



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 25/2016

## **Kollaja -hankkeen vaikutukset lijoen vaelluskalakantojen elvyttämiseen**

Lohen elinkierto, populaatiomallinnus ja ympäristövirtaama

Panu Orell, Teppo Vehanen, Aki Mäki-Petäys, Mikko Jaukkuri, Riina Huusko, Olli van der Meer, Ari Huusko, Markku Lahti, Jaakko Erkinaro ja Tapio Sutela

# **Kollaja-hankkeen vaikutukset lijoen vaelluskalakantojen elvyttämiseen**

Lohen elinkierto, populaatiomallinnus ja ympäristövirtaama

Panu Orell, Teppo Vehanen, Aki Mäki-Petäys, Mikko Jaukkuri,  
Riina Huusko, Olli van der Meer, Ari Huusko, Markku Lahti,  
Jaakko Erkinaro ja Tapio Sutela

Kirjoittajista Markku Lahti (Fortum Oy) osallistui vain ympäristövirtaamatarkasteluihin liittyvään osuuteen (ks. luku 6).

\*\* Tämä selvitys toteutettiin osana Rakennettujen jokien vaelluskalakantojen hoitotoimenpiteet: Sateenvarjo II -hankekokonaisuutta ja selvityksen keskeisenä rahoittajana toimi PVO-Vesivoima Oy.



ISBN: 978-952-326-235-5 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-236-2 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-236-2>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Panu Orell, Teppo Vehanen, Aki Mäki-Petäys, Mikko Jaukkuri, Riina Huusko, Olli van der Meer, Ari Huusko, Markku Lahti, Jaakko Erkinaro & Tapio Sutela

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2016

Julkaisuvuosi: 2016

Kannen kuva: Panu Orell

# Tiivistelmä

Panu Orell<sup>1)</sup>, Teppo Vehanen<sup>2)</sup>, Aki Mäki-Petäys<sup>1)</sup>, Mikko Jaukkuri<sup>1)</sup>, Riina Huusko<sup>1)</sup>, Olli van der Meer<sup>3)</sup>, Ari Huusko<sup>4)</sup>, Markku Lahti<sup>5)</sup>, Jaakko Erkinaro<sup>1)</sup> ja Tapio Sutela<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Luonnonvarakeskus, PL 413, 90014 Oulun yliopisto

<sup>2)</sup> Luonnonvarakeskus, PL 2, 00791 Helsinki

<sup>3)</sup> Tmi Olli van der Meer, Lohitie 6 A 5, 90810 Kiviniemi

<sup>4)</sup> Luonnonvarakeskus, Manamansalontie 90, 88300 Paltamo

<sup>5)</sup> Fortum Generation, Renewable Energy

Pohjolan Voima käynnisti lijoen vesivoimatuotannon lisäämiseen tähtäävän ns. Kollaja-hankkeen aktiiviset valmistelutoimet vuonna 2007. Hankkeen päätarkoituksena on lisätä sähköntuotantoa ja säätökapasiteettia rakentamalla lijoen keskijuoksulle tekojärvi ja uusi voimalaitos (teho 32 MW). Toteutuessaan hanke parantaa myös lijoen alajuoksun olemassa olevien viiden voimalaitoksen tuotantokykyä.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää Kollaja-hankkeen toteuttamisesta lohikalakantojen elvyttämislle aiheutuvat todennäköiset ongelmat suhteutettuna vesistön nykytilaan tai potentiaaliseen lähtötilaan. Raportti keskittyy lohien elinkiertoa liittyviin kysymyksiin mm. lohikantamallinnuksen keinoin ja jokiuomien ympäristövirtaamatarpeisiin. Raportissa esitetään lisäksi keskeisiä toimenpidevaihtoehtoja Kollaja-hankkeen aiheuttamien ongelmien vähentämiseksi ja kompensoimiseksi.

Kollaja-hankkeella on todennäköisesti haitallisia vaikutuksia lijoen vaelluskalakantojen elvyttämislle. Haittaa aiheuttavat erityisesti uusi voimalaitos (kuudes laitos jokisuulta lähtien) ja tekojärvi vesistön keskiosalla, sekä virtaamajakojen ja virtausreittien muuttuminen. Erityisesti Livojoen vaelluskalakantojen elvyttämismahdollisuudet heikentyisivät huomattavasti vaellusyhteyksien vaikeutuminen vuoksi. Lijoen luonnonuoman (Kipinän alue) osalta haittavaikutukset jäisivät kokonaisuuden kannalta todennäköisesti kohtalaisen vähäisiksi. Niistä merkittävimmät aiheutuisivat suunnitelluista alhaisista syys- ja talvivirtaamista, jotka voisivat heikentää alueella lisääntyvien lohien kutumahdollisuuksia sekä mädin ja poikasten selviytymistä.

Lohien elinkiertoaiheista merkittävimmät ongelmat kohdistuisivat todennäköisimmin vaelluspoikasiin niiden alasvaelluskuolleisuuden kasvaessa (tekojärvi + kuudes voimalaitos). Erityisen haitallista olisi, jos Pudasjärven yläpuolisten laajojen tuotantoalueiden vaelluspoikaset ajautuisivat Kollajan tekojärveen johtavalle reitille. Tämä nostaisi smolttien kuolleisuutta huomattavasti tilanteessa, jossa alasvaelluskuolleisuus on jo muutenkin korkea (viisi alajuoksun voimalaitosta ja patoallasta). Raportin keskeisenä suosituksena onkin se, että vaelluspoikasten joutuminen tekojärveen pitää estää. Lohien nousuvaellukselle Kollaja-hankkeen toteuttamisesta ei todennäköisesti aiheutuisi ratkaisemattomia lisäongelmia.

Keskeisiä toimenpiteitä Kollaja-hankkeesta lohikalakantojen elvyttämislle aiheutuvien ongelmien ratkaisemiseksi ja kompensoimiseksi olisivat mm:

- Vaelluspoikasten alasvaelluksen varmistaminen (virtaamajaoit ja rakenteet)
- Lohien nousuvaelluksen varmistaminen lijoen luonnonuomassa (virtaamajaoit)
- Riittävän suuret ympäristövirtaamat lijoen luonnonuomassa (mm. talvivirtaamat)
- Livojoen vaellusyhteyksien kehittäminen (kalatiet, lohien siirrot)
- Raasakan vanhan uoman käyttöönotto kutu- ja poikastuotantoalueeksi

Mikäli näissä toimenpiteissä onnistutaan, kokonaisuutta tarkastellen Kollaja-hanke ei estäisi vaelluskalojen palauttamista lijoeseen, mutta pienentäisi vaelluskalojen tuotantomahdollisuuksia.

Asiasanat: Vaelluskalat, lohi, elvyttäminen, rakennettu joki, voimalaitos, tekoallas, kalatie, alasvaellus, lijo, Kollaja

# Sisällys

<b>1. Selvityksen tausta ja tavoitteet .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Iijoki ja Kollaja-hanke .....</b>	<b>8</b>
2.1. Iijoen vesistöalue ja sen nykytila .....	8
2.2. Kollaja-hankkeen perustiedot.....	8
<b>3. Tutkimusmenetelmät ja -aineistot .....</b>	<b>10</b>
3.1. Lohen elinkierron eri vaiheisiin liittyvät tarkastelut .....	10
3.2. Iijoen lohen populaatiomallinnus .....	10
3.3. Iijoen luonnonuoman ympäristövirtaamatarkastelut .....	12
3.3.1. Tennantin menetelmä .....	13
3.3.2. Wetted Perimeter -menetelmä .....	13
3.3.3. Building Block -menetelmä .....	14
3.3.4. Elinympäristömallinnus.....	15
<b>4. Lohen elinkierto - mahdolliset ongelmat.....</b>	<b>16</b>
4.1. Lohen kutuvaellus .....	16
4.1.1. Kollaja-hankkeen mahdolliset vaikutukset lohen kutuvaellukseen .....	16
4.1.2. Ratkaisuvaihtoehdot kutuvaelluksen varmistamiseksi .....	17
4.2. Vaelluspoikasten alasvaellus .....	19
4.2.1. Vaelluspoikasten todennäköinen vaelluskäyttäytyminen Iijoenalla.....	19
4.2.2. Kollaja-hanke vs. vaelluspoikasten alasvaellus .....	21
4.2.3. Ratkaisuvaihtoehdot vaelluspoikasten alasvaelluksen varmistamiseksi .....	22
4.3. Lisääntyminen ja poikastuotantoalueet .....	23
4.4. Veden laadun muutokset.....	26
4.4.1. Veden laadun vaikutus vaelluskalojen palauttamiseen.....	27
<b>5. Populaatiomallinnustulokset - lohikantojen elvyttämisen tulevaisuus- skenaariot suhteessa Kollaja-hankkeeseen .....</b>	<b>28</b>
5.1. Alasvaellusskenaariot 1 .....	28
5.2. Alasvaellusskenaariot 2 .....	29
5.3. Tuki-istutusskenaariot .....	31
<b>6. Ympäristövirtaama ja lohi .....</b>	<b>33</b>
6.1. Iijoen virtaamahistoria.....	33
6.2. Ympäristövirtaama - Tennantin menetelmä.....	35
6.3. Ympäristövirtaama - Wetted Perimeter menetelmä.....	35
6.4. Ympäristövirtaama - Building Block menetelmä .....	38
6.5. Eri menetelmillä määritetyt ympäristövirtaamat vs. lohelle soveltuvan elinympäristön määrä .....	39

6.5.1. Vuormankoski .....	39
6.5.2. Kiernasvirta ja Varpuvirrat .....	41
6.6. Kollaja ja Iijoen luonnonuoman talvivirtaamat.....	42
<b>7. Yhteenveto ja suositukset .....</b>	<b>43</b>
7.1. Lohen nousuvaellus .....	44
7.2. Vaelluspoikasten alasvaellus .....	44
7.3. Kutu- ja poikastuotantoalue Raasakan vanhaan uomaan .....	44
7.4. Iijoen luonnonuoman ympäristövirtaama .....	44

# 1. Selvityksen tausta ja tavoitteet

Pohjolan Voima käynnisti lijoen vesivoimatuotannon lisäämiseen tähtävän ns. Kollaja-hankkeen aktiiviset valmistelutoimet vuonna 2007 ympäristövaikutusten arviointimenettelyn valmistelulla. Varsinaisen ympäristövaikutusten arviointiselostus julkaistiin keväällä 2009. Tämän jälkeen hankevalmistelua on jatkettu erilaisilla lisäselvityksillä ja suunnitelmien kehittämistyöllä.

Kollaja-hankkeen päätarkoituksena on lisätä sähköntuotantoa ja säätökapasiteettia rakentamalla lijoen keskijuoksulle tekojärvi ja uusi voimalaitos (teho 32 MW, kuva 1). Toteutuessaan hanke parantaa myös lijoen alajuoksun olemassa olevien viiden voimalaitoksen tuotantokykyä. Kaikkiaan Kollaja-hankkeen toteutumisen arvioidaan nostavan nopeaan säätöön soveltuvaa tuotantotehoa yhteensä 100 MW ja sähköntuotantoa keskimäärin 150 GWh vuodessa (Pohjolan Voima 2009; PVO-Vesivoima Oy, suullinen tiedonanto).

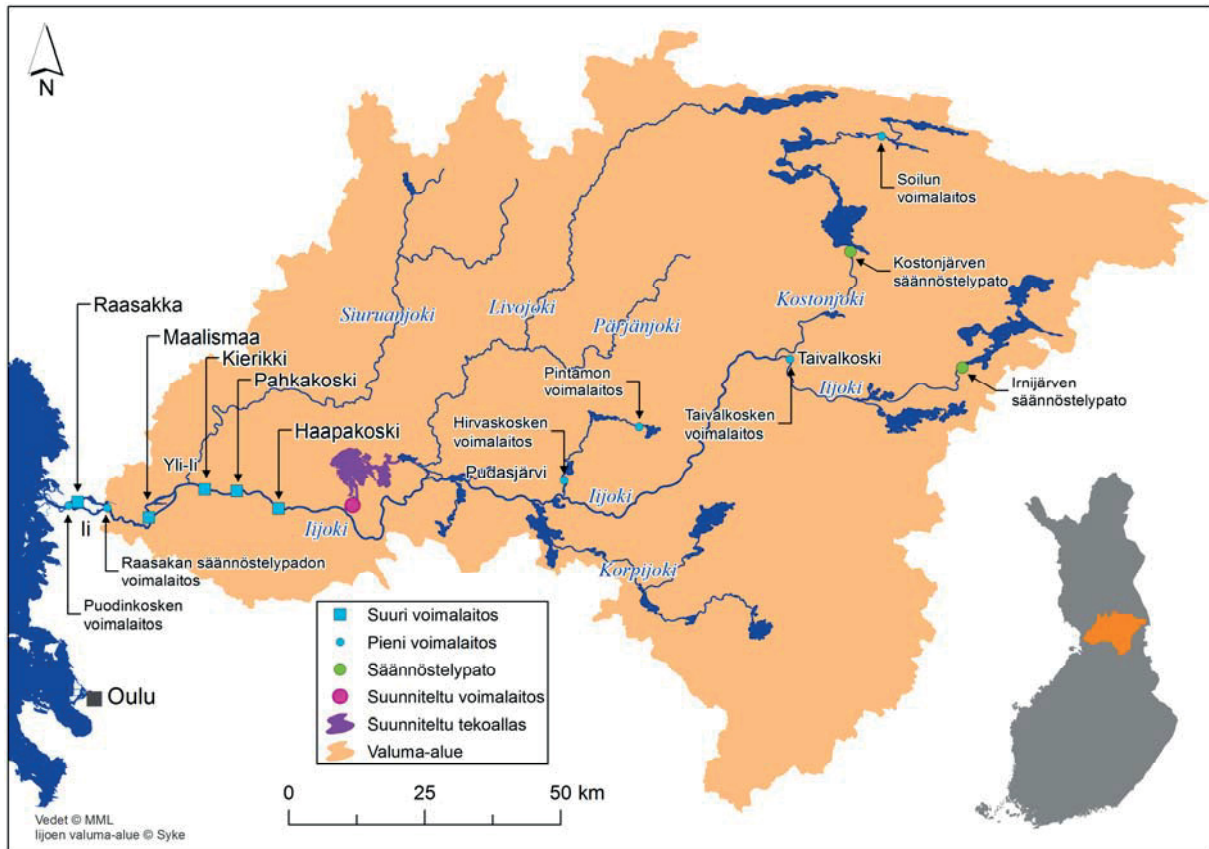
Kollaja-hankkeen käytäntöön viennissä on kuitenkin merkittäviä lainsäädännöllisiä esteitä. Koskiensuojelulaki (23.1.1987/35) kieltää uuden vesivoimalaitoksen rakentamisen lijoen keski- ja yläosal- le, joten hankkeen toteuttaminen edellyttäisi koskiensuojelulain muuttamista. Kollaja-hankkeen toteuttaminen vaikeuttaisi myös Kansallisen kalatiestrategian (Valtioneuvosto 2012, Sutela ym. 2012) tavoitteiden saavuttamista (vaelluskalakantojen elvyttäminen) strategian kärkikohteisiin kuuluvalla lijoella.

ljoen vaelluskalakantojen elvyttämisen näkökulmasta Kollaja-hankkeella on todennäköisesti haitallisia vaikutuksia. Näitä vaikutuksia aiheuttavat erityisesti uusi voimalaitos (kuudes laitos jokisuulta lähtien, kuva 1) ja tekojärvi vesistön keskiosalla, sekä virtaamajakojen ja virtausreittien muuttuminen. Haitalliset vaikutukset kohdistuvat todennäköisesti vaelluskalojen elinkierron kaikkiin vaiheisiin, mutta erityisesti kalojen nousu- ja laskuvaelluksiin. Näitä vaikutuksia voidaan kuitenkin vähentää hyvällä etukäteissuunnittelulla. Tällaisessa suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota mm. virtaamajakoihin, virtaamien ajoittamiseen, vaellusyhteyksiin ja -rakenteisiin sekä voimalaitosten käyttöön.

**Tämän raportin päätavoitteena on esitellä Kollaja-hankkeen toteuttamisesta vaelluskalakantojen (erityisesti lohi) elvyttämiseksi aiheutuvat todennäköiset ongelmat suhteutettuna vesistön nykytilaan (tai potentiaaliseen lähtötilaan).** Lisäksi raportissa esitetään toimenpidevaihtoehtoja ja toimintamalleja Kollaja-hankkeen aiheuttamien ongelmien vähentämiseksi ja ratkaisemiseksi. Raportti keskittyy lohen elinkiertoa liittyviin kysymyksiin ja jokiuomastojen ympäristövirtaamatarpeisiin. Raportissa käsitellään mm:

- Kollaja-hankkeesta lohen elinkierron eri vaiheille aiheutuvia ongelmia ja niiden potentiaalisia ratkaisuvaihtoehtoja
- lijoen lohikannan elvyttämisen tulevaisuusskenaarioita Kollaja-hankkeen toteutuessa suhteessa potentiaaliseen lähtötilaan - lijoen lohen populaatiomalli
- lijoen vanhan uomien (Iijoki välillä Pudasjärvi-Haapakoski) ympäristövirtaaman laskentaperusteita ja tarvittavia ympäristövirtaamia

Tämä selvityshanke on toteutettu Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja PVO-Vesivoima Oy:n välisenä yhteistyönä. Selvityksen rahoittajana toimi PVO-Vesivoima Oy. Selvityksessä ei oteta kantaa Kollaja-hankkeen toteuttamiseen eikä Koskiensuojelulain muuttamiseen.



**Kuva 1.** Iijoen valuma-alue keskeisine jokiuomineen, Iijoen nykyiset voimalaitokset ja säännöstelypadot sekä Kollajan mahdollisen tekojärven ja voimalaitoksen sijoittuminen.



## 2. Iijoki ja Kollaja-hanke

### 2.1. Iijoen vesistöalue ja sen nykytila

Iijoki on Suomen kuudenneksi suurin vesistöalue ja se kerää vetensä yli 14 000 km<sup>2</sup> laajuiselta valuma-alueelta ja laskee Perämereen lissä 40 km Oulusta pohjoiseen. Iijoen pääuomalla on pituutta vajaat 370 km ja korkeuseroa latvavesiltä jokisuuhun kertyy noin 250 metriä.

Voimalaitosrakentaminen alkoi Iijolla vuonna 1956 ja ensimmäinen voimalaitos valmistui Pahkakoskelle Yli-Iihin vuonna 1961. Nykyään Iijoen vesistöalueella on yhteensä 11 voimalaitosta, joista merkittävimmät viisi voimalaitosta (Raasakka, Maalismaa, Kierikki, Pahkakoski ja Haapakoski) sijoituvat Iijoen pääuoman alajuoksulle noin 54 km matkalle jokisuusta (Kuva 1). Näiden voimalaitosten putouskorkeus on yhteensä 94 m.

Historiallisesti Iijoki oli yksi maamme merkittävimmistä vaelluskalavesistöistä. Ennen voimalaitosrakentamista lohi nousi Iijoen pääuomassa ainakin Taivalkosken Jokijärvelle asti ja sivujoista Koston-, Livo- ja Pärjänjokeen sekä jossakin määrin myös Korpijokeen (kuva 1). Luonnontilaisessa Iijossa on arvioitu olleen noin 1900-2500 hehtaaria lohen ja meritaimenen kutu- ja poikastuotantoalueita (Marttila ym. 2014). Myös meritaimen ja vaellussiika nousivat Iijoen latva-alueille asti, taimen lisäksi moniin Iijoen sivujokiin ja -puroihin.

Vesivoimarakentamisen seurauksena menetetyn luonnontuotannon kompensationsa Iijoen vaelluskalakantoja on viimeiset vuosikymmenet hoidettu pääosin laajamittaisten velvoiteistutusten avulla. Vuosittain Iijokisuuhun istutetaan 310 000 lohen ja 28 000 taimenen vaelluspoikasta sekä 1200 000 kesänvanhaa vaelluspoikasta. Lisäksi Iijokeen ja sen sivuvesiin istutetaan ns. sisävesivelvoitteen myötä mm. taimenta, kirjolohta, harjusta ja kuhaa.

Voimakkaasta vesivoimarakentamisesta huolimatta Iijoen vesistössä on Metsähallituksen tekemien kartoitusten perusteella edelleen jäljellä noin 1000 hehtaaria koskialueita, joista suurimman osan arvioidaan soveltuvan lohikalojen poikastuotantoon (van der Meer ym. 2010). Iijoki kuuluu kansallisen kalatiestrategian kärkikohteeseen, ja tavoitteena on luonnonvaraisten vaelluskalakantojen palauttaminen vesistön vapaana virtaaville alueille. Vaelluskalakantojen palauttamiseen tähtäviä hankkeita on Iijolla toteutettu aktiivisesti vuodesta 2008 alkaen. Näissä hankkeissa on pääosin selvitetty kantojen palauttamisen edellytyksiä ja toimenpidetarpeita sekä suunniteltu vaellusyhteyksiä. Konkreettisia palauttamistoimenpiteitä ei kuitenkaan vielä ole laajassa mittakaavassa saatu käynnistettyä.

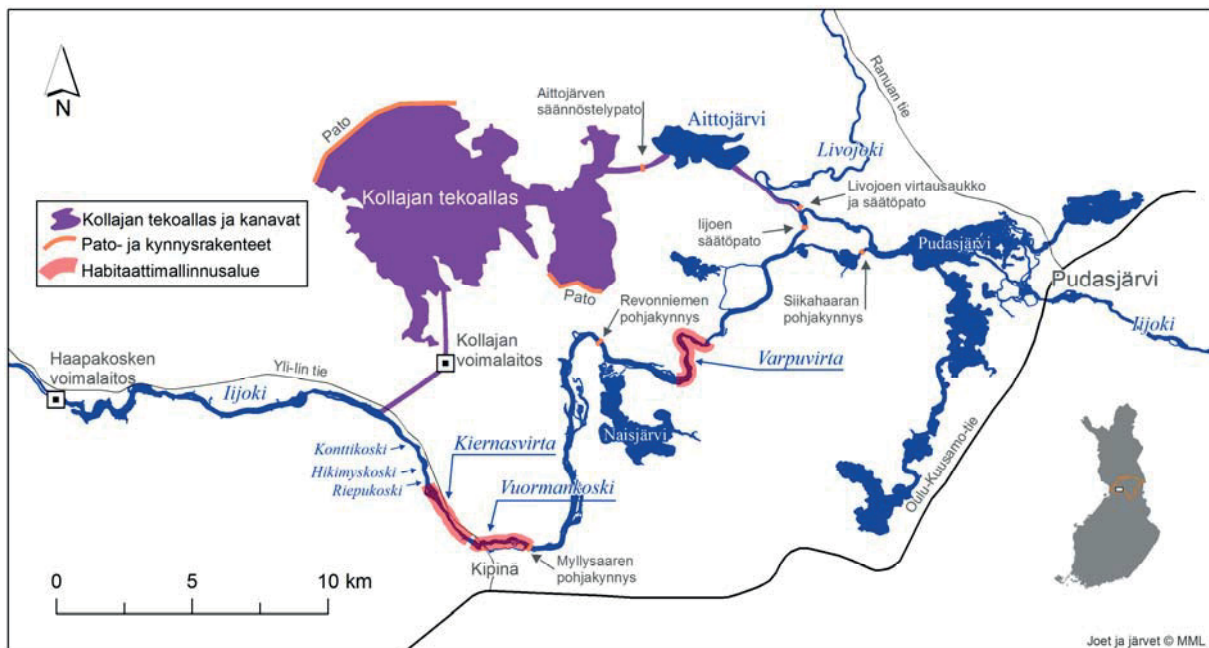
### 2.2. Kollaja-hankkeen perustiedot

Kollaja-hankkeen tavoitteena on lisätä PVO-Vesivoima Oy:n sähköntuotanto- ja säätökapasiteettia sekä parantaa Iijoen olemassa olevien voimalaitosten sähköntuotantokykyä. Peruslähdekohtat tavoitteiden saavuttamiselle ovat uuden voimalaitoksen ja vesivaraston (=Kollajan tekojärvi) rakentaminen. Tekojärven rakentaminen mahdollistaa Iijoen tulvavesien nykyistä paremman varastoimisen ja hyödyntämisen. Kollaja-hankkeen tärkein ominaisuus onkin Iijoen voimalaitosten säätökäytön olennainen paraneminen.

Tavoitellussa rakentamisvaihtoehdossa (Vaihtoehto 1, Pohjolan Voima 2009) vesi tekojärveen johdetaan Aittojärven kautta Pudasjärven alapuolisesta Iijosta ja Livojoesta. Tekojärvestä vesi johdetaan takaisin Iijokeen Kärppäojan kohdalla (kuva 2), eli Kollajan voimalaitos sijoittuisi erikseen rakennettavaan kanavaan. Kollajan voimalaitoksen teho olisi 32 MW ja rakennusvirtaama 250 m<sup>3</sup>/s. Uuden tekojärven varastointikapasiteetti parantaisi myös Iijoen alajuoksulla sijaitsevien viiden voimalaitoksen sähköntuotantomahdollisuuksia. Nopeaan säätöön soveltuva sähköntuotantoteho lisäntyisi yhteensä 100 MW. Kollajan voimalaitoksen valmistuttua Iijoen voimalaitosten yhteenlaskettu

teho olisi 245 MW ja vuotuinen sähköntuotanto keskimäärin noin 1 020 GWh. Kollaja-hankkeen tuoma lisäys olisi yhteensä noin 150 GWh (PVO-vesivoima Oy, suullinen tiedonanto).

Kollaja-hankkeessa lijokeen ja sen sivujoen, Livojoen alaosalle tehdään merkittäviä rakenteellisia muutoksia (kuva 2). Lijoen pääuomaan tehtävät rakenteet ovat Siikahaaran pohjakynnys, lijoen säätöpato sekä Myllysaaren ja Revonniemen vedenalaiset pohjakynnykset. Livojokeen rakennetaan Livojoen pohjakynnys (pato) ja virtausaukko. Kanavat rakennetaan Livojoesta Aittojärveen ja Aittojärvestä tekojärveen sekä tekojärvestä lijokeen. Säännösteltäviin vesialueeseen kuuluvat Pudasjärvi, Tuulijärvi ja Aittojärvi sekä Iijoki 38,5 km:n ja Livojoki 2,5 km:n osalta. Hanke vaikuttaa myös lijoen alapuolisen vesistön virtaamiin. Tarkempaa tietoa hankkeesta ja siinä tehtävistä toimenpiteistä löytyy Kollaja-hankkeen ympäristövaikutusten arviointiselostuksesta (Pohjolan Voima 2009).



**Kuva 2.** Kartta Kollajan hankealueesta ja hankkeen keskeisistä rakenteellisista ratkaisuista. Kartassa näkyvät myös elinympäristömallinnusalueet (habitaattimallinnusalueet: Varpuvirta, Vuormankoski ja Kiernasvirta) ja ympäristövirtaamatarkasteluissa käytetyt koealueet (Varpuvirta, Vuormankoski, Kiernasvirta, Riepuskoski, Hikimyskoski ja Konttikoski).

### 3. Tutkimusmenetelmät ja -aineistot

#### 3.1. Lohen elinkierron eri vaiheisiin liittyvät tarkastelut

Kollaja-hankkeesta lohen elinkierron eri vaiheille mahdollisesti aiheutuvia ongelmia ja näiden ongelmien potentiaalisia ratkaisuja ja vähentämiskeinoja arvioitiin asiantuntijatyönä. Tässä hyödynnettiin Luken tutkijoiden pitkäaikaista kokemusta rakennettujen jokien vaelluskalakantoihin liittyvistä tutkimuksista sekä kansainvälistä tieteellistä kirjallisuutta. Lisäksi tehtiin karkeita elinympärisömallinnuksia Raasakan vanhassa uomassa kaksiulotteisella virtausmallilla (River2D-malli) lohen poikastuotantoon soveltuvien habitaattien määrän arvioimiseksi.

Erytishuomiota tarkasteluissa kohdistettiin lohen kutu- ja poikastuotantoalueisiin, vaelluspoikasten alasvaellukseen sekä kutuvalmiiden lohien nousuvaellukseen, koska näihin elinvaiheisiin ja elinympäristöihin liittyvien ongelmien arvioitiin kasvavan eniten Kollaja-hankkeen toteutuessa. Tarkastelujen keskeiset tulokset ja ongelmien potentiaaliset ratkaisuvaihtoehdot esitetään luvussa 4.

#### 3.2. Iijoen lohen populaatiomallinnus

Tässä työssä Kollaja-hankkeen mahdollisia vaikutuksia Iijoen lohikannan palauttamismahdollisuuksiin ja elinvoimaisuuteen tarkasteltiin lohen elinkierto- eli populaatiomallilla ja **tulokset suhteutettiin Iijoen ”potentiaaliseen lähtötilaan”**, jossa oletettiin, että nykyisten viidenvoimalaitoksen (Raasakka - Haapakoski) yhteydessä on kalatiet ja smolttien alasvaellusta parantavat rakenteet, joilla alasvaelluskuolevuutta saadaan merkittävästi pienennettyä (nykyarvio 41; 87; 96 vrt. taulukko 2). **Tämä potentiaalinen lähtötila esitetään populaatiomalliskenaarioiden vertailussa aina nimellä skenaario A.**

Populaatiomallilla voidaan konkretisoida lohen elinkierron eri vaiheiden kuolevuuksien vaikutuksia lohikannan kehittymiseen ajan funktiona. Mallissa seurataan lohen vuosiluokkia kuoriutumisesta lisääntymiseen asti siten, että vuosiluokan siirtyessä elinvaiheesta toiseen populaatiosta leikataan tähän elinvaiheeseen liittyvä kuolevuus. Osaan näistä kuolevuusarvoista voidaan ihmisen toimenpiteillä vaikuttaa, toisiin ei. Lisätietoa lohimallin periaatteista ja malliin liittyvistä rajoitteista on saatavilla julkaisusta Mäki-Petäys ym. (2012).

Populaatiomallin oletuksissa lohen elinkiertoa on yksinkertaistettu, mutta kuitenkin siten, että niiden vaikutukset jäisivät lopputuloksen kannalta mahdollisimman vähäisiksi (taulukko 1). Mallinnus tehtiin rakennettujen jokien lohikantojen elvyttämismahdollisuuksien arviointia varten aikaisemmin kehitetyn mallin (lohimalli 2011) periaatteilla (ks. Mäki-Petäys ym. 2012), mutta siihen tehtiin kaksi oleellista parannusta (lohimalli 2015):

- 1) Mädistä vaelluspoikasiksi selviytyminen muutettiin tiheysriippuvaiseksi (mäti- ja poikastiheyden kasvaessa suhteellinen kuolevuus kasvaa, liite 1)
- 2) Malliin lisättiin kutulohille realistinen meri-ikäjakauma (1-3 merivuotta; Tornionjoen lohen keskimääräinen ikäjakauma)

Muutokset tehtiin, jotta malli 2015 vastaisi paremmin Perämeren alueen luonnonvaraisten lohikantojen meri-ikäkoostumusta ja populaatiodynamiikkaa. Myös kuolevuuksien todennäköisyysfunktiot (parametrit) päivitettiin uusimpien tutkimustietojen perusteella, koska niissä on tapahtunut muutoksia aiempaan mallinnusajankohtaan (lohimalli 2011) verrattuna (taulukko 2, kuva 3). Iijoen smolttituotantokapasiteettina on tässä mallinnuksessa käytetty 460 smolttia hehtaarilta (Tornionjoen uusimpien tietojen mukaan, ICES 2014), josta Iijoen teoreettiseksi kokonaistuotannoksi saadaan n. 400 000 smolttia. Koska poikastuotantoalueet sijaitsevat viiden voimalaitoksen yläpuolella (leikkaa populaation kasvua), teoreettista smolttituotantokapasiteettia ei mallinuksissa kuitenkaan saavuteta.

Lohikannan palauttaminen Iijokeen mallinnettiin kaikissa skenaarioissa siten, että ensimmäiset kymmenen vuotta jokialueelle siirrettiin 800 kutukalaa (puolet naaraita) ja sen lisäksi istutettiin joki-

alueelle 1-vuotiaita jokipoikasista 400 000 kpl/v ensimmäisten 15 vuoden ajan. Populaatiomallissa seurattiin lohien vuosiluokkia 50 vuoden ajan ja kuolevuuksien todennäköisyysfunktioiden perusteella. Malli laski Monte Carlo -simulaation avulla viisituhatta mahdollista populaation kehityskulkua, joista tämän työn tuloksissa esitetään mediaanit. **Populaatiomallin tulostuotokset olivat kutulohien (pitää sisällään sekä naaraat että koiraat) ja vaelluspoikasten määrät voimalaitosten yläpuolisella jokialueella** (ks. esim. kuva 3). Populaatiomallinnusten yksityiskohtaiset lähtökohdat, tulokset ja keskeiset johtopäätökset esitetään luvussa 5.

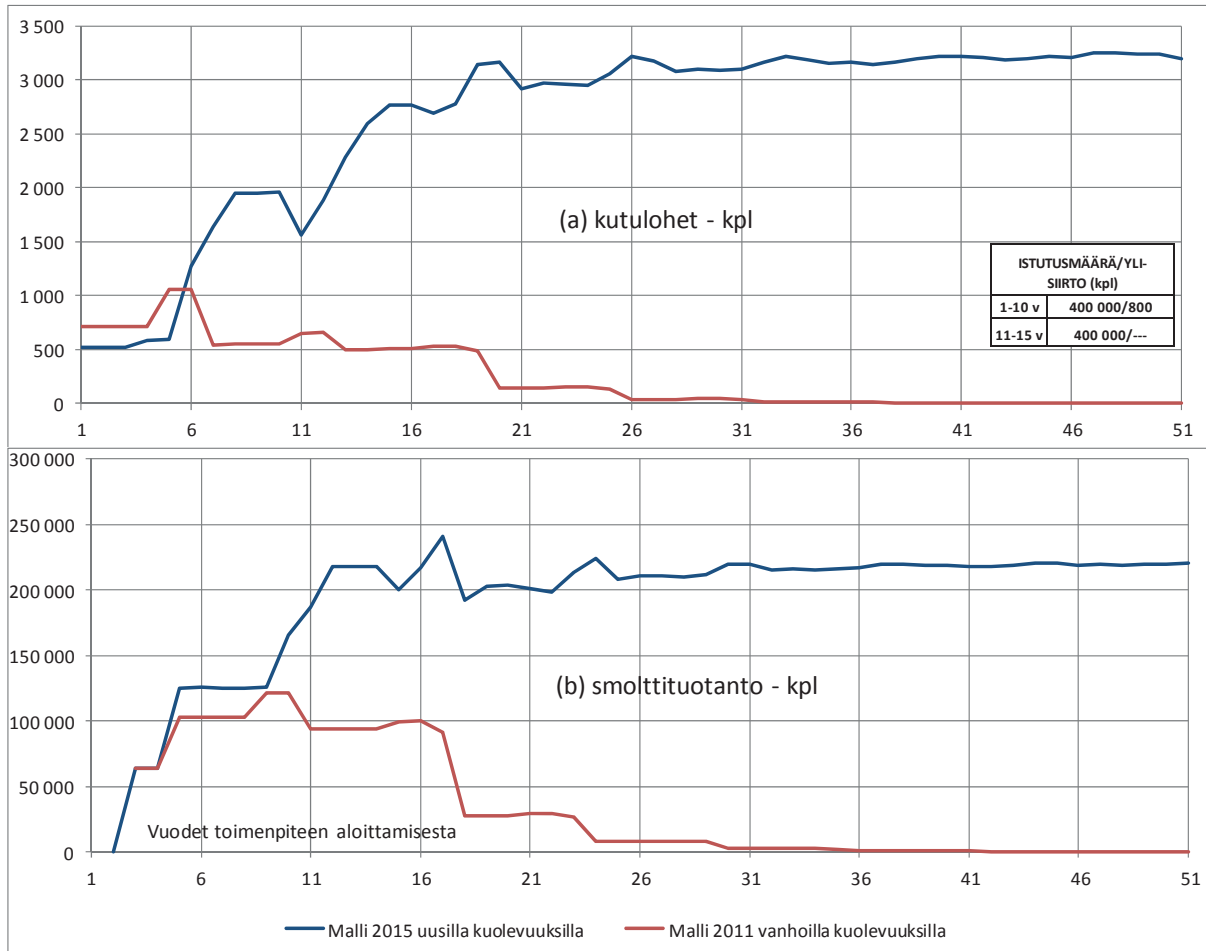
**Taulukko 1.** Populaatiomallien oletukset vuoden 2011 (Mäki-Petäys ym. 2012) ja vuoden 2015 lohimallissa. Lohimallin 2015 sukukypsymisikä ja naaraiden osuus kutukannassa perustuvat Tornionjoen pitkäaikaisiin seurantatutkimustuloksiin.

LOHIMALLI 2011	LOHIMALLI 2015
Kaikki poikaset vaeltavat mereen 3-vuotiaina.	Kaikki poikaset vaeltavat mereen 3-vuotiaina.
Kaikki lohet tulevat sukukypsiksi kahden merivuoden jälkeen.	Eri merivuosien määrä kutulohissa: Yhden merivuoden lohet: 10 % Kahden merivuoden lohet: 46 % Kolmen merivuoden lohet: 44 %
Kutulohista puolet on naaraita.	Kutulohista naaraiden osuus: Yhden merivuoden lohet: 9 % Kahden merivuoden lohet: 53 % Kolmen merivuoden lohet: 75 %
Kahden merivuoden naaras painaa keskimäärin 6 kg.	Yhden merivuoden naaras painaa keskimäärin 1,5 kg, 2 merivuoden naaras keskimäärin 6 kg ja 3 merivuoden naaras keskimäärin 11 kg.
Naaraat tuottavat keskimäärin 1395 mätimunaa kiloa kohden.	Naaraat tuottavat keskimäärin 1395 mätimunaa kiloa kohden.
Kukin lohi kutee vain yhden kerran.	Kukin lohi kutee vain yhden kerran.

**Taulukko 2.** Populaatiomalleissa käytetyt kuolevuudet lohien eri elinvaiheissa.

\* Post-smolttikuolevuus laskettiin villien ja viljeltyjen smolttien osuuksien perusteella, \*\*Vuosittainen kuolevuus, \*\*\*Alasvaelluksen kokonaistappio jokisuuhun asti, \*\*\*\*Nousuvaellustappiot viiden vaellusesteen osalta. Muutokset kuolevuusarvioissa perustuvat pääosin Kansainvälisen merentutkimusneuvoston viime vuosien arvioihin (mm. ICES 2015)

ELINVAIHE/KALASTUS	MALLI 2011 kuolevuudet (%) (minimi; moodi; maksimi)	MALLI 2015 kuolevuudet (%) (minimi; moodi; maksimi)
Mätimunasta vaelluspoikaseksi (luonnonkudusta syntyneet kalat)	98,7 (ei jakaumaa)	Tiheysriippuvuus: 98,4-98,9
1-v. jokipoikasesta vaelluspoikaseksi (jokipoikasistukkaat)	84,0 (ei jakaumaa)	84,0 (ei jakaumaa)
Smolttien alasvaellus	30; 50; 80***	30; 50; 80***
Post-smoltтивaihe	83,2; 91,8; 96,3	Luonnonpoikanen 74,3; 86,9; 94,0* Viljelypoikanen 81,3; 91,7; 96,7*
Syönnösaika Itämeressä	7,0; 15,0; 24,0	9,0; 16,0; 22,0**
Avomerikalastus Itämeressä	30,0; 40,0; 50,0	10,0; 15,0; 20,0**
Nousuvaellus (hyljepredaatio ym.)	5,7; 13,2; 20,8	5,7; 13,2; 20,8
Rannikkokalastus nousuvaelluksella	17,8; 24,6; 31,8	19,8; 23,9; 28,5
Jokisuukalastus nousuvaelluksella	30,0; 36,0; 45,0	10,0; 15,0; 20,0
Nousuvaellus kalateissä	23,0; 31,0; 41,0****	23,0; 31,0; 41,0****
Ylisiirto	Ei huomioitu kuolevuutta	10,0; 30,0; 50,0
Jokikalastus	8,0; 10,0; 13,0	5,0; 7,0; 10,0



**Kuva 3.** Vuosien 2011 ja 2015 populaatiomallien tuottama lijoen lohikantojen kehityskulku 50 vuoden aikajän- teellä skenaariossa A (=lijoen potentiaalinen lähtötila). Lohimallin 2015 antama huomattavasti positiivisempi lohikannan kehitysnäkymä johtuu sekä kuolevuusarvojen päivittämisestä että lohen kutukannan meri- ikäkoostumuksen tehdystä muutoksesta.

### 3.3. Ijoen luonnonuoman ympäristövirtaamatarkastelut

Ympäristövirtaaman tarkoituksena on ylläpitää määrällisesti, laadullisesti ja ajallisesti riittävää vir- taamaa, jotta joen ekosysteemin hyvä tila turvataan (Dyson ym. 2003, Olin 2013). Ympäristövirtaama on voimakkaasti kasvava teema Euroopassa erityisesti EU:n vesipuitedirektiivin (VPD) soveltamisen myötä. EU:n ohjeistuksen mukaan ympäristövirtaama (ecological flow) liittyy myös läheisesti VPD:n ympäristötavoitteiden saavuttamiseen (European Commission 2015). Vaikka VPD ei ympäristövir- taamaa suoraan mainitsekaan, sitä pidetään hyvän ekologisen tilan ylläpitämisen tai saavuttamisen edellytyksenä (Acreman & Ferguson 2010). EU:n ohjeistus määrittää ympäristövirtaaman termillä ”ekologinen virtaama”, jolla tarkoitetaan sitä vesimäärää ”jonka vesiekosysteemi tarvitsee voidak- seen menestyä ja tarjota tarvitsemiamme palveluja” (European Commission 2015). Jäsenmaiden tulee kansallisissa vesienhoito-ohjelmissa määrittellä ympäristövirtaaman käyttö ympäristötavoittei- den saavuttamisessa sekä ympäristövirtaaman suhde luonnonvirtaamaan ja joen biologiaan.

Kansainvälisesti ympäristövirtaaman määrittämiseksi on käytetty yli 200 erilaista lähestymista- paa tai menetelmää (Tharme 2003, Ackreman & Dunbar 2004). Aktiivisesti ympäristövirtaaman käyt- tö vesienhoidossa alkoi 1970 luvulla (Bakken ym. 2012). Nykyisin ympäristövirtaamaa ja siihen liitty- viä menetelmiä käytetään vesivarojen hallinnassa kymmenissä maissa (King ym. 2008). Euroopassa sekä käytettävät menetelmät että lainsäädännössä annettava ohjeistus vaihtelee maittain (Bakken

ym. 2012, European Commission 2015). Suomessa ympäristövirtaamaa on toistaiseksi sovellettu vain joissakin yksittäistapauksissa eikä lainsäädäntö sisällä ohjeita tai määräyksiä sen käytöstä.

Ympäristövirtaaman määrittelemiseksi kehitetyt menetelmät voidaan jakaa neljään luokkaan: hydrologiset menetelmät, hydrauliset menetelmät, elinympäristömallinnus ja holistiset menetelmät (Tharme 2003, Bakken ym. 2012). Valittava menetelmä riippuu paitsi ongelman määrittelystä myös käytettävissä olevista resursseista. Yksinkertaisilla hydrologisilla tai hydraulisilla menetelmillä voidaan ympäristövirtaama määrittää vähäisin resurssein useallekin kohteelle, mutta paikkakohtainen tarkastelu voi jäädä ohueksi ja tulokseen voi sisältyä enemmän riskiä ympäristövirtaaman toimivuudesta. Holistisilla menetelmillä voidaan tarkastella tarkemmin paitsi biologisia myös sosio-ekonomisia kysymyksiä, mutta tarkastelu yleensä edellyttää huomattavasti suurempia kohdekohtaisia resursseja.

**Tässä työssä sovellettiin kolmea eri menetelmää ympäristövirtaaman määrittelemiseksi: Tennantin- (hydrologinen menetelmä), märkäpiiri- (Wetted Perimeter-, hydraulinen menetelmä) ja Building Blocks- (holistinen menetelmä) menetelmää (ks. luvut 3.3.2.-3.3.4.).** Näiden antamia tuloksia verrattiin elinympäristömallinnuksen antamiin tuloksiin elinympäristön määrästä ja laadusta eri virtaamilla. Ympäristövirtaama määritetään koko jokiekosysteemin toiminnan kannalta ja tällöin sen määrittelyssä on hyvä käyttää mahdollisimman monien eliölajien vasteita virtaaman muutoksille. Tässä työssä keskityttiin avainlajina lohen elinympäristön määrään, jonka laadusta ja vaihtelusta on olemassa tutkimustietoa.

Tutkimusalueena oli 37 kilometrin pituinen osuus lijoen pääuomaa Pudasjärven alapuolelta ylimmän voimalaitoksen, Haapakosken, yläpuolelle (kuva 2, tekstissä myöhemmin lijoen luonnonuoma ja/tai Kipinän alue). Alueella ei ole lyhytaikasaätelyä, mutta vuosittaisen virtaaman jakautumiseen vaikuttavat lijoen latvoilla sijaitsevien Irni- ja Kostonjärvien säännöstely. Tarkastelujen keskeiset tulokset esitetään luvussa 6.

### 3.3.1. Tennantin menetelmä

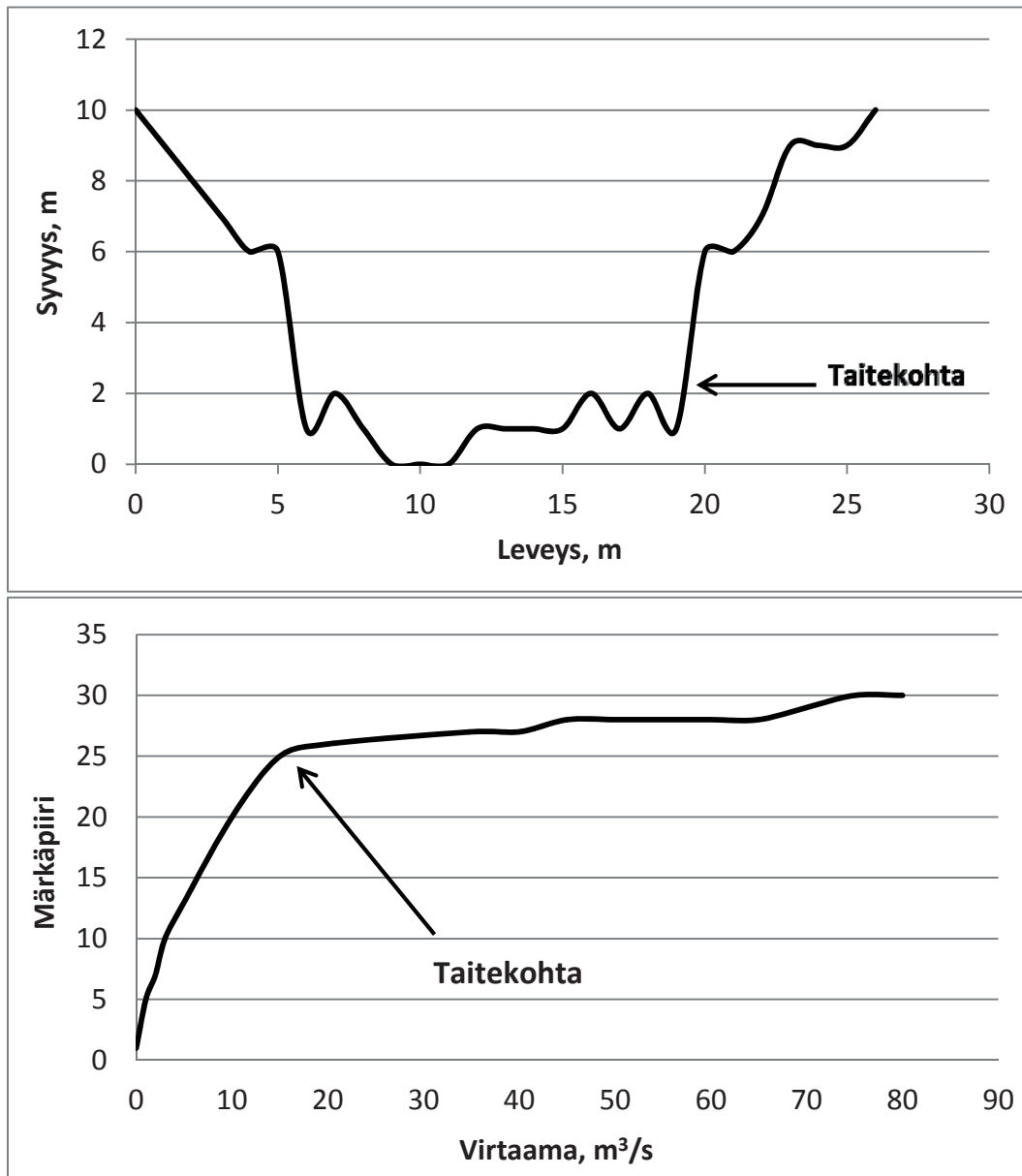
Tennantin menetelmä (Tennant 1976) perustuu biologiseen ja hydrologiseen aineistoon sadoista joista eri puolilta USA:ta vuosilta 1958-1975. Tennant vertaili jokien biologiaa ja niiden hydrologisia muuttujia (leveys, syvyys, virtaama, poikkileikkaukset). Menetelmä perustuu vuoden keskivirtaamaan. Tennant (1976) päätteli että määrätty osa keskivirtaamasta riittää vesittämään tietyn osan joen tärkeistä elinympäristöistä, ja se heijastuu vastaavasti joen biologiseen tilaan seuraavasti:

- 10% keskivirtaamasta on virtaama jolloin suurimmalle osalle eliöstöä säilyy eloonjäämiseen tarvittava elinympäristö (huono tai minimi-tilanne).
- 30% keskivirtaamasta ylläpitää hyvät edellytykset lähes kaiken eliöstön eloonjääntiin ja joen virkistyskäyttöön (hyvä tilanne).
- 60% keskivirtaamasta ylläpitää erinomaisen elinympäristön lähes kaikelle eliöstölle ja virkistyskäytölle (erinomainen tilanne).
- 200% keskivirtaamasta on maksimi tai "flushing flow" (=puhdistava tulvavirtaama)

### 3.3.2. Wetted Perimeter -menetelmä

Wetted Perimeter -menetelmässä oletetaan että virtaaman ja vesitetyn alan muuttuessa myös kaloille soveltuvan elinympäristön määrä vähenee tai kasvaa samassa suhteessa. Poikkileikkauksen märkäpiirin ja virtaaman välistä käyrää käytetään kuvaamaan elinympäristössä tapahtuvia muutoksia (esim. CDFW 2013). Käyrässä voi olla selkeä taitekohta tai -kohtia joissa märkäpiirin kasvu tasoittuu eli joen vesitetty pinta-ala (leveys) ei enää kasva yhtä nopeasti virtaaman kasvaessa (kuva 4). Taitekohdassa elinympäristöä pidetään vakaampana ylläpitämään kalastoa ja siksi sitä suositellaan vallitsevaksi virtaamaksi.

Wetted Perimeter -menetelmän toimivuus riippuu uoman geometriasta, ja uomassa olevat kynnykset, lohkareet tai muut rakenteet voivat aiheuttaa taitekohtia virtaama-märkäpiiri -käyrään. Siksi on hyvä tarkastella useita eri poikkileikkauksia koaluetta kohden luotettavamman kuvan saamiseksi. Kun poikkileikkauksia on useita tasaisesti koko kosken alalta, on otos lisäksi edustavampi.



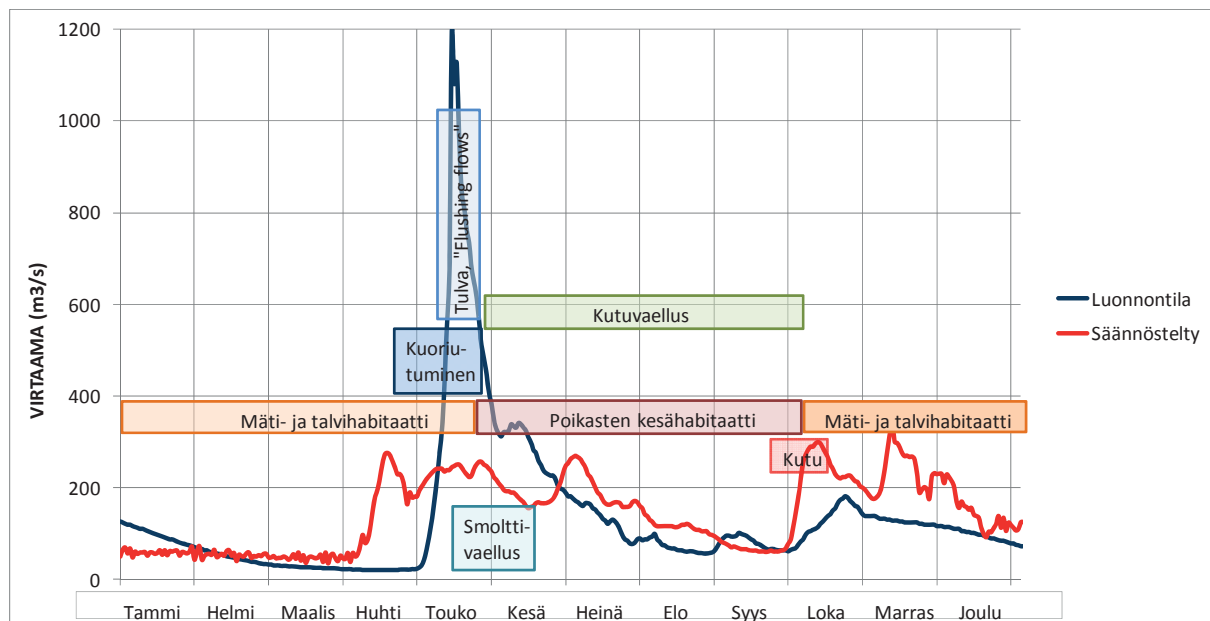
**Kuva 4.** Kuvitteellinen esimerkki joen poikkileikkauksesta (yllä, m) ja virtaaman ja märkäpiirin välisestä suhteesta (alla). Nuoli osoittaa taitekohtaa jossa virtaaman lisäys ei lisää märkäpiiriä (vesitettyä pinta-alaa) yhtä nopeasti kuin alhaisemmillä virtaamilla.

### 3.3.3. Building Block -menetelmä

Building Block -menetelmässä (King et al. 2008) joen virtaaman ajatellaan koostuvan joen ekosysteemiä ylläpitävistä tärkeistä elementeistä, virtaaman rakennuspalikoista (Building Blocks). Menetelmässä tunnistetaan tärkeimmät virtaaman ominaisuudet jotka vaikuttavat joen luonnonmukaisen eliöstön ja prosessien säilyttämiseen (kuva 5). Ympäristövirtaama määritetään asiantuntijoiden työpajassa, jolla on käytössään joen virtaama-aineistot (King & Louw 1998). Menetelmä on luonteeltaan

holistinen eli siihen liittyy paitsi virtaamamuutosten biologisten vaikutusten arviointi, myös ekonomisten ja sosiaalisten vaikutusten arviointi. **Yksinkertaisuuden vuoksi tässä selvityksessä Building Block -menetelmää käytetään ainoastaan rakentamaan ympäristövirtaama lohen elinympäristövaatimusten perusteella.**

Selvityksessä käytettiin virtaamatietoina Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) mittaamia virtaamia kohdealueelta, Vuormankoskelta, vuosilta 1956-1995. Virtaamatiedot sisältävät päivittäiset keskivirtaamat ( $m^3/s$ ).



**Kuva 5.** Esimerkkikuva ympäristövirtaaman “rakennuspalikoista”, eli lohikalojen jokivaiheen menestymisen kannalta tärkeitä virtaamajaksoista. Kuvassa esitetään myös hypoteettiset saman jokialueen virtaamat luonnontilassa ja säännöstelyn alkamisen jälkeen. Kuvan laadinnassa ei ole käytetty lijoen virtaamatietoja.

### 3.3.4. Elinympäristömallinnus

lijoen lohen elinympäristötarkasteluissa mallinnettiin aluksi koko tutkimusalue yksiulotteisella virtausmallilla erilaisten virtapaikkojen ja suvantojen määrän selvittämiseksi. Tämän jälkeen valittiin edustavat virtapaikka- ja suvantokohteet (Varpuvirta, Vuormankoski ja Kiernasvirta, ks. kuva 2) tarkempaan tarkasteluun. Tarkempaa tarkastelua varten kohteet mallinnettiin elinympäristömallilla. Elinympäristömallinnus perustuu kalojen eri ikäluokkien virtausnopeuteen, vesisyvyyteen ja pohjan laatuun liittyvien elinympäristövaatimustutkimusten tuloksina laadittuihin preferenssikäyriin, joen uoman muodon ja pohjan laadun maastomittaukseen, virtausmallinnukseen sekä virtausmallinnuksen ja elinympäristövaatimustiedon yhdistämiseen.

Tässä tarkastelussa selvitettiin jokialueen soveltuvuutta lohen kutuun ja eri kokoisille jokipoikaisille kesällä ja talvella eri virtaamilla. Elinympäristömallinnus suoritettiin FISU-mallilla (Fortum), jonka korkeusmallin pohjana ovat KAT Oy:n kaikuluotaukset ja Suomen Salaojakeskuksen takymetrimittaukset. Suomen Salaojakeskus mittasi lisäksi veden pinnankorkeuksia ja kartoitti pohjan laatua. Virtaamatiedot saatiin voimalaitoksilta. Vuormankoski ja Kiernasvirta mallinnettiin Mike3D-mallilla, ja Varpuvirrat FEHSWMS-mallilla (ks. kuva 2).

Preferenssikäyrinä käytettiin lohen poikasille kesäajan yleiskäyriä (RKTL:n preferenssitietokanta, Mäki-Petäys, kirjallinen tiedonanto) ja kudulle Louhi & Mäki-Petäys (2003) ja Louhi ym. (2008) perusteella laadittuja käyriä. Talvipreferensseinä käytettiin RKTL:n Utsjoen talvitutkimuksen (Mäki-Petäys ym. 2004) käyriä.



## 4. Lohen elinkierto - mahdolliset ongelmat

### 4.1. Lohen kutuvaellus

Lohet saavuttavat sukukypsyyden yleensä 1-4 meressä vietetyn vuoden jälkeen, minkä jälkeen ne aloittavat nousuvaelluksen takaisin synnyinjokeensa kudulle (Klemetsen ym. 2003, Thorstad ym. 2011). Pohjoisen joissa lohi kutee tavallisesti syys-lokakuussa, mutta kutuvaellus alkaa jo alkukesällä, useita kuukausia ennen varsinaista kutuaikaa. Isot, useamman merivuoden lohet palaavat jokiin keskimäärin aiemmin kuin yhden merivuoden pikkulohet (esim. Klemetsen ym. 2003).

Kutuvaelluksen ajoittumiseen ja nopeuteen vaikuttavia ympäristötekijöitä on useita, joista tärkeimpänä pidetään joen virtaaman määrää ja sen muutoksia (Thorstad ym. 2008, Jaukkuri ym. 2013). Ympäristötekijöiden lisäksi ihmisen toiminnalla on usein merkittäviä vaikutuksia lohen nousuvaellukseen; esimerkiksi vesivoimarakentamisen seurauksena joet ovat muuttuneet sekä uomarakenteeltaan että virtauksiltaan jyrkästi luonnonlohijoista poikkeaviksi (Johnsen ym. 2011). Muutokset vaikuttavat tavallisesti haitallisesti lohien vaelluksiin ja mahdollisuuksiin saavuttaa lisääntymisalueensa (Thorstad ym. 2008, Johnsen ym. 2011). Varsinaisten vaellusesteiden, kuten patorakennelmien, lisäksi myös vesivoimalaitosten alakanavat, patoaltaat ja vanhat jokiuomat (joissa virtaama on vähentynyt) voivat hidastaa tai jopa kokonaan pysäyttää lohen kutuvaelluksen (Gerlier & Roche 1998, Rivinoja 2005, Lundqvist ym. 2008). Toisinaan ihmisen näkökulmasta varsin vaatimattomiltakin vaikuttavat rakenteet voivat muodostua merkittäviksi vaelluksen hidasteiksi (Gerlier & Roche 1998, Thorstad ym. 2005).

#### 4.1.1. Kollaja-hankkeen mahdolliset vaikutukset lohen kutuvaellukseen

Lohen kutuvaellus Perämeren alueen luonnonlohijoissa ajoittuu pääosin toukokuun lopun ja elokuun lopun väliselle aikajaksolle (Jaala ym. 2013, Vähä ym. 2014). Myös lijojisuulle istutettavat lohet palaavat merivaellukseltaan kutakuinkin samaan aikaan (Niva 2001). Lisääntymisen onnistumisen kannalta on tärkeää, että lohet saavuttavat kutualueensa riittävän ajoissa ja hyväkuntoisina. Lijoella jo nykyisen viiden voimalaitosten ohittaminen tulee vääjäämättä aiheuttamaan viivettä kutuvaellukseen tilanteessa, jossa kalatiet on rakennettu. On todennäköistä, että ensimmäiset nousulohet saavuttavat Kollajan hankealueen (=Haapakosken voimalan yläpuolen) vasta kesäkuun loppupuolella ja suuri osa lohista vasta myöhemmin kesällä ja syksyllä. Kollajan uusi voimalaitos alakanavineen todennäköisesti lisää lohen vaelluksen viivettä. Seuraavassa käsitellään aluekohtaisesti Kollaja-hankkeen mahdollisia vaikutuksia lohien kutuvaellukseen.

#### *Kollajan voimalaitos ja sen alakanava*

Suunnitellun Kollajan voimalaitoksen ohittaakseen sen alapuolelle saapuvien lohien olisi hakeuduttava lijoen luonnonuomaan, ns. Kipinän uomaan (ks. kuva 2), jota pitkin nousuvaellus pääsisi jatkuamaan lijoen keski- ja yläjuoksun kutualueille. Pohjolan Voiman teettämän ympäristövaikutusten arviointiselostuksen (Pohjolan Voima 2009) mukaan luonnonuoman virtaama noudattaisi kesäaikana (15.6.-15.9.) keskimäärin nykyistä pääuoman virtaamaa vähennettynä Livojoen virtaamalla (Livojoen osuus keskimäärin 20 % Livojokisuun alapuolisesta lijoen pääuoman virtaamasta). Käytännössä se tarkoittaisi YVA-selostuksen mukaan sitä, että keskimääräisenä kesänä virtaama luonnonuomassa olisi noin 70-80 m<sup>3</sup>/s, mutta kuivana kesänä vain 20-30 m<sup>3</sup>/s.

Koska Kollajan voimalaitoksen rakennusvirtaamaksi on suunniteltu 250 m<sup>3</sup>/s (= suurin mahdollinen juoksumäärä voimalan kautta), voi Kollajan voimalaitoksen alakanavasta lijoen pääuoman purkautuva vesimäärä olla kesäaikana ajoittain merkittävästi suurempi verrattuna luonnonuoman kautta tulevaan vesimäärään. Koska Kollajan voimalaitoksen juoksutuskäytäntö tulee todennäköisesti mukailemaan nykyisten voimaloiden juoksutuskäytäntöjä, voidaan alakanavavirtaamien olettaa olevan suurimmillaan päivisin, jolloin lohennousukin on rakennetussa lijoessa aktiivisimmillaan (Husko

ym. 2012). Tämän seurauksena on vaarana, että alakanavan ja lijoen pääuoman yhtymäkohtaan saapuvat lohet houkuttuvat osin voimakkaamman virtaaman suuntaan voimalaitoksen alakanavaan, eivätkä löydä heti oikealle reitilleen lijoen luonnonuomaan.

Lohien nousua voimalaitosten alakanavien ja vanhojen jokiuomien risteyskohdissa on tutkittu mm. Ruotsissa (Rivinoja ym. 2001) ja Norjassa (Thorstad ym. 2005). Ruotsin Uumajajoella radiomerkityistä lohista joen vanhaan uomaan (luonnonuoma) löysi vain 31 % merkityistä lohista ja Norjassa Nidelvalla vastaava luku vaihteli tutkimusvuodesta riippuen 59-81 %:n välillä. Näiden tietojen perusteella on todennäköistä, että vastaava ilmiö havaittaisiin jossain mittakaavassa lijoella Kollaja-hankkeen toteutuessa. Ilmiön merkittävyys kuitenkin riippuu Kollajan voimalaitoksen juoksutusten ja lijoen luonnonuoman virtaamien suhteesta kalojen nousuaikana. Pohjolan Voiman suunnitelmien mukaan keskimäärin 80 % virtaamasta kulkisi lohien nousuaikana lijoen luonnonuomassa ja vain 20 % Kollajan voimalaitoksen kautta.

### *Lijoen luonnonuoma*

Kollaja-hankkeen toteutuessa lijoen luonnonuoman (Kipinän uoma) rakenne muuttuisi jonkin verran sinne rakennettavien kahden vedenalaisen pohjakynnyksen myötä. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että usein sellaisetkin rakenteet, jotka eivät näyttäisi olevan lohelle fyysisesti hankalia ohittaa, voivat heikentää kalojen nousumotivaatiota ja sitä kautta aiheuttaa viivettä nousuvaellukseen tai jopa katkaista vaelluksen kokonaan (Gerlier & Roche 1998, Thorstad ym. 2005). Vedenalaisilla pohjakynnyksillä voi pahimmillaan olla tällaista vaikutusta, koska ne tavallisesti poikkeavat rakenteellisesti kalojen luonnollisesta ympäristöstä ja esimerkiksi virtausolosuhteet voivat olla kalojen luonnollisiin jokiympäristöihin verrattuna erilaisia (Thorstad ym. 2008). Lijoella ongelmia voisi teoriassa aiheutua kuivina, vähävetisinä kesinä, jolloin pohjakynnysten patoava vaikutus korostuu.

Edellyttäen, että lijoen luonnonuomaan kaavailut pohjapadot suunnitellaan ja toteutetaan luonnonmukaisen kaltaiksi ja niiden ylitse virtaa matalimmankin veden aikaan runsas vesikerros, ei merkittäviä ongelmia lohien nousuvaellukselle aiheudu.

### *Livojoen vaellusyhteys*

Olemassa olevan tutkimustiedon perusteella Kollaja-hankkeen toteuttaminen vaikuttaisi merkittävästi Livojoen vaelluskalakantojen elvyttämismahdollisuuksiin, mm. nousuvaellusongelmien kautta. Hankkeen toteutuessa Livojoen vesi tulisi purkautumaan käytännössä täysin Kollajan tekojärven ja uuden voimalaitoksen kautta (ks. kuva 2), jolloin Livojokeen vaelluksella olevat lohet suurella todennäköisyydellä hakeutuisivat lijoen pääuomasta Kollajan alakanavaan. Jotta kutuvaelluksellaan olevilla lohilla olisi näissä olosuhteissa omaehtoinen vaellusmahdollisuus Livojokeen, edellyttäisi se toimivan kalatien suunnittelua ja rakentamista Kollajan voimalaitoksen yhteyteen.

Kollaja-hankkeen ympäristövaikutusten arviointiselostuksen (Pohjolan Voima 2009) perusteella Livojoen ja lijoen pääuoman alkuperäisen yhtymäkohta muuttuu olennaisesti, eikä Livojoki käytännössä enää virtaisi alkuperäistä reittiään pitkin. Alkuperäiseen Livojoen-lijoen yhtymäkohtaan on YVA-selostuksessa kaavailtu pohjakynnyspatoon pientä kalatietä, mutta sen toimivuus esim. lohien kulkureittinä Livojokeen olisi erittäin epävarmaa mm. vähäisen virtaaman (<1m<sup>3</sup>/s) takia. Poikkeusolosuhteissa lohien nousuaikana (sateiset runsasvetiset kesät tai kuivat vähävetiset kevät-kesät) vesi saattaisi itse asiassa virrata lijoesta Livojokeen (=tekoaltaaseen), kun Kollajan tekoallasta täytetään. Näissä olosuhteissa Livojoen alkuperäisestä uomasta ei purkautuisi lainkaan vettä lijoen luonnonuomaan, eikä vaelluskaloilla olisi mitään mahdollisuuksia nousta ko. reittiä pitkin.

#### **4.1.2. Ratkaisuvaihtoehdot kutuvaelluksen varmistamiseksi**

Yllä mainittujen asioiden ja olemassa olevien tutkimustietojen perusteella Kollajan altaan ja voimalaitoksen rakentamisesta aiheutuu todennäköisesti ongelmia vaelluskalojen nousuvaellukselle Kollajan hankealueella, koskien erityisesti Livojokea. Alla on listattuna ja lyhyesti selitettynä potentiaalisia

ratkaisuvaihtoehtoja mahdollisten haittojen vähentämiseksi ja/tai ehkäisemiseksi. Tässä yhteydessä näitä vaihtoehtoja ja toimintamalleja ei aseteta paremmuusjärjestykseen.

- **Riittävät virtaamat lijoen luonnonuomassa ja Kollajan voimalaitoksen käytön optimointi lohikalojen nousujakson aikana**

*ljoen luonnonuomaan johdettavan virtaaman tulee olla lohikalojen nousuaikana (kesäkuu-syyskuu) niin suuri, että se tukee kalojen hakeutumista vanhan uoman vaellusreitille. Lohien nousun jatkuvuus lijoen pääuoman ja Kollajan alakanavan yhtymäkohdassa edellyttää Kollajan voimalaitoksen maltillista käyttöä (lyhytaikassäätö), niin etteivät voimalaitokselta purkautuvat virtaamat ainakaan pitkäaikaisesti ylitä lijoen luonnonuoman kautta tulevaa virtaamaa. Mikäli yhtymäkohdassa havaitaan nousuvaellusongelmia, esim. vaelluksen viivästymistä, on Kollajan voimalaitoksen lyhytaikassäätöä muutettava lohikalojen kannalta suotuisammaksi. Tämä voi edellyttää tekojärveen johdettavan vesimäärän vähentämistä ja voimalaitoksen käytön rajoittamista lohikalojen keskeisimpänä vaellusajana.*

- **Kollajan voimalaitoksen alakanavan ja vanhan uoman yhtymäkohdan huolellinen suunnittelu**

*Kipinän vanhan uoman ja Kollajan voimalaitoksen alakanavan yhtymäkohdassa vallitsevat virtaukset ja uomatopografia vaikuttavat nousulohien vaelluskäyttäytymiseen. Näin ollen voimalaitoksen alakanavan muotoon ja sieltä purkautuvan vesimassan suuntamiseen on kiinnitettävä huomiota. Tarvittaessa alakanavan ja luonnonuoman virtausten suuntaa ja voimakkuutta voidaan muokata uomien muotoilun ja/tai mekaanisten virranohjainrakenteiden avulla, tavoitteena ohjata nousulohet nopeasti vanhan uoman nousureitille alakanavan sijaan.*

- **Luonnonuoman vedenalaisten pohjakynnysten vaikutusten minimointi**

*Kollaja-hankkeesta mahdollisesti aiheutuvat muutostyöt lijoen luonnonuomassa (Kipinä) tulee minimoida ja kaikissa rakenteissa tulee huomioida kalojen vaellusyhteydet. Mikäli luonnonuomaan rakennetaan pohjakynnyksiä tai muita padottavia rakenteita, on niistä suunniteltava ja tehtävä mahdollisimman luonnonmukaisia ja huolehdyttävä, että niiden yli virtaa riittävän paksu vesikerros kuivimpinakin kesäaikoina.*

- **Kollajan voimalaitoksen kalatie Livojoen vaellusyhteyden varmistamiseksi**

*Koska Livojoen vaellusyhteys lijoen luonnonuoman ja Livojoen pohjapatokynnyksen kautta vaikuttaa erittäin epävarmalta, voitaisiin Kollajan voimalaitoksen yhteyteen suunnitella ja rakentaa kalatie Livojoen vaellusyhteyden varmistamiseksi. Vaihtoehtona voidaan harkita kalatietä/vaellusväylää lijoen pääuoman ja Livojoen välillä. Livojoelta Kiiskikankaan läpi lijoen pääuomaan lähelle nykyistä Livojokisuuta rakennettava kalatie voisi toimia sekä alasvaeltavien smolttien että ylösvaeltavien kutulohien reittinä lijoen ja Livojoen välillä (ks. kappale 4.2.3).*

- **Lohien ylisiirto Livojokeen**

*Vaihtoehtona tai täydennyksenä Kollajan voimalaitoksen kalatielle voisi olla kutulohien ylisiirto Kollajan voimalaitoksen alakanavasta tai alemmaa lijoesta Livojokeen. Hyvin toteutetuilla ylisiirroilla voitaisiin ylläpitää ainakin osittaista luonnontuotantoa Livojoessa. Todennäköisesti merkittävän poikastuotannon ylläpitäminen edellyttäisi kuitenkin pelkkien ylisiirtojen ohella myös huomattavia mädin tai pienpoikasten tuki-istutuksia Livojoen poikastuotantoalueille. Ylisiirtoja suunniteltaessa ja toteutettaessa tulisi huomioida, etteivät Livojokeen ylisiirrettävät lohet merkittävästi vähentäisi muille lijoen alueille pyrkivien kutulohien määrää.*

## 4.2. Vaelluspoikasten alasvaellus

Lohen elinkiertoon kuuluu alasvaellus jokielinympäristöstä mereen paremmille kasvualueille. Vaellukselle lähtevien poikasten eli smolttien fysiologiassa, morfologiassa ja käyttäytymisessä tapahtuu muutoksia, jotka valmistavat niitä merielämään sopeutumiseen (McCormick ym. 1998). Smolttivaellus ajoittuu tavallisesti kohtalaisen lyhyelle ajanjaksolle kevätkesällä ja sen ajoittumiseen vaikuttavat useat eri ympäristökijät, joista tärkeimmät ovat valojakson eli päivän pituuden muuttuminen, veden lämpötila ja virtaama (McCormick ym. 1998, Byrne ym. 2003, Otero ym. 2013).

Vesivoimantuotantoon rakennetuissa joissa kalojen alasvaellus on tavallisesti vaikeutunut (Huusko ym. 2014). Vesivoimalaitokset, padot ja säännöstelyaltaat hidastavat tai jopa estävät vaelluspoikasten alasvaellusta. Vaelluksen hidastuminen lisää kuolleisuutta saalistuksen (predaatio) kautta ja voi johtaa vaelluspoikasten saapumiseen mereen vääränä ajankohtana tai epäedullisten olosuhteiden vallitessa. Lisäksi voimalaitosten turbiinien läpäisy lisää kuolleisuutta ja saattaa aiheuttaa merkittävää viivästynyttä kuolleisuutta erilaisten vammojen ja stressin kautta (Ferguson 2008, Coutant & Whitney 2000, Huusko ym. 2014).

### 4.2.1. Vaelluspoikasten todennäköinen vaelluskäyttäytyminen lijoella

lijoella lohen vaelluspoikasten vaelluksen ajoittumisesta ei ole tutkimustietoa ajalta ennen joen patoamista. Haapakosken ja Pahkakosken voimalaitoksilla rakentamisen jälkeen (1962-1963) tehdyissä satunnaisissa ja vahvistamattomissa havainnoissa smolttiparvia esiintyi patojen yläpuolella kevättulvasta jopa elokuun puoliväliin saakka (Sormunen 1980). Tutkimustiedon puuttumisesta johtuen lijoen smolttivaelluksen ajoittumisen määrittämisessä käytettiin Luonnonvarakeskuksen tietoja Simojoella ja Tornionjoella tehdyistä vaelluspoikastutkimuksista vuosilta 2000-2014. Näiden jokien smolttiryssäpyyntiaineistosta selvitettiin seuraavat smolttivaelluksen ajoittumistiedot:

- Vaelluksen huippuajankohta (kokonaissaaliista saatu 25-75 %)
- Vaelluksen päättymisajankohta (kokonaissaaliista saatu 90 %).
- Vaelluksen alkamisajankohta (kokonaissaaliista saatu 10 %, tieto vain Tornionjoelta)

Edellä mainitut ajoittumistiedot määritettiin ensin jokaiselle vuodelle erikseen, minkä pohjalta määritettiin molemmille joille keskimääräiset smolttivaelluksen ajoittumistiedot.

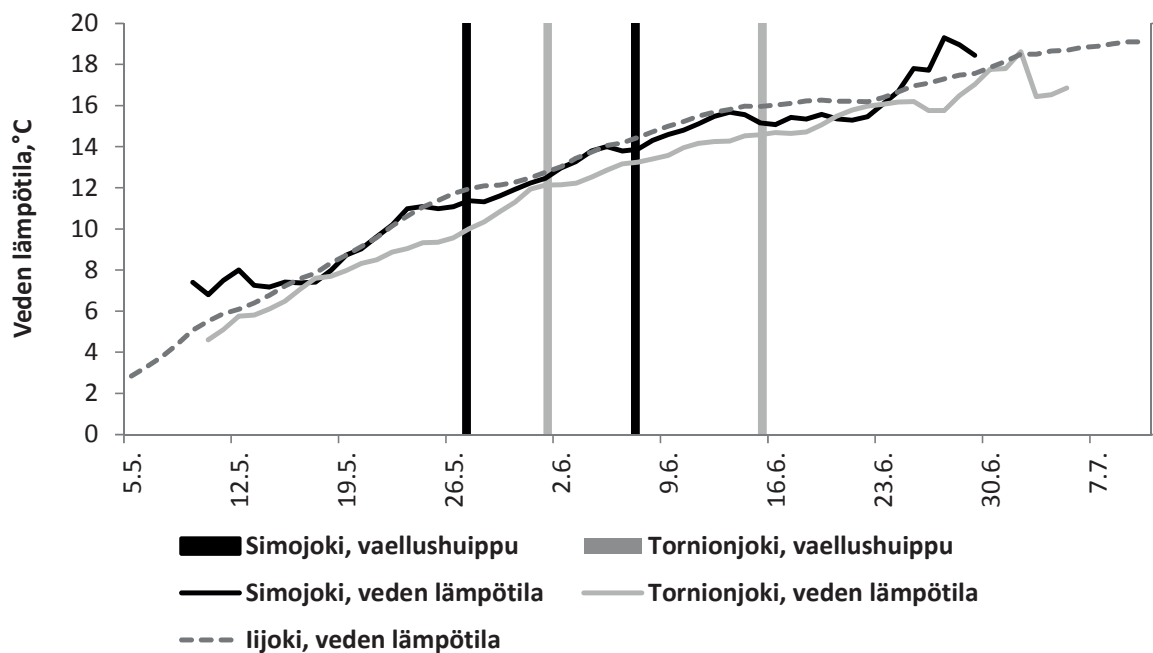
Tornionjoella smolttien vaellus ajoittui keskimäärin välille 25.5.-22.6. (ryssäpyynnin kokonaissaalis 10-90 %) ja vaellushuippu välille 1.6.-15.6. (saalis 25-75 %, kuva 6). Simojoella vaellushuippu ajoittui keskimäärin hieman aikaisemmaksi kuin Tornionjoella, välille 27.5.-7.6. (saalis 25-75 %, kuva 6).

Vaellushuipun alkamisen aikaan (25 % kokonaissaaliista saatu) veden lämpötila on ollut Tornionjoella 10,7 °C ja Simojoella 11,4 °C (kuva 6). Vaellushuipun päättyessä (75 % kokonaissaaliista saatu) veden lämpötila on ollut Tornionjoella 14,4 °C ja Simojoella 13,5 °C. Vaelluksen päättyessä (90 % kokonaissaaliista) veden lämpötila puolestaan on ollut Tornionjoella 14,8 °C ja Simojoella 15,5 °C (kuva 6). Vaelluksen alkamisen aikaan (10 % kokonaissaaliista) Tornionjoella veden lämpötila on ollut keskimäärin 8,6 °C. Kun vuonna 2008 rysäpyynti päästiin Tornionjoella aloittamaan jo 13.5., arvioitiin smolttivaelluksen alkaneen 29.5., jolloin veden lämpötila oli ylittänyt 9 °C.

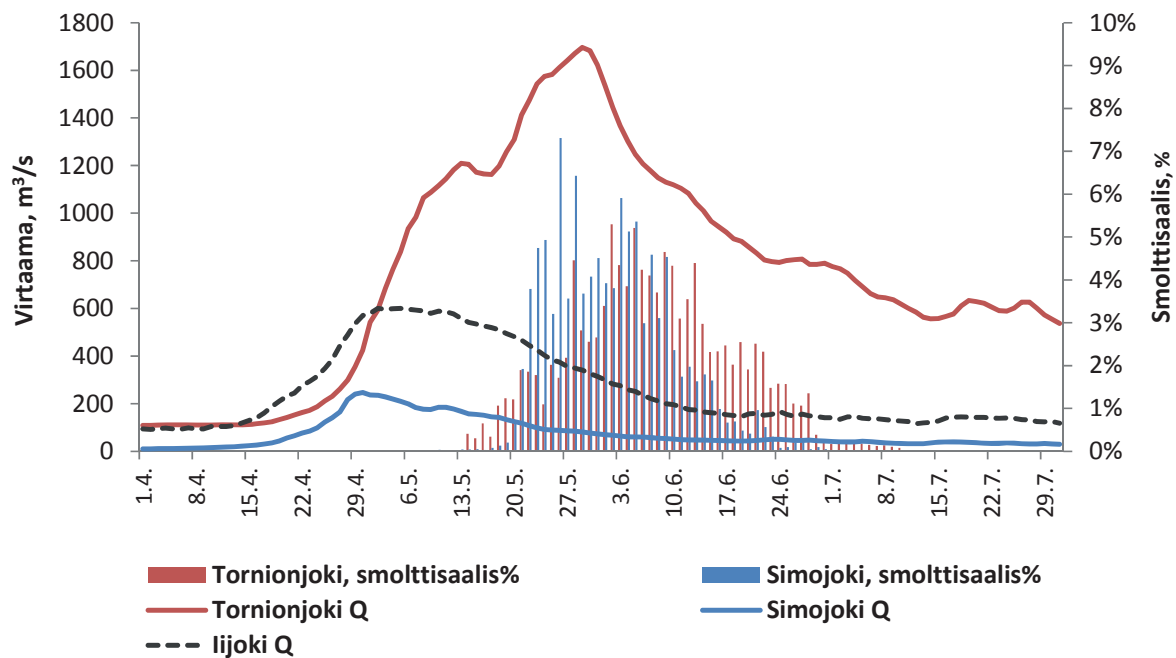
Havainnot Tornionjoen ja Simojoen vaelluspoikasten vaelluksen ajoittumisesta saavat tukea smolttien vaellusaktiivisuutta selvittäneessä kokeesta, missä kasvatettujen lohen vaelluspoikasten havaittiin liikkuvan aktiivisimmin veden lämpötilan ollessa 7,5-13,5 °C (Martin ym. 2012). Samassa tutkimuksessa vaellus oli 80 % hitaampaa, kun veden lämpötila oli alle 4 °C tai yli 17 °C, ja vaellus pysähtyi kokonaan veden lämpötilan noustessa 20 °C:een (Martin et al. 2012). Vastaavasti kasvatettujen Oulujoen laitoskantaa olevien smolttien alasvaelluksen havaittiin ajoittuvan kesäkuulle (veden lämpötila 11,5-14,8 °C) keinotekoisissa virtavesiuomissa tehdyssä kokeessa (Huusko ym. 2016, hyväksytty).

lijoella smolttien alasvaelluksen voidaan arvioida ajoittuvan vastaavalla tavalla veden lämpötilan suhteen, sillä lijoen veden lämpötilan muuttuminen keväällä on keskimäärin hyvin samankaltainen kuin Simojoella ja Tornionjoella (kuva 6). Ijoella smolttivaellus alkaisi näin ollen toukokuun puolenvälin jälkeen, kun veden lämpötila ylittää 8 °C, ja vaellus olisi pääosin ohi kesäkuun puolivälin aikaan, kun veden lämpötila nousee yli 15 °C:n. Vaelluksen huippu puolestaan ajoittuisi toukokuun lopusta kesäkuun alkupuolelle (keskimäärin veden lämpötila on Ijoella noussut 10 °C:sta 14,5 °C:een aikavälillä 22.5.-7.6.

Veden lämpötilatietojen pohjalta Ijoen lohen smolttien alasvaellus ajoittuisi kevätkesälle, tulva-huipun jälkeiseen aikaan, kuten on havaittu sekä Tornionjoella että Simojoella rysäpyyntiaineiston perusteella (kuva 7). Ijoella virtaama on ollut keskimäärin 445 m<sup>3</sup>/s päivänä, jolloin veden lämpötila on saavuttanut 10 °C, mutta virtaaman vaihtelu vuosien välillä on ollut erittäin suurta (180-769 m<sup>3</sup>/s) ko. lämpötilan saavuttamisen ajankohtana.



**Kuva 6.** Veden lämpötilan päivittäiset keskiarvot Tornionjoelta, Simojoelta ja Ijoelta vuosien 2000-2014 aineistoihin perustuen sekä Tornionjoen ja Simojoen smolttivaellushuipun (25-75 % smolteista saatu) keskimääräinen ajoittuminen vaelluspoikasten rysäpyyntiaineistojen perusteella (vuodet 2000-2014). Pystyviivat rajaavat aikavälin, jolloin Tornionjoen (harmaat pystyviivat) ja Simojoen (mustat pystyviivat) vaelluspoikasten kokonaissaalis on ollut 25-75 %.



**Kuva 7.** Tornionjoen, Simojoen ja Iijoen päivittäiset virtaamakeskiarvot (Q) välillä 1.4.-31.7. sekä päivittäiset keskimääräiset vaelluspoikasten osuudet (%) kokonaissaaliista Tornionjoen ja Simojoen smolttiryssä vuosina 2000-2014.

#### 4.2.2. Kollaja-hanke vs. vaelluspoikasten alasvaellus

Iijoella lohien vaelluspoikasten alasvaellus ajoittuisi arvioiden mukaan kevätkesään (ks. 4.3.1), ajankohtaan jolloin Kollajan YVA-selostuksen mukaan Kollajan tekojärveä vielä täytetään ja suurin osa Iijoen pääuoman virtaamasta ohjautuu tekojärveen (ks. kuva 2). Samaan aikaan Kipinän luonnonuomaan ohjautuisi minimissään vain 50 m<sup>3</sup>/s virtaama, tavanomaisina vesivuosina toki tätä enemmän. Virtaamajakojen perusteella Iijoen pääuomaa alasvaeltavien smolttien pääasiallisesti vaellusreitiksi muodostuisi todennäköisesti tekojärven ja Kollajan voimalaitoksen läpi kulkeva reitti. Vastaavasti YVA-selostuksen mukaan käytännössä kaikki Livojoen vesi ohjataan Aittojärven kautta Kollajan tekojärveen vuoden ympäri, johtaen Livojoesta alasvaeltavat smoltit tekojärven kautta kulkevalle alasvaellusreitille.

Kollajan tekojärven hidaskvirtausnopeus (kesäajan virtausnopeudet 2-7 mm/s) ja tekojärveen tulevan päävirtauksen jakautuminen kahtia (osa poistokanavaa kohti ja osa kiertää tekojärven syvännealueen kautta, Pohjolan Voima 2009) vaikuttavat kumpikin vaellusta hidastavasti ja mahdollisesti jopa pysäyttäisivät alasvaelluksen kokonaan. Smolttien selviytymisen on havaittu olevan erittäin heikko tanskalaisella tekojärvellä (pinta-ala 534 ha, syvyys <8m), missä radiotelemetriatutkimuksen perusteella kuolleisuuden arvioitiin olevan lähes 90 % (Jepsen ym. 1998). Suurimmiksi ongelmiksi muodostuivat smolttien hidaskvaellus sekä harhaileminen vaellusreittiä etsiessä, mitkä johtivat lopulta predaatioon. Myös muissa tutkimuksissa vaelluksen hidastumisen on havaittu lisäävän predaatiokuolevuutta selvästi (Ward ym. 1995, Olsson ym. 2001). Etenkin hauki aiheuttaa suuria smolttivaellustappioita hidaskvirtaisilla jokiosuuksilla ja patoaltailla (Jepsen ym. 1998; Olsson ym. 2001; Kekäläinen ym. 2008). Esimerkiksi em. tanskalaisella tekojärvellä hauen arvioitiin aiheuttaneen 56 % smolttien kuolleisuudesta (Jepsen ym. 1998).

**Vaelluspoikasten joutuminen Kollajan tekojärven reitille (tekojärvi + 6 voimalaa) vaikeuttaisi entisestään jo nykyisinkin (5 voimalaa) hankalaa alasvaellusyhteyttä.** Iijoella tehtyjen vaelluspoikastutkimusten perusteella smolttien selviytyminen nykyisen viiden voimalan läpi on erittäin heikkoa (Huusko ym. 2012). Iijoen vaelluskalakantojen elvyttämisen kannalta keskeisen tärkeäksi toimenpiteeksi nouseekin smolttien alasvaelluskuolleisuuden minimointi ja vaellusyhteyksien varmistaminen.

Kollaja-hankkeeseen liittyen keskiössä on vaelluspoikasten pääsyn estäminen/minimoiminen Kollajan tekoaltaaseen.

#### 4.2.3. Ratkaisuvaihtoehdot vaelluspoikasten alasvaelluksen varmistamiseksi

Vaelluspoikasten alasvaellus suunnitellun Kollajan tekojärven ja voimalaitoksen kautta tulee hidastamaan vaellusta ja heikentämään eloonjäätymiä. Alasvaellus tekojärven kautta on käytännössä hyvin vaikeaa saada toimimaan, joten Lijoen pääuoman smolttien vaellus tulisi suunnitella ja toteuttaa siten, että smoltit valitsisivat vaellusreitikseen Lijoen luonnonuoman. Livojoen osalta tarvitaan muita ratkaisuja, sillä poikaset päätyisivät kokonaisuudessaan tekojärveen johtavalla reitillä. Alla on listattuna ja lyhyesti selitettynä ratkaisuvaihtoehtoja smolttien alasvaellukseen liittyvien haittojen ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi. Tässä yhteydessä näitä vaihtoehtoja ja toimintamalleja ei aseteta paremmuusjärjestykseen.

- **Lijoen pääuoman vaelluspoikasten ohjaaminen Lijoen luonnonuoman kautta**

*Varmimmin vaelluspoikasten ohjaaminen tekojärven kiertävälle reitille (Lijoen luonnonuoma) voidaan toteuttaa juoksuuomalla suurin osa vedestä smolttien vaellusaikaan touko-kesäkuussa (ks. Kappale 4.2.1.) Lijoen luonnonuoman kautta. Tämä on ainoa varmasti toimiva malli vaelluspoikasten ohjaamiseksi toivotulle reitille. Vaihtoehtoisesti tai täydentävänä toimenpiteenä Lijoen pääuomasta tekojärveen johtavan reitin yläpään (Aitto-ojan/Aittojärven kanava) yhteyteen voitaisiin asentaa rakenne, joka fyysisesti estäisi smolttien pääsyn Kollajan tekojärveen ja ohjaisi ne Lijoen luonnonuomaan. Vaadittavien esto- ja ohjausrakenteiden käytöstä ja asentamisesta ei kuitenkaan ole Suomessa kokemuksia, joten rakenteiden suunnitteluun tarvittaisiin välttämättä kansainvälistä osaamista ja riittäviä pilottitutkimuksia.*

- **Lijoen pääuoman vaelluspoikasten pyydystäminen ja kuljettaminen jokisuulle**

*Mikäli vaelluspoikasten ohjaaminen Kollajan tekojärven kiertävälle reitille (Lijoen luonnonuoma) ei onnistu, voidaan harkita vaelluspoikasten pyydystämistä ja kuljettamista Kollajan alueen ohi. Vaelluspoikasten pyydystäminen voitaisiin tehdä joko Lijoen pääuomassa tai vasta Kollajan tekojärveen johtavassa Aitto-ojan/Aittojärven kanavassa esim. erilaisilla rysäpyydyksillä tai uusilla tarkoitusta varten kehitettävillä ohjaus-pyydyksirakenteilla. Vaelluspoikasten kuljetus olisi kannattavinta tehdä jokisuulle saakka, sillä jo nykyisin olemassa olevat viisi Lijoen voimalaitosta heikentävät smolttien selviytymistä suuresti. Pyydystämistä ja kuljetusta suunniteltaessa on kuitenkin huomioitava, että vaelluspoikaset ovat varsin herkkiä käsittelylle. Lisäksi poikasten tehokas pyydystäminen kevätkesällä vallitsevien suurien virtaamien aikaan on erittäin haastavaa. Pyydystys-kuljetus -menetelmän käyttöönotto edellyttäisi siten riittävän laajoja pilottitutkimuksia ja toiminnan tuloksellisuuden aktiivista seuranta.*

- **Kollajan tekojärven voimalaitoksen maksimaalinen käyttö vaellusaikaan ja alasvaellusreitti voimalaitoksen yhteyteen**

*Kollajan tekojärveen joutuneiden vaelluspoikasten selviytymistä ja vaelluksen jatkumista voitaisiin edistää juoksuuomalla uuden voimalan kautta jatkuvasti vettä vaellusaikana, jolloin veden virtaus tekojärvestä voisi ohjata smoltteja oikeaan suuntaan. Kollajan voimalaitoksella (yläkanavan predatio, turbiinikuolleisuus) tapahtuvaa kuolleisuutta voitaisiin todennäköisesti vähentää rakentamalla voimalaitoksen yhteyteen alasvaellusreitti ohjausrakenteineen. Alasvaellusreiteistä ja niiden vaatimista ohjausrakenteista ei kuitenkaan ole Suomessa toistaiseksi kokemuksia.*

- **Livojoen vaelluspoikasten pyydystäminen ja kuljettaminen jokisuulle**

*Lijoen pääuoman vaelluspoikasten ohella myös Livojoen vaelluspoikaset voitaisiin pyydystää ylempää Livojoelta tai Kollajaan johtavan kanavan yläosista (täyttökanaava) ja kuljettaa ne jokisuulle. Näin ne*

välttäisivät joutumisen Kollajan tekojärveen johtavalle vaellusreitille. Tähän menetelmään liittyvät kuitenkin samat epävarmuudet kuin lijoen pääuoman smolttien pyydystämiseen ja kuljettamiseen. Livojoen pienemmästä koosta johtuen vaelluspoikasten pyynti saattaisi kuitenkin olla helpommin ja tehokkaammin järjestettävissä.

- **Livojoen vaelluspoikasten ohjaaminen uuden vaellusväylän kautta lijoen pääuomaan**

*Livojoella vaellusyhteyksien ratkaisu voisi olla kalatie/vaellusväylä, joka toimisi nousukalojen lisäksi alasvaeltavien smolttien vaellusreitinä. Vaellusväylä, käytännössä uusi jokiuoma, rakennettaisiin Livojoelta Kiiskikankaan läpi lijoen pääuomaan lähelle nykyistä Livojokisuuta. Verraten suurenkaan vesimäärän juoksutus ko. uoman kautta ei estäisi tekojärven täyttöä keväällä, vaikka se voisikin al-  
taan täyttöaikaa jonkin verran pidentää. Tällaisen uuden jokiuoman tehoa smolttien alasvaellusreit-  
tinä voitaisiin tehostaa rakentamalla ohjausrakenne Livojokeen, jolla smoltit ohjattaisiin Livojoesta  
uuden uoman puolelle. Tämä ratkaisu edellyttäisi kuitenkin sitä, että lijoen pääuomaan laskeuduttu-  
aan smoltit eivät missään tapauksessa ohjautuisi pääuomasta tekojärveen johtavalle reitille.*

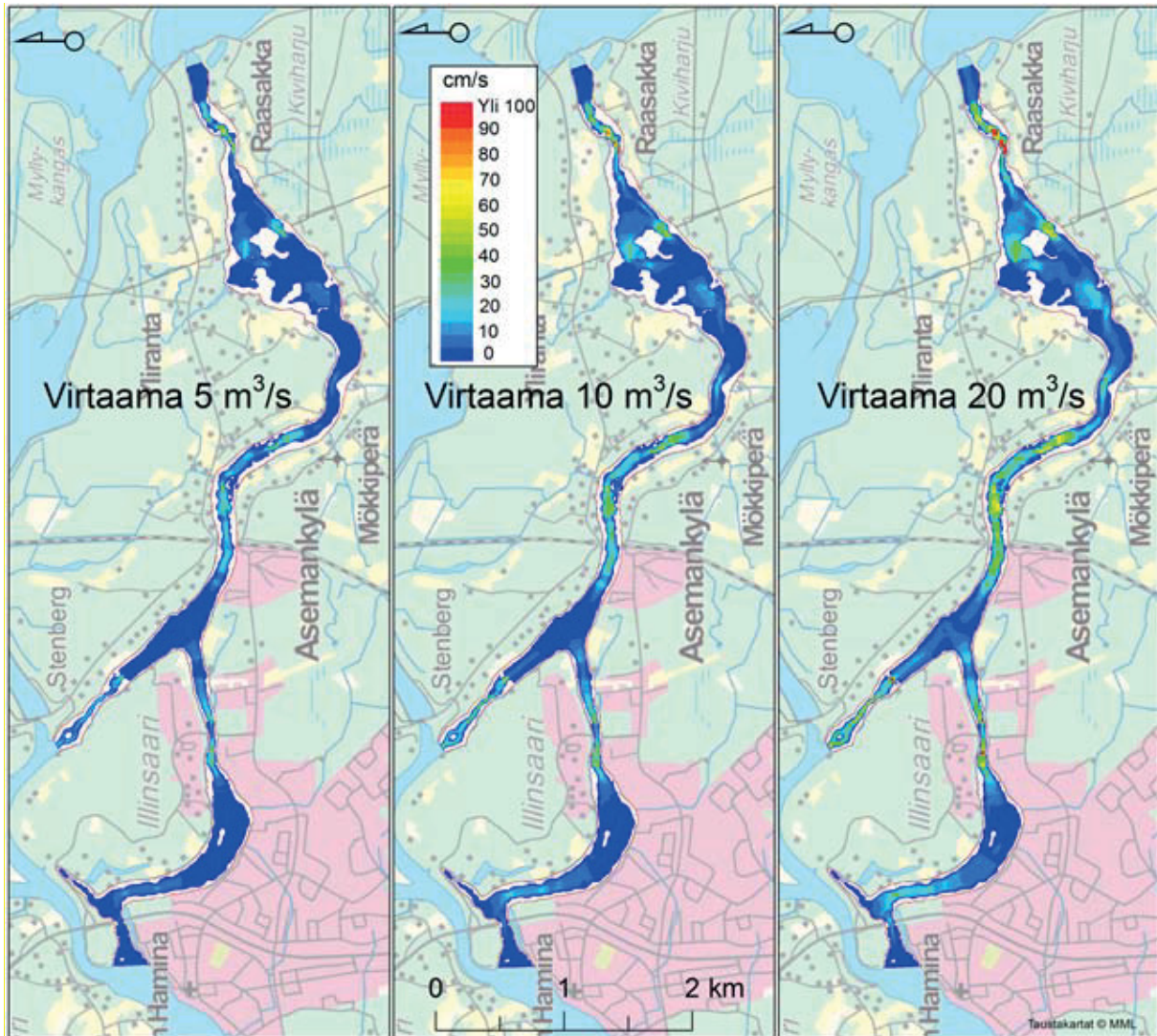
### 4.3. Lisääntyminen ja poikastuotantoalueet

Kollaja-hankkeen mahdollisesta toteuttamisesta lijoen lohen palauttamiselle aiheutuvia haittavaiku-  
tuksia voidaan kompensoida luomalla uusia kutu- ja poikastuotantoalueita. Potentiaalisin uusi  
elinympäristö lohelle (ja muillekin vaelluskaloille) olisi Raasakan vanha uoma (kuvat 8-9). Kunnosta-  
malla ja muokkaamalla (pohjapatojen poisto/muokaus, uomakunnostukset) vanhaa uomaa sekä  
johtamalla sinne selvästi nykyistä enemmän vettä, pystyttäisiin luomaan vaelluskaloille elinympäris-  
tö, jonne päästäkseen kalojen ei tarvitsisi ohittaa yhtään patoa. Vastaavasti myös vaelluspoikaset  
selviäisivät mereisille syönnösalueilleen ilman voimalaitoksien ja patoaltaiden ohittamista.

Raasakan vanhan uoman potentiaalisten kutu- ja poikastuotantoalueiden laajuuden selvittämi-  
seksi ja tarvittavan virtaaman arvioimiseksi tehtiin alueesta alustava virtausmallinnus River2D-  
ohjelmalla (<http://www.river2d.ca>). Virtausmallinnus on suuntaa antava, koska se ei perustu tarkkoi-  
hin mittauksiin pohjan topografiasta ja vedenpintojen tasoista, eikä mallia kalibroitu maastohavain-  
noilla (virrannopeus, syvyys). Uoman topografia saatiin alueesta ennen voimalaitosrakentamista teh-  
dyistä kartoista. Luonnontilasta poiketen virtausmalliin jätettiin Uiskarinkosken pohjapato, jotta vesi  
ohjautuisi paremmin Illinsaaren eteläpuolelta (kuva 8).

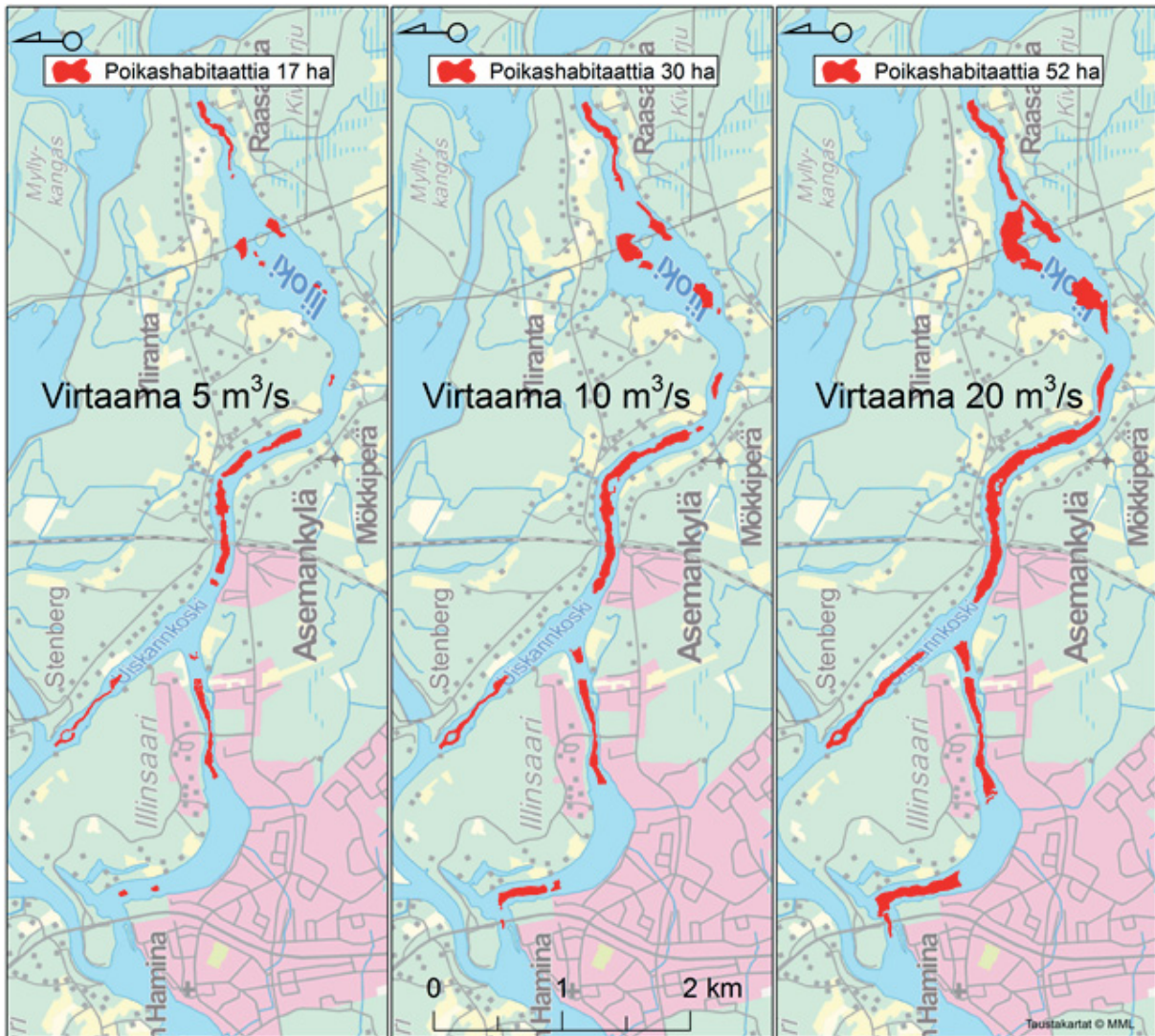
Virtausmallin antaman kuvan perusteella jo viiden kuution virtaamalla saataisiin kohtalaisen pal-  
jon virta-alueita, mutta virtaaman kasvaessa virta-alueiden laajuus kasvaa nopeasti ja lohelle hyvin  
sopivaa voimakkaammin virtaavaa habitaattia alkaa muodostumaan (kuva 8).





**Kuva 8.** Virrannopeuksien jakautuminen kolmella eri virtaamalla (5, 10, 20 m<sup>3</sup>/s) Raasakan vanhassa uomassa karkean 2D-virtausmallinnuksen perusteella.

Kun rajataan lohien poikasille sopivat alueet siten, että vain virrannopeudeltaan yli 10 cm/s olevat alueet otetaan huomioon, muodostuu Raasakan vanhaan uomaan tällaisia lohelle soveltuvia poika-  
tuotantoalueita karkeasti 17-52 hehtaaria virtaaman määrästä riippuen (kuva 9).



**Kuva 9.** Raasakan vanhaan uomaan kunnostuksilla ja vesityksillä saatavat lohen poikastuotantoalueet kolmella eri virtaamalla (5, 10, 20 m<sup>3</sup>/s) 2D-virtausmallinnuksen perusteella. Poikasalueeksi määritellyn alueen virranopeus on yli 10 cm/s.

**Raasakan vanhan uoman poikastuotantoalueiden merkitys lijoen vaelluskalakantojen elvyttämispyrkimyksille olisi poikkeuksellisen suuri,** koska alue sijaitsee voimalaitospatojen alapuolella aivan merialueen tuntumassa. Näin ollen sinne kudulle vaeltavien ja toisaalta sieltä mereen laskeutuvien kalojen ei tarvitsisi ohittaa yhtään voimalaitosta tai patoallasta. Tältä alueelta merelle syönnösvaellukselle selviytyvien smolttien lukumäärä voisi olla jopa suurempi kuin Livojoen ja Kipinän koskialueita yhteensä (taulukko 3). Mikäli Raasakan uoma vesitettäisiin 20 m<sup>3</sup>/s virtaamalla, se voisi teoreettisesti tuottaa 23 % koko lijoen vesistön smolttituotannosta, kun otetaan huomioon voimalaitoksilla ja patoaltaissa tapahtuvan kuolevuuden puuttuminen.

Vanhaa uomaa voitaisiin kutu- ja poikastuotantoalueen lisäksi käyttää myös kalatienä Raasakan voimalaitoksen ohittamiseksi. Kalatieoptiossa tarvittaisiin lyhyehkö tekninen/luonnonmukainen kalatie Raasakan säännöstelypadon yhteyteen (putouskorkeus n. 8 m). Vastaavasti vanhaan uomaan johdettavasta vedestä voitaisiin ottaa energiahyöty talteen säännöstelypadon yhteyteen rakennettavalla turbiinilla/turbiineilla.

Raasakan vanhan uoman käyttöönotto vaelluskalatuotantoon ei ole ongelmattonta, sillä vanhaa uomaa käytetään myös ohijuoksutusuomana. Tämä tarkoittaa ajoittain tulva-aikoina hyvinkin voimakkaita virtaamia vanhan uoman kautta, jolla puolestaan voi olla negatiivisia vaikutuksia vaellus-

kalojen elinympäristöön ja selviytymiseen. Pahimmillaan voimakkaat ohijuoksutukset voivat esim. huuhtoa kutusoraikkoja mukanaan. Näitä ongelmia voidaan kuitenkin minimoida hyvällä etukäteissuunnittelulla ja vanhan uoman ylläpidolla. Toisaalta myös Kollajan allas tulisi todennäköisesti vähentämään lijoen maksimaalisia tulvavirtaamia ja siten ohijuoksutuksia Raasakan vanhaan uomaan, tuki- en mahdollisuutta hyödyntää uoma vaelluskalatuoannossa.

**Taulukko 3.** Arvioituja lohen smolttituotantopotentiaaleja lijoen vesistön eri osista. Lijoen alueen teoreettisena smolttituotantokapasiteettina on tässä yhteydessä käytetty 460 vaelluspoikasta hehtaarilta Tornionjoen uusia tutkimusaineiston perusteella (ICES 2014). Koko vesistön, Livojoen vesistön ja Kipinän alueen poikastuotantopinta-alat perustuvat Metsähallituksen tekemiin lohen poikastuotantoaluekartoituksiin. Raasakan vanhan uomat pinta-alat perustuvat tätä työtä varten tehtyihin 2D-virtausmallinnuksiin (ks. kuva 9). Voimaloiden yläpuolen ja lijojen selviytyneiden smolttien määrät on arvioitu populaatiomallinnuksen (skenaario A) perusteella koko lijoen, Livojoen ja Kipinän alueen osalta.

Jokialue	Poikastuotanto- pinta-ala (ha)	Smolttituotan- tokapasiteetti (kpl)	Smolttituotanto <b>voimaloiden</b> <b>yläpuolella</b>	Smolttien määrä <b>lijokisuulla</b>
Koko lijoki	866	398360	220000	105000
Livojoki ja sen sivujoet <sup>1</sup>	113	51980	28707	13701
Kipinän alue <sup>2</sup>	71	32660	18037	8609
Raasakan vanha uoma, 5 m <sup>3</sup> /s (ha)	17	7820		7820
Raasakan vanha uoma, 10 m <sup>3</sup> /s (ha)	30	13800		13800
Raasakan vanha uoma, 20 m <sup>3</sup> /s (ha)	52	23920		23920

<sup>1</sup>= Livojoen vesistön osuus lijoen poikastuotantopinta-alasta 13,1 %

<sup>2</sup>= Kipinän alueen osuus lijoen poikastuotantopinta-alasta 8,2 %

#### 4.4. Veden laadun muutokset

Kollajan tekojärven mahdollisella rakentamisella olisi vaikutuksia myös lijoen veden laatuun. Tekojärven tilan sukkessiokehityksessä on erotettu kolme vaihetta: patoamisen alkuvaihe, eroosiovaihe ja tasapainovaihe (Vogt 1978). Patoamisen alkuvaihe kestää 2-5 vuotta ja sitä luonnehtii voimakas tuotanto kaikilla trofiatasoilla maaperän orgaanisen aineksen hajotessa ja ravinteiden liuetessa veteen. Vuosikymmeniä kestävässä eroosiovaiheessa hienojakoista orgaanista ja epäorgaanista ainesta huuhtoutuu esim. avoimilta saarten rannoilta ja kulkeutuu syvänteisiin tai suojaisiin lahdenpoukamisiin. Lopulta tasapainovaiheessa pohjasedimentti eristää turvepohjan vesifaasista, jolloin tekojärvi ei juuri poikkeaa yhtä voimakkaasti säännöstelystä luonnonjärvestä.

Suomalaisten tekojärvien vesi on yleensä humuspitoista, hapanta ja heikosti puskuroitua (Vogt 1978). Maalis-huhtikuulla erot luonnonjärviin ovat suurimmillaan: tekoaltaiden pH ja happipitoisuus ovat pienempiä, mutta kemiallinen hapentarve, kiintoaine, kokonaisfosfori, kokonaistyyppi, rauta ja väri suurempia kuin järvissä (Kenttämies 1980). Suuri orgaanisen aineksen määrä keskisyvydeltään matalissa tekojärvissä aiheuttaa helposti happipitoisuuden heikkenemisen syvänteissä ja pahimmillaan koko vesimassassa. Happitilanne on heikko varsinkin ensimmäisinä vuosina patoamisen jälkeen, jolloin helposti hajoavaa orgaanista materiaalia on eniten (Kortelainen ym. 1986). Hapen kulutus suopohjalle tehdyillä tekojärvillä on erityisen suuri (Hellsten & Väisänen 1998). Kollajan tekojärven maaperästä on suopohjaa 75 % (Pohjolan Voima 2009).

Kollajan altaan ensimmäisenä täyttövuonna erityisesti väri, sameus, kiintoaine ja kemiallisen hapen kulutuksen arvot voivat nousta suuriksi, esim. kiintoainetta 20-30 mg/l ja väriarvo 200-300 mg Pt/l (YVA-selostus, Pohjolan Voima 2009). Noin 3-4 vuodessa kiintoaineen määrän arvioidaan laske-

van tasolle 2-3 mg/l ja väriarvon tasolle 80-100 mgPt/l. Iijoen väriarvot ovat tällä hetkellä keskimäärin 50-70 mgPt/l (Pohjolan Voima 2009).

Kollajan altaan fosforipitoisuustasot vaihtoehdossa VE 1 (YVA-selostus, Pohjolan Voima 2009) ovat mallilaskelmien mukaan täytön jälkeisinä vuosina avovesikaudella tasoa 30-40 µg/l. Myöhemmin fosforipitoisuudet alenevat ja alueelliset erot pienenevät, jolloin kesäaikana fosforipitoisuudet ovat mallilaskelmien mukaan tasoa 25-35 µg/l. Typen osalta aihtoehdossa VE 1 malli ennustaa tekojärven pitoisuudeksi alkuvuosina 400-500 µg/l, myöhemmin pitoisuudet hieman laskevat. Keskimääräisenä vesivuonna kesäaikana tekojärven typpipitoisuuksien arvioidaan asettuvan tasolle 400-450 µg/l (Pohjolan Voima 2009).

Tekojärvestä purkautuvat vedet sekoittuvat Iijoen pääuoman virtaamiin, jolloin laskukohdan alapuolelle Iijossa syntyy sekoituspitoisuus, joka riippuu virtaamien ja pitoisuuksien suhteista. Luonnonuomassa laskukohdan yläpuolella fosforin pitoisuus on noin 18 µg/l, joka nousee Kollajan vaikutuksesta pitoisuuteen 21,5 µg/l (Pohjolan Voima 2009). Tekojärven alkuvuosina (1-3 vuotta) tekojärven alapuolisessa Iijossa fosforipitoisuudet nousevat jokiuoman muut lisävedet huomioiden keskimääräisenä vuotena noin 8 µg/l ja jokisuulla noin 7 µg/l. Heinä-elokuussa, joka vesistövaikutusten kannalta on merkityksellisin aika, vaikutus on alkuvuosina Iijoen alaosalla keskimääräisissä vesiolloissa 5-6 µg/l. Myöhemmin vuosina (4-15 vuotta) vaikutukset vähenevät, ja vastaava lisäys Iijokisuulla on heinä-elokuussa luokkaa 3 µg/l.

Typpipitoisuudet nousevat alkuvuosina tekojärven alapuolisessa Iijossa mallilaskelmien mukaan noin 30-40 µg/l ja Iijokisuulla 20-30 µg/l. Iijoen keskimääräinen typpipitoisuus on ollut 2000-luvulla Haapakosken kohdalla 339 µg/l ja Raasakan kohdalla 416 µg/l (Pohjolan Voima 2009).

Raasakan vanhassa uomassa kokonaisfosforipitoisuus kasvaa Kollajan rakentamisen myötä jaksolla 4-15 vuotta rakentamisen jälkeen keskikesällä keskimääräisenä vesivuonna noin 3 µg/l ja typpipitoisuus noin 30 µg/l, mikä tarkoittaa Kollajan rakentamisen jälkeen pitoisuustasoa noin 24 µg P/l ja 480 µg N/l (Pohjolan Voima 2009).

#### 4.4.1. Veden laadun vaikutus vaelluskalojen palauttamiseen

Iijoen pääuoman lievä rehevöityminen Kollajan altaan alapuolisella jokiosuudella saattaa jonkin verran haitata vaelluskalojen palauttamispyrkimyksiä. Varsinkin ensimmäisinä vuosina Kollajan rakentamisen jälkeen on mahdollista, että veden laadun muutokset heikentävät vaelluskalojen hakeutumista Iijokeen (Pohjolan Voima 2009). Lohi ja taimen ovat veden laadun suhteen kohtalaisen vaateliaita lajeja ja tarvitsevat puhtaita kutusoraikkoja lisääntymiseen. Raasakan luonnonuomassa lievä rehevöityminen ja siihen liittyvä perifytonkasvuston lisäys (Pohjolan Voima 2009) saattavat heikentää kutusoraikkojen laatua. Lisäksi Kollajan altaan kiintoainekuormitus saattaa ainakin rakentamisen jälkeisinä vuosina (1-3) vaikuttaa Raasakan luonnonuomassa varsinkin kesäkuussa, kun joen virtaama nopeasti pienennetään. Iijoen alaosan padotulla jokijaksolla Kollajan altaan aiheuttamalla veden laadun muutoksella ei liene merkittävää vaikutusta vaeltaville aikuisille lohikaloille tai vaelluspoikasille.

Osa Pudasjärven yläpuolelta kohti merta lähtevistä lohen tai taimenen vaelluspoikasista tulee kulkeutumaan Kollajan altaan kautta (Pohjolan Voima 2009). Tekoaltaan veden laatu ja happipitoisuus lienevät riittävän hyvällä tasolla smolttien vaellukselle touko-kesäkuussa. Toisaalta Kollajan altaan veden rehevyys edesauttaa runsaan haukikannan syntyä. Hauen ja ehkä myös mateen saalistus tulee arvattavasti verottamaan merkittävän osan Kollajan altaan läpi kulkeutuvista lohikalojen vaelluspoikasista.

## 5. Populaatiomallinnustulokset - lohikantojen elvyttämisen tulevaisuuskenaariot suhteessa Kollaja-hankkeeseen

Kollaja-hankkeen vaikutusta lohikantaan mallinnettiin (skenaariot B-I) siten, että smolttien alasvaelluskuolevuutta suurennettiin potentiaaliseen nykytilaan (skenaario A) nähden niiden smolttien osalta, jotka joutuvat alasvaelluksen yhteydessä Kollajan tekoaltaaseen. **Potentiaalinen lähtötila eli skenaario A perustuu taulukoissa 1 ja 2 (lohimalli 2015) esitettyihin oletuksiin ja kuolevuuksiin. Potentiaalisen lähtötilan keskeisiä oletuksia ovat, että lijoen alajuoksun viidessä voimalaitoksessa on toimivat kalatiet ja alasvaellusrakenteet. Lisäksi käytössä ovat jokipoikasistutukset (400 000 kpl 1-v, ensimmäiset 15 vuotta) ja ylisirrot (800 kpl, ensimmäiset 10 vuotta).**

**Kaikissa Kollaja-skenaarioissa Livojoen osuus lijoen smolttituotantokapasiteetista vähennettiin kokonaan pois.** Livojoen vesistön osuus koko lijoen alueen poikastuotannosta arvioitiin olevan 9,6 %. Edellä kerrotuin (ks. luku 4) rakenne- ja tukitoimivaihtoehtojen avulla Livojoen poikastuotantoa voitaisiin kuitenkin ainakin osittain ylläpitää.

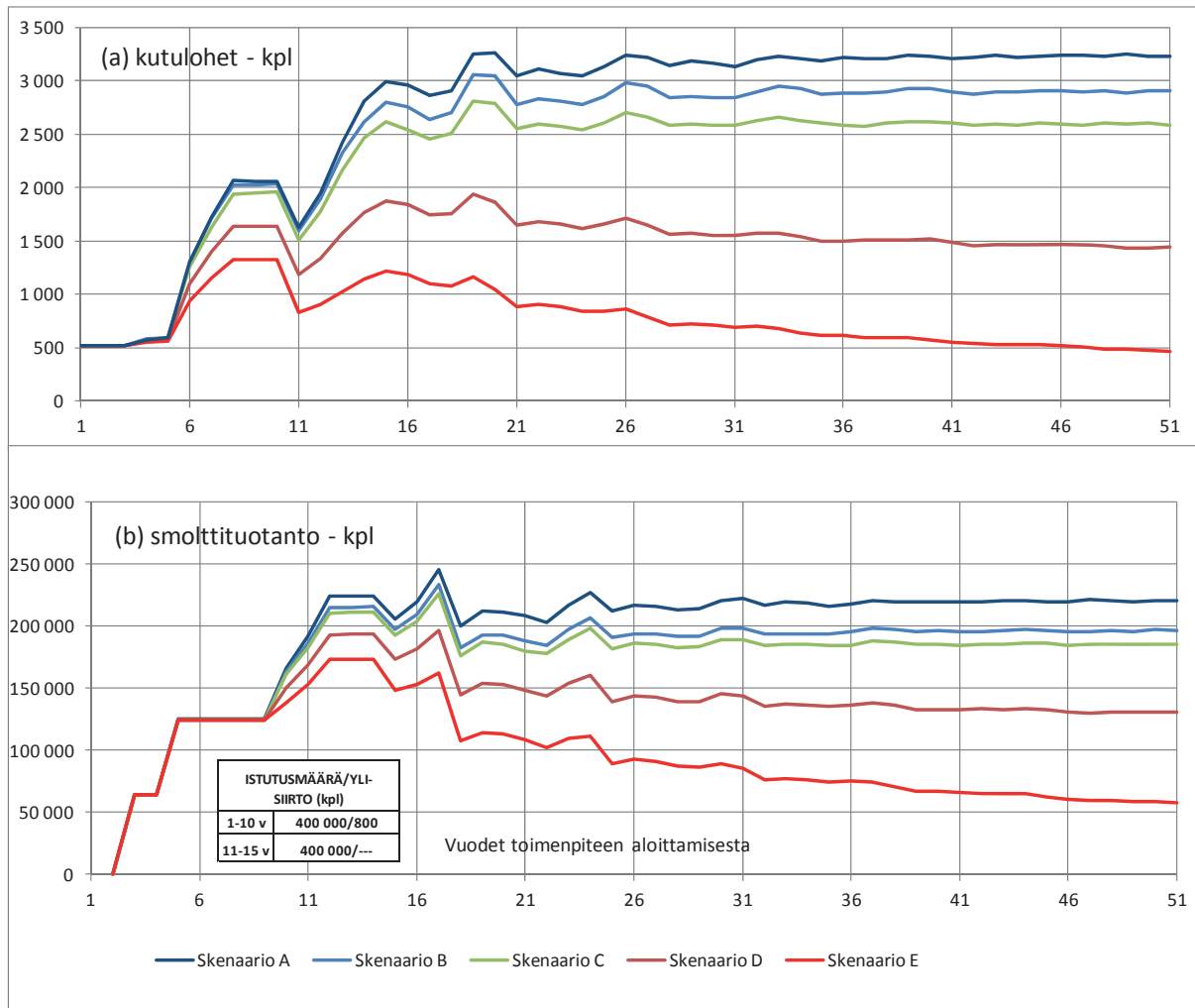
Kollajan tekoaltaaseen joutuvien smolttien lisäkuolevuudeksi arvioitiin 40-80 %, ja näin sinne päätyvien smolttien alasvaelluksen kokonaiskuolevuudeksi saatiin 58-96 %, kun se Kollajan tekoaltaan ohittavilla smolteilla oli 30-80 % (skenaario A). Alasvaellukseen liittyviä skenaarioita tehtiin kahdella toisistaan poikkeavalla tavalla (luvut 5.1. ja 5.2.), jonka lisäksi tehtiin vielä ns. tukistutuskenaario (luku 5.3.)

### 5.1. Alasvaelluskenaariot 1

Populaatiomallilla tehtiin neljä erilaista skenaariota siten, että Kollajan tekoaltaaseen joutuvien smolttien osuutta vaihdeltiin. Kussakin skenaariossa (B-E) smolttien joutuminen Kollajan tekoaltaaseen pidettiin kuitenkin samansuuruisena koko skenaarion aikajakson (50 v) ajan. Skenaarioiden B-E tuloksia verrattiin lijoen potentiaaliseen lähtötilaan, eli skenaarioon A, jonka oletukset on selitetty luvussa 5. Mallinnetut skenaariot (A-E) olivat (kuva 10):

- Skenaario A: lijoen potentiaalinen lähtötila ilman Kollajaa (ks. luku 3.2. ja 5)
- Skenaario B: Kaikki smolttit ohittavat Kollajan tekoaltaan Kipinän kautta.
- Skenaario C: Kollajan yläpuolen smolteista 10 % joutuu tekojärveen.
- Skenaario D: Kollajan yläpuolen smolteista 50 % joutuu tekojärveen.
- Skenaario E: Kollajan yläpuolen smolteista 90 % joutuu tekojärveen.

Valittujen tulevaisuuskenaarioiden ja niiden taustaoletusten perusteella lijoen lohikantojen ylläpitäminen edellyttää, että suurin osa lijoen pääuoman vaelluspoikasista hakeutuu tai ohjataan Kollajan tekojärven kiertävälle reitille lijoen luonnonuomaan (kuva 10). Kutulohien määrä ja smolttituotanto leikkautuvat merkittävästi jo tilanteessa, jossa 50 % smolteista (skenaario D) joutuu vuosittain Kollajan tekojärven alasvaellusreitille (kuva 10). Vastaavasti skenaarioissa D-E sekä kutukanta että smolttituotanto laskevat koko tarkastelujakson (50 v) ajan, kun taas skenaarioissa B-C kanta saavuttaa tasapainotilan pitkällä aikajaksolla (kuva 10).

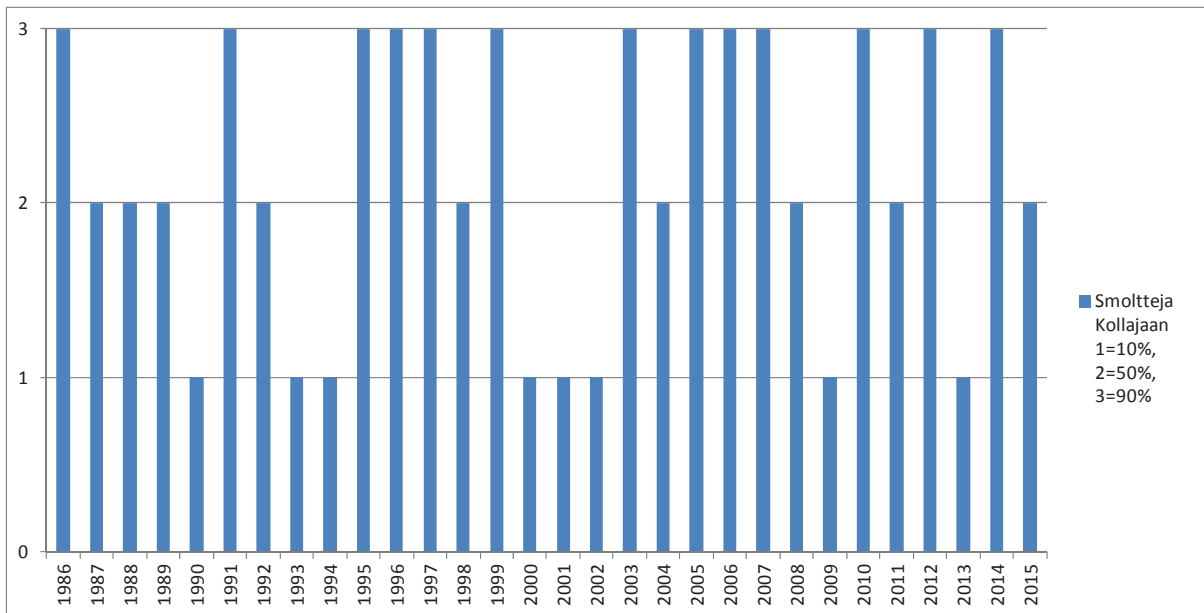


**Kuva 10.** lijoen lohikannan kehitys neljässä eri skenaariossa (skenaariot B-E), joissa smolttien joutuminen Kollajan altaaseen on erilainen. Vertailuna skenaario A (potentiaalinen lähtötila ilman Kollajaa). Käyrät ovat skenaarioiden mediaaneja.

## 5.2. Alasvaellusskenaariot 2

Smolttien joutuminen (osuus) Kollajan tekoaltaaseen todennäköisesti vaihtelisi vuosittain, joten yllä esitetyt skenaariot B-E (kuva 10) ovat yksinkertaistuksia ko. ilmiöstä ja sen vaikutuksesta lijoen lohikannan kehittymiseen. Asiaa voidaan kuitenkin tarkastella siten, että smolttien joutumisessa tekoaltaaseen on vuosien välisiä vaihteluita. Perustuen lijoen Kurenalan (SYKE) mittauspisteen virtaamahistoriaan (data vuosilta 1986-2015) oletettuna smolttien alasvaellusaikana (15.5.-15.6.), voidaan smolttien joutumista Kollajan tekoaltaaseen arvioida esimerkiksi seuraavasti (kuva 11):

- Jos kevättulva ajoittuu selvästi ennen smolttien alasvaellusajankohtaa, joutuu tekoaltaaseen verraten vähän smoltteja, koska tällöin lijoen luonnonuoman kautta menee suurempi osa (tai kaikki) vedestä kuin altaan kautta → **10 % smolteista tekoaltaaseen (hyvä eloonjänti)**
- Jos on tulvakesä, virtaamat ovat koko smolttien vaellusajan niin suuria, että allasta täytetään lähes jatkuvasti ja smoltit joutuvat osin tekojärveen → **50 % smolteista tekoaltaaseen (kohtalainen eloonjänti)**
- Jos kevättulva on pieni ja tekoallasta täytetään pitkälle kesään, smoltit joutuvat suurelta osin tekoaltaaseen → **90 % smolteista tekoaltaaseen (huono eloonjänti)**

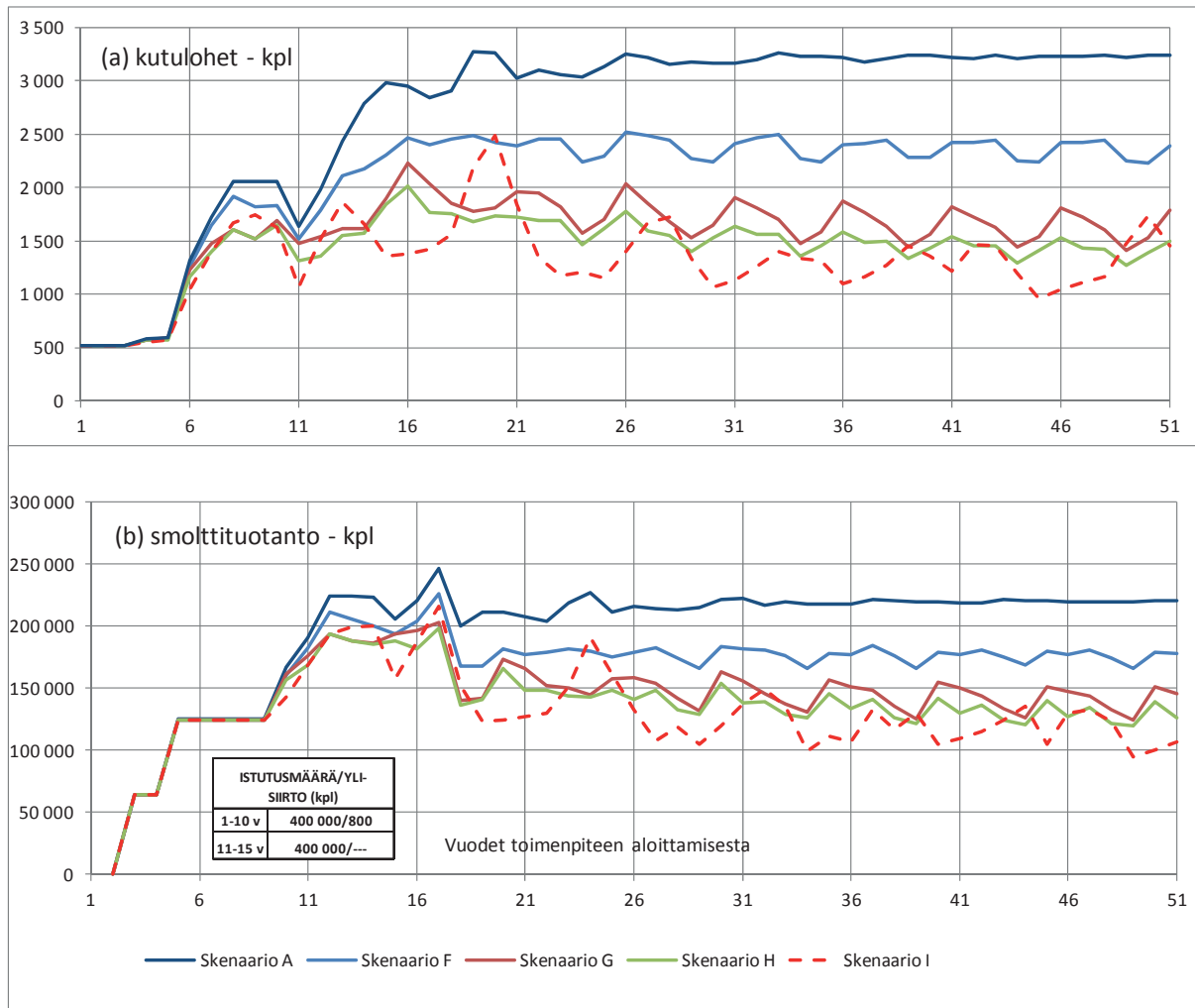


**Kuva 11.** Vuosien 1986-2015 virtaamatietojen perusteella tehty karkea arvio siitä, kuinka suuri osuus (1=10%, 2=50 %, 3=90 %) smolteista vaeltaisi suunniteltuun Kollajan tekoaltaaseen ko. vuonna esiintyneillä virtaamilla.

Kollaja-skenaariot tehtiin **viiden** vuoden virtaamajaksoilla ja laatusana "hyvä" tarkoittaa tässä yhteydessä, että vain 10 % Kollajan yläpuolelta tulevista smolteista joutuu tekojärveen, "kohtalainen" tarkoittaa, että 50 % smolteista joutuu tekojärveen ja "huono" tarkoittaa, että 90 % smolteista joutuu tekojärveen (ks. edellinen kappale). Smolttien joutumisesta Kollajan tekoaltaaseen tehtiin näillä lähtökohdilla neljä erillistä skenaariota (F-I) ja niiden tuloksia verrattiin lijojen potentiaaliseen lähtötilaan, eli skenaarioon A (kuva 12):

- Skenaario A: lijojen potentiaalinen lähtötila ilman Kollajaa (ks. luku 3.2. ja 5)
- Skenaario F: 4 hyvää ja 1 kohtalainen alasvaellusvuosi viiden vuoden jaksoissa.
- Skenaario G: 2 hyvää, 2 kohtalaista ja 1 huono alasvaellusvuosi viiden vuoden jaksoissa.
- Skenaario H: 1 hyvä, 3 kohtalaista ja 1 huono alasvaellusvuosi viiden vuoden jaksoissa.
- Skenaario I: Vuosien 1986-2015 virtaamatietojen perusteella (ks. kuva 11).

Skenaarioiden tulosten perusteella on tässäkin tapauksessa (vrt. Alasvaelluskkenaariot 1, luku 5.1.) selvää, että suurin osa vaelluspoikasista pitää pystyä ohjaamaan lijojen luonnonuoman kautta, mikäli lijojen vaelluskalakantoja pyritään elvyttämään (kuva 12). Sekä kutukanta että smolttituotanto leikkautuvat merkittävästi jo skenaariossa F, jossa kuitenkin vain yhtenä vuotena viidestä smoltteja joutuu merkittävässä määrin (50 %) Kollajan tekoaltaan kautta kulkevalle reitille (kuva 12). Vastavasti lijojen virtaamahistorian perusteella mallinnetussa skenaariossa kutukannan ja smolttituotannon leikkuri on huomattavan suuri ja johtaa pitkällä aikavälillä tuotannon asteittaiseen alenemiseen (kuva 12).



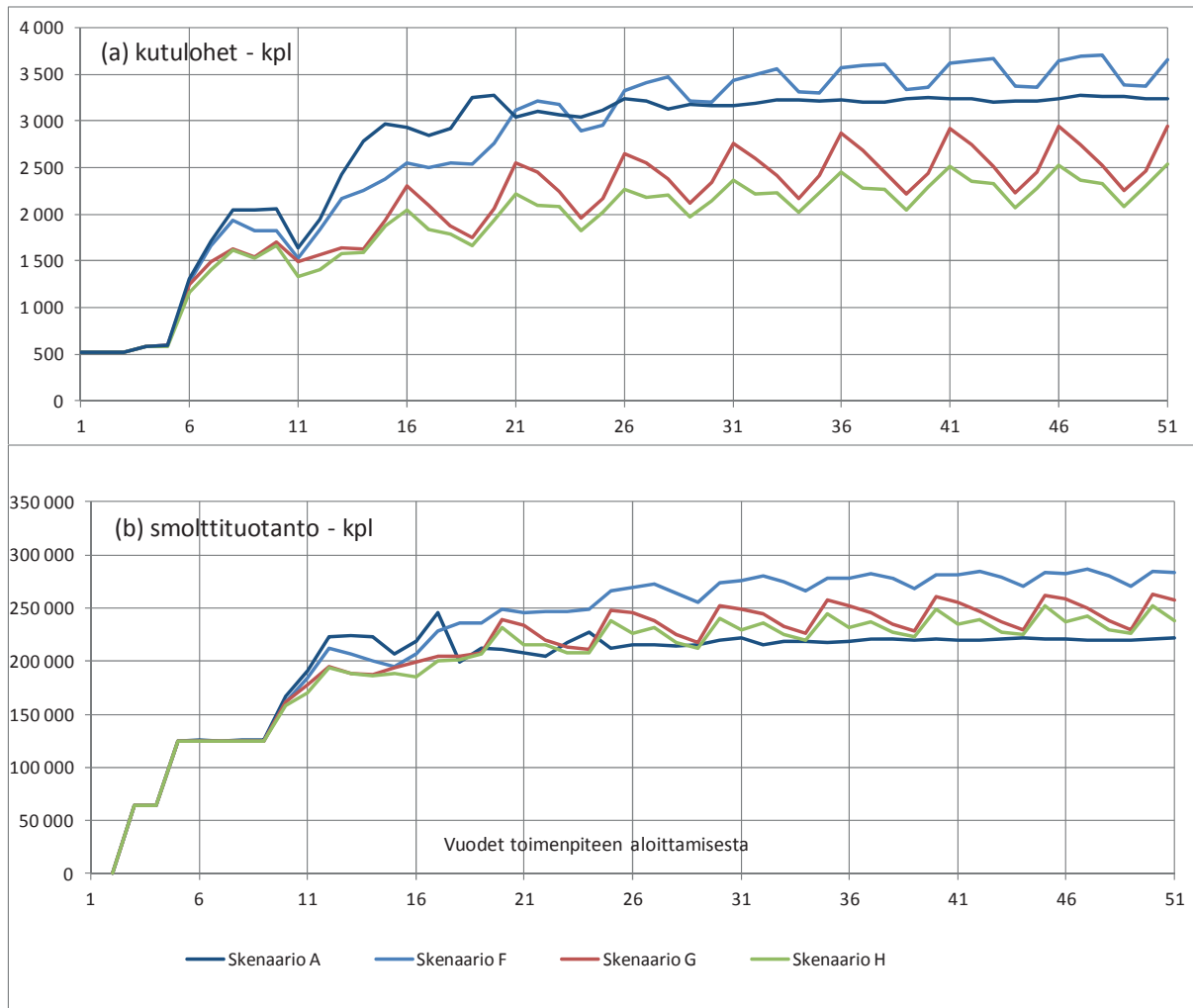
**Kuva 12.** Iijoen lohikannan kehitys neljässä eri skenaariossa (skenaariot F-I), joissa smolttien joutuminen Kollajan tekoaltaaseen vaihtelee vuosien välillä Iijoen virtaamien ja kevättulvien ajoittumisen mukaan. Vertailuna skenaario A (potentiaalinen lähtötila ilman Kollajaa). Käyrät ovat skenaarioiden mediaaneja.

### 5.3. Tuki-istutusskenaariot

Populaatiomallin (ks. Alasvaellusskenaariot 2, luku 5.2.) tulosten perusteella Kollajan tekoaltaan ja voimalaitoksen rakentaminen heikentäisi parhaassakin tapauksessa merkittävästi Iijoen lohikannan tuotantopotentiaalia ja vaatisi näin ollen jatkuvia tuki-istutuksia ja/tai muita tukitoimenpiteitä (kuva 12).

Jatkuvilla yksivuotiaiden jokipoikasten istutuksilla (400 000 kpl/v) voitaisiin osittain tai jopa suurelta osin kompensoida Kollajan rakentamisen haittavaikutuksia lohentuotannolle (kuva 13). Skenaarioissa G ja H tuki-istutusten pitäisi kuitenkin olla vieläkin suurempia, jotta jokialueelle pääsisi kutulohia yhtä paljon kuin skenaariossa A (potentiaalinen lähtötila) (kuva 13). Näissä skenaarioissa tuki-istutusten pitäisi olla 700 000-800 000 yksivuotiaista jokipoikasta vuodessa, jotta jokeen nousevien lohien määrä olisi skenaarion A tasolla.





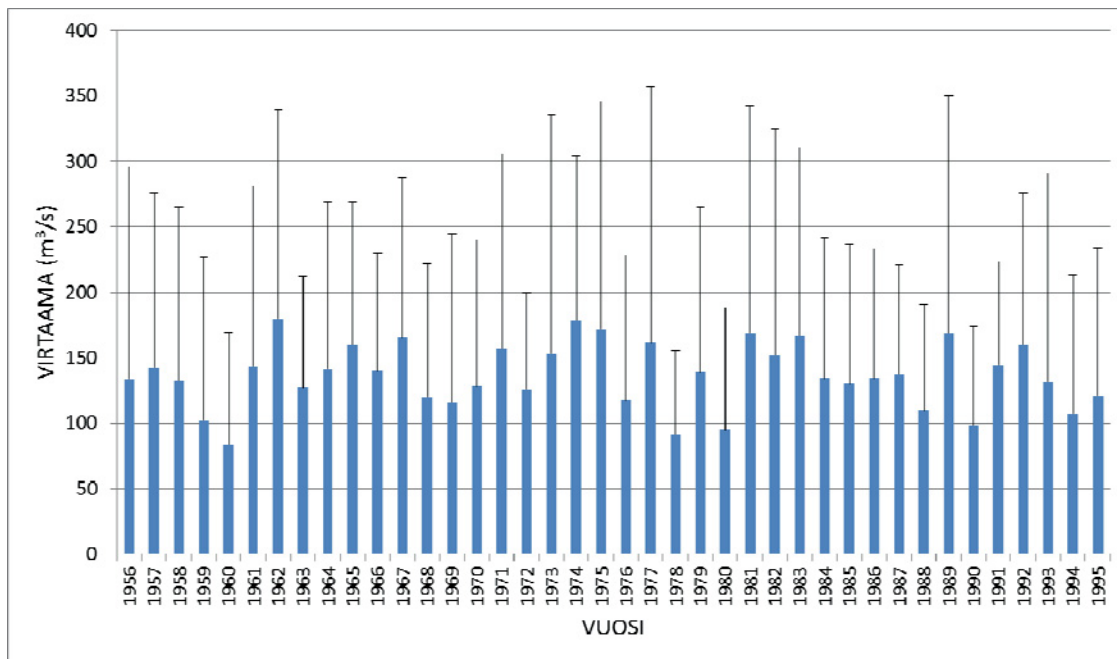
**Kuva 13.** lijoen lohikannan kehitys skenaarioissa F-H loppuun asti jatkuvilla 1-vuotiaiden jokipoikasten tukistutuksilla (400 000 kpl/v) sekä skenaario A (potentiaalinen lähtötila ilman Kollajaa). Käyrät ovat skenaarioiden mediaaneja.

## 6. Ympäristövirtaama ja lohi

### 6.1. Iijoen virtaamahistoria

Neljänkymmenen vuoden (1956-1995) keskivirtaama Iijoen Kipinässä oli 136,8 m<sup>3</sup>/s (SD = 24,9), vuoden keskivirtaaman ollessa pienimmillään 83,5 m<sup>3</sup>/s ja suurimmillaan 180,3 m<sup>3</sup>/s (kuva 14). Tarkastellulla aikajaksolla vuoden keskivirtaamissa ei ole havaittu laskevaa tai kasvavaa trendiä.

Kuukausittaisen virtaamakeskiarvojen mukaan maaliskuu on kuukausista vähävetisin (keskivirtaama 63,8 m<sup>3</sup>/s; minimi 25,6 m<sup>3</sup>/s) ja virtaama on suurimmillaan toukokuulla (keskivirtaama 424,7 m<sup>3</sup>/s) kevättulvan vuoksi (taulukko 4). Iijoen vesivuodet eroavat toisistaan erityisesti kevät- ja syys/talvitulvien suuruuden ja ajoittumisen suhteen (kuva 15). Iijoen vesistön yläjuoksulla sijaitsevien Koston- ja Iriinjärvien säännöstely on alkanut vuonna 1966. Säännöstely on muuttanut virtaamia siten, että talvikuukausien (joului-huhtikuu) virtaamat ovat suuremmat ja kesäkuukausien virtaamat pienempiä kuin ennen säännöstelyä (taulukko 5). Säännöstelyn aiheuttaman muutoksen lisäksi selvää muutostrendiä virtaaman vuodenaikaisjakautumisessa ei kuitenkaan ole havaittavissa tarkastellulla aikajaksolla (1956-1995).



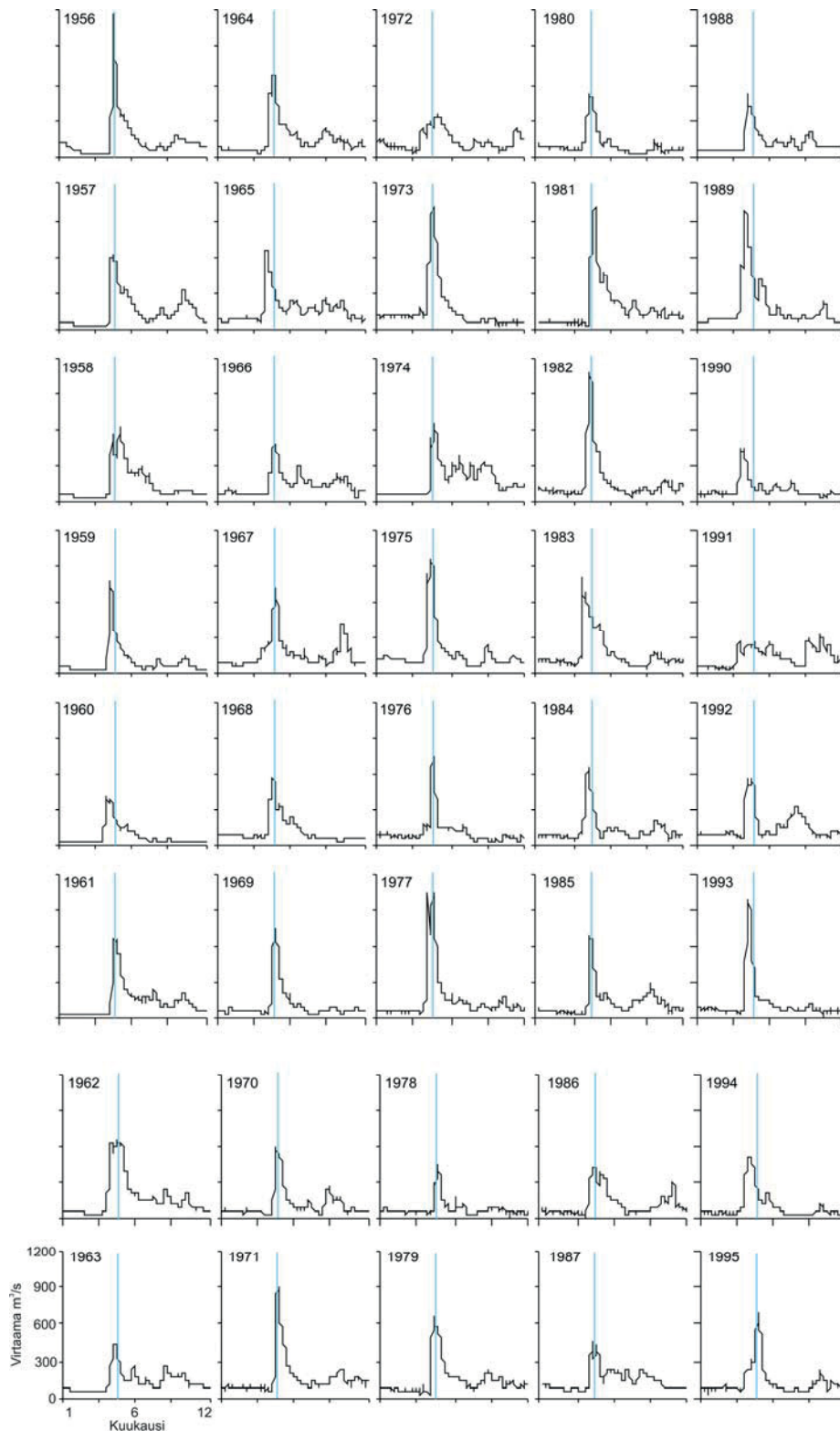
Kuva 14. Päivittäisten virtaamien vuosikeskiarvo (m<sup>3</sup>/s ±SD) Iijoen Kipinässä vuosina 1956-1995. Lähde: SYKE.

Taulukko 4. Kuukausittaiset keskivirtaamat (m<sup>3</sup>/s) Iijoen Kipinässä vuosina 1956-1995 (N=40). Lähde: SYKE.

Kuukausi	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
<b>Keskiarvo</b>	77,6	70,3	63,8	92,2	424,7	220,2	142,6	102,2	113,3	124,3	114,9	89,9
<b>Minimi</b>	37,0	35,5	25,6	20,7	205,4	102,9	66,6	40,2	33	45,9	46,2	41,5
<b>Maksimi</b>	131,1	121,4	105,9	238,6	745,9	422,9	290,0	248,7	296,8	236,1	289,8	167,5
<b>SD</b>	20,9	19,3	19,6	53,0	129,0	73,6	46,5	47,2	59,0	49,4	54,5	27,4

**Taulukko 5.** Kuukausittaiset keskivirtaamat ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) lijoen kipinässä ennen (1956-1965) ja jälkeen (1966-1995) säännöstelyn. Lähde: SYKE.

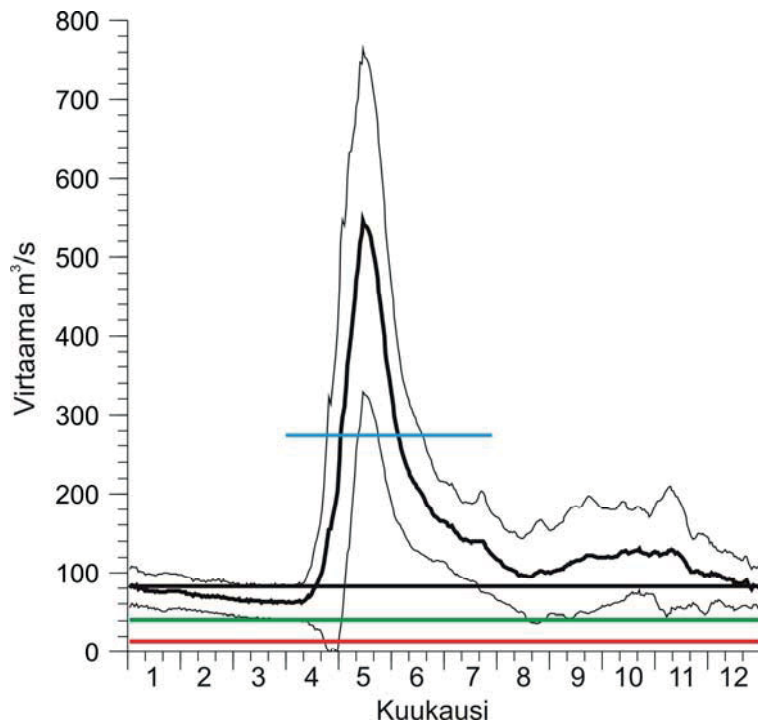
Virtaama	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
Ennen	59,2	49,1	42,5	73,8	423,7	243,6	150,7	109,7	128,6	122,1	127,9	79,6
Jälkeen	83,8	77,3	70,9	98,4	424,9	212,4	139,9	99,8	108,1	125,0	110,6	93,3



**Kuva 15.** Päivittäiset keskivirtaamat ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) lijoen Kipinässä vuosina 1956-1995. Sininen pystyviiva on havaintovuosien kevättulvan huipun keskimääräinen ajoittumispäivä. Lähde: SYKE.

## 6.2. Ympäristövirtaama - Tennantin menetelmä

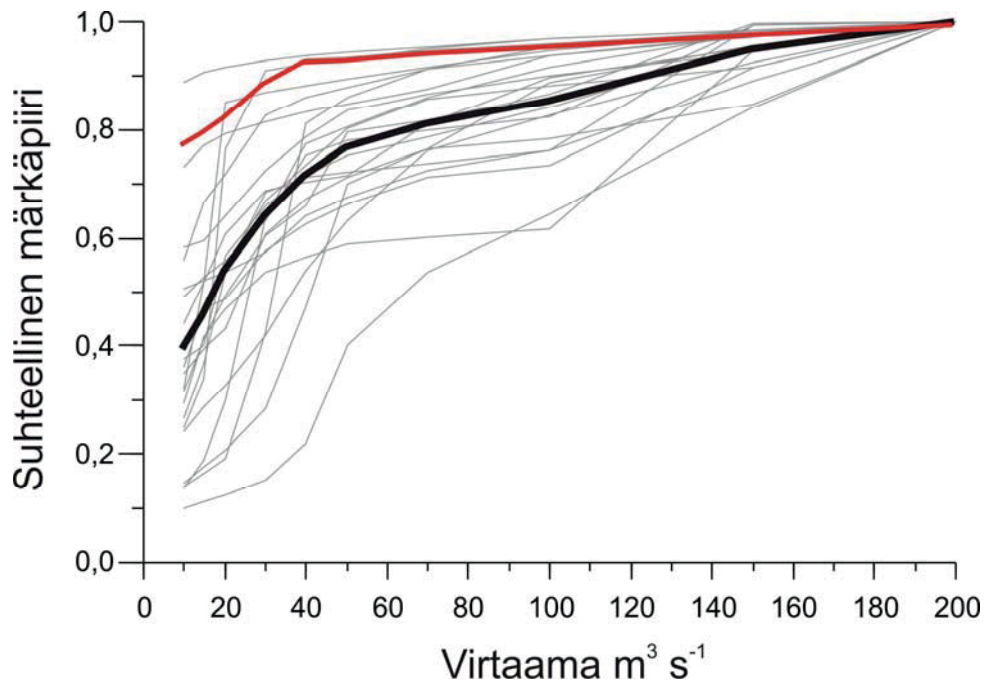
Iijoen keskivirtaama on ollut vakaalla tasolla vuosina 1956-1995, joten se tukee hyvin Tennantin menetelmän soveltamista koko ajanjakson keskivirtaamaan. Tennantin menetelmän mukaiset ympäristövirtaamat tarkastellulla Iijoen osuudella ovat siten 13,7 m<sup>3</sup>/s (huono tai minimi-tilanne), 41,1 m<sup>3</sup>/s (hyvä tilanne) ja 82,1 m<sup>3</sup>/s (erinomainen tilanne). Maksimi- tai ”flushing flow” -virtaamaksi (puhdistava tulva) saadaan 273,6 m<sup>3</sup>/s (kuva 16).



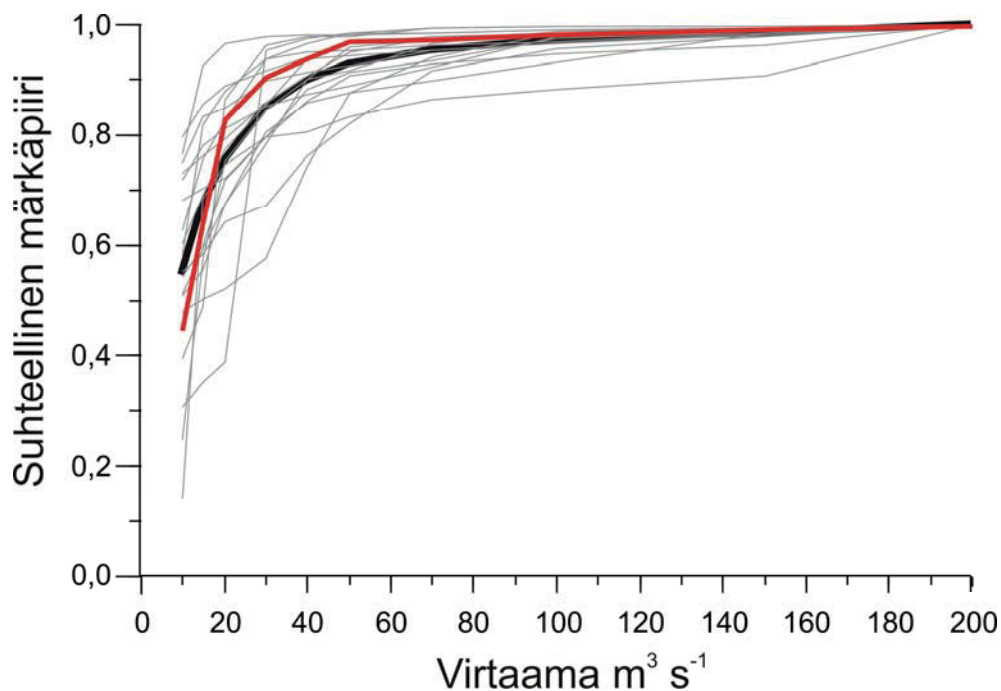
**Kuva 16.** Tennantin-menetelmän mukaiset ympäristövirtaamat piirrettynä Iijoen Kipinän alueenvuosien 1956-1995 vuosittaiseen virtaamavaihteluun (keskiarvo (musta viiva) ± SD (mustat hiusviivat)). Punainen poikkiviiva on 10 % (Tennant: huono tai minimi-tilanne), vihreä 30 % (hyvä tilanne) ja musta 60 % (erinomainen tilanne) keskivirtaamasta. Sininen poikkiviiva on maksimi- tai ”flushing flow” -tilanne (200 % keskivirtaamasta, puhdistava tulva).

## 6.3. Ympäristövirtaama - Wetted Perimeter menetelmä

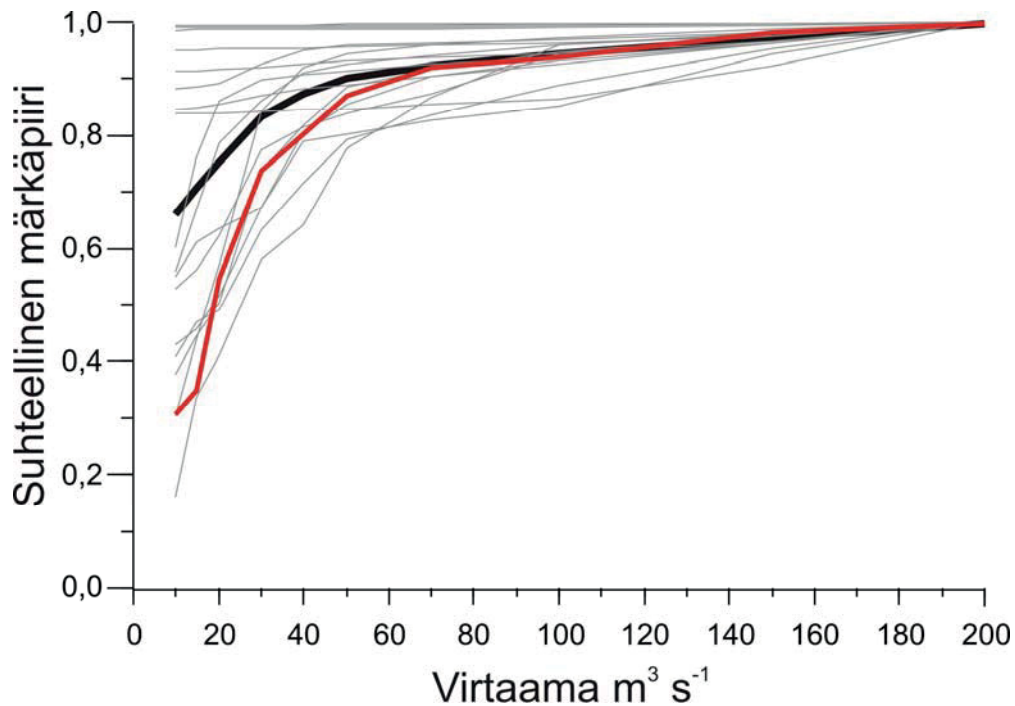
Wetted perimeter -menetelmän tulkinnessa etsitään jokiuoman poikkileikkauksen märkäpiirin ja virtaaman välisestä suhteesta taitekohtaa, jossa märkäpiirin kasvu tasoittuu. Tarkastelu ei yleensä anna yhtä selvää jokialue/koskikohtaista taitekohtaa. Kun tarkastellaan koskenniskaan sijoittuvia märkäpiirejä, tällainen taitekohta on Vuormankosken-Kiernasvirran alueella 40 m<sup>3</sup>/s virtaamalla (kuva 17), Varpuvirroilla 20 m<sup>3</sup>/s virtaamalla (kuva 18) ja Riepu-, Hikimys- ja Konttikosken alueella noin 60 m<sup>3</sup>/s virtaamalla (kuva 19). Sama johtopäätös voidaan tehdä myös muiden poikkileikkausten tarkastelusta: taitekohdat sijoittuvat lähes yksinomaan välille 20 - 60 m<sup>3</sup>/s painottuen 40 m<sup>3</sup>/s virtaamaan. Menetelmän perusteella arvioiduksi suositusvirtaamaksi Iijoen luonnonuomaan saadaan siis 40 m<sup>3</sup>/s, vaihteluvälillä 20 - 60 m<sup>3</sup>/s (kuva 20).



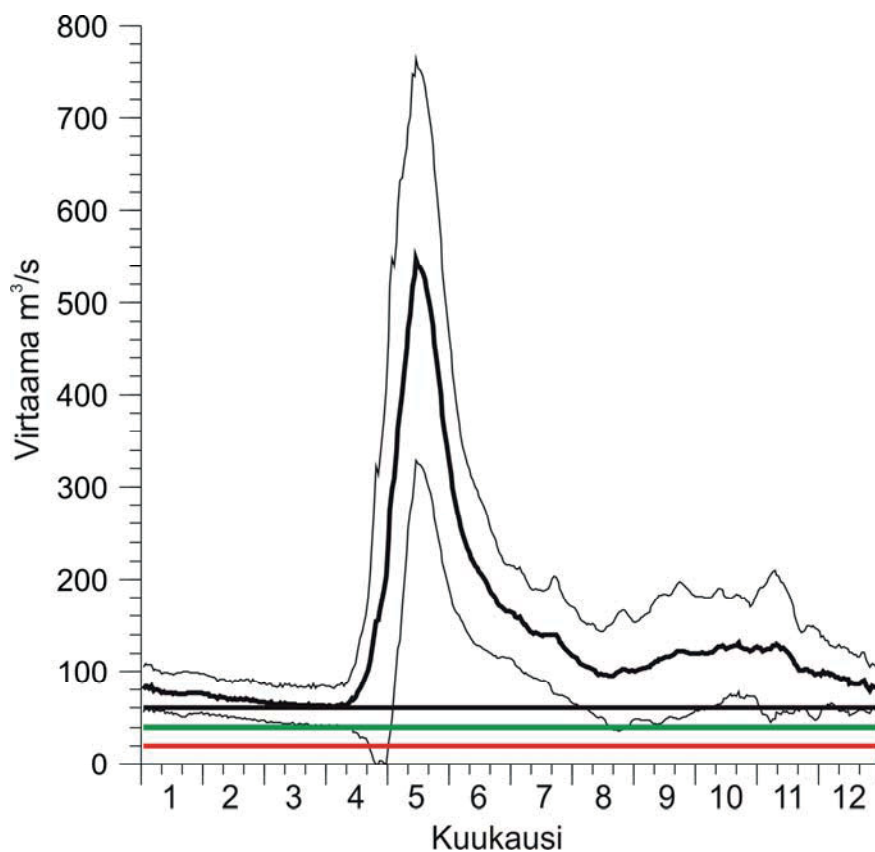
**Kuva 17.** Märkäpiirin ja virtaaman välinen suhde lijoen Vuormankoski-Kiernasvirta alueella poikkileikkauslinjoittain (harmaat viivat). Musta viiva on märkäpiirien keskiarvo ja punainen viiva on koskenniskalla sijaitsevan poikkileikkauslinjan märkäpiiri. Todelliset märkäpiirit on standardoitu merkitsemällä kunkin märkäpiirin suurin pituus (virtaama  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ykköseksi ja virtaamakohtaiset märkäpiiripitoudet on suhteellistettu tähän.



**Kuva 18.** Märkäpiirin ja virtaaman välinen suhde lijoen Varpukoskessa eri poikkileikkauksilla. Musta viiva on märkäpiirien keskiarvo ja punainen viiva on koskenniskalla sijaitsevan poikkileikkauslinjan märkäpiiri. Todelliset märkäpiirit on standardoitu merkitsemällä kunkin märkäpiirin suurin pituus (virtaama  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ykköseksi ja virtaamakohtaiset märkäpiiripitoudet on suhteellistettu tähän.



**Kuva 19.** Märkäpiirin ja virtaaman välinen suhde lijoen Riepu-, Hikimys- ja Konttikosken alueella eri poikkileikkauksilla. Musta viiva on märkäpiirien keskiarvo ja punainen viiva on koskenniskalla sijaitsevan poikkileikkauksilinjan märkäpiiri. Todelliset märkäpiirit on standardoitu merkitsemällä kunkin märkäpiirin suurin pituus (virtaama  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ykköseksi ja virtaamakohtaiset märkäpiiripituudet on suhteellistettu tähän.

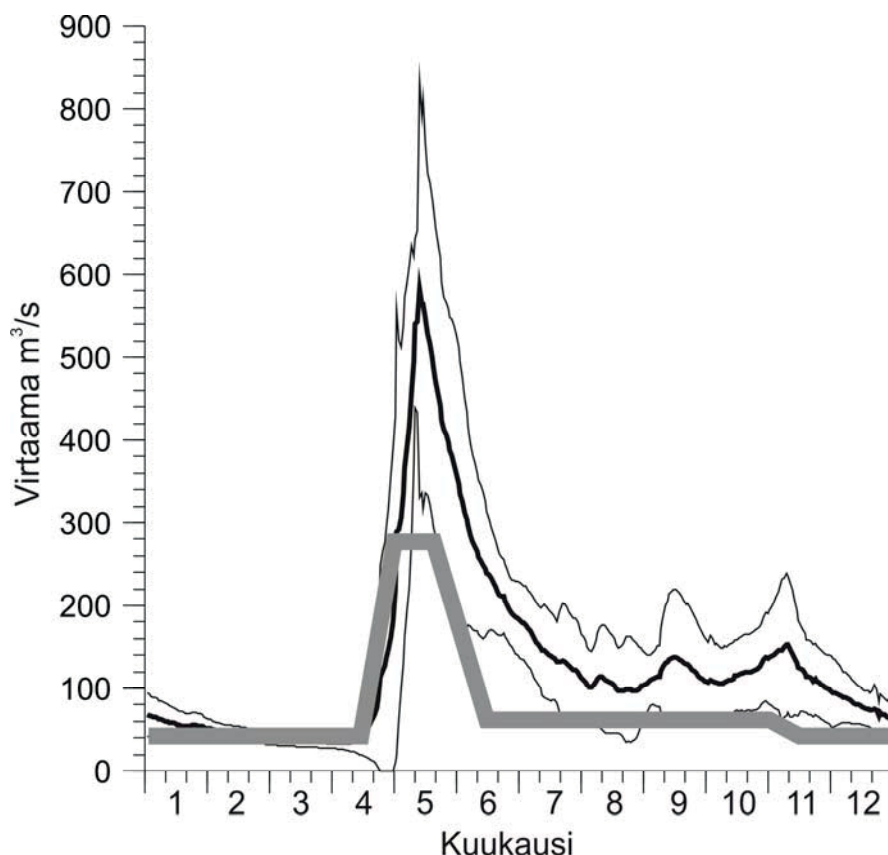


**Kuva 20.** Märkäpiiri (Wetted Perimeter) -menetelmällä määritetty ympäristövirtaama lijoen Kipinän alueen pitkäaikaiseen vuosien 1956-1995 virtaamavaihteluun (keskiarvo (musta viiva)  $\pm$  SD (mustat hiusviivat)) verrattuna. Vihreä viiva kuvaa menetelmällä arvioitua keskimääräistä tulosta ja punainen (alaraja) ja musta (yläraja) tarkastelun vaihteluväliä.

## 6.4. Ympäristövirtaama - Building Block menetelmä

Asiantuntijaryhmä määrittä 6.11.2015 Oulussa järjestetyssä työpajassa lohikalojen jokivaiheen kannalta tärkeimmät lijoen luonnonuoman (Kipinän alue) virtaaman ”rakennuspalikat” (kuva 21, taulukko 6). Ympäristövirtaaman määrittämisen kannalta tärkeiksi vaelluskalojen menestymiseen vaikuttaviksi virtaaman rakennuspalikoiksi valikoituivat: poikasten talvihabitaatti ja mäti, ”flushing flow” (puhdistava tulvavirtaama), talvikkovaellus, smolttivaellus, kutunousu, poikasten kesähabitaatti sekä kutu. **Vaelluskaloista asiantuntijaryhmä keskittyi loheen, jonka katsottiin olevan luontaisempi laji lijoen luonnonuoman olosuhteisiin kuin taimen.**

Building block -ympäristövirtaamien määrittelyssä käytettiin lijoen virtaamatietoja ennen ja jälkeen säännöstelyn, tietoja veden lämpötilasta ja virtaus- ja elinympäristömallinnusten tuloksia lohikaloille soveltuvan elinympäristön määrän muutoksista virtaaman muuttuessa (ks. esim. kuva 24, liitteet 2-4)



**Kuva 21.** Virtaama lijoen Kipinässä ennen säännöstelyä (1956-1964, (keskiarvo (musta viiva)  $\pm$  SD (mustat hiusviivat))) sekä asiantuntijoiden määrittämät ympäristövirtaamasuosituksen (harmaa palkki) lohen jokivaiheen perusteella.

Määritetty building block ympäristövirtaama ottaa huomioon eri vuodenaikojen erilaiset elinympäristöpreferenssit lohen elinympäristövalinnassa. Talvella ympäristövirtaama on pienimmillään (30-50 m<sup>3</sup>/s) ja nousee luontaista rytmiä noudattaen tulvavirtaamaan, joka kuuluu luontaisen joen dynamiikkaan. Tarvittavan ”flushing flow” määrää on vaikeaa tarkoin määrittää ja asiantuntijat käyttivät ohjenuorana Tennantin ehdottamaa 200 %:a keskivirtaamasta. Tulvavirtaama myös osaltaan rytmittää kalojen vaelluksia, kuten smolttien alasvaellusta (laskevassa tulvassa). Kesällä virtaamassa huomioitiin poikasten kesähabitaatti, kutunousu ja itse kututapahtuma, jolloin hyvää tilaa ylläpitävän virtaaman arvioitiin vaihtelevan 50-70 m<sup>3</sup>/s välillä (taulukko 6, kuva 21).

**Taulukko 6.** Asiantuntijoiden määrittämät virtaaman rakennuspalikat lijoen luononnuomaan (Kipinän alueelle).

Virtaaman rakennuspalikka	Vuoden ajalle	Virtaama (m <sup>3</sup> /s)	Virtaaman vaihtelu (m <sup>3</sup> /s)	Sanallinen perustelu
Kutu	15.9.-30.10.	50 m <sup>3</sup> /s	50-70 m <sup>3</sup> /s	Kudun suhteen hyvä tila säilyy välillä 50-70 m <sup>3</sup> /s
Poikasten talvihabitaatti ja mäti	15.11.-15.4.	40 m <sup>3</sup> /s	30-50 m <sup>3</sup> /s	Hyvä tilanne säilyy välillä 30-50 m <sup>3</sup> /s
"Flushing flow"	1.5.-20.5.	250-300 m <sup>3</sup> /s		Tennantia mukailleen, luonnonmukaista vaihtelua seuraten (ajassa).
Talvikkovaellus				Sama kuin flushing flow tai hieman alempi. Vaeltavat merelle ennen smoltteja
Smolttivaellus	10.5.-20.6.		Tulvapiikistä kesävirtaamaan 250→60-70 m <sup>3</sup> /s	Vaeltavat mereen laskevassa tulvassa, veden lämpötila vaikuttaa ajoittumiseen. Huomioitava vaelluksen luonnonmukainen vaihtelu ajassa.
Kutunousu	15.6.-15.9.	60-70 m <sup>3</sup> /s		Luonnonmukainen virtaamavaihtelu (kesätulvat)
Poikasten kesähabitaatti	20.6.-15.9.	60-70 m <sup>3</sup> /s		

## 6.5. Eri menetelmillä määritetyt ympäristövirtaamat vs. lohelle soveltuvan elinympäristön määrä

### 6.5.1. Vuormankoski

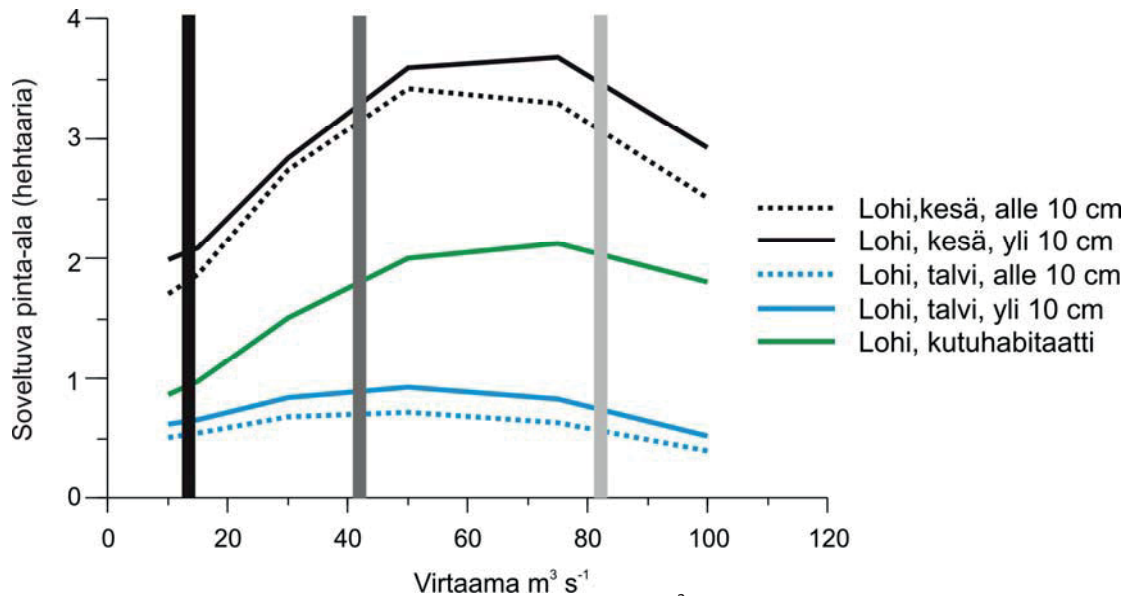
Vuormankoski (ks. kuva 2) on mallinnetulta alueeltaan koskimaista habitaattia eikä sisällä niva- tai suvantoalueita (liite 2), joten siitä saatuja tuloksia käytettiin eri menetelmin määritettyjen ympäristövirtaamien vaikutusten vertailuun lohelle soveltuvan elinympäristön näkökulmasta. Koska Vuormankoski on tyypillistä koskihabitaattia, ovat tulokset yleistettävissä myös muihin koskiympäristöihin. Varpuvirrat on rakenteeltaan epätyypillinen siksi, että sen alaosassa kapea kohta padottaa virtaaman lisääntyessä. Kiernasvirta taas on pääosin nivaa ja suvantoa.

Tennantin (hydrologinen) ja Wetted perimeter (märkäpiiri-menetelmä, hydraulinen) -menetelmien taustalla on joko kokemuseräisiä havaintoja virtaaman vaikutuksesta joen eliöstön toimintaan (Tennant), tai puhtaasti joen hydraulikkaan perustuva oletama (märkäpiirin ja virtaaman välinen suhde). Näiden menetelmien toimivuutta ei ole aiemmin suomalaisissa joissa tarkasteltu.

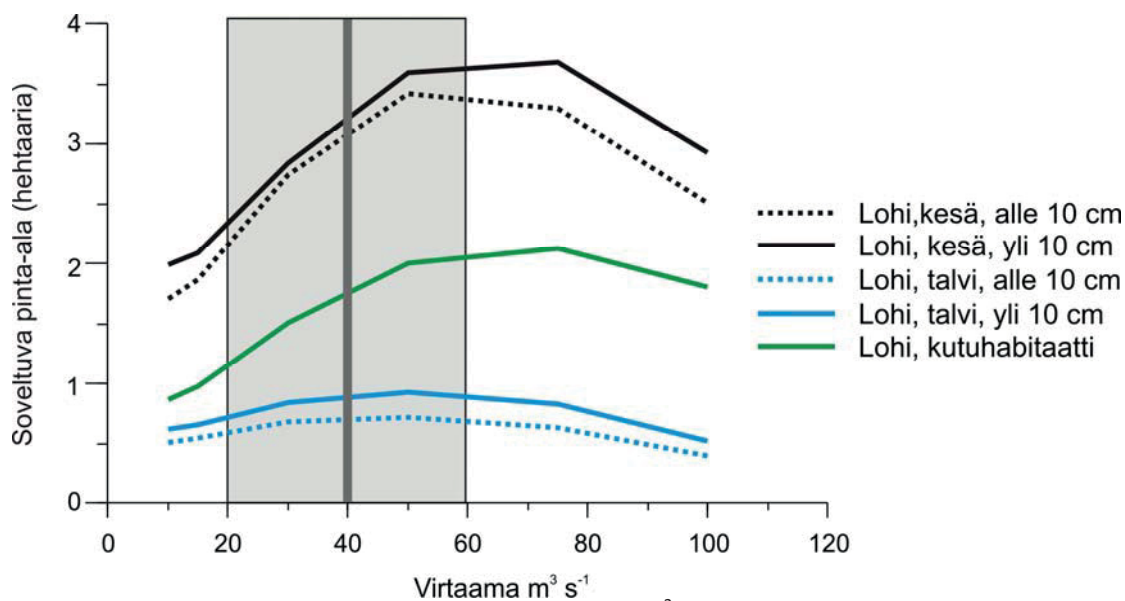
Elinympäristömallinnuksen mukaan lohenpoikasille soveltuvan elinympäristön määrä on Vuormankoskessa suurimmillaan kesällä 50-70 m<sup>3</sup>/s virtaamalla ja talvella 40-50 m<sup>3</sup>/s virtaamalla. Elinympäristömallin antamiin tuloksiin verrattuna Tennantin menetelmän mukaiset virtaamatilanteet "huono" tai "minimitilanne" sekä "hyvä" vastaavat kohtalaisen hyvin elinympäristön määrän mukaan mallinnettua tilannetta (kuva 22). Huonossa ympäristövirtaamatilanteessa (13,7 m<sup>3</sup>/s) soveltuvaa elinympäristöä on vähän ja hyvässä tilanteessa (41,1 m<sup>3</sup>/s) ollaan lähellä optimia (kuva 22). Tennantin mukainen erinomainen virtaamatilanne on elinympäristömallinnuksen perusteella liian suuri talvella. Luonnontilassakin lijoen virtaamat ovat talvella olleet ko. tasoa pienempiä (ks. esim. kuva 21). Kesäajalle on mallinnettu virtaamatilanteet 70 ja 100 m<sup>3</sup>/s, ja tällä välillä lohenpoikasille soveltuvan elinympäristön määrä kääntyy laskuun (kuva 22). Tennantin menetelmän mukainen erinomainen tilanne sijoittuu tämän virtaamavälin alempaan päähän (82,1 m<sup>3</sup>/s).

Märkäpiiri-menetelmällä määritetty ympäristövirtaama (40 m<sup>3</sup>/s) on keskimäärin sama kuin Tennantin -menetelmän hyvä tilanne. Virtaaman vaihteluvälin alapäässä (20 m<sup>3</sup>/s) ollaan jo selvästi laskeneissa soveltuvan elinympäristön määrissä ja yläpäässä (60 m<sup>3</sup>/s) lähellä soveltuvan elinympäristön määrän optimia (kuva 23).



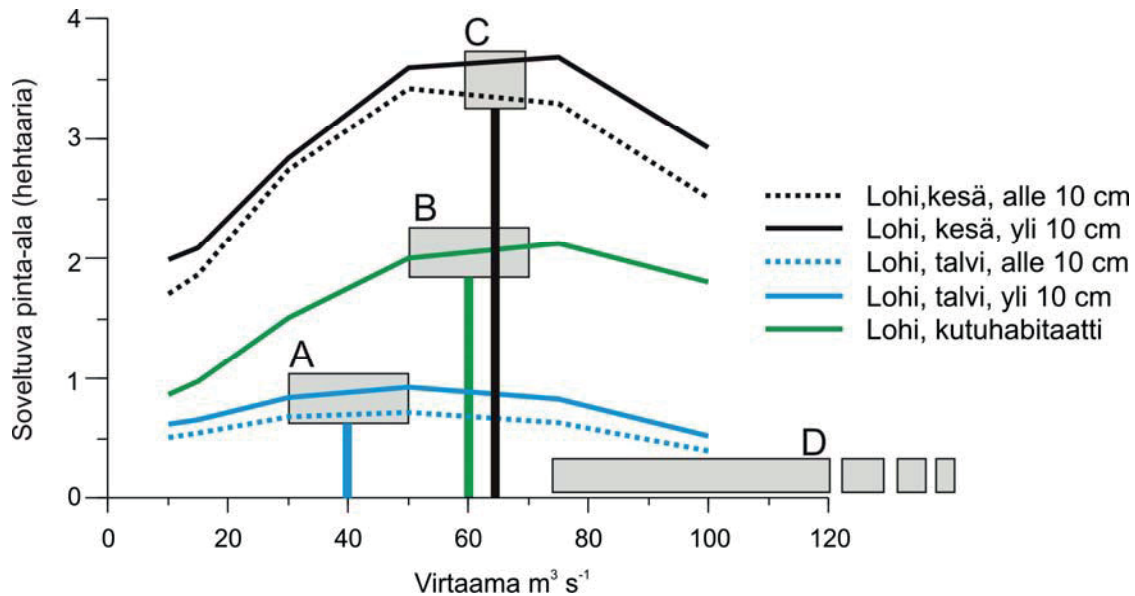


**Kuva 22.** Lohen poikasille soveltuva elinympäristö (WUA, m<sup>2</sup>) Vuormankoessa eri virtaamilla. Kuvaan on piirretty Tennantin menetelmän mukaiset ympäristövirtaamat (pystyviivat): musta: huono tai minimi-tilanne, harmaa: hyvä tilanne ja vaalean harmaa: erinomainen tilanne. Mallinnetun alueen vesipinta-ala on 30 m<sup>3</sup>/s virtaamalla 23,5 ha ja 100 m<sup>3</sup>/s virtaamalla 32,8 ha.



**Kuva 23.** Lohen poikasille soveltuva elinympäristö (WUA, m<sup>2</sup>) Vuormankoskessa eri virtaamilla. Kuvaan on piirretty Märkäpiiri-menetelmällä määritetyt ympäristövirtaamat (pystyviiva = keskiarvo, harmaa alue = vaihteluväli).

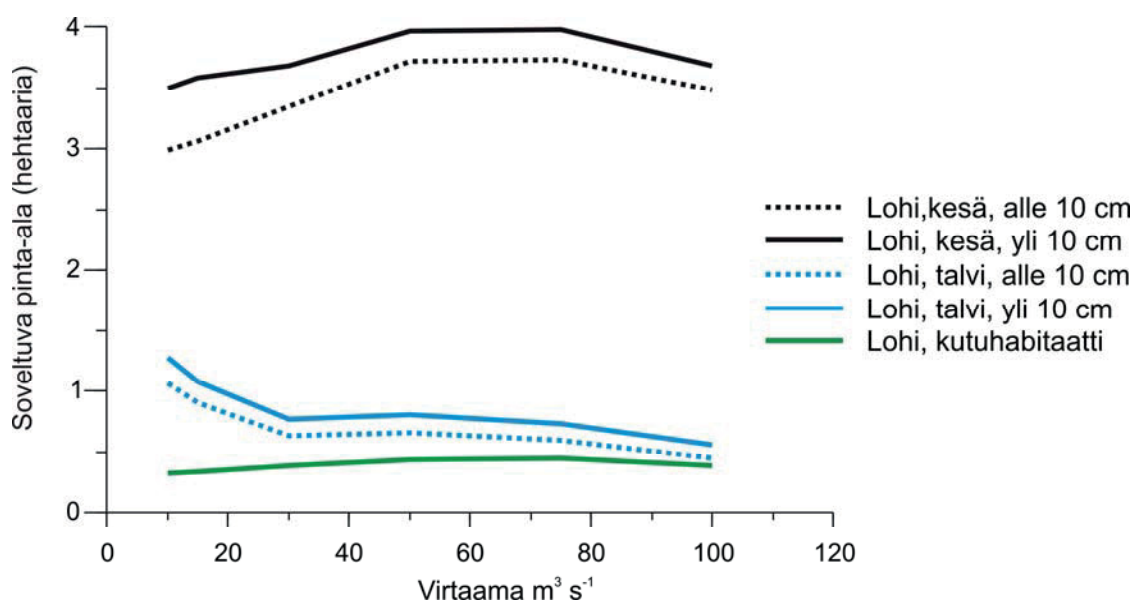
Building block -menetelmällä määritetyn ympäristövirtaaman etuna on se, että eri vuodenaikojen dynamiikka voidaan ottaa asiantuntijoiden toimesta huomioon, siis huomioida virtaamien luontaiset vaihtelut ja lohenpoikasten vaihtelevat preferenssit vuodenajan mukaan. Myös lohen elinkiertoon liittyvät vaellukset, joihin virtaama ja sen vaihtelu vaikuttavat, huomioitiin ”rakennuspalikoissa” (ks. kuvat 5 ja 21). Asiantuntijoiden määrittämä ympäristövirtaama (kuva 24) on talvella pienempi kuin kesällä. Elinympäristömallinnuksen mukaan lohenpoikasille soveltuvaa habitaattia jää riittävästi kaikkina vuodenaikoina, kun ympäristövirtaama on määritetty Building block -menetelmällä (kuva 24).



**Kuva 24.** Lohenpoikasille soveltuva elinympäristö (WUA,  $m^2$ ) Vuormankoskessa eri virtaamilla. Kuvaan on piirretty Building block -menetelmällä määritetyt ympäristövirtaamat (A = talvihabitaatti ja mäti, B = kutuhabitaatti, C = kesähabitaatti ja kutuvaellus, D = smolttivaellus, talvikkovaellus; pystyviiva = keskiarvo, harmaa palkki = vaihtelu; ks. taulukko 6). Kuvateknisistä syistä Building Block-menetelmän mukaista tulvavirtaamaa ("flushing flow",  $250-300 m^3/s$ ) ei esitetä kuvassa.

### 6.5.2. Kiernasvirta ja Varpuvirrat

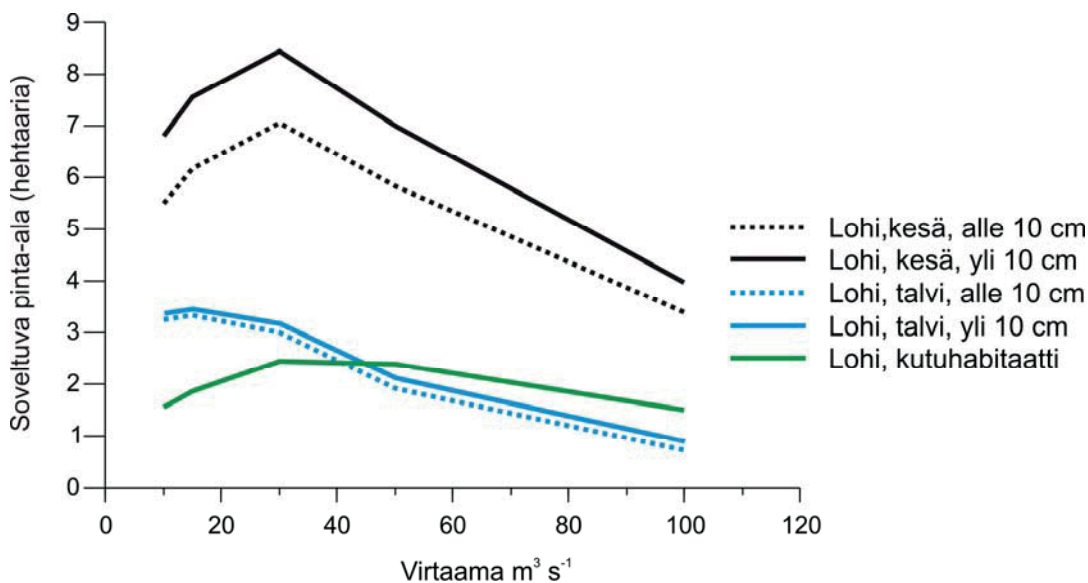
Kiernasvirralla lohen poikasille soveltuvan elinympäristön määrä käyttäytyy talvella Vuormankoskesta poikkeavalla tavalla. Talvella lohenpoikasille soveltuvan elinympäristön määrä on suurimmillaan pienillä, alle  $30 m^3/s$  virtaamilla. Tämä johtuu Kiernasvirran uoman erilaisesta rakenteesta, johon kuuluu paljon nivamaista ja jopa suvantomaista elinympäristöä, jossa syvydet ja virtausnopeudet nousevat liian suuriksi isojen talvivirtaamien aikana (liite 3). Kesällä lohenpoikasille soveltuvaa elin- aluetta on runsaimmin  $50-70 m^3/s$  virtaamilla (kuva 25).



**Kuva 25.** Lohenpoikasille soveltuva elinympäristö (WUA,  $m^2$ ) Kiernasvirralla eri virtaamilla. Mallinnetun alueen vesipinta-ala on  $30 m^3/s$  virtaamalla 43,4 ha ja  $100 m^3/s$  virtaamalla 44,6 ha.

Varpuvirroilla jokiuoma on kosken alapäässä ahdas, mikä nostaa virtaaman kasvaessa koskialueen veden pinnankorkeutta nykytiedon perusteella yli lohenpoikasten suosimien syvyyksien (liite 4). Tämä näkyy lohenpoikasille soveltuvassa elinympäristössä siten, että kesällä pinta-ala on laajimmillaan muita koskia alhaisemmissa virtaamissa (30 m<sup>3</sup>/s). Myös talvella poikasille soveltuva pinta-ala pienee virtaaman kasvaessa (kuva 26).

Näiden molempien tutkimusalueiden elinympäristömallinnuksiin on tässä selvityksessä käytetty koskimaisista olosuhteista kerättyjä lohenpoikasten elinympäristövaatimustietoja. Mallinnusalueiden virtaustyyppin ja sovelletun elinympäristövaatimusaineiston välinen ristiriitää heikentää Kiernas- ja Varpuvirtojen tulosten luotettavuutta.



**Kuva 26.** Lohenpoikasille soveltuva elinympäristö (WUA, m<sup>2</sup>) Varpuvirroilla eri virtaamilla. Mallinnetun alueen vesipinta-ala on 30 m<sup>3</sup>/s virtaamalla 46,5 ha ja 100 m<sup>3</sup>/s virtaamalla 50,4 ha.

## 6.6. Kollaja ja lijoen luonnonuoman talviritatamat

Kollaja -hankkeen toteutuessa lijoen luonnonuoman (Kipinän alue) talviritataman (15 m<sup>3</sup>/s, noin ajalla 15.11.-30.4.) on suunniteltu olevan huomattavasti pienemmän kuin nykytilanteessa ja myös pienempi kuin virtaama ennen joen rakentamista. Kun tarkastellaan ydintalvea (tammi-maaliskuu), tarkastellussa aineistossa ennen säännöstelyn aloittamista kuukausittaiset keskivirtatamat ovat olleet 42,5-59,2 m<sup>3</sup>/s ja säännöstelyn aloittamisen jälkeen 70,9-83,8 m<sup>3</sup>/s (ks. taulukko 5).

Kuten aiemmin raportissa on kuvattu, lijoen luonnonuoman (Kipinä) kosket ja virtapaikat ovat rakenteellisesti erilaisia ja siksi myös virtaamamuutosten vaikutukset lohenpoikasille soveltuvan elinympäristön määrässä vaihtelevat alueittain. Päävirtaustyyppiltään koskimaisessa Vuormankoskessa talviritataman alentaminen 15 m<sup>3</sup>/s pienentäisi elinympäristömallinnuksen mukaan lohen poikasille soveltuvan elinympäristön määrää talvella verrattuna luonnontilaiseen virtaamaan (n. 40-60 m<sup>3</sup>/s). Säännöstelyn aikaisiin virtaamiin eli nykytilanteeseen (n. 70-80 m<sup>3</sup>/s) verrattuna negatiivinen muutos pinta-alassa olisi pienempi (ks. kuva 24). Jos taas talven virtaama pienennettäisiin 30 m<sup>3</sup>/s, sillä ei elinympäristömallinnuksen mukaan olisi juurikaan vaikutusta verrattuna nykytilaan tai luonnontilaiseen virtaamaan. Päävirtaustyyppiltään suvanto- ja nivamaisilla Kiernasvirralla ja Varpuvirroilla virtaaman laskemisella 15 m<sup>3</sup>/s olisi mallinnuksen mukaan lohen poikasille soveltuvaa pinta-alaa lisäävä vaikutus. Mallin mukaan suurimmat poikasille soveltuvat pinta-alat ovat nimenomaan pienillä virtaamilla (ks. kuvat 25-26).

Lohenpoikasten kannalta talviolosuhteissa on ratkaisevaa virtausolosuhteiden ohella ennen kaikkea uoman pohjan laatu, jonka on oltava kivikooltaan sopivaa ja rakenteeltaan riittävän onkaloista, jotta poikasille olisi tarjolla riittävästi suojapaikkoja (Forseth & Harby 2014). Kylmässä vedessä lohien poikasten käyttäytyminen on suojahakuista. Tämän selvityksen elinympäristömallinnuksissa käytetty pohjan kivikoon soveltuvuutta kuvaava preferenssikäyrä ei huomioi pohjan suojapaikkaominaisuuksia riittäväällä tavalla, josta aiheutuu epävarmuutta erityisesti talviolosuhteiden mallinnustuloksiin.

Lohenpoikasille soveltuvan elinympäristön määrän lisäksi on talvirtaamia arvioitaessa kuitenkin huomioitava lohien elinkierto kokonaisuudessaan. Talviviltaaman laskeminen  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  tasolle vähentää elinympäristömallinnusten perusteella lohelle soveltuvan kutuhabitaatin määrää ja mikäli talviviltaamiin siirtyminen tehdään suunnitellulla aikavälillä (15.9.-15.11.) voi osa kutualueista jäädä tällöin kuiville ja olosuhteet (virtaus, happi) kutukuopissa veden peittämällä alueilla voivat huomattavasti heikentyä.

Kipinän alueen poikastuotantopotentiaalin on arvioitu olevan 8,2 % koko lijoen vesistöalueen lohien smolttituotannosta (taulukko 3). Jos loppusyksyn aikana (15.9.-15.11.) virtaama säädetään Kipinän alueella Kollaja-hankkeessa suunniteltuun  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ , on pääteltävissä, että virtaaman pudotus ympäristövirtaamatarkastelujen perusteella suositellusta virtaamasta ( $30\text{-}50 \text{ m}^3/\text{s}$ , lohien kutu-aika) johtaisi lohien kutuolosuhteiden, kutupesien talviaikaisten olosuhteiden ja poikasten talvihabitaattien heikkenemiseen. Laskennallisesti Kipinän alueen taantuminen alentaisi enimmillään 8 % lijoen smolttituotantoa, mutta todennäköisesti heikkeneminen olisi tätä vähäisempää ja vähintään jonkunasteinen poikastuotanto alueella jatkuisi alhaisista talviviltaamista huolimatta.

## 7. Yhteenveto ja suositukset

Kollaja-hankkeen toteuttaminen ei estäisi vaelluskalojen palauttamista lijokeen, mutta se vaikuttaisi negatiivisesti lijoen vaelluskalakantojen (tässä tarkastelussa lohi) elvyttämismahdollisuuksiin ja -potentiaaliin. Alueellisesti merkittävimmäksi ongelmaksi muodostuisi Livojoki vaellusyhteyksien (kutu- ja smolttivaellus) vaikeutuminen vuoksi. Livojoen osalta vaelluskalakantojen elvyttämismahdollisuudet heikentyisivät huomattavasti suhteessa vesistön nykytilaan. Lijoen luonnonuoman (Kipinän alue) osalta Kollaja-hankkeen negatiiviset vaikutukset jäisivät kokonaisuus huomioiden todennäköisesti verraten vähäisiksi. Luonnonuomassa merkittävimmät ongelmat aiheutuisivat suunnitelluista alhaisista talviviltaamista ( $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ), jotka voisivat heikentää alueella lisääntyvien lohien kutumahdollisuuksia sekä mädin ja poikasten selviytymistä.

Lohien elinkierto-vaikuteiden osalta merkittävimmät ongelmat aiheutuisivat todennäköisimmin vaelluspoikasille niiden alasvaelluskuolleisuuden kasvaessa (tekojärvi + kuudes voimalaitos). Erityisen haitallista olisi Pudasjärven yläpuolisten laajojen tuotantoalueiden vaelluspoikasten ajautuminen Kollajan tekojärveen johtavalle reitille. Kollajan tekojärveen joutumisen arvioidaan nostavan smolttien kuolleisuutta huomattavan paljon. Lohien nousuvaellukselle Kollaja-hankkeen toteuttamisesta ei todennäköisesti aiheutuisi ratkaisemattomia lisäongelmia.

Kollaja-hankkeen toteuttamisen vaelluskalakantojen elvyttämiseksi aiheuttamat lisäongelmat ovat pahimmillaan merkittäviä (esim. smolttien alasvaelluskuolleisuuden kasvu). Kuitenkin kokonaisuutta tarkastellen eivät lisäongelmat välttämättä olisi mittakaavaltaan niin merkittäviä, kun huomioidaan lijoen alajuoksun jo nykyään voimakas rakentamisaste. Kollaja-hankkeen vaelluskalakantojen elvyttämiseksi aiheuttamia haittoja voidaan myös vähentää ja osin kompensoida suunnitelmallisilla toimenpiteillä ja teknisillä ratkaisuilla. Seuraavassa esitellään aihekohtaisesti keskeisimmät ja merkittävimmät suositukset vaelluskalakantojen elvyttämismahdollisuuksien turvaamiseksi Kollaja-hankkeen toteutuessa. Osa toimista on toteutettavissa myös tilanteessa, jossa Kollaja-hanketta ei toteuteta.

## 7.1. Lohen nousuvaellus

- Iijoen luonnonuomaan (Kipinän alue) johdettavan virtaaman tulisi olla lohikalojen nousuaikana (kesäkuu-syyskuu) niin suuri, että se tukee kalojen hakeutumista luonnonuoman vaellusreitille Kollajan voimalaitoksen alakanavan sijaan. Kollajan voimalaitokselta purkautuvaa vesimäärää pitäisi pystyä tarvittaessa vähentämään.
- Iijoen luonnonuomaan rakennettavien vedenalaisten pohjakynnysten tulisi olla mahdollisimman luonnonmukaisia ja niiden yli olisi virrattava riittävän paksu vesikerros kuivimpinakin kesäaikoina.
- Livojoen osalta voidaan harkita kalatien rakentamista Kollajan voimalaitokselle ja lisäksi/vaihtoehdoksi kutulohien ylisiirtoa Kollajan voimalaitoksen alakanavasta tai alempaa Iijoesta Livojokeen. Vaihtoehtona voidaan harkita vaellusväylää, joka toimisi ylösvaeltavien kutulohien lisäksi alasvaeltavien smolttien reittinä Livojoen ja Iijoen luonnonuoman välillä. Väylä tulisi rakentaa Livojoelta Kiiskikankaan läpi Iijoen pääuomaan lähelle nykyistä Livojokisuuta.

## 7.2. Vaelluspoikasten alasvaellus

- Vaelluspoikasten eloonjäynnin varmistamiseksi suurin osa Iijoen vedestä tulisi smolttiaellusaikana touko-kesäkuussa johtaa Iijoen luonnonuoman kautta, jotta vaelluspoikaset eivät joutuisi Kollajan tekoaltaaseen. Täydentävänä toimenpiteenä suositellaan vaelluspoikasia luonnonuomaan ohjaavaa teknistä rakennetta Iijoen pääuomasta tekoaltaaseen johtavan reitin yläpäähän.
- Livojoen vaelluspoikasten ohjaamiseksi tekoaltaan kiertävälle reitille tarvittaisiin vaellusväylä Livojoen ja Iijoen välille (ks. Luku 7.1. viimeinen kohta). Vaihtoehtona voidaan harkita Livojoen smolttien pyydystämistä joen alaosalla ja kuljettamista Iijoen alimman voimalaitoksen alapuolelle.

## 7.3. Kutu- ja poikastuotantoalue Raasakan vanhaan uomaan

- Raasakan vanhan uoman vesittäminen ja kunnostaminen loisi uuden, koko vesistönkin tasolla huomattavan suuren lohien ja muiden vaelluskalojen poikastuotantoalueen. Mikäli uomaan johdettaisiin 20 m<sup>3</sup>/s virtaama ja uoma kunnostettaisiin luonnonmukaisen kaltaiseksi, se voisi parhaimmillaan tuottaa yli 20 000 lohien vaelluspoikasta, mikä on enemmän kuin arvioitu Livojoen ja Kipinän alueen yhteenlaskettu tuotantopotentiaali smolttien alasvaellustappiot huomioiden. Poikastuotanto voisi olla jopa 23 % koko Iijoen vesistön smolttituotannosta, kun otetaan huomioon voimalaitoksilla ja patoaltaissa tapahtuvan kuolevuuden puuttuminen. Raasakan vanhan uoman käyttöönotto kompensoisi osaltaan Kollaja-hankkeen vaelluskalakantoja heikentäviä vaikutuksia.

## 7.4. Iijoen luonnonuoman ympäristövirtaama

- Kollajan tekoaltaan kiertävässä Iijoen luonnonuomassa (Kipinä) tulisi olla sulavesiaikana 50-80 m<sup>3</sup>/s virtaama lohienpoikasille soveltuvan elinympäristön määrän ja lohien kutuvaelluksen onnistumisen maksimoimiseksi. Lohien nousuaikana virtaama luonnonuomassa tulisi olla pääsääntöisesti suurempi kuin Kollajan voimalaitokselta purkautuva virtaama.
- Talviaikainen virtaama Iijoen luonnonuomassa tulisi toteutettujen ympäristövirtaamatarkastelujen perusteella olla tasolla 30-50 m<sup>3</sup>/s lohienpoikasille soveltuvan elinympäristön määrän, kutumahdollisuuksien ja mädin eloonjämmisen optimoimiseksi. Suositeltu virtaama vastaisi myös talvivirusvirtaamia, jotka luonnonuomassa keskimäärin vallitsivat ennen Iijoen säännöstelyn aloittamista.

## Viitteet

- Acreman, M. C. & Dunbar, M.J. 2004. Defining environmental river flow requirements ? a review. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union* 8: 861-876.
- Acreman, M.C. & Ferguson, A.J.D. 2010. Environmental flows and the European Water Framework Directive. *Freshwater Biology* 55: 32-48.
- Bakken, T.H., Zinke, P., Melcher, A., Sundt, H., Vehanen, T., Jorde, K. & Acreman, M. 2012. Setting environmental flows in regulated rivers. SINTEF Energy Research, Energy Systems. Report TR A7246. 2012-10-04.
- Byrne, C.J., Poole, R., Rogan, G., Dillane, M. & Whelan, K.F. 2003. Temporal and environmental influences on the variation in Atlantic salmon smolt migration in the Burrishoole system 1970-2000. *Journal of Fish Biology* 63: 1552-1564.
- CDFW 2013. Standard Operating Procedure for the Wetted Perimeter Method in California. California Department of Fish and Wildlife Instream Flow Program Standard Operating Procedure DFG-IFP-004, 19 p. [http://www.dfg.ca.gov/water/instream\\_flow.html](http://www.dfg.ca.gov/water/instream_flow.html)
- 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.
- Dyson, M., Bergkamp, G. & Scanlon, J. (eds.) 2003. *Flow: the essential of environmental flows*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK. IUCN, Water and Nature Initiative. 118 s.
- European Commission 2015. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Guidance Document No. 31. Technical Report - 2015 - 086.
- Ferguson, J.W. 2008. Behavior and survival of fish migrating downstream in regulated rivers. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå 2008.
- Forseth, T. & Harby, A. (eds.) 2014. Handbook for environmental design in regulated salmon rivers. NINA Special Report 53, 90 s.
- Gerlier, M. & Roche, P. 1998. A radio telemetry study of the migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta trutta* L.) in the upper Rhine. *Hydrobiologia* 371/372: 283-293.
- Huusko, R., Orell, P., van der Meer, O., Jaukkuri, M. & Mäki-Petäys, A. 2012. Lohen vaelluspoikasten radiotelemetriaseurantaa lijoella vuosina 2010-2011. Työraportti. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, 30s.
- Huusko, R., Orell, P., Jaukkuri, M., Mäki-Petäys, A. & Erkinaro, J. 2014. Lohen vaelluspoikasten alasvaellus rakennetuissa joissa - ongelmat ja ratkaisumahdollisuudet., RKTL:n työraportteja 8/2014, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki, 41s.
- Huusko, R., Huusko, A., Mäki-Petäys, A., Orell, P. & Erkinaro, J. 2016. Effects of tagging on migration behaviour, survival and growth of hatchery-reared Atlantic salmon smolts. Fisheries Management and Ecology, hyväksytty.
- ICES. 2015. Report of the Baltic Salmon and Trout Assessment Working Group (WGBAST). ICES CM 2015/ACOM:08. 347 s.
- ICES. 2014. Report of the Baltic Salmon and Trout Assessment Working Group (WGBAST). ICES CM 2014/ACOM:08. 342 s.
- Jaala, E., Lilja, J. & Vähä, V. 2013. Simojoen kaikuluotaustutkimukset vuosina 2008–2012. RKTL:n työraportteja 14 /2013, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki, 16 s.

- Hellsten, S. & Väisänen, T. 1998. Studies of the physico-chemical conditions of the sediment-water interface in Lokka and Porttipahta reservoirs. – *Internat. Rev. Hydrobiol.* (Special Issue) 83: 215-218.
- Jepsen, N., Aarestruo, K., Økland, F. & Rasmussen, G. 1998. Survival of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia* 371/372: 347-353.
- Johnsen, B. O., Arnekleiv, J. V., Asplin, L., Barlaup, B. T., Naesje, T. F., Rosseland, B. O., Daltveit, S. V. & Tvede, A. 2011. Hydropower development – ecologic effects. Teoksessa: Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J. (toim.). *Atlantic salmon ecology*. Wiley-Blackwell. s. 351-385.
- Kenttämies, K. 1980. Characteristics of the water of Finnish man-made lakes. – *Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters*, No. 39: 13-25.
- King, J. M. & Louw, D. 1998. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. *Aquatic Ecosystems Health and Restoration* 1:109-124.
- King, J., Tharme, R. & de Villiers, M. (Eds.) 2008. *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*. Water Research Commission Report No TT 354/08, South Africa.
- Kekäläinen, J., Niva, T. & Huuskonen, H. 2008. Pike predation on hatchery-reared Atlantic salmon smolts in a northern Baltic river. *Ecology of Freshwater Fish* 17: 100–109.
- Klemetsen, A., Amundsen, P.-A., Dempson, J.B., Jonsson, B., Jonsson, N., O’Connell, M.F., Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L., and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish* 12: 1–59.
- Kortelainen, P., Mannio, J. & Pennanen, V. 1986. Characteristics of the allochthonous organic matter in Finnish forest lakes and reservoirs. – *Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters* No. 65: 88-97.
- Louhi, P., Mäki-Petäys, A. & Erkinaro, J. 2008. Spawning habitat of Atlantic salmon and brown trout: general criteria and intragravel factors. *River Research and Applications* 24: 330–339.
- Louhi, P. & Mäki-Petäys, A. 2003. Elämää soraikon ulkopuolella ja sisällä – lohen ja taimeen kutupaikan valinta sekä mädin elinympäristövaatimukset. *Kalaturkimuksia - Fiskundersökningar* nro 191, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, 23 s.
- Lundqvist, H., Rivinoja, P., Leonardsson, K. & McKinnell, S. 2008. Upstream passage problems for wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a flow controlled river and its effect on the population. *Hydrobiologia* 602: 111–127.
- Martin, P., Rancon, J., Segura, G., Laffont, J., Boeuf, G. & Dufour, S. 2012. Experimental study of the influence of photoperiod and temperature on the swimming behaviour of hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture* 362-363: 200-208.
- Marttila, M., Orell, P., Erkinaro, J., Romakkaniemi, A., Huusko, A., Jokikokko, E., Vehanen, T., Piironen, J., Huhmarniemi, A., Sutela, T., Saura, A. & Mäki-Petäys, A. 2014: *Rakennettujen jokien kalataloudelle aiheutuneet vahingot ja kalatalousvelvoitteet*. RKTL:n työraportteja 6/2014, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki, 96 s.
- McCormick, S.D., Hansen, L.P., Quinn, T.P. & Saunders, R.L. 1998. Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55 (Suppl. 1): 77-92.

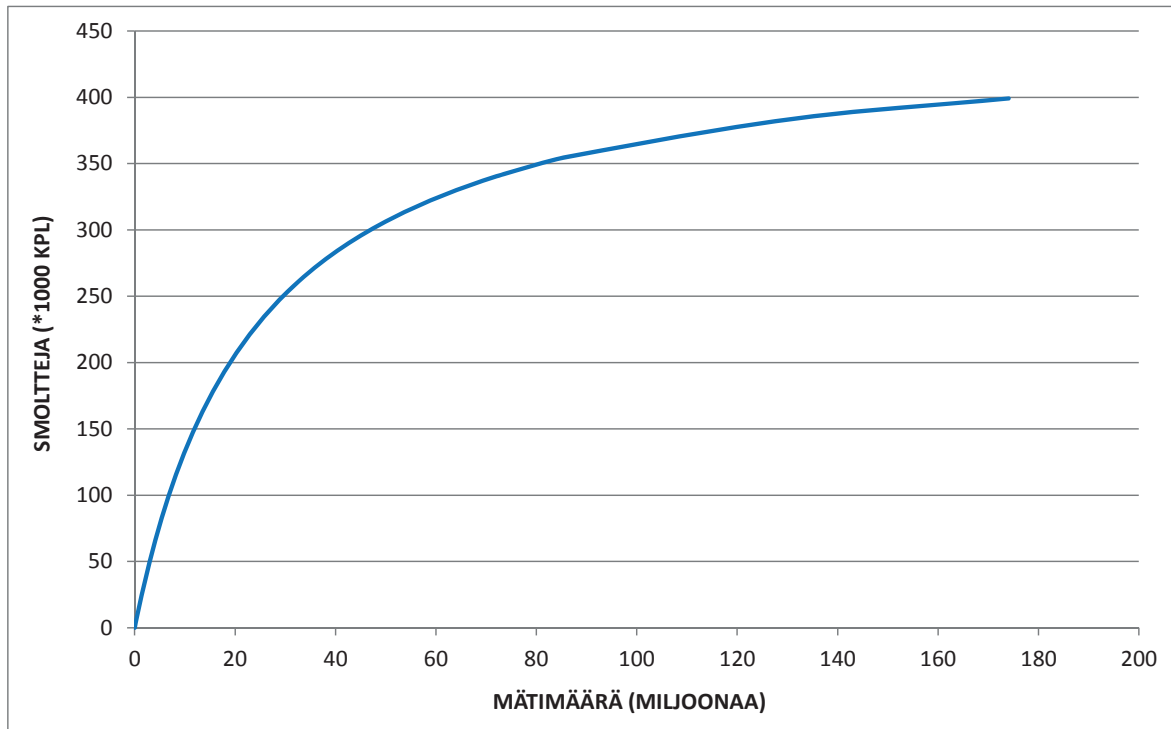
- Mäki-Petäys, A., van der Meer, O., Romakkaniemi, A., Orell, P., Rivinoja, P. & Erkinaro, J. 2012. Lohikantojen palauttaminen rakennetuille joille - mallinnustyökalu tuki- ja säätelytoimien biologiseen arviointiin. RKTL:n työraportteja 1/2012, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki, 41s.
- Mäki-Petäys, A., Erkinaro, J., Niemelä, E. Huusko, A. & Muotka, T. 2004. Spatial distribution of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a subarctic river: size-specific changes in a strongly seasonal environment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61: 2329-2338.
- Niva, T. 2001. Perämeren ja sen jokien lohi-istutusten tuloksellisuus vuosina 1959-1999. Kalatutkimuksia - Fiskundersökningar nro 179, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, 67 s.
- Olin, S. 2013. Ympäristövirtaama – rakennetun joen ekosysteemin turvaaminen. *Vesitalous* 5/2013, 13-15.
- Olsson, I.C., Greenberg, L.A. & Eklöv, A.G. 2001. Effect of an artificial pond on migrating brown trout smolts. *North American Journal of Fisheries Management* 21: 498-506.
- Otero, J., L'abée-Lund, J.H., Castro-Santos, T., Leonardsson, K., Storvik, G.O., Jonsson, B., Dempson, B., Russell, I.C., Jensen, A.J., Baglinière, J.-L., Dionne, M., Armstrong, J.D., Romakkaniemi, A., Letcher, B.H., Kocik, J.F., Erkinaro, J., Poole, R., Rogan, G., Lundqvist, H., MacLean, J.C., Jokikokko, E., Arnekleiv, J.V., Kennedy, R.J., Niemelä, E., Caballero, P., Music, P.A., Antonsson, T., Gudjonsson, S., Veselov, A.E., Lamberg, A., Groom, S., Taylor, B.H., Taberner, M., Dillane, M., Arnason, F., Horton, G., Hvidsten, N.A., Jonsson, I.R., Jonsson, N., McKelvey, S., Næsje, T.F., Skaala, Ø., Smith, G.W., Stenseth, N.C. & Vøllestad, L.A. 2013. Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Global Change Biology* doi: 10.1111/gcb12363.
- Pohjolan Voima. 2009. Kollaja-hanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. 380 s.
- Rivinoja, P. 2005. Migration Problems of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Flow Regulated Rivers. Doctoral Thesis 2005: 114. Department of Aquaculture, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Umeå, Sweden. ISBN: 91-576-6913-9.
- Rivinoja, P., McKinnell, S. & Lundqvist, H. 2001. Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a northern Swedish river caused by a hydroelectric power-station. *Regulated Rivers: Research and Management* 17: 101–115.
- Sormunen, T. 1980. Selvitys lijoen kalanhoitovelvoitteen tarpeesta suoritettujen velvoitehoidon ja tutkimuksen perusteella. 202 s.
- Sutela, T., Karjalainen, T. P., Mäki-Petäys, A., Laine, A., Tammi, J., Koivurinta, M., Orell, P. & Louhi, P. 2012. Kalatiestrategian taustaselvitykset. Maa- ja metsätalousministeriö, Kala- ja riistahallinnon julkaisuja 90, 82 s.
- Tharme, R. E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* 19:397-441.
- Tennant, D.L. 1976. Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources. *Fisheries* 1, 6-10.
- Thorstad, E.B., Whoriskey, F., Rikardson, A.H. & Aarestrup, K. 2011. Aquatic Nomads: The life and migration of the Atlantic salmon. Teoksessa: Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J. (toim.). Atlantic salmon ecology. Wiley-Blackwell. s. 1-32.



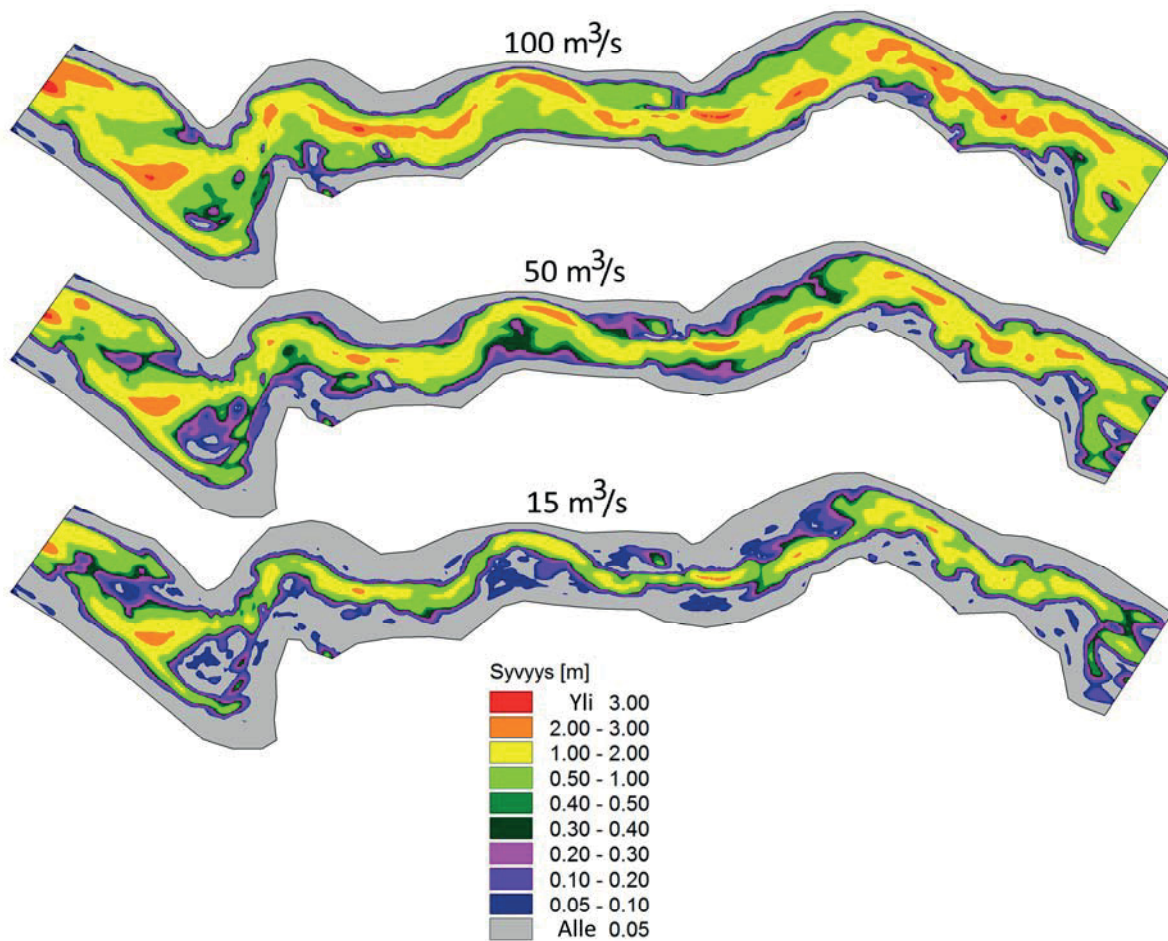
- Thorstad, E.B., Økland, F., Aarestrup, K. & Heggberget, T.G. 2008. Factors affecting the within-river spawning migration of Atlantic salmon, with emphasis on human impacts. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18: 345–371.
- Thorstad, E.B., Fiske, P., Aarestrup, K., Hvidsten, N.A., Hårsaker, K., Heggberget, T.G & Økland, F. 2005. Up-stream migration of Atlantic salmon in three regulated rivers. Teoksessa: Spedicato M.T., Lembo G. & Marmulla G. (toim.). *Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe, Ustica, Italy, 9-13 June 2003. FAO/COISPA, Rome.* s. 111-121.
- Valtioneuvosto. 2012. Kansallinen kalatiestrategia. Valtioneuvoston periaatepäätös 8.3.2012. 30 s.
- 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 lijoen vesistöalueella - Esiselvitys. Vaelluskalat palaavat lijokeen -hanke, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Julkaisematon käsikirjoitus 24.11.2010.  
<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BD41575B2-B197-4902-BBF0-019587A27EF2%7D/94672>
- Vogt, H. 1978. An ecological and environmental survey of the humic man-made lakes in Finland. – *Aqua Fennica* 8: 12-24.
- Vähä, V., Romakkaniemi, A., Pulkkinen, K., Ankkurineimi, M., Keinänen, M., Lilja, J. & Leminen, M. 2014. Lohi- ja meritaimenkantojen seuranta Tornionjoen vesistöissä vuonna 2013. Riista- ja kalatalous. Tutkimuksia ja selvityksiä 2/2014. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki, 28 s.
- Ward, D.L., Petersen, J.H. & Loch, J.J. 1995. Index of predation on juvenile salmonids by northern squawfish in the Lower and Middle Columbia River and in the Lower Snake River. *Transactions of the American Fisheries Society* 124: 321-334.

## Liitteet

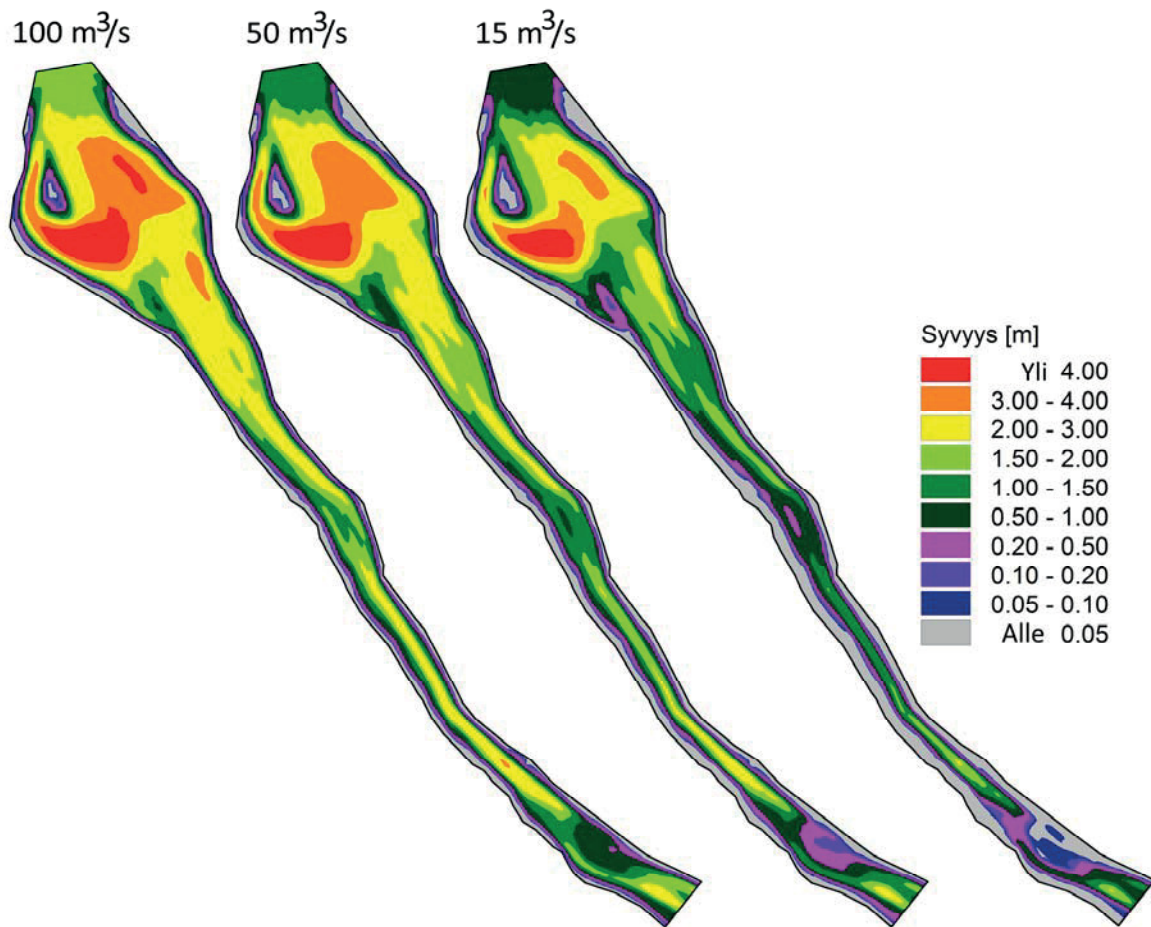
Liite 1. Mädistä smoltiksi tiheysriippuvuus lijoen alueella (esimerkkinä mallinnusskenaario A, lijoen potentiaalinen lähtötila). Mätimäärän ja smoltituotannon suhde ei tutkimusten mukaan kasva suoraviivaisesti, vaan alun voimakkaan kasvun jälkeen smoltituotannon lisäämiseen tarvitaan suhteellisesti enemmän mätimunua.



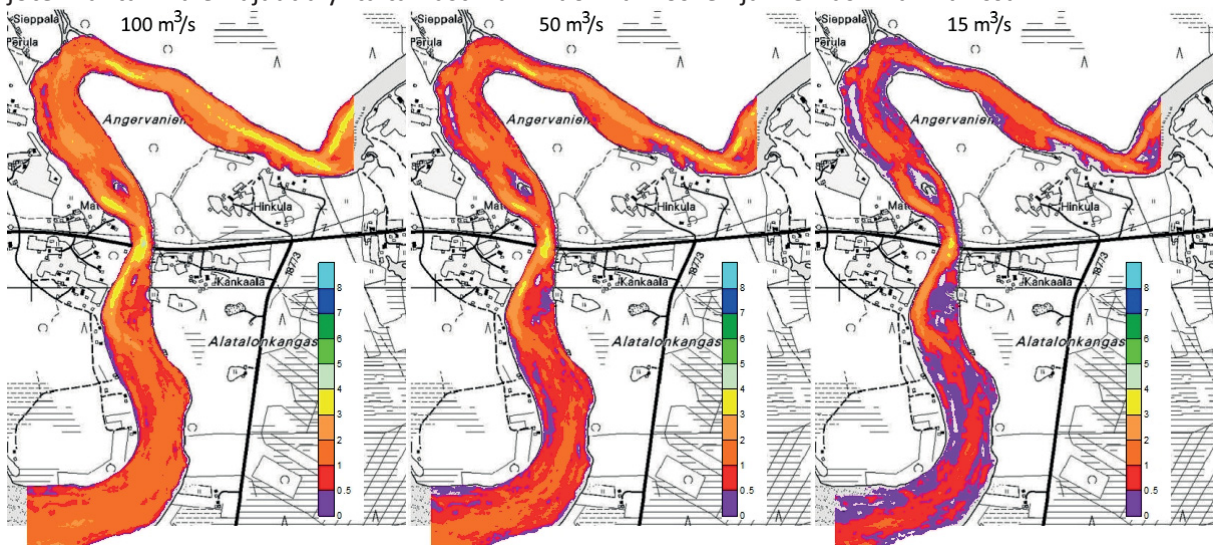
Liite 2. Virtausmallinnuksen (MIKE 3D) antamat syvyysluokat Vuormankosken mallinnusalueella kolmella eri virtaamalla ( $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Rantaviiva on rajattu 5 cm:n kohdalta, koska kuivumis-vettymisalgoritmi toimii välillä 0-5 cm.



Liite 3. Virtausmallinnuksen (MIKE 3D) antamat syvyyssluokat Kiernasvirran mallinnusalueella kolmella eri virtaamalla (15 m<sup>3</sup>/s, 50 m<sup>3</sup>/s ja 100 m<sup>3</sup>/s). Rantaviiva on rajattu 5 cm:n kohdalta, koska kuivumisvettymisalgoritmi toimii välillä 0-5 cm.



Liite 4. Virtausmallinnuksen (FESWMS-2DH) antamat syvyysluokat Varpuvirran mallinnusalueella kolmella eri virtaamalla ( $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  ja  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Alin syvyysluokka on mallinnuksessa 0-50 cm, joten rantaviiva ei rajaudu yhtä tarkasti kuin Vuormankosken ja Kiernasvirran kuvissa.





**luke.fi**

Luonnonvarakeskus  
Viikinkaari 4  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000