyydellä 0-40 m) ja 880 mV (-35 dB yli 40 m) (Taulukko 3). Yksikään valituista kaloista ei kuitenkaan uinut keilan läpi yli 40 m etäisyydellä värähtelijästä, joten kynnyksarvo oli 699 mV.

Taulukko 3. Lohkokeilakaikuluotaimen asetukset Tornionjoen länsirannalla sijainneelle värähtelijälle (2,8° x 10°)

| Muuttuja | Muuttujan arvo ja yksikkö |
|------------------------|--------------------------------------|
| Lähtötaso | 219,63 dB |
| Systeemin läpäisytaaso | -167,74 dB |
| Kuunteluvahvistus | -18 dB |
| Äänipulssien tiheys | 8 /s |
| Kynnyksarvo | 699 mV (0-40 m) 880 mV (yli 40 m) |

Luotaimen tallettamista RAW-tiedostosta poimittiin 27 joessa ylöspäin nousutta kohdetta. Näistä laskettiin kaikujen lukumäärä, kohdevoimakkuuksien keskiarvo, minimi, maksimi ja keskihajonta. Lisäksi viideltä kohteesta tutkittiin sivuaspektikohdevoimakkuuden vaihtelua peräkkäisten kaikujen välillä. Kalalajista tai kohteen koosta ei ollut käytettävissä tietoa.

3.6. Tilastolliset menetelmät

Tilastollisessa tarkastelussa yksittäisen kalan kohdevoimakkuushavaintojen aritmeettista keskiarvoa käsiteltiin tutkittavana satunnaismuuttujana.

Sekä in situ-kalibraatioista että kalibraatiopallon utoista laskettiin kohdevoimakkuuksien keskiarvot ja keskihajonnat. Lisäksi laskettiin keskiarvoille ja keskihajonnoille keskiarvot. Ne eivät ole in situ-kalibraatioiden ja kalibraatiopallon uittojen keskihajontojen harhattomia estimaattoreita. Keskihajontojen keskiarvot kuvaavat eri kalibraatiokerroilla mitattujen kohdevoimakkuuksien keskihajontojen keskimääräistä suuruutta.

Uimarakon vaikutusta kalan sivuaspektikohdevoimakkuuteen tutkittaessa tilastollisena testinä oli muista poiketen (Mann-Whitney U-testi). Tällöin samasta kalasta mitattiin sivuaspektikohdevoimakkuus ennen ja jälkeen uimarakon puhkaisun. Kohdevoimakkuushavaintojen jakauman normalisuutta testattiin kymmenellä kalalla Kolmogorov-Smirnov-, Lilliefors- ja χ^2 -testillä. Kalat poimittiin testeihin satunnaisotannalla, niin että ainakin yksi siika, lahna ja hauki tuli mukaan otokseen.

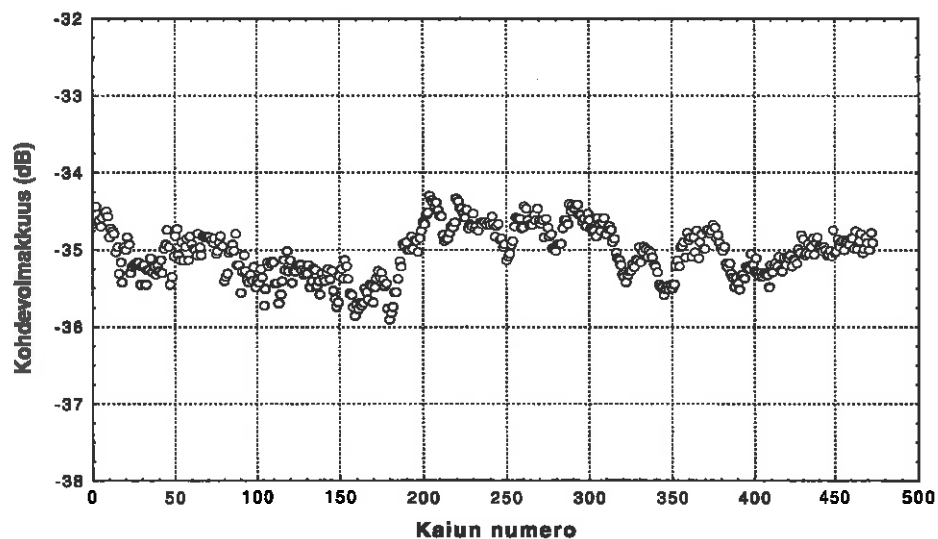
Kalojen sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välisessä regressioanalyysissä järvilohia ja -taimenia koskeva aineisto yhdistettiin (lohet), koska lajit ovat rakenteellisilta ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaiset. Muiden kalalajien ja kalojen lukumäärät olivat niin pieniä, että tilastollisissa analyyseissä myös muita kalalajeja koskeva aineisto yhdistettiin (muut).

4. Tulokset

4.1. Taustakohina ja in situ-kalibraatiot

Taustakohinan keskimääräiseksi tasoksi arvioitiin pitkittäisaltaassa 20 mV. Se vastaa -62,3 dB:n äänenvoimakkuutta. Taustakohinan huippuarvot olivat 35 - 40 mV (-53,1 - -52,0 dB).

Tutkimusaikana luotainlaitteisto kalibroitiin in situ kahdeksan kertaa. Yksittäisiä kohdevoimakkuushavaintoja ei voida pitää tilastollisena satunnaismuuttujana, koska kalibraatiopallon peräkkäisten kohdevoimakkuushavaintojen välillä näytti olevan jokin toistaiseksi tuntemattomasta syystä johtuva riippuvuus (Kuva 6). Pallon kohdevoimakkuuksien keskiarvo vaihteli välillä -35,17 dB - -34,48 dB (Taulukko 4). Tätä 0,7 dB:n vaihteluväliä voidaan pitää käytetyn lohkoilakaikuluotaimen maksimimittaustarkkuutena. Kalibraatioiden keskiarvo -34,92 dB oli 4,28 dB suurempi kuin kirjallisuudessa ilmoitettu kyseisen pallon nimellinen kohdevoimakkuus -39,50 dB (Foote & MacLennan 1984; MacLennan & Simmonds 1992). Kalojen sivuaspektikohdevoimakkuudet on korjattu vastaamaan volframikarbidipallon -39,50 dB:n kohdevoimakkuustasoa vähentämällä kalojen kohdevoimakkuuksista 4,28 dB:n systemaattinen virhe.



Kuva 6. Esimerkki volframikarbidikalibraatiopallon kohdevoimakkuushavaintojen vaihtelusta *in situ*-kalibraatiossa: 9.4.-97 kello 11.30.

Taulukko 4. *In situ*-kalibraatiot volframikarbidipallolla ($\varnothing = 38,1$ mm). Kalibraatiokerroilla havaittujen kaikujen lukumäärät (n), kohdevoimakkuuksien keskiarvot (TS), keskihajonnat (SD), minimi ja maksimit.

| Kalibraation numero | n | TS [dB] | SD [dB] | Minimi [dB] | Maksimi [dB] |
|---------------------|-----|------------|---------|-------------|--------------|
| 1 | 473 | -35,04 | 0,32 | -35,91 | -34,30 |
| 2 | 282 | -34,48 | 0,28 | -34,99 | -33,75 |
| 3 | 450 | -35,17 | 0,61 | -36,52 | -33,22 |
| 4 | 261 | -35,08 | 0,54 | -35,87 | -33,10 |
| 5 | 261 | -34,86 | 0,63 | -36,54 | -32,60 |
| 6 | 255 | -35,01 | 0,32 | -35,78 | -34,27 |
| 7 | 510 | -34,75 | 0,12 | -35,10 | -34,43 |
| 8 | 59 | -35,03 | 0,20 | -35,53 | -34,50 |
| Σ 2551 | | ka. -34,92 | 0,45 | | |

Pyörövirtausaltaassa kalibraatiopallon uittojen keskiarvo oli -35,75 dB ja keskihajonta 1,72 dB (Taulukko 5). Pyörövirtausaltaassa mitattujen uivien kalojen sivuaspektikohdevoimakkuudet on korjattu vastaamaan volframikarbidikalibraatiopallon -39,50 dB:n kohdevoimakkuustasoa vähentämällä sivuaspektikohdevoimakkuuksista 3,75 dB:n systemaattinen virhe.

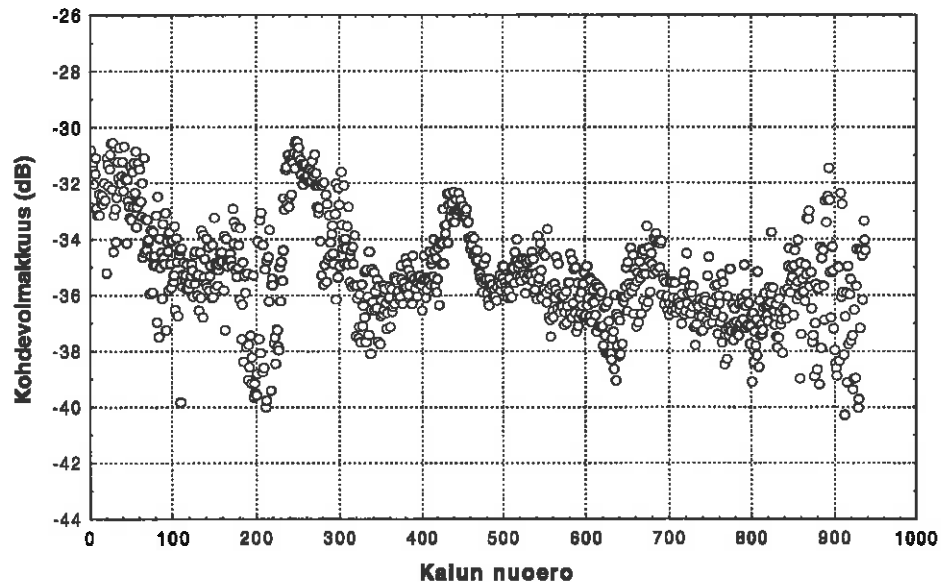
Taulukko 5. Pyörövirtausaltaassa luotaimen äänikeilan läpi uitetun volframikarbidikalibraatiopallon ($\varnothing = 38,1$ mm) havaitut kaikujen lukumäärät (n), kohdevoimakkuudet (TS), keskihajonnat (SD), minimi ja maksimit.

| Uiton numero | Kaikuja | TS [dB] | SD [dB] | Minimi [dB] | Maksimi [dB] |
|--------------|---------|------------|---------|-------------|--------------|
| 1 | 25 | -35,43 | 1,4 | -38,77 | -31,83 |
| 2 | 32 | -35,03 | 1,01 | -37,15 | -33,1 |
| 3 | 33 | -35,72 | 1,69 | -39,21 | -33,01 |
| 4 | 10 | -37,13 | 0,97 | -38,65 | -35,66 |
| 5 | 49 | -35,6 | 1,8 | -39,98 | -32,22 |
| 6 | 38 | -35,43 | 1,6 | -39,24 | -31,75 |
| 7 | 14 | -36,06 | 1,71 | -39,71 | -34,92 |
| 8 | 21 | -34,97 | 2,29 | -39,42 | -31,99 |
| 9 | 17 | -36,06 | 2,95 | -40,69 | -31,94 |
| 10 | 33 | -34,55 | 1,81 | -38,38 | -30,81 |
| Σ 274 | | ka. -35,75 | 1,72 | | |

4.2. Tainnutetun kalan sivuaspektikohdevoimakkuus

4.2.1. Kohdevoimakkuuden keskihajonta ja havaintojen jakauma

Taimenen peräkkäisissä kohdevoimakkuusarvoissa oli havaittavissa samanlainen jaksottaisuus kuin kalibraatiopallon peräkkäisissä kohdevoimakkuuksissa (kuva 7).



Kuva 7. Taimenen (32,0 cm) sivuaspektikohdevoimakkuuden vaihtelu kalkuluotauksen aikana. Havaintojen keskiarvo -35,25 dB (n = 937).

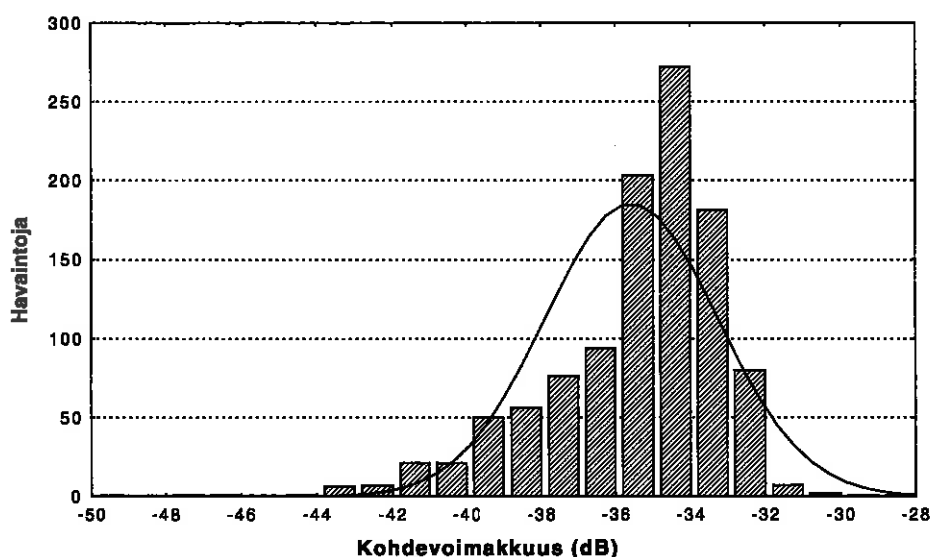
Järvilohien ja taimenten sivuaspektikohdevoimakkuuksien 0° poikkeaman kalakohtainen keskihajonta oli keskimäärin 2,50 dB (n = 22). Sekä lohien että muiden kalalajien 0°-kulmapoikkeamalla mitattujen sivuaspektikohdevoimakkuuksien keskimääräinen keskihajonta oli 2,74 dB (n = 28). Sivuaspektikohdevoimakkuuden ja keskihajonnan välillä ei ollut riippuvuutta ($r=0,05$ ja $p=0,78$).

Kohdevoimakkuushavaintojen jakaumat eivät yleensä noudattaneet normaalijakaumaa (Taulukko 6). Kolmogorov-Smirnov-testin mukaan neljän kalan kohdevoimakkuushavaintojen jakauma poikkesi tilastollisesti merkitsevästi normaalijakaumasta ($p < 0,05$). Lilliefors- ja χ^2 -testeillä kohdevoimakkuushavaintojen normalisuus hylättiin kahdeksalla kalalla kymmenestä.

Taulukko 6. Kalojen sivuaspektikohdevoimakkuushavaintojen normaalisuuden testaus Kolmogorov-Smirnov-, Lilliefors- ja χ^2 -testeillä (ns = ei poikkeaa normaalijakaumasta).

| Kala | Kalan pituus (cm) | Kolmogorov-Smirnov-testi | Lilliefors-testi | χ^2 -testi |
|-----------|-------------------|--------------------------|------------------|-----------------|
| Järvilohi | 54,9 | p > 0,1(ns) | p = 0,2(ns) | p = 0,11(ns) |
| Järvilohi | 69,0 | p < 0,01 | p < 0,01 | p < 0,01 |
| Siika | 52,9 | p < 0,01 | p < 0,01 | p < 0,01 |
| Lahna | 42,6 | p < 0,1 | p < 0,01 | p < 0,01 |
| Hauki | 60,6 | p > 0,1(ns) | p < 0,05 | p = 0,02 |
| Taimen | 37,5 | p < 0,05 | p < 0,01 | p < 0,01 |
| Taimen | 34,2 | p < 0,01 | p < 0,01 | p < 0,01 |
| Taimen | 53,2 | p < 0,1 | p < 0,01 | p < 0,01 |
| Taimen | 57,5 | p > 0,1(ns) | p < 0,1(ns) | p < 0,01 |
| Taimen | 55,5 | p > 0,1(ns) | p < 0,05 | p = 0,06(ns) |

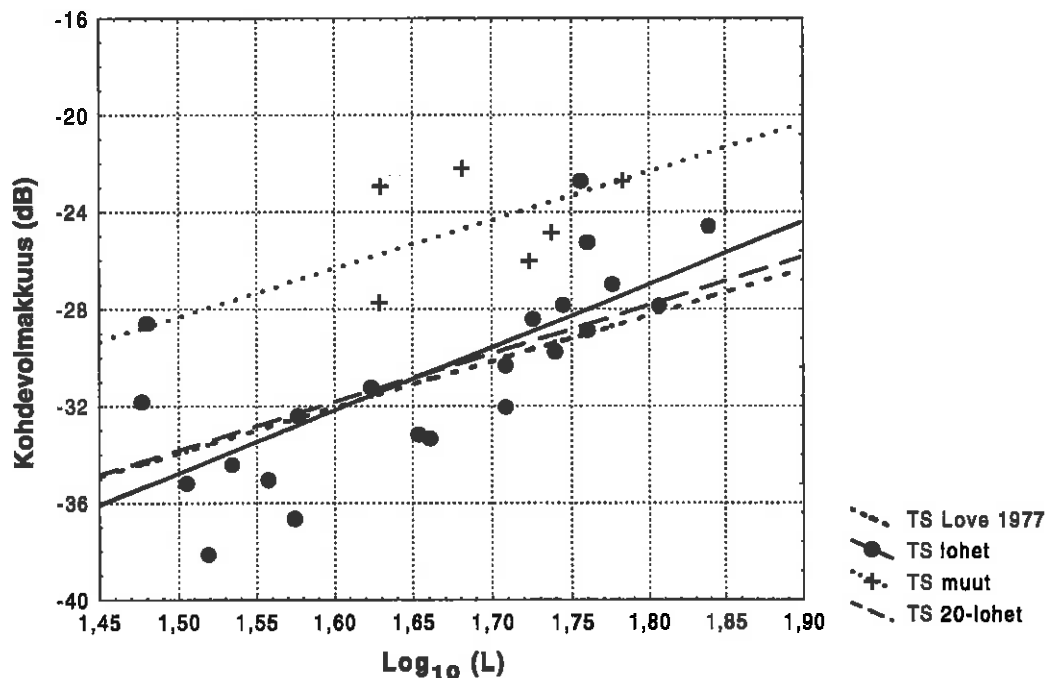
Osa kalojen sivuaspektikohdevoimakkuushavaintojen jakaumista oli negatiivisesti vinouja esim. 34,2 cm pitkän taimenen jakauman oli vinous oli -1,235 (Kuva 8). Liitteesä 1 on esitetty taulukon 6 muiden kalojen vastaavat jakaumat.



Kuva 8. Taimenen (L = 34,2 cm) 0°-sivuaspektikulman kohdevoimakkuushavaintojen jakauma ja alnelstoon sovitettu normaalijakauma. Havaintojen keskiarvo -35,57 dB (SD = 2,32 dB ja n = 1079).

4.2.2. Pituuden ja lajin vaikutus kohdevoimakkuuteen

Tässä tutkimuksessa kalan pituuden ja kaikuluotausäänen aallonpituuden suhde (L/λ) oli 40-100. Lohien sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välillä oli tilastollisesti erittäin merkitsevä riippuvuus (TS lohet, $r = 0,74$ $r^2 = 0,54$, estimaatin keskivirhe 2,8 dB ja $p < 0,001$) (Kuva 9, Taulukko 7). Lohien pituuksien (cm) logaritmien ja 0° -kulman sivuaspektikohdevoimakkuuksien (dB) välinen regressiosuora TS lohet ei poikkea merkittävästi Loven (1977) esittämästä suorasta (Taulukko 10). Kun lohien regressiosuoran kulmakertoimeksi kiinnitettiin äänen heijastumisen geometrisen mallin mukainen arvo 20, suorat olivat lähes identtiset. Sivuaspektikohdevoimakkuuden ja kalan pituuden välinen regressiosuora kulkee 42 - 62 cm lohilla kulmakertoimella 20 5,5 dB:ä (SE = 1,24 ja $p < 0,001$) matalammalla tasolla kuin muiden tutkittujen lajien vastaava suora. Kun suorien kulmakerroin määritettiin aineistosta, eroksi saatiin 5,3 dB (SE = 1,26 ja $p < 0,001$).

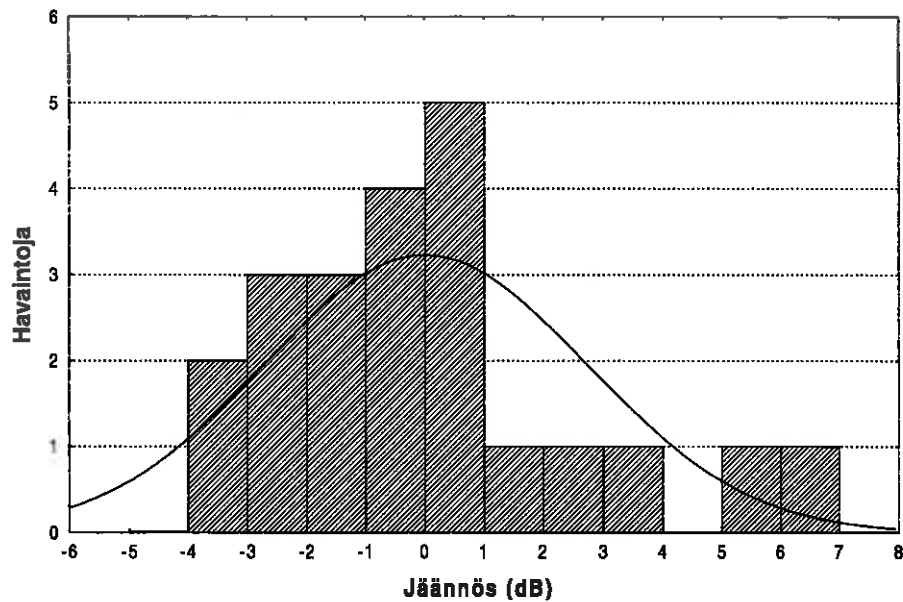


Kuva 9. Kalan sivuaspektikohdevoimakkuuksien ($\alpha = 0^\circ$) ja pituuksien logaritmien väliset regressiosuorat lohille (TS lohet ja TS 20-lohet), muille lajeille (TS muut) ja Loven yhtälön (TS Love 1977) mukaan. Yhtälöt Taulukossa 7.

Taulukko 7. Kalojen pituuksien (L, cm) ja sivuaspektikohdevoimakkuuksien (TS, dB) välisten regressiosuorien yhtälöt lohille (TS_{lohet} ja TS_{20-lohet}), muille lajeille (TS_{muut}) ja Loven (TS_{Love 1977}) mukaan. Suoran selitysaste (R²) ja arvion keskivirhe (SE).

| Malli | Yhtälö | n | R ² | SE |
|-------------------------|--|----|----------------|-----|
| TS _{Love 1977} | TS = 19 log ₁₀ (L) - 62,50 | | | |
| TS _{lohet} | TS = 26 log ₁₀ (L) - 73,77 s.e. ±5,4 ±8,9 | 22 | 0,54 | 2,8 |
| TS _{20-lohet} | TS = 20 log ₁₀ (L) - 63,83 | 22 | 0,51 | |
| TS _{muut} | TS = 20 log ₁₀ (L) - 58,33 | 6 | - | |

Lohien sivuaspektikohdevoimakkuuksien jäännökset suoralta TS_{lohet} poikkesivat merkitsevästi normaalista (χ²-testin p = 0,5).



Kuva 10. Lohien sivuaspektikohdevoimakkuuksien jäännökset suoralta TS_{lohet}.

4.2.3. Sivuaspektikulmapoikkeaman vaikutus kohdevoimakkuuteen

Eri sivuaspektikulmilla laskettujen kalan kohdevoimakkuuksien ja pituuden välisten regressiosuorien kulmakerroin pieneni kulmapoikkeaman kasvaessa eli kalan pituuden vaikutus kohdevoimakkuuteen pienenee kulmapoikkeaman kasvaessa (Taulukko 8). Pisteessä -64,7 dB kautta kulkevien regressiosuorien kulmakerroin m muuttui sivuaspektikulmapoikkeaman muuttuessa yhtälön 4.1 mukaan. Eri kulmapoikkeamilla kalan sivuaspektikohdevoimakkuuksien ja pituuksien logaritmien välisten regressiosuorien y-akselin leikkauspisteeksi (kalan pituus = 0) kiinnitettiin arvo -64,7 dB. Tällöin 0°-

sivuaspektikulmalla regressiosuoran TS lohet kulmakerroin muuttui arvosta 26 (Taulukko 7) arvoon 20,6.

Taulukko 8. Kalan kohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välisten regressiosuorien kulmakertoimet eri sivuaspektikulmilla, kun y-akselin leikkauspisteeksi on kiinnitetty 64,7 dB. Havaintojen lukumäärät (n), kulmakertoimien keskivirheet (SE), p-arvot ja suorien selitysaste (R²).

| Sivuaspektikulma | n | Kulmakerroin | SE | p < | R ² |
|------------------|----|--------------|------|-------|----------------|
| 0° | 20 | 20,57 | 0,37 | 0,001 | 0,52 |
| 10° | 20 | 18,73 | 0,46 | 0,001 | 0,37 |
| 20° | 20 | 17,14 | 0,5 | 0,001 | 0,39 |
| 30° | 10 | 15,33 | 0,53 | 0,001 | 0,21 |
| 45° | 10 | 13,8 | 0,34 | 0,001 | - |
| 90° | 6 | 12,13 | 0,26 | 0,001 | - |

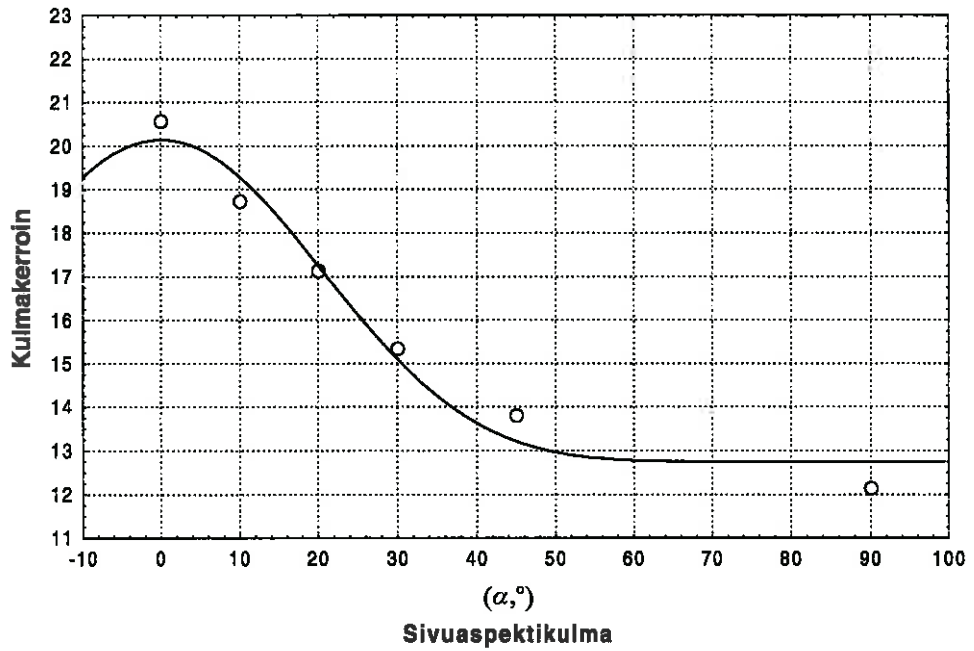
Eri sivuaspektikulmille määritettyjen regressiosuorien kulmakertoimien ja sivuaspektikulmien väliseksi riippuvuudeksi estimoituihin yhtälö 3.3 (Kuva 11)

$$m(\alpha) = 7,4 (\pm 0,6) * \cos(\alpha) + 12,75 (\pm 0,37) (\pm SE \text{ ja } R^2 = 0,97). \quad (4.1)$$

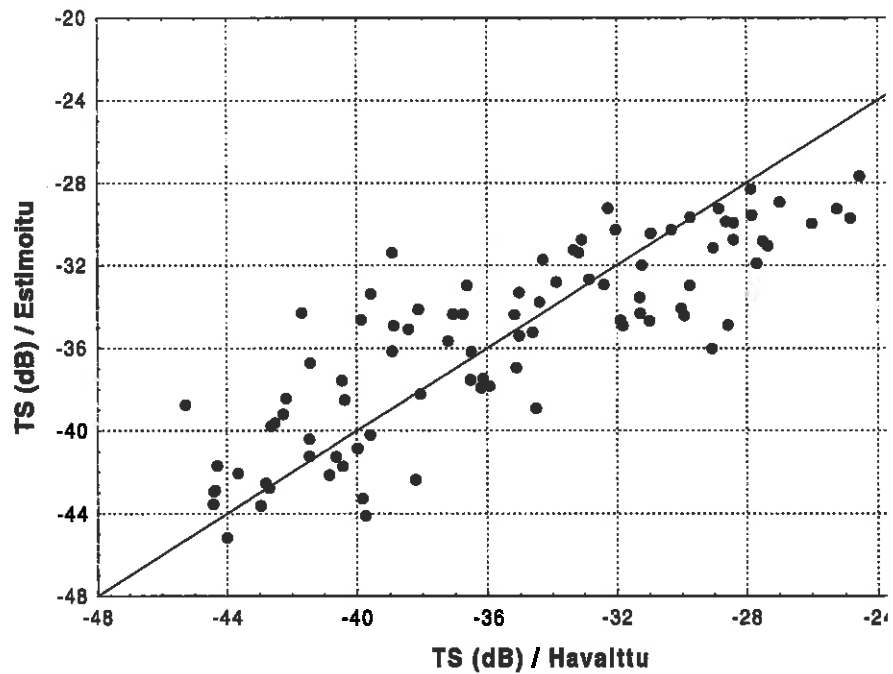
Kalan sivuaspektikulmapoikkeaman (α) vaikutukseksi kohdevoimakkuuteen (TS) kalan pituuden (L) suhteen saatiin

$$TS = (7,4 * \cos(\alpha) + 12,75) * \log_{10}(L) - 64,7. \quad (4.2)$$

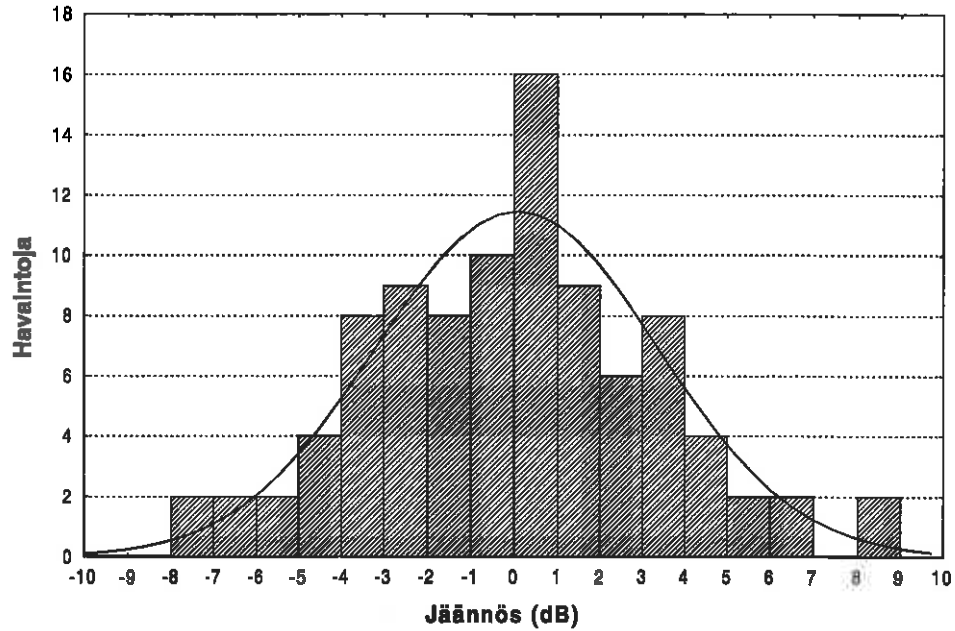
Lohkokeilakaikuluotaimella kaikilla sivuaspektikulmilla havaittujen kalan sivuaspektikohdevoimakkuuksien ja yhtälöllä (4.2) estimoitujen sivuaspektikohdevoimakkuuksien välinen korrelaatiokerroin oli 0,84 (n = 94) (Kuva 12) ja jäännösten jakauma noudatti normaali-jakaumaa keskiarvolla 0 (Kuva 13). Yli -32 dB kohdevoimakkuuksilla yhtälöllä (4.2) estimoidut sivuaspektikohdevoimakkuudet olivat pienempiä kuin luotaimella havaitut arvot.



Kuva 11. Kalan kohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välsten regressiosuorien kulmakertoimen riippuvuus sivuaspektikulmapoikkeamasta. $Kulmakerroin = 7,4 * \cos(\alpha)^8 + 12,75$.



Kuva 12. Havaittujen ja yhtälöllä (4.2) estimoitujen sivuaspektikohdevoimakkuuksien (TS) välinen riippuvuus, $r=0,84$. Yhtenäinen vilva on Havaittu = Estimoitu.



Kuva 13. Havaittujen sivuaspektikohdevoimakkuuksien jäännökset yhtälöllä 4.2 määritetyltä suoralta.

4.2.4. Sivuaspektipinta-alan vaikutus kohdevoimakkuuteen

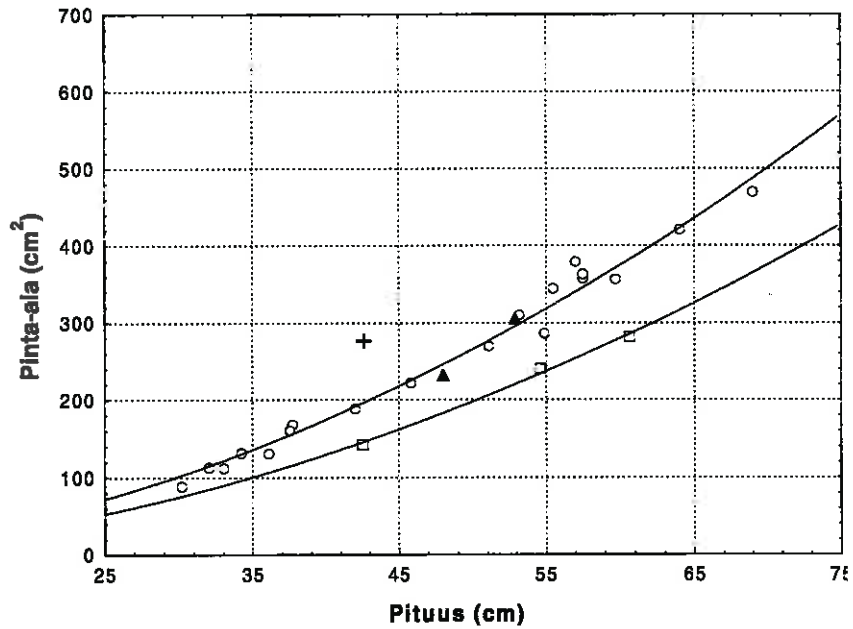
Lohien sivuaspektipinta-alan (A_{lohet} , cm^2) ja pituuden (L , cm^2) välinen riippuvuus on

$$A_{\text{lohet}} = 0,17(\pm 0,05) * L^{1,88(\pm 0,08)} \pm \text{SE}, (R^2 = 0,98) \quad (4.3)$$

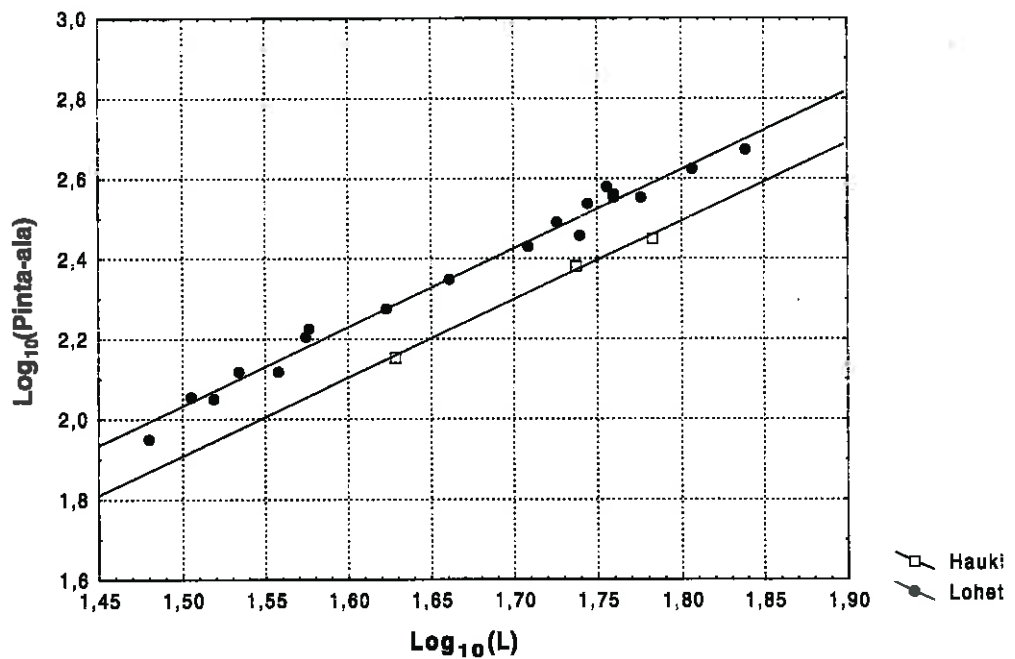
ja haukien vastaava yhtälö on (Kuva 14)

$$A_{\text{hauki}} = 0,12(\pm 0,09) * L^{1,9(\pm 0,2)} \pm \text{SE}, (R^2 = 0,99). \quad (4.4)$$

Lohilla ja hauilla pituuden (L) eksponentti ei poikennut merkittävästi arvosta 2, joten sivuaspektipinta-ala kasvoi suurinpiirtein suhteessa kalan pituuden neliöön. Kun lohien ja haukien sivuaspektipinta-alojen logaritmien ja kalojen pituuksien logaritmien välisiä regressiosuoria verrattiin toisiinsa, kulki lohien suora ylempänä kuin haukien vastaava suora (Kuva 15).



Kuva 14. Lohien (n = 19) ja haukien (n = 3) sivuaspektipinta-alojen ja pituuksien väliset riippuvuudet sekä siikojen ja lahnan yksittäiset havainnot.



Kuva 15. Lohien ja haukien sivuaspektipinta-alan (cm^2) ja pituuden (cm) logaritmien väliset riippuvuudet, missä $\log_{10}(A_{\text{Lohet}}) = 1,96 * \log_{10}(L) - 0,9$ ja $\log_{10}(A_{\text{Hauki}}) = 1,95 * \log_{10}(L) - 1,1$.

Lohien ja haukien sivuaspektikohdevoimakkuus kasvoi lineaarisesti kalan sivuaspektipinta-alan kasvaessa (Kuva 16). Lohien sivuaspektikohdevoimakkuuden (TS_{Lohet}) ja -pinta-alan (A_{Lohet}) välisen regressiosuoran yhtälö on

$$TS_{Lohet} = 0,030(\pm 0,005) * A_{Lohet} - 38,0(\pm 1,4) \quad (4.5)$$

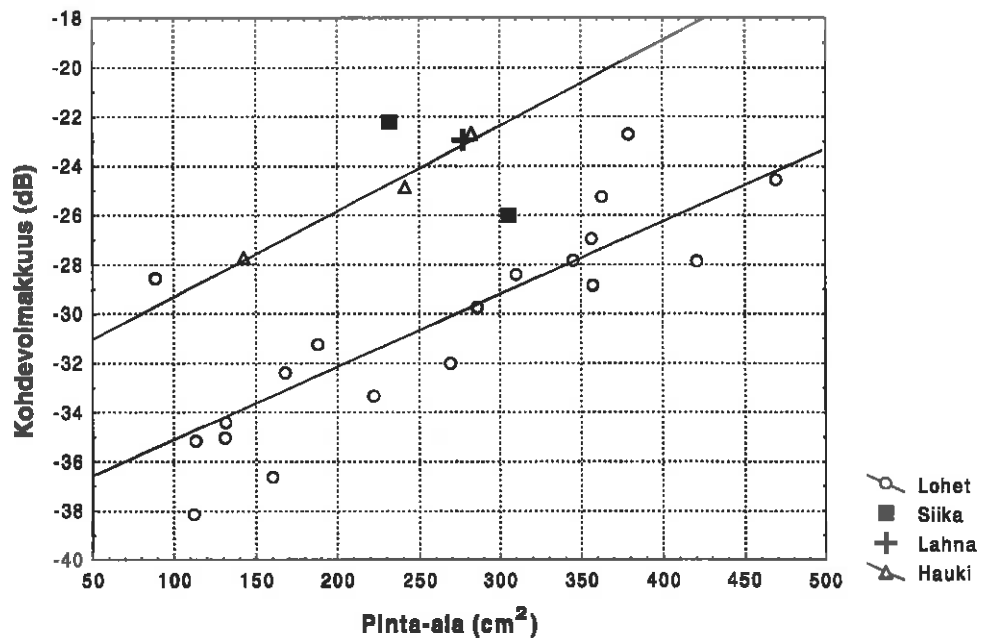
($n = 19$ ja $R^2 = 0,67$) ja haukien vastaava yhtälö on

$$TS_{Hauki} = 0,035(\pm 0,005) * A_{Hauki} - 32,8(\pm 1,2) \quad (4.6)$$

($n = 3$ ja $R^2 = 0,98$). Siikojen ja lahnan sivuaspektikohdevoimakkuuden ja -pinta-alan väliset havainnot ovat lähempänä haukien kuin lohien sivuaspektikohdevoimakkuuden ja -pinta-alan välistä regressiosuoraa. "Dummy"-muuttujalla saatiin yhtälön (3.6) mukaan

$$TS = 0,030(\pm 0,005) * A + 6,4(\pm 1,5) - 38,1(\pm 1,3) \text{ dB}, \quad (4.7)$$

missä TS = lohien ja haukien sivuaspektikohdevoimakkuus ja A = sivuaspektipinta-ala. Lohien sivuaspektikohdevoimakkuuden ja -pinta-alan välinen regressiosuora kulkee 6,4 dB matalammalla tasolla kuin muiden lajien vastaava suora.



Kuva 16. Lohien ja haukien sivuaspektikohdevoimakkuuksien ja -pinta-alojen väliset regressiosuorat sekä siikojen ja lahnan yksittäiset havainnot.

4.2.5. Uimarakon vaikutus kohdevoimakkuuteen

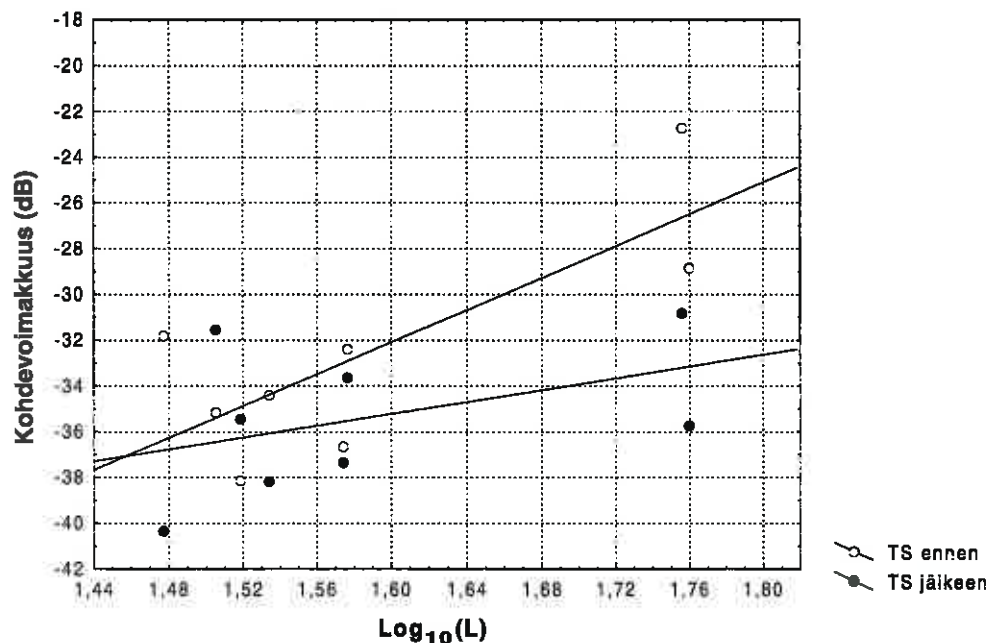
Uimarakon vaikutusta sivuaspektikohdevoimakkuuteen tutkittiin kahdeksalla järvi-taimenella. Taimenten heijastamien kohdevoimakkuuksien ja kalojen pituuden logaritmien välinen regressiosuora määritettiin ennen uimarakon rikkomista ja sen jälkeen. Ehjän uimarakon regressiosuoran yhtälöksi saatiin

$$TS_{\text{ehjä}} = 34,9(\pm 11,4) * \log_{10}(L) - 87,9(\pm 18,1) \quad (4.8)$$

ja yhtälö vedellä täyttämisen jälkeen oli (Kuva 17)

$$TS_{\text{rikottu}} = 12,9(\pm 10,9) * \log_{10}(L) - 55,9(\pm 17,4). \quad (4.9)$$

Yhtälöiden välillä ei ollut tilastollista eroa. Sivuaspektikohdevoimakkuuksien vertailu Mann-Whitneyn U-testillä osoitti jokaiselle kalalle tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ehjän ja rikutun uimarakon välille ($p < 0,001$). Kahden taimenen kohdevoimakkuus kasvoi, kun niiden uimarakko rikottiin. Suuremman kokoluokan taimenilla ehjän uimarakon kohdevoimakkuus oli keskimäärin 7,5 dB suurempi, kuin rikutun uimarakon. Pienemmän kokoluokan taimenilla kohdevoimakkuuksien erot olivat keskimäärin 3,0 dB.

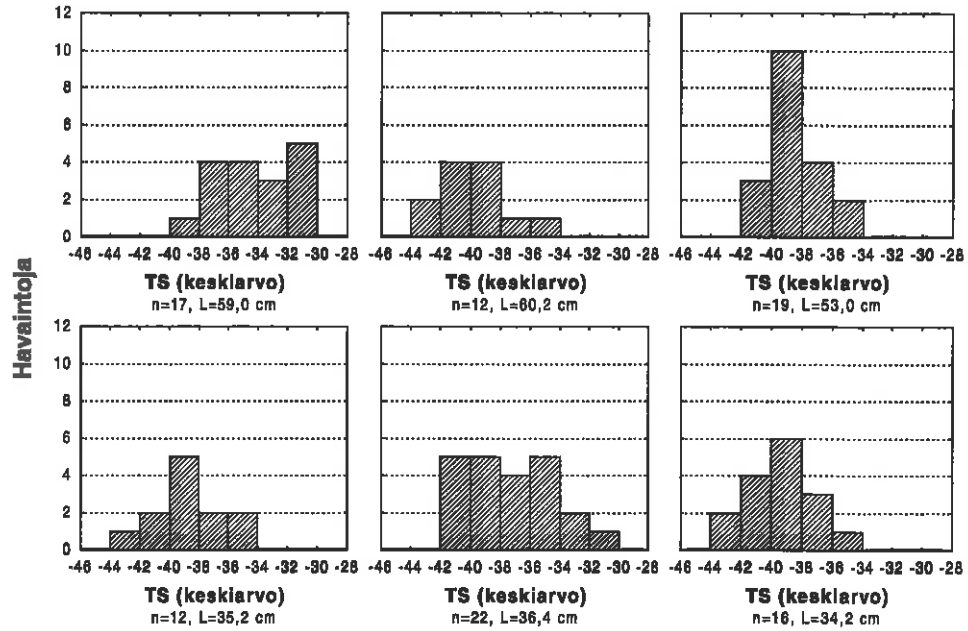


Kuva 17. Kohdevoimakkuuksien ja pituuden logaritmien väliset regressiosuorat taimenilla ennen uimarakon rikkomista ja sen jälkeen.

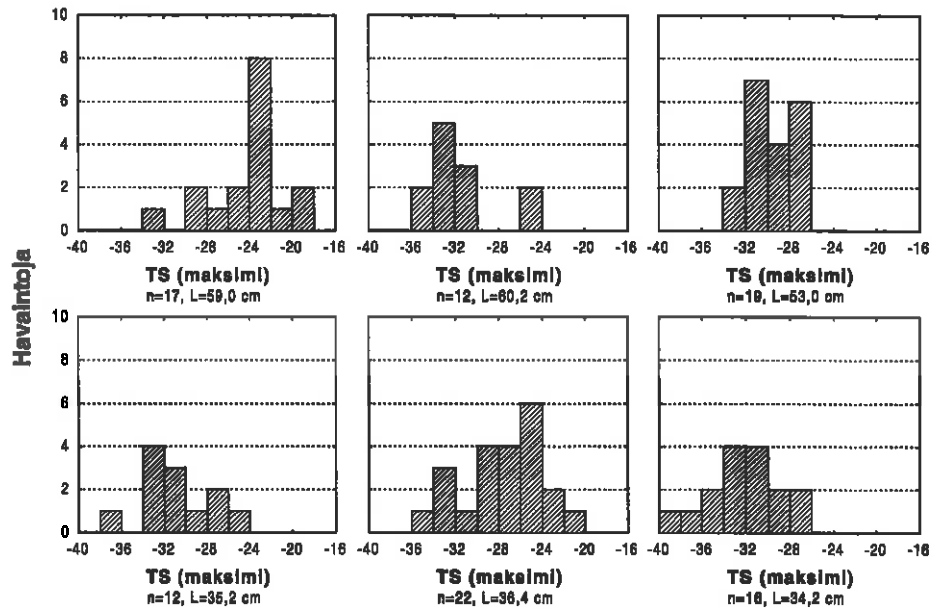
4.3. Uivan kalan sivuaspektikohdevoimakkuus

4.3.1. Altaassa uitettujen taimenten kohdevoimakkuus

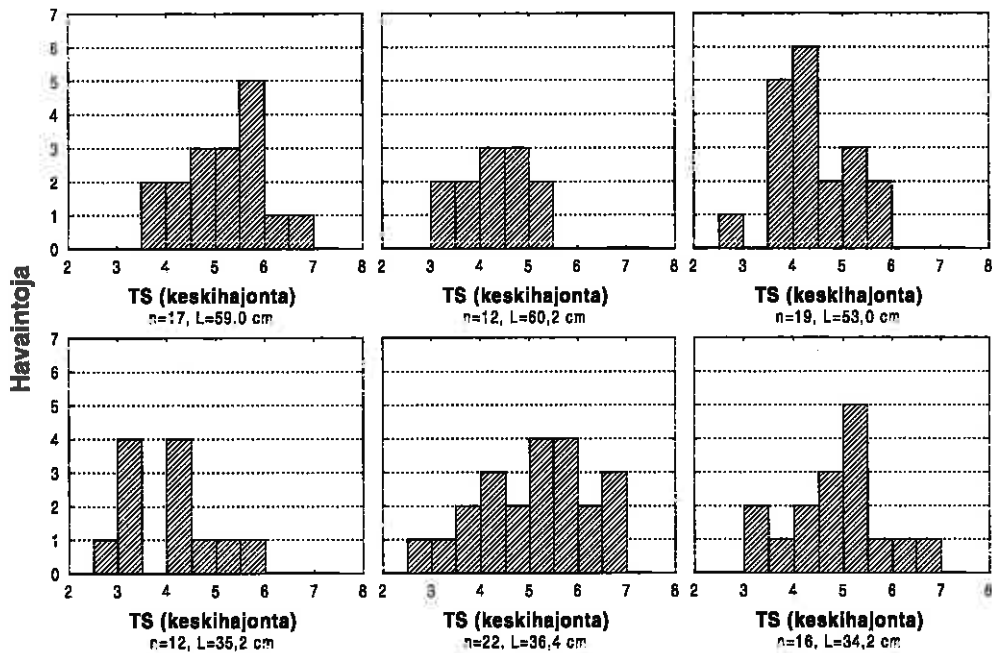
Pyörövirtausaltaassa uitettujen taimenten sivuaspektikohdevoimakkuudet vaihtelivat välillä -44 dB – -30 dB (Kuva 18). Suurten ja pienten taimenten kohdevoimakkuudet eivät poikenneet tilastollisesti toisistaan. Uittojen kalakohtaisten keskiarvojen keskiarvoista pienin mitattiin suurimmalta taimenelta. Sivuaspektikohdevoimakkuuksien maksimit eivät poikenneet tilastollisesti toisistaan (Kuva 19). Kaikkien uitettujen taimenten uittokohtaisten sivuaspektikohdevoimakkuushavaintojen keskihajonnat vaihtelivat välillä 2,5 - 7 dB (Kuva 20).



Kuva 18. Luotaimen äänikeilassa uitettujen taimenien ulttokohtaisten sivuaspektikohdevoimakkuuksien keskiarvojen jakaumat, uittojen lukumäärät (n) ja taimenten pituudet (L).



Kuva 19. Äänikeilassa uitettujen taimenien sivuaspektikohdevoimakkuuksien maksimien jakaumat, uittojen lukumäärät (n) ja taimenten pituudet (L).



Kuva 20. Äänikellassa uitettujen taimenten sivuaspektikohdevoimakkuuksien keskihajontojen jakaumat, uittojen lukumäärät (n) ja taimenten pituudet (L).

4.3.2. Tornionjokeen nousevien kohteiden kohdevoimakkuus

Tornionjokeen nousseiden kohteiden sivuaspektikohdevoimakkuuksien keskimääräinen keskihajonta oli 2,78 dB (Taulukko 9). Se oli hieman suurempi kuin pitkittäisvirtausaltaassa mitattujen tainnutettujen lohien vastaava arvo (2,50 dB). Tornionjokeen nousseiden kalojen kohdevoimakkuushavaintojen keskiarvoja tarkastelemalla TS₂₀-lohett-yhtälö antaa pienimmän kalan pituudeksi noin 35 cm ja suurimman kalan pituudeksi 108 cm. Vastaavasti TS_{muut}-yhtälöllä pituudet olivat 18 ja 57cm.

Tornionjokeen nousseiden kohteiden sivuaspektikohdevoimakkuushavainnot vaihtelevat satunnaisesti (Liite). Koska tietoa ei ole näiden kalojen uintiliikkeistä, ei voida arvioida, kuinka paljon kohdevoimakkuushavaintojen vaihtelu johtuu uintiliikkeen aiheuttamasta kalan heijastuspinnan muutoksista.

**Taulukko 9. Tornionjokeen nousevien kohteiden (27 kpl) sivuaspekti-
kohdevoimakkuudet (TS), kohdevoimakkuushavaintojen lukumäärät,
minimit, maksimit ja keskihajonnat (SD). Kohteiden pituusennusteet yh-
tälöllä TS₂₀-lohet ja TS_{muut}***

| Koht. nro | Kaikuja (kpl) | TS (dB) | Minimi (dB) | Maksimi (dB) | SD (dB) | Pituusennuste (cm) | |
|------------------|------------------|---------------|----------------|-----------------|-------------|-------------------------|--------------------|
| | | | | | | TS ₂₀ -lohet | TS _{muut} |
| 1 | 37 | -23,18 | -34,04 | -16,34 | 3,59 | 108 | 57 |
| 2 | 22 | -25,34 | -33,67 | -15,82 | 4,44 | 84 | 45 |
| 3 | 17 | -26,69 | -34,19 | -17,67 | 3,90 | 72 | 38 |
| 4 | 41 | -26,99 | -34,14 | -21,49 | 2,65 | 70 | 37 |
| 5 | 14 | -27,43 | -30,49 | -23,66 | 1,90 | 66 | 35 |
| 6 | 24 | -28,36 | -35,32 | -20,2 | 3,82 | 59 | 32 |
| 7 | 13 | -28,39 | -32,69 | -21,24 | 3,75 | 59 | 31 |
| 8 | 9 | -28,76 | -31,16 | -24,59 | 2,09 | 57 | 30 |
| 9 | 23 | -28,93 | -34,7 | -22,89 | 3,82 | 56 | 30 |
| 10 | 50 | -28,95 | -33,68 | -21,32 | 3,00 | 56 | 29 |
| 11 | 36 | -29,06 | -34,68 | -22,43 | 3,74 | 55 | 29 |
| 12 | 15 | -29,15 | -32,79 | -21,54 | 3,47 | 54 | 29 |
| 13 | 22 | -29,72 | -33,2 | -25,21 | 1,94 | 51 | 27 |
| 14 | 13 | -29,98 | -33,32 | -26,45 | 2,11 | 49 | 26 |
| 15 | 27 | -30,22 | -34,43 | -24,92 | 2,56 | 48 | 25 |
| 16 | 46 | -30,51 | -33,94 | -24,59 | 2,26 | 46 | 25 |
| 17 | 15 | -30,68 | -35,83 | -22,72 | 3,27 | 45 | 24 |
| 18 | 48 | -30,72 | -34,77 | -25,51 | 2,38 | 45 | 24 |
| 19 | 15 | -30,72 | -33,61 | -25,02 | 2,33 | 45 | 24 |
| 20 | 16 | -30,98 | -33,6 | -27,26 | 1,76 | 44 | 23 |
| 21 | 36 | -31 | -35,9 | -23,31 | 2,51 | 44 | 23 |
| 22 | 13 | -31,06 | -35,9 | -24,14 | 3,90 | 44 | 23 |
| 23 | 22 | -31,34 | -35,98 | -26,65 | 2,73 | 42 | 22 |
| 24 | 14 | -31,66 | -35,42 | -29,44 | 1,77 | 41 | 22 |
| 25 | 13 | -32,4 | -34,09 | -29,48 | 1,22 | 37 | 20 |
| 26 | 11 | -32,53 | -34,65 | -29,66 | 1,48 | 37 | 20 |
| 27 | 8 | -33,03 | -35,45 | -27,23 | 2,60 | 35 | 18 |
| Keskiarvo | | -29,55 | | | 2,78 | | |

5. Tulosten tarkastelu

5.1. Kalojen pituus ja kohdevoimakkuus

Tämän työn järvilohien ja taimenten sivuaspektikohdevoimakkuuksien ja pituuksien logaritmien välisten regressiosuorien parametrit eivät juurikaan poikenneet aikaisempien tutkimusten parametreistä (Middun 1984) (Foote 1980a; Foote 1991; Lillo ym. 1996; Barange ym. 1996; Traynor 1996). Kun lohen pituus on välillä 30 - 70 cm, lohen sivuaspektikohdevoimakkuus voidaan muuttaa pituudeksi TS_{Love} 1977-, $TS_{20-lohet}$ tai TS_{lohet} -yhtälöllä (Taulukko 7). Lohien sivuaspektikohdevoimakkuuksien keskimääräinen poikkeama määritetyltä regressiosuoralta (TS_{lohet}) oli 2,8 dB, minkä vuoksi lohen pituuden arviointi mitatun sivuaspektikohdevoimakkuuden perusteella on kuitenkin epätarkkaa. Jos verrataan keskimääräisiä sivuaspektikohdevoimakkuusarvoja lohien ja muiden lajien välillä, voidaan 50 cm:n hauki ($TS_{muut} = -24,35$ dB) tulkitä 80-95 cm pitkäksi loheksi (TS_{lohet} 80 cm ja $TS_{20-lohet}$ 95 cm) (Taulukko 10).

Taulukko 10. Kalan sivuaspektikohdevoimakkuudet eri yhtälöillä laskettuna, kun kalan pituus on välillä 20 - 100 cm (5 cm:n välein).

| Kalan pituus (L, cm) | $\log_{10}(L)$ | TS_{Love} (dB) | TS_{lohet} (dB) | $TS_{20-lohet}$ (dB) | TS_{muut} (dB) |
|-------------------------|----------------|---------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|
| 20 | 1,30 | -37,735 | -39,943 | -37,809 | -32,309 |
| 25 | 1,40 | -35,894 | -37,424 | -35,871 | -30,371 |
| 30 | 1,46 | -34,389 | -35,365 | -34,288 | -28,788 |
| 35 | 1,54 | -33,117 | -33,624 | -32,949 | -27,449 |
| 40 | 1,60 | -32,015 | -32,116 | -31,789 | -26,289 |
| 45 | 1,65 | -31,044 | -30,786 | -30,766 | -25,266 |
| 50 | 1,70 | -30,174 | -29,597 | -29,851 | -24,351 |
| 55 | 1,74 | -29,388 | -28,521 | -29,023 | -23,523 |
| 60 | 1,78 | -28,670 | -27,538 | -28,267 | -22,767 |
| 65 | 1,81 | -28,009 | -26,634 | -27,572 | -22,072 |
| 70 | 1,85 | -27,398 | -25,797 | -26,928 | -21,428 |
| 75 | 1,88 | -26,828 | -25,018 | -26,329 | -20,829 |
| 80 | 1,90 | -26,296 | -24,290 | -25,768 | -20,268 |
| 85 | 1,93 | -25,796 | -23,605 | -25,242 | -19,742 |
| 90 | 1,95 | -25,324 | -22,960 | -24,745 | -19,245 |
| 95 | 1,98 | -24,878 | -22,349 | -24,276 | -18,776 |
| 100 | 2,00 | -24,455 | -21,770 | -23,830 | -18,330 |

5.2. Tainnutetun kalan kohdevoimakkuus

Tainnutetusta kalasta heijastuneiden kaikuksen voimakkuudessa oli vaihtelua, joka todennäköisesti johtui äänen heijastumisesta kalan eri osista. Tainnutettujen lohien 0°-kulmapoikkeamalla mitattujen kohdevoimakkuushavaintojen keskihajontojen keskiarvo oli 2,5 dB (n = 22). Kirjolohella (*Oncorhynchus mykiss*) ja punakurkkulohella (*Salmo clarki*) 0° (±10°) sivuaspektikulmapoikkeamalla kohdevoimakkuushavaintojen keskiarvo oli 7-9 dB pienempi kuin suurin havaittu sivuaspektikohdevoimakkuus (Dahl & Mathisen 1983) (Taulukko 11).

Taulukko 11. Kalan laji, pituus, massa, sivuaspektikohdevoimakkuus (TS_{keskiarvo}) ja suurin havaittu sivuaspektikohdevoimakkuus (TS_{maksimi}) (Dahl & Mathisen 1983).

| Laji | Pituus (cm) | Massa (kg) | TS _{keskiarvo} (dB)* | TS _{maksimi} (dB) |
|----------------|-------------|------------|-------------------------------|----------------------------|
| Punakurkkulohi | 40 | 0,65 | -26,6 | -18 |
| Kirjoloji | 52 | 1,92 | -25 | -17 |
| Kirjoloji | 55 | 2,33 | -25,9 | -17 |
| Kirjoloji | 56 | 2,64 | -24,7 | -17 |
| Kirjoloji | 57 | 2,62 | -23,6 | -17 |
| Kirjoloji | 61 | 3,1 | -24 | -17 |

*) Sivuaspektikohdevoimakkuushavaintojen keskiarvo ±10° kulmapoikkeamalla (n = 250).

Sivuaspektikulman muuttuessa 90°:sta 180°:een kalan kohdevoimakkuus heikkenee yli 20 dB. Samalla tavalla vaikuttaa kalan vaakatason kallistuskulman (tilt angle) muutos kalan selkä-aspektikohdevoimakkuuteen (Nakken & Olsen 1977; Olsen 1990; Rose & Porter 1996). Siksi kiinteillä kulmilla mitattuihin kohdevoimakkuuksiin ja kokoarvioihin voi tulla virhettä, jos kalat eivät ole tunnetussa kulmassa luotaimen akustiseen akseliin nähden.

Kalojen sivuaspektikohdevoimakkuuksista, sivuaspektikulmista ja kalojen pituuksista muodostetun matemaattisen mallin (yhtälö 4.2) mukaan yli -32 dB:n kohdevoimakkuuksilla lasketut sivuaspektikohdevoimakkuudet olivat pienempiä kuin havaitut arvot. Tämä johtuu siitä, että havaitut sivuaspektikohdevoimakkuudet ($\alpha = 0^\circ$) kasvavat kalan pituuden logaritmin suhteen kulmakertoimella 26, kun taas mallissa 0°-sivuaspektikulmapoikkeamalla antaa kulmakertoimeksi noin 20. Kulmakertoimien välillä ei kuitenkaan ollut tilastollista eroa. Mallin pienempi kulmakertoimen johtuu siitä, että eri sivuaspektikulmien regressiosuorien y-akselin leikkauspisteeksi kiinnitettiin arvo -64,7 dB. Tällöin 0°-sivuaspektikulmalla kalojen kohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välisen regressiosuoran kulmakertoimeksi saatiin 20,57. Toisaalta kulmakertoimen arvo 20 vastaa äänen heijastumisen geometrisen mallin mukaista kulmakerrointa, jolloin kalasta heijastuvan äänen poikkileikkauspinta-ala kasvaa suhteessa kalan pituuden neliöön (MacLennan 1990; MacLennan & Simmonds 1992). Kulmakerroin 20 on lähellä Loven (1977) yhtälön kerrointa 19. Love (1977) on myös määrittänyt kulmakertoimen sivuaspektikulmapoikkeamalle 0 (±15)°. Tällöin voidaan olettaa, että kohdevoimakkuus kulmapoikkeamalla 0° (sivuaspektikohdevoimakkuuden ja kalan pituuden logaritmin välisen regressiosuoran kulmakerroin) olisi suurempi kuin 19.

5.3. Uimarakon vaikutus kohdevoimakkuuteen

Koska kalan uimarakon on todettu heijastavan yli 90 % kalasta heijastuneesta äänenergiasta, kaikki muutokset uimarakon koossa ja muodossa muuttavat kalan kohdevoimakkuutta (Foote 1980b; Foote & Ona 1985; Foote & Traynor 1988; Blaxter & Batty 1990). Uimarakon kokoon vaikuttavat mm. kalan pituus, gonadien koko, kalan rasvapitoisuus ja vatsalaukun täyteisyys. Lisääntymiskauden ulkopuolella uimarakon poikkileikkauspinta-alaan vaikuttaa eniten kalan pituus, mutta lisääntymiskaudella gonadien koko on tärkein uimarakon poikkileikkauspinta-alaan vaikuttava tekijä (Ona 1990; Machias & Tsimenides 1996). Uimarakon tilavuuden vaihteluun vaikuttavat keskeisesti kalaa ympäröivä paine ja vatsalaukun täyteisyys (Ona 1990; Hamano ym. 1996; Mukai & Iida 1996).

Tutkimukset uimarakon vaikutuksesta kohdevoimakkuuteen on tehty vertaamalla kohdevoimakkuuksia uimarakottomien ja uimarakollisten kalalajien välillä (Mukai & Iida 1996). Uimarakon kaasun ja kalan muun kudoksen välinen tiheysero ja rajapinnassa tapahtuva äänen nopeuden muutos ovat selvästi suurempia kuin vastaavat muutokset veden ja kalan muun kudoksen välisessä rajapinnassa (Taulukko 12).

Taulukko 12. Veden ja kalan tiheys sekä äänennopeus (Ye & Farmer 1996).

| | Vesi | Kala | |
|-----------------------------|------|-----------------|-----------------|
| | | Uimarakon kaasu | Kalan muu kudos |
| Tiheys (kg/m ³) | 1026 | 1,24 | 1056 |
| Äänen nopeus (m/s) | 1485 | 345 | 1560 |

Tässä työssä kahdella suurimmalla taimenella uimarakon keskimääräinen vaikutus sivuaspektikohdevoimakkuuteen oli 7,5 dB. Pienemmillä taimenilla uimarakon vaikutus oli 3,0 dB. Mukai ja Iida (1996) saivat uimarakottoman kalalajin (*Pampus argenteus*) ja uimarakollisten lajien (*Dentex tumifrons* ja *Kaiwarinus equula*) väliseksi selkääspektikohdevoimakkuuseroksi 7 - 11 dB. Luotausäänen taajuuden (f) kasvaessa kalan uimarakon osuus äänen heijastajana pienenee, esim. 200 kHz taajuudella yli 11 cm kaloilla heijastuu muusta kudoksesta enemmän ääntä kuin uimarakosta (Ye & Farmer 1996). Tässä työssä uimarakon vaikutus äänen heijastajana kasvoi kalan pituuden kasvaessa.

5.4. Kalalajin vaikutus kohdevoimakkuuteen

Kalalajin vaikutus kohdevoimakkuuteen on tärkeä tuntee pyritäessä määrittämään kaikuluotaimella kalapopulaation kokoa monilajisessa yhteisössä. Yleensä luotaimella ei voida erotella kalalajeja. Tornionjoen sivuttaissuuntaisessa kaikuluotauksessa monilajiongelman on pyritty ratkaisemaan suurella kaikujen kynnsarvolla, jolloin lohia pienemmistä kaloista heijastuneita kaikuja ei rekisteröitäisi. Tämän työn perusteella ääni heijastuu muista lajeista kuitenkin saman pituisia lohia voimakkaammin, esimerkiksi 45 cm siika voidaan tulkita noin 85 cm loheksi (Taulukko 10).

Muiden lajien (siika, hauki ja lahna) sivuaspektikohdevoimakkuuksien ja pituuksien logaritmien välinen regressiosuora kulki yli 5 dB (vakio b = -58,33 dB) ylempänä kuin lohien vastaava suora. Myös sivuaspektikohdevoimakkuuden ja -pinta-alan välinen regressiosuora oli muilla lajeilla ylempänä (6,4 dB) kuin lohella. Muiden kalojen

lukumäärät (n=6) olivat kuitenkin niin pieniä, että tulosten varmistaminen vaatii lisätutkimuksia. Siian, hauen ja lahnan suomupeite on kuitenkin selvästi vahvempi kuin lohilla. Tämä ilmeisesti selittää kohdevoimakkuuserot, koska suurilla äänen taajuuksilla uimarakon suhteellinen osuus äänen heijastajana vähenee (Machias & Tsimenides 1996; Ye & Farmer 1996).

Lohien sivuaspektipinta-ala oli pituuden suhteen suurempi kuin hauilla. Siksi tämä pinta-ala ei selitä sivuaspektikohdevoimakkuuseroja lohien ja haukien välillä. Lahnalla pituuden ja sivuaspektipinta-alan riippuvuus poikkeaa selvästi haukien vastavasta suhteesta. Sivuaspektikohdevoimakkuuden ja -pinta-alan välinen riippuvuus on näillä lajeilla kuitenkin samalla suoralla. Voi olla, että Ylä-Enonvedestä pyydystettyjen kalojen sopeutumisaika noin yhden ilmakehän paineeseen oli liian lyhyt (6 - 7 tuntia). Tällöin näiden kalojen uimarakon kaasun paine ei olisi ehtinyt tasaantua, jolloin Ylä-Enonvedestä pyydystettyjen kalojen uimarakkojen äänen heijastusominaisuudet eivät olisi vertailukelpoisia laitoskalojen kanssa.

5.5. Uivan kalan kohdevoimakkuus

Pyörövirtausaltaassa uitettujen taimenien sivuaspektikohdevoimakkuuksien vaihtelu johtui todennäköisesti paljolti kalojen kulmapoikkeaman vaihtelusta. Lähes jokaisella uittokerralla taimen pyörähti pitkittäisakselinsa suunnassa ainakin kerran 360°. Siksi kalojen sivuaspektikohdevoimakkuus (aritmeettinen keskiarvo) pieneni huomattavasti suoraan sivusta luodattuun verrattuna, koska jo muutaman asteen muutos sivuaspektikulmapoikkeamassa muuttaa kohdevoimakkuutta (Dahl & Mathisen 1982; Kubecka 1994). Lisäksi väkisin uitettu kala voi uida hieman kyljellään, jolloin sivuaspektikohdevoimakkuus pienenee entisestään (Love 1977; Foote 1980a). Kalan uintiliikkeen vaikutusta sivuaspektikohdevoimakkuuteen ei tämän työn perusteella voitu määrittää.

Dawson ja Karp (1990) ovat esittäneet, että järvessä uivan intiaanilohen (*Oncorhynchus nerka*) selkä-aspektikohdevoimakkuudessa näkyy ajan suhteen selvää aaltoliikettä. Ei voida varmasti sanoa johtuiko aaltoliike lohen uintiliikkeestä. Jokeen nousevan kuningaslohen (*Oncorhynchus tshawytscha*) sivuaspektikohdevoimakkuudessa ei sen sijaan ollut havaittavissa aaltoliikettä vaan kohdevoimakkuus poukkoili satunnaisesti.

Tornionjokeen nousevien kohteiden sivuaspektikohdevoimakkuuksien keskihajonnat olivat melko pieniä, kun otetaan huomioon, että kaiut olivat heijastuneet liikkuvista kohteista. Toisaalta on huomioitava, että osa kaiuista on voinut suodattua pois (kaiujen kynnysarvo koko keilassa -31 tai -29 dB). Lähes jokaisen kalan kohdevoimakkuushavaintojen minimi oli -31 dB kynnysarvon alapuolella. Tällöin havaintojen keskihajonta jää todellista pienemmäksi.

6. Kirjallisuusluettelo

- Barange, M., Hampton, I. & Soule, M. 1996. Empirical determination of *in situ* target strengths of three loosely aggregated pelagic fish species. ICES Journal of Marine Science, 53: 225-232.
- Blaxter, J.H.S. & Batty, R.S. 1990. Swimbladder "behaviour" and target strength. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer, 189: 233-244.
- Burwen, D.L., D.E. Bosch & S.J. Fleischman 1995. Evaluation of hydroacoustic assessment techniques for chinook salmon on the Kenai River using split-beam sonar. Alaska department of Fish and Game, Division of Sport Fish, Fishery Data Series No. 95, Anchorage, Alaska.
- Craig, R.E. & Forbes, S.T. 1969. Design of sonar for fish counting. FiskDir. Skr. Ser. HavUnders., 15: 210-219.
- Cryer, M. 1996. A hydroacoustic assesment of a rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) population in a deep oligotrophic lake. -Teoksessa Cowx, I.G. (toim.): Stock Assessment in Inland Fisheries, 196-205. Hartnolls Ltd, Bodmin, Cornwall, Great Britain.
- Dahl, P.H. & O.A. Mathisen 1982. Measurement of fish target strength and associated directivity at high frequencies. J. Acoust. Soc. Am. 73: 1205-1211.
- Daum, D.W. & B.M. Osborne 1996. Enumeration of Chandalar River fall chum salmon using split-beam sonar, 1995. U. S. Fish and Wildlife Service, Fishery Assistance Office, Alaska Fisheries Progress Report 96-2, Fairbanks, Alaska.
- Dawson, J.J. & Karp, W.A. 1990. *In situ* measures of target-strength variability of individual fish. Rapp. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer, 189: 264-273.
- Foote, K.G. 1980a. Averaging of fish target strength functions. J. Acoust. Soc. Am., 67 (2): 504-515.
- Foote, K.G. 1980b. Importance of swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strength. J. acoust. Soc. Am. 67: 2084-2089.
- Foote, K.G. 1991. Summary of methods for determining fish target strength at ultrasonic frequencies. ICES Journal of Marine Science, 48: 211-217.
- Foote, K.G. & D.N. MacLennan 1984. Comparison of copper and tungsten carbide calibration spheres. J. Acoust. Soc. Am. 75: 612-621.
- Foote, K.G. & Ona, E. 1985. Swimbladder cross sections and acoustic target strength of 13 pollack and 2 saithe. Fiskeridirektoratets Skrifter, 18: 1-57.
- Foote, K.G. & Traynor, J.J. 1988. Comparison of walleye pollock target strength estimates determined from *in situ* measurements and calculations based on swimbladder form. J. Acoust. Soc. Am., 83: 9-17.
- Hamano, A., Sasakura, T., Kieser, R., Cooke, K., Kubota, K. & Clay, A. 1996. Target-strength measurements of Pacific hake (*Merluccius productus*) in Canadian waters using quasi-ideal and conventional beam transducers. ICES Journal of Marine Science, 53: 273-279.

- Hydroacoustic Technology, Inc (HTI). 1996. Model 243 split-beam digital echo sounder system. Operator's manual, version 1.2. Hydroacoustic Technology, Inc. Seattle, Washington.
- Hydroacoustic Technology, Inc (HTI). 1995. Using hydroacoustics for fisheries assessment. Short Course Manual. Hydroacoustic Technology, Inc, Seattle, Washington.
- Hyvärinen, P., Salojärvi, K., Pushkin, S. & Ahonen, M. 1992. Kalojen vaellus Oulujärvestä Oulujokeen. Vesi- ja ympäristöhallinnon Julkaisuja - sarja A. nro 115. 92 ss.
- Hyvärinen, P., Vehanen, T., Tigunov, S., Mäki-Petäys, A. & Konttinen, E. 1996. Kalojen vaellus Inarijärvestä Paatsjokeen. Suomen ympäristö. Luonto ja luonnonvarat. nro 11. 60 ss.
- Kubecka, J. 1994. Simple model on the relationship between fish acoustical target strength and aspect for high-frequency sonar in shallow waters. *J. Appl. Ichthyol.* 10: 75-81.
- Kubecka, J. 1996. Use of horizontal dual-beam sonar for fish surveys in shallow waters. -Teoksessa Cowx, I.G. (toim.): *Stock Assessment in Inland Fisheries*, 165-178. Hartnolls Ltd, Bodmin, Cornwall, Great Britain.
- Kubecka, J., Duncan, A., Duncan, W.M., Sinclair, D. & Butterworth, A.J. 1994. Brown trout populations of three Scottish lochs estimated by horizontal sonar and multimesh gill nets. *Fisheries Research*, 20: 29-48.
- Lillo, S., Cordova, J. & Paillaman, A. 1996. Target-strength measurements of hake and mackerel. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 267-271.
- Love, R.H. 1977. Target strength of an individual fish at any aspect. *J. Acoust. Soc. Am.* 62(6): 1397-1403.
- Machias, A. & Tsimenides, N. 1996. Anatomical and physiological factors affecting the swim-bladder cross-section of the sardine (*Sardina pilchardus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 280-287.
- MacLennan, D.N. 1990. Acoustical measurement of fish abundance. *J. Acoust. Soc. Am.* 87: 1-15.
- MacLennan, D.N. & Simmonds, E.J. 1992. *Fisheries acoustics*. Chapman & Hall, Lontoo, 325 pp.
- Middun, L. 1984. Fish and other organisms as acoustic targets. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 184: 25-33.
- Mitson, R.B. 1983. *Fisheries sonar*. Fishing News Books Ltd, Farnham, Surrey, England, 288 s.
- Mitson, R.B. & Holliday D.V. 1990. Future developments in fisheries acoustics. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 189: 82-91.
- Mous, P.J. & Kemper, J. 1996. Application of hydroacoustic sampling technique in a large wind-exposed shallow lake. -Teoksessa Cowx, I.G. (toim.): *Stock Assessment in Inland Fisheries*, 179-195. Hartnolls Ltd, Bodmin, Cornwall, Great Britain.
- Mukai, T. & Iida, K. 1996. Depth dependence of target strength of live kokanee salmon in accordance with Boyle's law. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 245-248.
- Nakken, O. & Olsen, K. 1977. Target strength measurements of fish. *Rapp. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 170: 52-69.
- Olsen, K. 1990. Fish behaviour and acoustic sampling. *Rapp. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 189: 147-158.

- Ona, E. 1990. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish. *J. mar. biol. Ass. UK.* 70: 107-127.
- Osborne, B.M. & Daum, D.W. 1997. Enumeration of Chandalar River fall chum salmon using split-beam sonar, 1996. U. S. Fish and Wildlife Service, Fishery Assistance Office, Alaska Fisheries Progress Report 42, Fairbanks, Alaska.
- Romakkaniemi, A., Marjomäki, T. & Jurvelius, J. 1997. Hydroacoustic estimation of salmon (*Salmo salar*) spawning run in the River Tornio. Project results 1995 -1996. Kala- ja riistaraportteja nro 89.
- Rose, G.A. & Porter, D.R. 1996. Target-strength studies on Atlantic cod (*Gadus morhua*) in Newfoundland waters. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 259-265.
- Simmonds, E.J. 1990. Very accurate calibration of a vertical echo sounder: a five-year assessment of performance and accuracy. *Rapp. P. -v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 189: 183-191
- Skalski, J.R., Johnson, G.E., Sullivan, C.M., Kudera, E. & Erho, M.W. 1996. Statistical evaluation of turbine bypass efficiency at Wells Dam on the Columbia River, Washington. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 2188-2198.
- Soule, M., Hampton, I. & Barange, M. 1996. Potential improvements to current methods of recognizing single targets with a split-beam echo-sounder. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 237-243.
- Traynor, J.J. 1996. Target-strength measurements of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and Pacific whiting (*Merluccius productus*). *ICES Journal of Marine Science*, 53: 253-258.
- Trevorrow, M.V. 1997. Detection of migrating salmon in the Fraser River using 100-kHz sidescan sonars. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 1619-1629.
- Xie, Y., Cronkite, G. & Mulligan, T.J. 1997. A split-beam echosounder perspective on migratory salmon in the Fraser River: A Progress Report on the Split-beam Experiment at Mission, B.C., in 1995. Pacific Salmon Commission Technical report No.8.
- Ye, Z. & D.M. Farmer 1996. Acoustic scattering by fish in the forward direction. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 249-252.

LIITE

Tornionjokeen nousseen kohteen sivuaspektikohdevoimakkuuden vaihtelu peräkkäisten kaikujen välillä

Taulukossa 9 kohteet n:o 1, 2, 4, 10 ja 16.

