



Taimenen poikasten alasvaellus Vaajavirrassa

KVY Tutkimus Oy



RAPORTTI

2022

nro 645/22

31.10.2022

KVYVY Tutkimus Oy 2022. Taimenen poikasten alasvaellus Vaajavirrassa. Tutkimusraportti nro 645.

Tekijä:

KVYVY Tutkimus Oy / Jyväskylä
Antti Leppänen, erityisasiantuntija, FM

KVYVY Tutkimus Oy / Tampere
Sami Ojala, kalastotutkija, FM

Tilaaja:

Suur-Savon Sähkö Oy
Tutkimushanketta rahoitti MMM:n vaelluskalaohjelma NOUSU

SISÄLTÖ

1.	JOHDANTO	1
2.	TUTKIMUSALUE	1
2.1	Vaajavirta	1
2.2	Voimalaitokset, padot ja kalatiet	2
2.3	Hydrologia	5
3.	AINEISTO JA MENETELMÄT	6
3.1	Tutkimuskalat	6
3.2	Kalojen merkintä ja vapautus	6
3.3	Telemetriaseuranta	7
4.	TULOKSET	9
4.1	Radiolähetinsmolttit	9
4.2	PIT-merkityt smolttit	10
5.	TULOSTEN TARKASTELU	11
5.1	Käyttäytyminen ja kuolleisuus	11
5.2	Alasvaellusreitit	13
5.3	Epävarmuus ja virhelähteet	14

LÄHTEET

LIITTEET

Liite 1. Tutkimuskalojen smolttiutumisasaste.

Taimenen poikasten alasvaellus Vaajavirrassa

1. Johdanto

Jyväskylässä sijaitseva Vaajakoski eli Vaajavirta on useiden kalalajien merkittävä kulkureitti Päijänteen ja ylempien reittivesien välillä. Suur-Savon Sähkö Oy omistaa Naiskosken nykyisin käytössä olevan vesivoimalan ja energiantuotantokäytöstä poistetun Haapakosken vanhan voimalan patoineen. Naiskosken vesivoimalaitoksessa on kaksi kalatietä, mutta Vaajavirta patoineen on edelleen merkittävä pullonkaula vaeltavan taimenkannan suojelun kannalta. Energiayhtiön tavoitteena on ollut kehittää laitosympäristöä erityisesti taimenkannan elinedellytyksiä parantaen. Työhön ovat osallistuneet voimayhtiön lisäksi mm. Pohjois-Savon ELY-keskuksen kalatalousviranomaisen, Keski-Suomen vesi- ja ympäristö ry, tutkimusorganisaatiot, ympäristökonsultit sekä paikallinen kalastusseura Koukku ja Paukku ry.

Rakennetuilla joilla lohikalojen vaelluspoikasten käyttäytyminen ja kuolleisuus on tyypillisesti erilaista kuin luonnontilaisilla joilla. Kuolleisuutta aiheutuu muu muassa patoaltailla ja voimalaturbiineissa. Vaelluspoikasten selviytymisestä Vaajavirrassa on esitetty karkeita arvioita, mutta vaelluspoikasten alasvaellusreittejä tai kohtaloa ei ole aiemmin tarkemmin selvitetty. Vaajakosken kanavaa lukuun ottamatta kaloilla on virtaamasta riippuen neljä mahdollista alasvaellusreittiä: Ohijuoksutuskanava (vanhan voimalan tulvaluukut), Naiskosken turbiinkanava sekä sen läntinen ja itäinen kalatie.

KVVY Tutkimus Oy teki Suur-Savon Sähkö Oy:n toimeksiannosta alkukesästä 2022 alasvaellustutkimuksen, jonka tavoitteena oli selvittää taimenen vaelluspoikasten eli smolttien käyttämiä vaellusreittejä ja kuolleisuutta Vaajavirrassa. Työ on osa ympäristötekniistä selvityskokonaisuutta, jonka avulla energiayhtiö arvioi ympäristövaikutuksiaan ja etsii kestävämpiä ratkaisuja vaelluskalojen elinolojen turvaamiseen. Tutkimushanketta rahoitti energiayhtiön lisäksi MMM:n vaelluskalaohjelma NOUSU. Tässä raportissa esitetään vaellustutkimuksen tulokset ja arvioidaan kalateiden toimivuutta nykytilanteessa.

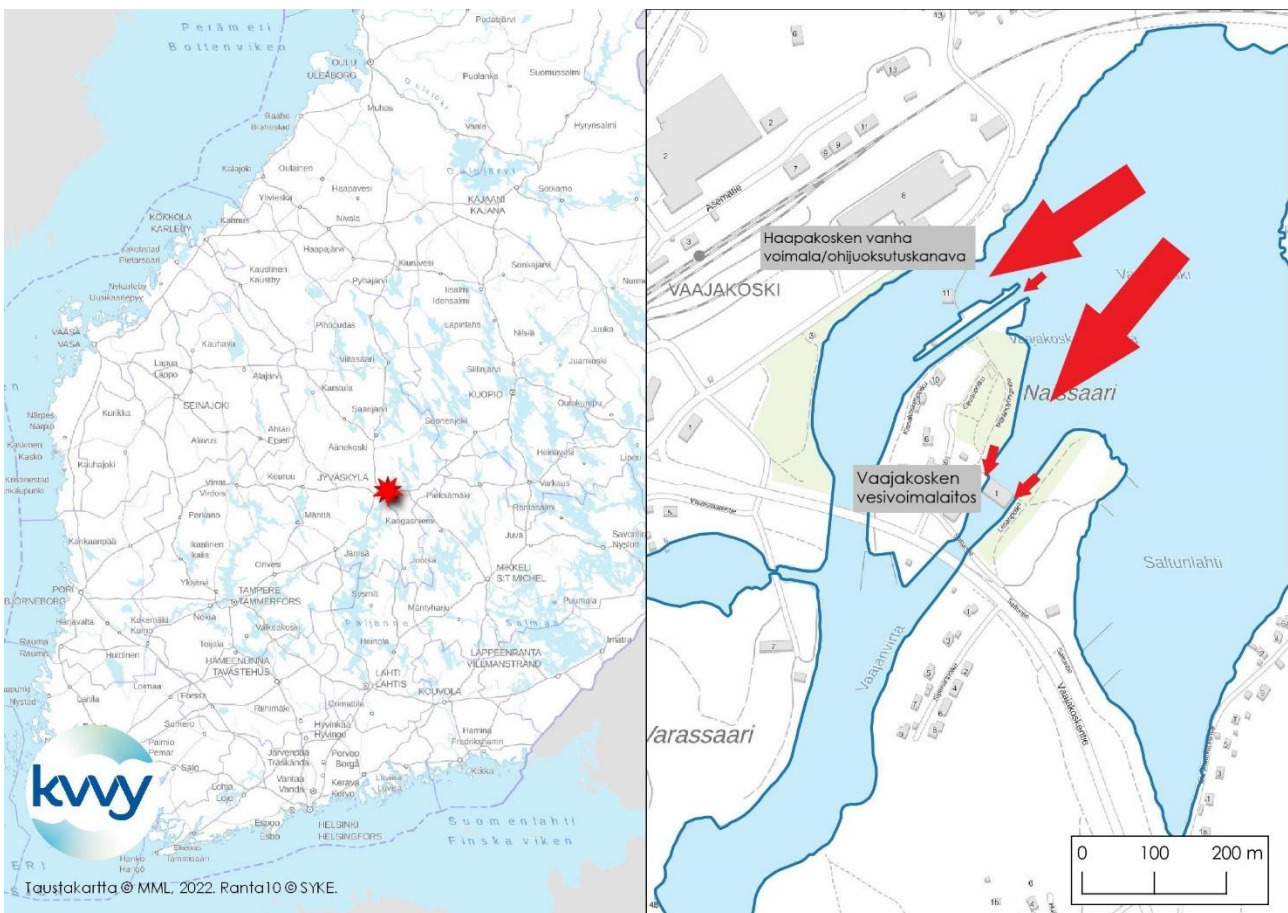
2. Tutkimusalue

2.1 Vaajavirta

Vaajavirta on lyhyehkö Leppävedestä Päijänteeseen laskeva virta-alue Jyväskylän keskustaajaman itäpuolella (Kuva 1). Kulttuurimiljöön on rakentunut 1800-luvun alusta alkaen pitkälti teollisuuden

ehdoilla. Uomaa ja sen rantoja on muokattu ja rakennettu voimaperäisesti. Pitkän teollisuushistorian aikana virran rannoilla on sijainnut useita teollisuuslaitoksia ja virrassa on uitettu huomattavia määriä puita.

Alkujaan noin kolmen kilometrin pituisessa virrassa on ollut neljä koskimaista aluetta. Luonnontilassa suurimmat kosket olivat läntisen uoman Haapakoski ja itäisen haaran Naiskoski. Koskia perattiin louhimalla jo 1800-luvun alussa (Blomqvist 1911). Naiskosken päällä on sijainnut aikoinaan saha ja koski oli Blomqvistin (1911) mukaan "aivan sulettu". Matalalla vedellä Naiskosken yli pääsi kivien yli kävellen eli pääosa vesistä on luontaisesti virrannut läntisen haaran kautta. Haapakosken vanha voimalaitos rakennettiin vuonna 1921 ja Naiskosken nykyisin käytössä oleva voimala vuonna 1941. Vaajakosken kanava rakennettiin vuosina 1990–1993. Tätä aiemmin kanavan kohdalla sijaitsi vesimäärältään kanavaa pienempi uoma, kissakanava, jota käytettiin mm. venekanavana. Tukkeja uitettiin nykyisen länsikalatien paikalla sijainneessa rännissä. Naiskosken voimalan yhteyteen rakennettiin vuonna 1942 kalahissi, joka korvattiin kahdella kalaportaalla vuonna 1992 (Räihä 2016).



Kuva 1. Vaajavirta sijaitsee Jyväskylän kaupungissa sen itäpuolella. Pääosa vesimassoista ohjautuu Vaajakosken Naiskosken vesivoimalaitokselle ja virtaamasta riippuen Haapakosken vanhan voimalan ohjuksutuskanavaan. Veneilykaudella vettä juoksetaan ajoittain kanavan kautta ja kalateiden toiminta-aikana myös kalateistä (itäinen ja läntinen kalatie).

2.2 Voimalaitokset, padot ja kalatiet

Vaajavirran Naiskoskessa sijaitsee Suur-Savon Sähkö Oy:n omistama Vaajakosken 3,6 MW:n vesivoimalaitos (Kuva 2, Kuva 3 ja Kuva 4). Alkujaan laitos oli SOK:n vuonna 1941 rakennuttama, kunnes se

vuonna 1984 siirtyi SSOY:n omistukseen. Laitoksen koneistovirtaama on noin 200 m³/s ja siinä on kolme Tampellan valmistamaa vertikaalista Kaplan-turbiinia. Yksittäisen turbiinin läpi virtaa vettä noin 65 kuutiota sekunnissa. Nelisiipisten turbiinien juoksupyörien läpimitta on 4 m ja pyörimisnopeus 60 krt/min. Pudotuskorkeutta Leppäveden ja Päijänteen välille kertyy noin 2–2,6 m. Voimalaitoksessa on kiinteä patokynnys ja se toimii ns. lappoperiaatteella eli vesi joudutaan ennen käynnistystä imemään keinotekoisesti pumpuilla patokynnyksen yli turbiinikanavaan. Vesivoimalan yläpuolisten välppärautojen vapaa väli on 10 cm.

Naiskosken itärannalle rakennettiin vuonna 1942 kalatievelvoitteen mukaisesti kalahissi (Kosunen & Mikkola 2017), joka oli käytössä vuosina 1950–1986. Kalahissi korvattiin vuonna 1992 voimalan molemmille puolille rakennetuilla betonisilla kalateilla (Räihä 2016). Kalahissi on nykyään paikallaan käyttämättömänä itäisen kalatien vieressä. Naiskosken itäinen porras on tyypiltään pystyrakokalatie, jonka rakoleveys on 25 cm. Länsiporras leveämpine (60 cm), mutta matalampine pystyrakokaleen toimii ylisyöksyperiaatteella.

Naissaaren pohjoispuolella sijaitsee 45 km pituisen Keitele–Päijänne-kanavareitin alin kanava, Vaajakosken kanava (Keiteleen kanava, Jyväskylä–Suolahti reitti) (Kuva 5). Matalaväyläkanava rakennettiin vuosina 1990–1993 ja se toimii itsepalveluperiaatteella. Tavallisesti kanava avataan toukokuussa ja suljetaan lokakuussa. Väyläviraston mukaan kanava avattiin vuonna 2022 toukokuun 13. päivä eli ennen vaellustutkimuksen alkua. Vaellustutkimuksen ensimmäisten päivien aikana 18.–22.5.2022 kanavaa käytettiin ELY-keskuksen tiedonannon mukaan seuraavasti: 18.5. 0 kertaa, 19.5. kolme kertaa, 20.5. kaksi kertaa, 21.5. neljä kertaa ja 22.5. 18 kertaa.

Haapakosken vanha voimala rakennettiin vuonna 1920, ja se toimi vesivoimatuotannossa vuoteen 1940 saakka. Tämän jälkeen vesivoimatuotannosta on vastannut Naiskosken voimala. Vanha vesivoimalaitos ei vielä merkittävästi häirinnyt vaelluskalojen liikkumista (Valkeajärvi ym. 2010), sillä kaloilla oli tuolloin mahdollisuus liikkua ainakin ajoittain rakenteista vapaamman Naiskosken kautta. Vanhan voimalan padolla on kaikkiaan viisi patoluukkuja, joista kaksi eteläisintä ovat lämmitettyjä ja käyttökelpoisia tarvittaessa myös talvella. Vanhan voimalan alittava portti ja voimalan turbiiniväylä ovat pysyvästi suljettuja. Padossa on myös kaksi avointa ylisyöksyaukkoa, joista vesi juoksee vapaasti tulva-aikana virtaaman ylittäessä Naiskosken voimalan koneistovirtaaman 200 m³/s.

Voimalakanava on välittömästi voimalan yläpuolella noin 60 m leveä ja muutaman metrin syvyinen, ja voimalan alapuolella noin 25–50 m leveä ja 3–7 m syvyinen. Vaajakoskentien jälkeen uoma levenee 80–130 metrin levyiseksi ja alempana Varassaaren kohdilla syvyyttä uomassa on paikoin yli 15 m.



Kuva 2. Historiallisia kuvia Naiskosken voimalan alakanavasta kuvattuna (© SSSOY). Kalateiden edustaa on kivetty sittemmin matalammaksi.



Kuva 3. Naiskosken voimalaitos ylävirrasta alavirtaan kuvattuna 17.1.2022. Kuvan oikeassa reunassa näkyy läntisen ja vasemmassa itäisen kalatien suuaukko.



Kuva 4. Naiskosken voimalaitos alavirrasta ylävirtaan kuvattuna 17.1.2022 (punaisen ympyrän kohdalla vasemmalla läntisen kalatien suuaukko ja oikealla itäisen).



Kuva 5. Vaajakosken läntisen haaran Haapakosken vanha voimalaitos ja Pääjanne-Keitele-kanava-reitin Vaajakosken kanava alavirrasta ylävirtaan kuvattuna.

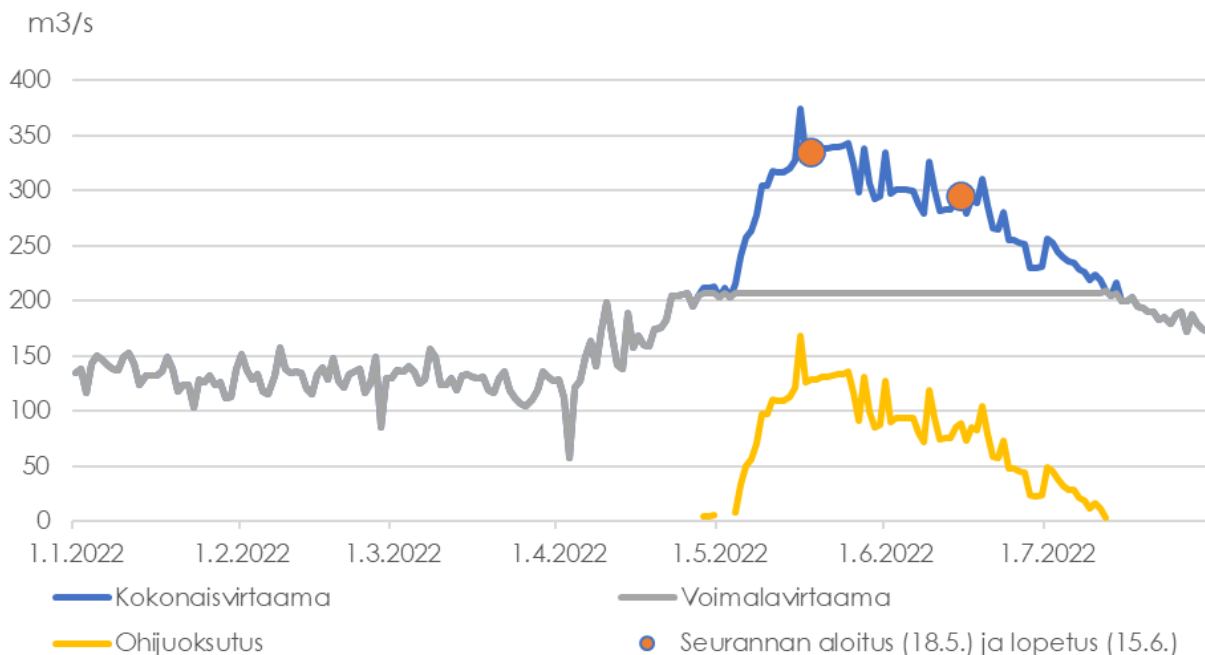
2.3 Hydrologia

Ympäristöhallinnon (Hertta) tietojen mukaan Leppäveden lähtövirtaama on ollut vuosien 1941–2021 välillä keskimäärin noin 150 m³/s, ylivirtaama (HQ) 471 m³/s (22.5.1988) ja keskiylivirtaama (MHQ) 283 m³/s. Alivirtaamatietojen esittäminen vaatisi taustaksi tarkempaa tietoa juoksutushistoriasta.

Keskivirtaamalla vettä johdetaan ainoastaan Naiskosken voimalakanavan kautta (ja veneilykaudella ajoittain sulun) kautta Päijänteeseen. Virtaaman ylittäessä vesivoimalaitoksen koneistovirtaaman (n. 200 m³/s) vesi juoksee läntisen haaran vanhan voimalan tulva-aukoista. Vanhan voimalan sähkömoottorikäyttöisiä tulvaluukkuja avataan etäohjauksella tarpeen mukaan virtaamien edelleen noustessa ja juoksutusohjeen niin vaatiessa. Tarvittaessa läntisen haaran luukuista ja kanavasta voidaan juoksuttaa kaikki vedet esimerkiksi voimalaitoksen häiriötilanteissa.

Vuonna 2022 tulvajuoksutus alkoi huhtikuun loppupuolella (Kuva 6). Virtaamat olivat tutkimuksen alussa lievässä nousussa, mutta myöhemmin laskusuunnassa, joten tutkimus ajoittui otolliseen ajankohtaan taimensmolttien vaelluksen kannalta. Tutkimuskirjallisuuden mukaan taimenen alasvaellus ajoittuu pääosin ajankohtaan, kun virtaamat ovat laskussa ja lämpötilasuuntaus nouseva (esim. Syrjänen ym. 2014). Veden lämpötila oli koko tutkimuksen ajan tasaisesti nouseva (7–15 °C).

Naiskosken voimalan kalatiet avataan huhtikuussa ja suljetaan lokakuussa (velvoitteen mukainen aukioloaika on 15.4.–31.10.). Kalateiden yhteisvirtaama on lähes vakio, noin 1–1,5 m³/s eli 0,5–0,7 m³/s/kalatie. Kalatieseurantojen mukaan kalateissä liikkuu vuosittain kalaa molempiin suuntiin pitkälti veden lämpötilan mukaan (esim. Hyrsky 2021).



Kuva 6. Vaajakosken virtaamat eri kanavissa alkuvuonna 2022.

3. Aineisto ja menetelmät

3.1 Tutkimuskalat

Tutkimuksessa käytettiin Luonnonvarakeskuksen Laukaan viljelylaitoksen 2-vuotiaita taimenen poikasia (Rautalammin reitin kanta) (n=350). Rautalammin reitin kanta on yksi eniten istutuksiin käytetyistä kannoista Suomessa. Reitin viljelykanta on perustettu järvivaelluksen tehneistä sukukypsistä yksilöistä 1970-luvulla Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen toimesta (Syrjänen ym. 2018). Sitten kannan perimää on monimuotoistettu yhdistämällä eri laitosten kantoja (Eskelinen & Koskiniemi 1998), mutta emokalaston uudistamista on tehty vain jatkokasvatukseen otetuilla, reitin koskista pyydytyillä kesänvanhoilla jokipoikasilla (Syrjänen ym. 2018, Koljonen ym. 2018).

Tutkimuskalat olivat keskimäärin 24,0 cm pituisia (keskihajonta $\pm 2,4$ cm) ja painoivat keskimäärin 153 g (keskihajonta ± 45 g). Kalojen smolttiutumistasetta arvioitiin silmämääräisesti ulkonäön perusteella (liite 1). Smolteista 35 % oli kirkkaita, 25 % tummia ja 40 % näiden välimuotoja, joilla oli nähtävissä orastavia smolttiutumisen merkkejä (kalat olivat kirkkaahkoja).

3.2 Kalojen merkintä ja vapautus

Taimenet merkittiin Luonnonvarakeskuksen Laukaan viljelylaitoksen tiloissa. Merkinnoista vastasi KVVY Tutkimus Oy, jolla on Etelä-Suomen aluehallintoviraston myöntämä lupa tieteellisessä tai opetustarkoituksessa eläimille tehtävälle tutkimus- ja opetustoiminnalle. Tutkimuksessa merkittiin kaksi kalaryhmää: Radiolähetin- ja PIT-merkkikalat (n=47) sekä pelkillä PIT-merkeillä merkityt kalat (n=303) (Taulukko 2).

Radiolähetin- (ATS, F1020, 1,7 g) ja PIT-kalaryhmien (Oregon RFID Inc., 23 mm) merkinnät tehtiin 16.5.2022. Kalat nostettiin 3 m² läpivirtausaltaasta haavilla yksitellen tai muutaman kalan erissä hapeutettuun 30 litran nukutusaltaaseen, josta kalat nostettiin merkintäkouruun. Nukutusaineena käytettiin bentsokaiinia (50 mg/l) ja nukutusaika oli maksimissaan 5 minuuttia. Merkintää teki samanaikaisesti yksi tai kaksi henkilöä, ja yksi henkilö teki muistiinpanoja ja vesitti ajoittain merkittävänä olleen kalan kiduksia.

Lähettimen ja PIT-merkin asennusta varten kalan vatsapuolelle rinta- ja vatsaevien väliin tehtiin noin 1,5–2 cm pitkä viilto skalpellilla. Radiolähetin asennettiin sormin pitkittäissuunnassa kalan vatsaonteloon pääpuolelle ja PIT-merkki tylpällä asennusruiskulla (kirurginteräs) vatsaonteloon pyrstöpuolelle. Haava suljettiin yhdellä tai kahdella ompeleella (5–0 Dafilon®, sulamaton ommellanka, DS19). Keskimäärin yhden kalan merkintä kesti kaksi minuuttia (vaihteluväli 1,0–3,9 min). Merkintään osallistujat käyttivät nitrilikäsineitä, ja kaikki välineistö lähettimeen ja PIT-merkkeineen desinfioitiin jokaisen merkinnän välissä 70–94 %:ssa etanolissa.

PIT-kalaryhmän merkintä tehtiin 303:lle kalalle 17.5.2022. Merkki asennettiin sormilla tai asennusruiskulla pienestä, noin 0,5 cm:n skalpellilla tehdystä vatsapuolen viillosta kalan pyrstöpuolelle vatsaonteloon ja haava suljettiin kudosliimalla (3M Vetbond™). Kudosliimalla haava sulkeutui muutamassa sekunnissa.

Tuplamerkittyjen kalojen annettiin toipua kaksi vuorokautta, ja pelkillä PIT-merkeillä merkittyjen kalojen yksi vuorokausi 3 m² läpivirtausaltaassa. Yksi radiolähetinkala käyttäytyi yhden päivän toipumisaajan jälkeen epätyypillisesti uiden altaassa pinnan tuntumassa ja reagoimalla vain heikosti

ärsykkeisiin. Noin kolmen tunnin lähes jatkuvan seurannan jälkeen kala lopetettiin ja radiolähetin ja PIT-merkki vaihdettiin uuteen yksilöön. Merkintäkuolleisuutta, lähettimien irtoamista tai haavojen aukeamista ei havaittu, ja vapautuspäivänä kaikki kalat käyttäytyivät virkeästi.

Kalat kuljetettiin Laukaasta Vaajavirrälle hapetetussa altaassa Luonnonvarakeskuksen kalankuljetusautolla. Kalat nostettiin Vaajavirran rannalla haavilla saaveihin ja kuljetettiin kahdessa erässä vapautuspaikalle moottoriveneellä. Kalojen kuljetus rannalta vapautuspaikalle kesti noin 5 minuuttia ja vapautuserien välillä kului aikaa noin 15 minuuttia. Veden lämpötila oli kala-auton säiliössä 7,4 °C ja vapautushetkellä Vaajavirrassa 6,9 °C.

Kaikki kalat vapautettiin poikkeuksellisesti yhdellä kerralla, sillä radiolähettimien paristojen säilyvyysaika (*shelf life*) oli valmistajien antamien kestävyysaikojen perusteella kulunut umpeen tutkimuksen aloituksen viivästytyä. Tämä johtui kalateissä havaituista radiohäiriöistä, jotka viivästyttivät PIT-laitteiston asennuksia. Radiohäiriöitä ei vielä antennitestauksissa huhtikuussa havaittu, mikä antoi viitteitä suhteellisen häiriöttömästä ympäristöstä. Lähetinvalmistajalta pyydetyn kestävyysarvion mukaan tutkimuksen jatkamiselle ei ollut kuitenkaan estettä. Kaikkien lähettimien toiminta todennettiin käsikuuntelulaitteilla kalojen vapautuksen yhteydessä, eikä lähettimien toiminnassa havaittu puutteita.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytettyjen radiolähetin ja PIT-merkkikalojen lukumäärä, merkintä- ja vapautusaika sekä keskipituus ja hajonta (cm). Yksi kala lopetettiin, jolloin merkittyjen kalojen kokonaismääräksi muodostui 351 yksilöä.

Kalaryhmä	n	Merkintä	Vapautus	Keskipit. ($\pm$ hajonta)
Radiolähetin + PIT	47	16.5.2022	18.5.2022 klo. 10:25	26,6 $\pm$ 1,5
PIT	303	17.5.2022		23,6 $\pm$ 2,3
Yhteensä	350			

3.3 Telemetriaseuranta

Vaajavirrälle asennettiin ennen kalojen vapautusta kiinteät radiokuunteluasemat jatkuvaa automaattiseurantaa varten (Kuva 7). Vastaanottimet olivat mallia R4500 (Advanced Telemetry Systems Inc.). Naiskosken voimalalla käytettiin 3-elementtisiä Yagi-antenneja, Liekkilässä 3- (ylempi) ja 6-elementtistä (alempi), ja vanhan voimalan padolla 6-elementtistä antennia.

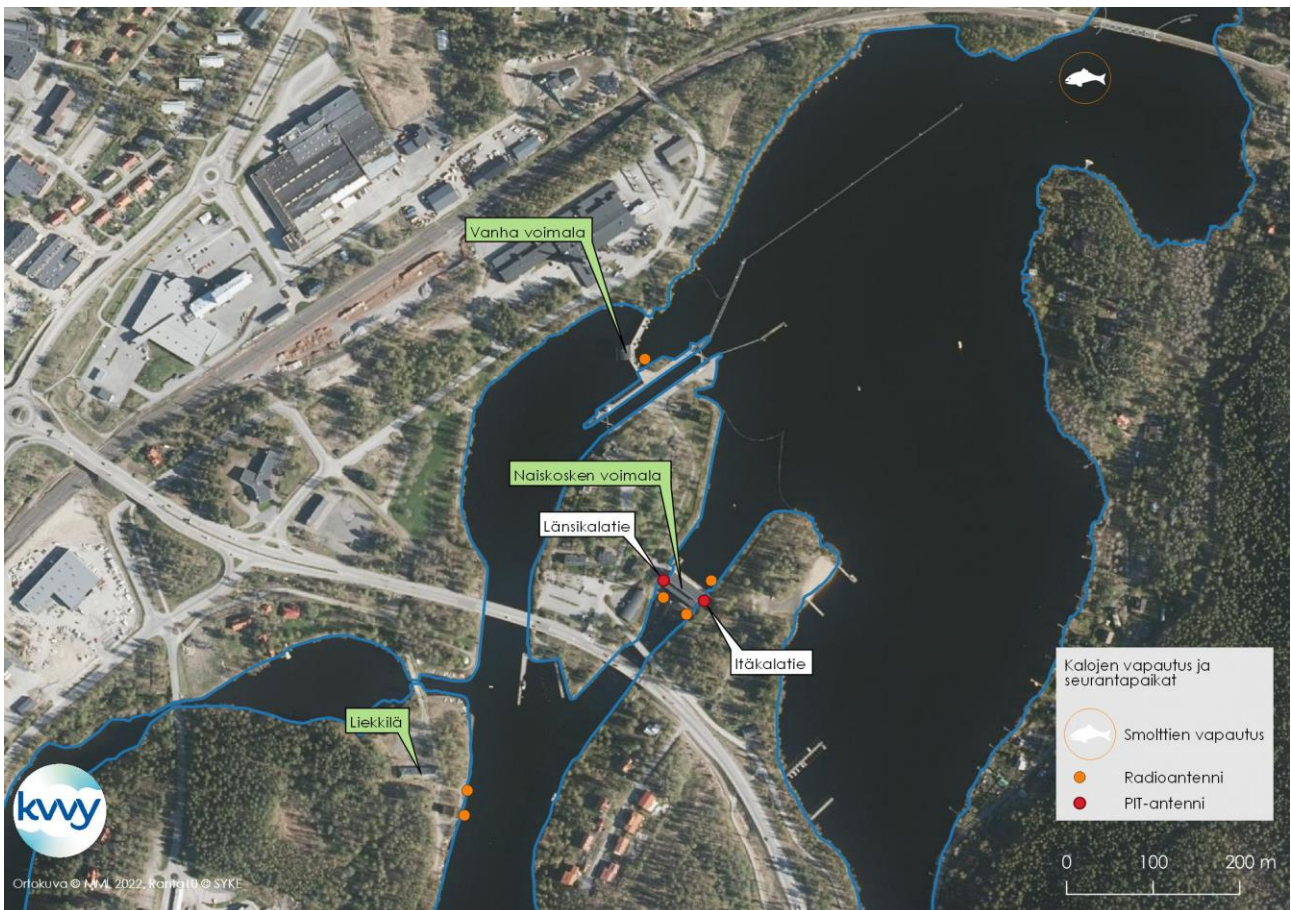
PIT-järjestelmien asennuksesta vastasi Luonnonvarakeskuksen tutkimusteknikko Tapio Laaksonen. Alkuperäinen tarkoitus oli asentaa molempiin kalateihin kaksi antennia kalateiden ylä- ja alapäihin, jotta kalojen alasvaellus voitaisiin todentaa varmuudella. Voimakkaiden häiriöiden vuoksi antennit saatiin toimimaan luotettavasti vain länsikalatien keskikohdassa ja itäkalatien yläosassa. Kuuluvuuseräisyys oli molempien kalateiden antenneissa noin 40–50 cm ylä- ja alavirtaan. Antennien toimivuutta testattiin testimerkillä viikoittain koko seurannan ajan ja laitteet todettiin toimiviksi. PIT-järjestelmä tallensi automaattisesti kalateissä havaitun merkin yksilöllisen koodin, päivämäärän ja kellonajan.

Automaattiset vastaanotinjärjestelmät tallensivat kalojen lähetinsignaalit patojen yläpuolelta, voimalapadon alapuolelta ja Liekkilästä (Kuva 7). Vaajakosken kanavaa ja vanhan voimalan alapuolista allasta kuunneltiin käsikuuntelulaitteilla (ATS, R410, 3-elem. Yagi). Venekuuntelua tehtiin voimalan yläkanavassa Ylisenkoskelle, ja alakanavassa aina Päijänteelle Murtoselälle saakka.

Vastaanotinjärjestelmien ja antennien sijoittelua ja kuuluvuutta testattiin uittamalla testilähetintä eri syvyydellä (0–15 m) ennen tutkimuksen alkua. Kuuluvuusalueet määritettiin tarkemmin noin 1,5–2 m syvyydessä olevalle lähettimelle. Naikosken voimalan ylä- ja alapuolella kuuluvuus kattoi koko joen leveyden noin 80 m voimapaikalta ylä- ja alavirtaan. Haapakosken vanhalla voimalalla kuuluvuus-alue kattoi uoman koko leveyden ulottuen noin 140 m ylävirtaan. Liekkilän yläantennilla saavutettiin 120 m kuuluvuus ja ala-antennilla noin 190 m kuuluvuus ylävirtaan molempien antennien kattaessa yhteensä koko uoman leveyden. Automaattivastaanottimilla tallennettiin 14.–17.5. ennen kalojen vapautusta radiosignaaleja häiriösignaalien taajuuksien ja pulssimäärien tunnistamiseksi.

Vaajavirrassa tehtiin koko seurannan ajan ja erityisesti heti seurannan alkupäivinä intensiivistä manuaalikuuntelua, jota tehtiin käsikuuntelun lisäksi myös automaattivastaanottimilla. Intensiivinen kuuntelu oli välttämätöntä, sillä kaikki radiolähetinkalat vapautettiin käytännössä yhtä aikaa, ja seurannan alussa rekisteröimättömät ohivinnit olisivat olleet periaatteessa mahdollisia pelkällä automaattiseurannalla. Skannattavien taajuuksien lukumäärää pienennettiin vastaanottimissa sitä mukaa kun kalojen havaittiin uineen Liekkilän ohi Päijänteelle.

Sekä radio- että PIT-telemetrinen seuranta lopetettiin 15.6.2022, jolloin seuranta-ajaksi muodostui 29 päivää. Radiolähettimien toiminta-aika oli valmistajan eri lähteiden mukaan 39 päivää, tai 25–58 päivää.



Kuva 7. Vaajavirran radiokuunteluasemien antennien, PIT-antennien ja smolttien vapautuspaikan sijainti.

4. Tulokset

4.1 Radiolähetinsmolttit

Vaellusreitit ja kuolleisuus

Vaajavirran yläosaan vapautetuista 47 radiolähetinkalasta Naiskosken voimalapadolle ja ohijuoksutuskanavan padolle (vanha voimala) ui seurannan aikana 41 kalaa (87 %) (Taulukko 2). Näistä 21 yksilöä vaelsi voimalapadolle (51 %) ja 20 yksilöä ohijuoksutuskanavan padolle (49 %).

Patoaltaalla arviotiin kuolleen kuusi kalaa (13 %). Patoaltaalla kuolleiksi arvioidut kalat olivat keskipituudeltaan 26,5 cm (23,7–29,9 cm), -painoltaan 217 g (140–281 g). Smolttiutumistaseeleltaan puolet oli kirkkaita ja puolet välimuotoa.

Padoista laskeutui varmuudella alaspäin yhteensä 38 kalaa (81 %), mutta alaspäin pyrki mahdollisesti 40 kalaa (85 %). Prosentuaaliset arviot alasvaelluksesta ja kuolleisuudesta esitetään olettaen kaikkien padoista alas vaeltaneiden määräksi 40 yksilöä (Taulukko 2).

Ohijuoksutuskanavan luukkujen kautta ui alas 20 kalaa. Kaloista 11 oli kirkkaita (55 %) ja 9 välimuotoa (45 %). Keskipituudeltaan kalat olivat 26,4 cm (24,3–29,6 cm) ja -painoltaan 201 g (150–295 g). Vanhan voimalan alapuolisessa altaassa kuoli todennäköisesti petojen saalistuksen seurauksena yksi kala. Kyseisen yksilön lähetin oli pitkään paikallaan, ja liikkui myös ajoittain, vanhan voimalan alapuolisessa suuressa akanvirrassa, joka esiintyy vain länsiporttien juoksutuksen aikana. Myöhemmin lähetin havaittiin Vaajakosken tien alta, jossa se oli pidempään liikkumatta.

Naiskosken voimalalle ui seurannan aikana 21 kalaa, mutta yksi, noin 2 h vapautuksen jälkeen padolle saapunut kala oli vielä seurannan päättyessä (15.6.2022) voimalan yläpuolella välppien edessä elossa. Kalasta tehtiin näköhavaintoja länsikalatien suuaukolla useaan kertaan seurannan aikana. Smolttiutumistaseeleltaan kala oli välimuotoa.

Naiskosken voimalapadolle tulleista 20 kalasta 17 ui varmuudella turbiinien läpi ja yksi kala varmuudella itäisen kalatien läpi. Naiskosken voimalaitoksesta aiheutunut kuolleisuus oli maksimissaan 2 kalaa. Voimalan aiheuttamaksi kuolleisuudeksi, joka ei välttämättä tarkoita yksiselitteisesti turbiinikuolleisuutta, muodostui kahden yksilön epävarman kohtalon vuoksi 0–11 % (Taulukko 2). 11 % on kuolleisuuden maksimiarvio, koska ko. kahden yksilön vaellusta turbiineihin ei voitu yksiselitteisesti todentaa voimalan alapuolisten havaintojen avulla, mutta havainnot viittasivat kalojen uineen välpistä voimalan sisään. Voimalan kautta oletettavasti alasvaeltaneista kaloista 9 oli kirkkaita (45 %), 10 välimuotoa (50 %) ja yksi kala oli tumma (5 %) (liite 1). Keskipituudeltaan kalat olivat 26,8 cm (24,0–29 cm) ja -painoltaan 207 g (142–271 g).

Radiolähetinkaloista ainoastaan yksi kala käytti alasvaellusreitinnään itäkalatietä (5 % voimalakanavasta alasvaeltaneista, 3 % kaikista alasvaeltaneista). Kala vaelsi itäkalatiehen noin 5 h vapautuksen jälkeen ja ui kalatien läpi kolmessa tunnissa, minkä jälkeen se jäi viettämään aikaa voimalan alle kolmeksi vuorokauksi. Kala oli smolttiutumistaseeleltaan välimuotoa, pituudeltaan 26,2 cm ja painoltaan 202 g.

Suurin osa voimalalle saapuneista kaloista vaelsi voimalalle päävirtauksen mukana ensin kohti vanhaa voimalaa, ja sen jälkeen kohti Naiskosken voimalaa. Osa kaloista jäi viettämään muutamaksi tunniksi aikaa kanavan ja voimalakanavan väliselle matalalle virta-alueelle. Ensimmäiset

käsikuunteluhavainnot voimalalle saapuvista kaloista tehtiin tasaisesti eri puolilta uomaa ja välppien edustalta kalat havaittiin käsikuunteluissa useimmin länsireunan akanvirrasta.

Taulukko 2. Lähetinkalojen lukumäärä, padoille tutkimuksen aikana saapuneiden kalojen määrä, alaspäin padoilta oletettavasti pyrkineiden ja kuolleiden kalojen määrä ja osuudet reittikohtaisesti (%¹), kaikkien oletettavasti alasvaeltaneiden osalta (%²) ja kaikkien tutkimuskalojen osalta (%³).

	N	Pyrki alaspäin			Kuolleisuus			
		n	% ¹	% ²	n	% ¹	% ²	% ³
Vapautus/patoallas	47				6			13
A) Voimalakanavaan	21	20	100	50				
Turbineista		19	95	48	2	11*	5	4
Kalatiestä (itä)		1	5	3				
B) Ohijuoksutuskanavaan	20	20	100	50	1**	5	3	2
Yhteensä		40		100	9			19

1) % kyseistä reittiä alas pyrkineistä yksilöistä

2) % kaikista alaspäin pyrkineistä yksilöistä (n=40)

3) % kaikista lähetinkaloista (n=47)

*maksimiarvio

**todennäköisesti petokalan syömä padon alapuolella

Vaellusajat

Voimalalle tulleet kalat saapuivat padolle keskimäärin 3,6 h vapautuksesta (mediaani 2,5 h), ja padon alapuolelle kalat uivat keskimäärin 15 h vapautuksen jälkeen (mediaani 6,7 h). Noin puolet voimalalle tulleista kaloista vaelsi padon alapuolelle alle 4 tunnissa vapautuksen jälkeen ja 65 % vuorokauden sisällä vapautuksesta. Nopeimmat kalat uivat lähes parissa tunnissa vapautuksen jälkeen alavirtaan Liekkilään saakka, mutta useat kalat jäivät viettämään läpimenon jälkeen aikaansa voimalan alapuoliseen virtaan ennen alavirtaan uintia. Kaloja havaittiin virran reunoilta, kevyen virtauksen kohdista pienialaisista akanvirroista ja voimalakanavan ylikulkukäytävän ja voimalan seinän väliseltä alueelta. Kyseisissä paikoissa parveili runsaasti myös pientä särkikalaa.

Ohijuoksutuskanavaan kalat uivat keskimäärin kuudessa tunnissa vapautuksesta (mediaani 1,8 h). Kalat vaelsivat patoluukkujen läpi alavirtaan keskimäärin 18 tunnissa vapautuksesta (mediaani 3,2 h). Jos kaksi hidasta kalaa (>100 h padon yläpuolella) jätetään pois laskuista, ohijuoksun kalat vaelsivat padolle vapauksen jälkeen keskimäärin noin kolmessa tunnissa ja luukuista läpi keskimäärin kuudessa tunnissa eli alasvaellus oli suurimmalla osalla kaloista nopeampaa kuin voimalakaloilla. Noin puolet ohijuoksulle uineista kaloista ui patoluukuista läpi alle 4 tunnissa, ja 90 % kaloista meni alas vuorokauden sisällä vapautuksesta.

4.2 PIT-merkityt smoltit

Pelkillä PIT-merkeillä merkityistä smolteista (n=303) kalateihin ui neljä yksilöä (1,3 %); kolme kalaa itäkalatiehen (1,0 %) ja yksi kala länsikalatiehen (0,3 %).

Kaikista PIT-merkityistä smolteista (n=350) kalateissä havaittiin yhteensä viisi yksilöä (1,4 %); itäkalatieissä neljä (1,1 %) ja länsikalatieissä yksi (0,3 %). Itäkalatien smoltit olivat keskipituudeltaan 24,1 cm (18,3–27,6 cm) ja -painoltaan 151 g (60–208 g). Länsikalatien smoltti oli 250 mm pituinen ja painoi 208 g.

Smolteista tehtiin kalateissä havaintoja seuraavasti (liitteen 1 mukainen smolttiutumistasite esitetty su-
luissa):

Itäkalatie		
Kala 1 lähetinsmoltti(välimuoto)	18.5. klo 15:49 – 15:53	alle vrk vapautuksesta
Kala 2 (kirkas)	22.5. klo 14:23	n. 4 vrk vapautuksesta
Kala 3 (välimuoto)	23.5. klo 12:56 – 26.5. klo 21:09	n. 5–8 vrk vapautuksesta
Kala 4 (tumma)	26.5.2022 klo 14:59 – klo 15:12	n. 8 vrk vapautuksesta
Länsikalatie		
Kala 5 (välimuoto)	29.5.2022 20:29	n. 11 vrk vapautuksesta

5. Tulosten tarkastelu

5.1 Käyttäytyminen ja kuolleisuus

Vapautuksen jälkeen patoaltaalla menetetyiksi arvioitiin kaikkiaan kuusi kalaa. Kalojen kohtaloa voi-
tiin arvioida kuunteluhavaintoihin perustuen tarkemmin vain yhden yksilön kohdalla. Kala paikannet-
tiin veneellä syvään veteen (>10 m) paikallaan olevaksi, mikä viittasi sen jääneen petokalan saaliiksi.
Yhdestä kalasta ei saatu vapautuksen jälkeen havaintoja lainkaan. Muut neljä kalaa havaittiin pato-
altaalta vapautuspaikan suunnasta seurannan alussa yksittäisiä kertoja käsikuuntelulla, mutta pa-
doille kalat eivät saapuneet. Patoaltaalla kuolleiksi arvioidut kalat olivat keskipituudeltaan tutkimus-
kalojen kesikokoa suurempia.

Taimenen poikasten alasvaellusta tutkittiin Saarijärven reitin voimalaitoksilla toukokuussa 2021, ja las-
kentatavasta riippuen Leuhun ja Hietaman voimalaitoksilla patoallaskuolleisuudeksi arvioitiin 7–10 %
(Karppinen ym. 2022). Vaajavirran hieman suurempi patoallaskuolleisuus (13 %) voi selittyä sillä, että
Vaajavirrassa kalat olivat pidemmän vaellusmatkan vuoksi kauemmin alttiina predaatiolle. Kirkkaam-
man veden ansiosta petokalojen saalistus voi olla Vaajavirrassa tehokkaampaa kuin Saarijärven rei-
tillä, erityisesti näköaistiperusteisesti saalistavilla lajeilla kuten hauella ja kuhalla. Paikallisten aktiivika-
lastajien mukaan haukea ei esiinny Vaajavirrassa lähellekään esimerkiksi kuhan veroisesti. Saalistilas-
toissakin, jotka tosin koskevat pääosin alakanavaa, haukea esiintyy suhteellisen vähän. Yläkanavassa
haukea esiintyyneen enemmän kuin alakanavassa johtuen yläkanavan järvimäisemmästä luonteesta.

Voimalakuolleisuus esitetään minimi-maksimi-arviona, sillä kahden voimalan yläpuolella havaitun ka-
lan läpimenoa ei voitu todentaa voimalan alapuolisilla havainnoilla. Kalat viettivät vapautuksen jäl-
keen vuorokaudesta puoleentoista aikaa voimalan yläpuolella ja oleilivat usein aivan välppien edus-
talla. Viimeisten yläpuolisten havaintojen jälkeen kaloja etsittiin rannalta ja veneestä voimalalta aina
Ylisenkoskelle saakka sekä alakanavassa Päijänteelle saakka tuloksetta. Havainnot viittaisivat kalojen
uineen välppistä sisään. Signaalin häviömiselle voi olla lukuisia syitä, kuten kalan tai pelkän lähettimen
jääminen voimalarakenteisiin, lintujen tai nisäkkäiden predaatio ja lähettimen toimimattomuus. Ka-
loja saalistavia lintuja tai nisäkkäitä ei havaittu voimalan lähettyvillä seurannan aikana, eikä lähetin-
signaalien äkillistä katoamista muutoin havaittu. Todennäköisyys, että kalat olisivat uineet alapuolis-
ten vastaanottimien ohi ilman rekisteröintiä, oli häviävän pieni. Rekisteröimätön ohuiinti olisi vaatinut
noin 5 m/s jatkuvan uintinopeuden yli 300 metrin matkalla. Koska kalojen kohtaloa ei voida tarkem-
min arvioida, eikä signaalien katoaminen tarkoita välttämättä voimala- tai turbiinikuolleisuutta, myös
nollakuolleisuutta on pidettävä mahdollisena.

Arvioitu 0–11 % voimalaitoksesta johtuva kuolleisuus oli Kaplan-turbiinityypin voimalaitoksille tyypillisellä tasolla. Lohikalojen smolttien kuolleisuus on tavallisesti jäänyt selvästi alle 50 %:iin ollen yleensä keskimäärin kymmenen prosentin molemmin puolin (Larinier 2008, Larinier & Travade 2002, Calles & Greenberg 2009, Pracheil ym. 2016). Nollakuolleisuudestakin on raportoitu (Vikström ym. 2020). Vaihdelu kuolleisuudessa on ollut suurta, eikä tulosten vertailu ole tutkimusasetelmien, vesistöjen, tutkimuskalojen ja voimaloiden välisten erojen vuoksi yksiselitteistä. Vaajakosken turbiinien juoksupyörissä on neljä siipeä, halkaisijaltaan juoksupyörä on noin 4 metriä ja potkurin pyörimisnopeus on hidas (60 krt/min), minkä lisäksi pudotuskorkeus pieni (< 2,6 m). Ominaisuuksiensa puolesta Vaajakosken voimala ei ole kalastolle haitallisimmasta päästä.

Käsikuunteluhavainnoilla saatiin viitteitä siitä, että voimalakaloista hieman suurempi osa vaelsi mahdollisesti läntisimmän turbiinin kautta (ns. ykkösturbiini). Kalat liikkuvat suhteellisen vilkkaasti eri puolilla yläkanavaa, mutta aivan välppien edustalla uivista kaloista tehtiin runsaasti havaintoja kanavan länsireunasta. Vastaavasti voimalan alapuolella kaloja havaittiin usein länsireunasta. Voimalan yläkanavassa päävirtaus kohdistuu itärantaan päin, minkä vuoksi kakkos- ja kolmosturbiinit tuottavat ykkösturbiinia suuremman tehon (Käyhkö K., suullinen tiedonanto). Epäsuoran virtauksen takia yläkanavan länsireunaan muodostuu voimakas akanvirta, mikä saattaisi selittää ykkösturbiinin suosiota. Toisaalta pyörteilevä virtaus lienee myös vaellusta viivästyttävä tekijä, ja nopeat vaeltajat luultavasti käyttävät suoraviivaisinta itäreunan virtausta. Sekä ylä- että alakanavan länsireuna oli tutkimuksen aikana silminnähden myös särkikalojen suosiossa, ja tutkitustikin länsikalatien on todettu olevan itäkalatietä suositumpi vaellusreitti särkikaloille (Hyrsky 2021). Seurannan päättyessä yläkanavaan jäänyt smoltti ui havaintohetkillä niin ikään neljän viikon aikana kanavan länsireunassa särkikalojen seassa vaihdellen paikkaa kalatien suuaukon ja ykkösturbiiniin väljän välillä.

Viljelylaitosalkuperää olleet lähetinkalat käyttäytyivät vapautuksen jälkeen normaalisti vaeltaen alavirtaan suhteellisen nopeasti. Lähetinkalojen uintinopeus oli patoaltaalla keskimäärin noin 0,2 m/s, jota voidaan pitää taimenen vaelluspoikaselle melko tyypillisenä (Aarestrup ym. 2002, Rivinoja 2005). Suuri osa voimalan läpi menneistä kaloista (itäkalatietekala mukaan luettuna) vietti kuitenkin pidempään aikaa voimalan alapuolella ja niiden liikkeitä virrassa voitiin tarkkailla tarkasti käsikuuntelulla. Ainoastaan yhden kalan signaali vaikutti tulevan aluksi pidempään samalta paikalta syvästä vedestä, mikä viittasi kalan olevan kuollut tai petokalan sisässä. Kyseisen yksilön havaittiin kuitenkin myöhemmin vaihtavan paikkaa alavirrassa, ja viettävän aikaa muiden smolttien kanssa sillan alla pienialaisessa akanvirrassa, ja kala tulkittiin elossa olevaksi. Voimalan alla vesi purkautuu turbulentsisesti kovalla virrannopeudella turbiineista. Kuolleen kalan juuttuminen esimerkiksi pohjaan tai rakennettuihin kanavan reunoihin ei ole kovinkaan todennäköistä. Todennäköisempää lienee kuolleen kalan kulkeminen pidempään alavirtaan (esim. Havn ym. 2017), mutta tästäkään ei tehty havaintoja.

Voimalan alla kalat oleilivat kevyen virtauksen paikoissa muiden pikkukalojen kanssa parvessa. Sijoittuminen akanvirtauksiin saattoi johtua alasvaelluksen aiheuttamasta stressistä tai jopa pidemmän päälle letaalista vahingoittumisesta turbiineissa läpimenon yhteydessä. Toisaalta taimenen käyttäytyminen voi olla monimuotoista ja alasvaellus ei ole aina suoraviivaista alavirtaan järvelle pyrkimistä. Osa poikaisista voi jäädä pidemmäksi aikaa virtaveteen tai vaeltaa esimerkiksi ylävirtaan päin.

Puolet voimalan kautta alasvaeltaneista kaloista vaelsi voimalapadon alapuolelle illalla tai yöllä, mitä voidaan pitää tunnetusti normaalina käyttäytymisenä predaatiota välttelevälle smoltille. Päivävaellus ei ole lohikalasmolteille tavatonta (Aarestrup ym. 2002), ja päivävaellus voi olla jopa yövaellusta runsaampaa myöhemmin vaeltavilla yksilöillä lämpötilan noustessa (esim. Thorpe ym. 1994, Ibbotson ym. 2006, Haraldstad ym. 2017).

Päijänteelle suuntautuneissa venekuunteluissa paikannettiin smoltteja uimasta usean kilometrin päässä voimalasta. Kalat uivat pinnan tuntumassa suhteellisen verkkaisesti ja veneellä päästiin kalan viereen käytännössä muutaman metrin tarkkuudella. Petokalapredaatiosta johtuvaa kuolleisuutta ei Vaajavirran alaosilla havaittu, mutta täysin poissuljettua se ei luonnollisestikaan ole. Yhden smoltin arvioitiin jääneen petokalan saaliiksi vanhan voimalan alapuolella, jossa esiintyy petokaloista erityisesti kuhia, ja paikka onkin tästä syystä kalastajien suosiossa. Voimalan alakanavassa vesi virtaa kevättulvalla leveänä ja suhteellisen kiivaana virtana, eikä uoma ole morfologialtaan hauelle kovinkaan suotuisaa habitaattia. Saalisilmoitusten ja kalastajien kertomusten perusteella hauksaaliit ovat olleet alakanavassa varsin vähäisiä. Haukien vähäisyys alakanavassa lieneekin alhaiseksi jääneen predaatiokuolleisuuden osasyys.

5.2 Alasvaellusreitit

Smoltit vaeltavat tyypillisesti pinnan tuntumassa alavirtaan päävirtauksen myötäisesti, joka Vaajavirrassa kulkee ainakin suuremmilla virtaamilla ensin kohti vanhaa voimalaa kääntyen myöhemmin kohti Naiskosken voimalaa. Puolet lähetinsmolteista vaelsi patojen alle ohijuoksutuskanavan kautta, vaikka tutkimuksen aikana voimalakanavan virtaama oli selvästi suurempi. Ohijuoksutuskanava vaikuttaisikin olevan kaloille turvallinen alasvaellusväylä ainakin riittävän suurilla virtaamilla. Vesisyvyys on vanhan voimalan alla noin 4 m eli riittävän syvä putouksista laskeutuville kaloille.

Radiolähetinkalojen liikkeiden perusteella Vaajakosken vesivoimalaitos näyttäisi suurilla virtaamilla viivästyttävän vaellusta suhteellisen vähän. Kalateiden osalta tilanne oli toinen, sillä yhtä yksilöä lukuun ottamatta kalateihin uineilla kaloilla oli kalateihin hakeutumisessa runsaasti viivettä. Pelkillä PIT-merkeillä merkityistä molteista ensimmäiset havainnot saatiin kalateissa vasta useampien päivien päästä vapautuksesta (4–11 pv). Kalateiden suuaukot olivat tutkimuksen aikana selvästi vedenpinnan alapuolella. Kun Leppäveden vedenpinta laskee ja virtaamat pienenevät, suuaukkojen yläreuna on matalalla vedellä ainakin länsikalatieissä hyvin lähellä vedenpintaa. Näin ollen alasvaeltavien kalojen hakeutuminen kalateihin saattaa olla tehokkaampaa pienemmillä virtaamilla.

Tulosten perusteella kalatiet eivät nykyisellään toimi kovinkaan hyvin ainakaan taimenen vaelluspoikasten alasvaellusreittinä. Itäinen kalatie näyttäisi toimivan alasvaellusväylänä hieman paremmin kuin läntinen, ja suhde on itävoittoinen myös nousutaimenien osalta (Honkanen 1996, Airaksinen ym. 2006, Hyrsky 2021). Yhden PIT-antennin järjestelmällä ei voitu yksiselitteisesti todentaa pelkästään PIT-merkittyjen kalojen alasvaellusta. Oletettavasti smoltit ovat kuitenkin vaeltaneet kalatieissä alaspäin, ja vaikuttaisi epätodennäköiseltä, että kalat olisivat vaeltaneet antenniportaaseen päädyttyään takaisin syvällä sijaitsevaan tulovesiaukkoon (itäkalatie) tai pidemmälle ylävirtaan (länsikalatie). Kalameraseseurannalla todennettiin ainakin kahden itäkalatien smoltin alasvaellus (Hyrsky M, kirjallinen tiedonanto). Kyseiset yksilöt pujahtivat kameran ohi nopeasti alavirtaan. Korkean veden aikaan on mahdollista, että kaloja on myös saattanut päästä kalojen ohjauskehikon läpi tai pystyraon viereisen aukon settilankkujen yli.

Smoltit empivät tyypillisesti läpivaellusta voimalalle tullessaan ja liikehtivät usein edestakaisin välppien edessä. Pakottavat ympäristötekijät ohjaavat käyttäytymistä, mutta myös kalayksilöiden käyttäytymispiirteiden erot voivat vaikuttaa reittivalintaan (esim. Haraldstad ym. 2021). Vaajakosken voimalaitoksella suurimmat syyt heikkoon ja hitaaseen kalatiehakeutumiseen ovat todennäköisesti ohjauskenteiden puute, voimalavirtaamaan nähden pieni kalatievirtaama ja se, että kalatieaukot sijaitsevat ainakin korkealla vedellä syvemmällä pinnan alla. Suuaukkoon ei muodostu luonnonmukaista kosken niskaa, tai edes välppien edustan kaltaista imua, ja syvälle sukeltamista välttelevät smoltit

eivät välttämättä uskalla sukeltaa syvemmällä oleviin aukkoihin. Tästä saatiin silmämääräisiä havaintoja, kun tutkimuksen aikana yksi smoltti ui useita päiviä länsikalatien suuaukon yläpuolella noin 20 cm syvyydellä pintavedessä uimatta kuitenkaan aukosta.

Vaellusreittien osalta tämän tutkimuksen tulokset ovat luultavasti yleistettävissä korkeintaan suuren virtaaman vuosiin. Vuosien 1990–2021 välillä ohijuoksutuskanavan kautta on johdettu vettä huhti-toukokuussa 20:nä vuonna (63 %), ja keskimäärin ohijuoksutuspäivistä 86 % on osunut toukokuulle. Vaikka vesi virtaa ohijuoksutuskanavaan jo hieman yli 200 m³/s virtaamalla, ei pienellä ohijuoksutuksella ole luultavastikaan merkittävää houkutusvaikutusta. Toisaalta päävirtaus kulkee kohti vanhaa voimalaa, ja iso osa kaloista päätynee ensin vanhan voimalan padon edustalle epäsuhtaisista virtaamista huolimatta, kuten tässäkin tutkimuksessa havaittiin. Tutkimuksen aikana Vaajavirran keskivirtaama oli 312 m³/s ja ohijuoksutuskanavan keskivirtaama 104 m³/s. Voimalan ohi juoksutettiin näin ollen keskimäärin noin 33 % kokonaisvirtaamasta (tutkimuksen aikana 26–40 %). Seurannan ensimmäisen neljän vuorokauden eli kalojen pääasiallisen alasvaellusajan keskivirtaama oli 337 m³/s, josta ohijuoksutuksen osuus oli noin 38 %. Vuosien 1990–2021 toukokuussa vastaavaan tai suurempaan ohijuoksutusvirtaamaan on päästy vain kuutena vuonna (19 %). Kalojen vaellusreiteistä ja selviytymisestä saataisiin luotettavampi kuva, jos vaellustutkimus toistettaisiin minimaalisella ohijuoksutuksella, ja voimalavirtaama (≤ 200 m³/s) pienemmällä virtaamalla (ei ohijuoksutusta).

Taimenen vaelluspoikaset vaeltavat Keski-Suomen virtavesissä alavirtaan tavallisesti huhti-toukokuussa (esim. Syrjänen ym. 2014). Hajonta vaellusajoissa voi olla suurta ja huippuvaellus ajoittua lyhyellekin ajanjaksolle. Voimatalouden tarpeisiin tehtävä ohijuoksutus ei osu vuosittain huippuvaelluksen aikaan. Tulva-ajojen ajoittuminen – eli pitkälti sattuma – ohjaakin osaltaan alasvaeltavien kalojen reittivalintoja voimalakanavan ja ohijuoksutuksen välillä, ja siten vaelluskalojen selviytymistä Vaajavirrassa. Virtaamaennusteiden perusteella voidaan karkeasti arvioida vaelluskalojen selvitysmahdollisuuksia, joskin tarkempien ennusteiden laatiminen vaatisi alasvaelluksen selvittämistä erilaisissa olosuhteissa.

5.3 *Epävarmuus ja virhelähteet*

Radiolähetinkalojen seuranta automaattisilla ilma-antennivastaanotinjärjestelmillä perustui kalojen suurpiirteisen sijainnin määrittämiseen seurantapaikoilla, kun taas käsikuuntelulla kalojen sijainteja ja liikkeitä voitiin arvioida tarkasti. Lähetinkaloista saatiin pääasiassa vain epäsuoria sijainti- ja liikehavaintoja, eikä täyttä varmuutta kalan kohtalosta ole olemassa. Paikallaan hyvin pitkään samassa kohdassa tai pienellä alalla oleilleesta lähetinkalasta ei tehty havaintoja kuin ohijuoksutuskanavan padon alapuolella. Kyseinen yksilö tulkittiin petokalan syömäksi.

Patojen alapuolelle uineiden kalojen kohtalon arviointiin liittyy kokonaisuudessaan suhteellisen vähän epävarmuutta. Sen sijaan kahden voimalakalan vaellusreitistä tai kohtalosta ei saatu varmaa tietoa, ja periaatteessa mahdollisuudeksi jäi käsitellä vain signaalin katoamisen syitä. Tyypillisesti turbiinikuolleisuutta arvioidaan niiden havaintojen perusteella, joita lähetinkaloista saadaan läpimenon jälkeen voimalan alapuolelta. Vaajakosken voimalasta tai sen turbiineista ei teoreettisesti aiheutunut lainkaan välitöntä smolttikuoilleisuutta, tai välitön kuolleisuus oli muiden havaintojen perusteella maksimissaan 11 %. Tutkimuksessa ei arvioitu epäsuoraa kuolleisuutta, eikä esimerkiksi läpimenosta kaloille aiheutuvia vammoja.

Vaellusaikoja arviotiin sekä automaattivastaanottimiin tallentuneiden havaintojen sekä käsikuuntelu-havaintojen perusteella. Vaellusajoissa on näin ollen epätarkkuutta, ja ne kuvaavat lähinnä kalojen siirtymisaikaa antennien kuuluvuusalueelta toiselle.

Biotelemetrisissä tutkimuksissa lähettimellä merkittyjen yksilöiden oletetaan yleisesti käyttäytyvän samalla tavalla, kuin merkitsemättömien yksilöiden tai koko populaation. Luonnollisestikaan oletus ei välttämättä täysin päde, sillä kirurgisella toimenpiteellä ja itse lähettimellä voi periaatteessa aina olla potentiaalisia haittavaikutuksia. Merkintöjen ja elektronisten lähettimien vaikutuksia kaloihin, ja erityisesti smolttikoon lohikaloihin on tutkittu paljon. Sisäinen lähetin ja sen asennus voi aiheuttaa kaloille mm. tulehduksen, vaikuttaa kalan uintisuoritukseen, ravinnonkäyttöön ja kasvuun ja lisätä kuolleisuutta, mutta pääsääntöisesti vaikutukset ovat olleet vähäisiä (Adams ym. 1998, Jepsen ym. 2002, Bridger & Booth 2003, Brown ym. 2006, Thorstad ym. 2009, Newton ym. 2016).

Radiolähettimien ja PIT-merkkien yhteispaino (ilmassa) suhteessa kalan painoon vaihteli lähetinkaloilla tässä tutkimuksessa 0,6–1,2 % välillä. Näin ollen nyrkkisääntönä pidetty, mutta nykyisin aliarviona-kin käsitetty 2 %:n suositusraja lähettimen ja kalan painon välillä ei ylittynyt (esim. Winter 1996, Brown ym. 2006, Jepsen ym. 2002, Smircich & Kelly 2014, Newton ym. 2016). Suurempi lähettimen koko voi lisätä turbiinikuolleisuutta, ja siksi voimalaitoksilla tehtävissä tutkimuksissa suositellaankin käytettäväksi mahdollisimman pientä lähetintä (Carlson ym. 2012). Tässä tutkimuksessa käytettiin lähetintä, jossa ei ollut kalan ulkopuolelle ulottuvaa antennilankaa, jonka on tutkimuksissa havaittu mahdollisesti aiheuttavan jonkin verran haittavaikutuksia (Cooke ym. 2011). PIT-merkkiä pidetään suhteellisen harmittomana kaloille sen pienen kokonsa vuoksi. Yleisesti ottaen riski kuolleisuudesta kasvaa kalan koon pienentyessä ja merkin suurentuessa (Vollset ym. 2020). Tässä tutkimuksessa PIT-merkin (23 mm) ja kalojen pituuden suhde vaihteli 7–14 %:n välillä. Vollsetin ym. (2020) tietyin oletuksin esittämä 17,5 %:n maksimisuhde PIT-merkin ja kalan pituuden välillä ei näin ollen ylittynyt tutkimusmolteilla.

Yhtä kalaa lukuun ottamatta lähetinkalat käyttäytyivät laitosolosuhteissa ja vapautushetkellä virkeästi, ja käytännössä samalla tavalla kuin ennen merkintöjä. Myöskään seurannan aikana ei tehty havaintoja epätyypillisestä käyttäytymisestä. Aiempien tutkimusten ja tässä tutkimuksessa tehtyjen havaintojen perusteella onkin syytä olettaa, että merkintöjen ja lähettimien vaikutukset kalojen käyttäytymiseen jäivät vähäisiksi tai olemattomiksi.

Tutkimus toteutettiin suhteellisen pienillä lähetinkalamäärillä suurten virtaamien aikaan. Tulosten tarkastelussa, ja erityisesti kuolleisuusarvioiden osalta tulee huomioida, että pieni lähetinkalojen yksilömäärä vaikuttaa tulosten luotettavuuteen ja tutkimusajankohta tulosten yleistettävyyteen. Kuolleisuus ja reittikohtaiset kalamäärät voivat olla hyvinkin erilaisia erityisesti pienemmillä virtaamilla. Alle 200 m³/s virtaamalla kaloilla ei ole turvallista pääsyä alavirtaan ohijuoksutuskanavan kautta, jolloin reittivaihtoehtoiksi jäävät turbiiniväylä ja kalatiet. Kalateihin johtuva vesimäärä on lähes vakio, mutta kalatien tehokkuus voi vaihdella suhteellisten virtaamien mukaan. Toisin sanoen kalatievirtaaman osuus voimalakanavan virtaamasta kasvaa, kun kokonaisvirtaama pienenee. Tällöin muuttuu myös kalateiden suaukkojen korkeussijainti, jolla voi olla oleellinen merkitys kalojen hakeutumiseen kalatiehen.

KVVY Tutkimus Oy

Tekijä:



Erityisasiantuntija, FM

Antti Leppänen

Tekijä:



Kalastotutkija, FM

Sami Ojala

Hyväksynyt:



Biologiset tutkimukset -yksikön päällikkö Tommi Malinen

Jakelu

Suur-Savon Sähkö Oy
Pohjois-Savon ELY-keskus

Lähteet

- Aarestrup K., Nielsen C. & Koed A. 2002. Net ground speed of downstream migrating radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) smolts in relation to environmental factors. *Hydrobiologia* 483: 95–102.
- Adams N.S., Rondorf D.W., Evans S.D. & Kelly J.E. 1998. Effects of surgically and gastrically implanted radio transmitters on growth and feeding behavior of juvenile Chinook salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* 127(1):128–136.
- Airaksinen M., Honkanen V., Syrjänen J. & Valkeajärvi P. 2006. Järvitaimen Keski-Suomessa – elämyksestä elinkeinoksi. RKTL, Kala- ja riistaraportteja nro 386.
- Blomqvist E. (toim.). 1911. Lisiä Suomen hydrografiaan II. Kymijoki ja sen vesistö. Suomen tie- ja vesirakennusten ylläpidon hydrografinen toimisto. Helsinki 1911.
- Bridger C. J. & Booth R. K. 2003. The Effects of Biotelemetry Transmitter Presence and Attachment Procedures on Fish Physiology and Behavior. *Reviews in Fisheries Science* 11(1): 13–34.

- Brown R. S., Geist D. R., Deters K. A. & Grassell A. 2006. Effects of surgically implanted acoustic transmitters >2% of body mass on the swimming performance, survival and growth of juvenile sockeye and Chinook salmon. *Journal of Fish Biology* 69: 1626–1638.
- Calles O., & Greenberg L. 2009. Connectivity is a two-way street—The need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *River Research and Applications* 25: 1268–1286.
- Carlson T.J., Brown R.S., Stephenson J.R., Pflugrath B.D., Colotelo A.H. Gingerich A.J. & Piper L.J. 2012. The influence of tag presence on the mortality of juvenile Chinook salmon exposed to simulated hydroturbine passage: Implications for survival estimates and management of hydroelectric facilities. *North American Journal of Fisheries Management* 32: 249–261.
- Cook K.V., Brown R.S., Deng Z.D., Klett R.S., Li H., Seaburg A.G. & Eppard M.B. 2014. A comparison of implantation methods for large PIT tags or injectable acoustic transmitters in juvenile Chinook Salmon. *Fisheries Research* 154: 213–223.
- Cooke S.J., Woodley C.M., Eppard M.B., Brown R.S. & Nielsen J.L. 2011. Advancing the surgical implantation of electronic tags in fish: a gap analysis and research agenda based on a review of trends in intracoelomic tagging effect studies. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21: 127–151.
- Eskelinen P. & Koskiniemi J. 1998. Rautalammin reitin taimenen säilyttäminen eri viljelykantoja yhdistämällä. *Kalatutkimuksia – Fiskundersökningar* 147.
- Haraldstad T., Kroglund F., Kristensen T., Jonsson B., Haugen T.O. 2017. Diel migration pattern of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and sea trout (*Salmo trutta*) smolts: an assessment of environmental cues. *Ecology of Freshwater Fish*: 26(4): 541–551.
- Haraldstad T., Haugen T.O., Olsen E.M., Forseth T. & Höglund E. 2021. Hydropower-induced selection of behavioural traits in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Sci. Rep.* 11, 1–9 (2021).
- Havn T.B., Økland F., Teichert M.A.K., Heermann L., Borcharding J., Sæther S.A., Tambets M., Diserud O.H. & Thorstad E.B. 2017. Movements of dead fish in rivers. *Anim Biotelemetry* (2017) 5:7.
- Honkanen V. 1996. Kalaporrasseuranta Keski-Suomessa vuosina 1995 ja 1996. Keski-Suomen maaseutuelinkeinopiiriin vastuunalue. Moniste 57.
- Hyrsky M. 2021. Vaajakosken kalatieseurannat vuonna 2021. Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tutkimusraportti no 538/2021.
- Ibbotson A.T., Beaumont W.R.C., Pinder A., Welton S., Ladle M. 2006. Diel migration patterns of Atlantic salmon smolts with particular reference to the absence of crepuscular migration. *Ecology of Freshwater Fish*: 15: 544–551.
- Jepsen N., Koed A., Thorstad E. B. & Baras E. 2002. Surgical implantation of telemetry transmitters in fish: how much have we learned? *Hydrobiologia* 483: 239–248.
- Karppinen P., Helminen J., Hynninen M., Keskinen T. & Vehanen T. 2022. Taimenen poikasten alasvaellus Hietaman- ja Leuhunkosken voimalaitoksilla: FRESHABIT -projektin Saarijärven reitin alasvaellustutkimus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 19/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 31 s.
- Koljonen M.-L., Syrjänen J. T., Koskiniemi J. & Heinimaa, P. 2018. Päijänteen ja sen latvavesien taimenkantojen geneettiset resurssit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 6/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- Kosunen N. & Mikkola I. 2017. Selvitys Suomen alle 5 MW vesivoimalaitosten sekä niihin välittömästi liittyvien säännöstelyhankkeiden vesilain mukaisten lupien kalatalousvelvoitteista. Linnunmaa Oy. Tilaaja: Varsinais-Suomen ELY-keskus, kalatalouspalvelut-yksikkö.
- Larinier M. & Travade F. 2002. Downstream migration: problems and facilities. *Bull. Fr. Peche Piscic.* 181–207.
- Larinier M. 2008. Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. *Hydrobiologia* 609: 97–108.

- Newton M., Barry J., Dodd J. A., Lucas M. C., Boylan P. & Adams C. E. 2016. Does size matter? A test of size-specific mortality in Atlantic salmon *Salmo salar* smolts tagged with acoustic transmitters. *Journal of Fish Biology* 89 (3): 1641–50.
- Pracheil B. M., DeRolph C. R., Schramm M. P. & Bevelhimer M.S. 2016. A fish-eye view of riverine hydropower systems: the current understanding of the biological response to turbine passage. – *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 26: 153–167.
- Rivinoja P. 2005. Migration problems of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in flow regulated rivers. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences.
- Räihä V. 2016. Vaajavirran taimen – nykytilanne ja tulevaisuus. Raportteja 12/2016. Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
- Smircich M.G. & Kelly J.T. 2014. Extending the 2 % rule: the effects of heavy internal tags on stress physiology, swimming performance, and growth in brook trout. *Anim Biotelemetry* 2: 16.
- Syrjänen J., Rajala J., Sivonen K., Sivonen O. & Heinimaa P. 2014. Järvitaimenen vaelluspoikaspyynti Muuramenjoella ja Läsäkoskella keväällä 2013. RKTL:n työraportteja 34/2014.
- Syrjänen J., Heinimaa P., Sivonen O. & Valkeajärvi P. 2018. Rautalammin reitin yläosan taimenkan-
nan hoito- ja kalastussuunnitelma. Raportteja 17/2018. Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus.
- Thorpe J.E., Metcalfe N.B. & Fraser N.H.C. 1994. Temperature dependence of switch between noc-
turnal and diurnal smolt migration in atlantic salmon. Teoksessa: Mackinlay D.D. (toim.). High
performance fish. Fish physiology association.
- Valkeajärvi P., Syrjänen J. & Sivonen K. 2010. Vieläkö on villejä järvitaimenia – Keski-Suomen taimen-
hanke 2009. Selvityksiä 7/2010. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki 2010.
- Vikström L., Leonardsson K., Leander J., Shry S., Calles O. & Hellström G. 2020. Validation of Francis-
Kaplan turbine blade strike models for adult and juvenile Atlantic salmon (*Salmo Salar*, L.) and
anadromous Brown trout (*Salmo Trutta*, L.) passing high head turbines. *Sustainability* 12 (16): 1–
13.
- Vollset K.W., Lennox R.J. Thorstad E.B., Auer S., Bar K., Larsen M.H., Mahlum S., Naslund J., Stryhn H. &
Dohoo I. 2020. Systematic review and meta-analysis of PIT tagging effects on mortality and
growth of juvenile salmonids. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 30: 553–568.
- Winter J. D. 1996. Advances in underwater biotelemetry. Teoksessa: Murphy B.R. & Willis D.W. toim.).
Fisheries Techniques, 2nd Edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. ss. 555–590.

Liite 1. Tutkimuksessa käytettyjen taimenen poikasten smolttiutumisasteen silmämääräinen arviointi kalan värin perusteella.



Kirkas (119 yksilöä, 34 %).



Välimuoto (145 yksilöä, 41 %).



Tumma (87 yksilöä, 25 %).