



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 65/2018

Kalateiden toimivuuden seuranta

Tapio Sutela, Teppo Vehanen, Mikko Jaukkuri, Jukka Tuohino ja
Panu Orell

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 65/2018

Kalateiden toimivuuden seuranta

Tapio Sutela, Teppo Vehanen, Mikko Jaukkuri, Jukka Tuohino ja Panu Orell



Tämä raportti on osa Metsähallituksen koordinoimaa Freshabit LIFE IP -hanketta (Life 14 IPE FI 023).

Hanke on saanut rahoitusta Euroopan unionin LIFE-ohjelmasta. Aineiston sisältö heijastelee sen tekijöiden näkemyksiä, eikä Euroopan komissio tai EASME ole vastuussa aineiston sisältämien tietojen käytöstä.



Sutela, T., Vehanen, T., Jaukkuri, M., Tuohino, J. ja Orell, P. Kalateiden toimivuuden seuranta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 65/2018. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 31 s.

ISBN 978-952-326-675-9 (Painettu)

ISBN 978-952-326-676-6 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-676-6>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Tapio Sutela, Teppo Vehanen, Mikko Jaukkuri, Jukka Tuohino ja Panu Orell

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2018

Julkaisuvuosi: 2018

Kannen kuva: Ruutukaappaus Oulun Energian nettikamerasta Merikosken kalatiessä, Jaakko Erkinaro.

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy (JuvenesPrint), <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Tapio Sutela ¹⁾, Teppo Vehanen ²⁾, Mikko Jaukkuri ³⁾, Jukka Tuohino ⁴⁾ & Panu Orell ⁵⁾

^{1,3,5)} Luonnonvarakeskus, Paavo Havaksen tie 3, 90014 Oulun yliopisto

²⁾ Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

⁴⁾ Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus, Veteraanikatu 1, 90100 Oulu

Maamme kalateiden toimivuuden seuranta on ollut hajanaista ja puutteellista. Toimivuutta on selvitetty vain osassa kalateistä lähinnä seuraamalla kalatiessä kulkevien kalojen lajistoa, määrää ja ko-koa. Kalateiden tehokkuutta, eli kuinka suuri osa vaellusesteen alapuolelle saapuneista kaloista lopulta nousee läpi koko kalatien, on selvitetty vain harvoin. Kalateiden toimivuuden seurannan tulee olla keskeinen osa kalateiden käyttöä ja toiminnan kehittämistä. Uusien kalatiehankkeiden yhteydessä tulee suunnitella käytön ja seurannan järjestäminen ja varautua niiden rahoitukseen.

Tässä raportissa esitellään tärkeimmät kalatien toimivuuden seurantamenetelmät ja vertaillaan niiden soveltuvuutta erilaisissa tilanteissa. Seurantamenetelmän tai menetelmäyhdistelmän valinta riippuu paljolti seurannalle asetettavista tavoitteista. Käytännön esimerkkinä käydään läpi Oulujoen Merikosken kalatien seurannan tavoitteet sekä niiden saavuttamiseksi tehdyt toimenpiteet ja tulokset.

Asiasanat: Vaelluseste, kalatien toimivuus, kalatien tehokkuus, vaelluskala, Merikosken kalatie

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Kalatien toimivuus ja tehokkuus	6
3. Kalatien toimivuuden seurannan tavoitteet ja suunnittelu	8
4. Seurantamenetelmät	10
4.1. Kalojen pyydystäminen	10
4.2. Kalalaskurit	10
4.3. Kaikuluotaus	14
4.4. PIT-telemetry	15
4.5. Radio- ja akustinen telemetry	18
4.6. Merkintä ja takaisinpyynti	19
4.7. Menetelmien vertailu ja valinta	19
5. Esimerkinä Merikosken kalatie	23
5.1. Oulujoki ja Merikosken kalatie	23
5.2. Seurannat ja tutkimukset	24
5.3. Kalatiessä havaitut ongelmat	26
6. Yhteenveto ja suosituksia	28
7. Kiitokset	29
8. Kirjallisuus	30

1. Johdanto

Maamme vesistöissä on tuhansia patorakenteita sekä muita vaellusesteitä, jotka estävät vaelluskalojen matkan kutualueelleen. Vaellusesteen poistaminen ei ole teknisten tai taloudellisten syiden vuoksi aina mahdollista. Tällöin kalatien rakentaminen on luontaisin ratkaisu kalan kulun turvaamiseksi. Vaelluskalojen elinkierto onkin kuuluu myös vaelluspoikasten paluu takaisin joesta kasvualueelleen mereen tai järveen. Siksi kalatieratkaisuiden yhteydessä tulee nousuvaelluksen lisäksi huomioida myös vaelluspoikasten alasvaellusreitit lajien koko elinkierron mahdollistamiseksi.

Suomessa on tilaston mukaan 174 kalatietä (SYKE, Vesistötyöt-tietojärjestelmä). Näistä pääosa on luonnonmukaisia kalateitä (88 kpl). Luvussa on todennäköisesti mukana myös muita kuin varsinaisia rakennettuja kalateitä, kuten pohjapatojen korjaamisia kalankulkukelpoiseksi ja nousuesteen poistoja. Teknisistä kalateistä yleisin on pystyrakokalatiet (17 kpl). Denil -kalateitä on raportoitu 8 kappaletta, pohja-aukokalateitä 1 ja kahden eri kalatietyyppin yhdistelmiä 13 (Denil / Borland / luonnonmukainen / ylisyoysaukko (hyppyaukko) / pystyrako / pohja-aukko). Suurelta osalta kalateitä kalatien tyyppiä ei ole raportoitu tai tyyppiä on ilmoitettu ”Muu” (47 kpl).

Suomessa kalateiden toimivuutta on pääosin selvitetty seuraamalla kalatiessä kulkevien kalojen määrää, kokoa ja lajistoa. Kalateiden tehokkuutta, eli kuinka suuri osa vaellusesteen alapuolelle nousseista kaloista lopulta nousee kalatiehen ja sen läpi, on selvitetty harvemmin. Ongelmana on ollut lähinnä soveltuvan teknologian puute ja tutkimusten hinta. Tehokkuuden selvittämistä ei myöskään ole vaadittu tai määritelty kalateihin liittyvissä velvoitteissa.

Suomessa on säännöllistä vuosittaista seuranta erilaisten kalalaskureiden avulla seuraavissa kalateissä: Merikoski (Oulujoki), Isohaara (Kemijoki) Koivukoski (Kymijoki) ja Korkeakoski (Kymijoki). Laskurituloksia on lisäksi olemassa Kissakosken (Mäntyharjun reitti), Vaajakosken (Päijänne), Vakkolankosken (Porvoonjoki) ja Peruskosken (Isojoki) kalateistä. Optinen kalalaskuri sekä kaikuluotaus on valittu tutkimusvälineiksi Oulujoen Monttaan valmistuneen keräilylaitteen toimivuuden seurantaan ja kehittämiseen. Kiinniottolaitteesta, muusta seisovasta pyydyksestä, sähkökalastamalla tai kalatien veden laskun avulla on nousukalojen määriä kalatiessä arvioitu ainakin Vaajavirran (Päijänne), Kauhankosken (Päijänne), Arvajankosken (Arvajan reitti), Kärnäkosken (Hiirenvirta), Kostonjoen (Iijoki), Myllykosken (Kuusinkijoki), Brasaksen (Mustijoki), Malkakosken (Kyrönjoki) ja Yrttikosken (Perhonjoki) kalateissä. Ongelmana on kuitenkin se, että useimpien kalateidemme osalta tietoa ei ole lainkaan, tai selvitykset ovat liian hajanaisia ja huonosti dokumentoituja.

Olemassa olevien kalateiden toimivuuden seuranta ja tutkimus on tärkeää myös uusien kalateiden rakenneratkaisuja suunniteltaessa. Hyväksi osoittautuneita ratkaisuja pystytään soveltamaan uusissa kohteissa. Lisäksi seuranta ja siitä saadut tulokset ovat ainoa keino kehittää olemassa olevan kalatien toimintaa, sillä heti valmistuessaan kalatie harvoin toimii parhaalla mahdollisella tavalla. Toimivuutta voidaan yleensä parantaa sovittamalla kalatien ja nousuesteen, kuten esimerkiksi voimalaitoksen, käyttö tukemaan kalojen hakeutumista kalatiehen. Kalatien toimintaan vaikuttavien tekijöiden selvittäminen ja rakenteiden sekä käytön säätäminen toimivaksi ei onnistu ilman hyvin suunniteltua seurantaa ja tutkimusta.

Kalatiet ovat erinomaisia paikkoja vaelluskalakantojen tilan pitkäaikaiseen seurantaan, sillä kalatiessä kalojen on tavallisesti uitava kapeiden kohtien ohitse, joissa niiden tunnistaminen ja laskeminen onnistuu helpommin kuin luonnonuomissa. Nousevien kalojen määrässä tapahtuvia muutoksia tarkkailemalla voidaan myös arvioida mahdollisten kalastusrajoitusten tarvetta ja vaikutusta (Orell ym. 2012).

2. Kalatien toimivuus ja tehokkuus

Kalateiden toimivuuteen liittyvä suomenkielinen terminologia ei ole täysin vakiintunut. Yleensä kalatien toimivuudella (FPS (Fish Passage solution) performance) tarkoitetaan laajassa mielessä kalatien onnistumista sille asetettujen tavoitteiden toteutumiseen (European Committee for Standardization 2018). Kalatien tehokkuus (fish passage efficiency, overall FPS efficiency) on täsmällisempi termi, jolla tarkoitetaan sitä osaa padon alapuolelle nousseista ja vaellusesteen ohi pyrkivistä kaloista, jotka onnistuvat löytämään kalatien sisäänkäynnin, hakeutumaan siihen sekä uimaan koko kalatien läpi. Kalatien tehokkuuden arvioinnissa voidaan erottaa kolme osa-aluetta (Jaukkuri ym. 2013, European Committee for standardization 2018):

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

Houkutustehokkuus tarkoittaa sitä, kuinka suuri osa kaloista hakeutuu kalatien sisäänkäyntiin tai sen tuntumaan, jossa sisäänkäynnistä purkautuva virtaus on havaittavissa (Aarestrup ym. 2003, Bunt ym. 2012, Jaukkuri ym. 2013, European Committee for Standardisation 2018). Vaikka kalat havaitsisivatkin sisäänkäynnin ja kävisivät sen edustalla, ei se vielä tarkoita, että ne välttämättä uisivat sisälle kalatiehen. Kalojen aktiivista nousua sisäänkäynnin kautta kalatiehen kuvataan hakeutumistehokkuudella (Evans ym. 2008). Kalatien läpäisytehokkuudella puolestaan tarkoitetaan sitä osuutta kalatiehen uineista kaloista, jotka nousevat läpi koko kalatien nousuesteen yläpuolelle (Bunt ym. 2012, Jaukkuri ym. 2013, European Committee for Standardization 2018).

Keskeisimpinä kalateiden toimivuuteen vaikuttavina teknisinä tekijöinä pidetään kalatien sisäänkäynnin sijaintia sekä siitä purkautuvan houkutusvirtaaman määrää suhteessa muuhun virtaamaan (Clay 1995, Williams ym. 2011, Jaukkuri ym. 2013). Sisäänkäynnin tulee olla riittävän lähellä vaellusestettä, kuitenkin siten, että houkutusvirtaus ei ohjautu suoraan turbiinipyörteisiin tai muuhun pyörteilevään vesimassaan. Houkutusvirtauksen tulee sijoittua kalojen kulkureitille ja virtauksen täytyy erottua päävirtauksesta selkeästi.

Säännöstelyn aiheuttamat virtaama- ja vedenkorkeusmuutokset vaikuttavat kalateiden toimivuuteen erityisesti sellaisissa kalateissa, joiden sisäänkäyntejä ei voi säätää vastaamaan niiden edustalla vallitsevia olosuhteita. Nykyaikaisissa kalateissa ala- ja yläpuolisen uoman vedenkorkeusvaihteluihin voidaan reagoida automaattisilla tai käsikäyttöisillä säätölaitteilla. Lisäksi kalatien houkutusvirtaamaa voidaan kasvattaa johtamalla yläaltaasta lisävirtaa kalatien alaosaan tai erilaisilla pumppausmenetelmillä. Useammilla turbiineilla varustetuissa voimalaitoksissa myös turbiinien oikeanlaisella käytöllä voidaan tukea kalatien toimintaa. Luonnonolosuhteiden vuosittaiset vaihtelut tuovat oman vaikeutensa kalateiden toiminnan arviointiin. Virtaaman vaihtelun lisäksi rannikon jokisuiden kalateissa esimerkiksi tuulen suunnalla ja sen myötä muuttuvalla merivedenkorkeudella voi olla oma vaikutuksensa kalatien toimivuuteen.

Kaikille kalalajeille optimaalisesti toimivan kalatien rakentaminen on jokseenkin mahdotonta. Ennen yksittäisen kalatien toimivuuden arviointia onkin keskeistä tiedostaa, mille kalalajeille kalatie on alun perin suunniteltu. Eri vaelluskalalajeilla on erilainen uintikyky ja ne eivät houkutu välttämättä samalla tavalla tietynlaisiin virtausolosuhteisiin. Suomessa esimerkiksi vaellussiian tai nahkiaisien nousumahdollisuutta kalateissa ei ole useinkaan pidetty kalatien suunnittelun lähtökohtana, vaan on keskitytty suunnittelemaan ja rakentamaan nousureittejä lähinnä lohelle ja taimenelle, minkä seura-

uksena kalatiet toimivat yleensä huonosti siian ja nahkiaisen nousureittinä. Vaikka kalatie olisikin suunniteltu ja mitoitettu toimimaan jollekin tietylle lajille, eivät kaikki vaellusesteen alapuolelle saapuneet kyseisen kalalajin yksilöt tavallisesti onnistu ohittamaan sen kautta vaellusestettä. Syitä tähän voi olla monia ja syyt voivat löytyä eri kohdista kalatietä.

3. Kalatien toimivuuden seurannan tavoitteet ja suunnittelu

Kalatiesuunnittelun, olemassa olevien kalateiden säätämisen ja vaelluskalakantojen palauttamisen onnistumiseksi on ensiarvoisen tärkeää selvittää kalateiden toimivuutta sekä tunnistaa mahdolliset ongelmat ja ongelmia aiheuttavat tekijät. Valitettavan usein kalateiden toimivuuden seurantaan ei panosteta lainkaan.

Kalatieseurannan tavoitteena voi olla selvittää kalatietä pitkin nousuesteen yläpuolelle nousevien kalojen lukumäärä ja lajikoostumus. Tämä tieto itsessään antaa vain vajavaisen kuvan kalatien toimivuudesta. On oleellista myös selvittää kalatien tehokkuus, eli saada tieto kuinka suuri osuus nousuesteen alapuolelle vaeltaneista kaloista nousee kalatien kautta padon yläpuolelle.

Seurannan suunnitteluun ja menetelmien valintaan vaikuttaa paljon se, mihin kysymyksiin halutaan vastauksia. Keskeisiä tutkimuskysymyksiä, joihin seurannalla haetaan vastauksia, voivat olla esimerkiksi:

- Mitkä kalalajit tai eri lajien koko- ja ikäryhmät pystyvät nousemaan kalatiessä?
- Mikä on kalatien kautta kulkevien kalojen lukumäärä lajeittain tietyllä aikavälillä?
- Kuinka suuri osa padon alapuolelle nousseista kaloista hakeutuu kalatiehen ja ui sen läpi?
- Tapahtuuko kalatiehen hakeutuminen ja nousu läpi kalatien ilman merkittävää viivettä?
- Milloin kalatiehen hakeutuminen on aktiivista (kuukausi/viikko/vuorokaudenaika)?
- Mitkä ympäristötekijät vaikuttavat kalatiehen hakeutumiseen? Tärkeitä ympäristötekijöitä voivat olla esimerkiksi virtaama kalatiessä ja voimalaitospadolla sekä veden korkeus ja lämpötila, turbulenssi ja sameus.
- Onko kalatie kalan koon tai sukupuolen suhteen valikoiva?
- Kuinka kauan kalatien läpi uiminen kestää?
- Missä kohti kalatietä mahdolliset ongelmakohdat sijaitsevat?
- Jatkuuko vaellus suotuisasti kalatien ohittamisen jälkeen?
- Voiko kalatie toimia esimerkiksi lohen tai taimenen vaelluspoikasten alasvaellusreittinä?

Seurannan suunnittelussa ja paikan valinnassa pitää myös huomioida laitteiden ja työtehtävien turvallisuus, sähkövirran saanti, ilkvallan mahdollisuus, vedenkorkeuden vaihtelut, sähkömagneettiset häiriötekijät sekä paikan saavutettavuus. Laitteiden asentamiseen täytyy saada lupa maanomistajalta tai kalatien haltijalta. Jos tutkimuksen kohteena on tietty kalalaji tai kalalajit, on niiden vuodenaikainen vaelluskäyttäytyminen selvitettävä oikean tutkimusajankohdan ja menetelmän valitsemiseksi. Jos tutkimuksen kohteena on kaikki mahdolliset kalatiessä kulkevat kalalajit, niin potentiaaliset kalalajit kannattaa selvittää ennakkoon (Guidance Draft 2017).

Jos kalatien toimivuuden seurannassa käytetään kalojen merkintää, on menetelmän soveltuvuus tutkimuksen kohteena oleville lajeille selvitettävä esimerkiksi olemassa olevan kirjallisuuden avulla. Suomessa useiden merkintämenetelmien käyttöön vaaditaan myös kaloilla koe-eläinlupa sekä merkitsijältä kurssilla osoitettu pätevyys koe-eläintoimintaan. Lähettimien valinnassa on otettava huomioon esimerkiksi merkinnän kohteena olevien kalojen koko. Merkinnän tai muiden käsittelyjen vaikutus kalojen kuolleisuuteen olisi hyvä selvittää kokeellisesti esimerkiksi sumputtamalla, ja monessa tapauksessa voi olla tarpeen tehdä pilottitutkimus ennen täysimittaista tutkimusta. Seurantaan varten on merkittävä riittävän suuri määrä kaloja, jotta asetettuihin tutkimuksellisiin kysymyksiin saadaan vastaus tilastollisesti riittävällä varmuudella. Tässä arvioinnissa kannattaa ottaa huomioon merkitty-

jen kalojen menetykset esimerkiksi luvallisen kalastuksen, salakalastuksen, predaation, luonnollisen kuolleisuuden, kalojen alueelta poistumisen tai merkkien irtoamisen kautta (Guidance Draft 2017). Kokemuksen kautta kertynyt ammattitaito ja laitteiden tuntemus edesauttaa onnistuneen seurannan läpivientiä.

4. Seurantamenetelmät

4.1. Kalojen pyydystäminen

Yksi vanhimmista menetelmistä kalateiden toimivuuden seurannassa on kalojen pyydystäminen. Kaloja voidaan pyydystää kalatiestä ja vapauttaa ne lajimäärityksen ja mahdollisten mittausten jälkeen. Loukku- merta- tai katiskatyyppinen pyydys voidaan asentaa kalatien yläosaan niin, että sen ohi ei pääse kaloja. Menetelmä sopii erityisesti pienissä joissa oleviin kalateihin, missä kalamäärät ovat pieniä ja kalliiden seurantalaitteiden asentaminen ei kustannussyistä ole järkevää. Joissakin tapauksissa pyynti on toteutettu kalatien uloskäynnin etupuolelle sijoitetulla pyyntilaitteella.

Menetelmän etuna on helppo ja varma lajinmääritys sekä mahdollisuus esimerkiksi kalojen merkitsemiseen, sukupuolen tunnistamiseen, eväleikkaukseen, tautien ym. kontrollointiin, tarkkoihin mittauksiin ja erilaisiin näytteenottoihin. Pyydystä täytyy kuitenkin kokea melko tiheään ja huolehtia, ettei roskaantuminen tukkeuta sitä. Suurten jokien kalateissa ongelmia saattaa aiheuttaa kalojen suuri kappalemäärä ja fyysinen koko, sekä rakenteet joita ei ole suunniteltu kalojen pyydystämistä ajatellen. Pyydystäminen saattaa lisäksi haitata kalatien toimintaa ja vaikuttaa kalojen käyttäytymiseen käsittelyn jälkeen. Ruotsin Piteåjoen Sikforsilla ja Kalixjoen Jokfallissa osa kalatiestä laskentaa varten pyydyistä kaloista laskeutui käsittelyn jälkeen kalatietä pitkin alavirtaan (Orell ym. 2012). Haittapuolena menetelmässä on lisäksi vaikeus kerätä jatkuvaa ja pitkäkestoista aineistoa, kalojen stressaantuminen ja vahingoittuminen pyydyksessä ja käsittelystä sekä mahdollinen haluttomuus uida pyydykseen (Travade & Larinier 2002).

Lohikalojen ja nahkiaisten ylisiirtoa käytetään yhtenä kantojen hoitokeinona varsinkin suurissa rakennetuissa jokivesissä. Ylisiirto voi toimia samalla osana seurantaa. Ylisiirtoon liittyvä kalojen pyydystäminen saattaa olla järkevä toteuttaa kalatien yhteydessä varsinkin silloin, jos kalatie houkuttaa kaloja sen alaosaan, mutta ne eivät kykene nousemaan läpi kalatien. Myös ylisiirroissa kalojen käsittelyä pyritään minimoimaan, koska käsittely voi aiheuttaa mm. ihovaurioita ja sitä kautta elinkyvyn heikentymistä. Kalojen pyydystämismahdollisuuteen kalatien toimivuuden seuraamiseksi ja/tai ylisiirtotarkoituksiin voidaan varautua uusia kalateitä suunniteltaessa varaamalla rakenteisiin riittävästi vesitilavuutta omaavia osioita ja rakentamalla erilaisia pyynti- ja käsittelylaitteistoja kalojen keräämistä, käsittelyä ja säilyttämistä varten.

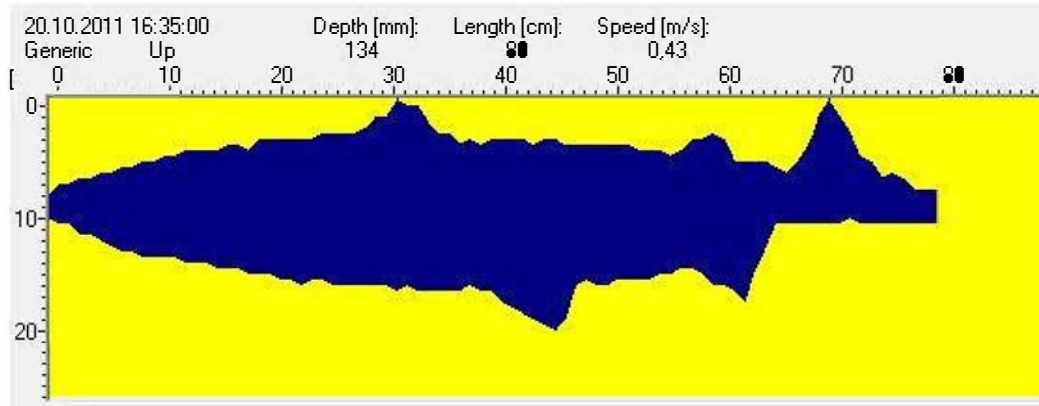
4.2. Kalalaskurit

Suomessa yleisin käytössä oleva kalalaskuri on islantilainen Vaki-laskuri (Vaki Aquaculture Systems Ltd.). Vaki-laskuri soveltuu kalojen laskentaan kalateissa ja muissa rakenteissa, joissa kalat joutuvat uimaan kapeiden aukkojen läpi (Kuva 1).



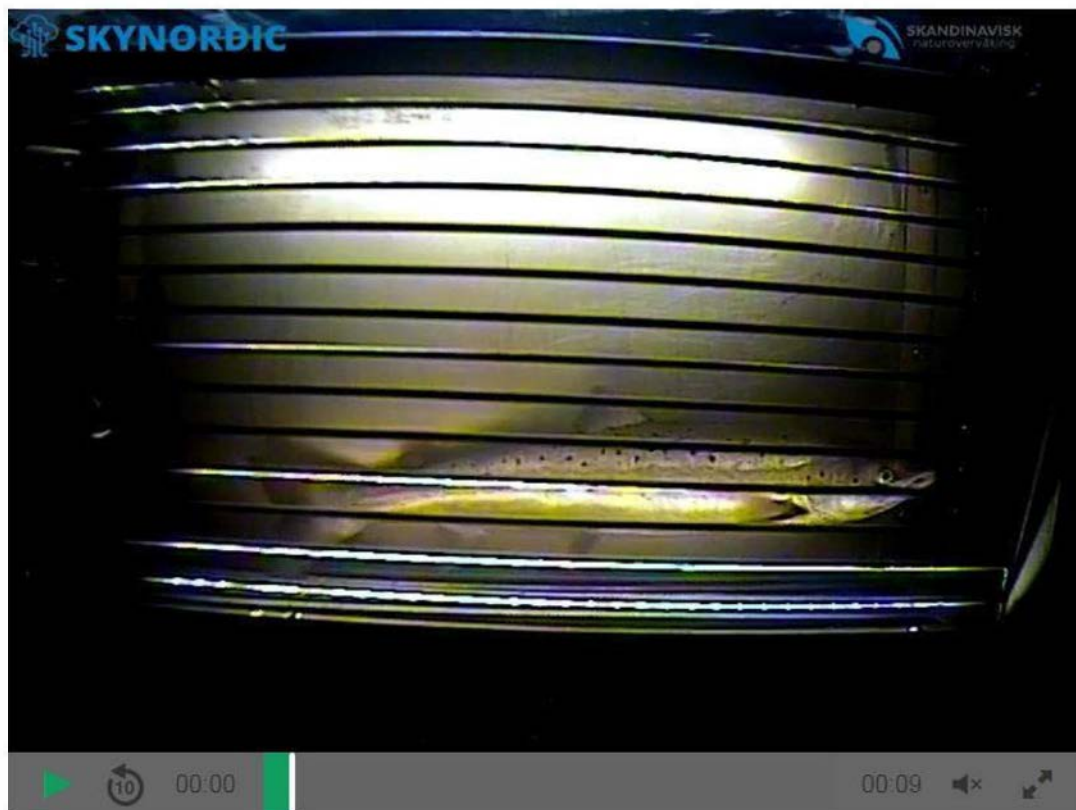
Kuva 1. Vaki-laskuri asennettuna kalatien ylivirtausaukkoon. Kuva: Vaki Aquaculture Systems Ltd.

Vaki-laskuri on infrapunavaloon perustuva laite, joka tallentaa laskurin läpi uivasta kalasta siluettikuvan, minkä lisäksi talteen saadaan havainnon ajankohta, kalan kulkusuunta sekä veden lämpötila havaintohetkellä (Orell ym. 2012). Siluettikuvaa verrataan tunnetuista kaloista otettuihin siluettikuviiin lajintunnistuksen varmistamiseksi (Kuva 2). Aineistojen purku ja laitteiden toiminnan tarkastus on mahdollista tehdä paikan päällä tai modeemin välityksellä etänä. Tulosten validoimista varten kalalaskuriin voidaan myös yhdistää erillinen kamerayksikkö, joka käynnistyy automaattisesti kalan uידessa laskurin läpi. Tällöin kalasta saadaan siluetin lisäksi valokuva tai videotallenne, josta voidaan määrittää kalan laji sekä mahdollisesti sukupuoli ja alkuperä, mikäli istukkaat on merkitty rasvaeväleikkauksella. Vaikka laitteisto toimii luotettavasti ja tiedot tallentuvat automaattisesti, tulosten tulkinna ja raportointi vaativat kuitenkin asiantuntemusta (Haikonen & Karppinen 2012, Jaukkuri ym. 2013). Laskurilaitetta voidaan käyttää verkkovirralla tai laitteeseen voidaan liittää aurinkopaneeliyksikkö. Kalojen koosta voidaan saada niiden mitattuun korkeuteen ja lajikohtaiseen korkeuspituussuhteeseen perustuva lajikohtainen arvio (Orell ym. 2012). Vaki-laskurin toimintaa voi rajoittaa veden sameus; hyvin sameissa vesissä (yli 90 NTU) menetelmä ei toimi. Käytännössä Suomen seurattavissa kalatiekohteissa näin sameita vesiä ei juurikaan ole.



Kuva 2. Tyypillinen Vaki-laskurin tuottama siluettikuva laitteen läpi uineesta lohesta.

Norjalainen Skynordic AS on kehittänyt videotekniikkaan perustuvan optisen laskurin, joka tallentaa videokuvaa laskurin läpi uivista kaloista infrapunalaukaisimeen perustuen (kuva 3). Laskurin toimintaperiaate on lähes sama kuin Vaki-laskurissa, mutta siluettikuvia se ei muodosta. Kalojen lajintunnistus perustuu videokuvan tulkintaan ja laitteen avulla voidaan tuottaa kohtalaisen tarkkoja kalojen pituustietoja (Kuva 3). Laitetta voidaan käyttää Vaki-laskurin tavoin etäyhteydellä. Skynordic on lisäksi kehittänyt verkkopalvelun, jonka kautta kuka tahansa pääsee katsomaan laskurituloksia, yksittäisistä kaloista lähtien (<https://skynordic.no/kart/>).

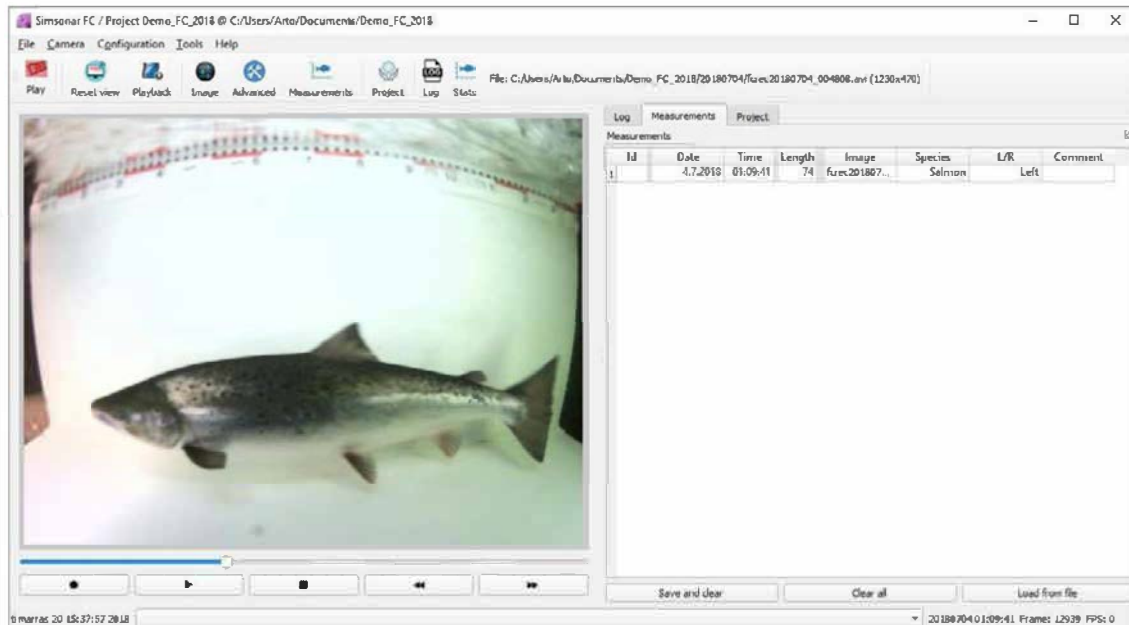


Kuva 3. Skynordicin optisen kameralaskurin videosta otettu stillkuva kalatiessä uivasta pikkulohesta.

Suomalainen Simsonar Oy on kehittänyt stereo-optiikkaan perustuvan videokuvauslaitteen ohjelmistoon (Kuvat 4-5). Ohjelmisto kykenee tunnistamaan, laskemaan ja mittaamaan kalat videoaineistosta hahmontunnistukseen perustuen. Lajintunnistus voidaan tehdä videoaineistosta. Laitteisto soveltuu kalojen havainnointiin kalateissä tai pienissä puroissa, joissa havainnointietäisyydet ovat lyhyitä ja kuvausolosuhteet vakioitavissa (mm. valaistus ja kontrasti). Järjestelmään kuuluva ohjelmisto mahdollistaa aineiston monipuolisen käsittelyn ja tallennuksen sekä etäkäytön.



Kuva 4. Simsonar Oy:n kehittämä optinen kalalaskuri, joka voidaan asentaa kalatiehen tai purouomaan. Läpinäkyvä muovikupu kameran linssien edessä kasvattaa näköetäisyyttä erityisesti olosuhteissa, joissa vesi on sameaa. Kuva: Simsonar Oy.



Kuva 5. Esimerkki stereokameran tuottamasta aineistosta kalatiessä uivasta lohesta. Laite tallentaa havaitusta kalasta videokuvan, havainnon ajankohdan, uintisuunnan ja mittaa kalan pituuden. Kuva: Simsonar Oy.

Kalalaskureita käytetään pääasiassa kalateiden läpi uivien kalamäärien arviointiin, jolloin laskuri sijoitetaan tavallisesti kalatien yläosalle uloskäyntiaukkoon. Vaelluskalavesissä kalalaskurin käyttö tulisi olla rutiinimenetelmä kalateiden vuosittaisen seurannan ja toiminnan arvioinnissa. Laskurit eivät kuitenkaan kerro nousuhalukkaiden kalojen määrää vaellusesteen alapuolella, joten menetelmällä ei pystytä arvioimaan kalatien tehokkuutta. Kalalaskureissa käytettävää teknologiaa voidaan joissakin tapauksissa käyttää myös kalateissä olevien ongelmakohtien ja vaihtoehtoisten sisäänkäyntien toiminnan selvittämiseen.

4.3. Kaikuluotaus

Alun perin sotilaskäyttöön kehitetyllä kaikuluotauksella (ultraäänikuvaus) pystytään kuvaamaan esimerkiksi kalatien alapuolista jokiuomaa ja havaitsemaan kaloja olosuhteissa, joihin optiseen kuvaukseen soveltuvat laitteistot eivät kykene. Kaikuluotauksokuva muodostetaan luotaimen lähettämän ja vastaanottaman ultraäänien perusteella. Joidenkin laitteistojen ohjelmistot kykenevät verraten hyvin tunnistamaan kalojen liikesuunnan sekä laskemaan ja mittaamaan kalat, mutta ongelmaksi jää lajintunnuksen puuttuminen. Joissakin tapauksissa ja olosuhteissa kalalajin pystyy kuitenkin päättelemään perustuen mm. kalan kokoon, morfologiaan, käyttäytymiseen, tunnettuun vaellusajankohtaan ja uintisyvyyteen (Martignac ym. 2015). Esimerkiksi ankeriaan saattaa tunnistaa luotauksuvasta morfologian ja uintitavan perusteella. Suuret nousulohet erottuvat muista lajeista usein koon perusteella. Kalalajin epäsuoraa tunnistusta helpottaa, jos joessa on suppea, hyvin tunnettu kalalajisto. Lajintunnuksen varmistamiseen voidaan käyttää muita seurantamenetelmiä, esimerkiksi vedenalaista videokuvasta tai koekalastusta (Lilja & Orell 2011, Romakkaniemi ym. 2000).

Kaikuluotausteknologialla kuvausetäisyys on selvästi suurempi kuin optisissa tai infrapunaan perustuvissa kuvantamismenetelmissä (Luku 4.2). Suurikokoiset kalat, esimerkiksi aikuiset lohet, voidaan havaita jopa 80 m etäisyydeltä (Lilja & Orell 2011). Äärialueilla kameroiden erottelukyky kuitenkin heikkenee ja pohjanmuodoista aiheutuvat katvealueet, vesikasvit, ilmakuplat sekä veden roskai-

suus saattavat haitata kalojen havaitsemista. Tätä ongelmaa on pyritty vähentämään molemmille rannoille sijoitetuilla luotaimilla. Luodattavaa aluetta voidaan lisäksi kaventaa ohjausaidoilla paremmin luotaimilla hallittavaksi. Kaikuluotauslaitteistojen kehittäjiä ovat olleet mm. yhdysvaltalainen Sound Metrics (DIDSON ja ARIS) sekä kotimainen Simsonar Oy (UVC). Kyseisiä luotaimia voidaan käyttää ja kerättyjä aineistoja tarkastella myös etäyhteydellä.

Kaikuluotauksella voidaan arvioida kohti patoa vaeltavien kalojen kokonaismäärää sopivan kapeassa kohdassa padon alapuolella. Menetelmä sopii varsinkin pieniin tai keskisuuriin jokiin, missä kaikuluotaamalla voidaan parhaassa tapauksessa kattaa koko uoma. Menetelmän tuottamasta materiaalista voidaan erotella ylä- ja alavirtaan uivat kalat, joten kalojen mahdollinen edestakainen vaellus (ns. jojo-käyttäytyminen, Jaukkuri ym. 2013) voidaan ottaa huomioon. Käytännössä luotettavan arvioidon saaminen luotainlinjan ohittaneiden kalojen nettomäärästä saattaa olla vaikeaa. Esimerkiksi Mus-tionjoen DIDSON-kaikuluotauksissa todettiin kalojen vilkas edestakainen liikenne. Alavirran suuntaan uivat kalat ohittivat linjan nopeasti, jolloin ne saattoivat jäädä huomaamatta luotausikkunan kapeassa etuosassa (Valjus ym. 2017). Luotaimen sijoittaminen riittävän kauaksi padosta voi auttaa vähentämään kalojen edestakaisesta uinnista aiheutuvaa ongelmaa. Yhdistämällä kaikuluotauksella saadut tulokset kalatien alapuolelle nousevien kalojen määrästä tulokseen kalatien kautta nousseiden kalojen määrästä voidaan saada arvio kalatien tehokkuudesta.

Kaikuluotauksella voidaan kerätä tietoa myös kalojen suhteellisista määristä esimerkiksi saman voimalaitospadon kahden eri kalatien edustalla. Tällöin luotaussuunnan ei tarvitse olla suoraan joen poikki, vaan sen voi valita tarkoituksenmukaisesti. Menetelmä soveltuu myös vesivoimalaitosten eri turbiinien käytön vaikutusten selvittämiseen kalojen käyttäytymiseen. Esimerkiksi Oulujoella on käytetty kaikuluotausta testattaessa voimalaitoksen turbiinien käytön vaikutuksia Montan keräilylaitteen houkuttelemiin kalamääriin.

4.4. PIT-telemetry

PIT-telemetry perustuu virtalähteettömien PIT-merkkien (Passive Integrated transponder) aktivointiin ulkoisen virtalähteen avulla. Koska merkissä itsessään ei ole paristoa, se tarjoaa periaatteessa elinikäisen seurantamahdollisuuden. Merkkien kantama on lyhyt, joten menetelmä toimii luotettavimmin olosuhteissa, joissa kalojen on uitava kapeiden aukkojen läpi. PIT-merkinnän avulla voidaan seurata esimerkiksi kalojen yksilöllistä hakeutumista kalatiehen sekä käyttäytymistä kalatien sisällä. PIT-seuranta vaatii seurattavien kalojen merkinnän. Tavallisimmin kalat pyydystetään merkintää varten vaellusesteen alapuolelta esimerkiksi rysällä tai verkoilla. PIT-merkki voidaan asentaa kalan vatsaonteloon vatsaevien taakse tehdyn pienen pistoviillon (3–4 mm) kautta tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi selkävän tyvelle nahan alle (kuva 6). Pienimmät PIT-merkit voidaan laittaa kalaan tarkoitukseen kehitetyn injektioneulan avulla. Merkinnän lisäksi kaloista voidaan määrittää pituus, paino, sukupuoli ja ottaa suolenäyte tai muita tarvittavia näytteitä ja tietoja. Merkinnän jälkeen kalojen annetaan toipua sumpussa, minkä jälkeen ne vapautetaan pyyntipaikan tuntumaan (Orell ym. 2014).



Kuva 6. PIT-merkki voidaan asentaa kalan vatsaonteloon kirurginveitsellä tehtävän lyhyen viillon kautta. Kuva: Olli van der Meer.

PIT-merkittyjen kalojen seurantaa varten kalatiehen asennetaan PIT-merkkien lukuun tarkoitettu antennijärjestelmä. Antennit voidaan kiinnittää esimerkiksi kalatien virtausaukkoihin niin, että ne ulottuvat kalatien pohjasta jonkun verran veden pinnan yläpuolelle (kuva 7). Virtausaukkoihin asennetut antennit yhdistetään PIT-lukijoihin, joiden havaitsemat yksilölliset PIT-merkkitiedot siirtyvät aineistoa jatkuvasti tallentavalle tietokoneelle/loggerille (Orell ym. 2014).



Kuva 7. PIT-antenniyksikkö asennettuna Oulujoen Merikosken yläkalatien pystyrakoaukkoon. Kuva: Panu Orell

PIT-telemetrian avulla voidaan selvittää kalatien tehokkuutta ja sen kautta kulkevien kalojen kokonaismäärää (Orell ym. 2014). Kun PIT-merkinnällä luodaan kalatien sisäänkäynnin alapuolelle kooltaan tunnettu populaatio (merkityt kalat), voidaan kalatien PIT-havaintojen perusteella arvioida kuinka suuri osa vaellusesteen alapuolelle saapuvista kaloista hakeutuu kalatiehen ja kulkee sen läpi. Toinen vaihtoehto on laskea esimerkiksi Jolly-Seberin merkintä-takaisinpyyntimenetelmän (Jolly 1965, Krebs 1999) avulla estimaatti nousukalojen kokonaismäärästä kalatien sisäänkäynnin alapuolella. Tämän estimaatin ja kalatien nousukalamäärätietojen avulla saadaan arvio kalatien tehokkuudesta (Orell ym. 2014). PIT-seurantatietojen avulla voidaan myös selvittää muun muassa kalatiehen nousun ajoittumista ja mahdollista nousuviivettä, kalatien eri osien läpi uimiseen kuluva aika (vaellusnopeus) ja ympäristötekijöiden vaikutusta kalatiehen hakeutumiseen (Orell ym. 2014).

Lähitulevaisuudessa voidaan lisäksi asentaa PIT-antenneja vaellusesteen alapuolelle (esim. voimalaitoksen alakanavaan), joiden avulla saadaan tietoa alakanavaan hakeutuneista kaloista ja niiden saapumisen ajankohdista. Näitä tietoja voidaan sitten verrata kalatien PIT-antennijärjestelmän tallentamiin vastaaviin tietoihin. Tämä toimintamalli mahdollistaa sen, ettei kaloja tarvitse pyytää ja merkitä alakanavasta, vaan merkinnät voidaan tehdä jo aiemmassa vaiheessa, vaikkapa poikasistutusten yhteydessä.

Ennen PIT-seurannan aloittamista ja myös seurannan kuluessa järjestelmän toimivuus tulee tarkistaa kuljettamalla PIT-merkki antennin ohi nopeuksilla, joilla kalat yleensä ohittavat antennin. Merkin toiminta on varmistettava eri asennoissa ja tilanteissa, jolloin useampi merkki ohittaa antennin samanaikaisesti (Guidance draft 2017). Voimalaitosympäristössä erilaiset sähkömagneettiset kentät voivat vaikuttaa PIT-laitteiston toimintaan heikentävästi.

4.5. Radio- ja akustinen telemetria

Kalatutkimukseen sovellettu radio- ja akustinen telemetria tarkoittaa langatonta tiedon välittämistä kalaan kiinnitetyn lähettimen ja sen signaaleja kuuntelevan vastaanottimen välillä. Radiolähettimien signaaleja voidaan paikantaa kuivalta maalta jopa kilometrien päästä automaattisten vastaanottoasemien tai manuaalisten vastaanottimien avulla. Akustisia ultraäänisignaaleja voidaan kuunnella ainoastaan vastaanottimen anturin ollessa veden alla. Radioaaltojen avulla saavutetaan tavallisesti ultraääniä suuremmat kuuluvuusalueet, sillä ultraäänilähettimen kuuluvuus rajoittuu yleensä vain muutamaan sataan metriin ja on riippuvainen ympäristöolosuhteista (Erkinaro & Karppinen 2004, Luolamo 2009, Crossin ym. 2017).

Sekä akustinen että radiotelemetrinen tutkimus edellyttää kalojen merkintää tutkimuskaloille soveltuvilla lähettimillä. Lähetin voidaan sijoittaa kalan ulkopuolelle esimerkiksi selkäevän tyveen tai sisäisesti joko mahalaukkuun tai kirurgisesti vatsaonteloon, jolloin leikkaushaava yleensä joudutaan sulkemaan tikeillä (kuva 8). Merkintämenetelmästä riippuen kalojen annetaan toipua läpivirtausaltaassa riittävän pitkä aika ennen vapautusta.



Kuva 8. Kutuvaellukselle jokeen nousevien lohien seurannassa käytetään usein mahalaukkumerkintää, jossa radiolähetin työnnetään asetinputken avulla suun kautta mahalaukkuun. Kuva: Mari Parkkari.

Merkittyjä kaloja voidaan havainnoida kiinteillä kuunteluasemilla (loggereilla) tai käsipaikannuksena rannalta, veneestä tai ilmast (kuva 9). Merkittyjen kalojen lähettämät signaalit voidaan erottaa toisistaan yksilöllisten taajuuksien, koodien tai toisistaan poikkeavien pulssitiheyksien avulla. Ennen seurannan aloittamista on tärkeä tutkia merkkien kantama antenneille eri etäisyyksiltä ja syvyyshyöhykkeiltä (Guidance draft 2017). Lähettimeä on hyvä varata käytettäväksi testauksiin koko seuranta-ajan yli. Telemetriakokeissa kalojen pyydystys ja käsittely saattavat vaikuttaa yksilöiden käyttäytymiseen. Esimerkiksi kuningaslohi (*Oncorhynchus tshawytscha*) on havaittu kalojen siirtymistä radiomerkinnän jälkeen vapautuspaikaltaan alavirtaan ja samalla nousuvaelluksen viivästymistä (Bernard ym. 1999). Vastaavia havaintoja on myös monista muista tutkimuksista.



Kuva 9. Radiomerkittyjen lohien paikannusta käsiantennin avulla lijoella. Kuva: Aki Mäki-Petäys

Telemetria tarjoaa mahdollisuuden kalojen jatkuvaan ja tarkkaan paikannukseen. Sen avulla voidaan selvittää kalojen liikkumista ja käyttäytymistä kalatien alapuolella, hakeutumista kalatiehen ja käyttäytymistä itse kalatiessä. Telemetriamerkintä mahdollistaa parhaimmillaan myös kalatien tehokkuuden selvittämisen. Vastaavasti sen avulla voidaan arvioida ominaisuuksiltaan erilaisten kalojen (mm. koko, sukupuoli) kykyä hakeutua ja selvittää kalatie.

4.6. Merkintä ja takaisinpyynti

Menetelmässä merkitään pyydystettyjä kaloja, merkitään ne näkyvällä merkillä ja pyydystetään uudelleen (Capture Mark Recapture, CMR). Kun takaisinpyynti tapahtuu kalatien yläosassa, voidaan arvioida kalatien tehokkuutta, eli kuinka suuri osuus padon alla olevista kaloista nousee kalatien läpi. Jos takaisinpyynti tapahtuu merkintäpaikalla esimerkiksi kalatien alapuolella, pystytään menetelmällä arvioimaan joessa ylöspäin yrittävien kalojen kokonaismäärää (vrt. luku 4.4). Merkintään voidaan käyttää esimerkiksi T-ankkuri- tai nuolimerkkiä. Merkkien edullisuuden sekä verrattain helpon ja nopean merkintätekniikan ansiosta kaloja pystytään merkitsemään enemmän kuin esimerkiksi telemetriatutkimuksissa. Toisaalta menetelmä vaatii kalojen uudelleenpyydystämisen merkittyjen kalojen havaitsemiseksi.

4.7. Menetelmien vertailu ja valinta

Edellä kuvatuilla kalateiden toimivuuden selvittämiseen käytetyillä menetelmillä on omat rajoitteensa ja etunsa, mikä kannattaa ottaa huomioon menetelmää valittaessa. Taulukkoon 1 on koottu menetelmien vahvuuksia ja heikkouksia mukaillen pääosin käsikirjoituksessa Guidance Draft (2017) esitettyä taulukkoa.

Taulukko 1. Kalateiden toimivuuden ja tehokkuuden arvioimiseen käytettävien menetelmien vertailu (lähteinä Guidance draft 2017, European Committee for Standardization 2018, Cooke ym. 2013).

Teknologia	Vahvuudet	Heikkoudet
Akustinen telemetria / liikkuva manuaalipaikannus	Toimii syvässä vedessä (>20 m)	Hydrofoni asennettava veteen
	Voi tuottaa tarkkaa sijainti- ja liikumisdataa riippuen menetelmästä ja olosuhteista	Tehoton hyvin matalassa ja turbulentissa vedessä
	Voidaan käyttää makeassa ja suolaisessa vedessä	Makrofytyt ja esimerkiksi moottoriveneiden aiheuttama melu voivat häiritä seurantaa
	Tarkkaa reaaliaikaista tietoa merkit-tyjen kalojen liikkeistä	Vaatii kalojen pyydystämisen ja merkinnän
Akustinen telemetria / kiinteät antenniasemat	Voidaan seurata kalojen liikkeitä pitkällä aikavälillä	Seurannasta syntyy suuri määrä dataa
	Usean antenniaseman käytöllä voidaan paikantaa tarkasti kaloja ja saada kaksi- tai kolmiulotteista tietoa niiden liikkeistä	Kaksi- tai kolmiulotteisen aikasidonnan datan käsittely on usein haastavaa
	Kehittyneistä laitteistoista on reaaliaikainen datan lähetys	Makrofytyt ja esimerkiksi moottoriveneiden aiheuttama melu voivat häiritä seurantaa
	Voidaan käyttää makeassa ja suolaisessa vedessä	Lähettimet kalliita verrattuna PIT-merkkeihin
Radiotelemetria / liikkuva manuaalipaikannus	Toimii hyvin matalassa vedessä (<10 m)	Toimii huonosti syvässä vedessä (>15 m)
	Vaatii vähäelektrolyyttisen (<500 µS/cm) veden toimiakseen hyvin	Korkean johtokyvyn vesissä lyhyt kantama
	Suhteellisen edullinen ja antaa tarkkaa tietoa merkittyjen yksilöiden liikkeistä ja lähettimeen mahdollista saada lisätoimintoja (esim. uinitisyvyys)	Melko herkkä paikallisille häiriötekijöille Vaatii kalojen pyydystämisen ja merkinnän
	Toimii virtaavassa vedessä, läpi jään, maalla ja ilmassa	Ei sovellu käytettäväksi merivedessä
Radiotelemetria / kiinteät antenniasemat	Kuten manuaalisessa seurannassa	Antennit näkyvillä ja täten alttiina ilkeille
	Soveltuu pitkäaikaisseurantaan	Ei mahdollisuutta tarkkaan kaksiulotteiseen paikannukseen
		Toimivuus riippuu paikallisesta geomorfologiasta. Herkkyys häiriötekijöille (esim. voimalliset ja voimalinjat)
		Vastaanottimet kalliita
Kaikuluotaus (ARIS, DIDSON, UVC)	Saadaan karkeaa tietoa kalojen runsaudesta ja liikkeistä esimerkiksi kalatien edustalla reaaliaikaisesti. Voidaan myös käyttää patoa lähestyvien vaelluskalojen määrän arvioimiseen.	Pohjanmuodoista aiheutuvat katvealueet
	Riippumaton valon määrästä tai	

	vedenlaadusta	
	Kehittyneet ohjelmistot helpottavat aineiston käsittelyä ja raportointia. Yhdistettävissä muuhun kalatien hallintatekniikkaan (lisäveden-pumppaus, luokkautomatikka)	Kalojen lajintunnistuksessa ongelmia
	Ei vaadi kalojen pyydystämistä tai merkintää	Seurattavien kohteiden yksilöinti epävarmaa
	Laaja säädettävä kuvausetaisyys	Leveillä jokialueilla vaaditaan useampia kameroita tai ohjaus-aitoja riittävän kattavuuden saamiseksi
	Ei vaadi kiinteitä rakenteita asennukseen, siirrettävissä toiseen paikkaan	Herkkyys rajuille vedenkorkeuden muutoksille ja ilkvallalle
	Laitteistot vuokrattavissa	Hankintahinta kohtalaisen suuri
Kalalaskuri/optinen (FC)	Laskee luotettavasti kalatien läpi kulkevien kalojen määrän ja mittaa pituuden. Tulokset varmennettavissa videolta	Havaitseminen vaatii nielun, valkolevytaustan tai lisävalaistuksen jonka läpi kalat uivat. Kuplat rajoittavat sijoittelua
	Liikkeen tunnistuksen herkkyys on säädettävissä kohdelajin mukaan. Lajintunnistus helppoa.	Nahkiaisen havaitseminen haasteellista
	Etähallinta, tiedostojen pakkaus ja tallennus internetin kautta. Automaattinen uudelleenkäynnistys virtakatkosten jälkeen	
	Laitteisto vuokrattavissa, helppo asentaa, suhteellisen edullinen ja siirrettävissä	Herkkyys ilkvallalle
	Ei vaadi kalojen pyydystämistä tai merkintää	
Kalalaskuri /infrapuna (Vaki, Skynordic)	Laskee luotettavasti kalatien läpi kulkevien kalojen määrän. Tutkittu ja vuosien käyttökokemuksilla kehitetty ja käytännössä koeteltu teknologia.	Havaitseminen ja varmentaminen vaatii nielun, valkolevytaustan tai lisävalaistuksen, jonka läpi kalat uivat. Ei havaitse pieniä kaloja eikä nahkiaista.
	Ei vaadi kalojen pyydystämistä tai merkintää	
	Laitteisto vuokrattavissa	Kallis hankintahinta
PIT-merkinnät	Merkki ei tarvitse paristoa, joten sillä on pitkä käyttöaika	Käyttö rajoittuu mataliin ja kapeisiin uomiin
	Merkit pienikokoisia	Merkkien lukuasemat tarvitsevat sähkövirtaa
	Edullinen laitteisto ja merkit	Merkkien lukuasemat näkössä ja täten alttiina ilkvallalle
	HDX-laitteet (half duplex, Oregon RFID) eivät häiriinny turbulenssista	FDX-laitteissa (full duplex, Oregon RFID) turbulenssi voi haitata
	Aineiston käsittely on verrattain yksinkertaista	
	Antaa tarkkaa tietoa merkittyjen	Useampi lähekkäinen merkki

	yksilöiden liikkumisesta (aika ja paikka) mittauspisteen ohi	saattaa estää signaalin välittymisen
Merkintä- ja takaisinpyynti (CMR)	Suurten kalamäärien merkintä mahdollinen	Ei saada tarkkaa tietoa kalatien ohituksen eri vaiheista ja niiden kestosta
	Pienikokoisia kalalajeja tai -yksilöitä voidaan merkitä	Vaatii kalojen pyydystämisen ja merkinnän

Kalatien toimivuuden seurantamenetelmän tai menetelmäyhdistelmän valintaan vaikuttaa joen koko, kalasto, seurannalle asetetut tavoitteet ja käytettävissä olevat resurssit. Yksinkertaisimmillaan kalatien toimivuutta voidaan tutkia pyydystämällä kaloja kalatien yläosasta. Tällä varsinkin pieniin kohteisiin soveltuvalla menetelmällä voidaan saada tieto nousukalojen lajistosta ja määrästä. Jos menetelmään yhdistetään kalojen merkintä kalatien alapuolella, päästään käsiksi myös kalatien tehokkuuden arviointiin.

Kalalaskurilla saadaan tietoa kalatien kautta uivien kalojen määrästä, mutta yksistään tällä menetelmällä ei päästä kiinni kalatien tehokkuuden selvittämiseen. Kalojen merkitsemistä vaativilla radio- ja akustisella telemetrialla sekä PIT-telemetrialla voidaan saada arvio kalatien tehokkuudesta seuraamalla kalatien selvittäneiden merkittyjen kalojen määrää suhteessa merkittyjen kalojen kokonaismäärään. PIT-teknologian etu radio- ja akustiseen telemetriaan verrattuna on merkinnän helppous sekä se, että merkki toimii ilman paristoa, jolloin seuranta-aika voi olla jopa vuosia. Toisaalta radio- ja akustista telemetriaa hyödynnettäessä kaloja voidaan seurata periaatteessa jatkuvasti ja laajemmalla alueella.

Kaikuluotaus ei yksin riitä kalatien toimivuuden selvittämiseen, mutta sitä voidaan käyttää padon alapuolelle saapuvien kalojen kokonaismäärän arviointiin sopivan kapeassa jokiuoman kohdassa tai jo saapuneiden kalojen suhteellisen määrän karkeaan arviointiin esimerkiksi kalatien edustalla. Padon alle kerääntyneiden kalojen kokonaismäärää voidaan selvittää myös merkintä-takaisinpyynnillä. Kalateiden toimivuuden seurannassa käytettävät vedenalaiset kuvantamisteknologiat (kaikuluotaus, infrapuna, optiset järjestelmät) ovat kehitymässä kohti automaattista kalahavaintojen rekisteröintiä ja mittauksia.

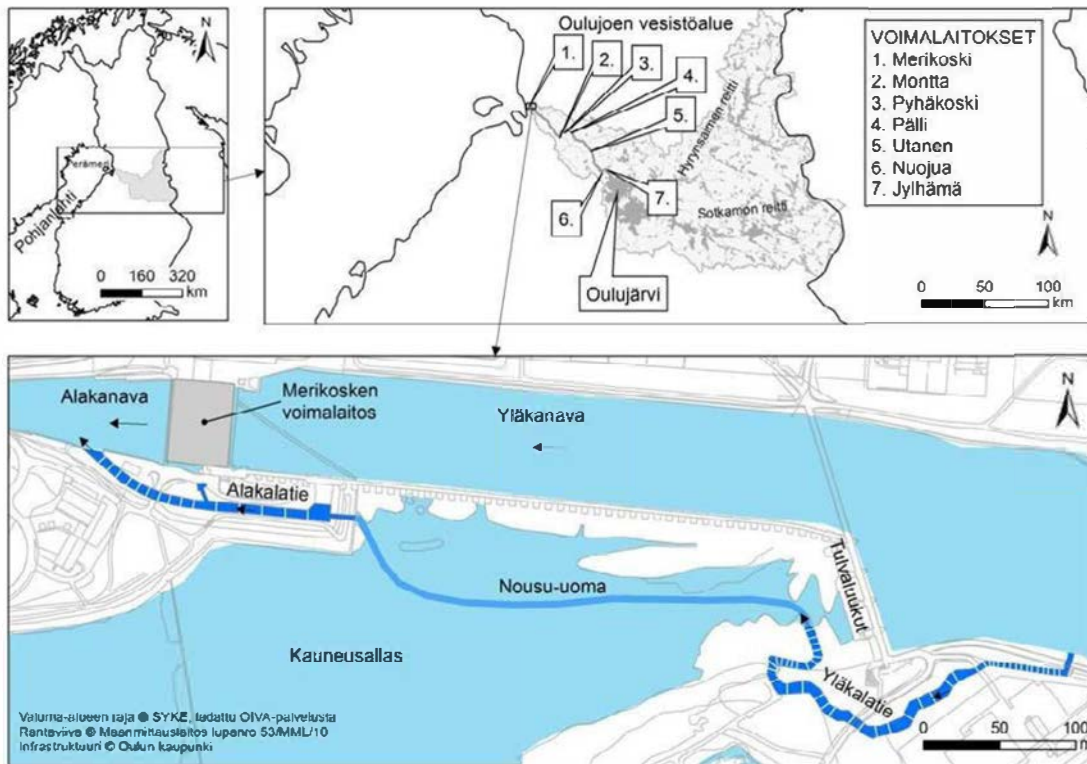
5. Esimerkkinä Merikosken kalatie

5.1. Oulujoki ja Merikosken kalatie

Oulujoki rakennettiin laajamittaisesti vesivoimatuotantoon 1940-luvulta alkaen ja joen rakentamisaste on nykyisellään Suomen korkein, noin 80 %. Pääuomassa Oulujärven alapuolella on yhteensä seitsemän voimalaitosta (kuva 10). Lohi- ja taimenkannat perustuvat nykyään jokeen ja jokisuulle tehtäviin vaelluspoikasten velvoiteistutuksiin. Kaikki velvoiteistukkaat kasvatetaan Muhoksella Montan kalanviljelylaitoksella (Montan Lohi Oy).

Oulujoen alimman voimalaitoksen, Merikosken, yhteyteen rakennettiin kalatie vuonna 2003. Kalatie koostuu kolmesta erillisestä osasta (kuva 10). Yläkalatien muodostaa Hupisaarten puiston osin puromaiseksi maisemoitu osuus, joka laskee ns. kauneusallaseen. Kalatien keskimmäinen osa on entiseen koskiuomaan (nykyään Kauneusallas) ruopattu nousu-uoma. Alakalatie avautuu varsinaisen voimalaitoksen vieressä olevaan vanhaan nippu-uittokanavaan ja laskee n. 50 m voimalan alapuolella alakanavaan (kuva 10). Kokonaisuudessaan kalatie on n. 750 m pitkä, siinä on 64 porrasta ja putouskorkeutta 11 m. Merikosken kalatietä hallinnoi ja sen käytöstä vastaa Oulun Energia.

Merikosken kalatien virtaama on pyritty säätämään vakioksi: yläkalatiehen noin $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ja alakalatiehen vajaa $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Merikosken kalatien vesitys avataan keväällä huhti-toukokuun vaihteessa ja kalatie suljetaan lokakuun loppupuolella lohien ja taimenien kutuajan tuntumassa.



Kuva 10. Oulujoen valuma-alue ja pääuoman voimalaitosten sijainnit. Alakuvassa Merikosken kalatien linjaus. Lähde: Orell ym. (2014).

5.2. Seurannat ja tutkimukset

Merikosken kalatien kautta kulkevien kalojen määriä on selvitetty jo vuodesta 2004 alkaen **Vaki-kalalaskurin** avulla ja viime vuosina laskurin tukena on käytetty laskurin runkoon asennettua tallentavaa **videolaitteistoa** (Lamberg Bio-Marin, 3.5 mm laajakulmaobjektiivi, Sanyo DSR-300P digitaalinen videonauhuri), jonka nauhoituksista on voitu tehdä lajinnääritykset laskurin havaitsemille kaloille ja lisäksi määrittää mahdollisuuksien mukaan myös lohien ja taimenten sukupuolet (kuva 11). Vuonna 2018 Merikosken kalatiessä rikkiöntunut Vaki-laskuri korvattiin Simsonar Oy:n optisella stereokameralla.



Kuva 11. Merikosken kalatien uloskäynnissä käytössä ollut Vaki-kalalaskurin laskuriyksikkö ja sen tueksi asennettu videokameralaitteisto valoineen. Lähde: Orell ym. (2014).

Alkuvuosina kalatien toimivuuden arviointia tehtiin lähinnä lohien ja taimenien **radiotelemetria-seurannan** avulla ja tulosten perusteella havaittiin, että noin 20 % kalatien alapuolella merkityistä lohista nousi kalatietä padon ohitse (Karppinen ym. 2008). Seurannassa havaittiin myös potentiaalisia kalatien toimintaongelmia, jotka keskittyivät lähinnä alakalatiehen (Karppinen ym. 2008, Laine & Laajala 2011). Tämän jälkeen erilaisilla seurannoilla ja tutkimuksilla on pyritty löytämään vastauksia mm. seuraaviin kysymyksiin:

- Kuinka suuri osa alakanavaan nousevista lohista ja taimenista hakeutuu ja selvittää kalatien?
- Tapahtuuko kalatiehen hakeutuminen ilman merkittävää viivettä?
- Mitkä ympäristötekijät vaikuttavat kalatiehen hakeutumiseen?
- Kuinka kauan kaloilta menee kalatien läpi uimiseen?
- Hidastaako Kauneusallas kalatien selvittämistä?
- Milloin Merikosken kalatiehen hakeutuminen on aktiivista?

- Onko Merikosken kalatie kokovalikoiva?
- Miten kalatien toimivuutta ja Oulujoen vaelluskalakantojen hoitoa voidaan kehittää?

Alakanavaan nousseiden lohien ja taimenien määrää on Merikoskella selvitetty useina vuosina **merkintä- ja takaisinpyynnillä**. Pyynti on toteutettu heti voimalaitoksen alapuolelle sijoitetulla vanneko-pallisella rysällä, jolla kiinni saadut lohet ja taimenet on merkitty selkävän tyvelle asennetulla nuolimerkillä ja sisäisellä PIT-merkillä (kuva 12). PIT-merkittyjen lohien ja taimenten avulla kalatien toimivuutta on pystytty arvioimaan. Pyyntiaineiston perusteella on lisäksi saatu laskettua karkeat estimaatit alakanavassa liikkuvien lohien ja taimenien määristä.



Kuva 12. Merikosken alakanavassa useana vuonna pyynnissä ollut rysä, jolla kalatietutkimuksissa seuratut tutkimuslohet ja taimenet on pyydetty. Lähde: Orell ym. (2014).

Merikoskella tehdyn aikuisten kalojen merkinnän lisäksi on myös lohien smoltteja merkitty **PIT-merkeillä** Montan kalanviljelylaitoksella. PIT-merkittyjen kalojen selviytymistä syönnösvaellukselta takaisin Oulujokeen ja käyttäytymistä kalatiessä on tutkittu kalatiehen asennettujen PIT-lukulaitteiden avulla (kuva 13). Porttimaiset PIT-antennit on asennettu pääasiassa kalatien pystyra-koaukkoihin, koska niissä kohdissa antennien lukuetaisyys riittää rekisteröimään ohi uivat merkityt kalayksilöt.



Kuva 13. Merikosken yläkalatien alaosaan asennettu PIT-lukijayksikkö. Lähde. Orell ym. (2014).

5.3. Kalatiessä havaitut ongelmat

Merikosken kalatiessä ja alakanavassa tehtyjen tutkimusten perusteella on havaittu, ettei kalatie toimi kovin tehokkaasti. Vain osa alakanavaan nousevista lohista ja taimenista ohittaa voimalaitospadon kalatietä pitkin ja erityisesti isot, useamman merivuoden lohet ovat vähemmistönä nousijoiden joukossa (Orell ym. 2014). Lisäksi viive kalatiehen hakeutumiseen on pitkä ja varsinainen kiivaampi nousu kalatiehen käynnistyy yleensä vasta elo-syyskuun vaihteessa, kun muissa lähialueen luonnonlohijoissa nousuhuippu on jo noin kahta kuukautta aiemmin. Myöhäinen nousuajankohta ei tosin johdu pelkästään kalatiestä, vaan myös Oulujoen viljelykannasta, joka on vaellusajankohdaltaan selvästi lähijokien kantoja myöhäisempi.

Itse kalatiessä suurimmat ongelmakohdat vaikuttavat olevan alakalatien osalla. Alakanavassa vedenpinnan korkeus vaihtelee juoksutuksista ja meriveden korkeudesta riippuen huomattavan paljon, ja kalatien säätymättömään sisäänkäyntiin muodostuu paras mahdollinen houkutusvirtaus vain silloin, kun alakanavan olosuhteet sattuvat olemaan sopivat. Tämä aiheuttanee viivettä kalatiehen hakeutumiseen. Toinen ongelmakohta alakalatiessä on sen yläpäässä oleva ulosmenoaukko, joka johtaa kauneusaltaaseen. Se on pimeässä tunnelissa oleva matala, pohjasta aukeava luukku, johon muodostuu voimakas virtaus. Luukku ei houkuttele kalaa nousemaan ja se voi olla pienille kaloille jopa nousueste muodostaessaan kalan nousun kannalta epäedullisen virtausolosuhteen. Seurannoissa onkin havaittu, että osa kaloista kääntyy tässä kohtaa takaisin ja palaa alakanavaan.

Alakalatien toiminnan ongelmista kertoo myös se, että kalatien nousijamäärät kasvavat aina huomattavasti silloin, kun säännöstelypadolta lasketaan vettä ja kalat pääsevät nousemaan vanhaa joki uomaa pitkin suoraan kauneusaltaaseen alakalatien ohitse. Myös isompien lohien suhteellinen

osuus nousijoissa kasvaa yleensä näissä tilanteissa. Toisaalta on selvää, että ohijuoksutusten aikaan kasvava virtaama houkuttaa kaloja muutenkin nousemaan jokeen ja runsasvetinen ohijuoksutusuoma toimii nousureittinä paremmin kuin kalatie, jonka vesimäärä on vain murto-osa ohijuoksutusuomassa kulkevasta vesimäärästä.

6. Yhteenveto ja suosituksia

Kalatien toimivuuden selvittäminen aloitetaan tavoiteltavan tiedon rajauksella: Halutaanko tutkia esimerkiksi absoluuttisia kalamääriä, kalatien kautta kulkevien kalojen osuutta padon lähelle nousseista kaloista, kalojen kulkunopeutta kalatien läpi vai valikoivuutta koon ja sukupuolen mukaan tai etsiä keinoja kalatien toimivuuden parantamiseksi. Kun tavoitteet ja resurssit tutkimukseen ovat selvillä, valitaan sopiva menetelmä, tai useassa tapauksessa yhdistelmä eri menetelmistä ja laaditaan aikataulutettu seurantasuunnitelma. Usein on tärkeää myös tietää, jatkuuko kalojen vaellus suotuisasti kalatien selvittämisen jälkeen, vai esimerkiksi palaako osa nousukaloista välittömästi takaisin voimalaitoksen turbiinien kautta alakanavaan (Noonan et al. 2012). Esimerkiksi PIT-merkinnän yhteydessä voidaan kiinnittää ulkoinen nuolimerkki kalan myöhempien vaiheiden selvittämiseksi (Orell ym. 2014).

Kalateiden toimivuuden seuranta tulee huomioida lupa- ja velvoitevelvoiteprosesseissa ja varata siihen riittävästi resursseja ja aikataulutettu tarkkailuohjelma, joka on tärkeä myös vapaaehtoisia hankkeita valmisteltaessa. Kalatien virtaamien, säätöjen ja havaittujen ongelmien dokumentoinnin tulisi olla kiinteä osa kalateiden normaalia käyttöä, kuten myös määräajoin toistuvat toimivuutta ja sen pullonkauloja tarkemmin selvittävät tutkimukset. Toimivuuden arvioinnissa tulee huomioida myös kalateiden toimintaan olennaisesti vaikuttavat muut kalakantojen hoitotoimenpiteet, kuten vuosittaiset vaihtelut istutusmäärissä ja istutuspaikkojen valinta sekä seikat, joihin kalatien käytöstä vastaava taho ei pysty vaikuttamaan, esimerkiksi jokialueen ja merialueen kalastus.

Uusien kalatiehankkeiden yhteydessä tulee suunnitella seurannan järjestäminen ja varautua sen rahoitukseen. Kalojen seurantalaitteiston, esimerkiksi kalalaskurin hankinta kannattaa budjetoida kalatiehankkeeseen. Kalatien suunnitteluvaiheessa on myös helppo huomioida laskurin optimaalinen sijoittaminen ja suunnitella ohjainyksikölle sään ja ilkvallan kestävä suoja (Orell ym. 2012).

Tässä raportissa on keskitytty lähinnä nousukalateiden seurantaan, mutta samat menetelmät soveltuvat usein myös alasvaeltavien kalojen, kuten talvikoiden tai smolttien seurantaan alasvaellusreiteissä. Alasvaeltavien kalojen seurantaa voidaan tehdä joko nousukalateissä, jos kalat saadaan ohjattua niihin, tai varta vasten alasvaellukseen suunnitelluissa alasvaellusreiteissä (Huusko ym. 2018). Samoin kuin nousukalojenkin kohdalla on tärkeää selvittää, miten reitit alavirran suuntaan toimivat. Alasvaellusreittien suunnittelu ja rakentaminen ovat Suomessa vielä alkutekijöissään ja tulevaisuudessa niidenkin tutkimiseen ja seurantaan tullaan varmasti panostamaan entistä enemmän.

Kalatiehankkeet ja niihin liittyvä tutkimus herättää runsaasti mielenkiintoa myös tavallisissa kansalaisissa. Kalojen liikkeiden seuraamisen kehitetty teknologia, videomateriaali, kalojen nousumäärät ja nousun ajoittuminen kiinnostaa yleisöä. Esimerkiksi Merikosken kalatien nettikameraa (kannen kuva) ja Torniojoen ja Simojoen nousukalojen määrää seurataan internetissä aktiivisesti. Norjalaisen Skynordic AS yhtiön verkkosivulla voi seurata laskurituloksia ja videomateriaalia nousukaloista kymmenien jokien kalateissä (<https://www.skynordic.no/kart/>). Kerätyn tiedon popularisointiin tulisi panostaa nykyistä enemmän, tuoda tietoa helposti saataville ja kehittää uusia kanavia tiedon jakamiseen.

7. Kiitokset

Kiitämme Anne Lainetta rakentavista kommentteista käsikirjoitukseen. Työ valmistui Freshabit LIFE IP -hankkeen tuella.

8. Kirjallisuus

- 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.
- Bernard, D.F., Hasbrouck, J.J. & Fleischman, S.J. 1999. Handling-induced delay and downstream movement of adult Chinook salmon in rivers. *Fisheries Research* 44: 37–46.
- Bunt, C.M., Castro-Santos, T. & Haro, A. 2012. Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications* 28: 457–478.
- Clay, C. H. 1995. Design of fishways and other fish facilities (2nd ed.). Boca Raton, Florida: Lewis Publishers.
- Cooke, S.J., Midwood, J., Thiem, J.D., Klimley, P., Lucas, M.C., Thorstad, E.B., Eiler, J., Holbrook, H. & Ebner, B.C. 2013. Tracking animals in freshwater with electronic tags: past, present and future. *Animal Biotelemetry* 1:5. <http://www.animalbiotelemetry.com/content/1/1/5>
- Crossin, G.T., Heupel, M.R., Holbrook, C.M., Hussey, N.E., Lowerre-Barbieri, S.K., Nguyen, V.M., Raby, G.D. & Cooke, S.J. 2017. Acoustic telemetry and fisheries management. *Ecological Applications* 27: 1031–1049
- Erkinaro, J. & Karppinen, P. 2004. Telemetria kalantutkimuksessa. *Vesitalous* 5/2004: 33–35.
- European Committee for standardization, 2018. Water quality - Guidance for assessing the efficiency and related metrics of fish passage solutions using telemetry. European Standard Draft prEN 17233. CEN-GENELEC Management Centre. 47 pp.
- 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.
- Guidance Draft 2017. Guidance for assessing the efficiency and related metrics of fish passage solutions using telemetry.
- Haikonen, A. & Karppinen, P. 2012. Kalateiden toimivuus täsmäseurantaan. *Envispec* 1/2012.
- Huusko, R., Orell, P., Jaukkuri, M., Sutela, T., van der Meer, O., Lahti, M., Erkinaro, J. & Mäki-Petäys, A. 2018. Lohikalojen alasvaellus Iijossä: Tutkimustuloksia ja alasvaellusreittien yleissuunnitelma. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2018.
- Jaukkuri, M., Orell, P., van der Meer, O., Rivinoja, P., Huusko, R. & Mäki-Petäys, A. 2013. Nousulohien käyttäytyminen voimalaitosten alakanavissa ja kalatiehen hakeutumiseen vaikuttavat tekijät: kirjallisuuskatsaus. RKTL:n työraportteja 20/2013.
- Jolly, G.M. 1965. Explicit estimates from capture-recapture data with both dead and immigration-stochastic models. *Biometrika* 55: 225–247.
- Karppinen, P., Marttila, M., Jaukkuri, M., Annala, M., Männistö-Vetoniemi, K., Heikkinen, S., Jørgensen, S., Vähä, V. & Erkinaro, J. 2008. Lohien ja haukien telemetria tutkimus Oulujoen alaosalla. Julkaisussa: Laine, A. (toim). Palaako lohi Oulujokeen? Loppuraportti Oulu- ja Lososinkajoilla tehdyistä selvityksistä 2006–2007. *Suomen ympäristö* 5: 85–94.
- Krebs, C.J. 1999. *Ecological methodology*. Addison Wesley Longman, Menglo Park, California. 624 s.
- Laine, A. & Laajala, E. 2011. Merikosken kalatien toimivuuden tehostamistarpeet ja -mahdollisuudet. Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus. Oulujoen kalateiden suunnittelu ja tukitoimenpiteet -hanke. 15 s.
- Lilja, J. & Orell, P. 2011. Use of DIDSON to estimate spawning run of Atlantic salmon in the River Karasjohka, the tributary of the River Tana. Raportti. 25 s.
- Luolamo, V. 2009. Saimaan järvilohen vaelluspoikasten akustinen telemetria tutkimus kesällä 2008. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu.
- Martignac, F., Daroux, A., Bagliniere, J.-L., Ombredane, D. & Guillard, J. 2015. The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology. *Fish and Fisheries* 16: 486–510.
- Noonan, M., Grant, J. & Jackson, C. 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries* 13: 450–464.

- Orell, P., Jaukkuri, M., Huusko, R. & Mäki-Petäys, A. 2012. Vaki-kalalaskurin luotettavuus ja hyödyntämismahdollisuudet kalateiden seurannassa. Riista- ja kalatalous. Tutkimuksia ja selvityksiä 10/2012. 25 s.
- Orell, P., Jaukkuri, M., van der Meer, O., Huusko, R., Kanninen, T., Siira, A., Laaksonen, T., Mäki-Petäys, A., Erkinaro, J. & Laine, A. 2014. Toimivatko kalatiet? Oulujoen Merikosken kalatietutkimukset v. 2009–2012. RKT:n työraportteja 4/2014.
- Romakkaniemi, A., Lilja, J., Nykänen, M., Marjomäki, T.J. and Jurvelius, J. 2000. Spawning run of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in the River Tornionjoki monitored by horizontal split-beam echosounding. Aquatic Living Resources 13: 349–354.
- Travade, F. & Larinier, M. 2002. Monitoring techniques for fishways. Bull. Fr. Peche Pisciv. 364 suppl.: 166–180.
- Valjus, J., Vähä, J.-P., Vehanen, T. & Lilja, J. 2017. Kalojen DIDSON-kaikuluotaustutkimus Mustionjoen Äminneforsin voimalaitospadon alapuolella. Freshabit -hankkeen Karjaanjoen kohdealueen raportti. Freshabit Life IP (LIFE 14/IPE/FI/023). Länsi-Uudenmaan Vesi ja Ympäristö Ry, Tutkimusraportti a146/2017.
- 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 28: 407–417.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000