

# **Lohenpoikasten (*Salmo salar* L.) esiintyminen Muonionjoen syvissä habitaateissa**

**Pro gradu –tutkielma  
Tommi Linnansaari  
Helsingin yliopisto  
Limnologian ja ympäristön-  
suojelun laitos  
Maaliskuu 2003**

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion <b>Maatalous-metsätieteellinen</b>		Laitos – Institution <b>Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos</b>	
Tekijä – Författare <b>Linnansaari Tommi Pekka</b>			
Työn nimi – Arbetets titel <b>Lohenpoikasten (<i>Salmo salar</i> L.) esiintyminen Muonionjoen syvissä habitaateissa</b>			
Oppiaine – Läroämne <b>Kalataloustiede</b>			
Työn laji – Arbetets art <b>Pro gradu -tutkielma</b>		Aika – Datum <b>Maaliskuu 2003</b>	Sivumäärä – Sidoantal <b>62</b>
Tiivistelmä – Referat  <p>Lohenpoikasten esiintymistä yli metrin syvyisissä vesissä tutkittiin Muonionjoessa viidellä toisistaan poikkeavalla koealalla kesällä 2002. Tutkimus toteutettiin paineilmalaitteilla sukeltamalla. Koealoille pystytettiin tasaisin välein virran suuntaisia sukelluslinjoja, jotka olivat sata metriä pitkiä ja yhden metrin levyisiä.</p> <p>Lohenpoikaset jaettiin kahteen ryhmään kokonsa perusteella (0+ eli kesänvanhat, &lt; 6 cm; &gt;0+ eli vanhemmat poikaset, &gt; 6 cm). Eri ikäryhmien sijoittumista selvitettiin suhteessa syvyyteen, pinta- ja keskivirrannopeuteen sekä pohjan raekokoon.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin, että lohenpoikasia esiintyy Muonionjoessa sähkökalastettavan alueen ulkopuolella, ts. yli metrin syvyisessä vedessä. Kesänvanhojen poikasten havaittiin esiintyvän 0,5 – 1,9 m ja vanhempien 0,4 – 2,2 m syvyisessä vedessä (alle 0,5 m syvyisiä alueita ei tässä tutkimuksessa juurikaan tutkittu). Lisäksi havaintoja vanhemmista poikasista saatiin testisukelluksissa jopa 4,9 metrin syvyydestä.</p> <p>Lohenpoikasten määrää syvissä vesissä arvioitiin suhteuttamalla keskisyvien (0,5 – 0,99 m) alueiden poikasmääriä syvällä (<math>\geq 1</math> m) havaittuihin poikasmääriin. Saadun suhdeluvun mukaan 0+ poikasia on syvällä noin 27 % ja vanhempia noin 79 % keskisyvässä vedessä havaitusta määrästä.</p> <p>Kesänvanhat poikaset käyttivät merkittävästi matalampia ja heikkovirtaisempia alueita kuin vanhemmat poikaset. Lisäksi 0+ poikaset käyttivät keskimäärin pienempää suojakiveä kuin vanhemmat.</p> <p>Aineiston perusteella 0+ poikasilla oli preferenssejä tutkittujen ympäristöparametrien suhteen. Vanhempien poikasten havaittiin sen sijaan käyttävän eri alueita siinä suhteessa kuin niitä oli alueella tarjolla.</p> <p>Poikasten sijoittuminen koealojen välillä erosi sen mukaan millaista aluetta kullakin koealalla oli tarjolla. Vanhemmilla poikasilla tämä johtui siitä, että ne eivät preferoineet tiettyjä alueita. Kesänvanhoilla poikasilla preferenssit näyttivät vaihtelevan koealojen välillä.</p>			
Avainsanat – Nyckelord <b>lohi, syvä habitaatti, sukellus, SCUBA, preferenssi</b>			
Säilytyspaikka – Förvaringställe <b>Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos, kirjasto ; Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos (RKTL), Oulun riistan- ja kalantutkimus, kirjasto; RKTL, Muonion kalanviljelylaitos, kirjasto</b>			
Muita tietoja			

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion - Faculty <b>Agriculture and Forestry</b>		Laitos – Institution - Department <b>Limnology and Environmental Science</b>	
Tekijä – Författare - Author <b>Linnansaari, Tommi P.</b>			
Työn nimi – Arbetets titel - Title <b>Occurrence of salmon (<i>Salmo salar</i> L.) parr in deep habitats in river Muonionjoki</b>			
Oppiaine – Läroämne – Major <b>Fishery Science</b>			
Työn laji – Arbetets art – Level of the work <b>Masters thesis</b>		Aika – Datum - Date <b>March, 2003</b>	Sivumäärä – Sidoantal - Pages <b>62</b>
Tiivistelmä – Referat- Abstract <p>Occurrence of Baltic salmon parr in deep (&gt; 1m) habitats was studied in five study areas in River Muonionjoki in late summer 2002. Observation was done with SCUBA –equipment. On each study area, eight evenly situated transects (100 meter long, one meter wide) were conducted in the direction of the current. On purpose, shallow areas (&lt; 0.5 m) were not studied extensively.</p> <p>Salmon parr were divided into two groups based on their size distribution (0+, young-of-the-year, YOY, &lt; 6 cm total length; &gt;0+, post young-of-the-year, PYOY, &gt; 6 cm total length). Habitat distribution in relation to depth, surface- and mean velocity and substrate size was studied.</p> <p>Salmon parr utilized microhabitats beyond the area possible to study with electrofishing method (&gt; 1 meter). YOY parr were encountered from 0.5 – 1.9 m and PYOY parr from 0.4 – 2.2 m deep water. Also, PYOY parr were observed up to 4.9 meters in test dives.</p> <p>Diving method most probably underestimates salmon parr densities on any given site. To correct for this, the total amount of salmon parr in deep areas was estimated by relating the densities observed in semi-deep (0.5 – 0.99 m) areas to those observed in deep (≥ 1 m). The amount of salmon parr is underestimated to the same extent on both of these depth categories. The derived index value indicates, that YOY parr are found in deep 27 % and PYOY parr 79 % of the numbers of parr encountered in semi-deep habitats. This index can be utilized in future in River Muonionjoki to roughly estimate the total abundance of salmon parr in areas where habitats not suitable for electrofishing exists as more reliable density estimates can be derived with electrofishing method for semi-deep area, and these densities can further be multiplied by the derived index to get the estimate for deeper areas.</p> <p>YOY parr utilized significantly shallower and slower habitats than PYOY parr. Also, YOY parr were found on average on smaller substrate than older parr. The preference curves obtained for YOY in this study reflect the study site selection (s.o. habitat availability) and the parameter values in preferred area tended to be higher than found in former studies for each parameter. PYOY parr did not show preferences towards any of the studied parameters, but rather utilized habitats proportionally to their availability.</p> <p>Salmon parr utilized different microhabitats between the study areas. This variability was explained by the habitat availability and lead to different preferences between sites among the YOY parr. This is in accordance with former studies.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Key words <b>salmon, parr, SCUBA, preference, deep habitat</b>			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Stored <b>Department of Limnology and Environmental Science, University of Helsinki; Finnish Game and Fisheries Research Institute, 3 locations, Helsinki, Oulu, Muonio.</b>			
Other <b>Current contact information: University of New Brunswick, Biology Department, P.O. Bag Service 45111, Fredericton, New Brunswick, E3B 6E1 Canada</b>			

## Sisältö

<b>1. JOHDANTO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Lohen esiintyminen ja elämänkierto .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Lohenpoikasten elinympäristön valinta.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3. Tutkimuksen tarkoitus.....</b>	<b>8</b>
<b>2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Tutkimusalue .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1. Tornionjoen-Muonionjoen vesistöalue .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.2. Koalojen sijainti ja kuvaus.....</b>	<b>11</b>
2.1.2.1. Kuusisuvanto .....	11
2.1.2.2. Kaarnekoski.....	11
2.1.2.3. Pakamukka .....	12
2.1.2.4. Soutuniva (ylempi).....	12
2.1.2.5. Soutuniva (alempi) .....	13
<b>2.2. Tutkimusmenetelmät .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1. Potentiaaliset tutkimusmenetelmät syvässä vedessä .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2. Sukeltamisessa käytetyt menetelmät.....</b>	<b>17</b>
2.2.2.1. Virran suunnassa sukeltaminen.....	17
2.2.2.2. Poikkivirtaan sukeltaminen .....	20
<b>2.2.3. Habitaattidatan keruu .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.4. Sukellus- ja sähkökalastusmenetelmien vertailu .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3. Analyysi- ja tilastolliset menetelmät.....</b>	<b>26</b>
2.3.1. Aineiston visualisointi variogrammien ja kriging –menetelmän avulla .....	26
2.3.2. Tilastollinen testaus ja syvyysindeksi.....	27
2.3.3. Habitaattipreferenssien tutkiminen .....	28
<b>3. TULOKSET .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1. Lohenpoikasten sijoittuminen eri syvyysvyöhykkeisiin .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2. Erot habitaatinvalinnassa ikäryhmien välillä.....</b>	<b>31</b>

3.2.1. Erot ikäryhmien välillä ympäristöparametreittain .....	31
3.2.2. Habitaattipreferenssit.....	32
3.3. Erot habitaatinvalinnassa koealojen välillä.....	33
3.4. Sukellusmenetelmän ja sähkökalastuksen vertailu .....	35
3.5. Erot kalamäärissä poikkivirtaan sukeltaessa .....	35
<b>4. TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1. Sukeltaminen tutkimusmenetelmänä .....</b>	<b>36</b>
4.1.1. Virran suunnassa sukeltaminen .....	36
4.1.2. Poikkivirtaan sukeltaminen .....	37
4.1.3. Sukellusmenetelmän luotettavuus .....	38
<b>4.2. Erot habitaatinvalinnassa ikäryhmien ja koealojen välillä .....</b>	<b>40</b>
4.2.1. Lohenpoikasten sijoittuminen syvyyden suhteen.....	40
4.2.2. Lohenpoikasten sijoittuminen muiden ympäristöparametrien suhteen.....	43
4.2.3. Lohenpoikasten sijoittuminen eri koealoilla .....	46
<b>4.3. Jatkotutkimuksen kohteita .....</b>	<b>46</b>
<b>5. KIITOKSET .....</b>	<b>47</b>
<b>6. KIRJALLISUUS.....</b>	<b>48</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>54</b>

# 1. JOHDANTO

Lohi (*Salmo salar* L.) on lisääntynyt luontaisesti noin 35:ssä Suomen puolelta Itämereen laskevassa joessa (esim. Böhling 1997). Jokien patoaminen, likaaminen ja liikakalastus ovat tuhonneet suurimman osan näistä lohikannoista (Karlsson & Karlström 1994). Nykyisin geneettisesti alkuperäinen kanta on jäljellä enää vain Suomen ja Ruotsin välisessä rajajoessa Tornion-Muonionjoessa sekä Simojoessa (Koljonen ym. 1999). Tämän takia näiden kantojen säilyttäminen on erityisen tärkeää. Lohi on luokiteltu Suomen uhanalaisten lajien seurantatyöryhmän rekisterissä erittäin uhanalaiseksi (Rassi ym. 2001). Siksi lohikantoja ei pyritä ainoastaan säilyttämään, vaan myös elvyttämään mm. kalastuksensäätelyllä. Suomi vastaa lohikantojen säilymisestä omilla vesillään myös ratifioitujen kansainvälisten ympäristösopimusten kutuvaltioperiaatteen pohjalta.

Tornion-Muonionjoki on eräs maailman suurimmista villin lohen tuottajista ja tuottaa ylivoimaisesti eniten vaelluspoikasia Itämeren alueella (ICES 2003). Tornion-Muonionjoen kalakantoja on Suomessa seurattu Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen (RKTL) toimesta jo 1970-luvun alkupuolelta lähtien. Lohen jokipoikastuotannon seurannan perustana Tornion-Muonionjoella on sähkökoekalastus, jolla kerätään vuosittain tietoja vakioiduilta koealueilta eri puolilta vesistöä. Näitä vakioituja koealoja Tornion-Muonionjoella on jokireitin latva-alueilla sijaitsevat Lätäs- ja Könkämäeno mukaan lukien 86 kappaletta (Haikonen ym. 2002). Tähän asti pääuoman ainoat tiedot lohenpoikasten lukumääristä on kerätty sähkökalastamalla matalia, alle metrin syvyisiä ranta-alueita. Näin suurin osa pääuoman pinta-alasta jää kattamatta. Seurannan ulkopuolisten, syvien alueiden osuus voi olla kuitenkin hyvin suuri pääuoman lohenpoikastuotannosta ja potentiaalisista tuotanto-alueista (Romakkaniemi 1988). Lohenpoikastuotannon mahdollisimman tarkka tunteminen on ensiarvoisen tärkeää, sillä Kansainvälinen Itämeren kalastuskomissio (IBSFC) tekee päätöksen vuosittaisista lohenkalastuskiintiöistä osaltaan näihin tuotantoarvioihin nojaten.

Lohikantojen elvytystoiminnan tehostamiseksi ja koordinoimiseksi IBSFC käynnisti vuoden 1997 alussa kansainvälisen ohjelman (Salmon Action Plan, SAP). Ohjelmalla pyritään vahvistamaan nykyisiä lohen luonnonkantoja ja kotiuttamaan lohikantoja sellaisiin jokiin, joissa luontainen lisääntyminen on vielä mahdollista (Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos 2001). Itämeren lohijokien luontaisen vaelluspoikastuotannon tulisi komission asettaman tavoitteen mukaan olla vuonna 2010 vähintään puolet arvioidusta potentiaalisesta luonnontilaisesta tuotannosta. Tähän

ohjelmaan kuuluu Suomessa tällä hetkellä viisi jokea; Tornion-Muonionjoki, Simojoki, Kuivajoki, Kiiminkijoki ja Pyhäjoki.

SAP-ohjelman ongelmakohtana voidaan kuitenkin pitää tavoitteiden perustumista arvioituun luonnontuotantopotentiaaliin. Ongelmaan on kiinnittänyt huomiota myös Kansainvälinen merentutkimusneuvosto, joka on huomauttanut tuotantopotentiaalien arvioinnin olevan epävarmalla pohjalla (ICES 2003). Kansainvälinen merentutkimusneuvosto painottaakin tuotantopotentiaalien päivittämisen tarpeellisuutta. Syvien alueiden tuotannon tunteminen parantaa käsitystä tuotantopotentiaalista Tornion-Muonionjoessa.

## **1.1. Lohen esiintyminen ja elämäntieto**

Lohi esiintyy laajalla alueella Pohjois-Atlantilla ja Itämeressä. Eteläisimmät lohijoet löytyvät Espanjan pohjoisrannikolta (MacCrimmon & Gots 1979, Parrish ym. 1998). Pohjoisimmat lohijoet sijaitsevat puolestaan Venäjän ja Norjan pohjoisrannikolla sekä Labradorin niemimaalla Pohjois-Amerikassa. Lohipopulaatio jaetaan geneettisin perustein kolmeen erilliseen suurempaan ryhmään; Pohjois-Atlantin-, Länsi-Atlantin- ja Itämeren loheen (Nielsen 1998).

Lohi on anadrominen vaelluskala, joka palaa synnyinjokeensa kutemaan (esim. Marschall ym. 1998). Kutu tapahtuu syystalvella ja mäti hautoutuu talven yli joen pohjamateriaalin seassa (tarkemmin lisääntymistä kuvaa esim. Fleming 1998). Poikaset kuoriutuvat keväällä ruskuaispussipoi-  
kasina. Kun ruskuaispussin tarjoama ravinto on kulutettu loppuun, poikaset tulevat esiin pohjamateriaalin seasta ja dispersoituvat lähiympäristöön (esim. McCormick ym. 1998). Joessa poikaset viettävät populaatiosta riippuen yhdestä kuuteen vuotta, kunnes ne lähtevät mereen ns. vaelluspoikasina eli smoltteina. Keskimääräinen smoltti-ikä Hutchingsin ja Jonesin (1998) 275 lohipopulaatiota sisältävän selvityksen mukaan oli 2,91 vuotta ja keskimääräinen smolttikoko 14,8 cm. Tornion-Muonionjoella keskimääräinen smoltti-ikä luonnonlohilla vuonna 2002 oli 3,7 vuotta ja keskimääräinen smolttikoko 15,4 cm (Haikonen ym. 2003).

Meressä lohi viettää syönnösvaelluksellaan yleensä yhdestä neljään vuotta, kunnes se lähtee kutuvaellukselle. Hyvän katsauksen lohen merielämään antavat esimerkiksi Hansen & Quinn (1998). Tornion-Muonionjoella keskimääräinen meri-ikä on vaihdellut voimakkaasti viime vuosina

(Haikonen ym. 2002). Vuonna 2002 keskimääräinen meri-ikä oli luonnonlohilla 2,0 vuotta (Haikonen ym. 2003).

Osa lohista palaa kudun jälkeen takaisin merelle ja nousee myöhemmin kutemaan uudestaan. Näitä uudelleen kutemaan nousseita kaloja on ollut Tornion-Muonionjoella viime vuosien saalisnäytteissä muutamasta prosentista 15 %:iin (Romakkaniemi ym. 2003).

## **1.2. Lohenpoikasten elinympäristön valinta**

Lohen jokipoikasille soveltuvaa elinympäristöä eli habitaattia on tutkittu maailmalla paljon (esim. koostatutkimukset Heggenes 1990 ja Scruton & Gibson 1993) ja aiheesta on koottu suomeksikin kirjallisuusselvitys (Haapala ym. 1998). Lohenpoikaset ovat makeassa vedessä eläessään reviiirikaloja (esim. Keenleyside 1962; Grant ym. 1998). Reviiirillä sijaitsee poikasen ”kotikivi”, jonka luokse kala palaa takaisin, vaikka se joutuisikin poistumaan paikalta esimerkiksi ravinnonhakua tai reviiirin puolustamista varten (Saunders & Gee 1964). Lohenpoikaset oleilevat joessa aivan pohjamateriaalin välittömässä läheisyydessä (deGraaf & Bain 1986; Gibson ym. 1993). Lohen suuret rintaevät (Gibson ym. 1993) ja pieni kelluvuus (Sosiak 1982) mahdollistavat pohjassa pysymisen kovassakin virrassa.

Lohen jokipoikasen käyttämä mikrohabitaatti (eli kalaan suoraan vaikuttava elinympäristö ja sen muuttajat) määräytyy monen tekijän perusteella. Joen syvyys, virrannopeus, pohjan raekoko ja yläpuolisen suojan määrä kuuluvat tärkeimpiin ympäristömuuttujiin, jotka määräävät jokipoikasen olinpaikan joessa tietyllä hetkellä (esim. Kennedy & Strange 1982; Rimmer ym. 1984; Morantz ym. 1987; Heggenes 1990). Näiden ympäristöparametrien muuttuessa myös alueella olevien poikasten lukumäärä muuttuu. Minkään näistä edellä mainitusta neljästä muuttujasta ei ole pääkomponentti-analyysissä todettu olevan merkittävästi muita tärkeämpi (Heggenes 1991). Toisaalta, joissain tutkimuksissa virrannopeuden on esitetty olevan tärkein lohenpoikasen sijoittumista määrittelevä tekijä (deGraaf & Bain 1986; Morantz ym. 1987; Heggenes & Saltveit 1990).

Ympäristöparametrien lisäksi myös muut tekijät voivat määrätä poikasen reviiirin paikan joessa. Näitä ovat esimerkiksi kalan koko (Symons & Heland 1978; Morantz ym. 1987, Rimmer ym. 1984), predaatoririski (Huntingford ym. 1988; Erkinaro 1995), vuodenaika ja lämpötila (Rimmer



ym. 1984; Cunjak 1988; Heggenes & Saltveit 1990) sekä lajien välinen ja lajin sisäinen kilpailu tilasta ja ravinnosta (Symons & Heland 1978; Kennedy & Strange 1986).

Tärkeimpien habitaaatin valintaan vaikuttavien ympäristöparametrien osalta kirjallisuudessa on esitetty habitaaatinsoveltuvuuskäyriä (HSC, Habitat Suitability Curves, Heggenes 1990; Scruton & Gibson 1993; Mäki-Petäys ym. 2002). Nämä käyrät kuvaavat lohen eri ikäryhmien esiintymisaluetta ja optimioloja suhteessa tarkasteltaviin ympäristöparametreihin. Kirjallisuudessa esitetyistä soveltuvuuskäyristä Mäki-Petäyksen ym. (2002) käyrät soveltuvat Muonionjoen oloihin luultavasti parhaiten läheisimmän maantieteellisen sijaintinsa vuoksi. Lisäksi Mäki-Petäys ym. esittävät, että heidän esittämänsä yleistetyt käyrät ovat varsinkin kesäaikaan sovellettavissa muilla saman alueen (Suomen) joilla. Näiden käyrien mukaan 0+ lohenpoikasten optimialue sijaitsee noin 30 cm syvyydessä ja 30 cm/s virrassa (keskivirrannopeus), missä pohjan raekoko on noin 30 – 512 mm. Tätä vanhemmilla poikasilla vastaavat lukemat käyrien mukaan ovat 45 cm, 35 cm/s ja 64,1-1024 mm (Mäki-Petäys ym. 2002).

Lohenpoikasten esiintymisalue on kuitenkin huomattavasti optimialuetta laajempi edellä mainittujen ympäristöparametrien suhteen. Yksivuotiaat ja sitä vanhemmat poikaset esiintyvätkin yleisesti ottaen karkeakivisillä pohjilla noin 15-70 cm:n syvyydessä ja noin 10-60 cm/s virrannopeusalueilla (Heggenes 1990). Kesänvanhat poikaset (0+) käyttävät pienikivisempiä, matalampia ja heikkovirtaisempia alueita kuin vanhemmat poikaset. Kaikenikäiset poikaset välttävät pienimpiä raekokoja (hiekkaa ja tätä pienempiä raekokoja) sekä hitaimpia ja nopeimpia virrannopeusalueita (< 5cm/s ja > 100 cm/s, vastaavasti) (Haapala ym. 1990).

Habitaatinsoveltuvuuskäyrien mukaan yli metrin syvyiset vedet sopivat huonosti sekä 0+ että tätä vanhemmille poikasille. Lohenpoikasten esiintymistä syvissä (> 1 metrin) habitaateissa on kuitenkin tutkittu vähän ja tämä saattaa osaltaan vaikuttaa siihen, ettei syviä habitaatteja pidetä lohenpoikasille sopivina. Haapala ym. (1990) toteaaakin, että lohet saattavat habitaaatin saatavillaolevuudesta riippuen suosia hieman erilaisia mikrohabitaatteja erilaisilla alueilla. Myös deGraaf & Bain (1986) sekä Heggenes (1991) toteavat, että habitaaatin saatavillaolevuus vaikuttaa habitaattipreferensseihin.

Pohjois-Itämeren lohet lisääntyvät pääosin suurissa joissa ja syvää habitaattia on tämän vuoksi runsaasti tarjolla. Näissä joissa lohenpoikaset dominoivat pääuomissa, kun taas sivujoissa dominoivana kalana on taimen (*Salmo trutta* L.) (esim. Karlström 1977; Nylander & Romakkaniemi 1995; Haikonen ym. 2003). Sivujoissa lohenpoikasista ei esiinny kovinkaan yleisesti (esim. Haikonen ym.

2003). Suurissa pääuomissa lisääntyvät lohipopulaatiot ovat saattaneet sopeutua käyttämään runsaana tarjolla olevaa syvää habitaattia.

### **1.3. Tutkimuksen tarkoitus**

Tässä tutkimuksessa pyritään saamaan vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

1. Esiintyykö lohenpoikasia habitaateissa, joita ei pystytä tutkimaan sähkökalastamalla?
2. Miten eri ikäiset (0+ eli kesänvanhat ja >0+ eli yksivuotiaat ja sitä vanhemmat) lohenpoikaset jakautuvat eri syvyysvyöhykkeisiin ?
3. Miten eri ympäristöparametrit (pohjan laatu ja virtausnopeus) vaikuttavat lohenpoikasten elinympäristövalintaan syvissä habitaateissa?

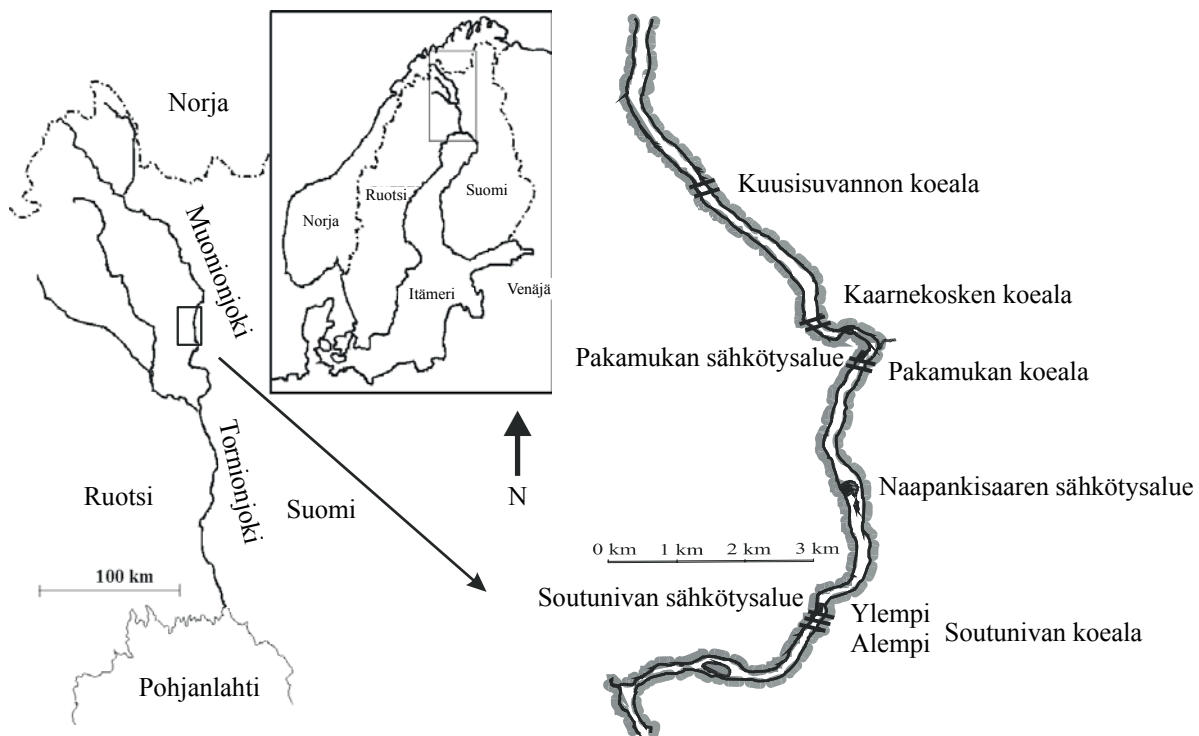
Syvien alueiden lohenpoikasmäärät suhteutetaan matalampien habitaattien lohenpoikasmääriin. Tällöin syvien ja matalampien alueiden poikasmääristä saadaan indeksi, joka voidaan edelleen suhteuttaa esimerkiksi jokialueen tai koko joen elinympäristökartoitustietoihin. Näin voidaan arvioida joen tai joen osan lohenpoikasmäärää ja tuotantopotentiaalia. Lisäksi lohenpoikasten käyttämiä alueita kuvaamaan laaditaan preferenssikäyriä. Näitä preferenssikäyriä voidaan käyttää apuna elinympäristön mallintamisessa (vrt. Mäki-Petäyksen ym. (2002) preferenssimallit matalille habitaateille). Näin saadaan aiempaa kattavampi ja realistisempi käsitys isojen jokien lohenpoikasten elinympäristöistä sekä nykyisissä että entisissä, esim. padotuissa lohijoissa, joihin pyritään palauttamaan lohikanta.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1. Tutkimusalue

#### 2.1.1. Tornionjoen-Muonionjoen vesistöalue

Suomen ja Ruotsin välinen rajajoki, Tornion-Muonionjoki ( $65^{\circ}51'N$ ,  $24^{\circ}09'E$ , kuva 1) on suurin ja tuottoisin Itämereen laskeva vesistö, jossa lohi vielä lisääntyy luontaisesti. Tornionjoen vesistöalueen pinta-ala on  $40\,157\text{ km}^2$  (Puro-Tahvanainen ym. 2001). Vesistöalueesta noin 36 % on Suomessa ja noin 63 % Ruotsissa. Lisäksi pieni osa valuma-alueesta sijaitsee Norjassa. Vesipinta-alaa on Suomen puolella 32 000 ha (Lapin ympäristökeskus 2000). Vesistöalueesta noin 30 % kuuluu alpiiniseen ja 70 % boreaaliseen vyöhykkeeseen (Puro-Tahvanainen ym. 2001).



Kuva 1. Tutkimusalueen ja koealojen sijainti.

Jokireitti saa Suomen puolella alkunsa Kilpisjärvestä ja joki laskee noin 520 kilometriä etelämpänä Perämereen. Jokireitin ylin osa, Könkämäeno, on kirkasvetinen ja karu, noin 90 kilometriä pitkä joki, jonka alkupää sijaitsee 473 metrin korkeudessa (Lapin ympäristökeskus 2000). Könkämäenon pudotuskorkeus on 142 metriä. Könkämäeno yhtyy toiseen Suomenpuoliseen latvahaaraan, Lätäsenuon, Kaaresuvannon yläpuolella Markkinassa. Näiden latvahaarojen yhtymäkohdasta joki saa nimekseen Muonionjoki. Muonionjoki on 230 kilometriä pitkä ja sillä on pudotuskorkeutta 205 metriä. Lappean kohdalla Muonionjoki laskee Ruotsista alkunsa saavaan Tornionjokeen. Yhtymäkohdasta Tornionjoella on mittaa yhteisenä rajajokena 180 kilometriä ja pudotuskorkeutta tällä matkalla on 126 metriä.

Könkämäeno sekä Muonionjoen yläosat ovat vähän kuormitettuja, ja ne kuuluvat vesistöjen yleisen käyttökelpoisuusluokituksen mukaan luokkaan I (erinomainen) (Puro-Tahvanainen ym. 2001). Muonion kunnan alapuolelta alkaen Muonionjoki ja edelleen Tornionjoki kuuluvat käyttökelpoisuusluokkaan II (hyvä). Vesistöä voidaan pitää suurimmaksi osaksi karuna. Tornionjoen alinta osaa voidaan kuitenkin pitää lievästi rehevänä. Suurimmat kuormittajat ovat maatalous sekä asutuksen jätevedet (Puro-Tahvanainen ym. 2001).

Tornionjoen keskivirtaama alajuoksulla Karungissa on yli 350 m<sup>3</sup>/s. Virtaaman vuosienvälinen sekä vuodenaikainen vaihtelu on suurta, sillä vesistön järvisyysprosentti on pieni (4,6 %) ja sadannan ja haihdunnan muutokset näkyvät äärevinä muutoksina virtaamassa (Puro-Tahvanainen ym. 2001). Tutkimusajankohtana elokuussa 2002 virtaaman kuukausikeskiarvo Tornionjoen Karungissa oli 298 m<sup>3</sup>/s (vaihteluväli tutkimusaikana 14.8.–30.8. oli 214–265 m<sup>3</sup>/s; virtaamat olivat suurempia elokuun alussa). Elokuun keskivirtaama vuosina 1960–90 on ollut 441 m<sup>3</sup>/s, joten tutkimusajankohdan virtaama oli alhainen verrattuna pitkäaikaiseen kuukausikeskiarvoon (Suomen ympäristökeskus 2002a).

Vedenkorkeus tutkimusajankohtana oli alhainen verrattuna pitkäaikaiseen kuukausikeskiarvoon. Keskimääräinen vedenkorkeus Muoniossa elokuussa 2002 oli 81 cm, kun se vuosina 1960–90 on ollut 97 cm mitattuna Muonionjoella käytettävän asteikon (LN + 230,03) nollapisteestä. Tutkimuksen aikana vedenkorkeuden vaihteluväli oli 76 – 88 cm (Suomen ympäristökeskus 2002b).

## 2.1.2. Koealojen sijainti ja kuvaus

Tutkimus tehtiin Muonionjoessa, Muonion kunnan alueella sijaitsevilla viidellä koealalla (kuva 1). Koealat käytiin paikantamassa alustavasti lokakuussa 2001, jonka jälkeen niiden sopivuus tutkimukseen tarkistettiin vielä heinäkuussa 2002. Ennen tutkimuksen alkua kävi kuitenkin ilmi, että vesi on poikkeuksellisen alhaalla ja etsityt koealat eivät olleet enää tarpeeksi syviä tämän tutkimuksen tarkoituksiin. Koealoja jouduttiinkin siirtämään sellaisille alueille, joissa vettä oli ainakin keskiuomassa yli 1,0 metriä. Koealat valittiin alueilta, joiden läheisyydessä tiedetään olevan lohelle sopivia kutualueita tai koskia, joissa lohenpoikasia esiintyy huomattavia määriä. Lisäksi koealueista pyrittiin muodostamaan kokonaisuus, joka kattaa mahdollisimman hyvin lohen poikasten elinympäristöä kuvaavien parametrien vaihteluvälin. Kaikki koealueet olivat 100 metriä pitkiä ja kullekin niistä sijoitettiin kahdeksan tutkimuslinjaa (ks. kohta 2.2.2.1. Virran suunnassa sukeltaminen ja kuva 4). Tutkimusaineisto kerättiin 14.8. – 5.9.2002 välisenä aikana.

### 2.1.2.1. Kuusisuvanto

Kuusisuvannon koeala (3351970 i, 7511416 p ; 3352069 i, 7511453 p, kuva 1) on pohjanmuodoltaan loivasti syvenevä ja sen syvin alue sijaitsee uoman keskikohdassa (kuva 2, liite 1). Kuusisuvanto on tyypiltään virtasuvantoa. Koealalta mitattu keskimääräinen pintavirrannopeus oli 0,75 m/s (taulukko 1). Keskisyvyys koealalla oli 1,1 metriä. Pohjan raekoko oli vaihtelevaa hiekasta yli 50 cm lohkaraisiin, mutta vallitsevana olivat halkaisijaltaan 6-25 cm kokoiset kivet. Näkösyvyys sukellusten aikana oli 5,0–6,5 metriä ja veden lämpötila 15–17 °C. Aineisto Kuusisuvannon koealalta kerättiin 14.-16.8.2002.

### 2.1.2.2. Kaarnekoski

Kaarnekosken koeala (3353163 i, 7508224 p ; 3353255 i, 7508278 p, kuva 1) sijaitsee aivan kosken alapuolella, alkaen heti kovimman virran rauhoituttua. Koeala syvenee Suomen rannassa loivasti. Ruotsin ranta puolestaan syvenee jyrkästi ja syvin uoma sijaitsee Ruotsin puolella noin 30-40 metrin päässä rannasta (kuva 2, liite 1). Koealan keskimääräinen pintavirrannopeus oli 0,91 m/s (taulukko 1) ja keskisyvyys 1,2 metriä. Pohjan raekoko oli enimmäkseen pienirakeista halkaisijaltaan

1,5–13 cm kokoista kiveä. Näkösyvyys sukellusten aikana oli 5,0–7,5 metriä ja veden lämpötila 15–19 °C. Aineisto Kaarnekosken koealalta kerättiin 19. ja 21.8.2002.

#### 2.1.2.3. Pakamukka

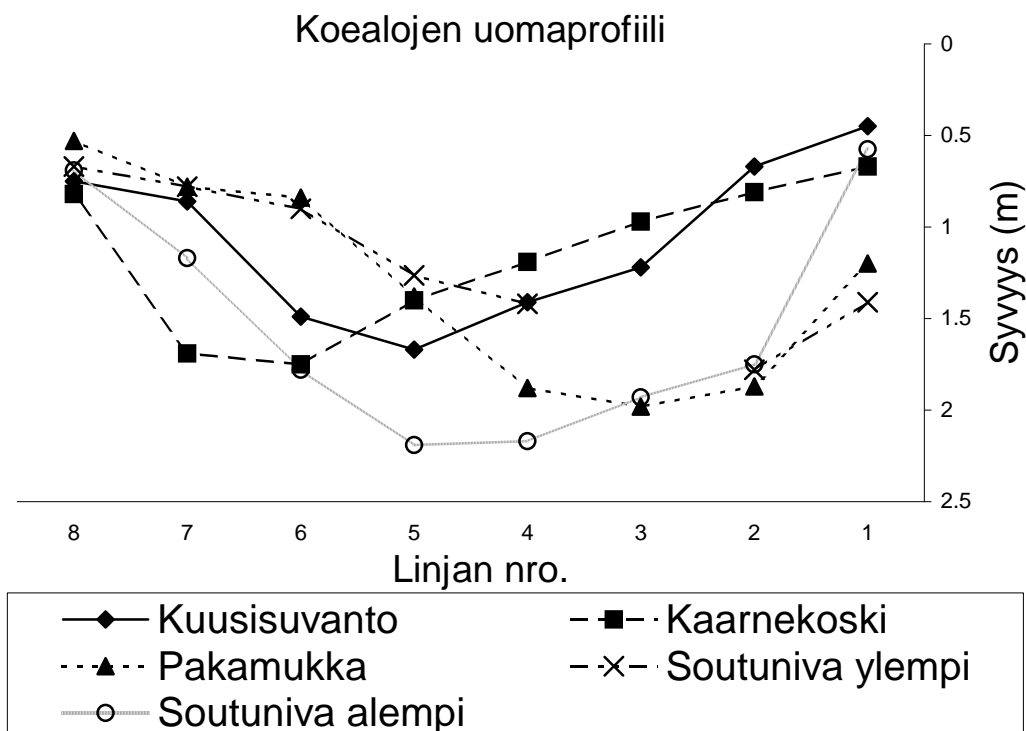
Pakamukan koeala (3353673 i, 7507440 p ; 3353768 i, 7507389 p, kuva 1) on Suomen rannasta nopeasti syvenevä. Uoman syvin kohta sijaitsee Suomen rannan ja joenuoman keskikohdan välissä (kuva 2, liite 1). Ruotsin rannalla matala alue (< 1 metri) ulottuu etäälle rannasta. Keskimääräinen pintavirranopeus alalla oli 0,80 m/s ja keskisyvyys 1,3 metriä (taulukko 1). Pohja oli erittäin loh-kareista (> 50 cm kiviä), mutta loh-kareiden seassa oli myös paljon 5–25 cm kokoista kiveä. Suomen rannalla kivien pinnalla oli runsaasti vesisammalta. Näkösyvyys sukellusten aikana oli 6,5 metriä ja veden lämpötila 15–17 °C. Pakamukan koealalta aineisto kerättiin 22. ja 23.8.2002.

#### 2.1.2.4. Soutuniva (ylempi)

Soutunivaan perustettiin kaksi erillistä koealaa, jotka sijoittuvat siten, että alempi koe-ala alkaa siitä, mihin ylempi koeala loppuu. Koealat sijoitettiin peräkkäin, jotta saataisiin mukaan yhtenäinen kokonaisuus johon kuuluu nivan niska-alue, niva ja alapuolisen suvantojakson alkuosa. Näistä alueista nivan niska ja noin puolet nivasta kuuluivat Soutunivan ylempään koealaan. Soutunivan ylempi koeala (3352183 i, 7502503 ; 3352263 i, 7502430 p, kuva 1) syveni voimakkaasti Suomen rannalla ja syvä pääuoma oli noin 30–40 metrin etäisyydellä Suomen rannasta (kuva 2, liite 1). Ruotsin ranta oli matalaa ja hitaasti syvenevää. Koeala oli erittäin voimakasvirtainen (keskim. pintavirranopeus 1,07 m/s, taulukko 1), tosin virta oli keskittynyt syvän pääuoman kohdalle ja voimistui vasta koealan puolivälin kohdalla (pituussuunnassa), jossa nivan niska murtui varsinaiseksi niva-alueeksi. Koealan päävirran kohta (noin 40 metriä Suomen rannasta) oli sukelluskelvotonta liian kovan virranvoimakkuuden vuoksi, eikä linjalta numero kolme voitu kerätä tietoa myöskään ympäristöparametreista. Koealan keskisyvyys oli 1,2 metriä. Pohjan raekoko oli loh-kareista, suurimmaksi osaksi halkaisijaltaan yli 50 cm kokoista kiveä. Koealueella esiintyi runsaasti vesisammalta. Näkösyvyys sukellusten aikana oli 7,5 metriä ja veden lämpötila 14–17 °C. Aineisto kerättiin 26. ja 27.8.2002.

### 2.1.2.5. Soutuniva (alempi)

Soutunivan alempi koeala (3352078 i, 7502427 p ; 3352178 i, 7502360 p, kuva 1) alkoi niva-alueen keskeltä ja muuttui alueen loppupuolella suvannon yläosaksi. Koealan yläosalla keskimääräinen pintavirrannopeus oli yli 1 m/s, kun taas koealan alaosalla pintavirrannopeudet olivat alhaisempia. Keskimääräinen pintavirrannopeus koko koealalla oli 0,81 m/s, mutta pintavirrannopeuden keskijajonta oli koealoista suurin juuri niva-suvanto vaihtumisen takia (taulukko 1). Virta oli myös voimakkaasti keskittynyt keskelle jokea. Rannan tuntumassa virta oli erittäin heikko. Sekä Suomen että Ruotsin rannat syvenivät jyrkästi noin 10 metrin päässä rannasta (kuva 2, liite 1). Koeala oli keskisyvyydeltään koealoista syvin, keskisyvyyden ollessa 1,5 m. Uoman syvin kohta sijaitsi koealan keskivaiheilla. Pohjan raekoko oli heterogeenistä halkaisijaltaan 6-50 cm kokoista kiveä. Vesisammalta esiintyi keskiuomassa. Näkösyvyys sukellusten aikana oli 7,5 metriä ja veden lämpötila 12–16 °C. Koealan aineisto kerättiin 28. ja 30.8.2002.



Kuva 2. Tutkimuksessa käytettyjen koealojen keskimääräinen uomaprofiili. Kukin piste kuvassa edustaa linjan havainnoista laskettua syvyyden keskiarvoa. Linja 1 sijaitsee lähimpänä Suomen rantaa (itäranta) ja linja 8 lähimpänä Ruotsin rantaa (länsiranta). Soutunivan ylemmän koealan linjan kolme tietoa ei saatu kerättyä kovan virran vuoksi.

Taulukko 1. Koealojen keskisyvyydet, keskimääräiset pintavirrannopeudet ( $MQ_{pinta}$ ) ja keskimääräiset keskivirrannopeudet ( $MQ_{0,6xD}$ )  $\pm$  keskihajonnat (SD) sekä näiden parametrien jakautuminen eri kategorioihin kullakin koealalla. Lisäksi esitetään koealojen leveydet ja suurimmat syvyydet (Maksimisyvyys).

Muuttuja	Koeala				
	Kuuisuvanto	Kaarnekoski	Pakamukka	Soutuniva (ylempi)	Soutuniva (alempi)
Joen leveys (m)	124	110	106	110	102
Maksimisyvyys (m)	2,1	2,1	2,4	2,1	2,7
Keskisyvyys (m) $\pm$ SD	1,1 $\pm$ 0,4	1,2 $\pm$ 0,4	1,3 $\pm$ 0,6	1,2 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 0,6
Syvyys (cm)	% / kategoria				
0 - 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,1 - 15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15,1 - 25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25,1 - 35	4,1	0,0	0,0	0,0	0,4
35,1 - 45	7,0	0,0	2,1	0,0	2,2
45,1 - 55	3,0	1,4	5,6	1,2	4,5
55,1 - 65	8,2	2,7	3,3	8,5	3,7
65,1 - 75	10,0	10,4	9,2	9,7	10,3
75,1 - 85	5,4	18,5	7,4	13,3	5,9
85,1 - 95	5,4	9,6	9,9	8,7	1,2
95,1 - 105	5,9	6,3	6,7	4,6	0,4
105,1 - 115	6,2	8,5	3,2	8,3	0,8
115,1 - 125	3,0	5,4	2,3	5,5	2,7
125,1 - 135	4,7	3,7	2,3	9,5	3,0
135,1 - 145	10,3	3,2	2,7	8,5	4,7
145,1 - 155	12,8	2,9	4,5	6,6	2,3
155,1 - 165	6,2	7,6	3,7	4,4	4,7
165,1 - 175	4,3	8,0	3,0	3,2	4,4
175,1 - 185	2,9	8,8	7,0	2,9	5,6
185,1 - 195	0,7	3,0	8,0	2,2	6,0
195,1 - 205	0,0	0,0	9,1	2,7	11,4
205,1 - 215	0,0	0,0	3,0	0,0	8,7
215,1 - 225	0,0	0,0	3,3	0,0	8,4
225,1 - 235	0,0	0,0	1,4	0,0	2,6
235,1 - 245	0,0	0,0	2,2	0,0	2,6
245,1 - 255	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7
255,1 - 265	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
$MQ_{pinta}$ (m/s) $\pm$ SD	0,75 $\pm$ 0,23	0,91 $\pm$ 0,21	0,80 $\pm$ 0,25	1,07 $\pm$ 0,26	0,81 $\pm$ 0,36
$MQ_{0,6xD}$ (m/s) $\pm$ SD	0,64 $\pm$ 0,24	0,81 $\pm$ 0,21	0,64 $\pm$ 0,23	0,80 $\pm$ 0,31	0,61 $\pm$ 0,31
$MQ_{pinta}$ ja ( $MQ_{0,6xD}$ ) (m/s)	% / kategoria				
0 - 0,1	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
0,11 - 0,2	0,0 (0,7)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	1,2 (1,1)
0,21 - 0,3	0,0 (5,8)	0,0 (0,0)	0,7 (4,1)	0,0 (1,2)	8,7 (12,5)
0,31 - 0,4	2,9 (7,1)	0,0 (0,0)	1,5 (10,2)	0,0 (6,3)	6,0 (5,9)
0,41 - 0,5	12,2 (19,8)	0,0 (2,2)	6,6 (13,5)	2,6 (14,0)	7,6 (5,8)
0,51 - 0,6	18,4 (16,2)	2,9 (19,9)	13,6 (15,8)	2,6 (15,5)	3,7 (11,8)
0,61 - 0,7	15,4 (12,2)	16,6 (17,2)	10,7 (20,3)	5,5 (12,9)	15,7 (13,2)
0,71 - 0,8	6,7 (11,1)	15,7 (6,9)	27,1 (16,2)	15,5 (8,0)	3,3 (11,3)
0,81 - 0,9	12,8 (12,0)	15,2 (16,3)	6,3 (6,5)	18,1 (6,5)	8,4 (6,9)
0,91 - 1,0	15,4 (7,8)	9,6 (13,6)	8,0 (5,4)	6,0 (9,5)	13,9 (6,5)
1,01 - 1,1	10,3 (7,1)	16,2 (15,5)	7,4 (5,6)	8,0 (14,8)	8,1 (14,1)
1,11 - 1,2	5,4 (0,1)	16,5 (6,0)	17,0 (2,5)	13,6 (3,6)	6,2 (9,2)
1,21 - 1,3	0,5 (0,0)	6,3 (2,3)	1,1 (0,0)	8,9 (3,1)	5,6 (1,8)
1,31 - 1,4	0,0 (0,0)	1,0 (0,0)	0,0 (0,0)	11,9 (1,7)	8,5 (0,0)
1,41 - 1,5	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	7,2 (1,5)	3,2 (0,0)
1,51 - 1,6	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,3 (1,4)	0,0 (0,0)



## 2.2. Tutkimusmenetelmät

### 2.2.1. Potentiaaliset tutkimusmenetelmät syvässä vedessä

Lohen jokipoikasten esiintymistä syvällä (yli metrin syvyisessä vedessä) on tutkittu hyvin vähän, koska se on syvillä ja vuolailla jokiosuuksilla vaikeaa. Sähkökalastus on sopiva menetelmä kalatiheyksien selvittämiseen joen matalissa osissa (esim. Heggenes ym. 1990), mutta se ei sovi alueille, jotka ovat yli metrin syvyisiä (esim. Gardiner 1984). Käytettävissä olevia menetelmiä ovat lähinnä sukellus paineilmalaitteilla (SCUBA; Self Contained Underwater Breathing Apparatus), vedenalaisten videokameroiden käyttö sekä erilaiset nuottaus- ja verkotusmenetelmät. Vedenalaisten videokameroiden käyttöä on sovellettu lohenpoikastutkimuksiin syvissä jokihabitaateissa kesällä 2002 Tenojoella (Keskinen, julkaisematon). Laitesukellusta ovat käyttäneet syvissä, lohelle sopivissa habitaateissa Wańkowski & Thorpe (1979), Gardiner (1984) ja Bremset & Berg (1997). Nuottaus soveltuu alueille, joissa joen pohja on tasainen (Dauble & Gray 1980). Pohjan kasvillisuus ja kivikkoisuus estävät nuotan vetämisen pohjaa pitkin ja lisäksi menetelmä sopii käytettäväksi vain heikoissa virroissa ja suvannoissa (Brandt 1974). Lohenpoikastutkimuksissa nuottausta ovat käyttäneet esimerkiksi Bremset & Berg (1997). Tiheäsilmäisillä verkoilla lohenpoikasia voi pyytää monenlaisissa habitaateissa (Northcote 1974), mutta suurin osa kaloista kuolee samalla, eikä menetelmä ole siksi suositeltava. Nuottaus ja verkotusmenetelmät eivät myöskään mahdollista suoraa havainnointia kalojen olinpaikoista.

Pintasukellusmenetelmää (snorklausta) on käytetty paljon lohikalajien poikastutkimuksissa (esim. Northcote & Wilkie 1963; Slaney & Martin 1987; Hillman ym. 1992). Snorklaus onkin nopea ja halpa menetelmä poikasten tarkkailuun matalassa vedessä. Syvemmissä (> 1 metrin) vesissä laitesukelluksen avulla pohjan läheisyydessä voi kuitenkin viettää pidempiä aikoja ja liikkuminen suuremmilla alueilla on mahdollista. Lisäksi lohikalat ovat helpommin havaittavissa sivulta kuin päältäpäin (naamioväri on päältä parempi kuin sivulta), ja tämän vuoksi havainnointi on laitesukellusvälinein helpompaa (Gardiner 1984). Lohenpoikasten ei ole todettu juurikaan häiriintyvän sukeltajan läsnäolosta, eikä sukeltamalla havainnoidessa aiheuteta kaloille fyysisiä vammoja (Gardiner 1984).

Laitesukelluksessa virtavesissä voidaan käyttää joko vapaata, ns. driftisukellusmenetelmää tai linjasukellusmenetelmää. Driftisukelluksessa sukeltaja kulkee vapaasti virran mukana ja voi edetä

halutessaan sivusuunnassa. Aivan miedoimmissa virroissa, kuten suvannoissa, myös vastavirtaan nouseminen on mahdollista. Kovemmassa virrassa paikallaan pysyttelemisen ilman apuvälineitä on vaikeaa ja vastavirtaan nouseminen mahdotonta. Paikallaan pysyttelemiseen voi käyttää pientä ankkuria, jonka voi laskea pohjakivien väliin ja pysähtyä tai ainakin hidastaa ajelehtimista. Driftisukelluksessa kvantitatiivinen tutkimus on kuitenkin vaikeaa, sillä kuljettua matkaa on vaikea saada laskettua.

Linjasukellusta on käytetty yleisesti lohikalojen poikasten määriä arvioitaessa (esim. Bremset & Berg 1997). Käytännössä linjasukelluksessa ankkuroidaan köysi joen pohjaan haluttuun kohtaan. Linjasukelluksessa siis tiedetään sukeltetun reitin pituus ja sijainti, jolloin linjalta voidaan kerätä tietoa myös habitaatista ja pitkätkin pysähdykset linjalla ovat mahdollisia. Myös pinta-avustajien on helpompi seurata sukeltajaa linjamenetelmää käytettäessä.

Linjasukellustutkimusta tehtäessä on huomioitava se, että kaikkia lohenpoikasia on miltei mahdoton huomata tehtäessä sukellus samalla linjalla vain kerran (Dolloff ym. 1996). Näin meneteltäessä kalojen lukumäärästä saadaan aliarvio. Veden lämpötila, kalan koko ja säätila vaikuttavat olennaisesti siihen, kuinka paljon kaloja havaitaan. Veden lämpötilan ollessa yli 15 °C lohen poikaset ovat helpoiten havaittavissa (Gardiner 1984). Matalammissa lämpötiloissa kalat alkavat piiloutua pohjakivien alle, mikä hankaloittaa havainnointia. Veden lämpötilan laskiessa alle 9-10 °C sukeltamalla tehty havainnointi ei enää anna luotettavia tuloksia (Rimmer ym. 1983; Gardiner 1984; ks. myös Hillman ym. 1992). Lohenpoikasten on todettu olevan syksyllä vesien viiletessä hämärä/pimeäaktiivisia (Cunjak 1988; Gries ym. 1997), joten kalat eivät ole päiväsaikaan sukeltamalla havaittavissa. Pienten lohenpoikasten (varsinkin 0+) havainnointi on vaikeampaa kuin suurten, ja myös tämä saattaa aiheuttaa kalojen määrän aliarviointia. Sukellusmenetelmää käyttämällä saadaan usein aliarvio lohen 0+ poikasten määristä myös sen vuoksi, että 0+ poikaset oleilevat niin matalassa, että sukeltaminen ei ole tarkoituksenmukaista tai edes mahdollista (Heggenes ym. 1991). Myös pohjan raekoko voi vaikuttaa kalojen havaitsemistodennäköisyyteen. Pohjan ollessa lohkarainen, kaloilla on paremmat mahdollisuudet piileskellä kivien koloissa kuin pienirakeisemmilla pohjilla. Tämän takia lohkaraisilla alueilla kalojen määrästä saadaan helpommin aliarvio (Cunjak ym. 1988).

Laitesukellusmenetelmän käyttäminen vaatii aina asianmukaisen koulutuksen saanutta sukeltajaa ja pätevää pinta-avustajaa, joka voi tarvittaessa ryhtyä pelastustoimiin. Sukeltajan ollessa vedessä on aina käytettävä sukelluslippua (signaalilippu A, ks. esim. Richardson 1990), jonka käyttö on laissa

määritely. Lyhyen katsauksen tieteellisessä tutkimustyössä käytettäviin sukellusmenetelmiin ja turvallisuusmääräyksiin antaa esimerkiksi Flemming & Max (1996).

## 2.2.2. Sukeltamisessa käytetyt menetelmät

### 2.2.2.1. Virran suunnassa sukeltaminen

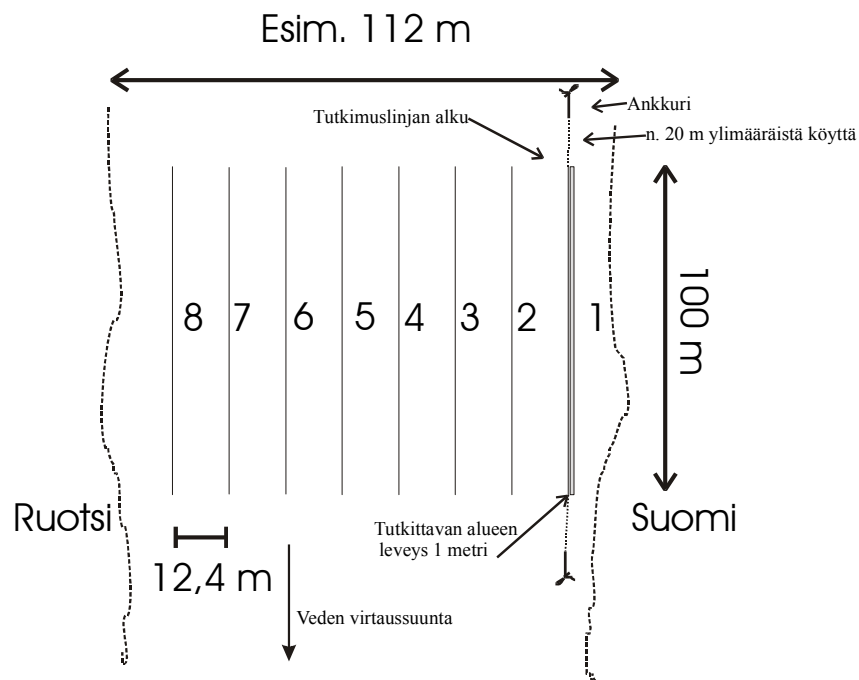
Sukelluksissa käytettiin paineilmalaitteita (paineilmapullo 200 bar, kuva 3) ja kuivapukua. Paineilma riitti käytössä olleella menetelmällä noin 1,5 tuntia 1 m/s virrannopeudessa. Räpylöitä ei käytetty. Painovyössä käytettiin 13 kiloa lyijyä, jolla varmistettiin sukeltajan pysyminen pohjan tuntumassa. Sukeltaja piti jokaisella sukelluksella mukanaan sukelluspuukkoa, jota käytettiin turvallisuusvälineenä sotkeutumisen varalta ja esimerkiksi kynän teroittamiseen pinnan alla.



Kuva 3. Paineilmalaitteet: Tasapainotusliivi, matalapainesyöttö, regulaattorin 1. ja 2. vaihe, vaihtoehtoinen ilmanlähde, instrumenttikonsoli ja paineilmasäiliö.

Koealoille pystytettiin köyden ja kahden ankkurin avulla sukelluslinjoja virran suuntaisesti (kuva 4). Köysi ankkuroitiin ensin koealueen yläpäästä jonka jälkeen köysi pingotettiin suoraksi veneen ja moottorin avulla ja ankkuroitiin lopuksi linjan loppupäästä. Kullakin koealalla sukellettiin kahdek-

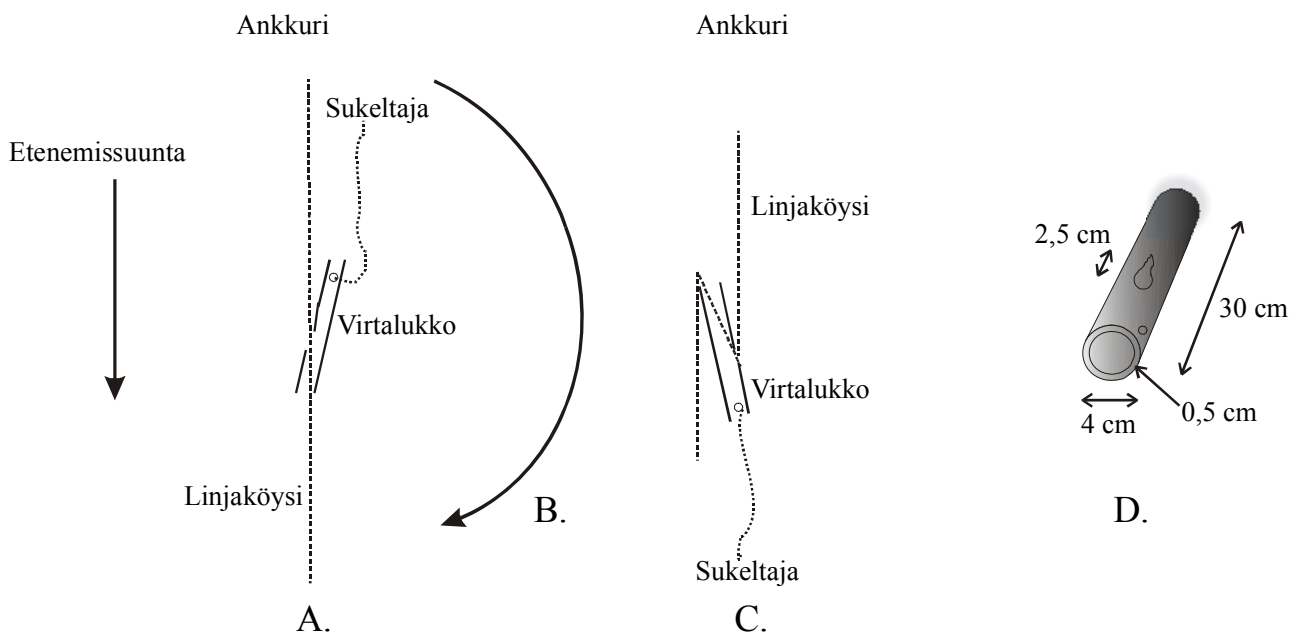
san linjaa. Yhden päivän aikana linjoista ehdittiin sukeltaa neljä, joten kullakin koealalla sukellettiin kahtena päivänä. Kuusisuvannon koealalla sukellettiin kuitenkin kolmena päivänä. Linjojen sijainti koealalla määrättiin kaavalla  $x_i = i * B/9$ ,  $i = 1, \dots, 8$ . Kaavassa  $i$  on linjan järjestysnumero,  $B$  on joen leveys koealan ylärajalla ja  $x_i$  on  $i$ :n linjan sijainti. Linjat sijaitsivat siis toisiinsa nähden tasaisin välein. Joen leveys mitattiin Bushnell Yardage Pro 800 etäisyysmittarilla, jonka tarkkuus oli  $\pm 1$  metri. Kunkin linjan pituus oli 100 metriä ja lisäksi jokaisen linjan alussa sekä lopussa oli noin 20 metriä ylimääräistä köyttä (kuva 4). Tämä 20 metrin ylimääräinen köysi asetettiin linjan alkuun ja loppuun, ettei ankkureiden pudottaminen häiritse kaloja varsinaisella tutkimuslinjalla. Lisäksi sukeltaja pääsi pohjan läheisyyteen ensimmäisen 20 metrin aikana ja oli näin ollen valmis aloittamaan kalojen havainnoinnin heti varsinaisen linjan alkaessa. Sukeltaja teki koko sukelluksen myötäillen joen pohjaa.



Kuva 4. Esimerkki sukelluslinjojen sijoittamisesta koealalle.

Sukeltaja eteni linjalla siten, että vartalo oli köyden kanssa yhdensuuntaisesti ja jalat olivat ylävirran puolella. Räpylöitä ei käytetty, sillä virta olisi painanut tällöin jalat helposti alavirran puolelle. Ilman räpylöitä ollessaan sukeltaja pystyi kiepauttamaan toisen jalan puolittain köyden ympäri, ja tämä varmisti, että sukeltaja pysyi kasvot alavirtaan päin. Köysi oli merkattu yhden metrin välein, joten sukeltaessa tiedettiin kuinka pitkä matka oltiin edetty linjan alkupisteestä. Kymmenen metrin välein köydessä oli pidempi merkki, jolloin sukeltaja tiesi pysähtyä keräämään habitaattitietoja (ks. kohta 2.3. Habitaattidatan keruu). Sukeltaja eteni noin puoli metriä kerrallaan ns. virtalukkoa

apuna käyttäen (kuva 5). Virtalukkoa käytettiin pysähtymisen mahdollistamiseksi ilman, että sukeltajan tarvitsee pitää käsin kiinni köydestä. Pysähtymisiä tarvittiin havainnointia, tietojen kirjaimista ja lepäämistä varten. Virtalukko on muovista (pituus 30 cm, Ø 4cm, seinävahvuus 0,5cm) valmistettu putki, jonka läpi sukeltettavan linjan köysi kulki (kuva 5). Putken keskellä on kiilanmuotoinen reikä (pituus 2,5 cm, Ø reiän yläpäässä 2 cm, alapäässä 0,5 cm), jonka yläpäästä linjaköysi kulki ulos. Virtalukko oli toisesta päästään kiinni sukeltajassa noin 50 cm köydellä ja D-lenkillä. Kun sukeltaja päästi virtalukosta irti ja antoi jalkojensa painua alavirran puolelle pysähtymistä varten, linjaköysi kiilautui virtalukon keskireiän kapeampaan päähän ja esti sukeltajan valumisen eteenpäin (kuva 5). Kun sukeltaja halusi taas edetä, tartuttiin putken ulompaan päähän ja köysi pääsi soljumaan taas putken läpi. Tällöin sukeltaja pystyi taas kääntämään jalat ylävirtaan päin.



Kuva 5. Virtalukon toimintaperiaate (A – C) ja rakenne (D). Kun sukeltaja etenee linjalla jalat ylävirran puolella, köysi soljuu virtalukon läpi (A). Kun sukeltaja haluaa pysähtyä, hän kääntää jalat alavirtaan päin (B) ja jää roikkumaan virtalukon varaan (C) lyhyellä köydellä, joka on kiinnitetty esimerkiksi sukellusliiviin. Tällöin linjaköysi painuu virtalukon keskireiän kapeampaan päähän, eikä köysi enää luista virtalukon läpi. Näin sukeltaja voi irrottaa otteensa köydestä ja virtalukosta, mutta pysyä silti paikoillaan.

Linjalla liikkuaessaan sukeltaja tarkkaili koko ajan linjan myötävirtaan katsottaessa vasemmalle puolelle jäävää yhden metrin levyistä aluetta, jolloin kunkin linjan havainnointialaksi tuli  $100 \text{ m}^2$ . Havainnointietäisyydeksi valittiin 0-1 metriä linjasta, sillä tutkittavalla alueella olevilla kaloilla täytyy olla sama todennäköisyys tulla havaituiksi. Jos aluetta kasvatettaisiin esim. näkösyvyyden rajalle asti, ei tämä ehto toteutuisi, sillä kalan ja havainnoitsijan välisen etäisyyden kasvaessa todennäköisyys havaita kala pienenee (Ensign ym. 1995). Yhden metrin matkalla havainnoijasta vasemmalle havaitsemistodennäköisyys ei ole vielä oleellisesti laskenut (Ensign ym. 1995). Sukeltaja mittasi metrin matkan mukanaan olleella mittanauhalla.

Linjan oikealle puolelle jäävää aluetta ei havainnoitu, sillä sukeltaja kulki itse oikealla puolella linjaa ja saattoi irrottaa pohjamateriaalia edellään virtaavaan veteen. Lisäksi pysähtyessään sukeltaja käänsi jalat alavirtaan ja tämä alue olisi ollut sellaista jolla havainnointia ei olisi vielä oltu tehty, jos linjan oikea puoli olisi kuulunut tutkimusalueeseen.

Kalahavainnot kirjattiin ylös vedenpitävälle paperille, joka oli kiinnitetty kirjoituslustaan. Kirjoituslustana käytettiin limonadipullosta tehtyä lieriötä, joka pujotettiin sukeltajan käteen ja kiinnitettiin remmeillä. Havaintopaikalla kirjattiin ylös kalan ikäryhmä ( $0+$  tai  $>0+$ ), sijainti suhteessa linjan alkukohtaan (montako metriä alkupisteestä), kalan käyttämän suojakiven koko (cm) jos kala käytti suojakiveä ja kalan oleskelusyvyys. Syvyyden mittaamiseen käytettiin Suunto D3 –sukellustietokoneetta, jonka mittaustarkkuus on  $\pm 5 \text{ cm}$ . Suojakivet mitattiin sukeltajan mittanauhalla. Kalojen ikäryhmien erottamisessa ei ollut ongelmia, sillä kesänvanhat ( $0+$ ) poikaset erottuivat vanhemmista poikasista selvästi kokonsa puolesta ( $0+ < 6\text{cm}$ , yli  $0+ > 6 \text{ cm}$ ).

#### 2.2.2.2. Poikkivirtaan sukeltaminen

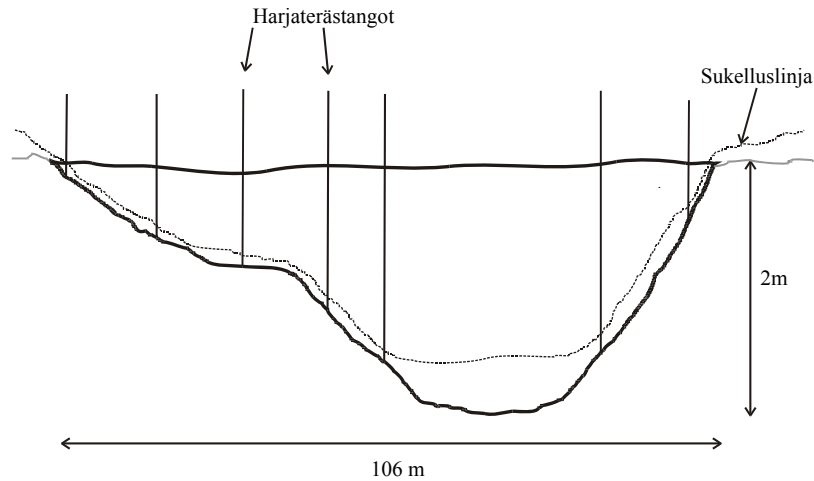
Pakamukan koealalla testattiin myös mahdollisuutta sukeltaa poikkivirtaan, jolloin voitaisiin havainnoida kaloja koko uomaprofiilin matkalla rannasta rantaan. Tarkoitusta varten Pakamukkaan rakennettiin harjaterästankojen ja köyden avulla sukelluslinja virran poikki. Linja sijaitti viisi metriä alavirtaan koealan pystylinjojen aloituskohdasta (ks. koordinaatit kohta 2.1.2.3. Pakamukka). Joki oli tällä kohtaa 106 metriä leveä ja harjaterästankoja sijoitettiin noin 15 metrin välein. Köysi kiinnitettiin harjaterästankoihin erillisillä pujotettavilla metallilenkeillä (kuva 6), joilla köysi saatiin pohjan tuntumaan. Päistään köysi kiinnitettiin rannan tukeviin puihin. Köysi kiristettiin suoraksi käsivussin avulla.

Harjaterästankojen kiinnittäminen kivikkoiseen pohjaan kovassa virrassa ei onnistunut veneestä. Tangot kiinnitettiin pohjaan lopulta siten, että avustaja hyppäsi jokeen ja seiso i tangon kanssa pohjassa ja veneessä ollut henkilö moukaro i tangon pohjakivien läpi noin 40 sentin syvyyteen lyömällä tangon päähän noin 20 kiloa painavalla rautakappaleella. Yli kahden metrin syvyiseen veteen harjaterästankoja ei näin ollen saatu kiinnitettyä. Joen uoman syvimmässä kohdassa köyttä ei saatu kulkemaan pohjan tuntumassa (kuva 7).

Sukeltaja kiinnittyi linjaan D-lenkin avulla ja eteni rannasta rantaan käsillä itseään sivusuunnassa vetäen. Tutkittava alue sijaitsi linjaköyden ylävirran puolella ja sen koko oli 106 (joen leveys) \* 1 (havainnoidun alueen pituus) metriä. Samalla linjalla sukellettiin kolme toistosukellusta. Sukellusten välissä pidettiin tunnin tauko. Havainnot linjalta kerättiin samaan tapaan kuin pystysuunnassa olevilta linjoilta (ks. 2.2.2.1. Virran suunnassa sukeltaminen). Sukelluslinja rakennettiin 24.8. ja sukellukset tehtiin 25.8.2002. Veden lämpö sukellusten aikana oli 15–16 °C.



Kuva 6. Köyden kiinnitysmenetelmä harjaterästankoon poikkivirtaan pystytetyllä linjalla.



Kuva 7. Kaavakuva poikkivirtaan rakennetusta sukelluslinjasta Pakamukan koealalla. Sukelluslinjaa ei saatu kulkemaan pohjan läheisyydessä uoman syvimmässä kohdassa, sillä harjaterästankoa ei saatu kiinnitettyä pohjaan.

### 2.2.3. Habitaattidatan keruu

Kultakin koealalta kerättiin sukelluksen ohessa kymmenen metrin välein tiedot syvyydestä ja pohjan raekoosta. Syvyys mitattiin Suunto D3 –sukellustietokoneella  $\pm 5$  cm tarkkuudella. Sukellustietokone tallensi lisäksi syvyyden sekunnin välein muistiprofiiliin, josta pystyttiin selvittämään kunkin koealan maksimisyvyys. Pohjan raekoon mittaamiseen käytettiin mittanauhaa, sillä esineet näyttävät 25 % todellista suuremmilta veden alla. Raekoot luokiteltiin Bainin ym. (1985) mukaan muunnetun Wentworthin asteikon mukaisesti (taulukko 2). Kunkin raekokategorian prosentuaaliset osuudet arvioitiin yhden neliömetrin alueelta lähimmän 5 % tarkkuudella.

Koska prosentuaalisten osuuksien jakaumaa ei voida suoraan käyttää jatkoanalyysissä esimerkiksi Surfer –ohjelmassa (ks. kohta 2.5. Analyysi- ja tilastolliset menetelmät) muunnettiin Wentworthin asteikon luvut kussakin havaintopisteessä edelleen yhdeksi luvuksi. Tämä tehtiin siten, että jokaiselle raekokoluokalle laskettiin painotuskerroin suhteessa rakeen kokoon. Painotuskerroin laskettiin seuraavasti:  $i = \log_{10}(\bar{x} + 1)$ , missä  $i$  on raekokoluokan painotuskerroin ja  $\bar{x}$  on raekokoluokan ääriarvoista laskettu keskiarvo (taulukko 2). Tämän jälkeen kunkin havaintopisteen raekokoluokkien prosentiosuudet kerrottiin kyseisen raekokoluokan painotuskertoimella ja laskettiin havaintopisteen painotetut raekokoarvot yhteen. Tällöin saatiin jokaiselle havaintopisteelle yksikäsitteinen luku jatkoanalyysijä varten. Painotuskertoimia ei kuitenkaan laskettu Wentworthin asteikon luokille



1 - 2 eikä luokille 14 – 15, sillä ko. luokkia ei aineistossa esiintynyt. Raekokoluokan 13 (taulukko 2) painotuskerrointa laskettaessa keskiarvona käytettiin arvoa 512,1 mm.

Sukelluksen jälkeen linjalta kerättiin kymmenen metrin välein tiedot pintavirrannopeudesta (cm/s) ja vesipatsaan keskimääräisestä virrannopeudesta (cm/s, jatkossa keskivirrannopeus). Pintavirrannopeus mitattiin 1 cm pinnasta ja keskivirrannopeus syvyydestä  $0,6 * D$ , jossa D on mittauskohdan kokonaissyvyys (Albertson ym. 1960). Virrannopeudet mitattiin Schiltknecht Mini Water type 624 w-m/l virtausmittarilla, jossa oli 20 mm propelli. Mittarin tarkkuus oli  $\pm 1$  cm/s. Kaikista mittauskohdista mitattiin sekä pinta- että keskivirrannopeudelle kaksi arvoa, joista laskettiin keskiarvo.

Jokaisella koealalla mitattiin myös näköetäisyys Secchi-levyllä 0,5 metrin tarkkuudella. Veden lämpötila mitattiin vähintään kahdesti päivässä Prima Long lämpömittarilla ja lisäksi D3 –sukellustietokoneella ( $\pm 0,5$  °C).

Taulukko 2. Pohjan raekoon luokittelu Wentworthin asteikolla (Bain ym. 1985).

Materiaali	Luokka	Raekoko (mm)	Painotuskerroin
Orgaaninen hieno materiaali	1		
Orgaaninen karkea materiaali	2		
Savi, hiesu, hieta	3	0,004-0,06	0,013680
Hiekka	4	0,07-2	0,308564
Hieno sora	5	2,1-8	0,781755
Sora	6	8,1-16	1,115611
Pieni kivi	7	16,1-32	1,398808
Kivi	8	32,1-64	1,690639
Pieni mukulakivi	9	64,1-128	1,986996
Mukulakivi	10	128,1-256	2,285670
Suuri mukulakivi	11	256,1-384	2,506573
Lohkare	12	384,1-512	2,652295
Suuri lohkare	13	> 512,1	2,710117
Sileä peruskallio	14		
Rosoinen peruskallio	15		

#### 2.2.4. Sukellus- ja sähkökalastusmenetelmien vertailu

Sukeltaja ei pysty havaitsemaan kaikkia alueella olevia lohenpoikasia (ks. kohta 2.2.1. Potentiaaliset tutkimusmenetelmät syvässä vedessä). Sukeltajan havainnointikyky tulee selvittää, mikäli sukeltamalla saatuja tuloksia halutaan suhteuttaa alueella vallitseviin todellisiin poikasmääriin. Sähkökalastus on todettu hyväksi ja suhteellisen luotettavaksi menetelmäksi lohikalakantojen poikasti-

heyden arvioinnissa, joten sitä käytettiin selvittämään koealueen todellista poikasmäärää. Sähkökalastusmenetelmää ovat selostaneet yksityiskohtaisemmin esimerkiksi Böhling & Rahikainen (1999).

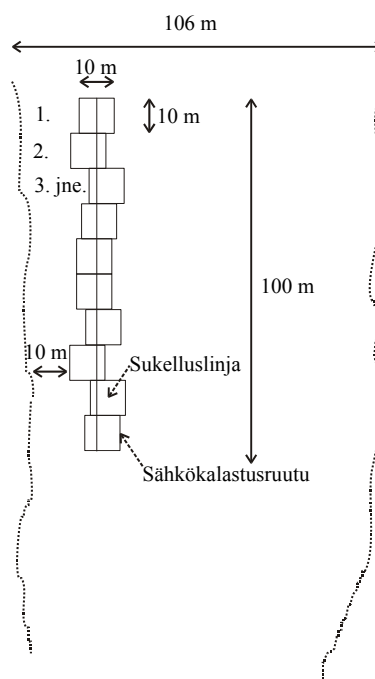
Pintasukellusmenetelmän (snorklaus) ja sähkökalastuksen yhteydestä on olemassa kirjallisuutta (Cunjak ym. 1988; Heggenes ym. 1990; Rodgers ym. 1992; Roni & Fayram 2000). Snorklausmenetelmällä saadut tulokset eivät ole kuitenkaan suoraan sovellettavissa laitesukellukseen. Lisäksi osassa aikaisempia tutkimuksia veden lämpötila on ollut niin alhainen, että kalojen havainnointimahdollisuudet ovat heikentyneet, ja tuloksissa on siten lämpötilasta aiheutuvaa virhettä. Laitesukelluksen ja sähkökalastuksen välistä yhteyttä sopivissa olosuhteissa on tarkastellut Gardiner (1984). Kalojen havaitsemistodennäköisyys riippuu kuitenkin myös sukeltajan taidoista, joten on perusteltua hankkia vertailutietoa havainnointikyvystä erikseen kussakin tapauksessa.

Sukeltajan havaitsemisosuutta tutkittiin vertaamalla sähkökalastus- ja laitesukellusmenetelmää kolmella koealalla. Koealojen sijainti valittiin siten, että molempia menetelmiä oli mahdollista soveltaa alueella, ts. alueet olivat alle metrin syvyisiä, jotta sähkökalastusmenetelmää oli mahdollista käyttää. Koealoja ei myöskään sijoitettu aivan rantaan, sillä rannan tuntumassa saattaa sijaita kalakeskittymiä, jotka olisivat voineet vaikuttaa virheellisesti menetelmien vertaamiseen (Cunjak ym. 1988; Heggenes ym. 1990). Kaksi koealoista sijaitsi aivan sukelluskoealojen yläpuolella (Pakamukka ja Soutunivan ylempi koeala, kuva 1). Kolmas koeala sijaitsi Naapankisaaren länsipuolella, Pakamukan koealasta noin kaksi kilometriä etelään (kuva 1). Koealat valittiin siten, että eri ikäryhmien habitaattivaatimukset täyttyisivät ja toisaalta voitaisiin nähdä esimerkiksi kuinka paljon erilainen pohjan raekoko vaikuttaa kalojen havaitsemistodennäköisyyteen.

Kullakin koealalla sukeltettiin yhtä linjaa pitkin edellä kuvattua menetelmää käyttäen (ks. kohta 2.2.2.1. Virran suunnassa sukeltaminen). Sähkökalastus toteutettiin siten, että koekalastettiin kymmenen kappaletta edellisenä päivänä jokeen merkittyjä 10 \* 10 metrin ruutuja, joiden sijainti suhteessa sukelluslinjaan oli satunnaistettu arpomalla (kuva 8). Sähkökalastusruutujen sijainnin satunnaistamisella pyrittiin estämään mahdollisen systemaattisen virheen aiheutuminen. Systemaattinen virhe olisi voinut aiheutua esimerkiksi siitä, että sukeltaja kulki sukelluslinjan oikeaa puolta ja saattoi karkottaa kalat tältä alueelta. Satunnaistetulla koeasettelulla saatiin tätä mahdollista virhevaikutusta pienennettyä, sillä nyt osa sähkötetyistä koeruuduista sijaitsi lähes kokonaan sukelluslinjan vasemmalla puolella ja osa taas lähes kokonaan sukelluslinjan oikealla puolella (kuva 8). Kukin 10\*10 metrin koeruutu oli mitattu ja merkitty jokeen kulmistaan styroksikohoa käyttäen sähkökalastusta edeltävänä päivänä. Kukin ruutu sähkötettiin vain kerran. Ruudut sähkökalastettiin alkaen

alimpana alavirran puolella olleesta ruudusta jonka jälkeen edettiin aina yhden ruudun yli hypäten. Kun oltiin päästy koealan yläpäähän, sähkötettiin väliin jääneet ruudut (ts. peräkkäisiä ruutuja ei sähkötetty peräjälkeen). Jokaisen ruudun 0+ ja > 0+ poikasten lukumäärä laskettiin erikseen. Kaloja säilytettiin rannalla saaveissa, kunnes kaikki ruudut oli sähkökalastettu. Ruudun kokonaiskalamäärä kussakin ikäryhmässä selvitettiin käyttämällä Tornion-Muonionjoen pääuomalle laskettua ikäryhmäkohtaista pyydystettävyyttä (p-arvo). Nämä p-arvot ovat kolmen kalastuskerran pyydystettävyyden arvioita, jotka on laskettu viiden vuoden liukuvana keskiarvona (Haikonen ym. 2003). Kesänvanhoille kaloille (0+) p-arvo oli 0,35 ja tätä vanhemmille (>0+) 0,52. Kun kunkin ruudun kokonaiskalamäärä oli selvitetty, luvut laskettiin ikäryhmittäin yhteen ja jaettiin sähkökalastusruutujen määrällä (10), jolloin saatiin keskimääräinen ikäryhmäkohtainen tiheys / 100 m<sup>2</sup>. Tätä tiheysarviota verrattiin sukellusmenetelmällä saatuun tiheysarvioon (ks. kohta 2.5 Analyysi- ja tilastolliset menetelmät).

Sähkökalastuksen jälkeen sukeltelta linjalta kerättiin habitaattidataa edellä kuvatulla tavalla (ks. 2.2.3. Habitaattidatan keruu). Sukellus- ja sähkökalastusmenetelmän vertailun aikana veden lämpötila oli 9–10 °C. Vertailut suoritettiin 3.–5.9.2002.



Kuva 8. Sähkökoekalastusruutujen satunnainen sijoittaminen suhteessa sukelluslinjaan Pakamukan koealalla.

## 2.3. Analyysi- ja tilastolliset menetelmät

### 2.3.1. Aineiston visualisointi variogrammien ja kriging –menetelmän avulla

Kalojen havaintopaikoilta kerättiin tiedot syvyydestä ja raekoosta sukelluksen aikana. Virrannopeuksista (pinta- ja keskivirrannopeus) ei kuitenkaan voitu kerätä tietoja suoraan kalan havaitsemispaikalta sukelluksen yhteydessä ja sukelluksen jälkeen kalan tarkkaa havaintopaikkaa oli vaikea paikantaa veneestä. Tämän vuoksi virrannopeustiedot kalan havaintopaikalla selvitetiin tekemällä koealueista karttoja, joissa samanarvoisuuskäyrät (isopleettikäyrät) yhdistävät samaa virrannopeus-alueita olevia pisteitä. Tällöin myös mittauspisteiden välisille alueille saadaan interpoloidut arvot. Isopleettikarttojen päälle asetettiin vastaavassa mittakaavassa oleva kartta kalahavainnoista, jolloin voitiin nähdä ympäristömuuttujan arvot kunkin kalan kohdalla. Isopleettikartat muodostettiin myös syvyyden ja raekoon suhteen, jotta voitiin nähdä myös makrohabitaatin koostumus kunkin kalan osalta ko. muuttujien suhteen.

Isopleettikartat tehtiin Surfer 7 for Windows (Golden Software Inc. 1999) ohjelmalla. Karttoja varten muodostettiin aluksi kullekin ympäristöparametrille variogrammi, joka on mitta parametrin keskimääräiselle muutosnopeudelle havaintopisteiden välisen matkan funktiona. Perusvalinta aineistoille, joissa havaintopisteiden riippuvuus kasvaa etäisyyden funktiona on pallomainen (spherical) malli (Cressie 1991, jossa myös lisätietoja variogrammeista ja niiden käytöstä). Tämän aineiston variogrammeihin sovitettiin kuitenkin eksponentiaalinen malli, joka sopi aineistoon paremmin. Variogrammeihin, joissa vastemuuttujana oli raekoko, lisättiin eksponentiaalisen mallin lisäksi ns. nugget-efekti, joka ottaa huomioon mittausvirheen ja harvasta mittauspisteiden välistä aiheutuvan virheen muuttujan interpoloituja arvoja laskettaessa. Nugget-efekti lisättiin vain raekokoparametrin variogrammeihin, sillä raekoon jakautumisen arviointi eri kokoluokkiin tietyssä mittauspisteessä tehtiin subjektiivisesti ja näin ollen virheen mahdollisuus on suuri. Kun variogrammin vastemuuttujana oli syvyys, pintavirrannopeus tai keskivirrannopeus, nugget-efektiä ei käytetty. Tähän oli syynä se, että virrannopeuksista oli kussakin havaintopisteessä mitattu kaksi arvoa, joiden keskiarvoa käytettiin analyyseissä. Tällöin mittausvirhe oli jo otettu huomioon. Lisäksi nugget-efektiä käyttämällä edellä mainittujen muuttujien osalta lopulliset isopleettikartat eivät vastanneet sitä (subjektiivista) kuvaa, mikä sukellusten perusteella kustakin koealasta oli sukeltajalle muodostunut. Sen sijaan ilman nugget-efektiä tehdyt isopleettikartat vastasivat todellisuutta paremmin. Tämä johtui siitä, että nugget-efektiä käyttämällä lopullisista isopleettikartoista tulee ”konservatiivisem-

pia” yksittäisten poikkeavien havaintojen suhteen. Vaikka poikkeavat havainnot olisivatkin todellisia ja aito tilanne koealalla olisi varsin äärevä vastemuuttujan arvojen suhteen, lopullinen kartta nugget-efektiä käyttämällä on sileäpintainen isopleettien suhteen, eikä havaintojen äärevyys tule esiin. Variogrammit on esitetty liitteissä 2-5.

Varsinaiset isopleettikartat tehtiin Surfer 7 ohjelman kriging -menetelmää käyttäen. Kriging on eräs Surfer-ohjelman hila-aineiston kuvausmenetelmä (gridding method), joka interpoloi tutkittavalle muuttujalle arvoja mittauspisteiden välille ja yhdistää samanarvoiset pisteet harjanteiksi (isopleetteiksi). Kriging-menetelmä perustuu edellä kuvattujen variogrammien käyttöön. Käytännössä kriging-menetelmä käyttää variogrammiin sovitetun mallin parametrejä kuvaamaan vastemuuttujassa tapahtuvan muutoksen nopeutta ja hajontaa. Kriging-menetelmästä kertoo enemmän esim. Cressie (1991).

Kriging-menetelmällä tehdyistä isopleettikartoista (liitteet 6-9) pystytään laskemaan ympäristöparametreittain tutkitulla alueella tarjolla olleen habitaatin osuudet (taulukko 1). Kriging-menetelmällä ei voitu kuitenkaan ekstrapoloida ympäristöparametrien arvoja koskemaan alueita, joista ei ollut mittaushavaintoja. Tämän vuoksi isopleettikartat eivät ulotu aivan koealan rantoihin asti, sillä ensimmäiset mittaushavainnot ympäristöparametreista ovat vasta sukelluslinjoilta. Kartat eivät myöskään ulotu koskemaan koealan ylintä kymmentä metriä, sillä ensimmäinen mittaushavainto koealalta oli kymmenen metriä alkupisteestä. Siksi Surfer-aineistoja käytettäessä rajoituttiin käsittelemään myös kalahavaintoja vain niiltä osin, joille isopleettikäyrästä oli mahdollista piirtää. Siten Surfer-tarkasteluissa jouduttiin jättämään 7 kesänvanhaa ja 6 tätä vanhempaa poikasta tarkastelun ulkopuolelle. Sukelluslinjojen alueelle kuuluneesta 38,5 aarista isopleettikartat kuvaavat 34,6 aaria.

### **2.3.2. Tilastollinen testaus ja syvyysindeksi**

Kalojen habitaatin valinnassa olevia eroja koealojen välillä testattiin ympäristöparametreittain kahden populaation Kolmogorovin-Smirnovin (KSm, testisuure  $K_D$ ) pienille otoksille soveltuvalla testillä (Ranta ym. 1997), sillä aineisto ei ollut normaalijakautunut ja otoskoko oli pieni. Koealojen välillä ympäristöparametrien jakaumia verrattiin Kolmogorovin-Smirnovin (KSm, testisuure  $D$ ) suurille otoksille sopivalla testillä (Ranta ym. 1997). Pohjan raekoon samankaltaisuutta koealojen välillä verrattiin kuitenkin Kruskal-Wallisin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (K.-W., testisuure  $H$ ), ja erot paikannettiin Tukeyn testillä (testisuure  $W$ ). Koealojen raekokoja verratessa K.-W. tes-

tiin valittiin samansuuruiset otokset. Ympäristöparametreissa olevia eroja eri ikäryhmien välillä (0+ vs. >0+) testattiin Mannin-Whitneyn U-testillä (M.-W., testisuure  $U$ ), sillä aineisto ei noudattanut normaalijakaumaa. Ympäristöparametrien väliset korrelaatiot selvitettiin laskemalla Pearsonin korrelaatiokertoimet  $r$ . Sähkökalastuksen- ja sukelluksen perusteella saatuja tiheysarvioita verrattiin yhden populaation t-testillä (testisuure  $t$ ).

Syvien ( $\geq 1$  metri) ja keskisyvien (0,5 – 0,99 metriä) alueiden kalatiheyksien välistä suhdetta kuvaamaan laskettiin ikäryhmäkohtainen indeksi  $S$  kaavalla  $S = s_l / s_{0,5}$ , jossa  $s_l$  on keskimääräinen poikastiheys kussakin ikäryhmässä yli yhden metrin vedessä ja  $s_{0,5}$  on keskimääräinen poikastiheys samassa ikäryhmässä 0,5 – 0,99 metrin vedessä.

### 2.3.3. Habitaattipreferenssien tutkiminen

Lohenpoikasten habitaatin käyttöä suhteessa tarjolla olevan habitaatin määrään verrattiin Kolmogorovin-Smirnovin yhteensopivuustestillä (KSm, testisuure  $D$ ). Tämän jälkeen habitaattipreferenssit laskettiin Jacobsin (1974) indeksillä niille ympäristöparametreille ja ikäryhmille, joissa oli havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja KSm –testissä. Jacobsin indeksi laskettiin seuraavasti:

$$D_i = \frac{r_i - p_i}{(r_i + p_i) - 2r_i p_i},$$

missä  $r_i$  on kunkin ympäristöparametrin kategoriaan  $i$  kuuluvien kalahavaintojen osuus ja  $p_i$  on ympäristöparametrin kategorian  $i$  tarjolla oleva osuus.

## 3. TULOKSET

### 3.1. Lohenpoikasten sijoittuminen eri syvyysvyöhykkeisiin

Koealoilla sukeltettiin virran suunnassa yhteensä 20 tuntia ja 51 minuuttia. Näiden sukellusten aikana havaittiin yhteensä 117 lohenpoikasta, joista kesänvanhoja (0+) oli 40 ja tätä vanhempia 77 (>0+). Lisäksi havaittiin yksi >0+ taimen. Kesänvanhoista poikasista alle metrin syvyisessä vedessä oli 28 ja yli metrin syvyisessä 12. Vanhemmista poikasista alle metrin vedessä oli puolestaan 34 ja yli metrin vedessä 43 kappaletta. Kesänvanhoja poikasia havaittiin sukeltamalla 0,5-1,9 metrin syvyydessä ja vanhempia poikasia 0,4-2,2 metrin välillä. Kalahavaintojen osuudet eri syvyysvyöhykkeissä on annettu taulukossa 3 ja kalojen sijoittuminen eri syvyysvyöhykkeille kullakin koealalla näky liitteessä 6. Eri ikäisten poikasten lukumäärät kullakin koealalla on annettu taulukossa 5.

Surfer-ohjelmalla käsitellystä alasta (34,6 aaria koko tutkimuksen 38,5 aarista) 14,0 aaria oli alle metrin syvyistä vettä ja loput 20,6 aaria oli tätä syvempää. Tämän 34,6 aarin alueella havaittiin 33 kesänvanhaa ja 71 tätä vanhempaa lohenpoikasta. Kesänvanhoista poikasista 23 oli alle metrin syvyisessä vedessä ja 10 syvemmällä. Vanhempien poikasten vastaavat luvut olivat 32 ja 39. Näin ollen kesänvanhojen poikasten havaituksi keskitiheydeksi alle metrin vedessä saatiin 1,6 poikasta / 100 m<sup>2</sup> ja yli metrin vedessä 0,5 poikasta / 100 m<sup>2</sup>. Vanhemmilla poikasilla vastaavat keskitiheydet olivat 2,3 ja 1,9 poikasta / 100 m<sup>2</sup>. Tiheysarvioita ei kuitenkaan tule käyttää sellaisenaan kalamäärien arvioimiseen tietyllä alueella, sillä sukeltamalla tehdyt tiheysarviot eivät anna absoluuttista kuvaa alueella olevista poikasista. Tilanne on tällainen varsinkin silloin, kun linjalla sukellaan vain kerran (ks. kohta 3.5. Erot kalamäärissä poikkivirtaan sukeltaessa). Tiheysarvioita ei voida myöskään vertailla koealojen välillä, sillä havainnot on tehty eri ajankohtina ja tällöin kaloja on havaittu toisistaan poikkeavilla todennäköisyyksillä.

Tiheyksistä eri alueiden välillä voidaan sen sijaan laskea indeksi, jossa suhteutetaan eri alueiden poikastiheyksiä toisiinsa. Vaatimuksena indeksin laskemiselle tietenkin on, että näillä alueilla olevilla kaloilla voidaan olettaa olevan sama todennäköisyys tulla havaituiksi. Alle 0,5 metrin syvyistä aluetta oli tutkimuksen kokonaisalasta vain noin 3,3 %. Tämä osuus jätettiin huomioimatta laskettaessa indeksiä syvien ja matalien alueiden välille. Näin ollen tiheyksistä laskettiin indeksi syvien ja keskisyvien (0,5-0,99 metriä) alueiden välille. Keskisyvää aluetta oli Surfer-ohjelmalla käsitellystä aineistosta 12,9 aaria. Kalahavainnoista vain yksi >0+ poikanen havaittiin alle 0,5 metrin vedessä,

eikä sitä otettu huomioon tässä tarkastelussa. Keskitiheys 0,5-0,99 metrin alueella oli kesänvanhoilla poikasilla noin 1,8 kpl / 100 m<sup>2</sup> ja vanhemmilla poikasilla noin 2,4 kpl / 100 m<sup>2</sup>. Kesänvanhoille poikasille syvyysindeksin *S* arvoksi tuli täten 0,27 ja vanhemmille poikasille 0,79.

Taulukko 3. Lohenpoikasten prosentuaalinen jakautuminen ympäristöparametrien eri kategorioihin ikäryhmittäin. Pintavirrannopeus ( $Q_{\text{pinta}}$ ), keskivirrannopeus ( $Q_{0,6^*D}$ ), kalojen lukumäärä (*N*). Syvyys ja raekoko -jakaumat perustuvat suoriin havaintoihin, virrannopeusjakaumat on laskettu isopleettikarttojen intrapoloiduista arvoista.

Ikäryhmä N	0+ >0+		0+ >0+		0+ >0+		0+ >0+		0+ >0+					
	40	77	40	77	33	71	33	71	33	71				
Syvyys (cm)	%		Raekoko (mm)		%		$Q_{\text{pinta}}$ (m/s)		%		$Q_{0,6^*D}$ (m/s)		%	
25,1 - 35	0,0	0,0	0,07-2	2,5	0,0	0,11 - 0,2	0,0	0,0	0,11 - 0,2	3,0	0,0	0,11 - 0,2	3,0	0,0
35,1 - 45	0,0	1,3	2,1-8	5,0	0,0	0,21 - 0,3	0,0	0,0	0,21 - 0,3	6,1	0,0	0,21 - 0,3	6,1	0,0
45,1 - 55	20,0	2,6	8,1-16	0,0	0,0	0,31 - 0,4	6,1	0,0	0,31 - 0,4	12,1	9,9	0,31 - 0,4	12,1	9,9
55,1 - 65	12,5	13,0	16,1-32	15,0	0,0	0,41 - 0,5	18,2	9,9	0,41 - 0,5	15,2	18,3	0,41 - 0,5	15,2	18,3
65,1 - 75	17,5	11,7	32,1-64	20,0	7,8	0,51 - 0,6	12,1	14,1	0,51 - 0,6	27,3	16,9	0,51 - 0,6	27,3	16,9
75,1 - 85	15,0	9,1	64,1-128	10,0	14,3	0,61 - 0,7	18,2	9,9	0,61 - 0,7	18,2	8,5	0,61 - 0,7	18,2	8,5
85,1 - 95	5,0	6,5	128,1-256	20,0	23,4	0,71 - 0,8	27,3	14,1	0,71 - 0,8	3,0	11,3	0,71 - 0,8	3,0	11,3
95,1 - 105	10,0	6,5	256,1-384	5,0	15,6	0,81 - 0,9	3,0	14,1	0,81 - 0,9	3,0	8,5	0,81 - 0,9	3,0	8,5
105,1 - 115	5,0	3,9	384,1-512	0,0	7,8	0,91 - 1,0	0,0	8,5	0,91 - 1,0	6,1	11,3	0,91 - 1,0	6,1	11,3
115,1 - 125	0,0	2,6	> 512,1	22,5	31,2	1,01 - 1,1	3,0	5,6	1,01 - 1,1	3,0	9,9	1,01 - 1,1	3,0	9,9
125,1 - 135	0,0	2,6				1,11 - 1,2	3,0	11,3	1,11 - 1,2	3,0	4,2	1,11 - 1,2	3,0	4,2
135,1 - 145	10,0	1,3				1,21 - 1,3	6,1	4,2	1,21 - 1,3	0,0	0,0	1,21 - 1,3	0,0	0,0
145,1 - 155	0,0	6,5				1,31 - 1,4	3,0	2,8	1,31 - 1,4	0,0	0,0	1,31 - 1,4	0,0	0,0
155,1 - 165	0,0	3,9				1,41 - 1,5	0,0	4,2	1,41 - 1,5	0,0	1,4	1,41 - 1,5	0,0	1,4
165,1 - 175	2,5	5,2				1,51 - 1,6	0,0	1,4	1,51 - 1,6	0,0	0,0	1,51 - 1,6	0,0	0,0
175,1 - 185	0,0	5,2												
185,1 - 195	2,5	5,2												
195,1 - 205	0,0	6,5												
205,1 - 215	0,0	3,9												
215,1 - 225	0,0	2,6												
225,1 - 235	0,0	0,0												
235,1 - 245	0,0	0,0												
245,1 - 255	0,0	0,0												
255,1 - 265	0,0	0,0												



## 3.2. Erot habitaatinvalinnassa ikäryhmien välillä

### 3.2.1. Erot ikäryhmien välillä ympäristöparametreittain

Eri ikäisten poikasten jakautuminen eri kategorioihin kunkin ympäristöparametrin suhteen on esitetty taulukossa 3. Lisäksi eri ikäisten poikasten sijoittuminen kullakin koealalla suhteessa tarkasteltavaan ympäristöparametriin on havainnollistettu liitteissä 6 – 9 ja taulukossa 4.

Kesänvanhat poikaset käyttivät merkitsevästi matalampaa vettä kuin vanhemmat poikaset (M.-W.,  $p < 0,001$ ). Kesänvanhojen poikasten oleskelusyvyyden keskiarvo  $\pm$  keskivirhe (SE) oli  $0,8 \pm 0,06$  m ja vanhempien poikasten  $1,2 \pm 0,06$  m (taulukko 4). Kesänvanhat poikaset käyttivät myös merkitsevästi heikkovirtaisempia alueita (M.-W.,  $p = 0,015$  sekä pinta- että keskivirrannopeudelle) ja oleskelivat halkaisijaltaan pienempien kivien takana (M.-W.,  $p < 0,001$ ) kuin vanhemmat poikaset (taulukko 4). Pintavirrannopeuden keskiarvo ( $\pm$  SE) kesänvanhoilla poikasilla oli  $0,68 \pm 0,04$  m/s kun se puolestaan vanhemmilla poikasilla oli  $0,82 \pm 0,03$  m/s. Keskivirrannopeuden vastaavat luvut olivat  $0,53 \pm 0,04$  m/s kesänvanhoille poikasille ja  $0,66 \pm 0,03$  m/s vanhemmille. Suojakivenä käytetyn kiven keskikoko oli 0+ poikasilla  $18,7 \pm 0,03$  cm ja >0+ poikasilla  $33,7 \pm 0,03$  cm. Käytetyn suojakiven koko erosi >0+ poikasilla myös ikäryhmän sisällä, kun verrattiin eri syvyysvyöhykkeillä olleita kaloja. Yli metrin syvyydessä olleet >0+ poikaset käyttivät merkitsevästi (M.-W.,  $p = 0,013$ ) isompaa suojakiveä ( $40,4 \pm 0,05$  cm) kuin alle metrin syvyydessä olleet poikaset ( $25,2 \pm 0,03$  cm). Kesänvanhoilla poikasilla vastaavaa eroa ei havaittu (M.-W.,  $p = 0,271$ ). Havaituista kaloista ainoastaan kaksi >0+ poikasta ei ollut kosketuksissa pohjan kanssa. Nämä kaksi poikasta olivat noin 10 – 15 cm pohjan yläpuolella ja ruokailivat aktiivisesti driftissä kulkevilla hyönteisillä paikkansa virrassa säilyttäen.

Koska merkitseviä eroja ikäryhmien välillä havaittiin kaikkien tutkittujen ympäristöparametrien osalta, testattiin niiden keskinäistä korrelaatiota. Pinta- ja keskivirrannopeuden välillä oli voimakas positiivinen korrelaatio ( $r = 0,88$ ). Lisäksi syvyys korreloi positiivisesti sekä pintavirran- ( $r = 0,59$ ) että keskivirrannopeuden ( $r = 0,54$ ) kanssa. Pohjan raekoosta laskettu indeksi ei korreloinut minikään ympäristöparametrin kanssa ( $r = 0,03$ ,  $0,05$  ja  $-0,05$  syvyydelle, pintavirran- ja keskivirrannopeudelle vastaavasti).

Taulukko 4. Eri ikäisten poikasten (0+ ja >0+) olinpaikkojen ympäristöparametrien keskiarvot ± SE koealoittain. y. = ylempi ja a. = alempi.

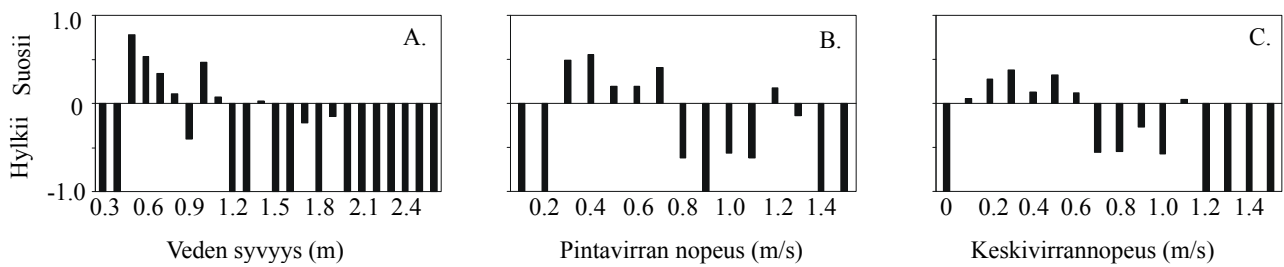
	Syvyys (m)		Raekoko (cm)		Pintavirrannopeus (m/s)		Keskivirrannopeus (m/s)	
	0+	>0+	0+	>0+	0+	>0+	0+	>0+
Kuuisuvanto	0,8 ± 0,08	1,0 ± 0,09	6,8 ± 0,03	40,1 ± 0,08	0,42 ± 0,04	0,65 ± 0,04	0,36 ± 0,05	0,56 ± 0,05
Kaarnekoski	0,9 ± 0,17	1,0 ± 0,09	10,8 ± 0,04	11,0 ± 0,02	0,83 ± 0,13	0,83 ± 0,11	0,70 ± 0,14	0,75 ± 0,09
Pakamukka	0,7 ± 0,05	1,5 ± 0,12	11,6 ± 0,04	29,0 ± 0,04	0,59 ± 0,03	0,81 ± 0,05	0,49 ± 0,04	0,67 ± 0,05
Soutuniva y.	0,9 ± 0,11	1,0 ± 0,10	26,9 ± 0,06	39,4 ± 0,03	0,79 ± 0,07	0,96 ± 0,09	0,55 ± 0,07	0,69 ± 0,08
Soutuniva a.	1,2 ± 0,30	1,9 ± 0,11	36,3 ± 0,08	31,7 ± 0,07	0,80 ± 0,21	1,10 ± 0,09	0,60 ± 0,19	0,78 ± 0,05
<b>Koko aineisto</b>	<b>0,8 ± 0,06</b>	<b>1,2 ± 0,06</b>	<b>18,7 ± 0,03</b>	<b>33,7 ± 0,03</b>	<b>0,68 ± 0,04</b>	<b>0,82 ± 0,03</b>	<b>0,53 ± 0,04</b>	<b>0,66 ± 0,03</b>

### 3.2.2. Habitaattipreferenssit

Lohenpoikasten habitaatinvalintaa suhteessa tarjolla olleen habitaatin määrään testattiin syvyyden sekä pinta- ja keskivirrannopeuksien osalta. Pohjan raekoon suhteen habitaatinvalintaa ei testattu, sillä Surfer-ohjelmassa olivat syöttötietoina mittauspisteiden raekokojakaumista lasketun indeksin arvot ja kalahavaintojen osalta käytössä olivat puolestaan todelliset raekoon halkaisijat. Nämä luvut eivät siten olleet suoraan verrattavissa keskenään.

Kesänvanhojen poikasten habitaatinvalinta erosi merkitsevästi kaikkien kolmen tutkitun parametrin osalta ympäristössä tarjolla olleesta osuudesta (KSm,  $p < 0,05$ ). Vanhempien poikasten käyttämä habitaatti ei puolestaan eronnut minkään edellä mainitun parametrin osalta ympäristössä tarjolla olleesta osuudesta, vaan >0+ poikaset käyttivät siis habitaatteja siinä suhteessa kuin niitä oli tarjolla (KSm,  $p > 0,05$ ).

Kesänvanhat poikaset suosivat 0,5 – 1,1 metrin syvyisiä alueita (lukuun ottamatta luokkaa 0,9 m) (kuva 9). Pintavirrannopeuden osalta suosittu alue oli 0,3 – 0,7 m/s ja keskivirrannopeuden 0,1- 0,6 m/s. Preferoitua aluetta näytti olevan myös 1,2 m/s (keskivirrannopeus 1,1 m/s), mutta indeksi on kuitenkin ko. luokassa laskettu vain kahden kalan tietojen perusteella. Eri ympäristöparametrien kuvaajat muistuttavat toisiaan suurelta osin, sillä kuvaajissa käytetyt parametrit ovat keskenään voimakkaasti korreloituneita (ks. kohta 3.2.1. Erot ikäryhmien välillä ympäristöparametreittain).



Kuva 9. Kesänvanhojen lohenpoikasten habitaattipreferenssit tutkitussa aineistossa suhteessa veden syvyyteen (A), pintavirran- (B) ja keskivirrannopeuteen (C).

### 3.3. Erot habitaatinvalinnassa koealojen välillä

Koealat erosivat toisistaan syvyyden, pintavirrannopeuden ja keskivirrannopeuden suhteen (KSm,  $p < 0,05$ ). Sen sijaan koealojen pohjan raekoko oli samanlaista kaikilla muilla koealoilla paitsi Kaarnekoskessa, jossa pohjan raekoko oli merkitsevästi muita koealoja pienempää (K.-W.,  $p < 0,05$ , Tukey,  $p < 0,05$  verrattaessa muita koealoja Kaarnekoskeen, muiden koealojen välillä  $p > 0,05$ ).

Lohenpoikasten habitaatinkäyttö erosi joiltakin osin koealojen välillä (taulukko 5). Soutunivan alemmalla koealalla sekä Pakamukan koealalla  $>0+$  poikaset olivat syvemmillä kuin muilla koealoilla (KSm,  $p < 0,05$ ) (taulukot 4 ja 5). Soutunivan alemman koealan ja Pakamukan  $>0+$  poikasten oleskelusyvytydessä ei ollut keskinäistä eroa (KSm,  $p > 0,05$ ). Kesänvanhojen poikasten osalta oleskelusyvytydessä koealojen välillä ei ollut eroja (KSm,  $p > 0,05$ ) (taulukko 5).

Lohenpoikasten olinpaikkojen pintavirrannopeudet Kuusisuvannossa erosivat merkitsevästi lähes kaikista muista koealoista molemmissa ikäryhmissä (KSm.,  $p < 0,05$ ) (taulukko 5). Eroja ei kuitenkaan ollut  $0+$  poikasilla Kuusisuvannon ja Soutunivan alemman koealan välillä eikä  $>0+$  poikasilla Kuusisuvannon ja Kaarnekosken koealojen välillä (KSm.,  $p > 0,05$ ). Eroja ei ollut myöskään muiden koealojen välillä pintavirrannopeuden osalta (taulukko 5). Kuusisuvannossa lohenpoikasten olinpaikkojen pintavirrannopeuden keskiarvo oli muiden koealojen keskiarvoja pienempi (taulukko 4).

Keskivirrannopeuden osalta kalojen olinpaikat erosivat vain >0+ poikasilla Kuusisuvannon ja Soutunivan alemman koealan välillä (KSm.,  $p < 0,05$ ) (taulukko 5). Soutunivassa >0+ poikasten olinpaikkojen keskivirrannopeuden keskiarvo oli suurin, kun se Kuusisuvannossa oli puolestaan pienin (taulukko 4).

Myös poikasten käyttämien suojakivien koossa oli eroja koealojen välillä. Merkitseviä eroja oli 0+ poikasilla Soutunivan alemman koealan ja Kuusisuvannon sekä Pakamukan koealojen välillä (KSm.,  $p < 0,05$ ) (taulukko 5). Soutunivassa kesänvanhat poikaset käyttivät keskimääräistä suurempia suojakiviä (taulukko 4). Vanhemmilla poikasilla eroja oli Kaarnekosken ja Kuusisuvannon sekä Soutunivan ylempään koealan välillä (KSm.,  $p < 0,05$ ) (taulukko 5). Kaarnekoskessa >0+ poikasten käyttämät suojakivet olivat keskimääräistä pienempiä (taulukko 4).

Taulukko 5. Havaitut tilastollisesti merkitsevät erot (KSm.) lohenpoikasten habitaatinvalinnassa koealojen välillä kunkin ympäristöparametrin suhteen. Syvyyden ja pintavirrannopeuden suhteen havaitut erot on esitetty taulukoiden vasemmassa alakulmassa ja raekoon ja keskivirrannopeuden suhteen taulukoiden oikeassa yläkulmassa. Eri ikäisten poikasten lukumäärät kullakin koealalla on annettu suluissa seuraavasti:  $n_{0+}$  on 0+ poikasten lukumäärä ja  $n_{>0+}$  on >0+ poikasten lukumäärä. Taulukossa y. = ylempi, a. = alempi, - = ei eroa, \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ . # merkillä on havainnollistettu taulukon jakautuminen seuraavaan ympäristöparametriin.

Syvyys / Raekoko	Kuusisuvanto		Kaarnekoski		Pakamukka		Soutuniva y.		Soutuniva a.	
	0+	>0+	0+	>0+	0+	>0+	0+	>0+	0+	>0+
Kuusisuvanto ( $n_{0+}=5, n_{>0+}=25$ )	#	#	-	*	-	-	-	-	*	-
Kaarnekoski ( $n_{0+}=4, n_{>0+}=6$ )	-	-	#	#	-	-	-	***	-	-
Pakamukka ( $n_{0+}=13, n_{>0+}=23$ )	-	**	-	*	#	#	-	-	*	-
Soutuniva y. ( $n_{0+}=14, n_{>0+}=17$ )	-	-	-	-	-	**	#	#	-	-
Soutuniva a. ( $n_{0+}=4, n_{>0+}=6$ )	-	**	-	**	-	-	-	**	#	#

Pinta- / Keskivirrannopeus	Kuusisuvanto		Kaarnekoski		Pakamukka		Soutuniva y.		Soutuniva a.	
	0+	>0+	0+	>0+	0+	>0+	0+	>0+	0+	>0+
Kuusisuvanto	#	#	-	-	-	-	-	-	-	*
Kaarnekoski	*	-	#	#	-	-	-	-	-	-
Pakamukka	*	*	-	-	#	#	-	-	-	-
Soutuniva y.	**	*	-	-	-	-	#	#	-	-
Soutuniva a.	-	*	-	-	-	-	-	-	#	#

### 3.4. Sukellusmenetelmän ja sähkökalastuksen vertailu

Sukellusmenetelmän ja sähkökalastusmenetelmän antamat tiheysarviot alueella olevista poikasista erosivat toisistaan merkitsevästi kaikilla tutkituilla koealoilla ja molemmissa tutkituissa ikäryhmissä (t-testi,  $p < 0,05$ ) (taulukko 6). Sähkökalastamalla saatiin suurempia tiheyksiä (taulukko 6.). Veden lämpötila oli tutkimusajankohtana 9-10 °C. Tämä lämpötila on kirjallisuustietojen mukaan liian alhainen, jotta sukeltamalla voitaisiin havaita lohenpoikasia.

Taulukko 6. Poikastiheydet arvioituna sähkökalastamalla ja sukeltamalla sekä veden lämpötila tutkimusajankohtana. Sähkökalastus -sarakkeen numeroiden perässä olevat tähdet tarkoittavat tilastollisesti merkitsevää eroa vastaavista sukellustiheyksistä seuraavasti: \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ .

Koeala	Sähkökalastus (kpl/100 m <sup>2</sup> )		Sukellus (kpl/100 m <sup>2</sup> )		Veden lämpötila °C
	0+	> 0+	0+	>0+	
Soutuniva	5,1 *	8,5 ***	1	0	9
Naapankisaari	4,6 ***	1,2 **	0	0	10
Pakamukka	8,6 *	9,4 ***	2	0	10

### 3.5. Erot kalamäärissä poikkivirtaan sukeltaessa

Pakamukassa poikkivirtaan sukeltamalla linjalla havaittiin kaloja peräkkäisillä sukelluksilla eri määrä kullakin sukelluksella. Ensimmäisellä sukelluksella nähtiin kolme, toisella kaksi ja kolmannella viisi 0+ lohenpoikasta. Vanhempien poikasten vastaavat luvut olivat kolme, yksi ja kaksi kappaletta. Eräät poikasista nähtiin jokaisella sukelluksella samassa kohtaa suhteessa linjan alkupisteeseen. Jotkut kaloista puolestaan nähtiin vain yhdellä tai kahdella sukelluksella. Lisäksi yhdessä kohdassa oli jokaisella sukelluksella kala, mutta kala ei ollut kaikkien sukellusten välillä sama (ensimmäisellä ja kolmannella sukelluksella kohdassa oli >0+ poikanen ja toisella sukelluksella 0+ poikanen). Kalojen sijainteja toistojen välillä vertaamalla voidaan päätellä, että linjalla oli ainakin kuusi kappaletta 0+ kaloja ja kolme kappaletta >0+ kaloja.

## 4. TULOSEN TARKASTELU

### 4.1. Sukeltaminen tutkimusmenetelmänä

#### 4.1.1. Virran suunnassa sukeltaminen

Linjasukellusmenetelmien soveltuvuutta kalamäärien arviointiin virtavesissä on tarkasteltu kirjallisuudessa paljon (ks. kohta 2.2.1. Potentiaaliset tutkimusmenetelmät syvässä vedessä). Tämän tutkimuksen tarkoituksiin käytetty virran suuntainen sukellusmenetelmä sopi hyvin, joskaan lohenpoikasten havaitsemisosuudesta ei saatu tietoa (ks. myöh.). Sukelluslinja on helppo pystyttää, eikä sukeltaminen virransuuntaisella linjalla merkittävässä määrin haittaa muita vesilläliikkujia. Tämän vuoksi menetelmä soveltuu käytettäväksi Tornion-Muonionjoella jo kesäaikaan lohenkalastuksen ollessa vielä sallittua. Tämä tutkimus toteutettiin kuitenkin lohenkalastuksen rauhoitusaikana, sillä etukäteen ei ollut tiedossa missä määrin sukelluksista aiheutuu haittaa esimerkiksi kalastajille. Pohjoisissa vesissä menetelmää on mahdollista käyttää kesäaikana myös öisin.

Työpäivän aikana ehdittiin sukeltaa neljä linjaa, joilta kerättiin lisäksi tiedot ympäristöparametreista. Toteutukseen meni päivittäin 8-10 tuntia, josta sukeltamista oli noin 2-2,5 tuntia. Yhden linjan sukeltamiseen kului 18-42 minuuttia riippuen linjalla olleiden kalojen määrästä ja havainnoinnin helppoudesta. Pääsääntöisesti lohkaraisilla linjoilla sukelluksessa meni pidempään, sillä kalojen havainnointi näillä alueilla oli vaikeampaa kuin linjoilla, joiden pohjan koostumus oli hienorakeisempaa.

Havaitut kalat eivät näyttäneet häiriintyvän sukeltajan läsnäolosta heikko- tai normaalivirtaisilla alueilla (pintavirrannopeus 0-1 m/s). Samanlaisia tuloksia on saatu muissakin virtavesitutkimuksissa, joissa lohenpoikasten havainnoinnissa on käytetty apuna paineilmalaitteita (Wańkowski & Thorpe 1979; Gardiner 1984). Täyttä varmuutta siitä, että kalat eivät säikkyneet sukeltajaa, ei kuitenkaan ole. Tämä johtuu siitä, ettei voida tietää pakeneeko osa kaloista sukelluslinjalta jo ennen kuin sukeltaja ne havaitsee. Reviirikalojen on kuitenkin havaittu säikähtäessään pyrkivän piiloutumaan läheisiin kivenkoloihin sen sijaan, että ne pyrkisivät uimaan paikalta pois (Anon. 1997). Tällöin sukeltajan on mahdollista havaita säikähtäneetkin kalat sukelluslinjalla.

Sukellettaessa voimakasvirtaisilla paikoilla (pintavirta > 1 m/s), sukeltajan etenemisnopeus linjalla kasvoi paikoitellen. Lohenpoikaset näyttivät kavahtavan sukeltajaa, jos hän tuli nopeasti kalan oles-

kelupaikan läheisyyteen. Kalat eivät palanneet takaisin lähtöpaikkaansa, jos sukeltaja jäi paikalle tarkkailemaan. Samanlaisia havaintoja on tehnyt myös Keenleyside (1962). Joissakin tapauksissa juuri kalan liikahtaminen paljasti sen olinpaikan, joka olisi muutoin saattanut jäädä huomaamatta. Tilanne oli tällainen varsinkin louhikkoisilla sukelluslinjoilla.

Kalalajien erottaminen ei tuottanut vaikeuksia, sillä kaloja pystyi tarkkailemaan lähietäisyydeltä pitkiäkin aikoja. Harjukset esiintyivät poikkeuksetta pohjan yläpuolella, joten niiden erottaminen lohenpoikasista oli helppoa. Sekoittamisen mahdollisuus on kuitenkin suurempi lohen ja taimenten välillä, etenkin kesänvanhoilla poikasilla. Taimenet esiintyvät kuitenkin Tornion-Muonionjoessa pääasiassa sivujoissa (Ikonen ym. 1986; Nylander & Romakkaniemi 1995) ja pääuomassa taimentiheydet ovat erittäin pieniä (Karlström 1977; Haikonen ym. 2003).

Käytetyllä menetelmällä on myös rajoituksensa. Alueilla, joilla pintavirrannopeus oli yli 1,5 m/s ei pystytty sukeltamaan, sillä sukeltajan voimat eivät riittäneet virran aiheuttaman paineen vastustamiseen. Tällöin sukeltajan etenemisnopeus kasvoi liian suureksi, jotta poikasia olisi ehtinyt luotettavasti havainnoimaan. Lisäksi käytetty sukellusmaski pyrki täyttymään vedellä virrannopeuden ollessa näin suuri.

Paineilmalaitteilla sukeltaminen ei ole tarkoituksenmukaista myöskään alle 40 cm vedessä. Matalassa vedessä sukeltaessa paineilmapullo jää käytännössä veden pinnan yläpuolelle. Koska vesi ei tällöin kannattele pulloa, sukeltamisesta tulee raskasta ja kömpelöä. Lisäksi pintavirran paine kohdistuu paineilmapulloon ja pyrkii kääntämään sukeltajan selälleen. Matalassa sukeltaessa ei saavuteta mitään etuja verrattuna snorklaamiseen.

#### **4.1.2. Poikkivirtaan sukeltaminen**

Sukelluslinjan rakentaminen uoman poikki oli erittäin vaikeaa, eikä se onnistunut yli kahden metrin syvyydessä vedessä. Lisäksi uoman poikki rakennettu sukelluslinja haittaa muita joella liikkujia, joten menetelmää ei voida käyttää lohenkalastuksen aikana. Sukellus linjalla on raskaampaa kuin virran suunnassa olevalla linjalla, sillä liikkuminen tapahtuu käsivoimin, eikä virran voima auta liikkumisessa. Kalojen havainnointi on kuitenkin helppoa, sillä tutkimusalue on koko ajan silmien edessä, eikä päätä tarvitse kääntää sivullepäin havaintojen tekemiseksi.

#### 4.1.3. Sukellusmenetelmän luotettavuus

Sähkökalastuksen ja sukeltamisen välinen vertailu ei tuottanut tässä tutkimuksessa käyttökelpoista aineistoa. Tämä johtui siitä, että vertailuaineistojen keruuajankohtaan mennessä veden lämpötila ehti laskea liian alhaiseksi, jotta lohenpoikasia olisi voitu havaita sukellusmenetelmällä samassa määrin kuin varsinaisten sukellusaineistojen keruuajankohtana. Esimerkiksi Rimmer ym. (1983), Gardiner (1984) ja Veselov & Shustov (1991) ovat havainneet, että syksyllä noin 10 °C ja sitä kylmemmissä lämpötiloissa lohenpoikaset piileskelevät pohjakivien väleissä ja alla, eivätkä ne ole valoisana aikana havaittavissa sukellusmenetelmää käyttäen. Sen sijaan hämärissä ja pimeänä aikana lohenpoikaset ovat aktiivisia ja tulevat kivenkoloista esiin (Cunjak 1988; Gries ym. 1997).

Pakamukassa menetelmävertailu tehtiin 5.9.2002, jolloin veden lämpötila oli jo ehtinyt viilentyä liikaa. Alueella oli kuitenkin tehty sukelluksia virran suunnassa myös 23.8.2002 tutkimuksen perusaineiston keruun yhteydessä. Pakamukassa 23. päivä tehdyistä sukelluksista linja numero seitsemän sijaitsi vastaavalla alueella kuin menetelmävertailussa sukellettu linja. Linjojen sijainnissa oli erona vain se, että 23.8. sukellettu linja alkoi siitä, mihin 5.9. sukellettu linja päättyi. Ympäristöparametrien (syvyys, virrannopeus ja pohjan raekoko) osalta linjat ovat toisiaan vastaavia. Vaikka ajankoh- tien välillä on noin kahden viikon ero, voidaan tiheyden kuitenkin olettaa pysyvän suunnilleen sama- mana tietyllä alueella näin lyhyen ajan sisällä, sillä lohenpoikaset pysyttelevät samoilla alueilla pit- kiä aikoja (Keenleyside 1962). Veden lämpötilan jäähtyminen kymmeneen celsiusasteeseen saa kalat kuitenkin etsimään sopivaa talvehtimisympäristöä (Rimmer ym. 1983). Talvehtimisympäris- tössä tulee olla sopivan kokoisia kiviä, joiden alle lohenpoikaset voivat piiloutua. Jos sopivia kiviä on tarjolla kalojen oleskelualueella, ne pysyttelevät saman alueen sisällä (Rimmer ym. 1983, 1984). Ko. koelalla on tarjolla talvehtimiseen sopivia, suurehkoja (20–40 cm) kivenlohkareita ja siten voidaan perustellusti olettaa, että kalat eivät ole suuressa mittakaavassa vähentyneet alueella 23.8.- 5.9 välisenä aikana.

Linjalla seitsemän nähtiin 23.8. kuusi 0+ poikasta ja neljä >0+ poikasta (vrt. 5.9. sukeltamalla 2 kpl 0+ ja 0 kpl >0+ poikasia). Näitä lukuja 5.9. sähkökalastuksella saatuihin tiheysarvioihin (0+ poi- kasia 8,6 kpl/100 m<sup>2</sup> ; >0+ poikasia 9,4 kpl/ 100 m<sup>2</sup>) vertaamalla voidaan saada suuntaa antava tulos menetelmien välisestä yhteydestä. Tämän perusteella sukeltamalla nähdään karkeasti arvioiden 70 % 0+ ja 43 % >0+ poikasista. Näihin tuloksiin sukellus- ja sähkökalastusmenetelmän yhteydestä tulee kuitenkin suhtautua erittäin suurella varauksella.



Koska sähkökalastuksen ja sukeltamisen keskinäinen vertailu epäonnistui eri ikäisten poikasten havaitsemistodennäköisyyksistä ei saatu tietoa. Aiemmissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että kesänvanhojen poikasten havaitsemistodennäköisyys ei ole niin suuri kuin vanhempien poikasten (Cunjak ym. 1988; Heggenes ym. 1990, 1991). Suurelta osin tämä on johtunut siitä, että kesänvanhat poikaset ovat niin matalassa, ettei alueella voi tehdä havaintoja sukeltamalla. Tässä tutkimuksessa tätä ongelmaa ei ollut, sillä aivan matalimpia alueita ei ollut tarkoituskaan tutkia. Tämän vuoksi myös laskettaessa indeksiä  $S$  syvien ja matalampien alueiden tiheyksien välille, jätettiin huomioimatta alle 0,5 metrin vesialue, sillä kuten edellä on mainittu, matalassa kaloilla ei ole sama todennäköisyys tulla havaituiksi (indeksistä enemmän kohdassa 4.2.1. Lohenpoikasten sijoittuminen syvyyden suhteen).

Menetelmävertailun puuttumisen takia ei voitu todistaa pohjan raekoon vaikutusta kalojen havaitsemistodennäköisyyteen. Kirjallisuuden mukaan suurirakeisilla pohjilla kaloja nähdään suhteessa vähemmän verrattuna pienirakeisiin pohjiin (Cunjak ym. 1988; Heggenes ym. 1990). Tämä johtuu siitä, että kalojen (erityisesti 0+ poikasten) on helpompi piileskellä suurien kivien raoissa ja lisäksi sukeltajan on vaikeampi liikkua ja havainnoida kaikkia paikkoja lohkaraisessa ympäristössä.

Snorklaamalla tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että lohenpoikasia jää huomaamatta myös siksi, että ne ovat aivan pohjan välittömässä läheisyydessä (Heggenes ym. 1990). Kahta kalaa vaille kaikki lohenpoikaset olivat tässäkin tutkimuksessa aivan pohjan tuntumassa. Snorklaamalla kaloja havainnoidaan ylhäältäpäin, kun taas paineilmalaitteilla sukeltaessa kaloja on mahdollista havainnoida sivulta. Lohenpoikaset ovatkin helpommin havaittavissa sivultapäin (Gardiner 1984) ja siten paineilmasukelluksessa ei lohien pohjan läheinen olinpaikka aiheuta niin suurta virhelähdettä kuin snorklauksessa.

Vesien viilenemisen takia samalla virransuuntaisella linjalla ei ehditty sukeltaa useita kertoja. Poikivirtaan pystytetyllä linjalla toistoja tehtiin kolme kappaletta. Näiden toistosukellusten tulokset osoittavat, että kaikkia kaloja on vaikea havaita sukeltaessa linjalla vain kerran. Jos tiedossa ei ole, kuinka suuren osuuden sukeltaja havaitsee alueella olevista kaloista, on suositeltavaa tehdä useampia toistosukelluksia samalla linjalla, jotta alueella olevasta kalamäärästä saataisiin parempi kuva. Varsinkin jos tiheydet ovat suuria (kymmeniä poikasia aarilla) sukeltajalta voi herpaantumisen vuoksi jäädä poikasia huomioimatta (Heggenes ym. 1990). Tällöin olisi suositeltavaa tehdä useita toistosukelluksia.

## **4.2. Erot habitaatin valinnassa ikäryhmien ja koealojen välillä**

Tässä tutkimuksessa saadut eri ikäryhmien habitaattimuuttujien keskiluvut eivät ole verrannollisia aiempiin tutkimuksiin, sillä tutkimukset on tehty erilaisissa olosuhteissa. Tässä tutkimuksessa ei käsitelty alle 0,5 metrin syvyistä vettä, sillä tiedossa on, että ko. alueella esiintyy poikasia ja niiden määristä kerätään vuosittain runsaasti tietoa sähkökalastamalla (esim. Haikonen ym. 2003). Koska tutkitut alueet koostuivat pääosin syvistä ja kovavirtaisista alueista, myös poikasten olinpaikkaa kuvaavat keskiluvut ko. muuttujien osalta ovat pääpiirteissään suurempia kuin aiempien tutkimusten perusteella saadut luvut. Lisäksi tutkimuksen aluevalinta ei kattanut lohenpoikasten koko esiintymisaluetta (eikä edes aiemmissä tutkimuksissa havaittua optimialuetta), joten tämän tutkimuksen tuloksien ei esitetä kuvaavan esimerkiksi tietyn ikäryhmän optimaalisen alueen sijaintia.

### **4.2.1. Lohenpoikasten sijoittuminen syvyyden suhteen**

Lohenpoikasia havaittiin tutkituilla koealoilla syvemmillä kuin useimmissa aiemmissä tutkimuksissa lohenpoikasten esiintymisalueeksi on esitetty (Haapala ym. 1998). Kanadassa tehdyssä 18 jokea käsittävässä tutkimuksessa lohenpoikasten ei havaittu esiintyvän yli metrin vedessä (Scruton & Gibson 1993). Samaan tulokseen on tullut myös Morantz ym. (1987). Bremset & Berg (1996) puolestaan havaitsivat suurimmat lohenpoikastiheydet syvissä (suurin syvyys 2-4 m) suvannoissa kolmella norjalaisella joella. Myös Gardiner (1984) on havainnut poikasia yli metrin syvyisissä vesissä Skotlannissa. Tässä tutkimuksessa varsinaisen perusaineiston keruun ohessa tehtyjen virransuuntaisten sukellusten aikana >0+ lohenpoikasia havaittiin esiintyvän vielä 2,2 metrin syvyydessä ja 0+ poikasia 1,9 metrin syvyydessä. Heinäkuun loppupäivinä koealojen läheisyydessä sukellettiin koesukelluksia, joissa testattiin sukellusmenetelmän toimivuutta. Näissä sukelluksissa yksi >0+ poikanen havaittiin jopa 4,9 metrin syvyydessä ja lisäksi viisi muuta >0+ lohenpoikasta 2,7-4,0 metrin syvyyksissä yhden sukelluksen aikana (tutkittu alue 120 m<sup>2</sup>). Näiden havaintojen perusteella lohenpoikasten esiintymisalue on Muonionjoessa huomattavasti laajempi kuin alue, jota sähkökalastusmenetelmällä voidaan tutkia.

Monet tutkimukset, joissa on selvitetty lohenpoikasten habitaatinvalintaa suhteessa syvyyteen, on tehty pienissä joissa, missä yli metrin syvyyksiä alueita ei ole ollut tarjolla merkittäviä määriä tai vaihtoehtoisesti niitä ei ole tutkittu (esim. Symons & Heland 1978; Egglisshaw & Shackley 1982;

Kennedy & Strange 1982; deGraaf & Bain 1986; Heggenes & Saltveit 1990; Heggenes 1991). Habitaatin saatavillaolevuus vaikuttaa kuitenkin siihen, millä alueella lohenpoikasia esiintyy (deGraaf & Bain 1986; Heggenes 1991). Muonionjoessa syvää aluetta on tarjolla paljon, ja tästä johtuen myös syvillä alueilla esiintyy lohenpoikasia.

Lohenpoikasilla on todettu olevan laaja esiintymisalue joidenkin (esim. keskivirrannopeus, suojan määrä) ympäristömuuttujien suhteen (esim. deGraaf & Bain 1986; Heggenes 1991; Mäki-Petäys ym. 2002), etenkin >0+ poikasten osalta (Scruton & Gibson 1993). Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten mukaan lohenpoikaset esiintyvät myös syvyyden suhteen laajalla alueella. Yli kesänvanhat (>0+) poikaset esiintyivät syvyyden suhteen selvästi laajemmalla ja syvemmillä alueella kuin 0+ poikaset. Samanlaisia tuloksia ovat saaneet myös Saunders & Gee (1964), Karlström (1977), Symons & Heland (1978), Kennedy & Strange (1982) ja Veselov & Shustov (1991).

Syvyyden ei todettu olevan tärkeä tekijä >0+ poikasten olinpaikan määräytymisessä tässä tutkimuksessa. Sen sijaan niiden todettiin käyttävän eri syvyysluokkia siinä suhteessa kuin niitä oli tarjolla. Kesänvanhoilla poikasilla oli puolestaan preferenssejä syvyyden ja muiden ympäristöparametrien suhteen. Kesänvanhojen poikasten preferenssialue oli välillä 0,5-1,1 m. Tämä saattoi kuitenkin olla seurausta siitä, että ympäristöparametrit olivat korreloituneita ja tietyn syvyysalueen preferointi saattoikin kuvata tietyn virrannopeusalueen preferoimista. Myös deGraaf & Bain (1986) ovat saaneet vastaavanlaisia tuloksia. Heidänkään tutkimuksessa veden syvyys ei näyttänyt olevan merkittävä tekijä lohenpoikasten olinpaikan määräytymisessä, vaan sijoittumisen määräsi kuonovirrannopeus (virrannopeus joka on mitattu suoraan kalan kuonon kohdalta). Myös Morantz ym. (1987) sekä Karlström (1977) ovat havainneet, ettei syvyydellä ole suurta merkitystä lohen olinpaikan määräytymisessä, vaan paikan määräävät pikemminkin muut tekijät.

Sen lisäksi, että syvää aluetta on tarjolla paljon Muonionjoessa, syvien alueiden käyttö voi olla seurausta siitä, että syvyys toimii yläpuolisena suojana predaatiolta. Mahdollisia predaation aiheuttajia Muonionjoessa ovat koskelot (*Mergus* sp.), minkki (*Mustela vison* Schreb.) sekä kaloista made (*Lota lota* (L.)) ja hauki (*Esox lucius* L.). Gibsonin ja Powerin (1975) mukaan lohenpoikasen päällä oleva yli 50 cm vesipatsas voi toimia yläpuolisena suojana. Matalammassa vedessä lohenpoikaset etsivät aktiivisesti varjoisia olinpaikkoja, mutta kun veden syvyys oli puolen metrin luokkaa, vastaavaa käytöstä ei enää esiintynyt (Gibson & Power 1975). Muonionjoen rannoilla ei ole tarjolla esimerkiksi puiden oksien tms. tarjoamaa suojaa, sillä rantakasvillisuus on kaukana vesirajasta. Tämän takia matalissa rantavesissä suojana voivat toimia vain sopivat kivet, vesisammal tai pinnan

turbulenssi (Gibson 1978). Tutkituilla alueilla veden pinta ei ollut suurelta osin rikkoutunutta, joten turbulenssin antamaa suojaa oli tarjolla hyvin vähän. Myös rantojen lähellä oleva vesisammal oli rajoittunut muutamiin kohtiin, sillä jäämassat irrottavat sitä matalilta ranta-alueilta jäidenlähdön aikaan. Koska muita suojapaikkoja on siis tarjolla vain rajallinen määrä, poikaset saattavat siirtyä syville alueille, joissa yläpuolinen vesipatsas tarjoaa hyvän suojan predaatiolta.

LeRoy Poff & Huryn (1998) toteavat, että lohenpoikasten tuotanto voi kärsiä jäiden pohjakiviin aiheuttaman hankausvaikutuksen tai tulvan vuoksi. Kevättulva ja jäiden lähtö ovat Muonionjoessa massiivisia tapahtumia ja juuri matalat ranta-alueet ovat alttiina näiden vaikutuksille. Tämän takia lohenpoikaset saattavat siirtyä oleilemaan syville alueille, jotka tarjoavat poikasille hydraulisesti suotuisaa oleskelualueita esimerkiksi tulvan ja jäidenlähdön aikana. Bremset & Berg (1997) ovat puolestaan ehdottaneet, että syynä lohenpoikasten esiintymiseen syvissä suvannoissa voisi olla se, että ravintoa on tarjolla enemmän kuin koskissa.

Joissain tutkimuksissa on havaittu, että taimenenpoikaset esiintyvät matalammilla alueilla kuin lohenpoikaset (Lindroth 1955; Heggenes & Saltveit 1990). Vahvempana kilpailijana (Karlström 1977) taimen voisi näin ollen ajaa lohen syvempiin joenosiin. Muonionjoessa taimenen aiheuttama kilpailu habitaateista ei ole syynä lohenpoikasten syvien habitaattien käyttöön pääuomassa, sillä kuten jo aiemmin on mainittu, taimen esiintyy Muonionjoen vesistöissä pääasiassa sivujoissa (Ikonen ym. 1986; Nylander & Romakkaniemi 1995). Lisäksi taimenen on joissain tutkimuksissa sanottu esiintyvän syvemmillä alueilla kuin lohen lajien eläessä sympatriassa (Egglisshaw & Shackley 1982; Kennedy & Strange 1982), joten edellä mainitut tutkimustulokset ovat ristiriidassa keskenään.

Lohenpoikasten määrää syvällä arvioitiin indeksin  $S$  avulla, sillä sähkökalastuksen ja sukellusmenetelmän vertailussa ei saatu luotettavia tuloksia. Indeksi tehtiin keskisyvien ja syvien alueiden välille, sillä tutkimukseen kuului hyvin vähän matalaa aluetta. Lisäksi indeksin laskemisen perusehtona oli, että verrattavilla syvyysvyöhykkeillä olleita kaloja havainnoitiin samalla todennäköisyydellä. Matalat alueet mukaan ottamalla tätä ehtoa oltaisiin rikottu, sillä matalassa vedessä sukellusmenetelmällä ei ole mahdollista havaita poikasia samalla tehokkuudella kuin syvässä menetelmän epäsopivuuden vuoksi (ks. kohta 4.1.1. Virran suunnassa sukeltaminen). Lisäksi lohenpoikaset hakevat piilopaikkoja tehokkaammin matalassa kuin yli puolen metrin syvyisessä vedessä, jossa yläpuolinen vesipatsas toimii suojana predaatiolta (Gibson & Power 1975). Tämä heikentää edelleen todennäköisyyttä kalan havaitsemiseen matalassa vedessä. Vaikka pohjan raekoko oli hetero-

geenista kiveä kussakin mittauspisteessä, raekokoa voitiin pitää homogeenisenä keskisyvien ja syvien alueiden välillä. Näin ollen voidaan perustellusti olettaa, että lohenpoikasten havaitsemistodennäköisyys keskisyvien ja syvien alueiden välillä on sama (poikasten määrää aliarvioidaan molemmilla alueilla yhtä paljon).

Indeksin laskemisessa käytetty keskisyvä vesi on sähkökalastettavissa olevaa aluetta, ja tulevaisuudessa tätä kautta voidaan arvioida tietyllä alueella olevien poikasten määrää myös syvissä habitateissa. Indeksien arvojen soveltaminen varsinkin 0+ poikasille on mahdollista, sillä ne preferoivat aineiston mukaan tiettyjä syvyysvyöhykkeitä. Kuitenkin täytyy huomata, että 0+ kalojen indeksi on laskettu varsin vähäisten havaintojen perusteella. Vanhemmilla poikasilla indeksin arvon soveltaminen syvien alueiden kalamäärien laskemiseen on arveluttavaa. Aineiston perusteella >0+ kalat eivät preferoineet mitään tässä tutkimuksessa käsiteltyä syvyysaluetta, sillä tilastollisesti poikasten oleskelualueiden ympäristöparametrien eri luokkien osuudet eivät poikenneet alueella tarjolla olleista osuuksista. Tämä tarkoittaa sitä, että >0+ poikasten tiheys pitäisi olla sama erilaisilla alueilla ja tämän vuoksi >0+ poikasilla indeksin arvon olisikin tullut laskennallisesti olla yksi. Koska laskettu indeksin arvo kuitenkin poikkesi arvosta yksi (0,79), myös vanhemmilla poikasilla täytyy ilmeisesti olla preferenssejä syvyyden suhteen ainakin joillain koealoilla.

#### **4.2.2. Lohenpoikasten sijoittuminen muiden ympäristöparametrien suhteen**

Tässä tutkimuksessa lohenpoikasten eri ikäryhmien havaittiin esiintyvän erilaisilla virrannopeusalueilla. Kirjallisuudesta löytyvissä viitteissä on sekä havaintoa tukevia että sen kanssa ristiriidassa olevia tuloksia. Wańkowski ja Thorpe (1979) havaitsivat, että vanhemmat poikaset oleilevat kovemmassa virrassa kuin nuoremmat, kesänvanhat poikaset. Samanlaisia tuloksia ovat saaneet myös Keenleyside (1962), Rimmer ym. (1984) ja Veselov & Shustov (1991). Morantzin ym. (1987) tulosten mukaan vanhemmat poikaset voivat olla kovemmassa virrassa, sillä >0+ poikasten preferenssialue sisältää nuorempien poikasten preferenssialueen, mutta lisäksi myös kovemman virran alueita. DeGraaf ja Bain (1986) sekä Scruton ja Gibson (1993) puolestaan esittävät habitaatin soveltuvuuskäyriä, joissa 0+ kalat esiintyvät jopa kovemmassa virrassa kuin >0+ poikaset. Symons ja Heland (1978) sekä Heggenes (1991) eivät havainneet eroja eri ikäisten (kokoisten) poikasten virrannopeusalueessa. Heggenesin tutkimuksessa koealueella esiintyi kuitenkin vain yksi ikäryhmä kerrallaan, jolloin tilanne ei vastannut luonnossa olevaa todellisuutta. Tästä voidaan kuitenkin päätellä, että muissa tutkimuksissa havaittu ero virrannopeusalueiden (ja myös erilaisten syvyysvyöhykkei-

den) käytön välillä eri ikäryhmissä voi olla seurausta lajin sisäisestä kilpailusta, jossa vanhemmat poikaset ajavat nuoremmat tietyille alueelle. Näin toteavat myös Symons ja Heland (1978). Syy ristiriitaisiin tuloksiin tutkimusten välillä voi olla myös habitaatin erilainen saatavillaolevuus. Heggenes (1991) esittää tutkimusten välillä olevien erojen johtuvan siitä, että preferenssit voivat vaihdella sen mukaan millaisessa ympäristössä (makrohabitaatissa) lohenpoikaset elävät ja paljonko niissä on kutakin aluetta tarjolla.

Tässä tutkimuksessa ikäryhmien esiintyminen eri virrannopeuksissa voi olla myös suoraa seurausta siitä, että 0+ kalat preferoivat tiettyä virrannopeusalueutta (0,3-0,7 m/s pinta- ja 0,1-0,6 m/s keskivirrannopeus), kun puolestaan >0+ poikasilla preferenssejä ei havaittu. Tällöin on luonnollista, että eroja löytyy verrattaessa eri ikäryhmien keskilukuja tai jakaumia tietyn ympäristöparametrin osalta.

Erot eri ikäryhmien virrannopeusalueiden (ja myös syvyysalueiden ja suojakiven koon) käytössä voivat johtua myös kalojen havainnointimenetelmästä. Jos tutkimus tehdään sukeltamalla ja tutkimusalueeseen sisällytetään matalia alueita, saattavat tulokset olla virheellisiä 0+ kalojen osalta (ks. kohta 2.2.1. Potentiaaliset tutkimusmenetelmät syvässä vedessä). Lisäksi tulokset ovat vinoutuneita erityisesti silloin kun on havaittu virrannopeuden ja pohjan raekoon olevan positiivisesti korreloituneita. Tällöin virrannopeuden kasvaessa myöskin raekoko kasvaa mutta 0+ kalojen havaitsemistodennäköisyys heikkenee (ks. kohta 4.1.3. Sukellusmenetelmän luotettavuus) eikä niitä nähdä siinä suhteessa kuin >0+ poikasista. Tämä saatetaan kuitenkin tulkita virheellisesti siten, että 0+ kalat eivät käytä kovempaa virrannopeusalueutta.

Pintavirran- tai keskivirrannopeus eivät vaikuttaneet sukellusten perusteella olevan kovinkaan kuvaavia ympäristömuuttujia syvässä vesipatsaassa. Sukellessa havaittiin, että erittäin voimakkaidenkin pintavirrannopeuksien alueella pohjan tuntumassa, ja varsinkin suurien kivenlohkareiden takana, virtaus saattoi olla hyvinkin rauhallinen. Lohenpoikasten olinpaikkaa kuvaisikin ilmeisesti parhaiten juuri kuonovirrannopeus, kuten deGraaf & Bain (1986) ja Morantz ym. (1987) ovat ehdottaneet. Kuitenkaan Heggenes & Saltveit (1990) ja Heggenes (1991) eivät pidä kuonovirrannopeutta informatiivisena mittarina. Lisäksi kuonovirrannopeutta on vaikea mitata syvissä ja voimakkaasti virtaavissa habitaateissa.

Lohenpoikaset olivat sijoittuneet vaihtelevankokoisten suojakivien taakse. Havaittu ero ikäryhmien välillä on yhtenevä kirjallisuudessa esiintyvien tietojen kanssa (Symons & Heland 1978; Morantz

1987; Scruton & Gibson 1993; Mäki-Petäys ym. 2002), joskaan kaikissa tutkimuksissa eroa suojakiven koossa ikäryhmien välillä ei ole havaittu (Rimmer ym. 1984; deGraaf & Bain 1986).

Syvällä >0+ poikaset käyttivät keskimäärin suurempia suojakiviä kuin samanikäiset poikaset matalassa. Tämä saattaa olla seurausta siitä, että isompien kivien taakse muodostuu suurempi alue virtaukseltaan sopivaa mikrohabitaattia kuin pienten. Matalammassa, jossa ympäröivä virrannopeus ei ollut niin suuri kuin syvillä alueilla, sopivaa mikrohabitaattia (ts. sopivaa kuonovirrannopeusalueita) on tarjolla täten enemmän ilmankin suurten kivien muodostamia heikompivirtaisia alueita. Yhteisenä tekijänä suojakiville havaittiin olevan sekä syvässä että matalassa sen, että suojakiven takana ei ollut liikkuvaa hiekkaa. Yhtään lohenpoikasta ei havaittu sellaisten kivien suojassa, joiden takana oleva hiekka oli liikkeessä joen aiheuttaman virtauksen vuoksi. Kiven takana paikoillaan oleva hiekka ei ollut esteenä lohenpoikasien esiintymiselle.

Kesänvanhoilla poikasilla havaitut habitaattipreferenssit saavat tukea aiemmista tutkimuksista varsinkin keskivirrannopeuden osalta (deGraaf & Bain 1986; Heggenes 1991; Mäki-Petäys ym. 2002). Mielenkiintoinen huomio on myös se, että Mäki-Petäyksen ym. (2002) esittämä syvyyspreferenssikäyrä < 9 cm kaloille (0+) Tenojoella osoittaa preferoitujen alueiden olevan samankaltaisia kuin nyt Muonionjoella havaitut. Myös Tenojoella lohenpoikasille on tarjolla paljon syviä alueita. Tämä todistaa edelleen, että preferenssit eroavat alueiden välillä sen mukaan, millaista aluetta poikasille on tarjolla (Heggenes 1991; Mäki-Petäys ym. 2002). Tässä tutkimuksessa havaittu laaja preferenssialue virrannopeuksien ja syvyyden suhteen osoittaa, että nämä muuttujat eivät välttämättä kuvaa hyvin niitä olosuhteita, jotka varsinaisesti määräävät poikasen paikan joessa. Laaja preferenssialue ja erilaiset preferenssit alueiden välillä kertovat lohenpoikasten kyvystä sopeutua hyvin erilaisille alueille ja sietää laajaa ympäristöparametrien vaihteluväliä.

Tämä tutkimus poikkeaa useimmista aiemmista tutkimuksista siinä, että >0+ poikaset käyttivät eri habitaatteja siinä suhteessa kuin niitä oli ympäristössä tarjolla. Syynä tähän voi olla, että poikasten kuonovirrannopeus määrää >0+ poikasen paikan ja muiden muuttujien osalta preferenssejä ei ole. Tämä voi johtua myös siitä, että matalia alueita ei tutkittu ja preferoidut alueet saattoivat sijaita siellä.

### **4.2.3. Lohenpoikasten sijoittuminen eri koealoilla**

Koealojen välillä olleet erot tietyn ikäryhmän sisällä selittyvät edellä mainituilla seikoilla. Kaikki löydetyt erot selittyvät koealan habitaatin saatavillaolevuudella. Varsinkin >0+ poikasilla, jotka eivät aineiston mukaan preferoineet tiettyjä vyöhykkeitä, on luonnollista, että eroja on koealojen välillä mikäli koealojen fyysiset ominaisuudet poikkeavat tarpeeksi. Toisaalta myös koealojen välisten erojen puuttuminen 0+ kaloilla esimerkiksi syvyyden ja keskivirrannopeuden suhteen, kuvaa juuri sitä, että kesänvanhat kalat preferoivat samanlaista vyöhykettä kaikilla koealoilla. Lisäksi erojen olemassaolo 0+ poikasilla muiden ympäristöparametrien osalta kuvaa sitä, että preferenssit voivat vaihdella alueiden välillä habitaatin saatavillaolevuuden mukaan (Heggenes 1991).

Lohenpoikasten ympäristöparametrien arvojen vertaamiseen koealojen välillä liittyy lisäksi menetelmästä aiheutuvia virhelähteitä, jotka voivat vääristää tuloksia. Esimerkiksi säätilan tai veden lämpötilan vaikutus kalan havaitsemistodennäköisyyteen voi saada aikaan näennäisiä eroja kalojen sijoittumisessa koealojen välillä. Lisäksi kalahavaintomäärät koealojen välillä tehdyissä vertailuissa olivat pienet ja tämän vuoksi myös sattuma voi vaikuttaa tuloksiin.

### **4.3. Jatkotutkimuksen kohteita**

Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista selvittää, muuttuuko lohenpoikasten käyttämän syvän habitaatin ympäristöparametrit eri vuodenaikoina. Lisäksi tulisi pystyä selvittämään muuttuvatko lohenpoikasten lukumäärät syvissä habitaateissa eri aikoina. Sukellusmenetelmän luotettavuuden selvittämiseksi sähkökalastuksen ja sukellusmenetelmän vertailua tulisi tehdä aikana, jolloin veden lämpötila on yli 15 °C. Lisäksi virran suuntaan pystytetyillä linjoilla pitäisi tehdä toistosukelluksia, jotta voitaisiin edelleen arvioida menetelmän luotettavuutta. Syvissä habitaateissa olevien lohenpoikasten olinpaikoilta tulisi kerätä tietoa kuonovirrannopeuksista, jotta nähtäisiin määrääkö juuri tämä tekijä lohenpoikasen sijoittumisen tietylle paikalle joessa. Myös energiataloudellista lähestymistapaa voitaisiin soveltaa syvissä habitaateissa olevien poikasten kohdalla. Tällöin nähtäisiin, saavuttavatko lohenpoikaset maksimaalisen nettoenergiahyödyn ollessaan syvissä, mahdollisesti heikkovirtaisissa mikrohabitaateissa, jotka voivat kuitenkin olla erittäin ravintorikkaita.



## 5. KIITOKSET

Societas pro Fauna et Flora Fennica ja Opetusministeriö tukivat työtäni taloudellisesti. Kenttätöissä tarvittavat välineet ja aputyövoima saatiin Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitokselta. Asumisen ja auton järjestymisestä sekä veneiden ja moottorien lainaamisesta ja muusta ylenpalttisesta avusta tahtoisin erityisesti kiittää Muonion kalanviljelylaitoksen tuotantopäällikköä Juha Iivaria ja kalastusmestari Rainer Määttä.

Kenttätöissä erittäin suurena apuna olivat Kari Pulkkinen ja Sauli Vatanen, joille kuuluu nöyryyden kiitos. Rakentavia ideoita sukelluksen toteuttamiseen antoi Pauliina Louhi. Matti Ankkuriniemi oli suurena apuna erilaisten välineiden hankkimisessa ja tarvikkeiden korjaamisessa. Surfer-ohjelman käytön saloihin minut johdatti Juha Lilja. Ari Haikonen oli suureksi avuksi useissa käytännön asioissa ja karttojen käsittelyssä. Korvaamatonta apua niin lastenhoidossa kuin tekstin oikoluvussakin antoi puolisoni Jonna Karhunen.

Lopuksi tahtoisin kiittää ohjaajaani Atso Romakkaniemeä ja Pro gradu työni tarkastajia Hannu Lehtosta ja Pekka Tuunaista, jotka joutuivat tekemään työnsä kireässä aikataulussa.

## 6. KIRJALLISUUS

- Albertson, M. L., Barton, J. R. & Simons, D. B. 1960. Fluid mechanics for engineers. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, Inc. 561 s.
- Anonyymi. 1997. Fish collection methods and standards. Version 4.0. B.C. Ministry of Environment, Lands and Parks, Fish Inventory Unit for the Aquatic Ecosystems Task Force, Resources Inventory Committee. 58 s. [www-dokumentti: <http://www.for.gov.bc.ca/risc>]
- Bain, M. B., Finn, J. F. & Booke, H. E. 1985. Quantifying stream substrate for habitat analysis studies. North American Journal of Fisheries Management 5. s. 499-506.
- Brandt, A. von. 1974. Review. Netting techniques. Symposium on methodology for the survey. Monitoring and appraisal of fisheries resources in lakes and large rivers. Aviemore, Scotland, 2-4 May 1974. EIFAC/74/I/ Symposium 37. 7 s.
- Bremset, G. & Berg, O. K. 1997. Density, size-at-age, and distribution of young Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) in deep river pools. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54. s. 2827-2836.
- Böhling, P. (toim.). 1997. Kalavarat puntarissa. Helsinki, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 101 s.
- Böhling, P. & Rahikainen, M. (toim.). 1999. Kalataloustarkkailu – periaatteet ja menetelmät. Helsinki, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 303 s.
- Cressie, N. A. C. 1991. Statistics for spatial data. John Wiley and Sons, New York, USA. 900 s.
- Cunjak, R. A. 1988. Behaviour and microhabitat of young Atlantic salmon (*Salmo salar*) during winter. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 45. s. 2156-2160.
- Cunjak, R. A., Randall, R. G. & Chadwick, E. M. P. 1988. Snorkeling versus electrofishing: a comparison of census techniques in Atlantic salmon rivers. Naturaliste Canadien 115. s. 89-93.
- Dauble, D. D. & Gray, R. H. 1980. Comparison of a small seine and a backpack electrofisher to evaluate nearshore fish populations in rivers. Progressive Fish-Culturist 42. s. 93-95.
- deGraaf, D. A. & Bain, L. H. 1986. Habitat use by and preferences of juvenile Atlantic salmon in two Newfoundland rivers. Transactions of the American Fisheries Society 115. s. 671-681.
- Dolloff, A., Kershner, J & Thurow, R. 1996. Underwater observation. Teoksessa: Murphy, B. R. & Willis, D. W. (toim.). Fisheries Techniques. American Fisheries Society. s. 533-554.
- Egglshaw, H. J. & Shackley, P. E. 1982. Influence of water depth on dispersion of juvenile salmonids, *Salmo salar* L. and *S. trutta* L., in a Scottish stream. Journal of Fish Biology 21. s. 141-155.

Ensign, W. E., Angermeier, P. L. & Dolloff, C. A. 1995. Use of line transect methods to estimate abundance of benthic stream fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52. s. 213-222.

Erkinaro, J. 1995. The age structure and distribution of Atlantic salmon parr, *Salmo salar* L., in small tributaries and main stems of the subarctic River Teno, northern Finland. *Ecology of Freshwater Fish* 4. s. 53-61.

Fleming, A. I. 1998. Pattern and variability in the breeding system of Atlantic salmon (*Salmo salar*), with comparisons to other salmonids. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55 (Suppl. 1). s. 59-76.

Flemming, N. C. & Max, M. D. (toim.). 1996. *Scientific Diving. A General Code of Practice*. 2. p. Flagstaff, Arizona, USA, Best Publishing Company. 278 s.

Gardiner, W. R. 1984. Estimating population densities of salmonids in deep water in streams. *Journal of Fish Biology* 24. s. 41-49.

Gibson, R. J. 1978. The behavior of juvenile Atlantic salmon and brook trout with regard to temperature and to water velocity. *Transactions of the American Fisheries Society* 107. s. 703-712.

Gibson, R. J. & Power, G. 1975. Selection by brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) of shade related to water depth. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32. s. 1652-1656.

Gibson, R. J., Stansbury, D. E., Whalen, R. R. & Hillier, K. G. 1993. Relative habitat use, and inter-specific and intra-specific competition of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in some Newfoundland rivers. Teoksessa: Gibson, R. J. & Cutting, R. E. (toim.). *Production of juvenile Atlantic salmon, Salmo salar, in natural waters*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 118. s. 53-69.

Golden Software Inc. 1999. *Surfer 7. User's guide. Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers*. Golden Software Inc, Golden, Colorado, USA. 618 s.

Grant, J. W. A., Steingrímsson, S. Ó., Keeley, E. R. & Cunjak, R. A. Implications of territory size for the measurement and prediction of salmonid abundance in streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55 (Suppl. 1). s. 181-190.

Gries, G., Whalen, K. G., Juanes, F. & Parrish, D. L. 1997. Nocturnal activity of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in late summer: evidence of diel activity partitioning. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54. s. 1408-1413.

Haapala, A., Mäki-Petäys, A. & Huusko, A. 1998. Lohen jokipoikasille soveltuva elinympäristö ja sen käyttö. Kirjallisuusselvitys. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Kalatutkimuksia 146. 21 s.

Haikonen, A., Romakkaniemi, A., Keinänen, M., Linnansaari, T., Mäntyniemi, S., Pasternack, M. & Vatanen, S. 2002. Lohi- ja meritaimenkantojen seuranta Tornionjoessa vuonna 2001. Monitoring of the salmon and trout stock in the River Tornionjoki in 2001. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Kala- ja riistaraportteja nro. 250. 48 s.

- Haikonen, A., Romakkaniemi, A., Keinänen, M., Mäntyniemi, S. ja Vatanen, S. 2003. Lohi- ja meritaimenkantojen seuranta Tornionjoessa vuonna 2002. Monitoring of the salmon and trout stock in the River Tornionjoki in 2002. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Kala- ja riistaraportteja nro. 275. 54 s.
- Hansen, L. P. & Quinn, T. P. 1998. The marine phase of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) life cycle, with comparisons to Pacific salmon. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55 (Suppl. 1). s. 104-118.
- Heggenes, J. 1990. Habitat utilization and preferences in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in streams. Regulated Rivers - Research and Management 5. s. 341-354.
- Heggenes, J. 1991. Comparisons of habitat availability and habitat use by an allopatric cohort of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* under conditions of low competition in a Norwegian stream. Holarctic Ecology 14. s. 51-62.
- Heggenes, J., Brabrand, Å. & Saltveit, S. V. 1990. Comparison of three methods for studies of stream habitat use by young brown trout and Atlantic salmon. Transactions of the American Fisheries Society 119. s. 101-111.
- Heggenes, J., Brabrand, Å. & Saltveit, S. V. 1991. Microhabitat use by brown trout, *Salmo trutta* L. and Atlantic salmon, *S. salar* L., in a stream: a comparative study of underwater and river bank observations. Journal of Fish Biology 38. s. 259-266.
- Heggenes, J. & Saltveit, S. V. 1990. Seasonal and spatial microhabitat selection and segregation in young Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in a Norwegian river. Journal of Fish Biology 36. s. 707-721.
- Hillman, T. W., Mullan, J. W. & Griffith, J. S. 1992. Accuracy of underwater counts of juvenile chinook salmon, coho salmon, and steelhead. North American Journal of Fisheries Management 12. s. 598-603.
- Huntingford, F. A., Metcalfe, N. B. & Thorpe, J. A. 1988. Choice of feeding station in Atlantic salmon, *Salmo salar*, parr: effects of predation risk, season and life history strategy. Journal of Fish Biology 33. s. 917-924.
- Hutchings, J. A. & Jones, M. E. B. 1998. Life history variation and growth rate thresholds for maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55 (Suppl. 1). s. 22-47.
- ICES 2003. Report of the ICES Advisory Committee on Fishery Management, 2002. ICES Cooperative Research Report ... (painossa).
- Ikonen, E., Jutila, E., Koljonen, M.-L., Pruuki, V. & Romakkaniemi, A. 1986. Tornionjoen vesistön meritaimenkantojen tila, geneettiset erot ja viljelytarpeet. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Monistettuja julkaisuja 57. 103 s.
- Jacobs, J. 1974. Quantitative measurement of food selection: a modification of the forage ratio and Ivlev's electivity index. Oecologia 14, s. 413-417.

- Karlsson, L., & Karlström, Ö. 1994. The Baltic salmon (*Salmo salar* L.): its history, present situation and future. Dana 10. s. 61-85.
- Karström, Ö. 1977. Habitat selection and population densities of salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) parr in Swedish rivers with some reference to human activities. Acta Universitatis Upsaliensis 404. Doctoral dissertation. 12 s.
- Keenleyside, M. H. A. 1962. Skin-diving observations of Atlantic salmon and brook trout in the Miramichi river, New Brunswick. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 19. s. 625-634.
- Kennedy, G. J. A., & Strange, C. D. 1982. The distribution of salmonids in upland streams in relation to depth and gradient. Journal of Fish Biology 20. s. 579-591.
- Kennedy, G. J. A. & Strange, C. D. 1986. The effects of intra- and interspecific competition on the distribution of stocked juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in relation to depth and gradient in an upland trout, *Salmo trutta* L., stream. Journal of Fish Biology 29. s. 199-124.
- Keskinen, A. Lohenpoikasten esiintyminen syvissä ja matalissa habitaateissa Utsjoessa ja Tenojoessa. Helsingin yliopisto. Julkaisematon.
- Koljonen, M.-L., Jansson, H., Paaver, T., Vasin, O., & Koskiniemi, J. 1999. Phylogeographic lineages and differentiation pattern of Atlantic salmon in the Baltic Sea with management implications. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 56. s.1766-1780.
- Lapin ympäristökeskus. 2000. Tornion-Muonionjoen vesistöalue. [www-dokumentti: [http://www.vyh.fi/luosuo//n2000/lap/tayden/1912\\_1.htm](http://www.vyh.fi/luosuo//n2000/lap/tayden/1912_1.htm). Päivitetty 1.11.2000. ]
- LeRoy Poff, N. & Huryn, A. D. 1998. Multi-scale determinants of secondary production in Atlantic salmon (*Salmo salar*) streams. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55. s. 201-217.
- Lindroth, A. 1955. Distribution, territorial behaviour and movements of sea trout fry in the River Indalsälven. Report of the Institute of Freshwater Research (Drottningholm) 36. s. 104-119.
- Marschall, E. A., Quinn, T. P., Roff, D. A., Hutchings, J. A., Metcalfe, N. B., Bakke, T. A., Saunders, R. L. & LeRoy Poff, N. 1998. A framework for understanding Atlantic salmon (*Salmo salar*) life history. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55 (Suppl. 1). s. 48-58.
- MacCrimmon, H. R. & Gots, B. L. 1979. World distribution of Atlantic salmon, *Salmo salar*. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 36. s. 422-457.
- McCormick, S. D., Hansen, L. P., Quinn, T. P. & Saunders, R. L. 1998. Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55 (Suppl. 1). s. 77-92.
- Morantz, D. L., Sweeney, R. K., Shirvell, C. S. & Longard, D. A. 1987. Selection of microhabitat in summer by juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 44. s. 120-129.

- Mäki-Petäys, A., Huusko, A., Erkinaro, J. & Muotka, T. 2002. Transferability of habitat suitability criteria of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 59. s. 218-228.
- Nielsen, J. L. 1998. Population genetics and the conservation and management of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55 (Suppl. 1). s. 145-152.
- Northcote, T. G. 1974. Sampling of fish populations for evaluation of water quality conditions in large British Columbia lakes and rivers. Symposium on Methodology for the Survey, Monitoring and Appraisal of Fisheries Resources in Lakes and Large Rivers. Aviemore, Scotland, 2-4 May 1974. EIFAC/74/I/ Symposium 37. 18 s.
- Northcote, T. G. & Wilkie, D. W. 1963. Underwater census of stream fish populations. Transactions of the American Fisheries Society 92. s. 146-151.
- Nylander, E. & Romakkaniemi, A. 1995. Tornionjoen meritaimen ja sen kalastus. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Kalatutkimuksia 89. 63 s.
- Parrish, D. L., Behnke, R. J., Gephard, S. R., McCormick, S. D. & Reeves, G. H. Why aren't there more Atlantic salmon (*Salmo salar*)? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55 (Suppl. 1). s. 281-287.
- Puro-Tahvanainen, A., Viitala, L., Lundvall, D., Brännström, G. & Lundstedt, L. 2001. Tornionjoki – vesistön tila ja kuormitus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 95. 242 s.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1997. Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. 6. p. Helsinki, Yliopistopaino. 569 s.
- Rassi, P., Alanen, A., Kanerva, T. & Mannerkoski, I. (toim.). 2001. Suomen lajien uhanalaisuus 2000. Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 432 s.
- Richardson, D. (päätoim.). 1990. PADI. Open Water Diver Manual. Santa Ana, USA. PADI International. 272 s.
- Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 2001. Lohikantojen elvytysohjelma Salmon Action Plan (SAP). [www-dokumentti: <http://www.rktl.fi/kala/hoito/sap.html>. Päivitetty 5.11.2001]
- Rimmer, D. M., Paim, U. & Saunders, R. L. 1984. Changes in selection of microhabitat by juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the summer-autumn transition in a small river. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 41. s. 469-475.
- Rimmer, D. M., Paim, U. & Saunders, R. L. 1983. Autumnal habitat shift of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a small river. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 40. s. 671- 680.
- Rodgers, J. D., Solazzi, M. F., Johnson, S. L. & Buckman M. A. 1992. Comparison of three techniques to estimate juvenile coho salmon populations in small streams. North American Journal of Fisheries Management 12. s. 79-86.

Romakkaniemi, A. 1988. Tornionjoen vesistön lohen ja meritaimenen poikastuotantoalueiden inventointi. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, muistio 25.11.1988. 11 s.

Romakkaniemi, A., Perä, I., Karlsson, L., Jutila, E., Carlsson, U., & Pakarinen, T. 2003. Development of wild Atlantic salmon stocks in the rivers of the northern Baltic Sea in response to management measures. –ICES Journal of Marine Science, 60. (painossa)

Roni, P. & Fayram, A. 2000. Estimating winter salmonid abundance in small western Washington streams: A comparison of three techniques. North American Journal of Fisheries Management 20. s. 683-692.

Saunders, R. L. & Gee, J. H. 1964. Movements of young Atlantic salmon in a small stream. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 21. s. 27-36.

Scruton, D. A. & Gibson, R. J. 1993. The development of habitat suitability curves for juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in riverine habitat in insular Newfoundland, Canada. Teoksessa: Gibson, R. J. & Cutting, R. E. (toim.). Production of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, in natural waters. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 118. s. 149-161.

Slaney, P. A. & Martin, A. D. 1987. Accuracy of underwater census of trout populations in a large stream in British Columbia. North American Journal of Fisheries Management 7. s. 117-122.

Sosiak, A. J. 1982. Buoyancy comparisons between juvenile Atlantic salmon and brown trout of wild and hatchery origin. Transactions of the American Fisheries Society 111. s. 307-311.

Suomen ympäristökeskus. 2002a. Hydrologinen kuukausitiedote 2002, elokuu, veden virtaama. [www-dokumentti: <http://www.vyh.fi/tila/vesi/tilanne/hydro/hydro02/virt0802.htm>. Päivitetty 17.9.2002]

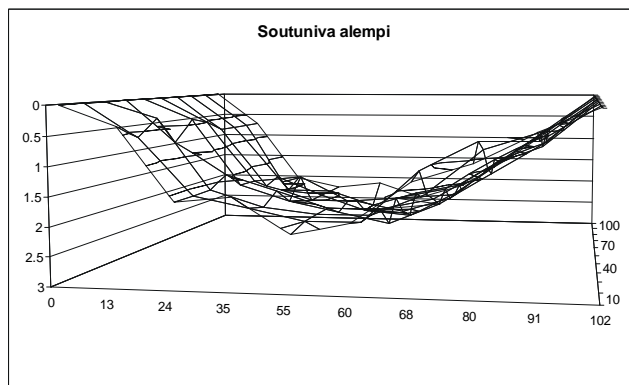
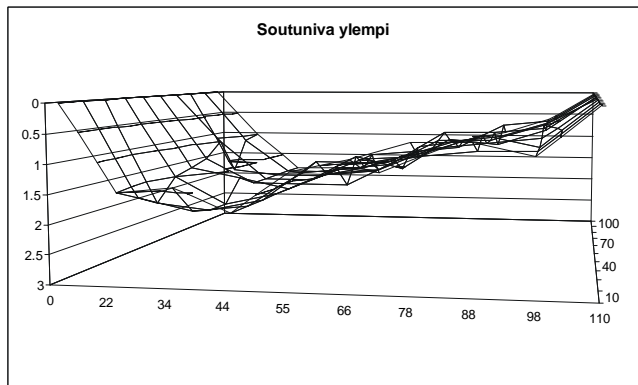
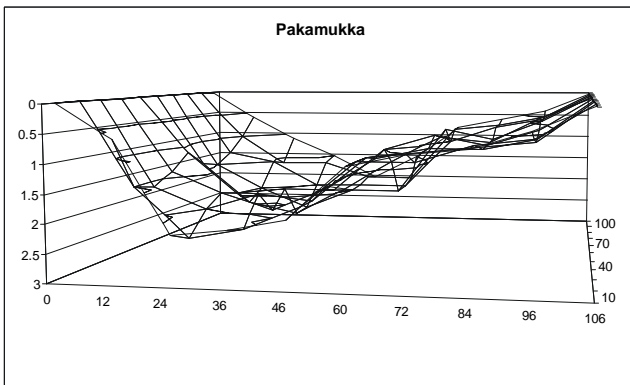
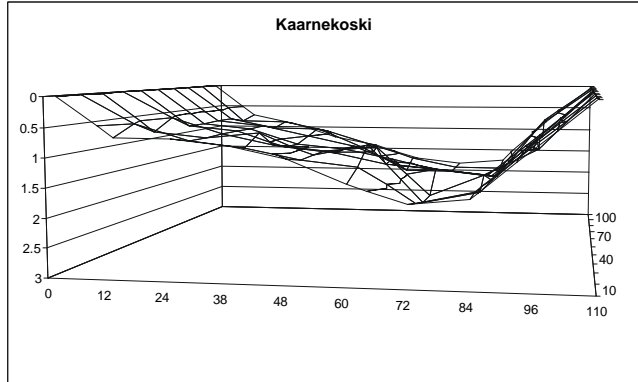
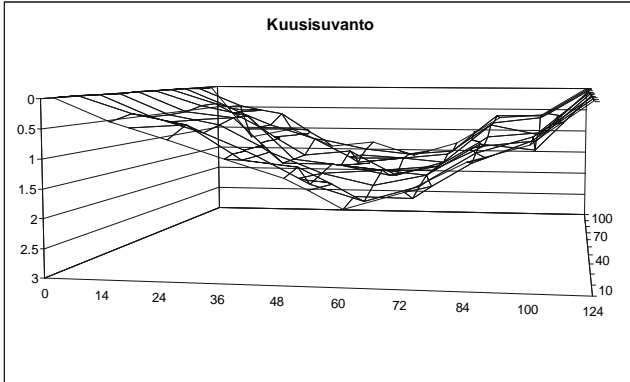
Suomen ympäristökeskus. 2002b. Hydrologinen kuukausitiedote 2002, elokuu, veden korkeus. [www-dokumentti: <http://www.vyh.fi/tila/vesi/tilanne/hydro/hydro02/vkor0802.htm>. Päivitetty 17.9.2002]

Symons, P. E. K., Heland, M. 1978. Stream habitats and behavioural interactions of underyearling and yearling Atlantic salmon (*Salmo salar*). Journal of the Fisheries Research Board of Canada 35. s. 175-183.

Veselov, A. E. & Shustov, Y. A. 1991. Seasonal behavioral characteristics and distribution of juvenile lake salmon, *Salmo salar sebago*, in rivers. Journal of Ichthyology 31. s. 145-151.

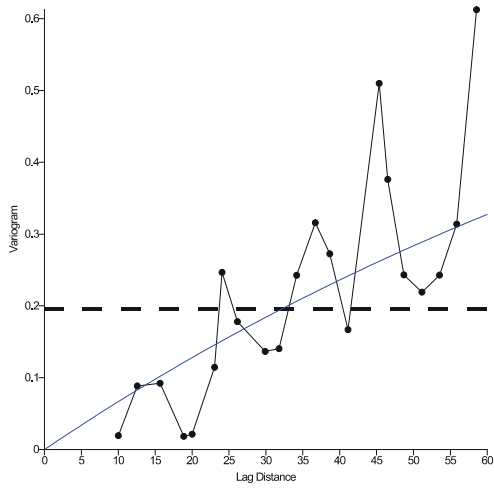
Wańkowski, J. W. J. & Thorpe, J. E. 1979. Spatial distribution and feeding in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. juveniles. Journal of Fish Biology 14. s. 239-247.

Liite 1. Koealojen uomaprofiilit. X-akselin nollakohta on Suomen rannalla (itäranta). X-akseli kuvaa joen leveyttä (m), y-akseli syvyyttä (m) ja z-akseli koealan pituutta (m).

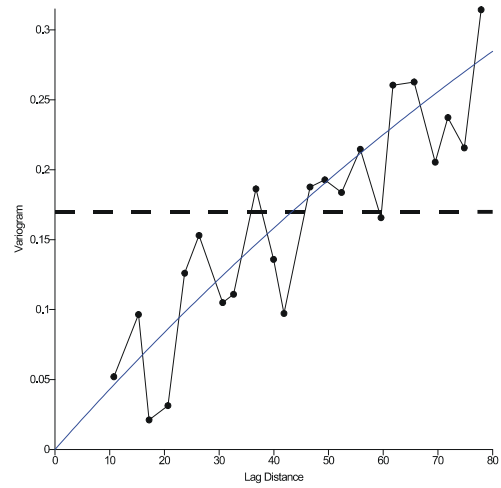




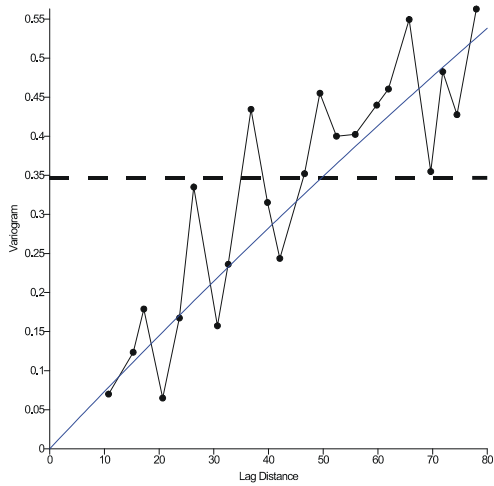
Liite 2. Variogrammit: syvyys. Parametrin muutosnopeus havaintopisteiden välisen matkan funktiona ja aineiston kokonaisvarianssi (vaakaviiva).



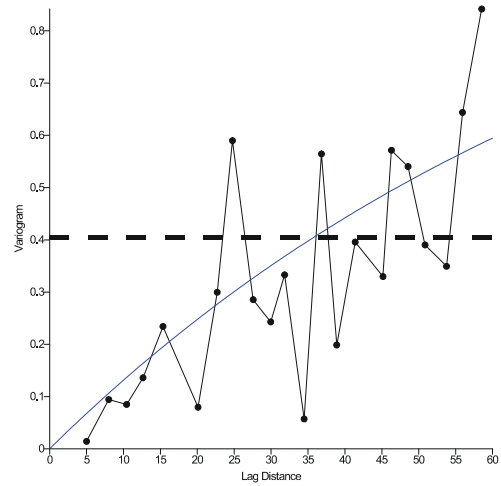
Kuusisuvanto



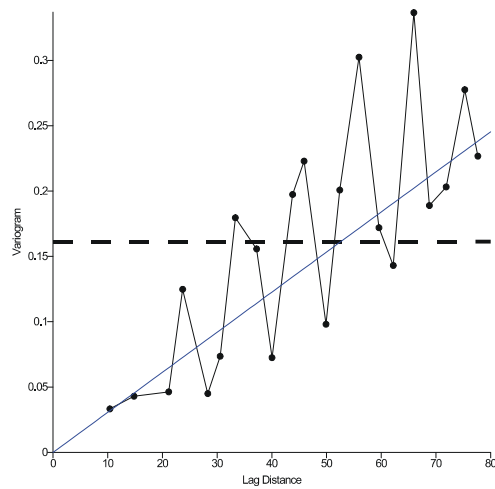
Kaarnekoski



Pakamukka

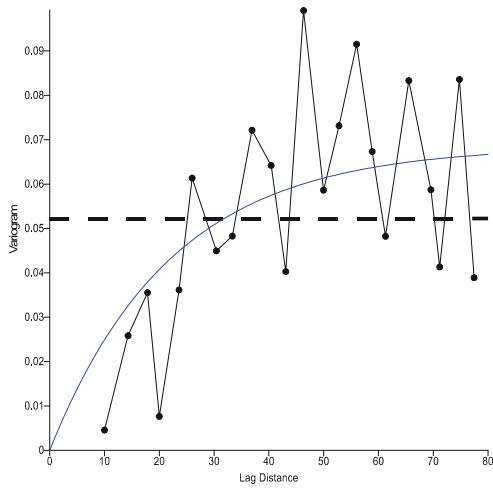


Soutuniva alempi

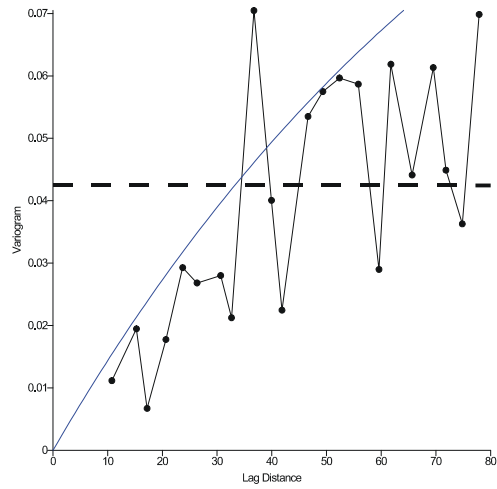


Soutuniva ylempi

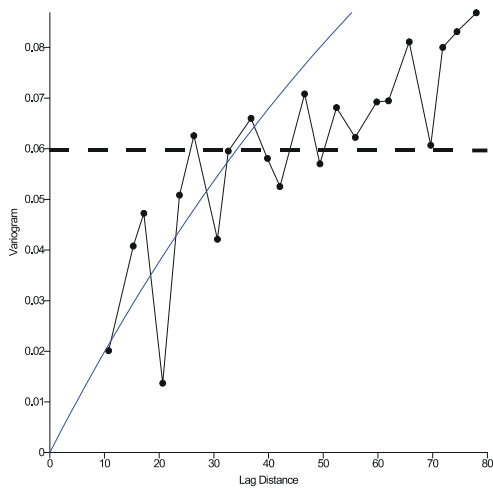
Liite 3. Variogrammit: pintavirrannopeus. Parametrin muutosnopeus havaintopisteiden välisen matkan funktiona ja aineiston kokonaisvarianssi (vaakaviiva).



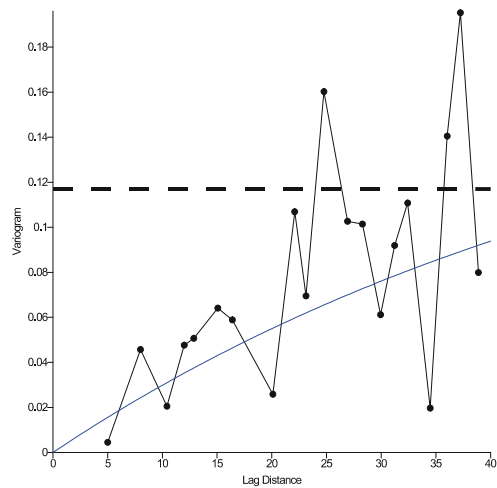
Kuusisuvanto



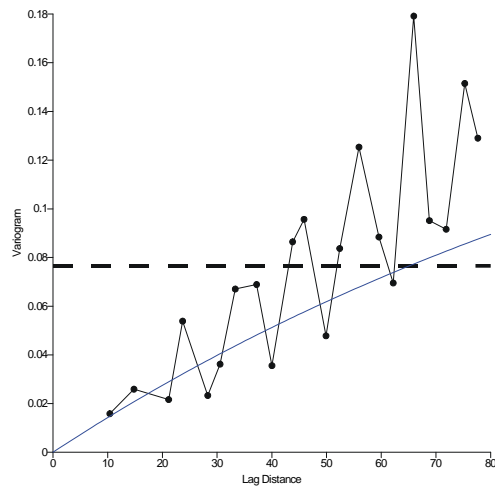
Kaarnekoski



Pakamukka

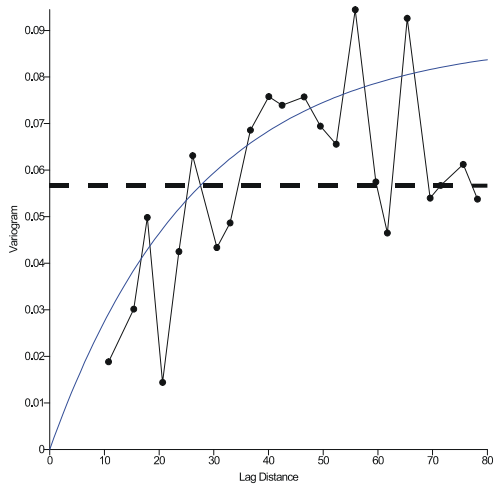


Soutuniva ylempi

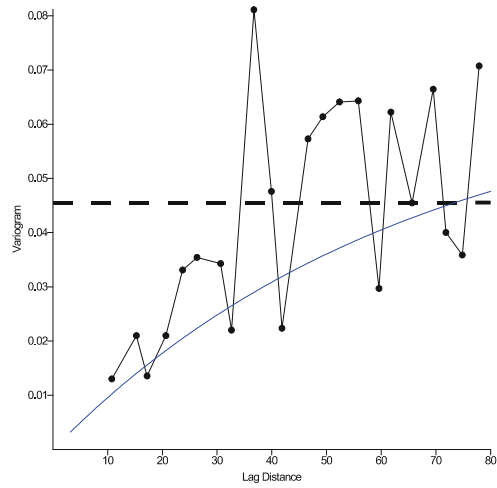


Soutuniva alempi

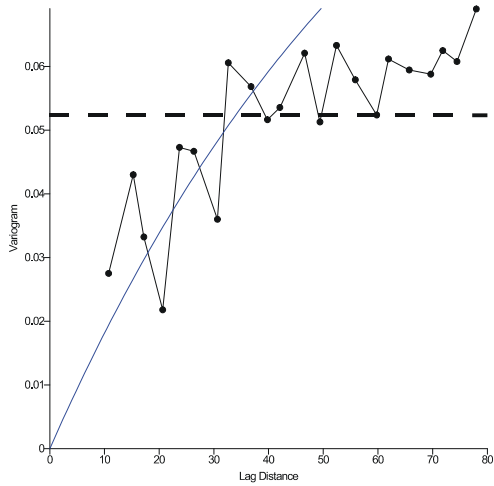
Liite 4. Variogrammit: keskivirrannopeus. Parametrin muutosnopeus havaintopisteiden välisen matkan funktiona ja aineiston kokonaisvarianssi (vaakaviiva).



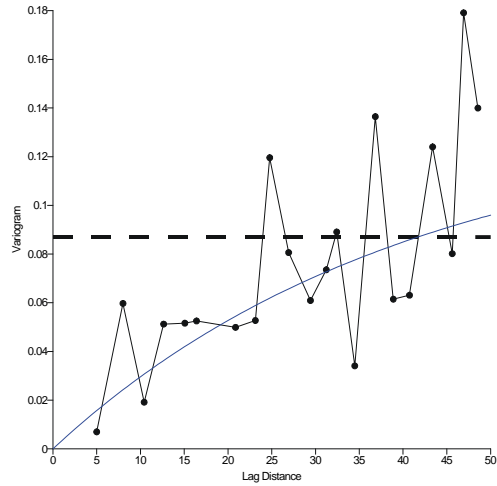
Kuusisuvanto



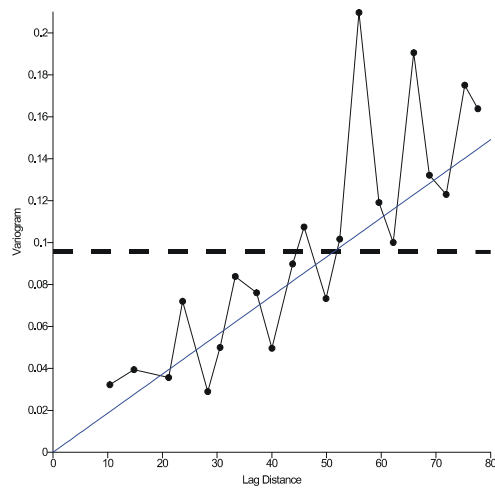
Kaarnekoski



Pakamukka

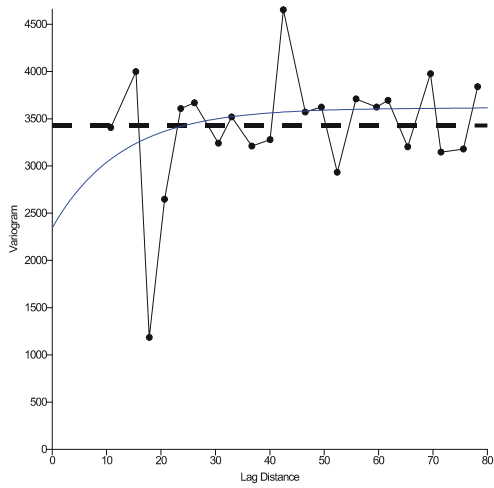


Soutuniva alempi

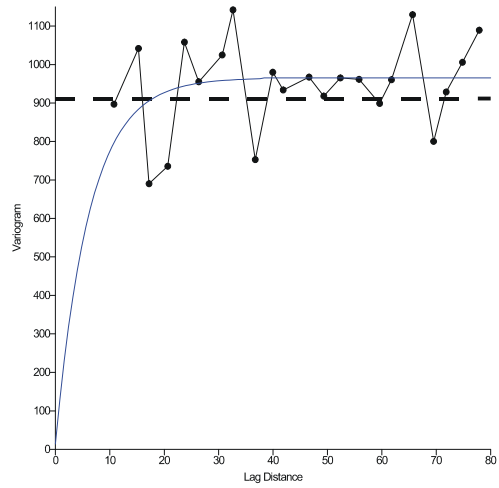


Soutuniva ylempi

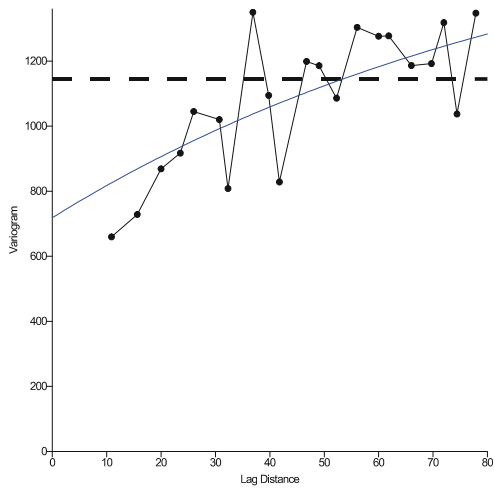
Liite 5. Variogrammit: raekoko. Parametrin muutosnopeus havaintopisteiden välisen matkan funktiona ja aineiston kokonaisvarianssi (vaakaviiva).



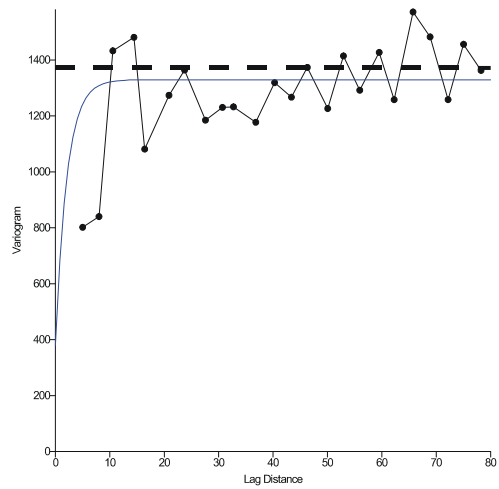
Kuusisuvanto



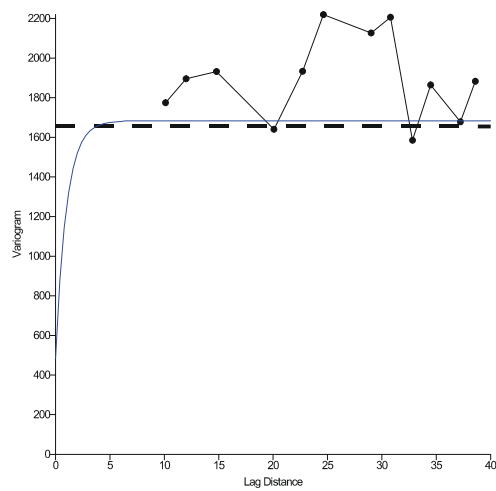
Kaarnekoski



Pakamukka

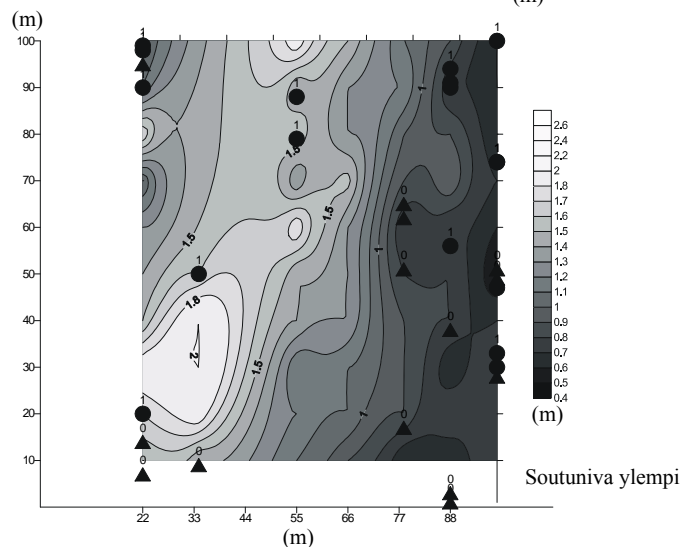
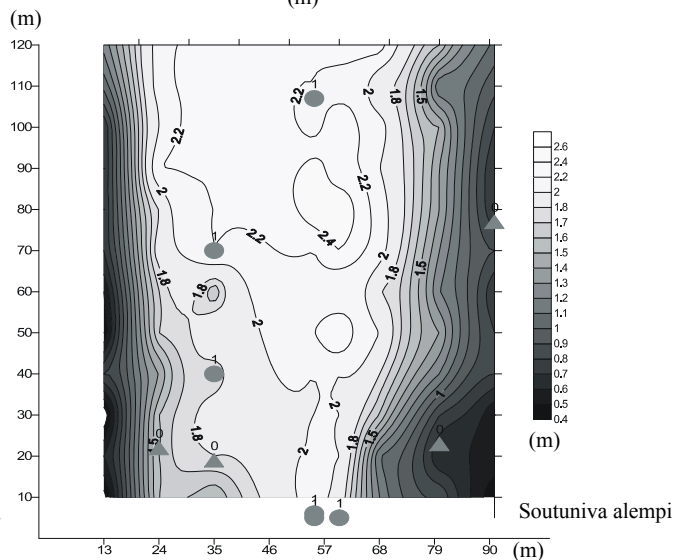
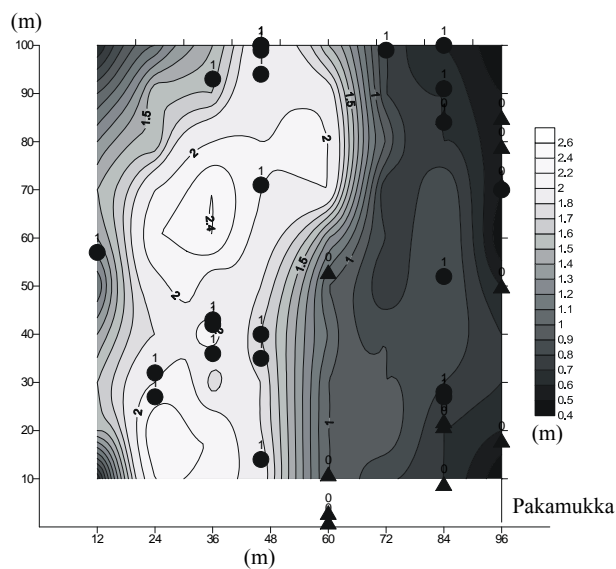
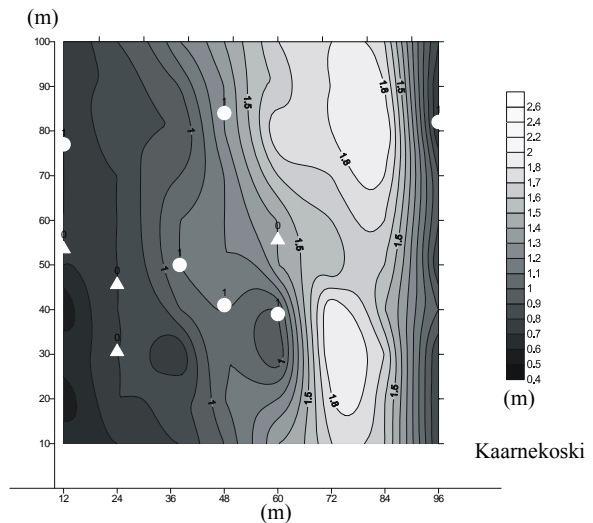
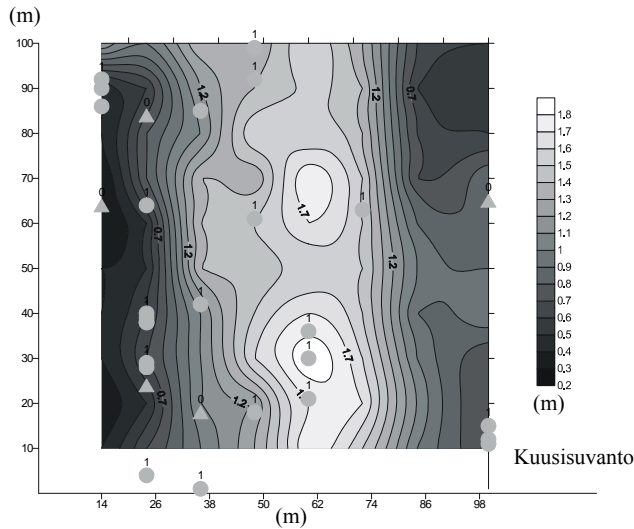


Soutuniva alempi



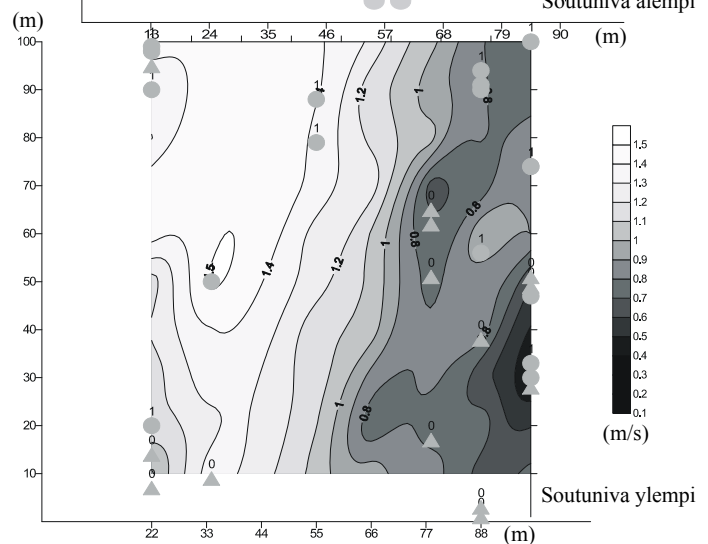
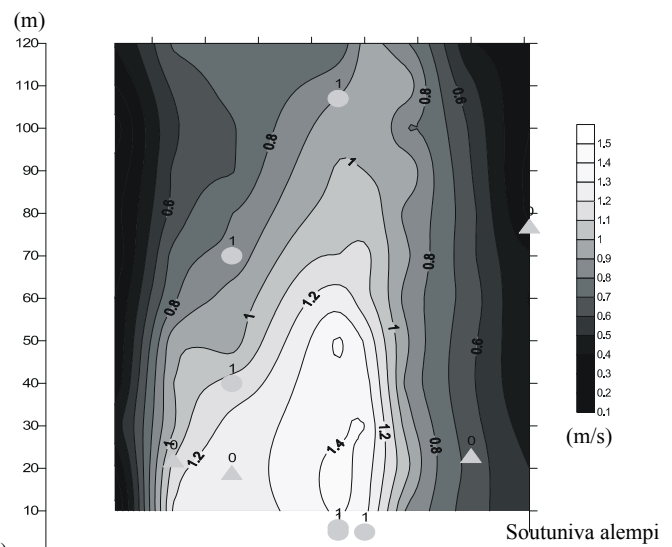
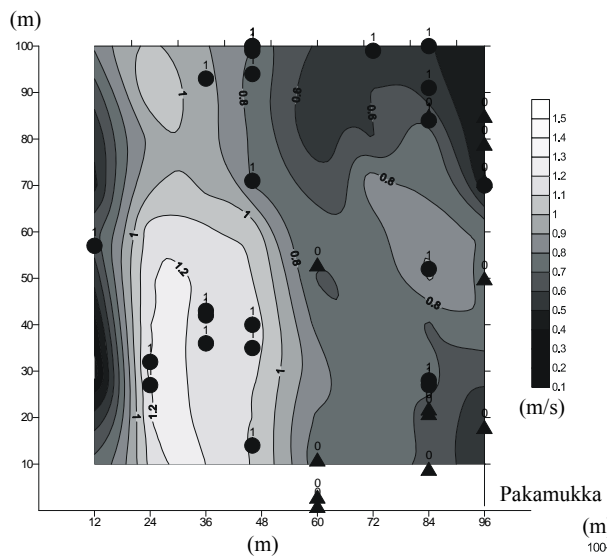
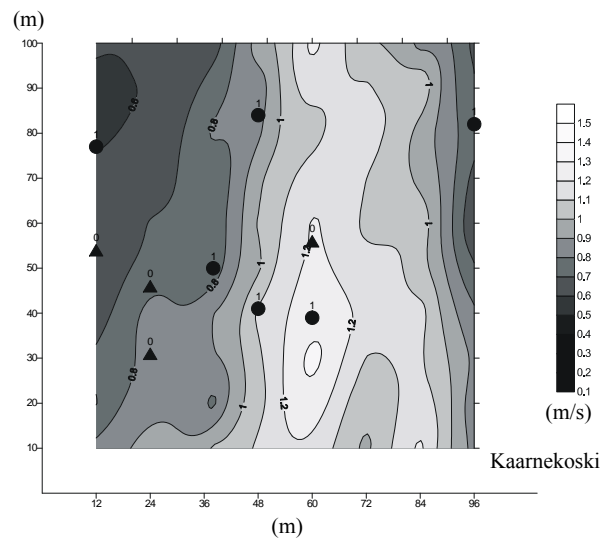
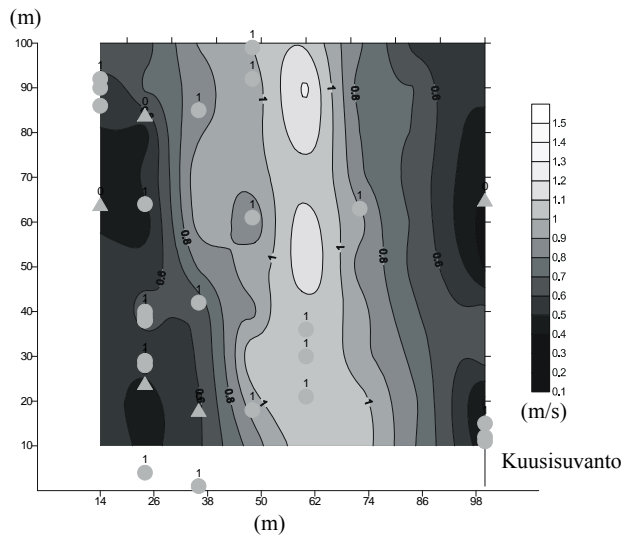
Soutuniva ylempi

Liite 6. Kalojen sijoittuminen eri syvyysvyöhykkeisiin (m) kullakin koealalla. Symboleista kolmio ja pallo kuvaavat 0+ ja >0+ poikasia vastaavassa järjestyksessä. Soutunivan koealojen kuvien (ylempi,alempi) sijainti suhteessa toisiinsa vastaa suunnilleen todellisuutta. Kuvissa Suomen ranta sijaitsee vasemmalla ja virran suunta on kuvan alareunasta ylöspäin. Huomaa akselien ja syvyysvyöhykkeiden erilainen skaalaus kuvien välillä.



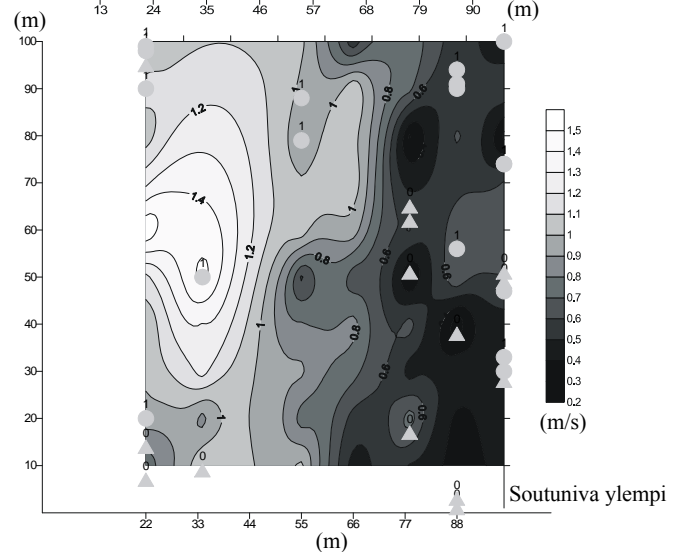
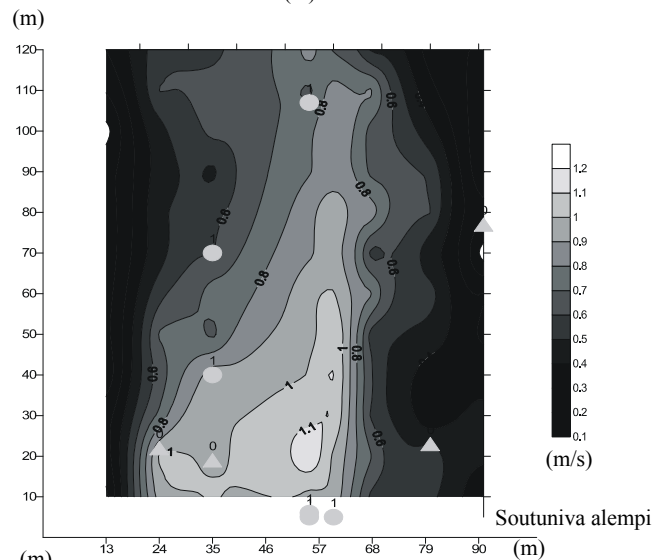
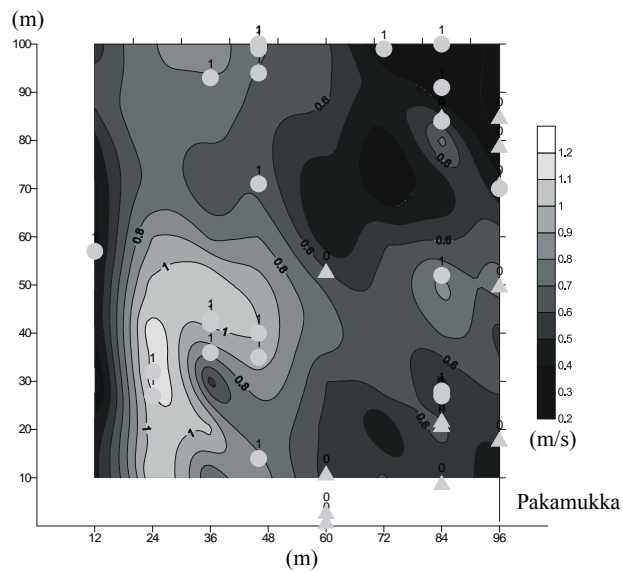
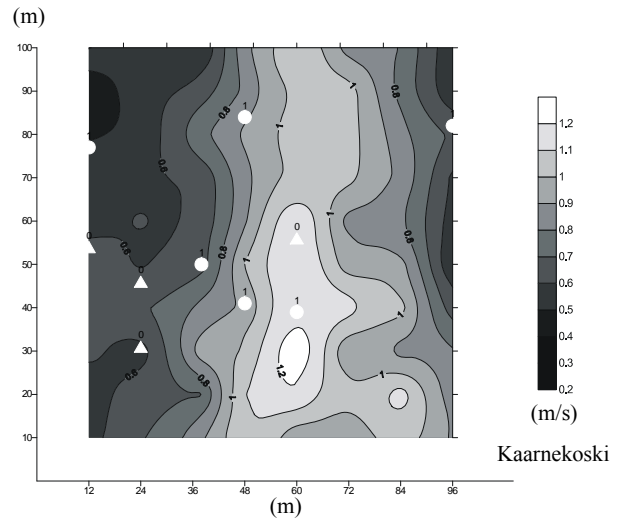
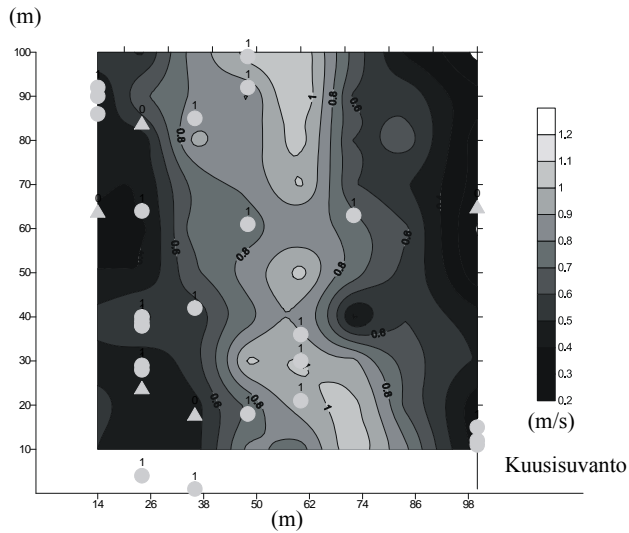
Huom! Soutunivan ylempään koealan linjalla 2 (x-akseli 33 m) sukeltettiin vain 50 m (y-akseli) ja linjaa numero 3 (x-akseli 44 m) ei sukeltettu lainkaan, joten kaloja ei ollut mahdollista havaita.

Liite 7. Lohenpoikasten sijoittuminen eri pintavirranopeusvyöhykkeille (m/s) kullakin koelalla. Symboleista kolmio ja pallo kuvaavat 0+ ja >0+ poikasia vastaavassa järjestyksessä. Soutunivan koalojen kuvien (ylempi,alempi) sijainti suhteessa toisiinsa vastaa suunnilleen todellisuutta. Kuvissa Suomen ranta sijaitsee vasemmalla ja virran suunta on kuvan alareunasta ylöspäin. Huomaa akselien erilainen skaalaus kuvien välillä.



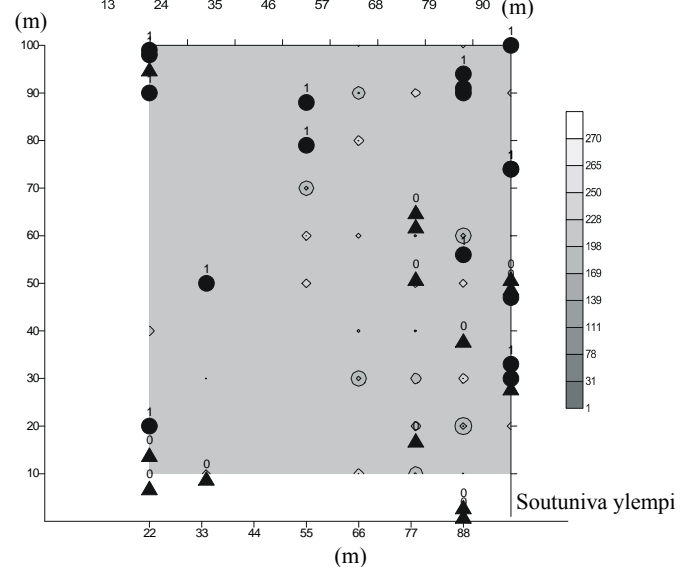
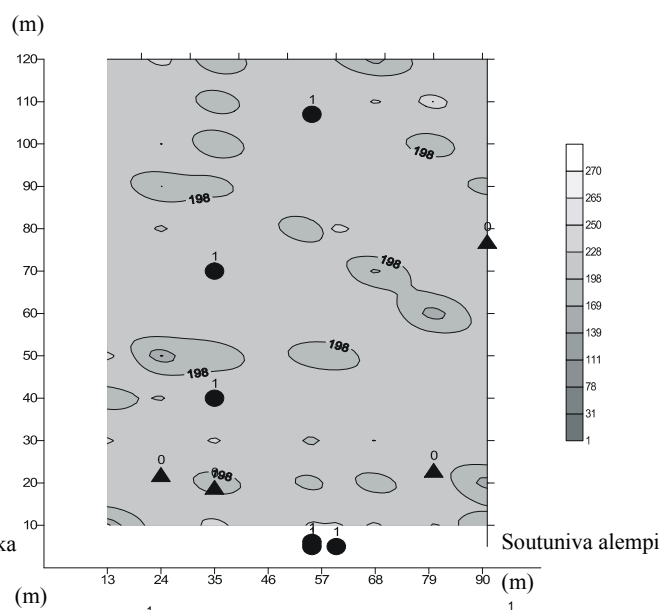
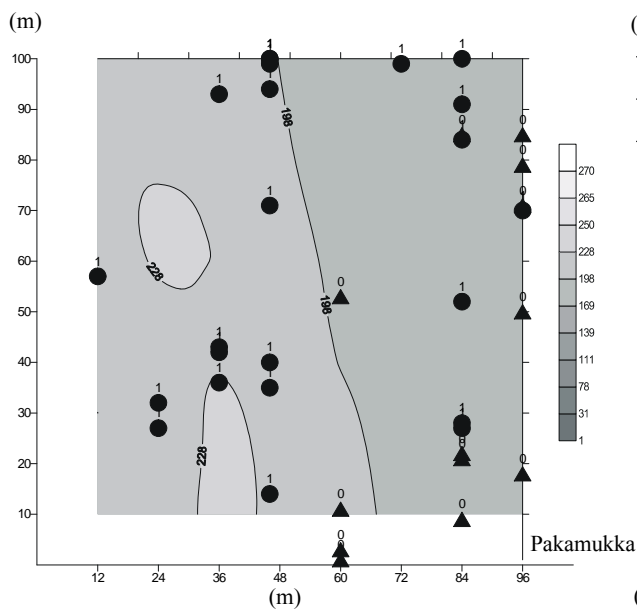
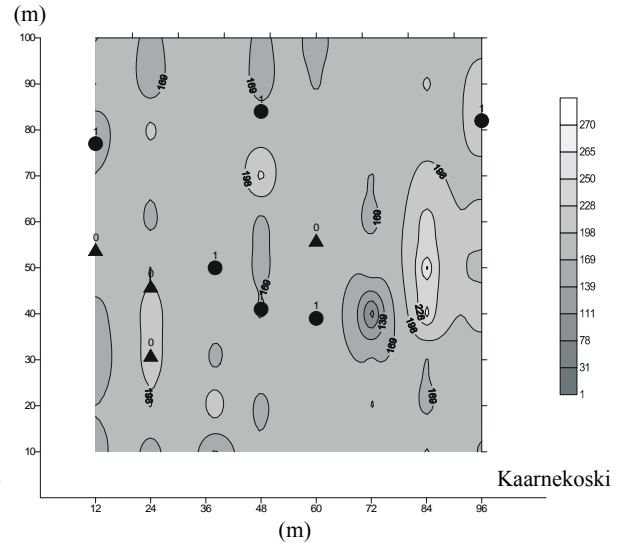
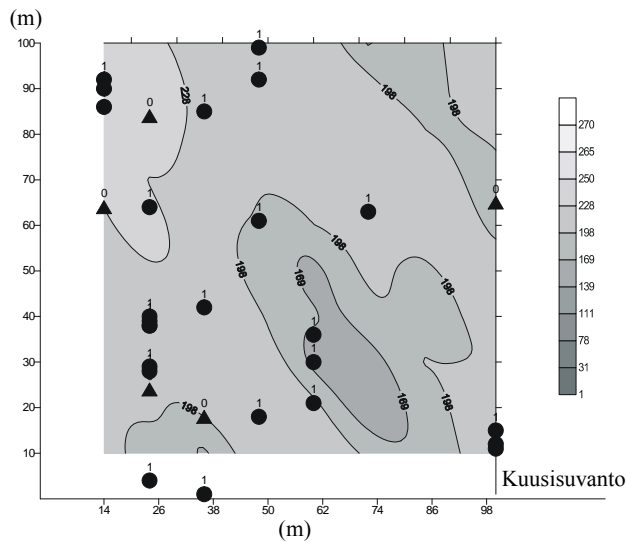
Huom! Soutunivan ylempään koelamaan linjalla 2 (x-akseli 33 m) sukeltettiin vain 50 m (y-akseli) ja linjaa numero 3 (x-akseli 44 m) ei sukeltettu lainkaan, joten kaloja ei ollut mahdollista havaita.

Liite 8. Kalojen sijoittuminen eri keskivirranopeusvyöhykkeisiin (m/s) kullakin koelalla. Symboleista kolmio ja pallo kuvaavat 0+ ja >0+ poikasia vastaavassa järjestyksessä. Soutunivan koeloiden kuvien (ylempi,alempi) sijainti suhteessa toisiinsa vastaa suunnilleen todellisuutta. Kuvissa Suomen ranta sijaitsee vasemmalla ja virran suunta on kuvan alareunasta ylöspäin. Huomaa akselien ja virranopeusvyöhykkeiden erilainen skaalaus kuvien välillä.



Huom! Soutunivan ylemmän koeloiden linjalla 2 (x-akseli 33 m) sukeltettiin vain 50 m (y-akseli) ja linjaa numero 3 (x-akseli 44 m) ei sukeltettu lainkaan, joten kaloja ei ollut mahdollista havaita.

Liite 9. Kalojen sijoittuminen eri raekokovyöhykkeisiin (indeksi) kullakin koealalla. Symboleista kolmio ja pallo kuvaavat 0+ ja >0+ poikasia vastaavassa järjestyksessä. Soutunivan koealojen kuvien (ylempi,alempi) sijainti suhteessa toisiinsa vastaa suunnilleen todellisuutta. Kuvissa Suomen ranta sijaitsee vasemmalla ja virran suunta on kuvan alareunasta ylöspäin. Huomaa akselien erilainen skaalaus kuvien välillä.



Huom! Soutunivan ylemmän koealan linjalla 2 (x-akseli 33 m) sukeltettiin vain 50 m (y-akseli) ja linjaa numero 3 (x-akseli 44 m) ei sukeltettu lainkaan, joten kaloja ei ollut mahdollista havaita.