

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 16/2025

Vaellussiian luontainen lisääntyminen Kokemäenjoessa

Lari Veneranta, Pekka Jounela, Hannu Harjunpää, Jarno Jääskeläinen
ja Annica Långnabba

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 16/2025

Vaellussiian luontainen lisääntyminen Kokemäenjoessa

**Lari Veneranta, Pekka Jounela, Hannu Harjunpää, Jarno Jääskeläinen
ja Annica Långnabba**

Viittausohje:

Veneranta, L., Jounela, P., Harjunpää, H., Jääskeläinen, J. & Långnabba, A. 2025. Vaellussiian luontainen lisääntyminen Kokemäenjoessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 16/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 40 s.

Lari Veneranta ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0001-5074-0822>



ISBN 978-952-419-025-1 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-025-1>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Lari Veneranta, Pekka Jounela, Hannu Harjunpää, Jarno Jääskeläinen ja Annica Långnabba

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2025

Julkaisuvuosi: 2025

Kannen kuva: Lari Veneranta

Tiivistelmä

Lari Veneranta, Pekka Jounela, Hannu Harjunpää, Jarno Jääskeläinen ja Annica Långnabba

Luonnonvarakeskus

Kokemäenjoki oli vielä reilut sata vuotta sitten merkittävä vaellussiikajoki, jossa vaellussiikojen kutu tapahtui jopa 135 km etäisyydellä jokisuusta. Joen patoaminen ja rakentaminen 1930-luvulla sekä jo aiemmin alkanut valuma-alueiden maa- ja metsätaloudellinen käyttö yhdessä voimakkaan teollisuuskuormituksen kanssa heikensivät siian lisääntymismahdollisuuksia huomattavasti. Joen tilan ollessa heikoimmillaan 1950-luvulla alkuperäinen vaellussiikakanta oli katoamassa kokonaan. Kalanviljelyn ja istutustoiminnan avulla siikakantaa joessa pystyttiin kuitenkin säilyttämään. Merialueelta Kokemäenjokeen kutemaan nousevat siiat ovat peräisin sekä joessa tapahtuvasta lisääntymisestä että istutuksista. Eteläisiin olosuhteisiin sopeutuneena ja nopeakasvuisena siikakantana Kokemäenjoen vaellussiika on erityisen arvokas. Kokemäenjoen vedenlaadun paranemisen myötä vaellussiian luontainen lisääntyminen on onnistunut joessa säännöllisesti Harjavallan padon alapuolisella alueella. Jokiveden laatu emosiikojen nousuajasta lokakuusta aina siihen asti, kun kuoriutuneet poikaset jättävät joen toukuussa on vaellussiikojen kannalta merkityksenkäs.

Tutkimuksessa selvittiin luonnonlisääntymisen määrää merkintä-takaisinpyyntikokeella vuosina 2019 ja 2020. Kaikki jokeen istutetut vastakuoriutuneet siianpoikaset merkittiin alitsariinivärillä, joka imeytyy poikasen luutumisiin. Merkki tunnistettiin pyydystettyjen poikasten kuulo- luusta, otoliitista mikroskoopin ja fluoresenssivalon avulla. Koetta varten poikasia pyydettiin yhteensä 21 paikasta padon alapuolelta joen alaosalle saakka molempina tutkimusvuosina. Pyyntiaika kattoi koko sen ajan, jolloin poikaset olivat joesta löydettävissä. Luonnossa syntyneiden merkittömien poikasten ja merkittyjen poikasten lukumääräsuhteiden perusteella laskettiin arvio siian luonnonlisääntymisen määrälle.

Laskentamallin perusteella luonnontuotannon mediaanimääräksi arvioitiin Kokemäenjoessa vuonna 2019 0,29 miljoonaa siianpoikasta ja vastaavasti vuonna 2020 0,81 miljoonaa siianpoikasta. Vuoden 2019 laskenta-arvio on epävarma poikasten värjäytymisessä todetun vaihtelun vuoksi. Istutusmääriin verrattuna joen luonnontuotanto on vähäistä. Poikashaavintojen perusteella siian kutualueita on mahdollisesti useissa kohdissa jokea padon alapuolisen alueen lisäksi, koska näiltä alueilta saatiin ennen istutusta vastikään kuoriutuneita poikasia. Siika on Kokemäenjoessa rauhoitettu kutuaikana, ja joessa siihen kohdentuvaa pyyntiä ei ole lukuun ottamatta Harjavallan voimalaitoksen alapuolella tehtävää emokalapyyntiä sekä vuonna 2024 poikkeusluvalla sallittua ongintaa. Luonnontuotantoarvion, emokalapyynnestä kerätyn tiedon ja aiemman kirjallisuuden perusteella arvioitiin Kokemäenjoen siian kutukannan suuruusluokkaa.

Kokemäenjoen vaellussiian luontaisen lisääntymisen edellytysten kohentaminen ja kutualueeksi sopivan alueen pinta-alan kasvattaminen edellyttäisi nykyistä laajempaa tietoa kutualueista meren ja Harjavallan padon välisellä alueella. Kalastuksen mitoittamisen perusteeksi tulisi selvittää, miten vaellussiian kutukannan koko vaikuttaa poikastuotannon määrään joessa.

Asiasanat: vaellussiika, lisääntymisalue, poikanen, istutus, värimerkintä

Abstract

Lari Veneranta, Pekka Jounela, Hannu Harjunpää, Jarno Jääskeläinen and Annica Långnabba

Natural Resources Institute Finland

The anadromous whitefish population in the Kokemäenjoki River is one of the few naturally reproducing populations in the rivers flowing into the Finnish coastal area. The damming and construction of the Kokemäenjoki River, along with industrial pollution and land and forest use in its drainage area, suppressed the natural reproduction of whitefish as early as the early 20th century. By the 1950s, the original migratory whitefish population was on the verge of disappearing from the river. However, through active fish stocking, the whitefish population in the Kokemäenjoki River was successfully sustained. Adapted to southern conditions and characterized by rapid growth, the Kokemäenjoki migratory whitefish is particularly valuable.

The production of migratory whitefish larvae takes place in the river, making water quality crucial from the spawning period in October until the hatched larvae leave the river in May. Improved water quality has contributed to a more abundant natural reproduction of whitefish in the Kokemäenjoki River.

This study investigated the extent of natural reproduction through a mark-recapture experiment in the area downstream of the Harjavalta dam. All newly hatched whitefish larvae released into the river were marked with an alizarin dye, which is absorbed into the larvae otoliths. The dye was identified by examining the head of larvae and otoliths under a fluorescent microscope. Larvae were captured at a total of 21 locations, from below the dam to the lower reaches of the river, in the spring of 2019 and 2020. Based on the ratio of naturally born unmarked larvae to marked larvae, an estimate was made of the natural whitefish reproduction.

According to the statistical model, the median estimate for natural production in the Kokemäenjoki River was 0.29 million whitefish larvae in 2019 and 0.81 million in 2020. The estimate for 2019 is uncertain due to observed variation in larvae coloration. Compared to stocking numbers, natural production in the river remains low. Based on sampled whitefish larvae, it is likely that there are multiple whitefish spawning areas in the river in addition to Harjavalta dam, as recently hatched fry were obtained from these areas before stocking. Whitefish spawning in the Kokemäenjoki River is protected during the spawning season, and there is no targeted fishing of whitefish in the river, except for broodstock fishing below the Harjavalta power plant and a small area where rod fishing is permitted.

A more detailed understanding of the natural reproduction of migratory whitefish in the Kokemäenjoki River would require broader data collection on spawning areas between the estuary and the Harjavalta power plant dam. To determine the number of spawning adults and the expected number of recruits that the spawning population produces each season, the stock should be investigated in greater detail.

Keywords: whitefish, reproduction area, larvae, stocking, mass-marking

Sisällys

1. Johdanto	6
2. Menetelmät	11
2.1. Vaellussiian poikasten merkintä ja istutus	11
2.2. Poikasten pyynti.....	13
2.3. Värimerkittyjen poikasten tunnistaminen	16
2.4. Luonnonlisäntymisarvion laskenta	18
2.5. Emokalojen mätimäärän arviointi.....	18
3. Tulokset.....	19
3.1. Poikaspyynti.....	19
3.2. Luonnontuotannon määrän arviointi.....	23
3.3. Kutukannan tuottaman mätimäärän arviointi	24
4. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset.....	26
4.1. Poikasten merkintä.....	26
4.2. Poikasten pyynti ja esiintyminen joessa.....	27
4.3. Luonnonlisäntymisen määrä	29
4.4. Siian lisääntymiseen vaikuttavat tekijät.....	30
4.4.1. Joen virtaamavaihtelun vaikutus kutualueisiin	30
4.4.2. Kutukannan koko	32
4.5. Kokemäenjoen siikakannan lisääntymisen edellytysten parantaminen.....	33
4.6. Luonnonlisäntymiseen soveltuvien alueiden selvittäminen.....	34
Viitteet.....	36

1. Johdanto

Kokemäenjoki on historiallisesti ja vielä nykyäänkin Selkämeren merkittävin siikajoki, sekä saaliiden että istutusmäärien kuin luonnonlisääntymisestä kertyneiden havaintojen perusteella (Hurme 1970, Veneranta & Harjunpää 2017). Jokeen tai merialueelle istutettuja sekä osin luonnonlisääntymisestä peräisin olevia siikoja saadaan saaliiksi pääosin joen edustan merialueelta sekä sen eteläpuolelta Ahvenanmaalle saakka ulottuvalta alueelta (Leskelä ym. 2015, Leinonen ym. 2020). Arviota joen tai siihen tehtyjen istutusten tuottaman siikasaaliin kokonaismäärästä merialueella nykytilassaan ei ole tehty. Ennen joen rakentamista ja veden laadun merkittävää heikentymistä siikaa joesta saatiin saaliiksi noin 60 tonnia vuodessa (Hurme 1970). Nykyisellään pyyntiä joessa ei juurikaan ole, koska siika rauhoitettiin kalastusasetuksessa vuonna 2016 syyskuun 1. päivästä alkaen ja toisaalta jokeen nouseva siikamäärä on jäänyt siksi pieneksi, että emokalapyyntiä lukuun ottamatta merkittävää siianpyyntiä ei ole kannattavaa tehdä. Kokemäenjoen siikoja pyydetään nykyään pääosin merialueella sekä syysaikaan jokisuussa. Kutevan siikakannan koosta joessa ei siten ole saatavilla kannan arviointiin soveltuvaa tietoa jokialueen saaliiden kehityksen kautta ja toisaalta Selkämeren merialueen siikasaaliit koostuvat useista kannoista tai myös muualle kuin Kokemäenjokeen ja sinne kudelulle pyrkivistä siioista. Kokemäenjoen siiat ovat poikkeuksellisia muihin Pohjanlahden jokien siikakantoihin nähden, koska ne ovat nopeakasvuisia ja kooltaan suuria. Vanhojen tietojen perusteella joen alaosalta saadut siiat ovat olleet tyypillisesti kooltaan 1,3–2,5 kg, vaihteluvälin ollessa 0,85–4 kg välillä (Lähteenoja 1886). Järven (1928) mukaan kuusivuotiaat Kokemäenjoen vaellussiiat painoivat 0,9–1,3 kg ja olivat pituudeltaan keskimäärin 45 cm.



Kuva 1. Toepyyntiä Harjavallassa. Tokeita käytettiin siian ja lohien kalastuksessa. Kokemäenjoella siikoja pyydettiin myös lippoamalla samaan tapaan kuin vielä nykyään esimerkiksi Tornionjoen Kukkolanokosella. T.H Järvi 1914. Kansatieteen kuvakokoelma, Museovirasto

Joen patoaminen ja rakentaminen sekä valuma-alueiden maa- ja metsätaloudellinen käyttö voimakkaan teollisuuskuormituksen ohella heikensivät Kokemäenjoen vedenlaatua merkittävästi. Ensimmäisiä perkaustoimenpiteitä jokialueella on tietävästi tehty käsivoimin jo 1700-luvulla ja niiden mittakaava kasvoi 1900-luvulle saakka. Voimalaitokset jokeen rakennettiin 1919–1951 (Louekari 2011). Alimpana joessa sijaitseva Harjavallan pato liitettiin sähköverkkoon vuonna 1939, jolloin kalastus lopullisesti menetti merkityksensä jokivarressa (Salminen 2007). Patojen rakentaminen esti kalan vapaan kulun ja jätti alleen huomattavan määrän lisääntymisalueita. Honkasalon ja Pennasen (1988) mukaan siiankalastus jokialueella loppui 1910-luvulla uiton vuoksi, sen jälkeen pyynti on ollut yksinomaan merialueella tai jokisuulla tapahtuvaa. Kokemäenjoen suualueelta ja edustalta pyydetyt siikasaaliit romahtivat 1950-luvulla, joka sopii ajallisesti yhteen Harjavallan voimalaitoksen rakentamisen sekä teollisuuden ja kaupunkien jätevesikuormituksen kasvun kanssa. Kokemäenjoen siikakanta pelastettiin kalanviljelyn ja istutustoiminnan avulla (Honkasalo & Pennanen 1988). Istutustoimintaa on ollut merkittävässä määrin jo 1900-luvun alkupuolella, jolloin Äetsän kalahautomossa on tuotettu siianpoikasia (Hurme 1970, Kalastushallitus 1923). Vaellussiian lisääntymis- ja pyyntialue Kokemäenjoessa ennen joen merkittävää muokkausta on ulottunut ainakin Rautaveteen saakka. Tietävästi vaellussiian pyyntiä on suoritettu Kuloveden Kutalanvirrassa saakka (Honkasalo & Pennanen 1988), jonne jokisuulta on matkaa noin 135 km. Ennen joen rakentamista (vuoden 1917 tilanne) meren ja Kutalanvirran välissä oli yhteensä 43 koskea, joiden pinta-alaksi oli määritetty 107 ha. Nykyisellään varsinaisia koskialueita on kaksi kappaletta ennen patoa, pinta-alaltaan noin 10 ha ja jokisuusta ensimmäiselle padolle on noin 37 km etäisyys.

Kokemäenjoessa on pyydetty sekä kudulle nousevaa että keväällä kudulta laskeutuvaa, joessa talvehtinutta vaellussiikaa (Hurme 1974). Alkujaan joessa on pyydetty siikaa samaan tapaan lippoamalla kuin nykyään Tornionjoella (Vilkuna 1940, Vaaraniemi 2021). Emokalamerkinnoistä saatujen yksittäisten merkkipalautusten perusteella vielä nykyäänkin siika talvehtii joessa tai jokisuualueella, koska kevätaikaan on saatu suualueelta saaliiksi syksyllä merkittyjä siikoja (Luke, julkaisematon kalamerkintäaineisto). Ennen joen merkittävää muokkausta kirja- ja vanhoista siikasaalista on pääteltävissä, että jokeen on noussut siikaa jo loppukesästä. Esimerkiksi Pirilänkoskesta, nykyisen Harjavallan voimalaitoksen kohdalta on raportoitu huomattavia siikasaaliita elokuussa (Lindström 1862). Nykyisellään siikoja saadaan saaliiksi Harjavallan padon alapuoliselta alueelta satunnaisesti jo syyskuussa, mutta pääosin lokakuun loppussa ja marraskuun alussa. Jokisuulta Reposaaaren alueelta Kokemäenjoen siiksi arveltuja, kudulle menossa olevia siikoja saadaan saaliiksi lähinnä syys- ja lokakuussa (kalastaja Heikki Salokangas, suullinen tiedonanto). Varhaisemmin nousevista sioista ei ole havaintoja, ja todennäköisesti tämä kannan osa on menetetty joen patoamisen myötä.

Joen vedenlaatu on parantunut heikoimmista ajoista huomattavasti (Oravainen 2021). Nykyisellään jokeen kudulle nousevien siikojen mädistä kehittyi joessa poikasia (Veneranta & Harjunpää 2017), jopa merkittävässä määrin verrattuna muihin Selkämeren alueelle laskeviin jokiin (Veneranta & Harjunpää 2017, Jokikokko & Veneranta 2022). Joessa toteutetussa mädin haudontakokeessa keskimäärin 61 % mädistä selvisi hengissä talven yli, vaikkakin mäti oli keväällä ennen kuoriutumista osin sedimentin, levän ja sienirihmaston peittämää (Veneranta & Harjunpää 2017). Lisäksi siianpoikashaavinnat ovat osoittaneet, että luonnonkudusta lähtöisin olevia poikasia on havaittavissa lähes koko Harjavallan padon alapuolisella alueella ja vasta-kuoriutuneiden poikasten esiintymisen perusteella voidaan arvioida, että kutuun ja lisääntymiseen sopivia alueita on useammassa kohtaa jokea (Veneranta & Harjunpää 2017).

Siian luonnonlisäntymiselle keskeisiä ongelmia joessa ovat joen voimalaitoskäyttö, virtaamavaihtelu ja vedenpinnan korkeuden huomattava vuorokausivaihtelu, jokeen tulevat jätevedet sekä valuma-alueen maankäyttö, erityisesti pelloilta valuva kiintoaines ja ravinteet. Harjavallan pato toimii ensimmäisenä vaellusesteenä ja padon alapuoliselta osalta jokea on monin paikoin ruopattu tai oikaistu mm. tulvasuojelun vuoksi. Joen pohjan rakenteellisen muokkauksen vaikutusta kutualueisiin ei tunneta. Joessa virtaamasäännöstely on voimakasta vuorokausitasolla ja vedessä on ajoittain erittäin paljon kiintoainesta. Kokemäenjoessa harjoitettiin ennen voimalaitoskäyttöä myös tukinuittoa, ja esimerkiksi Lammaistenlahdella uiton jäljiltä on edelleen runsaasti tukkeja pohjassa (Veneranta & Harjunpää 2017). Joen varrella on huomattavissa määrin teollisuutta, jonka vuoksi jokeen on päässyt satunnaisesti erilaisia kemikaaleja, esimerkiksi vuonna 2014 nikkeliä, sulfaattia ja kuparia ja vuonna 2018 öljyä. Tällaisilla päästöillä voi olla vaikutusta myös siian lisääntymisen onnistumiseen, erityisesti jos ne ajoittuvat mätä- tai poikasvaiheeseen.

Kokemäenjokeen istutetaan voimalaitoksista ja kuormituksesta aiheutuvien haittojen kompensoimiseksi merkittävä määrä siianpoikasia vuosittain, sekä vastakuoriutuneita että kesänvanhoja. Vuosina 2010–2016 vastakuoriutuneiden poikasten istutusmäärät vaihtelivat 0,1–2,6 miljoonan poikasen välillä ja kesänvanhojen vastaavasti 0,07–0,2 miljoonan poikasen välillä (ELY- keskus, sähköinen istutustietojärjestelmä). Harjavallan padon yhteyteen valmistui siian mädin haudontaan soveltuva hautomo vuonna 2017 ja viime vuosina hautomosta on vapautettu noin 4–7 miljoonaa vastakuoriutunutta siianpoikasta keväisin.

Vastakuoriutuneiden poikasten alkuvaiheen kuolevuudesta istutuksen jälkeen ei ole tutkimustietoa, mutta se todennäköisesti vaihtelee huomattavasti kevään ja kesän olosuhteista riippuen. Siten istutuskannattavuuden arviointi on epävarmaa. Järville tehdyissä istutuksissa vastakuoriutuneiden poikasten saalistuoton on todettu olevan hyvin vaihtelevaa, ollen lähes nollan ja enimmillään noin 7 kg/1000 vastakuoriutunutta poikasta välillä (Salojärvi 1980).

Merialueen istutusten osalta on arvioitu ruiskuvärimerkinnällä merkittyjen kesänvanhojen istutuspoikasten saalistuottoa (Leskelä ym. 2004, 2006, 2009, Veneranta & Harjunpää 2021). Kesänvanhoilla poikasilla tehtyjen istutusten ja jokeen kudulle palaavien siikojen määrässä on esimerkiksi Tornionjoessa todettu olevan selvä yhteys siten, että runsaiden istutusten myötä myös kutevasta kannasta joessa tehdystä pyynnistä saatu saalis on kasvanut (Jokikokko & Huhmarniemi 2014). Kesänvanhoilla poikasilla on saatu enimmillään yli 50 kg/1000 kesänvanhaa poikasta saalistasoja (Leskelä ym. 2004; 2009).

Kokemäenjoen kesänvanhoilla istutuspoikasilla toteutetut ruiskuvärimerkintäkokeet ovat osoittaneet, että istutukset ylläpitävät siikakantaa, mutta osa jokeen nousevista siiioista on peräisin todennäköisesti luontaisesta lisääntymisestä (Leskelä 2015). Enimmillään värimerkittyjen siikojen osuus on ollut alle puolet jokeen nousevista siiioista, mutta jokeen merkintöjen yhteydessä istutettu myös vastakuoriutuneita poikasia, sekä tehty istutuksia merialueelle. Siten joessa syntyneiden kalojen osuutta kutukannassa on ollut hankala arvioida.

Siika Kokemäenjoessa kutee marraskuussa ja poikaset kuoriutuvat keväällä jäiden sulaessa ja vesien lämmitessä (Veneranta & Harjunpää 2017). Mädin vuotuinen luonnollinen kuolevuus on huomattava ja Lammaistenlahdella mätipumppaukseen perustuvassa selvityksessä talven yli arvioitiin selviävän noin 5 % kudetusta mätimäärästä (Veneranta & Harjunpää 2017). Siian kutukannan koon lisäksi lisääntymistuottoa rajoittavia tekijöitä voivat olla esimerkiksi voimakkaat virtaamavaihtelut kudun aikaan, vedenlaadun vaihtelu ja mädin kehitykselle sopivan

pohjarakenteen puute, jolloin mäti ylivirtaamatilanteissa huuhtoutuu alavirran suuntaan. Veneranta ja Harjunpää (2017) totesivat siian mätipumppausten perusteella, että Kokemäenjoessa saattaisi olla mahdollista lisätä vaellussiialle sopivien lisääntymisalueiden määrää kutu-aluekunnostuksin. Korkeampi luontaisen lisääntymisen määrä ylläpitää kannan geneettistä monimuotoisuutta sekä sopeutumiskykyä ympäristön muutoksiin, saattaa parantaa kannan hyödyntämismahdollisuuksia ja vastaa siten myös nykyisen kalastuslain tavoitteisiin luonnollisääntymisen edistämisestä. Kunnostustoimenpiteiden vaikutusten seuraamiseksi tulisi tietää vaellussiian lisääntymisen nykytaso ja lisääntymiselle soveliaiden alueiden laajuus. Tietoa voidaan hyödyntää myös velvoiteistutusten tason arvioinnissa, jos niitä suhteutetaan joen alkuperäiseen siian poikastuotantoon.

Harjavallan voimalaitoksen yhteydessä oleva mätihautomo mahdollisti joen luontaisen poikastuotannon tason määrittämisen merkintä-takaisinpyyntikokeella. Merkittyjen, jokeen vapautettavien istutuspoikasten ja merkitsemättömien, joessa kuoriutuvien luonnonpoikasten lukumääräsuhteiden perusteella arvioitiin luonnonpoikasten lukumäärää kahtena keväänä. Aiemmin vastaavia kokeita on toteutettu mm. Simojoella (Lehtonen ym. 1992) ja Kymijoella (Raunio & Nyberg 2013). Näissä tutkimuksissa merkintä oli tehty radioaktiivisella strontiumilla, mutta se on mahdollista toteuttaa myös kylvettämällä siianpoikaset alitsariinivärisissä ennen vapautusta (Keränen 2004). Tällöin siianpoikasen kuuloluuhun, otoliittiin imeytyy punainen merkkiväri, joka erottuu otoliitista fluoresenssimikroskoopilla, kun poikanen on pyydystetty näytteeksi. Kalan jälkikäyttöä merkintä alitsariinilla ei haittaa millään tavalla eikä merkki näy pienpoikasvaiheen ohittaneessa kalassa ulospäin.

Istutettujen ja luonnossa syntyneiden siikakalojen poikasten erottelu on mahdollista värjäämällä poikaset alitsariinivärillä (ARS) (Wanzenböck ym. 1998, Eckmann 2003, Keränen 2004, Martyniak ym. 2011). Värjäyksen tarkoituksena on erotella myöhemmin jokeen vapautetut viljellyt poikaset luonnonpoikasista ja arvioida niistä saatujen tulosten perusteella jokikohtainen luonnonpoikastuotto. Alitsariiniväriin fluorokromiyhdisteet muodostavat kelaattikompleksin, joka kiinnittyy kalan kuuloluun, otoliitin kalsiumioniin. Kalsium-fluorokromiyhdisteet näkyvät ultravioletivalolla, koska se saa ne heijastamaan fluoresoivaa valoa (Bevelander & Goss 1962, Monaghan 1993). Värimerkinnän kiinnittymisen perusteella alitsariinivärjäys soveltuu poikasten massamerkintään (Eckmann ym. 2003), ja kohtuullisella työpanoksella on mahdollista merkitä esimerkiksi koko vuoden istutuserä, kuten tässä tutkimuksessa. ARS-merkinnästä vastakuoriutuneiden lohikalojen värjäyksessä on runsaasti kokemuksia (Keränen 2004). Alitsariinivärjäyksen etuna on, että sitä voidaan käyttää hautomoissa, mistä poikaset päästetään heti kuoriutumisen jälkeen vapauteen ja erillistä allasvaihetta merkintää varten ei tarvita.

Ennen paikallisen hautomon rakentamista Kokemäenjoesta pyydettyjen emosiikojen mäti haudottiin Luonnonvarakeskuksen viljelylaitoksessa Keminmaalla. Osa haudotuista poikasista siirrettiin jatkokasvatukseen luonnonravintolammikoihin kesänvanhana istutusta varten ja osa tuotiin vastakuoriutuneina poikasina Kokemäenjokeen. Pohjoisesta sijainnista johtuen istutuspoikasten kuoriutuminen ja istutus tapahtui myöhässä suhteessa Kokemäen joen lämpötilakehitykseen. Vuosina 2011–2016 istutukset vastakuoriutuneilla poikasilla tehtiin pääosin 27.4.–18.5. välisenä aikana, mikä on noin 1–4 viikkoa myöhemmin kuin poikashaavinnoissa vuosina 2014–2016 havaittu luontaisen kuoriutumisen pääjakso Kokemäenjoella (Veneranta & Harjunpää 2017). Siianpoikasten kuoriutuminen alkaa tavallisesti veden lämpötilan saavuttaessa 2–4 °C tason (Veneranta ym. 2013), yleensä jäiden lähdön aikaan. Suurimmillaan poikastiheydet haavinäytteissä ovat veden lämpötilan ollessa 5–6 °C (Larsson ym. 2013, Veneranta & Harjunpää 2017). Kuoriutumiseen voi vaikuttaa myös virtaaman kasvaminen

kevättulvan myötä, jolloin kuoriutuminen varsinkin myöhäisinä keväinä voi ajoittua kylmemmän veden ajankohtaan (Naesje ym. 1986). Haudonnan tapahtuessa Kokemäenjoella hautomossa kuoriutuminen voidaan ajoittaa hautomon veden lämpötilaa säätämällä luontaisen lisääntymisen kanssa kutakuinkin yhdenmukaiseen jaksoon.

Ympäristöolosuhteiden vaihtelun ja kokeeseen liittyvien satunnaistekijöiden vähentämiseksi koe suunniteltiin toistettavaksi kahtena vuonna. Töiden suunnittelussa hyödynnettiin vuonna 2016 Kokemäenjoessa toteutettua poikastuotannon peruskartoitusta (Veneranta & Harjunpää 2017). Vastakuoriutuneiden siianpoikasten merkintäkokeen tavoitteena oli selvittää joen vaellussiian luonnontuotannon määrää. Kokeesta saadut tulokset muodostavat perustan vasta-kuoriutuneiden poikasten istutusten tuloksellisuuden arvioinnille, mikäli vastaava koejärjestely toteutetaan myöhemmin istutustoiminnan oltua käytössä useamman kalasukupolven ajan tai jos istutusten osuutta kutukannasta selvitetään kutemaan nousseista sioista kerättävien otoliittinäytteiden avulla.

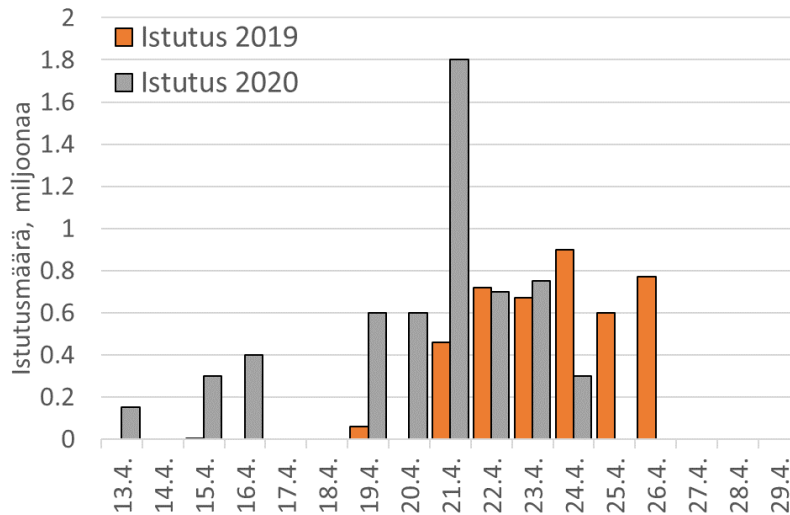
2. Menetelmät

2.1. Vaellussiian poikasten merkintä ja istutus

Ensimmäinen värjäyskokeilu tehtiin Kokemäenjoessa keväällä 2018, mutta se keskeytettiin, kun joessa todettiin olevan öljyä siianpoikasten pyyntipaikoissa talvella tapahtuneen padon yläpuolisen öljypäästön seurauksena. Vuosina 2019 ja 2020 värjäys tehtiin koko siianpoikasten istutusmäärälle. Värjäyksen ja poikasten istutuksen toteuttivat hautomolla Kalatalouspalvelu Mäkelä Tmi ja Länsi-Suomen kalatalouskeskus. Värjäystä varten alitsariiniväriä (Sigma-Aldrich Alizarin Red S certified, A5533, CAS 130-22-3) pakattiin valmiiksi 1 dl lasipurkkeihin 2 g kuhunkin purkkiin, jolloin 20 litran vesitulavuuteen liuottamalla värjäysliuoksen pitoisuudeksi saatiin 100 ppm. Värjäuhe liuotettiin lasipurkkiin laitettuun hautomorakennuksen veteen värjäystä edeltävänä päivänä liukenemisen varmistamiseksi ja pH:n tasaamiseksi. Harjavallan padon yhteydessä sijaitsevassa hautomossa pyrittiin veden lämpötilan säätämällä ajoittamaan siianpoikasten kuoriutumisen samaan ajankohtaan joessa kehittyvien mätimien kuoriutumisen kanssa. Hautomon poikasten kuoriutumisen alettua poikaset valuvat hautontasuppilosta kuoriutumiskaukaloon, josta poikaset haavittiin ja niiden lukumäärä mitattiin litramitalla vastakuoriutuneiden poikasten mittaoheisuuden mukaisesti (Lukon vesiviljelyn sisäinen työohje).

Kuoriutumismäärän mukaan poikasista värjättiin kerrallaan 50 000–100 000 kpl 40 litran vetoisissa saaveissa siten, että saaviin oli laitettu hautomon vedellä täytetty muovisäkki. Muovisäkkiin lisättiin happea ja säkki suljettiin värjäytymisen ajaksi. Tällöin poikasten tiheys oli 1 250–2 500 poikasta litraa kohden. Poikasten värjäysaika oli keskimäärin viisi tuntia, jotta väriaine ehti tarttua otoliitteihin. Väriaineen tarttumista arvioitiin erikseen värjäytyistä poikasista otetuilla näytteillä. Väriin imeytyminen elimistöä otoliittiin vk-poikasella kestää useita tunteja, joten koenäytteeksi otettuja poikasista pidettiin uimassa erillisessä astiassa noin vuorokausi ennen kuin ne säilöttiin Etax A16 etanoliin otoliittien preparointia ja värjäyksen onnistumisen arviointia varten. Värjätyt siianpoikaset kuljetettiin saaveissa voimalaitoskanavan lähistölle ja vapautettiin rantaveteen. Vapautuksen yhteydessä tarkkailtiin mahdollisten kuolleiden poikasten osuutta, mutta se todettiin pääsääntöisesti vähäiseksi. Kuolevuutta merkintöjen yhteydessä merkintäerittäin ei selvitetty erikseen, lukuun ottamatta väriin tarttumiseen liittyviä otoksia, joissa vuorokauden sisällä kuolleisuutta ei todettu.

Kaikki jokeen istutetut vastakuoriutuneet siianpoikaset värjättiin vuosina 2019 ja 2020. Vuonna 2019 istutusmäärä oli 4,2 miljoonaa poikasta ja vuonna 2020 5,6 miljoonaa poikasta. Istutukset ajoittuivat vuonna 2019 viileästä kevästä johtuen myöhemmäksi kuin vuonna 2020, mutta poikasten kuoriutumisjakso oli molempia vuosina noin kymmenen päivän mittainen (Kuva 2).



Kuva 2. Istutusten ajoittuminen ja istutusmäärät vuosina 2019 ja 2020.

Alitsariinin käytössä on aiemmin todettu vaihtelua värjäyksen onnistumisessa. Vuoden 2019 merkinnässä yksi istutuseristä (23.4.2019, 16 % koko istutusmäärästä) värjäytyi heikosti. Koeerän määrittämisessä todettiin, että 18 % poikasista oli värjäytymättä ja ylipäätään koko erässä värin näkyminen oli heikkoa. Lisäksi muissa värjäyserissä (19.4.–22.4.) värin erottuvuudessa oli vaihtelua, vaikka värjäytymättömien osuus oli vähäinen. Vuoden 2020 merkinnöissä kaikki merkintäerät värjäytyivät hyvin (Taulukko 1). Vuoden 2019 merkinnässä havaittua värjäytymisen vaihtelua aiheuttava tekijä ei selvinnyt. Mahdollisesti eroja värjäytymistulokseen voi aiheuttaa esimerkiksi vedenlaatu, erityisesti pH tai värjäyskemikaalin laadun vaihtelu. Lisäksi vuonna 2019 hautomolta pääsi ylivuodon kautta 0,78 l kuoriutumattomia mätimunia jokeen. Mätimäärästä tulisi noin 39000 merkitsemätöntä poikasta, mikäli kuoriutuminen tapahtui normaalisti. Värjäytymiseen liittyvien epävarmuuksien perusteella vuoden 2019 merkintäaineisto hylättiin varsinaisten tulosten tarkastelusta ja arvioinnissa käytettiin ensisijaisesti vuoden 2020 aineistoa.

Taulukko 1. Istutusmäärät ja ARS-värjäyksen onnistuminen istutuserittäin vuosina 2019 ja 2020.

Pvm	Istutus- määrä	Näytemäärä (kpl)	Värjäytymättö- miä (kpl)	Värjäys
15.4.2019	3 000	35	0	Hyvä
19.4.2019	60 000	138	8	Hyvä, poikkeuksia
21.4.2019	460 000	30	1	Hyvä, poikkeuksia
22.4.2019	720 000	67	1	Hyvä, poikkeuksia
23.4.2019	670 000	199	36	Heikko
24.4.2019	900 000	167	3	Hyvä
25.4.2019	600 000	-	-	Ei arvioitu
26.4.2019	770 000	-	-	Ei arvioitu
Yhteensä 4 183 000 vk -poikasta				
13.4.2020	150 000	119	0	Hyvä
15.4.2020	300 000	187	0	Hyvä
16.4.2020	400 000	125	0	Hyvä
19.4.2020	600 000	249	0	Hyvä
20.4.2020	600 000	185	1	Hyvä
21.4.2020	700 000	138	0	Hyvä
21.4.2020	300 000	88	0	Hyvä
21.4.2020	300 000	71	0	Hyvä
21.4.2020	500 000	103	0	Hyvä
22.4.2020	700 000	102	0	Hyvä
23.4.2020	750 000	204	1	Hyvä
24.4.2020	300 000	194	0	Hyvä
Yhteensä 5 600 000 vk -poikasta				

2.2. Poikasten pyynti

Vastakuoriutuneiden siianpoikasten pyynnin aloitus Kokemäenjoella ajoitettiin Harjavallan padon veden lämpötilan mittaustietojen perusteella (<http://wwwi2.ymparisto.fi/i2/35/q3510-450y/wqfi.html>) sekä arvioimalla joen jäättilannetta ajantasaisista satelliittikuvista (<https://apps.sentinel-hub.com/>). Pyynti aloitettiin välittömästi veden lämpötilan noustessa ja kun jääolosuhteiden puolesta haavinta ranta-alueilla onnistui.

Poikaskartoitus tehtiin haavimenetelmällä (Larsson ym. 2013, Veneranta & Harjunpää 2017), jossa varhaisvaiheen siianpoikasia pyydystetään erityisellä tähän käyttöön tarkoitettulla haavilla. Haavin lasikuituisen teleskooppivarren pituus on 1800 mm ja alumiinisen havasosan halkaisija on 403 mm. Haavissa ei ole varsinaista pussia, vaan kehälle on pingotettu nailonverkko (Sefar Nitex 06-1000/57, silmäkoko 1 mm, langan vahvuus 0,33 mm). Tasainen verkko helpottaa poikasten poimimista talteen haavittaessa. Näytettä otettaessa havasosa laskettiin veteen lähes pystysuorassa kulmassa veden pintaan nähden ja sillä tehtiin noin 180 asteen pyöräytys haavintapaikan kohdalla. Näytteenotto tehtiin rannalta käsin tai kahlaten, riippuen paikan rakenteesta. Haavinnassa haavikehän nopeus sovitettiin virran mukaan siten, että huomattavaa

etuaaltoa ei muodostunut. Veden syvyydestä huolimatta haavinta tehtiin aina pinnan tuntumasta, jolloin haavi käytännössä kattaa noin 0,35 m syvyisen vesikerroksen. Yhdessä haavinta-paikassa tehtiin pääsääntöisesti 30 haavinvetoa ja kunkin haavintavedon välillä siirryttiin 2–3 metriä. Haavinvedon jälkeen tarkastettiin saalis ja mahdolliset poikaset poimittiin talteen purkkiin, jossa oli hieman vettä. Kun haavintapaikan haavinnat saatiin tehtyä, näytepurkkiin lisättiin etanolia (Altia Etax A16) siten, että lopullisen säilytysliuoksen etanolipitoisuudeksi tuli noin 75–80 %.

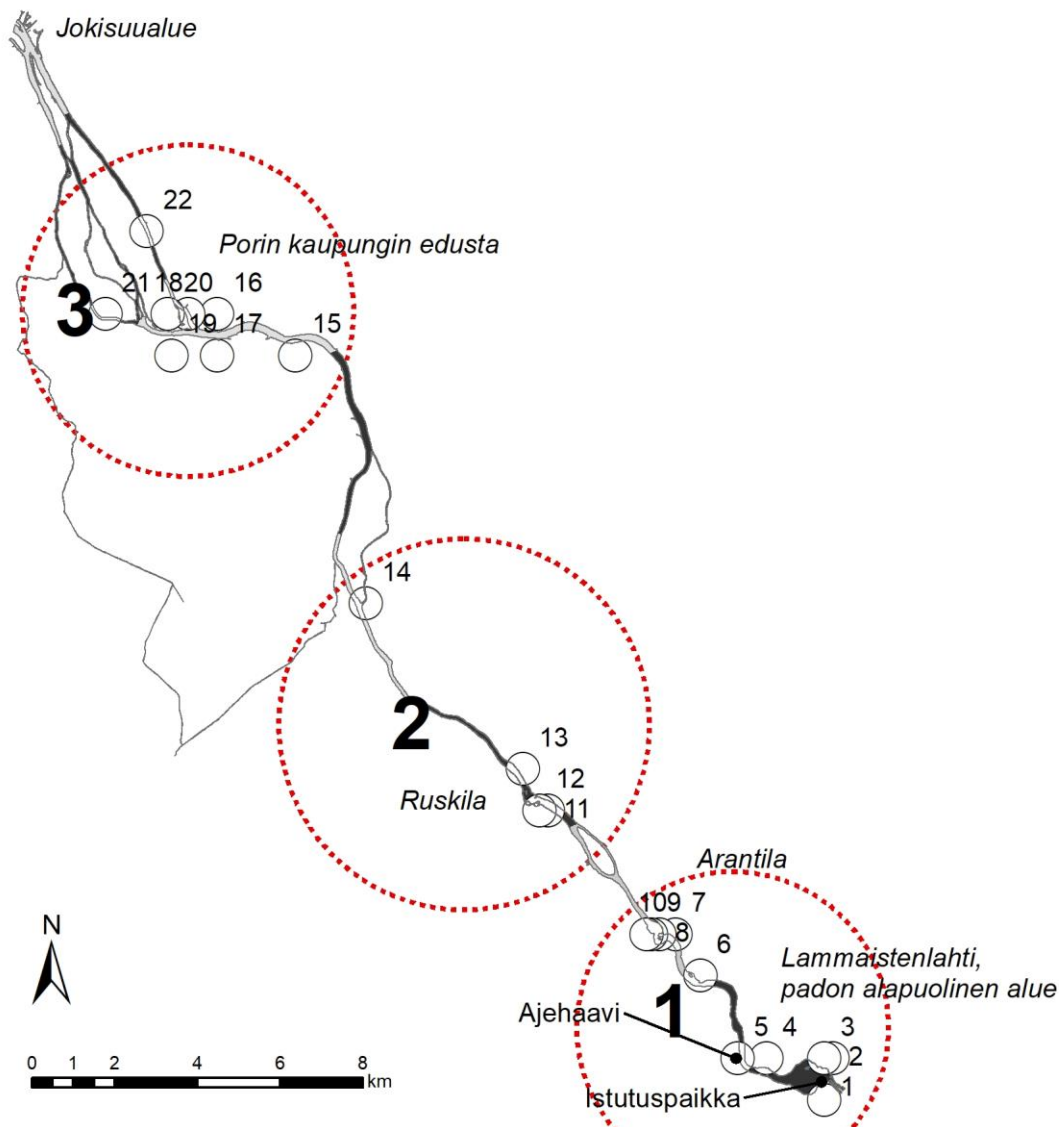
Näytteenotto oli ositettu koko joen alueelle Harjavallan padon alapuolelta Valtatie 8:n ylityskohtaan saakka Porin kaupungin luoteispuolella. Haavinnat kohdennettiin hyväksi todetuille pyyntipaikoille aiemman siianpoikasten esiintymisen peruskartoituksen (Veneranta & Harjunpää 2017) tietojen perusteella. Vastakuoriutuneiden siianpoikasten esiintymispaikkoja olivat erilaiset rantojen poukamat, heinikko- ja risukkoreunat sekä ylipäättään kohdat, joissa virtaus on varsinaista päävirtaa hitaampi.

Yhteensä haavintapaikkoja tutkimuksessa oli 22 kpl (Kuva 5). Haavinnat vuosina 2019–2020 toteutettiin 11 näytteenottokerralla ja näytteenotto aloitettiin veden lämpötilan ollessa noin 2 °C Harjavallan padon mittaustietojen perusteella ja lopetettiin, kun siianpoikasten määrä saaliissa väheni huomattavasti. Vähentyminen johtuu todennäköisesti sekä poikasten siirtymisestä alavirtaan että niiden pyydystettävyyden heikentymisestä kasvun myötä.

Yhteensä haavinvetoja näytteenottopaikoissa oli vuonna 2019 7 123 kpl ja vuonna 2020 vastaavasti 6 608 kpl. Varhain keväällä kuoriutumisen alkaessa viikkoa kohden tehtiin vain yksi näytteenottokierros, koska kuoriutuvien siianpoikasten määrä oli erittäin vähäinen. Veden lämpötilan kohotessa ja poikasmäärien kasvaessa näytteenottokierroksia tehtiin suunnitelman mukaisesti kaksi viikossa.

Saaliiksi jääneiden siianpoikasten pituus näytteenotossa oli 12–15 mm. Vedenlaatua ei seurattu säännöllisesti pyyntien yhteydessä, mutta mittauksissa poikasten esiintymispaikoilla huhtikuun 24.–25.4.2019 todettiin pH:n olevan 7,1–7,3, liuennan hapen pitoisuuden 9,1–10,2 mg/l ja veden johtokyvyn 105–126 µs/m. Siianpoikasten kannalta mitatut vedenlaatu-arvot ovat normaalit. Sameus jokivedessä vaihtelee virtaaman mukaan, ollen ajoittain erittäin voimakasta. Sameutta ei seurattu poikaspyynnin yhteydessä mittauksin, mutta vuonna 2019 kiintoainepitoisuus joessa Kokemäenjoen vedenlaatumittarin mukaan vaihteli poikaspyyntijaksolla 2,8–27,8 mg/l välillä ja vuonna 2020 vastaavasti haavintajaksolla 5,6–18,5 mg/l välillä. Joen pohja erottui haavintojen yhteydessä tyypillisesti 0,2–0,7 m syvyyksiltä.

Ennen ensimmäistä istutusta ehdittiin tehdä molempina vuosina kaksi näytteenottokierrosta, joilla varmistettiin, että koko näytteenotto ajoittui poikasten esiintymisajankohdalle. Näytteenotto toteutettiin kahdesti viikossa koko tutkimusjakson ajan ja haavipyynnit sekä vuosina 2019 että 2020 jakautuivat kuuden viikon ajalle. Kunkin pyynnin yhteydessä kirjattiin veden lämpötila haavintapaikalta mitattuna.



Kuva 3. Näytteenottoaikojen sijoittuminen Kokemäenjoessa Harjavallan padon alapuolisella alueella. Jokuoman tummanharmaa ja vaaleanharmaa väri kuvaavat 5 km matkaa. Näytteenottoalueet jaettiin kolmeen alueeseen (1-3) tulosten tarkastelua varten.

Siianpoikasten pyydystäminen haavilla tapahtuu rantavedessä, mutta menetelmällä ei saada katettua joen muuta vesipinta-alaa. Veneranta & Harjunpää (2017) havaintojen perusteella kutualueita sijaitsee esimerkiksi Kokemäenjoen Lammaistenlahden alueella voimalaitoskanavan alaosassa, joen keskiosassa, jolloin poikaset kuoriutuessaan ovat virran keskialueella. Päävirrassa uivien tai kulkeutuvien poikasten osuuden selvittämiseksi rakennettiin ajehaavi, jonka etukartion halkaisija oli 400 mm ja takaosassa oleva pussi oli ommeltu 300 µm silmäkooltaan olevasta nylonkankaasta (Sefar Nitex 03-300/5). Haavipussiin kiinnittyi 270 µm teräsverkko-kyljillä oleva näytteenottopullo (Kuva 6).



Kuva 4. Ajehaavipyödyys ja sen joen keskiosaan viemiseen käytetty plaanarikelkka.

Ajehaavi uitettiin joen keskiosaan sivuplaanarikelkan (Jiicee Oy, malli Giga) avulla siten, että joen virtaus veti kelkan joen keskiosaan. Kelkan kiinnitysnauraa pitkin liu'utettiin vetoaavi erilisellä narulla kelkan vierustalle pyyntiin. Joen leveys pyyntikohdalla on noin 140 metriä, syvyys pyyntijakson aikaan noin 2-3 metriä vedenkorkeudesta riippuen ja virtaama alueella on vuolas ja tasainen.

Ajehaavia pidettiin kerrallaan pyynnissä virrassa noin 15 minuutin ajan. Pyyntiaika kullakin näytteenottokerralla oli yhteensä 45–60 minuuttia. Pyynti toistettiin sekä 2019 että 2020 Kortteen alueella eri näytteenottokertojen yhteydessä. Vetoaavipyyntien yhteydessä havaittiin, että pyyntijakson aikana haaviin kertyi huomattavissa määrin hankajalkaisia ja vesikirppuja hieman ajankohdasta riippuen. Planktonin esiintymistä ja tiheyttä ei kuitenkaan seurattu näytteenoton yhteydessä säännönmukaisesti ja myös pyydystyyppi vaikuttaa huomattavasti planktonin kertymään. Ajehaavin todettiin toimivan teknisesti, mikäli virtaamanopeus joessa pintavedessä on vähintään noin 0,6 m/s. Tällöin plaanarikelkka jaksaa pitää haavin pyynnissä joen keskiosassa. Minimipintavirtaamalla 15 minuutin aikana yhden näytteen tilavuudeksi tulee noin 67 m³. Haavin käyttö edellyttää jatkuvaa paikallaoloa ja toimivuuden seuraamista, koska joessa on ajoittain runsaasti ajeessa kulkevaa ja haavin tukkivaa irtoainesta, kuten oksanpätkiä.

2.3. Värimerkittyjen poikasten tunnistaminen

Alitsariinilla värjättyjen siianpoikasten erottamiseen värjäämättömistä käytettiin Olympus SZX 12 fluoresenssimikroskooppia (kuva 5), missä oli erillinen UV-lampun muuntaja (U-RFL-T) ja 100W elohopealamppu (U-LH100HG) valonlähteenä. Näytteiden kuvaamista varten mikroskoopissa oli Olympus DP-70 CCD-kennolla varustettu fluoresenssimikroskopointiin tarkoitettu kamera. Siinä hyödynnetään mikroskoopin tuottamaa ultraviolettivaloa (UV), jonka avulla ARS-värjättyt näytteet näkyvät hehkuvina. Mikroskoopissa käytettiin G-suodatinta ja lisäksi epäselvissä tapauksissa GFP-suodatinta värin näkyvyyden parantamiseksi ja autofluoresenssin (ns. valemäärin) poissulkemiseksi. Fluoresenssimikroskopoinnissa ulkopuolelta tuleva muu valo voi häiritä näytteiden tarkastelua, joten työskentelytila oli pimennetty. Kaikki saaliiksi saadut siianpoikaset preparoitiin ja mikroskopoitiin, jotta värimerkittyjen poikasten

osuus saatiin selville. Preparoinnissa siianpoikaselta leikattiin pää ja se puristettiin kahden lasilevyn väliin. Pituutta poikasille ei määritetty preparoinnin yhteydessä.



Kuva 5. Siianpoikasten haavinta, näytteeksi otettujen poikasten päiden irrottaminen ja värjäytyneiden otoliittien tunnistaminen fluoresenssimikroskoopilla.

Mikroskopoitaessa alitsariinivärin näkyminen jaettiin kahteen luokkaan, 1) ei havaittavaa väriä näkyvissä otoliiteissa tai 2) väri näkyy otoliitissa. Värjäytymisestä riippuen väri saattoi näkyä haaleasti tai voimakkaana.

2.4. Luonnonlisääntymisarvion laskenta

Istutettujen, alitsariinimerkittyjen poikasten lukumäärää (N_M) haavisaaliissa verrattiin luonnossa syntyneiden, merkitsemättömien poikasten määrään (C_{Nat}) päivittäin ja paikoittain. Yleisesti lukumääräsuhde muodostettiin Petersenin menetelmällä seuraavan kaavan perusteella, jossa N_{Nat} on luonnonpoikasten määrä ja C_M merkittyjen poikasten lukumäärä saaliissa:

$$\frac{N_{Nat}}{C_{Nat}} = \frac{N_M}{C_M} \quad (1)$$

Luonnontuotannon laskemista varten kaavaa (1) kuitenkin muokattiin seuraavasti:

$$N_{Nat} = C_{Nat} \times \left(\frac{N_M}{C_M} \right) \quad (2)$$

Istutusten jälkeen alitsariinimerkityt poikaset uivat tai siirtyvät virran mukana alavirtaan ja siten ylävirran korkea merkittyjen poikasten määrä vähenee, mitä kauempaa istutuspaikasta alavirtaan näytteitä kerätään. Laskennassa poikaspyyntiaineistot järjestettiin juliaanisen päivän mukaan ja tutkimusalueen istutetuista vähennettiin jo pyydyksiin saadut istutuspoikaset. Luonnontuotannon arviointia varten yhtälö muotoiltiin seuraavasti:

$$N_{Nat} = C_{Nat} \times \left(\frac{N_M - \sum C_{M,E}}{C_M} \right) \quad (3)$$

Laskennassa käytettiin koneoppimismenetelmiä, koska päivittäisen poikasten kuoriutumismäärän funktion muotoa ja jakaumaa oli vaikea määrittää etukäteen. Funktion muoto arvioitiin haavinta-aineiston perusteella multilayer perceptron (MLP) algoritmilla (Rumelhart ym. 1986) numeerisena optimointitehtävänä eikä niinkään parametrien arviointitehtävänä jollain tietyllä etukäteen määritellyllä tai oletetulla funktion muodolla. MLP-mallin stabiilisuutta parannettiin bootstrap aggegaatiolla (bagging, Breiman 1996) ja laskennassa yhdistettiin 1000 heikkoa "trial" ennustemallia. MLP-mallin parametrit (ρ , max w_2 , epochs-lukumäärä) optimoitiin kymmenkertaisella ristiinvalidoinnilla (Kohavi 1995) ja rms-poikkeamaa (engl. root mean square error) käytettiin parametrien valintaperusteena siten, että pienimmän poikkeaman parametrit hyväksyttiin malliin mukaan. Aineiston esikäsittelyvaiheessa luonnontuotannon lukumäärä $\ln+1$ -muunnettiin ennusteiden vaihtelun pienentämiseksi. Näytteenotto-paikka dummy (0, 1) koodattiin ja näytteenottopäivämäärä (juliaaninen päivä) standardoitiin keskiarvoon nolla ja varianssiin yksi. Kaikissa tilastoanalyysissä käytettiin RapidMiner -ohjelmistoa (versio 9.10.007 Studio Enterprise, Mierswa ym. 2006).

2.5. Emokalojen mätimäärän arviointi

Kokemäenjoessa pyydetään vuosittain emokaloja lypsyä varten. Pyynti tehdään Lammaistenlahden alueella juuri ennen kutua sopimuskalastajan toimesta. Emokalapyynnissä käytetään tavanomaisesti 55–70 mm verkkoja. Osana Luken LIFE Biodiversea -hanketta emokaloista otettiin pituus-, paino- ja ikänäytetiedot vuosina 2021–2022 ja näiden lisäksi vuonna 2023 määritettiin naarassioista fekunditeetti eli mätimäärä. Luke toteutti myös koekalastuksen emokalapyyntiä pienisilmäisemmillä (40–45–50 mm) verkoilla vuonna 2022, jotta saatiin selville kutukannan siikojen kokojakauma.

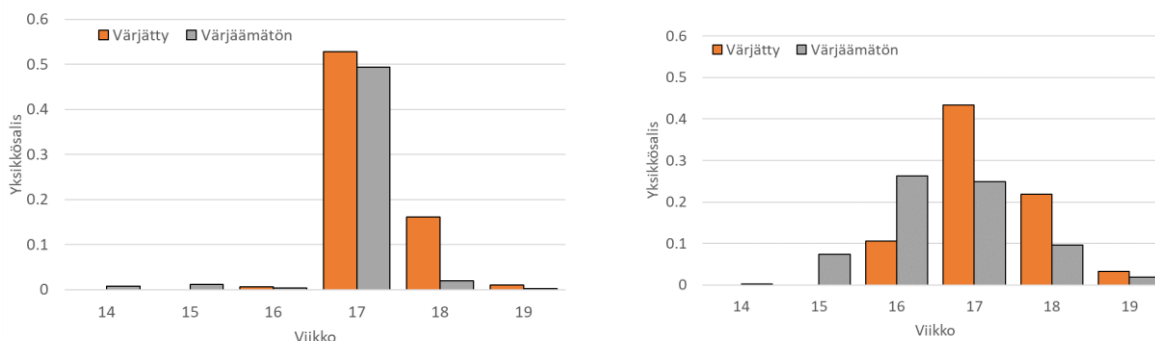
3. Tulokset

3.1. Poikaspyynti

Siianpoikasia, joko luonnonpoikasia tai istutettuja poikasia saatiin saaliiksi kaikilta näytteenotopaikoilta molempina tutkimusvuosina. Kokemäenjoen haavinnoissa satunnaisina sivusaalislajeina saatiin pääasiassa edellisvuoden särkikalojen poikasia, kuten salakoita, särkiä, turpia ja säyneitä. Näiden ohella saaliiksi jäi vähäisissä määrin myös kymmen- ja kolmipiikkejä.

Poikashaavinnoissa sekä 2019 että 2020 saatiin ensimmäiset luonnossa kuoriutuneet poikaset heti ensimmäisellä näytteenottokierroksella. Istutuspoikasia jäi saaliiksi molemmissa näytteenotoissa vasta kolmannella näytteenottokierroksella, kun istutukset suuremmissa määrin alkoivat. Samalla myös värjäämättömien luonnonpoikasten määrät kasvoivat näytteissä.

Keskimääräinen yksikkösaalis luonnonpoikasilla oli 0,13 poikasta haavinvetoa kohden sekä vuonna 2019 että 2020. Vastaavasti värjätyillä poikasilla yksikkösaalis oli 2019 keskimäärin 0,17 poikasta ja 2020 0,15 poikasta haavinvetoa kohden, vaikka 2020 vastakuoriutuneiden poikasten istutusmäärä oli 34 % korkeampi. Haavintojen aikana siianpoikasten yksikkösaalis haavinvetoa kohden vaihteli 0,0–1,6 poikasen välillä luonnossa lisääntyneiden siikojen osalta ja vastaavasti värjätyjen istutuspoikasten saaliissa 0,0–1,0 poikasen välillä. Haavinnoissa saatiin vuonna 2019 poikasia yhteensä 2 172 kpl, joista 44 % oli värittämiä poikasia. Vastaavasti keväällä 2020 poikasia jäi saaliiksi 1 849 kpl, joista 47 % oli värittämiä poikasia. Vuonna 2020 poikasia esiintyi kuoriutumisjaksolla tasaisemmin kuin keväällä 2019 (Kuva 8).



Kuva 6. Haavinnassa saaliiksi jääneiden värjätyjen ja värjäämättömien siianpoikasten yksikkösaalis eri näytteenottoviikoina vuonna 2019 ja 2020.

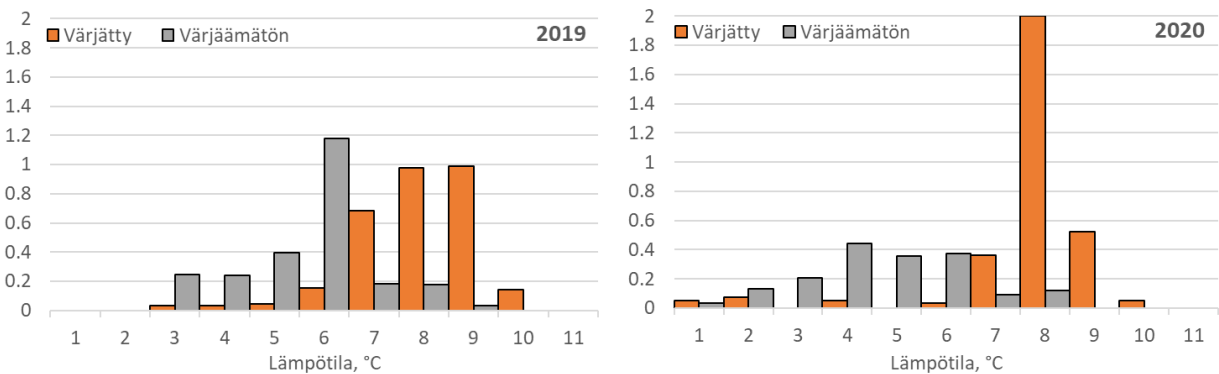
Vuonna 2019 eniten poikasia saatiin saaliiksi joen yläosan haavintapaikoilta (alue 1), ja vuonna 2020 vastaavasti keskiosalta (alue 2). Vuonna 2019 selvästi vähiten poikasia saatiin joen alaosalta (alue 3), mutta vuonna 2020 poikasmäärissä ei ollut huomattavaa eroa ylä- ja alaosan näytteenottoalueiden välillä. Paikkojen välillä poikasten esiintyminen jakautui epätasaisesti.

Aivan vastakuoriutuneita, ruskuaispussillisia siianpoikasia tavattiin Porin kaupungin edustan näytteenottopaikoista sekä Ruskilankosken ylä- ja alaosista viikoilla 14–15 vuonna 2019. Vastaavasti vuonna 2020 poikasia havaittiin ensimmäiseksi joen alaosalla ja viikkoa myöhemmin koko joen alueella (kuva). Luonnossa syntyneiden poikasten havaintojen perusteella on mahdollista, että vaellussiian kutualueita on Lammaistenlahden alueen lisäksi ainakin Porin kaupungin edustalla sekä Ruskilankosken ylä- tai alaosissa. Vuonna 2019 luonnossa kuoriutuneiden siianpoikasten määrä oli suurimmillaan viikolla 17 tehdyissä näytteenotoissa ja vuonna 2020 vastaavasti suurin tiheys ajoittui viikoille 16–17 kevään kylmyyden vuoksi (Taulukko 2).

Taulukko 2. Haavintamäärät viikoittain sekä värillisten poikasten ja värittömien poikasten määrä (kpl) koko näytteenottoalueella.

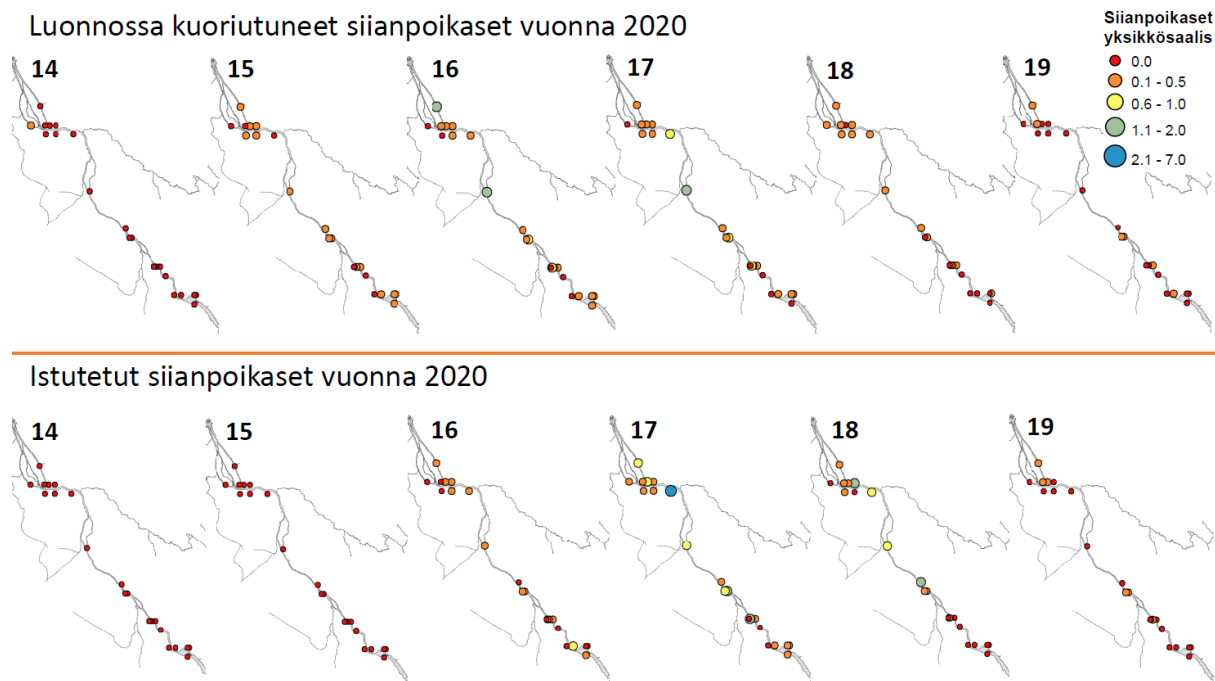
VUOSI 2019	Alue ja viikko	Haavinnat	Värilliset	Värittömät	Yhteensä
	Alue 1, yht.	2 568	522	830	1352
	Viikko 14	240	0	0	0
	Viikko 15	240	0	0	0
	Viikko 16	480	6	1	7
	Viikko 17	648	503	827	1330
	Viikko 18	480	13	2	15
	Viikko 19	480	0	0	0
	Alue 2, yht.	1 578	598	75	673
	Viikko 14	150	0	3	3
	Viikko 15	150	0	0	0
	Viikko 16	300	2	2	4
	Viikko 17	389	421	56	477
	Viikko 18	289	163	12	175
	Viikko 19	300	12	2	14
	Alue 3, yht.	2 977	92	55	147
	Viikko 14	270	0	2	2
	Viikko 15	270	0	8	8
	Viikko 16	540	0	1	1
	Viikko 17	817	56	32	88
	Viikko 18	540	35	11	46
	Viikko 19	540	1	1	2
	Kaikki yhteensä	7 123	1 212	960	2 172
	Alue 1, yht.	2 300	187	183	370
	Viikko 14	180	0	0	0
	Viikko 15	422	0	22	22
	Viikko 16	446	46	78	124
	Viikko 17	417	120	69	189
	Viikko 18	420	20	12	32
	Viikko 19	415	1	2	3
	Alue 2, yht.	1 441	437	432	869
	Viikko 14	90	0	0	0
	Viikko 15	301	0	46	46
	Viikko 16	300	43	160	203
	Viikko 17	284	213	139	352
	Viikko 18	286	149	68	217
	Viikko 19	180	32	19	51
	Alue 3, yht.	2 867	349	261	610
	Viikko 14	90	0	1	1
	Viikko 15	541	0	25	25
	Viikko 16	544	47	100	147
	Viikko 17	513	194	95	289
	Viikko 18	521	100	38	138
	Viikko 19	658	8	2	10
	Kaikki yhteensä	6 608	973	876	1 849

Suhteessa lämpötilaan luonnossa kuoriutuneiden poikasten esiintymisen huippu ajoittui aikaisemmaksi kuin hautomosta vapautettujen värjättyjen poikasten. Porin rautatieasemalla mitatun ilman lämpötilan perusteella vuonna 2019 huhtikuussa keskilämpötila oli 6,4 °C ja toukokuussa 9,9 °C. Kevät 2020 oli huomattavasti kylmempi, huhtikuun keskilämpötila oli 4,2 °C ja toukokuun 8,3 °C. Lämpötilaerot keväiden välillä vaikuttavat luonnonpoikasten kuoriutumisen ajoittumiseen. Näytteenotoissa päivittäinen mitattu korkein veden lämpötila vaihteli vuonna 2019 2,8–11,2 °C välillä ja vuonna 2020 4,0–10,9 °C välillä. Näytteenotto tehtiin päiväaikaan, jolloin erityisesti rantalämpötiloissa todettiin vaihtelua aamu- ja iltapäivän välillä, mikäli vesi ei rannan tuntumassa virrannut voimakkaasti ja aurinko lämmitti rantavettä. Vuonna 2019 sekä luonnossa kuoriutuneiden että istutettujen värjättyjen poikasten kuoriutuminen ajoittui samoille viikoille, mutta vuonna 2020 kuoriutumisasajankohdassa oli noin viikon ero. Lämpötilan suhteen molempina vuosina joessa kuoriutuneiden luonnonpoikasten esiintymis- huippu osui 4–6 °C lämpötilaan, kun istutuspoikasten saalishuippu sijoittui 7–9 °C lämpötilaan (Kuva 6). Haavipyyntien yhteydessä mitattujen lämpötilojen perusteella värjäämättömien luonnossa kuoriutuneiden siianpoikasten yksikkösaaliin huippu ajoittuu kylmempään veteen kuin istutuspoikasten, vaikka viikkotasolla tarkasteltaessa poikasten esiintyminen noudattaa kutakuinkin samaa jakauman muotoa.



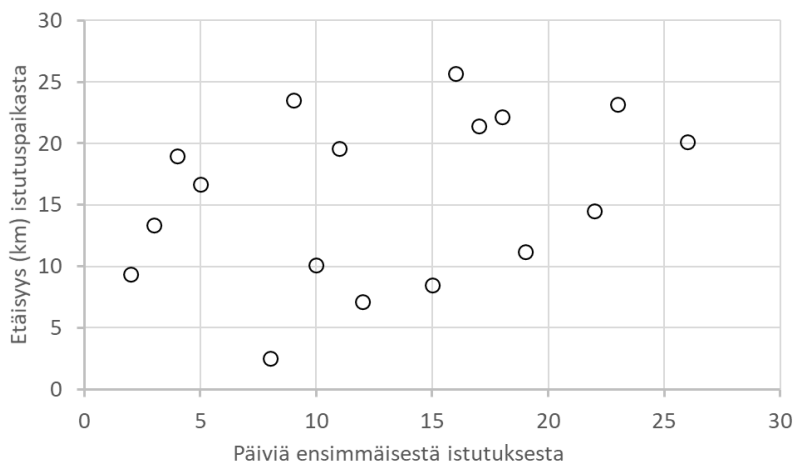
Kuva 7. Haavinnassa saaliiksi jääneiden siianpoikasten yksikkösaalis haavinnoissa pyyntikohdalta mitatun lämpötilan suhteen.

Värimerkityt poikaset siirtyvät nopeasti virran mukana joen alaosille. Harjavallan padon alapuolelle istutetuista värimerkityistä poikasista tehtiin havaintoja Porin kaupungin edustan näytteenottopaikoilla jo 48 tuntia ensimmäisen istutuksen jälkeen. Näille paikoille istutuspaikalta on jokea pitkin etäisyyttä 28–32 km, tällöin alavirtaan siirtyminen olisi tapahtunut keskimäärin noin 0,2 m/s nopeudella.



Kuva 8. Luonnossa kuoriutuneiden ja istutettujen siianpoikasten tiheys seuranta- ja -viikoittain Harjavalan padon alapuolisella alueella.

Värimerkittyjen poikasten havaintopaikan keskietäisyys istutuspaikasta kasvaa mitä useampi päivä istutuksesta on kulunut (Kuva 8). Luonnossa kuoriutuneiden poikasten ajautumista alavirtaan ei voida arvioida, koska kutupaikkoja on todennäköisesti useampia eri osissa jokea. Poikaset ovat pyydystettävissä kuoriutumisen alkamisesta noin kuuden viikon aikajakson ajan. Haavin pyydystävyys todennäköisesti heikkenee poikasten kasvaessa, mutta havaintoja suurempien poikasten esiintymisestä rannan tuntumassa ei haavintojen yhteydessä tehty.



Kuva 9. Keskimääräinen värimerkittyjen poikashavaintojen etäisyys (km) istutuspaikan ja istutusajankohdan suhteen vuosien 2019–2020 haavinta-aineistojen perusteella.

Ajehaavipyynnissä saatiin vain vähäisiä määriä siianpoikasia saaliiksi, yksikkösaalis oli vuonna 2019 kolme poikasta tunnissa ja vuonna 2020 vastaavasti 14,7 poikasta tunnissa niinä pyyntipäivinä, kun siikoja saatiin saaliiksi. Saalis vuonna 2020 koostui lähes kokonaan istutuspaikasta ja todennäköisesti siihen vaikuttaa Lammaistenlahdelle samana päivänä tehty

1,8 miljoonan värjätyin vastakuoriutuneen poikasen istutus. Istutuspaikalta ajehaavin pyyntipaikalle on etäisyyttä 2,6 km jokea pitkin. Vastaavasti vuonna 2019 ainoan saaliiksi saadun värillisen poikasen pyyntipäivänä 25.4. istutettu määrä oli 0,6 miljoonaa poikasta. Kun huomioidaan virtaama, jossa haavipyntiä toteutettiin (0,6–1,0 m/s), ajehaavin pyytämä vesitilavuus minuuttia kohden vaihtelee 4,5–7,5 m³/min välillä ja vastaavasti 60 minuutin pyyntiajalla 271–452 m³ välillä. Ajehaavi kattaa leveysuunnassa joesta vain 1/350 osan, joten virran ajeessa saattaa pienestä yksikkösaaliista huolimatta kulkeutua merkittävä määrä poikasia, mikäli niiden esiintyminen ei painotu tietyille virran osille. Ajehaavipyntien yhteydessä haavittiin myös Kortteen ranta-aluetta, vaikka se ei varsinainen näytteenottopiste ollutkaan. Vuonna 2019 rannan tuntumasta haavittujen värillisten poikasten korkein yksikkösaalis oli enimmillään 6,4 poikasta haavintaa kohden ja värittömien vastaavasti 2,6 poikasta haavintaa kohden. Vuonna 2020 haavintaa ei tehty säännönmukaisesti ajehaavipyynnin yhteydessä, ja 17.4. tehdystä pyynnistä poikasia ei saatu. Ajehaavinäytteenoton perusteella planktonitiheydet olivat esimerkiksi vuonna 2019 suurimmillaan 26.4. tehdystä näytteenotossa, jolloin haaviin jäi silmämääräisesti runsaslukuisesti sekä hankajalkaisia että vesikirppuja. Veden lämpötila oli tällöin noin 9 °C. Ajehaavipyynnin pienehkö siianpoikasten yksikkösaalis verrattuna käsihaaviin viittaa siihen, että poikaset siirtyvät alavirtaan pääosin rantaviivan tuntumassa tai päätyvät rantaviivan tuntumaan joen virran mukana kulkeutuessaan.

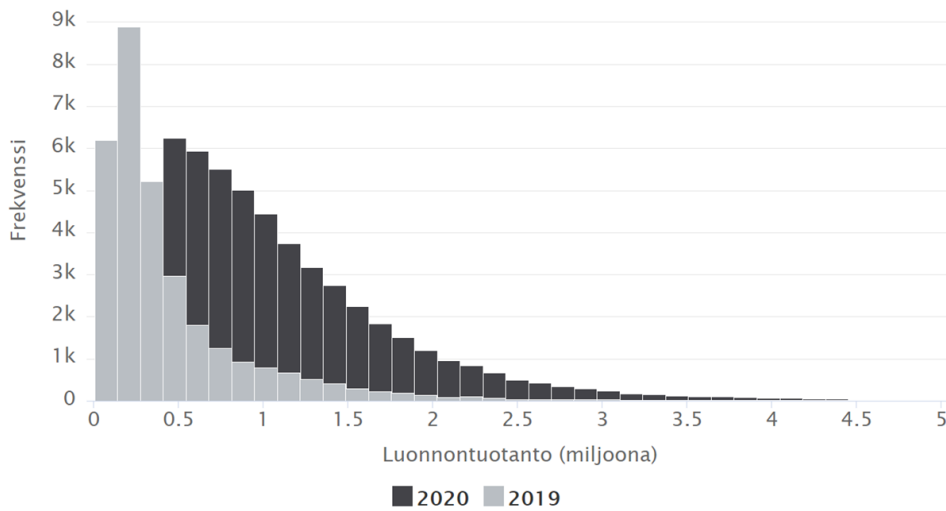
Taulukko 3. Ajehaavipynti Kortteen alueella vuosina 2019 ja 2020.

Pvm	Lämpötila, °C	Pyyntiaika, min	Virtaama, m/s	Ajehaavi		Haavi	
				Väri	Ei väriä	Väri	Ei väriä
17.4.2019	4.2	-	-	-	-	0	0
23.4.2019	8.2	60	-	0	2	-	-
24.4.2019	8.4	-	-	-	-	191	78
25.4.2019	8.8	40	0.6	1	2	-	-
26.4.2019	9.2	77	-	0	0	8	2
29.4.2019	11.2	80	-	0	0		
2.5.2019	8.8	60	-	0	0	0	0
7.5.2019	7.6	60	-	0	0	0	0
9.5.2019	10.5	75	-	0	0	0	0
17.4.2020	4.2	50	1.0	0	0	0	0
21.4.2020	5.5	45	1.0	10	1	-	-
24.4.2020	6.6	50	1.3	0	0	-	-
27.4.2020	6.8	45	1.0	0	0	-	-

3.2. Luonnontuotannon määrän arviointi

Keskimääräinen MLP –mallin mukainen arvio vaellussiian luonnontuotannosta Kokemäenjoessa oli noin 0,6 miljoonaa (2019) ja 1,0 miljoonaa (2020) poikasta, ja vastaavasti mallin mediaani 0,3 miljoonaa (2019) ja 0,8 miljoonaa (2020; Kuva 10). Mallin 95 % luottamusväli ennusteelle on 0,1–3,2 miljoonaa (2019) poikasta ja 0,05–2,9 miljoonaa (2020). Mallin toimivuutta arvioivat tunnusluvut olivat rms-poikkeama (root mean square error) = 0,72 ja selitysaste R² 0,64. Arvioitu keskimääräinen luonnontuotanto vuonna 2020 oli siis hieman suurempi kuin

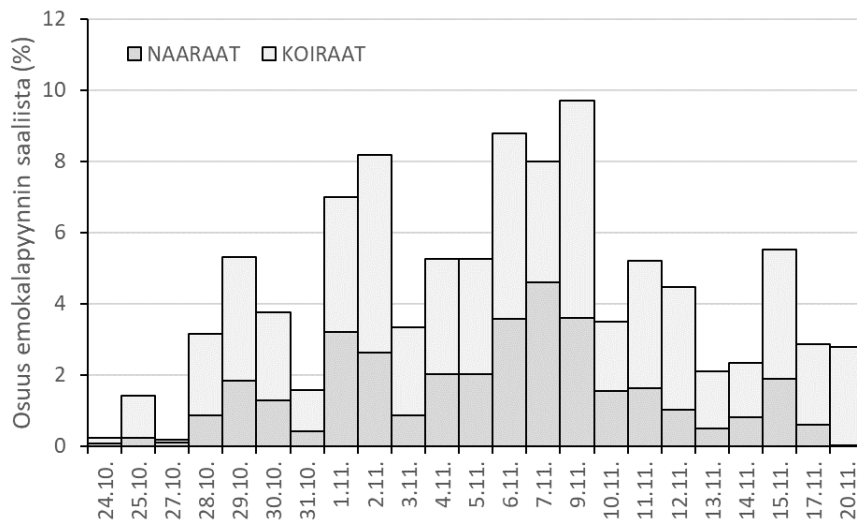
vuonna 2019, mutta vuoden 2019 aineistossa oli epävarmuuksia joidenkin näyte-erien värjäytymisen ja mätimunien ohipäästön vuoksi.



Kuva 10. Mallin tuottamien poikastuotantoennusteiden frekvenssijakauma vuosina 2019 ja 2020.

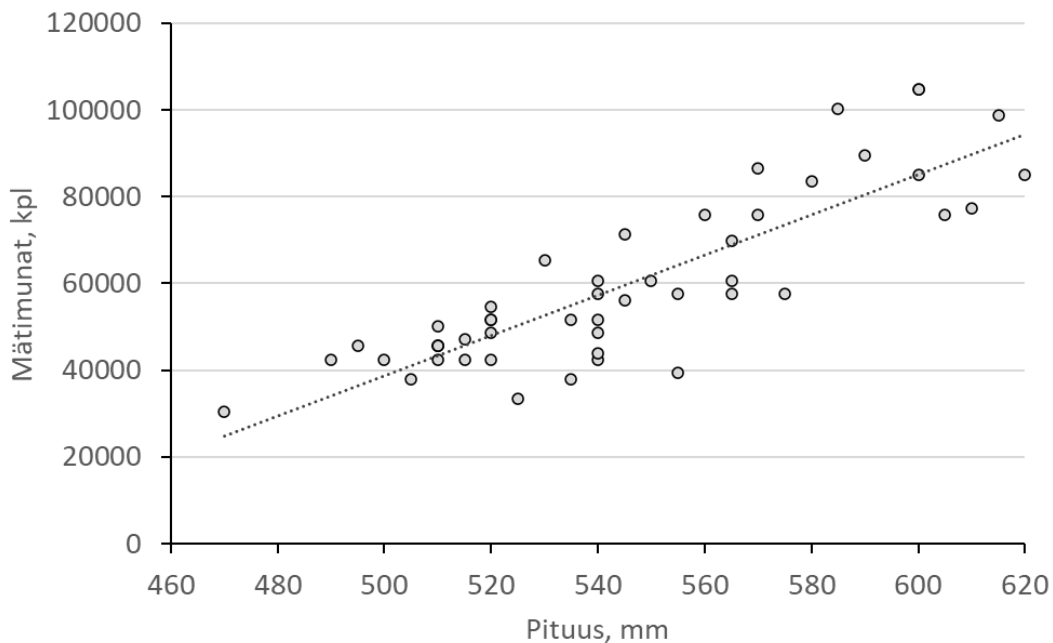
3.3. Kutukannan tuottaman mätimäärän arviointi

Vuosien 2021 ja 2022 emokalapyynneissä Kokemäenjoen siikojen mediaani-ikä oli viisi vuotta, keskipaino naarailla 1 290 g ja koirilla 1 160 g. Koiraita emokalapyynnissä jää saaliiksi noin 1,8 kertaa enemmän kuin naaraita. Emokalapyynnissä kalojen keskikokoon vaikuttaa mm. käytettyjen pyydysten solmuväli, joka pyynneissä on 55–70 mm välillä. Pyynti on pyritty suuntaamaan suurempikokoisiin siikoihin, koska isokokoisemmissa naaraissa mätiä on enemmän ja suurikokoiset siikayksilöt myös tuottavat kooltaan suurempaa mätiä (Mäenpää 1999) ja siten vanhempien kalojen tuottama mäti voi tuottaa elinkykyisempiä poikasia. Kutemaan nousevat siiat ovat siten samaa kokoluokkaa kuin lähes sata vuotta sitten. Vuosina 2017–2021 kerätyn pyyntiaineiston perusteella (Pullan kala Oy, Jarno Aaltonen) emokalojen määrä kutualueella Lammaistenlahdella on korkeimmillaan marraskuun ensimmäisellä viikolla (Kuva 11).



Kuva 11. Siikasaaliiden ajoittuminen vuosien 2017–2021 emokalapyynnissä Lammaistenlahden alueella.

Vanhon Kalastushallituksen (1923) tietojen perusteella Kokemäenjoen Vammaskoskelta, joka sijaitsee Harjavallasta noin 60 km ylävirtaan saaduista sioista on kerätty keskimäärin 0,44 litraa mätää yksilöä kohden. Sata vuotta myöhemmin, vuonna 2023 Harjavallan padolla lypsetystä emokaloista saatiin keskimäärin 0,40 litraa mätää kalaa kohden. Mätimäärä mitattiin ennen mädin hedelmöittämistä. Lypsettyjen naaraiden keskipaino oli 1,78 kg ja keskimäärin naarassioissa laskettiin olevan 61 000 mätijyvää laskentanäytteiden perusteella. Mätimäärä emokalassa kasvaa melko tasaisesti koon mukaan (Kuva 12).



Kuva 12. Kokemäenjoen vaellussiikojen pituus (mm, x-akseli) ja mätimunien lukumäärä (kpl, y-akseli) yksilöissä vuoden 2023 emokalanäytteen perusteella.

4. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

4.1. Poikasten merkintä

Siianpoikasten massamerkintä alitsariinilla on toimivaksi todettu menetelmä istutuspoikasten tunnistamiseen (Eckmann 2003, Keränen & Niva 2010, Martyniak ym. 2013, Wedekind ym. 2022). Värjäyksen onnistuminen voi kuitenkin vaihdella mm. vedenlaadun takia. Alitsariinin tarttuvuuteen vaikuttavat altistamisaika, liuoksen ikä sekä veden laatuun liittyvät muuttujat kuten humuksen tai kiintoaineen määrä sekä pH. Kokemäenjoella hautomossa ei käytetä joki-vettä, vaan hautomolle tulee pohjavesi, jonka pH on noin seitsemän. Veden pH:n muutosta merkinnän yhteydessä ei seurattu, mutta väriaineen liukenemisen myötä happamoituminen pyrittiin estämään liuottamalla värijauhe vuorokautta ennen käyttöä veteen. Hapan vesi värjäysvaiheessa kasvattaa poikasten kuolleisuutta, mutta kirjallisuudessa ei ole raportoitu pH:n raja-arvoja värjäykselle. Muikun ja siianpoikasten värjäyksessä on todettu, että pH:n tulisi olla 7,5 ja 8 välissä ja alle 7 pH heikentää poikasten selviytymistä (Eckmann ym. 1998). Alle 7 pH:ssa alitsariiniväri liukenee heikommin veteen ja sitoutuu humus- tai kiintoainehiukkasiin helpommin kuin korkeammassa pH:ssa (van der Walt & Faragher 2003), jolloin väriaine tarttuu heikommin kalan luutumiin. Kokemäenjoessa siianpoikaspyyntien yhteydessä maaliskuusta 2019–2020 tehtyjen mittauksen perusteella joen pH on vaihdellut 6,8–7,2 välillä.

Mahdolliseen kuolevuuteen vaikuttaa pH:n lisäksi myös käytetty värjäyspitoisuus. Eckman ym. 1998 tutkimuksessa muikunpoikasten kuolleisuus värjäyksessä oli alle 10 % korkeammassa pitoisuuksissa (150 mg/l) ja tässä tutkimuksessa käytetyssä tutkimuksessa vastaavissa pitoisuuksissa kuolevuus jäi erittäin vähäiseksi (Beckman & Schultz: 0–3 %). Keränen & Niva (2010) totesivat, että 50 mg/l alitsariinipitoisuus on kolmen tunnin värjäysajalla riittävä, jotta värimerkki näkyy poikasvaiheessa. Siian mädin merkinnän yhteydessä kuolevuus on todettu erittäin vähäiseksi, mikäli alkio on kehittynyt pitkälle (Eckman ym. 2003). Eckmann ym. (1998) mukaan värjäämättömyydestä muikunpoikasista kuoli allasolosuhteissa 24 vuorokauden jälkeen 15,3 % ja 150 mg/l pitoisuudessa värjäytyistä 17,5–26,1 %. Tarkkaa tutkimustietoa esimerkiksi värjäysajan pituuden ja värjäyksessä käytetyn poikastiheyden vaikutuksesta kuolevuuteen ei ole, joten sikäli alitsariinivärjäyksen perustutkimukselle olisi tarve, mikäli sitä käytetään systemaattisesti istutusten tuloksellisuuden seurannassa. Eri valmistajien alitsariiniväreissä on todettu olevan vaihtelua kemiallisessa koostumuksessa ja siten myös kaloille värimerkinnästä aiheutuvassa haitassa. Tässä tutkimuksessa käytetyn alitsariinivärin on todettu olevan sopivaa poikasten värjäykseen (Jurgelene et al. 2022).

Kokeessa merkintäkuolevuutta ei huomioitu ja sitä ei selvitetty erikseen koejärjestelyn yhteydessä lukuun ottamatta värin tarttuvuuden seurantaan värieristä erikseen otetuilla poikasilla. Vastakuoriutuneilla poikasilla kuolevuutta voi ilmetä kuoriutumisen- ja istutusvaiheessa esimerkiksi käsittelystä ja poikasten siirroista johtuen. Mikäli merkintäkuolleisuus ja poikasten käsittelykuolleisuus on arvioitua suurempi, tutkimuksessa laskettu luonnontuotannon määrä on aliarvio todellisesta tuotannosta.

Kirjallisuuden perusteella merkin pitäisi olla hyvin havaittavissa poikasilla merkinnän jälkeen (Nagiec ym. 1995) ja myös aikuisikäen saakka (Martyniak ym. 2011). Tulosten käsittelyssä oletettiin merkin pysyvän poikasissa koko jokivaelluksen ajan. Poikasten pyyntiajankohdat pyrittiin ajoittamaan siten, että pyynti ei osunut samalle päivälle kuin poikasten vapautus jokeen tai pyynti tehtiin joen alaosalla vapautusaikana, koska merkkivärin kiinnittyminen otoliittiin vie useita tunteja värjäyksen jälkeen. Poikasissa tunnistetut värimerkit olivat kuitenkin pääosin

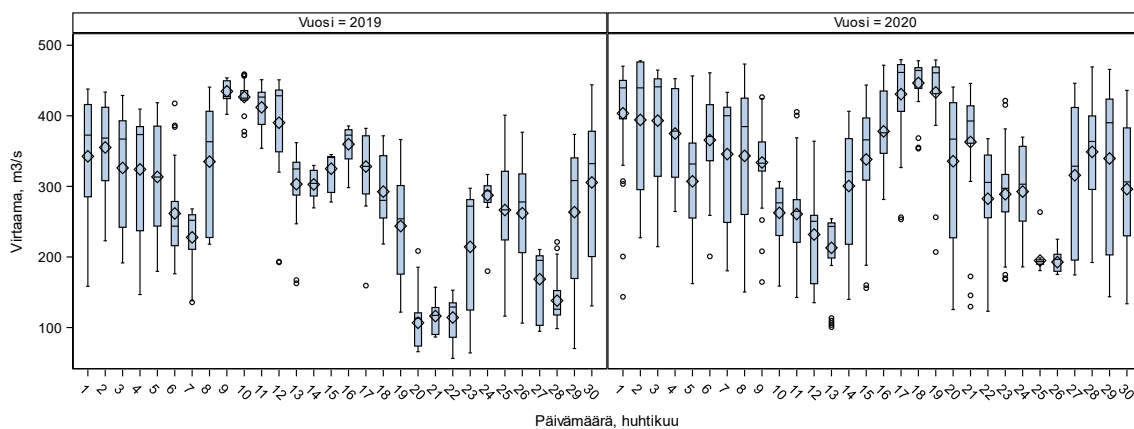
erittäin selviä, joten vasta värjäytymässä olleiden poikasten joutuminen pyydetyiksi ei ole kovin todennäköistä.

Alitsariinimerkin perusteella vastakuoriutuneina istutettujen poikasten pitäisi olla tunnistettavissa emokalakannassa myöhemmin, pääosin vuosina 2024–2026 otoliittiin jääneestä värjäytymästä. Värjäytyneiden emokalojen perusteella ei voida kuitenkaan määrittää istutustuottoa, koska jokeen ja merialueelle istutetaan vuosittain huomattava määrä kesänvanhoja, luonnonravintolammikoissa kasvatettuja siian poikasia. Näiden osuus emokalakannasta on kuitenkin todennäköisesti tunnistettavissa siikojen otoliiteista tehtävillä mikrokemiallisilla analyyseilla (Rohtla ym. 2017).

4.2. Poikasten pyynti ja esiintyminen joessa

Siianpoikasnäytteenotto tehtiin samalla tapaa kuin aiemmissa poikasten esiintymiseen liittyvissä perusselvityksissä (Veneranta & Harjunpää 2017), mutta pyyntialuetta laajennettiin kattamaan jokialue laajemmalla mitalla. Poikasten haavinnoissa vuosina 2019 ja 2020 todettiin, että joen ylimmältä osalta saatujen poikasten yksikkösaalis oli pienempi kuin vuonna 2016 toteutetussa haavinnassa (Veneranta & Harjunpää 2017). Poikasten pieni määrä padon alapuolisella alueella voi johtua vuosien välisestä vaihtelusta kutualueen sijoittumisesta tai kutevien emokalojen määrän muutoksista.

Kuoriutuessaan siian poikaset ovat 12–14 mm pitkiä (Veneranta ym. 2013, Veneranta & Harjunpää 2017) ja ne ovat kalanpoikasiksi varsin hyviä uimareita. Kirjallisuudessa (Lindroth 1957, Larsson ym. 2013) siian poikasten on kuitenkin todettu välttävän kiivaita virtoja ja lähtevän liikkumaan virran mukana, mikäli virran nopeus ylittää 0,08 m/s (Lindroth 1957, Braum 1964). Siianpoikasen on havaittu väsyvän uidesaan jo noin 0,06 m/s virtauksessa varsin nopeasti (Toiviainen 2015), joka selittää poikasten hakeutumista rauhallisesti liikkuvaan veteen. Veden virtaama- ja pinnankorkeuden vaihtelut todennäköisesti vaikuttavat poikasten liikkeisiin siten, että voimakas virtaamavaihtelu saa poikaset uimaan virran ajeessa alavirran suuntaan nopeammin verrattuna tasaisena pysyttelevään virtaamaan. Virrannopeuden ja vedenkorkeuden vaihdella voimakkaasti, poikasille sopivan heikkovirtaisen alueen paikat muuttuvat, ja poikaset joutuvat virran ajeeseen (Kuva 13).



Kuva 13. Vuorokausitason virtaamavaihtelu poikasaikaan huhtikuussa 2019 ja 2020. Tunnettain vaihtuva virtaama ja vedenkorkeus todennäköisesti nopeuttavat poikasten siirtymistä kuoriutumisalueelta kohti merta, koska poikasille sopivien virrankatvealueiden paikka muuttuu vedenkorkeuden vaihdella.

Rakentamattomassa joessa virtaaman vuorokausivaihtelut ovat olemattomia rakennettuun jokeen verrattuna (Asraf ym. 2018). Sekä luonnossa kuoriutuneita että istutettuja poikasia saatiin saaliiksi koko joen mitalta, mutta suurimmat yksikkösaaliit kertyivät joen keski- ja alaosalta. Näytteenotto tutkimuksessa kattoi vain jokiosuuden Porin kaupunkialueelta (Valtatie 8) ylävirtaan, koska pyyntiin sopivalle paikkoja oli rajallisesti ja poikaset todennäköisesti levittäytyvät laajemmalle alueelle joen haarautuessa useampaan osaan. Aivan jokisuulla voi olla myös suualueella lisääntyvien siikojen poikasia, vaikkakaan näiden esiintymisestä ei ole tutkimustuloksia.

Kokemäenjoessa siian poikasten ajautuminen virran mukana suistoalueelle on erittäin nopeaa, koska värimerkittyjä, Lammaistenlahden alueelle istutettuja poikasia tavattiin Porin kaupungin edustalta jo kaksi vuorokautta istutuksen jälkeen. Alimmilta pyyntipaikoilta on vain noin 8–10 km etäisyys suistoalueelle ja vastaavasti 30 km istutuspaikalle. Jokivarsi on oikaistun monin paikoin ruoppaamalla sekä pengertämällä rantoja, jolloin vesi kulkee suoraviivaisesti merta kohden. Siianpoikasille sopivia laajempia pysähtymiskohtia ei juuri ole, joka osaltaan vaikuttanee poikasten alasvaellusnopeuteen. Kalajoessa tehdyssä kokeessa merkittyjen vasta-kuoriutuneiden siianpoikasten todettiin siirtyneen alavirtaan 7–10 km etäisyyteen 13 päivän aikana ja ensimmäiset poikaset saavuttivat meren, 12 km jokisuusta 12 päivän aikana (Lehtonen ym. 1992). Rakentamattomassa Tornionjoessa siianpoikasten ulosvaellus joesta ajoittuu kesä-heinäkuun taitteeseen, jolloin ne ovat kooltaan noin 30 mm (Jokikokko ym. 2012). Tornionjoessa siika todennäköisesti kutee useissa paikoissa ja vaellussiian nousualue ulottuu pääosin noin 40 km etäisyydelle jokisuusta ylävirtaan, vaikka osa vaellussiioista saattaa lisääntyä ylempänä jokivarressa (Jokikokko ym. 2012). Kokemäenjoessa etäisyys Harjavallan padon ja jokisuun välillä on samaa suuruusluokkaa. On siten mahdollista, että rakennetuissa vesissä poikasten ulosvaellus on huomattavasti nopeampaa kuin luonnollisessa tilassa olevassa vesistöissä. Tämä voi vaikuttaa mm. poikasten varhaisvaiheen kasvuun ja kuolevuuteen poikasten ravinnonkäytön tai niihin kohdentuvan saalistuspaineen kautta.

Luonnossa kuoriutuneiden poikasten esiintymishuipun ajoittumisessa oli vuosien välillä vaihtelua, mutta lämpötilan suhteen se osui sekä 2019 että 2020 haavinnoissa 4–6 °C välille, kuten aiemmissa tutkimuksissa on todettu sekä merikutuisella siialla että vaellussiialla (Veneranta ym. 2013, Veneranta ja Harjunpää 2017). Hautomolla olevalla lämpötilansäätelylaitteistolla pystytään vaikuttamaan kuoriutumisaikajankokseen. Tutkimusvuonna 2019 istutuspoikasten kuoriutuminen ajoittui liki samaan ajankohtaan luonnonpoikasten kanssa, mutta vuonna 2020 poikaset hautomolla kuoriutuivat hieman myöhemmin kuin luonnossa. Virtaamasäännöstelyssä joessa jäänlähtö tapahtuu aikaisemmin kuin säännöstelemättömässä ja voi siten aikaisuttaa joessa kehittyvien poikasten kuoriutumisaikajankokseen. Kylmässä vedessä poikasten kuoriutumisesta voi edesauttaa mm. voimakas virtaama (Naesje 1986). Poikasten kuoriutumisen ja eläinplanktonin esiintymisen ajankohdan tulisi ajoittua lähekkäin, jotta vastakuoriutuneet poikaset selviytyvät ja pystyvät kasvamaan (esim. Houde 2008). Ruskuaispussi riittää joidenkin päivien ajaksi ja ravinnon puute johtaa poikasten nälkiintymiseen sekä kuolevuuden huomattavaan kasvuun (Taylor & Freeberg 1984). Eläinplanktonlajistosta ja yksilötiheyksistä siianpoikasten esiintymisaikaan huhti-toukokuussa jokialueilla on niukasti tutkimustietoa. Erityisesti vasta-kuoriutuneiden poikasten eloonjäännin varmistamiseksi olisi hyvä tietää eläinplanktonin esiintymishuipun ajankohta joessa sekä jokisuulla ja pyrkiä ajoittamaan kuoriutuminen tähän hetkeen. Joessa olevan eläinplanktonin lajisto, esiintymisjakso sekä tiheys olisi hyvä kartoittaa tarkemmin, jotta istutuspoikasten kuoriutuminen hautomolla voitaisiin ajoittaa keskimäärin planktonhuippua edeltävään ajankohtaan. Vaellussiian poikasten ravinnonkäytöstä joessa on

niukasti tietoa, mutta esimerkiksi Tornionjoen siianpoikasten on todettu käyttävän ravinnoksi sekä hankajalkaisia (*Cyclopoida* sp.) että vesikirppuja (mm. *Daphnia* sp.) varhaisissa kehitysvaiheissa (Luke julkaisematon aineisto 2017–2018). Poikashaavinnoissa Kokemäenjoella ruskuaispussin käyttäneet poikaset olivat aloittaneet ulkoisen ravinnonkäytön ja joessa todettiin esiintyvän ajehaavikokeilun perusteella runsaasti eläinplanktonia, joten sikäli alkuvaiheen kasvulle voidaan arvioida olevan hyvät edellytykset. Poikasten selviytymisestä varhaisvaiheessa ja syönnösvaelluksen aikana ei kuitenkaan ole tutkimustietoa. Siianpoikasten selviytymisen ja kasvun kannalta erityisesti joen alaosat ja suistoalue lienevät tärkeitä, koska poikaset päätyvät virran mukana nopeasti näille alueille.

4.3. Luonnonlisääntymisen määrä

Kokemäenjoessa vaellussiika pystyy lisääntymään luontaisesti, mutta joen tuottama poikasmäärä on sen kokoon ja meren sekä alimman padon väliseen etäisyyteen sekä istutusmääriin suhteutettuna melko vähäinen. Laskentamallin keski- ja mediaaniarvon mukaan molempina tutkimusvuosina poikastuotanto on alle miljoona vastakuoriutunutta siianpoikasta. Haavintänäytteisiin perustuvan laskennan tulosten vaihteluväli on suuri ja tulos siten näyttää suuntaa poikastuotannon määrästä. Laskentaa olisi voitu tarkentaa lähinnä kasvattamalla näytteenottomääriä, sekä ajankohtia että näytteenottopisteiden lukumäärää huomattavasti nykyisestä. Pelkästään poikasten kokonaismäärien perusteella värjäytymättömien, luonnossa kuoriutuneiden poikasten osuus suhteessa merkittyihin istutuspoikasiin oli huomattavasti suurempi, lähes puolet molempina merkintävuosina. Laskennassa huomioitiin kuitenkin istutettujen poikasten eriaikaisuus suhteessa luonnossa kuoriutuneisiin poikasiin sekä pyyntikertakohtainen värjäytyneiden ja värittömien poikasten määrän vaihtelu. Laskentatulosten luotettavuuden parantamiseksi laskennassa käytettiin bootstrap aggregaatiomenetelmää (bagging, Breiman 1996), jolloin mallinnuksessa yhdistetään useita malleja paremman ennustuskyvyn saamiseksi kuin mitä yksittäisillä malleilla voitaisiin saavuttaa (ensemble models, Polikar 2006). Tällöin lopullinen tulos muodostuu mallien tulosjakaumasta ja se vähentää lopullisen ennustemallin varianssia. Mallin tulos on jakauma, ja siten yhtä täsmällistä arviota luonnontuotannon määrästä ei voida antaa. Mediaaniarvio kuvaa jakauman keskimmäistä lukua, ja sitä voitaneen pitää siten parempana arviona kuin keskiarvoa, johon mallin ääriarvot vaikuttavat enemmän.

Haavinnoissa joen eri osista saatiin vastakuoriutuneita poikasia, ja niiden perusteella vaellussiian luonnonlisääntymistä todennäköisesti on Kokemäenjoessa useilla alueilla padon alapuolisella jokiosuudella. Merkintä-takaisinpyyntimallinnuksen mukaan joessa luonnonlisääntymisen kautta syntyvä poikastuotanto suhteessa nykyisen hautomotoiminnan tuottamaan istutusmäärään oli noin 1/14–1/6 istutettujen vastakuoriutuneiden määrästä vuosina 2019 ja 2020, tosin vuoden 2019 tuloksessa on poikasten värjäytymiseen liittyvää epävarmuutta.

Luonnonlisääntymisen vähäinen määrä osoittaa, että pelkän luonnonlisääntymisen varassa joen siikakanta todennäköisesti jäisi huomattavasti nykyistä pienemmäksi. Jatkossa, mikäli siikakannan kohentamiseen tehtäviä toimenpiteitä toteutetaan, vaellussiian luontaisesta lisääntymisestä peräisin olevien poikasten määrää voidaan arvioida samalla tapaa ja käyttää tutkimuksessa saatua arviota vertailutasona.

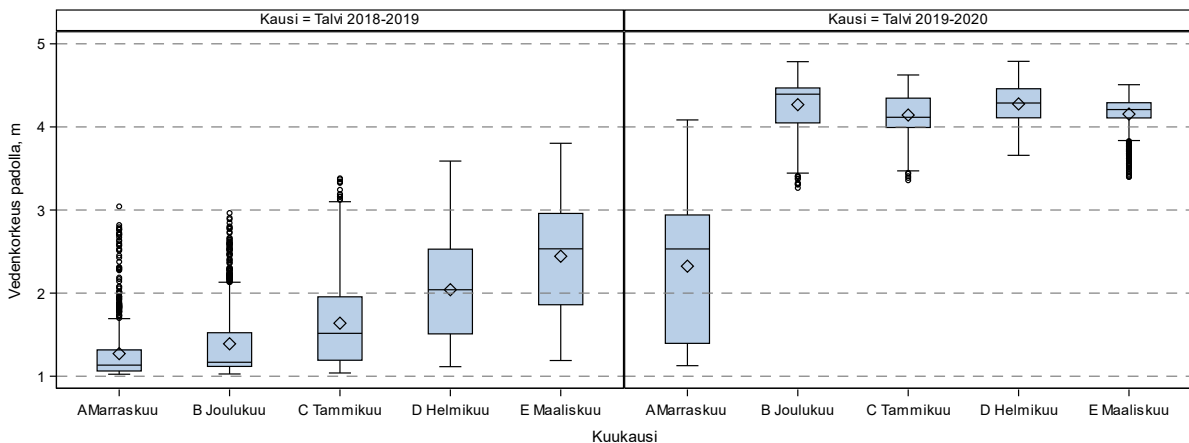
4.4. Siian lisääntymiseen vaikuttavat tekijät

4.4.1. Joen virtaamavaihtelun vaikutus kutualueisiin

Joen vaellussiian kutualueista tarkemmin on selvitetty Harjavallan padon alapuolista aluetta (Veneranta & Harjunpää 2017). Poikastuotannon onnistumiseen vaikuttaa siian kutukannan koon ohella mädin selviäminen vaihtelevissa olosuhteissa. Kutuaikainen ja mädin kehityksen aikainen joen virtaama (Lehtonen & Veneranta 2024), sedimenttikuormitus (Müller 1992), veden lämpötilavaihtelu (Cingi ym. 2010) sekä mahdollisesti teollisuuden ja yhteisöjen jätevesipäästöt ja niiden aiheuttama kuormitus kehittyvälle mädille voivat olla kriittisiä tekijöitä. Voimakkaat virtaamavaihtelut Kokemäenjoessa vaikuttavat sedimentin kertymiseen kutupaikalle tai sen alavirran puoleisille osille ja voimakasvirtaisiin paikkoihin sedimenttiä ei juuri kerry (Veneranta & Harjunpää 2017). Voimakkaalla sedimentaatiolla on useita haitallisia vaikutuksia joen eliöstölle (Kemp ym. 2011). Todennäköisesti myös mätimunat huuhtoutuvat ylivirtaamatilanteissa epäsuotuisemmille alueille mädin kehittymisen kannalta. Sileällä pohjalla mädin huuhtoutumiseen riittää noin 0,15 m/s virtaama (Ventling-Schwank & Livingstone 1994, Lehtonen & Veneranta 2024). Kokemäenjoessa alakanavan alaosan virtaamanopeuksia eri virtaamilla ja syvyyksillä ei tiettävästi ole kartoitettu. Virtaamanopeustieto pohjan lähellä on pohjan rakenteen ohella keskeinen tieto, kun arvioidaan kutupaikan toimivuutta ylivirtaamatilanteessa.

Mädin alttiutta huuhtoutumiseen ylivirtaamatilanteissa erityyppisillä pohjilla ei ole selvitetty tarkemmin, mutta siian kudetun mädin selviytymiseksi on Veneranta & Harjunpää (2017) tutkimuksessa arvioitu noin 5 % Kokemäenjoen voimalaitoskanavan alapuolisella alueella havaittujen mätitiheyksien perusteella. Luku kuvaa sitä osuutta siian mädistä, joka talven aikana oli kadonnut näytteenottoalueelta, josta mädin määrä oli selvitetty välittömästi kudun jälkeen. Mahdollisesti mäti on ajautunut virtausnopeuden vaihdellessa pois alkuperäiseltä kutualueelta, hajonnut tai joutunut syödyksi talven aikana. Vaihtelu siianmädin selviytymisessä vuosien välillä voi olla suurta virtaamaolosuhteista riippuen, mutta aiheesta ei juuri ole tutkimustietoa.

Lammaistenlahden alue on 2,6 metriä meriveden keskivedenkorkeuden yläpuolella. Jokisuun ja voimalaitoksen välisiin koskiin vaikuttaa voimakkaasti joen lyhytaikaisäännöstely. Ylin virtaama tulva-aikaan voi olla noin 600–700 m³/s. Esimerkiksi aikajaksolla 2018–2020 vuorokausittainen virtaaman vaihtelu oli enimmillään noin 300 m³/s tasossa, mikä on huomattava joen keskivirtaamaan (220m³/s) verrattuna. Keskimääräinen alin virtaama voimalaitoksella on 51 m³/s, mutta satunnaisesti virtaama padolta voi katketa lähes kokonaan. Lyhytaikaisäännöstelyyn vaikuttavat energiantarpeen ohella myös riskit alijäähtyneen veden aiheuttamista hydepadoista ja voimalaitoksen huoltotarpeet. Kokemäenjoen patoaltaat ovat kooltaan pieniä, jolloin sadannassa tapahtuvat muutokset vaikuttavat nopeasti joessa olevien viiden voimalaitoksen juoksutukseen. Virtaama vaihtelee huomattavasti vuosien välillä sadannasta riippuen. Esimerkiksi marras-joulukuussa 2018 virtaama joessa oli keskimäärin vähäistä (marraskuu 63 m³/s ja joulukuu 75 m³/s), mutta marras- ja joulukuussa 2019 huomattavasti suurempaa (200 m³/s ja 530 m³/s, vastaavasti) (Kuva 2). Virtaaman määrä vaikuttaa suoraan vedenkorkeuteen joessa ja vuorokausisäännöstelyn vaikutuksesta pinnankorkeus vaihteli talvina 2018–2020 enimmillään vuorokauden aikana 2,13 metriä. Meriveden korkeus vaikuttaa jokiveden pinnan korkeuteen Harjavallan voimalaitoksella, mutta vähäisissä määrin. Vuosien välinen vaihtelu virtaamasäätelyssä ja vedenkorkeudessa on suurta, talvella 2019–2020 yli metrin vuorokausimuutoksia oli 3 % päivistä, kun taas 2018–2019 yli metrin vuorokausimuutoksia pinnan korkeudessa todettiin 34 % päivistä (Kuva 14).



Kuva 14. Kokemäenjoen vedenkorkeus padolla (m, y-akseli) marras- maaliskuussa 2019 ja 2020 (x-akseli). Laatikoiden sisälle sijoittuu 50 % tunneittain mitatuista vedenkorkeusarvoista, neliö kuvaa tuntivedenkorkeuden keskiarvoa kunakin kuukautena, poikkiviiva mediaania ja pal- kit vedenkorkeuden vaihtelua keskiarvon suhteen. Pallot osoittavat keskiarvosta huomattavasti poikkeavat vedenkorkeudet.

Lyhytaikaissäännöstely aiheuttaa virtaaman nousuja ja laskuja, jotka voivat olla vuorokauden sisällä Kokemäenjoella huomattavia. Kutuaikaisen virtaaman vaikutuksesta kudun sijoittumi- seen ei ole tarkkaa tietoa. Ylivirtaamatilanteessa kutu mahdollisesti sijoittuu alemmas joessa, missä veden nopeus laskee siioille sopivaksi. Vastaavasti heikommalla virtaamalla pääasialli- nen kutualue voi sijoittua lähemmäs voimalaitosta voimalaitoskanavan alaosaan (Veneranta & Harjunpää 2017). Lindrothin (1957) havaintojen mukaan vaellussiian mätijyvät ajautuvat hel- posti virran mukana ja pyörivät pohjaa pitkin, minkä seurauksena ne saattavat joutua epä- edullisille paikoille. Hedelmöityneen mätimunän vajoamisnopeus vedessä on varsin hidas, noin 0,03 m/s (Lehtonen & Veneranta 2024), jolloin pohjalta liikkeelle lähtiessään se saattaa kulkeutua virran mukana etäällekin alkuperäisestä kutualueesta.

Vedenkorkeuden voimakkaat vaihtelut aiheuttavat rantaeroosiota, joka puolestaan kasvattaa kiintoaineen määrää vedessä valuma-alueelta tulevan kiintoaineen lisäksi. Kokemäenjoesta on saatavilla kattavasti vedenlaatuun liittyviä mittauksia Porin kaupungin edustalta vuodesta 2016 alkaen (<http://wwi2.ymparisto.fi/i2/vesimittari/L3500001/index.html>). Kiintoainepitoi- suus joessa on ajoittain suuri ja liittyy erityisesti ylivirtaamatilanteisiin. Talvikaudella 2018– 2019 kiintoainekuormitus oli korkea siian kudun jälkeen. Värimerkintäkokeen aikana, talvella 2018–2019 kiintoainekuormitus oli korkea (6,4–15,1 mg/l) siian kudun jälkeisellä jaksolla mar- raskuusta joulukuun loppuun sekä juuri ennen poikasten kuoriutumista maalishuhtikuun vaihteessa (22,9–27,8 mg/l). Talvella 2019–2020 vastaavasti korkea kuormitus ajoittui marras- kuun puolivälistä joulukuun loppupuolelle (33,6–30,1 mg/l), enimmillään 55,5 mg/l. Helmi- kuun puolivälistä loppuun oli tulvajakso, jolloin veden kiintoainepitoisuus oli enimmillään 169,3 mg/l. Virtaamahuippujen ulkopuolella kiintoainekuormitus on tyypillisesti alle 10 mg/l. Esimerkiksi talviajan huippuvirtaamalla (600 m³/s) joki kuljettaa kiintoainetta noin 100 kg se- kunnissa.

Virtaaman vaihdellaessa kiintoaineen kertymäalueita ovat alueet, joissa virta hidastuu. Esimer- kiksi hienojakoinen hiekka, hiesu tai siltti (raekoko 0,01–0,125 mm) laskeutuvat pohjaan vir- rannoisuuden alittaessa 0,26–0,36 m/s (Ventling-Schwank & Livingstone 1994).

Kokemäenjoessa tehtyjen mätipumppausten perusteella mätiä löytyi eniten alueilta, joilla virtausnopeus pinnassa näytteenoton aikaan oli keskimäärin 0,17 m/s, mutta havaintojen vaihteluväli on 0,0–0,8 m/s voimalaitoksen virtaamasaännöstelystä riippuen (Veneranta & Harjunpää 2017). Kokeellisesti siianmädin on todettu lähtevän liikkeelle, kun virran nopeus ylittää 0,10–0,15 cm/s hienosta sedimentistä koostuvilla pohjilla (Ventling-Schwank & Livingstone 1994, Lehtonen & Veneranta 2024). Pohjanläheistä virtausnopeutta ei ole mitattu ja on huomattava, että kudun ja mätinäytteenoton välillä virtaama on vaihdellut huomattavissa määrin, jolloin korkeampi virtaama on todennäköisesti siirtänyt mätiä varsinaiselta kutualueelta alavirtaan. Mätimuna ei saa tarpeeksi happea vajotessaan pehmeään sedimenttiin tai mikäli sen ympärille kerrostuu uutta sedimenttiä (Müller 1992, Ventling-Schwank & Livingstone 1994). Kiintoaineen on todettu vaikuttavan siian mädin selviytymiseen, mikäli se kerrostuu mätimunien päälle ja vaikeuttaa alkion hapensaantia (Müller 1992). Jo 1–4 mm paksuisen sedimenttikerroksen on todettu heikentävän mätimunien selviämistä merkittävästi (Fudge & Bodaly 1984). Joessa varsinaisia kiintoalueen kertymäpaikkoja ei ole, mutta virtaamavaihtelu vaikuttaa sedimentin ajoittaiseen kertymiseen pohjaan.

Hidasvirtaisissa suvantopaikoissa talvehtii eri kalalajeja, mm. särki- ja ahvenkaloja, ja niihin ajautuvat mätimunat saattavat päätyä näiden ravinnoksi (Veneranta ja Harjunpää 2021). Rakentamattomassa joessa, kuten Tornionjoessa virtaamavaihtelu sekä pidemmällä aikavälillä että vuorokausitasolla on huomattavasti vähäisempää kuin rakennetussa säännöstellyssä joessa. Säätelämättömästi virtaavassa joessa on tavanomaisesti syksyinen ylivirtaamatilanne kudun aikaan, talvella virtaama vähitellen pienenee kunnes lumien sulaminen käynnistää kevättulvan ja jäiden lähdön huhti-toukokuussa (Asraf ym. 2018). Siten säännöstelemättömässä joessa kudettu mäti normaalivuosina jää kutualueen tuntumaan kehittymään, koska virtaama kudun jälkeen heikkenee talviajaksi poikkeusolosuhteita lukuun ottamatta.

4.4.2. Kutukannan koko

Vanhojen saalistietojen perusteella joesta syyskaudella kalastettu siikasaalis, 60 tonnia siikaa, vastaa suuruusluokaltaan kutukaloina noin 50000 naaras- ja koirassiikaa, mikäli kalojen keskipainoksi oletetaan 1,2 kg. Luonnonvarakeskuksen koekalastuksessa Kokemäenjoella naaraiden ja naaraiden sekä koiraiden lukumääräsuhde saaliissa oli 1:1,4 ja emokalapyynneissä solmuväliltään suuremmilla verkoilla 2017–2021 keskimäärin 1:1,8. Jos naaras-koirassuhteen oletetaan olevan samassa suhteessa kuin nykyään, emokalojen osuus entisajan saaliista olisi ollut suuruusluokassa 17900–20800 kpl. Tavanomaisesti koiraat ovat kutualueella pidempään kuin naaraat ja joutuvat siksi helpommin pyydetyiksi. Ne myös liikkuvat aktiivisemmin (Fabricius & Lindroth 1954, Semenchenko & Smeshlivaya 2021). Kokemäenjoessa siian kutukannan koko riippuu lähinnä merialueella tapahtuvan pyynnin aiheuttamasta kalastuskuolevuudesta sekä siikojen muusta kuolevuudesta. Vaikka pyynti olisi aikoinaan ollut tehokasta, varsinaisen kutevan emokalakannan voidaan arvioida olleen saaliiseen nähden moninkertainen. Esimerkiksi Tornionjoessa kutemaan meneville kaloille tehdyissä merkinnöissä on enimmillään lipolla tai verkolla pyydetty noin viidennes merkityistä kaloista (Luke, merkintäaineistot 2017).

Jos tehdään karkea oletus, että Kokemäenjoessa siikojen kutemasta mädistä selviytyy talven yli mukaan enintään noin 5 % kudetusta ja hedelmöittyneestä mädistä (Veneranta & Harjunpää 2017), tutkimuksessa määritetty keskimääräinen 0,9 miljoonan poikasen luonnonlisääntyminen vastaisi noin 17,3 miljoonaa kudettua ja hedelmöittynyttä mätimunaa joen alueelle. Emokalapyynnin naaraiden keskipainon mukaan laskettuna mätimäärä vastaa 470 emosiian mätiä. Koiraita vastaavasti olisi 850 kpl emokalapyynnin lukumääräsuhteen perusteella.

Vuosien 2017–2021 aikana Lammaistenlahdella tehdyissä emokalapyynnissä pyydetty naaras- ja koirassiiikojen määrä on vaihdellut 179–209 yksilön välillä ja koiraiden vastaavasti 289–413 välillä (Kalastaja Jarno Aaltonen, emokalapyynnin kirjanpito). Emokalapyynnin aikana siikojen määrä saaliissa vähenee, joten on mahdollista, että tehokas emokalapyynti vaikuttaa huomattavissa määrin joessa kutevan emokalaston kokoon Lammaistenlahden alueella. Emokaloiksi kerätyt siikat eivät pääse kutemaan padon alapuolisella alueella, jolloin luonnonlisäntyminen siltä osin padon alapuolisella alueella jää vähäisemmäksi ja vastaavasti pienentää arviota luonnonlisäntymisen määrästä. Kun huomioidaan Lammaistenlahdelta vuosittain lypsyä varten pyydetty naaras- ja koirassiiikat, olisi koko kutevan siikakannan koko nykyään oletusten perusteella arvioiden alle 2000 siikaa. Luku kuvaa lähinnä nykyisen siikakannan mahdollista suuruusluokkaa. Jos poikastuotantoarvio on aliarvio, kasvaa vastaavasti olettamus joessa kutevan siikakannan koosta. Samoin käy, mikäli mädin selviäminen talven yli on arvioitua heikompaa – tällöin syksyllä kudettu mätimäärä olisi huomattavasti suurempi ja siten emokaloja enemmän. Esimerkiksi mädin 1 % selviytymismäärällä kutevan siikakannan koon arvio olisi noin kolminkertainen.

Vuosittain istutettava vastakuoriutuneiden siikojen määrä on noin 6 miljoonaa poikasta, mikäli emokalapyynti onnistuu hyvin. Samalla tavalla karkeasti arvioituna emokalakannan koon pitäisi olla vähintään 8 800 naaras- ja koirassiiikaa, jotta hautomon poikastuotanto korvautuisi luontaisella lisääntymisellä – olettaen että mädillä on yhtäläiset edellytykset kehittyä joessa kuin vuoden 2016 tutkimuksessa arvioitiin (Veneranta & Harjunpää 2017). Mahdollisesti luontaisen lisääntymisen määrää joessa pystyttäisiin lisäämään pelkästään jokeen nousevien emokalojen määrää kasvattamalla. Nykyinen emokalakanta riittää istutuskierron ylläpitämiseen Harjavallan hautomossa tapahtuvan poikastuoton sekä muualla tehtyjen, erillisiin emokalastoihin perustuvien kesänvanhojen poikasten istutusten avulla.

4.5. Kokemäenjoen siikakannan lisääntymisen edellytysten parantaminen

Aiemmin Kokemäenjoen veden laatu on ollut erittäin heikkoa, heikoimmillaan 1970-luvulla, jolloin se luokiteltiin ajoittain erittäin huonoksi (Kokemäenjoen yhteistarkkailu). Viime vuosikymmenien aikana veden laatu on kuitenkin parantunut, vaikkakin ajoittaisia päästöjä edelleen erityisesti teollisuudesta jokeen pääsee. Vuonna 2014 Harjavallan alapuoliselle alueelle pääsi huomattava määrä nikkeliä Nornickel Harjavallan tehtaalta ja vuonna 2018 vaellussiian luonnontuotannon selvittämiseen liittyvä koejärjestely keskeytettiin Harjavallan lämpölaitoksella talviaikana tapahtuneen öljypäästön vuoksi. Vaellussiialle tilapäisistä päästöistä voi olla merkittävää haittaa, mikäli ne ajoittuvat kutuajan lähetyville, mädin kehittymiseen talviaikaan tai poikasten ulosvaellusjaksoon. Hautomotoiminnalla pystytään turvaamaan siian lisääntymisen ihmistoiminnan vuoksi ailahtelevassa jokiympäristössä.

Kokemäenjoen siian emokaloista kerätyn mädin selviytyminen on Harjavallan hautomon perustamisen jälkeen parantunut. Istutukseen saatavien poikasten määrään voidaan vaikuttaa haudontakäytäntöjä kehittämällä. Vuonna 2014 toteutetun siianmädin haudontakokeen yhteydessä todettiin, että emokalojen lypsissä hedelmöittyneitä ja normaalisti kehittymään läheneitä mätimunia oli 66 % tarkistetusta näytteestä (n=197). Vastaavasti Perhonjoessa samana vuonna tehdyssä lypsissä hedelmöittyneiden ja kehittyvien mätimunien osuus vaihteli 94,6–99,9 % välillä eri otoksissa (n=689). Perhonjoella lypsettyjen siikojen määrä oli pieni ja lypsissä kiinnitettiin erityistä huomiota kalojen käsittelyyn varovasti ja oikeaan aikaan suhteessa

mädin kypsymiseen. Kokemäenjoessa mädinhankinnassa käytettävien siikojen pyynti- ja lypsytapa muuttui vuonna 2018, kun Harjavallan voimalaitoksen yhteyteen valmistunut hautomo otettiin käyttöön. Vuonna 2021 selvitettiin mädin hedelmöitymisastetta ja virheettömästi kehittyneiden mätimunien osuus näytteessä oli 79 % (n=782). Tavanomaisesti kuolevuutta siian mädin haudonnassa tulee myös talven aikana, jolloin hedelmöityksen ja alkuvaiheen kehityksen onnistuminen vaikuttaa oleellisesti keväällä kuoriutumiseen asti selviävien poikasten määrään. Hedelmöitymisen onnistumiseen vaikuttavat mm. lypsyssä käytettävien kalojen kunto ja lypsyn ajoittuminen mädin kypsymiseen nähden. Viljelytoiminnassa on todettu, että juuri ennen kutua pyydetyistä, hyväkuntoisista ja mahdollisimman vähän stressaantuneista sioista saadaan paras hedelmöitystulos. Onnistuneella mädin lypsyllä ja hedelmöitymistuloksen optimoinnilla voidaan siten kasvattaa huomattavasti istutettavien poikasten määrää. Luonnonlisääntymisen osuuden kasvattaminen ylläpitää tai kasvattaa siikakannan geneettistä monimuotoisuutta, koska kutuun osallistuvien yksilöiden määrä kasvaa ja mädin kehityksen aikana selviytyvät joen olosuhteisiin parhaiten sopeutuneet alkioit. Toisaalta emokalapyynnissä lypsyy on mahdollista valita kutupyynnistä suurikokoisempia yksilöitä, jolloin istutuskierron kautta tapahtuva lisääntyminen saattaa kompensoida kalastuksen siikakantaan aiheuttamaa valintapainetta. Merialueella vaellussiikojen on todettu keskimäärin nuorentuneen ja pienentyneen (Kallio-Nyberg ym. 2019, Veneranta ym. 2021). Kokemäenjoen siassa samankaltaista kehitystä ei ole todettavissa, kuin mitä esimerkiksi Perämereen laskevissa joissa on todettu (Jokikokko & Veneranta 2022).

4.6. Luonnonlisääntymiseen soveltuvien alueiden selvittäminen

Poikashavaintojen perusteella on mahdollista, että vaellussiian lisääntyminen sijoittuu useisiin kohtiin joessa. Lammaistenlahtea lukuunottamatta muita kutualueita joessa ei kuitenkaan tunneta. Harjavallan padon alapuolisella alueella on useita virtakohtia (mm. Kistu, Tyni, Pämppi sekä kosket Arantila ja Ruskila) ja paikoin myös pohjan profiilin vuoksi muodostuu vuollemaisia alueita. Näitä kohtia ei ole systemaattisesti kaikuluodattu siikojen kutualueiden kartoittamiseksi, ja pohjan rakenteesta ei ole siten tarkempaa tietoa. Kalojen liikkeitä voidaan seurata esimerkiksi akustisella merkinnällä, jossa jokeen kudulle nouseviin siikoihin laitetaan ääntä lähettävä merkkikapseli ja jokeen sekä merialueelle merkkejä kuuntelevat vastaanottimet. Mikäli merkityt siikat nousevat normaalisti jokeen, tällöin kalojen asemoitumisen perusteella on mahdollista arvioida kutualueita ja kalojen liikkeitä virtaaman mukaan. Kutuaikaan siikojen voidaan olettaa kertyvän kutualueelle, joten kalojen sijainnin perusteella on mahdollista todeta kutualueiden paikka. Luonnonvarakeskus toteutti tällaisen merkintäkokeilun syksyllä 2024 Kokemäenjoessa. Kutualueiden tunnistamisen lisäksi tulisi tietää niissä vallitsevat ominaisuudet, kuten tyypillinen virtaama ja pohjan rakenne. Näiden arviointi edellyttää virtaamakartoitusta koko joen syvyysprofiilin osalta eri virtaamatilanteissa ja kutualueiden viistokai- kuluotausta.

Tarkempaa kutualueetietoa voidaan käyttää perustana, kun arvioidaan edellytyksiä Kokemäenjoessa siian lisääntymiselle ja mahdollisuuksia sopivien alueiden määrän kasvattamiseen. Joeka on monin paikoin ruopattu ja alkuperäinen pohja sekä koskipaikat ovat muuttuneet sekä uiton että virtaamasäätelyn ja tulvasuojelun vaatimusten mukaan. Kokeellisesti on selvitetty, että virtaamaltaan vaihtelevissa oloissa karkeahko sora ja kiviaines pidättää siianmätiiä parhaiten vuolaassa virrassa (Lehtonen & Veneranta 2024). Tällaista pohja-ainesta on todettu olevan esimerkiksi Lammaistenlahdella tunnetulla siian kutualueella (Veneranta & Harjunpää 2017).

Istutukset Harjavallan voimalaitoksen hautomosta vastakuoriutuneilla poikasilla on aloitettu vuonna 2018 ja laajamittaisemmin vasta 2019 alkaen, joten istutusten vaikutus jokeen nousevaan siikakantaan on todennäköisesti nähtävissä vasta vuodesta 2023 alkaen. Poikasvaiheessa kalan otoliittiin jäänyt alitsariiniväri pitäisi olla nähtävissä myös aikuisella kalalla, jolloin merkittyjen osuuden perusteella on mahdollista arvioida istutusten onnistumista. Alitsariiniväriin erottumista otoliitissa selvitetään Luonnonvarakeskuksessa joesta kerättävien näytekalojen perusteella.

Kiitokset

Tutkimuksen rahoitti ja mahdollisti Varsinais-Suomen ELY-keskus Kokemäenjoen kalatalousmaksuvaroista. Vastakuoriutuneiden siikojen merkinnän toteuttivat Tapio Mäkelä (Kalatalouspalvelu Mäkelä Tmi) ja Kimmo Puosi (Länsi-Suomen kalatalouskeskus) Harjavallan hautomolla, erityiskiitos huolella suoritetusta työstä. Emokalapyyntitiedot saatiin käyttöön Jarno Aaltoselta (Pullan Kala Oy) ja Luonnonvarakeskuksen koekalastus toteutettiin osana LIFE Biodiverse -hankkeen näytteenottoa (LIFE20 IPE/FI/000020). Virtaamatiedot Harjavallan voimalaitokselta saatiin UPM Energyltä.

Viitteet

- Ashraf, F.B., Haghighi, A.T., Riml, J., Alfredsen, K., Koskela, J.J., Kløve, B. & Marttila, H. 2018. Changes in short term river flow regulation and hydropeaking in Nordic rivers. Scientific reports 8(1): 17232.
- Beckman, D.W. & Schulz, R.G. 1996. A simple method for marking fish otoliths with alizarin compounds. Transactions of the American Fisheries Society 125(1): 146–149.
- Bevelander G. & Goss R.J. 1962. Influence of tetracycline on calcification in normal and regenerating teleost scales. Nature 193: 1098–1099.
- Braum, E. 1964. Experimentelle Untersuchungen zur ersten Nahrungsaufnahme und Biologie an Jungfischen von Blaufelchen (*Coregonus wartmanni* Bloch), Weissfelchen (*C. fera* Jurine) und Hechten (*Esox lucius* L.). Archiv für Hydrobiologie Supplementband 28: 183–244.
- Breiman, L. 1996. Bagging predictors. Machine learning 24: 123–140.
- Cingi, S., Keinänen, M. & Vuorinen, P.J. 2010. Elevated water temperature impairs fertilization and embryonic development of whitefish *Coregonus lavaretus*. Journal of Fish Biology 76(3): 502–521.
- Eckmann R., Czerkies P., Helms C. & Kleibs K. 1998. Evaluating the effectiveness of stocking vendace (*Coregonus albula* (L.)) eleutheroembryos by alizarin marking of otoliths. Archiv für Hydrobiologie, Special Issues Advances in Limnology 50: 457–463.
- Eckmann, R. 2003. Alizarin marking of whitefish, *Coregonus lavaretus* otoliths during egg incubation. Fisheries Management and Ecology 10(4): 233–239.
- Eckmann, R., Kugler, M. & Ruhlé, C. 2007. Evaluating the success of large-scale whitefish stocking at Lake Constance. Advances in Limnology 60: 361–368.
- Fabricius, E. & Lindroth, A. 1954. Experimental Observations on the Spawning of Whitefish, *Coregonus lavaretus* L., in the Stream Aquarium of the Hölle Laboratory at River Indalsälven. Reports of the Institute of Freshwater Research Drottningholm 35: 105–112.
- Fudge, R.J.P. & Bodaly, R.A. 1984. Postimpoundment winter sedimentation and survival of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) eggs in Southern Indian Lake, Manitoba. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 41(4): 701–705.
- Honkasalo, L. & Pennanen, J. 1988. Kalatalouden ja vesistön käytön kehitys Kokemäenjoen vesistöissä Nokian alapuolella. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalantutkimusosasto. Monistettu julkaisu No 83. Helsinki 1988.
- Houde, E.D. 2008. Emerging from Hjort's shadow. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science 41.
- Hurme, S. 1960. Kymijoen ja Kokemäenjoen tuhoutuminen lohijokina. Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettu julkaisu N:o 9.

- Hurme, S. 1970. Tietoja siikataloudesta Selkämeren Suomen-puoleisella rannikolla. Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja No 39. Helsinki 1970.
- Hurme, S. 1974. Siika talvikkona Kokemäenjoessa. Eripainos: Sanomalehti Lalli 30, 13.2.1974.
- Jokikokko, E. & Huhmarniemi, A. 2014. The large-scale stocking of young anadromous whitefish (*Coregonus lavaretus*) and corresponding catches of returning spawners in the River Tornionjoki, northern Baltic Sea. *Fisheries Management and Ecology* 21(3): 250–258.
- Jokikokko, E. & Veneranta, L. 2022. Pohjanlahden siika. Julkaisussa: Raitaniemi, J. & Sairanen, S. (toim.). Kalakantojen tila vuonna 2021 sekä ennuste vuosille 2022 ja 2023. Silakka, kilohaili, turska, lohi, meritaimen, siika, kuha, ahven ja hauki. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 72/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 9–23.
- Jokikokko, E., Huhmarniemi, A., Leskelä, A. & Vähä, V. 2012. Migration to the sea of river spawning whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) fry in the northern Baltic Sea. *Advances in Limnology* 63: 117–125.
- Jurgelėnė, Ž., Montvydienė, D., Stakėnas, S., Poviliūnas, J., Račkauskas, S., Taraškevičius, R., ... & Kazlauskienė, N. 2022. Impact evaluation of marking *Salmo trutta* with alizarin red S produced by different manufacturers. *Aquatic Toxicology* 242: 106051.
- Järvi, T.H. 1928. Über die Arten und Formen der Coregonen s. str. in Finnland. *Suomen kalatalous* 10. 259 s. + 48 liitetaulua.
- Kalastushallitus, toimintakertomus vv. 1920–22, s. 1–67. Kalastushallituksen julkaisuja 2, Helsinki 1923.
- Kallio-Nyberg, I., Veneranta, L., Saloniemi, I., Jokikokko, E. & Leskelä, A. 2019. Different growth trends of whitefish (*Coregonus lavaretus*) forms in the northern Baltic Sea. *Journal of Applied Ichthyology* 35(3): 683–691.
- Kemp, P., Sear, D., Collins, A., Naden, P. & Jones, I. 2011. The impacts of fine sediment on riverine fish. *Hydrological processes* 25(11): 1800–1821.
- Keränen, P. 2004. Alitsariinipunainen S (ARS) -väriaineella merkittyjen kalojen otoliittien tulkinta fluoresenssimikroskopiolla. Kalatutkimuksia - fiskundersökningar 192. 43 s. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki.
- Keränen, P., Niva, T., & Raitaniemi, J. 2010. Fluorescent mark quality in otoliths of age 0+ whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) and pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)) labelled with alizarin red S (ARS) at three different yolk-sac stages. *Bulletin de la Société zoologique de France* 135(1/2): 119–130.
- Kohavi, R. 1995. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. Morgan Kaufman Publishing. 7 p.

- Larsson, S., Byström, P., Berglund, J., Carlsson, U., Veneranta, L., Larsson, S H., & Hudd, R. 2013. Characteristics of anadromous whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) rivers in the Gulf of Bothnia. In 11th International Symposium on the Biology and Management of Coregonid Fishes, SEP 26-30, 2011, Mondsee, AUSTRIA (pp. 189-201).
- Lehtonen, H., Nyberg, K., Vuorinen, P.J. & Leskelä, A. 1992. Radioactive strontium (⁸⁵Sr) in marking whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) larvae and the dispersal of larvae from river to sea. *Journal of fish biology* 41(3): 417–423.
- Lehtonen, T.K. & Veneranta, L. 2024. Gone with the flow: Whitefish egg drift in relation to substrate coarseness under a range of flow velocities. *Journal of Fish Biology*.
- Leinonen, T. Kallio-Nyberg, I., Koljonen, M.-L., Veneranta, L. & Jokikokko, E. 2020. Pohjanlahden siikakantojen vaelluserot ja ikäluokkien kokoerot: Siikakantojen ekologisten ominaisuuksien tutkimus geneettisen kannantunnistuksen avulla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 31 s.
- Leskelä, A. 2006. Marking one-summer old whitefish with fluorescent pigment spraying method and results of whitefish stockings in the Gulf of Bothnia. Academic dissertation in Fisheries Science. Department of Biological and Environmental Sciences University of Helsinki Finland and Finnish Game and Fisheries Research Institute. Helsinki 2006.
- Leskelä, A. 2015. Kokemäenjoen ja Rauman edustan siian velvoiteistutusten tuloksellisuus. Projekti 523036. Loppuraportti. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 11 s.
- Leskelä, A. Jokikokko, E. & Huhmarniemi, A. 2009. Perämeren vaellussiikaistutusten tulokset. Riista- ja kalatalous – Selvityksiä 7/2009. 23
- Leskelä, A., Jokikokko, E., Huhmarniemi, A., Siira, A. & Savolainen, H. 2004. Stocking results of spray-marked one-summer old anadromous European whitefish in the Gulf of Bothnia. *Annales Zoologici Fennici* 41: 171–179.
- Lindroth, A., 1957. A study of the whitefish (*Coregonus*) of the Sundsvall Bay district. *Reports of the Institute of Freshwater Research Drottningholm* 38: 70–108.
- Lindström, J. A. 1862. Kumo socken uti historiskt hänseende. Helsingfors. *Suomi, Tidskrift i fosterländska ämnen* 1860(20): 171–342.
- Louekari, S. 2011. Kokemäenjokilaakson muuttuvat toiminnot ja maisema. Teoksessa: Kokemäenjoen aalloilla ja rannoilla. Satakuntaliitto, sarja A: 304 Louekari, S. 2011. ISBN 978-952-5862-21-8 (pdf) Toimitus: Juha Hiedanpää, Ilkka Jussila, Sirkka Lehto, Sami Louekari, Juhani Ruohonen, Juhani Salmi, Teemu Salonen, Anne Savola ja Kari Ylikoski.
- Lähteenoja, F. 1887. Kokemäenjoen siian- ja lohenpyynnistä. *Virittäjä* 2: 127–144.
- Martyniak, A., Stańczak, K., Kozłowski, J., Mierzejewska, K., Wziątek, B., Lejk, A. M., & Hliwa, P. 2011. Alizarin mark retention in the otoliths of whitefish (*Coregonus lavaretus f. lavaretus* L.) from Lake Łebsko, Poland. *Advances in Limnology* 64: 83–89.

- Mierswa, I., Wurst, M., Klinkenberg, R., Scholz, M. & Euler, T. 2006. Yale: Rapid prototyping for complex data mining tasks. In Proceedings of the 12th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. pp. 935–940.
- Monaghan J.P. 1993. Comparison of calcein and tetracycline as chemical markers in summer flounder. Transactions of American Fisheries Society 122 298–301.
- Müller, R. 1992. Trophic state and its implications for natural reproduction of salmonid fish. In The Dynamics and Use of Lacustrine Ecosystems: Proceedings of the 40-Year Jubilee Symposium of the Finnish Limnological Society, held in Helsinki, Finland, 6–10 August 1990. pp. 261–268. Springer Netherlands.
- Næsje, T.F., Jonsson, B. & Sandlund, O.T. 1986. Drift of cisco and whitefish larvae in a Norwegian river. Transactions of the American Fisheries Society 115(1): 89–93.
- Nagiec, M., Czerkies, P., Goryczko, K., Witkowski, A. & Murawska, E. 1995. Mass-marking of grayling, *Thymallus thymallus* (L.), larvae by fluorochrome tagging of otoliths. Fisheries Management and Ecology 2(3): 185–195.
- Oravainen, R. 2021. Kokemäenjoen tila ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Teoksessa: Konsala, J., Artimo, A. & Puurunen, O. 2021. Kokemäenjoen valuma-alueen vaikutukset raakaveden laatuun Karhiniemessä. Vedenlaatututkimukset osana tekopohjavesihanketta. Turun Seudun Vesi Oy, 80 s.
- Polikar, R. 2006. Ensemble based systems in decision making. IEEE Circuits and systems magazine 6(3): 21–45.
- Raunio, J. & Nyberg, K. 2013. Kymijoen Langinkoskenhaaran vaellussiian poikastuotanto vuonna 2013. Kymijoen vesi- ja ympäristö ry:n tutkimusraportti no 213/2013.
- Rohtla, M., Svirgsden, R., Verliin, A., Rumvolt, K., Matetski, L., Hommik, K., ... & Vetemaa, M. 2017. Developing novel means for unravelling population structure, provenance and migration patterns of European whitefish *Coregonus lavaretus* sl. in the Baltic Sea. Fisheries Research 187: 47–57.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. & Williams, R.J. 1986. "Learning internal representations by error propagation" in Parallel Distributed Processing Exploration in the Microstructure of Cognition, MA, Cambridge: MIT Press, vol. 1.
- Salojärvi, K. 1980. Siikaistutusten tuloksista ja kannattavuudesta. Suomen kalastuslehti 3: 82–89.
- Salminen, T. 2007. "Joki ja sen väki," DIGI - Yleisten kirjastojen digitoimaa aineistoa, viitattu 16.2.2024. <https://digi.kirjastot.fi/items/show/124786>.
- Semenchenko, S. & Smeshlivaya, N. 2021. Spawning behaviour of whitefishes (*Coregonidae*). In Annales Zoologici Fennici 58(4–6): 129–140). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Taylor, W.W. & Freeberg, M.H. 1984. Effect of food abundance on larval lake whitefish, *Coregonus clupeaformis* Mitchill, growth and survival. Journal of Fish Biology 25(6): 733–741.

- Toiviainen, A. 2015. Kahden Koitajoen vesistöalueella esiintyvän siikamuodon (*Coregonus lavaretus*) risteymien elinvoimaisuus. Pro gradu-tutkielma. Itä-Suomen yliopisto, Biologian laitos 2015.
- Vaaranieniemi, M., Heikkilä, J. & Jokikokko, E. 2021. The role of dipnetting of migratory European whitefish (*Coregonus lavaretus*) in the local culture and traditions of the River Tornionjoki Valley. *Advances in Limnology* 66: 3–11.
- van der Walt, B. & Faragher, R.A. 2003. Otolith marking of rainbow trout fry by immersion in low concentrations of alizarin complexone. *North American Journal of Fisheries Management* 23(1): 141–148.
- Veneranta, L. & Harjunpää, H. 2017. Kokemäenjoen vaellussiika – kutualueet ja poikasten esiintyminen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 27/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki.
- Veneranta, L. & Harjunpää, H. 2021. Merenkurkun merikutuisen siian istutustuotto ja syönösalueet. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 59/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 35 s.
- Veneranta, L., Hudd, R. & Vanhatalo, J. 2013. Reproduction areas of sea-spawning coregonids reflect the environment in shallow coastal waters. *Marine Ecology Progress Series* 477: 231–250.
- Veneranta, L., Kallio-Nyberg, I., Saloniemi, I. & Jokikokko, E. 2021. Changes in age and maturity of anadromous whitefish (*Coregonus lavaretus*) in the northern Baltic Sea from 1998 to 2014. *Aquatic Living Resources* 34(9).
- Ventling-Schwank, A.R. & Livingstone, D.M. 1994. Transport and burial as a cause of whitefish (*Coregonus sp.*) egg mortality in a eutrophic lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51(9): 1908–1919.
- Vilkuna, Kustaa 1940. Siian lippoamisesta Tornionjoella. Julkaisussa Kotiseutu 1940. Toim. Vilkuna, Vuorela, Teppo, Oja. Forssa: Forssan kirjapaino Oy, s.62-87.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki