



Petri Karppinen, Mikko Hynninen, Jani Helminen,
Teppo Vehanen, Juha-Pekka Vähä & Joonas Tammivuori

Julkaisu 1/2022

Kalateiden merkitys alasvaelluksen kannalta Mustionjoen voimalaitoksilla – testivaiheen tuloksia Billnäsin ohjausrakenteesta

Kalateiden merkitys alasvaelluksen kannalta Mustionjoen voimalaitoksilla – testivaiheen tuloksia Billnäsin ohjausrakenteesta



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

The project has received funding from the LIFE Programme of the European Union. The material reflects the views by the authors, and the European Commission, the EASME nor the CINEA is not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Hanke on saanut rahoitusta maa- ja metsätalousministeriön NOUSU-ohjelmasta, jossa parannetaan vaelluskalojen elinolosuhteita ja pyritään palauttamaan vaelluskalakantojen luontaista lisääntymistä Suomen virtavesissä.

Tekijät:

Petri Karppinen, Mikko Hynninen, Jani Helminen (Kala- ja vesitutkimus Oy)

Teppo Vehanen (Luonnonvarakeskus)

Juha-Pekka Vähä, Joonas Tammivuori (Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry)

Taitto: Tiia Palm

Valokuvat: LUVY

Kansikuva:

Mustionjoen Billnäsin voimalaitospadolle valmistui vuonna 2021 yhdistetty kävelysilta ja ohjausrakenne johdattelemaan alasvaeltavat kalat kalatiehen.

(Kala ja vesitutkimus Oy / Petri Karppinen)

ISBN 978-952-250-247-6

ISSN 1798-2677

Julkaisu on saatavana myös nettisivuiltamme: www.luvy.fi/julkaisut

Kuvailulehti

<i>Julkaisija</i>	Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry PL 51, 08101 LOHJA vesi.ymparisto@luvy.fi 019 323 623 www.luvy.fi	Julkaisu-aika 2/2022
		Julkaisun kieli Suomi
		Sivuja 31
<i>Tekijä(t)</i>	Karppinen Petri, Hynninen Mikko, Helminen Jani, Vehanen Teppo, Tammivuori Joonas ja Vähä Juha-Pekka	
<i>Julkaisun nimi</i>	Kalateiden merkitys alasvaelluksen kannalta Mustionjoen voimalaitoksilla – testivaiheen tuloksia Billnäsin ohjausrakenteesta	
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Julkaisu 1/2022	
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Lohen vaelluspoikasten käyttäytymistä ja kuolleisuutta tutkittiin lähetinseurannan avulla Mustionjoen Billnäsin ja Åminneforsin voimalaitoksilla toukokuussa 2021. Tutkimus oli jatkoa vuonna 2017 toteutetulle alasvaellustutkimukselle. Jatkotutkimuksessa pyrittiin selvittämään miten vuonna 2020 käyttöön otettujen kalateiden myötä muuttuneet olosuhteet ja tutkimuksen aikana Billnäsin patoaltaalle valmistuva kalojen alasvaellusta ohjaava rakenne vaikuttavat kalojen käyttäytymiseen ja reitinvalintaan.</p> <p>Yleisesti ottaen virtausolosuhteilla oli selvä vaikutus kalojen käyttäytymiseen ja reitinvalintaan. Kalat uivat vapautuspaikalta voimalaitokselle ja edelleen voimalaitoksen turbiinikanaviin selvästi nopeammin kuin vuonna 2017. Billnäsin kalat myös laskeutuivat selvästi nopeammin voimalaitoksen läpi padon alapuolelle.</p> <p>Kalatiehen ei mennyt yhtään kalaa kummallakaan voimalaitoksella. Kaloja havaittiin liikkumassa kalateiden suulla, mutta kalatiehen menevä virtaama ei tutkimuksen aikaisissa virtaamaolosuhteissa ilmeisesti ollut riittävä houkuttelemaan kaloja laskeutumaan kalatiehen. Havaintojen perusteella vaikutti kuitenkin siltä, että rakennettu kävelysilta sai kalat pysyttelemään päävirtauksen vasemmalla laidalla. Ohjausrakenteen toimivuus kokonaisuudessaan jäi kuitenkin todentamatta, sillä kolmannen erän vapautushetkellä virtausolosuhteet voimalaitoksella olivat muuttuneet ja keskeneräisen ohjausrakenteen alapäästä puuttuivat ketjurivistöt monen metrin matkalta.</p> <p>Kuolleisuus voimalaitoksen läpimenon yhteydessä oli Billnäsin jonkin verran suurempi (56,4 %), kuin vuoden 2017 seurannassa (46,2 %), mikä oli todennäköisesti seurausta suuremmasta virtausnopeudesta voimalaitoksen kanavissa ja turbiineissa. Åminneforsin voimalaitoksella kuolleisuus oli sitä vastoin pienempi (2021: 3,8 %; 2017: 5,7 %). Jokiosuuksilla tapahtuneen predaation kohteeksi joutuneiden kalojen määrä oli vuonna 2021 selvästi suurempi kuin vuonna 2017, mikä selittyy virtausolosuhteissa vallinneilla eroilla ja kalojen heikentyneellä terveydentilalla.</p> <p>Erot ja muutokset virtausolosuhteissa, keskeneräiseksi jäänyt ohjausrakenne sekä kalojen huono terveydentila haittasivat tutkimuksen toteutusta ja vaikeuttivat tulosten tulkintaa. Tästä huolimatta saatuja havaintoja ohjausrakenteen vaikutuksesta kalojen liikkeisiin voidaan pitää lupaavina. Vuosien 2017 ja 2021 alasvaellus-seurannoista saatujen kokemusten perusteella on kuitenkin syytä korostaa, että alasvaellusrakenteita suunniteltaessa kalojen käyttäytymistä ja reitinvalintaa tulee kartoittaa erilaisissa voimalaitoksen käyttötilanteissa ja virtaamaolosuhteissa. Ohjausrakenteen toimivuus ja mahdolliset kehitystarpeet tulee selvittää toistamalla alasvaellusseuranta Billnäsin voimalaitoksella.</p>	
<i>Asiasanat</i>	alaskaella, kalatie, ohjausrakenne, telemetria, Mustionjoki, voimalaitoskuolleisuus	
<i>Toimeksiantaja</i>	FRESHABIT LIFEIP (LIFE14IPE/FI/023)	

Sisältö

1 Johdanto	5
2 Aineisto ja menetelmät	5
2.1 Tutkimusalue	5
2.2 Tutkimusolosuhteiden muutokset	6
2.3 Tutkimuskalat	7
2.4 Kalojen merkintä ja vapautus	7
2.5 Lähetinkalojen seuranta	8
2.5.1 Vastaanottimet ja antennijärjestelmät	8
2.5.2 Käsipaikannukset	10
2.5.3 Kameraseuranta	10
2.5.4 Aineiston käsittely	10
2.6 Kalojen ohjausrakenteen suunnittelusta ja toteutuksesta	10
3 Tulokset ja niiden tarkastelu	12
3.1 Kalojen käyttäytyminen Billnäsin voimalaitoksella	12
3.1.1 Lähestymissuunta ja etsiytyminen	14
3.1.2 Liikehdintä padolla	17
3.1.3 Kuolleisuus	19
3.2 Kalojen käyttäytyminen Åminneforsin voimalaitospadolla	20
3.2.1 Kuolleisuus	24
4 Yhteenveto ja johtopäätökset	25
Summary in English	27
Kiitokset	28
Lähdeluettelo	29
Liiteluettelo	29

1 Johdanto

Kalojen kulkumahdollisuuksien parantamisen ja vaellusyhteyksien palauttamisen tavoitteena on vaelluskalakan-
tojen elvyttäminen ja virtavesiluonnon monimuotoisuuden turvaaminen. Rakennettujen jokien vaelluskalakan-
tojen elvyttämisen yhteydessä asiantuntijat ovat korostaneet kalateiden rakentamisen lisäksi myös lohikalajien
vaelluspoikasten alasvaelluksen onnistumisen merkitystä. Eikä syyttä, onhan alasvaellus ja sen jälkeinen syönnös-
vaellus kaikista merkittävin elinkierron vaihe; oli pa kyseessä jokeen poikasena istutettu tai luonnonvarainen kala.
Syönnösvaelluksella kalat kasvavat nopeasti, saavuttavat suuren fyysisen koon sekä sukukypsyyden, jonka jälkeen
ne pyrkivät jokeen takaisin lisääntymään.

Vaellusyhteyden palauttaminen ratkaisee useimmiten nousukalojen vaellusongelman, mutta kalateiden toimivuus-
desta alaspäin vaeltaville kaloille tiedetään varsin vähän. Suomessa ei myöskään ole tutkittu erilaisten ohjain- tai
houkutteluratkaisujen toimivuutta kalojen ohjaamiseksi kalatiehen.

Voimalaitospatojen alasvaellusratkaisuista tarvitaan näin ollen kattavaa tutkimusta, joka tähtää paitsi kuollei-
suuden selvittämiseen myös erilaisten teknisten ratkaisujen suunnitteluun, toteuttamiseen ja niiden vaikutusten
arviointiin. Pienissä ja keskisuurissa joissa on myös kustannustehokkaampaa kokeilla erilaisten alasvaellusta
ohjaavien teknisten ratkaisujen toimivuutta ennen niiden toteuttamista suuremmassa mittakaavassa. Mustionjoki
Karjaanjoen vesistöissä tarjoaa erittäin hyvät lähtökohdat tutkia ja kehittää kalojen alasvaellusmahdollisuuksia.

Mustionjoella Karjaanjoen vesistöissä on viime vuosien aikana palautettu vaellusyhteyksiä rakentamalla kalateitä.
Kalojen kulkuyhteys merestä Mustionjokeen ja sen sivupuroihin palautui, kun joen kahteen alimmaiseen voimalai-
tospatoon, Äminneforsiin ja Billnäsiin, rakennetut kalatiet otettiin käyttöön toukokuussa 2020. Nousuvaelluksen
järjestämisen lisäksi Mustionjoella tavoitteeksi on asetettu myös kalojen alasvaelluksen turvaaminen ja alasvael-
luskuolleisuutta vähentävien rakenteiden kehittäminen. Tavoitteen merkitys vaelluskalakantojen palauttami-
seksi konkretisoitui, kun lohien vaelluspoikasten käyttäytymistä ja kuolleisuutta tutkittiin lähetinseurannan avulla
Mustionjoen neljällä voimalaitoksella vuonna 2017 (Karppinen ym. 2017, Karppinen ym. 2021). Tutkimuksen
tulosten perusteella vaelluspoikasten kuolleisuus laitoksen läpimenon yhteydessä oli kolmella ylimmällä voimalai-
toksella noin 50 % (Billnäs 46 %), mutta Äminneforsissa selvästi alhaisempi (6 %).

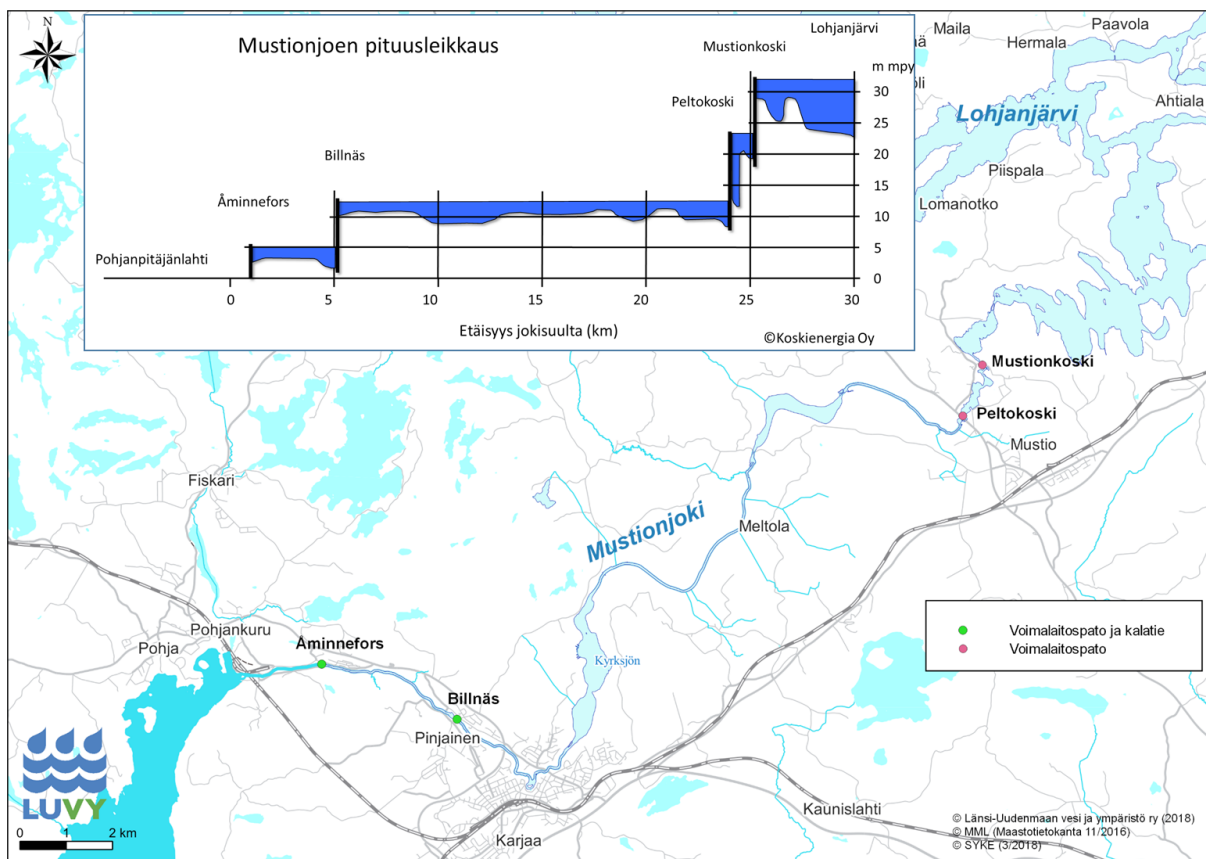
Alasvaellusseuranta toistettiin Billnäsin ja Äminneforsin voimalaitoksilla toukokuussa 2021. Tavoitteena oli
selvittää missä määrin vuonna 2020 rakennettujen kalateiden myötä muuttuneet olosuhteet vaikuttavat kalojen
käyttäytymiseen ja kuolleisuuteen voimalaitospadoilla. Erityisinä tarkastelun kohteina olivat kalojen mahdollinen
hakeutuminen alavirtaan kalateiden kautta, sekä Billnäsin voimalaitoksen yläpuolelle rakennetun kävelysillan ja
kalojen ohjausrakenteen vaikutus kalojen reitinvalintaan. Tässä raportissa tarkastellaan vaelluspoikasten käyttäy-
tymistä näissä muuttuneissa olosuhteissa ja vertaillaan saatuja havaintoja aiemmasta seurannasta saatuihin
tuloksiin.

Tämä tutkimus on osa FRESHABIT LIFE IP -hanketta. Tutkimus on saanut rahoitusta myös Varsinais-Suomen
ELY-keskuksen myöntämänä maa ja metsätalousministeriön NOUSU-ohjelmasta. Tutkimuksen toteutuk-
sesta vastasi Kala- ja vesitutkimus Oy yhteistyössä Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry:n (LUVY) ja
Luonnonvarakeskuksen kanssa.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusalue

Karjaanjoen vesistö on Uudenmaan suurin ja kalataloudellisesti merkittävin vesistöalue. Mustionjoki, joksi
kutsutaan vesistön Lohjanjärven alapuolista osaa, oli aikoinaan myös merkittävä vaelluskalajoki. Mustionjoen
kautta lohet ja taimenet pääsivät nousemaan Lohjanjärveen ja sen yläpuolisiin vesistöihin, kunnes vaelluska-
lojen nousu estettiin valjastamalla Mustionjoen vuolaat kosket vesivoimatuotantoon 1900-luvun alkupuoliskolla.
Mustionjoessa on neljä 5–12 metriä korkeaa patoa joiden yhteenlaskettu korkeusero on n. 30 metriä (Kuva 1).
Tutkimusalueetta ja Mustionjoen voimalaitoksia on kuvailtu tarkemmin aiemmassa raportissa (Karppinen ym.
2017).



Kuva 1. Mustionjoen vesivoimalaitokset ja pituusleikkaus. Kahteen alimmaiseen voimalaitospatoon on rakennettu kalatiet, jotka otettiin käyttöön vuonna 2020.

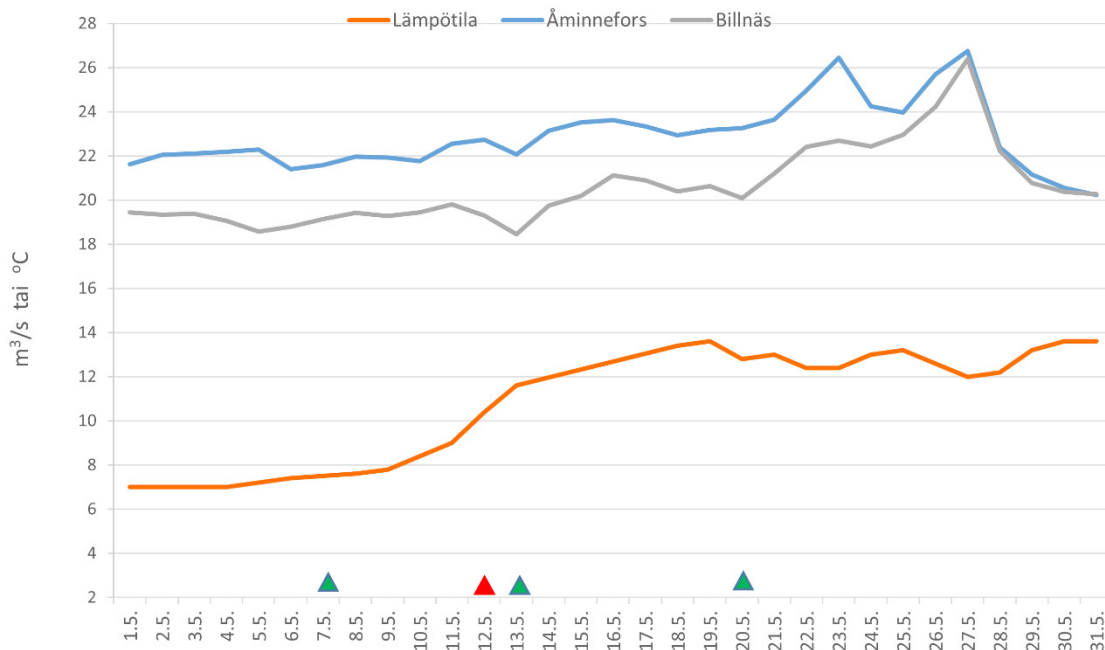
2.2 Tutkimusolosuhteiden muutokset

Vuonna 2017 toteutetun lohen vaelluspoikasten alusvaellustutkimuksen jälkeen Mustionjoen kahteen alimmaiseen voimalaitospatoon, Äminneforsiin ja Billnäsiin, rakennettiin kalatiet vuosina 2018–2019. Ne avattiin ja otettiin ensimmäistä kertaa käyttöön toukokuussa 2020. Kalatiet ovat tyypiltään ns. pystyrakokalateita, mikä on erityisesti lohen ja taimenen nousuvaellusta varten kehitetty kalatietyyppi. Äminneforsin ja Billnäsin kalateiden suunnittelussa ja rakenteiden toteutuksessa on kuitenkin pyritty huomioimaan myös muita kalalajeja. Kalatien pohjalla on luonnonkiveä ja jokaisessa altaassa on muutamia suurempia ns. asentokiviä, jotka hidastavat virtausta altaan pohjalla. Kalatiet pidetään lupaehtojen mukaisesti auki vuosittain 1.5.–31.11. välisen ajan.

Kalateihin menee keskimäärin noin $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaama ja virtausolosuhteet ovat tämän seurauksena jossakin määrin muuttuneet patoaltaalla voimalaitoksen edustalla. Lisäksi Billnäsin patoaltaalle rakennettiin tämän seurannan aikana kävelysilta ja sen yhteyteen kalojen alusvaellusta ohjaava rakenne. Kalatierakenteiden lisäksi tutkimusolosuhteet virtaaman, virrannopeuden ja voimalaitoksen käytön suhteen poikkesivat vuoden 2017 seurannan aikaisesta selvästi, etenkin Billnäsisissä.

Vuonna 2021 Mustionjoen virtaama oli merkittävästi suurempi kuin vuonna 2017. Tutkimuksen aikana Billnäsin voimalaitoksen kokonaisvirtaama oli noin $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ja käynnissä oli kaksi kolmesta turbiinista (T1 sekä vaihdellen T2 ja T3; ks. Kuva 2). Laittimaisten turbiinien ollessa käynnissä voimalaitokselle saapuva päävirtaus jakautui kahteen osaan laitoksen edustalla. Vuonna 2017 Billnäsin voimalaitoksen virtaama oli kalojen vapautuspäivänä noin $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ja käynnissä oli vain vasen turbiini (T1). Virtaamaerojen lisäksi myös vedenkorkeudessa oli merkittävä ero Billnäsin voimalaitoksen yläkanavassa. Vuonna 2021 vedenkorkeus voimalaitoksen yläpuolisessa altaassa oli noin 30–40 cm alemmalla tasolla vuoden 2017 tutkimusajankohtaan verrattuna. Virtaama- ja vedenkorkeuserojen myötä myös virrannopeus oli selvästi suurempi Billnäsin voimalaitoksen edustalla ja turbiinikanavissa. Myös Äminneforsissa virtausolosuhteet poikkesivat vuoden 2017 aikaisesta. Vuonna 2021 virtaama oli noin

kaksinkertainen (2021: 22–24 m³/s, 2017: 8–11 m³/s) kalojen seurannan aikana. Virtaamaeron myötä myös virran-nopeus oli Äminneforsin yläkanavassa silminnähdn suurempi.



Kuva 2. Mustionjoen virtaama Billnäs ja Äminneforsin voimalaitoksilla (vrk ka.) ja veden lämpötila (päivittäin klo 12) Äminneforsissa vaellusseurannan aikana (virtaamatiedot: Koskienergia Oy). Kolmiot osoittavat lähetinkalojen vapautusajankohdat (vihreä: Billnäs, punainen: Äminnefors).

2.3 Tutkimuskalat

Tutkimuksessa käytetyt kalat olivat Luonnonvarakeskuksen sopimuskasvattajan Vilkkilän lohi Oy:n laitoksella Mänttä-Vilppulassa kasvatettuja Nevajoen alkuperää olevia 2-vuotiaita lohen (*Salmo salar*) vaelluspoikasia eli smoltteja. Mustionjokeen istutettavaksi tarkoitetut kalat tuotiin säiliöautolla noin 150 metriä Billnäs voimalaitoksen yläpuolelle asennettuun verkkokassiin (3 m x 3 m x 1,5 m) odottamaan vapautusta. Kaloilla tiedettiin olevan vesihomeinfektion aiheuttamaa kuolleisuutta, ja siksi osa kaloista jätettiin varmuuden vuoksi kalanviljelylaitokselle, missä niiden tautitilannetta pystyttiin paremmin kontrolloimaan.

Ensimmäinen kalaerä (n. 4 000 kpl) tuotiin Billnäsiin 29. huhtikuuta. Tutkimuksen lähetinmerkintään tarvittavat kalat otettiin ensimmäisestä erästä erilleen 90 cm x 70 cm x 70 cm kokoisiin häkkeihin odottamaan lähettimen asentamista. Toinen erä kaloja (n. 1 000 yksilöä) tuotiin Billnäsiin 10. toukokuuta, ja ne laitettiin suoraan merkintähäkkeihin. Kalojen kuolleisuus oli verkkokassissa korkea vesihomeinfektion takia. Pienemmissä häkeissä olleet tutkimukseen käytetyt kalat pysyivät pitempään kohtalaisen hyvässä kunnossa, mutta kuolleisuus lisääntyi tutkimuksen edetessä. Viimeisen merkintäerän kohdalla (16.5.) häkeistä oli jo erittäin vaikea löytää terveitä yksilöitä. Kaikki kalat verkkokassista, ja häkeissä olleet ylimääräiset kalat vapautettiin 16. toukokuuta. Viimeiset lähettimellä merkityt ja loput häkeissä olleet kalat vapautettiin Billnäs voimalaitoksen yläpuolelle 20. toukokuuta.

2.4 Kalojen merkintä ja vapautus

Kalat nukutettiin yksitellen ja radiolähetin asennettiin vatsaonteloon. Kalojen merkintä on selostettu tarkemmin aiemmassa raportissa (Karppinen ym. 2017). Lähettimellä merkittyjen kalojen keskipituus oli 23,9 cm (Taulukko 1) ja kalanviljelylaitoksen ilmoittama keskipaino kaloille oli 124 grammaa. Jokiveden lämpötila merkintäpaikalla oli merkintäpäivinä 8,4–15,1 °C.

Taulukko 1. Radiolähettimellä merkittyjen lohen vaelluspoikasten merkintäeräkohtaiset tiedot.

Merkintä-päivämäärä	Vapautusajan-kohta	Vapautuserä, yksilömäärä	Pituus, keskiarvo	Pituus, keskihajonta	Pituus, min	Pituus, max
3.5.2021	7.5. klo 10:17	Billnäs 1, 24	24,4	1,8	20,0	27,5
11.5.2021	13.5. klo 13:37	Billnäs 2, 15	23,9	1,9	21,0	27,0
16.5.2021	20.5. klo 16:00	Billnäs 3, 25*	23,6	1,4	21,0	26,0
10.5.2021	12.5. klo 14:15	Åminnefors, 10	23,3	1,9	21,0	26,0
		Kaikki, 74	23,9	1,7	20,0	27,5

*kuusi yksilöä ko. erästä kuoli vesihomeinfektioon ennen vapautusta

Vaelluspoikasia vaivaavasta vesihomeinfektioista huolimatta Billnäsin kahden ensimmäisen, sekä Åminneforsin vapautuserän kalat vaikuttivat vapautettaessa hyväkuntoisilta, eikä kuolleisuutta merkityissä kaloissa esiintynyt. Billnäsin kolmannen erän kaloista kuusi kuoli ennen vapautusta, ja useimmilla kaloilla voitiin havaita merkkejä vesihomeinfektioista.

Billnäsin kalaerät vapautettiin merkintäpaikalla noin 150 metriä voimalaitoksen yläpuolella. Åminneforsin kalaerä kuljetettiin 600 litran hapetussa altaassa ja vapautettiin noin 450 metriä Åminneforsin voimalaitospadon yläpuolelle. Kunkin vapautuserän mukana vapautettiin noin 150 kpl merkitsemättömiä kaloja (Billnäsissä lisäksi myös vesihomeeseen kuolleita kaloja) lieventämään lähetinkaloihin kohdistuvaa saalistuspainetta.

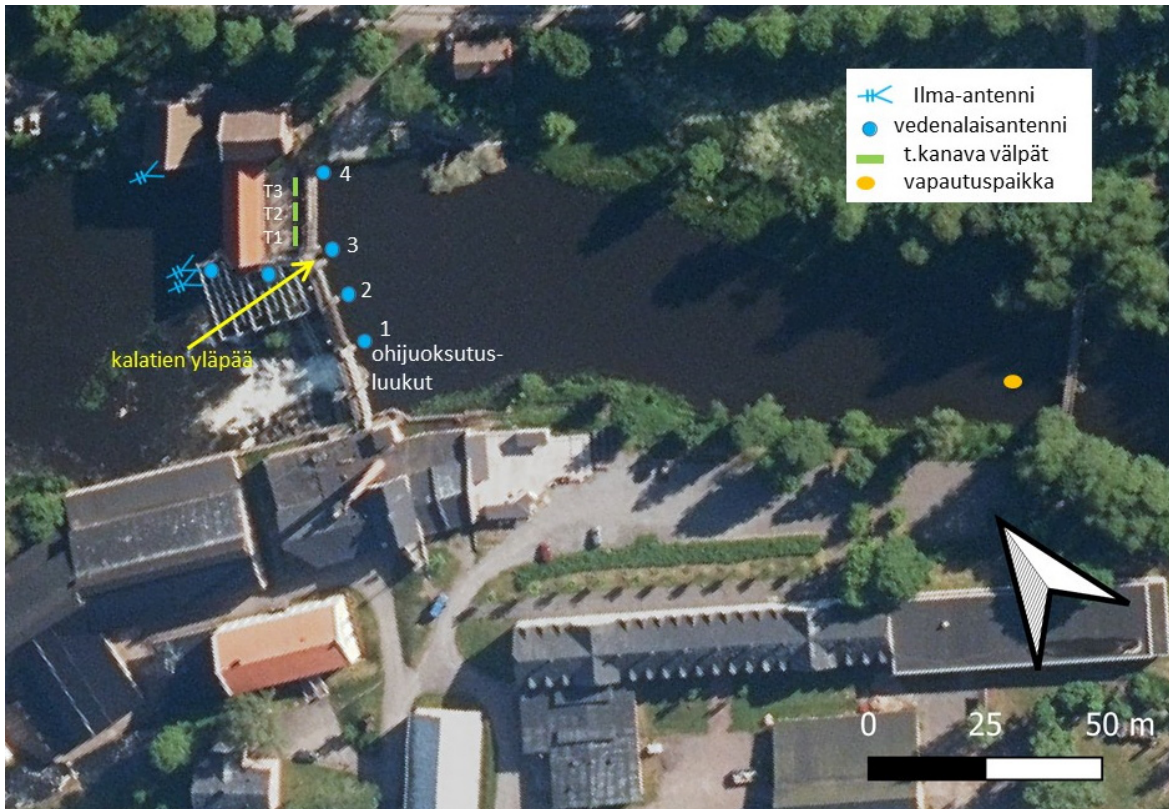
Billnäsin voimalaitoksen yläpuolelle vapautettiin kolme kalaerää (Taulukko 1). Ensimmäinen erä vapautettiin, kun patoaltaalla oli ainoastaan tukkipuista tehty kelluva roskapuomi. Roskapuomi poistettiin ennen toisen erän vapauttamista. Toinen erä vapautettiin, kun laituriponttoneista rakennettu kävelysilta (pituus noin 40 m) oli asennettu paikoilleen lähes kokonaisuudessaan. Laituriponttonit olivat paikoillaan, mutta siltarakenteesta puuttui vielä alimmainen, noin kuuden metrin mittainen yhdyssosuus voimalaitospadolle.

Kolmas kalaerä oli tarkoitus vapauttaa kalojen ohjausrakenteen valmistuttua. Vesihomeinfektion aiheuttama kuolleisuus häkeissä ja sumpussa oli noussut suureksi, ja neljä päivää merkinnän jälkeen myös lähettimellä varustetuista kaloista oli kuollut jo kuusi yksilöä. Ohjausrakenteen valmistumista ei voitu enää odotella pidempään, ja lähetinkalat jouduttiin vapauttamaan. Kävelysillan alle oli tässä vaiheessa asennettu kalojen ohjausrakenne lähes kokonaisuudessaan. Ohjausrakenteet puuttuivat kuitenkin vielä noin kuuden metrin matkalta sillan alapäässä. Kävelysillan alapäässä kalatien suulla ei toisin sanoen ollut kaloja ohjaavia rakenteita kolmannen kalaerän vapauttamisen aikana.

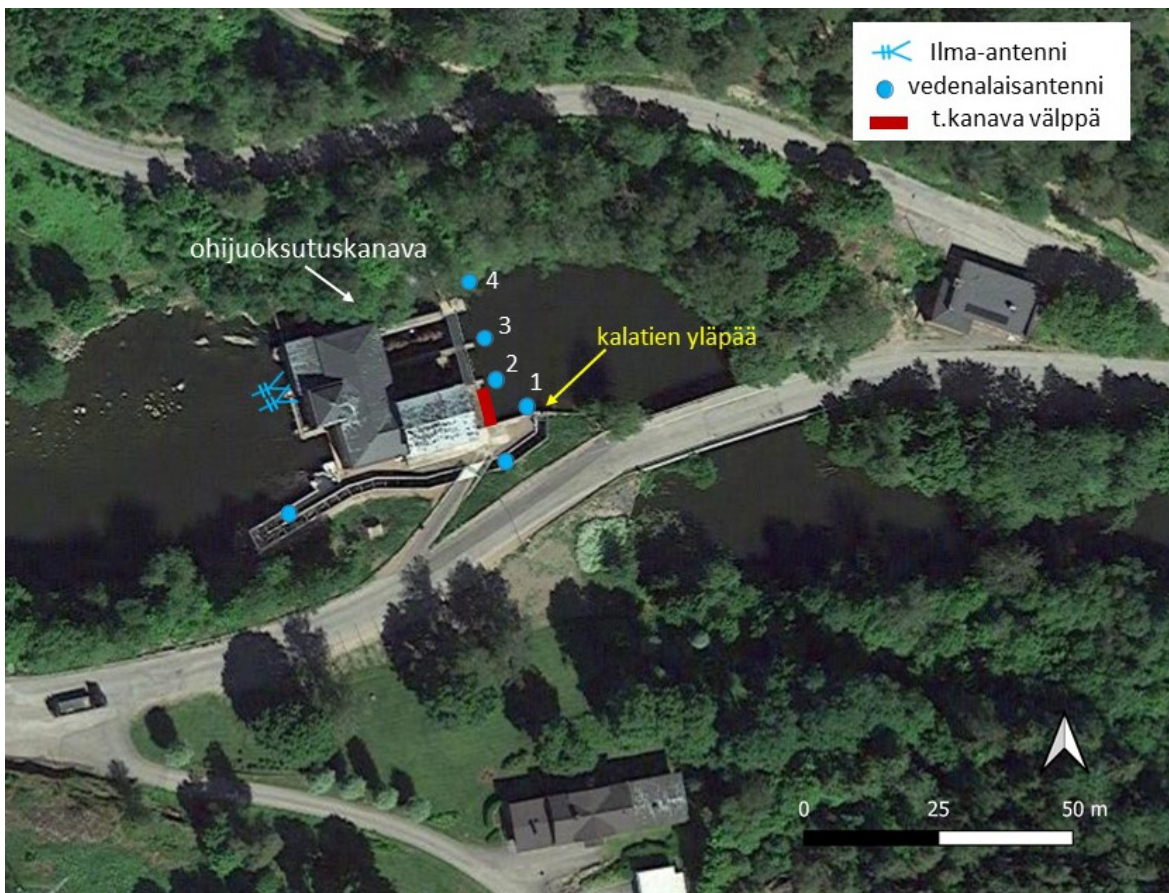
2.5 Lähetinkalojen seuranta

2.5.1 Vastaanottimet ja antennijärjestelmät

Voimalaitosten ylä- ja alapuolelle asennettiin vastaanottimista ja antenneista koostuvat kuuntelujärjestelmät lähettimellä varustettujen vaelluspoikasten jatkuvaa seuranta varten (Kuvat 3 ja 4). Voimalaitosten yläpuolelle asennettiin neljä vedenalaisantennia, joiden kautta automaattivastaanottimet (ATS, Advanced Telemetry Systems Inc., USA, malli R4500) tallensivat voimalaitoksen edustalla ja padolla liikkuvista lähettimillä varustetuista kaloista kantautuvat signaalit maksimissaan noin 30 metrin etäisyydeltä. Myös kalateiden ylä- ja alapään asennettiin vedenalaisantennit ja vastaanottimet. Voimalaitosten alapuolelle asennettiin ilma-antennein varustetut vastaanottimet tallentamaan voimalaitoksesta alas tulevien kalojen lähetinsignaalit. Ilma-antennien signaalinhavainto-ettäisyys oli enimmillään noin 100 metriä, ja se vaihteli antennin sijoituspaikasta riippuen. Myös jokisuulle asennettiin kuunteluasema (ks. Liite 1). Seuranta lopetettiin 31. toukokuuta, jolloin jokialueella ei ollut enää elossa olevia lähetinkaloja.



Kuva 3. Billnäsin voimalaitospadolle asennettujen antennien sijoittuminen ja patoaltaan antennien numerointi. (Google)



Kuva 4. Åminneforsin voimalaitospadolle asennettujen antennien sijoittuminen ja patoaltaan antennien numerointi. (Google)

2.5.2 Käsipaikannukset

Kiinteillä antennijärjestelmillä tehdyn jatkuvan seurannan lisäksi lähetinkaloja paikannettiin käsivastaanottimen (ATS R4000) ja antennin avulla voimalaitospadoilla ja jokivarressa sekä rannalta että veneestä. Lähetinkaloja paikannettiin vapautuspaikan alapuolella ja alapuolisella voimalaitoksella heti vapautushetkestä alkaen. Myöhemmin paikannuksia tehtiin voimalaitosten ylä- ja alapuolella satunnaisemmin useita kertoja. Voimalaitoksen alapuoliset jokiosuudet haravoitiin käsivastaanottimen ja antennin avulla veneellä liikkuen 18. ja 23. toukokuuta. Jokiosuus Billnäs–Åminnefors käytiin läpi veneellä kahdesti, ja jokiosuus Åminneforsin alapuolella kerran.

2.5.3 Kameraseuranta

Lähetinseurannan lisäksi vapautetuista kaloista pyrittiin tekemään havaintoja vedenalaiskameroiden avulla. Kalatien suuaukkoa seurattiin kahdella toimintakameralla. Kameran asetettiin noin 50 cm syvyyteen molemmille puolelle kalatien suuaukkoa. Kolmannen vapautuserän kaloista pyrittiin lisäksi saamaan havaintoja neljällä laituriin kiinnitetyllä kameralla. Kameroiden taltioimat videot käytiin läpi visuaalisesti. Havainnointi etäisyys oli noin 1 metri.

Kameroilla ei tehty yhtään varmaa havaintoa elävästä lohen vaelluspoikasesta. Videokuvasta tunnistettiin särkikaloja sekä joitain kuolleita vaelluspoikasia.

2.5.4 Aineiston käsittely

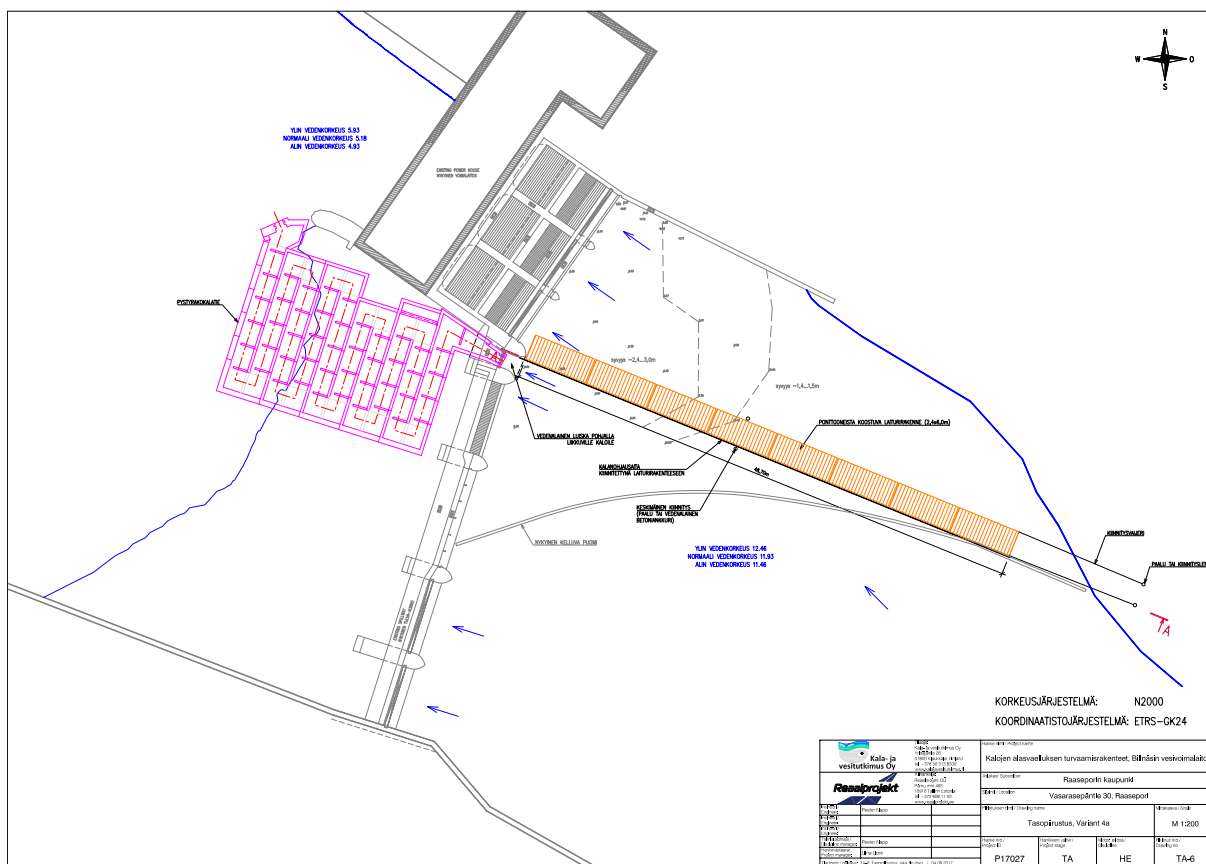
Käsivastaanottimilla tehtyjen havaintojen ja automaattivastaanottimille tallentuneiden lähetinsignaalien perusteella määritettiin kunkin yksilön saapumisajankohta ja liikkeet voimalaitoksella. Voimalaitospatojen päällä tapahtuneiden liikkeiden tarkastelemiseksi hyödynnettiin vain sellaiset signaalit, jotka olivat voimakkuuden perusteella tallentuneet kunkin antennin lähietäisyydeltä (< 10 m). Näin kalojen kulloinkin sijainti rajautui täsmällisemmin ko. antennin kohdalle sen kuuluvuusalueen sisäpuolella.

Vapautuserien välisiä eroja ajankäytössä vapautuspaikalta voimalaitokselle ja voimalaitoksen päällä tarkasteltiin Kruskal-Wallis-testillä. Parittaiset vertailut tehtiin Mann-Whitney-Wilcoxonin testillä (Benjamini-Hochberg -korjauksella). Vuosien välistä eroa Åminneforsin vapautuserien välillä vapautuspaikalta voimalaitokselle käytetyn ajan suhteen testattiin t-testillä.

2.6 Kalojen ohjausrakenteen suunnittelusta ja toteutuksesta

Billnäsin ja Åminneforsin kalateiden rakennesuunnittelun (Ponvia Oy, Maveplan Oy:n yleissuunnitelmien pohjalta) yhteydessä laadittiin suunnitelmat useista vaihtoehtoisista ohjaus- ja alasvaellusrakenteista sekä Billnäsin (6 vaihtoehtoa) että Åminneforsin (5 vaihtoehtoa) voimalaitokselle (kalateiden rakentamisen aikainen kalabiologinen asiantuntijavalvonta ja suunnittelu sekä alasvaellusrakenteiden suunnittelu: Kala- ja vesitutkimus Oy).

Ensisijaisena vaihtoehtona esitettiin molemmille voimalaitoksille alasvaellusrakenteeksi turbiinkanavien edustalle asennettavia ns. kallistettuja välppärakenteita. Pohjasta kaltevasti kohti voimalaitosta nousevat tiheät välpät johdattelevat kalat pintaan, josta ne kulkeutuvat ns. keruukanaviin ja edelleen virtaavan veden mukana kalatiehen tai voimalaitoksen alapuolelle. Tilaajan (Raaseporin kaupunki), viranomaisen (ELY-keskus) ja voimayhtiön (Koskienergia Oy) kanssa käydyissä keskusteluissa kuitenkin todettiin, että välppärakenteet ovat raskaita ja kalliita toteuttaa, eikä niistä ole kokemusta esimerkiksi välppärakenteeseen liittyvien jäätämisiongelmiensa osalta. Lisäksi vuoden 2017 seurannan tulosten perusteella alasvaelluskuolleisuus Åminneforsin voimalaitoksella oli verrattain vähäistä. Näin ollen päätettiin toistaiseksi keskittyä kehittämään Billnäsin voimalaitokselle alasvaelluksen ohjausrakennetta, joka vaatisi mahdollisimman vähän uusia rakenteita tai muutoksia olemassa oleviin pato- ja voimalaitosrakenteisiin, ja olisi edullinen toteuttaa.

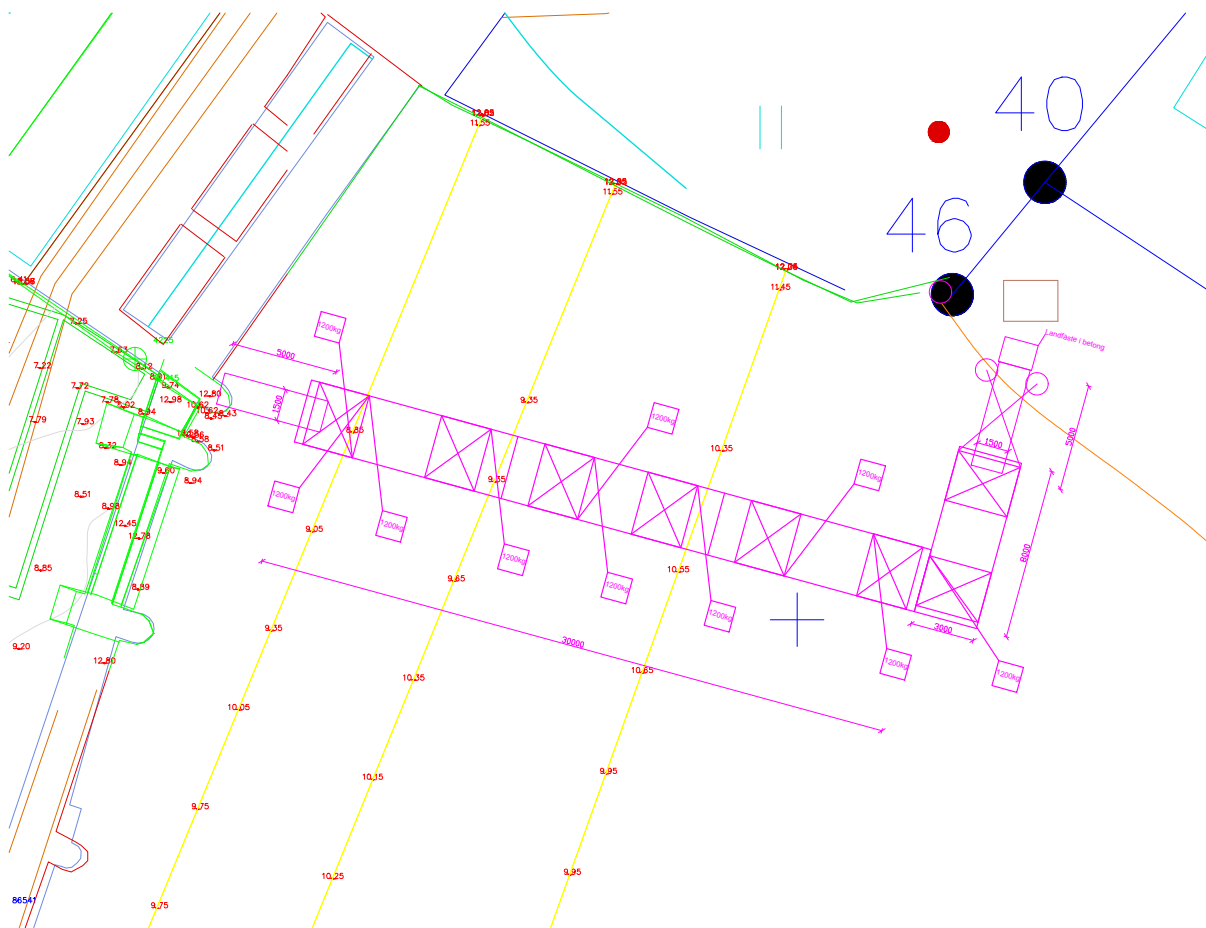


Kuva 5. Asema-/tasopiirustus kalojen ohjauksrakenteesta Billnäsän voimalaitoksella. (Kala- ja vesitutkimus Oy / Reaalprojekt OÜ)

Kalojen alasvaelluksen ohjauksratkaisuksi valikoitui valmiista laiturimoduuleista rakennettava silta, jonka alle ripustetaan kaloja karkottavat ketjurivistöt (Kuva 5). Vuoden 2017 alasvaellusseurannassa vallinneiden olosuhteiden aikana saatujen käyttäytymishavaintojen perusteella Billnäsissä arvioitiin olevan hyvät edellytykset alasvaeltavien kalojen ohjaamiseksi kalatiehen. Kalatien yläpää sijaitsee kalojen ohjausta ajatellen optimaalisesti jokiuoman keskellä aivan turbiineille menevän virtauksen vieressä.

Myöhemmin ohjauksrakenteesta haluttiin tehdä myös Billnäsän ruukkialueen kehittämistä palveleva kävelysilta. Kävelysilta rakennettiin kelluvien betoniponttoneiden päälle. Sillan alle ripustettiin viistosti neljä metriä pitkiä ketjurivistöjä. Kävelysillan ja ohjauksrakenteiden rakennesuunnittelusta ja toteutuksesta vastasi TN-Bryggan AB. Toteutunut siltarakenne on alkuperäistä suunnitelmaa lyhyempi ja leveämpi, ja se on hieman jyrkemmässä kulmassa virtaan nähden (Kuva 6). Jokaisen siltamoduulin päissä on ponttonit, ts. kelluttava rakenne ei ole yhtenäinen. Lisäksi siltarakenne päättyy noin kuusi metriä ennen patoa. Sillalta nousee padon päälle kapeampaa lankkusiltaa pitkin.

Veden alle ripustettavista ketjuista kalojen ohjaamiseksi on aikoinaan saatu varsin lupaaviakin tuloksia. Parhaimmillaan ketjurakenteella on saatu ohjattua lohikalojen poikasia 71–89 %:n tehokkuudella (ks. Taft 1986). Tutkimuksissa saadut tulokset ovat kuitenkin olleet vaihtelevia mm. kalalajista ja olosuhteista riippuen, eikä ketjujen käyttöä kalojen karkottamiseen ja ohjaamiseen ole sittemmin juurikaan tutkittu.



Kuva 6. Asema-/tasopiirustus Billnäsin kävelysillasta. (TN-Bryggan AB)

3 Tulokset ja niiden tarkastelu

3.1 Kalojen käyttäytyminen Billnäsin voimalaitoksella

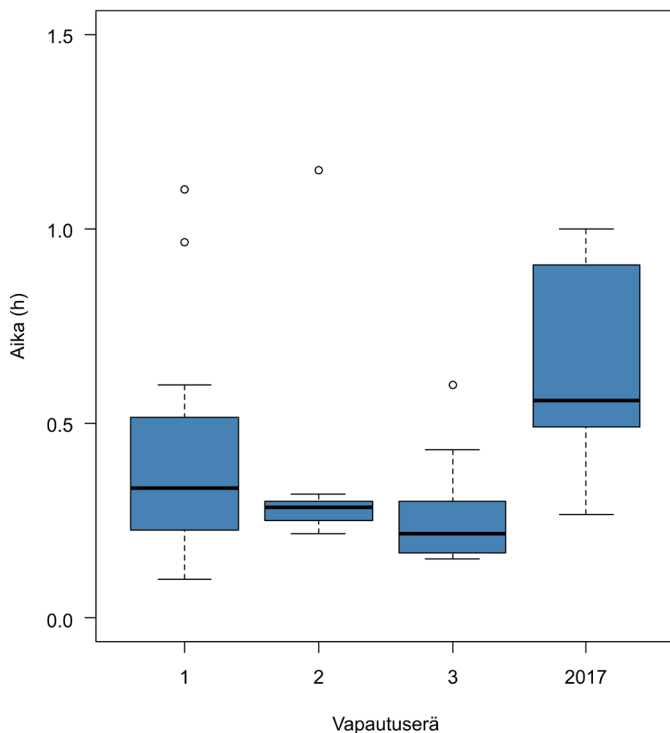
Billnäsin voimalaitoksen yläpuolelle vapautettiin kolme kalaerää kävelysillan ja ohjausrakenteiden rakentamisen eri vaiheissa (ks. kuvat 9–11). Tavoitteena oli, että virtausolosuhteet olisivat jokaisen vapautuserän aikana samat. Etäohjauksella ja automaattisesti säätyvän voimalaitoksen toimintaan ei voitu kuitenkaan vaikuttaa, ja kaikkien kolmen vapautuserän aikaiset olosuhteet poikkesivat jossakin määrin toisistaan. Ensimmäisen ja toisen erän aikana laitoksen kolmesta turbiinista oli käynnissä vasen ja oikea, kolmannen erän aikana vasen ja keskimäinen. Vähäistä ohijuoksutusta tapahtui ensimmäisen ja kolmannen erän aikana. Kokonaisvirtaama oli kuitenkin kunkin kalaerän kohdalla suunnilleen samalla tasolla.

Kalat etenivät vapautuspaikalta voimalaitospadolle keskimäärin 0,5 tunnissa (Taulukko 2). Suurin osa kaloista (92 %) saapui padolle alle tunnissa. Etenemisnopeudessa oli vapautuserien välillä vain vähäisiä eroja. Erän 3 kalat etenivät padolle kuitenkin nopeammin kuin Erän 1 kalat (Kuva 7, $p = 0,04$). Erot johtuivat pääosin muutamien yksittäisten kalojen hitaammasta etenemisestä.

Vuoden 2017 seurantaan verrattuna vuoden 2021 kalat etenivät vapautuspaikalta voimalaitokselle kuitenkin merkittävästi nopeammin (Kuva 8, $p \leq 0,016$).

Taulukko 2. Billnäsin voimalaitoksen yläpuolelle vapautettujen vaelluspoikasten käyttämä aika matkalla vapautuspaikalta voimalaitospadolle.

Vapautuserä	Kalojen määrä	Vapautuspaikalta padolle (h)				
		Keskiarvo	Mediaani	Minimi	Maksimi	Keskihajonta
Erä 1	23	0,8	0,3	0,1	9,6	1,9
Erä 2	15	0,3	0,3	0,2	1,2	0,2
Erä 3	14	0,3	0,2	0,2	0,6	0,1
Kaikki	52	0,5	0,3	0,1	9,6	1,3



Kuva 7. Billnäsin voimalaitoksen yläpuolelle vapautettujen kalojen käyttämä aika matkalla vapautuspaikalta voimalaitospadolle vuonna 2021 (erät 1, 2 ja 3) ja vuonna 2017.

Voimalaitospadolle saavuttaessa voimakkaat päävirtaukset johdattelivat kalat nopeasti turbiinikanaviin, ja lähes kaikki kalat menivät yleensä joko suoraan tai muutamien minuuttien viiveellä turbiinikanavien välille. Muutamat yksilöt palasivat väliltä takaisin patoaltaan puolelle, mutta ne palasivat yleensä pian takaisin jompaankumpaan käynnissä olleen turbiinin tulokanavaan. Useista kaloista saatiin havaintoja kalatien suuaukon edustalta, mutta kalatiehen ei kuitenkaan mennyt yhtään kalaa.

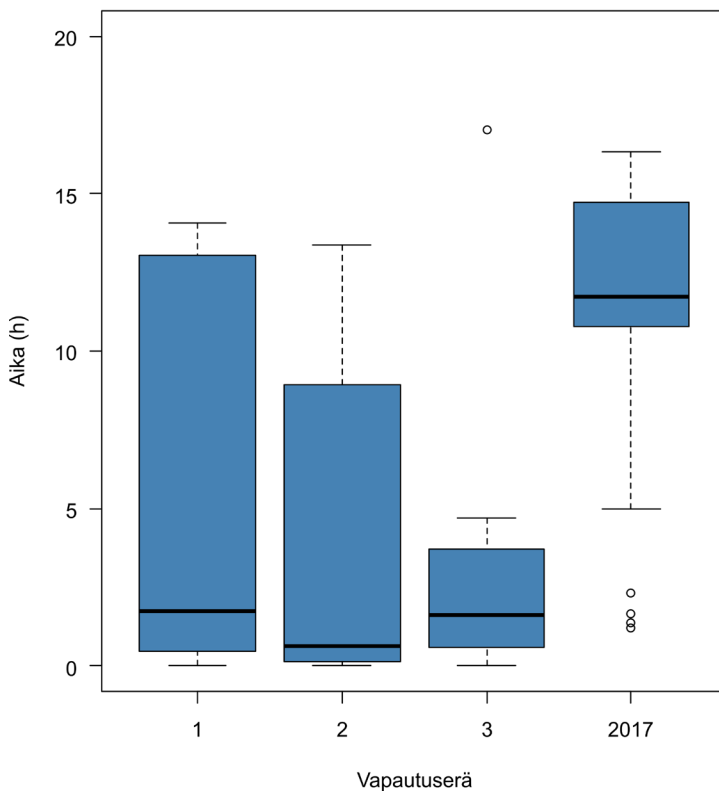
Vain harvat yksittäiset yksilöt jäivät liikuskelemaan voimalaitoksen edustalle pitemmäksi aikaa. Kalat laskeutuivat laitoksen läpi padon alapuolelle keskimäärin 9,2 tunnin kuluttua padolle saapumisesta (Taulukko 3). Varsinkin Erän 3 kalat etenivät nopeasti turbiinikanaviin ja laitoksen sisälle (keskimäärin 3,3 tuntia saapumisesta). Erän 3 kaloista osa eteni vapautuspaikalta voimalaitoksen sisälle niin nopeasti, että tarkkaa saapumisaikaa voimalaitokselle ei pystytty määrittämään. Vuoden 2021 erien välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ($p > 0,56$).

Taulukko 3. Vaelluspoikasten padon yläpuolella viettämä aika ennen laskeutumista Billnäsin voimalaitoksen läpi padon alapuolelle. Osa kaloista jäi padon yläpuolelle ja kaikille kaloille ei pystytty määrittämään sekä saapumisaikaa että alasmenon ajankohtaa.

Vapautuserä	Kalojen määrä	Aika padon yläpuolella (h)					Keskihajonta
		Keskiarvo	Mediaani	Minimi	Maksimi		
Billnäs 1	23	13,8	1,8	0,02	131,1	29,0	
Billnäs 2	14	5,9	0,6	0,02	30,6	8,6	
Billnäs 3	10	3,3	1,6	0,02	17,0	5,0	
Kaikki	47	9,2	1,5	0,02	131,1	21,2	

Yksi erän 3 kala laskeutui alavirtaan ohijuoksuusluukun kautta 6,2 tunnin kuluttua padolle saapumisesta. Kyseinen yksilö käyttäytyi kuitenkin selvästi muista poikkeavalla tavalla padon ylä- ja alapuolella. Se tulkittiin joutuneen petokalan syömäksi jo vapautuksen yhteydessä ja poistettiin smolttien ajankäyttöön ja liikkeisiin liittyvistä laskelmista.

Vuoden 2017 seurantaan verrattuna vuoden 2021 kalat hakeutuivat voimalaitoksen välille nopeammin ja laskeutuivat selvästi nopeammin laitoksen läpi voimalaitoksen alapuolelle (Kuva 7, $p = 0,002$).



Kuva 8. Billnäsin voimalaitoksen yläpuolelle vapautettujen kalojen padon päällä kuluttama aika ennen laskeutumista alavirtaan vuonna 2021 (erät 1, 2 ja 3) ja vuonna 2017.

3.1.1 Lähestymissuunta ja etsiytyminen

Kaloista tehtyjen käsipaikannusten, automaattisten vastaanottimien tallentamien signaalien ja voimalaitosten edustalla vallinneiden virtausten perusteella määriteltiin kalojen pääasialliset lähestymissuunnat ja jakautuminen padolle saapumisen yhteydessä. Kuvissa 9–11 esitetään kaavamainen, pelkistetty kuvaus kalojen lähestymissuunnista Billnäissä.

Erän 1 vapauttamisen aikana käynnissä olivat laitoksen laitimmaisat turbiinit (T1, vasen ja T3, oikea) ja laitoksen edustalla oli kelluva roskapuomi (Kuva 9). Yhteensä 59 %:sta kaloista saatiin ensimmäinen havainto joko padolla (27 %) tai vasemman turbiinikanavan edustalla (32 %). Huomattava osa kaloista (41 %) eteni kohti oikeanpuoleista turbiinikanavaa patoaltaan oikealla reunalla.

Erän 2 vapauttamisen yhteydessä käynnissä olivat niin ikään laitimmaisat turbiinit (T1 ja T3, kuva 10). Kävelysilta oli asennettu paikoilleen lukuun ottamatta alinta, noin kuuden metrin mittaista kävelytasoa. Kalojen lähestyminen painottui selvästi päävirtauksen vasemmalle reunalle, sillä kaikista kaloista saatiin ensimmäinen havainto joko patoluukkujen edustalta (47 %) tai vasemman turbiinikanavan edestä (53 %). Päävirtauksen oikealla reunalla kävelysillan oikealla puolella ei havaittu lähestyviä kaloja. Puolet kaloista (53 %) siirtyi muutamien minuuttien kuluessa (ka. 8,4 min, med. 6 min) patoaltaan oikeaan reunaan. Kahdenkymmenen minuutin kuluessa kaikki kalat paikannettiin joko vasemman (66,7 %) tai oikean (33,3 %) turbiinikanavan välillä.

Erän 3 vapautusajankohtana kävelysilta oli asennettu kokonaan (Kuva 11). Ohjausrakenteet oli asennettu kävelysillan alle lukuun ottamatta alimmaista viiden metrin osuutta kalatien suulla. Käynnissä olivat vasen (T1) ja aiemmista eristä poiketen keskimmainen turbiini (T2). Suurin osa kaloista (75 %) kulki suoraan käynnissä olleiden turbiinien välillä. Padon suuntaan kulkeutui 25 % kaloista.

Vuonna 2017 Billnäsin kalaerän vapauttamisen aikana käynnissä oli ainoastaan vasen turbiini (Kuva 12). Kokonaisvirtaama oli huomattavasti alhaisempi ja virrannopeudet laitoksen edustalla ja voimalaitoksen välillä selvästi pienempiä. Voimalaitoksen edustalla oli kelluva roskapuomi, millä saattoi olla jossakin määrin kaloja ohjaava vaikutus. Suurin osa kaloista (87 %) saapui voimalaitokselle virran vasemmassa reunassa edeten joko padon kautta (35 %) tai suoraan vasemman turbiinikanavan edustalle (52 %). Pieni osa kaloista (13 %) lähestyi voimalaitosta patoaltaan oikeassa reunassa.

Vuoden 2017 vapautuserän kaloja pystyttiin seuraamaan myös näköhavainnoimalla padon päältä. Lähetinkalojen jälkeen Billnäsin yläpuolelle vapautetusta tuhansien kalojen istuskalaerästä saatiin varsin samansuuntaisia näköhavaintoja; osa kaloista meni suoraan välillä, osa kaloista levittäytyi patoluukkujen edustalle patoaltaan vasemmalle reunalle, ja pieni osa kaloista pysähtyi voimalaitoksen edustalle patoaltaan oikeaan reunaan.



Kuva 9. Erän 1 kalojen saapumissuunnat ja jakautuminen Billnäsin voimalaitospadolla. Käynnissä olleet turbiinit on merkitty punaisella. (Maanmittauslaitos)



Kuva 10. Erän 2 kalojen saapumissuunnat ja jakautuminen Billnäsin voimalaitospadolla. Puolet kaikista kaloista siirtyi patoaltaan oikeaan reunaan muutaman minuutin kuluttua saapumisesta (harmaa katkonainen nuoli). Käynnissä olleet turbiinit on merkitty punaisella. (Maanmittauslaitos)



Kuva 11. Erän 3 kalojen saapumissuunnat ja jakautuminen Billnäsin voimalaitospadolla. Käynnissä olleet turbiinit on merkitty punaisella. (Maanmittauslaitos)



Kuva 12. Vuoden 2017 lähetinkalojen saapumissuunnat ja jakautuminen Billnäsin voimalaitospadolla. Käynnissä ollut turbiini on merkitty punaisella. (Maanmittauslaitos)

3.1.2 Liikehdintä padolla

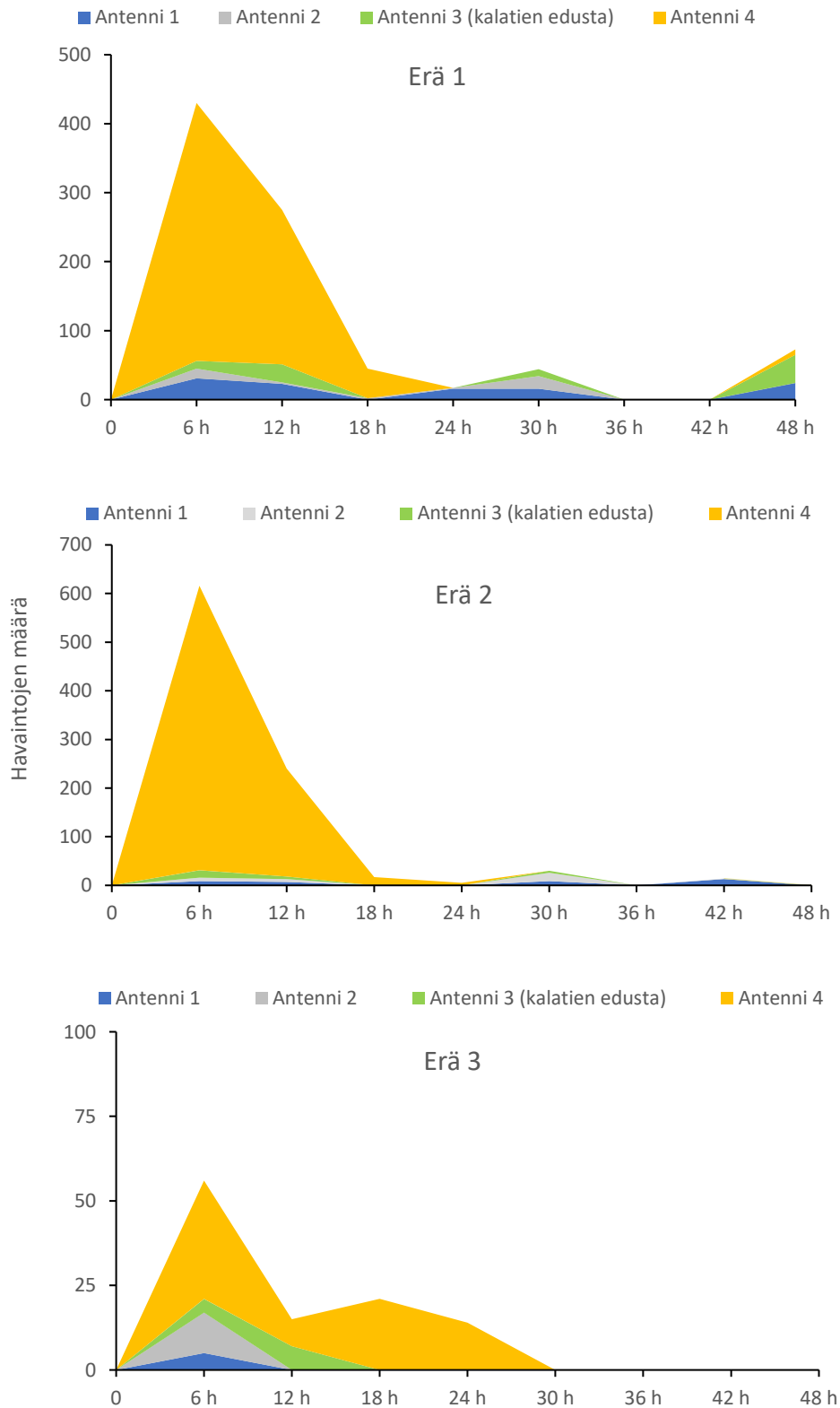
Lähetinkaloista tehtyjen käsipaikkannusten ja automaattiseurannan perusteella kalat etenivät pääsääntöisesti nopeasti ja suoraviivaisesti turbiinikanavien välille. Liikehdintä patoaltaalla välppien yläpuolella oli lyhytaikaista painottuen patoaltaan oikealle laidalle (kuva 13).

Erän 1 kaloista kertyi ensimmäisen kuuden tunnin aikana havaintoja pääasiassa patoaltaan oikeasta reunasta oikean turbiinikanavan edustalta (Kuva 13). Kalat liikkuvat jonkin verran myös patoaltaan vasemmalla laidalla patoluukkujen ja vasemman puoleisen turbiinin edustalla. Kuuden tunnin kuluttua saapumisesta 42 % kaloista oli vielä voimalaitoksen yläpuolella.

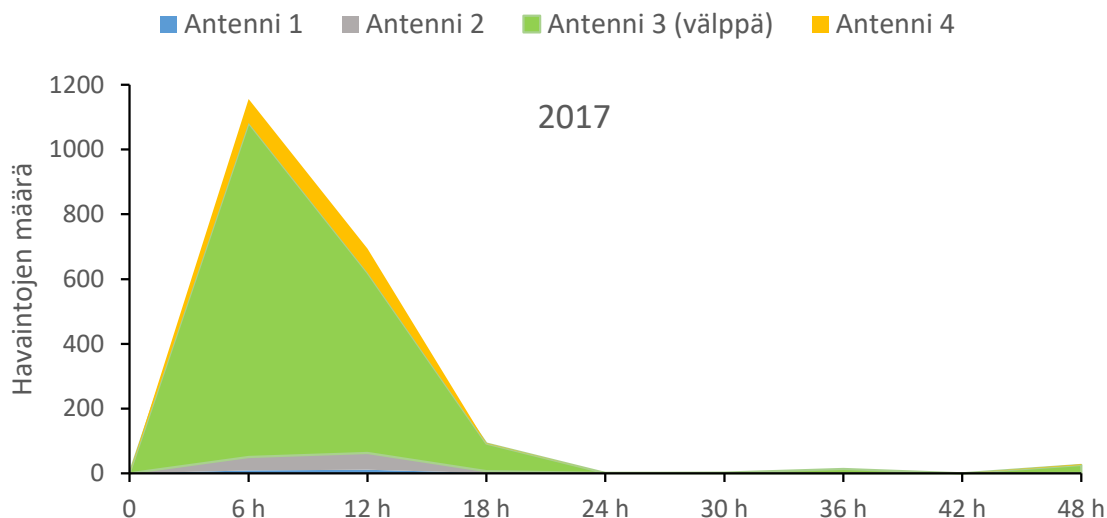
Erän 2 kohdalla kaloista kertyi havaintoja lähes ainoastaan oikean puoleisen turbiinikanavan edustalta (Kuva 13). Kuuden tunnin kuluttua saapumisesta 40 % kaloista oli vielä voimalaitoksen yläpuolella.

Erän 3 kaloista kertyi ensimmäisten tuntien aikana havaintoja pääosin patoaltaan oikealta laidalta (Kuva 13). Kalat liikkuvat kuitenkin myös patoaltaan vasemmalla laidalla, sekä kalatien suulla vasemman puoleisen turbiinikanavan edustalla. Ensimmäisen kuuden tunnin aikana lähes kaikki yksilöt yhtä kalaa lukuun ottamatta olivat jo menneet voimalaitoksesta alas.

Kalojen suoraviivainen eteneminen padolle ja turbiinikanaviin poikkesi selvästi vuoden 2017 seurannassa tehdyistä havainnoista. Vuoden 2017 olosuhteissa kalat liikkuvat pitkään voimalaitoksen edustalla ennen kuin ne menivät turbiinikanavan suulle välppän eteen. Vuonna 2017 suurin osa havainnoista kertyi ainoan käytössä olleen eli vasemman turbiinikanavan edustalta patoaltaan puolelta (Kuva 14). Kalat liikkuvat silloin jossakin määrin myös vasemmalla patoluukkujen edustalla sekä patoaltaan oikealla reunalla. Kuuden ensimmäisen tunnin jälkeen 72 % kaloista oli edelleen patoaltaalla.



Kuva 13. Billnäsin vapautuserien lähetinkaloista saatujen havaintojen kertyminen ja vaihtelu voimalaitokselle saapumisen jälkeen. Värillisten alueiden pinta-alat kuvaavat kullekin antennille kertyneiden havaintojen määrää kuuden tunnin jaksoissa. Katso myös kuva 3.



Kuva 14. Lähetinkaloista saatujen havaintojen kertyminen ja vaihtelu kuuden tunnin jaksoissa voimalaitokselle saapumisen jälkeen Billnäsissä vuonna 2017. Värillisten alueiden pinta-alat kuvaavat kullekin antennille kertyneiden havaintojen määrää. Katso myös Kuva 3.

3.1.3 Kuolleisuus

Kalojen kuolleisuutta tarkasteltiin erikseen yläpuolisella patoaltaalla, voimalaitoksessa ja alapuolisella jokiosuudella (Taulukko 4). Patoaltaalla ja jokiosuuksilla kuolleisuutta lisää lähinnä petokalojen tai lintujen saaliiksi joutuminen, kun taas voimalaitoksessa kuolleisuutta lisää voimalaitosrakenteiden ja turbiinien aiheuttamat vauriot ja siihen liittyvä välitön saalistus voimalaitoksen alapuolella.

Erän 3 kaloista yksi joutui petokalan syömäksi jo vapautuspaikalla, ja kaksi muuta myöhemmin patoaltaalla lähempänä voimalaitosta. Muista eristä ei joutunut kaloja predaation kohteeksi padon yläpuolella (Taulukko 4). Erän 3 kaloista osa kuoli jo ennen vapautusta, ja jäljellä olleissa kaloissa oli havaittavissa merkkejä vesihomeinfektioista. Kalojen heikentynyt kunto ja vaaleat, kauas näkyvät vesihomeläikät ovat todennäköisimmät syyt Erän 3 korkeampaan predaatiokuolleisuuteen. Keskimääräinen patoallaskuolleisuus Billnäsissä (5,2 %) oli kuitenkin jonkin verran alhaisempi kuin vuonna 2017 (10,3 %), mikä puolestaan johtunee nopeasta etenemisestä ja alasmenosta vuonna 2021. Ilmeinen etenemistä vauhdittanut syy oli selvästi suurempi virrannopeus patoaltaalla ja voimalaitoksen edustalla.

Taulukko 4. Billnäsin voimalaitoksen yläpuolelle vapautettujen lähetinkalojen lukumäärät, kuolleiden kalojen osuudet ja vastaavat kuolleisuudet prosentteina (lihavoitu) eri osatekijöihin ryhmiteltynä.

Lähetinkalojen määrä	Yläpuolinen patoallas (predaatio)	Voimalaitos (turbiinit + välitön predaatio)	Alapuolinen jokiosuus (predaatio)	Patokuolevuus (patoallas + voimala)	Kokonaiskuolleisuus (pato + voimala + jokiosuus)
Erä 1 24	0/24 0	15/24 62,5	3/9 33,3	15/24 62,5	18/24 75,0
Erä 2 15	0/15 0	6/15 40,0	3/9 33,3	6/15 40,0	9/15 60,0
Erä 3 19	3/19 15,8	10/16 62,5	1/6 16,7	13/19 68,4	14/19 73,7
Kaikki 58	3/58 5,2	31/55 56,4	7/24 29,2	34/58 58,6	41/58 70,7

Voimalaitoksen läpimenon yhteydessä kuolleisuus nousi suureksi. Keskimääräinen kuolleisuus oli 56,4 %, mikä on hieman korkeampi kuin vuoden 2017 seurannassa (46,2 %). Havaittu kuolleisuustaso ei ole poikkeuksellisen korkea Francis-tyypin turbiineille. Vuoden 2021 korkeampi kuolleisuus on todennäköisesti seurausta suuremmasta virtausnopeudesta voimalaitoksen kanavissa ja turbiineissa. Myös kalojen heikentynyt terveydentila on saattanut lisätä kuolleisuutta.

Billnäsin voimalaitoksen läpäisseistä kaloista 41,4 % jatkoi matkaa kohti alavirtaa. Niistä 29,2 % joutui saaliiksi Billnäsin ja Åminneforsin välisellä 3,3 km:n mittaisella jokiosuudella (ks. Liite 1). Yksi Erän 2 kala löydettiin hauen mahasta 2,3 km Billnäsin alapuolella. Kuolleisuus tällä matkalla oli selvästi suurempaa kuin vuonna 2017 (7,1 %). Tähän on voinut olla syynä alhaisempi veden pinta vuonna 2021. Petokaloilla oli mahdollisesti helpompi havaita ja saada kiinni pienemmässä vesitilavuudessa vaeltavia smoltteja. Tässäkin myös kalojen vesihomeinfektiolla on voinut olla kuolleisuutta lisäävä vaikutus.

Åminneforsin voimalaitokselle saakka selvisi 29,3 % Billnäsin yläpuolelle vapautetuista kaloista. Selviytyneiden osuus oli vuonna 2017 selvästi suurempi; 44,8 %. Kalojen selviytyminen Billnäsinistä Åminneforsiin oli siis kokonaisuudessaan heikompaa vuonna 2021. Tämä selittyy virtausolosuhteissa vallinneilla eroilla. Myös kalojen terveydentila on saattanut vaikuttaa tuloksiin, vaikka suurin osa merkityistä kaloista vaikutti päällisin puolin hyväkuntoiselta vapautushetkellä.

Kalat kuitenkin vaelsivat Billnäsinistä Åminneforsiin selvästi nopeammin kuin vuonna 2017. Vuonna 2021 matkaan meni aikaa keskimäärin 6,6 tuntia (vaihteluväli 2,2–17,0 h), kun vuonna 2017 se kesti keskimäärin 18,8 tuntia (vaihteluväli 3,4–54,6 h). Tämä johtunee todennäköisimmin vuoden 2021 seurannan aikana vallinneesta suuremmasta virtaamasta ja virrannopeudesta.

3.2 Kalojen käyttäytyminen Åminneforsin voimalaitospadolla

Åminneforsin yläpuolelle vapautettujen kalojen käyttäytymisessä havaittiin yksilöiden välisiä eroja vapauttamisen yhteydessä. Osa kaloista lähti alavirtaan nopeasti, osan jäädessä vapautuspaikan lähistölle hieman pidemmäksi aikaa. Kaikki vapautetut kalat saapuivat kuitenkin Åminneforsin voimalaitokselle keskimäärin 1,4 tunnin kuluessa vapautuksesta (Taulukko 5).

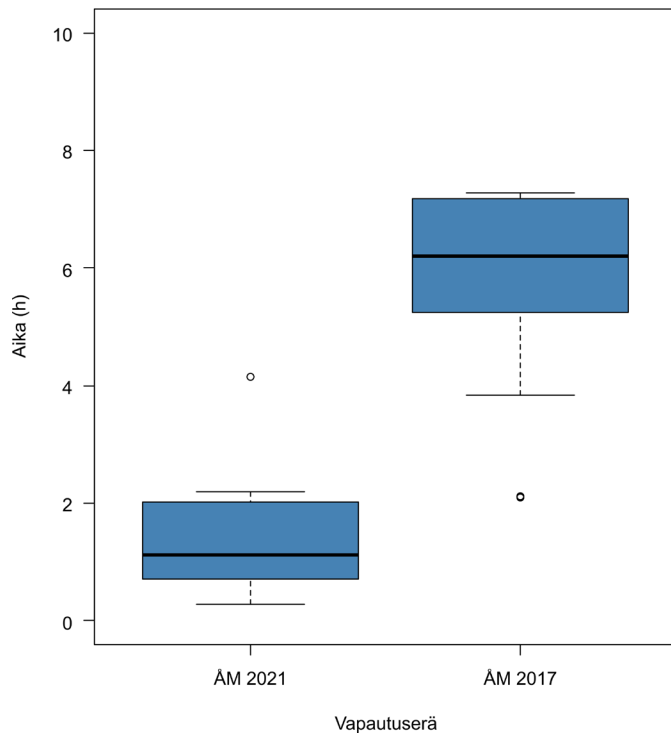
Taulukko 5. Åminneforsin voimalaitoksen yläpuolelle vapautettujen vaelluspoikasten käyttämä aika matkalla vapautuspaikalta voimalaitospadolle.

Vapautuserä	Kalojen määrä	Vapautuspaikalta padolle (h)				
		Keskiarvo	Mediaani	Minimi	Maksimi	Keskiahjonta
Åminnefors	10	1,4	1,1	0,3	4,2	1,2

Suurempi virtaama ohjasi kaloja selvemmin suoraan kohti voimalaitosta, ja kalat saavuttivatkin voimalaitoksen selvästi nopeammin kuin vuonna 2017 ($p < 0.001$; Kuva 15).

Matkalla vapautuspaikalta voimalaitospadolle ainoastaan yksi kala pysähtyi joen mutkassa maantiesillan yläpuolella kymmeneksi minuutiksi. Vuonna 2017 lähes kaikki kalat pysähtyivät kyseisessä paikassa keskimäärin 2,3 tunnin ajaksi (ks. Kuva 16 ja 17).

Åminneforsin voimalaitokselle saapuessaan kalat uivat pääosin suoraan voimalaitoksen tulokanavan väljälle (Kuva 16). Vuonna 2017 kalat sen sijaan saapuivat voimalaitokselle patoaltaan oikeassa reunassa ohijuoksuksukanavan edustalle, mistä ne siirtyivät väljän edustalle vasta myöhemmin (Kuva 17). Tämä ero selittyy virtausolosuhteiden erilaisuudella vuosien välillä. Lohen vaelluspoikaset etenevät alavirtaan päävirtauksien mukana. Vuonna 2017 päävirtaus kulki voimalaitokselle uoman oikean reunan kautta, kun taas vuonna 2021 virtaama oli selvästi suurempi ja virtaus eteni patoaltaan keskellä suoraan voimalaitoksen turbiinkanavaan.



Kuva 15. Äminneforsin voimalaitoksen yläpuolelle vapautettujen kalojen käyttämä aika matkalla vapautuspaikalta voimalaitospadolle vuonna 2021 ja vuonna 2017.



Kuva 16. Kalojen saapumissuunnat ja jakautuminen Äminneforsin voimalaitospadolla. Voimalaitoksen turbiinkanavan välppä on merkitty punaisella. Lisäksi karttaan on merkitty alue (viivoitettu), jossa osa saapuvista kaloista pysähtyi ennen siirtymistä voimalaitokselle. (ilmakuva: Maanmittauslaitos)

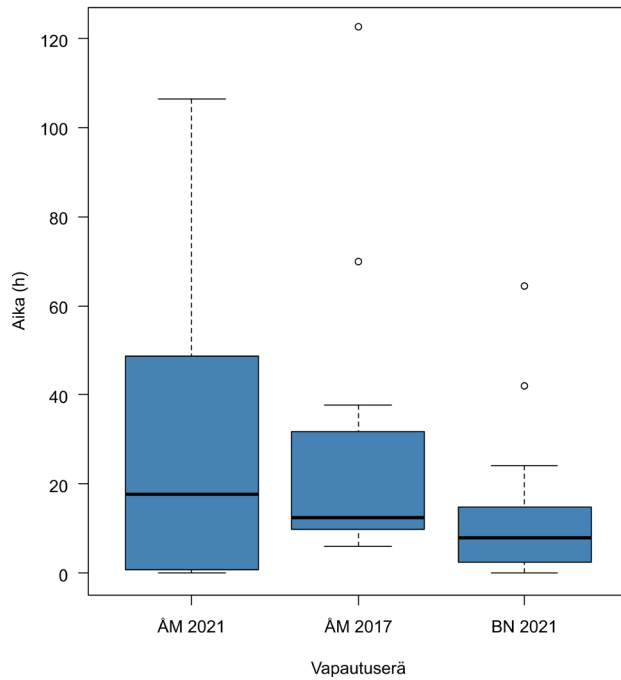


Kuva 17. Kalojen saapumissuunnat ja jakautuminen Åminneforsin voimalaitospadolla vuonna 2017. Kalat saapuivat voimalaitokselle pääasiassa uoman oikeassa reunassa. Sieltä ne siirtyivät myöhemmin voimalaitoksen turbiinkanavan edustalle (harmaa katkonainen nuoli). Turbiinkanavan välppä on merkitty punaisella. Lisäksi karttaan on merkitty alue (viivoitettu), jossa lähes kaikki kalat pysähtyivät ennen siirtymistä voimalaitokselle. (Maanmittauslaitos)

Kalat viipyivät Åminneforsin voimalaitoksen päällä keskimäärin 28,8 tuntia ennen laskeutumistaan alavirtaan voimalaitoksen läpi (Taulukko 6). Vuonna 2017 laskeutuminen oli hieman nopeampaa (ka. 22,6 h). Åminneforsin yläpuolelle vapautettujen kalojen lisäksi kaikkiaan 17 kalaa saapui Billnäsistä Åminneforsin voimalaitokselle. Billnäsistä saapuneet kalat menivät alas voimalaitoksesta hieman nopeammin kuin Åminneforsin vapautuserän kalat (Taulukko 6). Erot edellä mainittujen ryhmien välillä eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä ($p = 0,22$; Kuva 18). Myös vuonna 2017 Billnäsistä saapuneet kalat menivät Åminneforsista alas keskimääräistä nopeammin.

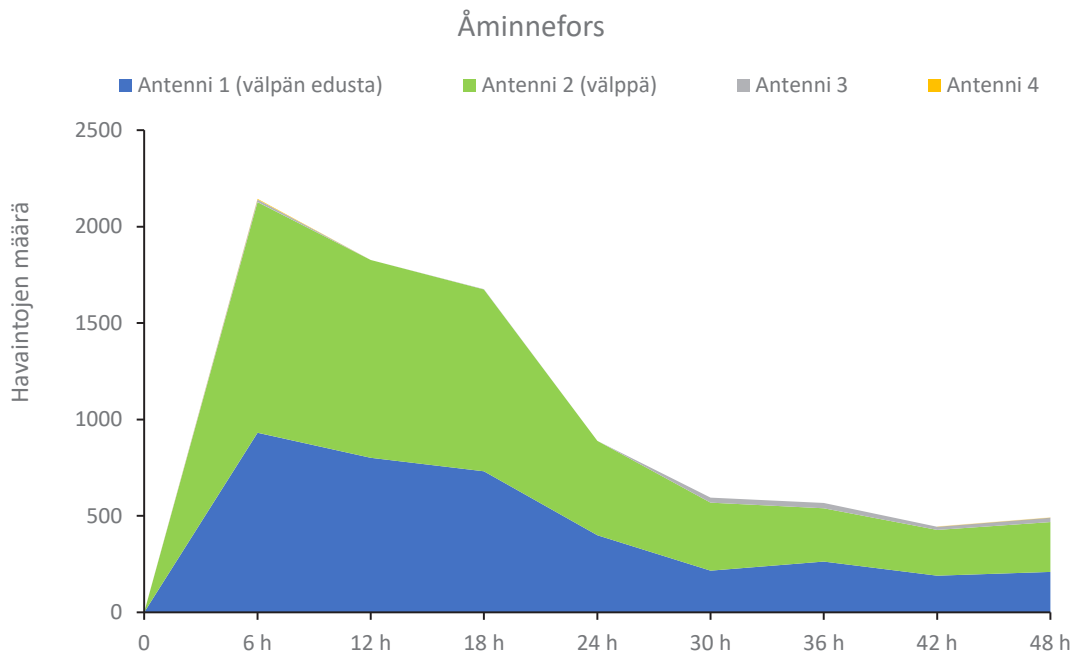
Taulukko 6. Vaelluspoikasten padon yläpuolella käyttämä aika ennen laskeutumista Åminneforsin voimalaitoksen läpi padon alapuolelle. Taulukossa on myös Billnäsistä Åminneforsin saapuneiden kalojen alasmenoajat. Osa Billnäsien kaloista jäi padon yläpuolelle, ja kaikille kaloille ei pystytty määrittämään sekä saapumisaikaa että alasmenon ajankohtaa.

Vapautuspaikka ja -erä	Kalojen määrä	Aika padon yläpuolella (h)					Keskiahjonta
		Keskiarvo	Mediaani	Minimi	Maksimi		
Åminnefors	10	28,8	17,7	0,1	106,4	34,3	
Billnäs 1	6	15,7	6,9	0,1	64,5	24,6	
Billnäs 2	5	13,1	7,3	0,1	42,1	16,6	
Billnäs 3	2	16,0	11,4	8,0	24,1	11,4	
Billnäs, kaikki	13	14,8	8,0	0,1	64,5	18,9	

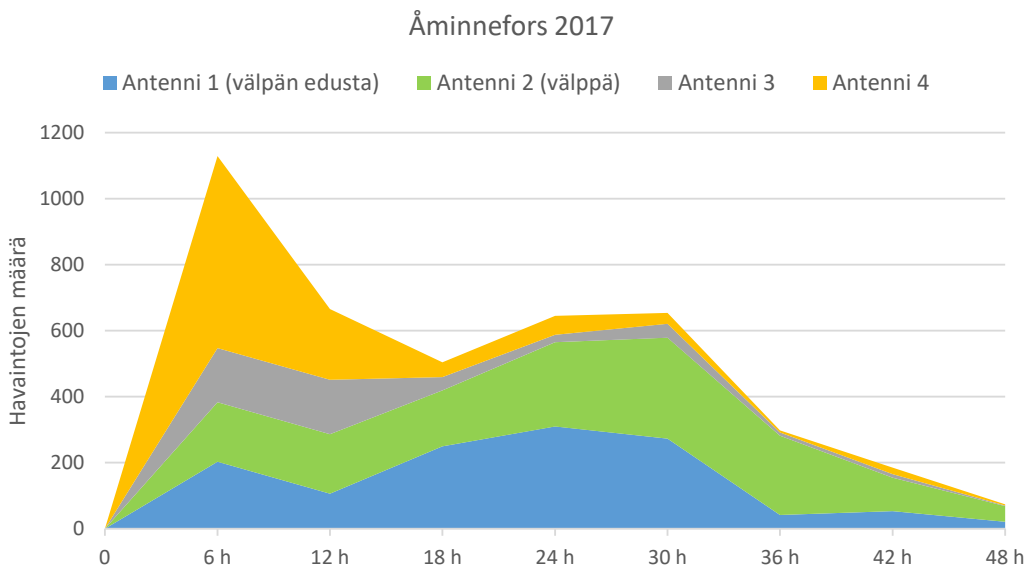


Kuva 18. Äminneforsin voimalaitoksen yläpuolelle vapautettujen kalojen padon päällä kuluttama aika ennen laskeutumista alavirtaan vuonna 2021 ja vuonna 2017. Kuvassa myös Billnäsistä saapuneiden kalojen laskeutumisajat (BN 2021).

Voimalaitokselle saavuttuaan kalat liikkuvat lähes ainoastaan voimalaitoksen välpällä ja sen edustalla (Kuva 19). Kalat liikkuvat toisin sanoen myös kalatien suuaukon läheisyydessä, mutta kalatiehen ei kuitenkaan mennyt yhtään kalaa. Voimalaitoksen välpällä tehtiin näköhavaintoja sekä lähetinkaloista että merkitsemättömistä smolteista. Välpällä nähtiin myös ainakin yksi joessa talvehtinut aikuinen lohi ja taimen. Vuoden 2021 tuloksista poiketen vuonna 2017 kalat liikkuvat myös patoaltaan oikeassa reunassa ja laajemminkin patoaltaalla (Kuva 20). Tämä ero selittyi erilaisilla virtausolosuhteilla vuosien välillä.



Kuva 19. Lähetinkaloista saatujen havaintojen kertyminen ja vaihtelu kuuden tunnin jaksoissa voimalaitokselle saapumisen jälkeen Äminneforsissa. Värillisten alueiden pinta-alat kuvaavat kullekin antennille kertyneiden havaintojen määrää. Katso myös Kuva 4.



Kuva 20. Lähettinkaloista saatujen havaintojen kertyminen ja vaihtelu kuuden tunnin jaksoissa voimalaitokselle saapumisen jälkeen Åminneforsissa vuonna 2017. Värillisten alueiden pinta-alat kuvaavat kullekin antennille kertyneiden havaintojen määrää. Katso myös Kuva 4.

3.2.1 Kuolleisuus

Åminneforsin yläpuolelle vapautetuista kaloista kaikki selvisivät vapautuspaikalta voimalaitokselle ja laskeutuivat alavirtaan voimalaitoksen läpi. Sen sijaan Billnäsistä saapuneista kaloista 5,9 % joutui saalistuksen kohteeksi Åminneforsin patoaltaalla. Kalojen keskimääräiseksi patoallaskuolleisuudeksi tuli näin ollen 3,7 % (Taulukko 7). Vastaavasti myös vuonna 2017 Åminneforsin patoaltaalla joutui syödyksi ainoastaan Billnäsistä saapuneita kaloja, ja kalojen patoallaskuolleisuus oli keskimäärin 7,9 %.

Voimalaitoksen läpimenon yhteydessä Åminneforsin vapautuserästä kuoli 10 % ja Billnäsistä saapuneista kaloista 0 %. Keskimääräiseksi voimalaitoskuolleisuudeksi tuli 3,8 % (Taulukko 7). Vuonna 2017 vastaavat luvut olivat 4 %, 10 %, ja keskimäärin 5,7 %. Näin ollen kalojen kuolleisuus Åminneforsin voimalaitoksessa vaikuttaa olleen suunnilleen samalla tasolla molempina vuosina. Åminneforsin voimalaitoksen Kaplan-turbiinissa suurempi virtaama ja virtausnopeudet eivät juurikaan vaikuta lisänneen kalojen kuolleisuutta.

Taulukko 7. Åminneforsin voimalaitoksen yläpuolelle vapautettujen lähettinkalojen lukumäärät, kuolleiden kalojen osuudet ja vastaavat kuolleisuudet prosentteina (lihavoitu) eri osatekijöihin ryhmiteltynä. Taulukossa vastaavat luvut myös Billnäsän voimalaitokselta saapuneille kaloille.

Koe-erä ja kalamäärät	Yläpuolinen patoallas (predaatio)	Voimalaitos (turbiinit + välitön predaatio)	Alapuolinen jokiosuus (predaatio)	Patokuolleisuus (patoallas + voimala)	Kokonaiskuolleisuus (pato + voimala + jokiosuus)
Åminnefors 10	0/10 0	1/10 10,0	0/9 0	1/10 10,0	1/10 10,0
Billnäs (erät 1, 2, 3) 17	1/17 5,9	0/16 0	4/16 25,0	1/17 5,9	5/17 29,4
Kaikki 27	1/27 3,7	1/26 3,8	4/25 16,0	2/27 7,4	6/27 22,2

Voimalaitoksen alapuolisella osuudella ennen jokisuuta joutui saaliiksi 16 % kaikista kaloista (Taulukko 7). Saaliiksi päätyi kuitenkin ainoastaan Billnäsistä saapuneita kaloja eristä 2 ja 3, jotka olivat siis läpäisseet sekä Billnäsintä että Åminneforsin turbiinit. Yksistään näiden kalojen kuolleisuus oli joen alaosalla 25,0 %. Vuonna 2017 Åminneforsin alapuolisella jokiosuudella kuoli sekä Billnäsintä että Åminneforsin vapautuserien kaloja kaikkiaan 9,1 %.

Vuonna 2021 Billnäsistä saapuneiden vapautuserien 2 ja 3 kalat olivat mahdollisesti jo pidemmälle ehtineen vesihomeinfektion seurauksena huonommassa kunnossa, jolloin uidut matkat ja toisenkin turbiinin läpäisy saattoivat heikentää edelleen niiden kykyä vältellä predaatiota joen alaosalla. Samaan suuntaan viittaa myös se, että näiden Billnäsistä saapuneiden kalojen selviytyminen Åminneforsin alakanavasta jokisuulle oli heikompaa (60,0 %) kuin Åminneforsin ja Erän 1 kaloilla, joista kaikki voimalaitoksen läpäisystä selvinneet yksilöt jatkoivat jokisuulle.

Kaikkiaan Åminneforsin patoaltaalta jokisuulle selvisi 77,8 % kaloista. Suhteellinen osuus vastasi vuoden 2017 tuloksia jolloin patoaltaalta jokisuulle selviytyneiden määrä oli 78,9 %. Voimalaitoksissa kuolleiden ja petokalojen syömäksi joutuneiden kalojen sijainnit on esitetty Liitteessä 1.

4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Lohen vaelluspoikasten käyttäytymistä ja kuolleisuutta alasvaelluksen yhteydessä tutkittiin Mustionjoen Billnäsien ja Åminneforsin voimalaitoksilla toukokuussa 2021. Kumpaankin voimalaitospatoon on rakennettu kalatiet vuosina 2018–2019, ja ne otettiin käyttöön vuonna 2020. Lähetinseurannan avulla tehty kalojen alasvaelluksen seuranta toteutettiin pääosin samalla tavalla kuin vuonna 2017. Vuoden 2021 tutkimuksessa pyrittiin selvittämään missä määrin muuttuneet olosuhteet vaikuttavat kalojen käyttäytymiseen ja reitinvalintaan. Erityisenä tarkastelun kohteena oli kalojen mahdollinen hakeutuminen alavirtaan kalateiden kautta.

Edellisessä tutkimuksessa todettiin kalojen kuolleisuuden olevan suurta Billnäsien voimalaitoksen läpimenon yhteydessä. Kuolleisuuden vähentämiseksi Billnäsien patoaltaalle suunniteltiin kalojen alasvaellusta ohjaava rakenne, jonka tarkoituksena on vähentää voimalaitoskuolleisuutta ohjaamalla kaloja kohti alavirtaa kalatien kautta. Rakenne koostuu laituriponttoneista tehdystä kävelysillasta ja sen alle roikkumaan ripustetuista ketjurivistöistä. Ohjausrakenne valmistui vaiheittain lähes valmiiksi tämän tutkimuksen aikana.

Vuoden 2021 olosuhteet poikkesivat aiemmasta, vuonna 2017 toteutetusta seurannasta. Virtaama oli Billnäsissä selvästi suurempi, ja käynnissä oli yhden turbiinin sijaan kaksi. Veden pinta oli alempana ja veden virtausnopeus selvästi suurempi kuin vuonna 2017. Myös Åminneforsissa virtausolosuhteet poikkesivat vastaavalla tavalla.

Vallitsevien olosuhteiden ja ohjausrakenteen eri komponenttien vaikutuksen arvioimiseksi lähettimellä varustettuja kaloja vapautettiin Billnäsien yläpuolelle erilaisissa olosuhteissa kolmessa erässä. Ensimmäinen erä vapautettiin, kun patoaltaalla ei ollut vielä mitään rakenteita. Toinen erä vapautettiin, kun patoaltaalle oli rakennettu kävelysilta, ja kolmas erä, kun kävelysillan alle oli asennettu myös ketjurivistöt.

Billnäsien ensimmäisen vapautuserän kalat lähestyivät voimalaitosta turbiineille johtavien virtausten mukana edeten vasemman (32 %) ja oikean (41 %) turbiinikanavan suulle. Vajaa kolmannes (27 %) kaloista kulkeutui sivuun päävirtauksesta patoaltaan vasemmalle reunalle ohijuokutusluukkujen edustalle mahdollisesti roskapuomin ohjaamana.

Toisen erän kaloista kaikki etenivät joko suoraan vasemman puoleisen turbiinikanavan kohdalle (53 %) tai patoaltaan vasemmalle reunalle (47 %). Vaikuttaakin siltä, että voimalaitoksen eteen pitkittäin asennetun kävelysillan vaikutuksesta kalat pysyttelivät virran vasemmalla laidalla, ja kaloja ohjautui vasempaan turbiinikanavaan ja patoluukkujen edustalle selvästi enemmän kuin ensimmäisessä vapautuserässä. Ensimmäisestä vapautuserästä poiketen yhdenkään kalan ei havaittu saapuvan ylävirrasta suoraan oikean puoleisen turbiinikanavan edustalle. Suljettuina olleiden ohijuokutusluukkujen edustalta kalat kääntyivät nopeasti voimalaitosta kohti ja siirtyivät turbiinikanaville.

Kolmannen erän kaloista suurin osa (75 %) ui suoraan käynnissä olleiden turbiinien välille. Neljännes kaloista (25 %) päätyi ensin vasemmalle patoluukkujen edustalle. Yhdenkään kalan ei havaittu saapuvan suoraan patoaltaan oikeaan reunaan. Kävelysillan alle oli asennettu myös ketjurivistöt lukuun ottamatta viimeistä osuutta sillan alapäässä. Käynnissä olivat vasen ja keskimäinen turbiini, ja aiemmasta poiketen voimalaitokselle kulki nyt yhtenäinen, vierekkäisiin turbiineihin menevä suuri virtaama. Suurin osa kaloista kulki tämän päävirtauksen mukana suoraan turbiineille, todennäköisimmin kävelysillan alapäästä.

Edellä mainitut eroavaisuudet olosuhteissa vapautuserien ja vuosien välillä vaikeuttavat tulosten tulkintaa alasvaelluksen ohjausrakenteen vaikutuksia arvioitaessa. Lisäksi kalojen terveydentila huonontui tutkimuksen kestäessä, millä on saattanut olla vaikutusta kalojen käyttäytymiseen ja kuolleisuuteen lähinnä Billnäsin kolmannen vapautuserän kohdalla. Kalojen nopeasti kasvanut kuolleisuus ja ohjausrakenteiden asentamisen viivästyminen vaikeuttivat kalojen vapauttamisen ja rakennusvaiheiden ajallista yhteensovittamista. Viimeisen erän kalat jouduttiin vapauttamaan, vaikka ohjausrakenne ei ollut vielä kokonaisuudessaan valmis ja näin ohjausrakenteen toimivuus kokonaisuudessaan jäi todentamatta.

Havaintojen perusteella vaikuttaa kuitenkin siltä, että ohjausrakenne sai kalat pysyttelemään päävirtauksen vasemmalla laidalla. Tämä vaikutus näyttää syntyneen jo pelkästä kävelysillasta. Ketjurivistöjen ollessa paikoillaan rakenteen karkottava ja ohjaava vaikutus olisi pitänyt olla vieläkin voimakkaampi. Kolmannen erän vapautushetkellä virtausolosuhteet olivat kuitenkin muuttuneet, eikä ohjausvaikutus ollut yhtä selvästi todennettavissa. Myös kalojen kunto oli tässä vaiheessa huono ja niiden uintikäyttäytyminen on voinut olla passiivisempaa aiempiin eriin verrattuna.

Ohjausrakenteella oli todennäköisesti ainakin vähäinen kaloja karkottava vaikutus ja kalat oletettavasti etenivät alavirtaan ohjausrakenteen reunaa seuraten. Tarkoituksena onkin johdatella kalat kalatiehen menevän virtaaman kohdalle ja saada ne pysähtymään hetkeksi kalatien suulle. Kävelysillan ponttoniosuus kuitenkin päättyy ennen patoseinämää, joten kalojen ohjaamisen kannalta kriittisimmästä kohdasta puuttuvat siltarakenteen muodostama fyysinen este ja varjostusvaikutus. Myös ketjurivistöt puuttuivat tältä osuudelta. Kaloilla oli näin ollen esteetön kulku kalatien suulta turbiinikanaville. Ylävirrasta saapuvien kalojen ei havaittukaan pysähtyvän kalatien suulle. Alkuperäisen suunnitelman mukainen kalatien suulle jatkuva yhtenäinen siltarakenne ja alle ripustetut ketjurivistöt olisivat todennäköisesti pysäyttäneet kalat kalatien suulle, jolloin mahdollisuudet niiden kulkeutumiselle edelleen kalatiehen olisivat olleet suuremmat.

Myöhemmin padolle saapumisen jälkeen kaloja liikkui hetkittäin myös kalatien suulla, mutta kalatiehen ei kuitenkaan mennyt yhtään kalaa. Kalatiehen menevä virtaama ei ilmeisesti ollut riittävä houkuttelemaan kaloja laskeutumaan kalatiehen näissä olosuhteissa. Poikkeuksellisen alhaisen veden pinnan tason takia kalatiehen menevä virtaama oli tavanomaista vähäisempi. Kalatien altaat olivat seurannan aikana noin puolillaan vettä, ja kalatiehen menevä virtaama oli arviolta enintään noin 1,6 % kokonaisvirtaamasta. Vuoden 2017 olosuhteita vastaavassa tilanteessa (vain vasen turbiini käynnissä, virtaama 4 m³/s) kalatiehen menevä virtaama olisi ollut noin 15 % kokonaisvirtaamasta ja kalojen hakeutuminen kalatiehen huomattavasti todennäköisempää.

Yleisesti ottaen virtausolosuhteilla oli selvä vaikutus kalojen käyttäytymiseen ja reitinvalintaan. Voimakkaat virtaukset johdattelivat kalat nopeasti vapautuspaikalta voimalaitokselle ja edelleen voimalaitoksen turbiinikanaaviin selvästi nopeammin kuin vuonna 2017. Billnäsisissä kalat myös laskeutuivat selvästi nopeammin voimalaitoksen läpi padon alapuolelle.

Billnäsisissä kalojen liikehdintä padolle saapumisen jälkeen ennen alasmenoa poikkesi vuoden 2017 käyttäytymisestä. Vuonna 2021 smoltit etenivät nopeasti ja usein suoraan voimalaitoksen välpille, kun vuonna 2017 ne jäivät liikehtimään voimalaitoksen edustalle käytössä olleen vasemman turbiinikanavan kohdalle, ja siirtyivät välpälle vasta myöhemmin. Edellisestä seurannasta poiketen myös oikeanpuoleinen turbiini oli käytössä, ja voimalan edustalla liikehtiminen painottuikin oikean turbiinikanavan edustalle. Käyttäytymisessä havaitut erot johtuivat todennäköisesti virtausolosuhteiden erilaisuudesta vuosien välillä.

Billnäsin yläpuolelle vapautettujen kalojen kokonaiskuolleisuus (71 %) oli suurempi kuin vuonna 2017 (55 %). Tämä oli seurausta hieman suuremmasta kuolleisuudesta voimalaitoksen läpimenon yhteydessä, ja etenkin suuremmasta kuolleisuudesta jokialueella matkalla seuraavalle voimalaitokselle. Kuolleisuutta on lisännyt mahdollisesti sekä suuremmat virrannopeudet voimalaitoksessa että kalojen heikentynyt terveydentila. Suuremmat virtausnopeudet todennäköisesti lisäsivät kuolleisuutta Billnäsin Francis-tyyppisissä turbiineissa ja mahdollisesti myös läpimenon jälkeen matkalla alapuoliselle voimalaitokselle. Vastaavanlaista kohonnutta kuolleisuutta ei havaittu Åminneforsin voimalaitoksella, jossa on Kaplan-turbiini.

Myös Åminneforsissa vapautuspaikalta padolle saapuminen tapahtui nopeammin kuin vuonna 2017. Kalat uivat suoraan voimalaitoksen välpille, kun ne vuonna 2017 saapuivat päävirtausta seuraten ensin patoaltaan oikeaan

reunaan. Virtaama oli selvästi suurempi ja se eteni suoraan voimalaitoksen turbiinkanavaan vuonna 2021. Tämän seurauksena myös kalojen liikehdintä padolle saapumisen jälkeen keskittyi selvemmin voimalaitoksen väljän kohdalle. Padon päällä käytetty aika ennen laskeutumista voimalaitoksen läpi oli samalla tasolla kuin vuonna 2017.

Kaloja ei mennyt kalatiehen myöskään Åminneforsissa. Kalatien yläpää sijaitsee turbiinkanavan yläpuolella, hieman sivussa päävirtauksesta. Kalat eivät päädy kalatien suulle voimalaitokselle saapuessaan, vaan niiden pitää uida voimalaitoksen väljältä noin 10 metriä ylävirran suuntaan päästäkseen kalatien suulle. Vaelluspoikaset liikkuvat myös kalatien suulla, mutta kalatiehen menevä virtaama ei riittänyt houkuttelemaan kaloja kalatiehen.

Åminneforsin voimalaitoksella kalojen kokonaiskuolleisuus (22 %) oli samalla tasolla kuin vuonna 2017 (21 %). Kuolleisuus painottui edelliseen seurantaan verrattuna enemmän voimalaitoksen alapuoliselle jokiosuudelle ja Billnäsistä saapuneisiin yksilöihin. Tämä on todennäköisesti seurausta kalojen vesihomeinfektion takia heikentyneestä terveydentilasta.

Virtausolosuhteilla oli suuri vaikutus kalojen käyttäytymiseen Billnäs ja Åminneforsin voimalaitoksilla. Verrattuna vuoden 2017 alasvaellusseurantaan, selvästi suurempi virtaama ja korkeammat virrannopeudet saivat kalat liikkumaan nopeammin ja suoraviivaisemmin voimalaitosten turbiinkanaville. Toisin kuin vuonna 2017, kalat eivät jääneet liikuskelemaan voimalaitoksen edustalle, vaan etenivät pääsääntöisesti suoraan turbiineille. Näin ollen edellytykset kalojen ohjautumiselle kalatien suulle ja kalatiehen menevään virtaukseen olivat olennaisesti heikommat. Kalateihin ei mennyt yhtään smoltia kummallakaan voimalaitoksella.

Vuosien väliset erot virtausolosuhteissa, seurannan aikana muuttuneet olosuhteet, keskeneräiseksi jäänyt ohjausrakenne sekä kalojen huono terveydentila haittasivat tutkimuksen toteutusta ja vaikeuttivat tulosten tulkintaa. Tästä huolimatta saatuja havaintoja ohjausrakenteen vaikutuksesta kalojen liikkeisiin voidaan pitää lupaavina. Vuosien 2017 ja 2021 alasvaellusseurannoista saatujen kokemusten perusteella on kuitenkin syytä korostaa, että alasvaellusrakenteita suunniteltaessa kalojen käyttäytymistä ja reitinvalintaa tulee kartoittaa erilaisissa voimalaitoksen käyttötilanteissa ja virtaamaolosuhteissa. Kun kalojen käyttäytyminen kohteessa tunnetaan, voidaan myös selvittää mahdollisuuksia alasvaellusolosuhteiden optimoimiseksi säätelämällä voimalaitoksen käyttöä alasvaelluskauden aikana.

Alasvaellusrakenteista ei ole juurikaan kokemuksia Suomen voimalaitoksilta. Billnäs alasvaellusrakenne on laatuaan ensimmäinen maailmassa, ja siksi siitä saatavat kokemukset tulee dokumentoida tarkasti. Ohjausrakenteen toimivuus kalojen saamiseksi kalatiehen jäi sen keskeneräisyyden takia todentamatta. Vaikka kalat onnistuttaisiin ohjaamaan kalatien suulle, niiden meneminen kalatiehen vaikuttaa epävarmalta. Ohjausrakenteet vaativatkin usein rinnalleen myös erillisiä alasvaellusrakenteita, joilla kalat kerätään ja saatellaan virtaavan veden mukana voimalaitoksen alapuolelle tai kalatiehen. Kalatien suuaukon houkuttelevuutta voidaan mahdollisesti parantaa esimerkiksi valaisemalla ja kalatiehen menevää virtausta muokkaamalla. Ohjausrakenteen alimmainen osuus kalatien suulla on kriittinen kalatiehen hakeutumisen kannalta ja tarvitsee todennäköisesti huolellisen suunnittelun jälkeen tehtäviä muutoksia. Ensisijaisesti tulisi nyt kuitenkin selvittää nykyisen ohjausrakenteen toimivuus toistamalla alasvaellusseuranta Billnäs kalatiellä.

Summary in English

Downstream migration behavior and mortality of salmon (*Salmo salar*) smolts were studied by radiotelemetry in the River Mustionjoki in 2021. A similar study was carried out in 2017. In this paper, the results are studied in relation to the previous findings.

The salmon were released upstream both from Billnäs and Åminnefors hydroelectric power plants. Both plants are equipped with fish passes introduced in 2020. In the present study, the effect of fish passes on behavior and route selection of downstream migrating smolts were investigated, particularly focusing on prospective migration through the fish passes.

During this study, a guidance structure at Billnäs power plant was constructed. This structure consists of a floating bridge as well as rows of hanging chains below the bridge deck. The structure was installed longitudinally in relation to the river flow, and it is intended to repel fish from the turbine flows, and to guide them towards the fish pass inflow.

In order to evaluate the effect of flow conditions and the different components of the guidance structure, the study fish were released upstream from Billnäs power plant under three different circumstances: The first batch of fish was released when the forebay of the station was free of any actual guiding structure, apart from a floating trash boom. The second batch was released when the floating bridge was added without the hanging chains. For the third batch, the hanging chains were added to the structure.

During this study, the flow conditions at both power plants were different compared to those in 2017. The river flow rate and velocity were distinctly higher. At Billnäs, two out of three turbines were running in 2021, whereas only one of them was in operation during the study in 2017.

The flow conditions had a general effect on smolt behavior and route selection. Compared to the 2017 study, stronger currents led smolts rapidly and directly to the water intake channels at both plants. In Billnäs, the fish also used less time in the forebay before descending the dam through the power station turbines.

Smolts were occasionally observed roaming near the fish pass inlets, but no fish was detected entering the fish passes. Apparently, the inflows were inadequate to attract smolts into the fish pass. The observations on smolt movements when approaching the Billnäs plant indicate that the guidance structure potentially impeded fish movement towards the power plant and kept smolts away from the main flow.

During the release of the third batch of fish, compared to the previous ones, different turbines in Billnäs were in operation. This changed the flow conditions in the forebay. Furthermore, due to the rapidly increasing mortality of the study fish, the third batch had to be released despite the construction of the guidance structure not being fully completed. The lowermost five meters of the guidance structure had no chain rows, which meant that the fish had free access from the fish pass inlet towards the turbine channels. As a consequence, the actual effect of the structure on guiding the fish into the fish pass remains unanswered.

Estimated mortality following power plant passage and/or instantaneous predation after descent was on average 56,4 % in Billnäs, which was somewhat higher than in 2017 (46,2 %). By contrast, plant passage mortality at Åminnefors was 3,8 % in 2021, compared to 5,7 % in 2017. Compared to the 2017 results, mortality levels during river migration after plant passage were higher at both power plants. Observed elevated mortalities are likely associated with differences in flow conditions and weakened health of the fish due to intense *Saprolegnia* infection.

The varying flow conditions between the study years and during the present study, an uncompleted guidance structure, and the rapidly deteriorated health situation of the study fish restricted the implementation of this study as well as the interpretation of the results. Nevertheless, the findings regarding the effects of the guidance structure on fish movements seem promising. Based on the experiences from the 2017 and 2021 studies, it is essential to point out the importance of studying the behavior and route selection of fish in different river flow and power plant operating conditions, when designing downstream migration structures. It is also necessary to investigate the functionality and potential needs for improvements of the guidance structure constructed at Billnäs power plant by repeating the study to evaluate the actual effect of the structure on guiding the fish into the fish pass.

Kiitokset

Piia Nordström, Raaseporin kaupunki; Åminneforsin moottorivenekerho ry; Hannu Ruotsalainen ja Arto Koski, Koskienergia oy

Lähdeluettelo

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

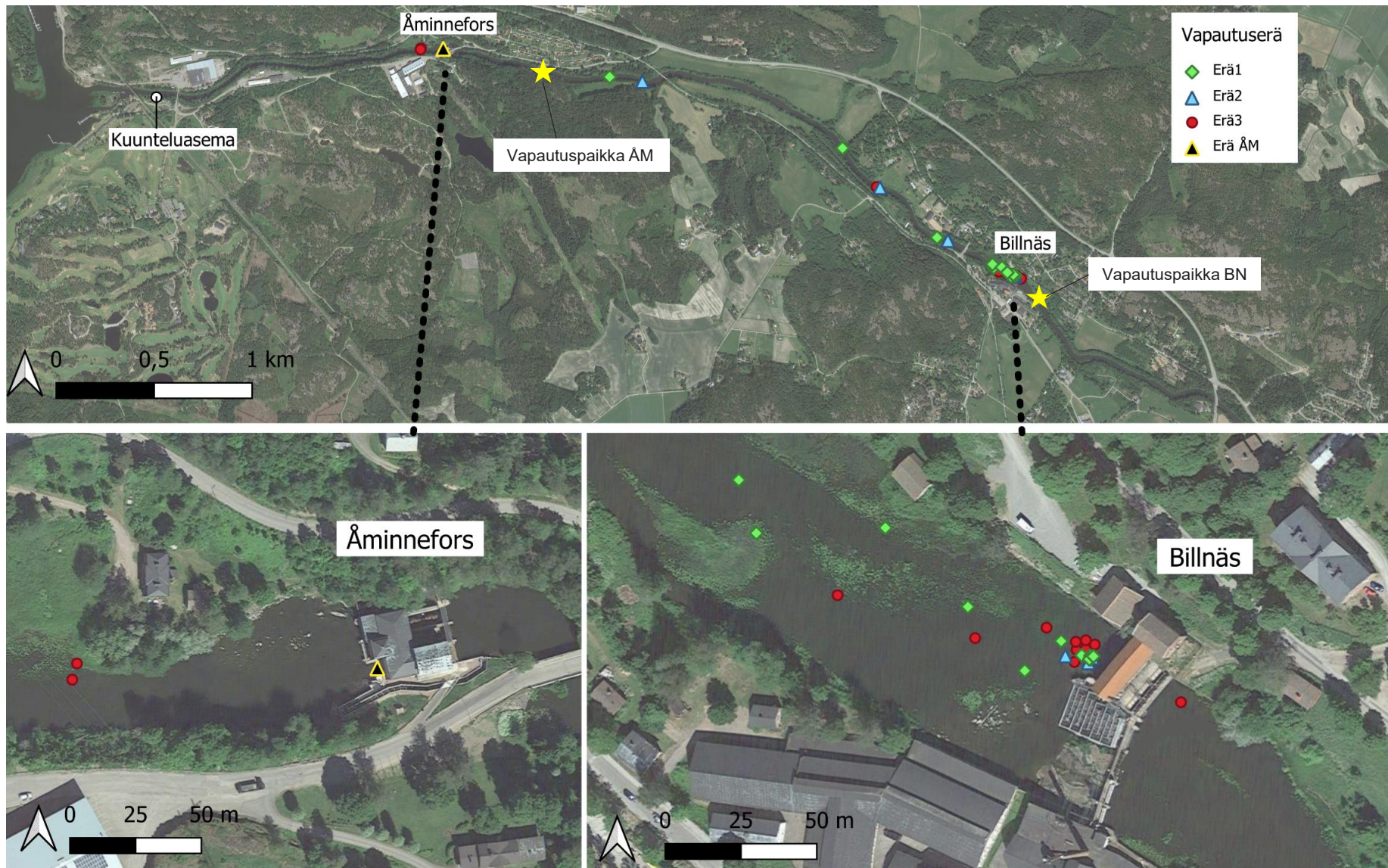
Karppinen, P., Hynninen, M., Vehanen, T. & Vähä, J-P. 2021. Variations in migration behavior and mortality of Atlantic salmon smolts in four different hydroelectric facilities. Fisheries Management and Ecology 28: 253–267.

Taft, E. P. 1986. Assessment of Downstream Migrant Fish Protection Technologies for Hydroelectric Application. Prepared by Stone & Webster Engineering Corporation (program manager E. P. Taft) for Electric Power Research Institute (EPRI).

Liiteluettelo

Liite 1. Tutkimusalue ja jokialueella paikannetut kuolleet/syödyt lähetinkalat.

Liite 1. Tutkimusalue ja jokialueella paikannetut kuolleet/syödyt lähetinkalat. (1/1)



Taustakartta: Google



Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry
Västra Nylands vatten och miljö rf

PL 51, 08101 Lohja

Puh. 019 323 623

vesi.ymparisto@luvy.fi

www.luvy.fi

ISBN 978-952-250-247-6

ISSN 1798-2677