



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2025

Vaelluspoikasten alasvaellus Kemijoella

Kumulatiivinen kuolleisuus ja vaelluksen pullonkaulat

Miitri Mönttinen, Panu Orell ja Riina Huusko



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2025

Vaelluspoikasten alasvaellus Kemijoella

Kumulatiivinen kuolleisuus ja vaelluksen pullonkaulat

Miitri Mönttinen, Panu Orell ja Riina Huusko



Viittausohje:

Mönttinen, M., Orell, P. & Huusko, R. Vaelluspoikasten alasvaellus Kemijoella :
Kumulatiivinen kuolleisuus ja vaelluksen pullonkaulat. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus
15/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 34 s.

Miitri Mönttinen ORCID ID, <https://orcid.org/0009-0007-0711-8158>



ISBN 978-952-419-021-3 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-021-3>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Miitri Mönttinen, Panu Orell ja Riina Huusko

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2025

Julkaisuvuosi: 2025

Kannen kuva: Jari Lindeman

Tiivistelmä

Miitri Mönttinen¹, Panu Orell¹ ja Riina Huusko¹

¹ Luonnonvarakeskus, Paavo Havaksen tie 3, 90014 Oulun yliopisto

Luonnonvarakeskus (Luke) toteutti kesällä 2024 lohen vaelluspoikasten radiotelemetriaseurannan Kemijoen rakennetulla alajuoksulla Valajaskosken voimalaitoksen yläpuolelta Isohaaran voimalaitosten alapuolelle. Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää lohen vaelluspoikasten alasvaelluskuolleisuutta sekä arvioida mahdollisia voimalaitos- ja patoallaskehtaisia eroja vaelluspoikasten selviytymisessä erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Tutkimushanke oli jatkoa Kemijoella vuonna 2023 toteutetulle alasvaellustutkimukselle.

Tutkimuksessa vapautettiin kaikkiaan 333 kpl radiolähettimillä merkittyä viljeltyä lohen vaelluspoikasta Valajas-, Petäjäs-, Ossaus- ja Taivalkoskien sekä Isohaaran voimalaitosten yläpuolelle. Vapautukset toteutettiin kolmessa erillisessä erässä touko-kesäkuussa vajaan kahden viikon aikana. Merkittyjen vaelluspoikasten seuranta varten Kemijoen voimalaitokselle asennettiin kiinteitä radiovastaanottimia voimalaitosten sekä ohijuoksutuspatojen ylä- ja alapuolille. Lisäksi tutkimuksen aikana suoritettiin manuaalisia paikannuksia voimalaitosten välisillä patoaltailla.

Padoista ja patoaltaista johtuva kuolleisuus kertautui jokaisen voimalaitoksen kohdalla. Valajaskosken yläpuolen vapautuspaikalta jokisuulle selviytyi keskimäärin vain 10 % merkityistä poikasista. Petäjäs-koskelta selviytyminen oli 21 %, Ossauskoskelta 34 %, Taivalkoskelta 53 % ja Isohaarasta 75 %. Keskimäärin parhaiten Kemijokisuulle selviytyvät toisen vapautuserän vaelluspoikaset. Voimalaitoksen läpi vaeltaneet poikaset selvisivät yhtä todennäköisesti seuraavalle voimalaitokselle kuin ohijuoksutuspuoman kautta uineet.

Paikannustietojen perusteella vaelluspoikasten kuolleisuus patoaltailla keskittyi voimakkaasti voimalaitosten läheisyyteen. Merkittävimmät ongelmat havaittiin aiempien tutkimusten tapaan Petäjäs-kosken voimalaitoksella, jonka vaelluspoikaset läpäisivät Kemijoen voimalaitoksesta selvästi heikoiten, ja joka aiheutti pisimmän hidasteen vaelluspoikasten alasvaelluksen jatkumiselle.

Vaelluskalakantojen elvyttämisyrittämysten kannalta alasvaellusta parantavia toimenpiteitä kannattaa Kemijoella siten ainakin alkuvaiheessa priorisoida voimalaitosketjun yläosaan Valajas- ja aivan erityisesti Petäjäs-koskelle. Kyseiset laitokset ja patoallas ovat samalla ensimmäiset, jotka mahdolliset Ounasjoessa kasvaneet vaelluspoikaset joutuvat alasvaelluksellaan kohtaamaan.

Tutkimuksen ensimmäinen vapautuserän vaelluspoikasilla havaittiin kaasukuplatautia, joka tappoi merkittävän osan alimpien vapautuspaikkojen poikasista jo sumputuksen aikana. Kaasujen ylikyllästymisestä aiheutuva kaasukuplatauti voi olla merkittävä Kemijoen istutusten tuotoksellisuutta ja vaelluspoikasten selviytymistä heikentävä tekijä. Tietoa kaasukuplataudin vaikutuksista ja seurauksista on kuitenkin erittäin vähän.

Asiasanat: Lohi, smoltti, vaellus, kuolleisuus, voimalaitos, ohijuoksutus, Kemijoki, radiotelemetria

Abstract

Miitri Mönttinen¹, Panu Orell¹ ja Riina Huusko¹

¹ Natural Resources Institute Finland, Paavo Havaksen tie 3, 90014 Oulun yliopisto

In the summer of 2024, the Natural Resources Institute Finland (Luke) carried out a radio-telemetry study of salmon smolt migration in the regulated lower reaches of the River Kemijoki. The main objective of the study was to investigate the downstream migration mortality of smolts, as well as to assess potential differences in survival of smolts at different dams and reservoirs in different environmental conditions. The research project was a continuation of the downstream migration study conducted in 2023.

In the study, 333 radio-tagged hatchery-reared salmon smolts were released in three batches at late-May and early-June, upstream of each of the lowermost five power plants of the River Kemijoki. Stationary radio receivers were installed both above and below the power plants and bypass spillways to track the migration of tagged smolts. Additionally, manual tracking was carried out in the reservoirs between the power plants.

Mortality caused by dams and reservoirs was cumulative at each subsequent passing of a hydropower plant (HPP). From the uppermost release site upstream of Valajaskoski HPP, only 10 % of the tagged smolts survived to the rivermouth. Survival from Petäjaskoski was 21 %, from Ossauskoski 34 %, from Taivalkoski 53 %, and from Isohaara 75 %. On average, the highest survival rates were observed for the second release batch. Smolts that passed through the hydropower plants had the same probability of surviving to the next plant as those that swam through the bypass spillways.

Based on the tracking data, the mortality of migrating smolts in the reservoirs were concentrated near the hydropower plants. As in the previous studies, the most significant problems were observed at the Petäjaskoski HPP, where the migrating smolts had the lowest survival rates and which caused the longest delay for the smolt migration.

In efforts to restore salmon populations, improving downstream migration success should, therefore, be prioritized in the upper parts of the lower Kemijoki hydropower chain, specifically at Valajaskoski and especially at Petäjaskoski HPPs. These plants and reservoirs are also the first downstream migration obstacles that potential wild smolts from the River Ounasjoki will encounter on their downstream migration.

The first release batch of smolts showed signs of the gas bubble disease, which killed a significant portion of them at the two lowermost release sites during the initial 24-hour holding stage. Gas bubble disease caused by gas supersaturation, could be a major factor reducing the success of stocking efforts and the survival of migrating smolts in the River Kemijoki. However, there is very little information on the effects and consequences of gas bubble disease regarding Baltic salmon.

Keywords: Salmon, smolt, migration, mortality, hydropower plant, spillover, River Kemijoki, radio-telemetry

Sisällys

1. Johdanto	6
2. Tutkimusalue	7
2.1. Ympäristöolosuhteet tutkimuksen aikana.....	7
3. Aineisto ja menetelmät	9
3.1. Kalojen merkintä	9
3.2. Kalojen kuljetus ja vapautus	10
3.3. Merkittyjen kalojen seuranta.....	12
3.4. Telemetria-aineistojen käsittely	12
4. Tulokset.....	14
4.1. Kalojen selviytyminen jokisuulle	14
4.2. Kalojen kuolleisuus voimalaitoksilla ja niiden välillä	14
4.3. Kalojen reitinvalinta voimalaitoksilla.....	17
4.4. Vaellusnopeus.....	19
5. Tulosten tarkastelu	22
5.1. Selviytyminen jokisuulle.....	22
5.2. Alasvaellusreitin valinta	23
5.3. Alasvaelluksen pullonkaulat ja ongelmat	24
5.3.1. Kuolleisuus ja sen jakautuminen.....	24
5.3.2. Kaasukuplatauti	26
5.4. Tulosten yleistettävyys.....	27
6. Johtopäätökset ja suositukset.....	28
Viitteet.....	30

1. Johdanto

Lohen vaelluspoikasten selviytyminen joelta merelle syönnösvaellukselle on lohen luonnonkierron perusedellytyksiä. Vesivoimalaitospadot aiheuttavat usein merkittäviä ongelmia poikasten alasvaellukselle ja ongelmat kertautuvat patojen määrän kasvaessa (Huusko ym. 2014, Norrgård ym. 2013, 2024).

Kemijoella lohen luontaiseen lisääntymiseen soveltuvat keskeiset tuotantoalueet sijaitsevat viiden voimalaitoksen yläpuolella Ounasjoessa (Laine ym. 2002). Aikaisempien Kemijoella tehtyjen vaelluspoikastutkimusten perusteella kuolleisuus joen rakennetulla osuudella on huomattavan suurta ja merkityistä kaloista vain pieni osa (8–25 %) selviytyy Kemijokisuulle (Huusko ym. 2016, Mönttinen ym. 2024).

Kemijoella kevätkesällä 2023 tehdyssä radiotelemetriatutkimuksessa selvitettiin joen eri voimalaitosten vaikutusta vaelluspoikasten alasvaelluksen onnistumiseen, mahdollisia voimalaitos- ja patoallaskohtaisia eroja vaelluspoikasten selviytymisessä sekä vaelluspoikasten uintireittejä (voimalaitos vs. ohijuoksutuspato). Tutkimuksessa havaittiin alasvaelluksen potentiaalinen pullonkaula-alue Valajas- ja Petäjäsken voimalaitosten välillä. Lisäksi havaittiin viitteitä kumuloituvasta todennäköisyydestä vaelluksen keskeytymiseen, missä enemmän voimalaitoksia ohittaneilla oli suurempi todennäköisyys menehtyä tietyllä alueella kuin vähemmän voimalaitoksia ohittaneilla. Vaelluspoikasten havaittiin myös käyttävän ohijuoksutusuosia alasvaellusreitteinään, kun ohijuoksutuksen osuus oli yli 20 % joen kokonaisvirtaamasta.

Kesän 2023 tutkimus toteutettiin sangen pienellä merkittyjen kalojen määrällä ja hyvin kapealla aikajaksolla yhden istutuserän tutkimuksena. Tämä osaltaan rajoitti tutkimustulosten yleistettävyyttä. Tutkimustulosten paremman yleistettävyyden takaamiseksi Luonnonvarakeskus toteutti kevätkesällä 2024 laajennetun, kolmen ajallisesti erillisen istutuserän, lohen vaelluspoikasten radiotelemetriaseurannan Kemijoen rakennetulla alajuoksulla. Tämän tutkimuksen päätavoitteena oli tarkentaa kesän 2023 tuloksia sekä selvittää vaelluspoikasten alasvaellusreitin valintaa erilaisissa virtaamaolosuhteissa. Keskeisiä tutkimuskysymyksiä olivat:

- Kuinka hyvin eri vapautuserien poikaset selviytyvät Kemijokisuulle?
- Muodostaako Valajas- ja Petäjäsken voimalaitosten väli alasvaelluksen pullonkaulan olosuhteista riippumatta?
- Syntykö erilaisissa ympäristöolosuhteissa pullonkauloja uusille alueille?
- Mikä on Kemijoen alasvaellustulosten yleistettävyy?

Tässä raportissa esitetään kevätkesällä 2024 toteutetun vaelluspoikastutkimuksen keskeiset menetelmät, tulokset ja johtopäätökset. Tutkimuksen toteutti Luonnonvarakeskus yhteistyössä Voimalohi Oy:n kanssa. Hankkeen rahoittajina toimivat Kemijoki Oy, PVO-Vesivoima Oy sekä valtion Nousu-vaelluskalaohjelma.

2. Tutkimusalue

Kemijoen valuma-alueen (51 127 km²) 21 vesivoimalaitoksesta viisi (Isohaara, Taival-, Ossaus-, Petäjäs- ja Valajaskoski) sijaitsevat Kemijoen pääuomassa, jokisuun ja Kemijoen rakentamattoman sivujoen, Ounasjoen, välillä. Ounasjoessa on edelleen merkittäviä vaelluskalojen lisääntymiseen ja poikastuotantoon soveltuvia alueita (Sutela ym. 2012), ja Kemijoki kuuluu kansallisen kalatiestrategian kärkikohteisiin (Maa- ja metsätalousministeriö 2012).

Kemijoen alajuoksun viidellä voimalaitoksella ei ole alavirtaan vaellukselle erillisiä alasvaellusratkaisuja, vaan alavirtaan vaeltavien kalojen on ohitettava voimalaitokset joko turbiinien tai ohijuoksutusluukkujen kautta. Kemijoen alajuoksun voimalaitosten pudotuskorkeudet ja turbiinien vedenoton lähtösyvyudet vaihtelevat suuresti (**Taulukko 1**). Korkein pudotuskorkeus (20,5 m) on toiseksi ylimmällä, Petäjäsjoen, voimalaitoksella, missä myös turbiinien vedenotto on selvästi muita voimalaitoksia syvemmällä (**Taulukko 1**).

Voimalaitoksilla on käytössä kahden tyyppisiä ohijuoksutusluukkuja: 1) alhaalta ylöspäin aukeavia, jolloin vesi päästetään nostamalla luukkuja ja juoksutettava vesi menee padon alaosasta, 2) ylhäältä alaspäin aukeavia, jolloin vesi päästetään laskemalla luukkuja ja vesi syöksyy ohijuoksutuspadon yli (**Taulukko 1**). Ohijuoksutusluukut sijaitsevat muilla voimalaitoksilla voimalaitosrakennuksen kanssa samassa padossa, mutta Petäjäsjoella ja Ossausjoella ohijuoksutusluukut sijaitsevat noin 1–2 km voimalaitospadosta ylävirtaan. Muista voimalaitoksista poiketen Isohaarassa on kaksi erillistä voimalaitosta, jotka sijaitsevat padon reunoilla, ohijuoksutusluukkujen jäädessä niiden väliin joen keskelle. Isohaaran voimalaitoksen omistaa PVO-Vesivoima Oy ja neljä ylempää voimalaitosta Kemijoki Oy.

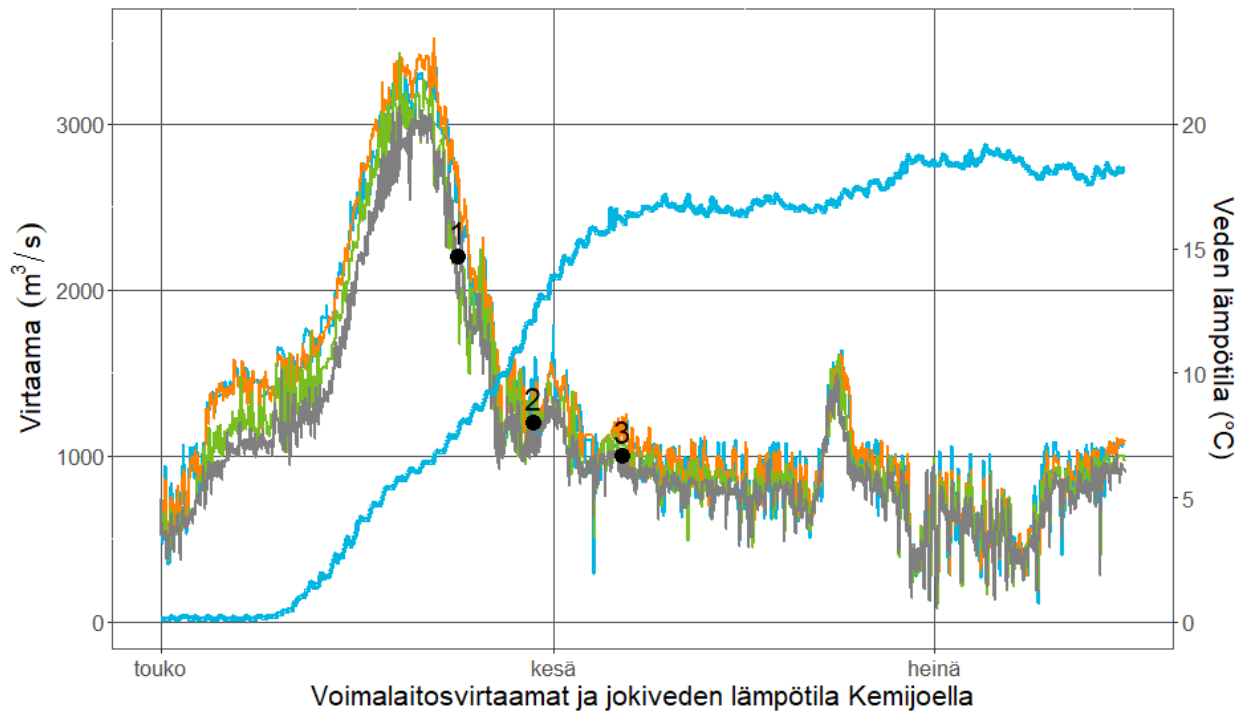
Taulukko 1. Kemijoen viiden alimman vesivoimalaitoksen perustietoja. Lähde: Kemijoki Oy ja PVO-Vesivoima Oy.

Voimalaitos	Pudotuskorkeus (m)	Keskivirtaama (m ³ /s)	Turbiinityyppi	Vedenotossyvyys (m)	Ohijuoksutusluukkujen lkm.	Ohijuoksutusluukkujen aukeamissuunta
Valajaskoski	11,5	512	Kaplan (3kpl)	5,0	4	alhaalta ylöspäin
Petäjäsjoen	20,5	526	Kaplan (3kpl)	8,0	7	alhaalta ylöspäin
Ossausjoen	15,0	538	Kaplan (3kpl)	3,5	5	alhaalta ylöspäin
Taivalkoski	14,5	552	Kaplan (3kpl)	4,0	5	alhaalta ylöspäin
Isohaara	12,2	170	Kaplan (2kpl) Bulb (2kpl)	2,5	4 7	ylhäältä alaspäin alhaalta ylöspäin

2.1. Ympäristöolosuhteet tutkimuksen aikana

Tutkimuksen aikana (24.5.–1.7.2024) vuorokauden keskivirtaama Kemijoen viidellä alimmalla voimalaitoksella oli 1 028 m³/s (**Kuva 1**). Vuorokauden sisällä virtaamat voimalaitoksilla poikkesivat kuitenkin huomattavasti keskivirtaamasta (vaihteluväli 0–2 781 m³/s). Poikkeuksellisen suuret ja pienet virtaamat olivat pääosin lyhyitä jaksoja vuorokauden sisällä. Suurimmat virtaamat ajoittuivat toukokuulle, kevättulvan ajanjaksolle, ja pienimmät virtaama-arvot ajoittuivat seurannan loppupuolelle.

Veden lämpötila oli tutkimuksen aikana Isohaaran voimalaitoksella keskimäärin 15,4 °C (vaihteluväli 7,4–18,8 °C) (**Kuva 2**). Veden lämpötila nousi verraten tasaisesti seurannan alusta 4.6.2024 asti, jolloin veden lämpötilan nousu hidastui (**Kuva 1**).



Kuva 1. Kemijoen alajuoksun viiden vesivoimalaitoksen (ml. ohijuoksutukset) kokonaisvirtaamien tuntikeskiarvot ja pintaveden lämpötila tutkimuksen aikana kevätkesällä 2024. Mustat pallot kuvaavat radiomerkittyjen vaelluspoikasten vapautusajankohtia (1=24.5., 2=30.5., 3=6.6.).

3. Aineisto ja menetelmät

3.1. Kalojen merkintä

Seurantaan varten merkittiin yhteensä 333 lohen vaelluspoikasta. Kalojen merkinnät tehtiin kolmessa erässä, 22.5., 28.5. ja 4.6. (**Taulukko 2**), Voimalohi Oy:n Ossauskosken laitoksella. Merkityt kalat olivat Voimalohi Oy:n Ossauskosken viljelylaitoksen virikekasvatettuja 2-vuotiaita lohen vaelluspoikasia.

Merkintää varten kalat haavittiin sattumanvaraisesti kolmesta eri kasvatusaltaasta ja nukutettiin 40 mg/l bentsokaiiniliuoksella. Nukutetut kalat mitattiin (mm), punnittiin (g) ja smolttiutumisaste (asteikko 1–4; 1=jokipoikanen, 4=täysin hopeoitunut) määritettiin. Yksilöt, jotka olivat ulkoisilta ominaisuuksiltaan jokipoikasia tai liian pieniä (<130 mm) jätettiin merkitsemättä. Välittömästi mittausten jälkeen kalat merkittiin asettamalla kirurgisesti ruumiinonteloon radiolähetin (Lotek, malli NTF-3-2, paino ilmassa 0,57 g). Lähetin laitettiin kalan ruumiinonteloon vatsaevien etupuolelle tehdyn noin 5 mm pitkän viillon kautta. Lähettimen antenni tuotiin kalan ulkopuolelle viillon pyrstöpuolelta pistetyn injektioneulan avulla ja viilto suljettiin yhdellä tikillä. Kaikki toimenpiteet suoritettiin steriileillä välineillä. Merkinnän jälkeen kalat siirrettiin altaisiin toipumaan vuorokaudeksi ennen kuljetusta vapautuspaikoille (**Taulukko 2**).

Taulukko 2. Radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten keskipituus ja -paino vaihteluvälineen merkintäerä- ja vapautuspaikkakohtaisesti.

Merkintäerä ja -päivämäärä	Vapautuspaikka	Yksilömäärä	Paino, g (vaihteluväli)	Pituus, mm (vaihteluväli)
1.erä: 22.5.2024	Valajaskoski	20	66,6 (34,0–118,7)	196 (153–234)
	Petäjaskoski	20	65,0 (28,9–109,0)	192 (140–225)
	Ossauskoski	20	54,7 (25,4–105,0)	179 (140–224)
	Taivalkoski	20	65,1 (31,3–102,0)	192 (147–226)
	Isohaara	20	62,3 (30,1–93,5)	191 (152–225)
	1.erä kaikki	100	62,7 (25,4–118,7)	190 (140–234)
2.erä: 28.5.2024	Valajaskoski	20	66,6 (41,0–103,3)	199 (180–232)
	Petäjaskoski	20	62,1 (33,2–94,0)	194 (161–225)
	Ossauskoski	20	61,0 (30,6–121,0)	190 (152–245)
	Taivalkoski	33	63,6 (36,3–101,0)	194 (161–227)
	Isohaara	33	57,3 (30,7–83,9)	188 (151–219)
	2.erä kaikki	126	61,8 (30,6–121,0)	193 (151–245)
3.erä: 4.6.2024	Valajaskoski	20	62,7 (37,3–102,0)	195 (165–234)
	Petäjaskoski	20	57,8 (27,4–111,0)	188 (149–231)
	Ossauskoski	20	67,1 (33,3–198,5)	198 (159–279)
	Taivalkoski	23	67,8 (28,5–196,7)	195 (147–285)
	Isohaara	24	59,8 (32,1–90,5)	192 (155–221)
	3.erä kaikki	107	63,1 (27,4–198,5)	193 (147–285)
Yhteensä		333	62,5 (25,4–198,5)	192 (140–285)

3.2. Kalojen kuljetus ja vapautus

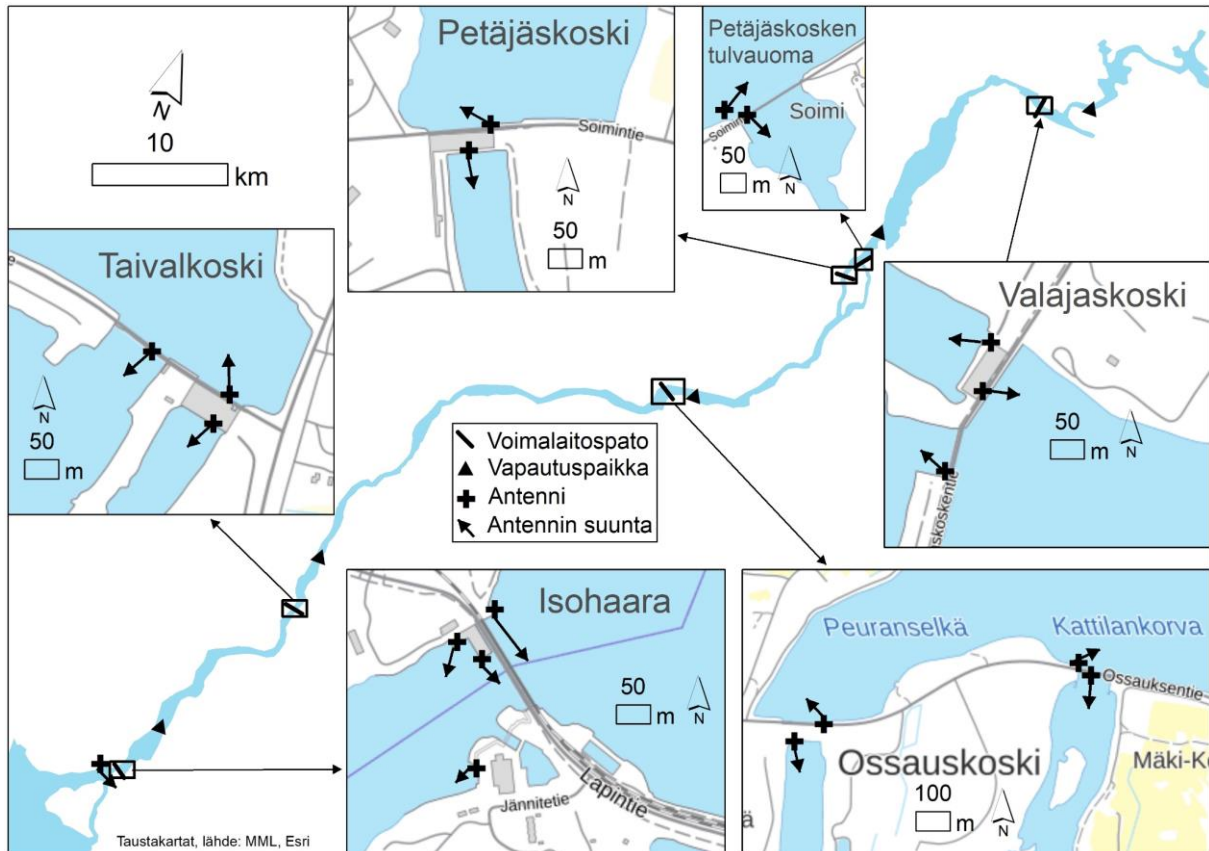
Merkinnän jälkeisenä päivänä radiolähettimellä merkityt yksilöt ja suojarparvi (n. 80 kpl) siirrettiin autoilla Ossauskosken laitokselta vapautuspaikkojen läheisyyteen hapetetussa kalankuljetussäiliössä, josta kalat siirrettiin veneillä sumppuihin odottamaan seuraavana päivänä tapahtuvaa vapautusta. Kalat suojarparvineen vapautettiin siirron jälkeisenä päivänä kello 9–13 välillä (**Taulukko 3**). Vapautuspaikat sijaitsivat noin 3–5 km kunkin Kemijoen alajuoksun viiden voimalaitoksen yläpuolella (**Kuva 2**).

Isohaaran yläpuolella olevassa säilytyssumpussa lähes kaikki merkityt (17/20) ja suojarparven (56/80) kalat ensimmäisestä erästä (siirretty sumppuun 23.5.) olivat kuolleet siirtoa seuranneen vuorokauden aikana. Näissä kaloista havaittiin lähemmässä tarkastelussa kaasukuplatautiin viittaavia oireita (**Kuva 3**). Myös Taivalkosken ensimmäisestä erästä oli sumpputuksen aikana kuollut vajaat puolet kaloista (merkityt 8/20 ja suojarparvi 18/80). Ossaus- ja Petäjäs-koskella sumpuista löytyi vain yksittäisiä kuolleita vaelluspoikasia (**Taulukko 3**). Näissäkin kuolleissa kaloissa esiintyi kaasukuplataudille tyypillisiä oireita. Myöhemmissä vapautuserissä sumpputuksen aikaista kuolleisuutta ei enää esiintynyt, vaikka sumputuspaikat pysyivät samoina. Toteutuneet merkittyjen kalojen vapautusmäärät olivat yhteensä Valajaskoskella 59 kpl, Petäjäs-koskella 57 kpl, Ossauskoskella 56 kpl, Taivalkoskella 67 kpl ja Isohaarassa 60 kpl (**Taulukko 3**).

Taulukko 3. Vapautettujen lohen vaelluspoikasten lukumäärät vapautuserittäin eri voimalaitosten yläpuolella.

Vapautuspaikka	Vapautetut/Merkityt, yksilömäärä		
	Erä 1 24.5.2024	Erä 2 30.5.2024	Erä 36.6.2024
Valajaskoski	19/20	20/20	20/20
Petäjäs-koski	17/20	20/20	20/20
Ossauskoski	17/20	19/19*	20/20
Taivalkoski	12/20	33/33	23/23
Isohaara	3/20	33/33	24/24

*yhden kalan merkki irronnut siirtojen aikana



Kuva 2. Radiolähettimillä merkittyjen vaelluspoikasten vapautuspaikat sekä kiinteiden radiovastaanottimien ja -antennien sijoituspaikat Kemijoen viidellä alimmalla voimalaitoksella ja niiden ohjauksutuspadoilla sekä Kemijokisuussa.



Kuva 3. Kaasukuplia Isohaaran yläpuolella sumputuksen aikana (23.–24.5.2024) kuolleiden vaelluspoikasten evissä. Kuvat: Miiro Mönttinen, Luke.

3.3. Merkittyjen kalojen seuranta

Radiolähettimellä merkittyjen vaelluspoikasten seurantaan varten Kemijoen rakennetun alajuoksun viidelle alimmalle voimalaitokselle asennettiin kiinteät vastaanotinasemat, jotka koostuivat radiovastaanottimesta (Lotek, SRX1200-D2) ja siihen kytketystä kuusi- tai yhdeksäelementtisestä Yagi-antennista. Vastaanotinasemia asennettiin jokaiselle voimalaitokselle vähintään kolme: 1) voimalaitoksen yläpuolelle, 2) voimalaitoksen alapuolelle 3) ohijuoksutuspadon alapuolelle. Petäjäs- ja Ossauskosken ohijuoksutuspaduille, jotka sijaitsevat voimalaitospadosta ylävirtaan, asennettiin lisäksi neljäs vastaanotinasema ohijuoksutuspadon yläpuolelle. Myös Isohaaraan asennettiin neljä vastaanotinasemaa: yksi vastaanotin Isohaaran voimalaitosten yläpuolelle, yksi vastaanotin ohijuoksutuspadon alapuolelle sekä vastaanottimet kummankin Isohaaran voimalaitoksen alapuolelle. Lisäksi yksi radiovastaanotin asennettiin noin 1000 m Isohaaran voimalaitoksesta alavirtaan, varmistamaan kalojen selviytymistä jokisuulle. Yhteensä käytössä oli 19 kiinteästi asennettua radiovastaanotinasemaa (**Kuva 2**).

Kiinteän automaattiseurannan lisäksi Kemijoen alaosalla tehtiin tutkimuksen aikana manuaalisia paikannuksia kannettavan radiovastaanottimen (Lotek SRX 400) ja neljäelementtisen Yagi-antennin avulla. Manuaalisia paikannuksia tehtiin neljä kertaa Valjaskosken ja Petäjaskosken voimalaitosten välisellä alueella (30.5., 6.6., 12.6. ja 25.6.) ja kaksi kertaa alempien voimalaitosten välillä; Petäjäskoski-Ossauskoski 13.6. ja 25.6., Ossauskoski-Taivalkoski 13.6. ja 26.6., sekä Taivalkoski-Isohaara 17.6. ja 26.6. Manuaalisten paikannusten tavoitteena oli kerätä lisätietoa voimalaitosten välille jääneiden kalojen sijainneista ja varmentaa automaattisilta vastaanottimilta tallentuneita havaintoja.

3.4. Telemetry-aineistojen käsittely

Kaikkiaan seurannassa käytetyt 19 radiovastaanotinta tallensivat 11 058 588 havaintoa. Vastaanottimien tallentamat virheelliset lähetinkoodit, virhesignaalikoodit ja heikon signaalin havainnot (vastaanotetun signaalin voimakkuus <100 yksikköä) poistettiin aineistosta. Lopullinen aineisto sisälsi yhteensä 9 515 744 havaintoa.

Merkittyjen kalojen alasvaellusreitit selvitettiin aineistosta havaintojen ajoittumisen ja radiolähettimien signaalivoimakkuustietojen avulla. Vaelluspoikasen tulkittiin käyttäneen vaellusreittinä ohijuoksutusuomaa, mikäli alavirtaan suunnatun antennin vastaanotin ohijuoksutusuomalla oli tallentanut kalan yksilöllisen lähettimen ja samaa lähetintä ei ollut tallentunut voimalaitoksen alakanavan vastaanotinasemalle. Isohaarassa kalan tulkittiin käyttäneen uinti-reittinä ohijuoksutuspadon, jos ohijuoksutusluukkuja kohti suunnatun antennin vastaanottimen tallentama lähetinkohtainen signaalin voimakkuus oli suurempi ja ajoittui ennen voimalaitosturbiinien alapuolelle suunnattujen antennien signaaleja. Vaelluspoikasten tulkittiin käyttäneen vaellusreittinä voimalaitoksen turbiineja, mikäli alakanavassa olevalta vastaanotinasemalta oli tallentanut havaintoja voimalaitoksen yläpuoliselta vastaanotinasemalta saadun havaintosarjan katkeamisen jälkeen.

Mikäli vaelluspoikasesta ei saatu havaintoa voimalaitoksen alapuolen tai ohijuoksutuspadon vastaanotinasemalta ja kalaa ei löydetty venepaikannuksissa alemmiltä väleiltä, tulkittiin kalan kuolleen voimalaitoksen yläpuolelle. Alakanavassa tai ohijuoksutusuomassa havaitut kalat, joita ei havaittu seuraavalla voimalaitoksella tai ohijuoksutuspadolla (Petäjäskoski ja Ossauskoski) tulkittiin kuolleen voimalaitoksen alapuolen ja seuraavan voimalaitoksen yläpuolen välisellä patoallasosuudella.

Kuolleisuus (%) laskettiin voimalaitosten välisille alueille jakamalla välille jääneiden vaelluspölkosten määrä välillä vaeltaneiden määrällä ja kuolleisuus jokikilometriä kohden (%/km) laskettiin jakamalla saatu kuolleisuus (%) voimalaitosten välisellä etäisyydellä.

Vaellusnopeudet (km/h) laskettiin kalakohtaisesti vapautuspaikan ja ensimmäisen voimalaitoksen välille, jokaiselle voimalaitosvälille sekä vapautuspaikoilta jokisuulle. Voimalaitosten väliset vaellusnopeudet laskettiin ensimmäisestä havainnosta voimalaitoksen alapuolella tai ohijuoksutusuomassa seuraavan voimalaitoksen yläpuolelta saatuun ensimmäiseen havaintoon. Vastaavasti vaellusaika vapautuksen ja ensimmäisen voimalaitoksen välille laskettiin käyttämällä vapautusaikaa ja ensimmäistä voimalaitoksen yläpuolelta saatua havaintoa. Voimalaitosten aiheuttamaksi hidasteeksi laskettiin aika ensimmäisestä havainnosta voimalaitoksen yläpuolelta ensimmäiseen havaintoon alapuolelta.

4. Tulokset

4.1. Kalojen selviytyminen jokisuulle

Radiolähettimellä merkittyjen vaelluspoikasten selviytyminen Valajaskosken yläpuolen vapautuspaikalta jokisuulle oli keskimäärin 10 % (eräkohtainen vaihteluväli 0–16 %), Petäjaskosken vapautuspaikalta 21 % (vaihteluväli 5–35 %), Ossauskosken vapautuspaikalta 34 % (vaihteluväli 20–53 %), Taivalkosken vapautuspaikalta 53 % (vaihteluväli 44–58 %) ja Isohaaran vapautuspaikalta 75 % (vaihteluväli 33–82 %) (**Taulukko 4**). Kaikkiaan parhaiten Isohaaran alapuolelle selviytyvät toisen vapautuserän vaelluspoikaset (53 %).

Taulukko 4. Radiolähettimellä merkittyjen vaelluspoikasten selviytyminen vapautuspaikalta jokisuulle vapautuspaikka- ja vapautuseräkohtaisesti.

Vapautuspaikka	Selviytyneet/Vapautetut, yksilömäärä (%)			Yhteensä
	Erä 1 24.5.2024	Erä 2 30.5.2024	Erä 3 6.6.2024	
Valajaskoski	3/19 (15,8 %)	3/20 (15,0 %)	0/20 (0 %)	6/59 (10,2 %)
Petäjaskoski	4/17 (23,5 %)	7/20 (35,0 %)	1/20 (5,0 %)	12/57 (21,1 %)
Ossauskoski	5/17 (29,4 %)	10/19 (52,6 %)	4/20 (20,0 %)	19/56 (33,9 %)
Taivalkoski	7/12 (58,3 %)	19/33 (57,6 %)	10/23 (43,5 %)	36/68 (52,9 %)
Isohaara	1/3 (33,3 %)	27/33 (81,8 %)	17/24 (70,8 %)	45/60 (75,0 %)
Yhteensä	20/68 (29,4 %)	66/125 (52,8 %)	32/108 (29,6 %)	118/300 (39,3 %)

4.2. Kalojen kuolleisuus voimalaitoksilla ja niiden välillä

Osa vaelluspoikasista ei selviytynyt vapautuspaikoiltaan ensimmäiselle voimalaitokselle saakka (**Taulukko 5**). Selvästi eniten kaloja jäi vapautuspaikan ja ensimmäisen voimalaitoksen välille ensimmäisessä vapautuserässä (**Taulukko 5**). Ensimmäisen vapautuserän kaloista merkittävä osa, erityisesti Taivalkoskella ja Isohaarassa, oli kuollut kaasukuplatautiin sumpuissa jo ennen vapautusta.

Taulukko 5. Vapautuspaikan ja ensimmäisen voimalaitoksen välille jääneiden (=eivät saapuneet ensimmäisen voimalaitoksen yläpuolelle) radiolähettimellä merkittyjen vaelluspoikasten yksilömäärä ja osuus vapautetuista.

Vapautuspaikka	Erä 1 24.5.2024	Erä 2 30.5.2024	Erä 3 6.6.2024	Yhteensä
Valajaskoski	4/19 (21 %)	0/20 (0 %)	2/20 (10 %)	6/59 (10 %)
Petäjaskoski	4/17 (24 %)	0/20 (0 %)	1/20 (5 %)	5/57 (9 %)
Ossauskoski	6/17 (35 %)	0/19 (0 %)	0/20 (0 %)	6/56 (11 %)
Taivalkoski	2/12 (17 %)	2/33 (6 %)	1/23 (4 %)	5/68 (7 %)
Isohaara	2/3 (67 %)	4/33 (12 %)	1/24 (4 %)	7/60 (12 %)
Yhteensä	18/68 (26 %)	6/125 (5 %)	5/108 (6 %)	29/300 (10 %)

Voimalaitosten yläpuolelle saapuneista vaelluspoikasista keskimäärin 89 % jatkoi vaellusta voimalaitospadon alapuolelle, mutta vaihtelua havaittiin sekä voimalaitospatojen välillä että voimalaitospatoilta vapautuserien välillä. Heikoiten vaelluspoikaset läpäisivät Petäjäs-kosken voimalaitospadon, jossa keskimäärin 77 % yläpuolelle saapuneista yksilöistä jatkoi vaellusta sen alapuolelle (**Taulukko 6**). Parhaiten vaelluspoikaset läpäisivät Valajaskosken ja Isohaaran voimalaitospadot (**Taulukko 6**), joilla voimalaitoksen yläpuolelle jäi keskimäärin noin 5 % niiden yläpuolelle saapuneista vaelluspoikasista. Keskimäärin parhaiten ensimmäisen voimalaitospadon läpäisy onnistui ensimmäisessä ja heikoiten kolmannessa vapautuserässä (**Taulukko 6**).

Taulukko 6. Voimalaitospatojen alapuolelle selvinneiden vaelluspoikasten osuus voimalaitospadon yläpuolella havaituista vaelluspoikasista vapautuseräkohtaisesti.

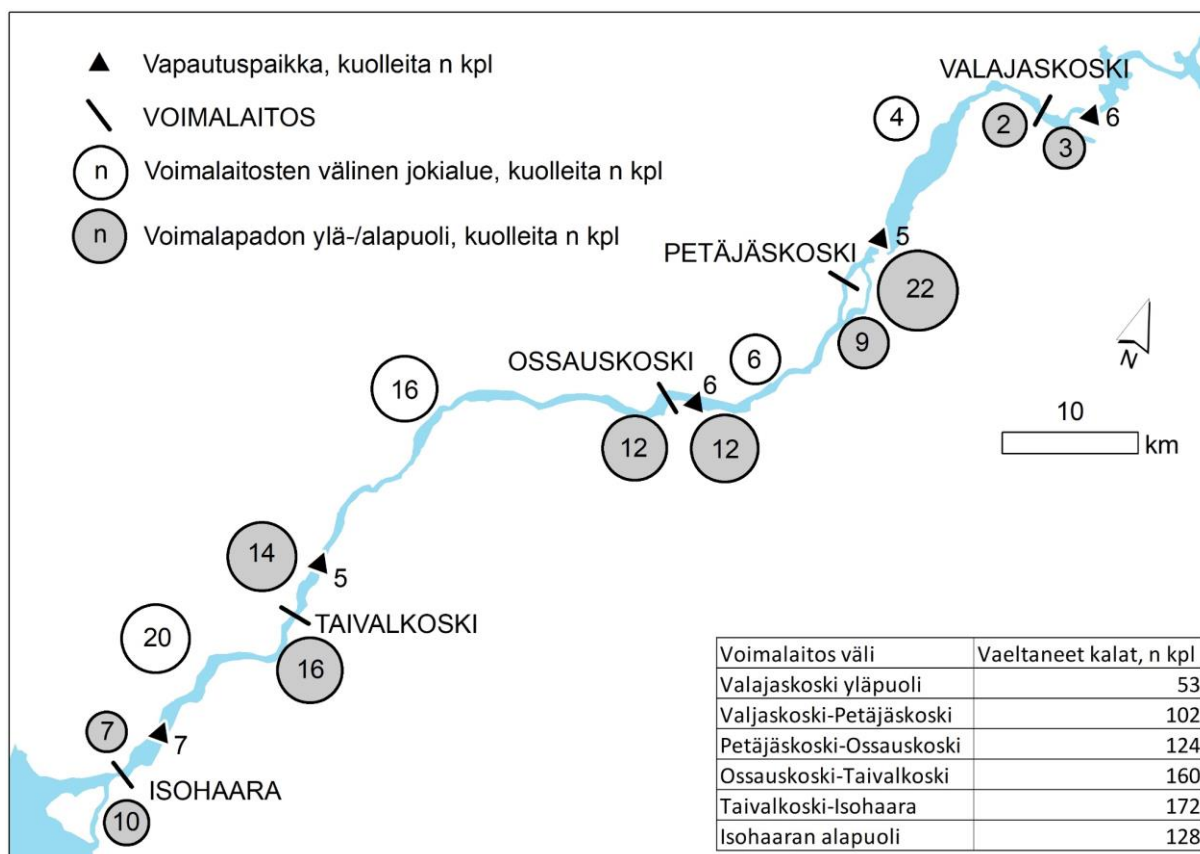
Voimalaitos	Voimalaitospadon läpäisy-%			Yhteensä
	Erä 1 24.5.2024	Erä 2 30.5.2024	Erä 3 6.6.2024	
Valajaskoski	100,0 %	100,0 %	83,3 %	94,3 %
Petäjäs-koski	73,1 %	81,6 %	75,0 %	77,1 %
Ossauskoski	96,6 %	90,9 %	80,6 %	89,0 %
Taivalkoski	96,8 %	93,4 %	80,6 %	90,2 %
Isohaara	100 %	97,2 %	88,4 %	94,8 %
Kaikki	93,3 %	92,6 %	81,5 %	89,1 %

Kuolleisuus oli koko tutkimuksen aikana suurinta (keskimäärin 27,5 %) Valajaskosken ja Petäjäs-kosken voimalaitosten välisellä patoaltaalla (**Taulukko 7**). Lähes yhtä suuri osuus vaelluspoikasista (26,3 %) jäi myös Ossauskosken ja Taivalkosken väliselle patoaltaalle. Suurimmat eräkohtaiset kuolleisuudet olivat kolmannella vapautuserällä (**Liite 1**), mutta Taivalkosken ja Isohaaran välisellä patoaltaalla sekä Valajas- ja Petäjäs-kosken välillä kuolleisuus oli keskimääräistä suurempaa myös ensimmäisellä vapautuserällä.

Voimalaitosten väliset etäisyydet huomioiden kuolleisuus jokikilometriä kohden oli keskimäärin pienintä Ossaus- ja Taivalkosken välillä, joka on toisia patoaltaita kaksi kertaa pidempi (n. 38 km). Muissa patoaltaissa kuolleisuus kilometriä kohden oli keskimäärin keskenään samantaista (**Taulukko 7**), mutta yleisesti hieman korkeampaa Taivalkosken ja Isohaaran välisellä patoaltaalla (**Liite 1**). Voimalaitosten välisillä jokisuuksilla kalojen kuolleisuus keskittyi patojen ylä- ja alapuolen läheisyyteen (**Kuva 4**). Isohaaran voimalaitospadon alapuolelle arvioitiin kuolleen automaattisista radiovastaanottimista tallentuneiden havaintojen perusteella 10 yksilöä (**Kuva 4**).

Taulukko 7. Voimalaitosten välille jääneiden ja ko. välillä tutkimuksen aikana vaeltaneiden radiolähtimellä merkittyjen vaelluspoikasten lukumäärät sekä näiden perusteella laskettu kuolleisuus (%) ja kuolleisuus jokikilometriä kohden (%/km) vapautuseräkohtaisesti. Yksilömäärät ja niiden perusteella lasketut kuolleisuudet (% ja %/km) sisältävät kaikki ko. voimalaitosten välillä vaeltaneet ja välille vapautetut vaelluspoikaset.

Voimalaitosten väli	Kuolleet/Vaeltaneet, yksilömäärä (kuolleisuus %; %/km)			Yhteensä
	Erä 1 24.5.2024	Erä 2 30.5.2024	Erä 3 6.6.2024	
Valajaskoski-Petäjaskoski	9/28 (32,1 %; 1,5 %/km)	9/40 (22,5 %; 1,0 %/km)	10/34 (29,4 %; 1,3 %/km)	28/102 (27,5 %; 1,2 %/km)
Petäjaskoski-Ossauskoski	2/30 (6,7 %; 0,4 %/km)	11/50 (22,0 %; 1,2 %/km)	14/44 (31,8 %; 1,7 %/km)	27/124 (21,8 %; 1,1 %/km)
Ossauskoski-Taivalkoski	8/38 (21,1 %; 0,6 %/km)	15/71 (21,1 %; 0,6 %/km)	19/51 (37,3 %; 1,0 %/km)	42/160 (26,3 %; 0,7 %/km)
Taivalkoski-Isohaara	11/31 (35,5 %; 1,9 %/km)	15/86 (17,4 %; 0,9 %/km)	17/55 (30,9 %; 1,6 %/km)	43/172 (25,0 %; 1,3 %/km)



Kuva 4. Tutkimuksessa kuolleeksi todettujen radiolähtimellä merkittyjen vaelluspoikasten lukumäärät jaettuna voimalaitospatojen ylä- ja alapuolelle sekä voimalaitosten välisille alueille. Vapautuspaikalle kuolleiksi merkityistä kaloista ei saatu vapautuksen jälkeen vastaanottimilla havaintoja. Kuvan taulukossa esitetään kullakin alueella vaeltaneiden poikasten kokonaismäärät, joihin kuolleisuustietoja voi suhteuttaa.

Ohjuoketusluukkuja voimalaitospadon ohittamiseen käyttäneet vaelluspoikaset selviytyivät yhtä todennäköisesti seuraavalle voimalaitokselle kuin turbiinien läpi uineet (72,0 % vs. 73,1 %). Esimerkiksi Valajaskosken turbiinien läpi uineista vaelluspoikasista 66,7 % selviytyi Petäjaskosken voimalaitokselle, kun vastaavasti Valajaskosken ohjuoketusluukkujen kautta kulkeneista kaloista 65,4 % selvisi Petäjaskoskelle. Petäjaskosken ohjuoketusluukut läpäisseistä kaloista 85,7 % ja turbiinien läpi uineista 74,6 % selviytyi Ossauskoskelle. Ossauskoskelta Taivalkoskelle selviytyminen ohjuoketusluukkujen kautta oli 56,0 % ja voimalaitoksen turbiinien läpi 66,0 %. Taivalkosken voimalaitokselta selviytyminen Isohaaraan oli ohjuoketusluukut läpäisseillä 82,6 % ja turbiinin läpi alasvaeltaneilla 72,0 %. Isohaarasta jokisuulle puolestaan selvisi ohjuoketusluukkuja käyttäneistä 78,5 % ja turbiinin läpäisseistä 80,0 %.

4.3. Kalojen reitinvalinta voimalaitoksilla

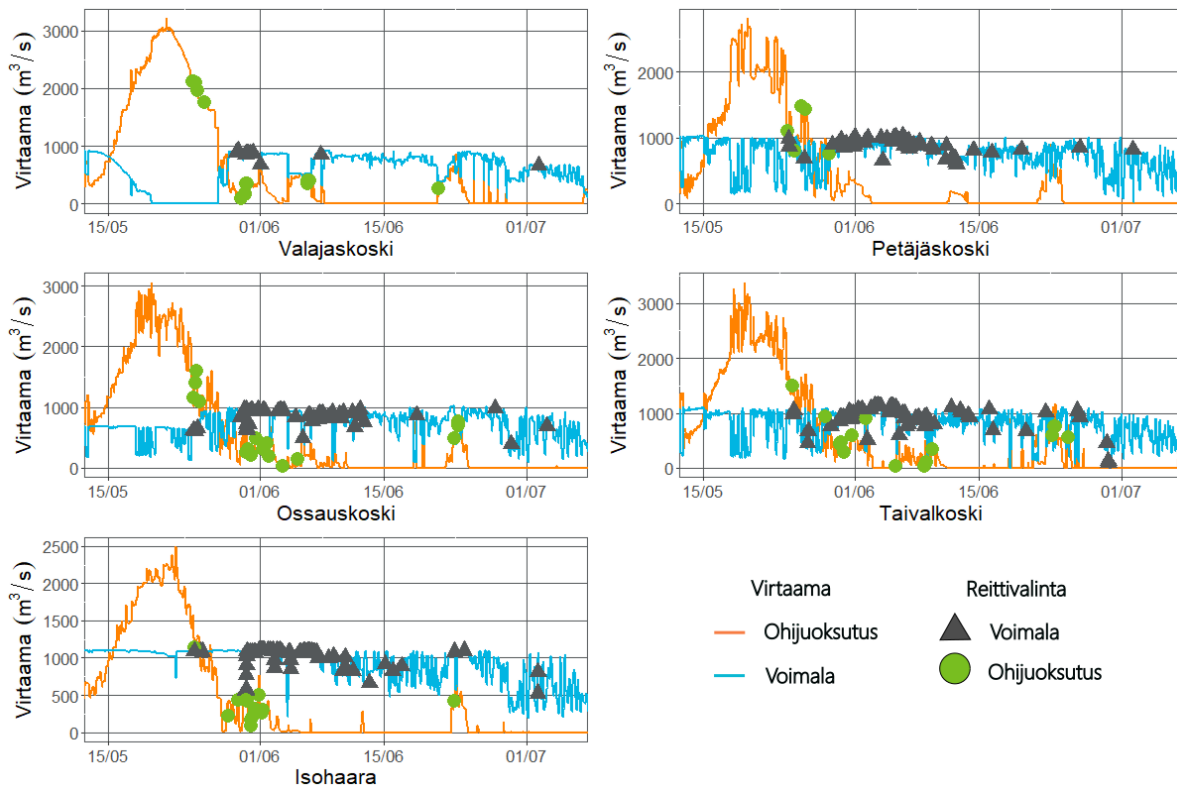
Tutkimuksessa yleisimpänä alasvaellusreittinä voimalaitosrakenteen ohi toimivat voimalaitos-turbiinit. Kaikkiaan turbiinin läpäisyjä havaittiin 358 kappaletta, mikä oli 77 % kaikista voimalaitosrakenteen läpäisyistä (466 kpl) (**Taulukko 8**). Vastaavasti ohjuoketusluukut toimivat alasvaellusreittinä 108 kertaa (23 %). Useimmiten vaelluspoikaset käyttivät ohjuoketusluukkuja alasvaellusreittinä Valajaskoskella, missä kaikkiaan 52 % poikasista valitsi sen reitiksi. Vähiten vaelluspoikasista vaelsi alas ohjuoketusluukkujen kautta Petäjaskoskella (11 %). Kolmella alimmalla voimalaitoksella ohjuoketusluukkujen käyttö vaellusreittinä oli samaa suuruusluokkaa (20–24 %).

Ohjuoketusluukkujen käyttö alasvaellusreittinä oli korkeinta (33 %) ensimmäisessä vapautuserässä ja laski seuraavissa erissä ollen toisessa erässä 23 % ja kolmannessa erässä 17 %. Tutkimuksen edetessä ohjuoketusvirtaama laski ja sen käyttö vaellusreittinä oli mahdollista vain hetkellisesti toisen ja kolmannen erän vapautuksien jälkeen (**Kuva 5**).

Taulukko 8. Kalojen alasvaellusreittivalinnat Kemijoen voimalaitoksilla vapautuspaikoittain ja -erittäin. Havaitut voimalaitosrakenteen läpäisy (kpl) ovat eroteltuna ohjuoketusluukkujen (oranssi) ja turbiinien (sininen) kautta alasvaeltaneisiin. Isohaaran osalta uuden (keskimmäinen rivi) ja vanhan (alin rivi) voimalaitoksen turbiinien läpäisy on esitetty erikseen.

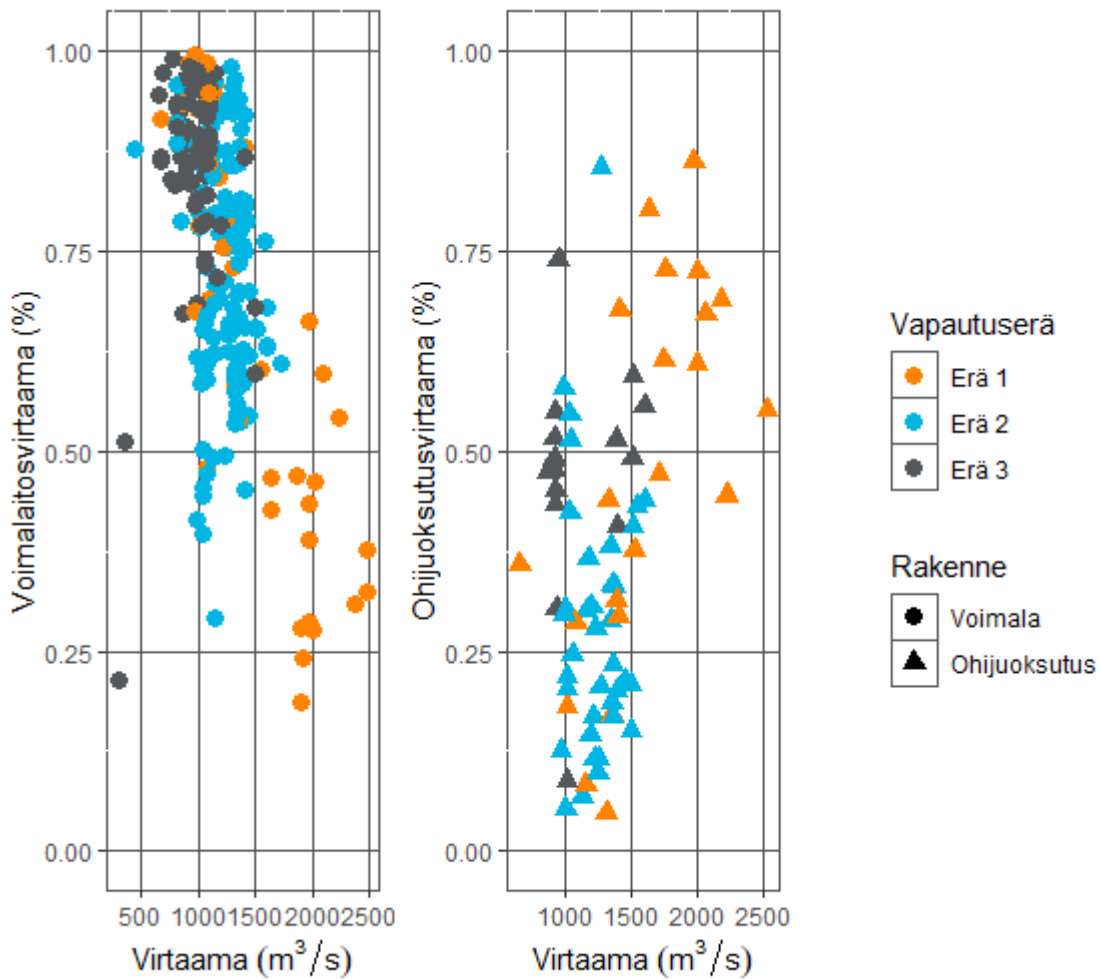
Voimalaitos	Vapautuspaikka														
	Valajaskoski			Petäjaskoski			Ossauskoski			Taivalkoski			Isohaara		
	Erä 1 n=19	Erä 2 n=20	Erä 3 n=20	Erä 1 n=17	Erä 2 n=20	Erä 3 n=20	Erä 1 n=17	Erä 2 n=20	Erä 3 n=20	Erä 1 n=12	Erä 2 n=33	Erä 3 n=23	Erä 1 n=3	Erä 2 n=33	Erä 3 n=24
Valajaskoski	7 8	9 11	10 5												
Petäjaskoski	3 6	0 14	1 8	4 6	0 17	0 16									
Ossauskoski	2 6	4 5	0 4	4 6	1 11	1 8	3 7	7 12	1 15						
Taivalkoski	0 5	0 4	0 1	0 7	0 7	1 5	2 6	2 12	3 4	5 3	8 23	2 16			
Isohaara	0 2 1	0 2 1	0 0 0	1 2 1	2 3 2	1 1 0	1 1 3	2 7 1	0 2 1	4 2 1	8 12 2	0 10 1	0 1 0	6 10 12	3 10 8

Yleisesti vaelluspoikasten valitessa ohijuoksutusluukun alasvaellusreitikseen oli virtaama ohijuoksutusluukun läpi pienempi kuin turbiinivirtaama samalla hetkellä (**Kuva 5**). Ainoastaan Petäjaskosken voimalaitoksella kalat käyttivät ohijuoksutusluukkuja vain, jos virtaama niiden kautta oli turbiinien kautta menevää virtaamaan suurempi (**Kuva 5**). Petäjaskoskella ohijuoksutuksen keskivirtaama oli 1 115 m³/s (vaihteluväli 98–2 114 m³/s) ja voimalaitoksen turbiinien 873 m³/s (603–1 026 m³/s) radiolähettimellä merkittyjen vaelluspoikasten mennessä niiden läpi. Valajaskoskella vaelluspoikaset ohittivat voimalaitosrakenteen ohijuoksutusluukkujen kautta ohijuoksutusvirtaaman ollessa keskimäärin 704 m³/s (98–2 114 m³/s) ja turbiinien läpäisyyssä keskivirtaama oli 847 m³/s (668–914 m³/s). Vastaavasti Ossauskosken ohijuoksutuksen keskivirtaama oli 634 m³/s (24–1 597 m³/s) ja turbiinien keskivirtaama 806 m³/s (497–964 m³/s). Taivalkoskella ohijuoksutuksen keskivirtaama oli 593 m³/s (39–1 502 m³/s) ja turbiinien keskivirtaama 908 m³/s (92–1 136 m³/s). Isohaaran voimalaitoksella vaelluspoikaset käyttivät ohijuoksutusuomaa muihin voimalaitoksiin verrattuna pienimmillä virtaamilla (keskiarvo: 470 m³/s ja vaihteluväli 94–1 142 m³/s). Isohaarassa keskivirtaama turbiineilla oli 968 m³/s (524–1 100 m³/s) kalojen valitessa sen reitikseen.



Kuva 5. Virtaamat ja lohen vaelluspoikasten alasvaellusreittien valinnat Kemijoen voimalaitoksilla. Kuvaajissa on eritelty ohijuoksutus- (oranssi) ja turbiinivirtaamat (sininen).

Alasvaellusreitien valintaan vaikutti virtaaman jakautuminen turbiinien ja ohijuoksutuksen välillä (**Kuva 6**). Kaikkiaan 65 %:lla (309 kpl) vaelluspoikasista oli mahdollisuus valita alasvaellusreitti turbiinin ja ohijuoksutusuoman välillä (ohijuoksutusvirtaama >0 m³/s). Näistä 226 (73,1 %) vaelluspoikasta vaelsi voimalaitoksen alapuolelle turbiinien läpi. Ohijuoksutusvirtaaman ollessa alle 25 % kokonaisvirtaamasta, vain 25 (8,1 %) vaelluspoikasta käytti ohijuoksutusluukkuja alasvaellusreitteinään ja 123 (39,8 %) yksilöä valitsi turbiinit. Ohijuoksutuksen ollessa 25–50 % kokonaisvirtaamasta 37 (12,0 %) vaelluspoikasta valitsi alasvaellusreitikseen ohijuoksutusluukut ja turbiinit 82 (26,5 %) vaelluspoikasta. Yli 50 % ohijuoksutuksen osuudella 21 (6,8 %) vaelluspoikasta valitsi reitikseen ohijuoksutusluukut ja turbiinit 21 (6,8 %) yksilöä.



Kuva 6. Voimalaitoksen turbiineiden (vasen) ja ohjuoksutuksen (oikea) läpi menneen veden osuus kokonaisvirtaamasta vaelluspoikasten mennessä rakenteen läpi. Virtaama-akselilla on Kemijoen kokonaisvirtaama alasvaellushetkenä.

Niistä jokisuuhun selvinneistä kaloista, jotka olivat ohittaneet enemmän kuin yhden voimalaitoksen, pelkästään ohjuoksutusluukkuja alasvaellusreittinään käytti vain neljä yksilöä, kun pelkästään turbiineita alasvaellusreittinään käyttäneitä oli 28 yksilöä (**Liite 2**). Loput jokisuuhun selvinneistä ja enemmän kuin yhden voimalaitosrakenteen ohittaneista kaloista (21 kpl) käyttivät alasvaellusreittinään vaihtelevasti ohjuoksutusluukkuja ja turbiineja. Vaelluspoikainen valitsi yhtä todennäköisesti reitkseen turbiinit, kun se oli edellisellä padolla mennyt ohjuoksutusluukuista kuin vaihtoi turbiineista mentyään ohjuoksutusluukkuihin. Edellisestä alasmenosta poikkeava reitin valinta havaittiin yhteensä 72 kertaa. Vaihdoista 50 % oli vaihtoja ohjuoksutusluukuista turbiineihin ja 50 % oli vaihtoja turbiineista ohjuoksutusluukkuihin.

4.4. Vaellusnopeus

Kaikkien viiden voimalaitosten läpi vaeltaneiden vaelluspoikasten mediaani vaellusaika Isohaaran voimalaitoksen alapuolelle oli 234 tuntia ($n = 6$, vaihteluväli 97–305 h). Poikasten vaellusnopeudet voimalaitosten välisillä osuuksilla, edellisen voimalaitoksen alapuolelta seuraavan voimalaitoksen yläpuolelle, olivat huomattavasti hitaampia kahdella ylimmällä voimalaitosvälillä. Nopeinta vaellus oli Ossauskosken ja Taivalkosken välillä (mediaani 1,67 km/h) (**Taulukko 9**).

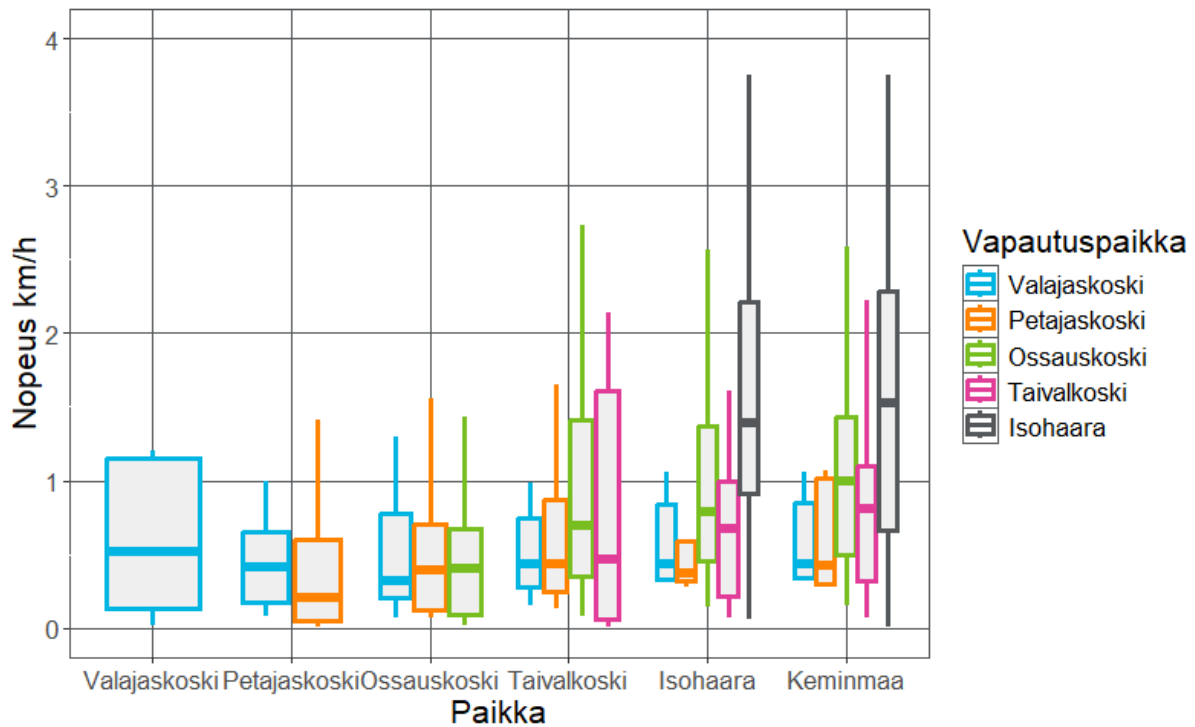
Kahdella alimmalla patoaltaalla (Ossauskosken ja Taivalkosken sekä Taivalkosken ja Isohaaran voimalaitosten väleillä) vaellusnopeudet hieman laskivat ensimmäisen vapautuserän ja toisen vapautuserän välillä, mutta vaellusnopeudet kolmannessa vapautuserässä olivat samansuuruisia kuin toisessa erässä. Ylemmillä patoaltailla (Valajas- ja Petäjäsken sekä Petäjäs- ja Ossauskosken voimalaitosten väleillä) havaittiin päinvastainen vaellusnopeuksien muutos. Näillä patoaltailla ensimmäisen vapautuserän vaelluspoikasten nopeus oli huomattavasti matalampi verrattuna toiseen tai kolmanteen vapautuserään (**Taulukko 9**). Voimalaitospatojen välisissä nopeuksissa ei ole mukana voimalaitosten yläpuolella vietettyä aikaa.

Voimalaitosten havaittiin hidastavan poikasten alasvaellusta huomattavasti. Pisin voimalaitoksen aiheuttama vaelluksen hidastuminen oli Petäjäsken voimalaitoksen yläpuolella, missä hidastevaikutuksen mediaani oli noin 39 tuntia (**Taulukko 9**). Toiseksi eniten kalojen vaeltamista hidasti Ossauskosken voimalaitos, jonka yläpuolella vaelluspoikaset viipyivät noin 9 tuntia. Kaikkien muiden voimalaitosten aiheuttama vaelluksen hidastuminen oli huomattavasti alhaisempaa: Valajäsken voimalaitoksella hidasteen mediaani oli noin 3 h, Taivalkosken voimalaitoksella 2 h ja Isohaarassa vain 18 minuuttia (**Taulukko 9**). Eräkohtainen vaihtelu oli huomattavan suurta, esimerkiksi Petäjäsken voimalaitoksella vaellus hidastui ensimmäisessä erässä mediaanina 141 tuntia ja kolmannessa erässä 34 tuntia.

Taulukko 9. Vaelluspoikasten mediaani vaellusnopeudet (km/h, ja vaihteluväli) eri voimalaitosten välillä ja poikasten mediaani hidasteajat (=voimalaitoksen läpäisyyn kulunut aika, hh:min, ja vaihteluväli) voimalaitoksittain. Vaellusnopeudet on laskettu edeltävän voimalaitoksen alapuolelta seuraavan voimalaitoksen yläpuolelle, eikä niissä ole mukana voimalaitospatojen läpäisyyn kulunutta aikaa (=hidasteaika). Vaellusnopeudet on laskettu kaloille, jotka ovat vaeltaneet koko välin. Voimalaitoksen läpäisyyn hidasteaika on laskettu kaikille voimalaitospadosta alasvaeltaneille poikasille.

Voimalaitos väli	Vaellusnopeus, km/h tai hidasteaika, hh:mm (vaihteluväli)			Kaikki erät
	Erä 1 24.5.2024	Erä 2 30.5.2024	Erä 3 6.6.2024	
Valajäsken hidasteaika	0 h 11 min (00:03–03:13)	5 h 10 min (01:35–34:10)	2 h 37 min (02:35–71:00)	3 h 7 min (00:03–71:00)
Valajäsken-Petäjäsken	0,16 km/h (0,06–1,17)	0,72 km/h (0,16–1,58)	0,69 km/h (0,45–3,10)	0,64 km/h (0,06–3,10)
Petäjäsken hidasteaika	140 h 38 min (17:00–336:12)	50 h 15 min (01:27–149:36)	34 h 00 min (01:55–98:24)	38 h 35 min (01:27–336:12)
Petäjäsken-Ossauskosken	0,15 km/h (0,09–4,51)	1,45 km/h (0,08–3,20)	0,73 km/h (0,05–2,35)	0,55 km/h (0,05–4,51)
Ossauskosken hidasteaika	2 h 9 min (00:09–340:42)	2 h 5 min (00:06–28:28)	22 h 27 min (00:51–219:23)	9 h 16 min (00:06–340:42)
Ossauskosken-Taivalkosken	2,41 km/h (0,17–3,88)	1,45 km/h (0,09–3,16)	1,47 km/h (0,09–3,13)	1,67 km/h (0,09–3,88)
Taivalkosken hidasteaika	0 h 15 min (00:06–04:11)	2 h 6 min (00:06–139:37)	63 h 1 min (00:38–407:51)	1 h 57 min (00:06–407:51)
Taivalkosken-Isohaara	1,93 km/h (0,10–3,20)	1,14 km/h (0,21–3,33)	1,25 km/h (0,05–3,72)	1,21 km/h (0,05–3,72)
Isohaara hidasteaika	0 h 11 min (00:05–148:36)	0 h 18 min (00:05–254:21)	0 h 50 min (00:05–315:39)	0 h 18 min (00:05–315:39)

Vaellusnopeustarkasteluissa, joihin sisältyi voimalaitosten aiheuttama hidaste, oli vaellus hitainta Valajaskosken alapuolelta Petäjaskosken alapuolelle (mediaaninopeus 0,23 km/h). Hidasteajat sisältävät vaellusnopeudet olivat pääosin tasaisia vapautuspaikasta riippumatta eli aikaisemman voimalaitospadon/patojen läpäisy ei vaikuttanut vaellusnopeuteen verrattuna vasta ensimmäistä patoaan ohittaviin vaelluspoikasiin. Poikkeuksena tästä olivat Isohaaran yläpuolelle vapautetut vaelluspoikaset, jotka vaelsivat merkittävästi nopeammin Isohaaran voimalaitoksen ohi kuin jo yhden tai useamman voimalaitoksen ohittaneet vaelluspoikaset (**Kuva 7**).



Kuva 7. Voimalaitosten yläpuolella vietetyn ajan (hidasteaika) sisältävät mediaani vaellusnopeudet (km/h) vaihteluväleineen Kemijoen alajuoksun voimalaitosten välisillä osuuksilla. Vaellusnopeudet on laskettu vapautuspaikoilta ensimmäisen voimalaitoksen alapuolelle ja siitä eteenpäin edellisen voimalaitoksen alapuolelta seuraavan voimalaitoksen alapuolelle. Vaellusnopeudet on esitetty jokaiselle voimalaitosvälille vapautuspaikoittain (sininen = Valajaskoski, oranssi = Petäjaskoski, vihreä = Ossauskoski, pinkki = Taivalkoski ja musta = Isohaara).

5. Tulosten tarkastelu

5.1. Selviytyminen jokisuulle

Kemijoen rakennetulla alajuoksulla viiden voimalaitospadon läpi Kemijokisuulle selviytyi keskimäärin 10 % radiolähettimellä merkityistä vaelluspoikasista. Vapautuseräkohtaiset erot selviytymisessä olivat suuria, kahdesta ensimmäisestä erästä 15–16 % poikasista selviytyi jokisuulle, mutta kolmannelta vapautuserästä jokisuulle ei selviytynyt yksikään vaelluspoikanen. Selviytyminen oli heikompaa kuin vuonna 2023 tehdyssä radiotelemetriatutkimuksessa, missä 25 % vaelluspoikasista selviytyi Valajaskoskelta jokisuulle (Mönttinen ym. 2024). Toisaalta tässä tutkimuksessa havaittu selviytyminen oli samaa suuruusluokkaa aiemmin Kemijoen alajuoksulla tehdyssä telemetriatutkimuksessa havaitun kanssa (Huusko ym. 2016). Verrattuna muihin rakennettuihin jokiin, Kemijoella havaittu alhaiset selviytymistasot eivät ole poikkeuksellisia. Esimerkiksi Iijoen on havaittu heikompia selviytymisprosentteja vastaavan voimalaitosmäärän läpi (Huusko ym. 2012, Huusko ym. 2024). Toisaalta ruotsalaisella Klarälven-joella kahdeksan voimalaitoksen läpi on selviytynyt jopa 16–32 % lohien vaelluspoikasista (Norrgård ym. 2013, Norrgård ym. 2024).

Kaikki vapautuspaikat huomioiden keskimäärin selvästi parhaiten vaelluspoikaset selviytyivät Kemijokisuulle toisesta vapautuserästä. Mahdollisesti kalojen vaellusvalmius ja ympäristöolosuhteet, kuten veden lämpötila ja virtaama, olivat alasvaelluksen kannalta tuolloin optimaalisimmillaan. Toisaalta myös ensimmäistä vapautuserää vaivannut kaasukuplatauti ja voimakkaat ohijuoksutukset olivat toiseen vapautuserään mennessä selvästi vähentyneet. Toisen vapautuserän aikana Kemijoen voimalaitoksilla, lukuun ottamatta Petäjäskeä, esiintyi vielä kohtalaisia ohijuoksutuksia, mikä mahdollisti padon ohittamisen myös ohijuoksutusomien kautta ja saattoi osaltaan parantaa poikasten selviytymistä.

Rakennetuilla joilla patojen määrän lisääntyessä kuolleisuutta aiheuttavat tekijät kertautuvat (Mäki-Petäys ym. 2013, Huusko ym. 2014). Tämä näkyi selvästi tässä tutkimuksessa, missä vaelluspoikasten kuolleisuus kasvoi suuremmaksi voimalaitosten ohitusten lisääntyessä. Esimerkiksi ensimmäisen vastassa olevan voimalaitospadon alapuolelle pääsi keskimäärin 83 % vaelluspoikasista, näistä enää 67 % pääsi seuraavan voimalaitoksen alapuolelle. Samoin kuin vuoden 2023 tutkimuksessa, useamman voimalaitoksen ohittaneilla oli suurempi todennäköisyys jäädä voimalaitosvälille kuin vähemmän voimalaitoksia ohittaneilla. Esimerkiksi Valajaskosken vapautuserät selvisivät kokonaisuutena heikommin voimalaitosten alapuolelle kuin saman välin uineet Petäjäs- tai Ossauskoskelta vapautetut vaelluspoikaset (**Liite 1**). Useilla padoilla tapahtuvan vaelluksen pysähtymisen, padon läpäisystä aiheutuvan ja laajoilla patoilla tapahtuvan kuolleisuuden vuoksi kokonaisselviytyminen jokisuulle oli lopulta vähäistä.

Kesän 2024 tutkimus osoitti selvästi, kuinka saman kevätkesän aikana hieman eri ajankohtina vapautettujen vaelluspoikasten selviytymisessä voi olla suuria eroja. Tämä korostaa tarvetta käyttää tutkimushankkeissa useita vapautuseriä ja riittävän suurien kalamäärien tulosten yleis-tettävyyden varmistamiseksi.

5.2. Alasvaellusreitin valinta

Tässä tutkimuksessa lohien vaelluspoikaset käyttivät alasvaellusreittinään useimmin ohijuoksutusuosia ensimmäisessä vapautuserässä (33 %). Tätä selittänee osaltaan se, että ensimmäisen vapautuserän aikaan jokaisella Kemijoen alaosan voimalaitoksella oli ohijuoksutusta, mutta tutkimuksen edetessä ja joen kokonaisvirtaaman laskiessa ohijuoksutukset muuttuivat epäsäännöllisemmiksi loppuen osalla voimalaitoksista ajoittain kokonaan, jolloin poikasilla ei ollut muuta alasvaellusreittiä kuin uiminen voimalaitosten turbiinien läpi. Ohijuoksutusten väheneminen tai päättyminen selittänee osaltaan alasvaellusreitin valintaa myös tilanteissa, jolloin vaelluspoikanen vaihtoi vaellusreitikseen turbiinit, vaikka oli aiemmin vaeltanut alas ohijuoksutusuosien kautta.

Vaelluspoikasten kuolleisuus voi nousta, jos alasvaellusreitiksi on valittavana vain voimalaitoksen turbiinit. Tämä korostuu erityisesti voimalaitoksilla, joiden vedenotto on syvällä ja alasvaellusreitin löytäminen jo valmiiksi haastavaa. Klarälven-joella havaittiin patokohtaisen alasvaelluksen onnistumisen kasvavan, kun padoilla oli käytössä ohijuoksutuksia (Norrgård ym. 2024). Klarälvenillä selvimmät vaikutukset alasvaelluksen onnistumisessa (padolle jääneiden osuus pieneni 20 %:sta 2 %:iin) havaittiin tilanteessa, missä ohijuoksutukset olivat 44 % joen kokonaisvirtaamasta (Norrgård ym. 2024). Kemijoella tällainen ilmiö voisi konkretisoitua esimerkiksi Valajaskoskella kohonneena kuolleisuutena tilanteessa, missä ohijuoksutuksia on vähemmän kuin tämän tutkimuksen aikana. Valajaskoskella vaelluspoikaset suosivat ohijuoksutusuosia suhteutettuna virtaamiin ja yli puolet poikasista (52 %) valitsi sen alasvaellusreitikseen. Poikkeuksena muihin voimalaitoksiin, Valajaskoskella oli ohijuoksutuksia jokaisen vapautuserän aikana, mikä osaltaan selittää ohijuoksutusuosien laajaa käyttöä alasvaellusreitinä.

Poikaset käyttivät ohijuoksutusta virtaamaosuuteen suhteutettuna odotettua harvemmin alle 25 % virtaamaosuudella. Kun taas yli 50 % ohijuoksutuksen osuudella kalat käyttivät kumpakin rakennetta yhtä paljon. Tämä johtunee pääosin siitä, että vaelluspoikaset seuraavat voimakkainta virtaa. Matalilla ohijuoksutusosuuksilla voimalaitokselle johtavasta päävirrasta poikkeavan reittimahdollisuuden havaitseminen vaikeutuu.

Petäjäsken padolla vaelluspoikaset uivat ohijuoksutusluukkujen kautta vain tilanteissa, missä ohijuoksutuksen osuus oli yli 50 % joen kokonaisvirtaamasta. Petäjäskenkella ohijuoksutus tapahtuu erilliseltä padolta noin 1,7 km varsinaiselta voimalaitokselta ylävirtaan, jolloin päävirran mukana liikkuvat vaelluspoikaset uivat todennäköisesti ohijuoksutuspadon ohi huomaamatta sinne kääntyvää virtausta tilanteissa, joissa ohijuoksutuksen määrä kokonaisvirtaamasta jää selvästi alle 50 %.

Vaelluspoikaset selviytyivät turbiinin läpi yhtä todennäköisesti seuraavalle voimalaitokselle kuin ohijuoksutusuosien läpi (72,0 % vs. 73,1 %). Havainto viittaa siihen, etteivät voimalaitosten ohijuoksutusuosat välttämättä ole Kemijoella käytössä olevia Kaplan-turbiineja turvallisempia alasvaellusreittejä. Tulos on päälinoiltaan samanlainen vuoden 2023 tutkimuksen kanssa, vaikka kokonaiskuolleisuus rakenteiden läpi oli kyseisessä tutkimuksessa noin 15 % yksikköä pienempi verrattuna tässä tutkimuksessa havaittuun (Mönttinen ym. 2024).

5.3. Alasvaelluksen pullonkaulat ja ongelmat

5.3.1. Kuolleisuus ja sen jakautuminen

Tässä tutkimuksessa suurin kuolleisuus esiintyi Valajaskosken ja Petäjaskosken välisellä patoaltaalla. Sama alue havaittiin ongelmallisimmaksi myös kahdessa aiemmassa Kemijoen telemetriatutkimuksessa (Huusko ym. 2016, Mönttinen ym. 2024). Kyseisen voimalaitosvälin korkea kuolleisuus selittyy osaksi Petäjaskosken voimalaitoksen heikoimmalla läpäisytehokkuudella, sillä useimmat Valajaskoskesta alasvaeltaneista poikasista selviytyivät Petäjaskosken voimalaitoksen yläpuolelle, mutta eivät enää uineet voimalaitoksen alapuolelle.

Petäjaskosken voimalaitos myös hidasti vaelluspoikasten alasvaellusta kaikista voimalaitoksista selvästi eniten. Petäjaskosken läpi vaeltaneet poikaset viettivät voimalaitoksen yläpuolella noin puolitoista vuorokautta ennen siirtymistään voimalaitoksen alapuolelle. Petäjaskosken voimalaitoksen vedenotto tapahtuu muita Kemijoen voimalaitoksia syvemmältä (ks. **Taulukko 1**), mikä osaltaan selittää veden pintakerroksessa vaeltavien lohenpoikasten pysähtymistä Petäjaskosken yläpuolelle. Muilla voimalaitoksilla vaelluksen hidastuminen oli huomattavasti vähäisempää ja esimerkiksi Isohaaran voimalaitoksella lohen poikaset vaelsivat voimalaitoksen ohi yleensä alle tunnissa. Voimalaitosten aiheuttamassa vaelluksen hidastumisessa havaittiin kuitenkin osalla voimalaitoksista suuria eroja vapautuserien välillä. Tämä voi liittyä virtaamatilanteiden muutoksiin kesän edetessä, sillä pisimmät hidasteajat esim. Ossauskosken ja Taivalkosken voimalaitoksilla (yli 20 tuntia) olivat viimeisessä vapautuserässä, jolloin tulvavirtaamat olivat jo ohitse.

Voimalaitosten välien mediaani vaellusajat laskettuna yhteen, ilman voimalaitosten hidastevaikutusta, on noin 109 tuntia Valajaskosken yläpuolelta Isohaaran alapuolelle. Voimalaitosten mediaanihidasteet mukaan luettuna, vaellukseen käytetty aika kasvaa noin 47 % (160 h). Tutkimuksessa havaittu vaellukseen käytetyn ajan mediaani oli Valajaskosken yläpuolelta jokisuulle 234 tuntia, mikä oli 105 tuntia vähemmän kuin Kemijoella vuonna 2023 toteutetussa tutkimuksessa (Mönttinen ym. 2024). Ero laskennallisen ja havaitun vaellukseen käytetyn ajan välillä voi selittyä Valajaskosken vapautuserien huonosta selviytymisestä jokisuulle ($n=6$) ja tästä johtuvasta pienestä otannasta. Laskennalliseen vaellusaikaan sisältyvät kaikki edes yhden voimalaitosvälin kulkeneet kalat riippumatta niiden selviytymisestä jokisuulle. Laskennallinen vaellusaika saattaa siten antaa paremman käsityksen vaelluspoikasten alasvaelluksen ajallisesta kestosta Kemijoen rakennetulla alajuoksulla.

Voimalaitosten aiheuttama merkittävä vaelluksen hidastuminen pakottaa vaelluspoikaset viettämään pitkiä aikoja vaelluspoikasille epäsuotuisissa olosuhteissa voimalaitosten yläaltaissa. Lisäksi Kemijoen alemmien voimalaitosten aiheuttamat hidasteet pitenevät kesän edetessä, jolloin myöhempään saapuvien poikasten vaellus hidastuu entisestään. Yläaltaassa vietetty aika voi kasvattaa vaelluspoikasten kuolleisuutta mm. predaatoriskin lisääntyessä (Aarestrup & Koed 2003, Venditti ym. 2000). Ilman kasvanutta predaatoriskiäkin viivästyminen ns. smolttikkunasta (otollisin aika siirtyä merelle) voi heikentää smolttien kasvua ja selviytymistä merellä (esim. McCormick ym. 1998, Mäntyniemi ym. 2012).

Voimalaitospatojen yläpuolelle jääneiden lohen vaelluspoikasten määrässä on havaittu voimalaitoskohtaisia eroja myös Iijoella tehdyissä tutkimuksissa (Huusko ym. 2012, 2024) ja selviä voimalaitoskohtaisia eroja havaittiin myös taimenen vaelluspoikasilla Oulujärveen laskevalla Hyrynsalmen reitillä (Hyvärinen ym. 2024). Iijoella ja Oulujoen Hyrynsalmen reitillä

voimalaitosten vaellusta pysäyttävän vaikutuksen havaittiin olevan jopa 65 % (lijoen Pahkakoskella, Huusko ym. 2024, Hyrynsalmen reitin Seitenoikealla, Hyvärinen ym. 2024). Myös muualla maailmalla tehdyissä tutkimuksissa on havaittu vastaavaan voimalaitosten yläpuolelle pysähtymistä; esimerkiksi kanadalaisen Winooski joen Essex voimalaitospadolla havaittiin, että yläkanavaan saapuneista lohen vaelluspoikasista 35 % ei vaeltanut padon alapuolelle tutkimuksen aikana (Nyqvist ym. 2016).

Tämän tutkimuksen osalta jokikilometriä kohden lasketut kuolleisuudet vaihtelivat patoaltaiden välillä 0,7–1,2 %/km (eräkohtainen vaihtelu oli suurempaa, vaihdellen 0,4–1,9 %/km). Havaitut kuolleisuudet kilometriä kohden ovat Kemijoella korkeimmillaankin alhaisemmat kuin lijoella Haapakosken ja Pahkakosken välisellä jokiosuudella havaitut kuolleisuudet (1,9–2,5 %/km; Huusko ym. 2024). Alasvaelluskuolleisuuden tiedetään vaihtelevan myös luonnontilaisissa joissa. Esimerkiksi Ounasjoelle alasvaelluksen aikaiseksi kuolleisuus on havaittu olevan keskimäärin 0,4 %/km ja Tornionjoella 0,3 %/km (Huusko ym. 2018). Näitä isompiakin kuolleisuuksia jokikilometriä kohden on havaittu esimerkiksi norjalaisessa tutkimuksessa, jonka perusteella alasvaelluskuolleisuuden vaihtelu luonnontilaisella joellakin voi olla 0,3–7,0 %/km välillä (Thorstad ym. 2012).

Alasvaelluksen aikaista kuolleisuutta ei rakennetuissa joissa voida täysin estää toimivien alasvaellusrakenteiden avulla. Pienin kuolleisuus tässä tutkimuksessa jokikilometriä kohden oli Osaus- ja Taivalkosken välisellä patoaltaalla, missä kuolleisuus oli keskimäärin 0,7 %/km (eräkohtainen vaihtelu 0,6–1,0 %/km). Kemijoella luonnollisen alasvaelluskuolleisuuden voitaisiin arvioida olevan samaa luokkaa kuin Ounas- ja Tornionjoella, joten padot ja patoaltaat vaikuttavat lisäävän alasvaelluskuolleisuutta noin 1 %-yksikön jokikilometriä kohden. Pitkillä vaellusmatkoilla tällainen kuolleisuustaso muodostaa vaelluspoikaskantaan ison leikkurin.

Manuaalipaikannusten ja automaattisilta vastaanottimilta tallentuneiden havaintojen perusteella kuolleisuus patoaltailla keskittyy voimakkaasti voimalaitosten läheisyyteen, mikä osoittaa kuolleisuuden kasvun olevan selvästi kytkeytynyttä varsinaisiin vaellusesteisiin (voimalaitokset). Voimalaitosten turbiinien läpäisy voi aiheuttaa fyysisiä ja/tai fysiologisia vaurioita kaloille (Coutant & Whitney 2000) ja myös ohijuoksuosuuksien kautta vaeltaminen voi vaurioittaa kaloja riippuen mm. uoman rakenteesta ohijuoksuosuuksien alapuolella (Ruggles & Murray 1983). Kemijoella voimalaitoksilla on käytössä Kaplan-turbiinit, joiden on havaittu olevan yleisesti kalojen selviytymisen kannalta tiettyjä tubiinityyppejä, esimerkiksi Francis-turbiineja turvallisempia (Ruggles 1980). Kaplan-turbiinien aiheuttamaksi kuolleisuuden on arvioitu tutkimuksissa vaihtelevan 0–35 % (Huusko ym. 2014). Tässä tutkimuksessa havaittiin 20–34 % voimalaitoskohtainen kuolleisuus turbiinin läpäisyeillä kaloilla, joskin lukuun sisältyy myös kuolleisuus läpäisyä seuraavalla voimalaitosvälillä, joten todellinen turbiineista aiheutuva kuolleisuus on tätä pienempi.

Turbiinien aiheuttaman suoran kuolleisuuden (esim. mekaaniset ja kavitaatiovammat) lisäksi turbiinien läpäisystä aiheutuu epäsuoraa kuolleisuutta, jolloin läpäisyssä saadut lievemmät vauriot lisäävät mm. saaliiksi jäämisen todennäköisyyttä jatkossa tai aiheuttavat kuolleisuutta viiveellä (Ruggles & Murray 1983). Lisäksi vaelluksen hidastuminen patoaltailla ja vaelluksen pysähtyminen voimalaitoksilla kasvattavat padoista johtuvaa kokonaiskuolleisuutta (Nyqvist ym. 2016). Predaation tai muun kuolleisuuden erottaminen suorasta turbiinikuolleisuudesta ei siten ollut mahdollista tai mielekäästä tässä tutkimuksessa käytetyssä koeasetelmassa. Kuitenkin käyttämällä rakentamattomilla Ounas- ja Torniojoella havaittuja radiolähetinpoikasten kuolleisuuksia (Huusko ym. 2018) olisi jokisuulle selviytymisen suuruusluokka, ilman

voimalaitosvaikutuksia ollut Kemijoen tutkimusalueella noin 60–70 %. Kemijoella yhdestä voimalaitoksesta aiheutuva kuolleisuus on siten verrattavissa Torniojoella koko Kemijoen rakennetun alaosan mittaisen (noin 100 km) osuuden kuolleisuuteen lähetinpoikasilla.

5.3.2. Kaasukuplatauti

Vaelluspoikasilla havaittiin ensimmäisessä vapautuserässä veden kaasupitoisuuden, erityisesti typen, ylikyllästymisestä johtuvaa kaasukuplatautia ja siitä aiheutuvaa kuolleisuutta. Havaintojen perusteella veden kaasupitoisuuden ylikyllästymisen todennäköisesti kasvoi kohti jokisuuta, sillä vuorokauden sumpituksen aikana Isohaaran yläpuolen vapautuserän vaelluspoikasista kuoli suurin osa ja Taivalkosken yläpuolen sumpussakin vielä noin neljännes, mutta ylemmillä vapautuspaikoilla suoraa kuolleisuutta ei havaittu. On mahdollista, että ensimmäisen vapautuserän vaelluspoikasilla on ollut kaasukuplataudin aiheuttamaa stressiä tai vammoja, jotka ovat vaikuttaneet näiden yksilöiden selviytymiseen, sillä tämän erän selviytyminen oli kokonaisuudessaan heikointa. Huomattavaa on myös se, että ensimmäisen vapautuserän kaloilla kuolleisuus jokikilometriä kohden Taivalkosken ja Isohaaran välisellä jokialueella oli koko tutkimuksen korkein (1,9 %/km), joka voi osaltaan johtua kaasukuplataudin oireista.

Myös vuoden 2023 tutkimuksessa havaittiin Isohaaran vaelluspoikasilla poikkeavaa käytöstä verrattuna muiden voimalaitosten vapautuseriin, sillä iso osa Isohaaran vapautuserän vaelluspoikasista ei aloittanut alasvaellusta ollenkaan (Mönttinen ym. 2024). Tutkimuksessa ilmiön syy jäi epäselväksi, mutta tällöin kaloja ei tarkastettu vapautuksen yhteydessä esimerkiksi kaasukuplataudin osalta.

Tutkimukset kaasukuplataudin vaikutuksista kaloilla ovat keskittyneet viime vuosina kiinalaisiin kalalajeihin (esim. Wang ym. 2015, Xue ym. 2019, Deng ym. 2020), mutta myös Tyynenmeren lohikaloilla on tehty tutkimusta suhteellisen laajasti (esim. Weitkamp & Katz 1980, Krise & Meade 1988, Mesa ym. 2000). Atlantin lohien osalta kaasukuplataudin vaikutuksia on selvitetty vain muutamissa tutkimuksissa (esim. Krise & Herman 1991, Stenberg ym. 2022). Tutkimusten perusteella kalojen veden kaasupitoisuuden ylikyllästymisen sietokyky vaihtelee sekä kalalajien välillä että kalalajin elinkierron eri vaiheissa. Esimerkiksi Atlantin lohella kokonaiskaasupitoisuuden sietokykyyn on havaittu olevan heikompi kuin Tyynenmeren lohilla (Stenberg ym. 2022). Lohelle turvallisten veden kaasupitoisuusraja-arvojen antaminen edellyttää kuitenkin lisää tutkimustietoa mm. TDG (Total Dissolved Gas) pitoisuuksien kriittisistä raja-arvoista kuolleisuudelle ja vammojen aiheutumiselle kaikissa elinkierron vaiheissa (Stenberg ym. 2022). Lisäksi tarvittaisiin tietoa veden kaasupitoisuuden ylikyllästyneisyydelle toistuvan altistumisen (useita stressijaksoja peräkkäin) ja ylikyllästyneiden alueiden välttelystä aiheutuvien käyttäytymismuutosten (mm. uintisyvyyden muutokset) vaikutuksista kalojen selviytymiseen (Stenberg ym. 2022).

Veden kokonaiskaasupitoisuuden ylikyllästymisen on usein korkea esimerkiksi luonnossa vesiputousten alla ja vastaava tilanne voi esiintyä vesivoimatuotantoon rakennetuilla joilla voimakkaiden ohjuoksutusten aikaan. Tutkimuksen aikana veden kaasupitoisuutta ei mitattu, joten tietoa veden kokonaiskaasupitoisuudesta eri jokiosuuksilla ei ole Kemijoelta käytettävissä. Jatkossa suositeltavaa olisi vähintäänkin seurata TDG-pitoisuuksia, jotta saadaan tietoa veden kaasupitoisuuksista eri ajankohtina ja joen eri osissa.

5.4. Tulosten yleistettävyys

Telemetriatutkimukset ovat olleet pitkään yleisesti käytetty menetelmä kalojen käyttäytymis- ja selviytymistutkimuksissa. Kalojen käsittely ja merkintä voivat kuitenkin lisätä kuolleisuutta useiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta (mm. Jepsen ym. 2002), vaikka kokeellisissa olosuhteissa ei sisäisellä lähettimellä tehdyllä merkinnän ole havaittu vaikuttavan merkittävästi kalojen käyttäytymiseen, eikä kalojen kuolleisuuden ole havaittu kasvavan merkinnän jälkeen (esim. Brown ym. 2006, Huusko ym. 2016). Myös luonnonolosuhteissa radiolähettimellä merkittyjen ja merkitsemättömien vaelluspoikasten selviytymisen on arvioitu olevan samansuuruisia (Skalski ym. 2001, Hockersmith ym. 2003, Jepsen ym. 2008). Telemetriatutkimuksilla saatuja tuloksia onkin pidetty luotettavina ja parhaana käytössä olevana menetelmänä vaelluskäyttäytymisen selvittämiseen kaloilla.

Kemijoella kesällä 2024 toteutetun tutkimuksen tulosten tulkintaa ja niiden yleistettävyttä parantaa huomattavasti käytetty tutkimusasetelma, jossa oli useita eri aikaa ja erilaisiin olosuhteisiin vapautettuja koekalaeriä. Tämä mahdollistaa sattuman ja muiden yksittäisten ongelmatilanteiden (esim. kaasukuplatauti) vaikutusten kontrolloinnin ja tarjoaa näkökulmia nopeasti vaihtelevien ympäristöolosuhteiden mahdollisista vaikutuksista vaelluspoikasten alusvaellukseen. Kesän 2024 tutkimus täydentää merkittävästi vuonna 2023 toteutettua tutkimusta, jonka tulokset perustuivat vain yhteen vapautuserään (Mönttinen ym. 2024).

Kemijoen tutkimus toteutettiin kasvatetuilla lohien vaelluspoikasilla, joiden ulkoiset ominaisuudet (hopeoituminen) oli selvästi havaittavissa. Vaikka yleensä kasvatettujen vaelluspoikasten selviytyminen on heikompaa kuin luonnonpoikasilla, aina eroja selviytymisessä ei näiden välillä ole havaittu (Huntingford 2004, Jonsson & Jonsson 2006, Huusko ym. 2014). Kasvatettujen poikasten heikompaan selviytymiseen syynä voi olla fysiologisen vaellusvalmiuden puute vapautusajankohtana ja/tai kasvatettujen kalojen heikompi sopeutuminen luonnonolosuhteisiin ja siten mm. luonnonkaloja suurempi predaatoririski (Einum & Fleming 1997). Tässä tutkimuksessa havaitut kuolleisuudet edustavat siten maksimikuolevuuksia, jotka voivat merkitsemättömillä luonnonkaloilla olla selvästi pienempiä.

6. Johtopäätökset ja suositukset

Tässä ja aiemmissa Kemijoen alajuoksulla tehdyissä tutkimuksissa vain 10–25 % merkityistä vaelluspoikasista on selviytynyt viiden voimalaitoksen läpi Kemijokisuulle (Huusko ym. 2016, Mönttinen ym. 2016). Padoista ja patoaltaista johtuva kuolleisuus kertautuu jokaisen voimalaitoksen kohdalla: mitä useamman padon poikaset ohittavat, sitä heikompaa selviytyminen on. Näin alhaisilla selviytymisprosentteilla on mahdotonta palauttaa merkittävää lohen luonnonkiertoa esimerkiksi Ounasjokeen. Vaelluspoikasten alasvaelluskuolleisuutta pitäisi siten erilaisilla toimenpiteillä, kuten alasvaellusreittien rakentamisella, saada huomattavasti vähennettyä. Toisaalta on todennäköistä, että luonnossa syntyneiden ja merkitsemättömien vaelluspoikasten kuolleisuus on selvästi vähäisempää kuin mitä kasvatetuilla ja merkityillä poikasilla tehdyissä tutkimuksissa on Kemijoella havaittu. Nekin kuitenkin hyötyisivät kaikista alasvaelluskuolleisuutta vähentävistä toimenpiteistä.

Suurimmat lohen alasvaelluksen ongelmat havaittiin tässä tutkimuksessa Valajaskosken ja Petäjäskosken voimalaitosten välillä, aivan kuten aiemmissa Kemijoella tehdyissä tutkimuksissakin (Huusko ym. 2016, Mönttinen ym. 2016). Merkittävimmät ongelmat vaikuttivat keskittyvän nimenomaan Petäjäskosken voimalaitokselle, jonka vaelluspoikaset läpäisivät Kemijoen voimalaitoksista selvästi heikoiten, ja joka aiheutti pisimmän hidasteen vaelluspoikasten alasvaelluksen jatkumiselle. Voimalaitosten aiheuttaman vaelluksen hidastumisen takia vaelluspoikaset joutuvat viettämään pitkiä aikoja epäsuotuisissa olosuhteissa patoaltaissa, joka altistaa ne mm. predaatiolle. Lisäksi vaelluksen hidastumisella saattaa olla kauaskantoisia vaikutuksia poikasten kasvuun ja selviytymiseen myöhemmin merivaiheen aikana. Näistä syistä alasvaellusratkaisuiden tulisi vähentää vaelluspoikasten yläaltaissa viettämää aikaa ja tehostaa niiden hakeutumista alasvaellusväyliin.

Petäjäskosken ongelmallisuutta saattaa selittää voimalaitoksen vedenoton sijoittuminen poikkeuksellisen syvälle suhteessa muihin Kemijoen alajuoksun voimalaitoksiin ja toisaalta myös ohijuokсутuspadon sijoittuminen selvästi voimalaitokselta ylävirtaan. Syvällä sijaitseva vedenotto todennäköisesti hidastaa veden pintakerroksessa uivien poikasten vaellusreitien löytämistä. Vastaavasti ohijuokсутusuoman sijainti voimalaitoksesta erillään vähentää vaelluspoikasten mahdollisuuksia käyttää sitä vaellusreittinään Petäjäskoskella, varsinkin vähäisempien ohijuokсутus aikana. Vaelluskalakantojen elvyttämisyrittämysten kannalta alasvaellusta parantavia toimenpiteitä kannattaa Kemijoella siten ainakin alkuvaiheessa priorisoida voimalaitosketjun yläosaan Valajas- ja aivan erityisesti Petäjäskoskelle. Kyseiset laitokset ja patoallas ovat samalla ensimmäiset, jotka mahdolliset Ounasjoessa kasvaneet vaelluspoikaset joutuvat alasvaelluksellaan kohtaamaan.

Vaelluspoikasten alasvaellusreittien käyttäminen vaikuttaisi Kemijoella olevan riippuvainen virtaamista niin, että muiden kuin päävirrassa sijaitsevien vaellusväylien (ohijuokсутusuoma) havaitseminen ja niille hakeutuminen on virtaamaosuuteen nähden suhteellisesti heikompaa, kun tällaisessa väylässä menee vettä alle 25 % kokonaisvirtaamasta. Toimivien alasvaellusratkaisujen toteuttamiseksi on alasvaellusväylän sisäänkäynnin ja mahdollisten ohjausrakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa siten otettava tarkasti huomioon vaelluspoikasten pyrkimys pysytellä päävirrassa.

Kemijoen tutkimuksessa ensimmäisen vapautuserän vaelluspoikasilla havaittiin kaasukuplatautia, joka oli vakavuudeltaan riittävän voimakas tappamaan vajaassa vuorokaudessa valtaosan Isohaaran vapautuspaikalla sumputetuista poikasista. Myös vuoden 2023 tutkimuksessa

havaittiin kuolleisuutta ja heikkoa vaellukselle lähtöä nimenomaan Isohaaran vapautuspaikalla. Näin ollen kaasujen ylikyllästymisestä aiheutuva kaasukuplatauti voi olla merkittävä Kemijoen istutusten tuloksellisuutta heikentävä tekijä ja toisaalta heikentää tulevaisuudessa myös mahdollisten luonnossa syntyneiden vaelluspoikasten selviytymistä Kemijoen rakennetulla alajuoksulla. Lohen osalta tietoa kaasukuplataudista ja sen vaikutuksista on saatavilla niukasti ja asiaa tulisi selvittää tulevaisuudessa nykyistä tarkemmin.

Kiitokset

Tutkimusryhmä haluaa kiittää erityisesti Voimalohi Oy:n henkilökuntaa ratkaisevan tärkeästä logistisesta avusta liittyen vaelluspoikasten merkintöihin, kuljetuksiin, sumputuksiin ja vapautuksiin. Lisäksi kiitämme Luken maastotyöntekijöitä tutkimuksen kenttätyövaiheen menestyksellisestä toteuttamisesta. Tutkimusta rahoittivat Kemijoki Oy ja PVO-Vesivoima Oy ja valtion Nousu-vaelluskalaohjelma.

Viitteet

- Aarestrup, K. & Koed, A. 2003. Survival of migrating sea trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts negotiating weirs in small Danish rivers. *Ecology of Freshwater Fish* 12: 169–176.
- 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.
- Coutant, C.C. & Whitney, R.R. 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: a review. *Transactions of the American Fisheries Society* 129: 351–380.
- Deng, Y., Cao, C., Liu, X., Yuan, Q., Feng, C., Shi, H., Yang, Y. & Wu, Y. 2020. Effect of total dissolved gas supersaturation on the survival of bighead carp (*Hypophthalmichthys bilis*). *Animals* 10: 1–14.
- Einum, S. & Fleming, I.A. 1997. Genetic divergence and interactions in the wild among native, farmed and hybrid Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 50: 634–651.
- Hockersmith, E.E., Muir, W.D., Smith, S.G., Sandford, B.P., Perry, R.W., Adams, N.S. & Rondorf, D.W. 2003. Comparison of migration rate and survival between radio-tagged and PIT-tagged migrant yearling Chinook salmon in the Snake and Columbia rivers. *North American Journal of Fisheries Management* 23: 404–413.
- Huntingford, F.A. 2004. Implications of domestication and rearing conditions for the behaviour of cultivated fishes. *Journal of Fish Biology* 65: 122–142.
- Huusko, R., Huusko, A., Mäki-Petäys, A., Orell, P. & Erkinaro, J. 2016. Effects of tagging on migration behaviour, survival and growth of hatchery-reared Atlantic salmon smolts. *Fisheries Management and Ecology* 23: 367–375.
- Huusko, R., Orell, P., van der Meer, O., Jaukkuri, M. & Mäki-Petäys, A. 2012. Lohen vaelluspoikasten radiotelemetriaseuranta lijoella vuosina 2010–2011. Työraportti. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 30 s.
- Huusko, R., Orell, P., Jaukkuri, M., Mäki-Petäys, A. & Erkinaro, J. 2014. Lohen vaelluspoikasten alasvaellus rakennetuissa joissa – ongelmat ja niiden ratkaisumahdollisuudet. RKTL:n työraportteja 8/2014. 41 s.
- Huusko, R., Orell, P., Hyvärinen, P., Jaukkuri, M., Laaksonen, T., van der Meer, O., Mäki-Petäys, A. & Erkinaro, J. 2016. Lohen vaelluspoikasten alasvaellus rakennetuissa ja luonnontilaisessa joessa: Vertailututkimus Kemi-Ounasjoessa ja Tornion-Muonionjoessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 38/2016. 24 s.
- Huusko, R., Hyvärinen, P., Jaukkuri, M., Mäki-Petäys, A., Orell, P. & Erkinaro, J. 2018. Survival and migration speed of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in two large rivers: one without and one with dams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 75(8): 1177–1184.

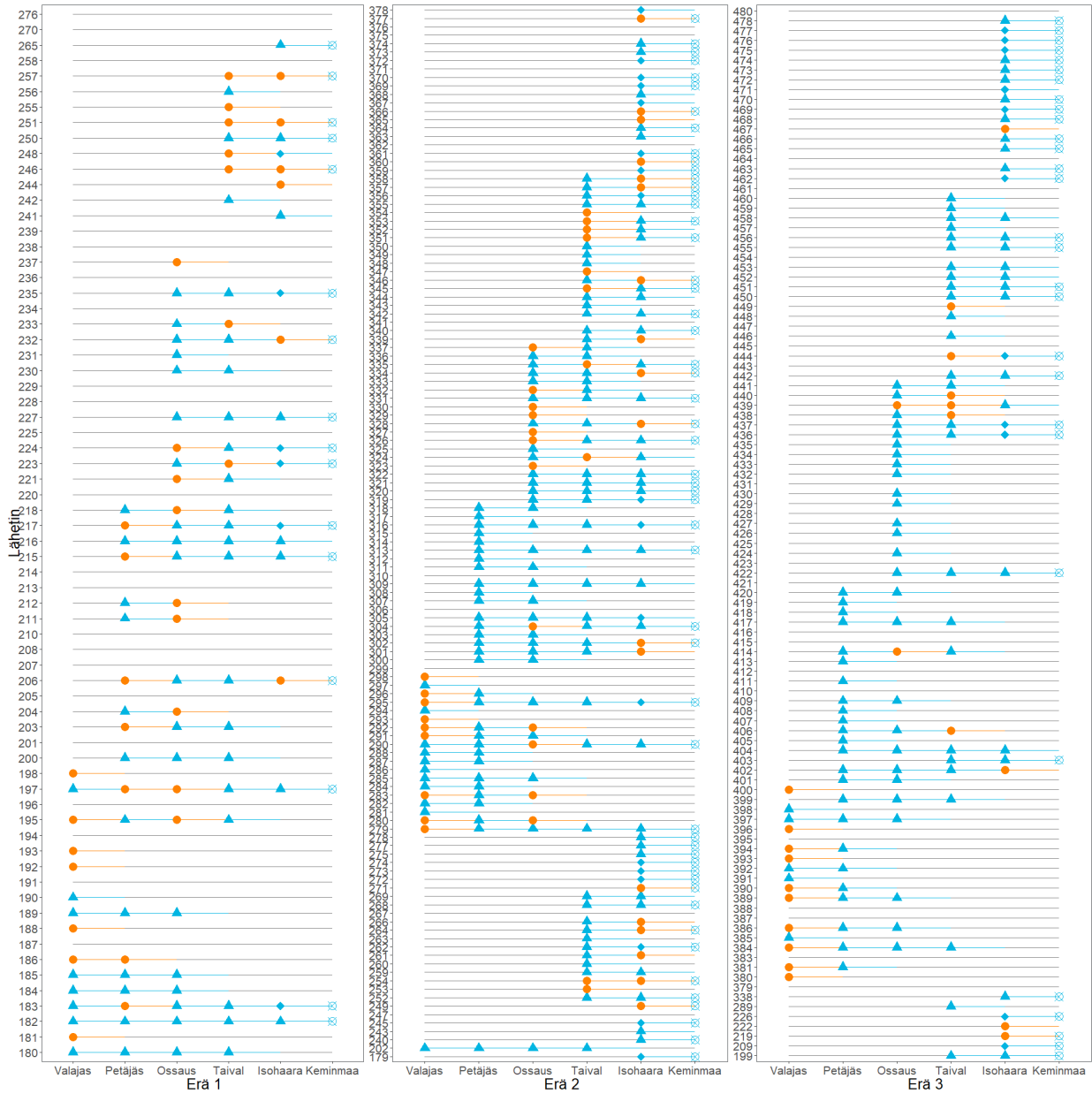
- Huusko, R., Jääskeläinen, J. & Orell, P. 2024. Lohi Iijokeen: Lohen vaelluspoikasten seuranta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 74/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 30 s.
- Hyvärinen, P., Härkönen, L.S. & Korhonen, P.K. 2024. Taimenen vaelluspoikasten selviytyminen Oulujärvelle : Radiotelemetriatutkimus istutettujen taimenten alasvaelluksesta Hyrynsalmen reitillä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 98/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 33 s.
- Jepsen, N., Koed, A., Thorstad, E. & Baras, E. 2002. Surgical implantation of telemetry transmitters in fish: how much have we learned? *Hydrobiologia* 483: 239–248.
- Jepsen, N., Christoffersen, M. & Munksgaard, T. 2008. The level of predation used as an indicator of tag-ging/handling effects. *Fisheries Management and Ecology* 15: 365–368.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. 2006. Cultured Atlantic salmon in nature: a review of their ecology and interaction with wild fish. *ICES Journal of Marine Sciences* 63: 1162–1181.
- Krise, W.F. & Herman, R.L. 1991. Resistance of underyearling and yearling Atlantic salmon and lake trout to supersaturation with air. *Journal of Aquatic Animal Health* 3: 248–253.
- Krise, W.F. & Meade, J.W. 1988. Effects of low-level gas supersaturation on lake trout (*Salvelinus namaycush*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45: 666–674.
- Laine, A., Niva, T., Mäki-Petäys, A. & Erkinaro, J. 2002. Kalabiologiset perusteet. Teoksessa: Loikkaako lohi Ounasjokeen? Vaelluskalojen palauttaminen Kemi-/Ounasjokeen. Esiselvitys. Lapin ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 271: 127–199.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2012. Kansallinen kalatiestrategia. Valtioneuvoston periaatepäätös 8.3.2012. 30 s.
- Mäki-Petäys, A., van der Meer, O., Romakkaniemi, A., Orell, P. & Erkinaro, J. 2013. Kymijoen lohikannan elvyttäminen – populaatiomallinnus tuki- ja säätelytoimien vaikutuksesta. RKT:n työraportteja 5/2013. 25 s.
- Mönttinen, M., Orell, P., Rinnevali, R., Jääskeläinen, J. & Huusko, R. 2024. Lohen vaelluspoikasten selviytyminen Kemijoella : Erot voimalaitosten välillä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 1/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 24 s.
- Norrgård, J.R., Greenberg, L.A., Piccolo, C.C., Schmitz, M. & Bergman, E. 2013. Multiplicative loss of land-locked Atlantic salmon *Salmo salar* L. smolts during downstream migration through multiple dams. *River Research and Applications* 29: 1306–1317.
- Norrgård, J.R., Nyqvist, D., Greenberg, L. & Bergman, E. 2024. Downstream migration of land-locked Atlantic salmon smolt in a regulated river—Effects of multiple passage at dams with programmed spill. *River Research and Application* 40: 821–833.
- Nyqvist, D., Greenberg, L.A., Goerig, E., Calles, O., Bergman, E., Ardren, W.R. & Castro-Santos, T. 2016. Migratory delay leads to reduced passage success of Atlantic salmon smolts at a hydroelectric dam. *Ecology of Freshwater Fish* 2016: 1–12. doi: 10.1111/eff.12318

- McCormick, S.D., Hansen, L.P., Quinn, T. P. & Saunders, R.L. 1998. Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 55: 77–92.
- Mesa, M.G., Weiland, L.K. & Maule, A.G. 2000. Progression and severity of gas bubble trauma in juvenile salmonids. Transactions of the American Fisheries Society 129: 174–185.
- Mäntyniemi, S., Rommakkaniemi, A., Dannewitz, J., Palm, S., Pakarinen, T., Pulkkinen, H., Gårdmark, A. & Karlsson, O. 2012. Both predation and feeding opportunities may explain changes in survival of Baltic salmon post-smolts. ICES Journal of Marine Sciences 69: 1574–1579.
- Ruggles, C.P. & Murray, D.G. 1983. A review of fish response to spillways. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Society 952: 1–27.
- Skalski, J.R., Lady, R., Townsend, R., Giorgi, A.E., Stevenson, J.R., Peven, C.M. & McDonald, R.M. 2001. Estimating in-river survival of migrating salmonid smolts using radiotelemetry. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58: 1987–1997.
- Stenberg, S.K., Velle, G., Pulg, U. & Skoglund, H. 2022. Acute effects of gas supersaturation on Atlantic salmon smolt in two Norwegian rivers. Hydrobiologia 849: 527–538.
- Sutela, T., Karjalainen, T. P., Mäki-Petäys, A., Laine, A., Tammi, J., Koivurinta, M., Orell, P. ja Louhi, P. 2012. Kalatiestrategian taustaselvitykset. MMM. Kala- ja riistahallinnon julkaisuja 90 (1/2012).
- Thorstad, E.B., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A.H. & Finstad, B. 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. Journal of Fish Biology 81: 500–542.
- Venditti, D.A., Rondorf, D.W. & Kraut, J.M. 2000. Migratory behavior and forebay delay of radio-tagged juvenile fall Chinook salmon in a lower Snake River impoundment. North American Journal of Fisheries Management 20: 41–52.
- Weitkamp, D. E. & Katz, M. 1980: A Review of Dissolved Gas Supersaturation Literature. Transactions of the American Fisheries Society, 109:6, 659–702.
- Wang, Y., Li, K., Li, J., Li, R. & Deng, Y. 2015. Tolerance and avoidance characteristics of Prenant's schizothoracin *Schizothorax prenantio* total dissolved gas supersaturated water. North American Journal of Fisheries Management 35: 827–834.
- Xue, S., Wang, Y., Liang, R., Li, K. & Li, R. 2019. Effects of total dissolved gas supersaturation in fish of different sizes and species. International Journal of Environmental Research and Public Health 16: 1–12.

Liite 1. Radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten kuolleisuudet, kuolleet/vaeltaneet (%; %/km) vapautuspaikka ja -eräkohtaisesti voimalaitosten välisillä alueilla. Oranssilla ovat ensimmäisen voimalaitoksen yläpuolelle jääneitä kaloja ja niiden kuolleisuus-%/km on laskettu 2 km matkalle vapautuspaikalta voimalaitokselle.

	Vapautuspaikka																			
	Valajaskoski				Petäjaskoski				Ossauskoski				Taivalkoski				Isohaara			
	1.erä	2.erä	3.erä	Yht.	1.erä	2.erä	3.erä	Yht.	1.erä	2.erä	3.erä	Yht.	1.erä	2.erä	3.erä	Yht.	1.erä	2.erä	3.erä	Yht.
Voimalaitosväli	n=19	n=20	n=20	n=59	n=17	n=20	n=20	n=57	n=17	n=19	n=20	n=56	n=12	n=33	n=23	n=68	n=3	n=33	n=24	n=60
Valajaskoski yläpuoli	4/19 (21,1 %; 10,5 %/km)	0/20 (0,0 %)	5/20 (25,0 %; 12,5 %/km)	9/59 (15,3 %; 7,6 %/km)																
Valajaskoski-Petäjaskoski	6/15 (40,0 %; 1,8 %/km)	6/20 (30,0 %; 1,4 %/km)	7/15 (46,7 %; 2,1 %/km)	19/50 (38,0 %; 1,7 %/km)	7/17 (41,2 %; 20,6 %/km)	3/20 (15,0 %; 7,5 %/km)	4/20 (20,0 %; 10,0 %/km)	14/57 (24,6 %; 12,3 %/km)												
Petäjaskoski-Ossauskoski	1/9 (11,1 %; 0,6 %/km)	5/14 (35,7 %; 1,9 %/km)	4/8 (50,0 %; 2,6 %/km)	10/31 (32,3 %; 1,7 %/km)	0/10 (0,0 %)	5/17 (29,4 %; 1,5 %/km)	7/16 (43,8 %; 2,3 %/km)	12/43 (27,9 %; 1,5 %/km)	7/17 (41,2 %; 20,6 %/km)	1/19 (5,3 %; 2,6 %/km)	3/20 (15,0 %; 7,5 %/km)	11/56 (19,6 %; 9,8 %/km)								
Ossauskoski-Taivalkoski	3/8 (37,5 %; 1,0 %/km)	5/9 (55,6 %; 1,5 %/km)	3/4 (75,0 %; 2,0 %/km)	11/21 (52,4 %; 1,4 %/km)	3/10 (30,0 %; 0,8 %/km)	5/12 (41,7 %; 1,1 %/km)	3/9 (33,3 %; 0,9 %/km)	11/31 (35,5 %; 0,9 %/km)	2/10 (20,0 %; 0,5 %/km)	5/19 (26,3 %; 0,7 %/km)	9/16 (56,3 %; 1,5 %/km)	16/45 (35,6 %; 0,9 %/km)	2/12 (16,7 %; 8,3 %/km)	2/33 (6,1 %; 3,0 %/km)	5/23 (21,7 %; 10,9 %/km)	9/68 (13,2 %; 6,6 %/km)				
Taivalkoski-Isohaara	2/5 (40,0 %; 2,1 %/km)	1/4 (25,0 %; 1,3 %/km)	1/1 (100 %)	4/10 (40,0 %; 2,1 %/km)	3/7 (42,9 %; 2,3 %/km)	0/8 (0,0 %)	4/6 (66,7 %; 3,5 %/km)	7/21 (33,3 %; 1,8 %/km)	3/8 (37,5 %; 2,0 %/km)	4/14 (28,6 %; 1,5 %/km)	3/7 (42,9 %; 2,3 %/km)	10/29 (34,5 %; 1,8 %/km)	3/10 (30,0 %; 1,6 %/km)	9/31 (29,0 %; 1,5 %/km)	7/18 (38,9 %; 2,0 %/km)	19/59 (32,2 %; 1,7 %/km)	2/3 (66,6 %; 33,3 %/km)	5/33 (15,2 %; 7,6 %/km)	3/24 (12,5 %; 6,3 %/km)	10/60 (16,7 %; 8,3 %/km)

Liite 2. Kaikkien radiolähettimellä merkittyjen vaelluspoikasten alasvaellusreittien valinnat Keminjoen voimalaitosten läpi vapautuseräkohtaisesti. Ohijuokutusuoman kautta kulkeminen on esitetty oranssinä ympyränä ja voimalaitoksen turbiinin kautta kulkeminen sinisenä kolmiona.





**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki