

Pro gradu –tutkielma

**Muikun (*Coregonus albula* (L.)) ja kuoreen (*Osmerus eperlanus* (L.)) kohdevoimakkuuden kokeellinen
mittaaminen**

Saku Salonen



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Kalabiologia ja kalatalous

10.06.2008

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Kalabiologia ja kalatalous

SALONEN SAKU: Muikun (*Coregonus albula* (L.)) ja kuoreen (*Osmerus eperlanus* (L.)) kohdevoimakkuuden kokeellinen mittaaminen

Pro gradu: 24 s.

Työn ohjaajat: FT Timo Marjomäki

Tarkastajat: FT Timo Marjomäki, Dos. Juha Jurvelius

Kesäkuu 2008

Hakusanat: *Coregonus albula*, kohdevoimakkuus, kuore, muikku, *Osmerus eperlanus*

TIIVISTELMÄ

Kohdevoimakkuus on yksi kaikuluotauksen perusparametreista, jota tarvitaan kalakantojen akustiseen arviointiin. Tässä tutkimuksessa testattiin muikun (*Coregonus albula*) ja kuoreen (*Osmerus eperlanus*) kohdevoimakkuuden kokeellista mittausta talvella, kehitettiin ja testattiin menetelmää kohdevoimakkuuksien mittaamiseksi *ex situ* sekä tutkittiin pituuden ja kulmapoikkeaman vaikutusta kohdevoimakkuuteen selkä- ja sivuaspektissa. Mittausten ajaksi kalat kiinnitettiin käännettävään karuselliin. Muikun ja kuoreen pituuksien logaritmien ja kohdevoimakkuuksien väliset regressiosuorat eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi suorassa sivu ja selkäaspektissa. Kulmapoikkeama vaikutti huomattavasti muikun ja kuoreen kohdevoimakkuuteen sivu- ja selkäaspektissa. Muikun kohdevoimakkuuden maksimi oli selkäaspektissa -8° ja sivuaspektissa 4° kulmapoikkeamassa. Kuoreen kohdevoimakkuuden maksimi oli selkäaspektissa -13° ja sivuaspektissa -10° kulmapoikkeamassa. Positiivinen kulmapoikkeama tarkoittaa kalan pään olevan lähempänä värähtelijää ja negatiiviset kalan pään olevan kauempana värähtelijästä. Kohdevoimakkuuden mittausta on mahdollista talvella jään päältä. Karuselliin tulisi kiinnittää kääntömoottori kääntönopeuden vakioimiseksi. Kalojen kohdistaminen akustiselle akselille ei ollut riittävän tarkkaa. Kohdistamista voisi tarkentaa kaikuluotaimen värähtelijään kiinnitettävä lasertähtäin, joka piirtää pisteen tai ristikon kalaan, kun se on akustisella akselilla.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science

Department of Biological and Environmental Science

Fish Biology and Fisheries

SALONEN SAKU: Experimental measurement of vendace (*Coregonus albula* (L.)) and smelt (*Osmerus eperlanus* (L.)) acoustic target strength

Master of Science Thesis: 24 p.

Supervisors: Ph.D. Timo Marjomäki

Inspectors: Ph.D. Timo Marjomäki, Docent. Juha Jurvelius

June 2008

Key Words: *Coregonus albula*, *Osmerus eperlanus*, smelt, target strength, vendace

ABSTRACT

Fish target strength is one of the main parameters needed in acoustic fish abundance estimations. In this study I tried to measure *ex situ* target strength of vendace (*Coregonus albula*) and smelt (*Osmerus eperlanus*) in winter. I developed and tested a method for measuring *ex situ* target strength of vendace and smelt and studied the effect of length and tilt angle on target strength in dorsal and side aspect. The differences of linear regressions between fish target strengths and logarithms of fish length in direct dorsal and side aspects were not statistically significant. Tilt angle had a profound effect on vendace and smelt target strength on both aspects. Vendace had maximum dorsal target strength in -8° tilt angle and maximum side target strength in 4° tilt angle. Smelt had maximum dorsal target strength in -13° tilt angle and maximum side target strength in -10° tilt angle. Positive tilt angle means that the fish head is towards the transducer and negative tilt angle means the head is away from the transducer. The experimental measurement of target strength is possible on ice in winter. The rotator should be mounted with a motor to standardise the turning speed of fish. The positioning of fish on the acoustic axis was not accurate enough. This could be achieved with a laser scope mounted on the transducer that would light a point or cross on the fish on the acoustic axis.

Sisältö

1. JOHDANTO	5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	6
2.1. Tutkimuspaikka ja tutkittavat kalat	6
2.2. Kohdevoimakkuuden mittaaminen	8
2.3. Kaikuluotainlaitteisto, -asetukset ja kalibrointi	9
3. TULOKSET	10
3.1. Kalibrointi ja taustakohina	10
3.2. Muikku	11
3.2.1. Muikun pituuden ja kohdevoimakkuuden välinen riippuvuus suorassa selkäaspektissa	11
3.2.2. Muikun pituuden ja kohdevoimakkuuden välinen riippuvuus suorassa sivuaspektissa	12
3.2.3. Kulmapoikkeaman vaikutus kohdevoimakkuuteen	13
3.2.4. Toistomittaus suorassa selkäaspektissa	15
3.3. Kuore	15
3.3.1. Kuoreen kohdevoimakkuuden ja pituuden välinen riippuvuus suorassa selkäaspektissa	15
3.3.2. Kuoreen kohdevoimakkuuden ja pituuden välinen riippuvuus suorassa sivuaspektissa	16
3.3.3. Kulmapoikkeaman vaikutus kohdevoimakkuuteen	17
3.3.4. Toistomittaus suorassa selkäaspektissa	18
4. TULOSTEN TARKASTELU	19
4.1. Pituuden ja kohdevoimakkuuden välinen riippuvuus selkäaspektissa	19
4.2. Pituuden ja kohdevoimakkuuden välinen riippuvuus sivuaspektissa	20
4.3. Regressioyhtälöiden selityssaste	20
4.4. Kulmapoikkeaman vaikutus kohdevoimakkuuteen	21
4.5. Toistomittaus suorassa selkäaspektissa	21
4.6. Muikun ja kuoreen kohdevoimakkuuden kokeellinen mittaaminen	22
Kiitokset	22
Kirjallisuus	22

1. JOHDANTO

Ensimmäiset yritykset havaita kala kaikuluotaimella merellä tehtiin 1930-luvulla Norjassa Lofoteilla (Sund 1935) ja Englannissa (Balls 1948). Tämän jälkeen kalojen paikantaminen kaikuluotauksen avulla on tullut yhä tärkeämmäksi ammattikalastajille (Misund 1997) ja toisen maailmansodan jälkeen yhä tärkeämmäksi menetelmäksi kaupallisesti tärkeiden kalakantojen levinneisyyden kartoittamisessa (Devold 1950).

Kalakantojen hoitamista varten tarvitaan kalastuksesta riippumattomia kannanarviointimenetelmiä, erityisesti tapauksissa, joissa kalastus vaihtelee esimerkiksi biologisista tai ekonomisista syistä (Jurvelius ym. 2000). Kaikuluotaus tarjoaa mahdollisuuden nopeaan ja kalastuksesta riippumattomaan kannanarvioon pystyen ainakin osoittamaan kalakannan tiheyden muutoksen suunnan (Auvinen & Jurvelius 1994). Kaikuluotauksia käytetään myös yhä enenevässä määrin järvien ja virtavesien kalakanta-arvioinnissa ja käyttäytymistutkimuksissa (Kubecka & Duncan 1998, Romare 2001, Knudsen ja Saegrov 2002, Lilja ym. 2004, Wanzenböck ym. 2004).

Kohdevoimakkuus on yksi kalakantojen akustisten arvioinnin perusparametreista (MacLennan ym. 2002). Kohdevoimakkuus riippuu kohteen heijastuspoikkileikkauksesta ja kertoo kohteen akustisen koon. Yhdessä keskimääräisen kohdevoimakkuuden ja esimerkiksi troolilla saatujen näytekalojen pituusjakauman avulla voidaan kaikuintegroinnilla tehdä kalakanta-arvioita. Kalojen kaikulaskennassa lajikohtaisia kohdevoimakkuustietoja tarvitaan raja-arvoiksi hylkäämään liian suuret ja liian pienet kohteet laskentatuloksista.

Kalojen akustinen kohdevoimakkuus voidaan määrittää joko *in situ* -kohdevoimakkuusmittauksilla kalojen luonnollisessa ympäristössä tai kokeellisesti *ex situ* eri tavoilla luonnollisesta ympäristöstään eristetyillä kaloilla (Foote 1991).

Luotettavien pituusjakaumien ja biomassaeestimaattien saamiseksi tarvitaan lajikohtaiset regressiot kalojen kokonaispituuden ja akustisen kohdevoimakkuuden välille (Mehner 2006). Muikulta ja kuoreelta kohdevoimakkuuksien ja pituuden välistä regressiota on selvitetty ainoastaan *in situ* -menetelmillä (Mehner 2006, Peltonen ym. 2006), joten lisätietoa näiden lajien kohdevoimakkuuksista tarvitaan kalakantojen akustisten arvioinnin tarkentamiseksi.

Kalan heijastaman kaiun suuruus riippuu ennen kaikkea kalan ja veden akustisen impedanssin erosta. Mitä suurempi ero on, sitä paremmin kala heijastaa ääntä. Uimarakollisilla kaloilla uimarakko aiheuttaa jopa 90 - 95% kaiusta (Foote 1980). Kohdevoimakkuus kasvaa kohteen koon kasvaessa ja vaihtelee kaikuluotaukseen käytetyn taajuuden mukaan (Horne & Jech 1999, Kloser ym. 2002). Kalan asento suhteessa kaikuluotaimen vaikuttaa kohdevoimakkuuteen (Frouzova 2005). Kalan kohdevoimakkuus on selkä- ja sivuaspektissa suurimmillaan uimarakon ollessa kaikuluotaimen värähtelijän kanssa samansuuntaisesti (Blaxter & Batty 1990). Kalasta heijastuvan kaiun äänikeilan avautumiskulma pienenee kalan koon kasvaessa. Tämä lisää kalan asennon vaikutusta kohdevoimakkuuteen kalan koon kasvaessa ja pienikin kalan asennon muutos voi aiheuttaa jopa 100-kertaisen muutoksen heijastuspoikkileikkaukseen (Nakken & Olsen 1977).

Tämän työn tarkoituksena oli kokeilla kohdevoimakkuuden kokeellista mittaamista talvella, kehittää ja testata menetelmä muikun ja kuoreen kohdevoimakkuuksien

mittaamiseksi *ex situ* ja samalla tutkia pituuden ja kohdevoimakkuuden välistä riippuvuutta sekä kalan asennon vaikutusta tutkittavien kalalajien kohdevoimakkuuteen.

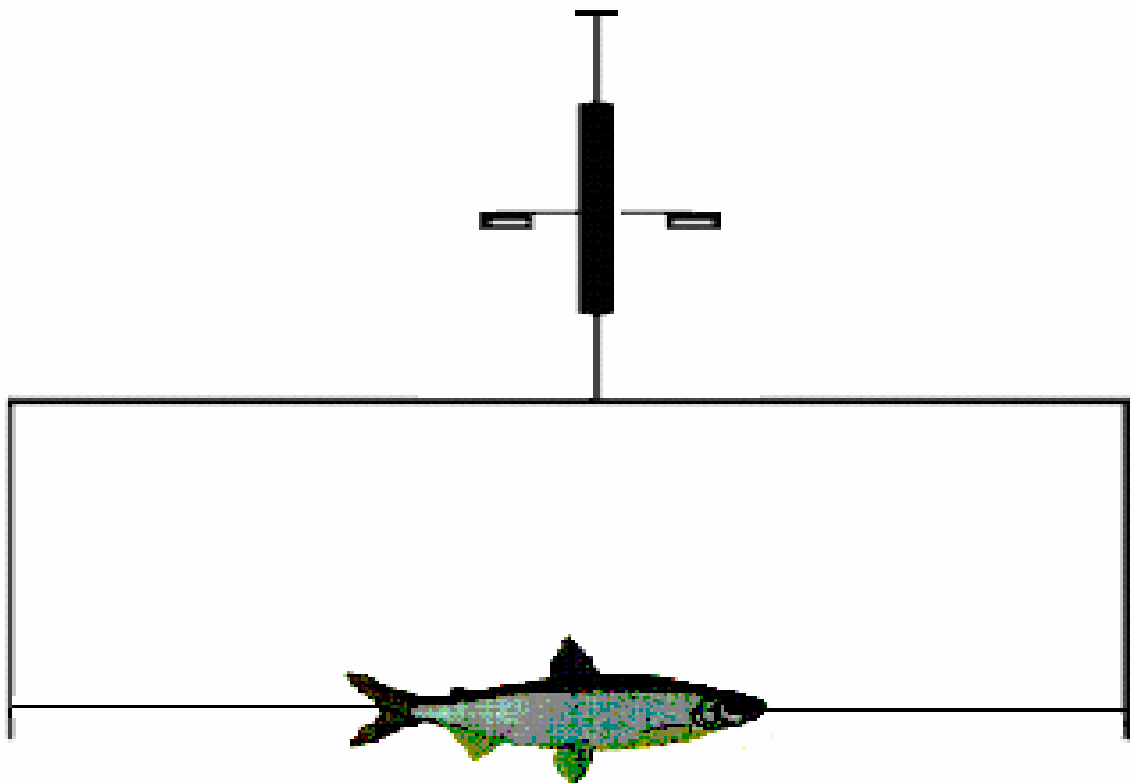
2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Tutkimuspaikka ja tutkittavat kalat

Kalojen kohdevoimakkuusmittaukset tehtiin 14.03. - 07.04.2006 Jyväskylän yliopiston Konneveden tutkimusasemalla. Kaloja kaikuluodattiin horisontaalisesti sivu- ja selkääspektissa eri kulmapoikkeamissa Konnevedessä jään alla. Mittausten aikana veden lämpötila oli värähtelijän syvyydellä 2 °C.

Kalojen kohdevoimakkuuden mittaamista varten rakennettiin huonekaluputkista ja profiilitangoista karuselli (Kuva 1), johon kalat voitiin kiinnittää yksitellen siimalla ja mitata kunkin kalan yksilöllinen kohdevoimakkuus halutussa asennossa kaikuluotaimen nähden. Karusellin haarukan leveys on 2,5 m ja haarukan piikkien pituus 2 m.

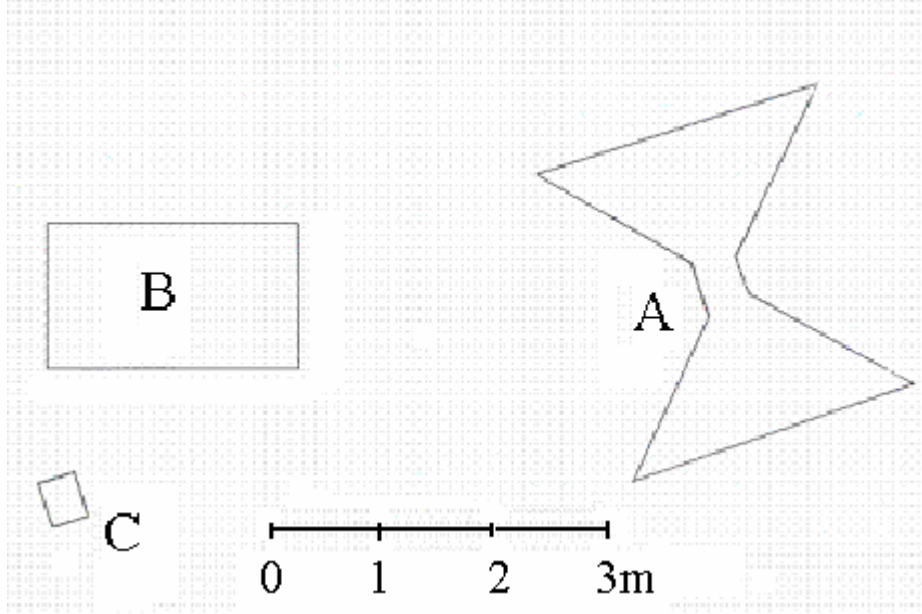
Kaikuluotaimen värähtelijä asennettiin alumiinisen puomin päähän ja värähtelijän keskikohta asennettiin 1,8 m syvyyteen veden pinnasta, jolloin akustinen akseli asetui pohjan ja jään alapinnan puoliväliin. Puomi ankkuroitiin jäähän kiinni, avannon annettiin jäätyä ja se peitettiin lumella.



Kuva 1. Karuselli ja kalan kiinnitys. Kuvasta puuttuvat selkään ja vatsaan kiinnitetyt siimat, joilla asentoa voitiin säädellä pinnalta käsin. Kuvan mittasuhteet eivät ole oikeat.

Karusellia varten tehtiin tiimalasinmuotoinen avanto. Avannon reuna vahvistettiin 50x100 mm lankuilla karusellin jalustaa varten. Avanto peitettiin päivän jälkeen eristelementeillä ja pakkaslumella jäätymisen vähentämiseksi. Karuselli asennettiin kohtisuoraan kaikuluotaimen akustiseen akseliin nähden linjalangan avulla ja kiinnitettiin

kahdella pultilla lankkuihin avannon kummallekin puolelle. Karusellin ja värähtelijän välimatka oli 6 m. Karusellin haarukan poikkitankoa ei laskettu jään alapinnan alapuolelle. Elektronikka sijoitettiin avannon vieressä olevaan eriste-elementeistä rakennettuun koppiin, jossa oli lämmityslaite pitämässä elektronikan toimintakuntoisena (Kuva 2).

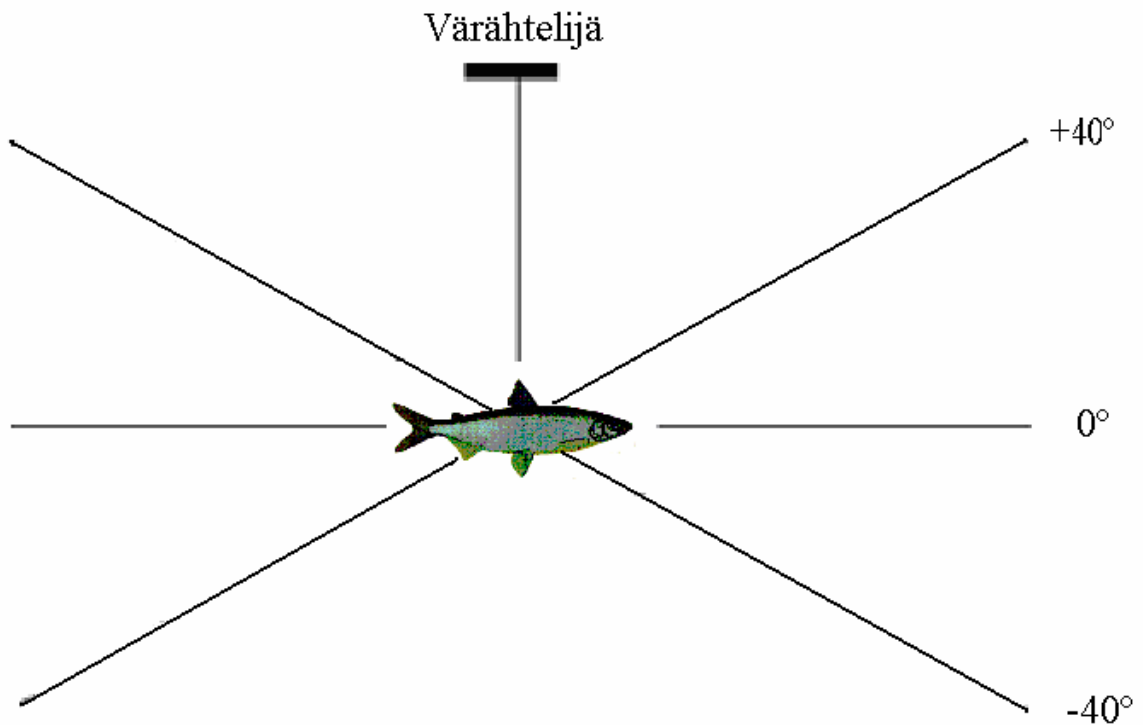


Kuva 2. Mittauspaikan kaavakuva ylhäältä kuvattuna. A on avanto, B on mittauskoppi ja C on värähtelijä (jään alla).

Kokeeseen käytetyt kalat pyydettiin talvinuotilla Keiteleen Lavianselältä ja Puulavedestä. Tutkimuksessa käytettiin muikkua (*Coregonus albula*) ja kuoretta (*Osmerus eperlanus*) (Taulukko 1). Kalat siirrettiin happipakkauksissa pyyntipaikoilta Konneveden tutkimusasemalle. Kuljetusaika Keiteleeltä oli noin 30 min. ja Puulavedeltä noin 1 h. Tutkimusasemalla kaloja säilytettiin 1 m³ altaassa. Kalojen annettiin toipua vähintään 2 vrk:ta pyynnin ja kuljetuksen aiheuttamasta stressistä ennen mittauksen aloittamista. Kaikista tutkimuksessa käytetyistä kaloista määritettiin kokonaispituus (mm), massa (g) ja sukupuoli.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt kalalajit, kalojen lukumäärät ja pituuden sekä massan vaihteluvälit.

Laji	Lukumäärä	Pituus (cm)		Massa (g)	
		Min.-Maks.	Min.-Maks.	Min.-Maks.	Min.-Maks.
Muikku	22	9,0 - 16,1	3,5 - 22,5		
Kuore	11	9.3 - 13,3	4,0 - 11,6		



Kuva 3. Kalan asento ja sijainti kaikuluotaimen värähtelijään ja akustiseen akseliin nähden eri kulmapoikkeamissa mittausten aikana. Kulmapoikkeama on 0° , kun kalan pituussuuntainen akseli on kohtisuorassa akustiseen akseliin nähden. Positiivisissa kulmapoikkeamissa kalan pää on lähempänä värähtelijää ja negatiivisissa kulmapoikkeamissa kauempana värähtelijästä.

2.2. Kohdevoimakkuuden mittaaminen

Kalat pyydystettiin säilytysaltaasta haavilla ja kuljetettiin mittauspaijalle vesiämpärissä. Mittauspaikalla kalat lopetettiin iskulla päähän ja kiinnitettiin karuselliin 0,2 mm paksun nylonsiiman avulla. Kalan vatsa- ja selkäpuolelle kiinnitettiin lisäksi ohjaussiimat, joilla voitiin pinnalta käsin säätää kala haluttuun selkä- tai sivuaspektiin. Selkäaspektissa kalan selkä on värähtelijän kanssa samansuuntaisessa tasossa ja sivuaspektissa kalan kylki (eli sivu) on värähtelijän kanssa samansuuntaisessa tasossa. Karuselliin kiinnitetty kala laskettiin varovasti veteen, jossa sitä puristettiin kevyesti ja ravisteltiin suussa olevan ylimääräisen ilman poistamiseksi. Kala kohdistettiin akustiselle akselille syvyyden ja linjalangan avulla, koska karuselli häiritsi kaikuluotaimen kohteen paikantamista äänipulssissa. Karusellin aiheuttaman paikannushäiriön takia analysointiin käytettiin kompensoimatonta kohdevoimakkuusaineistoa. Ennen mittauksen aloitusta kalojen annettiin olla 10 minuutin ajan vedessä, jotta kalojen pinta oli varmasti sulanut ennen mittauksen aloittamista.

Kala luodattiin eri kulmapoikkeamissa viiden asteen välein -40° - 40° kulmiin selkä- ja sivuaspektissa (Kuva 3). Sivuaspektissa kala luodattiin molemmilta kyljiltä. Lisäksi osalta kaloista mitattiin kohdevoimakkuus pyörittäen käsivaralla kalaa hitaasti -40° - 40° kulmapoikkeaman kohdevoimakkuuteen aiheuttaman vaikutuksen tarkempaa tutkimista varten. Luotauksen jälkeen kaloista määritettiin kokonaispituus, massa ja sukupuoli.

2.3. Kaikuluotainlaitteisto, -asetukset ja kalibrointi

Kaikuluotaukseen käytettiin Simradin 120 KHz 7-120C lohkokeilakaikuluotainta. Pulssin toistonopeutena käytettiin pääasiallisesti 2 pulssia/s sekä laitteen maksimaalista pulssitiheyttä (32 pulssia/s). Käytettäessä maksimaalista pulssintoistotiheyttä kaiku ennätti palata 6 m päässä olevasta mitattavasta kohteesta kaikuluotaimen anturiin ennen seuraavan pulssin lähetystä. Taustakohinan taso selvitettiin kaikuluotaamalla tyhjää karusellia eri asennoissa. Taustakohinasta laskettiin keskiarvo ja vaihteluväli.

Pulssin kesto oli 0,256 ms (Taulukko 2). Yksittäisen kaiun pituuden hyväksymiskriteerit asetettiin 0,8-1,2 x pulssin pituus ja pienimmäksi hyväksytyksi kohdevoimakkuudeksi asetettiin -100 dB. Vaihe-eron maksimiksi asetettiin 0,8. Äänipulssin geometrinen leviäminen kompensoitiin TVG-funktiolla $40\log R$, jossa R on etäisyys. Värähtelijän lähettämän poikkileikkaukseltaan pyöreän äänikeilan aukeamiskulma oli 7°. Kuuden metrin päässä värähtelijästä äänikeila on halkaisijaltaan n. 73 cm:ä.

Taulukko 2. Kaikuluotaimen asetukset, muuttujien nimet, arvot ja yksiköt.

Muuttuja	Muuttuja englanniksi	Arvo ja yksikkö
Lähetysteho	Transmitted power	1000 W
Lähtötaso	Source level	226,4 dB
Taajuus	Frequency	120 KHz
Kaistan laajuus	Bandwith	8,71 KHz
Kuunteluvahvistus	TS transducer gain	25,9 dB
Ajasta riippuva vahvistus	Time varied gain	2622,44
Äänipulssin kesto	Pulse duration	0,256 ms
Äänipulssin toistotiheys	Pulse rate	2/s ja 32/s
Kynnysarvo	Echogram treshold	-100 dB
Absorbtiöhävikki	Absorbtion coefficient	6,32 dB/km
Äänen nopeus	Sound speed	1412 m/s

Kaikuluotain kalibroidiin *in situ* ennen mittausten aloittamista. Kalibrointipalloa pidettiin n. 6 m etäisyydellä värähtelijästä ja liikuteltiin hitaasti koko äänikeilan alueella. Lisäksi jokainen mittauspäivä aloitettiin mittaamalla kalibrointipallon kohdevoimakkuus akustisella akselilla. Kalibrointipallo ja siima kasteltiin saippuaveteen ennen pallon laskemista veteen, jolloin pallon pinnalle ei jää kohdevoimakkuuteen vaikuttavia ilmakuplia.

Päivittäisten kalibrointipallon mittausten keskiarvoista laskettiin keskiarvo sekä keskihajonta. Keskiarvon poikkeamaa kalibrointipallon tunnetusta kohdevoimakkuudesta pidettiin keskimääräisenä systemaattisena virheenä, joka vähennettiin mittaustuloksissa ennen tilastollista käsittelyä.

Kaikuluotausaineisto käsiteltiin Sonar5-pro-, MS Excel- ja SPSS 15.01- ohjelmilla. Sonar5-Pro-ohjelmasta valittiin peak-toiminto. Tämä toiminto poimii automaattisesti valitulta alueelta suurimman havaitun kompensoimattoman kaikhavainnon jokaisesta lähetetystä äänipulssista. Nämä tiedot siirrettiin taulukkomuodossa Excel-taulukkolaskentaohjelmaan, jossa kunkin mittauksen viidenkymmenen ensimmäisen

äänipulssin tuloksista laskettiin keskiarvo. Tämän jälkeen lasketuista keskiarvoista vähennettiin havaittu systemaattinen virhe.

Suorassa selkä- ja sivuaspektista luodattuihin kohdevoimakkuuksiin sovitetiin regressioyhtälö pituuden logaritmin ja kohdevoimakkuuden välisen yhteyden selvittämiseksi ja tulokset piirrettiin koordinaatistoon. Regressioyhtälöt laskettiin SPSS ohjelman iteratiivisen regressioyhtälön muodostamisen kautta. Yhtälö oli muotoa $TS = a \cdot \log_{10}(\text{pituus}) + b$. Kulmakertoimen a arvoksi määritettiin 20. Regressioyhtälön vakion b alkuarvoksi määritettiin 0 ilman muita rajoituksia. Lisäksi sovitetiin regressioyhtälö, jonka kulmakertoimen (a) ja vakion (b) arvot määräytyivät aineiston perusteella.

Muikusta ($n=12$) ja kuoreista ($n=7$) tehtiin kaikkien muiden mittausten jälkeen vielä uusintamittaus 0° kulmassa selkäaspektissa ja tuloksia verrattiin parittaisten havaintojen t -testillä ensimmäisenä 0° kulmassa mitattuihin tuloksiin mahdollisten mittauksen aikana tapahtuvien muutosten selvittämiseksi. Toistomittausten erotusten normaalijakautuneisuus testattiin Shapiro-Wilk-testillä.

Jatkuvan käännön mittaukset ja mittaukset eri kulmapoikkeamissa piirrettiin koordinaatistoon kulmapoikkeaman vaikutuksen tutkimista varten. Jatkuvan käännön mittauksissa kulmapoikkeama saatiin selville olettamalla kääntönopeus vakioksi, jolloin kulmapoikkeama muuttui laskennallisesti tunnetun välin jokaisen äänipulssin välillä. Jokaiselle käänntömittaukselle laskettiin kulmapoikkeamat erikseen kuhunkin mittaukseen käytettyjen äänipulssien määrän avulla.

3. TULOKSET

3.1. Kalibrointi ja taustakohina

Päivittäisten kalibrointipallon kohdevoimakkuushavaintojen mittausten keskiarvo ja keskihajonta oli $-38,8 \pm 0,5$ dB. Tämä on 1,6 dB suurempi kuin kyseisen kalibrointipallon nimellinen arvo $-40,4$ dB (Taulukko 3).

Taulukko 3. Kalibrointipallon mitatut kohdevoimakkuudet päivittäisissä mittauksissa, päivittäisten mittausten keskiarvo ja keskihajonta.

Mittauskerta	Kalibrointipallon kohdevoimakkuus (dB)
1	-39,3
2	-38,7
3	-38,0
4	-39,6
5	-39,1
6	-39,0
7	-39,0
8	-38,0
9	-39,1
10	-38,7
11	-39,2
12	-38,6
keskiarvo	-38,8
keskihajonta	0,5

Tätä 1,6 dB erotusta kalibrointipallon nimelliseen kohdevoimakkuuteen on pidetty systemaattisena virheenä, joka on vähennetty mitatuista kalojen kohdevoimakkuuksista.

Tutkimuksen aikana kalibrointipallon päivittäisten kohdevoimakkuuksien keskiarvo vaihteli -38,8 ja -39,6 dB välillä. Tätä 1,6 dB vaihteluväliä voidaan pitää tutkimuksen aikana tehtyjen kaikuluotausmittausten maksimitarkkuutena.

Tutkimuksen aikana mitattu keskimääräinen taustakohinataso oli -72,9 dB. Taustakohinan vaihteluväli oli -79,7 - -63,0 dB.

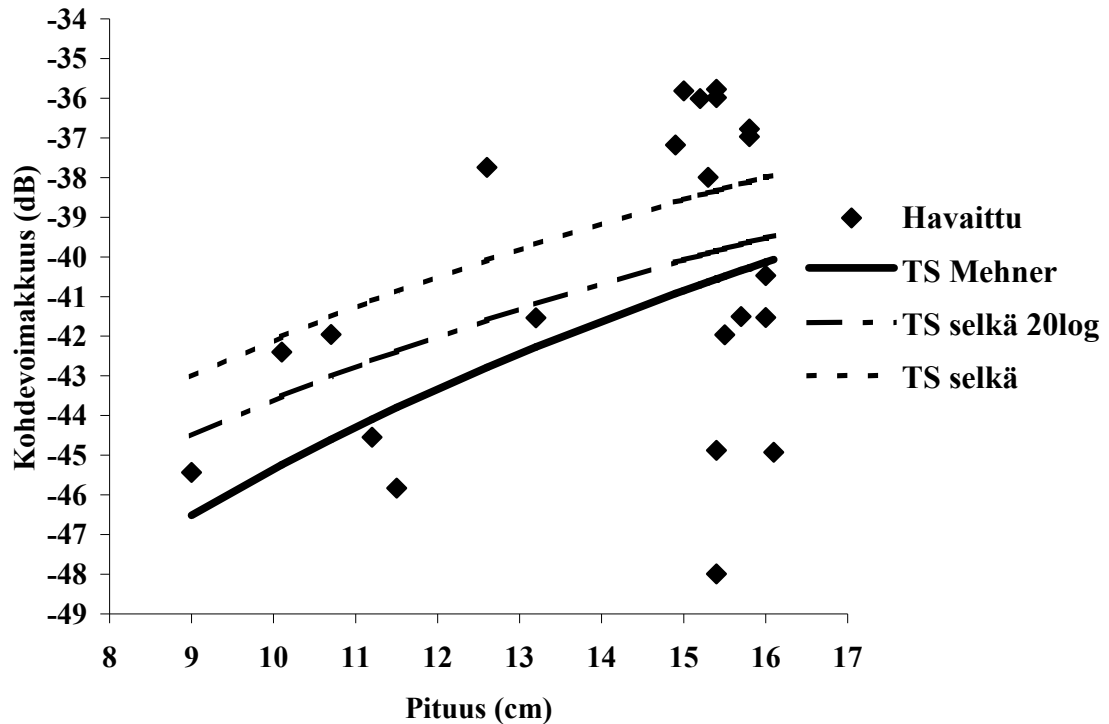
3.2. Muikku

3.2.1. Muikun pituuden ja kohdevoimakkuuden välinen riippuvuus suorassa selkäaspektissa

Kulmakertoimella 20 muikun selkäaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välinen regressiosuora kulkee tutkitulla pituudenvaihteluvälillä (9-16 cm) noin 1,4 dB matalammalla tasolla kuin kokonaan aineistoon perustuva regressiosuora (Kuva 4). Muikun pituuden ja selkäaspektikohdevoimakkuuden väliset regressioyhtälöt, $TS_{20selkä}$ ja $TS_{selkä}$, eivät kuitenkaan eroa tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (Taulukko 4). Selkäaspektissa muikun pituuden logaritmin ja kohdevoimakkuuden regressioyhtälön selitysaste on 0,16.

Taulukko 4. Muikkujen kokonaispituuksien logaritmin (L, cm) ja kohdevoimakkuuksien (TS, dB) välisten regressiosuorien yhtälöt muikulle selkä- ja sivuaspektissa sekä vertailukohtena Mehnerin (2006) esittämä regressioyhtälö muikulle selkäaspektissa, suorien selitysaste (R^2) ja suluissa $\pm 95\%$ -luottamusvälit. $TS_{selkä_{20log}}$ on kulmakertoimella 20 aineistoon sovitettu regressioyhtälö, $TS_{selkä}$ on aineistoon perustuva regressioyhtälö ja TS_{Mehner} on Mehnerin (2006) esittämä regressioyhtälö.

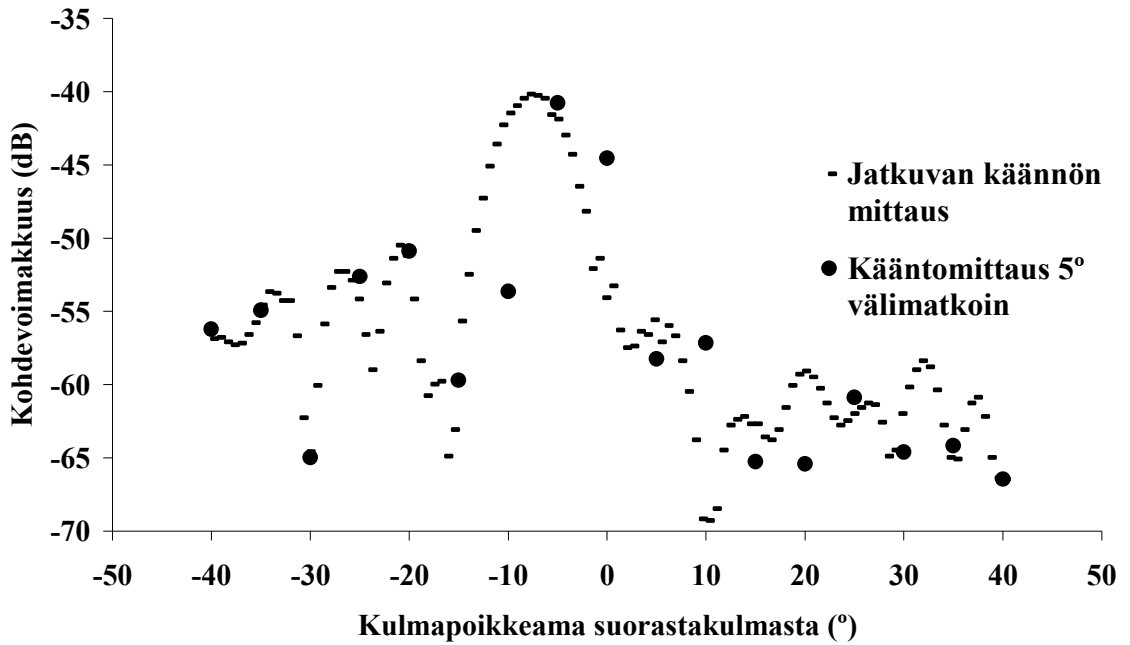
Malli	Yhtälö	n	R^2
$TS_{20selkä}$	$TS=20\log_{10}(L)-63,6(\pm 1,58)$	22	
$TS_{selkä}$	$TS=20,1(\pm 23,3)\log_{10}(L)-62,2(\pm 26,5)$	22	0,16
TS_{Mehner}	$TS=25,54\log_{10}(L)-70,88$	9	0,85
TS_{20sivu}	$TS=20(\pm 23,3)\log_{10}(L)-65,0(\pm 1,9)$	42	
TS_{sivu}	$TS=6,69(\pm 19,01)\log_{10}(L)-49,83(\pm 22,13)$	42	0,09



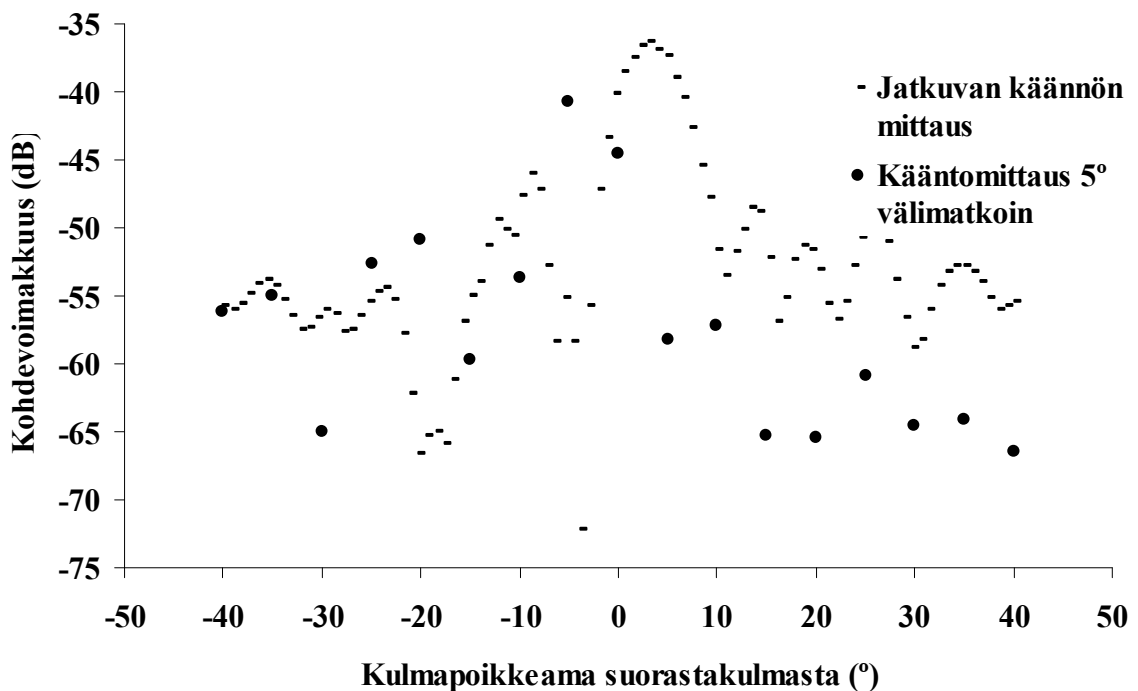
Kuva 4. Muikun kokonaispituuden ja akustisen selkäaspektikohdevoimakkuuden väliset regressiosuorat. TS selkä20log on kulmakertoimella 20 aineistoon sovitettu regressiosuora, TS selkä on aineistoon perustuva regressiosuora ja TS Mehner on Mehnerin (2006) esittämä regressiosuora. Regressioyhtälöt taulukossa 4.

3.2.2. Muikun pituuden ja kohdevoimakkuuden välinen riippuvuus suorassa sivuaspektissa

Kulmakertoimella 20 muikun sivuaspektikohdevoimakkuuden ja kalan pituuden logaritmin välinen regressiosuora alkaa tutkitulla pituuden vaihteluvälillä (9-16 cm) noin 2,5 dB alhaisemmalta tasolta ja päättyy noin 1 dB korkeammalle tasolle kuin kokonaan aineistoon perustuva regressiosuora (Kuva 5). Muikun sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden väliset regressioyhtälöt, TS_{20sivu} ja TS_{sivu} , poikkeavat huomattavasti toisistaan. Ero ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevää (Taulukko 4). Erityisesti kohdevoimakkuuksien suuri hajonta tutkitun pituusvälin yläpäässä aiheuttaa suuren eron regressioyhtälöiden kulmakertoimien ja y-akselin leikkauskohtien välille. Sivuaspektissa muikun pituuden logaritmin ja kohdevoimakkuuden regressioyhtälön selitysaste on 0,09.



Kuva 6. Muikun (11,2 cm) selkäaspektikohdevoimakkuuden vaihtelu eri kulmapoikkeamissa jatkuvan käännön mittauksena ja 5° välein mitattuna. Positiiviset kulmapoikkeaman arvot tarkoittavat kalan pään olevan lähempänä värähtelijää ja negatiiviset pään olevan kauempana värähtelijästä.



Kuva 7. Muikun (11,2 cm) sivuaspektikohdevoimakkuuden vaihtelu eri kulmapoikkeamissa jatkuvan käännön mittauksena ja 5° välein mitattuna. Positiiviset kulmapoikkeaman arvot tarkoittavat kalan pään olevan lähempänä värähtelijää ja negatiiviset pään olevan kauempana värähtelijästä.

3.2.4. Toistomittaus suorassa selkäaspektissa

Toistomittauksessa ensimmäisellä mittauskerralla muikkujen kohdevoimakkuuksien keskiarvo oli -40,3 dB ja toisella mittauskerralla -42,4 dB. Kohdevoimakkuuksien erotukset eivät poikenneet normaalijakaumasta (Shapiro-Wilk $df=12$, $p<0,97$). Kohdevoimakkuuksien keskiarvo olit ensimmäisellä mittauskerralla keskimäärin 2,4 dB suurempi kuin toisella mittauskerralla, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (parittaisten havaintojen t-testi $df=11$, $t=2,193$, $p<0,51$).

3.3. Kuore

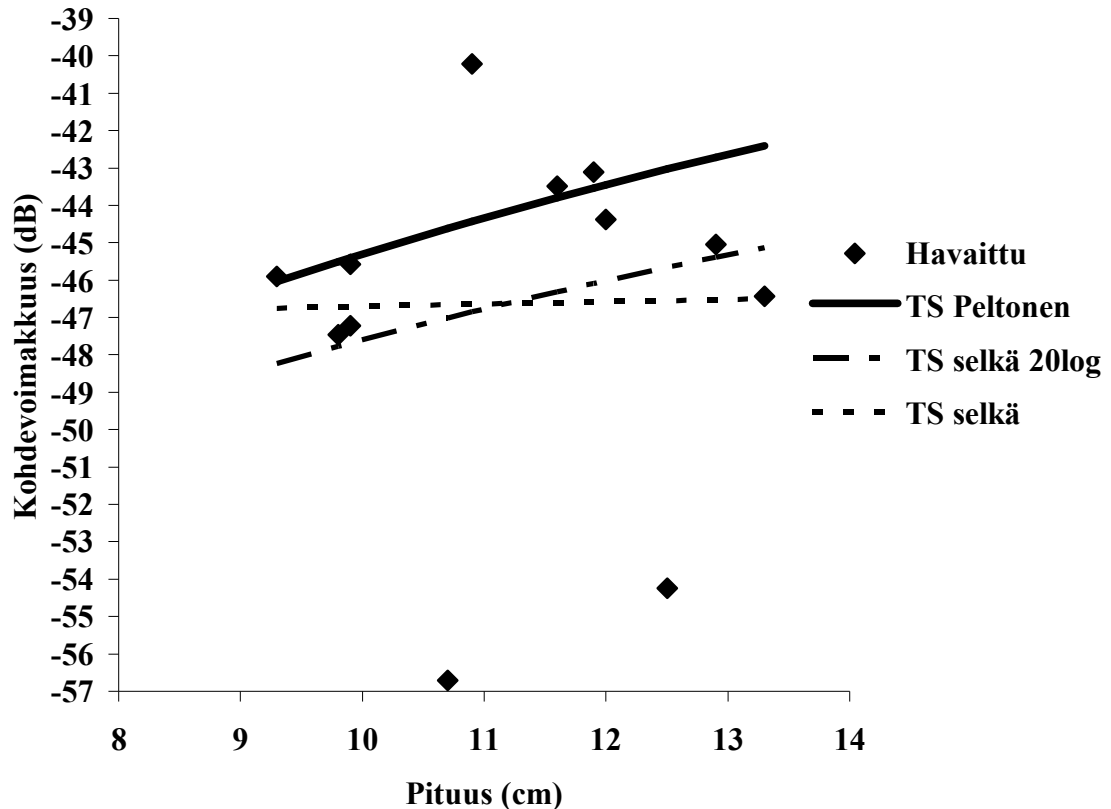
3.3.1. Kuoreen kohdevoimakkuuden ja pituuden välinen riippuvuus suorassa selkäaspektissa

Kulmakertoimella 20 kuoreen selkäaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välinen regressiosuora kulkee tutkitulla pituuden vaihteluvälillä (9,3 - 13,3 cm) alle 11 cm kaloilla alemmalla tasolla ja yli 11 cm kaloilla korkeammalla tasolla kuin kokonaan aineistoon perustuva regressiosuora (Kuva 8). Kuoreen selkäaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden väliset regressioyhtälöt, $TS_{20selkä}$ ja $TS_{selkä}$, poikkeavat toisistaan. Ero ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 5). Kuoreen selkäaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välinen riippuvuuden selitysaste on $<0,001$.

Kuoreiden ja muikkujen kohdevoimakkuuksien ja pituuden logaritmien väliset regressiosuorat poikkeavat selkäaspektissa huomattavasti. Kun yhtälöiden kulmakertoimeksi pakotetaan 20, kulkee muikkujen kohdevoimakkuuden ja pituuden välinen regressiosuora 4 dB korkeammalla tasolla kuin kuoreiden vastaava regressiosuora. Regressioyhtälöiden parametrien perustuessa kokonaan aineistoon ero muuttui 4-6,9 dB (Kuvat 4 ja 8). Erot eivät kuitenkaan ole tilastollisesti merkitseviä.

Taulukko 5. Kuoreiden kokonaispituuksien (L, cm) ja kohdevoimakkuuksien (TS, dB) välisten regressiosuorien yhtälöt selkä- ja sivuaspektissa sekä vertailukohtena Peltosen ym. (2006) esittämä regressioyhtälö kuoreelle selkäaspektissa, suorien selitysaste (R^2) ja suluisissa $\pm 95\%$ luottamusvälit. $TS_{20selkä}$ on kulmakertoimella 20 aineistoon sovitettu regressioyhtälö ja $TS_{selkä}$ on aineistoon perustuva regressioyhtälö.

Malli	Yhtälö	n	R^2
$TS_{20selkä}$	$TS=20\log_{10}(L)-67,6(\pm 2,8)$	11	
$TS_{selkä}$	$TS=1,6(\pm 57,48)\log_{10}(L)-48,3(\pm 65,6)$	11	$<0,001$
$TS_{Peltosen}$	$TS=23,4\log_{10}(L)-68,7$	21	0,85
TS_{20sivu}	$TS=20\log_{10}(L)-65,0(\pm 2,6)$	22	
TS_{sivu}	$TS=30,1(\pm 44,1)\log_{10}(L)-75,6(\pm 47,7)$	22	0,09

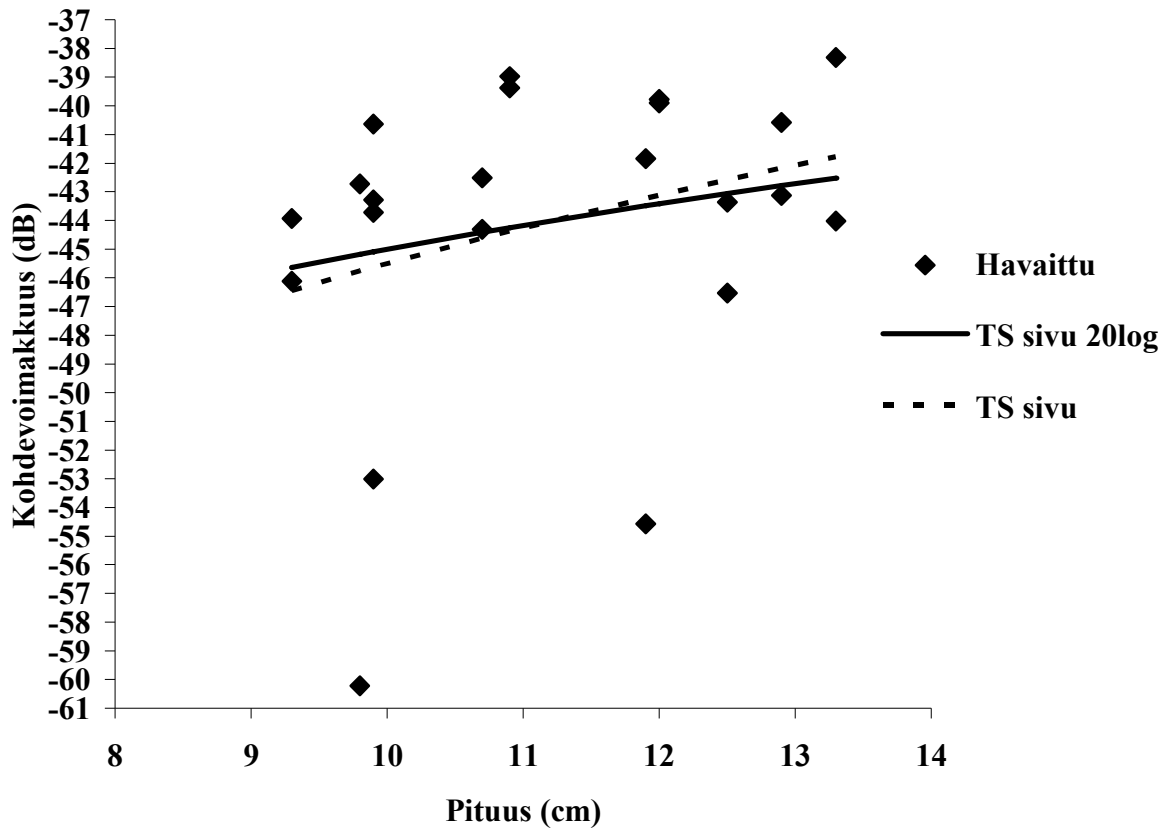


Kuva 8. Kuoreen kokonaispituuden logaritmin ja akustisen selkäaspektikohdevoimakkuuden väliset regressiosuorat. TS 20selkä on kulmakertoimella 20 aineistoon sovitettu regressiosuora, TS selkä on aineistoon perustuva regressiosuora ja TS Peltonen on Peltosen ym. (2006) esittämä regressiosuora. Regressioyhtälöt taulukossa 5.

3.3.2. Kuoreen kohdevoimakkuuden ja pituuden välinen riippuvuus suorassa sivuaspektissa

Kulmakertoimella 20 muikun sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välinen regressiosuora kulkee tutkitulla pituuden vaihteluvälillä (9,3 - 13,3 cm) alle 11 cm kuoreilla korkeammalla tasolla ja yli 11 cm kuoreilla matalammalla tasolla kuin aineistoon kokonaan perustuva regressiosuora (Kuva 9). Kuoreen sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden väliset regressioyhtälöt, TS_{20sivu} ja TS_{sivu} , poikkeavat huomattavasti toisistaan. Ero ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 5). Kuoreen sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin väliset regressiosuorat, TS_{20sivu} ja TS_{sivu} , eroavat toisistaan tutkitulla pituuden vaihteluvälillä enimmillään noin 1 dB verran. Kuoreen sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välinen riippuvuuden selitysaste on 0,09.

Kuoreiden regressiosuorat, TS_{20sivu} ja TS_{sivu} , ja muikkujen regressiosuora, TS_{20sivu} , kulkevat sivuaspektissa tutkitulla pituusjakaumalla lähes samalla tasolla. Ainoastaan muikkujen sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välinen regressiosuora, TS_{sivu} , poikkeaa huomattavasti muista regressiosuorista. Ero ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä.

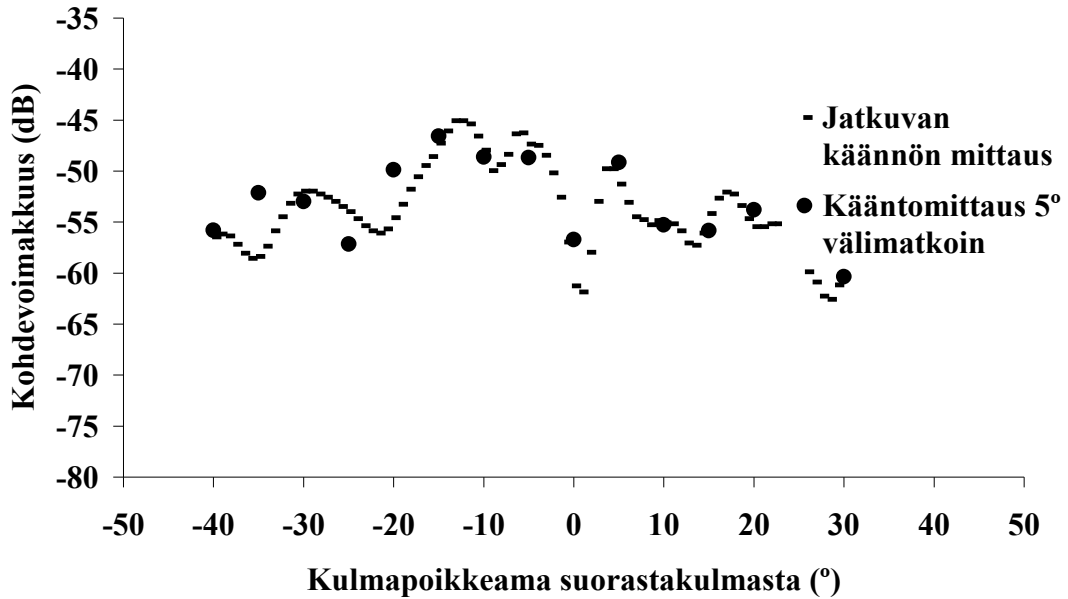


Kuva 9. Kuoreen kokonaispituuden ja akustisen sivuaspektikohdevoimakkuuden väliset regressiosuorat. TS 20sivu on kulmakertoimella 20 aineistoon sovitettu regressiosuora ja TS sivu on aineistoon perustuva regressiosuora. Regressioyhtälöt taulukossa 5.

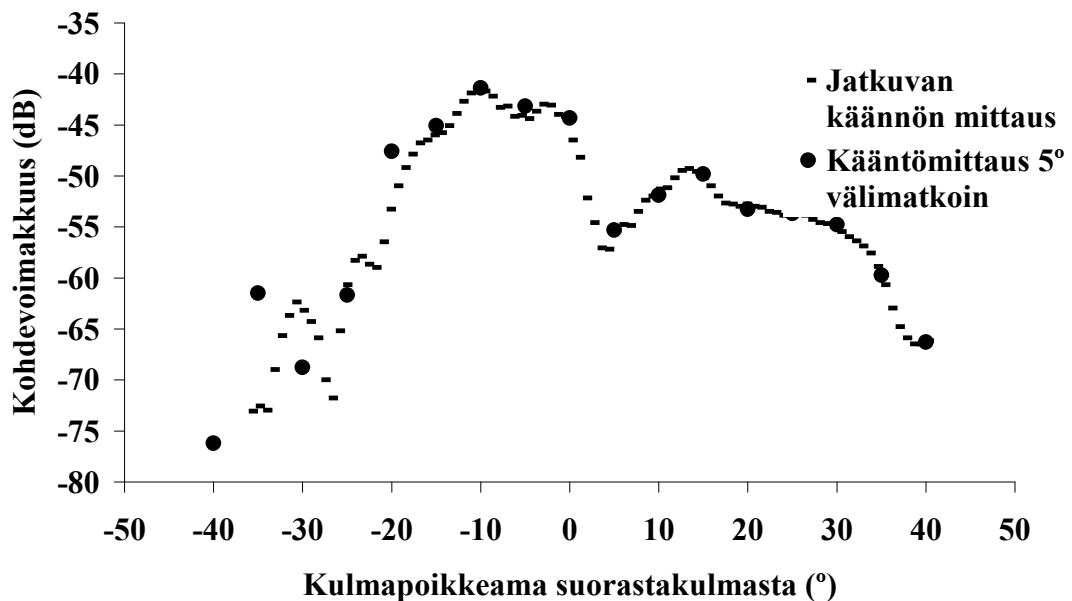
3.3.3. Kulmapoikkeaman vaikutus kohdevoimakkuuteen

Kuoreen selkä- ja sivuaspektikohdevoimakkuus vaihteli eri kulmapoikkeamissa (Kuvat 10 ja 11). Kohdevoimakkuuden vaihtelu oli mitatulla kuoreella selkä- ja sivuaspektissa aaltomaista ja kohdevoimakkuuden maksimit olivat lähellä 0° kulmapoikkeamaa. Kohdevoimakkuuksien muutos oli suurin lähellä maksimia ja varsin pienet muutokset kulmapoikkeamassa vaikuttavat huomattavasti kohdevoimakkuuteen.

Kuoreen selkäaspektikohdevoimakkuuden maksimi on n. -13° kulmapoikkeamassa (-43,5 dB) ja minimi 1° kulmapoikkeamassa (-60,3 dB). Sivuaspektissa kuoreen kohdevoimakkuuden maksimi on n. -10° kulmapoikkeamassa (-39,8 dB) ja minimi -36° kulmapoikkeamassa (-73,1 dB).



Kuva 10. Kuoreen (10,7 cm) selkäaspektikohdevoimakkuuden vaihtelu eri kulmapoikkeamissa jatkuvan käynnön mittauksena ja 5° välein mitattuna. Y-akselilla kohdevoimakkuus (dB) ja x-akselilla kulmapoikkeama (°). Positiiviset kulmapoikkeaman arvot tarkoittavat kalan pään olevan lähempänä värähtelijää ja negatiiviset pään olevan kauempana värähtelijästä.



Kuva 11. Kuoreen (10,7 cm) selkäaspektikohdevoimakkuuden vaihtelu eri kulmapoikkeamissa jatkuvan käynnön mittauksena ja 5° välein mitattuna. Positiiviset kulmapoikkeaman arvot tarkoittavat kalan pään olevan lähempänä värähtelijää ja negatiiviset pään olevan kauempana värähtelijästä.

3.3.4. Toistomittaus suorassa selkäaspektissa

Kuoreilla kohdevoimakkuuksien keskiarvo oli ensimmäisellä toistomittauksella -40,3 dB ja toisella mittauksella -42,4 dB. Kohdevoimakkuuksien erotukset eivät

poikenneet normaalijakaumasta (Shapiro-Wilk $df=7$, $p<0,77$). Kohdevoimakkuuksien keskiarvo oli ensimmäisellä kerralla keskimäärin 2,1 dB korkeampi kuin toisella mittauskerralla, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (parittaisten havaintojen t-testi $df=6$, $t=-2,39$, $p<0,54$).

4. TULOSTEN TARKASTELU

4.1. Pituuden ja kohdevoimakkuuden välinen riippuvuus selkäaspektissa

Kalojen kohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välillä on lineaarinen riippuvuus ja Misundin (1997) mukaan kohdevoimakkuus kasvaa suhteessa pituuden neliöön (geometrisen malli), mutta McClatchien ym. (1996) mukaan useimpien kalojen kohdevoimakkuus ja pituus ei seuraa geometristä mallia.

Tämän työn muikkujen selkäaspektikohdevoimakkuuksien ja pituuden logaritmin väliset regressioyhtälöt eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi geometrisen mallin mukaisesta regressioyhtälöstä tai aikaisempien kohdevoimakkuustutkimusten regressioyhtälöistä (Taulukko 4). Kulmakertoimella 20 muikun selkäaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin regressiosuora kulkee tutkitulla pituudenvaihteluvälillä (9-16 cm) 2,0-0,6 dB korkeammalla tasolla kuin Mehnerin (2006) aineistoon perustuva suora. Kun suoran kulmakerroin määritettiin aineistosta, kulki regressiosuora 2,2-3,5 dB korkeammalla tasolla kuin Mehnerin (2006) aineistoon perustuva suora (Kuva 4).

Misundin (1997) mukaan kohdevoimakkuus riippuu voimakkaasti kalan kulmapoikkeamasta kaikuluotaimen nähden. Kalan kohdevoimakkuus on suurimmillaan kulmapoikkeaman ollessa lähellä nollaa, mutta kulmapoikkeaman pienikin muutos voi johtaa jopa 100-kertaiseen heijastuspoikkileikkauksen pienenemiseen (Nakken ja Olsen 1977). Tästä johtuen on luonnollista, että Mehnerin (2006) raportoima muikun regressiosuora kulkee matalammalla tasolla kuin tässä tutkimuksessa. Heidän tutkimuksessaan kalan asentoa kaikuluotauksen aikana ei tunnettu, joten pituuden ja kohdevoimakkuuden välinen regressioyhtälö perustuu havaittuihin kohdevoimakkuuksiin, jotka ovat keskimäärin pienempiä kuin 0° kulmapoikkeamassa mitattu kohdevoimakkuus.

Todennäköisesti tulostemme ero Mehnerin (2006) tuloksiin on vielä suurempi, koska karuselli häiritsi kohteen paikantamista äänipulssissa. Häiriön takia kaikuluotaimen muotokorjausfunktio kompensoi äänen vaimenemisen väärin. Tämän takia analysointiin käytettiin kompensoimatonta kohdevoimakkuusaineistoa. Tämä ei haittaa, jos kohde sijaitsee akustisella akselilla, jolloin muotokorjausfunktio saa arvons yksi, mutta ilmeisesti tässä tutkimuksessa kalan kohdistaminen akustiselle akselille ei ollut riittävän tarkkaa, mikä johti kohdevoimakkuushavaintojen suureen hajontaan. Lisäksi epätarkkuudet kalojen asennossa ovat voineet lisätä kohdevoimakkuushavaintojen hajontaa.

Tämän työn kuoreiden selkäaspektikohdevoimakkuuksien ja pituuden väliset regressioyhtälöt eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi geometrisen mallin mukaisesta regressioyhtälöstä tai aikaisempien kohdevoimakkuustutkimusten regressioyhtälöistä (Taulukko 5). Kulmakertoimella 20 kuoreen selkäaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin regressiosuora kulkee tutkitulla pituuden vaihteluvälillä (9,3-12,9 cm) 3,3-5,2 dB matalammalla tasolla kuin Peltosen ym. (2006) aineistoon perustuva suora. Kun suoran kulmakerroin määritettiin aineistosta, kulki regressiosuora 1,8-5,2 dB matalammalla tasolla kuin Peltosen ym. (2006) aineistoon perustuva suora (Kuva 8).

Peltosen ym. (2006) regressiosuoran olisi odottanut kulkevan alemmalla tasolla kuin tämän tutkimuksen kuoreen regressiosuora, koska heidän tutkimuksessa kalan asentoa kohdevoimakkuusmittauksen aikana ei tiedetty. Nyt havaittu ero johtuu todennäköisesti kutuun valmistuvien kuoreiden gonadien vaikutuksesta uimarakon muotoon ja tilavuuteen, kaikuluodattavien kalojen epätarkasta sijoittamisesta akustiselle akselille ja mahdollisista epätarkkuuksista kalan asennossa. Kevättalvella kuoreiden gonadit ovat huomattavasti suurempia, kuin syksyllä. Suuret gonadit ovat voineet puristaa uimarakkoa pienemmäksi tai muuttaa sen muotoa, jolloin myös kohdevoimakkuus voi olla pienempi kuin syksyllä.

Tämän tutkimuksen aineiston perusteella samankokoista kuoretta ja muikkua ei voi erottaa toisistaan akustisesti selkääspektikohdevoimakkuuden perusteella 120 KHz taajuudella. Vaikka erot regressioyhtälöiden välillä ovat huomattavat, ei erot ole tilastollisesti merkitseviä. Tämä tulos on samansuuntainen verrattaessa Mehnerin (2006) ja Peltosen ym. (2006) tuloksia toisiinsa. Heidän kohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmien väliset regressiosuorat kulkevat lähes samalla tasolla tässä tutkimuksessa käytetyllä pituuden vaihteluvälillä (Kuvat 4 ja 8).

4.2. Pituuden ja kohdevoimakkuuden välinen riippuvuus sivuaspektissa

Muikun sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välisen regressioyhtälön kulmakerroin oli huomattavasti pienempi kuin selkääspektissa, mutta y-akselin leikkauskohta oli sivuaspektissa suurempi. Erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Regressioyhtälöiden kulmakertoimien erosta johtuen tutkitun pituuden vaihteluvälin alkupäässä yhtälöiden antamat muikun sivuaspektikohdevoimakkuudet ovat suurempia kuin selkääspektikohdevoimakkuudet, mutta loppupäässä selkääspektikohdevoimakkuudet ovat suurempia. Selkääspektikohdevoimakkuuksissa ja eritoten sivuaspektikohdevoimakkuuksissa hajonta oli suurta etenkin pituuden vaihteluvälin yläpäässä (Kuvat 4 ja 5). Tästä johtuen muikun sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välisen regressioyhtälön kulmakerroin jäi huomattavan pieneksi.

Kuoreen sivuaspektikohdevoimakkuuden ja pituuden logaritmin välisten aineistoon perustuva ja geometrisen mallin regressioyhtälöt poikkeavat huomattavasti toisistaan, mutta yhtälöiden väliset erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Regressiosuorat leikkaavat toisensa tutkitun pituusvälin puolivälin paikkeilla, joten regressioyhtälöistä saadut kohdevoimakkuudet eivät poikkea kovin suuresti toisistaan. Aineistoon kokonaan perustuva regressiosuora kulkee alle 11 cm kuoreilla korkeammalla tasolla ja yli 11 cm kuoreilla matalammalla tasolla (Kuva 9).

Sekä muikkujen ja kuoreiden pituuden ja kohdevoimakkuuksien välisten regressioyhtälöiden antamat kohdevoimakkuudet olivat suurempia sivuaspektissa kuin selkääspektissa. Tämä on linjassa Frouzovan ym. (2005) järvitaimenen (*Salmo trutta*), ahvenen (*Perca fluviatilis*), lahnan (*Abramis brama*), särjen (*Rutilus rutilus*) Karpin, (*Cyprinus carpio*) ja salakan (*Alburnus alburnus*) kaikuluotausmittausten kanssa, vaikka erot eivät tässä tutkimuksessa olleetkaan merkitseviä.

Tämän tutkimuksen perusteella samankokoista muikkua ja kuoretta ei pysty erottamaan toisistaan akustisesti sivuaspektikohdevoimakkuuden perusteella 120 KHz taajuudella. Tämä voi aiheuttaa virhettä kyseisten lajien akustiseen kannanarviointiin, mikäli kumpikin laji esiintyy samalla alueella.

4.3. Regressioyhtälöiden selityssaste

Kalojen pituuden logaritmin ja kohdevoimakkuuden välisten korrelaatioiden selityssaste on vaihdellut aikaisemmissa tutkimuksissa 0,31 ja 0,94 välillä (McClatchie ym.

2003) Tässä työssä pituuden logaritmin ja kohdevoimakkuuden välisten korrelaatioiden selitysasteet olivat huomattavasti alhaisempia kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (Taulukko 4 ja 5). Tämä johtui kohdevoimakkuushavaintojen suuresta hajonnasta ja pituuden pienestä vaihtelusta. Isommalla pituuden vaihteluvälillä selitysaste olisi todennäköisesti ollut suurempi (Kuvat 4, 5, 8 ja 9). Suuri hajonta johtui todennäköisesti kalan epätarkasta sijoittamisesta akustiselle akselille ja mahdollisista epätarkkuuksista kalan asennossa.

Kalojen kiinnittämiseen tarkoitettu karuselli häiritsi kaikuluotaimen kohteen paikantamista äänikeilassa, joten kala kohdistettiin akustiselle akselille pelkästään linjalangan ja syvyystiedon perusteella. Kalat kaikuluodattiin 6 m etäisyydellä kaikuluotaimesta. Tällä etäisyydellä kaikuluotaimen äänikeilan halkaisija on 73 cm, joten varsin pienetkin kohdistusvirheet voivat siirtää kaikuluodattavaa kohdetta huomattavasti akustiselta akselilta sivuun, mikä johtaa kohdevoimakkuuden alenemiseen ja kohdevoimakkuushavaintojen suureen hajontaan.

4.4. Kulmapoikkeaman vaikutus kohdevoimakkuuteen

Kulmapoikkeaman vaikutusta kohdevoimakkuuteen tutkittiin sekä jatkuvan käännön mittauksella että kiinteillä mittauksilla 5° välein. 5° välein tehtyjen mittausten välimatka oli liian suuri. Mittausten väliin jäi huomattavaa vaihtelua kohdevoimakkuuden suuruudessa (Kuvat 6, 7, 10 ja 11). Tästä syystä kulmapoikkeaman muutoksen vaikutusta tulisi tutkia jatkuvan käännön mittauksena, jolloin äänipulssien väliset katvealueet ovat huomattavasti pienempiä, mikäli kääntönopeus on riittävän alhainen ja pulssintoistonopeus riittävän suuri.

Muikun ja kuoreen selkä- ja sivuaspektikohdevoimakkuus vaihteli huomattavasti eri kulmapoikkeamassa. Kohdevoimakkuuden maksimit sijaitsivat selkäaspektissa muikulla -8° ja kuoreella -13° kulmapoikkeamissa sekä sivuaspektissa muikulla -4° ja kuoreella -10° kulmapoikkeamassa. Nakkenin & Olsenin (1977) mukaan turskan selkäaspektikohdevoimakkuuden maksimi on 38 KHz taajuudella 0° kulmapoikkeamassa ja 120 KHz taajuudella n. -8° kulmapoikkeamassa. Blaxterin & Battyn (1990) mukaan kalan kohdevoimakkuuden maksimi on 5° - 10° kulmapoikkeamissa pää luotaimesta poispäin jolloin uimarakon kulmapoikkeama on lähellä nollaa.

Tässä tutkimuksessa jatkuvan käännön mittauksen kulmapoikkeama laskettiin mittaukseen käytettyjen äänipulssien määrän avulla olettaen kääntönopeus vakioksi. Kalaa käännettiin käsivaralla, joten kääntönopeus on voinut vaihdella käännön aikana ja vääristää kohdevoimakkuuden maksimin sijaintia eri kulmapoikkeamissa. Jatkuvan käännön kulmapoikkeamamäärityksen luotettavuutta voi kuitenkin arvioida 5° välein suoritettujen kääntömittausten avulla, jotka noudattavat varsin hyvin jatkuvan käännön mittausten kohdevoimakkuuden muutosta muikulla selkä- ja kuoreella selkä- ja sivuaspektissa (Kuvat 6, 8, 10 ja 11). Ainoastaan muikun sivuaspektimittauksessa jatkuvan käännön mittaus ja mittaus kiinteissä kulmapoikkeamissa eroavat huomattavasti toisistaan (Kuva 7).

Ongelma voidaan ratkaista asentamalla karuselliin soveltuva riittävän alhaisella kiertonopeudella pyörivä moottori, jonka käynnistys synkronoidaan kohdevoimakkuusmittausten tallennuksen kanssa.

4.5. Toistomittaus suorassa selkäaspektissa

Muikkujen ja kuoreiden kohdevoimakkuudet näyttivät laskevan toistomittausten välillä. Muikkujen selkäaspektikohdevoimakkuuksien keskiarvo oli 2,4 dB ja kuoreiden 2,1 dB korkeampi ensimmäisellä kerralla kuin toisella toistomittauksella. Nämä erot

ovat huomattavia, mutta eivät tilastollisesti merkitseviä. Osan erosta voi selittää epätarkkuus kalojen kohdistamisessa akustiselle akselille.

Uimarakollisilla kaloilla uimarakko vastaa 90-95% heijastuspoikkileikkauksesta (Foote 1980), joten mittauskertojen ero voi johtua ilman poistumisesta uimarakosta kalan kuoleman jälkeen. Mikäli kalojen kohdevoimakkuus alkaa pienentyä kalojen kuoleman jälkeen, tämä on syytä ottaa huomioon kohdevoimakkuustutkimuksissa. Tapetun kalan kaasujenvaihto ei ole samanlaista kuin normaalilla elävällä kalalla, joten uimarakon tilavuus voi laskea ilman diffundoituessa uimarakosta pois tai muikun ja kuoreen tapauksessa vapautua uimarakon ja nielun välillä olevan tiehyen kautta. Tässä tutkimuksessa kalojen toistomittausten aikaväli oli 2-3 h. Mittaus nopeutuisi huomattavasti, mikäli mittaus tehtäisiin ainoastaan jatkuvan käännön mittauksena, jolloin uimarakosta mahdollisesti poistuva kaasu ei ehdi laskea kohdevoimakkuutta merkittävästi.

4.6. Muikun ja kuoreen kohdevoimakkuuden kokeellinen mittaaminen

Kohdevoimakkuuden kokeellinen mittaaminen on mahdollista talvella tässä tutkimuksessa esitetyllä tavalla. Jää tarjoaa tukevan alustan laitteistolle, kunhan vuodenaika ja keliolosuhteet otetaan huomioon tutkimuksen ajankohtaa suunniteltaessa. Keskitalvella pakkaneen sekä tuuli voivat olla ankaria ja haitata käytännön työskentelyä, jollei avantoa suojata esimerkiksi suurella teltalla. Keväällä jää voi heiketä säästä riippuen varsin aikaisin.

Kalojen kiinnitys ja kääntäminen onnistuu esitellyllä tavalla varsin hyvin. Ainoastaan yksi kala irtosi kiinnityksestään mittauksen aikana. Kalan asennon silmämääräisessä tarkastelussa vesikiikarista on huomattavasti apua.

Kalojen kohdistamiseen akustiselle akselille tarvitaan tarkempi kaikuluotaimesta riippumaton menetelmä. Tällainen menetelmä voisi olla kaikuluotaimen värähtelijään kiinnitetty laser tai valotähtäin, joka piirtää pisteen tai ristikon akustiselle akselille. Tällöin kohde on helppo kohdistaa akustiselle akselille, vaikka kalojen kääntämiseen tarkoitettu karuselli häiritseekin kaikuluotaimen omaa kohteen paikannussysteemiä.

Karuselliin tulisi kiinnittää riittävän alhaisella kiertonopeudella pyörivä moottori ja kalan kääntäminen ja kohdevoimakkuushavaintojen rekisteröinti täytyy synkronoida, jolloin mittaukset voidaan tehdä jatkuvan käännön mittauksena. Moottorin avulla kääntönopeus saadaan vakioitua ja kulmanmuutos voidaan laskea tarkemmin. Jatkuvan käännön mittauksena kohdevoimakkuushavaintoja saadaan halutulla kulmapoikkeaman vaihteluvälillä tiheämmin välimatkoin ja mittaus on nopeampaa kuin esimerkiksi 5° välein suoritettu kääntömittaus. Myös kaikuluotaimen värähtelijä voidaan kiinnittää kääntömoottoriin, jolloin sen asentoa on helpompi säädellä jään päältä. Jatkuvan käännön mittauksissa avanto kannattaa tehdä pyöreäksi, jolloin karuselli voi tehdä täyden ympyrän. Tällöin kala voidaan kaikuluodata yhdellä kiinnityksellä kaikissa kulmapoikkeamissa.

KIITOKSET

Koe tehtiin Jyväskylän yliopiston Konneveden tutkimusasemalla. Haluan kiittää kaikkia töissä avustaneita henkilöitä, Helge Balkkia ja Frank Knudsenia hyvistä neuvoista, RKTL:ää kaluston lainaamisesta ja erityisesti työtä ohjannutta Timo Marjomäkeä.

KIRJALLISUUS

Auvinen H. & Jurvelius J. 1994. Comparison of pelagic vendace (*Coregonus albula* L.) stock density estimation methods in a lake. *Fish. Res.* 19: 31-50.

- Balls R. 1948. Herring fishing with the echometer. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 15: 193-206. Ref. Misund 1997.
- Blaxter J.H.S. & Batty R.S. 1990. Swimbladder ‘‘behaviour’’ and target strength. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer.* 189: 233-244.
- Devold F. 1950. Herring cruise with ‘‘G.O. Sars’’ in the Norwegian Sea July 5th – August 24th 1950. *Fiskets Gang* 36: 464-466. Ref. Misund 1997.
- Foote K.G. 1980. Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: a comparison of gadoid and mackerel target strengths. *J. Acoust. Soc. Am.* 67: 2084-2089.
- Foote K.G. 1991. Summary of methods for determining fish target strength at ultrasonic frequencies. *ICES J. Mar. Sci.* 48: 211-217.
- Frouzova J., Kubecka J., Balk H. & Frouz J. 2005. Target strength of some European fish species and its dependence on fish body parameters. *Fish. Res.* 75: 86–96.
- Gunderson D.R. 1993. *Surveys of fisheries resources*. Wiley, New York, 248 s.
- Horne J.K. & Jech J. 1999. Multifrequency estimates of fish abundance: Constraints of rather high frequencies. *ICES J. Mar. Sci.* 56: 184-199.
- Jurvelius J., Lilja J., Hirvonen E., Riikonen R. & Marjomäki T.J. 2000. Under ice density and mobility of fish in winter-seining area of two Finnish lakes as revealed by echo-survey. *Aquat. Living resour.* 13: 403-408.
- Kloser R.J., Ryan T., Sakov P., Williams A. & Koslow J.A. 2002. Species identification in deep water using multiple acoustic frequencies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 1065-1077.
- Knudsen F.R. & Saegrov H. 2002. Benefits from horizontal beaming during acoustic survey: application to three Norwegian lakes. *Fish. Res.* 35: 55-63.
- Kubecka J. & Duncan A. 1998. Diurnal changes of fish behaviour in a lowland river monitored by a dual-beam echosounder. *Fish. Res.* 35: 55-63.
- Lilja J., Marjomäki T.J., Jurvelius J., Rossi T. & Heikkola E. 2004. Simulation and experimental measurement of side-aspect target strength of Atlantic salmon (*Salmo salar*) at high frequency. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61: 2227-2236.
- MacLennan D.N., Fernandes P.G. & Dalen J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES J. Mar. Sci.* 53: 365-369.
- McClatchie S., Alsop J, Ye Z. & Coombs R. 1996. A re-evaluation of relationship between fish size, acoustic frequency and target strength. *ICES J. Mar. Sci.* 53: 780-791.
- McClatchie S., Macauley G.J. & Coombs R.F. 2003. A requiem for the use of $20\log_{10}\text{Length}$ for acoustic target strength with special reference to deep-sea fishes. *ICES J. Mar. Sci.* 60: 419-428.
- Mehner T. 2006. Prediction of hydroacoustic target strength of vendace (*Coregonus albula*) from concurrent trawl catches. *Fish. Res.* 79: 162-169.
- Misund O.A. 1997. Underwater acoustics in marine fisheries and fisheries research. *Rev. Fish Biol. Fish.* 7: 1-34.
- Nakken O. & Olsen K. 1977. Target strength measurement of fish. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer.* 170: 52-69.
- Peltonen H., Malinen T. & Tuomaala A. 2006 Hydroacoustic in situ target strength of smelt (*Osmerus eperlanus* L.) *Fish. Res.* 80: 190–195.
- Romare P. 2001. An evaluation of horizontal echo sounding as a method for behavioral studies of 0+ fish in field experiments. *J. Fish Biol.* 58: 1512-1523.
- Sund O. 1935. Echo sounding in fishery research. *Nature.* 135: 935. Ref Misund 1997.

Wanzenböck J., Mehner T., Schulz M., Gassner H. & Winfield I.J. 2003. Quality assurance of hydroacoustic surveys: the repeatability of fish abundance and biomass estimates in lakes within and between hydroacoustic systems. *ICES J. Mar. Sci.* 60: 486-492.