

**Pro gradu –tutkielma**

**Taimenen (*Salmo trutta*) kutupaikkavalinta Keski-  
Suomen koskissa**

**Ilkka Tammela**



**Jyväskylän yliopisto**

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Kalabiologia ja kalatalous

11.12.2009

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Kalabiologia ja kalatalous

TAMMELA ILKKA, T.: Taimenen (*Salmo trutta*) kutupaikkavalinta Keski-Suomen koskissa

Pro gradu: 47 s.

Työn ohjaajat: FM Jukka Syrjänen & Dos. Timo Marjomäki

Tarkastajat: FT Mari Nykänen & Dos. Timo Marjomäki

Marraskuu 2009

---

Hakusanat: elinympäristön valinta, pienympäristö, virtavesien kunnostus

## TIIVISTELMÄ

Tietoa taimenen kutupaikkavalinnasta Keski-Suomen koskilla on ollut vähän. Tärkeimpinä pidetyt kutupesien ja kutualueiden ominaisuudet selvitettiin kutupesistä tehtyjen mittauksen avulla. Suosinnan selvittämiseksi kutualueiden ympäristömuuttujien arvoja verrattiin satunnaistettujen mittauspisteiden ympäristömuuttujien arvoihin. Taimenet suosivat tutkimusjokien koskiin sijoituvilla kutualueillaan noin 60–80 cm syvyyttä, 20–60 cm/s virrannopeutta, Frouden lukua väliltä 0,1–0,3 ja halkaisijaltaan 16–64 mm olevia sorapartikkeleita. Yleisin sorapartikkeleiden raekokoluokka kutualueilla oli väliltä 64–128 mm. Keskimmäiset 50 % kaikkien jokien kutupesistä sijoituivat alueille, joissa vesipatsaan keskimääräinen virrannopeus pesän ylävirranpuoleisesta muokkaamattomasta mittauspisteestä mitattuna oli 17–40 cm/s, syvyys 50–70 cm, Frouden luku 0,1–0,2 ja hallitseva sorapartikkeleiden halkaisija väliltä 32–256 mm. Vastaavasti keskimmäiset 50 % pesien häntien lakipisteistä sijaitsi 30–53 cm syvyydessä ja 3 cm pohjan yläpuolelta mitatussa 10–21 cm/s virrannopeudessa. Mitatuista muuttujista soran raekoko ja syvyys erottelivat parhaiten kutualueet satunnaisista mittauspisteistä. Niiden perusteella potentiaaliset kutualueet on mahdollista erottaa muusta koskiympäristöstä. Mesohabitaattitasolla suosituimpia kutuympäristöjä olivat pienet koskisuvannot ( $A < 100 \text{ m}^2$ ).

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science

Department of Biological and Environmental Science

Fish Biology and Fisheries

TAMMELA ILKKA, T.: Brown Trout (*Salmo trutta*) Spawning Habitat Selection in the rapids of Central Finland

Master of Science Thesis: 47 p.

Supervisors: MSc Jukka Syrjänen & Doc. Timo Marjomäki

Inspectors: PhD Mari Nykänen & Doc. Timo Marjomäki

December 2009

---

Key Words: boreal river, microhabitat, preference, rehabilitation, spawning

## ABSTRACT

There has been a lack of information on spawning habitat selection of brown trout and preference in the rapids of Central Finland. Thus, the aim of the study was to assess spawning habitat selection and preference by comparing habitat use to habitat availability. According to results, brown trout favored in investigated rapids spawning areas, where depth was between 60-80 cm, current velocity between 20-60 cm/s, Froude number between 0.1-0.3 and dominant gravel particle diameter between 16–64 mm. The most common gravel grain size class in front of the redd was 64-128 mm. Middelmost 50 % of the spawning redds (measurement point in front of the pot), were located in the areas, where the mean current velocity was 17-40 cm/ s, depth 50-70 cm, Froude number 0.1-0.2 and dominant grainsize 32-256 mm in diameter. Similarly, middlemost 50 % of the tails were located in areas, where depth was 30-53 cm and current velocity measured 3 cm above the bottom 10-21 cm/s. Among all measured variables, the most important were gravel grain size and depth, because those can be used for distinguishing potential spawning areas in rapids. In mesohabitat scale most selected spawning areas were small pools in rapids ( $A < 100 \text{ m}^2$ ).

## Sisältö

<b>1. JOHDANTO</b> .....	<b>5</b>
<b>2. TUTKIMUKSEN TAUSTA</b> .....	<b>6</b>
<b>3. AINEISTO JA MENETELMÄT</b> .....	<b>8</b>
3.1. Tutkimuskohteet.....	8
3.2. Kalasto.....	9
3.3. Kenttätöiden ajankohdat.....	10
3.4. Kutupesien etsintä ja mittaus.....	10
3.5. Ympäristön saatavuusmittaukset.....	13
3.6. Kutualueiden pienympäristöjen suosimisen, valinnan ja soveltuvuuden arviointi .....	14
3.7. Tilastolliset tarkastelut .....	16
<b>4. TULOKSET</b> .....	<b>17</b>
4.1. Kutualueiden saatavuus.....	17
4.2. Pesien rakenne ja kutualueiden valinta .....	20
4.3. Rutajoen aikasarjat .....	27
4.4. Kutualueiden suositut ominaisuudet .....	28
4.5. Kutuympäristöjen ja kutupesien ominaispiirteet.....	33
4.6. Kutualueiden valinta pienympäristöä laajemmassa mittakaavassa.....	35
4.7. Suositujen ja valittujen kaltaisten alueiden saatavuus.....	36
<b>5. TULOSTEN TARKASTELU</b> .....	<b>37</b>
5.1. Valitut kutualueet .....	37
5.2. Suositut kutualueet .....	41
5.3. Havainnot kutupesistä .....	41
5.4. Tulokset kutualueiden kunnostusten kannalta.....	42
5.5. Tulokset mäti-istutusten kannalta.....	43
5.6. Jatkotutkimustarpeita.....	43
<b>Kiitokset</b> .....	<b>44</b>
<b>Kirjallisuus</b> .....	<b>44</b>

## 1. JOHDANTO

Taimen (*Salmo trutta*) on geno- ja fenotyypiltään varsin monimuotoinen laji, minkä vuoksi koko lajia koskevia yleistyksiä on vaikea tehdä. Lajin luontainen levinneisyys etelä-pohjoissuunnassa ulottuu Pohjois-Afrikasta Venäjän pohjoisosiin ja Islantiin (Elliot 1994). Levinneisyysalueen osien toisistaan huomattavasti poikkeavien ilmasto- ja ympäristöolosuhteiden vuoksi on mahdollista, että myös taimenen kutupaikan valinta ja suosinta on erilaista eri leveysasteilla.

Eliöiden elinympäristön valinta voidaan määritellä prosessiksi, jossa yksilöt valikoivat tiettyjä elinympäristöjä systemaattisesti sen sijaan, että esiintyisivät niissä satunnaisesti (Morris 2003). Evoluutiivisesta näkökulmasta ajateltuna prosessia voidaan pitää eräänä keskeisenä kelpoisuuteen vaikuttavana tekijänä, jota ohjaa ominaisuuksiltaan suotuisien aluiden saatavuus. Eräänä esimerkkinä elinympäristöjen valinnan vaikutuksesta yksilöiden kelpoisuuteen voidaan pitää Yhdysvalloissa linnuilla tehtyä pesimäpaikkojen pienympäristötutkimusta (Martin 1998). Eri lintulajien pesimismenestys on keskimäärin parempi usein valituissa ympäristöissä kuin harvemmin valituissa. Elinympäristöjen valinnan perinnöllisyydestä on kuitenkin olemassa vähän tutkimustuloksia, mutta banaanikärpäsillä tehdyssä tutkimuksessa on saatu viitteitä siitä, että naaraiden munien laskupaikan valinta saattaa olla genotyypistä riippuvaista (Barker ym. 1994). Luonnonvalinta voi muovata eliöiden käyttäytymistä vain, jos populaatiossa on ennestään toisistaan poikkeavia jälkeläisille periytyviä käyttäytymispiirteitä ja jos osa piirteistä johtaa suurempaan lisääntymiskykyisten jälkeläisten tuotantoon kuin muut (Krebs & Davies 1993).

Yksilöiden elinympäristöjen valintaan ja ominaisuuksiltaan laadukkaiden elinympäristöjen saatavuuteen vaikuttavat usein toiset saman lajin yksilöt. Despotismi on luonnossa hyvin yleistä. Ensimmäisinä ominaisuuksiltaan hyvälaatuiset elinympäristöt vallanneet yksilöt saattavat pakottaa myöhemmin saapuneet yksilöt valitsemaan ominaisuuksiltaan heikompilaatuisia elinympäristöjä, joissa niiden säilyvyys tai lisääntymismenestys on heikompaa kuin ominaisuuksiltaan parempilaatuisissa ympäristöissä (Krebs & Davies 1993). Myös naarastaimenten kutukäyttäytymiseen liittyy despoottisia piirteitä. On havaittu, että taimennaaraat puolustavat tyypillisesti hyvin aggressiivisesti valitsemiaan kutusoraikoita ja hyvälle soraikoille ensin saapuneet yksilöt tyypillisesti voittavat kutualueista käydyt taistelut. Mitä tyytyväisempiä yksilöt ovat kutusoraikoihin, sitä haluttomampia ne ovat niistä luopumaan (Johnsson ym. 2000).

Elinympäristöjä ennallistettaessa ja kunnostettaessa olisi tärkeää tietää, minkälaisia elinympäristöjä kohdelajin yksilöt pitävät keskimäärin parhaina silloin, kun saatavuus ei rajoita käyttöä. Tällöin huomio kunnostustoimenpiteiden suunnitteluvaiheessa osattaisiin suunnata kohdelajin kannalta keskeisiin tekijöihin ja oikein. Tyypillisissä elinympäristöjen käyttö- ja valintatutkimuksissa (Felley & Hill 1983, Bain ym. 1988, Wollebæk ym. 2008), joissa tarkastellaan vain eliöiden tiheyksiä erilaisissa ympäristöissä, kutualueiden ominaisuuksia tai ympäristömuuttujan luokkien käytetyksi tulemisen todennäköisyyttä, on eräs keskeinen ongelma tutkimustulosten virtavesikunnostuksiin sovellettavuuden kannalta. Ne eivät ota huomioon elinympäristöjen valintaa ohjaavaa saatavuutta, vaan antavat kuvan eliöiden tutkimusajankohtana tekemistä kompromissiratkaisuista eri ympäristötekijöiden suhteen. Useat lajit saattavat olla joustavia elinympäristöjä valitessaan, ja on mahdollista, että tietyn alueen eniten käytetty ympäristötyyppi saattaa olla vain kaikista huonoista vaihtoehdoista paras. On mahdollista, että osa taimenista joutuu kutemaan hienojakoisen soran joukkoon, jos karkeaa soraa on vähän saatavilla. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että hienojakoisen soran käyttö kutualustana olisi optimaalinen

strategia pidemmällä aikavälillä vaan pikemminkin seurausta karkeamman soran rajallisesta saatavuudesta.

Esimerkin kaltaisessa tilanteessa heikentyneellä sopivien kutualueiden saatavuudella voi olla vaikutuksia taimenkannan poikastuotantoon. Koeoloissa on osoitettu, että taimenen poikaset voivat kuoriutua ja nousta sorasta ainoastaan, jos sorapartikkelien halkaisija on yli 15 mm tai alle 6 mm (Rubin 1998). Luonnonoloissa alle 6 mm soraan haudattujen poikasten kuolevuus on lähes 100 % (Rubin & Glimsäter 1996). Liian hienojakoiseen soraan haudatuista mätijyvistä poikaset kuoriutuvat liian varhain tai kuolevat hapenpuutteeseen. Samoin jos sorapartikkeleiden väliin ei jää riittävästi tilaa, poikaset jäävät soran sisään ansaan ja menehtyvät. Kutevat naaraat eivät kuitenkaan jaksa siirrellä raskaita sorapartikkeleita, vaan lohikalojen kutusoraikon sorapartikkelien halkaisijoiden mediaani voisi olla yleisesti ottaen enintään 10 % naaraan pituudesta (Kondolf ja Wolman 1993). Voidaan siis ajatella, että evoluution myötä taimenkannoille on saattanut kehittyä kutupaikan valintaan toimiva käyttäytymispiirre ja että keskimäärin parhaana pidetyn kutuympäristön suosiminen saattaa johtaa pitkällä aikavälillä keskimäärin parhaaseen kelpoisuuteen.

Virtavesikunnostuksia on tehty Suomessa jo 1980-luvulta lähtien, ja kunnostukseen on sisällynyt useimmiten uusien kutusoraikoiden teko. Tietoa kutualueista ja niiden valinnasta on kuitenkin ollut vähän. Kunnostajat ovat joutuneet turvautumaan paikallistuntemukseen ja ulkomailla tehtyihin tutkimuksiin. Yleisen tietämyksen lisäämiseksi ja taimenten elinolojen kohentamista ajatellen tässä tutkimuksessa selvitetään, valitseeko taimen Keski-Suomessa kutupaikan vastaavien kriteerien mukaisesti kuin ulkomailla on havaittu ja minkälainen suosittu ja valittu kutualue on. Koska valtaosa aikaisemmista tutkimuksista on tehty huomattavasti Keski-Suomea lauhkeammilla alueilla, on mahdollista, että alueen kutupaikan valintakriteerit saattavat poiketa aikaisemmin muualla havaituista. Myöskään ympäristön saatavuuteen ei monissa aikaisemmissa tutkimuksissa ole kiinnitetty riittävästi huomiota, joten sen merkitystä haluttiin erityisesti korostaa. Tämä työ on mahdollisesti ensimmäinen suomalainen tutkimus taimenen kutupaikan valinnasta, jossa otetaan huomioon myös kutualueiden saatavuus.

## **2. TUTKIMUKSEN TAUSTA**

### **2.1. Fysiologinen valmistautuminen kutuun**

Sukusolujen muodostuminen saattaa alkaa lohikaloilla jo kutua edeltävän vuoden kesänä ja sukusolujen kypsymistä säätelee mahdollisesti päivän lyhentyminen kesän aikana (Jobling 1995). Lohikaloilla ruskuaisista alkaa muodostua naaraan oosyyttien ympärille noin pari kuukautta ennen kutua. Ruskuaisen kertymisen aikana oosyytin halkaisija kasvaa lohikaloilla noin 20-50 µm:stä 4-5 mm:iin. Kalan oman hormonaalisen säätelyn lisäksi kalojen kutukäyttäytymiseen vaikuttavat yleisesti ympäristö ja muista saman lajin yksilöistä vapautuneet sukupuoliferomonit ja hormonit.

Kutuun valmistautuessaan järvessä eläneet taimenet joko nousevat tai laskeutuvat virtoihin jo loppukesällä tai alkusyksystä (Lehtonen 2003). Tyypillisesti jokipoikasvaihe kestää taimenilla Suomessa 2-5 vuotta, mutta voi kestää maan pohjoisosassa seitsemänkin vuotta. Jokipoikasvaiheen keston lisäksi myös sukukypsyysikässä on suurta vaihtelua. Saimaan alueella suurin osa sukukypsyiden saavuttaneista kaloista on 5-6 vuotta vanhoja, mutta Inarinjärvessä jo 7-8 vuotiaita. Paikoitellen osa sukukypsyiden saavuttaneista

taimenista ei kude joka vuosi. Tästä esimerkkinä voidaan mainita Oulankajoki, jossa jopa 85 % populaatiosta kutee sukukypsinä vain joka toinen vuosi (Saraniemi 2005).

## 2.2. Yksilöiden välillä eroja lisääntymisessä

Taimenkoiraiden pituus ensimmäisellä kutukerralla ja sukukypsyyssikä saattavat vaihdella enemmän kuin naaraiden, ja niillä on arveltu esiintyvän ainakin kahta erilaista lisääntymisstrategiaa (Elliot 1994). Toisen strategian on epäilty nojaavan suureen kokoon ja voimaan koiraiden välisessä kilpailussa naaraista ja toisen taas vähäiseen näkyvyyteen ja pieneen kokoon kutualueille pujahtamisessa ja naaraiden laskeman mädin hedelmöittämisessä. Näyttöä kahden lisääntymisstrategian esiintymisestä taimenella on kuitenkin toistaiseksi melko vähän.

Vanhan teorian kyseenalaistuksena voidaan pitää eteläranskalaisilla ja espanjalaisilla joilla tehtyä tutkimusta, jossa havaittiin että vähäiseen kokoon ja näkyvyyteen perustuvaa lisääntymisstrategiaa ei selvästikään esiintynyt taimenilla (Garcia-Vazquez ym. 2001). 75 %:ssa tutkituista kutupesistä naaraan laskeman mädin oli hedelmöittänyt useampi koiras, ja saman pesän eri mätitaskuissa saattoi olla useiden eri koiraiden hedelmöittämiä mätijyviä. Yksittäisen koiraan hedelmöittämien mätijyvien osuus oli pesissä kuitenkin melko korkea (63–100 %). Geenivertailujen ohella kutukäyttäytymisestä tehdyt havainnot tukivat päätelmää. Lisäksi taimennaaraat näyttäisivät yleisesti ottaen valikoivan lisääntymiskumppanikseen itseään kookkaampia koiraita, joiden pituus on vähintään 1,45-kertainen naaraiden pituuteen verrattuna. Puroissa ja latvavesissä, joissa taimenet ovat melko pieniä, saattaa kerroin olla tätä pienempi (Labonne ym. 2008).

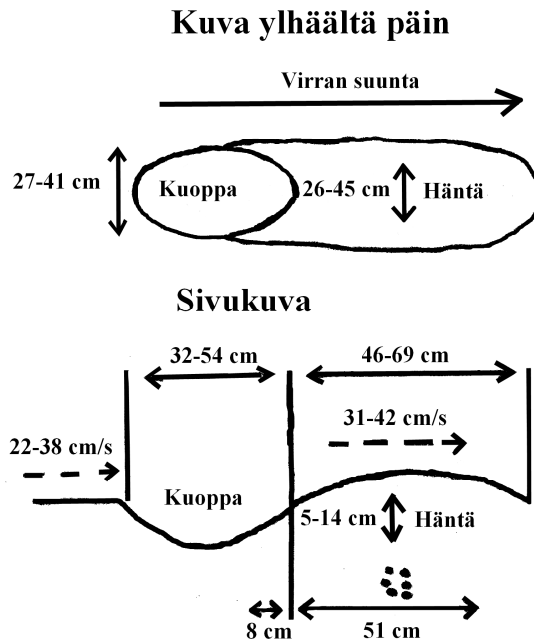
## 2.3. Kutukäyttäytyminen

Taimenten ja lohikalojen kutukäyttäytymistä kuvaavat julkaisut eivät ole sisällöltään kovin yhtenäisiä, mutta niistä koostetusta yhteenvedosta (Esteve 2005) saa melko kattavan käsityksen aiheesta. Yhteenvedon perusteella kalat alkavat hakeutua ennen kudun alkamista siihen soveltuville alueille. Soveltuvien alueiden löydyttyä naarat alkavat kutuajankohdan lähestyessä uida soraikoiden ympärillä alaleuka lähes soraikossa kiinni. Tämän jakson aikana koiraat yleensä liittyvät naaraiden seuraan ja saattavat tökkiä kuonollaan niiden kylkiä. Valittuaan kutupaikan naaraat asettuvat soran yläpuolelle toinen kylki pintaa kohden ja alkavat muovata pesää soraan nopeilla pyrston väristyksillä. Kun pesä on valmis, naaraat uivat sen lähetyvillä ja puolustavat sitä muilta naarailta. Kun naaraasta kamppailevista koiraista yksi on selviytynyt voittajaksi, asettuvat naaras ja voittajaksi valikoitunut koiras uimaan kyljet vastakkain. Tämän jälkeen koiras värisyttelee kylkiään. Kudun lähestyessä naaras tunnustelee pyrstöllään pesän valmiutta ja jatkaa tarvittaessa sen muokkaamista. Juuri ennen mädinlaskua myös naaras värisyttelee vartaloaan ja, jos koiras on saanut pidettyä kilpailevat koiraat pois naaraan ympäriltä, tapahtuu mädin ja maidin lasku samanaikaisesti. Joskus naaras saattaa vain teeskennellä kutevansa, mutta ei laske mätiä samaan aikaan kun koiras laskee maidin. Kutemisen jälkeen naaras hautaa mädin soran sisään ja saattaa hetken levättyään aloittaa uuden pesän kaivamisen.

## 2.4. Kutupesien rakenne

Ylhäältä päin tarkasteltu kutupesä esitetään usein ellipsin muotoisena (Crisp & Carling 1988) tai pesäkuopasta häntäosaa kohden kaventuvana soikean ja leveän kuoppaosan ja kolmiomaisen kapenevan häntäosan muodostamana kiilana (Wollebæk ym. 2008). Erilaisen näkemyksen kutupesien rakenteesta ovat esittäneet Ottaway ym. (1981), joiden näkemyksen mukaan kutupesän häntäosa levenee kuopan suunnasta häntää kohden

(Kuva 1). Mätimunat eivät yleensä ole yhtenä ryppäänä, vaan kalat haataavat ne useisiin taskuihin kuopan ja pesän hännän kärjen väliselle alueelle. Yleisin mätijyvien löytymispaikka sijaitsee kuitenkin hännän laen lähellä (Grost ym. 1991).



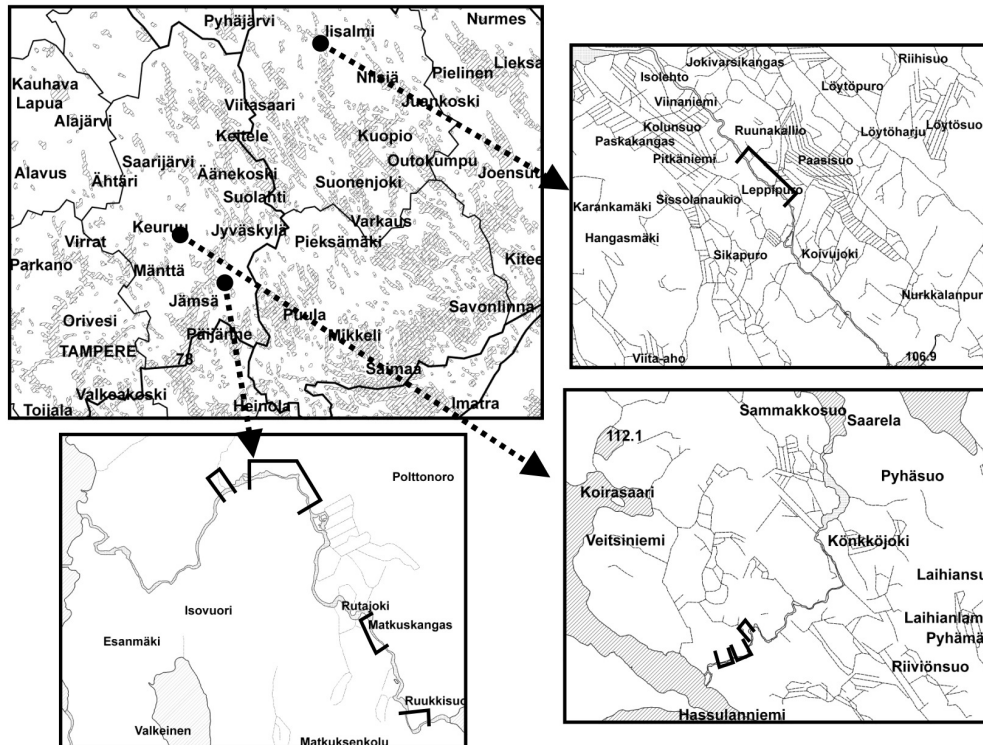
Kuva 1. Taimenen kutupesän rakenne Ottawayn ym. (1981) mukaan (kuvatekstit ja kuva muokattu alkuperäisestä).

### 3. AINEISTO JA MENETELMÄT

#### 3.1. Tutkimuskohteet

Kohteina vuonna 2008 tehdyissä tutkimuksissa olivat Joutsan Rutajoen Kyynärpääkoski, Porraskoski ja Korvenkoski, Pielaveden Koivujoen Lyytiskoski ja Petäjaveden Könkköjoen Mylly- ja Sahakosket (Kuva 2). Kaikki tutkimuskohteet kuuluvat Kymijoen vesistöalueen Päijänteen alueeseen.





Kuva 2. Tutkimusjokien sijainti ja viivoilla rajatut tutkimusalueet.

Koivujoki laskee Koivujärvestä Pielaveteen, Könkköjoki Huhtiasta Karikkoselkään ja Rutajoki Rutajärvestä Päijänteeseen. Jokien veden humuspitoisuus vaihtelee lievistä erittäin humuspitoiseen. Kokonaisfosforipitoisuuden perusteella kohteet ovat olleet ajoittain karuja ja ajoittain hyvin reheviä (Taulukko 1). Tutkimusalueilla ja niiden läheisyydessä on tehty havaintoja pohjaan muodostuvista jääpadoista 1990- ja 2000-luvulla (FM Jukka Syrjänen, Jyväskylän yliopisto & tutkija Pentti Valkeajärvi, RKTL, suullinen tiedonanto).

Taulukko 1. Tutkimusjoista mitattuja vesikemiallisia ominaisuuksia eripituisilta seurantajaksolta (Anonyymi 2009a) ja jokien ominaispiirteiset keskivirtaamat.

Muuttuja	Rutajoki	Könkköjoki	Koivujoki
Keskivirtaama (m <sup>3</sup> /s)	1,2	1,4	2,5
Kokonaisfosfori (µg/l)	7-67	11-23	12-140
Kokonaistyyppi (µg/l)	340-910	380-580	-
pH	6,4-7,0	5,9-6,7	6,6-6,9
Väriluku (mg/Pt/l)	40-80	70-130	70-160
Seurantajakso	1975-1992	1987-2009	1993
Mittauskohta	Matkusjärven luusua	Sahakosken alaosa	Saarikoski

### 3.2. Kalasto

Tutkimukseen valittujen jokien kutukanta muodostuu pääosin villeistä taimenista, joista valtaosa on paikallisia. Järvessä syönnöksellä käyneet emotaimenet ovat harvassa. Rutajoella osan kutukannasta saattavat muodostaa jokeen istutetut pyyntikokoiset taimenet. Tutkitut kosket ovat tärkeitä poikastuotantoalueita (Taulukko 2) (FM Jukka Syrjänen, Jyväskylän yliopisto, julkaisematon).

Taulukko 2. Tutkimuskoskien tutkimusalojen 0-vuotiaiden taimenten poikastiheyden (yksilöä/100 m<sup>2</sup>) keskiarvon vaihteluväli vuosina 2000–2008 (FM Jukka Syrjänen, Jyväskylän yliopisto, julkaisematon).

Koski	Poikastiheyden vaihteluväli (yksilöä/100 m <sup>2</sup> )
Kyynärpääkoski, Rutajoki	1-13
Porraskoski, Rutajoki	1-64
Korvenkoski, Rutajoki	2-35
Mylly-Sahakoski, Könkköjoki	14-42
Lyytiskoski, Koivujoki	1-10

Taimen ei kuitenkaan ole ainoa tutkituissa koskissa esiintyvä kalalaji. Rutajoen koskissa tavataan myös ahventa, kivenuoliaista ja kivisimppua. Könkköjoen koskissa taas esiintyy taimenen ohella ahventa, särkeä ja harjusta ja Koivujoen koskissa kivisimppua, ahventa ja särkeä (FM Jukka Syrjänen, henk. koht tiedonanto).

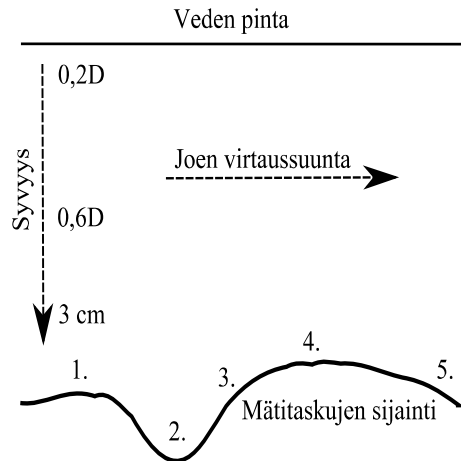
### 3.3. Kenttätöiden ajankohdat

Kutupesien etsintä aloitettiin syyskuun puolivälissä vuonna 2008. Ensimmäisillä käynneillä tutkimuskoskille pyrittiin selvittämään kudun alkamisajankohta. Tavoitteena oli tehdä mittaukset heti kutuajan jälkeen kutuaikaa vastaavissa olosuhteissa. Tutkimuksen ensimmäiset kutupesät löydettiin 4.10. Rutajoelta. Tätä edeltävällä käynnillä joelle 30.9. pesiä ei vielä havaittu. Saatavilla olevaa ympäristöä kuvaavat mittaukset tehtiin Rutajoella 6.-10.10., Koivujoella 15.10. ja Könkköjoella 25.10.–19.12. Lisäksi kutupaikkojen valinnan ajallisen vaihtelun selvittämiseksi tarkasteltiin Rutajoella aikaisemmin vuosina 1999–2007 kutupesistä mitattuja virrannopeuksia, raekokoja ja syvyyksiä (FM Jukka Syrjänen (Jyväskylän yliopisto), tutkija Pentti Valkeajärvi (RKTL) & fil. yo. Kimmo Sivonen (Jyväskylän yliopisto), julkaisematon).

Tutkittujen jokien virtaamat olivat Keski-Suomessa syksyllä 2008 keskimääräistä suurempia ja ne kasvoivat tutkimusjakson loppua kohden Rutajoella ja Könkköjoella, jossa viimeiset saatavuusmittaukset kyettiin tekemään vasta joulukuun puolivälin jälkeen virtaaman laskettua lähelle kutuaikana ollutta 1 m<sup>3</sup>/s. Mittausten aikana Rutajoen virtaamat vaihtelivat välillä 0,5-1,5 m<sup>3</sup>/s. Könkköjoen virtaamat vaihtelivat välillä 1-4 m<sup>3</sup>/s. Koivujoen virtaama mittausajankohtana oli 2 m<sup>3</sup>/s. Sekä Rutajoen että Könkköjoen virtaamia säännöstellään tutkimusalueista ylävirtaan sijoittuvilla padoilla. Kaikille joille on tehty kalataloudellinen kunnostus 1990-luvulla.

### 3.4. Kutupesien etsintä ja mittaus

Tutkimuskohteiksi valittujen koskien pohjat käytiin huolellisesti läpi vesikiikarin avulla. Yli 1,2 m syviä, erittäin vuolasvirtaisia (virrannopeus yli 1 m/s) alueita ja upottavia sedimenttipohjaisia suvantoja ei tutkittu. Epävarmat pesät vahvistettiin tarvittaessa pöyhimällä varovasti soran pintaa ja havainnoimalla, irtoaako soran joukosta yksittäisiä mätijyviä. Pöyhintä lopetettiin heti, kun saatiin varma näköhavainto yhdestä mätimunasta. Löydetyistä pesistä mitattiin mittakepillä veden syvyys kuopan ylävirranpuoleisen reunan edestä, pesäkuopan pohjalta, kuopan ja hännän vaihtumiskohdasta, hännän laelta ja hännän alavirranpuoleisesta reunasta. Virrannopeus mitattiin vastaavista kohdista 3 cm pohjan yläpuolelta ja 0,2D ja 0,6D syvyyksistä (Kuva 3), missä D on syvyys.



Kuva 3. Kutupesän halkileikkaus. Kuvaan on sijoitettu syvyyksien mittauspisteet kutupesän edestä (1.), kuopan pohjalta (2.), pesän nousevan harjanneosan ja kuopan vaihtumiskohdasta (3.), häntäosan laelta (4.) ja hännän takaa (5.) ja virrannopeuksien vertikaaliset mittauspisteet 0,2D, 0,6D syvyyksistä sekä 3 cm pohjan yläpuolelta. D=veden syvyys.

Virrannopeuksien mittaamisessa käytettiin siivikolla varustettua Schiltknecht Mini Air 2 –virrannopeusmittaria. Kenttätutkimusten alettua havaittiin, että mittari antoi harhaisia tuloksia. Vertailutulosten saamiseksi kalibrointia varten suunniteltiin koeasetelma, jossa seurattiin hanaan alle asetetun 10 l sangon täyttymiseen kuluva aika. Täyttymisaian ja vesijohtoverkkoon kytkettyyn hanaan kiinnitetyn suuttimen poikkipinta-alan avulla laskettiin keskimääräinen virrannopeus hanaan asetetun suuttimen suulla seuraavasti

$$Q = V_{sanko} / t \quad (1)$$

$$v = Q / A, \quad (2)$$

missä  $Q$  = virtaama,  $V_{sanko}$  = sangon tilavuus,  $t$  = sangon täyttymisaika,  $v$  = keskimääräinen virrannopeus suuttimen suulla ja  $A$  = suuttimen poikkipinta-ala.

Vastaavasti maastossa käytetyllä kalibroituavalla virrannopeusmittarilla tehtiin suuttimen alapuolelta saavin täyttymisen aikana 1-9 mittausta mittarin ollessa asetettuna mittaamaan 15 s keskiarvoa. Hanaan virtaus pyrittiin säätämään siten, että vesisuihku peitti virrannopeusmittarin siivikon kokonaan. Virrannopeusmittarilla tehdyistä mittauksista käytettiin kunkin mittauskerran keskiarvoa, jos mittauksia oli enemmän kuin yksi.

Kalibroitavan laitteen mittausrvo ja vertailussa käytettävä laitteen mittausrvo voidaan ilmaista todellisen arvon ja systemaattisen virheen ja satunnaisvirheen funktiona seuraavasti (Anonyymi 2009b)

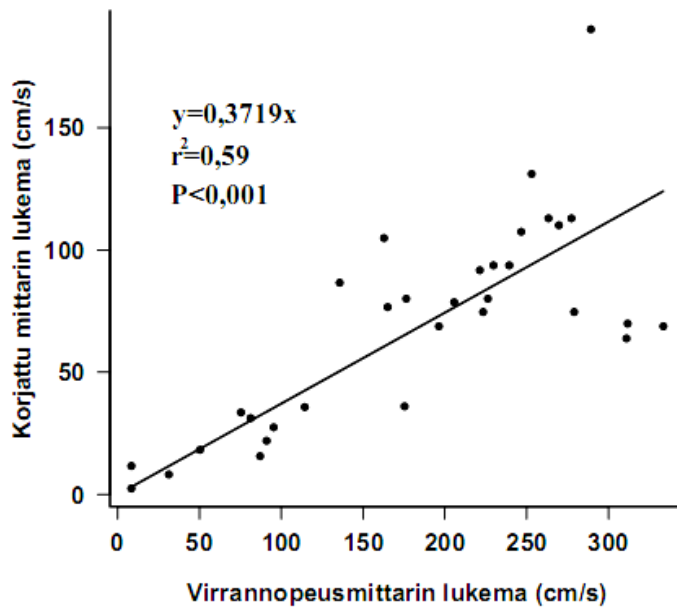
$$X = Bias + X^* + error_1 \quad (3)$$

$$R = Bias + R^* + error_2, \quad (4)$$

missä  $X$  = kalibroitavan mittalaitteen mittausrvo,  $R$  = vertailussa käytettävän mittalaitteen mittausrvo,  $R^*$  = todellinen arvo vertailumittauksissa,  $X^*$  = todellinen arvo mittalaitteella tehdyissä mittauksissa,  $error$  = satunnaisvirhe ja  $Bias$  = systemaattinen virhe. Jos  $R^*$  ja  $X^*$  ovat yhtä suurina, voidaan kalibroitavan mittalaitteen systemaattiselle ja satunnaiselle virheelle laskea estimaatti.

Kalibroitavan mittalaitteen mittausrvirheen estimaatti tietyllä virrannopeudella voidaan siis esittää kalibroitavan mittalaitteen mittausrvon ja vertailussa käytettävän

mittalaitteen mittausravon erotuksena. Koska koeasetelman avulla saatuja virrannopeuksien erotuksia ei ollut mahdollista käyttää sellaisenaan harhaisten mittausravojen korjaamiseen, laskettiin korjatut virrannopeudet regressioyhtälöstä (Kuva 4).



Kuva 4. Virrannopeusmittarin antaman korjatun lukeman ja korjaamattoman lukeman välinen riippuvuus.

Pesien pituudet ja leveydet kuopan kohdalta ja pesän hännästä mitattiin mittakepin tai mittanauhan avulla. Latvuston varjostus arvioitiin silmämääräisesti %-asteikolla pesän yläpuolelta 10 m korkeuteen asti. Samoin sammalten peittävyys ja vesikasvien peittävyys pesän ympärillä arvioitiin silmämääräisesti. Pesien pinta-alojen likiarvot laskettiin ellipsien pinta-aloina seuraavasti

$$A = \pi * a * b, \quad (5)$$

missä toinen puoliakseleista ( $a$ ) laskettiin jakamalla pesän kokonaispituus kahdella ja toinen ( $b$ ) taas laskettiin jakamalla kuopan ja hännän kohdalta mitatuista leveyksistä otettu keskiarvo kahdella.

Pohjan sorapartikkeleiden hallitsevin ja toiseksi hallitsevin raekoko pesän edessä, kuopan pohjalla ja hännän alueella arvioitiin vesikiikariin piirretyn muunnellun Wentworthin (1922) asteikon avulla. Jaottelu eri raekokoluokkiin tehtiin suurimman halkaisijan perusteella. Kolmentoista alkuperäisen luokan sijasta hyödynnettiin Mäki-Petäyksen ym. (2002) tavoin asteikon yhdeksää sorapartikkeleiden raekokokategoriaa (Taulukko 3).

Taulukko 3. Sorapartikkeleiden suurimpaan halkaisijaan perustuva luokittelu eri raekokoluokkiin muunnellulla Wentworthin asteikolla (Mäki-Petäys ym. 2002).

Raekokoluokka (mm)	Luokan tunnus
≥512,1	9
256,1–512	8
128,1–256	7
64,1–128	6
32,1–64	5
16,1–32	4
8,1–16	3
2,1–8	2
≤2	1

Jokaisen pesän edessä sijaitsevalle mittauspisteelle laskettiin syvyyden, putoamiskiihtyvyyden ja vesipatsaan keskimääräisen virrannopeuden avulla dimensioton Frouden luku seuraavasti

$$Fr = V_m / \sqrt{gD}, \quad (6)$$

missä  $Fr$  = Frouden luku,  $V_m$  = vesipatsaan keskimääräinen virrannopeus,  $g$  = putoamiskiihtyvyys ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) ja  $D$  = syvyys ( $m$ ) (Jowett 1993). Luku kuvaa gravitaatiovoimien suhdetta inertiaivoimiin. Tavoitteena oli luonnehtia kalojen käyttämiä ja suosimia kutuympäristöjä objektiivisesti aikaisemmissa tutkimuksissa virtavesiympäristöjen objektiiviseen luokitteluun kehitetyillä Frouden lukuun pohjautuvilla kriteereillä.

### 3.5. Ympäristön saatavuusmittaukset

Saatavuusmittaukset tehtiin vastaavalla tavalla kuin kutupesien mittaukset, mutta pesien sijasta mittaukset tehtiin pistemäisissä kohdissa jokea. Mittauspisteet pyrittiin sijoittamaan tutkimuskoskiin satunnaisesti siten, että niiden avulla saataisiin mahdollisimman edustava käsitys erilaisten ympäristöjen saatavuudesta koskien eri osissa. Käytetyssä kaksivaiheisessa harkintaotantamenetelmässä oli piirteitä spatiaalisesta systemaattisesta otannasta, satunnaisotannasta ja erilaisista linjaotantamenetelmistä. Otannan ensimmäisessä vaiheessa arvottiin ennalta valitulta väliltä (Rutajoella ja Koivujoella 15-30 m ja Könkköjoella 15-25 m) satunnaistettu etäisyys. Edellisestä mittauspaikasta kuljettiin tämän etäisyyden mittainen matka ylävirran suuntaan. Tutkimusalueen ensimmäisen mittauslinjan sijaintipaikka valittiin tutkimusalueen alavirranpuoleisen rajan kohdalta.

Poikkileikkaukselle satunnaistetusta kohdasta arvottiin edelleen 0,1-0,5 m väliltä ensimmäisen mittauspisteen etäisyys rantaan. Tämän jälkeen edettiin 1 m etäisyyksille toisistaan sijoituvilta mittauspisteiltä mittauspisteille kunnes tavoitettiin joen vastaranta. Yli 1,2 m syvät ja vaikeasti kahlattavat hyvin vuolasvirtaiset alueet (virrannopeus yli 1,4 m/s) jätettiin mittaamatta. Jos virrannopeuden mittaaminen ei ollut mahdollista liian voimakkaan virrannopeuden tai syvyyden vuoksi, tulkittiin mittaus puuttuvaksi. Samoin suoraan pintakiven tai uppotukin päälle osuneen mittapisteen mittaukset tulkittiin puuttuviksi. Raekokoa tai sammalpeittävyttä ei arvioitu, jos mittauspisteessä ei kyetty erottamaan pohjaa ja raekoko ja sammalpeittävyys tulkittiin tällöin puuttuviksi.

Saatavuusmittausten vähimmäistavoitteeksi asetettu noin 150 mittauksen raja ylittyi Lyytiskoskessa ja Mylly-Sahakoskessa kaikilla muuttujilla. Myös Korvenkoskessa päästiin lähelle tavoitteeksi asetettua mittausten vähimmäislukumäärää. Kynärpääkosken ja Porraskosken saatavuusmittauspisteiden muita koskia pienemmät lukumäärät ovat seurausta tutkimuskoskien koosta ja käytetystä otantamenetelmästä. Niiden mittausalat olivat suhteellisen kapeita ja lyhyitä. Pinta-alaltaan laajoissa kohteissa mitattiin absoluuttisesti enemmän pisteitä kuin suppeissa. Pinta-alaan suhteutettuna otantaintensiteetti pidettiin vakiona Ruta- ja Koivujoen koskikohteissa, mutta Könkköjoella mittauksia kertyi pinta-alayksikköä kohden jonkin verran enemmän lyhyemmästä mittauslinjojen satunnaistamisvälistä johtuen.

Peittyvää raekokoa ei otettu tilastollisiin tarkasteluihin mukaan, koska sen määrittäminen vesikiikariin piirretyn asteikon avulla hallitsevan raekoon joukosta ei onnistunut yksiselitteisesti. Samoin kasvillisuuden peittävyys jätettiin pois lopullisista tarkasteluista havaintojen vähäisen lukumäärän vuoksi (Taulukko 4).

Taulukko 4. Korvenkosken (Kor), Porraskosken (Por), Kynärpääkosken (Kyy), Lyytiskosken (Lyy) ja Mylly-Sahakosken (M-S) saatavuusmittausten lukumäärät. Puuttuvien mittausten lukumäärä on esitetty suluissa. Mittauksia merkittiin puuttuviksi, jos virrannopeus oli liian voimakas (yli 1 m/s), mittauskohta liian syvä ( $D > 1,2$  m) tai näkösyvyys niin alhainen, ettei pohjaa kyetty erottamaan.  $D$  = syvyys.

Muuttuja	Kor	Por	Kyy	Lyy	M-S	Yhteensä
Virrannopeus (syvyys 0,6D)	136 (26)	66 (3)	70 (9)	253 (6)	198 (10)	723 (54)
Virrannopeus (syvyys 0,2D)	141 (21)	66 (3)	70 (9)	255 (4)	198 (10)	730 (47)
Virrannopeus 3 cm pohjan yläpuolelta	150 (12)	66 (3)	71 (8)	256 (3)	194 (14)	737 (40)
Syvyys	154 (8)	66 (3)	71 (8)	256 (3)	200 (8)	747 (30)
Hallitseva raekoko	147 (15)	66 (3)	66 (13)	254 (5)	187 (21)	720 (57)
Sammalpeittävyys (%)	140 (22)	66 (3)	65 (14)	256 (3)	184 (24)	711 (66)
Varjostus (%)	148 (12)	66 (3)	71 (8)	256 (3)	200 (8)	741 (36)

### 3.6. Kutualueiden pienympäristöjen suosimisen, valinnan ja soveltuvuuden arviointi

Preferenssillä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa tietyn kaltaisten ympäristöominaisuuksien suosimista ja valinnalla taas toteutunutta kutualueiden käyttöä, jota kuvaavat kutupesistä tehdyt mittaukset. Kaloille kehitettyjen virtavesiympäristöjen soveltuvuus-kriteerien perusteella suuruusjärjestyksessä keskimmäiset 50 % tarkasteltavien muuttujien arvoista voidaan tulkita ominaisuuksiltaan optimaalisiksi ja 95 % soveltuviksi (Bovee 1986, Thomas & Bovee 1993). Tarkasteltavan muuttujan osalta kvartiilivälin ulkopuolelle jäävät tarkasteltavan muuttujan arvot tulkittiin tässä tutkimuksessa ominaisuuksiltaan heikommiksi, mutta kutemiseen soveltuviksi.

Pesien edessä sijaitsevien mittauspisteiden (piste 1. Kuvassa 3) käyttöön tarkasteluissa päädyttiin, koska haluttiin ensisijaisesti kuvailla kutualueiden ominaisuuksia kutupesien ominaisuuksien sijaan. Mäti-istutuksia ja aikaisempien tutkimusten tuloksiin vertaamista varten esitettiin kuitenkin myös virrannopeudet ja vesipatsaan syvyys pesän häntäosan laelta mittauspisteestä 4.

Valittujen alueiden ominaisuuksien havainnollistamiseen käytettiin Tukeyn (1977) viiksilaatikkokuvaajia, joiden keskellä oleva viiva esittää mediaania. Kuvaajissa keskimmäiset 50 % havainnoista sijoittuvat laatikon ylä- ja alareunojen väliin. Laatikon alareuna vastaa alakvartiilia ja yläreuna yläkvartiilia parittomalla havaintojen lukumäärällä. Parillisella havaintojen lukumäärällä laatikon ylä- ja alareunat poikkeavat hieman ala- ja yläkvartiilista. Ylempi viiksi kuvaa suurinta poikkeamatonta havaintoa ja

alempi pienintä poikkeamatonta havaintoa. Yksittäiset pisteet ovat poikkeavia havaintoja (yli 1,5 kertaa kvartiilivälin leveyden verran suurempia tai pienempiä kuin ala- tai yläkvartiili) ja saattavat johtua mittausvirheistä. Jos poikkeavia havaintoja ei ole, on alempi viiksi pienin arvo ja ylempi viiksi suurin arvo.

Tietyn kaltaisten suureen arvojen suosimista kuvattiin Boveen (1986) esittelemällä preferenssi-indeksillä

$$P_i = U_i / A_i, \quad (7)$$

missä  $P_i$  = preferenssi-indeksi,  $U_i$  = otoksen perusteella arvioitu luokkaan  $i$  kuuluvien suureen arvojen valituksi tulemisen todennäköisyys ja  $A_i$  = saatavuus, joka on luokkaan  $i$  kuuluvien suureen arvojen esiintymistodennäköisyys ympäristössä. Indeksien arvot skaalattiin ykkösen ja nollan välille suurimmalla arvolla jakamalla. Lähellä yhtä olevat indeksien arvot kuvaavat suosimista ja lähellä nollaa olevat arvot välttelyä.

Indeksin laskemistavasta poikettiin kuitenkin Jowettin & Richardsonin (1995) tavoin siten, että se laskettiin luokitellulle aineistolle laskettujen suhteellisten osuuksien sijaan ympäristömuuttujien saatavuuksien ja käyttöjen ydinestimoitujen tiheysfunktioiden avulla. Suosituimmiksi muuttujien arvoiksi tulkittiin sellaiset, joiden kohdalla preferenssi-indeksi saa arvon väliltä 0,8-1,0 ja välttelyksi sellaiset, joiden kohdalla preferenssi-indeksien arvot ovat väliltä 0,0-0,5. Indeksille ei ole määritelty yhtenäisiä rajoja, mutta aikaisemmin esimerkiksi lohenpoikasten elinympäristöjen soveltuvuuden arvioinnissa (Mäki-Petäys ym. 2002) on käytetty optimaalisten muuttujan arvojen rajana preferenssi-indeksien arvoa 0,75. Valituille rajoille ei ehkä ole biologisia perusteita, mutta niiden käyttö yhtenäistää kuvaajien tulkintaa.

Todennäköisyystiheysjakauma kuvaa satunnaismuuttujan todennäköisyyttä saada tietty arvo (Silverman 1986). Perinteisesti todennäköisyystiheysjakaumaa on elinympäristöjen valintutkimuksissa kuvattu histogrammin avulla, jossa satunnaismuuttujan arvoihin liittyvät todennäköisyydet on laskettu ennalta määräytyille väleille. Jos muuttujan arvolle on pitänyt estimoida todennäköisyystiheys eli todennäköisyys havaita muuttujan arvo, se on laskettu histogrammista seuraavasti

$$\hat{f}(y) = \sum_{i=1}^n I(y - \bar{y}_i; a), \quad (8)$$

missä  $f(y)$  = estimoitu todennäköisyys, ja  $I(z; a)$  = osajoukkoon kuulumista ilmaiseva ilmaiseva indikaattorifunktio välille  $[-a, a]$ ,  $y_i$  = muuttujan arvo,  $\bar{y}_i$  = välin keskimäinen arvo ja  $a$  = ennalta määrätty väli. Keskeisenä ongelmana menettelytavassa on se, että korvaamalla havaitut arvot ( $y_i$ ) kunkin välin keskimäisillä arvoilla menetetään informaatiota. Lisäksi histogrammin kulmat ovat teräviä, mikä antaa väärän vaikutelman tiheysfunktion muodosta useimmissa tilanteissa (Bowman & Azzalini 1997). Tiheysfunktion ydinestimoinnissa histogrammeissa käytetyistä suorakulmioista luovutaan ja ne korvataan esimerkiksi normaalijakauman muotoisilla ytimillä. Silvermanin (1986) mukaan tiheysfunktion ydinestimaatti voidaan laskea seuraavasti

$$\hat{f}(x) = (1/(nh)) \sum_{i=1}^n K((x - X_i)/h), \quad (9)$$

missä  $\hat{f}(x)$  = tiheysfunktion ydinestimaatti,  $K$  = ydinfunktio,  $h$  = siloitusparametri,  $X_i$  = otoksen satunnaismuuttujan arvo,  $x$  = satunnaismuuttujan arvo ja  $n$  = otoskoko.

Preferenssi-indeksin laskentaan tiheysfunktion ydinestimaateista päädyttiin, koska haluttiin vähentää yksittäisten poikkeuksellisten havaintojen painoarvoa, hyödyntää jatkuvien muuttujien informaatiota tehokkaasti ja tuottaa helposti tulkittavia ja riittävän yksityiskohtaisia lukuarvoja.

Siloutusparametrien arvot päätettiin saatavuudelle ja käytölle muuttujakohtaisesti ja ensisijaisesti niiden valinnassa pyrittiin käyttämään tilasto-ohjelma R:n oletusmenetelmiä. Oletusmenetelmien suosimisesta huolimatta siloutusparametrien arvojen valinta oli aina subjektiivista ja vaati tilannekohtaista harkintaa. Jotta kalojen kutupesiin tekemät muutokset eivät olisi aiheuttaneet harhaa tuloksiin, käytettiin analyyseissä syvyyden, pohjan raekokojen ja virrannopeuksien mittaushetkenä muokkaamatonta kohtaa kutupesän etureunan edessä.

### 3.7. Tilastolliset tarkastelut

Kutupesien pituuksien ja leveyksien välistä riippuvuutta tarkasteltiin tekemällä aineistolle regressioanalyysijä ja tarkastelemalla Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroimen arvoja. Jos oletukset eivät toteutuneet regressioanalyysissä, tehtiin muuttujamuunnos. Ympäristömuuttujilla tehdyllä logistisella regressioanalyysillä selvitettiin, eroavatko kutupesät ja kutualueet ympäristöstään tilastollisesti merkitsevästi. Muuttujien joukosta etsittiin tekijöitä, jotka voisivat erotella pesät ja kutualueet satunnaisista mittauspisteistä. Muuttujat valittiin malliin lisäämällä askeltavalla menettelytavalla, mutta myös kaikkien muuttujien pakottamista mukaan malliin kokeiltiin vertailun vuoksi. Kolmogorov-Smirnovin testillä tarkasteltiin joidenkin muuttujien osalta, poikkeavatko kutupesistä mitattujen arvojen jakaumat satunnaisista mittauspisteistä mitatuista.  $X^2$ -testeillä selvitettiin luokittelu- ja järjestysasteikollisten muuttujien tapauksessa, ovatko suhteelliset osuudet samoja vertailtavissa ryhmissä. Kruskalin-Wallis testillä selvitettiin, poikkeako jokin tutkimusjokien kutupesiä ja saatavuutta kuvaavien muuttujien mediaaneista muista. Jos jokin muuttujien jokikohtaisista mediaaneista poikkesi muista, tehtiin parittaiset vertailut Dunnin testillä (Siegel & Castellan 1988). Samojen kutupesien eri mittauspisteiden mittausarvojen mediaaneja vertailtiin toisiinsa parittaisten otosten Wilcoxonin testillä.

Kutualueita kuvaavien muuttujien jakaumien kvartiilivälille laskettiin 95 % parametrittomat toleranssirajat (Wilks 1941), jotka voidaan tulkita siten, että jos tutkimus toistettaisiin 100 kertaa vastaavissa olosuhteissa vastaavin menetelmin, sijoittuisivat keskimmäiset 50 % tarkasteltavan muuttujan arvoista 95 tapauksessa lasketulle välille. Parametrittomien toleranssirajojen laskemiseen päädyttiin, koska ne ovat aikaisemmin osoittautuneet käyttökelpoisiksi ja robusteiksi virtavesiympäristöjen soveltuvuutta kuvaaviksi tunnusluvuiksi (Bovee 1986, Thomas & Bovee 1993).

Jakaumien keskilukuina tuloksia aikaisempien tutkimusten tuloksiin verratessa päädyttiin käyttämään mediaania, koska erityisesti virrannopeuksien jakaumissa oli runsaasti poikkeavia havaintoja ja osa muuttujien jakaumista oli vielä muunnosten jälkeenkin hyvin vinoja. Mediaani on osoittautunut vinoille jakaumille keskiarvoa paremmaksi keskiluvuksi ja se on vähemmän herkkä aineistossa oleville mittausvirheille kuin keskiarvo (Hamilton 1990). Mediaanien 95 % luottamusvälit päätettiin estimoida bootstrap-menetelmällä (Wood 2004), jolloin mediaanien otantajakauman ei tarvinnut olettaa olevan normaali. Tarkasteltavien muuttujien otoksista poimittiin 10000 satunnaisotosta palauttaen ja jokaisesta 10000 uudesta otoksesta laskettiin mediaani. Näin muodostetusta mediaanien jakaumasta selvitettiin, mille välille keskimmäiset 95 % sijoittuvat ja tätä väliä käytettiin luottamusvälin estimaattina. Menetelmän varjopuolena on se, että estimoiduista luottamusväleista voi tulla liian kapeita, jos otoskoko on liian pieni.

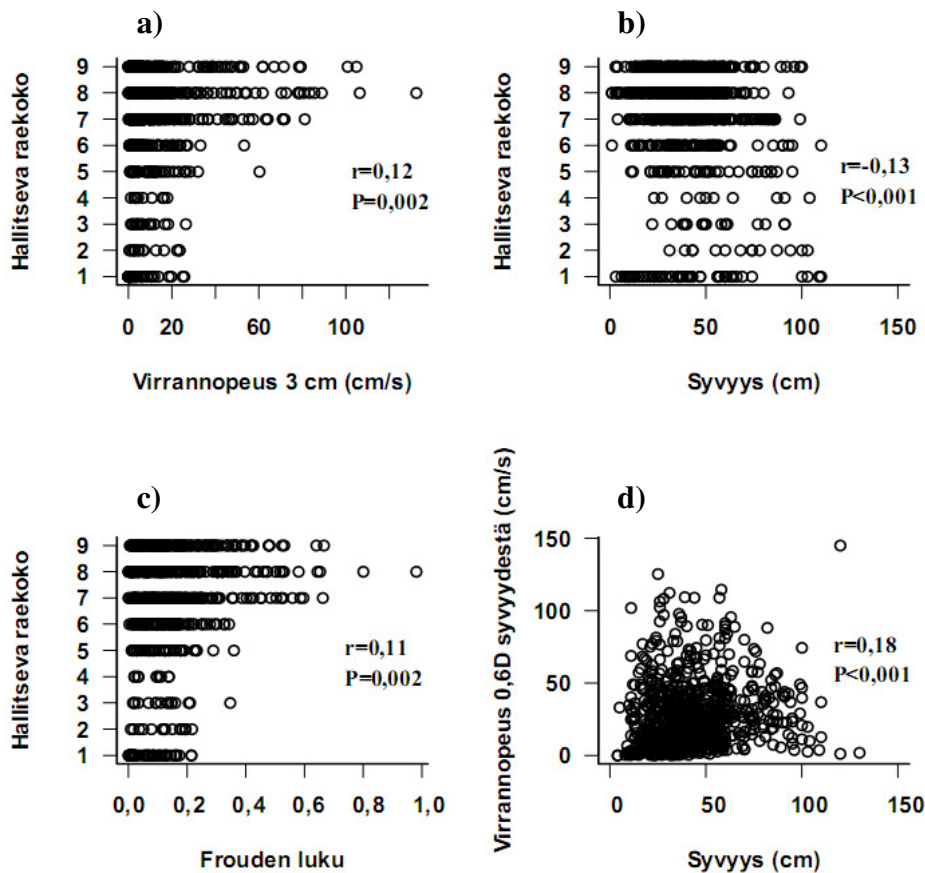


Oletuksena on, että perusjoukosta poimittua otosta voidaan pitää perusjoukon pienoiskuvana (Roff 2002).

## 4. TULOKSET

### 4.1. Kutualueiden saatavuus

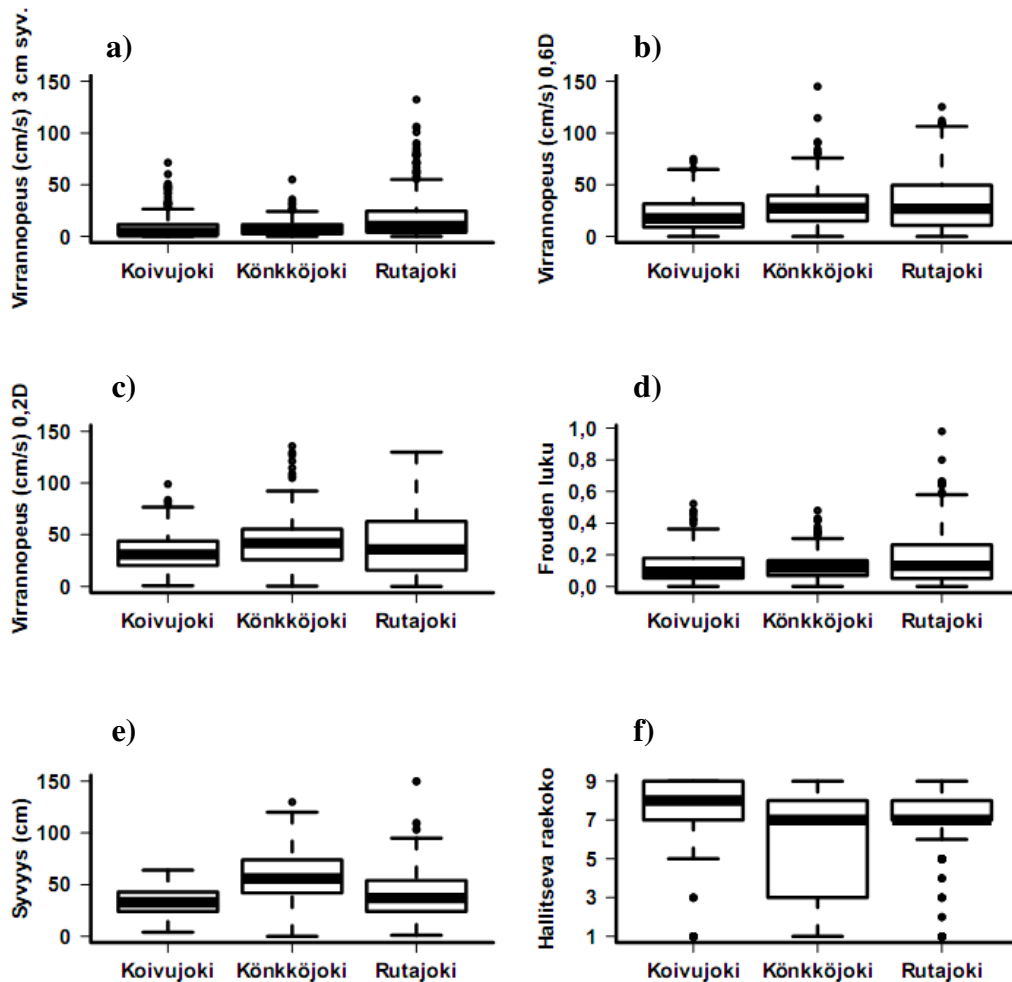
3 cm pohjan yläpuolelta mitatut virrannopeudet, syvyydet ja Frouden luvut korreloivat heikosti hallitsevien raekokojen kanssa (Kuva 5). Vastaavasti myös 0,6D syvyydestä mitatun virrannopeuden ja syvyyden välillä ilmeni heikkoa riippuvuutta. Hienojakoisimpia sorapartikkeleita esiintyi hallitsevina vain pienillä Frouden luvun arvoilla ja lohikalojen kutualustana suosimia mediaanihalkaisijaltaan alle 128 mm sorapartikkeleita esiintyi vain 0,4 pienemmillä Frouden luvuilla. (Kuva 5 c).



Kuva 5. Virrannopeuden 3 cm pohjan yläpuolelta ja hallitsevan raekoon (a), syvyyden ja hallitsevan raekoon (b), Frouden luvun ja hallitsevan raekoon (c) ja syvyyden ja 0,6D syvyydestä mitatun virrannopeuden välinen riippuvuus (d). Kuvassa r on Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin ja P kaksisuuntaisen testin merkitsevyystaso. Raekokoluokkien selitykset löytyvät Taulukosta 3.

Kuvaajasta (Kuva 6) tulkittuna Rutajoen tutkimusalueiden virrannopeuksien ja Frouden luvun kvartiiliväli on leveämpi kuin Könkköjoen ja Koivujoen, mikä saattaa johtua muita kohteita heikommasta virrannopeuksien tai syvyyksien mittaustarkkuudesta tai monimuotoisemmasta uomasta. Koivujoen ja Rutajoen tutkimusalueiden sorapartikkeleiden raekoon kvartiilivälit ovat Könkköjoen kvartiiliväliä kapeampia ja niiden alakvartiili on Könkköjoen alakvartiilia suurempi, minkä perusteella Könkköjoen tutkimusalueella saattaa siis olla hienojakoista soraa muiden jokien tutkimusalueita

runsaammin saatavilla. Tämän lisäksi Könkköjoen tutkimusalueiden syvyyden mediaani, suurin poikkeamaton havainto ja yläkvartiili ovat suurempia kuin Koivujoen ja Rutajoen tutkimusalueiden, mikä viittaa siihen, että Könkköjoen tutkimusalueet saattavat olla Koivujoen ja Rutajoen tutkimusalueita syvempiä. Lähes kaikkien muuttujien jakaumissa on havaittavissa vinoutta ja erityisesti Rutajoella 3 cm pohjan yläpuolelta mitatuissa virrannopeuksissa on runsaasti poikkeavia havaintoja (Kuva 6).



Kuva 6. Tutkimusjokien koskien satunnaisista mittauspisteistä mitattu virrannopeus 3 cm pohjan yläpuolelta (a) ja 0,6D (b) ja 0,2D (c) syvyyksistä, Frouden luku (d), syvyys (e) ja pohjan sorapartikkeleiden hallitseva raekoko (f) (luokkien selitykset löytyvät aineisto ja menetelmät -kappaleesta Taulukosta 3). D=syvyys.

Kaikkien muuttujien osalta vähintään yksi tarkasteltavista mediaaneista poikkeaa muista (Taulukko 5). Koivujoen tutkimusalueen 0,6D ja 0,2D syvyydestä mitatut virrannopeudet poikkeavat Rutajoen ja Könkköjoen tutkimusalueilla vastaavista syvyyksistä mitatuista virrannopeuksista. Hallitsevat raekoot poikkeavat toisistaan Koivuja ja Könkköjoessa ja Könkköjoessa ja Rutajoessa. Rutajoen Frouden luku taas poikkeaa tilastollisesti merkitsevästi Koivujoen ja Könkköjoen Frouden luvusta. Lisäksi myös kaikkien kohteiden syvyydet ja 3 cm pohjan yläpuolelta mitatut virrannopeudet poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Taulukko 6).

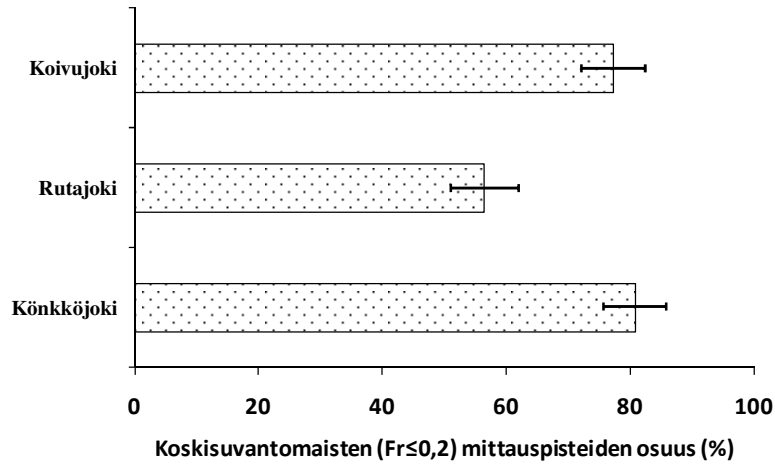
Taulukko 5. Koivujoen, Könkköjoen ja Rutajoen satunnaistetuista mittauspisteistä mitattujen virrannopeuksien, Frouden luvun ja syvyyden mediaanien yhtäsuuruuden vertailu Kruskal-Wallis testillä. Taulukossa  $X^2$  on testisuureen arvo, df vapausasteluku ja P merkitsevyystaso.

Muuttuja	$X^2$	df	P
Virrannopeus 3 cm pohjan yläpuolelta	62,00	2	<0,001
Virrannopeus 0,6D syvyydestä	24,14	2	<0,001
Virrannopeus 0,2D syvyydestä	13,72	2	0,001
Frouden luku	12,21	2	0,002
Syvyys	121,27	2	<0,001
Hallitseva raekoko	44,47	2	<0,001

Taulukko 6. Koivujoen, Könkköjoen ja Rutajoen satunnaistetuista saatavuutta kuvaavista mittauspisteistä mitattujen virrannopeuksien, Frouden lukujen ja syvyyksien parittaisten vertailujen tulokset Dunnin testillä. Havaituilla eroilla tarkoitetaan vertailtavien muuttujien järjestyslukujen keskiarvojen erotusta. Kriittisellä järjestyslukujen keskiarvojen erolla tarkoitetaan raja-arvoa, jota suurempien arvojen todennäköisyys on pienempi tai yhtäsuuri kuin 0,05.

Muuttuja / Vertailu	Havaittu ero	Kriittinen ero	Til. merkitsevä ero
Virrannopeus 3 cm pohjan yläpuolelta			
Koivujoki-Könkköjoki	55,7	50	On
Koivujoki-Rutajoki	155,1	45,2	On
Könkköjoki-Rutajoki	99,4	48,2	On
Virrannopeus 0,6D syvyydestä			
Koivujoki-Könkköjoki	82,7	50	On
Koivujoki-Rutajoki	113	45,2	On
Könkköjoki-Rutajoki	30,3	48,2	Ei
Virrannopeus 0,2D syvyydestä			
Koivujoki-Könkköjoki	83,5	50	On
Koivujoki-Rutajoki	77,1	45,2	On
Könkköjoki-Rutajoki	6,3	48,2	Ei
Frouden luku			
Koivujoki-Könkköjoki	25,4	50	Ei
Koivujoki-Rutajoki	92,5	45,2	On
Könkköjoki-Rutajoki	67	48,2	On
Syvyys			
Koivujoki-Könkköjoki	222	50	On
Koivujoki-Rutajoki	71,6	45,2	On
Könkköjoki-Rutajoki	150,4	48,2	On
Hallitseva raekoko			
Koivujoki-Könkköjoki	88	50	On
Koivujoki-Rutajoki	16,9	45,2	Ei
Könkköjoki-Rutajoki	71,1	48,2	On

Rutajoen tutkimusalueet olivat koskimaisempia kuin Koivu- ja Könkköjoen tutkimusalueet. Koskisuvantomaisten saatavuusmittauspisteiden (Frouden luku $\leq$ 0,2) osuus kaikista mittauspisteistä oli Könkköjoella suurempi kuin Rutajoella ( $X^2=31,8$ ,  $df=1$ ,  $P<0,001$ ). Samoin Koivujoen koskisuvantomaisten mittauspisteiden osuus oli Rutajokea suurempi ( $X^2=26,2$ ,  $df=1$ ,  $P<0,001$ ). Sen sijaan Könkköjoen ja Koivujoen tutkimusalueiden koskisuvantomaisten mittauspisteiden osuudessa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ( $X^2=0,7$ ,  $df=1$ ,  $P=0,42$ ) (Kuva 7).



Kuva 7. Koivujoen (N=259), Rutajoen (N=310) ja Könkköjoen (N=208) koskisuvantomaisten mittauspisteiden osuudet (Frouden luku  $\leq 0,2$ ) saatavuutta kuvaavista mittauspisteistä ja niille estimoitu 95 % luottamusväli.

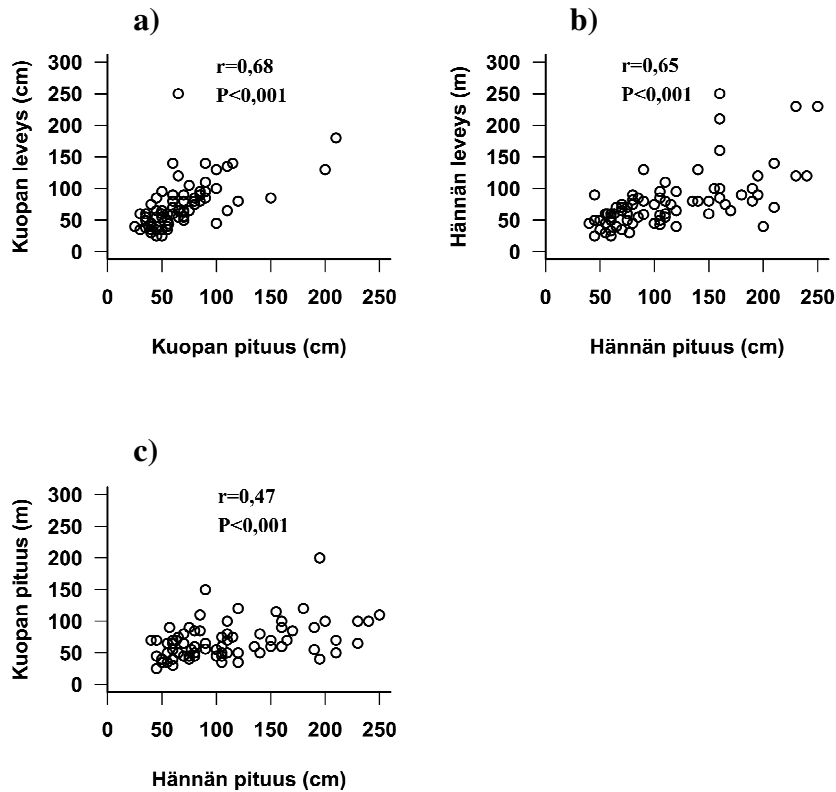
#### 4.2. Pesien rakenne ja kutualueiden valinta

Kutupesiä löydettiin tutkituilta alueilta yhteensä 74. Eniten kutupesiä löydettiin Mylly-Sahakosken tutkimusalalta ja vähiten Korvenkosken tutkimusalalta (Taulukko 7). Pesien rakenteet olivat Keski-Suomessa hyvin harvoin julkaisuissa esitettyjen kaltaisia ja pesien rajat olivat usein vaikeasti hahmotettavissa. Pesäkuoppia ja pesien nousevia harjanneosia oli kutupesissä yksi tai useampia. Pesät erottuivat kudun jälkeen niitä ympäröivästä tummasta pohjasta vaaleina laikkuina.

Taulukko 7. Kutupesien lukumäärät tutkimusjokien koskissa.

Koski	Pesien lukumäärä
Korvenkoski, Rutajoki	8
Porraskoski, Rutajoki	10
Kyynärpääkoski, Rutajoki	13
Lyytiskoski, Koivujoki	21
Mylly-Sahakoski, Könkköjoki	22
Yhteensä	74

Kutupesien mitoista hännän pituus oli yhteydessä kuopan pituuteen ja häntäosan leveyteen ja kuopan pituus kuopan leveyteen (Kuva 8). Kutupesien pituudet ja leveydet eivät riippuneet tilastollisesti merkittävästi ympäristömuuttujista. Kutualueiden valinnan kannalta mielenkiintoisimmista kutupesistä mitatuista muuttajapareista vain virrannopeus pesän edestä 3 cm pohjan yläpuolelta ja syvyys korreloivat tilastollisesti merkittävästi (Spearmanin järjestyskorrelaatio,  $r = -0,22$ ,  $P = 0,049$ ).

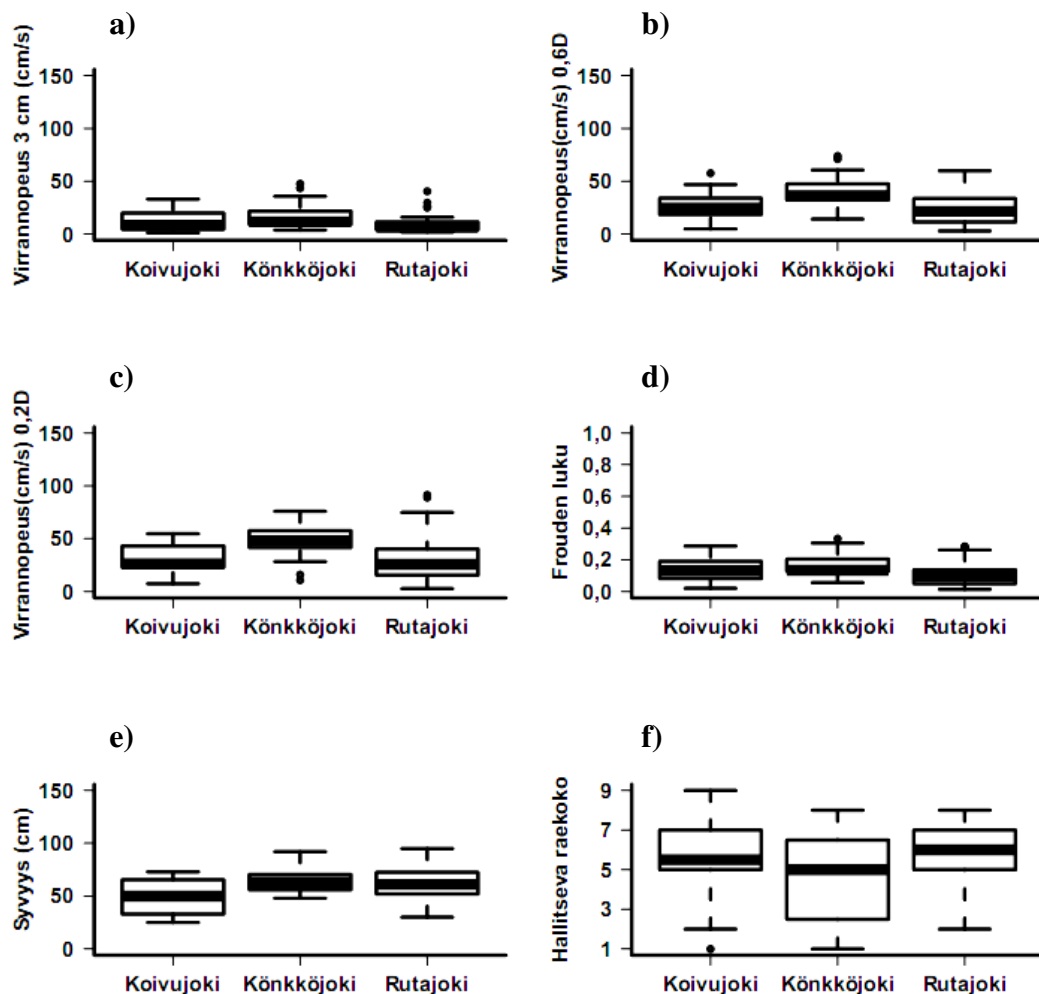


Kuva 8. Kutupesän kuopan leveyden ja pituuden välinen riippuvuus (a), pesien hännän leveyden ja hännän pituuden välinen riippuvuus (b) ja kuopan pituuden ja hännän pituuden välinen riippuvuus (c). Kuvassa r on Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin ja P kaksisuuntaisen testin merkitsevyys.

Kutualueiden syvyyksien ja 0,6D syvyydestä mitattujen virrannopeuksien hajonta on vaihteluvälin ja kvartiilivälin perusteella pienempää kuin satunnaisissa mittauspisteissä, mikä viittaa syvyyksien ja virrannopeuksien valintaan. Raekokojen hajonta on kaikissa kohteissa vaihteluvälin ja kvartiilivälin perusteella melko suurta ja lähes kaikkia raekokoja tavataan hallitsevina pesien edessä sijaitsevilla mittauspisteillä. Kuvajista voidaan kuitenkin havaita valittujen raekokojen kvartiilivälin ja mediaanien perusteella, että taimenten kutualueiden sora on koskiympäristössä tyypillisesti jonkin verran saatavilla olevaa soraa hienojakoisempaa (Kuvat 8 ja 9).

Tutkimuskohteita toisiinsa verrattaessa havaitaan, että Koivu- ja Könkköjoen pesien edestä mitattujen pohjanläheisten virrannopeuksien vaihtelu on suurempaa kuin Rutajoella (Kuva 9). Könkköjoen pesäalueiden virrannopeudet ovat tyypillisesti Koivujoen ja Rutajoen pesäalueita suurempia 0,2D syvyydessä ja 0,6D syvyydessä mitattujen virrannopeuksien mediaanien perusteella. Koivujoen pesät taas ovat Rutajoen ja Könkköjoen pesiä matalammalla mediaanin ja ala- ja yläkvartiilin perusteella tulkittuna. Könkköjoen kutualueiden sora on hienojakoisempaa kuin Koivu- ja Rutajoen kutualueiden sora mediaanin ja kvartiilivälin perusteella tulkittuna. Ero saattaa johtua hienojakoisemman soran paremmasta saatavuudesta Könkköjoen tutkimusalueella. Koivujoen pesien edessä sijaitsevista mittauspisteistä mitattujen Frouden lukujen kvartiilivälit ovat lähes yhtä leveitä kuin Frouden lukujen kvartiilivälit saatavuusmittauspisteissä ja valittujen ja saatavilla olevien alueiden ala- ja yläkvartiilit eivät juuri poikkea toisistaan. Toisaalta Rutajoen tutkimusalueella pesät ovat taas Frouden luvun kvartiilivälin ja mediaanin perusteella sijoittuneet tyypillisesti hidasvirtaisempiin ja suvantomaisempiin osiin koskia kuin tyypilliset saatavuutta kuvaavat mittauspisteet (Kuva 9).

Eri virrannopeustyyppien objektiivisen luokittelumenetelmän mukaan mittauspisteet, joiden Frouden luku on alle 0,2, voitaisiin karkeasti ottaen luokitella koskisuvannoiksi (Jowett 1993), joskin menetelmä on hyvin jokikohtainen ja kriteerit olisi hyvä määrittää joka joelle erikseen. Optimaalinen kutu ympäristö näyttäisi siis olevan kaikkien jokien aineistosta lasketun Frouden luvun mediaanin ja kvartiilivälin perusteella koskisuvanto tai siihen rinnastettava meso ympäristö. Kuitenkin myös kosket näyttäisivät soveltuvan kutumiseen kaikkien tutkimusjokien suurimpien poikkeamattomien Frouden lukujen perusteella. Kaikkien jokien yhdistetyn kutupesäaineiston perusteella Frouden luvut välillä 0,1-0,2 ovat optimaalisia. 3 cm pohjan yläpuolelta mitatuista virrannopeuksista optimaaliset ovat väliltä 4-18 cm/s. 0,6D ja 0,2D syvyyksistä vastaavat luvut ovat 17-40 cm/s ja 21-48 cm/s. Kutualueiden hallitsevan sorapartikkeleiden raekoon kvartiiliväli kaikkien pesien aineistossa on 32-256 mm.



Kuva 9. Kutupesien ylävirranpuoleisen reunan edessä sijaitsevasta muokkaamattomasta kohdasta (mittauspiste 1. Kuvassa 3) mitattu virrannopeus 3 cm pohjan yläpuolelta (a), 0,6D syvyydestä (b) ja 0,2D syvyydestä (c), Frouden luku (d), syvyys (e) ja pohjan sorapartikkeleiden hallitseva raekoko Wentworthin asteikolla (f) (luokkien selitykset löytyvät aineisto ja menetelmät -kappaleesta sivulta 13 Taulukosta 3).

Koivujoen, Könkköjoen ja Rutajoen kutupesien edestä 0,2D, 0,6D syvyyksistä ja 3 cm pohjan yläpuolelta mitatut virrannopeudet, syvyydet ja Frouden luvut poikkesivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Taulukko 7). Dunnin testillä tehtyjen parittaiten vertailujen perusteella Könkköjoen tutkimusalueella pesien edestä 3 cm pohjan yläpuolelta

mitatut virrannopeudet poikkesivat Rutajoen tutkimusalueilla vastaavasta syvyydestä mitatuista virrannopeuksista. Lisäksi pesien edestä 0,6D syvyydestä mitatut virrannopeudet poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi Koivujoessa ja Könkköjoessa ja Könkköjoessa ja Rutajoessa. Pesien edestä pinnasta 0,2D syvyydestä mitatut virrannopeudet poikkesivat toisistaan Könkköjoessa ja Koivujoessa, kun taas Koivujoen pesien edestä mitatut Frouden luvut poikkesivat Könkköjoen pesien edestä mitatuista Frouden luvuista, ja Koivujoen pesien etureunojen syvyys poikkesi Rutajoen ja Könkköjoen syvyyksistä. Raekokojen mediaaneissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa eri tutkimuskohteiden välillä (Taulukot 8 ja 9).

Taulukko 8. Koivujoen, Könkköjoen ja Rutajoen kutupesien edessä sijaitsevista mittauspisteistä mitatun virrannopeuden, Frouden luvun ja syvyyden mediaanien yhtäsuuruuden vertailu Kruskal-Wallis testillä. Taulukossa  $X^2$  on testisuuren arvo, df vapausasteluku ja P merkitsevyystaso.

Muuttuja	$X^2$	df	P
Virrannopeus 3 cm pohjan yläpuolelta	10,09	2	0,006
Virrannopeus 0,6D syvyydestä	13,78	2	0,001
Virrannopeus 0,2D syvyydestä	14,82	2	<0,001
Frouden luku	8,94	2	0,011
Syvyys	9,56	2	0,008
Hallitseva raekoko	3,70	2	0,157

Taulukko 9. Kutupesien edestä mitattujen Koivujoen, Könkköjoen ja Rutajoen virrannopeuden, Frouden luvun ja syvyyden parittaiset vertailut Dunnin testillä. Havaitulla eroilla tarkoitetaan vertailtavien parien järjestyslukujen keskiarvojen eroa. Kriittisellä järjestyslukujen keskiarvojen erolla tarkoitetaan raja-arvoa, jota suurempien arvojen todennäköisyys on pienempi tai yhtäsuuri kuin 0,05.

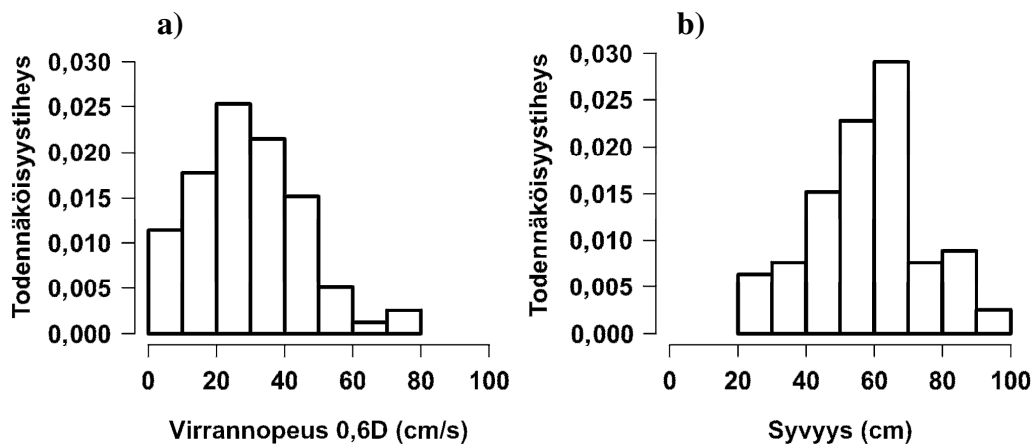
Muuttuja / Vertailu	Havaittu ero	Kriittinen ero	Til. merkitsevä ero
Virrannopeus 3 cm pohjan yläpuolelta			
Koivujoki-Könkköjoki	13,5	16,0	Ei
Koivujoki-Rutajoki	6,2	14,8	Ei
Könkköjoki-Rutajoki	19,8	15,0	On
Virrannopeus 0,6D syvyydestä			
Koivujoki-Könkköjoki	18,0	16,0	On
Koivujoki-Rutajoki	4,5	15,0	Ei
Könkköjoki-Rutajoki	22,6	15,0	On
Virrannopeus 0,2D syvyydestä			
Koivujoki-Könkköjoki	21,4	16,0	On
Koivujoki-Rutajoki	0,9	15,0	Ei
Könkköjoki-Rutajoki	22,2	15,0	On
Frouden luku			
Koivujoki-Könkköjoki	7,6	16,0	Ei
Koivujoki-Rutajoki	10,8	14,8	Ei
Könkköjoki-Rutajoki	18,4	15,0	On
Syvyys			
Koivujoki-Könkköjoki	19,4	16,0	On
Koivujoki-Rutajoki	15,1	14,8	On
Könkköjoki-Rutajoki	4,4	15,0	Ei
Hallitseva raekoko			
Koivujoki-Könkköjoki	4,9	16,0	Ei
Koivujoki-Rutajoki	6,7	14,8	Ei
Könkköjoki-Rutajoki	11,6	15,0	Ei

Pesäkuoppien pohjalle oli usein jäänyt karkeampaa soraa ja hienojakoisempi sora taas oli monesti siirtynyt pesän häntäosaan. Luonnonsoraikoissa oli tyypillisesti vallitsevien raekokojen ohella hyvin monenkokoista soraa hiekasta kiviin (halkaisija 20-50 cm) asti, joita kalat eivät pystyneet siirtelemään. Joissain pesissä kuopan pohja oli kaivettu soran alla olevaan saveen tai hiesuun asti. Yleisesti ottaen kaikkien muuttujien 95 % parametrittomat toleranssivälit kvartiiliväleille ovat melko kapeita (Taulukko 10).

Taulukko 10. Kutupesien edessä sijaitsevasta mittauspisteestä mitattujen virrannopeuksien, Frouden lukujen ja syvyyksien 95 % parametrittomat toleranssirajat kvartiiliväleille.

Muuttuja	95 % toleranssirajat kvartiiliväleille
Virrannopeus 3 cm pohjan yläpuolelta (cm/s)	4-22
Virrannopeus 0,6D syvyydestä (cm/s)	14-44
Virrannopeus 0,2D syvyydestä (cm/s)	16-51
Frouden luku	0,1-0,2
Syvyys (cm)	46-70

Kaikkien jokien pesien etuosien syvyyden ja vesipatsaan keskimääräisen virrannopeuden histogrammia (Kuva 10) tarkastelemalla voidaan arvioida, että sattumanvaraisesti tutkimusjoista poimittu yksittäinen kutupesä sijoittuu todennäköisimmiten alueelle, jossa 0,6D syvyydestä mitattu virrannopeus on väliltä 20-30 cm/s (25 % todennäköisyydellä) ja syvyys väliltä 60-70 cm (29 % todennäköisyydellä).



Kuva 10. Kaikkien kutupesien edestä 0,6D syvyydestä mitatuista virrannopeuksista (a) ja syvyyksistä (b) muodostetut histogrammit. Histogrammien suorakulmioiden rajaamien pinta-alojen summa on 1 ja jokaisen suorakulmion pinta-ala vastaa tietyn lokeron suhteellista frekvenssiä.

Pesien edestä mitattujen syvyyksien histogrammia (Kuva 10 b) ja keskiarvoa (Taulukko 11) tarkastelemalla voidaan arvioida, että jakauman negatiivisen vinouden vuoksi keskimääräinen syvyyden arvo on hieman yleisintä syvyyden arvoa pienempi. Vastaavasti kutupesien edestä 0,6D syvyydestä mitattujen virrannopeuksien keskiarvo saattaa olla hieman yleisintä pesien edestä 0,6D syvyydestä mitattua virrannopeuden arvoa suurempi jakauman positiivisen vinouden vuoksi (Kuva 10 a) (Taulukko 11).

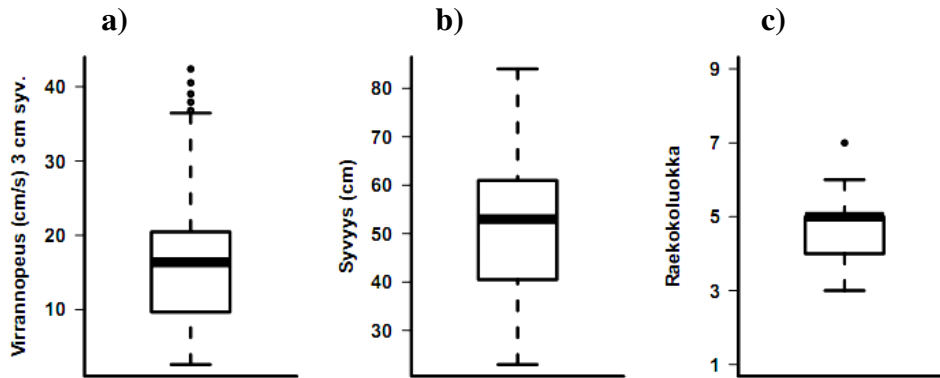


Taulukko 11. Mitattujen muuttujien keskiarvot $\pm$ keskihajonnat jatkuvilla muuttujilla ja moodit luokitteluasteikkoisilla. Raekokoluokkien selitykset löytyvät aineisto ja menetelmät -kappaleesta sivulta 13 Taulukosta 3. Taulukossa Koivu on Koivujoki, Könkkö Könkköjoki, Ruta Rutajoki ja vir. virranopeus.

Muuttuja	Koivu	Könkkö	Ruta	Kaikki
Syvyys kuopassa (cm)	49 $\pm$ 17	65 $\pm$ 12	62 $\pm$ 16	59 $\pm$ 16
Syvyys hännän laella (cm)	34 $\pm$ 16	51 $\pm$ 13	42 $\pm$ 14	43 $\pm$ 16
Syvyys pesän edessä (cm)	43 $\pm$ 17	61 $\pm$ 14	55 $\pm$ 17	55 $\pm$ 17
Syvyys vaihtumiskohdassa (cm)	45 $\pm$ 16	59 $\pm$ 12	51 $\pm$ 15	52 $\pm$ 15
Syvyys pesän takana (cm)	37 $\pm$ 15	52 $\pm$ 13	42 $\pm$ 12	44 $\pm$ 14
Kuopan leveys (cm)	63 $\pm$ 48	75 $\pm$ 27	89 $\pm$ 45	77 $\pm$ 38
Hännän leveys (cm)	74 $\pm$ 47	75 $\pm$ 42	86 $\pm$ 46	78 $\pm$ 42
Vir. pesän edessä 3 cm pohjan yläpuolella (cm/s)	12 $\pm$ 10	18 $\pm$ 12	10 $\pm$ 9	13 $\pm$ 11
Vir. pesän edessä 0,6D syv. (cm/s)	25 $\pm$ 14	39 $\pm$ 15	24 $\pm$ 15	29 $\pm$ 16
Vir. pesän edessä 0,2D syv. (cm/s)	29 $\pm$ 15	48 $\pm$ 17	32 $\pm$ 23	36 $\pm$ 21
Vir. kuopassa 3 cm pohjan yläpuolella (cm/s)	10 $\pm$ 5	18 $\pm$ 9	7 $\pm$ 5	12 $\pm$ 8
Vir. kuopassa 0,6D syv. (cm/s)	23 $\pm$ 12	39 $\pm$ 9	23 $\pm$ 13	28 $\pm$ 14
Virranopeus kuopassa 0,2D syv. (cm/s)	28 $\pm$ 14	49 $\pm$ 15	31 $\pm$ 19	36 $\pm$ 19
Vir. vaihtumiskohdassa 3 cm pohjan yläpuolella (cm/s)	15 $\pm$ 8	24 $\pm$ 10	15 $\pm$ 9	18 $\pm$ 10
Vir. vaihtumiskohdassa 0,6D syv. (cm/s)	27 $\pm$ 12	43 $\pm$ 11	28 $\pm$ 12	37 $\pm$ 18
Vir. vaihtumiskohdassa 0,2D syv. (cm/s)	31 $\pm$ 13	50 $\pm$ 15	31 $\pm$ 18	37 $\pm$ 18
Vir. hännän laella 3 cm syv. (cm/s)	15 $\pm$ 8	24 $\pm$ 10	15 $\pm$ 9	18 $\pm$ 10
Vir. hännän päällä 0,2D syv. (cm/s)	27 $\pm$ 12	43 $\pm$ 11	28 $\pm$ 12	33 $\pm$ 14
Vir. hännän päällä 0,6D syv. (cm/s)	31 $\pm$ 13	50 $\pm$ 15	31 $\pm$ 18	37 $\pm$ 18
Vir. hännän takaosassa 3 cm syv. (cm/s)	18 $\pm$ 14	25 $\pm$ 13	25 $\pm$ 16	24 $\pm$ 15
Vir. hännän takaosassa 0,6D syv. (cm/s)	37 $\pm$ 15	52 $\pm$ 12	43 $\pm$ 20	45 $\pm$ 18
Vir. hännän takaosassa 0,2D syv. (cm/s)	46 $\pm$ 20	57 $\pm$ 15	49 $\pm$ 23	52 $\pm$ 21
Frouden luku pesän edessä	0,1 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,1
Hallitsevien raekokojen moodi pesän edessä (mm)		6	5	6
Hallitsevien raekokojen moodi kuopan pohjalla (mm)		5	6	6
Hallitsevien raekokojen moodi hännässä (mm)		5	4	5
Pesän pinta-ala (m <sup>2</sup> )	1,1 $\pm$ 1,2	1,2 $\pm$ 1,1	1,6 $\pm$ 1,7	1,3 $\pm$ 1,4

Pesät sijoittuivat arviolta yli 80 % tapauksista koskien reunaosiin, koskien niskoille, koskien loppuliukuihin, koskisuvantojen ylä- ja alaosiin ja kivien, tukkien ja pienten saarekkeiden halkomiin monimuotoisiin virranosiin. Kovasta keskivirrasta tai hyvin hidastaisista tai syvistä suvannoista ei löydetty pesiä. Vähintään 20 % pesistä oli kaivettu vedenalaisen nousevan soraharjanteen ylävirran puoleiseen reunaan, mistä on myös aikaisemmissa tutkimuksissa tehty havaintoja. Pesäympäristöjä ei kuitenkaan luokiteltu uoman morfologisten piirteiden perusteella, joten arviot pohjautuvat muistinvaraiseen tietoon ja ovat subjektiivisia.

Häntien laet (mittauspiste 4. Kuvassa 3) sijaitsevat lähempänä pintaa kuin pesien etureunat ja ovat siten ympäröivästä pohjasta koholla. Keskimäärin häntien laet ovat 7 cm pesien etuosia korkeammalla. Häntien laet altistuvat myös pesien etureunaa suuremmille virrannopeuksille ja tyypilliset Frouden luvun arvot ovat pesän etuosasta mitattuja suurempia. Myös raekokojen hajonta on kvartiilivälin leveyden ja vaihteluvälin leveyden perusteella häntien lakien kohdalla pienempää kuin pesien edessä (Kuva 11) (Taulukko 12).



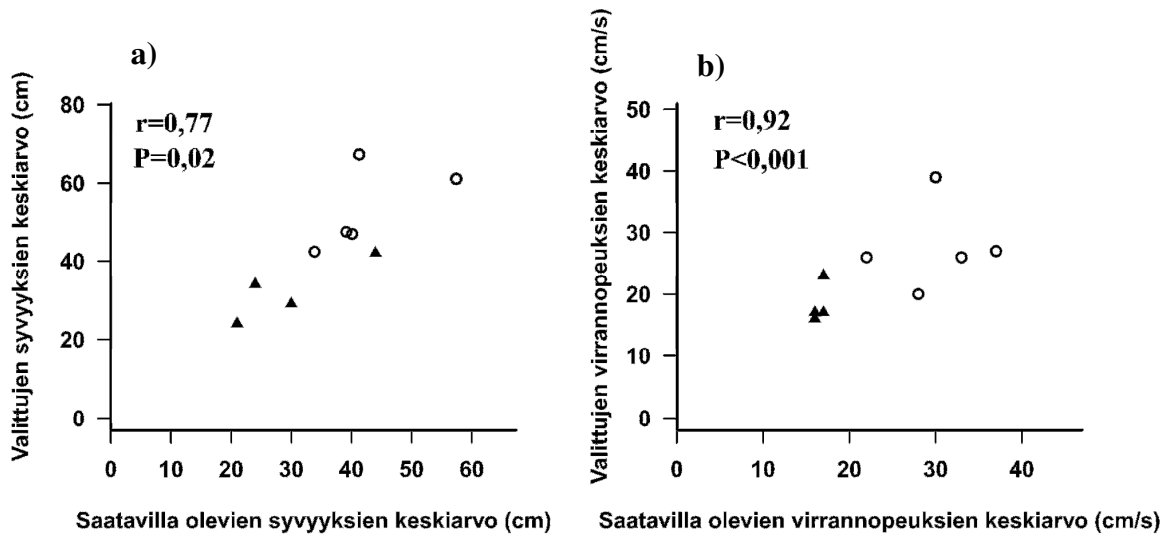
Kuva 11. Kutupesän häntän laelta kalan muokkaamasta kohdasta (mittauspiste 4. Kuvassa 3) mitattu virrannopeus 3 cm pohjan yläpuolelta (a) , syvyys (b) ja hallitseva raekoko (c).

Taulukko 12. Kutupesien häntien laelta mitatulle syvyydelle, virrannopeudelle 3 cm pohjan yläpuolelta ja Frouden luvulle laskettu mediaani ja 95 % luottamusväli, kvartiiliväli ja kvartiilivälille lasketut 95 % parametrittomat toleranssirajat. Hallitsevalle raekoolle on laskettu vain mediaani ja kvartiiliväli, koska muuttuja on järjestysasteikollinen.

Muuttuja	Syvyys (cm)	Virrannopeus 3 cm (cm/s)	Frouden luku	Raekoko
Mediaani	53	16	0,2	32,1-64
Mediaanin 95 % lv	49-58	13-18	0,1-0,2	-
Kvartiiliväli	40-61	10-21	0,1-0,2	16,1-64
95 % toleranssirajat	34-65	9-26	0,1-0,2	-

3 cm pohjan yläpuolelta häntän laelta mitatut virrannopeudet poikkeavat tilastollisesti merkitsevästi pesien edestä 3 cm pohjan yläpuolelta mitatuista virrannopeuksista. (parittaisten otosten Wilcoxonin testi,  $P < 0,001$ ,  $V = 2400$ ). Samoin syvyydet kyseisissä mittauspisteissä poikkeavat toisistaan (parittaisten otosten Wilcoxonin testi,  $P < 0,001$ ,  $V = 54$ ). Sen sijaan pesien edessä sijaitsevan mittauspisteen Frouden luku ei poikkea merkitsevästi harjanteen laen Frouden luvusta (parittaisten otosten Wilcoxonin testi,  $P < 0,001$ ,  $W = 2574$ ).

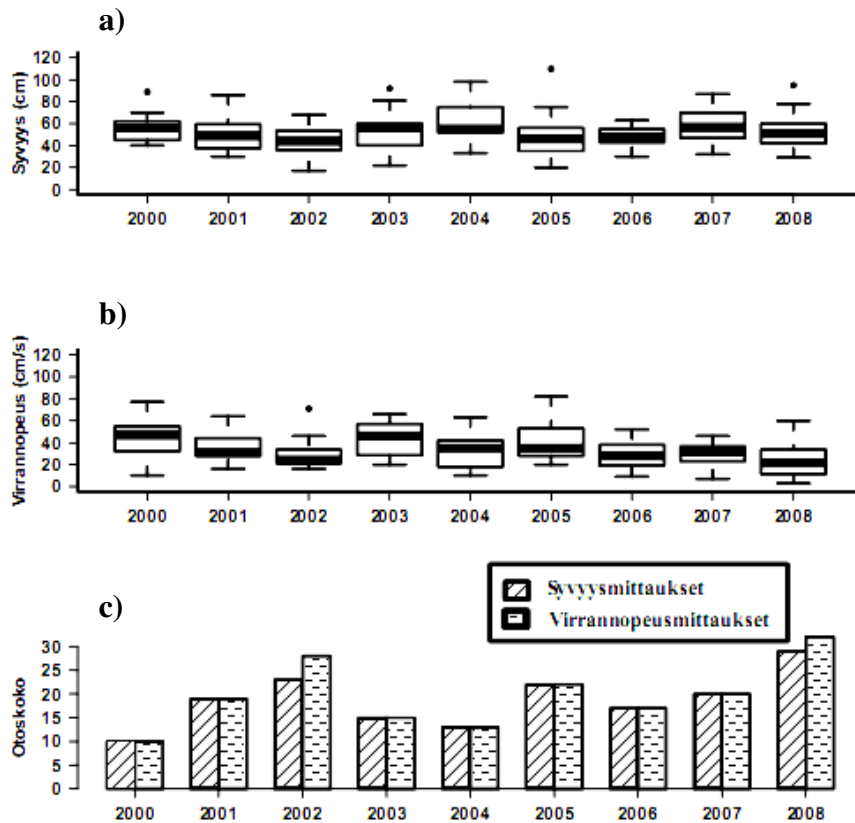
Kutupesien keskisyvyys riippuu saatavilla olevien alueiden syvyydestä. Samoin käytettyjen virrannopeuksien keskiarvot ja saatavilla olevien alueiden virrannopeuksien keskiarvot riippuvat toisistaan (Kuva 12).



Kuva 12. Käytettyjen syvyyksien keskiarvojen ja saatavilla olevien syvyyksien keskiarvojen välinen riippuvuus (a) ja saatavilla olevien 0,6D syvyydestä mitattujen virrannopeuksien keskiarvojen ja valittujen alueiden 0,6D syvyydestä mitattujen virrannopeuksien keskiarvojen välinen riippuvuus (b). Kuvassa r on Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin ja P kaksisuuntaisen testin merkitsevyystaso. Kolmiot esittävät Essingtonin ym. (1998) eri tutkimusalueilla tekemiä mittauksia ja ympyrät tämän tutkimuksen koskikohteissa tehtyjä mittauksia (n=9).

### 4.3. Rutajoen aikasarjat

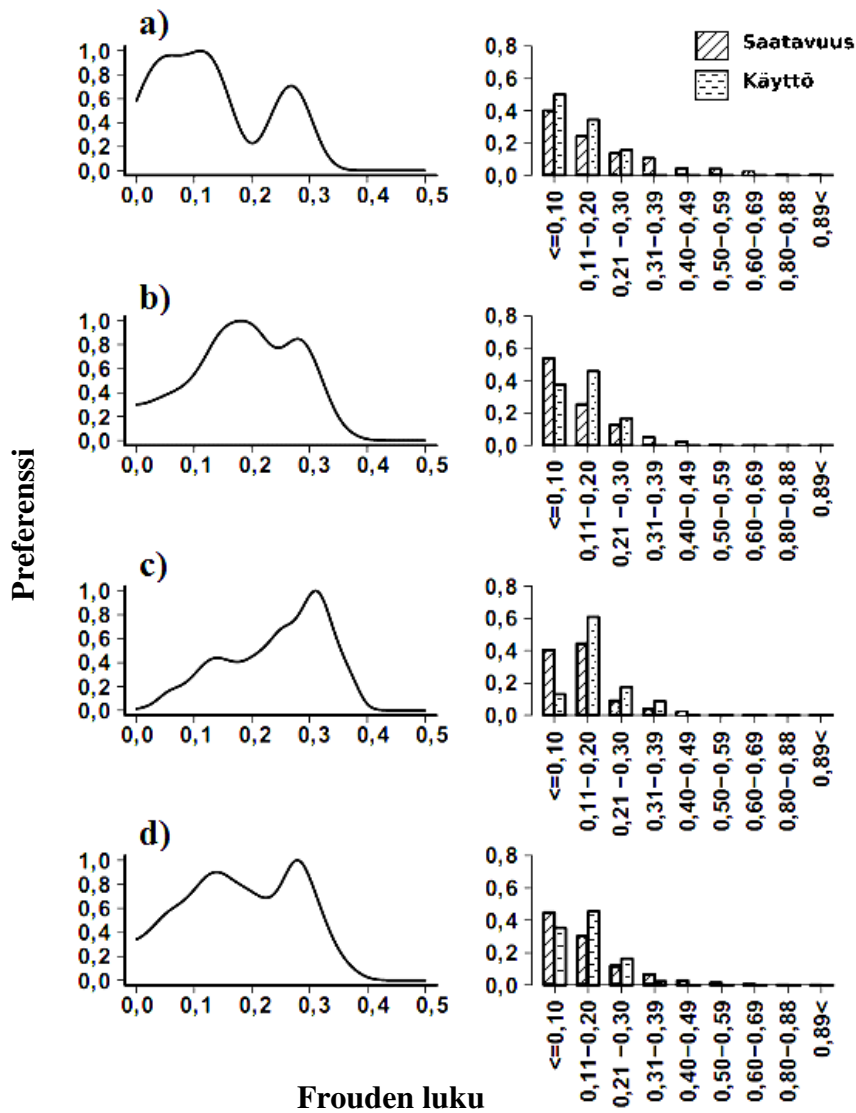
Aikasarjan perusteella taimenet käyttivät Rutajoella tyypillisesti kutualueinaan sellaisia alueita, joissa syvyys oli 40-60 cm. Keskimäiset 50 % vuosien 1999-2008 kutupesien ylävirranpuoleisista pesän etureunan edestä mitatuista syvyyksistä sijoittui tälle välille. Vuosien 2002-2008 yhdistetyssä Rutajoen aineistossa käytetyin raekokoluokka oli väliltä 32,1-64 mm. Virrannopeusaineistossa keskimäiset 50 % virrannopeuksista 0,6D syvyydestä kutupesän edestä ovat olleet väliltä 22-43 cm/s (Kuva 13).



Kuva 13. Rutajoen taimenten käyttämät kutupesän ylävirran puoleisesta muokkaamattomasta kohdasta mitatut syvyydet (a), 0,6D syvyydestä pesän keskeltä mitatut virrannopeudet (b) ja niitä vastaavat otoskoot vuosina 2000-2008 (c). D=syvyys.

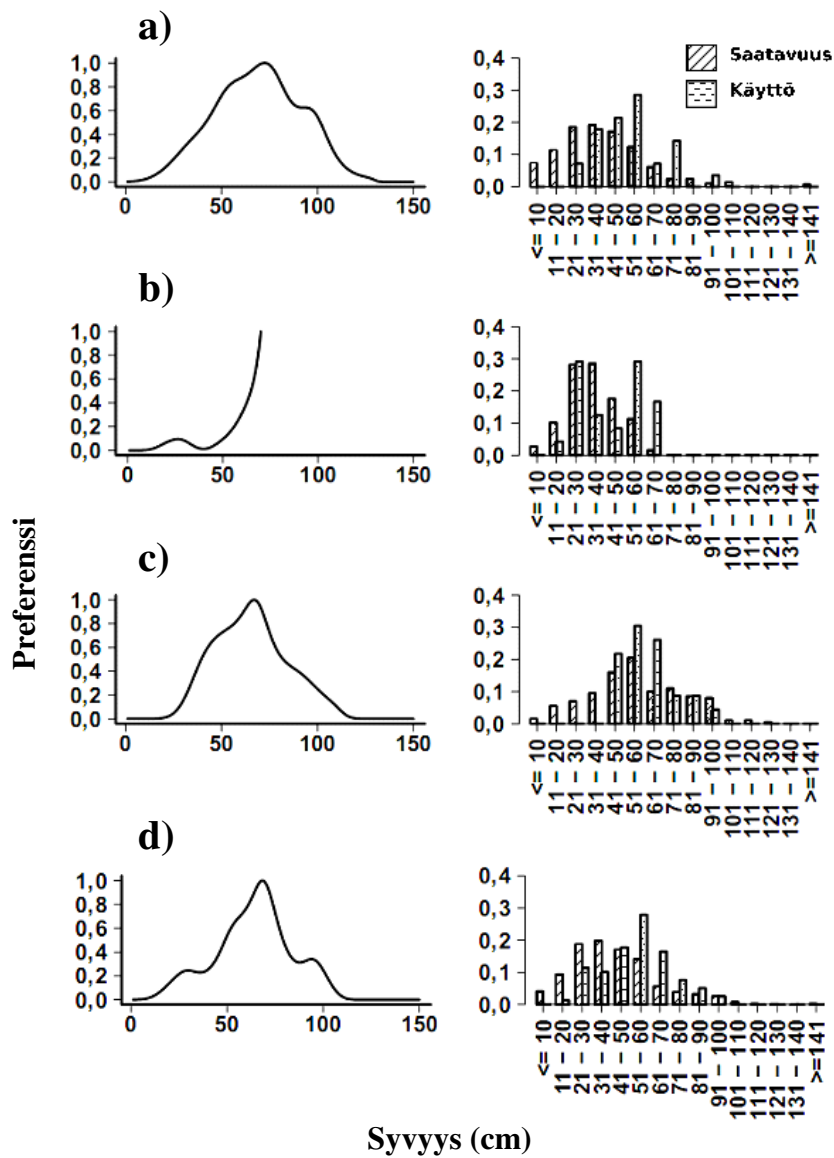
#### 4.4. Kutualueiden suosittu ominaisuudet

Kaikkien jokien aineistossa suosituimmat Frouden luvut ovat väliltä 0,1-0,3 (Kuva 14). Virrannopeuksien objektiivisten luokittelukriteereiden perusteella (Jowett 1993, Moir & Pasternack 2008) tämä tarkoittaa sitä, että kalat pyrkivät valitsemaan koskissa kutualueikseen koskisuvantoja, akanvirtoja ja koskien niskoja ja mahdollisesti myös tasaisen virran alueita, pitkittäissuuntaisia vedenalaisia soraharjanteita, sivu-uomia ja jonkin verran myös varsinaista koskea. Kaikkien jokien aineistossa preferenssi-indeksin arvot laskevat jyrkästi Frouden luvun ylittäessä 0,3. Vastaavanlainen suuntaus havaitaan 0,1 alittavissa Frouden luvun arvoissa. Taimenet siis mahdollisesti välttelevät hidaskvirtaisia ja syviä suvantoja ja hidaskvirtaisia rannanläheisiä alueita, joissa Frouden luku on lähellä nollaa ja voimakaskvirtaisia koskialueita, joissa Frouden luku on yli 0,3. Suosinta ei välttämättä ole samanlaista eri puolilla jokea, koska Koivu- ja Rutajokien preferenssi-indeksit ovat kaksihuippuisia.



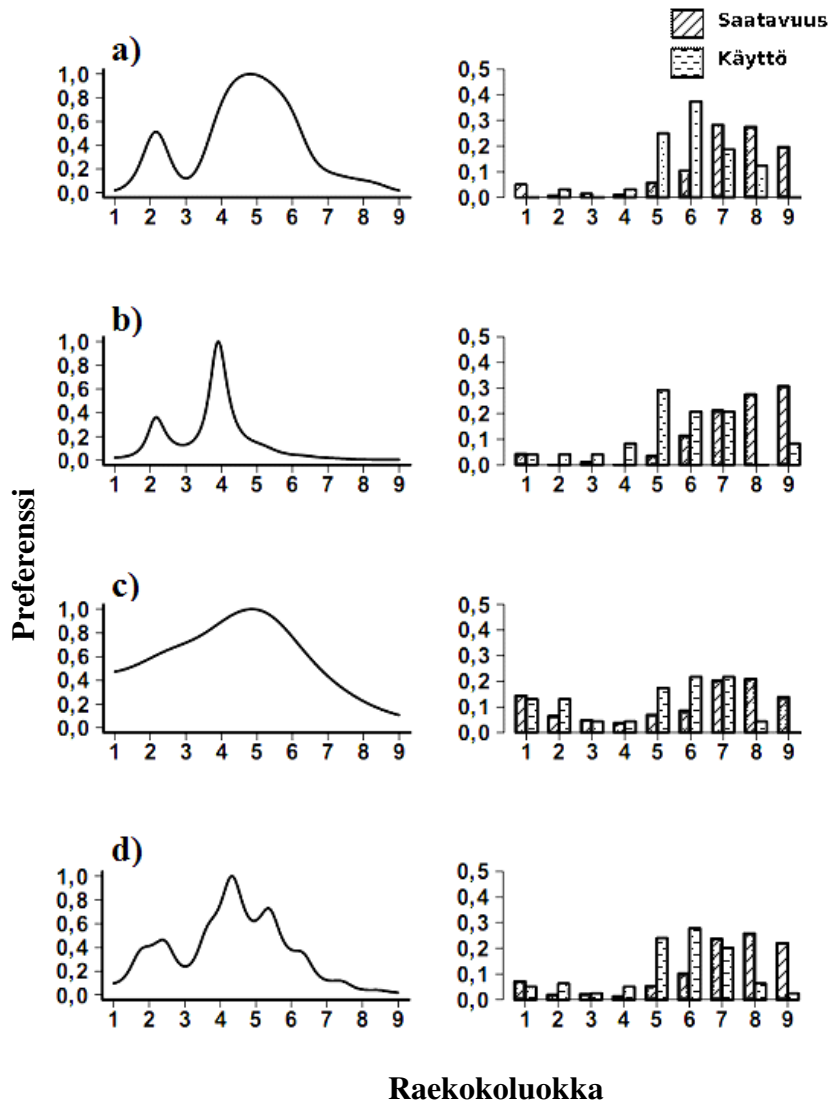
Kuva 14. Frouden lukujen suosintaa kuvaavat preferenssi-indeksit ja saatavilla olevien ja käytettyjen Frouden lukujen suhteelliset frekvenssit luokiteltuina. Kuvassa a) on Rutajoki, b) Koivujoki, c) Könkköjoki ja d) kaikkien jokien aineisto yhdistettynä.

Syvyyksille kaikkien jokien yhdistetystä aineistosta lasketun preferenssi-indeksin perusteella suosituimmat kutualueiden syvyydet ovat väliltä 60-70 cm (Kuva 15).



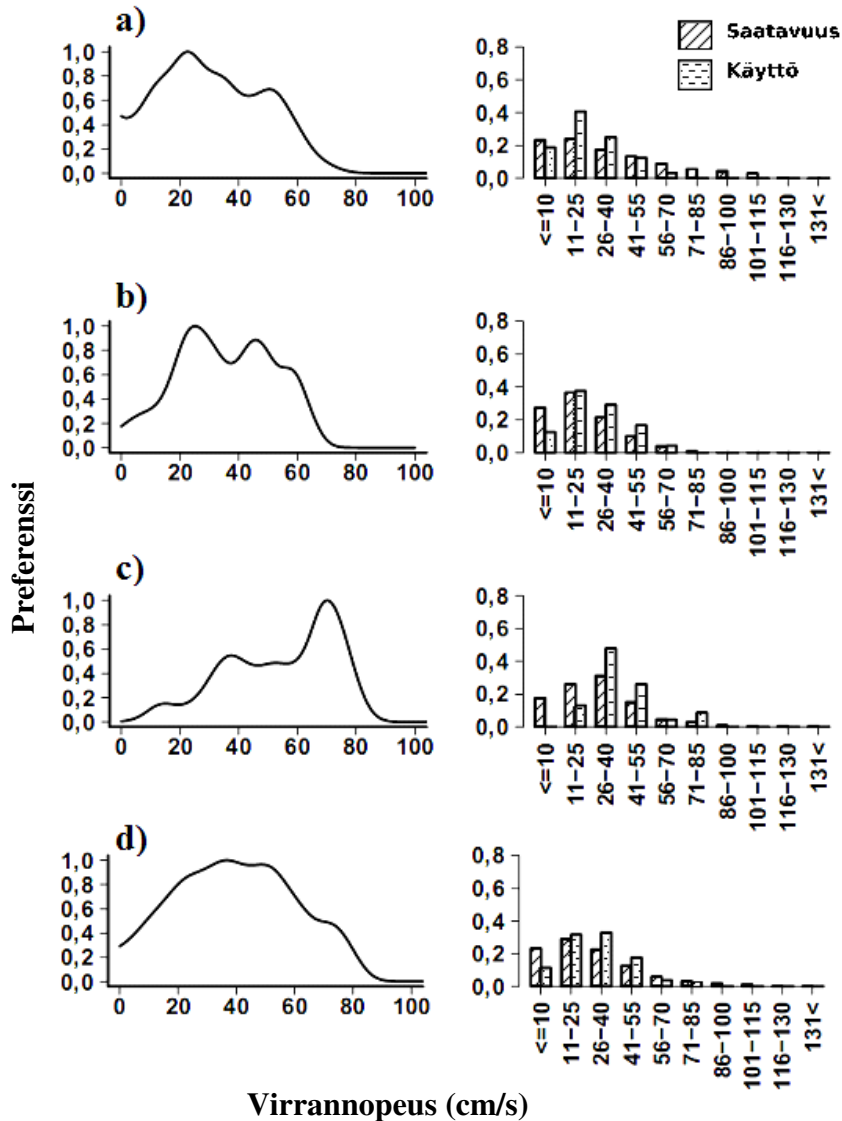
Kuva 15. Syvyyksien suosintaa kuvaavat preferenssi-indeksit ja saatavilla olevien ja käytettyjen syvyyksien suhteelliset frekvenssit luokiteltuina. Kuvassa a) on Rutajoki, b) Koivujoki, c) Könkköjoki ja d) kaikkien jokien aineisto yhdistettynä.

Suosituimmat hallitsevat raekoot ovat kaikkien jokien yhdistetyn aineiston perusteella väliltä 16,1-64 mm (luokat 4, 5) (Kuva 16).



Kuva 16. Raekokojen suosintaa kuvaavat preferenssi-indeksit ja saatavilla olevien ja käytettyjen hallitsevien raekokojen suhteelliset frekvenssit luokiteltuina. Kuvassa a) on Rutajoki, b) Koivujoki, c) Kõnkkõjoki ja d) kaikkien jokien aineisto yhdistettynä. X-akselin raekokoluokkien selitys löytyy aineisto ja menetelmät -kappaleesta sivulta 13 Taulukosta 3.

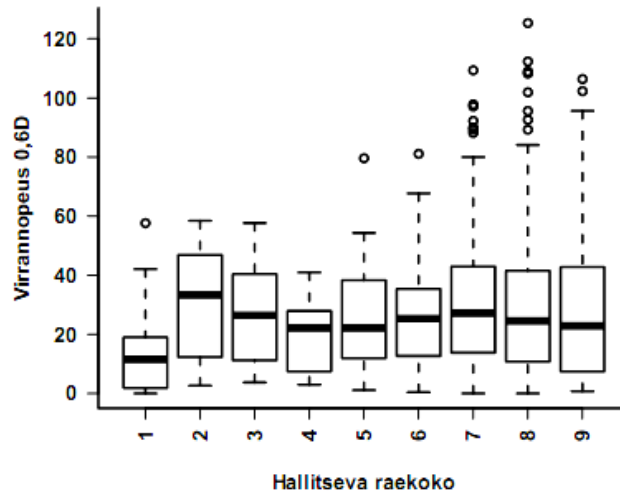
Virrannopeuksien suosintaa kuvaavat preferenssi-indeksit ovat jakaumaltaan melko leveitä. Kaikkien jokien yhdistetyssä aineistossa suosituimmat virrannopeudet ovat kuvaajasta tulkittuna väliltä 20-60 cm/s (Kuva 17).



Kuva 17. Virrannopeuksien suosintaa kuvaavat preferenssi-indeksit ja saatavilla olevien ja käytettyjen virrannopeuksien suhteelliset frekvenssit luokiteltuina. Kuvassa a) on Rutajoki, b) Koivujoki, c) Könkköjoki ja d) kaikkien jokien aineisto yhdistettynä.

Tiettyjen virrannopeuksien suosimista selittänee se, että luokkiin 4 ja 5 sijoittuvia suosituimpia hallitsevien sorapartikkelien raekokoja (suurin halkaisija väliltä 16,1-64 mm) esiintyi pääsääntöisesti vain sellaisilla alueilla, joissa 0,6D syvyydestä mitattu virrannopeus oli alle 60 cm/s (Kuva 18).





Kuva 18. Kaikkien jokien yhdistetyt saatavilla olevat virrannopeudet hallitsevan raekokoluokan mukaan esitettyinä. Luokkien selitykset löytyvät aineisto ja menetelmät -kappaleesta sivulta 13 Taulukosta 3.

#### 4.5. Kutu ympäristöjen ja kutupesien ominaispiirteet

Logistisen regressioanalyysin perusteella kutupesien etureunat erottuvat muusta koskiympäristöstä vain syvyyden ja sorapartikkeleiden hallitsevan raekoon osalta (mukana kategorisena muuttujana) (Nagelkerken selityaste=0,22, N=777), jos tarkasteluun valitaan muuttujiksi syvyys, hallitseva raekoko, Frouden luku ja virrannopeudet 0,6D syvyydestä ja 3 cm pohjan yläpuolelta. Log-muunnoksen jälkeen myös 3 cm pohjan yläpuolelta mitatut virrannopeudet selittivät kutualueeksi luokittumista, mikä saattaa johtua aineistossa olevista poikkeavista havainnoista. Log-muunnoksen jälkeen positiivisesti vinoista ja poikkeavia havainnoita sisältävistä jakaumista tulee symmetrisempiä (Hamilton 1990). Poikkeavat havainnot saattavat tässä tapauksessa johtua pohjanläheisten virtausten turbulentsisuudesta (Kuva 19).

Muut virrannopeudet eri syvyyksistä ja Frouden luku eivät yksittäinkään tarkasteltuina tai muunnostenkaan jälkeen selitä tietyn mittauspisteen kutualueeksi luokittumista koskiympäristössä. Parhaiten tietyn alueen luokittumista kutualueeksi ennustaa regressiokertoimien perusteella 16-128 mm soran saatavuus. Jos kutualueeksi luokittumisen rajaksi säädetään mallin ennustama 0,24 todennäköisyys, kyetään 51 % kutupesistä ja 90 % saatavuusmittauspisteistä luokittelemaan oikein. Kausaalisuudesta ei kuitenkaan voida tuloksen perusteella vetää johtopäätöksiä, sillä muuttujien välillä on riippuvuuksia (Taulukot 13 ja 14).

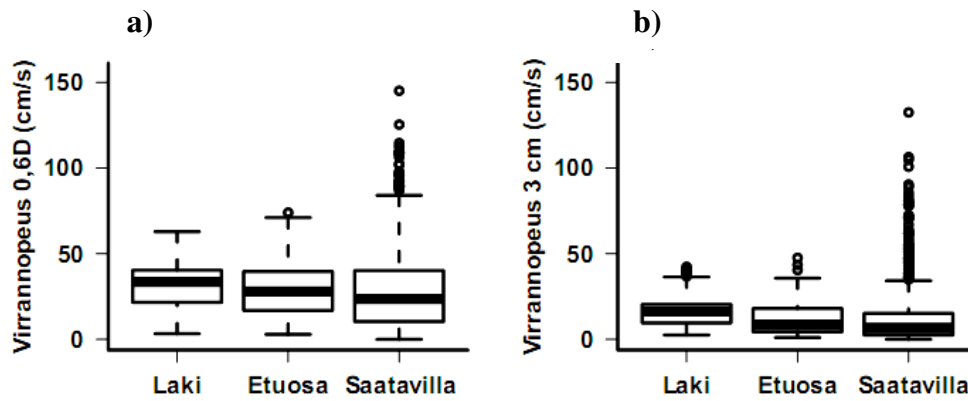
Taulukko 13. Logistiseen regressiomalliin lisäämällä askeltavalla menettelytavalla valitut muuttujat, regressiokertoimet (B), niiden keskihajonnat (s), Waldin testisuureen arvot (Wald), vapausasteet (df) ja muuttujien regressiokertoimien merkitsevyys (P). Muunnellulla Wentworthin asteikolla mitattu raekoko on mukana luokitteluasteikollisena dummy-muuttujana. Kutupesien mittauspisteinä on muokkaamaton kohta pesien etureunan edessä (mittauspiste 1. Kuvassa 3).

Muuttuja	B	s	Wald	df	P
Syvyys	0,02	0,01	7,87	1	0,01
Hallitseva raekoko			53,0	8	<0,001
Raekoko <2 mm	1,78	0,89	4,05	1	0,04
Raekoko 2,1–8 mm	2,93	0,90	10,73	1	0,001
Raekoko 8,1–16 mm	2,02	1,04	3,77	1	0,05
Raekoko 16,1–32 mm	3,16	0,94	11,39	1	<0,001
Raekoko 32,1–64 mm	3,52	0,77	21,05	1	<0,001
Raekoko 64,1–128 mm	3,08	0,75	16,74	1	<0,001
Raekoko 128,1–256 mm	1,92	0,76	6,40	1	0,01
Raekoko 256,1–512 mm	0,83	0,85	0,97	1	0,32
Vakio	-5,06	0,76	43,91	1	<0,001

Taulukko 14. Logistiseen regressioanalyysiin valittujen saatavuutta kuvaavien muuttujien väliset riippuvuudet saatavuusmittauspisteissä korrelaatiomatriisina esitettynä. Tilastollisesti merkitsevät Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimet (kaksisuuntaisen testin 0,05 merkitsevyydellä) on merkitty tähdellä.

Muuttuja	Syvyys	Hallitseva raekoko	Frouden luku	Virrannopeus 0,6D	Virrannopeus 3cm
Syvyys	1,0	-0,17*	-0,07*	0,17*	-0,04
Hallitseva raekoko	-0,17*	1,00	0,11*	0,06	0,08*
Frouden luku	-0,07*	0,11*	1,00	0,96*	0,65*
Virrannopeus 0,6D	0,17*	0,06	0,96*	1,00	0,63*
Virrannopeus 3cm	-0,04	0,08*	0,65*	0,63*	1,00

Vaikka virrannopeuksien lisääminen logistiseen regressiomalliin ei parantanut mallin ennustuskykyä, poikkesivat kutupesän edestä ylävirranpuolelta 0,6D syvyydestä (Kolmogorovin-Smirnovin testi,  $D=0,168$ ,  $P=0,004$ ) ja 3 cm pohjan yläpuolelta (Kolmogorovin-Smirnovin testi,  $D=0,254$ ,  $P<0,001$ ) mitattujen virrannopeuksien jakaumat satunnaisista mittauspisteistä vastaavasta syvyydestä mitatuista virrannopeuksista. Pesien edestä 0,6D syvyydestä mitattujen virrannopeuksien poikkeavat arvot sijoittuvat hitaampiin virrannopeuksiin kuin satunnaisten mittauspisteiden poikkeavat arvot. 0,6D syvyydestä mitattujen virrannopeuksien mediaanit eivät kuitenkaan poikkea toisistaan satunnaisissa mittauspisteissä ja kutualueiden mittauspisteissä (Wilcoxonin testi,  $W=3184$ ,  $P=0,090$ ). Sen sijaan häntien laelta 0,6D syvyydestä mitattujen virrannopeuksien mediaani poikkeaa satunnaisten mittauspisteiden mediaanista (Wilcoxonin testi,  $W=35072$ ,  $P<0,001$ ). Lisäksi myös pesien edestä 3 cm pohjan yläpuolelta mitattujen virrannopeuksien mediaani poikkeaa samasta syvyydestä mitattujen saatavilla olevien virrannopeuksien mediaanista (Wilcoxonin testi,  $W=34387$ ,  $P=0,008$ ) (Kuva 19). Sen sijaan kutupesien etureunasta mitatun Frouden luvun jakauma ei poikkea satunnaisten mittauspisteiden Frouden luvun jakaumasta (Kolmogorovin-Smirnovin testi,  $D=0,122$ ,  $P=0,237$ ).



Kuva 19. Saatavilla olevien alueiden 0,6D syvyydestä (a) ja 3 cm pohjan yläpuolelta mitattujen virrannopeuksien (b) vertailu kutupesien etuosista ja häntien laelta vastaavista syvyyksistä mitattuihin virrannopeuksiin.

Jos lähestymistapaa muutetaan ja vertaillaan kutupesien hännän lakien (mittauspiste 4. Kuvassa 3) ja satunnaisten mittauspisteiden eroja, voidaan havaita kalojen muovaamien kohtien erottuvan syvyyden ja hallitsevan raekoon lisäksi jälleen myös 3 cm pohjan yläpuolelta mitatun virrannopeuden osalta muusta koskiympäristöstä (Nagelkerken selitysaste=0,64, N=777) (Taulukko 15). Tämäkin ero saattaa kuitenkin johtua saatavuusmittauksissa olevista poikkeavista havainnoista. Kun kutupesäksi luokittumisen todennäköisyydeksi säädetään mallin ennustama 0,30, kyetään 87 % kutupesistä ja 93 % satunnaisista mittauspisteistä luokittelemaan oikein (Kuva 19).

Taulukko 15. Logistiseen regressiomalliin lisäämällä askeltavalla menettelytavalla valitut muuttujat, regressiokertoimet (B), niiden keskihajonnat (s), Waldin testisuureen arvot (Wald), vapausasteet (df) ja muuttujien regressiokertoimien merkitsevyys (P). Muunnellulla Wentworthin asteikolla mitattu raekoko on mukana luokitteluasteikollisena dummy-muuttujana. Kutupesien mittauspisteinä pesien harjanteiden laet (mittauspiste 4. Kuvassa 3).

Muuttuja	B	s	Wald	df	P
Syvyys	-0,02	0,01	4,25	1,00	0,04
Hallitseva raekoko			48,93	8,00	<0,001
Raekoko <2 mm	2,67	6213,12	0,00	1,00	1,00
Raekoko 2,1–8 mm	2,73	10829,84	0,00	1,00	<0,001
Raekoko 8,1–16 mm	22,95	2616,01	0,00	1,00	0,99
Raekoko 16,1–32 mm	24,03	2616,01	0,00	1,00	0,99
Raekoko 32,1–64 mm	23,54	2616,01	0,00	1,00	0,99
Raekoko 64,1–128 mm	21,53	2616,01	0,00	1,00	0,99
Raekoko 128,1–256 mm	16,94	2616,01	0,00	1,00	0,99
Raekoko 256,1–512 mm	-1,13	3480,37	0,00	1,00	1,00
Virrannopeus 3 cm pohjan yläpuolelta	0,07	0,02	16,57	1,00	<0,001
Vakio	-23,58	2616,01	0,00	1,00	0,99

#### 4.6. Kutualueiden valinta pienympäristöä laajemmassa mittakaavassa

Pesätihentymiä havaittiin Rutajoen Korvenkosken vesiputouksen ala- ja yläpuolisilla alueilla, Porraskosken alapuolisessa kosken ja suvannon vaihtumiskohdassa, Kyynärpääkosken alapuolisessa kosken ja koskisuvantoalueen vaihtumiskohdassa, Kyynärpääkosken niskalla, Koivujoen Lyytiskosken suvannon niskalla ja kosken alaosissa ja Könkköjoessa Myllykosken ja suvantoalueen vaihtumiskohdassa kosken alaosissa. Muualta löytyneet pesät olivat suhteellisen hajallaan toisistaan ja näyttivät pääsääntöisesti



Taulukko 16. Koskikohtaiset suosituimpien kaltaisten (raekoko väliltä 16-64 mm ja syvyys väliltä 60-70 cm) mittauspisteiden osuudet kaikista saatavuusmittauspisteistä, pesien lukumäärät, pesätiheyksien arviot ja saatavuusmittauspisteiden lukumäärät. Tarkasteltuina muuttujina ovat syvyys ja raekoko. Taulukossa Kyy on Kynnärpääkoski, Por Porraskoski, Kor Korvenkoski, Lyy Lyytiskoski ja M-S Mylly-Sahakoski. Puuttuvia havaintoja sisältävät mittauspisteet on poistettu tarkastelusta.

Koski	Kyy	Por	Kor	Lyy	M-S
Suosittujen kaltaisten osuus (%)	0	0	1	0	1
Kaikkien mittauspisteiden lukumäärä	52	54	80	214	165
Suosittujen kaltaisten lukumäärä	0	0	1	0	2
Kutupesä	13	10	9	22	23
Kutupesä/100 m <sup>2</sup>	1,6	1,2	0,2	0,4	1,6

Optimaalisia kutualueita on sen sijaan tutkituissa koskissa runsaammin saatavilla, jos optimaalisen kutualueen kriteerinä käytetään kutupesien edestä mitattujen raekokojen ja syvyyksien kvartiiliväliä. Ominaisuuksiltaan optimaalisten kutualueiden kaltaisten (hallitseva raekoko väliltä 32,1-256 mm ja syvyys väliltä 50-69 cm) saatavuusmittauspisteiden osuus tutkimuskohteissa tutkimusajankohdan virtaamalla oli keskimäärin noin 10 % luokkaa (Taulukko 17).

Taulukko 17. Koskikohtaisten optimaalisten mittauspisteiden osuudet kaikista saatavuusmittauspisteistä, pesien lukumäärät, pesätiheyksien arviot tutkimusalueilla ja saatavuusmittauspisteiden lukumäärät. Lyhenteiden selostukset edellisessä taulukkotekstissä (Taulukko 16.)

Koski	Kyy	Por	Kor	Lyy	M-S
Optimaalisten osuus (%)	13	11	10	5	12
Kaikkien mittauspisteiden lukumäärä	52	54	80	214	165
Optimaalisten lukumäärä	7	6	8	11	19
Kutupesä	13	10	9	22	23
Kutupesä/100 m <sup>2</sup>	1,6	1,2	0,2	0,4	1,6

## 5. TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1. Valitut kutualueet

Kutualueiden pienympäristöt erottuivat tutkituilla koskialueilla satunnaisten mittauspisteiden pienympäristöistä sorapartikkelien halkaisijan ja syvyyden perusteella, joten ne olivat siis mahdollisesti tärkeimmät kutupaikkojen valintaan koskiympäristössä yhteydessä olevat muuttujat. Muut muuttujat selittivät hyvin heikosti tai eivät lainkaan tietyn alueen kutualueeksi luokittumista. 0,6D syvyydestä mitattu virrannopeus ja Frouden luku eivät selittäneet tietyn alueen kutualueeksi luokittumista tutkituissa koskiympäristöissä, vaikka etenkin virrannopeutta on perinteisesti pidetty eräänä tärkeimmistä kutupaikan valintaan vaikuttavista yksittäisistä muuttujista (esim. Shirvell & Dungey 1983). Kutupesien ja kutualueiden erottuminen 3 cm pohjan yläpuolelta mitattujen virrannopeuksien suhteen saatavilla olevasta ympäristöstä voi johtua poikkeavista havainnoista. Niiden runsauteen voi olla selityksenä pohjan läheisten virtausten pyörteisyys tai mittauspisteiden osuminen pohjassa olevien kivien päälle tai väliin.

Elinympäristöjen valintatutkimusten tulosten tiedetään olevan tutkimukseen valitusta mittakaavasta ja ajakohdasta riippuvaisia (Manly ym. 2002). On mahdollista, että jos saatavuutta kuvaavia mittauksia olisi tehty koskien ulkopuolisilla alueilla ja syvissä ja hidasvirtaisissa suvannoissa, olisivat kutualueet erottuneet muusta virtavesiympäristöstä myös virrannopeuksien osalta. On myös mahdollista, että kaikkia kutualueiden valintaan vaikuttavia tekijöitä ei ole ollut mukana tutkimuksessa. Esimerkiksi uoman kaltevuutta ei huomioitu tässä tutkimuksessa, vaikka skotlantilaisessa lohien kutupaikkavalintaa käsittelevässä tutkimuksessa (Moir ym. 1998) on arveltu, että etenkin uoman kaltevuus vaikuttaa kutumiseen soveltuvan kokoisen soran sijoittumiseen tutkituissa uomissa. Lohien kutupesien taas on havaittu sijoittuvan tutkimuksen perusteella alueille, joille kerääntyy kutumiseen soveltuvan kokoista soraa.

On kuitenkin todennäköistä, että virrannopeudet eri syvyyksistä vaikuttavat koskiympäristöä laajemmassa mittakaavassa epäsuorasti kutualueiden valintaan, sillä tulosten perusteella suurissa virrannopeuksissa esiintyy tyypillisesti karkeampaa soraa kuin pienissä ja virrannopeudet ja sorapartikkelien raekoot korreloivat. On havaittu (Allan 1995), että hidasvirtaisilla alueilla veden happipitoisuus on tyypillisesti voimakasvirtaisia alueita alhaisempi ja hienojakoisen pohja-aineksen osuus suurempi. Lisäksi hidasvirtaisille alueille kerääntyy virtavesissä tyypillisesti voimakasvirtaisia alueita enemmän orgaanista ainesta. Hidasvirtaisten alueiden (virrannopeus alle 10 cm/s) vähäinen suosinta tai jopa välttely koskiympäristössä (Kuva 17) saattaa siis selittyä sillä, että hienojakoista pohja-ainesta esiintyy virtaamattomilla alueilla ja hyvin hidasvirtaisilla alueilla tyypillisesti virtaavia alueita enemmän. On kuitenkin ilmeistä, että pelkästään virrannopeuden perusteella kutualueita ei koskissa valita, koska kutualueiden  $0,6D$  syvyydestä mitattu virrannopeus ei poikkea satunnaisten mittauspisteiden virrannopeudesta. Myös virrannopeuksien suosintaa kuvaavan kaikkien jokien aineistosta muodostetun preferenssi-indeksin jakauma on melko leveä.

On mahdollista, että taimenten kutupesien tiheys saattaa koskissa korreloida soveltuvaa raekokoa olevien soraikoiden pinta-alan kanssa, sillä esimerkiksi punakurkkulohilla (*Oncorhynchus clarki*) on havaittu (Magee ym. 1996), että soveltuvan kokoisesta sorasta muodostuvien soraikoiden pinta-ala on ainoa kutupesien tiheyttä selittävä muuttuja. Kutupaikan valinta saattaa siis olla koskissa ensisijaisesti yhteydessä useisiin pohja-aineksen laatuun vaikuttaviin tekijöihin. 3 cm pohjan yläpuolelta mitattujen virrannopeuksien lisäksi myös syvyys korreloi sorapartikkelien raekoon kanssa. Syvillä alueilla koskiympäristössä esiintyi tyypillisesti matalia alueita enemmän hienojakoista soraa (Kuva 5). Lohilla on havaittu (Levasseur ym. 2006), että erityisesti hienojakoisen hiekan ja siltin osuudella pohja-aineksessa näyttäisi olevan vaikutusta lohien mädin säilyvyyteen. Lohien mätijyvien kuolevuus on suurta alueilla, joissa hienojakoista hiekkaa ja silttiä on runsaasti. Vastaavasti myös taimenilla pohja-aineksen laadun on havaittu (Rubin & Glimsäter 1996) vaikuttavan keskeisesti mätimunien säilyvyyteen. Gotlannissa taimenilla tehdyn tutkimuksen perusteella sorapartikkeleiden raekoko on yhteydessä veden vaihtumiseen soran sisällä ja happipitoisuuteen. Mätijyvien säilyvyydelle laaditun mallin perusteella hienojakoiseen soraan (halkaisijan geometrinen keskiarvo  $<15$  mm) haudatut mätijyvät tuhoutuvat lähes poikkeuksetta ennen kuin niistä ehtii kuoriutua poikasia.

Toisaalta kutualueen virrannopeuden ja mädin säilyvyyden välinen riippuvuus ei aikaisempien tutkimusten perusteella ole yhtä ilmeinen kuin pohja-aineksen laadun, sillä esimerkiksi Norjassa virtavesissä tehdyn tutkimuksen (Barlaup ym. 2008) perusteella mätimunien säilyvyyden ja virrannopeuden välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta. Tutkimuksen perusteella mätijyvien säilyvyys on kuitenkin hyvin alhainen sellaisilla alueilla, joissa virrannopeus on alle 4 cm/s ja syvyys yli 150 cm.

Samansuuntaisia havaintoja on tehty myös Keski-Suomessa Rutajoella ja Arvajalla. Virrannopeuksien, orgaanisen aineksen määrän ja mädin säilyvyyden välillä ei ole havaittu tilastollisesti merkitsevää rippuvuutta (Syrjänen ym. 2008). Taimenet saattavat myös paikoitellen kutea lähes virtaamattomassa vedessä järvien pohjissa sijaitsevien lähteiden läheisyydessä ja alueilla, joissa valuma-alueelta järveen virtaavat vedet pääsevät kumpuamaan pohjan sorapitteen läpi (Brabrand ym. 2002).

Taimenet saattavat siis olla kutualueita koskiympäristössä valitessaan virrannopeuksien suhteen hyvin joustavia ja vastaanvanlasiin päätelmiin on päädytty aikaisemminkin. Wollebæk ym. (2008) havaitsivat tutkimillaan norjalaisilla joilla, että kutupesien edestä mitatuista virrannopeuksista lasketut keskiarvot vaihtelivat tutkimusaluekohtaisesti välillä 20–87 cm/s kaikkien kohteiden vaihteluvälin ollessa 2–124 cm/s. Tämän tutkimuksen joissa 0,6D syvyydestä mitattujen virrannopeuksien vaihteluväli oli 3–74 cm/s. Tulokset ja aikaisemmat havainnot kutualueista viittaavat siis siihen, että kutualueen virrannopeus ei ehkä ole ensisijainen ominaisuus, jonka perusteella taimenet valitsevat kutualueensa koskissa, vaan pohjamateriaalin laatu, syvyys ja mahdollisesti myös soran läpi tapahtuva kumpuaminen menevät tärkeysjärjestyksessä edelle. Koeoloissa on kyetty osoittamaan (Brabrand ym. 2006), että lähes virtaamattomassa vedessä taimenet näyttäisivät suosivan kutualueinaan sellaisia alueita, joissa tapahtuu kumpuamista kutemiseen soveltuvan kokoisen soran läpi. Mätijyvien säilyminen hengissä talven yli edellyttää ilmeisesti soran sisällä olevien mätitaskujen läpi tapahtuvaa hidasta virtausta.

Vaikka kutualueita ei ehkä valita ensisijaisesti virrannopeuden perusteella koskiympäristössä, poikkeavat pesien häntien laet syvyyksien ja raekokojen ohella mahdollisesti 3 cm pohjan yläpuolelta mitattujen virrannopeuksien suhteen muusta koskiympäristöstä. Pesien häntien laet altistuvat mediaanin perusteella pesien edessä sijaitsevaa mittauspistettä ja saatavilla olevia alueita suuremmille virrannopeuksille ja ovat myös ympäröivästä pohjasta kohollaan. Kyseiset häntien lakien ominaispiirteet saattavat johtua kalojen pesäpaikkoihin tekemistä muutoksista ja hyvin pienessä mittakaavassa tapahtuvasta mätitaskujen pienympäristön valinnasta. Aikaisemmin on päätelty (Fu-Chun 2000, Louhi & Mäki-Petäys 2003), että pesät eivät ole sattumalta sellaisia kuin ne ovat, vaan niiden rakenteen tarkoituksena on ilmeisesti edistää veden vaihtumista mätitaskujen ympärillä ja veden virtausta soran läpi. Häntien lakien raekokojen vaihteluväli on myös kapeampi kuin saatavuusmittauspisteiden raekokojen ja tyypillisesti häntien sora on hienojakoisempaa kuin saatavuusmittauspisteissä.

Optimaalisten kutualueiden kaltaisten alueiden pinta-alaosuuksien arviot olivat eri koskissa väliltä 5–13 %. Koskien kokonaispinta-alan ja kutupesien lukumäärän huomioiden kutemiseen soveltuvaa aluetta saattoi siis olla tutkimusajankohdan virtaamalla melko runsaasti saatavilla. On kuitenkin mahdollista, että todellisuudessa kutuaikana saatavilla oleva optimaalisten kutualueiden pinta-ala on huomattavasti tätä pienempi naarastaimenilla havaitun (Johnsson ym. 2000) despoottisen käyttäytymisen vuoksi.

0,6D syvyydestä pesän edestä mitatun virrannopeuden mediaanin 95 % luottamusväli (22–33 cm/s) menee päällekkäin jo aikaisemmista tutkimuksista tehdyssä yhteenvedossa (Louhi & Mäki-Petäys 2003) havaitun suosituimpien virrannopeuksien välin (25–40 cm/s) kanssa. Optimaalisten hallitsevien raekokojen halkaisijat pesien edessä sijaitsevissa mittauspisteissä olivat valituilla kriteereillä väliltä 32–256 mm. Hallitsevat raekoot pesien edessä sijaitsevissa mittauspisteissä olivat siis suurempia kuin mitä aikaisemmin on ilmoitettu taimenten tyypillisesti valitsevan (16–64 mm) (Louhi & Mäki-Petäys 2003). Tarkasteltavan mittauspisteen valinta vaikuttaa kuitenkin oleellisesti päätelmiin, sillä pesien häntien optimaaliset raekoot ovat väliltä 16–64 mm. Vastaavasti preferenssi-

indeksin perusteella suosituimmat raekoot ovat väliltä 16-64 mm, jos tarkasteltavana mittauspisteenä käytetään kutupesien edessä sijaitsevaa muokkaamatonta kohtaa. Norjalaisessa kutusoran käyttöä virtavesikunnostuksissa käsittelevässä tutkimuksessa (Barlaup ym. 2008) on päätelty sukeltamalla tehtyjen havaintojen perusteella, että Wentworthin asteikolla jo halkaisijaltaan 64-128 mm sora saattaa olla liian karkeaa taimenille. On siis mahdollista, että taimennaaraat valitsevat hyvin pienessä mittakaavassa mätijyvien hautaamispaikan ja että pesien edessä sijaitsevan mittauspisteen ominaisuuksien tarkastelu ei anna välttämättä oikeaa käsitystä kutualustana käytettävien raekokojen valinnasta.

Pesien häntäosien laelta ja pesän edestä mitattujen syvyyksien mediaanin 95 % luottamusvälit (48-58 ja 55-65 cm) poikkesivat aikaisemmin havaituista (Louhi ym. 2008) taimenten useimmiten valitsemista syvyyksistä (15-45 cm). Valittujen alueiden keskisyvyys näyttäisi riippuvan saatavilla olevien alueiden keskisyvyydestä, joten tutkittujen jokien kutupesien sijoittuminen tavanomaista syvemmälle saattaa olla seurausta tavanomaista syvempien kutemiseen soveltuvien alueiden saatavuudesta. Vastaavanlaisia havaintoja kutualueiden syvyyksien ja saatavuuden välisistä riippuvuuksista on tehty aikaisemminkin. Englantilaisilla joilla tehdyssä tutkimuksessa (Crisp & Carling 1988) kutupesät sijoittuvat tyypillisesti tämän tutkimuksen joissa havaittua matalampaan. Valittujen kutualueiden syvyydet eivät tutkimuksen perusteella olleet riippuvaisia kutukalojen koosta, vaan saatavuuden arveltiin vaikuttaneen valittujen kutualueiden syvyyksiin. Samankaltaisiin johtopäätöksiin ovat omissa tutkimuksissaan ovat päätyneet myös Wollebæk ym. (2008), joiden Norjassa tekemän tutkimuksen perusteella taimenet kaivoivat kutupesänsä keskimäärin 103 cm syvyyteen. Tuloksia aikaisempiin havaintoihin verrattuaan he myös esittivät, että valtaosa aikaisemmista tutkimuksista on keskittynyt pieniin, mataliin ja helposti tutkittaviin kohteisiin, jolloin ne todellisuudessa aliarvioivat syvempien virranosien käyttöä kutualueina. Päätelmää valittujen syvyyksien ja saatavilla olevien syvyyksien riippuvuudesta tukevat myös Louhin ym. (2008) kokoaman yhteenvedon tulokset, joiden perusteella taimenet ja lohet näyttäisivät suuremmissa joissa valitsevat kutualueensa pienempiä jokia syvemmältä. Lisäksi he arvioivat, että syviä alueita saatetaan käyttää kutualueina vielä tutkimuksissa esiteltyä enemmän, koska syvällä sijaitsevat pesät saattavat jäädä tutkijoilta havaitsematta.

Frouden luku on osoittautunut käyttökelpoiseksi virtavesiympäristöjen valintatutkimuksissa virtavesiympäristöjen objektiiviseen luokitteluun (Jowett 1993, Moir & Pasternack 2008). Tästä huolimatta Frouden luvun huomioivia vertailukelpoisia tutkimuksia on edelleen niukasti. Voidaan kuitenkin todeta, että taimenen pesien edestä mitatut keskimääräiset Frouden luvut poikkesivat Skotlantilaisella Dee-joella lohien kutupesistä mitatuista arvoista. Lohet kaivoivat kutupesänsä tässä tutkimuksessa taimenilla havaittua vuolasvirtaisempiin ja koskimaisempiin virranosiin. Lohilla valtaosa (n. 85 %) kutupesien Frouden luvuista sijoittui välille 0,2-0,5 (Moir ym. 2002) kun taas taimenten kutupesien edestä tässä tutkimuksessa mitatuista Frouden luvuista vastaavan suuruinen osuus sijoittui 95 % varmuudella välille 0,02-0,30. Ero saattaa johtua lajien välisestä erosta virrannopeuksien suosimisessa tai toisistaan poikkeavista paikallisista olosuhteista ja sopeutumisesta niihin. Keski-Suomen virtavesissä kalastusta harrastavilla on ollut vallitsevana käsityksenä, että taimenet kaivavat kutupesänsä tyypillisesti koskien niskoille. Aineiston perusteella näin ei kuitenkaan ole, vaan pienet koskisuvannot ( $A < 100 \text{ m}^2$ ) ovat olleet ylivoimaisesti valituimpia ympäristöjä. Niskojen tasaisista virroista pesät on vain yleensä helpompi havaita paljain silmin ilman vesikiikaria kuin koskialueiden rikkonaisuudesta ja turbulentsista virrasta.



## 5.2. Suositut kutualueet

Tietynlaisten virrannopeuksien suosiminen saattoi olla yhteydessä suositun kokoisen soran esiintymiseen kyseisillä virrannopeuksilla. Tätä päätelmää tukivat havainnot pesien sijoittumisesta kuohuvia koskialueita hidasvirtaisempiin ja vähemmän kalteviin koskisuvantoihin, joihin kerääntyi voimakasvirtaisia alueita enemmän soraa. Halkaisijaltaan suositun kokoisia sorapartikkeleita esiintyi runsaiten  $0,6D$  syvyydestä mitatuissa alle 60 cm/s virrannopeuksissa. Valituilla kriteereillä suositun kaltaisten saatavuusmittauspisteiden osuus kaikista saatavuusmittauspisteistä oli hyvin pieni (0-1 %) kaikissa tutkimuskohteissa. Suositun kutuympäristön ominaisuudet vaihtelivat Rutajoella eri vuosina, kun saatavuus laskettiin vuonna 2008 tehtyjen mittausten perusteella ja valinta-aineistona käytettiin vuosien 2001-2007 pesäaineistoa. Kyseessä voi olla Boveen (1986) esille tuoma eri vuosien toisistaan poikkeavasta saatavuudesta johtuva harha, minkä vuoksi pidemmälle menevistä tarkasteluista luovuttiin.

Taimenet välttelivät koskiympäristössä hyvin hidasvirtaisia ja syviä suvantomaisia alueita, joissa Frouden luku on lähellä nollaa, mikä saattaa olla mädin säilyvyyttä ja täten yksilöiden kelpoisuutta lisäävä käytöksellinen sopeutuma. On mahdollista, että ottamalla hydrologis-geomorfologisia muuttujia mukaan tutkimukseen olisi voitu saada tarkempaa tietoa suositun kaltaisten kutusoraikoiden muodostumiseen vaadittavista olosuhteista ja niiden alueellisesta sijoittumisesta suhteessa käytettyihin kutualueisiin. Valittujen ja suosittujen alueiden ominaisuuksia olisi tällöin voitu myös verrata soraikoiden muodostumiseen vaadittaviin olosuhteisiin kutualueiden suosinnan ja valinnan taustalla olevien tekijöiden ymmärtämiseksi. Tähän resurssit eivät kuitenkaan riittäneet. Tutkimuskohteeksi olisi pitänyt löytää luonnontilainen koskien perkaamiselta, soraistuksilta ja koskien kunnostuksilta säästynyt uoma, mikä olisi Keski-Suomen olosuhteissa ollut lähes mahdotonta. Halkaisijaltaan erikokoisten sorapartikkelien kertymistä uoman eri osiin olisi ollut tällöin mahdollista mallintaa ja ennustaa Shieldin yhtälön avulla, jossa otetaan huomioon sorapartikkeleiden mediaanihalkaisijaan uoman eri osissa vaikuttava virtaavan veden aiheuttama leikkausjännitys (shear stress), uoman kaltevuus, uoman syvyys, uoman leveys ja kriittisen leikkausjännityksen arvo, joka tarvitaan liikuttamaan mediaanihalkaisijaltaan tietyn kokoista soraa (Buffington ym. 2004).

## 5.3. Havainnot kutupesistä

Kutupesien sisäpuolella oli hyvin harvoin sammalta. Taimenet ilmeisesti irrottivat sammaleen kutupesien sisäpuolelta sammaleisilla alueilla. Maastossa tehdyt havainnot myös vahvistivat aikaisempia havaintoja (Crisp & Carling 1988), joiden perusteella kutupesissä oli selvästi vähemmän hienojakoista sedimenttiä ja orgaanista ainesta kuin ympäröivässä sorassa. Pesäalueiden soraa kutuajan jälkeen liikuteltaessa soran joukosta irtosi hyvin vähän tai ei lainkaan hienojakoista aineista. Tämä on odotusten mukaista, koska kalat muovaavat pesän soraikkoon voimakkailla pyrstön ja vartalon heilautuksilla, jolloin myös hienojakoisin aines irtoaa. Kutupesien hännän pituuden, kuopan pituuden ja leveyden ja hännän leveyden välillä ei kuitenkaan ollut yhtä voimakasta riippuvuutta kuin englantilaisissa joissa on havaittu. Se saattoi johtua tutkimusalueiden erilaisesta luonteesta ja sen vaikutuksesta mittaustarkkuuteen. Tutkittujen jokien pohja oli hyvin monimuotoinen ja se saattoi vaikuttaa esimerkiksi kutupesän häntäosan leviämiseen virran mukana. Tasaisesti virtaavissa, matalissa, kauttaaltaan soran peittämässä ja sileäpohjaisissa virranosissa pesät ovat usein selväpiirteisempiä ja helpommin mitattavissa kuin vaihtelevissa koskiympäristöissä.

#### 5.4. Tulokset kutualueiden kunnostusten kannalta

Tulosten perusteella kutualueiden kunnostuksissa voitaisiin käyttää Wentworthin asteikolla 16-64 mm väliltä olevaa soraa (luokat 4 ja 5 Kuvassa 16). Sora voisi sisältää monipuolisesti erikokoisia rakeita, mutta hienojakoisen aineksen ( $d < 15$  mm) osuuden tulisi olla pieni. On osoitettu (Rubin & Glimsäter 1996 & Rubin 1998), että taimenen mädin kuolevuus on korkea (lähes 100 %) keskihalkaisijaltaan alle 15 mm rakeita sisältävässä hienojakoisessa ja homogeenisessä sorassa. Lisäksi sorasta nousemaan pääsevien kuoriutuneiden poikasten osuus on etenkin luonnonoloissa suurempi karkeammassa sorassa kuin hyvin hienossa sorassa mahdollisesti sorapartikkeleiden väliin jäävän tyhjän tilan vuoksi. Soraistuksissa tulisi myös huomioida kutukalojen koko, sillä Norjassa on havaittu (Barlaup ym. 2008), että paikallisista pienikokoisista yksilöistä muodostuvissa taimenkannoissa valituin kutualueen raekokoluokka Wentworthin asteikolla on 16-32 mm ja vaeltavista kookkaammista yksilöistä muodostuvissa kannoissa 32-64 mm.

Kuvaajista tulkittuna eri muuttujien preferenssi-indeksien jakaumat olivat sen verran erilaisia toisiinsa verrattuna, että on aihetta epäillä, voidaanko niiden perusteella tehdä muita jokia koskevia yleistyksiä taimenen kutupaikan suosinnasta. Tämä olisi syytä selvittää jatkossa. Ei myöskään ole itsestään selvää, että kunnostussorat pysyvät koskissa paikoillaan taimenten suosimissa virrannopeuksissa ja syvyyksissä, minkä vuoksi aihe vaatisi lisää tutkimusta. Esimerkiksi uoman kaltevuutta ei otettu tässä tutkimuksessa huomioon.

Vaikka kiviä ja soraa oli Rutajoen ja Koivujoen virtavesikunnostuksissa lisätty uomiin ja syvyyden ja raekoon suhteen optimaalisia kutualueita oli saatavuusmittauspisteiden perusteella kohtuullisesti saatavilla, hälyttävintä kaikissa tutkituissa kohteissa oli karkean puuaineksen vähäinen määrä uomassa. Karkean puuaineksen on havaittu (Abbe & Montgomery 1996, Cowx & Welcomme 1998, Buffinton & Montgomery 1999, Faustini & Jones 2003) edistävän jokien meanderointia, edesauttavan koskisuvantojen syventymistä, vaikuttavan koskisuvantojen välisiin etäisyyksiin ja uoman pohjamateriaalien monimuotoisuuteen. Puuaineksen vähentynyt määrä taas on yhdistetty pohjamateriaalin mediaanihalkaisijan kasvamiseen, koskisuvantojen suhteellisen pinta-alan supistumiseen, soran poishuuhtoutumiseen, uoman ”rännimäisyyteen” ja uoman heikentyneeseen sedimentinpidätyskykyyn. Runsaiten karkeaa puuainesta on havaittu kertyvän uomiin vanhojen rantametsien läheisyydessä, kun taas nuorien metsien läheisyydessä puuainesta voi olla niukasti tai ei lainkaan. Buffinton ym. (2004) ovat osoittaneet tutkimissaan vuoristojoissa, että karkean puuaineksen menetys saattaa pienentää kolmasosalla saatavilla olevaa lohikalojen kutualueiden määrää.

Toimivista soraistusratkaisuista, svantomaisten alueiden pinta-alan lisäämisestä ja soraa sitovista rakenteista on olemassa maailmalta toteutuskelpoisia esimerkkejä (esim. MacInnis ym. 2008, Rubin & Glimsäter 1996 & Cowx & Welcomme 1998). Monet niistä perustuvat tavalla tai toisella karkean puuaineksen ja virtavesissä luontaisesti esiintyvien kivien virtaa ohjailevien vaikutusten jäljittelemiseen. Kivien lisääminen peratuihin uomiin on hyvin yleistä virtavesikunnostuksissa, mutta luontaista karkeaa puuainesta on hyödynnetty Suomessa kunnostuksissa vielä hyvin vähän.

Uomaan kaatuneita puita jäljittelevistä rakenteista toimiviksi ovat osoittautuneet uomaan poikittain tai viistoon sijoitetut tukit ja erilaiset kivistä rakennetut virranohjaimet. Esimerkiksi Gotlannin meritaimenilla tehdyssä kokeilussa (Rubin ym. 2004) saatiin lupaavia tuloksia, kun keinotekoisiiin soraikoihin yhdistettiin pohjapatomaisia soraa sitovia rakenteita, joihin lisättiin katosmaisiiin suojarakenteita ja virranohjaajia. Kutukalat alkoivat havaintojen perusteella käyttää uusia soraikoita ja mädin säilyvyys oli niissä luontaisia

soraikoita parempi, koska niihin kertyi vähemmän hienojakoista kiintoainetta kuin luonnonsoraikoihin (Rubin & Glimsater 1996). Nova Scotiassa lohilla tehdyssä tutkimuksessa (MacInnis ym. 2008) taas havaittiin, että uomissa, joissa karkean puuaineksen määrä oli vähentynyt luontaisesta, saatiin poikastiheydet kasvamaan jäljittelemällä uomaan luontaisesti kaatuneita puunrunkoja uoman poikki viistoon sijoitetuilla tukeilla (digger logs) ja virranohjaimilla. Alueilla, joihin rakenteita lisättiin, kaivettiin merkitsevästi enemmän kutupesiiä kuin muokkaamattomalle vertailualueelle ja parhaimmillaan lähes puolet kutupesistä sijoittui keinotekoisten rakenteiden välittömään läheisyyteen. Kutupesien lukumäärä kasvoi tarkastellussa joessa neljän vuoden ajan kunnostusten jälkeen eksponentiaalisesti, kun taas vertailualueilla kutupesien lukumäärä säilyi ennallaan. Osa kutupesien lukumäärän kasvusta liittyi luultavasti kannan koon luontaiseen vaihteluun, mutta runsas keinotekoisten rakenteiden suosiminen kutupaikkoina näytti kuitenkin viittaavan siihen, että myös kutualueiden parantuneella saatavuudella oli merkittävä vaikutus.

### 5.5. Tulokset mäti-istutusten kannalta

Koskissa mäti-istutukset tulisi tehdä alueille, joiden ominaisuudet vastaavat mahdollisimman hyvin kutupesien häntien lakien (mittauspiste 4 Kuvassa 3) ominaisuuksia. Kyseisen mittauspisteen voidaan olettaa sijaitsevan lähimpänä kalan soraan hautaamia mätitaskuja ja kuvaavan parhaiten niitä ominaisuuksia, joita taimenet kutupesää soraan muokatessaan tavoittelevat. Istutuspaikan syvyyden tulisi mäti-istutuksissa olla tulosten perusteella väliltä 34-65 cm, 3 cm pohjan yläpuolelta mitatun virrannopeuden väliltä 6-42 cm/s ja 0,6D syvyydestä mitatun virrannopeuden väliltä 22-40 cm/s. Sorapartikkeleiden mediaanihalkaisija voisi sijoittua istutuspaikassa välille 16-64 mm. Istutuskohteina pitäisi pyrkiä suosimaan pieniä koskisuvantoja, koskien niskoja ja koskien loppuliukuja. Hidasvirtaisia ja syviä suvantoja, hiekkaista pohjaa ja hyvin voimakasvirtaisia uomien keskiosia pitäisi välttää. Istutuspaikkaa valitessa tulisi ottaa huomioon, että mäti ei saa missään vaiheessa jäädä kuiville.

### 5.6. Jatkotutkimustarpeita

Jatkossa taimenen lisääntymistä käsittelevissä tutkimuksissa pitäisi selvittää, kuinka yleistä Keski-Suomessa on uusien kutupesien kaivaminen aikaisemmin kaivettujen päälle, mikä sen vaikutus on mäti-vaiheen kuolevuuteen ja poikastiheyksiin ja selittääkö sopivien kutualueiden saatavuus ilmiötä. Minnesotassa taimenilla tehdyssä tutkimuksessa on havaittu (Essington ym. 1998), että taimenet saattaisivat suosia kutupaikkoinaan valmiita muiden yksilöiden kaivamia kutukuoppia.

Eri tutkimusjokien kutupaikkojen valintaa ja suosintaa toisiinsa vertailemalla pitäisi selvittää, voidaanko tutkimukseen valittujen muuttujien, mittakaavan ja käytettyjen menetelmien avulla tehdä luotettavia yleistyksiä taimenen kutupaikan valinnasta ja suosittujen kutualueiden ominaisuuksista. On myös epäselvää, onko mädin säilyvyys suurempi valintaindeksin perusteella ominaisuuksiltaan kalojen suosimiksi arvioiduissa ympäristöissä kuin vältellyiksi arvioiduissa ympäristöissä. Lisäksi voimakkaiden syystulvien ja poikkeuksellisen suurten tai alhaisten talvien virtaamien vaikutuksista pesien ehjänä säilymiseen ja mädin ja vastakuoriutuneiden poikasten säilyvyyteen tarvittaisiin enemmän tietoa. Edellä mainittujen tekijöiden selvittäminen auttaisi mahdollisesti ymmärtämään paremmin kutukannan ja rekryyttien lukumäärän välistä riippuvuutta ja poikastiheyksien vuotuisia vaihteluita. Karkean puuaineksen määrästä keskisuomalaisissa virtavesissä voitaisiin tehdä kvantitatiivinen ja spatiaalinen selvitys, jossa otettaisiin huomioon puuaineksen määrän lisäksi sen vaikutus soraikoiden ja

koskisuvantojen muodostumiseen, taimenen kutupesien sijoittumiseen ja poikasten elinympäristön valintaan.

## KIITOKSET

Haluan kiittää työtä ohjanneita Jukka Syrjästä ja Timo Marjomäkeä rakentavista kommentteista. Jukkaa kiitän erityisesti avustamisesta ja opastamisesta kutupesien etsinnässä ja saatavuuksien mittailussa. Osoitan myös kiitollisuutta maastotyössä avustamassa olleita Kimmo ja Olli Sivosta, Jouni Kivistä, Samuel Gründleriä ja Katri Tammista kohtaan. Keski-Suomen TE-keskuksen kalatalousyksikköä haluan kiittää projektin rahoituksesta.

## KIRJALLISUUS

- Abbe T. & Montgomery D. 1996. Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers. *Regul. River.* 12: 201-221.
- Allan D. 1995. *Stream ecology: structure and function of running waters*. Chapman-Hall, Alankomaat, 404 s.
- Anonyymi 2009a. OIVA - ympäristö- ja paikkatietopalvelu (valtion ympäristöhallinnon virastot). <http://www.wp2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp>. 30.3.2009.
- Anonyymi 2009b. *NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods*. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/mpc/section3/mpc32.htm>. 9.11.2009.
- Bain M., Finn J. & Booke H. 1988. Streamflow Regulation and Fish Community Structure. *Ecology* 69: 382-392.
- Barker J., Starmer W. & Fogleman J. 1994. Genotype-specific habitat selection for oviposition sites in the cactophilic species *Drosophila buzzatii*. *Heredity* 72: 384-395.
- Barlaup P., Gabrielsen S., Skoglund H. & Wiers T. 2008. Addition of spawning gravel – a means to restore spawning habitat of atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and anadromous and resident brown trout (*Salmo trutta* L.) in regulated rivers. *River. Res. Applic.* 24: 543-550.
- Bovee K. 1986. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the Instream Flow Incremental Methodology. Instream Flow Information paper 21. U.S. Fish. Wildl. Serv. *Biol. Rep.* 86: 1-235.
- Bowman A. & Azzalini A. 1997. *Applied Smoothing Techniques for Data-analysis: The Kernel Approach with S-plus Illustrations*. Oxford University Press, New York, 208 s.
- Brabrand Å, Koestler A. & Borgstrøm R. 2002. Lake spawning brown trout related to groundwater influx. *J. Fish. Biol.* 60: 751-763.
- Brabrand Å, Hansen B. & Koestler A. 2006. Creation of artificial upwelling areas for brown trout, *Salmo trutta*, spawning in still water bodies. *Fisheries Manag. Ecol.* 13: 293-298.
- Buffington J. & Montgomery D. 1999. A procedure for classifying textural facies in gravel-bed rivers. *Wat. Resour. Res.* 35: 1903-1914.
- Buffington J. & Montgomery D. & Greenberg H. 2004. Basin-scale availability of salmonid spawning gravel as influenced by channel type and hydraulic roughness in mountain catchments. *Can. J. Aquat. Sci.* 61: 2085-296.
- Cowx I. & Welcomme R. 1998. *Rehabilitation of Rivers for Fish*. Alden Press, Oxford, 260 s.
- Crisp D. & Carling P. 1988. Observations on siting, dimensions and structure of salmonid redds. *J. Fish. Biol.* 34: 119-134.

- Elliot J. M. 1994. *Quantitative Ecology and the Brown trout*. Oxford University Press, New York, 304 s.
- Essington T., Sorensen P. & Paron D. 1998. High rate of red superimposition by brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*) in a Minnesota stream cannot be explained by habitat availability alone. *Can. J. Aquat. Sci.* 55: 2310-2316.
- Esteve M. 2005. Observation of spawning behaviour in Salmonidae: *Salmo*, *Oncorhynchus* and *Salvelinus*. *Rev. Fish. Biol. Fisher.* 15: 1-21.
- Faustini J. & Jones J. 2003. Influence of large woody debris on channel morphology and dynamics in steep, boulder-rich mountain streams, western Cascades, Oregon. *Geomorphology* 51: 187-205.
- Felley J. & Hill L. 1983. Multivariate Assessment of Environmental Preferences of Cyprinid Fishes of the Illinois River, Oklahoma. *Am. Midl. Nat.* 109: 209-221.
- Fu-Chun W. 2000. Modelling embryo survival affected by sediment deposition into salmonid spawning gravels: Application to flushing flow prescriptions. *Wat. Resour. Res.* 36: 1595-1603.
- Garcia-Vazquez E., Moran P., Martinez J., Perez J., de Gaudemar B. & Beall E. 2001. Alternative Mating Strategies in Atlantic Salmon and Brown Trout. *J. Hered.* 92: 146-149.
- Grost R., Hubert W. & Wesche T. 1991. T. Description of Brown Trout Redds in a Mountain Stream. *Trans. Am. Fish. Soc.* 120: 582-588.
- Hamilton L. 1990. *Modern Data Analysis: A First Course in Applied Statistics*. Wadsworth, USA, 684 s.
- Johnsson J., Carlsson M. & Sundström L. 2000. Habitat preference increases territorial defence in brown trout (*Salmo trutta*). *Behav. Ecol. Sociobiol.* 48: 373-378.
- Jobling M. 1995. *Environmental Biology of Fishes*. Chapman & Hall, London, 476 s.
- Jowett I. 1993. A method for objectively identifying pool, run, and riffle habitats from physical measurements. *New Zeal. J. Mar. Fresh.* 27: 241-248.
- Jowett I. & Richardson J. 1995. Habitat preference of common, riverine New Zealand native fishes and implications for flow management. *New Zeal. J. Mar. Fresh.* 29: 13-23.
- Kondolf G. & Wolman M. 1993. The Sizes of Salmonid Spawning Gravel. *Wat. Resour. Res.* 29: 2275-2285.
- Krebs J. & Davies N. 1993. *An introduction to behavioural ecology*. Blackwell, Oxford, 420 s.
- Labonne J., Augery M., Parade M., Brinkert S., Prevost E., Héland M. & Beall E. 2008. Female preference for male body size in brown trout, *Salmo trutta*: is big still fashionable? *Anim. Behav.* 77: 129-137.
- Lehtonen H. 2003. *Iso kalakirja*. WSOY. Porvoo, 280 s.
- Levasseur M., Bergeron N., Lapointe M. & Berube F. 2006. Effects of silt and very fine sand dynamics in Atlantic salmon (*Salmo salar*) redds on embryo hatching success. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63: 1450-1459.
- Louhi P. & Mäki-Petäys A. 2003. Elämää soraikon ulkopuolella ja sisällä – lohen ja taimenen kutupaikan valinta sekä mädin elinympäristövaatimukset. *Kalatutkimuksia* 191, 1-23 s.
- Louhi P., Mäki-Petäys A. & Erkinaro J. 2008. Spawning habitat of Atlantic salmon and brown trout: general criteria and intragravel factors. *Riv. Res. Applic.* 24: 330-339.
- MacInnis C., Floyd T. & Taylor B. 2008. Large Woody Debris Structures and Their Influence on Atlantic Salmon Spawning in a Stream in Nova Scotia, Canada. *N. Am. J. Fish. Manag.* 28: 781-791.

- Magee J., McMahon T. & Thurow R. 1996. Spatial Variation in Spawning Habitat of Cutthroat Trout in a Sediment-Rich Stream Basin. *Trans. Am. Fish. Soc.* 125: 768-779.
- Manly B., MacDonald L., Thomas D., MacDonald T. & Erickson W. 2002. *Resource Selection by Animals: Statistical Design and Analysis for Field Studies*. Kluwer. Dordrecht, 236 s.
- Martin T. 1998. Are microhabitat preferences of coexisting species under selection and adaptive ? *Ecology* 79: 656-670.
- Moir H. & Pasternack G. 2008. Relationship between mesoscale morphological units, stream hydraulics and Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) spawning habitat on the Lower Yuba River, California. *Geomorphology* 100: 527-548.
- Moir H., Soulsby C. & Youngson A. 1998. Hydraulic and sedimentary characteristics of habitat utilized by Atlantic salmon for spawning in the Girnock Burn, Scotland. *Fisheries Manag. Ecol.* 5: 241-254.
- Moir H., Soulsby C. & Youngson A. 2002. Hydraulic and sedimentary controls on the availability and use of Atlantic salmon (*Salmo salar*) spawning habitat in the River Dee system, north-east Scotland. *Geomorphology* 45: 291-308.
- Morris D. 2003. Toward an ecological synthesis: a case for habitat selection. *Oecologia* 136: 1-13.
- Mäki-Petäys A., Erkinaro J., Huusko A. & Muotka T. 2002. Transferability of habitat suitability criteria of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 218-228.
- Ottaway E., Carling P., Clarke A. & Reader N. 1981. Observations on the structure of brown trout, *Salmo trutta* Linnaeus, redds. *J. Fish. Biol.* 19: 593-607.
- Roff D. 2002. *Introduction to Computer-Intensive Methods of Data Analysis in Biology*. Cambridge University Press, Cambridge, 378 s.
- Rubin J. 1998. Survival and emergence pattern of sea trout fry in substrata of different compositions. *J. Fish. Biol.* 53: 84-92.
- Rubin J. & Glimsäter C. 1996. Egg-to-fry survival of the sea trout in some streams of the Gotland. *J. Fish. Biol.* 48: 585-606.
- Rubin J., Glimsäter C. & Jarvi T. 2004. Characteristics and rehabilitation of the spawning habitats of the sea trout, *Salmo trutta*, in Gotland (Sweden). *Fisheries Manag. Ecol.* 11: 15-22.
- Saraniemi M. 2005. Oulankajoen taimenkannan vaellus, rakenne ja koko vuosina 1965-2003. *Oulun yliopisto, Biologian laitos*, 74 s.
- Shirvell C. & Dungey R. 1983. Microhabitats Chosen by Brown Trout for Feeding and Spawning in Rivers. *T. Am. Fish. Soc.* 112: 355-367.
- Siegel S. & Castellan N. 1988. *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. McGraw-Hill, New York, 399 s.
- Silverman B. 1986. *Density Estimation for Statistics and Data analysis*. Chapman & Hall, Bristol, 176 s.
- Syrjänen J., Kiljunen M., Karjalainen J., Eloranta A. & Muotka T. 2008. Survival and growth of brown trout *Salmo trutta* L. embryos and the timing of hatching and emergence in two boreal lake outlet streams. *J. Fish. Biol.* 72: 985-1000.
- Thomas J. & Bovee K. 1993. Application and testing of a procedure to evaluate transferability of habitat suitability criteria. *Regul. River.* 8: 285-294.
- Tukey J. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley, USA, 688 s.
- Wentworth C. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* 30: 377-392.
- Wilks S. 1941. Determination of Sample Sizes for Setting Tolerance Limits. *Ann. Math. Statist.* 12: 91-96.

- Wollebæk J., Thue R. & Heggenes J. 2008. Redd Site Microhabitat Utilization and Quantitative Models for Wild Large Brown Trout in Three Contrasting Boreal Rivers. *N. Am. J. Fish. Manag.* 28: 1249-1258.
- Wood M. 2004. Statistical inference using bootstrap confidence intervals. *Significance* 1: 180-182.