

---

RKTL:n työraportteja 20/2013

# Nousulohien käyttäytyminen voimalaitosten alakanavissa ja kalatiehen hakeutumiseen vaikuttavat tekijät: kirjallisuuskatsaus

Mikko Jaukkuri, Panu Orell, Olli van der Meer, Peter Rivinoja, Riina Huusko ja Aki Mäki-Petäys



Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki  
2013

---



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2007-2013

Tämä kirjallisuuskatsaus on osa maksullisesta tutkimuspalvelusta ”Kalateiden suunnittelua ohjaavat lohien käyttäytymistutkimukset lijoella vuosina 2011-2012”, jonka Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen toteuttama lijoen kalatiet 2011-2013 -hanke tilasi Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitokselta (RKTL) 31.5.2011. Tämän lopullisen kirjallisuuskatsauksen viimeistelyssä on hyödynnetty lisäksi RKTL:n ”Toimivatko kalatiet?” -hankkeeseen saamaa rahoitusta maa- ja metsätalousministeriöltä.



Julkaisija:  
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos  
Helsinki 2013

ISBN 978-952-303-036-7 (Verkkajulkaisu)

ISSN 1799-4756 (Verkkajulkaisu)

RKTL 2013

# Kuvailulehti

<b>Tekijät</b> Mikko Jaukkuri, Panu Orell, Olli van der Meer, Peter Rivinoja, Riina Huusko ja Aki Mäki-Petäys			
<b>Nimeke</b> Nousulohien käyttäytyminen voimalaitosten alakanavissa ja kalatiehen hakeutumiseen vaikuttavat tekijät: kirjallisuuskatsaus			
<b>Vuosi</b> 2013	<b>Sivumäärä</b> 31	<b>ISBN</b> 978-952-303-036-7	<b>ISSN</b> 1799-4756
<b>Yksikkö/tutkimusohjelma</b> Tutkimus- ja asiantuntijapalvelut/Rakennettujen jokien tutkimusohjelma			
<b>Hyväksynyt</b> Jaakko Erkinaro, Tutkimus- ja asiantuntijapalvelut			
<b>Tiivistelmä</b> Tähän kirjallisuuskatsaukseen on pyritty kokoamaan keskeinen tietämys niistä tekijöistä, jotka vaikuttavat lohien (Salmo salar L.), nousuvaelluksen onnistumiseen kalateissä. Erityisesti on keskitytty siihen, miten lohet hakeutuvat vesivoimalaitosten alakanavista kalateihin ja kuinka tätä hakeutumiskäyttäytymistä voitaisiin tehostaa kalateiden hyvällä etukäteissuunnittelulla. Lohen vaelluskäyttäytymiseen vaikuttavat mm. seuraavat keskeiset ympäristötekijät ja ihmistoiminnan aiheuttamat ympäristömuutokset: <ul style="list-style-type: none"><li>• virtaaman määrä ja sen muutokset</li><li>• veden lämpötila, sameus, happipitoisuus, turbulenssi, ilmanpaine, pilvisuus, äänet sekä hajut</li><li>• padot, voimalaitokset, voimalaitosten alakanavat ja patoaltaat</li><li>• voimalaitosten käyttö</li></ul> Lohi pyrkii yleensä nousuvaelluksellaan voimakkaimman virtauksen suuntaan. Tämä on kalatien toimivuuden kannalta ongelmallista, koska kalatien virtaama verrattuna voimalaitosten turbiineista tulevaan virtaamaan on tavallisesti vähäinen. Lohi saadaan kuitenkin nousemaan kalatiehen, kun olosuhteet kalatien sisäänkäynnissä saadaan riittävän houkutteleviksi. Kalatien sisäänkäynnin houkuttelevuuteen vaikuttavat tutkimusten mukaan seuraavat asiat: <ul style="list-style-type: none"><li>• sisäänkäynnin sijainti (tavallisesti mahdollisimman lähellä turbiineja ja joen rantaan)</li><li>• virtaama sisäänkäynnissä (toimivissa kalateissä tavallisesti 2-10 % joen keskivirtaamasta)</li><li>• virranopeus sisäänkäynnissä (lohikaloille sekä muille suurikokoisille lajeille 2,0-2,4 m/s)</li><li>• putouskorkeus sisäänkäynnissä (lohelle 0,3-0,4 m)</li><li>• purkautuvan virran suunta (&lt;30 asteen kulmassa pääuoman virtaukseen nähden)</li></ul> Kalatien sisäänkäynnin rakenteiden lisäksi kalatien toiminnan kannalta on tärkeää huomioida myös voimalaitosten käyttö, jolla voi olla suuri vaikutus kalateiden toimivuuteen etenkin voimakkaasti lyhytaikaissäännöstellyissä joissa. Kalateihin liittyvät ongelmat ovat nykytietämyksellä ainakin pääosin ratkaistavissa, jos tutkimukseen, suunnitteluun ja rakentamiseen panostetaan riittävästi.			
<b>Asiasanat</b> Houkutusvirtaama, kalatie, lohi, luonnonvarainen, rakennetut joet, sisäänkäynti, vaelluskäyttäytyminen, ympäristöolosuhteet			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b> <a href="http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/nousulohet_kirjallisuuskatsaus.pdf">http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/nousulohet_kirjallisuuskatsaus.pdf</a>			
<b>Yhteydenotot</b> Mikko Jaukkuri, <a href="mailto:mikko.jaukkuri@rktl.fi">mikko.jaukkuri@rktl.fi</a> tai Panu Orell, <a href="mailto:panu.orell@rktl.fi">panu.orell@rktl.fi</a>			
<b>Muita tietoja</b>			

# Sisällys

<b>Kuvailulehti</b>	<b>3</b>
<b>1. Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2. Lohen elinkierto ja kutuvaellus</b>	<b>6</b>
<b>3. Lohen kutuvaellukseen vaikuttavat tekijät</b>	<b>7</b>
3.1. Ympäristötekijöiden vaikutus	7
3.2. Ihmistoiminnan vaikutus	8
<b>4. Lohien käyttäytyminen vaellusesteiden alapuolella – hakeutuminen kalatiehen</b>	<b>9</b>
4.1. Virrannopeuden ja virtaaman vaikutus lohien käyttäytymiseen	9
4.2. ”Jojo”-käyttäytyminen	10
4.3. Kalatiehen hakeutuminen ja kalatien selvittäminen	11
4.4. Vaelluksen viivästyminen	12
4.5. Kalatie voi olla valikoiva – ongelma vaelluskalakantojen palauttamiselle	13
<b>5. Toimiva kalatie – sisäänkäynnillä suuri merkitys</b>	<b>14</b>
5.1. Kalatien sisäänkäynnin sijainti	15
5.2. Kalatien houkutusvirtaama	17
5.3. Kalatien sisäänkäynnin muoto ja putouskorkeus	18
5.4. Virrannopeus kalatien sisäänkäynnissä	21
5.5. Kalatien sisäänkäynnin suuntaus suhteessa alakanavan virtauksiin	21
5.6. Sisäänkäynnin jälkeinen kalatie	22
<b>6. Voimalaitosten käytön vaikutus kalatiehen hakeutumiseen</b>	<b>23</b>
<b>7. Alakanavaolosuhteet Suomessa - erityispiirteitä</b>	<b>23</b>
<b>8. Yhteenveto ja johtopäätökset</b>	<b>24</b>
<b>Kiitokset</b>	<b>25</b>
<b>Viitteet</b>	<b>25</b>
<b>Liitteet</b>	<b>31</b>

## 1. Johdanto

Suurin osa Suomen merkittävimmistä vaelluskalavesistöistä on rakennettu sähköntuotantoon 1900-luvulla. Näiden vesistöjen patoaminen on pääsääntöisesti estänyt vaelluskalojen luonnonvaraisen elinkierron, sillä voimalaitosten yhteyteen ei ole rakennettu kalateitä (Erkinaro ym. 2011) tai rakennetut kalatiet eivät ole toimineet. Suomessa voimalaitosrakentamisen aiheuttamat haitat kalastolle ja kalastukselle on tavallisesti kompensoitu laajamittaisilla kalanpoikasten istutuksilla, joita tehdään sekä meri- että jokialueille (Erkinaro ym. 2011).

Pitkällä aikavälillä istutushoito ei takaa elinvoimaisten ja perimältään monimuotoisten vaelluskalakantojen säilymistä (Sutela ym. 2012). Vaelluskalojen luonnonvaraisen lisääntymiskierron elvyttäminen onkin keskeinen toimenpide vaelluskalakantojen monimuotoisuuden ja niiden pitkän aikavälin menestymisen turvaamiseksi (Sutela ym. 2012). Tähän päämäärään tähtää mm. valtioneuvosten keväällä 2012 hyväksymä kansallinen kalatiestrategia (MMM 2012).

Luonnonvaraisten vaelluskalakantojen elvyttämisen perusedellytys on, että vaelluskalojen kaikki elinkierron vaiheet voivat toteutua, mikä puolestaan edellyttää toimivia vaellusyhteyksiä lisääntymis- ja syönnösalueiden välillä (Calles 2005, Thorstad ym. 2008, Mäki-Petäys ym. 2012). Rakennetuissa joissa kalojen vaellusyhteydet lisääntymisalueille ovat tavallisesti kokonaan poikki ja merkittäviä ongelmia voi esiintyä myös vaelluspoikasten ja talvikoiden alasvaelluksessa kohti syönnösalueita (Calles 2005, Rivinoja 2005, Huusko ym. 2012).

Vaelluskalojen kutuvaellus rakennettujen jokien vapaana virtaaville ja lisääntymiseen soveltuville alueille toteutetaan tavallisesti kalateiden avulla (kuva 1). Vaihtoehtoisesti kutuvalmiiden kalojen pääsy vaellusesteiden yläpuolelle voidaan järjestää myös aktiivisin ylisiirroin (Orell ym. 2011). Kalatiet ovat tavallisesti suunniteltu ylävirtaan nousevien kalojen ehdoilla, mutta ne voivat soveltua myös alasvaeltaville vaelluspoikasille ja talvikoille (Whitney ym. 1997). Alasvaelluksellaan vaelluskalojen poikaset voivat päästä voimalaitosten alapuolelle myös turbiinien läpi, mutta siihen liittyy usein merkittävää kuolleisuutta (Ferguson 2008) ja vaelluksen hidastumista (Orell ym. 2010, Huusko ym. 2012).

Toimivien vaellusyhteyksien avaaminen kalateiden avulla on kokonaisuudessaan haastava tehtävä. Kalateiden ohella luonnonvaraisten vaelluskalakantojen palauttaminen edellyttää tavallisesti monipuolisen tukitoimenpidepaletin hyödyntämistä (Mäki-Petäys ym. 2012). Kalatiehankkeisiin liittyvät suuret rakentamiskustannukset edellyttävät laadukasta suunnittelua ja kalateiden toimivuuteen vaikuttavien tekijöiden selvittämistä jo ennen kalateiden rakentamista. Suomessa tämä selvitystyö on erittäin ajankohtaista, sillä maamme merkittävimpiin rakennettuihin jokiin (mm. Kemi-, Ii-, Oulu- ja Kymijoki) on parhaillaan suunnitteilla toistakymmentä uutta kalatietä. Näiden lisäksi kalatierakentaminen ja kalateiden suunnittelu on käynnissä monissa pienemmissä rakennetuissa vesistöissä.

Tähän kirjallisuuskatsaukseen on pyritty kokoamaan keskeinen tietämys niistä tekijöistä, jotka vaikuttavat lohen (*Salmo salar* L.), nousuvaelluksen onnistumiseen kalateissä ja erityisesti siihen, miten lohet hakeutuvat vesivoimalaitosten alakanavista kalateihin ja kuinka tätä hakeutumiskäyttäytymistä voitaisiin tehostaa kalateiden hyvällä etukäteissuunnittelulla. Lohikalojen nousuvaellusta ja hakeutumista kalateihin on tutkittu verraten paljon eri puolilla maailmaa (mm. Roscoe & Hinch 2010, Dunford 2011, Noonan ym. 2012), koska näillä kalalajeilla on suuri taloudellinen ja virkistysellinen merkitys.



**Kuva 1.** Rakennetuissa joissa vaelluskalojen kulkuyhteyksiä turvataan yleensä kalateiden avulla. Kuvassa Oulujoen Merikosken kalatien alaosan pystyrako-osuutta. Kuva: P. Orell.

## 2. Lohen elinkierto ja kutuvaellus

Atlantin lohen elinkierto on kaikkialla lohen levinneisyysalueella pääsääntöisesti samanlainen. Se pitää sisällään poikasvaiheen makeassa vedessä, pitkän vaelluksen syönnösalueille mereen ja sieltä jälleen vaelluksen takaisin syntymäjokeen lisääntymään (Klemetsen ym. 2003, Thorstad ym. 2011).

Lohen levinneisyysalueen pohjoisosan joissa lohi kutee tavallisesti syys-lokakuussa ja poikaset kuoriutuvat talven jälkeen seuraavana keväänä. Ruskuaispussivaiheen jälkeen alkaa niin sanottu joki-poikasvaihe, joka kestää tavallisesti kahdesta kuuteen vuotta (mm. Klemetsen ym. 2003, Aas ym. 2011). Saavutettuaan noin 15-20 cm pituuden lohen jokipoikaset käyvät läpi muodonmuutoksen (smolttiutumisen), joka valmistaa ne fysiologisesti selviämään syönnösvaelluksellaan merivedessä (Hoar 1988, Thorstad ym. 2011). Tämä muodonmuutos ajoittuu kevätkesään, jonka jälkeen vaelluspoikaset eli smoltit siirtyvät jokialueelta mereen syönnösalueilleen (Thorstad ym. 2011). Meressä lohet kasvavat runsaiden ravintovarojen ansiosta nopeasti ja saavuttavat kutukypsyyden 1-5 merivuoden jälkeen, jonka jälkeen ne aloittavat kutuvaelluksen kohti syntymäjokeaan (Thorstad ym. 2011).

Pohjoisissa joissa lohen kutuvaellus alkaa jo kevätkesällä, useita kuukausia ennen varsinaista kutuaikaa. Tutkimuksissa on havaittu, että lohen kutuvaelluksessa jokialueella on havaittavissa kolme erilaista vaihetta: (1) varsinainen vaellusvaihe (migratory phase), jossa lohi nousee joko suoraan tai ”askelittain” kutupaikkansa lähetyville; (2) etsimisvaihe (search phase), joka pitää sisällään liikettä sekä ylä- että alavirtaan kutualueen läheisyydessä; (3) odotusvaihe (holding phase), jossa kalat eivät juuri enää liiku, vaan odottelevat kutualueensa lähistöllä sopivia olosuhteita (mm. veden lämpötila) kututapahtuman käynnistämiseksi (Økland ym. 2001).

Kututapahtuman rasituksista selviytyneet lohet joko talvehtivat joessa tai siirtyvät suoraan mereen uudelle syönnösvaellukselle (Jonsson ym. 1991). Uuden syönnösvaelluksen jälkeen lohet nouse-



vat uudestaan kudulle syntymäjokeensa. Parhaimmillaan lohet voivat nousta kotijokeensa lisääntymään jopa 7 kertaa, mutta suurin osa yksilöistä selviää kudulle vain kerran (Fleming 1996).

### 3. Lohen kutuvaellukseen vaikuttavat tekijät

Merkittävistä tutkimuspanostuksista huolimatta Atlantin lohen vaelluskäyttäytymisen luotettava ennustaminen vaihtelevissa olosuhteissa on edelleen epävarmaa. Lohen vaelluskäyttäytymiseen vaikuttavat monet ympäristötekijät (mm. Williams ym. 2011) ja toisaalta ihmistoiminnan aiheuttamat ympäristömuutokset (Thorstad ym. 2008). Näiden eri tekijöiden yhteisvaikutukset muodostavat monimutkaisen kokonaisuuden, jonka tutkiminen ja selvittäminen on vaikeaa (Thorstad ym. 2008).

#### 3.1. Ympäristötekijöiden vaikutus

Virtaaman määrää ja virtaaman muutoksia on tavallisesti pidetty tärkeimpinä tekijöinä, jotka vaikuttavat lohen vaellukseen jokialueella (Banks 1969, Laughton 1989, Jonsson 1991)(kuva 2). Erityisesti virtaaman kasvun on havaittu saavan lohet jatkamaan vaellustaan silloin, kun vaellus on ollut pysähdyksissä (Banks 1969). Virtaaman kasvulla on havaittu olevan suurin vaikutus vaellusaktiivisuuteen pienissä joissa (Jensen ym. 1998, Thorstad ym. 2008). Erityisen merkittävä vaikutus virtaamalla on havaittu olevan lohen nousuhalukkuudessa jokien pääuomista pieniin sivujokiin (Laughton 1989, Thorstad ym. 2008). Tämä ilmiö on hyvä muistaa kalateiden suunnittelussa, sillä kalatiet ovat käytännössä pääuomaan laskevia pieniä ”sivujokia”.

Virtaaman lisäksi muita lohen vaellukseen vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat mm. veden lämpötila, sameus, happipitoisuus, turbulenssi, ilmanpaine, pilvisyys, äänet sekä hajut (Banks 1969, Thorstad ym. 2008, Williams ym. 2011). Monet näistä tekijöistä vaikuttavat yhdessä virtaaman kanssa ja siksi niiden merkityksen tutkiminen lohien vaellukseen on monimutkaista. Oikeastaan vain lämpötilan ja virtaaman yhdysvaikutusta on tutkittu syvällisemmin ja näillä tekijöillä on havaittu olevan vaikutusta lohen vaellusaktiivisuuteen (Jonsson 1991).

Useissa tutkimuksissa veden lämpötilan on havaittu vaikuttavan lohen vaellukseen siten, että fyysisesti vaativien esteiden ylittäminen vaikeutuu sekä alhaisissa että korkeissa lämpötiloissa (Beamish 1978, Booth ym. 1997). Pientenkin esteiden ylitys on lohelle hankalaa, kun veden lämpötila laskee alle 5–6 °C (Jensen ym. 1986, Gowans ym. 1999a), ja toisaalta vaellusaktiivisuus heikkenee merkittävästi lämpötilan noustessa yli 20 °C (Alabaster 1990).

Vaelluskalojen hakeutumiseen kalatiehen ja siten kalatien toimivuuteen veden lämpötila voi vaikuttaa silloin, kun lämpötila vaihtelee voimakkaasti kutuvaelluksen aikana. Veden lämpötila voi muodostua ongelmaksi, jos kalatiestä tuleva vesi on selvästi lämpimämpää kuin voimalaitoksen alakanavassa virtaava vesi (Banks 1969). Edellä kuvattu tilanne voi syntyä mm. silloin, kun kalatien vesi otetaan patoaltaan pintakerroksesta ja turbiineihin tuleva vesi syvemmältä. Toisaalta kalatiessä virtaava vesi voi myös lämmitä huomattavasti, jos kalatien virtaama on vähäinen ja kalatie on matala ja pitkä. Pohjoisissa joissa kevättulvien aikana esiintyvä samanaikainen alhainen veden lämpötila ja voimakas virtaama voivat myös osaltaan hidastaa lohien nousuvaellusta (Thorstad ym. 2008).



**Kuva 2.** Virtaamalla ja virtaaman kasvulla on vaikutusta lohien liikkumiseen. Tavallisesti kasvava virtaama aktivoi lohien vaellusta, mutta liian kova virtaama saattaa kuitenkin estää vaelluksen jatkumisen esimerkiksi luonnonputousten kohdalla. Kuva Näätämöjoen Kolttakönkältä Norjasta. Kuva: P. Orell.

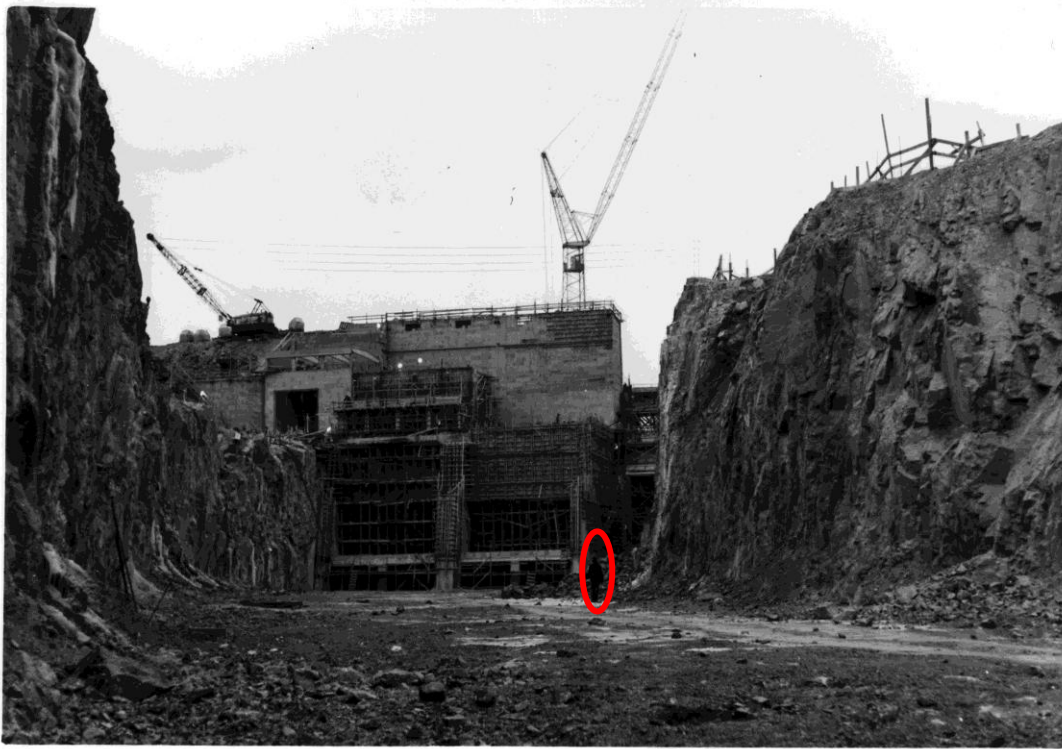
### 3.2. Ihmistoiminnan vaikutus

Evoluutio on muovannut lohien vaelluskäyttäytymistä siten, että kalayksilöt löytävät sopivat vaellusreitit jyrkilläkin koskialueilla. Ihmistoiminnan vaikutuksesta monet joet ovat kuitenkin muuttuneet sekä uomarakenteeltaan että virtauksiltaan jyrkästi luonnonlohijoista poikkeaviksi (Johnsen ym. 2011)(kuva 3) ja nämä muutokset voivat merkittävästi vaikuttaa lohien vaelluskäyttäytymiseen ja kykyyn jatkaa nousuvaellustaan (Thorstad ym. 2008, Johnsen ym. 2011). Varsinaisten patorakennelmien lisäksi myös vesivoimalaitosten alakanavat ja patoaltaat voivat hidastaa tai jopa kokonaan pysäyttää lohien vaelluksen, jos niiden rakenne on ristiriidassa lohien luontaisten käyttäytymismallien kanssa (Gerlier & Roche 1998, Rivinoja 2005, Lundqvist ym. 2008).

Vaikka tietyn esteen ohittaminen olisikin lohelle fyysisesti mahdollista, voivat vallitsevat veden virtaukset ohjata kalayksilön sellaiseen kohtaan vaellusestettä, mistä sen ohittaminen ei ole mahdollista (Thorstad ym. 2008). Esimerkiksi voimalaitosten alakanavissa lohet hakeutuvat usein turbiinivirtoihin, vaikka vieressä olisi ylävirtaan nousun mahdollistava kalatierakenne (Karppinen ym. 2002, Thorstad ym. 2008). Myös voimalaitosten väliset patoaltaat, joita lohella sinänsä ei ole vaikea edetä, voivat vaikuttaa lohien vaelluskäyttäytymiseen. Tutkimuksissa on havaittu, että jo muutaman kilometrin mittaisissa patoaltaissa lohien vaellus voi hidastua (Gowans ym. 1999b). Useiden peräkkäisten patoaltaiden ylitys saattaa hidastaa lohien vaellusta jo merkittävästi ja siten vaikuttaa niiden kykyyn selviytyä lisääntymisalueilleen oikeaan aikaan. Oulujoella laajan patoaltaan (n. 36 km) ei kuitenkaan tutkimuksissa ole havaittu merkittävästi hidastavan lohien nousuvaellusta. Radiolähettimellä merkityt yksilöt nousivat kyseisen patoaltaan läpi erittäin nopeasti, tavallisesti 1-2 vuorokaudessa (Karppinen ym. 2008).



Yllä mainittujen potentiaalisten ongelmien vuoksi kalateiden suunnittelussa on syytä tarkoin huomioida kalateitä mahdollisesti käyttävien lajien biologiset ominaispiirteet ja käyttäytymismallit. Tämä edellyttää biologisten asiantuntijoiden käyttöä kalateiden suunnitteluprosesseissa sekä valmis-tuneiden kalateiden säätämisessä.



MAALISMAA 4335

**Kuva 3.** Kallioon louhittu voimalaitoksen alakanava Iijoen Maalismaalla rakentamisvaiheen aikana. Alakanavan syvyyttä kuvaa hyvin kanavan pohjalla oleva ihminen (musta hahmo punaisen soikion sisällä). Kuva: Pohjolan Voiman arkisto.

## 4. Lohien käyttäytyminen vaellusesteiden alapuolella – hakeutuminen kalatiehen

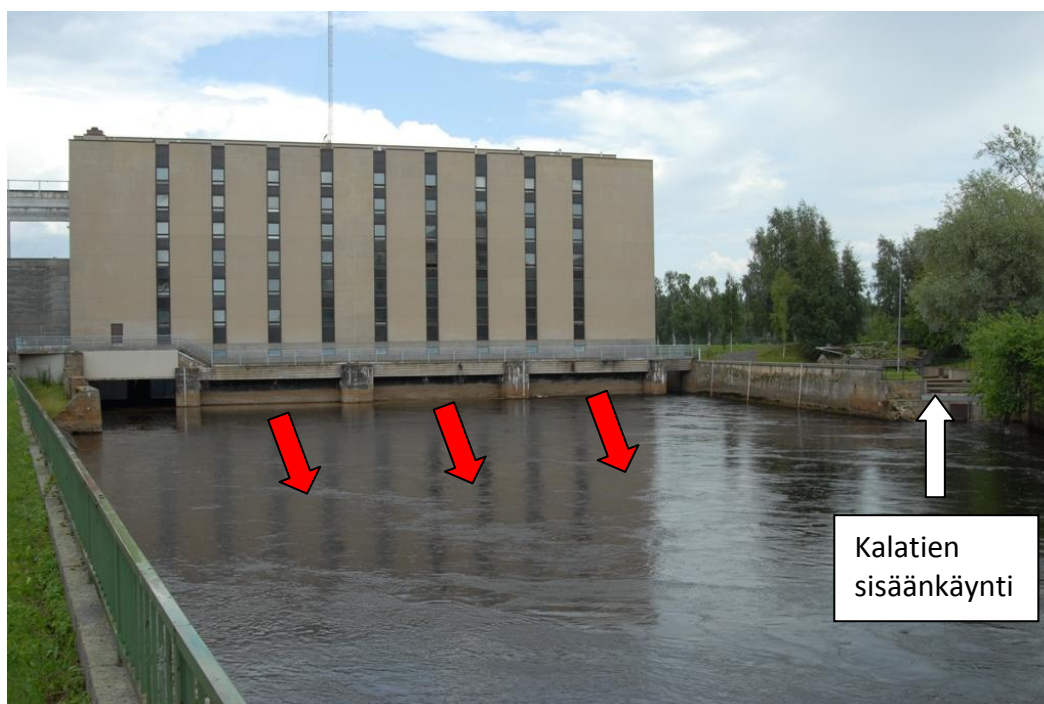
### 4.1. Virrannopeuden ja virtaaman vaikutus lohien käyttäytymiseen

Tutkimustulosten mukaan lohien noustessa ylävirtaan, esimerkiksi voimalaitosten alakanavassa, ne hakevat sellaisia nousureittejä, joissa virrannopeusgradientti on suuri (esim. Liao ym. 2003). Tällaisia alueita löytyy kovan virtauksen reunoilta (=voimakkaan ja heikon virran raja-alue).

Virrannopeus ja virrannopeusgradientti voivat uoman leveyssuunnan lisäksi vaihdella myös syvyysuunnassa, jolloin lohet hakeutuvat virtausten mukaisesti joko lähemmäs pohjaa tai pintaa (Williams ym. 2011). Lundqvist ym. (2008) havaitsivat Ruosin Uumajanjoella, että lohet uivat Stornorrforssin voimalaitoksen alakanavassa pääasiassa 0-4 metrin syvyydessä, mutta tekivät ajoittain sukelluksia jopa 40 metrin syvyyteen asti.

Yleisesti ottaen virtaama vaikuttaa lohien nousuhalukkuuteen siten, että kasvava virtaama aktivoi ja laskeva virtaama passivoi vaellusaktiivisuutta (mm. Økland ym. 2001, Rivinoja 2005, Thorstad ym. 2008, Williams ym. 2011). Eri lohikannat ovat kuitenkin sopeutuneet hyvin erilaisiin jokiin ja ympäristöolosuhteisiin, joten myös vaelluskäyttäytymisessä on suuria eroja lohikantojen ja jokien välillä (Trépanier ym. 1996). Lähes kaikille ylävirtaan vaeltaville kaloille yhteistä on kuitenkin hakeutuminen voimakkaimman virtauksen suuntaan. Tämä käyttäytyminen perustuu siihen, että yleensä (luonnolosuhteissa) voimakkainta virtaa ja pääuomaa seuraamalla kalat löytävät tiensä parhaille lisääntymisalueille (Ferguson ym. 2002).

Rakennetussa joessa hakeutuminen voimakkaimman virtauksen suuntaan tarkoittaa yleensä kalojen pyrkimistä voimalaitosten turbiineihin, joista tavallisesti purkautuu pääosa rakennetun joen vesimassasta (mm. Thorstad ym. 2003, Scruton ym. 2007, Lundqvist ym. 2008, Johnsen ym. 2011). Tämä rakennettujen jokien perusominaisuus on syytä tarkasti huomioida kalateiden suunnittelussa, sisäänkäyntien sijoittamisessa ja kalateiden virtaamien mitoittamisessa (kuva 4).



**Kuva 4.** Valtaosa rakennetun joen vesimassasta purkautuu voimalaitoksen turbinien kautta (punaiset nuolet) ja turbiinivirrat houkuttelevat vahvasti nousuvaelluksellaan olevia lohia. Tämä ilmiö on syytä huomioida kalateiden suunnittelussa. Kuvassa Oulujoen Merikosken voimalaitos ja käytössä oleva kalatien sisäänkäynti. Kuva: P: Orell.

## 4.2. "Jojo"-käyttäytyminen

Useissa radiotelemetriatutkimuksissa on lohilla havaittu ns. jojo-käyttäytymistä voimalaitosten alakanavissa (Rivinoja ym. 2001, Karppinen ym. 2002, Lundqvist ym. 2008, Huusko ym. 2011, Rivinoja ym. 2012). Tällä tarkoitetaan virtaamamuutoksista johtuvaa lohien ylä- ja alavirtaan tapahtuvaa edestakaista liikettä, kun kalat uivat voimalaitoksen välittömään läheisyyteen ja laskeutuvat sitten takaisin kauemmas alavirtaan.

Jojo-käyttäytymisen on esitetty johtuvan voimalaitosten juoksutusten vaihtelusta (Rivinoja ym. 2001, Lundqvist ym. 2008). Rivinoja ym. (2001) ja Lundqvist ym. (2008) havaitsivat Pohjois-Ruotsissa tehdyissä radiotelemetriatutkimuksissa voimalaitoksen virtaamien alenemisen vähentävän alakanaavaan nousevien lohien määrää. Myös Kemi- ja Iijoen tehdyissä radiotelemetriatutkimuksissa jojo-käyttäytymisen havaittiin olevan sidoksissa voimalaitosjuoksutuksiin siten, että kalat hakeutuivat aktiivisesti voimalaitoksen läheisyyteen juoksutusten ollessa runsaita ja juoksutusten heikentyessä ne laskeutuivat alavirtaan (Huusko ym. 2011, Rivinoja ym. 2012). Kemi- ja Iijoen lohien jojo-käyttäytymistä esiintyy, koska näiden jokien vesivoimalaitoksilla käytetään varsin voimakasta juoksutusten vuorokausisäännöstelyä (lyhytaikaissäännöstely). Esimerkiksi yöaikaan juoksutukset ovat useimmiten alle puolet päiväaikaaisista juoksutuksista.

Jojo-käyttäytyminen viivästyttää tai voi jopa kokonaan estää lohien pääsyn lisääntymisalueille (Lundqvist ym. 2008). Lisäksi jatkuva edestakainen uiminen lisää kalojen energian kulutusta, mikä voi alentaa niiden lisääntymismenestystä (Lundqvist ym. 2008). Useiden kalatien kautta kutualueilleen uivien lohien vaellus saattaa jojo-käyttäytymisen vuoksi hidastua jopa niin paljon, etteivät ne ehdi lisääntymisalueilleen riittävän aikaisin (Caudill ym. 2007, Roscoe & Hinch 2010).

### 4.3. Kalatiehen hakeutuminen ja kalatien selvittäminen

Lohien hakeutuminen kalatiehen ja sitä kautta ylävirtaan ei tavallisesti onnistu kaikilta kalatien alapuolelle saapuneilta kaloilta (Noonan ym. 2012). Kalatien toimivuuden ja kalojen vaelluskäyttäytymisen arvioinnissa voidaan erottaa kolme eri osa-aluetta (Noonan ym. 2012):

- houkutustehokkuus (attraction efficiency)
- hakeutumistehokkuus (entrance efficiency)
- läpäisytehokkuus (passage efficiency)

Kalatien houkutustehokkuudella tarkoitetaan kalojen kykyä havaita kalatien sisäänkäynti (Aarstrup ym. 2003). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kala käy kalatien sisäänkäynnissä ”haistelemassa”, mutta ei hakeudu itse kalatiehen. Haketumistehokkuudella puolestaan tarkoitetaan kalojen aktiivista nousua kalatien sisäänkäynnin kautta kalatiehen (Evans ym. 2008). Kalatien läpäisytehokkuudella tarkoitetaan sitä osaa vaellusesteen alapuolelle hakeutuneista kaloista, jotka selvittävät koko kalatien ja uivat vaellusesteen yläpuolisiin vesiin (Larinier 2001). Useimmissa kalateiden toimivuuteen liittyvissä tutkimuksissa on arvioitu pääosin läpäisytehokkuutta (Noonan ym. 2012).

Noonanin ym. (2012) laajassa kirjallisuuskatsauksessa lohikaloilla kalateiden läpäisytehokkuus (passage efficiency) oli keskimäärin 62 %, eli selvästi vähemmän kuin mitä kalateiden tehokkuuden (90-100 %) tulisi rakennettujen jokien kalakantojen ylläpitämisen perusteella olla (ks. Lucas & Baras 2001, Ferguson ym. 2002). Oulujoella Merikosken kalatien läpäisytehokkuuden on radiotelemetriatutkimuksien perusteella arvioitu olevan 20-56 % (Karppinen ym. 2008). Vastaavantasoisia (40-50 %) tehokkuusarvioita on saatu myös Merikoskella toteutetuissa PIT-telemetriatutkimuksissa v. 2010-2012 (Orell ym. 2013, käsikirjoitus).

Oulujoella lohi-istutukset tehdään pääosin (2/3 osaa) jokisuun merialueelle ja näin ollen kaikilla kaloilla ei välttämättä ole halua nousta kalatien kautta Oulujokea ylävirtaan. Tämä istutushoitoon liittyvä käytäntö saattaa siten alentaa Merikosken kalatien läpäisytehokkuutta. Ruotsin Uumajajoella vanhan kalatien kautta nousi tutkimusvuosina 1995-2005 vain 30 % jokisuulla radiolähettimellä merkityistä lohista (Lundqvist ym. 2008). Uumajajoen tapauksessa merkittävin ongelma oli, etteivät lohet

hakeutuneet voimalaitoksen alakanavasta vanhaan jokiuomaan, jonka yläpäässä varsinaisen kalatien sisäänkäynti sijaitsi (Lundqvist ym. 2008).

Edelläkuvatus kaltaiset ”kalatietappiot” kertaantuvat peräkkäisillä voimalaitoksilla ja johtavat nopeasti kutualueille selviytyvän kalamäärän pienemiseen. Maailmalta on kuitenkin myös esimerkkejä hyvin Atlantin lohella toimivista kalateistä. Esimerkiksi Pohjois-Amerikan Penobscot-joen kalateissä tehokkuus on keskimäärin 92 % (Rory Saunders, Iijoki-workshop 2008), ja Skotlannin Beaulieu-joessa ylimmän kalatien kautta nousi 90 % lohista, jotka olivat nousseet joen alemman kalatien kautta vuosina 1968-1978 (Herva 1994).

Kemijoella Ounasjoen alapuolisten viiden voimalaitoksen kalateiden suunnittelussa tavoitellaan 90 %:n tehoa kalatien läpäisyyn (Mäki-Petäys ym. 2012). Tämä, verraten pieni kalatiekohtainen tappio (10 %/kalatie, ks. Noonan ym. 2012) tarkoittaa, että viiden kalatien läpi selviää vain vajaat 60 % jokisuulle nousseista lohista. Mikäli yksittäisen kalatien läpäisyyn teho tippuu keskimäärin 80 %:iin, jota edelleen voidaan pitää varsin korkeana läpäisyprosenttina (ks. Noonan ym. 2012), niin viiden kalatien jälkeen on jokisuulle nousseista yksilöistä jäljellä vain 33 % (ks. liite 1). Yllä mainittu esimerkki kuvaa hyvin rakennettujen jokien kumulatiivisia vaellustappioita tilanteissa, joissa yksittäisen voimalan ohittavan kalatien läpäisytehokkuus on kuitenkin kohtalaisen korkea (liite 1).

#### 4.4. Vaelluksen viivästyminen

Rakennetussa joessa vaelluskalojen hakeutuminen kalatiehen ja vaellusesteen ohittaminen on määrällisen onnistumistehon (läpäisytehokkuus) lisäksi tapahduttava verratan nopeasti, jotta kalat saavuttaisivat lisääntymisalueensa riittävän hyväkuntoisina kutuaikaan mennessä. Kalatien nopea ”löytyminen” korostuu sellaisissa rakennetuissa joissa, missä potentiaaliset kutualueet sijaitsevat usean voimalaitoksen yläpuolella. Tällainen on tilanne tulevaisuudessa mm. Ii- ja Kemijoella, joissa lohien olisi selviydyttävä viiden kalatien ja patoaltaan kautta lisääntymisalueilleen.

Yleisesti tarkastellen sekä luonnolliset että ihmisen rakentamat vaellusesteet aiheuttavat viivettä lohien kutuvaellukselle (Thorstad ym. 2008). Luonnontilaisissa joissa viive havaitaan esimerkiksi lohien kertymisenä putousten alle (Thorstad ym. 2008), ja tällaisissa kohteissa viive voi olla keskimäärin 20-30 päivän luokkaa (Johnsen ym. 1998, Thorstad ym. 2008).

Rakennetussa joessa kalatiehen hakeutumiseen kuluva aika riippuu merkittävästi kalatien sijoituksesta suhteessa nousuesteeseen ja erityisesti kalatien sisäänkäynnin sijainnista sekä virtausolosuhteista sisäänkäynnin läheisyydessä (Larinier 2001). Monissa rakennetuissa joissa kalatie on sijoitettu alkuperäiseen jokiuomaan, jossa virtaa vain murto-osa joen koko vesimassasta päävirtauksen purkautuessa voimalaa varten erikseen rakennetusta uomasta (alakanava). Tällaisissa olosuhteissa alakanavan huomattavasti voimakkaampi virtaama viivästyttää tavallisesti lohien hakeutumista kalatiehen ja vaikuttaa siten merkittävästi nousuvaelluksen onnistumiseen. Tutkimuksista riippuen kalatiehen hakeutumisen viiveeksi on raportoitu 1-12 vuorokautta (Scruton ym. 2007), mediaaniviiveeksi 20 vuorokautta (Thorstad ym. 2003) ja keskimääräiseksi viiveeksi 12-42 vuorokautta (Thorstad ym. 2005, Lundqvist ym. 2008).

Lohien nousuvaelluksen viivästyminen on runsaasti havaintoja myös kohteista, joissa kalatie on voimalaitoksen alakanavan yhteydessä. Näissäkin olosuhteissa nousuvaelluksellaan oleva kala houkuttuu helposti voimalaitoksen turbiineista tulevaan voimakkaaseen virtaukseen kalatiestä purkautuvan vähäisen virtaaman sijaan (Webb 1990, Karppinen ym. 2002). Eri tutkimuksissa keskimääräiseksi lohien vaellusviiveeksi alakanavissa on raportoitu 15-137 vuorokautta (mm. Webb 1990, Chansey &

Larinier 1998, Gowans ym. 1999a). Vastaavanlainen viive (mediaani 20-25 vrk) kalatiehen hakeutumisessa on havaittu myös Oulujoen alimman voimalaitoksen, Merikosken kalatiellä (Orell, julkaisematon).

Rakennetuissa joissa vaellusviive kohdistuu erityisesti aikaisin alkukaudesta voimalaitosten alakanaviin nouseviin lohiin (Gowans ym. 1999, Laine ym. 2002, Orell ym. 2013, käsikirjoitus). Lohien nousuhalukkuuden ja -aktiivisuuden on kuitenkin todettu kasvavan kutuajan lähestyessä (Thorstad ym. 2011). Tämä nousumotivaation kasvu voi teoriassa mahdollistaa lohien nousun useinkin kalatien läpi varsin nopeassa ajassa, sillä lohien vaellusvauhti voi olla luokkaa 50 km/vrk (Økland ym. 2001, Karppinen ym. 2004).

Yksi merkittävä syy lohien haluttomuuteen hakeutua kalatiehen ja niiden vaelluksen viivästyymiseen on lohien alkuperä. Tutkimusten mukaan luonnonvaraiset lohenpoikaset leimautuvat syntymäalueelleen (Heggberget ym. 1986, Primmer ym. 2006, Vähä ym. 2007) ja laitospoikaset istutuspaikkaansa, jonne ne palaavat syönnösvaellukseltaan (Sutterlin ym. 1982, Gunnerød ym. 1988). Useimmilla suomalaisilla rakennetuilla joilla, esimerkiksi Kemi- ja Iijoen, lohien vaelluspoikastutukset tehdään jokisuulle, eikä syönnökseltään palaavilla lohilla siksi välttämättä ole halua nousta jokea ylävirtaan (Laine 2001). Tältä osalta tilanne voi merkittävästi parantua, mikäli lohien luonnonvarainen poikastuotanto saadaan käynnistettyä näiden jokien vapaana virtaavilla alueilla, jolloin lohien elinkierto ja vaellukset perustuvat pääosin vaellusesteiden yläpuolelle leimautuneisiin kalayksilöihin.

#### 4.5. Kalatie voi olla valikoiva – ongelma vaelluskalakantojen palauttamiselle

Sekä rakennettuihin että luonnontilaisiin jokiin (mm. luonnonputousten yhteyteen) tehdyt kalatiet ovat tavallisesti fyysisiltä mitoiltaan pieniä ja virtaamaltaan vähäisiä verrattuna pääuomiin (alakanava/luonnonuoma). Tämä voi vaikuttaa lohien hakeutumiseen kalatiehen ja vaikuttaakin siltä, että kalatiet suosivat pienikokoisia lohiyksilöitä, jotka ovat tavallisesti koiraita (Johnsen ym. 2011). Esimerkiksi Norjalaisella Laerdal -joella alimman kalatien kautta nousevat lohet ovat 90 %:sesti pieniä yhden merivuoden lohia, mikä on selvästi suurempi osuus kuin jokeen nousevassa kannassa keskimäärin (Saltveit 1993). Vastaavasti Näätsjøen Norjan puoleisella Koltakönkällä on havaittu pienten ja isojen lohien nousussa eroja: pienet lohet (ja meritaimenet) nousevat pääosin Koltakönkään rakennettua kalatietä pitkin isojen lohien noustessa suuremmissa määrin itse künkästä (Orell 2012)(kuva 5). Oulujoen Merikosken kalatieseurannoissa on vuosina 2009-2011 kalatietä pitkin havaittu nousevan pääosin koiraslohia (>90 % nousijoista), joista suurin osa on pieniä yhden merivuoden yksilöitä (Orell ym. 2013, käsikirjoitus).

Yllä mainitut kalatien valikoivuuteen viittavat havainnot ovat rakennettujen jokien lohikantojen palauttamisen ja elvyttämisen kannalta varsin ongelmallisia. Lohien luonnontuotannon käynnistymisen ja ylläpito vaativat isojen naaraslohien pääsyä lisääntymisalueille. On selvää, että esimerkiksi Oulujoella tällä hetkellä havaitut naaraslohien osuudet kalatien nousijoista ovat siinä määrin alaiset, ettei luonnonpoikastuotannolle olisi merkittäviä edellytyksiä, mikäli Oulujoessa olisi soveltuvia lisääntymisalueita tarjolla.

Toisaalta Oulujoella ja muissa istutuksiin perustuvissa lohikannoissa pienten lohien suuri määrä on todennäköisesti ainakin osittain kytköksissä viljely- ja istutustoimintaan. Tutkimuksissa on havaittu istutuskalojen saavuttavan sukukypsyyden keskimäärin aiemmin kuin luonnonvaraisista kannoista peräisin olevien yksilöiden (Jutila ym. 2003), mikä on todennäköisesti seurausta kasvatettujen poikas-



ten nopeammasta poikasajan kasvusta (Ritter ym. 1986, Gross 1991, Salminen 1997). Luonnonvaraisen lisääntymisen aikaansaaminen rakennettuihin jokiin voisikin vaikuttaa positiivisesti merivaellukselta palaavan lohikannan koko- ja sukupuolijakaumiin. Tästä on viitteitä mm. Pohjois-Ruotsin Uumaja- ja Piteåjoelta, joissa kalateitä käyttävien lohien koko- ja sukupuolijakaumat ovat huomattavasti luonnonmukaisempia kuin esimerkiksi Oulujoessa (Orell ym. 2013, käsikirjoitus). Näiden jokien lohikannat perustuvat vesivoimarakentamisesta huolimatta pääosin luonnonpoikastuotantoon.

Mikäli isoja naaraslohia ei saada merkittävässä määrin nousemaan rakennettujen jokiin tehtyjä tai tulevaisuudessa tehtäviä kalateitä pitkin, on harkittava niiden aktiivista kuljetusta (ylisiirtoa) lisääntymisalueille. Parasta kuitenkin olisi, että kalatiet saadaan toimimaan kaikenkokoisille lohityksille. Kalateiden mahdolliseen kokovalikoivuuteen liittyvän tutkimustiedon määrä on tällä hetkellä yllättävän vähäinen, mutta asian merkittävyyden kannalta siihen olisi syytä panostaa tutkimusresursseja lähitulevaisuudessa.



**Kuva 5.** Näätämojoen Kolttakönkäällä on tutkimuksissa havaittu eroja pienien ja isojen lohien vaelluskäyttäytymisessä. Pienet lohet käyttävät könkään ylityksessä mielellään kalatietä (sininen nuoli), mutta isommat lohet uivat merkittävässä määrin myös suoraan könkään läpi (punainen nuoli). Kuva: P. Orell.

## 5. Toimiva kalatie – sisäänkäynnillä suuri merkitys

Kalatien sisäänkäynti on kriittinen tekijä kalatien toimivuuden kannalta. Sisäänkäynti on rakennettava sellaiseksi, että se houkuttelee vaellusesteen alapuolelle saapuneen kalan nousemaan nopeasti kalatiehen (Anonyymi 1995). Sisäänkäynnin merkitys voidaan kiteyttää seuraavasti:

“No fish in = No fish out”

“Ei kalaa sisään = Ei kalaa ulos”

Kalatien houkuttelevuuden ja toimivuuden kannalta merkittävimmät huomioonotettavat asiat kalatien suunnittelussa ovat (mm. Anonymi 1995, Whiley 2000, Larinier 2008):

- kalatien sisäänkäynnin sijainti suhteessa nousuesteeseen
- kalatien sisäänkäynnistä purkautuvan virtaaman suuruus niin absoluuttisesti kuin suhteessa pääuoman virtaamaan
- kalatien sisäänkäynnistä purkautuvan virran nopeus

## 5.1. Kalatien sisäänkäynnin sijainti

Yleisen käsityksen mukaan kalatien sisäänkäynnin optimaalisin sijoituspaikka voimalaitosten alakanavissa on mahdollisimman lähellä nousuestettä ja turbiineita sekä lähellä joenpengertä (esim. Anonymi 1995, Bunt 2001, Larinier ym. 2002, Larinier 2008). Kalatien sisäänkäynnin tuntumassa veden virtaus ei saisi olla liian turbulenttista ja ilmakuplilla kyllästynyttä (Ferguson ym. 2002), eikä suuauuleella saa olla akanvirtaa, joka estää kalaa löytämästä kalatien sisäänkäyntiä (Armstrong ym. 2010). Lisäksi olisi hyvä, mikäli voimakkaan päävirran (alakanavassa) reuna kulkisi kalatien sisäänkäynnin sivuitse (Williams ym. 2011). Toisaalta Andersson ym. (2012) ovat virtaussimulointien perusteella ehdottaneet kalatien sijoittamista voimalaitosten läheisyyteen kohtaan, jossa kalatiestä purkautuva virta ”erottuu” mahdollisimman hyvin ja laajalla alueella. Käytännössä tämä tarkoittaa kalatien sisäänkäynnin sijoittamista kohtalaisen heikosti virtaavaan osaan alakanavaa, jossa kalatiestä purkautuvan virtauksen ei tarvitse kilpailla turbiineilta purkautuvan virtauksen kanssa (Andersson ym. 2012).

Kalatien sisäänkäynnin optimaalinen sijainti voi olla joskus hyvin pienestä kiinni ja sijainnin vähäisenkin muuttaminen voi parantaa kalatien toimivuutta huomattavasti. Esimerkiksi Kanadan Grand-joella kalatien sisäänkäynnin siirtäminen kaksi metriä lähemmäs patoa kolminkertaisti kalatiehen nousevien aurinkoahventen (*Lepomus gibbosus*) määrän (Bunt 2001).

Kutuvaelluksellaan olevat lohet uivat voimalaitosten alakanavissa yleensä päävirrassa tai sen laidoilla vältellen hitaasti virtaavia alueita (Rivinoja ym. 2010). Nousulohilla on taipumus seurata virtausta mahdollisimman pitkälle ylävirtaan ja jos eteneminen on mahdotonta, kalat palaavat alaspäin etsiäkseen uutta vaellusreittiä (Karppinen ym. 2002, Huusko ym. 2011, Rivinoja ym. 2012). Näistä lohien käyttäytymismalleista johtuen kalatie ei todennäköisesti toimi tehokkaasti, mikäli lohi joutuu kalatiehen löytääkseen liikkumaan poikkivirtaan joen puolelta toiselle tai nousemaan sivu-uomiin (esim. vanhat jokiuomat, jotka yhtyvät alakanaviin), joissa virtaama on vähäinen (Ferguson ym. 2002).

Kohteissa joissa kalatien sisäänkäynnin sijoittaminen ei onnistu välittömästi padon alapuolelle, täytyy kalatien sisäänkäynti sijoittaa mahdollisimman lähelle nousuestettä kohtaan, jossa lohet pysähtyvät ennen padolle nousua (Larinier 2008, Whiley 2000). Tällaisissa tapauksissa kalatien houkutusvirtaaman täytyy kuitenkin yleensä olla suurempi, jotta kalat saadaan houkuteltua kalatiehen (Larinier ym. 2002). Jos voimalaitos on sijoitettu erikseen rakennettuun uomaan alkuperäisen jokiuoman viereen ja vettä ohijuoksutetaan runsaasti säännöstelypadolta alkuperäiseen uomaan, voi olla vaikeata arvioida, kannattaako kalatie rakentaa voimalaitoksen alakanavaan vai alkuperäiseen uomaan säännöstelypadon yhteyteen. Tällaisessa tapauksessa paras ratkaisu on rakentaa kalatiet molempiin esteisiin (Larinier 2008).

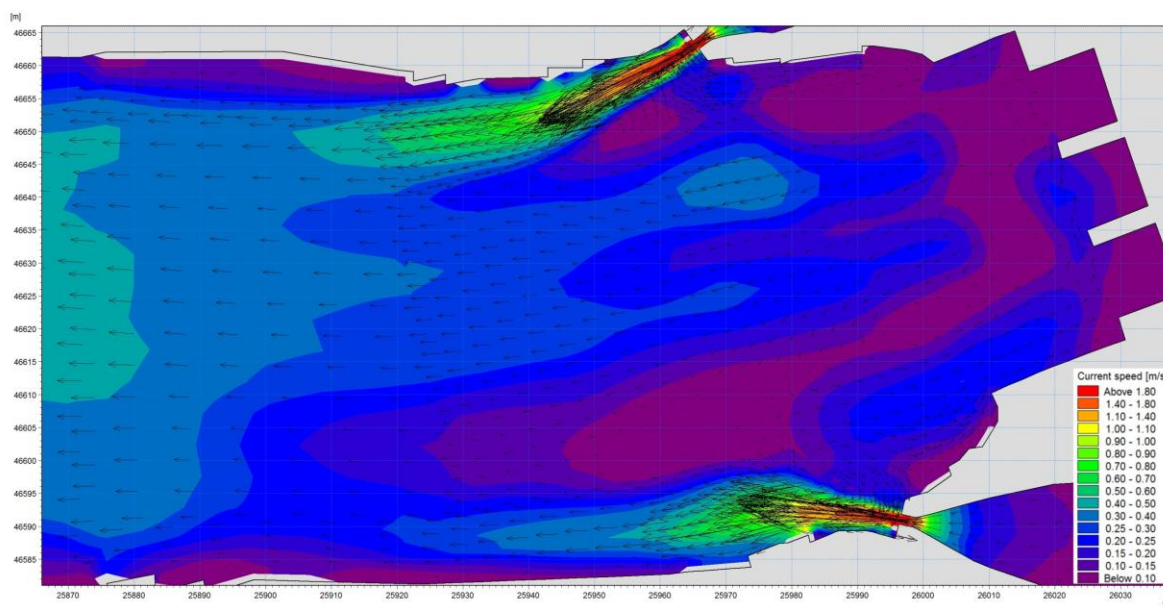
Viime vuosina Ruotsissa ja Suomessa tehdyt tutkimukset osoittavat, että lohet suosivat tiettyjä kohtia alakanavissa liikkeessaan (Rivinoja ym. 2010, Rivinoja ym. 2012). Lohien suosimien alueiden

## Nousulohien käyttäytyminen voimalaitosten alakanavissa ja kalatiehen hakeutumiseen vaikuttavat tekijät: kirjallisuuskatsaus

sijainti alakanavassa voi vaihdella voimalaitoksesta ja virtausolosuhteista riippuen. Radiotelemetriatutkimusten perusteella Kemijoen Taivalkoskella lohien suosituimmat olinpaikat sijaitsivat n. 15-50 metriä voimalaitoksen alapuolella (Rivinoja ym. 2012) ja Oulujoella Montassa puolestaan n. 100-120 metriä voimalaitokselta alavirtaan, riippuen kulloinkin vallitsevista virtausolosuhteista (Rivinoja 2011).

Nykyaikaisilla soveltavilla tutkimusmenetelmillä on mahdollista pyrkiä arvioimaan ja optimoimaan kalateiden sisäänkäyntien sijoittamista. Esimerkiksi radiotelemetriaseurannoilla saadaan tietoa lohien liikkumisesta ja vaelluskäyttäytymisestä voimalaitosten alakanavissa erilaisissa olosuhteissa. Radiotelemetriaseurannoista saatavat kalojen paikannustiedot voidaan myöhemmin yhdistää alakanavista tehtäviin kaksi- tai kolmiulotteisiin (2D ja 3D) virtausmallinnuksiin (virrannopeus, turbulenssi). Yllä mainittuja aineistoja yhdistämällä saadaan tarkasteltua mm. lohien valitsemia nousureittejä ja kalojen suosimia virtausolosuhteita alakanavien alueella (mm. Goodwin ym. 2006, Lahti ym. 2011). Kolmiulotteisen virtausmallinnuksen etuna on mahdollisuus tarkastella nousukalojen suosimia tai välttelemiä virrannopeuksia ja turbulenssia koko alakanavan vesipatsaassa, mikä on mahdotonta kaksiulotteisten mallien pohjalta.

Virtausmallinnuksella voidaan lisäksi simuloida erilaisten voimalaitosjuoksutusten vaikutuksia alakanavien virtausolosuhteisiin ja turbulenssiin sekä tarkastella kalateistä purkautuvien houkutusvirtaamien vaikutusalueita alakanavien vesimassassa (Andersson ym. 2012). Tällaisten tarkastelujen avulla voidaan mm. arvioida erilaisten juoksutusten ja kalatievirtaamien vaikutuksia kalojen käyttäytymiseen ja hakeutumiseen kalateihin (ks. kuva 6).



**Kuva 6.** Esimerkkikuva kalatiesimuloinnista lijoen Raasakan voimalaitoksen alakanavassa. Kuvassa näkyy virrannopeudet (värikoodit) ja virran suunnat (nuolet) 3D-mallilla veden pinnalla. Voimalaitoksessa on pohjoinen ja keskimäinen turbiini käytössä (yhteensä 100 m<sup>3</sup>/s) ja kalateiden sisäänkäyntien houkutusvirtaamat ovat 2,5 m<sup>3</sup>/s. Mallinnus: M. Lahti, Fortum Power and Heat Oy.

## 5.2. Kalatien houkutusvirtaama

Kalatien sisäänkäynnistä purkautuvan ns. houkutusvirtaaman pitää olla riittävän suuri suhteessa joen kokonaisvirtaamaan lohien nousuvaelluksen aikana (Rivinoja 2005). Kalatien sisäänkäynnissä tarvittavan virtaaman absoluuttinen määrä on aina tapauskohtaista ja se riippuu muun muassa siitä, kuinka hyvä kalatien sisäänkäynnin sijainti on. Mikäli kalatien sisäänkäynnin sijainti ei ole optimaalinen, tarvitaan yleensä suurempi houkutusvirtaama verrattuna kalatiehen, jonka sisäänkäynti on sijoitettu kalojen nousuhakeutumisen kannalta parempaan paikkaan (Larinier 1998, Larinier ym. 2002). Yksinkertaistetusti voidaan todeta, että mitä suurempi kalatien sisäänkäynnin virtaama on, sitä paremmin virtaus houkuttelee kalan hakeutumaan kalatiehen (Whiley 2000).

Tarvittavan virtaaman määrä kalatien sisäänkäynnissä on tutkimusten mukaan yleensä noin 2-5 % joen keskivirtaamasta (Larinier ym. 2002). Esimerkiksi Ranskan suurilla joilla kalatien riittävän houkutusvirtaaman on havaittu olevan noin 10 % koko joen minimivirtaamasta ja 1,0-1,5 % joen maksimivirtaamasta (Larinier ym. 2002). USA:ssa, Ranskassa ja Iso-Britanniassa tyypillinen kalatien sisäänkäynnin virtaama on 5-10 % joen keskivirtaamasta (Williams ym. 2011). Pienissä, keskivirtaamaltaan alle 15 m<sup>3</sup>/s, joissa houkutusvirtaaman määräksi suositellaan vähintään 10 %:a keskivirtaamasta (Armstrong ym. 2010)

Jos varsinaisen kalatien kautta purkautuva virtaama on vähäinen ja se havaitaan riittämättömäksi houkuttelemaan kaloja kalatiehen, on lisäveden johtaminen kalatien sisäänkäyntiin tarpeen (Clay 1995). Kalatiehen johdettava lisävesi otetaan joko suoraan patoaltaasta tai pumpataan alakanavasta. Varsinaisen lisäveden johtamisen ohella kalatien sisäänkäynnin houkutusvirtaamaa ja virtausolosuhteita voidaan parantaa ohjaamalla alakanavan virtauksia kalatien sisäänkäynnin viereen käyttämällä erilaisia virranohjaimia (mm. Kluber ym. 2012).

Kalatien sisäänkäyntiin lisävesitys voidaan johtaa kalatien seinämässä tai pohjalla olevan reikälevyn (engl. diffuser screen) lävitse tai vaihtoehtoisesti muulla tavoin suoraan kalatien sisäänkäyntiin (Larinier & Marmulla 2004). Reikälevyratkaisussa kalatien sisäänkäyntiin, yleensä kalatien alimpaan altaaseen, johdettava vesi purkautuu suurelta pinta-alalta lukuisista pienistä rei'istä. Tällaisen rakenteen käyttö on välttämätöntä, jotta kala osaa jatkaa vaellustaan kalatietä ylöspäin, eikä pyri suuntaamaan kulkuaan lisävirran tulosuuntaan (Larinier ym. 2002). Samasta syystä kalatien alaosaan johdettavan lisävirran nopeus ei saa olla liian suuri. Larinier ym. (2002) suosittelee maksimivirranopeudeksi enintään 0,3-0,4 m/s ja Clay (1995) puolestaan kertoo sopivan virranopeuden olevan 0,08-0,23 m/s, riippuen kalatiessä muutoin vallitsevista virtausnopeuksista.

Reikälevyn aukot tukkeutuvat helposti veden mukanaan tuomasta kiintoaineksesta ja roskasta ja kokemusten mukaan reikälevyt kannattaakin sijoittaa mieluummin kalatien seinälle pystyyn, jolloin niiden pitäminen puhtaana on helpompaa verrattuna kalatien pohjalle sijoitettuihin ratkaisuihin (Larinier ym. 2002). Reikälevyrakenteita on nykyään käytössä esimerkiksi Ruotsin Uumajajoen Stornorrforssin uudessa kalatiessä (virtaama 1,4 m<sup>3</sup>/s), missä kalatien alimpaan altaaseen johdettava lisävesi (20 m<sup>3</sup>/s) kulkee erillisen turbiinin kautta, jolloin myös merkittävä osa kalatien sisäänkäyntiin johdettavan virtaaman energiasta saadaan hyödynnettyä (Laine 2010).

Rivinoja (2005) korostaa kalatien sisäänkäynnin houkutusvirtaaman lisäämisen yleensä edesauttavan kalojen vaelluksen onnistumista ja arvioi useimmissa tapauksissa riittämättömän houkutusvirtaaman selittävän kalatien heikon toimivuuden. Esimerkiksi Kemijoen Isohaaran voimalaitoksella kalatien virtaaman (vanha kalatie, rakennettu v. 1993) suhde turbiineista tulevaan keskivirtaamaan

on ainoastaan noin 0,15 % ja pienen virtaaman on arveltu olevan yksi syy isojen, useamman merivuoden lohien vähäiseen määrään kalatiessä (Laine ym. 2002).

Kaiken kaikkiaan uusiin kalateihin on suositeltavaa rakentaa lisävesitysmahdollisuus. Jos jostain syystä kirjallisuudessa esitettyihin kalateiden virtaamasuosituksiin (2-10 % keskivirtaamasta) ei kuitenkaan päästä, täytyy muihin asioihin, kuten kalatien sisäänkäynnin sijaintiin, muotoon ja putouskorkeuteen sekä sisäänkäynnistä purkautuvaan virrannopeuteen kiinnittää erityisen paljon huomiota. Lisäksi mahdollisia kalatien sisäänkäynnin lisävirtaamia voidaan myös käyttää eripituisina pulsseina, mutta niiden keston vaikutuksista kalatien toimivuuteen on syytä selvittää tarkemmin.

### 5.3. Kalatien sisäänkäynnin muoto ja putouskorkeus

Kalatien sisäänkäynnin muoto ja putouskorkeus määräävät osaltaan, kuinka kauas kalatiestä purkautuvan virran houkutteleva vaikutus ulottuu (Whiley 2000). Tavallisimmat kalatien sisäänkäyntiratkaisut ovat:

- Ylivirtausaukko
- Pystyrakoaukko
- Läpivirtausaukko
- Denil-rakenne
- Luonnonmukainen

Ylivirtausaukko voi olla koko kalatien levyinen tai vesi voidaan johtaa purkautumaan kapeammasta aukosta (kuva 7), jolloin virrannopeus sisäänkäynnissä kasvaa. Usein ylivirtausaukon kanssa käytetään lisäksi lähellä kalatien pohjaa sijaitsevaa läpivirtausaukkoa. Ylivirtausaukosta tuleva virta kohdistuu sisäänkäynnin alapuolella viistosti pohjaa kohden ja tunkeutuu päävirtaan melko leveänä (Kamula 2001). Esimerkiksi Kemijoen Isohaaran voimalaitoksen yhteydessä olevaan kalatiehen alkoi nousta enemmän isoja lohia sen jälkeen, kun toinen sisäänkäynneistä muutettiin Denil-tyyppisestä ylivirtausaukoksi (Laine ym. 2002).

Pystyrakoaukosta (kuva 8) purkautuvan virtauksen vaikutus ulottuu Denil-aukkoa pidemmälle kalatien alapuoliseen vesimassaan (Kamula 2001), joskin varsin kapeana suihkuna. Larinierin (1998) mukaan etenkin isokokoiset vaeltavat kalat, kuten lohi, vaativat voimakkaan houkutusvirtaaman noustakseen pystyrakoaukon kautta kalatiehen. Virrannopeutta voidaan jonkin verran kasvattaa sisäänkäyntiä kaventamalla, mutta etenkin pienissä kalateissa ongelma voi tällöin olla kapean aukon tukkeutuminen esimerkiksi veden mukana kulkeutuvista oksista ja lehdistä (Whiley 2000). Kun kalatien sisäänkäyntiä ja sen seurauksena kalatiestä purkautuvaa suihkua kavennetaan, pienenee samalla myös alue, jolla virtaus on havaittavissa. Lisäksi suuret kalayksilöt vaativat ”väljiä” uintireittejä, joten kalatien sisäänkäynnin kaventaminen on vain harvoin käyttökelpoinen ratkaisu (Anne Laine, Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus, suullinen tiedonanto). Esimerkiksi ranskalaisissa kalateissa pystyrakojen leveys on tavallisesti 0,30-0,60 metriä (Larinier ym. 2002).

Denil-rakenne (kuva 9) kalatien sisäänkäyntinä voi olla toimiva ratkaisu, kun kalatie purkaa vettä matalaan veteen. Denil-rakenteisesta sisäänkäynnistä tuleva virta on voimakkain lähellä veden pintaa ja sisäänkäynnin jälkeen virta hajoaa veden pinnalle menettäen nopeasti tehonsa (Kamula 2001), eikä se siksi ole hyvä ratkaisu olosuhteissa, joissa vesisyvyys kalatien sisäänkäynnin alapuolella



on suuri. Merkittävimmissä suomalaisissa rakennetuissa joissa voimalaitosten alakanavat on varsin syviä, eikä denil-rakenne näin ollen ole kalatien sisäänkäynnin suositeltava vaihtoehto.

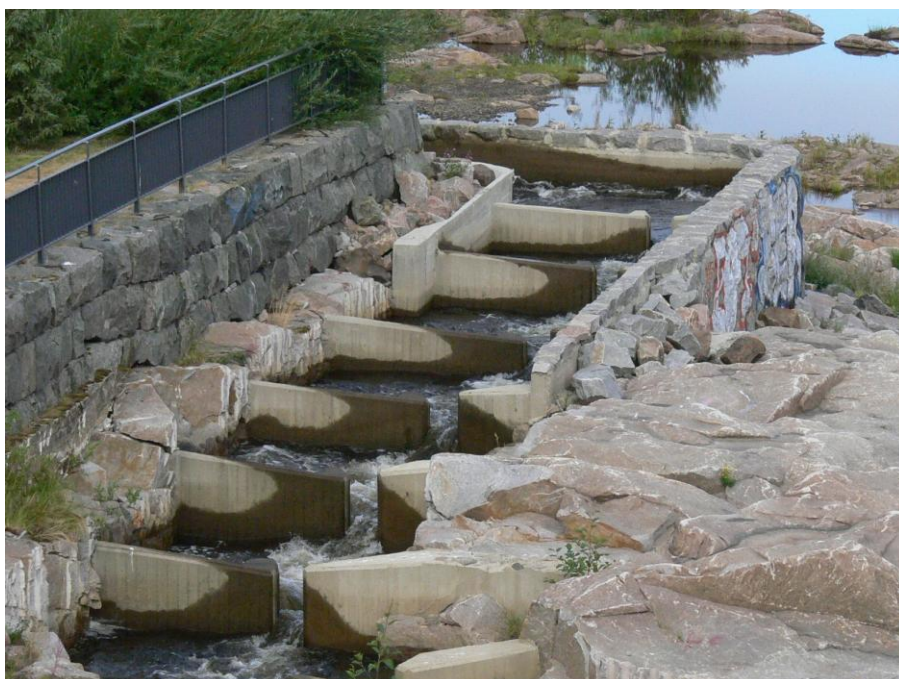
Luonnonmukaista suuaukkoa käytetään yleensä luonnonmukaisissa ohitusuomissa. Se on kuitenkin haavoittuvainen alapuolisen vedenpinnan vaihtelulle (alakanava) ja siksi luonnonmukaisen ohitusuomankin alapäähän kannattaa tavallisesti rakentaa jokin tekninen sisäänkäyntiratkaisu. Näin erityisesti silloin, kun suuaukko yhtyy syvään ja voimakasvirtaiseen voimalaitoksen alakanavaan (FAO/DVWK 2002).

Kalatien sisäänkäynnin muodon lisäksi myös kalatien alimman altaan ja sisäänkäynnin alapuolisen vedenpinnan välisellä korkeuserolla on merkitystä siihen, kuinka hyvin sisäänkäynti houkuttelee kaloja (esim. Laine ym. 2002, Larinier ym. 2002). Jos putouskorkeus on vähäinen, ei sisäänkäyntiin muodostu riittävän voimakasta virrannopeutta, jotta se houkuttelisi kalan hakeutumaan kalatiehen. Jos puolestaan putouskorkeus on liian suuri, voi siitä muodostua vaelluseste. Larinierin (1998) mukaan optimaalinen putouskorkeus lohelle ja meritaimenelle on 0,3-0,4 metriä. Optimaalisen putouskorkeuden ylläpitäminen vaihtelevissa alakanavan vedenkorkeuksissa edellyttää kalatien sisäänkäynnin säädettävyyttä (ks. kuva 7). Toimiva ratkaisu on automaattisesti vedenpinnan korkeuden mukaan säätyvä sisäänkäyntiaukko (Larinier ym. 2002).

Laajaan kirjallisuuskatsaukseen perustuen Noonan ym. (2012) ovat todenneet ylivirtaus- ja pystyrakoaukollisten sekä luonnonmukaisten kalatieratkaisujen toimivan tavallisesti tehokkaammin kuin Denil-kalatiet tai erilaiset kalalukot ja –hissit.



**Kuva 7.** Kaksi allastyypin kalatien ylivirtausaukkoa. Vasemman kuvan Kalixjoen Jockfallin kalatien ylivirtausaukko ei ole varsinainen kalatien sisäänkäyntiaukko, mutta kuvasta käy ilmi ylivirtausaukon toimintaperiaate. Oikeanpuolimmaisesta kuvasta Hvitvingfossenin (Norja) kalatien suun ylivirtausaukossa putouskorkeus on alavedenpinnan laskun myötä kasvanut liian suureksi ja kalojen hakeutuminen kalatiehen on hankaloitunut. Kuvat: A. Laine, Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus.



**Kuva 8.** Oulujoen Merikosken kalatien pystyrako-osuutta. Kalatien sisäänkäyntinä pystyrako ei ole yhtä haavoittuva ylivirtausaukkoon verrattuna, koska siinä aukko ulottuu syvälle vedenpinnan alapuolelle, eikä putoukorkuus siksi pääse kasvamaan liian suureksi kalan kulun kannalta. Kuva: A. Laine, Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus.



**Kuva 9.** Denil-tyyppinen kalatien sisäänkäynti Sävarån-joessa Ruotsissa. Tässä kalatie purkaa vettä matalaan jokuomaan ja ratkaisu toimii hyvin. Jos vesisyvyys kalatien sisäänkäynnin alapuolella on suuri, purkautuu vesi kalatien Denil-aukosta vesipatsaan pintaan ja houkutusvirta hajoaa nopeasti, eikä se siksi houkuttele kaloja erityisen tehokkaasti. Kuva: A. Laine, Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus.

## 5.4. Virrannopeus kalatien sisäänkäynnissä

Kalatien sisäänkäynnin virtaaman absoluuttisen määrän lisäksi kalatien sisäänkäynnistä purkautuvan veden virrannopeus on merkittävä tekijä kalojen hakeutumisessa kalatiehen. Sisäänkäynnistä purkautuvan veden virrannopeuden pitää olla muusta ympäröivästä vesimassasta selvästi erottuva (suurempi), jotta kalatien lähialueella uivat kalat pystyvät havaitsemaan sisäänkäynnin (Whiley 2000).

Kalatien sisäänkäynnistä purkautuvan veden virrannopeus ei luonnollisestikaan saa ylittää lohien maksimaalista uintinopeutta (engl. burst speed), jotta kala selviytyy sisäänkäynnistä kalatiehen. Kalan uintikyky riippuu pääasiassa lajista, kalan koosta ja veden lämpötilasta, minkä seurauksena saman lajin eri yksilöilläkin voi olla hyvin erilainen uintikyky (Williams ym. 2011). Beamish (1978) mukaan aikuisen lohien maksimiuintinopeus on 4,3-6,0 m/s tai 5,8-8,4 ruumiinmittaa sekunnissa. Beachin (1984) mukaan maksiminopeus voi lohella olla jopa 8,46 m/s ja Thorstad ym. (2011) arvioivat lohien pystyvän uimaan 10 ruumiinmittaa sekunnissa.

Minimivirrannopeudeksi kalatien sisäänkäynnissä on useimmille vaeltaville kalalajeille esitetty 1,0 m/s (Clay 1995, Larinier ym. 2002). Tyynenmeren lohille optimaalisen kalatien sisäänkäynnistä purkautuvan virrannopeuden on esitetty olevan 1,2-2,4 m/s (Clay 1995) ja lohille (*Salmonidae*) sekä muille isokokoisille lajeille 2,0-2,4 m/s (Larinier ym. 2002). Tätä tukee myös Laineen ym. (1998) tekemä havainto Kemijoen Isohaaran kalatiestä, jossa 1,2 m/s virrannopeus yhdessä suhteellisen pienen vesimäärän kanssa ei ollut riittävä houkuttelemaan useamman merivuoden ikäisiä (pääosin naaraslohia) lohia kalatiehen.

Kalatien sisäänkäynnin virrannopeutta voidaan kasvattaa virtaamaa lisäämällä, sisäänkäyntiaukkoa pienentämällä tai putouskorkeutta kasvattamalla. Lisäksi erilaisilla alakanavaan sijoitettavilla virranohjaimilla on mahdollisuus vaikuttaa virrannopeuksiin kalatien sisäänkäynnin tuntumassa (Klubber ym. 2012). Kalatien jatkuvan toimivuuden kannalta on tärkeää, että virrannopeus kalatien sisäänkäynnissä pysyy optimaalisena vaihtelevissa alakanavan virtausolosuhteissa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kalatien sisäänkäynnin olisi hyvä olla alapuolisen vedenpinnankorkeuden mukaan säätyvä, jolloin putouskorkeus ja sitä kautta virrannopeus pysyisivät optimaalisella tasolla.

## 5.5. Kalatien sisäänkäynnin suuntaus suhteessa alakanavan virtauksiin

Muiden tekijöiden ohella kalatiestä purkautuvan virtauksen suunnalla on vaikutusta siihen, kuinka hyvin kalat ohjautuvat kalatiehen (Williams ym. 2011). Mikäli jokiuoman tai alakanavan virtaus kalatien sisäänkäynnin kohdalla on kova, kannattaa kalatiestä purkautuva virtaus suunnata niin, että se kulkee jokiuoman virtauksen suuntaisesti tai korkeintaan 30 asteen kulmassa jokiuoman virtaukseen nähden. Liian suuressa kulmassa johdettu vesi voi aiheuttaa suuaukon alapuolelle akanvirran, joka saattaa ohjata kalan pois kalatien sisäänkäynniltä (Whiley 2000).

Larinierin ym. (2002) mukaan paras kalatierakenne on sellainen, jossa kalatiestä purkautuva virtaus suunnataan pitkin päävirran reunaa. Pienessä (0-30 astetta) kulmassa päävirtaan nähden purkautuva kalatien virtaus voi houkuttaa paremmin kauempana rannasta kulkevia kaloja, mutta jos virtaus suunnataan liian suuressa kulmassa (yli 30 astetta) päävirtaan nähden, syntyy kalatien sisäänkäynnin alapuolelle akanvirta, jolloin rannan lähellä nouseva kala ei välttämättä löydä kalatiehen (Whiley 2000, Larinier ym. 2002). Kalatiestä purkautuva virtaus kannattaa suunnata kohtisuoraan jokiuoman virtaukseen nähden vain tapauksissa, joissa sisäänkäynti joudutaan jostakin syystä sijoittamaan hidaskäyttöön kohtaan tai kauas joen päävirtauksesta (Whiley 2000, Larinier ym. 2002).



Voimalaitosten alakanavissa paras tilanne saavutetaan, kun kalatiestä tuleva virtaus suunnataan niin, että turbiinien kautta tuleva virtaus ei vaimenna, vaan mieluummin vahvistaa kalatiestä purkautuvaa virtausta (Anne Laine, Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus, suullinen tiedonanto).

## 5.6. Sisäänkäynnin jälkeinen kalatie

Sisäänkäynnin yläpuolisessa kalatiessä kalojen nousulle optimaalisten olosuhteiden luomiseen riittää huomattavasti pienempikin virtaama, kuin mitä vaaditaan kalojen houkuttelemiseksi itse kalatiehen (FAO/DVWK 2002). Kalatien sisäiset rakenteen pitää kuitenkin suunnitella niin, ettei veteen muodostuisi kalan kulkua estäviä virtauksia, kuten liiallista turbulenssia tai kohtia, joissa virrannopeus nousee liian suureksi. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, ettei virrannopeus saisi ahtaissaan kohdissa ylittää 2 m/s:ssa (FAO/DVWK 2002). Optimaalisia virtausolosuhteita ei joka paikassa saada aikaan samoilla rakenneratkaisuilla, vaan jo kalatietyypin valinnassa täytyy aina ottaa huomioon kulloisenkin rakennuspaikan olosuhteet (Kamula 2001, Laine 2010). Kalatiet jaetaan rakenteensa perusteella karkeasti kahteen päätyyppiin:

- luonnonmukaiset kalatiet
- tekniset kalatiet

Luonnonmukaisissa ratkaisuissa rakenteilla pyritään luomaan kalatiehen mahdollisimman paljon luonnonuomaa muistuttavat virtausolosuhteet. Tavallisimpia luonnonmukaisia kalatieratkaisuja ovat nousuesteen yli rakennetut koko uoman levyiset luiskat (bottom ramp), vain osan uoman leveydestä kattavat kalaluiskat (fish ramp) sekä nousuesteen kiertävät ohitusuomat (bypass channel) (FAO/DVWK 2002). Kaikissa näissä ratkaisuissa veden virtausta pyritään hidastamaan ja luomaan levähdyspaikkoja kivien ja lohkareiden avulla niin, että kaloilla on mahdollisuus päästä nousemaan ylävirtaan nousuesteen ohi (Anonyymi). Koska luonnonmukaiset kalatiet ovat profiililtaan loivia, tulee korkeiden nousuesteiden kohdalla ongelmaksi se, että luonnonmukaisista kalateistä tulee helposti erittäin pitkiä, mikä saattaa vähentää kalan motivaatiota läpäistä kalatie. Luonnonmukaiset kalatiet soveltuvatkin parhaiten matalien patojen ylityksiin (Anonyymi).

Teknisten kalateiden kolme päätyyppiä ovat allaskalatie (pool pass), pystyrakokalatie (vertical slot pass) ja Denil-kalatie (Denil-pass). Näiden lisäksi muita teknisiä kalatieratkaisuja ovat niin sanotut mekaaniset kalatiet, joissa kalat nostetaan esteen yli kalasulkujen (fish lock) ja kalahissien (fish lift) avulla (FAO/DVWK 2002, Laine 2010). Kalasulkua kutsutaan myös Borland-kalatieksi. Kalahissit ja Borland-kalatiet ovat soveltuvia ratkaisuja korkeissa padoissa jos tilaa kalatien rakentamiseen on vähän. Jos tilaa on käytössä runsaasti, ovat suositeltavimmat vaihtoehdot yleensä joko luonnonmukainen kalatie tai pystyrakokalatie, sillä ne mahdollistavat periaatteessa useiden eri kalalajien nousun (Laine 2010). Perinteinen allaskalatie on myös hyvä vaihtoehto, mikäli tilaa kalatielle on runsaasti ja Denil-kalatie silloin kun tilaa on vähän. Näiden kalatietyyppien heikkoutena on kuitenkin se, että niitä hyödyntämään pystyvien kalalajien määrä on vähäisempi (Laine 2010).

Monesti kalateiden rakennuspaikkojen olosuhteet ovat sellaiset, että kalateissä joudutaan käyttämään useita eri rakenneratkaisuja. Esimerkiksi luonnonmukaiset ohitusuomat ovat herkkiä ala- ja ylävedenkorkeuden vaihteluille ja siksi kalatien ala- ja/tai yläpäässä on tarpeen käyttää teknisiä ratkenteita, jotka eivät ole niin haavoittuvia vedenpinnan vaihtelulle (Laine 2010).

## 6. Voimalaitosten käytön vaikutus kalatiehen hakeutumiseen

Rakennetussa joissa keinotekoisella virtaaman kasvattamisella on mahdollista kiihdyttää lohien nousua (Banks 1969) ja esimerkiksi li- ja Kemijoella on havaittu, että kasvavat virtaamat houkuttelevat lohia voimalaitosten läheisyyteen (Huusko ym. 2011, Rivinoja ym. 2012). Vaikka lohien nousu voimalaitoksen alakanavaan, virtausolosuhteet alakanavassa vaikuttavat merkittävästi siihen, löytäkö lohi tiensä itse kalatiehen (mm. Björnn & Peery 1992).

Kovista turbiini- tai ohijuoksuksista aiheutuva voimakas virta ja sen turbulenssi voivat pahimmillaan ohjata kalan ohi kalatien sisäänkäynnistä (Arnekleiv & Kraabøl 1996, Rivinoja ym. 2001, Karpinen ym. 2002, Thorstad ym. 2003, Lundqvist ym. 2008). Säättämällä voimalaitosten juoksuvoimaa ja jakautuminen sopivaksi, voidaan virtausolosuhteet kalatien suulla saada sellaisiksi, että ne edesauttavat kalaa löytämään kalatien sisäänkäynnin ja suuntamaan tiensä kalatiehen (Björnn & Peery 1992).

Virtausolosuhteita voimalaitoksen alakanavassa voidaan muuttaa juoksuvoimalla vettä suunnitelmallisesti tietyistä turbiineista. Myös säännöstelypadolle sijoitetun kalatien suulla virtausolosuhteisiin voidaan vaikuttaa laskemalla vettä eri kohdista säännöstelypatoa. Jos kalatien sisäänkäynti on säännöstelypadon päässä lähellä joen rantaa ja padosta täytyy juoksuvoimaa runsaasti vettä, kannattaa sitä juoksuvoimaa eniten padon keskimmaisista luukuista ja vähentää juoksuvoimaa asteittain kalatien suuta lähestyttäessä. Juoksuvoimien ollessa vähäisiä kannattaa puolestaan juoksuvoimaa vain aivan kalatien lähellä olevasta ohijuoksuvoimasta, jolloin virtaama houkuttelee kalat kalatien sisäänkäynnin läheisyyteen (Larinier ym. 2002).

Aikoina, jolloin alakanavan virtausolosuhteet vaihtelevat nopeasti ja merkittävästi voimalaitoksen käytöstä johtuen, voi kalatien houkuttelevuus olla ajoittain huono. Tilanteissa, joissa virtauksia kalatien sisäänkäynnin lähellä ei voida pitää kalojen nousun kannalta optimaalisina, kannattaisi kalatiehen rakentaa useampia vaihtoehtoisia sisäänkäyntejä, joita vaihdeltaisiin kulloinkin vallitsevien virtausolosuhteiden ja vedenkorkeuksien mukaan (mm. Björnn & Peery 1992).

## 7. Alakanavaolosuhteet Suomessa - erityispiirteitä

Suomen suurimpien lohijokien rakentaminen vesivoimatuotantoon toteutettiin aikanaan lähes täysin energiantuotannon edellytyksillä, eikä kalojen vaellusyhteyksien avoimuuteen ja luonnonvaraisen elinkierron jatkuvuuteen kiinnitetty riittävää huomiota.

Useimpien voimalaitoksiemme alakanavat poikkeavat morfologialtaan että hydrologialtaan jyrkästi luonnontilaisista jokiuomista. Alakanavat ovat tavallisesti uomarakenteeltaan varsin tasapohjaisia (perattuja), syviä ja verraten kapeita (ks. kuva 2). Lisäksi tärkeimmät vesivoimatuotantoon rakennetut jokemme (mm. Kemi-, li- ja Oulujoki) toimivat ns. säätövoimana, eli niiden sähköntuotantoa säädellään voimakkaasti vuorokauden sisällä (lyhytaikaissäännöstely) kasvattamalla tai vähentämällä voimalaitosjuoksuvoimaa.

Voimalaitosten käyttö ja lyhytaikaissäännöstely vaikuttavat voimakkaasti alakanavan virtausolosuhteisiin. Koska kalatien sisäänkäyntiä on mahdotonta siirtää nopeasti ja usein muuttuvien virtausvoimien mukaan, ovat lyhytaikaissäädöstä aiheutuvat alakanavan virtaus- ja vedenkorkeusmuutokset kriittisiä tekijöitä kalatien toimivuuden kannalta. Kalatien toimivuuden ja kalojen käyttäytymisen



kannalta on suuri merkitys esimerkiksi sillä, mitä voimalaitoksen turbiinia kulloinkin käytetään ja kuinka nopeasti virtausolosuhteet kalatien sisäänkäynnin alueella muuttuvat.

Voimakkaan vuorokausisäännöstelyn lisäksi tyypillistä pohjoisille suurille rakennetuille joille (mm. Kemi-, Ii- ja Oulujoki) on se, ettei ohijuoksutuksia tulvauomien kautta tarvita yleensä kuin lyhyinä jaksoina kovimpana tulva-aikana touko-kesäkuussa. Kevättulvat eivät myöskään tavallisesti ajoitu samaan aikaan lohien päänousun kanssa. Tulvauomien ohijuoksutusten vähäisyyden vuoksi paras sijoituspaikka kalateille on näissä joissa yleensä voimalaitoksen alakanavan yhteydessä säännöstely-padon sijaan (ks. Huusko ym. 2012).

Suomen rakennettujen jokien haasteellisissa olosuhteissa tarvitaan tutkimukseen perustuvaa kalatiesuunnittelua, jotta sekä olemassa olevien että tulevaisuudessa rakennettavien kalateiden tehokkuus saadaan maksimoitua. Kalatiehankkeissa yhteistyö voimayhtiöiden kanssa, mm. voimalaitosten käyttöön liittyvien asioiden osalta tulee olla joustavaa ja avointa. Samalla täytyy varmistua myös siitä, ettei muu voimalaitosten alakanavissa tapahtuva toiminta haittaa kalateiden toimivuutta. Esimerkiksi nahkiaisten pyynti ja siihen liittyvät kalateiden ja/tai voimalaitosten virtaamasäädöt voivat vaikuttaa kalateiden sisäänkäyntien houkuttelevuuteen ja saattavat vähentää kalatiehen hakeutuvien lohien ja taimenten määrää. Tällainen tilanne on mm. Kemi-, Ii- ja Oulujoilla, missä nahkiaisten pyyntiä harjoitetaan olemassa olevien tai suunniteltujen kalateiden sisäänkäyntien läheisyydessä. Suunniteltujen kalateiden valmistuttua täytyy huolehtia, ettei nahkiasten pyynnistä aiheudu haittaa kalateiden käytölle ja niiden toimintateholle.

## 8. Yhteenveto ja johtopäätökset

Lohen vaelluskäyttäytymiseen vaikuttavat mm. seuraavat keskeiset ympäristötekijät ja ihmistoiminnan aiheuttamat ympäristömuutokset:

- virtaaman määrä ja sen muutokset
- veden lämpötila, sameus, happipitoisuus, turbulenssi, ilmanpaine, pilvisuus, äänet sekä hajut
- padot, voimalaitokset, voimalaitosten alakanavat ja patoaltaat
- voimalaitosten käyttö

Lohi pyrkii yleensä nousuvaelluksellaan voimakkaimman virtauksen suuntaan. Tämä on kalatien toimivuuden kannalta ongelmallista, koska kalatien virtaama verrattuna voimalaitosten turbiineista tulevaan virtaamaan on tavallisesti vähäinen. Lohi saadaan kuitenkin nousemaan kalatiehen, kun olosuhteet kalatien sisäänkäynnissä saadaan riittävän houkutteleviksi. Kalatien sisäänkäynnin houkuttelevuuteen vaikuttavat tutkimusten mukaan seuraavat asiat:

- sisäänkäynnin sijainti (tavallisesti mahdollisimman lähellä turbiineja ja joen ranta)
- virtaama sisäänkäynnissä (toimivissa kalateissa tavallisesti 2-10 % joen keskivirtaamasta)
- virranopeus sisäänkäynnissä (lohikaloille sekä muille suurikokoisille lajeille 2,0-2,4 m/s)
- putoukorkuus sisäänkäynnissä (lohelle 0,3-0,4 m)
- purkautuvan virran suunta (<30 asteen kulmassa pääuoman virtaukseen nähden)

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että moderneissa kalateissa ongelma ei niinkään ole virtausolosuhteet kalatiessä itsessään vaan se, että kala ei löydä kalatien sisäänkäyntiä, eikä siksi pyri aktiivisesti hakeutumaan kalatiehen (Williams ym. 2011). Kalatien sisäänkäynnin rakenteiden lisäksi kalatien

toiminnan kannalta on tärkeää huomioida myös voimalaitosten käyttö, jolla etenkin Suomen oloissa (mm. voimakas lyhytaikaissäännöstely) voi olla suuri vaikutus kalateiden toimivuuteen.

Kalateihin liittyvät ongelmat ovat nykytietämyksellä ainakin pääosin ratkaistavissa ja toimivan kalatien rakentaminen lohelle onnistuu, jos suunnitteluun, rakentamiseen, tutkimukseen ja kalatien säätämiseen panostetaan riittävästi. Parhaaseen lopputulokseen päästään yleensä, kun kalatiet suunnitellaan padon/voimalan suunnittelun yhteydessä biologisten ja insinöörien yhteistyönä (Anonyymi 1995). Jälkikäteen tehdyissä kalateissa joudutaan sekä suunnittelussa että itse rakentamisessa tekemään enemmän kompromisseja ja toimivan kalatien rakentaminen on siten haasteellisempaa. Etukäteisuunnitteluun kannattaa panostaa myös siksi, että epäonnistuneen kalatien säätäminen ja muuttaminen eivät aina onnistu toivotulla tavalla (Williams ym. 2011).

## Kiitokset

Tekijät kiittävät tasapuolisesti kaikkia tähän kirjallisuuskatsaukseen kommentteja ja parannusehdotuksia tehneitä tahoja. Tämä kirjallisuuskatsaus tuotettiin osana Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen Rakennettujen jokien tutkimusohjelmaa. Pääosa kirjallisuuskatsauksen laatimisesta on peräisin maksullisesta tutkimuspalvelusta ”Kalateiden suunnittelua ohjaavat lohien käyttäytymistutkimukset lijoella vuosina 2011-2012”, jonka Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen toteuttama lijoen kalatiet 2011-13 -hanke tilasi RKTL:lta 31.5.2011. Osarahoittajana toimi lisäksi maa- ja metsätalousministeriön rahoittama ”Toimivatko kalatiet?” hanke, jota RKTL toteutti vuosina 2010-2013.

## Viitteet

- Aarestrup, K., Lucas, M.C. & Hansen, J.A. 2003. Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. *Ecology of Freshwater Fish* 12: 160-168.
- Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J. (toim.) 2011. Atlantic salmon ecology. Wiley-Blackwell. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, United Kingdom. 467 s.
- Alabaster, J.S. 1990. The temperature requirements of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., during their upstream migration in the River Dee. *Journal of Fish Biology* 37: 659-661.
- Andersson, A., Lindberg, D-E., Lindmark, E., Leonardsson, K., Andreasson, P., Lundqvist, H. & Lundström, S. (2012). A study of the location of the entrance of a fishway in a regulated river with CFD and ADCP. *Modelling and Simulation in Engineering*, Volume 2012: 1-12.
- Anonyymi. Diadromous fish passage: A primer on technology, planning, and design for the Atlantic and Gulf Coasts. Käsikirjoitus. Luettavissa 2013-09-24 osoitteessa: <http://www.nero.noaa.gov/hcd/docs/FishPassagePrimer.pdf>
- Anonyymi. 1995. Fish passage technologies: protection at hydropower facilities. Washington DC. U.S. Government Printing Office, September 1995. 167 s.
- Armstrong, G.S., Aprahamian, M.W., Fewings, G.A., Gough, P.J., Reader, N.A. & Varallo, P.V. 2010. Environment Agency Fish Pass Manual: Guidance notes on the legislation, selection and approval of fish passes in England and Wales. Document – GEHO 0910 BTBP-E-E. Environment Agency. Bristol. 369 s.
- Arnekleiv, J.V. & Kraabøl, M. 1996. Migratory behaviour of adult fast-growing brown trout (*Salmo trutta*, L.) in relation to water flow in a regulated Norwegian river. *Regulated Rivers: Research and Management* 12: 39-49.
- Banks, J.W. 1969. A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. *Journal of Fish Biology* 1: 85-136.
- Beach, M.H. 1984. Fish pass design – criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers. Fisheries Research Technical Report 78: 1-46.

- Beamish, F.W.H 1978. Swimming capacity. Teoksessa: Fish Physiology. Hoar, W.S. & Randall, D.J. (toim.). Academic Press, New York, 101-187.
- Bjornn, T.C. & Peery, C.A. 1992. A Review of Literature Related to Movements of Adult Salmon and Steelhead Past Dams and Through Reservoirs in the Lower Snake River. Technical report 92-1. U.S. Army corps of Engineers. Walla Walla District. 80 pp.
- Booth, R.K., McKinley, R.S., Økland, F. & Sisak, M.M. 1997. In situ measurement of swimming performance of wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) using radio transmitted electromyogram signals. Aquatic Living Resources 10: 213-219.
- Bunt, C. M. 2001. Fishway entrance modifications enhance fish attraction. Fisheries Management and Ecology 8, 95-105.
- Calles, E.O. & Greenberg, L.A. 2005. Evaluation of nature-like fishways for establishing connectivity in fragmented salmonid populations in the river Emån. River Research and Applications 21: 951-960.
- Caudill, C.C., Daigle, W.R., Keefer, M.L., Boggs, C.T., Jepson, M.A., Burke, B.J., Zabel, R.W., Bjornn, T.C. & Peery, C.A. 2007. Slow dam passage in adult Columbia River salmonids associated with unsuccessful migration: delayed negative effects of passage obstacles or condition-dependent mortality? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 64: 979-995.
- Chansey, M. & Larinier, M. 1998. The behavior of returning adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the vicinity of a hydroelectric plant on the Gave de Pau river (France) as determined by radiotelemetry. Teoksessa: Jungwirth M., Schmutz S., Weiss S. (toim.) Fish migration and fish bypasses. Fishing News Books, Oxford, 257-264.
- Clay, C.H. 1995. Design of fishways and other fish facilities. Second edition. Lewis Publishers, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 248 s.
- Dunford, L. A. 2011. Mitigating the effects of barriers on fish movements: A review. Biodiversity Branch. Ontario Ministry of Natural Resources. Peterborough, Ontario. 561 s.
- Erkinaro, J., Laine, A., Mäki-Petäys, A., Karjalainen, T.P., Laajala, E., Hirvonen, A., Orell, P. & Yrjänä, T. 2011. Restoring migratory salmonid populations in regulated rivers in the northernmost Baltic Sea area, Northern Finland – biological, technical and social challenges. Journal of Applied Ichthyology 27: 45-52.
- Evans, S.D., Adams, N.S., Rondorf, D.W., Plumb, J.M. & Ebberts, B.D. 2008. Performance of a prototype surface collector for juvenile salmonids at Bonneville Dam's first powerhouse on the Columbia River, Oregon. River Research and Applications 24: 960-974.
- Ferguson, J.W., Williams, J.G. & Meyer, E. 2002. Recommendations for improving fish passage at the Stornorrfor Power Station on the Umeälven, Umeå, Sweden. U.S. Department of Commerce, National Marine Fisheries Service, Northwest Fisheries Science Center, Seattle, Washington, February 2002.
- Ferguson, J.W. 2008. Behavior and Survival of Fish Migrating Downstream in Regulated Rivers. Doctoral Thesis 2008:23. Department of Wildlife, Fish and Environmental Studies, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Umeå, Sweden. ISBN 978-91-85913-56-5. Luettavissa 2011-11-16 osoitteessa: [http://pub.epsilon.slu.se/413/1/Fergusson\\_J\\_081003.pdf](http://pub.epsilon.slu.se/413/1/Fergusson_J_081003.pdf)
- Fleming, I.A. 1996. Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution. Reviews in Fish Biology & Fisheries 6: 379-416.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations and Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V (FAO/DVWK). 2002. Fish passes – design, dimensions and monitoring. FAO, Rome. 118 s.
- Gerlier, M. & Roche, P. 1998. A radio telemetry study of the migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta trutta* L.) in the upper Rhine. Hydrobiologia 371/372: 283-293.
- Goodwin, R.A., Nestler, J.M., Anderson, J.J. Weber, L.J. & Loucks, D.P. 2006. Forecasting 3-D movement behaviour using a Eulerian-Lagrangian-agent method (ELAM). Ecological Modelling 192: 197-223.
- Gowans, A.R.D., Armstrong, J.D. & Priede, I.G. 1999a. Movements of adult Atlantic salmon in relation to a hydroelectric dam and fish ladder. Journal of Fish Biology 54: 713-726.
- Gowans, A.R.D., Armstrong, J.D. & Priede, I.G. 1999b. Movements of adult Atlantic salmon through a reservoir above a hydroelectric dam: Lock Faskally. Journal of Fish Biology 54: 727-740.
- Gross, M. R., 1991. Salmon breeding behavior and life history evolution in changing environments. Ecology 72: 1180-1186.
- Gunnerød, T.B., Hvidsten, N.A. & Heggberget, T.G. 1988. Open sea releases of Atlantic salmon smolts, *Salmo salar*, in Central Norway, 1973-83. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 45: 1340-1345.
- Heggberget, T.G., Lund, R.A., Ryman, N., Ståhl, G. 1986. Growth and genetic variation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from different sections of the River Alta, North Norway. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 43: 1828-1835.

- Herva, M. 1994. Fiskevandring og systematiske fiskeveiobservasjoner. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, sarja A, julkaisu 59: 9-20.
- Hoar, W.S. 1988. Then physiology of smolting salmonids. Teoksessa: Hoar, W.S. & Randall, D.J. (toim.) Fish Physiology, Vol. XIB. New York: Academic Press. s. 275-343.
- Huusko, R., Orell, P., Jaukkuri, M., van der Meer, O. & Mäki-Petäys, A. 2011. Nousulohien radiotelemetriaseuranta lijoen Maalismaan vesivoimalaitoksen alakanavassa v. 2011. Työraportti 31.12.2011. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 24 s.
- Huusko, R., Orell, P., van der Meer, O., Jaukkuri, M. & Mäki-Petäys, A. 2012. Lohen vaelluspoikasten radiotelemetriaseuranta lijoella vuosina 2010-2011. RKTL:n työraportteja 22/2012. 30 s. Luettavissa 2012-11-21 osoitteessa:  
[http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/iijoen\\_vaelluspoikaset.pdf](http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/iijoen_vaelluspoikaset.pdf)
- Huusko, R., Orell, P., Jaukkuri, M., van der Meer, O. & Mäki-Petäys, A. 2012. Nousulohien radiotelemetriaseurannat lijoen vesivoimalaitosten alakanavissa v. 2011-2012. lijoen kalatiet -hankkeen loppuraportti Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskukselle 20.12.2012. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Oulu. 42 s.
- Jensen, A.J., Heggberget, T.G. & Johnsen, B.O. 1986. Upstream migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the River Vefsna, northern Norway. Journal of Fish Biology 29: 459-465.
- Jensen, A.J., Hvidsten, N.A. & Johnsen, B.O. 1998. Effects of temperature and flow on the upstream migration of adult Atlantic salmon in two Norwegian Rivers. Teoksessa: Jungwirth M., Shmutz S. & Weiss S. (toim.) Fish migration and fish bypasses. Fishing New Books, Oxford, s. 45-54.
- Johnsen, B. O, Arnekleiv, J. V., Asplin, L., Barlaup, B. T., Naesje, T. F., Rosseland, B. O., Daltveit, S. V. & Tvede, A. 2011. Hydropower development – ecologic effects. Teoksessa: Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J. (toim.). Atlantic salmon ecology. Wiley-Blackwell. s. 351-385.
- Johnsen, B.O., Jensen, A.J., Økland, F., Lamberg, A. & Thorstad, E.B. 1998. The use of radiotelemetry for identifying migratory behaviour in wild and farmed Atlantic salmon ascending the Suldalslågen river in Southern Norway. Teoksessa: Jungwirth, M., Schmutz, S. & Weiss, S. (toim.). Fish migration and fish bypasses. Fishing New Books, Oxford, s. 55-68.
- Jonsson, N. 1991. Influence of water flow, water temperature, and light on fish migration in rivers. Nordic journal of freshwater research 66: 20-35.
- Jonsson, N., Hansen, L. & Jonsson, B. 1991. Variation in age, size and repeat spawning of adult Atlantic salmon in relation to river discharge. Journal of Animal Ecology 60: 937-947.
- Jutila, E., Jokikokko, E., Kallio-Nyberg, I., Saloniemi, I. & Pasanen, P. 2003. Differences in sea migration between wild and reared Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the Baltic Sea. Fisheries Research 60: 333-343.
- Kamula, R. 2001. Flow over weirs with application to fish passage facilities. Doctoral thesis. Department of Process and Environmental Engineering. University of Oulu, Finland. ISBN 951-42-5977-7. Luettavissa 2012-03-13 osoitteessa: <http://herkules.oulu.fi/isbn9514259777/isbn9514259777.pdf>
- Karppinen, P., Erkinaro, J., Niemelä, E., Moen, K. & Økland, F. 2004. Return migration of one-sea-winter Atlantic salmon in the River Tana. Journal of Fish Biology 64: 1179-1192.
- Karppinen, P., Mäkinen, T.S., Erkinaro, J., Kostin, V.V., Sadkovskij, R.V., Lupandin, A.I. & Kaukoranta, M. 2002. Migratory and route - seeking behaviour of ascending Atlantic salmon in the regulated River Tuloma. Hydrobiologia 483: 23-30.
- Karppinen, P., Marttila, M., Jaukkuri, M., Annala, M., Männistö-Vetoniemi, K., Heikkinen, S., Jørgensen, S., Vähä, V. & Erkinaro, J. 2008. Lohien ja haukien telemetriaseuranta Oulujoen alaosalla. Teoksessa: Laine, A. (Toim.). Palaako lohi Oulujokeen? Loppuraportti Oulu- ja Lososinkajoilla tehdyistä selvityksistä 2006-2007. s. 85-94.
- Klemetsen, A., Amundsen, P.-A., Dempson, J.B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M.F. & Mortensen, E. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. Ecology of Freshwater Fish 12: 1-59.
- Kluber, C., Dumont, U., Kampke, W., Sokoray-Varga, B. & Weichert, R. 2012. Near-field attractivity of fishways – investigations of an innovative entrance design to enhance the attraction flow. 9<sup>th</sup> ISE 2012, Vienna, Austria.
- Lahti, M., Mäki-Petäys, A., Rivinoja P, Huusko, R., Orell, P., Jaukkuri, M., Muotka, Huusko, A., Kylmänen, I., Sirniö, V.-P., Auvinen, H. & Laajala, E. 2011. Hydraulic modelling and fish telemetry in optimising fishway entrance site in a tailrace of a hydropower station. Hydro 2011, Practical Solutions for a Sustainable Future - 17 to 19 October 2011 Prague, Czech Republic.
- Laine, A. 2001. Restoring Salmonids stocks in Boreal rivers. Problems of passage at migratory obstructions and land-derived loading in production areas. Doctoral thesis. Department of Biology. University of O-

- lu, Finland. ISBN 951-42-5953-X. Luettavissa 2012-03-13 osoitteessa: <http://herkules.oulu.fi/isbn951425953X/isbn951425953X.pdf>
- Laine, A. 2010. Vaelluskalojen kulun toteutusmahdollisuudet lijoella. Vaelluskalat palaavat lijokeen –projekti. Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus. 42 s.
- Laine, A., Jokivirta, T. & Katopodis, C. 2002. Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and sea trout, *Salmo trutta* L., passage in a regulated northern river - fishway efficiency, fish entrance and environmental factors. Fisheries Management and Ecology 9(2): 65-77.
- Laine, A., Kamula, R. & Hooli, J. 1998. Fish and lamprey passage in a combined Denil and vertical slot fishway. Fisheries Management and Ecology 5: 31-44.
- Larinier, M. 1998. Upstream and downstream fish passage experience in France. Teoksessa: Jungwirth M., Shmutz S. & Weiss S. (toim.) Fish migration and fish bypasses. Fishing News Books, Oxford, ss. 127-145.
- Larinier, M. 2001. Environmental issues, dams and fish migration. Teoksessa: Marmulla, G. (Toim.). Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution. FAO Fisheries Technical Paper 419. s. 45-89.
- Larinier, M. 2008. Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. Hydrobiologia 609: 97-108.
- Larinier, M. & Marmulla, G. 2004. Fish passes: types, principles and geographical distribution – an overview. Teoksessa: Welcomme, R. & Petr, T. (toim.) Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries. s. 183-207.
- Larinier, M., Travade, F. & Porcher, J.P. 2002. Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364. 208 s.
- Laughton, R. 1989. The movements of adult Atlantic salmon within the River Spey. Scottish Fisheries Research Report 41, 19 s.
- Liao, J.C., Beal, D.N., Lauder, G.V. & Triantafyllou, M.S. 2003. Fish Exploiting Vortices Decrease Muscle Activity. Science 302: 1566-1569
- Lucas, M.C. & Baras, E. 2001. Migration of freshwater fishes. Blackwell Science Ltd. Oxford, United Kingdom. 420 s.
- Lundqvist, H., Rivinoja, P., Leonardsson, K. & McKinnell, S. 2008. Upstream passage problems for wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a flow controlled river and its effect on the population. Hydrobiologia 602: 111-127.
- MMM. 2012. Kansallinen kalatiestrategia. Valtioneuvoston periaatepäätös 8.3.2012. 30 s.
- Mäki-Petäys, A., van der Meer, O., Romakkaniemi, A., Orell, P., Rivinoja, P. & Erkinaro, J. 2012. Lohikantojen palauttaminen rakennetuille joille – mallinustyökalu tuki- ja säätelytoimien biologiseen arviointiin. Työraportti. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 42s.
- Noonan, M., Grant, J. & Jackson, C. 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. Fish and Fisheries 13: 450-464.
- Økland, F., Erkinaro, J., Moen, K., Niemelä, E., Fiske, P., McKinley, R.S. & Thorstad, E.B. 2001. Return migration of Atlantic salmon in River Tana: phases of migratory behavior. Journal of Fish Biology 59: 862-874.
- Orell, P. 2012. Video monitoring of the River Neidenelva salmon and seatrout migrations in 2006-2011. Working papers of the Finnish Game and Fisheries Research Institute 8/2012. 21 s.
- Orell, P., Huusko, R., Kanninen, T., Jaukkuri, M., Louhi, P. & Mäki-Petäys, A. 2010. Lohen vaelluspoikasten telemetriaseuranta lijoen alaosalla v. 2010. Työraportti 30.10.2010. Vaelluskalat palaavat lijokeen -hanke. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 29 s.
- Orell, P., Jaukkuri, M., Kanninen, T., van der Meer, O., Mäki-Petäys, A., Huusko, R., Karppinen, P. & Marttila, M. 2011. Ylisiirrettyjen lohien radiotelemetriaseuranta lijoella v. 2009-2010. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Työraportti 28.1.2011. 29 s.
- Orell, P., Jaukkuri, M., Huusko, R., Rivinoja, P., van der Meer, O., Mäki-Petäys, A., Erkinaro, J. & Laine, A. 2013. Toimivatko kalatiet? Biologinen yhteenveto neljältä Pohjanlahteen laskevalta joelta. Käsikirjoitus 15.5.2013. 18 s.
- Primmer, C.R., Veselov, A.J., Zubchenko, A., Poututkin, A., Bakhmet, I. & Koskinen, M.T. 2006. Isolation by distance within a river system: genetic population structuring of Atlantic salmon, *Salmo salar*, in tributaries of the Varzuga River in northwest Russia. Molecular Ecology 15: 653-666.
- Ritter, J.A., Farmer, G.J., Misra, R.K., Goff, T.R., Bailey, J.K. & Baum, E.T. 1986. Parental influences and smolt size and sex ratio effects on sea age at first maturity of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Teoksessa: Meerburg, D. (Toim.). Salmonid age at maturity. Canadian Special Publication of Fisheries Aquatic Sciences. s. 30-38.



- Rivinoja, P., McKinnell, S. & Lundqvist, H. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish river caused by a hydroelectric power-station. *Regulated Rivers: Research and Management* 17: 101–115.
- Rivinoja, P. 2005. Migration Problems of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Flow Regulated Rivers. Doctoral Thesis 2005: 114. Department of Aquaculture, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Umeå, Sweden. ISBN: 91-576-6913-9.
- Rivinoja, P. 2011. Aikuisten lohien käyttäytyminen Montan voimalaitoksen alakanavassa, Oulujoella - Tiivistelmä telemetriaseurannasta 2010. Englanninkielinen alkuperäisotsikko: Behaviour of adult salmon at the power-station outlet Montta in River Oulujoki, Finland - A summary of telemetry tracking in 2010.
- Rivinoja, P., Lindberg, D.-E., Leonardsson, K., Wiklund, B.-S., Hockersmith, E., Rambo, S., Axel, G. & Lundqvist, H. 2010. Upstream passage of wild adult Atlantic salmon and sea trout in the regulated part of River Umeälven (Sweden). Report 1, Department of Wildlife, Fish, and Environmental studies, Swedish University of Agricultural Sciences. 25 s.
- Rivinoja, P., Huusko, R., Orell, P., Mäki-Petäys, A & Jaukkuri, M. 2012. Behaviour of adult salmon at the power-station outlet Taivalkoski in River Kemijoki, Finland – A summary of telemetry tracking in 2011. Working report 1.3.2012. Finnish Game and Fisheries Research Institute. 13 s.
- Roscoe, D.W. and S.G. Hinch. (2010) Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns, and future directions. *Fish and Fisheries*. 11: 12-33.
- Salminen, M., 1997. Relationships between smolt size, postsmolt growth and sea age at maturity in Atlantic salmon ranched in the Baltic Sea. *Journal of Applied Ichthyology* 13: 121–130.
- Saltveit, S. J. 1993. Abundance of juvenile Atlantic salmon and brown trout in relation to stocking and natural reproduction in the River Laerdalselva, Western Norway. *North American Journal of Fisheries Management* 13: 277-283.
- Scruton, D.A., Booth, R.K., Pennell, C.J., Cubitt, F., McKinley, R.S. & Clarke, K.D. 2007. Conventional and EMG telemetry studies of upstream migration and tailrace attraction of adult Atlantic salmon at a hydroelectric installation on the Exploits river, Newfoundland, Canada. *Hydrobiologia* 582: 67-79.
- Sutela, T., Karjalainen, T. P., Mäki-Petäys, A., Laine, A., Tammi, J., Koivurinta, M., Orell, P. & Louhi, P. 2012. Kalatiestrategian taustaselvitykset. Maa- ja metsätalousministeriö. Kala- ja riistahallinnon julkaisuja 90 (1/2012). 82 s.
- Sutterlin, A.M., Saunders, R.L., Henderson, E.B. & Harmon, P.R. 1982. The homing of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to a marine site. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* No. 1058. 6s.
- Thorstad, E.B., Fiske, P., Aarestrup, K., Hvidsten, N.A., Hårsaker, K., Heggberget, T.G & Økland, F. 2005. Upstream migration of Atlantic salmon in three regulated rivers. Teoksessa: Spedicato M.T., Lembo G. & Marmulla G. (toim.) *Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe, Ustica, Italy, 9-13 June 2003. FAO/COISPA, Rome.* s. 111-121.
- Thorstad, E.B., Økland, F., Aarestrup, K. & Heggberget, T.G. 2008. Factors affecting the within - river spawning migration of Atlantic salmon, with emphasis on human impacts. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18: 345–371.
- Thorstad, E.B., Økland, F., Kroglund, F. & Jepsen, N. 2003. Upstream migration of Atlantic salmon at a power station on the River Nidelva, Southern Norway. *Fisheries Management and Ecology* 10: 139-146.
- Thorstad, E.B., Whoriskey, F., Rikardson, A.H. & Aarestrup, K. 2011. Aquatic Nomads: The life and migration of the Atlantic salmon. Teoksessa: Øystein, A., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J. (Toim.). *Atlantic salmon ecology.* s. 1-32.
- Trépanier, S., Rodríguez, M.A. & Magnan, P. 1996. Spawning migrations in landlocked Atlantic salmon: Time series modeling of river discharge and water temperature effects. *Journal of Fish Biology* 48, 925-936.
- Vähä, J.P., Erkinaro, J., Niemelä, E. & Primmer, G. 2007. Life-history and habitat features influence the within-river genetic structure of Atlantic salmon. *Molecular Ecology* 16: 2638-2654.
- Webb, J. 1990. The behaviour of adult Atlantic salmon ascending the Tivers tay and Tummel to Pitlochry dam. *Scottish Fisheries Research Report* 48: 1-27.
- Whiley, T. (toim.) 2000. Fishway guidelines for Washington State (luonnos). Washington Department for Fish and Wildlife. Luettavissa 2012-01-10 osoitteessa: <http://wdfw.wa.gov/publications/00048/wdfw00048.pdf>
- Whitney, R.R., Calvin, L.D., Erho jr., M.W. & Coutant, C.C. 1997. Downstream passage for salmon at hydroelectric projects in the Columbia river basin: Development, installation, and evaluation. Portland, Oregon. 100 s. Luettavissa 2012-11-21 osoitteessa: [www.nwcouncil.org/library/1997/97-15.htm](http://www.nwcouncil.org/library/1997/97-15.htm)

**Nousulohien käyttäytyminen voimalaitosten alakanavissa ja kalatiehen hakeutumiseen vaikuttavat tekijät:  
kirjallisuuskatsaus**

Williams, J.G., Armstrong, G., Katopodis, C., Larinier, M. & Travade, F. 2011. Thinking like a fish: a key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstructions. River Research and Applications. Wiley Online Library ([wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com)) DOI: 10.1002/rra.1551.

## Liitteet

Liite 1. Kumulatiiviset kalatietappiot viiden voimalaitoksen ja kalatien joissa kolmella kalatiekohtaisella tappioprosentilla (kalatietappio: 10 %/kalatie, 20 %/kalatie ja 30 %/kalatie). Kaikkien viiden kalatien läpiuineiden kalojen osuus näkyy kohdassa "kalatie5".

