Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 74/2024

Lohi Iijokeen

Lohen vaelluspoikasten seuranta

Riina Huusko, Jarno Jääskeläinen ja Panu Orell

Luke

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 74/2024

Lohi Iijokeen

Lohen vaelluspoikasten seuranta

Riina Huusko, Jarno Jääskeläinen ja Panu Orell

Luonnonvarakeskus 2024

Viittausohje:

Huusko, R., Jääskeläinen, J. & Orell, P. 2024. Lohi Iijokeen : Lohen vaelluspoikasten seuranta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 74/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 30 s.

ISBN 978-952-380-960-4 (Verkkojulkaisu)
ISSN 2342-7639 (Verkkojulkaisu)
URN http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-960-4
Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)
Kirjoittajat: Riina Huusko, Jarno Jääskeläinen ja Panu Orell
Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2023
Julkaisuvuosi: 2024
Kannen kuva: Jari Lindeman, Luonnonvarakeskus

Tiivistelmä

Riina Huusko[1], Jarno Jääskeläinen[2] ja Panu Orell[1]

[1] Luonnonvarakeskus, Paavo Havaksen tie 3, 90014 Oulun yliopisto
[2] Luonnovarakeskus, Laivurintie 6, 94450 Keminmaa

Vaelluskalojen alasvaellusongelmien vähentämiseksi alasvaellusratkaisujen kehittäminen on Suomessa käynnistynyt aktiivisesti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Iijoki on ollut tässä kehitystyössä yksi keskeinen kohde ja Haapakosken voimalaitokselle onkin rakennettu Pohjois-Pohjanmaan liiton koordinoimissa vaelluskalahankkeissa maamme ensimmäinen alasvaellusyhteys. Haapakosken ohjausaidan ja alasvaellusväylän sisäänkäynnin toimivuuden ensimmäiset pilottitutkimukset on tehty vuosina 2020–2023. Kesällä 2023 toteutettiin jatkotutkimus akustisella telemetriatekniikalla, jossa selvitettiin lohen vaelluspoikasten selviytymistä Iijoen Haapakosken ja Pahkakosken voimalaitosten välisellä alueella ja koko voimalaitosketjun läpi Iijokisuulle. Tutkimuksessa vertailuerinä olivat Haapakosken alasvaellusväylän ja Haapakosken turbiinien läpiuineet lohenpoikaset. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin tarkemmin vaelluspoikasten käyttäytymistä niiden lähestyessä Pahkakosken voimalaitosta.

Jokisuulle selviytyi keskimäärin 7 % (vaihteluväli 2–14 %) vaelluspoikasista. Haapakosken alasvaellusväylän käyttämisen ei havaittu lisäävän vaelluspoikasten selviytymistä Pahkakoskelle tai jokisuulle suhteessa kaloihin, jotka uivat Haapakosken turbiinien läpi. Pahkakosken voimalaitospadolla havaittiin olevan merkittävä vaellusta pysäyttävä vaikutus (57–65 %) riippumatta siitä, oliko se ensimmäinen vai toinen vaelluspoikasten kohtaama voimalaitos. Lisäksi Pahkakosken voimalaitoksen läpi menneillä vaelluspoikasilla viipymäaika laitoksen yläpuolella oli keskimäärin useita vuorokausia. Haapakosken ja Pahkakosken voimalaitosten välisellä jokiosuudella kuolleisuus oli keskimäärin 1,9–2,5 %/km.

Tutkimuksessa saatujen havaintojen perusteella vaelluspoikaset lähestyivät Pahkakosken voimalaitosta ensimmäisen kerran useimmiten pohjoisrannan puolelta virtaamatilanteesta riippumatta ja vain harvat vaelluspoikasista jäivät lähestymisensä päätteeksi pysyttelemään padon yläpuolelle. Pahkakoskelle tarvittavan alasvaellusratkaisun suunnittelussa tuleekin kiinnittää erityistä huomiota virtausolosuhteisiin alasvaellusyhteyden sisäänkäynnin lähialueella, jotta poikaset saadaan ohjattua sinne.

Tulosten perusteella vaelluspoikasten selviytymisen parantamiseksi keskeisimpänä toimenpiteenä Iijoella on parantaa vaelluspoikasten selviytymistä voimalaitospatojen ohi. Alkuvaiheessa vaelluspoikasten kiinniottoa Haapakoskella ja kuljetusta jokisuulle voidaankin käyttää vaelluspoikasten selviytymistä parantavana tukitoimenpiteenä. Kuljetuksen vaikutusta siirrettyjen kalojen selviytymiseen elinkierron myöhemmissä vaiheissa tulisi kuitenkin selvittää seurantatutkimuksilla, jotta varmistutaan niiden toimivuudesta.

Asiasanat: Lohi, alasvaellus, selviytyminen, voimalaitos, Iijoki, akustinen telemetria

Abstract

Riina Huusko[1], Jarno Jääskeläinen[2] ja Panu Orell[1]

[1] Natural resources institute Finland, Paavo Havaksen tie 3, 90014 University of Oulu
[2] Natural resources institute Finland, Laivurintie 6, 94450 Keminmaa

Development of downstream migration solutions to overcome problems in downstream migrations of anadromous fish has started in Finland during the last decade. The River Iijoki has been a key river in this development and the first downstream migration connection in Finland has been built to the Haapakoski power plant (PP), the uppermost PP of the River Iijoki. Pilot function tests of the Haapakoski guiding fence and entrance of the downstream migration channel was conducted in 2020-2023. During the summer 2023 a follow-up study, investigating salmon smolt survival between Haapakoski and Pahkakoski PPs and down to the river mouth of Iijoki was conducted. Comparisons were made between batches of smolts that were released either to the Haapakoski downstream migration channel or above Haapakoski PP (swimming trough turbines). In addition, precise information of the smolt behaviour approaching the Pahkakoski PP was collected.

On average 7% (range 2–14%) of the released smolts survived to the river mouth. The use of Haapakoski downstream migration channel did not increase smolt survival to Pahkakoski or to river mouth compared to smolts that passed through the Haapakoski PP turbines. The Pahkakoski PP proved to have significant ceasing effect (57–65%) on smolt migration regardless of it being the first or second PP to overcome by smolts. In addition, smolts that did pass the Pahkakoski PP were significantly delayed above Pahkakoski, on average several days. Estimated mortality rates between the Haapakoski and Pahkakoski PPs was on average 1,9–2,5%/km.

Based on the precise monitoring above the Pahkakoski PP smolts approached the PP most often from the northern shore side regardless of discharge and only few individuals stayed close to the PP after their first approach. When planning downstream migration solution to Pahkakoski special attention needs to be put to current conditions close to the entrance of the possible downstream migration connection to be able to guide fish to it.

Based on the results of the current study the key measure to increase smolt survival in the River Iijoki is to improve the downstream migration survival at power plants. At early stages of salmon stock restoration process catching of smolts at the uppermost PP (Haapakoski) and transporting them to river mouth can be used to increase survival. The possible effects of catching and transporting on smolt survival should, however, be investigated.

Keywords: salmon, downstream migration, survival, hydropower, River Iijoki, acoustic telemetry

Sisällys

1. Selvityksen tausta 6

2. Tutkimusalue 7

2.1. Ympäristöolosuhteet seurannan aikana 10

3. Aineisto ja menetelmät 11

3.1. Kalojen merkintä 11

3.2. Kalojen seuranta 12

3.3. Aineiston käsittely 13

4. Tulokset 15

4.1. Vaelluspoikasten selviytyminen 15

4.2. Vaelluspoikasten käyttäytyminen Pahkakoskella 19

4.2.1. Haapakosken alasvaellusväylän vapautuserät 19

4.2.2. Haapakosken yläpuolen vapautuserät 23

5. Tulosten tarkastelu 24

5.1. Vaelluspoikasten selviytyminen 24

5.2. Käyttäytyminen Pahkakoskella 26

6. Johtopäätökset ja suositukset 27

Viitteet 29

1. Selvityksen tausta

Lohen luonnonkierron ylläpitämisen tai käynnistämisen yhtenä edellytyksenä ovat ylä- ja alavirtaan toimivat vaellusyhteydet. Vesivoimantuotantoon rakennetuissa vesistöissä (ml. Iijoki) on lohen alasvaelluksen onnistumisessa havaittu merkittäviä ongelmia (esim. Huusko ym. 2012, 2014, 2016). Ongelmien vähentämiseksi alasvaellusratkaisujen kehittäminen Suomessa on käynnistynyt aktiivisesti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Iijoella on oltu tässä kehitystyössä vahvasti mukana ja Haapakosken voimalaitokselle rakennettiin Pohjois-Pohjanamaan liiton koordinoimissa vaelluskalahankkeissa alasvaellusratkaisu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa, vuonna 2019, Haapakoskelle asennettiin Suomen ensimmäinen alasvaeltavia kaloja ohjaava kelluva ohjausaita ja toisessa vaiheessa (2020–2021) valmistuivat alasvaellusväylä sekä sen yhteydessä oleva kiinniottolaite. Haapakosken ohjausaidan ja alasvaellusväylän sisäänkäynnin toimivuuden ensimmäiset tutkimukset on tehty (Louhi ym. 2024), mutta kokonaisuuden kannalta tarvitaan tietoa myös vaelluspoikasten selviytymisestä ja käyttäytymisestä alasvaellusväylän käyttämisen jälkeen.

Tämän tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää lohen vaelluspoikasten selviytymistä ja käyttäytymistä Haapakosken alasvaellusväylän sekä Haapakosken voimalaitosturbiinien läpiuinnin jälkeen Haapakosken ja Pahkakosken välisellä patoaltaalla, mutta poikasten selviytymistä seurattiin myös koko patoallasketjun läpi Iijokisuulle saakka. Lisäksi selvitettiin lohen vaelluspoikasten liikkumista tarkasti niiden lähestyessä voimalaitosketjussa seuraavaa Pahkakosken voimalaitosta. Pahkakosken yläpuolelta saatuja kalojen tarkkoja käyttäytymistietoja voidaan hyödyntää Pahkakoskelle laaditun alasvaellusratkaisun yleissuunnitelman päivittämisessä. Hankkeen keskeisiä tutkimuskysymyksiä olivat:

- Miten vaelluspoikaset selviytyvät ja käyttäytyvät alasvaellusväylän läpimenon jälkeen?
- Eroaako turbiinin läpiuineiden vaelluspoikasten selviytyminen alasvaellusväylän läpiuineiden poikasten selviytymisestä?
- Kuinka moni vaelluspoikanen selviytyy Iijokisuulle?
- Miten vaelluspoikaset käyttäytyvät lähestyessään Pahkakosken voimalaitospatoa?

Tässä raportissa esitellään keväällä 2023 toteutetun seurannan keskeiset menetelmät, tulokset ja johtopäätökset. Seurannan toteutti Luonnonvarakeskus omana projektinaan osana Lohi Iijokeen -hankekokonaisuutta, jonka muita toimenpiteitä koordinoi Pohjois-Pohjanmaan liitto. Vaelluspoikasten liikkumisen tarkasteluissa Pahkakosken yläkanavassa hyödynnettiin Iijoen Otva-hankkeessa tehtyjä 3D-virtausmallinnuksia (Huusko ym. 2018).

2. Tutkimusalue

Iijoen pääuoman alaosalla noin 60 kilometrin matkalla jokisuusta sijaitsee viisi vesivoimalaitosta (Taulukko 1, Kuva 4). Näiden voimalaitosten yläpuolisilla alueilla sekä pääuomassa että Iijoen sivujoissa on kartoitusten perusteella edelleen noin 1 000 hehtaaria koskialueita, joista suurimman osan arvioidaan soveltuvan lohikalojen poikastuotantoon (van der Meer ym. 2010). Iijoki on kansallisen kalatiestrategian kärkikohteita (Maa- ja Metsätalousministeriö 2012) ja Iijoella onkin aloitettu laajoja lohikalakantojen elvyttämistoimenteitä Pohjois-Pohjanmaan liiton koordinoimissa vaelluskalahankkeissa.

Iijoen alaosalla sijaitsevista viidestä voimalaitoksesta neljä ylintä (Haapakoski, Pahkakoski, Kierikki ja Maalismaa) rakennettiin 1960-luvulla. Lähimpänä jokisuuta sijaitseva Raasakan voimalaitos valmistui vuonna 1971 ja sen kolmas turbiini otettiin käyttöön 1997. Voimalaitosten pudotuskorkeudet vaihtelevat 16–21 metrin välillä (Taulukko 1).

Voimalaitoksista kolme ylintä (Haapakoski, Pahkakoski, Maalismaa) on rakennettu vanhaan jokisuomaan, mutta voimalaitoksen alapuolella joki on jaettu kahteen osaan, joista voimalaitoksen turbiinien jälkeen aukeava voimalan alakanava on kallioon louhittu syvä uoma, joka erottuu maapadolla ohijuoksutusuomasta, jonka pohjana toimii vanha jokiuoma. Ohijuoksutusuomiin on rakennettu pohjapatoja pidättämään vettä uomassa aikana, jolloin ohijuoksutuksia ei ole. Näillä kolmella voimalaitoksella ohijuoksutusluukut sijaitsevat voimalaitoksen yhteydessä olevassa padossa pohjoisen rannan puolella (Taulukko 1, Kuva 4).

Kaksi alinta voimalaitosta (Maalismaa ja Raasakka) on rakennettu kuivalle maalle kaivettuihin kanaviin ja vanhat jokiuomat (Maalismaalla 10 km; Raasakassa 7 km) toimivat näiden voimalaitosten ohijuoksutusuomina. Maalismaan ja Raasakan ohijuoksutuspadot sijaitsevatkin useita kilometrejä voimalapadosta ylävirtaan (Kuva 4). Raasakan ohijuoksutuspadolla on pieni Pajarin voimalaitos (rakennusvuosi 1988; putouskorkeus 8,3 m; rakennusvirtaama 1,5 m^3/s), minkä virtaama ohjautuu ympäri vuoden Raasakan vanhaan uomaan ohijuoksutusten lisäksi.

Neljällä ylimmällä voimalaitoksella on käytössä kaksi Kaplan turbiinia (Taulukko 1), mutta kolmannelle turbiinille on jätetty rakennusvaiheessa varaus, joka sijaitsee kolmella ylimmällä voimalalla nykyisten turbiinien pohjoisrannan puolella ja Maalismaalla turbiinien etelärannan puolella. Lisäksi kaikilla voimalapadoilla on laitoksen välittömässä läheisyydessä tukinuitossa käytettyjen uittokourujen läpiviennit, mutta uittoon liittyvät rakenteet on purettu pois lukuun ottamatta Kierikin uittokourua, joka on museoitu. Uittokourujen läpiviennit sijaitsevat voimalaitoksen pohjoisrannan puolella lukuun ottamatta Maalismaata, missä uittokouru on sijainnut alakanavan etelärannalla.

Taulukko 1. Iijoen vesivoimalaitosten perustietoja. Lähde: PVO-Vesivoima Oy.

Voimalaitos	Pudotuskorkeus (m)	Keskivirtaama (m^3/s)	Turbiinityyppi	Vedenottosyvyys (m)	Ohijuoksutus-luukkujen lkm.	Ohijuoksutusluukkujen sijainti
Haapakoski	16	135	Kaplan (2kpl)	1–4	2	voimalapato
Pahkakoski	20,5	135	Kaplan (2kpl)	9–10	2	voimalapato
Kierikki	18	135	Kaplan (2kpl)	5–6	2	voimalapato
Maalismaa	18,6	135	Kaplan (2kpl)	5–6	4	säännöstelypato
Raasakka	21	170	Kaplan (3kpl)	9–11	4	säännöstelypato

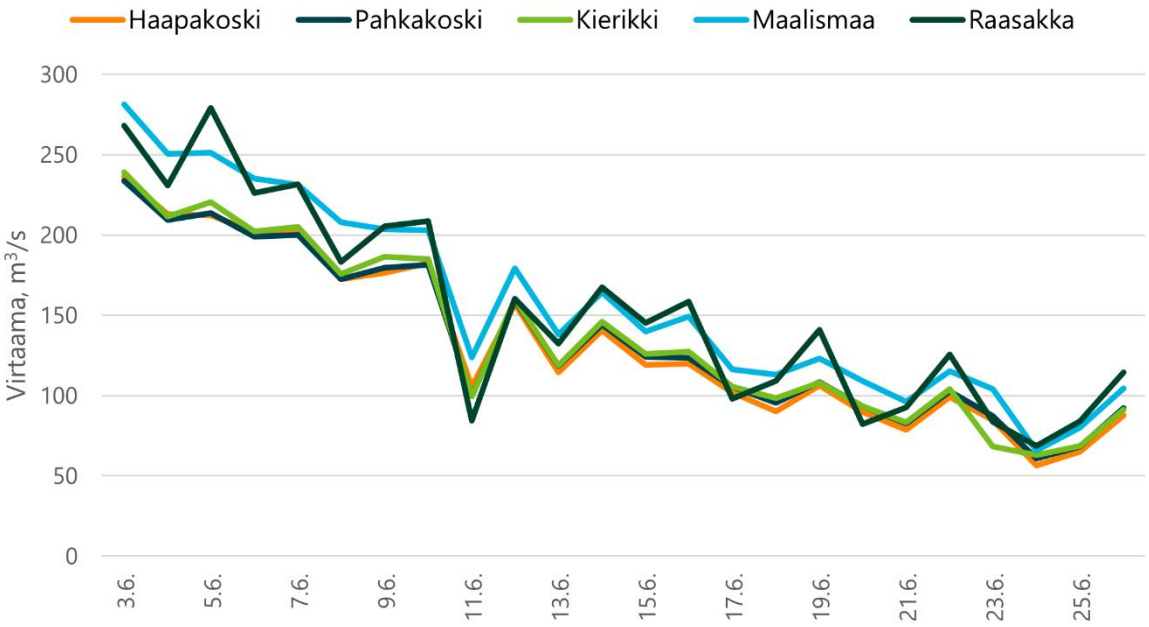
Ylimmälle, Haapakosken, voimalaitokselle rakennettu alasvaellusratkaisu sisältää 180 m pitkän kelluvan ohjausaidan ja alasvaellusväylän, joka koostuu voimalaitospadon yläpuolella sijaitsevasta sisäänkäyntisuppilosta ja voimalan alapuolelle kulkevasta alasvaelluputkesta (Kuvat 1–2). Teräksestä valmistettu kelluva ohjausaita kiinnittyy padon yläpuolella entisen tukinuittokourun läpiviennin betonirakenteeseen. Ohjausaidan kiinnitysmekanismi on rakennettu siten, että aita seuraa vedenkorkeuden vaihtelua. Alasvaellusväylän sisäänkäynti tapahtuu teräksisestä suppilosta, joka myös seuraa vedenkorkeuden vaihtelua ja sijaitsee ohjausaidan päässä, tukinuittokourun padon yläpuoliseen osassa (Kuva 1). Sisäänkäyntisuppilosta kalat voidaan ohjata teräksestä valmistettujen säleikköjen avulla kiinniottohäkkeihin (2 kpl) tai päästää suoraan alasvaelluputkea (muoviputki, halkaisija 1 m) pitkin voimalaitoksen alapuolelle. Alasvaelluputken uloskäynti sijaitsee voimakkaimpien turbiinipyörteiden alapuolella noin 80 m voimalaitoksesta alavirtaan (Kuva 2).

Kuva 1. Iijoen Haapakosken alasvaellusväylän sisäänkäyntialue ylävirrasta kuvattuna. Ohjausaita ohjaa kalat kohti sisäänkäyntisuppiloa (kuvassa keskellä), josta kalat ohjataan alasvaellusväylään tai vaihtoehtoisesti kiinniottohäkkeihin (kuvassa suppilon vieressä oikealla). Kuvassa alasvaellusväylän sisäänkäynnin vasemmalla puolella voimalaitosrakennus ja oikealla puolella säännöstelyluukut (2 kpl). Kuva: Jari Lindeman, Luke.

Kuva 2. Iijoen Haapakosken alasvaellusratkaisu kuvattuna alavirran suunnasta. Voimalaitoksen yläkanavassa kelluva ohjausaita ja alapuolella alasvaellusputki, jonka uloskäynti sijaitsee turbiinipyörteiden alapuolella. Kuva: Jari Lindeman, Luke.

2.1. Ympäristöolosuhteet seurannan aikana

Seurantajaksolla (3.–26.6.2023) vuorokauden keskivirtaama Iijoen viidellä alimmalla voimalaitoksella oli 144 m^3/s (vaihteluväli 57–281 m^3/s) (Kuva 3). Tuntitason tarkasteluvälillä virtaamissa oli vuorokausikeskiarvoa suurempaa vaihtelua (vaihteluväli 0–361 m^3/s). Poikkeavan suuret tai pienet virtaamat olivat pääosin hyvin lyhyitä jaksoja vuorokauden sisällä. Selvästi vuorokausikeskivirtaamaa suurempia virtaamajaksoja esiintyi seurannan alkupuolella ja pienempiä virtaamia kesäkuun puolivälistä eteenpäin.



Kuva 3. Iijoen alaosan viiden voimalaitoksen (Haapakoski, Pahkakoski, Kierikki, Maalismaa, Raasakka) vuorokauden keskivirtaamat seurannan aikana 3.6. –26.6.2023.

3. Aineisto ja menetelmät

3.1. Kalojen merkintä

Lohi Iijokeen -tutkimuksessa käytettiin 2-vuotiaita Iijoen kantaa olevia lohen vaelluspoikasia, jotka oli kasvatettu Voimalohi Oy:n Raasakan kalanviljelylaitoksella. Yhteensä tutkimuksessa merkittiin 180 vaelluspoikasta akustisella lähettimellä (Innovasea V5, paino ilmassa 0,74 g). Puolet (90 yksilöä) merkityistä poikasista oli alkuperältään laitoskalakantaa ja kasvatettu standardi menetelmällä ja puolet oli alkuperältään luonnon emokaloista peräisin ja kasvatusmenetelmänä oli käytetty virikekasvatusta (Taulukko 2).

Kaloja merkittiin kolmessa erässä (Taulukko 2) Raasakan kalanviljelylaitoksella. Merkintää varten kalat haavittiin satunnaisesti yksi kerrallaan säilytysaltaasta nukutusastiaan, mutta merkitsemättä jätettiin ulkoisesti jokipoikasen näköiset ja pienet alle 130 mm pituiset yksilöt. Kalat nukutettiin (bentsokaiini, 40 mg/l), mitattiin (paino ja pituus) ja eväkulumat (selkäevä ja rintaevät) sekä smolttiutumisaste (asteikko 1–4; 1=jokipoikanen, 4=täysin hopeoitunut) määritettiin visuaalisesti. Välittömästi tämän jälkeen akustinen lähetin sijoitettiin kalan ruumiinonteloon noin 15 mm viiltohaavasta ja haava suljetiin yhdellä tikillä. Kaikki toimenpiteet suoritettiin steriileillä välineillä. Yksittäisen kalan mittaukset ja merkintä kestivät noin 2–3 minuuttia. Merkinnän jälkeen kalat siirrettiin säilytysaltaaseen toipumaan. Lohien annettiin toipua merkinnästä vuorokauden ajan ennen siirtoa Haapakoskelle.

Merkintää seuranneena päivänä merkityt kalat ja n. 100 kalan suojaparvi kuljetettiin autolla (750 l, hapetettu kuljetussäiliö) Raasakan kalanviljelylaitokselta Haapakoskelle (kuljetusaika n. 40 min). Haapakoskella kalat siirrettiin 1000 l läpivirtaavalla vesityksellä varustettuun säilytysastiaan toipumaan kuljetuksesta ja vapautettiin kuljetusta seuraavana päivänä Haapakosken alasvaellusväylän sisäänkäyntisuppilon takaosaan, josta kalat vapautuksen aikaan pääsivät alavirtaan ainoastaan alasvaelluskanavaa pitkin.

Lisäksi samana keväänä käynnissä olleessa Sateenvarjo III-hankkeessa merkittiin 105 smolttia akustisilla lähettimillä, jotka vapautettiin Haapakosken voimalaitospadon yläpuolelle (kalojen merkintä ja vapautus menetelmät: ks. Louhi ym. 2024). Näiden kalojen osalta saatiin seurantatietoa Lohi Iijokeen-hankkeen seurantajärjestelmällä Haapakosken alapuoliselta alueella. Haapakosken alapuolella näistä yksilöistä tallentui yhteensä 63 yksilöä (Taulukko 2–3). Nämä yksilöt olivat tulleet Haapakosken alapuolelle voimalaitosturbiinien kautta, sillä ohijuoksutuksia ei ollut ensimmäisen erän aikaisia pieniä ohijuoksutuksia lukuun ottamatta ja Haapakosken alasvaellusväylän sisäänkäynnissä kaikki kalat ohjattiin kiinniottohäkkeihin. Näitä yksilöitä käytettiin selviytymisen ja käyttäytymisen vertailuryhmänä Lohi Iijokeen -hankkeessa merkityille ja alasvaellusväylään vapautetuille lohen vaelluspoikasille.

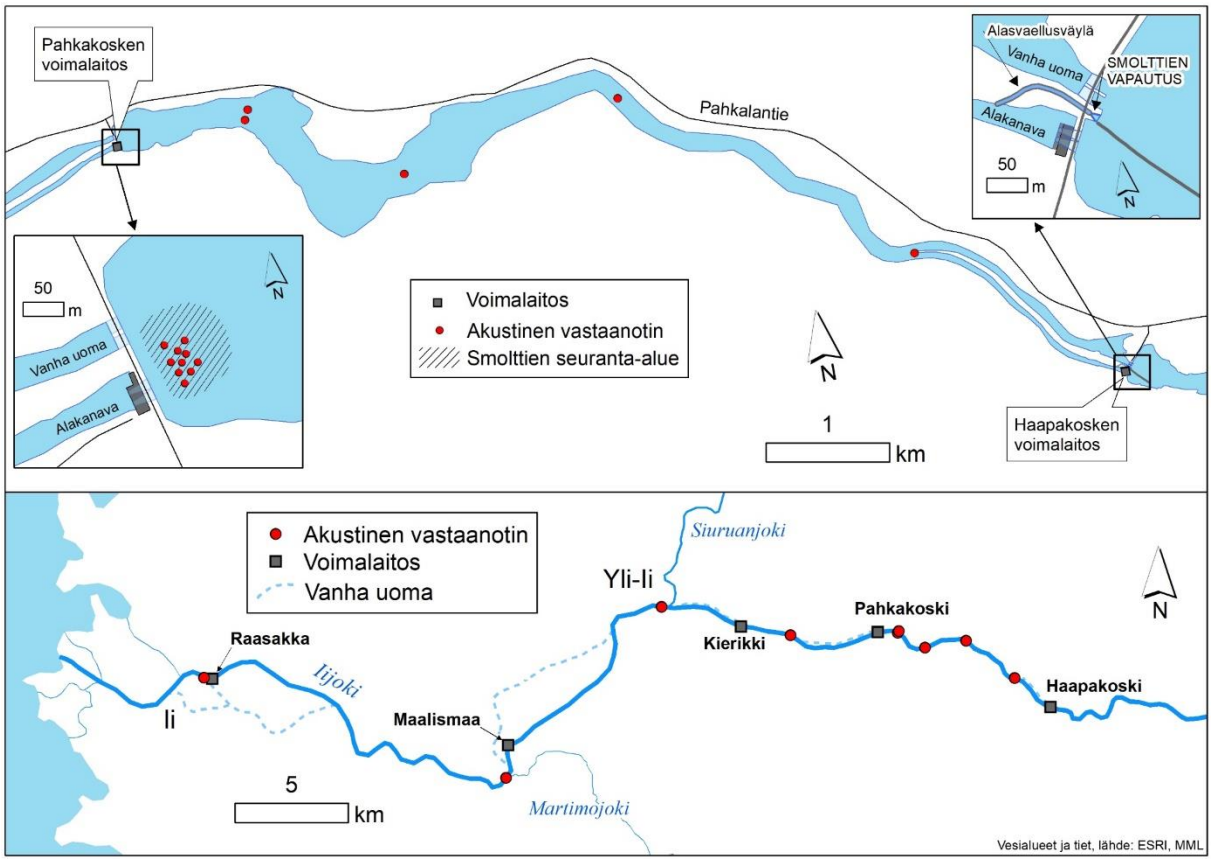
Taulukko 2. Lohi Iijokeen ja Sateenvarjo III-hankkeissa merkittyjen lohen vaelluspoikasten keskipituus (vaihteluväli) merkintäerittäin (erät 1–3).

Hanke	Erä	Vapautus-päivä	Vapautus-paikka	Kasvatus-menetelmä	Kalojen lkm.	Keskipituus (mm)
Lohi Ijokeen	1	3.6.	Alasvaellusväylä	standardi virike	30 30	187(151–243) 191 (137–262)
Lohi Ijokeen	2	6.6.	Alasvaellusväylä	standardi virike	30 29	198 (145–266) 195 (152–270)
Lohi Ijokeen	3	9.6.	Alasvaellusväylä	standardi virike	30 30	192 (163–223) 194 (165–221)
Sateenvarjo III	1	3.6.	Haapakosken yläpuoli (7 km)	standardi	35	185 (153–221)
Sateenvarjo III	2	6.6.	Haapakosken yläpuoli (7 km)	standardi	35	196 (152–281)
Sateenvarjo III	3	9.6.	Haapakosken yläpuoli (7 km)	standardi	35	186 (159–243)

3.2. Kalojen seuranta

Merkittyjen kalojen seuranta tapahtui pääosin automaattisilla vastaanottimilla aikavälillä 3.–26.6.2023. Merkittyjen kalojen liikkumista seurattiin Haapakosken ja Pahkakosken välisellä patoaltaalla neljällä kuuntelulinjalla, joiden ohittamisesta tallentui vastaanottimelle (Innovasea, VR2W-180kHz) kalan yksilöllinen koodi ja ohittamisajankohta. Kalojen selviytymistä Pahkakoskelta jokisuulle seurattiin sijoittamalla Pahkakosken, Kierikin, Maalismaan ja Raasakan voimalaitosten alakanavien ja ohijuoksutusuomien yhtymäkohtiin jokaiseen yksi Innovasea:n VR2W-180kHz vastaanotin (Kuva 4). Lisäksi Pahkakosken voimalaitospadon yläpuolelle sijoitettiin 10 akustisen vastaanottimen (Innovasea, HR2-180kHz) avulla kuunteluverkosto, jonka alueella uiville merkityille kaloille pystyttiin laskemaan kolmipaikannusmenetelmän (VPS) avulla tarkat sijaintitiedot (Kuva 4). Sijaintitietojen laskenta ostettiin laitevalmistajan (Innovasea) tarjoamana ostopalveluna.

Manuaalisesti kalat paikannettiin veneellä Pahkakosken ja Haapakosken välisellä patoaltaalla 13.6.2023. Venepaikannuksessa käytettiin ympärikuuntelevaa hydrofonia ja kannettavaa vastaanotinta (Innovasea, VR100). Paikannetuille kaloille kirjattiin havaintopisteen koodinaatit ja havaintoaika. Paikannustarkkuuden arvioitiin olleen noin 10–20 m. Venepaikannuksen tavoitteena oli tarkentaa kuuntelulinjojen välille jääneiden kalojen sijaintia ja siten selvittää poikasten alasvaelluksen kannalta ongelmallisia kohtia.



Kuva 4. Lohi Iijokeen -hankkeessa merkittyjen vaelluspoikasten vapautuspaikka sekä seurannassa käytettyjen akustisten vastaanottimien sijoituspaikat. Vertailueränä käytetyt Sateenvarjo III-hankkeen vaelluspoikaset vapautettiin noin 7 km Haapakosken voimalan yläpuolelle.

3.3. Aineiston käsittely

Haapakosken ja Pahkakosken patoaltaan vastaanottimilta jokaiselle tallentuneelle kalayksilölle selvitettiin tallentumisen ajankohta. Havainnot järjestettiin aikajärjestykseen, jonka avulla selvisi kalojen liikkumissuunta ja vastaanotinlinjojen välillä vietetty aika.

Kaikkien voimalaitosten alakanavien suulla olevilta vastaanottimilta poimittiin jokaiselle tallentuneelle kalayksilölle päivämäärä- ja aikatiedot, joiden perusteella laskettiin vaellukseen kulunut aika kahden peräkkäisen vastaanottimen välille sekä koko jokiosuudelle (vapautus-Raasakan alapuoli). Uintiaikojen perusteella laskettiin yksilöille myös vaellusnopeus (km/vrk) vastaaville väleille. Vaelluspoikasten viipymäksi Pahkakosken ja Haapakosken voimalaitosten yläpuolella laskettiin voimalaitoksen yläpuolen seuranta-alueelta saadun ensimmäisen ja viimeisen, ennen alasmenoa, tallentuneen havainnon välinen aika.

Vaelluspoikasten selviytymistä Haapakosken ja Pahkakosken välillä sekä jokisuulle arvioitiin vastaanotinlinjoilla ja alakanavien suulla oleville vastaanottimille tallentuneiden havaintojen perusteella. Mikäli alasmenoa ei havaittu tulkittiin kalan kuolleen tämän vastaanottimen yläpuolella.

Pahkakosken yläpuolella jokaisen vaelluspoikasen ensimmäinen lähestyminen ja uintireitti määritettiin tarkasti. Ensimmäiseksi lähestymiseksi määritettiin sijaintipistetiedot

ensimmäisestä havainnosta havaintoon, jolloin kala joko saavutti voimalaitospadon tai kääntyi pois seuranta-alueelta käymättä voimalaitospadon välittömässä läheisyydessä. Sijaintitiedot sijoitettiin mahdollisimman lähellä todellista virtaamatilannetta olevan virtausmallitason päälle. 3D-virtausmallista (Huusko ym. 2018) tarkastelussa käytettiin 1 m veden pinnan alapuolelta olevaa tasoa, sillä vaelluspoikasten on havaittu vaeltavan voimalaitosten yläkanavissa lähellä veden pintaa (mm. Rivinoja 2005, Karppinen ym. 2017, Louhi ym. 2024).

4. Tulokset

4.1. Vaelluspoikasten selviytyminen

Haapakosken alasvaellusväylään vapautetuista vaelluspoikasista kokonaan havaitsematta seurannan aikana jäi yhteensä 14 yksilöä (8 %) ja nämä poistettiin tarkasteluista, sillä niiden kohtalosta ei ollut tietoa. Tarkastelussa mukana olleista 165 merkitystä vaelluspoikasesta 74,5 % (123 yksilöä) selviytyi Pahkakosken yläpuolella sijaitsevalle seuranta-alueelle (Taulukko 3). Lisäksi Haapakosken yläpuolelle vapautetuista vaelluspoikasista 60 % (63/105) havaittiin Haapakosken alapuoliselta alueelta. Näistä vaelluspoikasista 80,9 % (51 yksilöä) selviytyi Pahkakosken yläpuolen seuranta-alueelle (Taulukko 3).

Vapautuspaikalla, vapautuserällä tai kalojen kasvatusmenetelmällä ei havaittu olevan selvää vaikutusta selviytymiseen Pahkakosken yläkanavaan (Taulukko 3). Haapakosken yläpuolelle vapautetut poikaset uivat Haapakoskelta Pahkakoskelle keskimäärin noin puolet nopeampaa (mediaani 9 tuntia) kuin Haapakosken alasvaellusväylään vapautetut vaelluspoikaset (mediaani 21 tuntia), mutta yksilökohtainen vaihtelu oli suurta (Taulukko 3).

Taulukko 3. Haapakosken alasvaellusväylään ja Haapakosken yläpuolelle vapautettujen lohen vaelluspoikasten Pahkakoskelle selviytyneiden kalojen lukumäärät ja mediaani uintiajat (vaihteluväli) Haapakoskelta Pahkakoskelle.

Erä	Kasvatus-menetelmä	Vapautus Haapakosken yläpuolelle		Vapautus Haapakosken alasvaellusväylään	
		lkm.	Uintiaika Haapakoski-Pahkakosken yläkanava (hh:mm)	lkm.	Uintiaika Haapakoski-Pahkakosken yläkanava (hh:mm)
1	standardi	16	10:55 (05:05–85:41)	21	14:55 (05:08–48:05)
1	virike	-	-	24	31:42 (05:07–229:52)
1	yhteensä	16	10:55 (05:05–85:41)	44	23:41 (05:07–229:52)
2	standardi	20	11:50 (03:16–54:53)	20	23:23 (04:11–168:35)
2	virike	-	-	15	20:34 (04:03–229:58)
2	yhteensä	20	11:50 (03:16–54:53)	35	22:10 (04:03–229:58)
3	standardi	15	08:17 (04:23–27:32)	24	10:33 (05:49–37:40)
3	virike	-	-	19	26:04 (06:00–169:19)
3	yhteensä	15	08:17 (04:23–27:32)	42	17:12 (05:49–169:19)
yhteensä		51	09:05 (03:16–85:41)	123	21:00 (04:03–229:58)

Haapakosken ja Pahkakosken välillä kuolleisuus jakautui verraten tasaisesti koko 10 km matkalle (Taulukko 4). Venepaikannuksessa saadut tarkemmat havainnot kuitenkin osoittivat pysähtyneiden yksilöiden keskittyvän varsinkin patoaltaan yläosalla Haapakosken alakanavan suulle ja ylimmän kuunteluasemalinjan läheisyyteen (Kuva 5). Lisäksi yhteensä kahdeksan yksilöä pysähtyi Haapakosken alakanavaan (ei tallentumista alakanavan suun vastaanottimelta) ja näistä kolme löytyi venepaikannuksessa läheltä alasvaellusväylän uloskäyntiä (kaksi vapautettu alasvaellusväylään ja yksi tullut voimalaitoksen läpi; Kuva 5). Suurin osa Haapakosken ja Pahkakosken väliselle patoaltaalle jääneistä vaelluspoikasista oli kuitenkin käynyt Pahkakosken padolla saakka ja Pahkakosken seuranta-alueelta tallentuneet

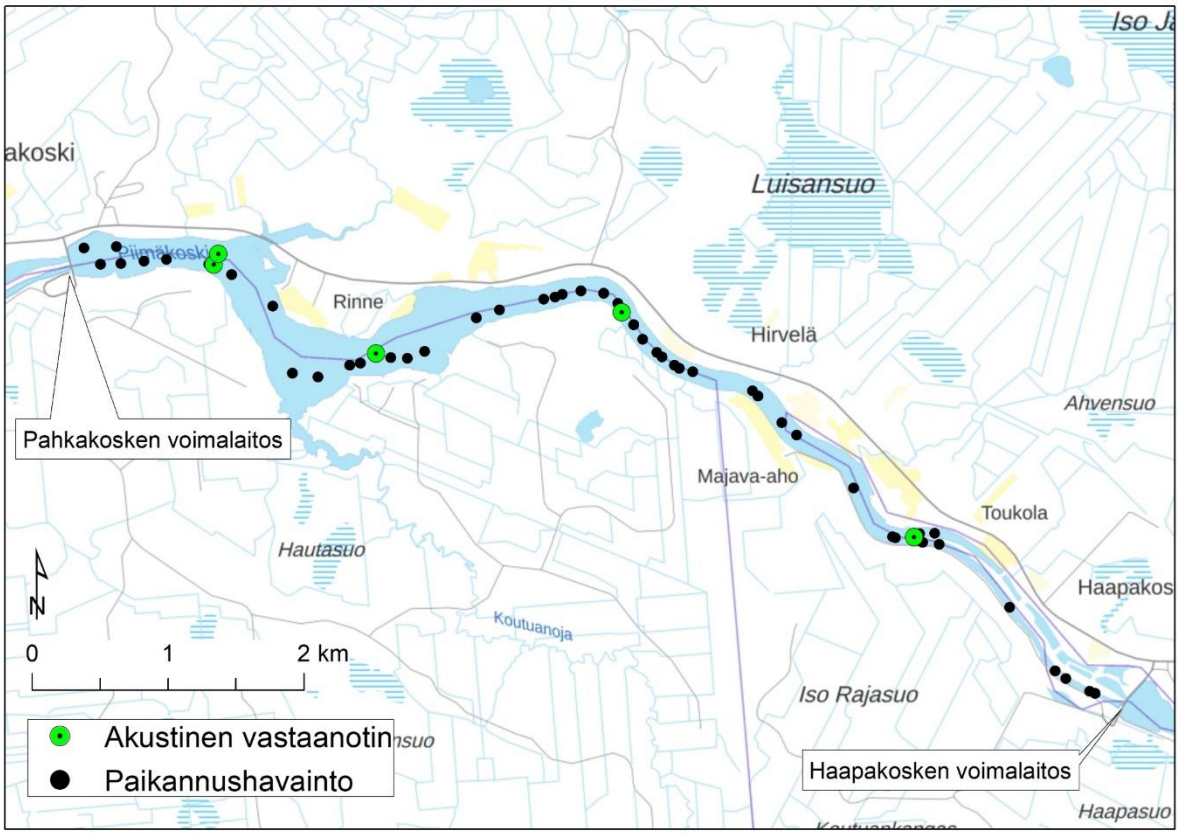
havainnot osoittivat useimpien padon yläpuolelle jääneiden vaelluspoikasten poistuvan ja saapuvan useitakin kertoja padon yläpuolelle seurannan aikana. Pahkakosken padon vaelluksen pysäytysvaikutus oli huomattavan korkea sekä Haapakosken alasvaellusväylään vapautetuilla (65 %) että Haapakosken yläpuolelle vapautetuilla (57 %; Taulukko 4). Haapakosken voimalan pysäytysvaikutus oli alhaisempi ollen 25 % Haapakosken seuranta-alueelle saapuneista vaelluspoikasista (Taulukko 4).

Haapakosken yläpuolelle vapautettujen vaelluspoikasten kuolleisuus oli Haapakosken yläpuolisella 7 km matkalla 2,9 %/km ja Haapakosken ja Pahkakosken välisellä 10 km matkalla kokonaisuudessaan 1,9 %/km (Taulukko 4). Haapakosken alasvaellusväylään vapautetuilla vaelluspoikasilla kuolleisuus Haapakosken ja Pahkakosken välisellä jokiosuudella oli puolestaan keskimäärin 2,5 %/km (Taulukko 4).

Vaelluspoikaset viipyivät Pahkakosken padon yläpuolisella patoaltaalla yleensä useamman päivän ajan ennen padon läpäisyä. Vaelluspoikaset, joille Pahkakoski oli ensimmäinen ohitettava pato, viipyivät pidemmän aikaa patoaltaalla ennen läpäisyä (mediaani 73 tuntia ja 35 minuuttia, vaihteluväli 00:01–396:28) kuin jo aiemmin yhden (Haapakoski) padon läpi vaeltaneet poikaset (mediaani 42 tuntia ja 10 minuuttia, vaihteluväli 00:01–78:25).

Taulukko 4. Pysähtyneiden ja vaeltaneiden kalojen lukumäärät sekä niiden perusteella lasketut kuolleisuudet (%/km) Haapakosken yläpuolella sekä Haapakosken ja Pahkakosken välisellä 10 km matkalla. Haapakosken ja Pahkakosken välillä kuolleisuudet laskettu myös erikseen kuunteluasemalinjojen välisille jokiosuuksille sekä voimalaitospadoille (Haapakoski pato ja Pahkakoski pato).

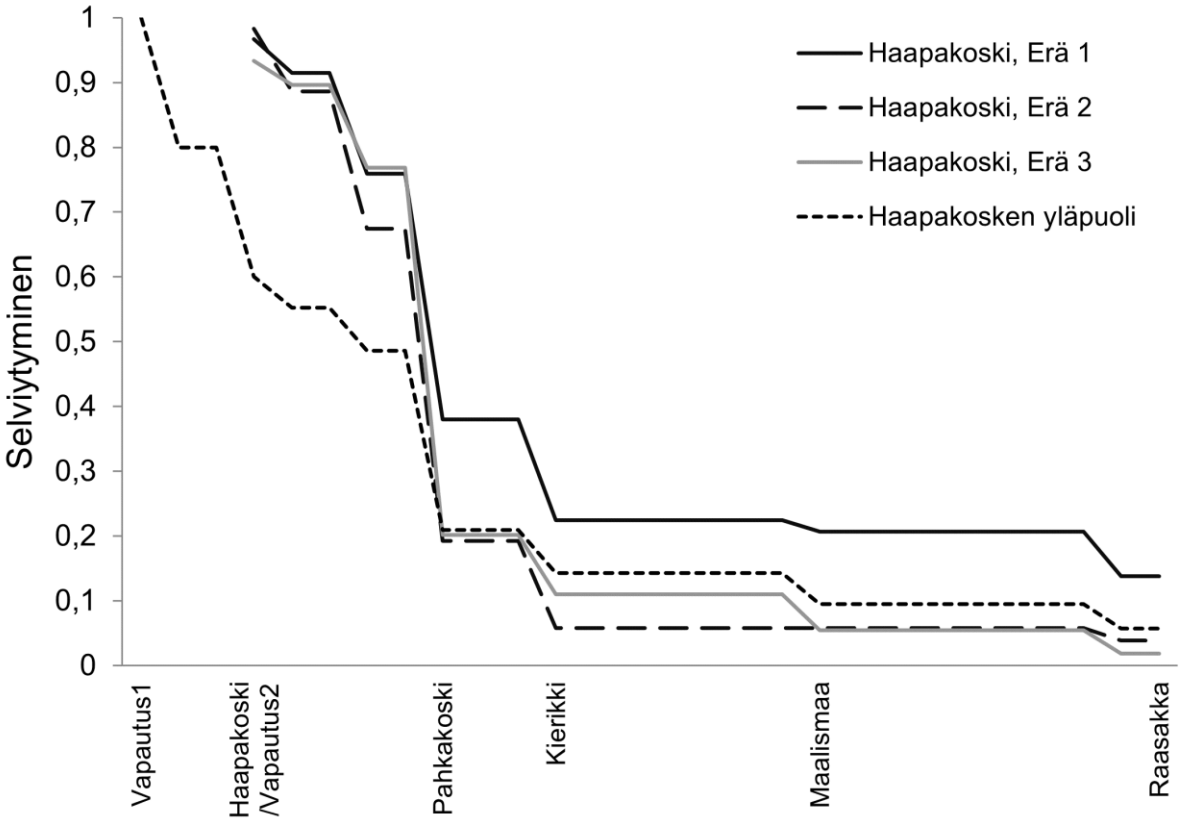
Jokiosuus	Vapautus Haapakosken yläpuolelle		Vapautus Haapakosken alasvaellusväylään	
	pysähtyneet/ vaeltaneet	kuolleisuus (%/km)	pysähtyneet/ vaeltaneet	kuolleisuus (%/km)
Haapakosken yläpuoli	21/105	2,9	-	-
Haapakosken pato	21/84	25,0	-	-
Haapakosken alakanava	1/63	0,8	7/165	2,1
Haapakosken alakanava-Ylälinja	5/62	2,7	21/158	4,4
Ylälinja-Keskilinja	0/57	0	4/137	1,5
Keskilinja-Alalinja	2/57	2,3	4/133	2,0
Alalinja-Pahkakosken seuranta-alue	4/55	7,3	6/129	4,7
Haapakoski-Pahkakoski	12/63	1,9	42/165	2,5
Pahkakosken pato	29/51	56,9	80/123	65,0



Kuva 5. Iijoella merkittyjen vaelluspoikasten havainnot venepaikannuksessa Haapakosken ja Pahkakosken välillä 13.6.2023.

Haapakosken alasvaellusväylään vapautetuista vaelluspoikasista selviytyi alimman, Raasakan, voimalaitoksen alapuolelle yhteensä 6,7 % (11 yksilöä). Selviytyminen Raasakan alapuolelle oli ensimmäisen vapautuserässä (13,8 %) korkeampi kuin muissa vapautuserissä. Selviytyminen toisessa (3,8 %) ja kolmannessa (1,8 %) Haapakosken alasvaellusväylän vapautuserässä ei eronnut toisistaan (Kuva 6).

Haapakosken voimalaitoksen yläpuolelle vapautetuista vaelluspoikasista selviytyi viiden voimalaitoksen läpi jokisuulle kokonaisuudessaan 5,7 % (6/105 yksilöä, Kuva 6). Selviytyneistä puolet (3 yksilöä) oli ensimmäisestä vapautuserästä ja puolet (3 yksilöä) kolmannesta vapautuserästä. Toisesta vapautuserästä ei selviytynyt vaelluspoikasia Raasakan alapuolelle.



Kuva 6. Lohen vaelluspoikasten selviytyminen lijoen alaosalla vapautuspaikalta viiden (Haapakosken yläpuolelle vapautetut) tai neljän (Haapakosken alasvaellusväylään vapautetut, erät 1–3) voimalaitospadon alapuolelle.

Haapakosken alasvaellusväylään vapautetut vaelluspoikaset vaelsivat neljän voimalaitospadon (Pahkakoski, Kierikki, Maalismaa, Raasakka) alapuolelle keskimäärin noin 3 vuorokaudessa ja 17 tunnissa (mediaani 89 tuntia ja 34 minuuttia), mutta yksilöiden välillä havaittiin suurta vaihtelua (Taulukko 5). Haapakosken yläpuolelta (viisi voimalaitospatoa) vaelluspoikasilla kesti hieman pidempää, noin 4 vuorokautta ja 11 tuntia (mediaani 107 tuntia 17 minuuttia), saapua Raasakan alapuolelle (Taulukko 5). Vaelluspoikasten vaellusnopeus vapautuksesta jokisuulle (Raasakan alapuolelle) oli alasvaellusväylään vapautetuilla keskimäärin 13,2 km/vrk ja Haapakosken yläpuolelle vapautetuilla 12,5 km/vrk (Taulukko 5). Ensimmäiset vaelluspoikaset havaittiin Raasakan alapuolella iltapäivällä 4.kesäkuuta ja viimeinen vaelluspoikanen tallentui Raasakan alapuoliselle vastaanottimelle 16.kesäkuuta.

Taulukko 5. Haapakosken yläpuolelle ja Haapakosken alasvaellusväylään vapautettujen vaelluspoikasten mediaani uintiajat (vaihteluväli) ja mediaani vaellusnopeudet (vaihteluväli) lijoen eri voimalaitosten välisillä jokiosuuksilla sekä koko vaellusmatkalla vapautuksesta jokisuulle.

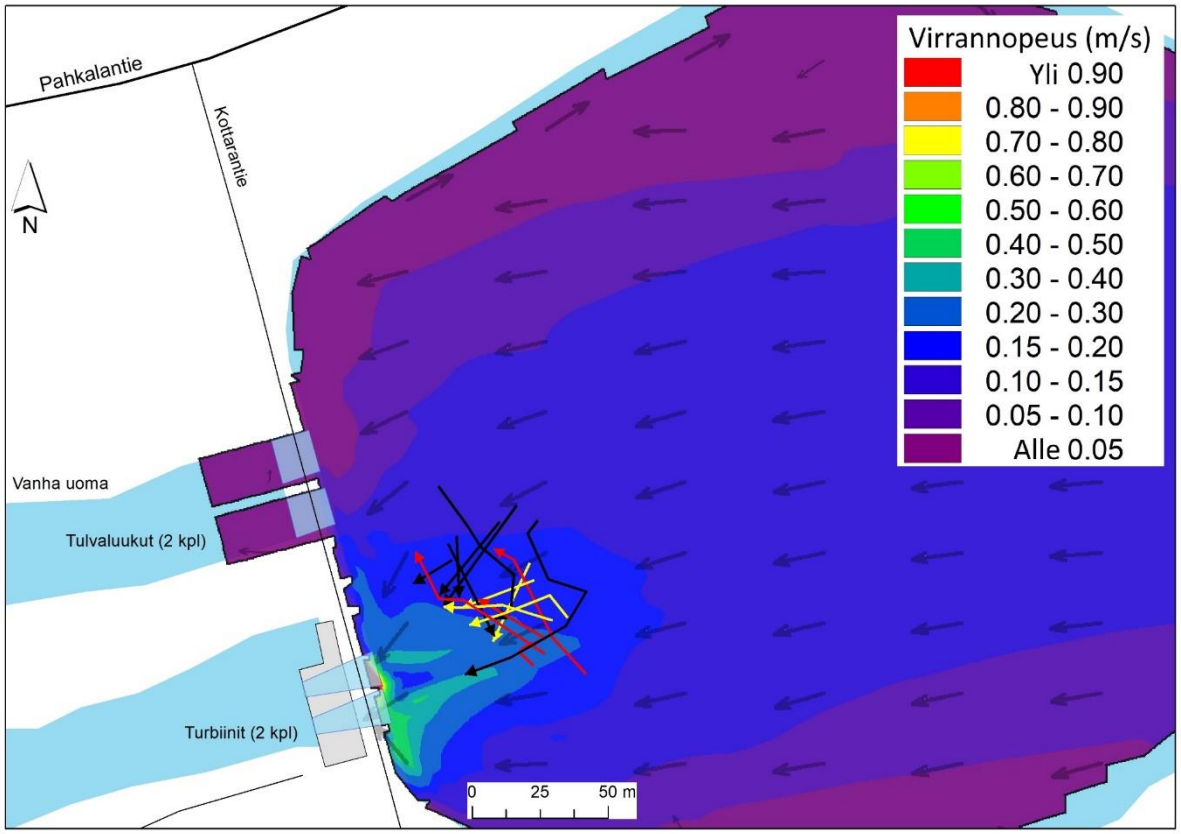
Jokiosuus	Vapautus Haapakosken yläpuolelle		Vapautus alasvaellusväylään	
	Uintiaika (hh:mm)	Vaellusnopeus (km/vrk)	Uintiaika (hh:mm)	Vaellusnopeus (km/vrk)
vapautus-Haapakosken alapuoli	15:40 (2:58–383:01)	13,7 (0,5–73,0)	-	-
vapautus-Pahkakosken alapuoli	34:05 (8:56–260:01)	14,4 (1,9–55,0)	37:35 (5:27–410:41)	8,6 (0,7–59,5)
Pahkakoski-Kierikin alapuoli	32:07 (2:00–205:51)	4,8 (0,7–77,8)	5:00 (2:12–36:39)	31,2 (4,3–71,0)
Kierikki-Maalismaan alapuoli	11:22 (4:49–34:14)	25,7 (8,4–59,8)	21:22 (4:02–125:16)	13,4 (2,4–71,3)
Maalismaa-jokisuu	21:30 (7:48–57:55)	19,4 (7,0–52,3)	36:14 (9:58–350:28)	11,3 (4,3–56,4)
vapautus-jokisuu	107:17 (38:28–167:16)	12,5 (7,9–35,0)	89:34 (37:44–1137:17)	13,2 (4,6–31,2)

4.2. Vaelluspoikasten käyttäytyminen Pahkakoskella

Yleisesti Pahkakoskella vaelluspoikaset lähestyivät ensimmäisen kerran voimalaitospatoa pohjoisrannan suunnalta, mutta monet kaloista uivat ohi voimalaitoksesta tai kääntyivät ylävirran suuntaan käymättä ollenkaan voimalaitosturbiinien vedenottoaukkojen lähistöllä (Kuvat 7–11).

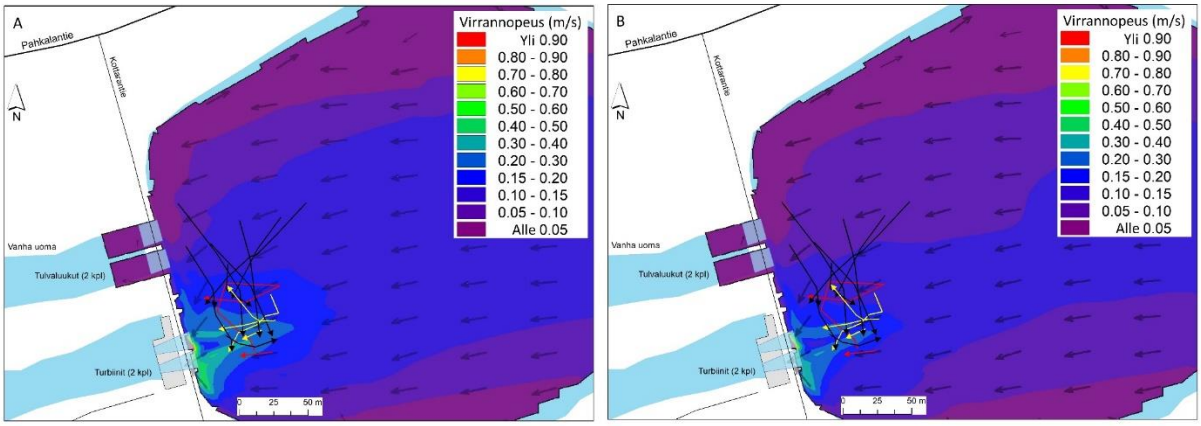
4.2.1. Haapakosken alasvaellusväylän vapautuserät

Ensimmäisen vapautuserän vaelluspoikasista yhtä lukuun ottamatta kaikki (43/44) saapuivat Pahkakosken tutkimusalueelle 2.kesäkuuta klo 15–16 ja 6.kesäkuuta klo 21–22 välisenä ajanjaksona. Joen kokonaisvirtaama näiden kalojen ensimmäisen lähestymisen aikaan oli keskimäärin 242 m^3/s (vaihteluväli 202–261 m^3/s). Kokonaisvirtaamasta ohijuoksutusta (17–30 m^3/s) oli tasaisesti vielä vuorokauden vaihteeseen 2.–3.kesäkuuta, mutta sen jälkeen ohijuoksutusta oli enää yksittäisinä tunteina. Lähes puolet (47 %) ensimmäisen erän vaelluspoikasista lähestyi patoa päävirran pohjoisrannan puoleista reunaa. Päävirran keskiosassa voimalaitosta lähestyi neljäsosa (25 %) vaelluspoikasista (Kuva 7). Etelärannan puolella voimalaitospatoa lähestyneet vaelluspoikaset (14 %) kääntyivät kaikki kohti pohjoisrantaa noin 55–65 metriä ennen patoa ja uivat turbiinien vedenottoaukkojen ohi (Kuva 7). Myös yksittäiset kalat, jotka lähestyivät patoa keski- ja pohjoisvirrassa, kääntyivät padosta poispäin 50–70 metriä sen yläpuolella ja uivat useimmiten kohti pohjoisrantaa. Loppujen kalojen (6/43) lähestymisiä ei voitu sijoittaa selvästi mihinkään näistä kolmesta päälähestymissuunnasta, vaan ne olivat yksittäisiä reittihavaintoja. Yksi ensimmäisen erän vaelluspoikanen saapui Pahkakosken seuranta-alueelle vasta 11.kesäkuuta yöaikaan, jolloin joen virtaama oli alle 50 m^3/s (Kuva 10).



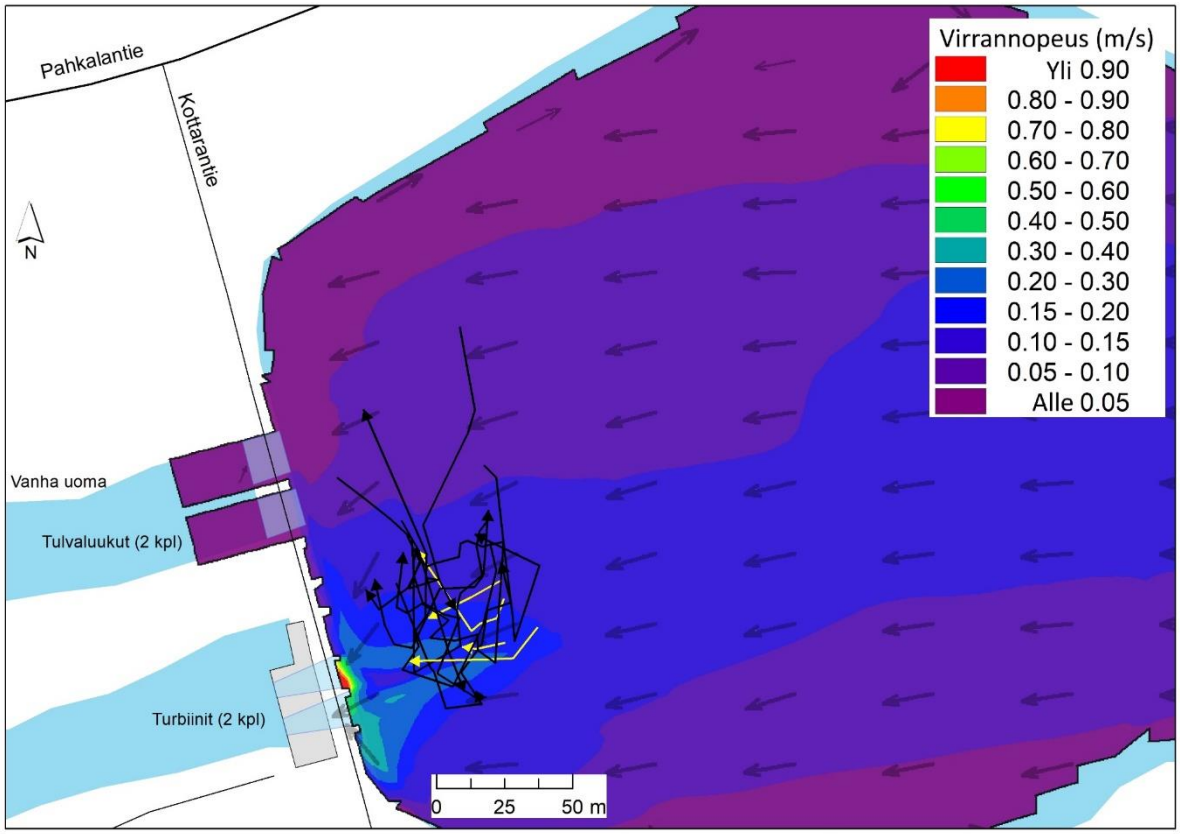
Kuva 7. Esimerkkejä 1.vapautuserän vaelluspoikasten ensimmäisistä Pahkakosken voimalaitoksen lähestymisreiteistä. Mustat nuolet kuvaavat pohjoisrannan puolelta saapuneiden vaelluspoikasten reittejä, keltaiset nuolet virran keskiosassa saapuneiden reittejä ja punaiset nuolet etelärannan suunnalta saapuneiden reittejä. Virtausmalli: turbiinivirtaama 250 m^3/s, 1 m pinnan alapuolella.

Toisen vapautuserän vaelluspoikasista suurin osa (30/35) saapui Pahkakosken tutkimusalueelle 7.kesäkuuta klo 16–17 ja 8.kesäkuuta klo 12–13 välisenä ajanjaksona. Joen kokonaisvirtaama kalojen ensimmäisen lähestymisen aikaan oli keskimäärin 220 m^3/s (vaihteluväli 209–226 m^3/s). Toisen erän vaelluspoikasista lähes puolet (47 %) lähestyi patoa pohjoisrannan suunnasta. Pohjoisrannan puolelta saapuneista yksilöistä noin puolet lähestyi patoa lähes pohjois-etelä suuntaisesti ja puolet saapuivat patoa kohti päävirran pohjoisreunan suuntaisesti (Kuva 8). Päävirran keskiosassa voimalaitosta lähestyi reilu neljäsosa (30 %) vaelluspoikasista (Kuva 8), mutta näistä vain puolet ui suoraan kohti voimalaitosta (Kuva 8). Etelärannan puolella voimalaitospatoa lähestyi 13 % vaelluspoikasista ja näistä puolet kääntyi kohti pohjoisrantaa noin 30–50 metriä ennen patoa ja uivat turbiinien vedenottoaukkojen ohi (Kuva 8). Loppujen kalojen (3/30) lähestymisiä ei voitu sijoittaa selvästi mihinkään näistä kolmesta päälähestymissuunnasta, vaan ne olivat yksittäisiä havaintoja. Viisi toisen erän vaelluspoikasta saapui Pahkakosken seuranta-alueelle 8.–17.kesäkuuta välillä, jolloin joen virtaama vaihteli saapumisen aikaan 0,5–173 m^3/s (Kuva 10).

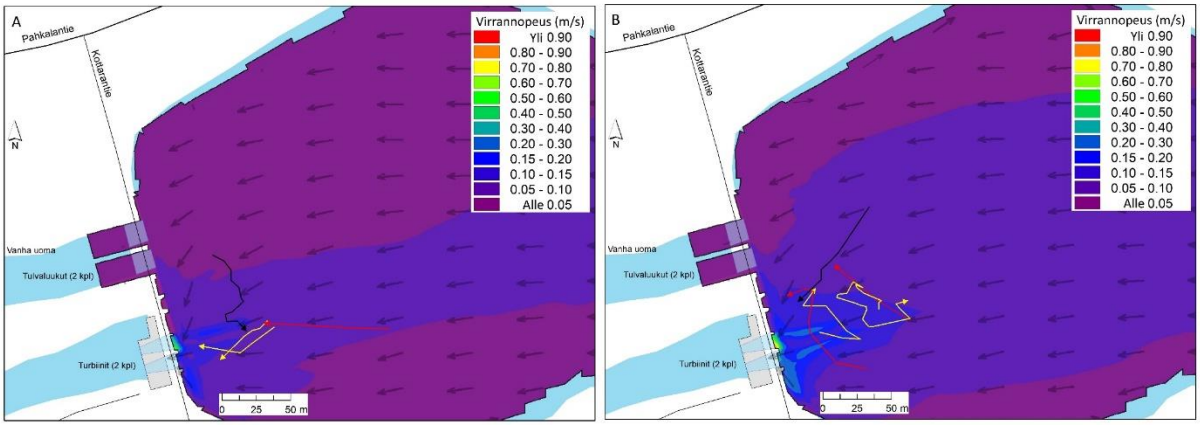


Kuva 8. Esimerkkejä 2.vapautuserän vaelluspoikasten ensimmäisistä Pahkakosken voimalaitoksen lähestymisreiteistä. Mustat nuolet kuvaavat pohjoisrannan puolelta saapuneiden vaelluspoikasten reittejä, keltaiset nuolet virran keskiosassa saapuneiden reittejä ja punaiset nuolet etelärannan suunnalta saapuneiden reittejä. A) Virtausmalli: turbiinivirtaama 250 m^3/s, 1 m pinnan alapuolella B) Virtausmalli: turbiinivirtaama 200 m^3/s, 1 m pinnan alapuolella.

Kolmannen vapautuserän vaelluspoikasista suurin osa (39/42) saapui Pahkakosken tutkimusalueelle 9.kesäkuuta klo 17–18 ja 10.kesäkuuta klo 19–20 välisenä ajanjaksona. Joen kokonaisvirtaama kalojen ensimmäisen lähestymisen aikaan oli keskimäärin 205 m^3/s (vaihteluväli 198–222 m^3/s). Kolmannen erän vaelluspoikasista yli puolet (59 %) lähestyivät patoa pohjoisrannan suunnasta. Pohjoisrannan puolelta saapuneista yksilöistä suurin osa kääntyi poispäin padosta noin 30–50 metriä ennen padolle saapumista (Kuva 9). Suurin osa palasi takaisin pohjoisrannan puolelle. Päävirran keskiosassa voimalaitosta lähestyi noin neljäsosa (23 %) vaelluspoikasista (Kuva 9), mutta näistä vain puolet ui suoraan kohti voimalaitosta (Kuva 9). Etelärannan puolella voimalaitospatoa lähestyi vain yksi vaelluspoikanen. Kolme kolmannen erän vaelluspoikasta saapui Pahkakosken seuranta-alueelle myöhemmin, 11.–16.kesäkuuta välillä, jolloin joen virtaama vaihteli saapumisen aikaan 97–141 m^3/s (Kuva 10).



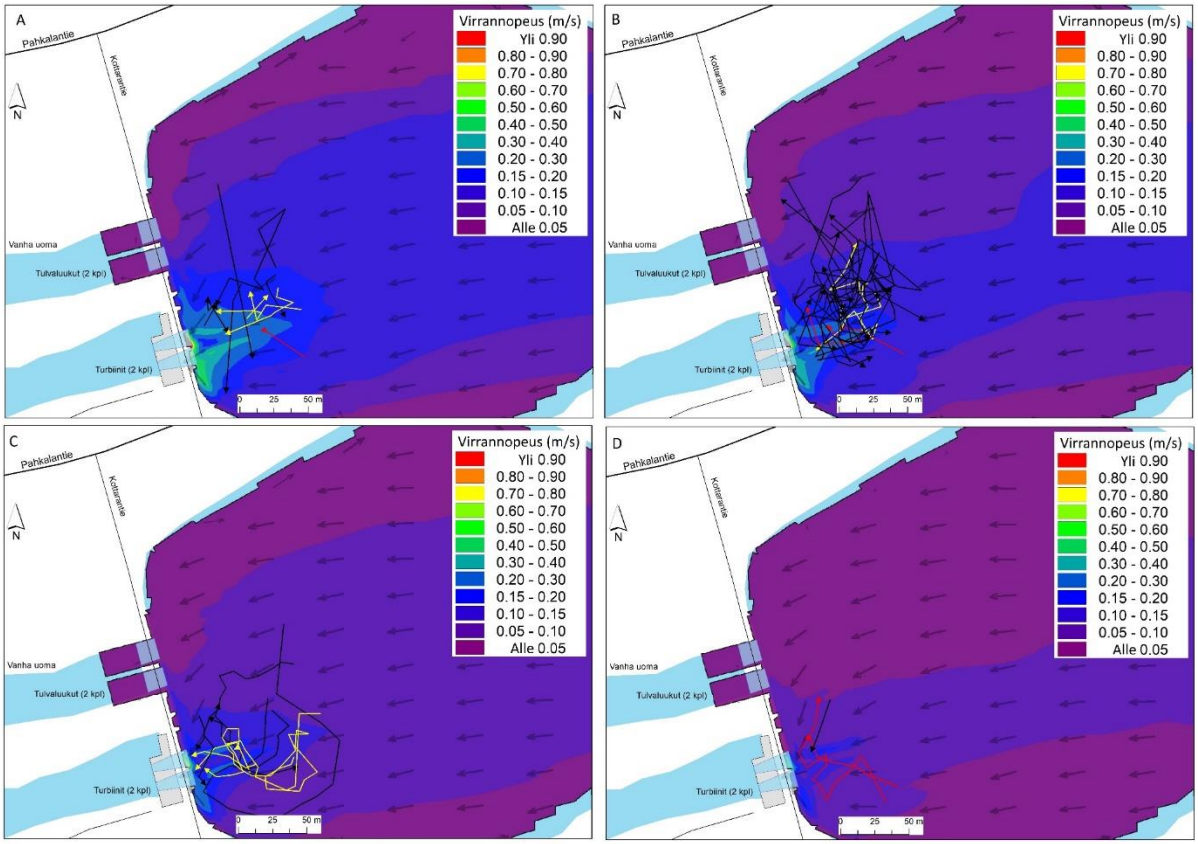
Kuva 9. Esimerkkejä 3.vapautuserän vaelluspoikasten ensimmäisistä Pahkakosken voimalaitoksen lähestymisreiteistä. Mustat nuolet kuvaavat pohjoisrannan puolelta saapuneiden vaelluspoikasten reittejä ja keltaiset nuolet virran keskiosassa saapuneiden reittejä. Virtausmalli: turbiinivirtaama 200 m^3/s, 1 m pinnan alapuolella.



Kuva 10. A) Vaelluspoikasten ensimmäiset Pahkakosken voimalaitoksen lähestymisreitit virtaaman ollessa 0,5–97 m^3/s. Virtausmalli turbiinivirtaama 100 m^3/s, 1 m pinnan alapuolella. **B)** Vaelluspoikasten ensimmäiset Pahkakosken voimalaitoksen lähestymisreitit virtaaman ollessa 119–173 m^3/s Virtausmalli: turbiinivirtaama 150 m^3/s, 1 m pinnan alapuolella. Mustat nuolet kuvaavat pohjoisrannan puolelta saapuneiden vaelluspoikasten reittejä, keltaiset nuolet virran keskiosassa saapuneiden reittejä ja punaiset nuolet etelärannan suunnalta saapuneiden reittejä.

4.2.2. Haapakosken yläpuolen vapautuserät

Haapakosken yläpuolelta vapautettujen kalojen osalta saapumistarkastelut tehtiin virtaamatilanteiden mukaan, sillä eräkohtaisesti kalat saapuivat Pahkakoskelle pidemmällä aikavälillä ja siten erilaisilla virtaamaolosuhteilla. Nämä yhden voimalaitosturbiinin (Haapakoski) läpi uineet vaelluspoikaset lähestyivät Pahkakosken voimalaitosta useimmiten pohjoisrannan puolelta, kun joen kokonaisvirtaama padolle saapumisen aikaan oli yli 200 m^3/s, mutta kokonaisvirtaaman laskiessa vaelluspoikaset lähestyivät patoa usein myös päävirran keskiosassa tai etelärannan puolelta (Kuva 11) Suurin osa (70 %) näistä vaelluspoikasista saapui padolle virtaaman ollessa yli 200 m^3/s.



Kuva 11. Haapakosken yläpuolelta vapautettujen vaelluspoikasten ensimmäiset Pahkakosken voimalaitoksen lähestymisreitit. A) Lähestymisreitit virtaaman ollessa 226–262 m^3/s, n=12, virtausmalli: 250 m^3/s, 1 m pinnan alapuolella B) Lähestymisreitit virtaaman ollessa 195–225 m^3/s, n=25, virtausmalli: 200 m^3/s, 1 m pinnan alapuolella C) Lähestymisreitit virtaamalla 135–169 m^3/s, n=9, virtausmalli: 150 m^3/s, 1 m pinnan alapuolella D) Lähestymisreitit virtaamalla 79–104 m^3/s, virtausmalli: 100 m^3/s, 1 m pinnan alapuolella. Mustat nuolet kuvaavat pohjoisrannan puolelta saapuneiden vaelluspoikasten reittejä, keltaiset nuolet virran keskiosassa saapuneiden reittejä ja punaiset nuolet etelärannan suunnalta saapuneiden reittejä.

5. Tulosten tarkastelu

5.1. Vaelluspoikasten selviytyminen

Rakennetulla joella voimalaitokset toimivat suurimpana vaelluspoikasten kuolleisuutta lisäävänä tekijänä. Voimalaitospadoilla kuolleisuutta lisäävät sekä vaelluksen hidastuminen tai pysähtyminen padon yläpuolella että turbiinien läpäisy (Coutant & Whitney 2000). Lohen vaelluspoikaset vaeltavat rakennetuilla joilla päävirtauksen mukana veden pintakerroksessa ja pysähtyvät tyypillisesti hetkellisesti voimalaitospadolle saavuttaessa, mutta jatkavat usein kuitenkin vaellustaan alavirtaan turbiinien kautta (mm. Coutant & Whitney 2000, Rivinoja 2005). Alavirtaan vaeltavat lohikalojen poikaset voivat kuitenkin pysytellä pitkiäkin aikoja voimalaitoksen yläkanavassa ennen laskeutumista padon läpi (mm. Venditti ym. 2000, Huusko ym. 2012, Huusko ym. 2016, Karppinen ym. 2017) ja osa vaelluspoikasista voi jopa pysähtyä patojen yläpuolelle kokonaan, jos ne eivät ole halukkaita käyttämään turbiineja alasvaellusreittinään, eikä vaihtoehtoista reittiä padon alapuolelle ole tai vaelluspoikaset eivät sitä käytä (esim. Huusko ym. 2012, Huusko ym. 2016, Louhi ym. 2024).

Iijoella toiseksi ylin, Pahkakosken, voimalaitospato osoittautui suureksi alasvaellusongelmaksi. Pahkakosken voimalaitospadon yläpuolelle pysähtyi yli puolet (57–65 %) siihen selviytyneistä vaelluspoikasista. Pahkakosken pysäytysvaikutus vaelluspoikasille oli samansuuruista riippumatta siitä, oliko Pahkakosken voimalaitos ensimmäinen vai toinen vaelluspoikasen alasvaelluksellaan kohtaama pato. Tämä tulos poikkeaa aiemmin saaduista tuloksista muun muassa Ii-, Oulu- ja Kemijoella (Huusko ym. 2012, Orell ym. 2011, Huusko ym. 2016), sillä aiemmissa tutkimuksissa poikasten on havaittu pysähtyvän usein toiselle-kolmannelle voimalaitokselle saapuessaan, mutta vaeltavan ensimmäisen kohtaamansa padon läpi sujuvasti. Haapakosken voimalaitospato pysäytti 25 % sen yläpuolelle saapuneista vaelluspoikasista, joten Haapakosken yläpuolelle vapautettujen poikasten osalta tutkimustulos yksinään tarkasteltuna olisi ollut aiempien tutkimustulosten kanssa samansuuntainen.

Voimalaitospatojen vaellusta hidastavan tai vaelluksen pysäyttävän vaikutuksen on esitetty johtuvan vaikeuksista löytää reittiä padon alapuolelle ja/tai aikaisemman voimalaitoksen läpiuinnin aiheuttamista fyysisistä vammoista ja stressistä (Coutant & Whitney 2000, Scruton ym. 2007, Ferguson 2008). Vaellusreitin löytymistä hankaloittavat muun muassa vaelluspoikasille sopimattomat virtausolosuhteet padon yläpuolella ja voimalaitoksen rakenteelliset erot (mm. Venditti ym. 2000, Huusko ym. 2012, Karppinen ym. 2017). Esimerkiksi Mustionjoen Peltokoskella, missä turbiinien vedenotto tapahtuu selvästi muita voimalaitoksia syvemmältä, havaittiin huomattavasti pidempiä viipymäaikoja voimalaitospadon yläpuolella (Karppinen ym. 2017). Iijoella myös Pahkakosken vedenotto tapahtuu huomattavasti Haapakosken vedenottoa syvemmältä (Taulukko 1), joten voimalaitosten erilaiset rakenteet voivatkin osaltaan selittää tässä tutkimuksessa havaittuja eroja. Lisäksi virtausolosuhteet Haapakosken ja Pahkakosken voimalaitospatojen yläpuolella poikkeavat selvästi toisistaan (Huusko ym. 2018) ja Pahkakosken hitaammat virrannopeudet veden pintakerroksessa voivat osaltaan hankaloittaa hakeutumista päävirran mukana voimalaitosturbiineille. Pahkakoskelta saatujen havaintojen perusteella voimalaitoksen rakenne ja olosuhteet sen lähellä voivatkin vaikuttaa vaelluksen pysähtymiseen voimakkaammin kuin yksilöiden aiemmat kokemukset voimalaitosten läpäisystä.

Haapakoskella käytössä olevan Kaplan-turbiinin läpäisy ei tässä seurannassa lisännyt kokonaiskuolleisuutta Haapakosken ja Pahkakosken voimalaitosten välisellä jokiosuudella. Havainto poikkeaa Kemijoella saaduista havainnoista, missä voimalaitosturbiinien läpi kulkeminen heikensi selviytymistä seuraaville voimalaitoksille, vaikka voimalaitoksilla on käytössä Kaplan-turbiinit (Mönttinen ym. 2024). Kaplan-turbiineja pidetään kuitenkin kalojen läpäisyn kannalta turvallisempana, sillä niissä on vähemmän juoksupyöränsiipiä eikä niissä ole havaittu olevan selvää yhteyttä paineenvaihtelun ja putouskorkeuden tai pyörintänopeuden ja kalojen kuolleisuuden välillä (Ruggles 1980, Eicher ym. 1987). Haapakosken turbiinien rakenne ja olosuhteet voivatkin olla kalojen kannalta vain vähän suoraa ja epäsuoraa kuolleisuutta aiheuttavia, eikä näin ollen turbiinin läpiuinti aiheuta merkittävää lisäkuolleisuutta.

Vaelluspoikasten kokonaiskuolleisuus Haapakosken ja Pahkakosken välisellä jokiosuudella oli kokonaisuudessaan kuitenkin suhteellisen korkea, sillä noin neljäsosa vaelluspoikasista kuoli patoaltaalla noin 10 kilometrin matkalla, eikä saapunut ollenkaan Pahkakosken voimalaitospadolle. Tutkimuksessa Haapakosken ja Pahkakosken välisellä patoaltaalla kuolleisuuden arvioitiin olleen noin 1,9–2,5 %/km (padolle pysähtyneet eivät ole arvossa mukana). Myös muilla rakennetuilla joilla on saatu vastaavia kuolleisuuksia osalle patoaltaista laitospoikasilla tehdyissä seurannoissa (Karppinen ym. 2014, Karppinen ym. 2017), mutta patoallaskohtaisen vaihtelun on havaittu olevan suurta (Karppinen ym. 2017, Mönttinen ym. 2024).

Vaelluspoikasten kuolleisuuteen alasvaelluksen aikana vaikuttavat useat tekijät ja kuolleisuus voi vaihdella huomattavastikin samalla jokiosuudella eri ajankohtana (esim. Karppinen ym. 2017, Huusko ym. 2016). Myös luontaisella jokivaelluksella on kuolleisuutta, joka on esimerkiksi norjalaisessa tutkimuksessa ollut samaa luokkaa (2 %/km; Thorstad ym. 2012) kuin tässä tutkimuksessa Haapakosken ja Pahkakosken välisellä jokiosuudella. Tutkimuksessa havaittua noin 2 %/km kuolleisuutta vaeltavien poikasten osalta ei voida siten pitää poikkeuksellisen korkeana. Haapakosken ja Pahkakosken voimalaitosten välille jäi lopulta kuitenkin tutkimuksen aikana noin 70 % alueella vaeltaneista poikasista eli Pahkakosken padon aiheuttama vaellustappio nosti patoallaskuolleisuuden kuitenkin hyvin korkeaksi.

Vaelluspoikasten selviytyminen Iijoen alaosan voimalaitosketjun läpi oli heikkoa (keskiarvo 7 %, vaihteluväli 2–14 %). Tutkimuksessa havaittiin vaelluspoikasten selviytymisen olevan neljän ja viiden voimalaitoksen läpi jokisuulle keskimäärin samaa luokkaa, eikä ylimmän, Haapakosken, voimalaitospadon ohittaminen alasvaellusreittiä pitkin näin ollen parantanut oleellisesti selviytymistä jokisuulle. Tässä tutkimuksessa jokisuulle selviytyminen oli kuitenkin parempaa kuin aiemmin Iijoella radiotelemetrialla tehdyssä tutkimuksessa, missä vain 3,6 % vaelluspoikasista selviytyi Haapakosken yläpuolelta jokisuulle (Huusko ym. 2012). Iijoella havaittu selviytyminen oli kuitenkin keskimäärin heikompaa kuin Kemijoella, missä viiden voimalaitoksen läpi on selviytynyt parhaimmillaan 25 % vaelluspoikasista (Mönttinen ym. 2024, Huusko ym. 2016), mutta myös Kemijoella selviytymisessä on havaittu suurta vaihtelua vapautuserien välillä (vaihteluväli 8–25 %, Huusko ym. 2016).

Iijoella alaosan alasvaellusongelmat aiheutuvat suurimmaksi osaksi alasvaelluksen pysähtymisestä voimalaitospadoilla sekä patojen läpäisyn aiheuttamasta vaelluksen hidastumisesta. Vaelluspoikasten alasvaelluksen onnistumisen parantamiseksi tarvittaisiinkin toimivat alasvaellusratkaisut jokaiselle voimalaitospadolle. Vaihtoehtona useamman voimalaitospadon joessa, varsinkin alkuvaiheessa, kun kaikilla voimalaitoksilla ei vielä

alasvaellusratkaisuja ole, vaellustappioita voidaan pyrkiä vähentämään keräämällä ja kuljettamalla kalat patojen alapuolelle (Muir ym. 2006, Norrgård ym. 2013). Iijoella vaelluspoikasten keräys ja kuljetus on toteutettavissa Haapakosken kiinniottolaitteen avulla ja kuljetuksia jokisuulle kokeiltiinkin kesällä 2023. Kuljetusten ongelmana voi kuitenkin olla siirrettyjen kalojen kuolleisuus vapautuksen jälkeen, sillä kuljetuksesta aiheutuva stressi voi vaikuttaa lohen vaelluspoikasten käyttäytymiseen ja selviytymiseen useita päiviä vapauttamisen jälkeen (Iversen ym. 1998). Kuljetuksen stressitekijöiksi on tunnistettu muun muassa kiinniotto, lastaus, kuljetussäiliössä oleminen, lastin purku ja uuteen paikkaan vapauttaminen (Iversen ym. 2005). Lohen vaelluspoikaset ovat jokipoikasvaihetta herkempiä akuutille käsittelystä aiheutuvalle stressille (Carey & McCormick 1998) ja PIT-merkintätutkimuksessa havaittiin, että vaelluspoikasten käsittelyn (pyydystys kaksi kertaa) alensi kudulle paluun todennäköisyyttä (Haraldstad ym. 2023). Samassa PIT-tutkimuksessa havaittiin myös, ettei Kaplan-turbiinin läpäisyllä ollut vastaavaa yhteyttä kudulle palaamisen todennäköisyyteen (Haraldstad ym. 2023). Lisäksi alasvaellusreitin on havaittu vaikuttavan kudulle palaavien lohien reitinvalinnan onnistumiseen ja vaellusnopeuteen (Haraldstad ym. 2022). Kiinniotto ja kuljetus menetelmän käytön yhteydessä tulisikin selvittää sen vaikutuksia vaelluspoikasiin pitkäaikaisilla seurantatutkimuksilla, jotta siirtojen hyödystä lohen luontaisen elinkierron palauttamiseen voidaan varmistua.

5.2. Käyttäytyminen Pahkakoskella

Vaelluspoikaset lähestyivät useimmin Pahkakosken voimalaitospatoa päävirran pohjoisen puoleisessa laidassa virtaamatilanteesta riippumatta. Useat yksilöt eivät kuitenkaan jatkaneet liikkumista voimalaitoksen yläpuolella padon läheisyyteen, vaan ne kääntyivät ja uivat turbiinien vedenoton ohi. Käyttäytyminen erosi Haapakoskella havaitusta käyttäytymisestä, sillä siellä vaelluspoikasten havaittiin jatkavan vaellusta useimmiten aivan voimalaitospadon läheisyyteen (Huusko ym. 2018). Eroja vaelluspoikasten käyttäytymisessä eri patojen välillä on havaittu Mustionjoella, missä käyttäytymiserojen esitettiin olevan seurausta eroista patojen välppärakenteissa ja vedenotoissa (Karppinen ym. 2017). Myös luonnonolosuhteissa kameraseurannoissa on havaittu vaelluspoikasten pysähtyvän ja liikkuvan hitaasti alueilla, missä osa joesta on aidattu kalojen ohjaamiseksi kameran lähelle (julkaisematon, Orell P., Luke).

Pahkakoskella havaittu käyttäytyminen voi osittain johtua virtausolosuhteista padon yläpuolella vesimassan pintakerroksessa, sillä virrannopeudet Pahkakosken voimalaitoksen yläpuolella pysyvät verraten samanlaisina (<0,3 m/s) kokonaisvirtaamasta huolimatta. Haapakosken yläpuolella tehdyssä seurannassa vaelluspoikasten liikkumisen havaittiin muuttuvan suoraviivaisesta etenemisestä etenemissuuntaa vaihtelevaksi ja hitaammaksi liikkumiseksi, kun virrannopeus laski alle 0,3 m/s ja poikaset välttelivät alueita, missä virran nopeus jäi alle 0,2 m/s (Huusko ym. 2018). Vaikuttaakin siltä, ettei vaelluspoikasilla ole Pahkakosken yläpuolella selkeää ohjaavaa virtausta, joka ohjaisi niitä voimalan turbiinien vedenoton yläpuolelle, vaan ne liikkuvat laajemmalla alueella. Lisäksi Pahkakoskella turbiinien vedenotto lähtee huomattavasti syvemmältä kuin esimerkiksi Haapakoskella, jolloin vedenoton houkuttelevuus veden pintakerroksessa vaeltaville poikasille on todennäköisesti heikompaa.

6. Johtopäätökset ja suositukset

Lohen vaelluspoikasten kulkeminen Haapakoskelle rakennetun alasvaellusratkaisun läpi verrattuna Haapakosken turbiininen kautta kulkemiseen ei yksinään riitä parantamaan vaelluspoikasten selviytymistä sen alapuolisesta patoallasketjusta.

Voimalaitosten vaellusta pysäyttävän vaikutuksen pienentäminen on tulosten perusteella keskeinen toimenpide lijoella vaelluspoikasten selviytymisen parantamisessa. Erityisesti Pahkakosken voimalaitospato pysäyttää alasvaellusta ja lisäksi Pahkakosken padon läpäisyssä havaittiin pitkää viivettä niillä kaloilla, jotka padon lopulta läpäisivät. Kolmen alimman voimalaitoksen viiveistä ja kalojen käyttäytymisestä niiden yläpuolella ei saatu tässä tutkimuksessa tarkempaa tietoa, mutta aiempien tutkimusten perusteella Raasakan voimalaitospadon läpäisyssä tiedetään olevan samantyyppisiä ongelmia kuin nyt Pahkakoskella havaittiin.

Vaelluspoikasten selviytymisen parantamiseksi tilanteessa, missä alasvaellusratkaisuja ei ole käytettävissä Haapakosken alapuolisilla voimalaitoksilla, kalojen keräämistä Haapakosken alasvaellusväylän sisäänkäynnin yhteydessä olevalla kiinniottolaitteella ja niiden kuljettamista jokisuulle voidaan mahdollisesti käyttää selviytymistä tehostavana tukitoimenpiteenä. Mahdollisia kuljetuksen vaikutuksia vaelluspoikasten selviytymiseen sekä siirron jälkeen että pidemmällä ajalla (mm. kutuvaellukselle palaamisessa) tulisi kuitenkin jatkossa selvittää, jotta siirtojen hyödyllisyydestä saadaan tarkempaa tietoa.

Hyvällä ja havaittavalla houkutusvirtauksella alasvaellusväylän sisäänkäynnillä ja toimivalla alasvaellusväylällä saataisiin Pahkakoskella todennäköisesti vähennettyä padon vaellusta pysäyttävää vaikutusta ja alasvaellusksen viivettä. Pahkakosken voimalaitospadon alasvaellusratkaisun suunnittelussa tulee huomioida erityisesti pintaveden virtausolosuhteet ja mahdollisen ohjausrakenteen lähialueella virrannopeutta tulisikin saada kasvatettua, jotta ohjausvaikutus olisi parempi. Ohjausrakenteen tulisi havaintojen perusteella ulottua koko päävirran leveydelle ja alasvaellusväylän sisäänkäynnin lähtöpaikka olisi voimalaitoksen pohjoispuolella.

Kiitokset

Tutkimusryhmä kiittää erityisesti seurannan kenttätöihin osallistuneita työntekijöitä. Kiitämme myös Voimalohi Oy:n Raasakan kalanviljelylaitoksen ja PVO-Vesivoima Oy:n henkilökuntaa sujuvasta yhteistyöstä kenttätutkimuksen aikana.

Tutkimus toteutettiin erillisenä osana yhteistyössä Pohjois-Pohjanmaan koordinoiman Lohi Iijokeen-hankkeen kanssa ja se sai rahoitusta valtion Nousu-vaelluskala-ohjelmasta. Tutkimuksessa hyödynnettiin lisäksi Sateenvarjo III -hankkeessa kerättyä tutkimusaineistoa ja Iijoen Otva -hankkeessa tehtyjä virtausmallinnuksia.

Viitteet

Carey, J.B. & McCormick, S.D. 1998. Atlantic salmon smolts are more responsive to an acute handling and confinement stress than parr. Aquaculture 168: 237–253.

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.

Eicher, G.J., Bell, M.C., Cambell, C.J., Craven, R.E. & Wert, M.A. 1987. Turbine-related fish mortality: review and evaluation of studies. Final report prepared for Electric Power Research Institute (EPRI). Research Project 2694-4. 89 s.

Ferguson, J.W. 2008. Behavior and survival of fish migrating downstream in regulated rivers. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå 2008.

Haraldstad T., Forseth T., Olsen E.M., Haugen T.O. & Höglund, E. 2022. Empirical support for sequential imprinting during downstream migration in Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Scientifics Report 12: 13736.

Haraldstad, T., Johansen, K. & Vollset, K.W. 2023 Handling of wild Atlantic salmon smolts reduced marine survival more than hydropower turbine passage. Fisheries Management & Ecology 30: 353–359.

Huusko, R., Orell, P., van der Meer, O., Jaukkuri, M. & Mäki-Petäys, A. 2012. Lohen vaelluspoikasten radiotelemetriaseuranta Iijoella vuosina 2010–2011. RKTL:n työraportteja 22/2012. 30 s.

Huusko, R., Orell, P., Hyvärinen, P., Jaukkuri, M., Laaksonen, T., van der Meer, O., Mäki-Petäys, A. & Erkinaro, J. 2016. Lohen vaelluspoikasten alasvaellus rakennetussa ja luonnontilaisessa joessa: Vertailututkimus Kemi-Ounasjoessa ja Tornion-Muonionjoessa. Luonnon-vara- ja biotalouden tutkimus 38/2016. 24 s.

Huusko, R., Orell, P., Jaukkuri, M., Sutela, T., van der Meer, O., Erkinaro, J. & Mäki-Petäys, A. 2018. Lohikalojen alasvaellus Iijoessa : Tutkimustuloksia ja alasvaellus-reittien yleissuunnitelma. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2018. Luonnovarakeskus, Helsinki. 43 s.

Iversen, M., Finstad, B. & Nilssen, K.J. 1998. Recovery from loading and transport stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. Aquaculture 168: 387–394.

Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R.S., Eliassen, R.A., Carlsen, K.T. & Evjen, T. 2005. Stress responses in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts during commercial well boat transport and effects on survival after transfer to sea. Aquaculture 243: 373–382.

Karppinen, P., Jounela, P., Erkinaro, J., Huusko, R. & van der Meer, O. 2014. Effects of release timing on migration behaviour and survival of hatchery-reared Atlantic salmon smolts in a regulated river. Ecology of Freshwater Fish 23: 438–452.

Karppinen, P., Vähä, J.-P. & Vehanen, T. 2017. Lohen vaelluspoikasten käyttäytyminen ja kuolleisuus Mustionjoen voimalaitoksilla. Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry, julkaisu 281/2017. Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. 37 s.

Louhi, P., Huusko, A., Huusko, R., Janhunen, M., Orell, P., Syrjänen, J., Härkönen, L.S. & Veneranta, L. 2024. Rakennettujen jokien vaelluskalakantojen hoitotoimenpiteet : Sateenvarjo III -hankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 55/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 110 s.

Maa- ja metsätalousministeriö 2012. Kansallinen kalatiestrategia. Valtioneuvoston periaatepäätös 8.3.2012. 30 s.

Muir, W.D., Marsh, D.M., Sandford, B.P., Smith, S.G. & Williams, J.G. 2006. Post-hydropower system delayed mortality of transported Snake River stream-type Chinook salmon: Unravelling the mystery. Transactions of the American Fisheries Society 135: 1523–1534.

van der Meer, O., Louhi, P., Marttila, M., Jaukkuri, M. Erkinaro, J., Mäki-Petäys, A., Laine, A., Orell, P. & Karjalainen, T.P. 2010. Vaelluskalojen palauttamisen edellytykset Iijoen vesistöalueella. Vaelluskalat palaavat Iijokeen -hanke, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Julkaisematon käsikirjoitus.

Mönttinen, M., Orell, P., Rinnevalli, 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 trough multiple dams. River Research and Applications 29: 1306–1317.

Orell, P. Huusko, R., van der Meer, O., Jaukkuri, M., Kanniainen, T., Karppinen, P. & Mäki-Petäys, A. 2011. Lohen vaelluspoikastutkimukset Oulujoella v. 2009–2010. Oulujoen pääuoman kalateiden suunnittelu ja tukitoimenpiteet -hanke. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Työraportti 25.2.2011. 24 s.

Rivinoja, P. 2005. Migration problems of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in flow regulated rivers. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Doctoral thesis No. 2005: 114.

Ruggles, C.P. 1980. A review of downstream migration of Atlantic salmon. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Society 952: 1–27.

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.

Löydät meidät verkosta

luke.fi

Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki