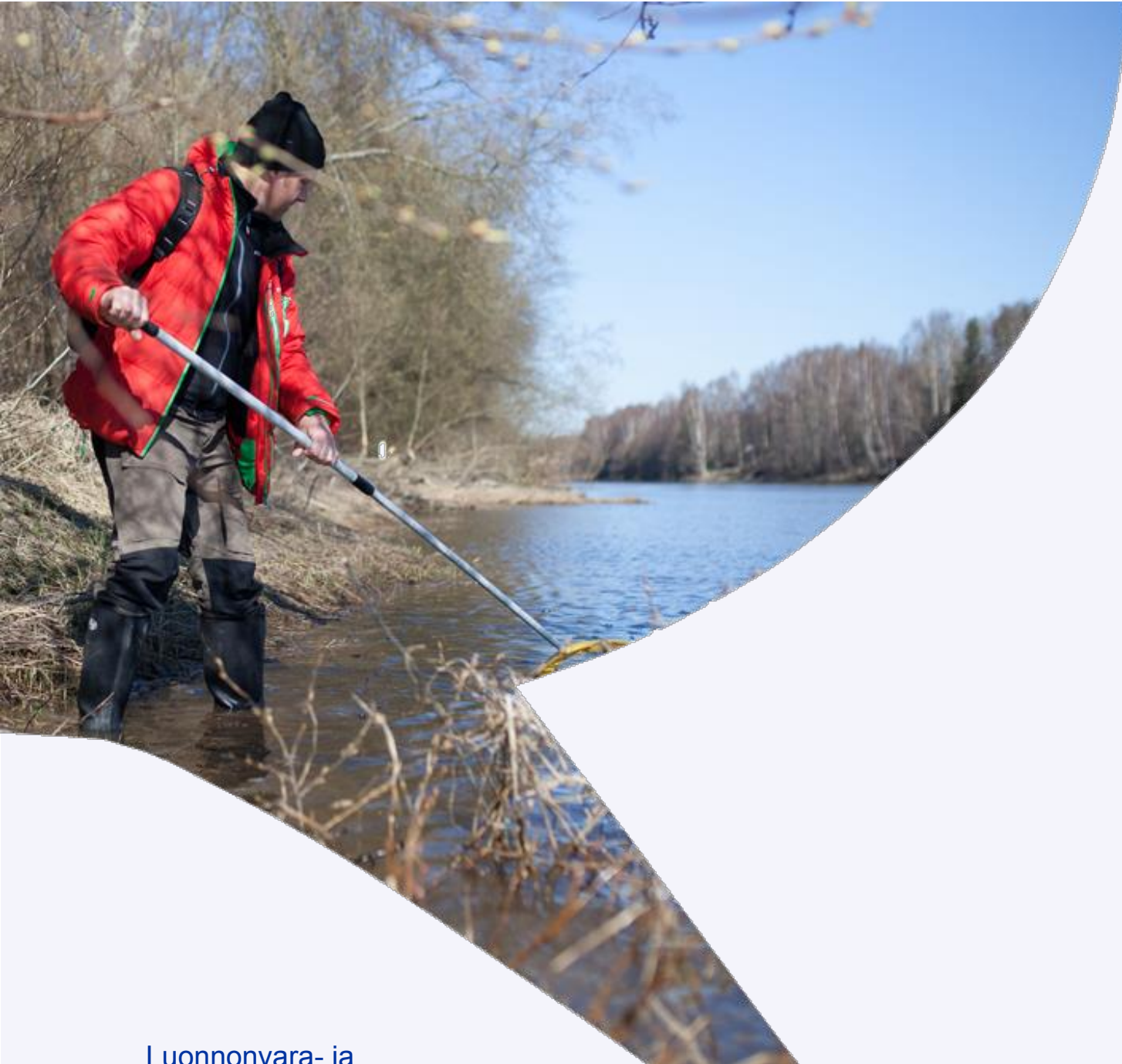




Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 27/2017

Kokemäenjoen vaellussiika – kutualueet ja poikasten esiintyminen

Lari Veneranta ja Hannu Harjunpää

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 27/2017

Kokemäenjoen vaellussiika – kutualueet ja poikasten esiintyminen

Lari Veneranta ja Hannu Harjunpää



ISBN: 978-952-326-400-7 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-401-4 (Verkkojulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkojulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-401-4>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Lari Veneranta ja Hannu Harjunpää

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2017

Julkaisuvuosi: 2017

Kannen kuva: Lari Veneranta

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Kokemäenjoki on Selkämeren merkittävin siikajoki, niin historiallisesti kuin nykyään. Joen patoaminen ja rakentaminen sekä valuma-alueiden maa- ja metsätaloudellinen käyttö voimakkaan teollisuuskuormituksen ohella heikensi aiemmin vedenlaatua merkittävästi. Alkuperäinen, nopeakasvuinen vaellussiikakanta oli kadota kokonaan lisääntymiskierrosta 1950-luvulla, mutta pelastettiin kalanviljelyn ja istutustoiminnan avulla. Vedenlaadun parantuessa jokeen kudulle nousevien siikojen lisääntyminen on tuottanut tulosta ja Kokemäenjoessa kuoriutuu keväisin merkittävä määrä siianpoikasia. Joessa toteutetussa mädin haudontakokeessa keskimäärin 61 % mädistä selvisi hengissä talven yli, vaikkakin mäti oli keväällä ennen kuoriutumista todennäköisesti sedimentin, levän ja sienirihmasson peittämä. Siianpoikasten kuoriutumisen aikaan toteutetussa poikashaavinnassa selvisi, että poikasia on koko joen matkalla ja voidaan otaksua, että alimman Harjavallan padon alapuolisen alueen lisäksi joessa on myös muita lisääntymisalueita. Luontaisesta kierrosta tulevien siianpoikasten määrä ja pyydystettävyyden on suurimmillaan veden lämpötilan ollessa 4,5–6,5 °C. Haavintatyön perusteella kuoriutuminen ajoittuu noin kolmen viikon ajanjaksolle ja poikaset siirtyvät vähitellen virran mukana jokisuistoa kohden. Vastakuoriutuneiden istutuspoikasten havaittiin siirtyneen parissa vuorokaudessa 5 km alavirtaan.

Kokemäenjoessa Harjavallan padon alapuolella sijaitsevalla Lammaistenlahdella vaellussiian kutualue kartoitettiin mätipumppaustekniikalla. Alueen syvyys ja pohjan rakenne kartoitettiin kaiku-luotauksin ja niiden perusteella alueelle sijoitettiin mätipumppauksen näytteenottopisteet. Näytteet kerättiin syksyllä kudun jälkeen sekä keväällä ennen kuoriutumista. Syksyn mätipumppauksissa mätitiheydet erityisesti voimalaitoskanavan alaosaan olivat korkeita, mutta mätiiä löytyi myös varsinaisen päävirta-alueen reunamilta. Talven aikana mädin hävikki oli suuri, mädin keskitiheys oli keväällä 94.8 % alempi kuin syksyllä. Hävikki saattaa johtua voimakkaista virtaamavaihteluista, mätimuniin kohdentuvasta saalistuksesta tai ajoittain erittäin kiintoainepitoisesta vedestä sekä näiden yhdistelmästä. Mädin sijoittumisen perusteella tehty malli osoitti, että mätipumppuun jääneen hajoavan orgaanisen aineksen määrä (pumppausjäännös) ja pohjan tyyppi ovat eniten mädin sijoittumista ohjaavia tekijöitä. Vaellussiian kutu tapahtuu pääosin voimalaitoskanavan alaosaan tasaaisessa virrassa ja kudettu mätii ajautuu virran mukana alapuoliselle sora-kivi -alueelle. Raekoko vaihtelee pääosin 63–200 mm välillä, lisäksi joukossa saattaa olla yksittäisiä lohkarkeitä. Pumppausjäännöksen määrä mätialueella on enintään 104.2 g/m² ja vähintään 10.5 g/m². Pumppausjäännös korreloi virran nopeuden kanssa ja kertoo osaltaan pidemmän ajan virtaushistoriasta voimakkaasti vuorokausisäännöstelyssä joessa. Mädille liian suuri pumppausjäännös kertyy hitaasti virtaaville alueille ja liian alhainen kovavirtaisille paikoille, lähinnä voimalaitoskanavan alaosaan. Lähes kaikki kevään mätipaikat sijoittuivat mallin osoittamalle alueelle.

Vaellussiian lisääntymisalueita rannikolle laskevista joista ei ole aiemmin kartoitettu Suomessa. Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan otaksua, että lisääntymisalueiden kohentaminen keinotekoisien kiviriutarakenteiden avulla on mahdollista rakennetuissa joissa. Siian kutualueelle tulisi luoda mädin kehitykselle sopiva alusta, jossa virtaus riittää pitämään sedimentaation poissa, mutta toisaalta ei pyyhkäise ylivirtaamatilanteessa mätii epäsuotuisalle alueelle. Vaellussiian lisääntymiseen ja luonnontuotantoon liittyvä tietopohja on edelleen ohut, joten lisäselvityksiä tarvitaan mahdollisten kunnostustoimenpiteiden kannattavuuden arvioimiseksi. Kokemäenjoen siikakantojen hoidossa tulisi ylläpitää kalastettavaa kantaa istutuksin, mutta pyrkiä kasvattamaan luonnontuotanto mahdollisimman suureksi kannan monimuotoisuuden vaalimiseksi. Soveltuvien kutualueiden pinta-alan kasvattaminen lisäisi todennäköisesti siian luontaisen lisääntymisen tuottoa voimalaitoksen alapuolisella alueella.

Asiasanat: Kokemäenjoki, siika, kutualuekarttoitus, mätipumppaus, viistokaikuluotaus, poikanen

Sisällys

Tiivistelmä	3
1. Johdanto	5
2. Kokemäenjoen siika	6
3. Kokemäenjoen virtaama ja vedenlaatu	8
4. Vaellussiian mädin selviytyminen Kokemäenjoessa	10
4.1. Mädin varhaiskehitys	10
4.2. Mätirasioiden sijoittaminen	12
4.3. Mätirasiahaudonnan tulokset	12
5. Siianpoikaskartoitus Kokemäenjoessa	15
5.1. Haavi on yksinkertainen kartoitusmenetelmä	15
5.2. Haavintakartoituksen tulokset	16
6. Vaellussiian kutualuekartoitus Lammaistenlahdella	20
6.1. Viistokaikuluotaus näytteenottoa varten	21
6.2. Mätipumppaukset	24
6.2.1. Näytteenoton suunnittelu	24
6.2.2. Näytteenotto mäti-imurilla	26
6.2.3. Mätipumppaus syksyllä 2015	28
6.2.4. Mätipumppaus keväällä 2016	29
6.3. Viistokaikuluotaus ja pohjakuvaus	30
6.4. Paikkatietoaineistojen käsittely	33
6.5. Mädin kehittymispaikkojen luonnehdinta muuttujien perusteella	34
6.5.1. Pohjanlaadun tulkinnan tarkkuus	34
6.5.2. Mätipumppausten tulosten yleistäminen karttatasoksi	36
6.6. Tulosten tarkastelu	41
6.6.1. Kokemäenjoen siian poikastuotanto	41
6.6.2. Mädin hävikki talven aikana	42
6.6.3. Lammaistenlahden kutu- ja mätialueen luonnehdinta	44
7. Siian luonnontuotannon parantamiseen tarvittavat selvitykset	46
7.1.1. Luonnontuotannon määrän arviointi	46
7.1.2. Kokemäenjoen siian kutualueiden kartoittaminen	46
7.1.3. Kunnostustoimenpiteet ja seuranta	46
8. Kiitokset	48
9. Kirjallisuus	49

1. Johdanto

Seppo Hurme kirjoitti vuonna 1970 ilmestyneessä raportissaan *"Tietoja siikataloudesta Selkämeren Suomen-puoleisella rannikolla"* loppukaneettina, että *"Voimalaitospatojen alivesiä voitaneen myöskin kunnostaa [siian] kutuvesiksi"*. Vaellussiian luontaisen lisääntymisen edistäminen rakennetuissa vesissä jäi kuitenkin 1970 -luvun loppupuolella alkaneiden ja tuottoisiksi osoittautuneiden kesänvanhoilla poikasilla tapahtuvien istutusten varjoon. Luontaisten lisääntymisaluiden tuhoutumista, rannikon jokien rakentamista ja heikentynyttä vedenlaatua on kompensoitu vuosittaisilla merkittävillä siikaistutuksilla. Koko Suomen rannikolle istutetaan vuosittain 5-10 miljoonaa kesänvanhaa ja kymmeniä miljoonia vastakuoriutuneita siianpoikasia.

Pohjanlahdella siikojia (*Coregonus lavaretus* (L.)) on kahta eri lisääntymismuotoa, virtavesiin kudulle nouseva vaellussiika sekä meressä kuteva siika, jonka on arveltu muodostavan paikallisempia kantoja (Lehtonen 1981, Kallio-Nyberg & Koljonen 1988, Säisä 2008, Olsson ym. 2012). Molemmat ovat merkittäviä kohdekaloja sekä kaupalliselle että vapaa-ajan kalastukselle, ja niillä on siten sekä taloudellista että sosiaalista arvoa. Ylipäätään Suomessa rannikkoalueen siika on silakan jälkeen tärkein kalastuksen kohdelaji ja siikasaaliin arvo on kolmannes rannikkoalueella harjoitettavan ammattikalastuksen saaliin kokonaisarvosta, johon ei ole laskettu mukaan silakka-, kilohaili- ja turskasaalista. (SVT: Luonnonvarakeskus, Kaupallinen kalastus merellä 2014). Siikamuodot eroavat toisistaan pääasiassa kasvunopeuden, kutualueen ja vaelluskäyttäytymisen perusteella. Vaellussiika on tyypillisesti nopeakasvuinen, kasvaa suurikokoiseksi ja tekee pitkiä syönnösvaelluksia. Merikutuinen siika kutee rannikkoalueella ja tekee vain lyhyitä vaelluksia (Lehtonen 1981, Lehtonen & Himberg 1992).

Heikentyvien siikasaaliiden, ympäristössä tapahtuvien muutosten ja luontoon kohdistuvien käyttöpaineiden vuoksi vaellussiian ja merikutuisen siian lisääntymiseen ja poikasalueisiin liittyvälle tiedolle on kasvava tarve koko Suomen rannikkoalueella. Lähes kaikissa rannikon joissa lisääntyminen on vähäistä ja monesti istutuksin tuettua. Kutukalojen määrät ovat myös vähentyneet, kalojen koko pienentynyt ja lisääntyminen on ollut vaihtelevaa, sillä lisääntymisolosuhteet ovat heikentyneet aikojen saatossa useimmissa joissa. Kaloilla varhaiset kehitysvaiheet ovat erityisen herkkiä ympäristön tilan heikkenemiselle (Rombough 1988, Finn 2007) ja siksi ne osaltaan indikoivat erityisesti ympäristössä tapahtuvia muutoksia. Lisäksi suuret istutusmäärät hankaloittavat luonnonlisääntymisen tason arviointia. Nämä syyt vaikuttivat siihen, että merialueen vaellussiika luokiteltiin erittäin uhanalaiseksi kansallisessa arvioinnissa (Urho ym. 2010). Vaellussiian luontaisesta lisääntymisestä rannikon jokivesissä oli kuitenkin niukasti tutkimustietoa sekä lisääntymisjokien määrän että luontaisen lisääntymisen tason suhteen. Vuonna 2016 voimaan tullut kalastuslaki korostaa kalakantojen luontaisen lisääntymisen merkitystä. Vaellussiian osalta voisi olla syytä palata Hurmeen (1970) raportissaan esille nostamaan mahdollisuuteen, voimalaitosten alapuolisten vesien hyödyntämiseen vaellussiian kutumahdollisuuksien kohentamisessa. Sitten 1970 -luvun tutkimuksen käytettävissä oleva tekniikka on kehittynyt harppauksin, nyt pohjien rakennetta voidaan tutkia helposti vedenalaisvalokuvin sekä viistokaikuluotauksin ja aineistot saadaan sidottua kartalle paikkatieto-ohjelmistoja hyödyntämällä. Vaellussiian osalta kutupaikkojen kartoitus on aiemmin ollut hankalaa verrattuna esimerkiksi loheen ja taimeneen, koska varsinaista kututapahtumaa ei pysty kuivalta maalta todistamaan yhtä helposti. Illan hämyssä tasaisessa virrassa pyrstöään päristeleviä siikojia voi toki nähdä, mutta mädin kehittymispaikat ovat jääneet pimentoon.

Tässä raportissa selvitetään vaellussiian mädin kehittymismahdollisuuksia Satakunnassa sijaitsevalla Kokemäenjoen Lammaistenlahdella, kartoitetaan poikasten esiintymistä keväällä kuoriutumisen jälkeen jokialueella ja arvioidaan viistokaikuluotausten ja mätipumppausten perusteella rakennetussa vesistössä vaellussiian kutuun ja mädin kehittymiseen sopivan virta-alueen ominaisuuksia. Tutkimustyö on tehty Varsinais-Suomen ELY -keskuksen rahoittamassa hankkeessa *"Kokemäenjoen vaellussiian lisääntymisaluetutkimus"*, mutta liittyy kiinteästi muihin Luonnonvarakeskuksessa meneillään oleviin siikatutkimuksiin ja vastaa erityisesti MMM:n siikatyöryhmän loppumietinnössä (MMM 2013) esitettyihin vaellussiikaa koskeviin selvitystarpeisiin. Tavoitteena on ollut tuottaa tietoa siikakantojen kestävästä käytöstä ja elinvoimaisuuden tukemiseksi sekä kestävästä luonnonvaratalouden ja -politiikan edistämiseksi.

2. Kokemäenjoen siika

Kokemäenjoki on Selkämeren alueen suurin ja merkittävin siikajoki sekä historiallisesti (Hurme 1970, Honkasalo ym. 1990) että myös nykytilassaan. Ennen tehomaataloutta ja teollistumista Kokemäenjoen siikasaaliit ovat olleet maankuuluja. Alajuoksulta saatiin vuosisaaliina noin 60 tonnia siikaa vielä 1800 -luvun lopussa. Siian pyyntiä harjoitettiin Kokemäenjoessa nuotilla ja lippoamalla kalatokeista (Hurme 1970). Seuraavan vuosisadan alkuun mennessä vedenlaadun heikkenemisen ja jokien perkaamisen ja rakentamisen myötä siikakannat muiden vaelluskalojen ohella taantuivat voimakkaasti. Vielä 1930-luvulla siian pyynti oli huomattavan voimakasta Kokemäenjoen suistossa, jossa oli lukuisia lohi- ja siikarysiä pyynnissä. Hurme (1970) kirjoittaa, että Kokemäenjoen suualueelta on saatu 1930-luvulla useita satoja tonneja siikaa saaliiksi vuosittain ja alueella kalastus oli huomattava elinkeino. Parhaat saaliit saatiin elo-syyskuussa, lisäksi keväisin saatiin joesta poistuvaa laskusiikaa. Nykytilanteeseen suhteutettuna siikasaalis on ollut suuri, koska koko Suomen kaupallisen rannikkokalastuksen siikasaalis on viime vuosina ollut noin 450–650 tonnia (SVT: Luonnonvarakeskus, Kaupallinen kalastus merellä).

Vaellussiian historian kannalta oleellinen Harjavallan voimalaitos valmistui 1939. Jokiin rakennetut padot estävät vaelluskalojen nousun patojen yläpuolella sijaitseville lisääntymisalueille, aiheuttaen jo siten kalakantojen häviämistä tai heikentymistä. Vedenlaadun edelleen heiketessä yhteiskunnan toimien vuoksi siikakannat olivat heikoimmillaan 1950 -luvulla, jolloin Kokemäenjoen vaellussiian arveltiin hävinneen lähes kokonaan (Honkasalo ym. 1990). Jokisuualueella oli kuitenkin siikamuoto, joka kuti Kokemäenjoen suun ja Mäntyluodon välisillä hiekkamatalikoilla, joki- ja meriveden välivyöhykkeessä (Salminen 1947). Siikakantojen taantuessa perustettiin emokalastoja ja aloitettiin viljely kalakannan ylläpitämiseksi. Hurme (1970) kirjoittaa, että Harjavallan padon alapuoliselle alueelle on noussut siikaa, ja nousu on tuolloin alkanut heinäkuun puolivälissä ja jatkunut lokakuun puoleen väliin saakka. Kokemäenjoen siikakannan erityispiirteenä on, että kalat ovat nopeakasvuisia ja kasvavat suurikokoisiksi. Vuosina 1958–1967 suurimmat emosiit mätipyynnissä ovat olleet 3,6–6,2 kg, vielä nykyäänkin isoimmat nousijat ovat samassa kokoluokassa. Kokemäenjoessa syksyllä 2016 mädinhankintaa varten tehtyjen pyyntien yhteydessä lypsettyjen, merkittyjen ja vapautettujen vaellussiikojen keskipituus oli naarailla 570 mm ja koirilla 530 mm. Kaloja ei merkinnän yhteydessä punnittu, mutta paino on tuon mittaisilla kaloilla noin puolentoista kilon tuntumassa.

Aiemmin Kokemäenjoen vaellussiian elinkierto on perustunut pitkiin maantiekuljetuksiin. Emokalaston lypsyt jälkeen hedelmöittynyt mäti on siirretty haudottavaksi Luonnonvarakeskuksen (vuoteen 2014 RCTL:n) Keminmaan viljelylaitokselle, josta kuoriutuneet poikaset on viety kasvamaan Pohjois-Suomeen luonnonravintolammikoihin ja tuotu takaisin syksyllä istutusta varten. Osa poikasista on kuljetettu Keminmaalta suoraan takaisin Kokemäenjokeen ja istutettu vastakuoriutuneena. Vielä 1960 -luvulla vuotuiset istutusmäärät joki- ja suualueelle olivat varsin merkittäviä, 1,5–8,5 miljoonaa vastakuoriutunutta poikasta vuodessa. Nykyään istutusmäärät vastakuoriutuneilla poikasilla jokeen ja suualueelle ovat vaihdelleet 2012–2016 noin 1–2,6 miljoonan ja kesänvanhoilla 66–205 tuhannen poikasen välillä (Varsinais-Suomen ELY -keskus, istutusrekisteri). Jokeen istutetut poikaset ovat pääasiassa olleet vastakuoriutuneita ja jokisuun merialueelle laitettut kesänvanhoja. Kokemäenjoen siika on koko Selkämeren alueella keskeinen siikaistutuksissa käytettävä kanta, ja sitä on käytetty laajalti myös Saaristomerellä ja Suomenlahdella. Merkintätietojen perusteella (Harjunpää & Leskelä 2012; Leskelä 2015). Kokemäenjoen vaellussiika tekee etelään suuntautuvan syönnösvaelluksen ja palaa sukukypsyyden saavutettuaan takaisin kotijokeensa tai istutuspaikalle, tosin osa kaloista saattaa etsiä myös laajemmalle alueelle muihin jokiin.

Kokemäenjoen Lammaistenlahti on 36 km päässä jokisuusta Harjavallan voimalaitospadon alapuolella sijaitseva laajahko virta- ja suvantoalue (ks. kuva 8). Alue on tunnettu vaellussiian kutualue, johon syksyllä kutemaan nousevien kalojen nousu päättyy. Havaintojen perusteella kutu tapahtuu pääosin voimalaitoskanavassa ja sen alaosissa, vähäisemmissä määrin myös Lammaistenlahdella olevan saaren eteläpuolella päävirrassa. Kudun jälkeen marraskuun alusta eteenpäin mäti kehittyy poh-

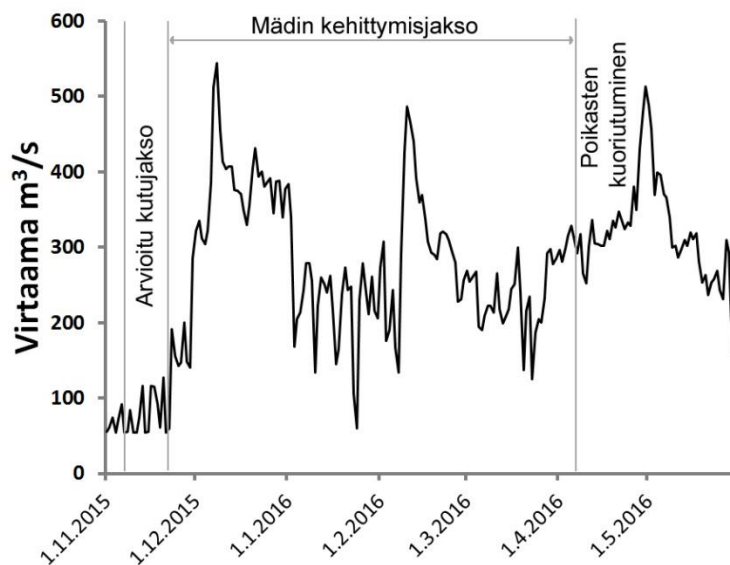
jalla kuoriutuakseen keväällä veden lämmitessä 2–4 asteen lämpötilaan. Kutevista siioista on havain-
toja myös muilta jokivarren alueilta, mutta tietoa näiden alueiden laajuudesta tai merkityksestä joen
siian tuotannolle ei ole. Varsinaisia koskialueita padon alapuolisella jokialueella on kaksi, Arantilan- ja
Ruskilankoski ja niiden lisäksi neljä pienempää niva-alueita (Pämppi, Tyni, Korte ja Kistu). On mahdol-
lista, että joki pystyisi tuottamaan nykyistä enemmän luonnonkudusta syntyviä poikasia, mikäli sopi-
via kutu- ja mädin kehittymisalueita olisi olemassa. Luonnonvalinnan kautta kehittyvä siikakanta
mahdollistaa perinnöllisen monimuotoisuuden säilymisen ja siten paremman elinkyvyn kannalle.

3. Kokemäenjoen virtaama ja vedenlaatu

Kokemäenjoki on Suomen viidenneksi suurin jokivesistö. Valuma-alueen pinta-ala on joen laskiessa Pohjanlahteen yhteensä noin 27000 km² ja keskivirtaama alimman Harjavallan padon kohdalla on noin 220 m³/s (Korhonen ja Haavanlammi 2012, Vesistöennusteet). Virtaamaa säännöstellään viiden joen varrella olevan vesivoimalaitoksen tarpeisiin. Harjavallan voimalaitoksen virtaamaa säädellään vuorokausittain, ja enimmillään virtaamavaihtelu saattaa olla 300 m³/s. Keskimääräinen ylin virtaama voimalaitoksella on ollut noin 600 m³/s ja alin 51 m³/s. Satunnaisesti virtaama padolta on saattanut katketa myös kokonaan. Vuosittaiset vaihtelut virtaamamäärissä ja virtaamien ajoittumisessa ovat suuria ja esimerkiksi ajoittainen veden päästä ohjuoksutuskanavasta muokkaa pohjaa eri tavalla kuin virtaus voimalaitoskanavaa pitkin. Vuonna 2016 voimalaitospadossa otettiin käyttöön kolmas turbiini, mutta sen käytännön vaikutuksista virtaamasäännöstelyyn ei ollut raportin kirjoitushetkellä vielä tietoa.

Harjavallan padon alapuolella Lammaistenlahdella virtaamien muuttuminen aiheuttaa huomattavaa veden pinnan korkeuden vaihtelua. Minimijuoksutuksella alavesi on noin tasossa NN + 1,00 m–NN + 1,10 m, riippuen meriveden korkeudesta. Vuositasolla vaihteluväli on noin 3–3,5 m ja vuorokauden sisällä 1,5–2 m. Pato on ensimmäinen kalojen nousueste mereltä päin. Lammaistenlahden pinta-ala on noin 62 hehtaaria ja syvyys vaihtelee puolesta metristä enimmillään noin kolmeentoista metriin riippuen veden korkeudesta. Harjavallan voimalaitoksen alapuolella on kaksi selkeää koski- aluetta, Ruskilankoski ja Arantilantilankoski, joiden yhteinen pudotuskorkeus on 1,5 metriä. Alajuoksulla meriveden pinnan vaihtelut vaikuttavat merkittävässä määrin myös virtaamaan ja joen vedenkorkeuteen. Säännöstelun vaikutuksesta Kokemäenjoen virtaamien ajallinen jakautuminen ja jäänmuodostus talvella poikkeavat luonnollisesta tilanteesta. Talviaikaan virtaamat ovat suurempia ja keväällä sekä kesällä vähäisempiä. Säännöstelyn ja jokirakentamisen vuoksi alivirtaamat ovat luontaista tilaa pienempiä ja ylivirtaamat puolestaan suurempia. Vuorokausi- ja viikkosäännöstelyn vaikutuksesta juoksutus padolta on usein vähäisintä öisin ja viikonloppuisin.

Tutkimusjaksolla talvella 2015–2016 joen virtaaman vuorokausikeskiarvo oli korkeimmillaan joulukuussa 543 m³/s, kun siian kudun aikaan marraskuussa (ennen mätipumppausten aloitusta 24.11.) keskivirtaama oli 80 m³/s. Joulukuun keskivirtaama oli 384 m³/s, jonka jälkeen virtaama laski, kunnes helmikuussa oli lyhytaikainen talvitulva, jolloin virtaamahuippu oli 487 m³/s. Keväällä siianpoikasten kuoriutumisen aikaan normaalisti virtaamat kasvavat lumien sulaessa, huhtikuussa 2016 suurin virtaama oli 513 m³/s (kuva 1).



Kuva 1. Kokemäenjoen virtaama Harjavallan padon kohdalla talvella 2015, siikojen kutujakso, mädin kehitymisajaksi ja poikasten kuoriutumisen aloitusaika.

Kokemäenjoki on voimakkaasti muokattu joki. Alajuoksulla, Porin alueella jokiuomaa on perattu ja kunnostettu moneen kertaan. Rantatörmät erityisesti Harjavallan voimalaitoksen ja Ulvilan välillä ovat jyrkkiä, ja joki on kaivanut uoman hiesumaahan. Tulvasuojelun vuoksi ja virtaamien ohjaamiseksi useisiin kohtiin jokea on rakennettu penkereitä ja pumppaamoita. Alajuoksulla, ennen Pihlavanlahden laskemistaan joki muodostaa neljä rinnakkaista uomaa, jotka liittyvät Pihlavanlahden jokisuussa takaisin toisiinsa.

Heikoimmillaan Kokemäenjoen vedenlaatu on ollut 1970-luvulla, jolloin se luokiteltiin huonoksi. Jokivarren teollisuus ja yhteiskuntakuormitus heikensivät veden laatua merkittävästi. Kuormituksen väheneminen alkoi näkyä veden laadun paranemisena 1980-luvun lopulta lähtien metsäteollisuuden kuormituksen loppuessa. Silti vielä 1990-luvulle saakka vedenlaatu on ollut heikkoa, mutta menossa parempaan suuntaan (Mitikka & Niemi 2013). Tässä tutkimuksessa Kokemäenjoen vedenlaadun keskiarvoa tarkasteltiin vuosijaksolla 2012–2015 ja mittausjaksolla 1.1.–15.5. ja mittaukset ovat Harjavallan padon alapuoleiselta alueelta. Kiintoainepitoisuus vedessä oli keskimäärin varsin korkea, karkeaa kiintoainetta oli vedessä 12 mg/l, ja veden sameusarvo 20,4 NTU. Hapen kylläisyys talvikaudella on keskimäärin ollut 88 %. Joen vesi on luokiteltu välttävään ekologisen tilan luokkaan ja kemiallinen tila on hyvää huonompi. Padotuksen, perkausten ja säännöstelyn vuoksi Kokemäenjoki on nimetty EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin mukaisessa pintavesien ekologisessa luokittelussa voimakkaasti muutetuksi vesistöksi.

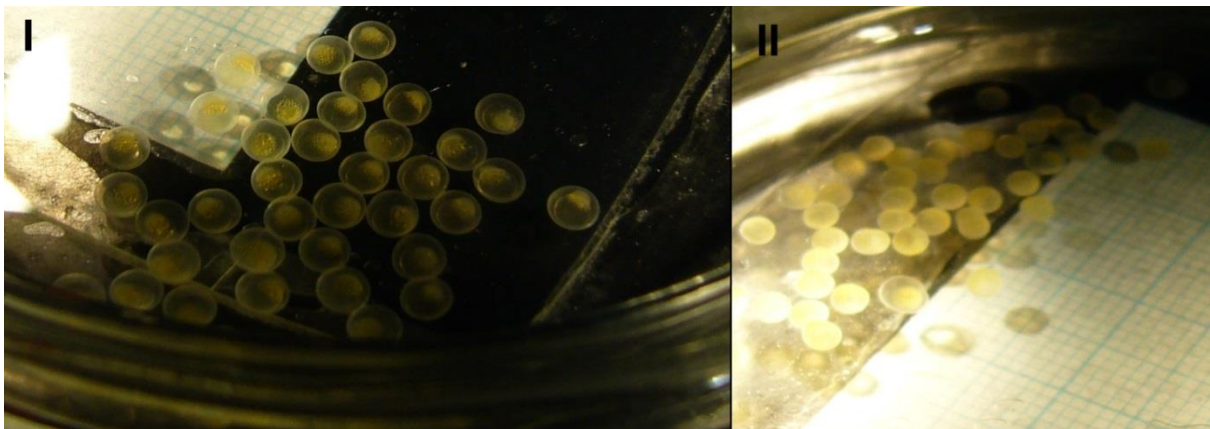
Huolimatta ajoittain varsin heikosta vedenlaadusta, värimerkintätutkimusten perusteella (Leskelä 2015) joessa on arveltu olevan jossain määrin vaellussiiian luontaista lisääntymistä. Vesiensuojelutoimien ansiosta Kokemäenjoen veden heikko laatu ei ole enää esteenä kalataloudellisten toimenpiteiden onnistumiselle. Alueella on kuitenkin keskitytty paljolti kalakantojen hoitoon istutuksin, ja jokeen on siian ohella istutettu merkittävässä määrin lohta, meritaimenta, kuhaa, harjusta ja ankeriasta.

4. Vaellussiian mädin selviytyminen Kokemäenjoessa

Kokemäenjoen vedenlaadun, lähinnä korkean kiintoainemäärän, arveltiin ennalta olevan keskeisin siian mädin kehittymiseen ja kuoriutumismääriin vaikuttava tekijä. Mädin selviytymistä tutkittiin pienimuotoisella, joessa toteutetulla kokeellisella järjestelyllä. Siian kudun jälkeen marraskuussa 2014 Kokemäenjokeen, Perhonjokeen ja Tornionjokeen laitettiin kuhunkin tarkoitukseen suunniteltuja mätirasioita, joilla haluttiin selvittää siian mädin selviämisedellytykset eri jokivesissä luontaisessa ympäristössä. Kokeen tarkoituksena oli myös tuottaa lisätietoa sedimentaation ja veden laadun merkityksestä mädin selviämisedellytyksiin. Kussakin joessa oletetun kutualueen tuntumaan asetettiin vaellussiian mädin haudontaa varten neljä mätirasiaa, joissa on erillisissä mätitaskuissa yhteensä 400 mätimunaa jokea kohden. Lisäksi Luonnonvarakeskuksen Keminmaan viljelylaitokselle asetettiin al-
taisiin kehittymään vastaavanlainen haudontasarja kontrollinäytteeksi, mutta vain kolmella alustalla. Haudonnassa käytettiin kunkin joen emokalapyynnistä saatua mätiiä.

4.1. Mädin varhaiskehitys

Kokemäenjoessa kokeeseen valittujen kalojen mäti hedelmöitettiin kuivahedelmöitysmenetelmällä. Keminmaan laitoksella ja Tornionjoessa mäti otettiin istutuspoikasten tuotantoon käytettävistä emokaloista, ja Perhonjoessa joesta erikseen rysällä pyydetyistä emokaloista. Hedelmöitetyn mädin annettiin kehittyä 36–72 tuntia, jonka jälkeen mätimunien kehityksen käynnistyminen tarkastettiin mikroskoipimalla. Vain mätimunat, joissa solunjakautuminen oli edennyt tasaisesti, otettiin mukaan kokeeseen (kuvat 2 ja 3).



Kuva 2. Kehittymään lähteneet mätimunat on helppo tunnistaa. Kuvassa I on normaalisti kehittyviä mätimunia, joissa kehittyvä alkio näkyy kellertävänä, symmetrisenä kekona. Mätimuna on kirkkaan läpikuultava. Kuvassa II olevien mätimunien hedelmöittyminen on epäonnistunut, solunjakautuminen on epätasainen ja mätimuna on sameaa. Tällaiset mätimunat hylättiin.



Kuva 3. Mikroskooppikuva normaalisti kehittyvästä siian mätimunasta noin 5 vrk hedelmöittymisen jälkeen. Neste kuoren ja alkion välillä (perivitelliinitila) on kirkas ja kehittyvän alkion muoto on symmetrinen.

Normaalisti kehittymään lähteneiden mätimunien määrä Kokemäenjoessa oli varsin alhainen (taulukko 1). Arvio mädin kehittymisestä tehtiin mätirasioden laskuajankohdan lisäksi myös muina kalojen lypsyajankohtina, jotta varmistuttiin, ettei kyse ollut liian varhaisesta ajankohdasta lypsylle tai muusta satunnaistekijästä. Haudontakokeessa käytettiin 8.11.2014 lypsettyä mätää, joka laitettiin rasioihin ja jokeen 12.11.2014.

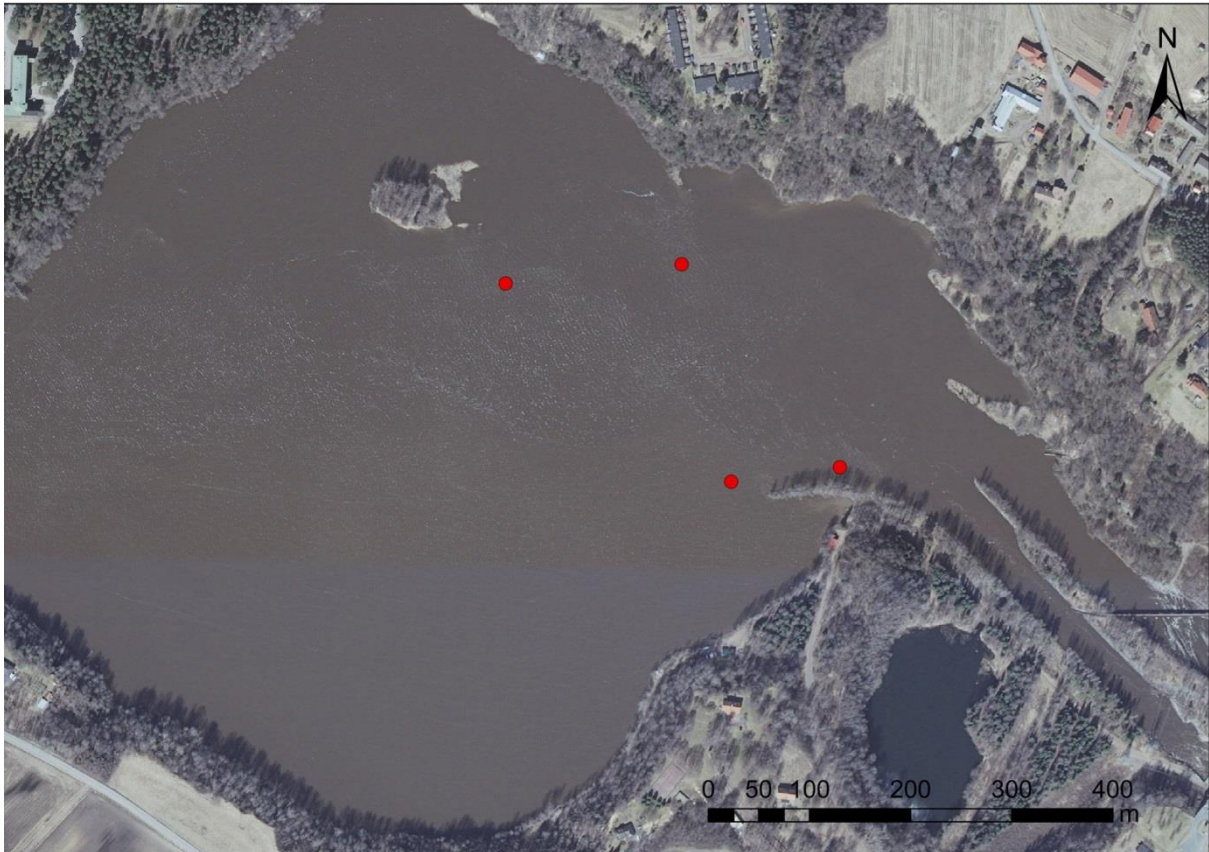
Taulukko 1. Kokemäenjoen siianviljelyssä normaalisti kehittyneen mädin osuus

Mädin lypsyajankohta	Normaalisti kehittyneiden osuus	Otoskoko
8.11.2014	44 %	197
12.11.2014	44 %	222
15.11.2014	45 %	192

Vastaavasti Perhonjoessa mätikoetta varten erikseen tehdyssä emokalojen lypsyssä normaalisti kehittyneiden mätimunien osuus oli 98 % (n=702). Tornionjoessa ja Keminmaalla normaalisti kehittyneen mädin osuutta ei arvioitu, mutta viljelyssä olevien mätierien kuolleisuus talven aikana on yleensä korkeintaan 20–30 % (vesiviljelysiantuntija Juha Iivari, Luke). Epänormaalisti kehittyneeksi mätimunaksi luokiteltiin mätijyvät, jotka eivät olleet hedelmöittyneet, tai jossa alkionkehitys ei ollut käynnistynyt kunnolla. Tällöin alkio on epäsymmetrinen tai rikkonainen ja morulakumpua ei ole muodostunut. Mahdollisesti Kokemäenjoen muita vertailujokia korkeamman virheellisten mätimunien osuuden syynä ovat olleet vedenlaadussa olevat ongelmat tai kalojen heikko kunto lypsyvaiheessa. Ympäristötekijöiden, kuten pH:n ja liukoisen hapen määrän on havaittu vaikuttavan hedelmöittymisen onnistumiseen, joko siittiöiden liikumisen heikentymisen, mätimunien solukalvon toiminnan häiriintymisen tai alkionkehityksen ja kuoriutumisen ajoituksen kautta (Lindroth 1946, Hamor & Gar-side 1976, Czerkies ym. 2001, Keinänen ym. 2003).

4.2. Mätirasioiden sijoittaminen

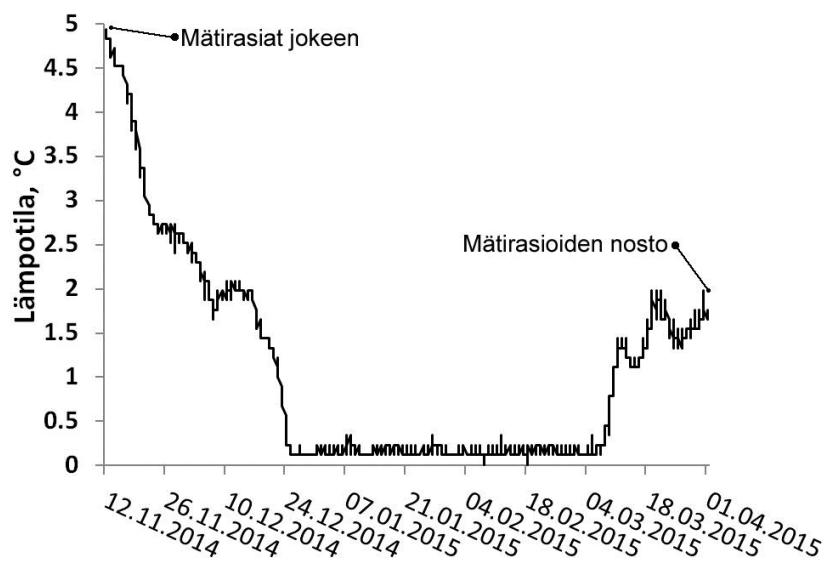
Elinkelpoisiksi varmistetut mätimunat siirrettiin pipetillä vesialtaassa oleviin mätirasioihin, rasiat suljettiin ja laskettiin jokeen oletetulle kutualueelle. Lisäksi mätirasioihin kiinnitettiin lämpötilamittarit (Onset Hobo UA-002-64) lämpötilan seuraamiseksi. Kokemäenjoessa rasioiden kohdalla oli sora-kivipohja ja syvyys laskentahetken virtaamalla noin 3 – 3,5 metriä. Rasioiden sijoittelussa huomioitiin vedenpinnan korkeus talvisella minimivirtaamalla, jotta jäät eivät pääsisi vahingoittamaan rasioita (kuva 4). Muissa kokeessa mukana olleissa joissa rasiat sijoitettiin vastaaviin virtapaikkoihin.



Kuva 4. Punaiset pisteet osoittavat mätirasioiden sijainnin Kokemäenjoessa talvella 2014-2015.

4.3. Mätirasiahaudonnan tulokset

Mätirasiat talvehtivat joessa ja ne nostettiin 1.4.2015. Kevään etenemistä, jokiveden lämpötilaa ja juoksutusta seurattiin Vesistöennuste-palvelusta ja rasioiden nosto ajoitettiin siten, että poikaset olisivat juuri kuoriutumassa, mutta kevään tulvajuoksutukset eivät vielä olleet käynnissä. Lämpötila kutuaikaan 8.11.–15.11.2015 oli 5,0–4,6 °C, josta se joulukuun loppuun mennessä laski lähelle nollaa (kuva 5). Siianpoikasan alkionkehitys alkuvaiheessa on varsin nopeaa ja poikanen kehittyy alkuvaiheen lämpimän jakson aikana lähes valmiiksi. Kylmimmän veden jaksolla kehitys on hidasta, kunnes keväällä veden virtaaman äkillisesti kohotessa (Næsje & Jonsson 1986) tai lämpötilan noustessa 2–4 °C tasolle poikaset alkavat kuoriutua (Veneranta ym. 2013). Lämpötilan nousteessa kuoriutumiseen liittyvät entsyymit aktivoituvat (Luczynski & Kolman 1987). Kokemäenjoessa vuonna 2015 lämpötila alkoi kohota jo maaliskuussa, jolloin kahden asteen raja rikkoutui ensimmäistä kertaa.



Kuva 5. Lämpötila mädin kehittymisen aikaan Lammaistenlahdella talvella 2014–2015 sekä haudontakokeen aloitus- ja lopetusajankohta.

Kokemäenjoessa mädistä selvisi talven yli keskimäärin 61 % joko mätimunana tai kuoriutuneena poikasena. Neljän rasian välinen selviytymismäärien vaihtelu oli vähäistä (taulukko 2). Vertailujoista Perhonjoessa oli heikompi keskimääräinen selviytyminen, joka johtui kahden rasian huonosta sijoituspaiasta virrassa, jolloin hiekka pääsi hiertämään mätijyviä rasioissa. Suotuisissa kohdissa selviytymisaste Perhonjoessa oli 64–71 %. Tornionjoessa ja Keminmaan kalanviljelylaitoksen kontrolliolosuhteissa mädistä selviytyi 68–69 %.

Taulukko 2. Mädin selviytymisaste rasioissa eri koejoissa. Osasta mätitaskuja mäti oli hävinnyt kokonaan talven aikana.

Joki	Mätimaara alussa	Alkio elossa	Kuoriutunut	Kuollut	Selviytymisaste /rasia	Selviytymisaste /joki
Kokemäenjoki	98	65	0	12	0,66	0,61
	96	52	2	3	0,56	
	99	47	9	3	0,57	
	99	63	0	4	0,64	
Perhonjoki	100	16	0	1	0,16	0,39
	100	11	0	1	0,11	
	100	71	0	8	0,71	
	100	57	1	4	0,58	
Tornionjoki	100	62	0	23	0,62	0,68
	100	71	1	11	0,72	
	100	65	0	28	0,65	
	100	72	0	17	0,72	
Keminmaa (viljelylaitos)	100	77	0	1	0,77	0,69
	100	66	0	8	0,66	
	100	63	0	1	0,63	

Kokemäenjoessa kehittyneen mädin pinnalla oli runsaasti sienirihmastoksi tai leväksi epäiltyä kasvustoja ja sedimenttiä, mutta alkioit olivat kuitenkin kehittyneet normaalisti (kuva 6).



Kuva 6. a) Siian mädin kuoriutumiskoe toteutettiin tarkoitusta varten valmistetuilla haudontarasioilla, joissa oli erillinen paikka 100 mätimunalle. Elossa olevien munien määrä tai kuoriutuneiden poikasten määrä laskettiin juuri ennen kevättulvaa ja oletettua kuoriutumisajankohtaa. b) Kokemäenjoessa mätimunien pinnalla oli ruskea sedimenttikerros ja rihmamaista kasvustoa. Siian alkiot olivat kuitenkin normaalisti kehittyneitä.

5. Siianpoikaskartoitus Kokemäenjoessa

Vaellussiian kutualue- ja kutupaikkavaatimukset ovat heikosti tunnetut, mutta Kokemäenjoessa tiedetään aiempien selvitysten (Leskelä 2015) ja vuotuisen vaellussiian kutunousun perusteella edelleen olevan mahdollisuus luontaiseen lisääntymiseen. Luonnonvarakeskuksen keväällä 2014 ja 2015 toteuttamissa alustavissa poikaskartoituksissa vastakuoriutuneita siianpoikasia saatiin saaliiksi Lammaistenlahden, Arantilan- ja Ruskilankosken alueilta. Poikasten kuoriutumisen tarkasta ajoittumisesta ja niiden pyydystettävyydestä ei kuitenkaan ollut aiempaa tietoa.

5.1. Haavi on yksinkertainen kartoitusmenetelmä

Hankkeessa poikastuotannon kartoitusta jatkettiin vuonna 2016. Tarkoituksena oli selvittää varhaisvaiheen poikasten esiintymisen kesto ja ajoittuminen suhteessa veden lämpötilaan näytteenottokeroilla. Poikaskartoitus tehtiin haavimenetelmällä (Larsson ym. 2013), jossa varhaisvaiheen siianpoikasia pyydystetään erityisellä tähän käyttöön tarkoitettulla haavilla. Haavin lasikuituisen teleskooppivarren pituus on 180 cm ja alumiinisen havasosan halkaisija on 43 cm. Haavissa ei ole varsinaista pussia, vaan tasainen nailonverkko (Sefar Nitex 06-1000/57, silmäkoko 1 mm, langan vahvuus 0,33 mm) pingotettuna kehälle. Tasainen verkko helpottaa poikasten poimimista talteen ja vähentää veden vastusta 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 paikasta. Haavinnassa haavikehän nopeus sovitettiin virran mukaan siten, että huomattavaa etuaaltoa ei muodostunut. Pyöräytyksen jälkeen haavi nostettiin, saalis katsottiin ja kerättiin talteen ja tehtiin toinen pyöräytys samoilta jalansijoilta. Kahdesta perättäistä haavinpyöräytystä samassa kohtaa nimitetään haavintapisteeksi. Veden syvyydestä huolimatta haavinta tehtiin aina pinnan tuntumasta, jolloin haavi käytännössä kattaa noin 0,35 m syvyisen vesikerroksen. Haavintakohdalta arvioitiin veden syvyys ja pohjan laatu haavin varrella tunnustelemalla (kuva 7).



Kuva 7. Luonnonvarakeskuksen tutkimusteknikko Hannu Harjunpää kerää siianpoikasnäytettä Arantilankosken alaosalta 27.4.2016. Siianpoikaset ovat usein virran reunassa, kasvillisuuden ja avoimen veden rajalla.

Yhdessä joen haavintapaikassa tehtiin kerrallaan noin 10 tällaista haavintapistettä, kunkin pisteen välillä siirryttiin joitakin metrejä. Näytteenotto oli ositettu Kokemäenjoen eri osiin, padon alapuolisesta voimalaitoskanavasta ja Lammaistenlahden alueesta Arantilankoskelle ja sen alapuoliselle alueelle. Haavinnat toteutettiin 7.4.–6.5.2016 välisellä ajanjaksolla viidellä eri käyntikerralla. Lisäksi kevään 2016 mätipumppausten yhteydessä varmistettiin Lammaistenlahdella, etteivät poikaset olleet vielä kuoriutuneet haavimalla entuudestaan tunnetut poikaskohdat. Haavintatyön ajoitusta seurattiin verkossa saatavilla olevan Kokemäenjoen veden lämpötilatiedon perusteella (<http://www.i2.ymparisto.fi/i2/14/q1410200y/wqfi.html>). Haavintatyö aloitettiin, kun veden lämpötila Kokemäenjoessa padon mittausasemalla ylitti 2 °C.

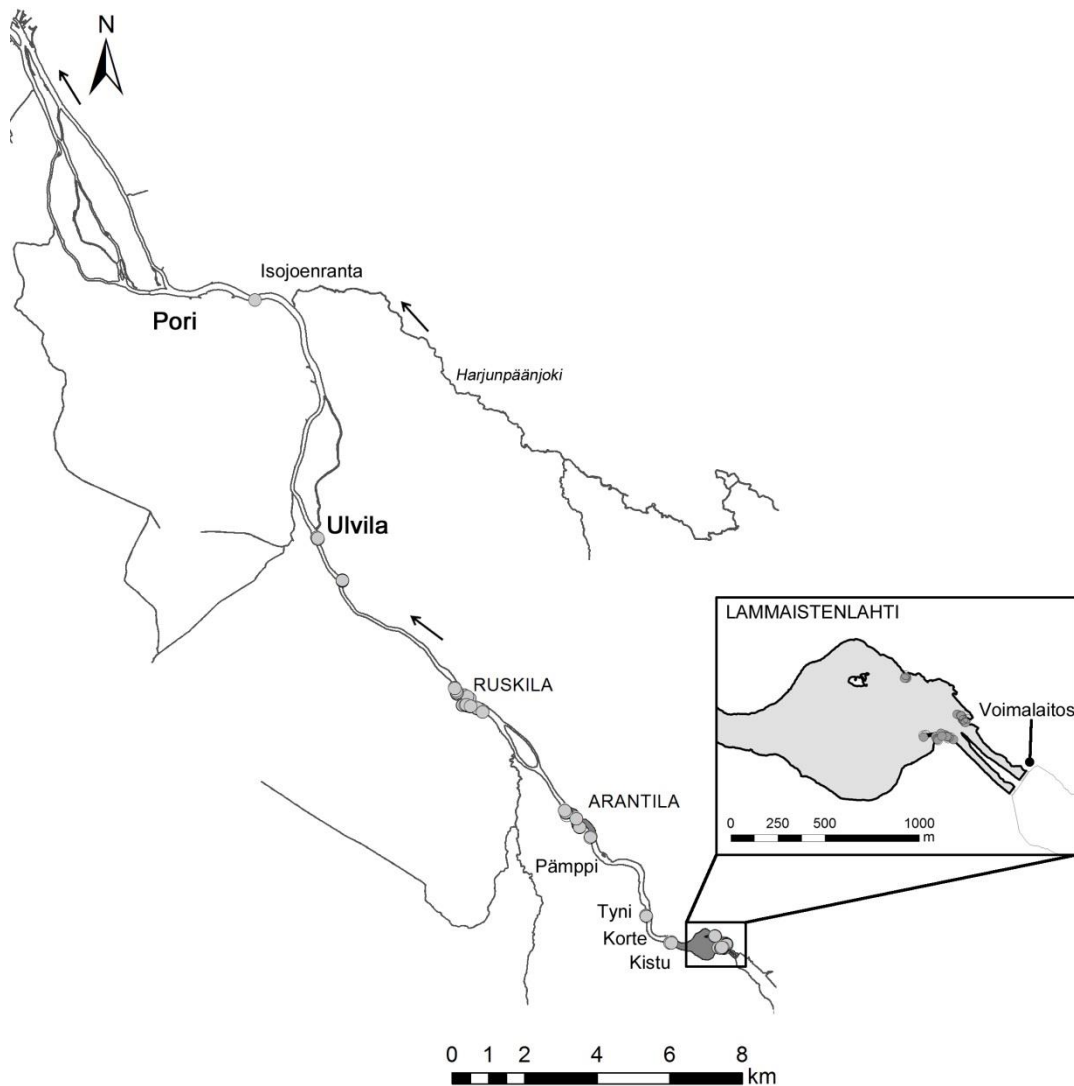
Haavintojen yhteydessä täytettiin maastolomake kullekin haavintapaikalle. Lomakkeeseen kirjattiin:

- Sijaintitieto gps -paikantimella
- Ympäristötyyppi (joki, puro, oja, suisto tai kanava)
- Veden väri (kirkas, kirkas ruskea, tumma ruskea, erittäin tumma, savinen, saviruskea)
- Sanallinen kuvaus veden laadusta
- Veden lämpötila haavintakohdalla
- Haavintamäärä kohdalla
- Siikasaalis, kpl
- Monessako haavinvedossa siikoja
- Muut saaliksi jääneet kalalajit, laji ja lukumäärä
- Veden pinta (puhdas tai ajautunutta materiaalia)
- Arvio virtausnopeudesta (seisova vesi, hidas (<0,2 m/s), keskimääräinen (0,2-0,7 m/s), nopea (>0,7 m/s))
- Veden syvyys (0–0,4, 0,41–0,8, 0,81–1,2 tai > 1,21 m)
- Pohjan tyypittely kahdella luokalla, ensi- ja toissijainen (orgaaninen, hiekka, sora, pieni kivi, iso kivi, pieni lohkare, iso lohkare, kallio, ei tietoa)
- Arvio veden korkeudesta
- Pyyntikohdan kuvaus ensi- ja toissijainen (koski, akanvirta, vuolle, virran reuna, kiven takaosa, särkkä, suvanto, vesikasvillisuus, risukko, muuta)

Saaliksi jääneet kalat säilöttiin 96 % etanoliin, lajimääritettiin ja otos siianpoikasista näytteenottoalueittain mitattiin näytteenoton jälkeen laboratoriossa.

5.2. Haavintakartoituksen tulokset

Yhteensä haavintapaikkoja tutkimuksessa oli 117 kpl ja haavin vetoja 2472 kpl. Poikasia saatiin 70,1 % tutkituista paikoista kaikilta tutkituilta alueilta (Kuva 8). Alin tutkimuspaikka sijaitsi Isojoenrannassa lähellä Porin keskustaa. Poikaspyynnissä pyynti keskitettiin aiemmissa haavipyynnissä (Larsson 2013, Luke julkaisematon 2014) parhaiksi katsoituille paikkatyypeille, eli virran reunoihin kasvillisuuden joukkoon sekä akanvirtoihin, ylipäättään miedosti virtaaviin tai lähes seisovan veden kohtiin, joihin poikaset pysähtyvät alasvaelluksen aikana. Kuoriutuessaan siian poikaset ovat 12–14 mm pitkiä (Veneranta ym. 2013) ja ne ovat kalanpoikasiksi varsin hyviä uimareita. Kirjallisuudessa (Lindroth 1957, Larsson ym. 2013) niiden 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 väsähtävän jo noin 0,06 m/s virtauksessa varsin nopeasti (Toivainen 2015), joka selittää poikasten hakeutumista rauhallisesti liikkuvaan veteen. Veden laatu tutkimusaikaan oli Kokemäenjoelle tyypillistä, vesi on väriltään saviruskeaa ja pohja erottui noin 20–40 cm syvyydeltä. Lammaistenlahden alueella havaittiin muutamia lähdekohtia, jossa rusehtavaan perusveteen sekoittui kirkasta pohjavettä.



Kuva 8. Tutkimusalue ja siianpoikasten haavintapaikat Kokemäenjoessa. Alin haavinta-alue sijaitsi lähellä Porin keskustaa, mutta eniten pyyntiä suunnattiin Ruskilan, Arantilan ja Lammaistenlahden alueelle. Kaikilta pyyntialueilta saatiin siianpoikasia. Kartassa nuolet osoittavat joen virtaussuunnan. Voimalaitos purkaa vetensä pääasiassa etelänpuoleista voimalaitoskanavaa pitkin.

Maalis-huhtikuun vaihteessa 2016 mätipumppausten yhteydessä Lammaistenlahdella tehdyissä haavintoissa poikasia ei vielä jäänyt saaliiksi. Veden lämpötila tällöin oli noin 1,7 °C ja virtaama 160 m³/s. Viikkoa myöhemmin, 7.4. tehdyllä toisella näytteenottokierroksella saatiin ensimmäiset poikaset (taulukot 3 ja 4), ja poikasten esiintymisen huippu ajoittui kolmannelle näytteenottokierrokselle. Huhtikuun lopussa poikasia jäi vähemmän saaliiksi, ja erityisesti huomioitavaa oli, että kartoitusalueen ylimmältä osalta Harjavallan padon alapuoliselta alueelta Lammaisista poikasia löytyi aiempaa vähemmän. Viidennellä ja viimeisellä, toukokuun alussa tehdyllä näytteenottokierroksella Lammaisten alueelta ei löytynyt enää yhtään poikasta. Tätä ennen (4.5.2016) Pehunin alueelle Arantilankosken yläpuolelle oli tehty vaellussiian poikasistutus, jossa jokeen laskettiin noin miljoona vastakuoriutunutta poikasta. Tästä saatiin tieto vasta näytteenoton aikana, ja istutus näkyy Arantilan ja Ruskilan koskialueelta havaittuina korkeina poikasmäärinä. Pehunin istutuspaikalta Arantilankosken yläosasta poikaset olivat parissa vuorokaudessa ehtineet uida tai kulkeutua virran mukana jo Ruskilankosken alueelle, jonne jokea pitkin etäisyyttä tulee noin 5 km. Kolmannella ja neljännellä haavintakerralla tulvakorkeudella ollut vesi esti haavintatyön toteuttamisen Tynin ja Lammaistenlahden alaosan haavintapaikoilla ja viimeisellä näytteenottokerralla poikasia kartoitettiin vain Lammaisten, Arantilan ja Ruskilan alueilta.

Taulukko 3. Pyyntiponnistus, siianpoikasten määrä ja yksikkösaalis näytteenottokierroksittain summattuna kaikille paikoille.

Näytteenotto-kierros	Ajankohta	Haavintamäärä	Siikoja yhteensä	Yksikkösaalis
1	7.4.2016	344	12	0,03
2	11.-13.4.2016	682	150	0,22
3	19.-20.4.2016	600	275	0,46
4	27.-28.4.2016	462	52	0,11
5	6.5.2016	384	400	1,04*
Yhteensä		2472	889	0,23

*koostuu istutuspoikasista, jätetty yhteensä -rivin yksikkösaalislaskun ulkopuolelle.

Taulukko 4. Siianpoikasten esiintyminen Kokemäenjoessa Lammaisten, Arantilan ja Ruskilan alueilla ja näytteenottokerroittain.

Ajanjakso	Alue	Siit lkm	Haavinvetojen määrä	Yksikkösaalis	Keskikoko, mm	Veden läm- pötila °C
7.4.2016	Lammainen	9	148	0,06	--	3,7
	Arantila	1	60	0,02	--	3,9
	Ruskila	2	136	0,01	--	3,3
11.-13.4.2016	Lammainen	66	208	0,32	14,0	5,1
	Arantila	25	132	0,19	14,0	5,3
	Ruskila	45	262	0,17	13,6	4,6
19.-20.4.2016	Lammainen	142	180	0,79	13,8	5,3
	Arantila	24	120	0,20	14,2	5,8
	Ruskila	82	200	0,41	14,3	4,8
27.-28.4.2016	Lammainen	3	90	0,03	13,7	6,2
	Arantila	15	100	0,15	13,8	5,9
	Ruskila	28	204	0,14	14,5	5,7
6.5.2016	Lammainen	0	100	0,00	--	11,0
	Arantila	21	86	0,24	14,4	10,8
	Ruskila	347	178	1,95	14,2	10,6
Yhteensä	-	810	2204	-	-	-

Haavintapaikkojen pyyntikohta kuvattiin luokitteluasteikoilla. Akanvirralla tarkoitetaan kohtaa, jossa veden virtaussuunta on kääntynyt pääasiallista virtaussuuntaa vastaan. Suvannossa vesi virtaa hitaasti päävirran suuntaisesti ja virran reuna on päävirran reuna-alue, jossa virtausnopeus saattaa vaihdella paikan ja suojaisuuden (kasvillisuus) mukaan. Koko aineistossa eniten havaintoja kertyi akanvirran reunasta avoimesta vedestä tai kasvillisuuden, käytännössä vedessä virran reunassa olevan rantaheinikon kupeesta (taulukko 5). Ilman kasvillisuutta olevilta virran reunoilta poikasia ei juuri jäänyt haaviin. Ilmeisesti hitaamman virran alue, johon kuitenkin tulee vettä ja mahdollisesti poikaselle sopivaa ravintoa, houkuttaa poikasia paikalle.

Taulukko 5. Siianpoikasten esiintyminen eri rantahabitaateilla. Merkittävimmät esiintymispaikkatyypit on tummennettu.

Paikkatyyppi	ei esiinny	esiintyy	Yhteensä
Akanvirta – kasvillisuus	2.6	2.6	5.1
Akanvirta – risukko	0.9	0.0	0.9
Suvanto – akanvirta	0.0	2.6	2.6
Suvanto – kasvillisuus	6.0	7.7	13.7
Suvanto – risukko	0.9	0.0	0.9
Suvanto – särkkä	0.0	0.9	0.9
Suvanto - virran reuna	6.8	15.4	22.2
Virran reuna - tasainen	1.7	0.0	1.7
Virran reuna – kasvillisuus	5.1	21.4	26.5
Virran reuna – akanvirta	6.0	19.7	25.6
Yhteensä	29.9	70.1	100.0
Havaintomäärä	35	82	117

Kaikki poikaset (kuva 9) tulivat paikoilta, joissa vesi oli paikoillaan tai se liikkui hitaasti (virran nopeus alle 0,2 m/s). Pohjatyyppi poikaspaikoilla oli pehmeää tai hiekaksi luokiteltua, havaintopaikoista 81 % ja 61 % poikasista saatiin tällaiselta pohjalta. Muilla pohjatyypeillä poikasia esiintyi satunnaisemmin. Lähes kaikki pyyntipaikat (98 %) olivat alle 0,8 m syvyydessä vedessä ja siianpoikaset tulivat kahta paikkaa lukuun ottamatta näiltä matalilta reuna-alueilta. Veden lämpötila poikashavaintojen yhteydessä vaihteli 2,5–11,4 °C välillä, mutta korkeimmat yksikkösaaliit saatiin veden lämpötilan ollessa 4,5–6,5 °C, mikäli istutuksen vaikuttama viides näytteenottokierros jätetään huomioimatta.



Kuva 9. Kokemäenjoen siianpoikasia. Haavin silmän sisämitta on 1 mm.

Haavipyyntineissä näytteeksi otettujen poikasten pituus vaihteli 13,6 – 14,5 mm välillä ja eri näytteenottokierrosten välillä poikasten pituusjakaumassa ei ole havaittavissa selkeää kasvua. Ensimmäisen näytteenottokierroksen poikasia ei mitattu. Muita haavipyyntineissä saaliiksi jääneitä lajeja olivat salakka, turpa ja törö, pääasiassa lajien edelliskesän poikasia.

6. Vaellussiian kutualuekartoitus Lammaistenlahdella

Marraskuun alkupuoliskolla Lammaistenlahdella, voimalaitoskanavan alaosassa on hämärän laskeutuessa mahdollista kuulla ja nähdä vaellussiikojen kutukarkeloita, kun kudun ollessa kiihkeimmillään siiat päristelevät pyrstöllään virrassa. Kutua itsessään on kuitenkin hankala havaita, ja ei ole tiedossa, päästävätkö emosiiat mädin pinnassa vai pohjan tuntumassa. Kutusiikoja joessa havainnoitiin mm. mätirasioiden laskun yhteydessä vuonna 2014.

Rannikkoalueen vaellussiian kudusta on kirjoitettu varsin vähän, vaikka mätitutkimuksia pump-pauksin siikakalojen sisävesikannoilla on tehty useita (Tikkanen ja Hellsten 1987, Valkeajärvi ym. 2001, Huuskonen 2004) ja sukeltamalla kutupaikkojen tilaa on arvioitu (Huuskonen & Ratilainen 2003). Näissä siian tai muikun kutupaikkojen kartoituksissa on pyritty arviomaan mädin esiintymistä ja määriä tunnetuilla kutualueilla ja ne ovat usein kohdentuneet vain parhaiksi arvioiduille kutukohdille tai sitten kutualueelta on tehty tutkimuslinjoja mädin esiintymisestä syvyyden suhteen.

Kokemäenjoen kutupaikkahavaintoja voidaan verrata Fabriciuksen ja Lindrothin (1954) tutkimukseen, jossa he selvittivät ruotsalaisen Indalsälvenin siikojen kutua. Koejärjestely toteutettiin luonnon valaistuksessa noin yhdeksän metrin pituisessa läpivirtausaltaassa, jossa virran nopeus oli noin 0.2 m/s. Selvityksessä huomattiin siikojen altaassa uivan ennen kutua pintakerroksessa ja pärs-kivän vettä ilmaan. Varsinainen kutuakti tapahtui illan hämyssä, jolloin koiras lähestyi naarasta ja kalat uivat kylki kyljessä pohjalta pintaa kohden, vastavirtaan. Pinnan tuntumassa siiat päästivät mädin ja maidin, tutkijat arvioivat kerrallaan päästetyksi mätimääräksi 50–300 munaa. Mädin vajotessa kohti pohjaa, muut altaassa olevat siiat saattoivat syödä sitä. Siiat tekivät kutunousua virrassa myös yksittäin, ilman mädin tai maidin päästöä. Siikaparvessa useat kalat kutivat keskenään ja kalojen välillä ei esiintynyt havaintojen mukaan minkäänlaista parisidonnaisuutta. Mikäli kudettu mätä jäi altaan pohjalla näkyviin, se tuli nopeasti syödyksi. Sellainen mätä, joka jäi altaan pohjamateriaalin, kiven ja soran joukkoon, selvisi. Altaassa oli erilaisia pohjamateriaaleja, mutta kokeessa siiat eivät osoittaneet minkäänlaista valikointia pohjarakenteen suhteen. Vastaavia siian kutuhavaintoja on myös viime vuosilta Ruotsista, Alterälveniltä, missä kutevia siikoja on havaittu ja mätä löydetty pumppauksin varsin matalissakin vesissä kivikko-sorapohjaisilla ja tasavirtaisilla alueilla (sähköposti 2017, Andreas Broman, Länsstyrelsen Norrbotten).

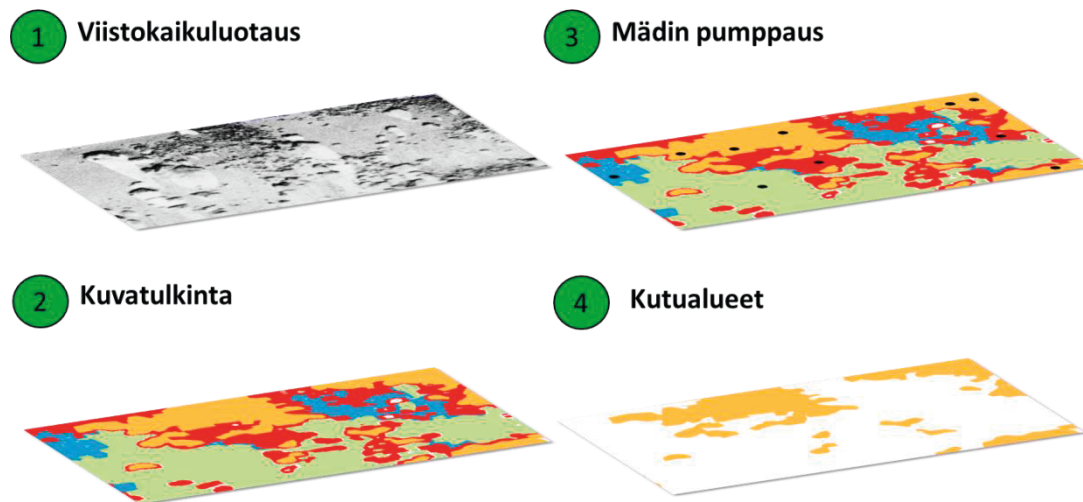
Mainitusta siian kudetuskokeesta on kulunut yli 60 vuotta, ja edelleenkin se on ajankohtainen ja lähestulkoon hyödyntämätöntä tietoa. Suurin osa Suomen rannikolle laskevista jokivesistä on ras-kaasti muokattuja, perattuja ja padottuja. Samalla alkuperäiset vaellussiian kutualueet ovat kadon-neet tai vähintäänkin merkittävästi muuttuneet. Kokemäenjokeen kudulle nousevien siikojen määrä on huomattava, joten sikäli voidaan olettaa, että kohde soveltuu hyvin kutualueiden selvittämiseen rakennetussa joessa. Joen veden laatu ja heikko näkösyvyys rajaavat kuitenkin merkittävästi soveltu-vien tutkimusmenetelmien käyttöä.

Kokeellista kutualueiden selvittämistä mereen laskevissa siikajoissa ei ole tehty Suomessa aiem-min. Tässä tutkimuksessa selvitettiin kutualueiden ja mädin sijaintia Lammaistenlahdella tunnetulla kutualueella, jotta pystyttäisiin määrittämään mädin sijoittuminen ja pohjatyypin mätialueella sekä mädin kehittymiseen soveltuvan alueen pinta-ala. Kutualuetietoa voidaan myöhemmin hyödyntää, mikäli yleisemmin suunnitellaan esimerkiksi rakennettujen virtavesien kunnostustoimenpiteitä myös vaellussiikaa ajatellen.

Mätipumppu mädin näytteenotossa on vanha keksintö, pohjoismaissa ensimmäiset kirjoitetut raportit kutupaikkojen kartoituksessa lienevät 1940-luvulta (Toots 1949). Nykymuotoonsa mätinäyt-teenotto on kehittynyt 1980-luvulla paineilmaimurin (Timola 1982) kautta lietevesipumppuun perus-tuvaan järjestelmään (Viljanen 1985). Siian kutualueiden laaja-alaisen kartoituksen kannalta on kaiku-luotaustekniikassa tapahtunut suuria harppauksia. Viistokaikuluotain on alun perin 1960 –luvulla sotilaskäyttöön kehitetty kaikuluotaustekniikka (Fish & Carr 1990), ja tietokoneiden sekä muun tek-niikan kehittymisen myötä laitteiden kuvantamistarkkuus on parantunut jatkuvasti (Blondel 2009). Jo useiden vuosien ajan on kaupoissa ollut saatavilla kuluttajille suunnattuja luotaimia, joilla saavuttaa

kohtuullisen tarkkuuden matalissa vesissä pohjan rakenteen tulkintaa ajatellen. Laitteita on käytetty esimerkiksi jokivesissä habitaattikartoituksissa (Kaeser & Litts 2010, Kaeser ym. 2013a, Kaeser & Litts 2013) tai kalojen kutualueiden selvittämisessä (Laustrop ym. 2007, Richter ym. 2016). Viistokaikuluotaimen etuna on myös se, että veden sameus ei merkittävästi haittaa laitteen käyttöä. Sopivissa oloissa pohjan rakenteesta on mahdollista hyvällä laitteella saada lähes valokuvamainen kuva, joka voidaan GPS –sijaintitiedon perusteella sijoittaa kartalle ja yhdistää kuvamosaiikiksi pohjarakenteen tulkintaa varten.

Siian kutualueiden kartoittamiseen viistokaikuluotaus sopii hyvin, koska harvojen aiempien kuttuhavaintojen perusteella alueet sijaitsevat syvämmässä vedessä, jossa ei juuri kasvillisuutta ole. Veden sameuden vuoksi valo- tai videokuvausta on hankala käyttää useimmissa Suomen rannikon jokivesissä. Viistokaikuluotaustekniikan hyödyntämiseen perustuen suunniteltiin tutkimusmenetelmä (kuva 10), jonka perusteella pystyttiin määrittämään siian mädille tyypillinen alue Kokemäenjoen Lammaistenlahdella.



Kuva 10. Siian kutualueiden pohjatyypin selvittämisen periaate. 1) pohja-alue viistokaikuluodataan ja luotausaineisto mosaikoidaan ja (2) viistokaikuluotausaineistosta tehdään pohjatyypit näyttävä luokittelukartta. (3) Pohjatyypin ja syvyystiedon perusteella hajautetaan näytteenottoaikat mätipumppausta varten ja (4) mätipumppausten perusteella määritellään aluetyyppi, jossa mätiä eniten esiintyy.

6.1. Viistokaikuluotaus näytteenottoa varten

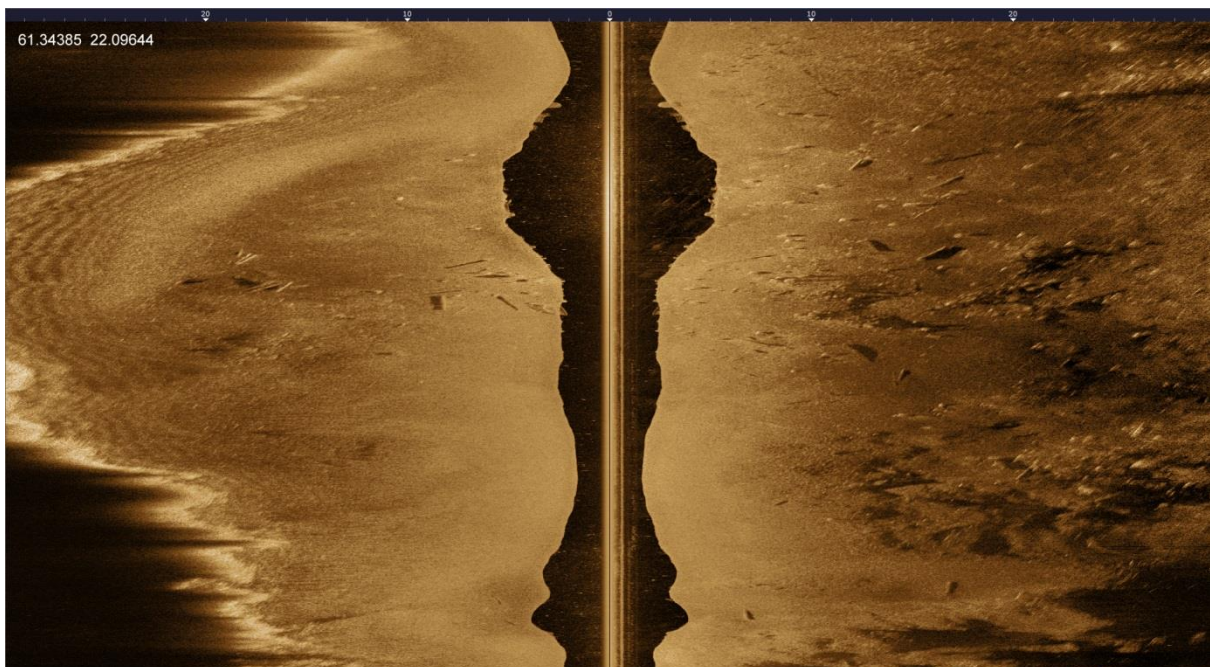
Viistokaikuluotausalue käsitti Kokemäenjoen Lammaistenlahden alueen voimala- ja ohijuoksutuskanavan alaosasta suvannon kaventumakohtaan alavirrassa. Alleco Oy toteutti heinäkuussa 2015 Lammaistenlahden alueen viistokaikuluotauksen ja pohjakuvauksen pohjatyypin luokittelua varten. Samalla tuotettiin pohjan syvyydestä karttamateriaali. Luotauksessa käytettiin normaalia kuluttajakäyttöön suunnattua Humminbird 798ci HD SI Combo –luotainta, joka tallensi viistokaikuluotausaineiston ja syvyystiedon samalta linjalta. Luotaimen taajuus on 455kHz ja laitteelle valmistajan ilmoittama kuvantamisresoluutio on enimmillään 63,5 mm (Humminbird 2007). GPS –tarkkuudeksi ilmoitetaan EGNOS –tuki kytkettynä 3 m 95 % käyttöajasta (Humminbird 2007).

Viistokaikuluotaus kattoi koko lahden alueen lukuun ottamatta kasvillisuuden peittämiä saaria ja luotoja. Luotauslinjat pyrittiin suuntaamaan virran suuntaiseksi alueen keskiosassa, jotta vene ei kulkeutuisi sivusuunnassa luotauksen aikana ja jotta viistokaikukuva ei tämän seurauksena vääristyisi. Luodatessa linjan enimmäisleveys oli 30 m. Syvyysmittausten yhteydessä vedenkorkeuden muutosta seurattiin 15 minuutin jaksoissa ja se huomioitiin syvyyslukemien korjauksessa. Syvyysaineisto tallen-

nettiin luotaimesta erilliseksi aineistoksi ja interpoloitiin karttatasoksi 7.3 metrin resoluutiolla Allecon toimesta. Luotausajankohtana voimalaitoksen juoksutus oli 260-310 m³/s. Luotauksesta tuotettiin erillinen raportti (Liite 1), jossa käytetty laitteisto ja menetelmä on kuvattu.

Viistokaikuluotauksella saadut tulokset todennettiin vedenalaiskuvauksella, josta selviää pohjan rakenne mittauspisteessä. Videokameralla kuvattiin pohja satunnaistetuista 65 pisteestä, mutta koska kamerassa ei ollut valoa, yli 4.5 metrin syvyydestä Alleco Oy:n tuottamasta videokuvasta ei voitu erottaa pohjan laatua. Tällöin sitä arvioitiin tunnustelemalla, jolloin oli mahdollista erottaa pehmeät, hiekka- ja kivipohjat toisistaan. Kivien koko puolestaan voitiin arvioida viistokaikuluotaimen kuvasta.

Humminbird 798 Ci -viistokaikuluotaimen aineisto tallennettiin luotauslinjoittain .dat –muotoon, josta se käännettiin ohjelmallisesti .xtf (Extended Triton Format) –muotoon. Nämä tiedostot voitiin avata Museoviraston kehittämässä Nadir –ohjelmassa, mosaikoida ja muuntaa .geotiff -tiedostoksi (Kuva 11). Nämä voitiin avata suoraan paikkatieto-ohjelmassa (Manifold GIS 8) karttapohjalle kuvien tarkastelua ja luokittelua varten. Luotauslinjan keskiosaa (Nadir), joka sisältää syvyystiedon, ei käsiteltyssä poistettu. Lopputuotteen resoluutio oli varsin karkea, 260 mm.



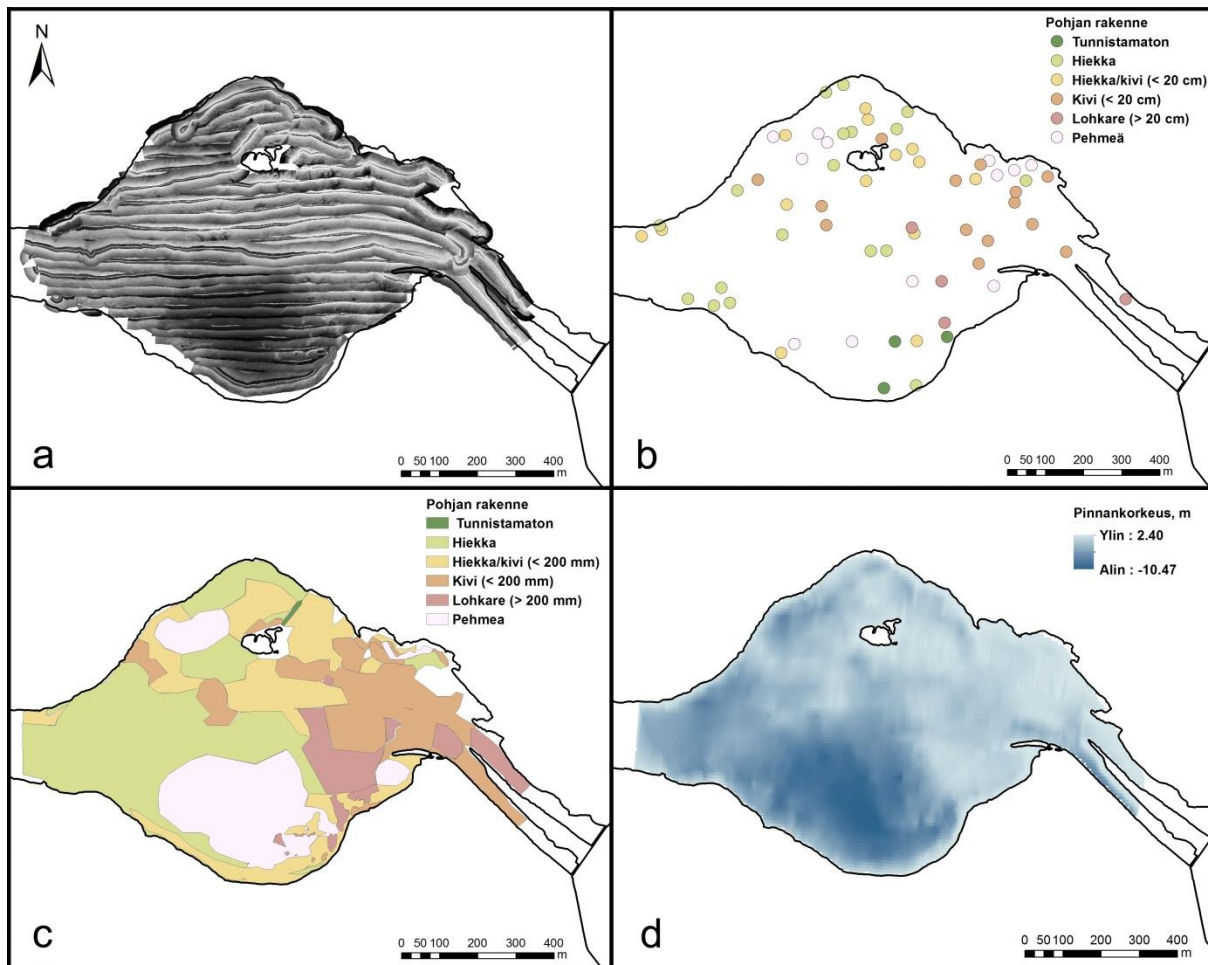
Kuva 11. Humminbird 798ci HD SI Combo –luotaimen kuvaa Lammaistenlahden pohjoisreunalta. Vasemmassa reunassa tummana erottuva alue on rantaviiva, virran syömä hiekkareuna näkyy juovina ja veneen kulkulinjan lähellä syvemmällä on yksittäisiä tukkeja pehmeällä tai hiesupohjalla. Oikealla puolella noin 10 metrin etäisyydellä veneestä poispäin näkyy kivikkoa. Veneen alapuolinen alue (syvyys) piirtyy tummana kaistana kuvan keskilinjän molemmin puolin. Kuvan yläreunassa on luotausalueen mittajana, vasen ja oikea puoli kattoivat yhteensä 60 m leveän kaistan.

Luotaus- ja videokuva-aineiston perusteella pohja luokiteltiin ennalta arvioituun kuuteen luokkaan:

- Pehmeä pohja (muta/lieju)
- Hiekkapohja
- Hiekka-kivipohja (lohkarekoko <20 cm)
- Kivipohja (lohkarekoko <20 cm)
- Kivipohja (lohkarekoko >20 cm)
- Kalliopohja

Viistokaikukuvan perusteella erotettiin erilaisia pohjatyyppejä värin sekä niissä esiintyvien kohteiden koon ja muodon perusteella. Tummat alueet ovat joko pehmeää savea tai liejua, tai korkeiden kohteiden taakse muodostuneita varjoja. Koska viistokaikuluotaus kattoi lähes koko alueen kahdesta eri suunnasta luodattuna, varjot näyttivät tummilta vain toisesta suunnasta luodattuna. Vaaleat alueet syntyvät voimakkaista kaiuista, kuten kivistä, hiekasta, pinnalla olevista aalloista tai kalojen uimarakoista. Pohjalla olevat kivet luovat viistokaikukuvassa taakseen varjon, mitä välivedessä kelluvat kalat tai vedenpinnan aallot eivät tee. Yksittäisten kivien koot on mitattavissa viistokaikukuvasta. Hiekka antaa myös voimakkaan kaiun, kun taas savi yleensä heikomman. Kalliopohjaa luotausalueella ei havaittu, poislukien voimalaitos- ja ohijuoksutuskanavassa oleva tasainen hiekkakivipohja. Käytännössä aineiston luokittelu käytetyn luotauskuvamosaiikin perusteella on hankalaa karkean resoluution vuoksi ja edellyttää alkuperäisten luotauksallenteiden avulla tehtyä varmistusta sekä videokuvasta.

Alleco Oy tuotti materiaalista karttatason, joka kuvaa eri pohjatyyppejen sijoittumista Lammaistenlahden alueella karkealla tasolla. Pohjatyyppiluokittelussa kalliota ei luotausalueelta löydetty lainkaan. Verrattuna luonnolliseen joenuomaan, voimalaitospadon alapuoliseen vesistöön kulkeutuu virran mukana vähemmän hiekkaa, minkä seurauksena Lammaistenlahdella ei voimakkaan virran kohdalla ole koskien alusille tyypillisiä hiekkasärkkiä. Hiekka on alueella tasaisena pohjana, kun taas voimakkaimman virran alueella pohja on yleensä karkeaa kivimateriaalia. Lammaistenlahden eteläosassa on syväne, johon kertyy sedimenttia. Voimakkaalla juoksutuksella, noin 200–300 m³/s, tälle kohdalle muodostuu selkeä akanvirta. Alleco Oy:n luokittelun perusteella Lammaistenlahden alueella kesällä 2015 hiekkapohjaista aluetta oli 34,1 %, hiekka/kivialuetta 20,7 %, kivipohjaa 17,8 %, lohkarepohjaa 7,8 % ja pehmeää pohjaa 19,4 % tutkimusalueesta. Tunnistattomaksi alueeksi jäi 0,2 % pinta-alasta (Kuva 12).



Kuva 12. Alleco Oy:n tuottama kartoitustyön perusmateriaali Lammaistenlahden alueelta, a) viisto-kaikuluotausmosaikointi, b) pohjakuvauspisteet, c) pohjan rakennetta kuvaava luokitteluaineisto ja d) syvyyskartta.

6.2. Mätipumppaukset

6.2.1. Näytteenoton suunnittelu

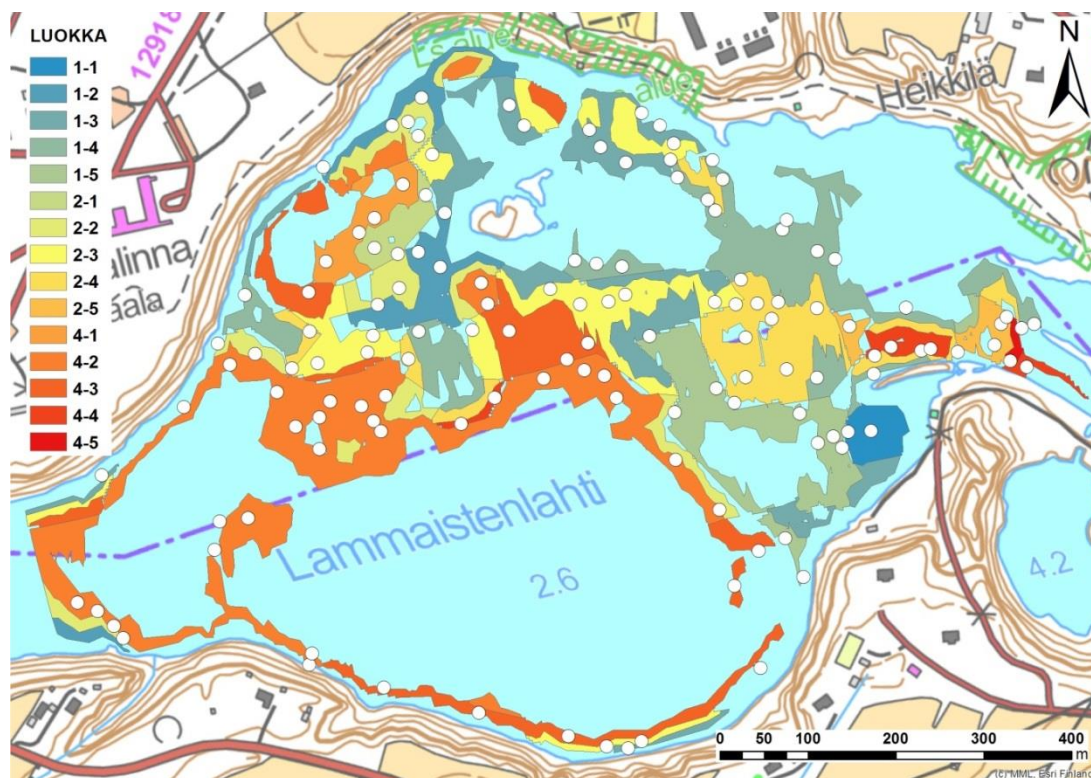
Luotauksen yhteydessä tuotettua syvyysaineistoa ja pohjatyyppiaineistoa käytettiin mätipumppaus-sijojen sijoittamisen satunnaistamisessa. Syvyys jaettiin kolmeen luokkaan alaveden pinnan mukaan tasattuna, alle 1 m, 1–2 m ja 2–4 m syvyiset alueet. Pohjaluokkina käytettiin kaikkia tunnistettuja viittä pohjaluokkaa. Oletuksena veden syvyyden suhteen oli, että minimi juoksutuksella (50 m³/s) alavesi on noin tasossa NN +1,00m–NN +1,10 m Harjavallan voimalaitokselta saatujen tietojen mukaan. Pumppausuunnitelmasta jätettiin pois alueet, jotka alavedellä jäävät kuiville tai joissa syvyys oli suurempi kuin 4 m, jolloin pumpulla ei ollut mahdollista ylettyä pohjaan nostokorkeusrajoituksen ja veden virtauksen vuoksi. Kutuaikaan ja heti sen jälkeen vesi on useimmiten minimi juoksutustasoa selvästi korkeammalla, joten näytteenottosyvyyteen tuli jättää säätövara.

Karttamuotoisista syvyys- ja pohjanlaatu-tiedoista tuotettiin kaikkia mahdollisia näiden kahden muuttujan välisiä yhdistelmiä kuvaava 15 -luokkainen karttataso. Syvää vettä ja lohkaropohjaa tutkimusalueella ei esiintynyt, jolloin näytteenottoluokkien kokonaismääräksi muodostui 14. Näytteenot-topisteet satunnaistettiin paikkatieto-ohjelmalla (ArcMap 10.2) ja Sampling Design Tool –työkalulla

kunkin luokan pinta-alaosuuden perusteella siten, että näytelukumäärä ja syvyys-pohjatyypin osuus tutkimusalueella vastasivat mahdollisimman hyvin toisiaan. Yli neljän metrin syvyiset alueet jätettiin huomioimatta, koska tiedossa oli, että mätipumpulla ei saada kerättyä näytteitä pinnan päältä yli kuuden metrin syvyydestä vedestä virtauksesta ja pumpun imukyvystä johtuen (taulukko 6 ja kuva 13).

Taulukko 6. Näytteenoton ositus. Matala syvyys tarkoittaa alle 1 m syvyyttä alaveden tasolla, keskisyvä 1-2 m syvyyttä ja syvä 2-4 m syvyyttä alaveden pinnan mukaan.

Luokka	Syvyys	Pohjatyyppi	Kokonaisala (m ²)	Osuus pinta-alasta (%)	Näytemäärä	Osuus näytteistä (%)
1-1	Matala	Pehmeä	3937	1.6	2	1.5
1-2	Matala	Hiekka	11789	4.8	7	5.1
1-3	Matala	Hiekka/kivi (<20 cm)	24576	10.1	13	9.6
1-4	Matala	Kivi (<20 cm)	31585	13.0	19	14.0
1-5	Matala	Lohkare (>20 cm)	17902	7.4	8	5.9
2-1	Keskisyvä	Pehmeä	3973	1.6	3	2.2
2-2	Keskisyvä	Hiekka	15399	6.3	8	5.9
2-3	Keskisyvä	Hiekka/kivi (<20 cm)	25068	10.3	13	9.6
2-4	Keskisyvä	Kivi (<20 cm)	22145	9.1	15	11.0
2-5	Keskisyvä	Lohkare (>20 cm)	3671	1.5	4	2.9
4-1	Syvä	Pehmeä	5783	2.4	4	2.9
4-2	Syvä	Hiekka	50018	20.5	26	19.1
4-3	Syvä	Hiekka/kivi (<20 cm)	22897	9.4	9	6.6
4-4	Syvä	Kivi (<20 cm)	4115	1.7	5	3.7
4-5	Syvä	Lohkare (>20 cm)	566	0.2	0	0.0



Kuva 13. Näytteenottopisteiden sijoittuminen Lammaistenlahden koalueelle.

Näytteenottopisteitä sijoitettiin Lammaistenlahden alueelle yhteensä 120 ja lisäksi tehtiin 15 ylimääräistä pistettä, jotka sijoitettiin maastossa tehdyn arvion mukaan täydentämään näytteenottoa. Kukin näytteenottopaikan kohdalla näytteenotto oli tarkoitus suorittaa 3 metrin ympyrän suuruisen alueen sisällä. Mätinäytteenoton lisäksi maastossa kirjattiin kultakin näytteenottopaikalta mätinäytteenottimella tehtävään tunnusteluun perustuva arvio pohjan tyypistä ja arvio veden virtausnopeudesta pinnalla.

Aiempien, alueella toteutettujen tutkimusten (Leskelä 2012) ja Länsi-Voiman Kala-Veikot ry:n emokalapyyhneistä keräämän kokemuksen perusteella otaksuttiin siian kutuhuipun ajoittuvan marraskuun puolivälin tietämille tai hieman myöhäisemmäksi. Alkusyky oli varsin vähäsatteinen, joten virtaamat Kokemäenjoessa olivat varsin pienet. Sateiden ja virtaaman kasvun riskin vuoksi näytteenottoa ei kuitenkaan haluttu lykätä joulukuulle saakka. Näytteenottoajankohdaksi valikoitui 24. - 27.11.2015, tällöin arveltiin merkittävän osuuden sioista jo kuteneen.

Voimayhtiön kanssa oli sovittu, että näytteenottoajaksolla juoksutus pyritään pitämään mahdollisimman alhaisena. Käytännössä juoksutus työn aikana oli säädetty 100 m³/s tasoon valoisana aikana klo 9–16 välillä. Yöllä virtaama oli kovempi, jolloin aamulla vesi oli korkealla laskeakseen vähitellen päivän aikana. Virtaama oli kuitenkin ennakoitava, jolloin pumppaustyö pystyttiin suorittamaan olosuhteiden puolesta hyvin.

6.2.2. Näytteenotto mäti-imurilla

Mätipumppauksissa käytettiin mäti-imuria, joka rakentui pumpusta, letkuista sekä imu- ja näytteenottosuulakkeesta (Kuva 14). Pumppuna käytettiin polttomootorikäyttöistä sentrifugaaliroottorilla varustettua lietevesipumppua, syksyllä 2015 Robin PTG-201T ja keväällä 2016 Honda WT20X, joissa molemmissa pumppauskyky on noin 600–700 l/min täydellä teholla. Pumpun imuletkun pituus oli noin 8 metriä, poistoletkun pituus noin 2 metriä ja molempien sisäläpimitta 39 mm. Imuletkun päässä on ruostumattomasta teräksestä valmistettu näytteenottosuulake, jossa on 10 mm verkko estämässä isompien kappaleiden imeytymisen pumppuun. Pumpun imusuulakkeen halkaisija on 135 mm ja pinta-ala noin 0.014 m². Poistoletkun päässä on näytesuppilo, jonka halkaisija on 220 mm ja jossa on A4 teräksestä valmistettu 1 mm silmäkoon verkko pohjassa ja sivuilla. Verkko läpäisee veden ja hienojakoiset hiukkaset, mutta karkeampi aines jää suppiloon.

Pumppaus tehtiin veneestä käsin, ja pumppauksen aikana venettä pidettiin joko moottorilla virtaa vasten paikoillaan tai se ankuroitiin virtaan (kuva 14). Suulaketta ohjailtiin jäykän lasikuituvarren päässä, ja tavoitteena oli kerätä näyte 12–14 imulla kolmen metrin halkaisijaltaan olevan ympyrän sisältä. Imut yhdistettiin yhdeksi näytteeksi ja näyte huuhdottiin vedellä näytesuppilosta 9 litran ämpäriin, jossa sitä sekoitettiin käsin ja näyte kaadettiin haaviin (polyesteri, silmäkoko 0,5 mm). Näytteen huuhtomista tehtiin kolmesti. Siian mäti nousee kevyenä soran ja hiekan pinnalle, jolloin se kuluu kaadettavan veden mukana näytehaaviin. Ennen poiskaatoa jäännössora tai hiekka tarkistettiin vielä silmämääräisesti. Näytehaavista näyte kaadettiin pumppausjäännöksineen 4 dl:n lasipurkkiin, ylimääräinen neste valutettiin pois ja päälle kaadettiin 96 % etanoli. Lisäksi näytteisiin, joissa oli runsaasti pumppausjäännöksenä orgaanista aineista, lisättiin mädin värjäämiseksi 37 % formaliini-bengalinpunaliuosta, 1-2 tippaa per näytedesilitra. Näytteet määritettiin ja pumppausjäännöksen määrä punnittiin märkänä gramman tarkkuudella laboratoriossa.



Kuva 14. Mädin pumpppausta Lammaistenlahdella syksyllä 2015. Pumpun suulake ohjattiin pohjaan pitkän varren avulla ja pumpusta tuleva vesinäyte kerättiin siivilään, josta se huuhdeltiin näytenpurkkeihin ja säilöttiin etanoliin myöhemmin tehtävää määrittystä varten.

Imuri toimi näytteenotossa hyvin, ainoastaan karkean hiekan ollessa vallitseva pohjamateriaali se saattoi tukkia näytesuppilon, jolloin pumpppaus jouduttiin keskeyttämään ja jatkamaan uudestaan huuhtelun jälkeen. Käytännössä myös lieju/savipohjilta pumpppaus oli hankalaa, ja imujen määrää jouduttiin vähentämään laitteen tukkeutuessa. Pääsääntöisesti näytteet olivat kuitenkin varsin karuja, koostuen lähinnä vähäisestä määrästä orgaanista hajoavaa ainesta (pumpppausjäännös) ja mahdollisesta mädistä (kuva 15). Yhden näytteen pinta-ala vaihteli imujen lukumäärän mukaan, ollen tässä tutkimuksessa tyypillisesti 0,19–0,21 m² näytettä kohdin. Syksyn 2015 pumpppauksessa alle kuudessa prosentissa näytteistä imuja oli alle 10 kpl ja keväällä neljässä prosentissa.

Vastaavalla pumpppausjärjestelmällä tehdyissä kokeissa mädin takaisinsaantiprosentti näytealalla tunnetusta mätimäärästä on ollut noin 76–93 % (Valkeajärvi ym. 2001). Pumpppaushävikki voi johtua mätimunien rikkoutumisesta tai niiden vajoamisesta kivien ja soran koloihin imun ulottumattomiin. Pumpun imualue lienee myös jonkin verran suurempi kuin suulakkeen pinta-ala imun reunavaikutuksesta johtuen.

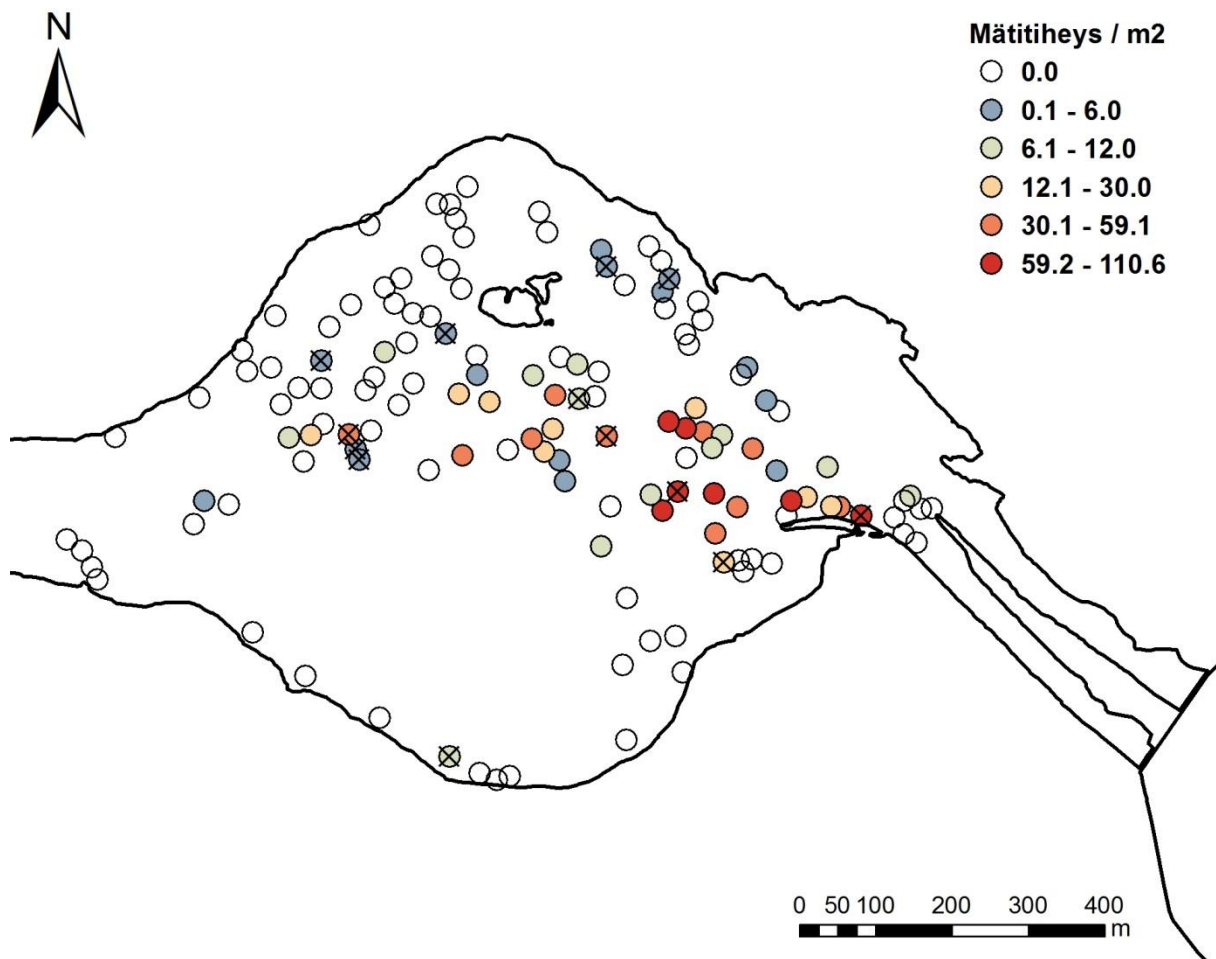


Kuva 15. Tyypillinen Lammaistenlahden pumppausnäyte syksyltä 2015, vähän pohjalta siivilään jäänyttä kariketta ja kellertävinä palloina erottuvia siian mätijyviä.

6.2.3. Mätipumppaus syksyllä 2015

Mätipumppaus suoritettiin 24.–25.11.2015 välisenä aikana. Vielä 24.11. iltahämärissä havaittiin voimalaitoskanavassa kutevia siikoja, mutta ei enää myöhemmin. Kudun kannalta työn ajoitus oli kohdallaan, ilmeisesti siikojen pääjoukon kutu meni juuri ohi ennen pumppaustyön aloitusta.

Pumppaustyön aikana vuorokauden keskivirtaama oli noin $100 \text{ m}^3/\text{s}$, ja virtaamaa nostettiin heti pumppaustyön päätyttyä. Ennen pumppausta vuorokausivirtaama oli keskimäärin $85 \text{ m}^3/\text{s}$ (vaihteluväli $54\text{--}191 \text{ m}^3/\text{s}$). Pumppaustyö sujui suunnitellusti, koska Harjavallan voimalaitoksen kanssa oli sovittu virtaaman pitämisestä vakiona näytteenoton ajan. Kokonaisnäytemäärä oli 135 ja syvimmillään näytteet otettiin 6 m syvyydestä (alavedellä noin 4 m) vedenkorkeuden ja virtaaman salliessa. Voimalaitoskanavan alaosa vuolaimmasta virrasta yli 4 m vedestä näytteitä ei saatu virran paineen vuoksi. Kussakin pumppauspaikassa tehtiin imurilla 1–21 imua eri kohdista pohjaa. Normaalimäärä oli 14 imua, mutta pehmeällä ja tietyn raekoon hiekkapohjalla imujen määrää jouduttiin vähentämään pumpun tukkeutumisen vuoksi. Näyteimujen kokonaismäärä oli 1643 ja pinta-ala 23.5 m^2 . Elävää mätia löytyi 34 % tutkituista näytteenottopaikoista ja mätipaikoilla keskitiheys oli $30.9 \text{ mätimunaa}/\text{m}^2$. Suurin mätitiheys yksittäisellä paikalla oli $110.6 \text{ mätimunaa}/\text{m}^2$ ja koko näytteenotossa normaalisti kehittyneitä mätimunia saatiin 250 kpl, jolloin tiheys on siten noin $10.6 \text{ mätimunaa}/\text{m}^2$. Lisäksi näytteenotossa saatiin hedelmöittymättömiä tai kehityshäiriöisiä yksittäisiä mätimunia 10.4 %:ssa tutkituista näytteistä ($n=14$) ja yhteensä 5.6 % koko mätimäärästä. Hedelmöittymättömistä tai kehitysvirheisistä mätimunista puolet oli paikoilla, joista näytteeseen jäi myös normaalisti kehittyntä mätia (kuva 16). Siian mädin lisäksi yhdeltä näytteenottopaikalta saatiin yksi homehtunut lohen mätimuna.

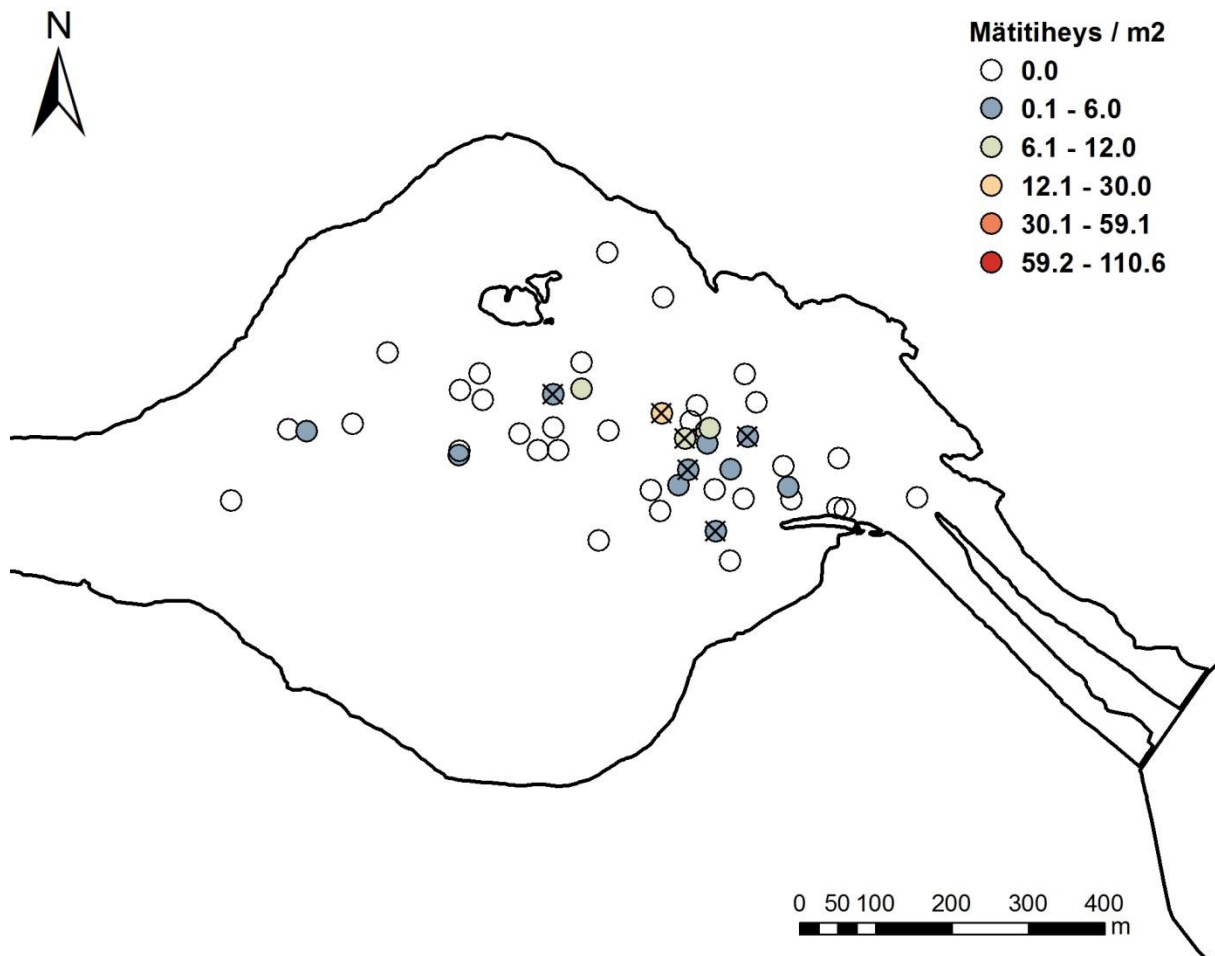


Kuva 16. Siianmäen esiintyminen näytteissä syksyllä 2015 kudun jälkeen. Rastit kuvaavat niitä paikkoja, joista näytteeseen jäi hedelmöittymätön tai kehityshäiriöinen mätijyvä.

6.2.4. Mätipumppaus keväällä 2016

Talviaikaisen mädin häviämisen arvioimiseksi mätipumppaus toistettiin 31.3.–1.4.2016 pääasiassa niillä paikoilla, joilta syksyllä 2015 saatiin mätiä. Syksyn pumppauksissa käytössä ollut mätipumppua ei ollut mahdollista käyttää, ja se korvattiin uudella, muuten samanlaisella laitteistolla lukuunottamatta erimerkkistä lietevesipumppua. Ennen uuden pumpun käyttöönottoa pumppukammiosta pyöristettiin kaikki terävät kulmat, jotka saattaisivat rikkoa mätimunaa. Pumppujen välisiä eroja ei ollut mahdollista testata, mutta näytteiden samankaltaisen kunnon perusteella niiden toiminnassa ei havaittu eroja. Voimalan käyttöhenkilöstön kanssa virtaama oli sovittu 150 m³/s tasolle työn ajaksi, mutta pinnan korkeus vaihteli työn aikana vuorokausisäännöstelyn vuoksi.

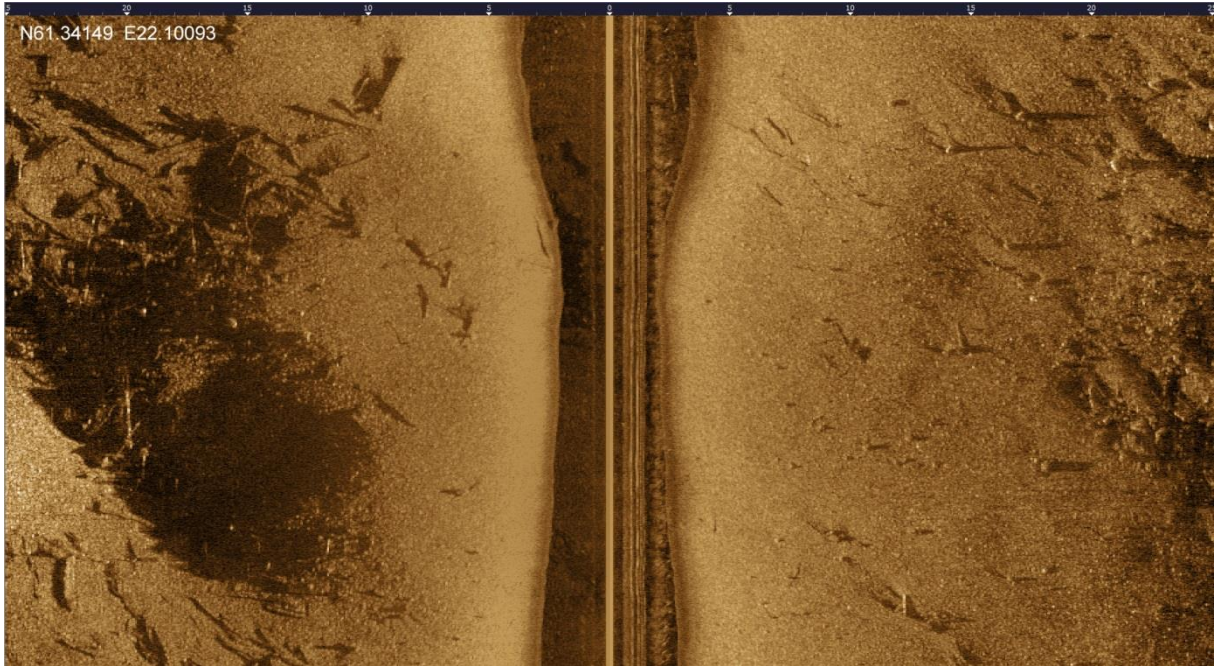
Näytteet kerättiin yhteensä 47 paikasta samalla tapaa kuin syksyllä, tavoitteena oli osua 45 paikalle, josta normaalisti kehittyneitä mätiä saatiin syksyn pumppauksessa. Kaksi ylimääräistä näytteenottopaikkaa sijoitettiin syksyn pumppauksen perusteella parhaaksi arvioidulle alueelle. Veden virtauksen aiheuttaman siirtymän ja paikannuksen virhemarginaalin vuoksi 35,6 % näytteistä sijoittui alle 5 m etäisyydelle alkuperäisestä paikasta, 5-10 m etäisyydelle 33,3 %, 10–15 m etäisyydelle 26,7 % ja 4,4 % kauemmaksi. Imujen määrä näytteenottopaikoilla oli keskimäärin 12–16 ja kokonaismäärä 650. Elävää mätiä saatiin 11 näytteenottopaikasta, jotka kaikki olivat lohkare-, kivi- tai sorapohjaisia tai näiden ja hiekan sekoitusta. Lisäksi hedelmöittymätöntä tai kuollutta mätiä saatiin kuudelta eri paikalta, yhteensä mätipaikkoja oli 15. Korkein yksittäisen näytteen mätitiheys oli 15,0 mätimunaa/m², mädillisten paikkojen normaalisti kehittyneiden mätijyvien keskitiheys 6,8 mätimunaa/m² ja koko näytemäärän mädin keskitiheys 1,6 mätimunaa/m² (kuva 17).



Kuva 17. Keväällä 2016 mätiiä saatiin vain harvoista paikoista, vaikka näytteenottopaikat oli valittu syksyn pumppauksen mätipaikkojen perusteella. Rastit kuvaavat niitä paikkoja, joista näytteeseen jäi hedelmöittymätön tai kehityshäiriöinen mätijyvä.

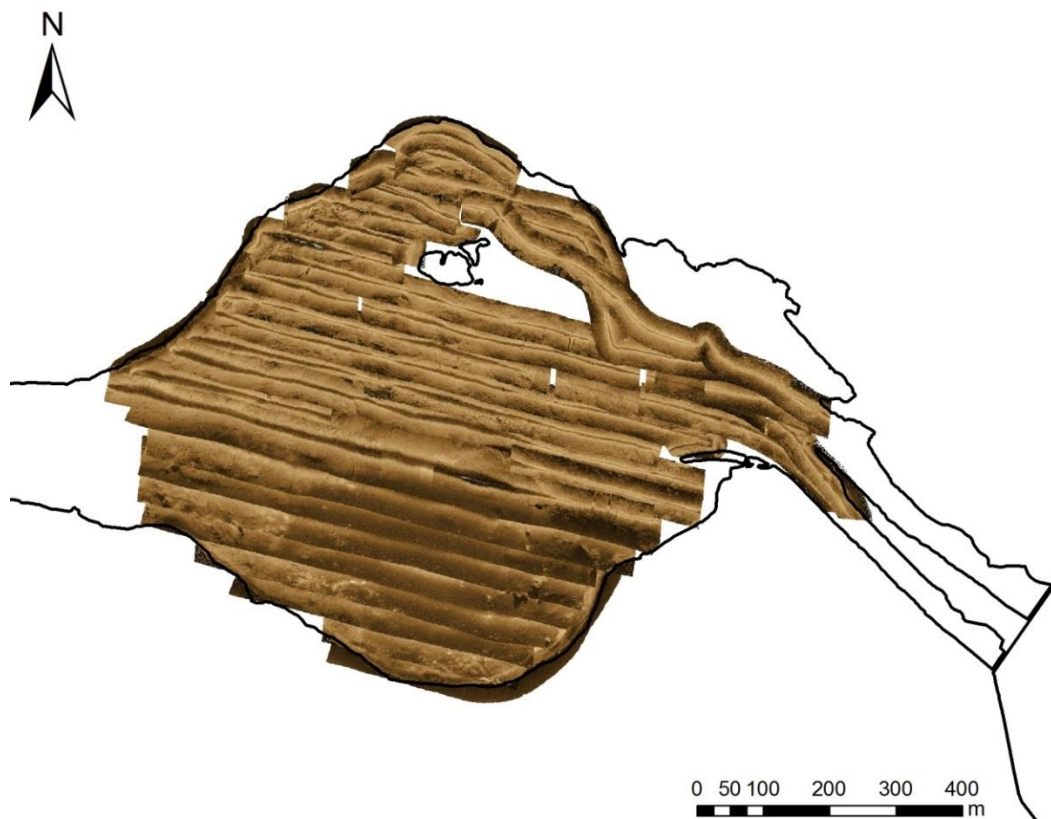
6.3. Viistokaikuluotaus ja pohjakuvaus

Viistokaikuluotaus uusittiin 31.8.–1.9.2016 Lammaistenlahden alueella tarkemman pohjanlaatukartan valmistamiseksi. Luotauksessa käytettiin Deepvision DE680 -luotainta ja sijainti määritettiin Garmin GPSMap 527XS -karttaplotterilla (10Hz GPS/Glonass). Luotaus toteutettiin 25 m linjaleveydellä 3 km/h luotausnopeudella kulkusuunnan molemmin puolin siten, että kuvan resoluutioksi tuli 5 cm. Luotausaikaan veden virtaus voimalasta oli noin 160 m³/s. Virran voimakkuuden vuoksi luotauksen laatu heikkeni voimalaitoskanavan alaosassa. Viistokaikuluotausaineiston raakamateriaali (Kuva 18) käsiteltiin ensin Deepview PRO 4.0 -ohjelmalla ja siirrettiin luotauskaistojen yhdistämistä ja analyysia varten ArcMap 10.4 ohjelmistoon geotiff -muodossa.



Kuva 18. Deepvision DE680 -luotaimen raakakuva. Vasemmalla sora-kivisärkkä, jonka ympärillä upotukkeja. Pohja pääasiassa hiekkaa, oikealla puolella sora-kivi -alue.

Luotauslinjoista poistettiin keskikaistan veden syvyyttä kuvaava nadir -alue SonarTRX –ohjelmalla (Leraand Engineering Inc. 2016) ja linjat mosaikoitiin karttatasoksi kokonaisuuden tarkastelua varten. Raakakuvan käsittelyssä paikkatieto-ohjelmistossa aineiston resoluutio pudotettiin 10 cm tarkkuuteen (kuva 19).



Kuva 19. Deepvision DE680 – luotausmateriaaliin perustuva pohjanrakennekuvamosaiikki. Lammaistenlahden saaren itäpuolta ei luodattu alhaisen vedenkorkeuden vuoksi.

Lisäksi pohjat valokuvattiin uudelleen syyskuussa 2016 viistokaikuluotauksen yhteydessä yhteensä 72 paikasta, jotka oli satunnaistettu mätinäytteenottoalueelle. Pohjien kuvauksen aikaan virtaama oli tasaisesti $160 \text{ m}^3/\text{s}$. Kuvauspaikat oli satunnaistettu syvyyden ja pohjanlaadun mukaan eri osiin näytteenottoaluetta. Valokuvaus tehtiin lasikuituvarren päähän kiinnitetyllä GoPRO Hero 3+ -kameralla. Varressa oli kiinni UW Aqualite-S -sukelluslamppu, jonka ilmoitettu valoteho 90 asteen keilalla on 500 lumenia. Kameravarteen oli kiinnitetty 30 sentin mittainen mittatikku etäisyyksien ja pohja-aineksen raekoon arvioimiseksi (kuva 20).



Kuva 20. Pohjien kuvauksessa käytettiin 6 m varren päähän asennettua GoPro -kameraa ja erillistä valoa.

Kuvatessa kamera asetettiin time lapse -tilaan ottamaan kuva sekunnin välein, laskettiin pohjaan ja käännettiin varrella 90 astetta kolmen sekunnin välein. Näytteenottopaikalta pyrittiin saamaan kuva neljään suuntaan. Kuvien oton aikana merkittiin sijainti Garmin GPSMap 76Csx gps -paikantimeen ja myöhemmin kuvat yhdistettiin aikaleiman perusteella sijainnin reittipisteeseen.

Käytännössä valokuvaus oli hankalaa virtauksen ja samean veden vuoksi, eikä selkeitä kuvia tahdonut saada. Kultakin paikalta saatiin 1-4 käyttökelpoista kuvaa (kuva 21). Kuvat tulkittiin yksittäin, ja pohjamateriaalin raekoko jaoteltiin edellä mainittuihin kuuteen luokkaan näytteenottopaikoittain. Kuvauksen näytteenottopisteistä 49 osui alle 5 metrin säteelle lähimmästä syksyn 2015 mätipumpauspaikasta. Kevätnäytteistä vain 10 osui alle 5 metrin säteelle lähimmästä kuvauspaikasta, ja vain kahdessa niistä oli mätä. Veden sameuden vuoksi kameralla tehdyt kuvat kattavat korkeintaan noin puolen metrin säteelle kamerasta ulottuvan alueen, eli likimain alle 0.8 m^2 . Paikoitellen, etenkin useasta pohjatyypistä koostuvilla alueilla vaihtelu pohjan rakenteessa saattoi olla huomattavaa.



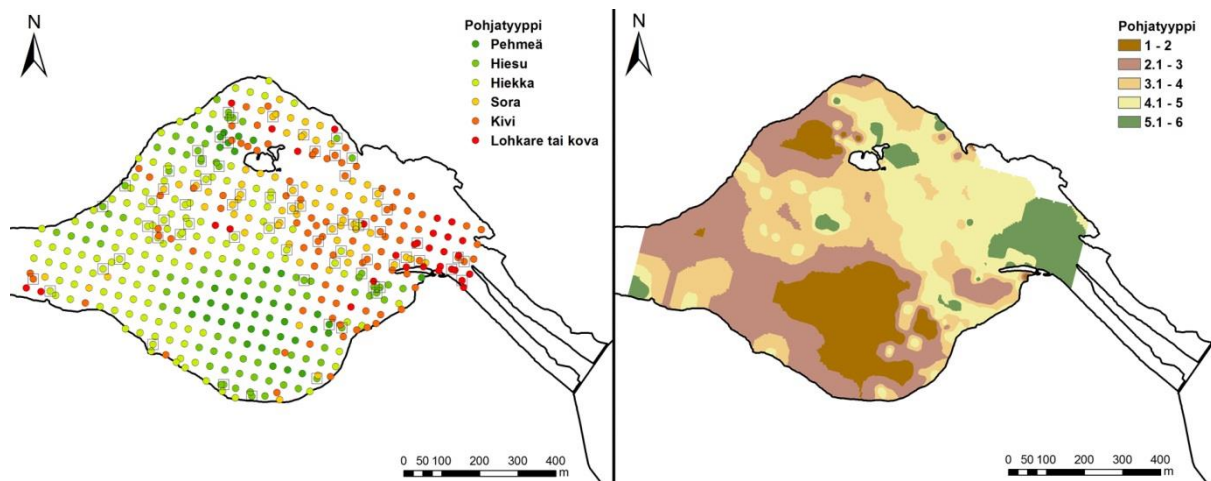
Kuva 21. Erilaisia pohjia Lammaistenlahden alueelta: a) yläosasta kivi-sorapohjaa, b) alaosaan sedimentoituvan aineksen peittämää hiekka-sorapohjaa ja c) hiekkapohjaa.

6.4. Paikkatietoaineistojen käsittely

Viistokaikuluotausaineistojen ohjelmallista tulkintaa yritettiin kehittää hankkeessa, mutta nykyisellä kuvamateriaalilla se ei onnistunut, joten pohjan karkeus kuvissa tulkittiin manuaalisesti yksittäisistä luotauskaistoista. Viistokaikuluotaimen kuva luokiteltiin Lammaistenlahden alueelle 40 m pistegridinä sijoitetuille pisteille (n=362), joille oli laskettu 10 m säteellä ympyrä, vallitsevan pohjatyypin mukaisesti kuuteen luokkaan, jotka karkeistettiin ISO 14688-1:2002 maalajiluokituksesta:

- 1) Pehmeä, $\leq 0,002$ mm
- 2) Hiesu, $0,002...0,063$ mm
- 3) Hiekka, $>0,063...2,0$ mm
- 4) Sora, $>2,0...63$ mm
- 5) Kivi, $>63...200$ mm
- 6) Lohkare, $>200...630$ mm

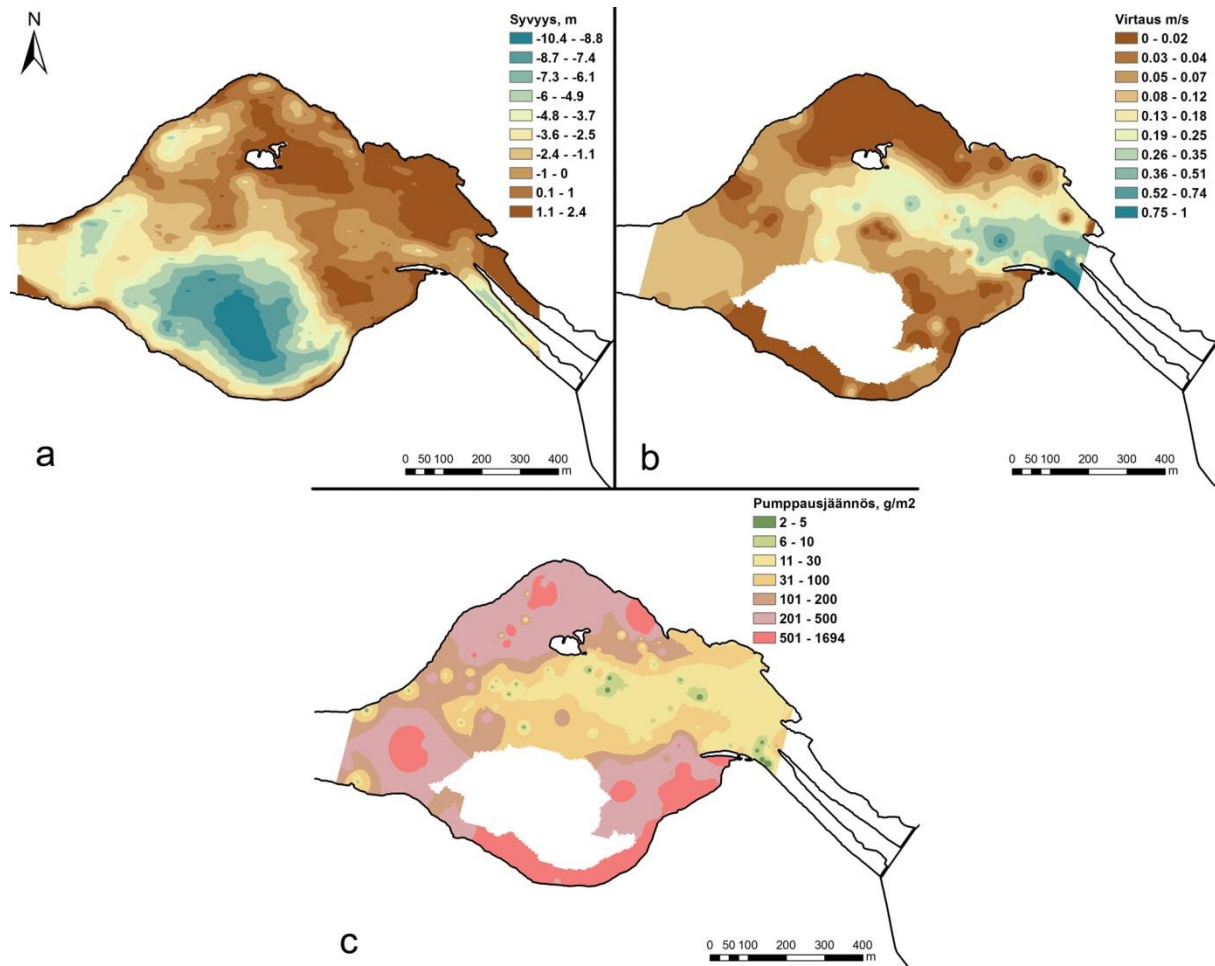
Luokkien millimetrirajat ovat suuntaa-antavia, koska maa-ainesnäytteitä ei kerätty ja tutkittu, vaan luokittelu perustuu kuvatulkintaan ja näytteenottojen yhteydessä sauvalla tehtyihin koepistoihin. Kuvatulkinnan perustana käytettiin samaan aikaan luotauksen kanssa kerättyä pohjakuva-aineistoa. Luokkia käytetään tarkastelussa jatkuvana muuttujana, koska raekoko kasvaa luokituksen mukaisesti. Lisäksi gridiaineistoa täydennettiin manuaalisesti yksittäisten kivikko- ja louhikkoalueiden osalta (n=24) ja aineistoon yhdistettiin pohjasta otetun valokuva-aineiston perusteella tehty luokitus (n=72). Yhdistetyt havaintopisteet (n=458) interpoloitiin pohjan karkeutta kuvaavaksi karttatasoksi (ArcGIS Spatial Analyst, IDW, solukoko 5 m, säde 50 m) (kuva 22). Luodatulla alueella luokittelun perusteella Lammaistenlahden alueella syksyllä 2016 ensisijaisesti pehmeää pohjaa oli 12.9 %, hiesupohjaa 25.4 %, hiekkapohjaista aluetta oli 28.3 %, sora-kivipohjaa 22.6 %, kivipohjaa 9.8 % ja lohkarepohjaa 1.0 % tutkimusalueesta.



Kuva 22. Vasemmalla pohjatyypin pisteaineisto, joka koostettiin viistokaikuluotausaineiston ja pohjista kerätyn kuvamateriaalin avulla. Neliöidyt pisteet osoittavat paikat, joista on kuvamateriaalia. Oikeanpuoleinen kartta on pisteaineiston perusteella interpoloitu pohjankarkeutta kuvaava rasteritaso. Numeerinen karkeus vastaa tekstissä esitettyä luokittelua.

Alleco Oy:n keräämästä pohjankorkeusaineistosta koostettiin karttataso, joka kuvaa veden syvyyttä suhteessa nollatasoon. Interpolaatio tehtiin kuten pohjanlaadullekin (ArcGIS Spatial Analyst, IDW, $p=2$, solukoko 5 m, säde 50 m). Mätipumppausten yhteydessä arvioitu pintavirtauksen nopeus sekä pumppauksista määritetty pumppausjännöksen määrä interpoloitiin myös karttatasoiksi. Näissä

muuttujissa interpolointimenetelmä oli IDW, 15 lähintä pistettä ja power 2. Mätinäytteitä ja siten tietoa virtauksesta tai pumppausjäännöksestä ei kerätty yli 6.0 m syvyyksiltä alueilta, joten ne jätettiin analyysien ulkopuolelle. Käytännössä tämä alue rajautuu Lammaistenlahden eteläosassa olevaan syvänteeseen (kuva 23).



Kuva 23. a) pohjan korkeusmalli, b) virtausnopeus ja c) pumppausjäännös.

6.5. Mädin kehittymispaikkojen luonnehdinta muuttujien perusteella

6.5.1. Pohjanlaadun tulkinnan tarkkuus

Ennen viistokaikuluotaustekniikkaa käytännön menetelminä pohjan laadun selvittämisessä ovat olleet näytepisteiltä tehtävä valokuvaus, tunnustelu kepillä tai sukellus joko paikoittain tai linjoittain. Laajojen alueiden kattamiseen nämä keinot ovat hitaita ja epätarkkoja, mutta sopivat kuitenkin viistokaikulutauksen perusteella tehtävän luokittelun ohjaamiseen ja tarkastamiseen. Syksyllä 2016 tehty luotaukset muodostivat rungon Lammaistenlahden pohjan rakenteen analyysille. Luotausten kuvatulkinntaa verrattiin sekä valokuvista tehtyyn tulkintaan, että syksyn 2015 mätipumppausten yhteydessä kerättyyn, pohjan tunnusteluun perustuvaan luokitteluun.

Pohjakuvia käytettiin viistokaikuluotauksetulkinnan ohjauksessa, jolloin kuvien ja viistokaikuluotauksesta tehdyn luokittelun yhteneväisyys on suuri (taulukko 7).

Taulukko 7. Pohjakuvien (n=49, etäisyys näytteenottopaikasta < 5 m) ja viistokaikuluotaukuvien perusteella tehdyn tulkinnan vastaavuus. Luokat L1-L6 on pyöristetty lähimpään kokonaislukuun interpoloidusta rasterista kuvapisteen kohdalta.

<i>Kuvaluokittelu</i>	<i>L1</i>	<i>L2</i>	<i>L3</i>	<i>L4</i>	<i>L5</i>	<i>L6</i>	<i>Yhteensä</i>
Pehmeä (L1)	2	0	0	0	0	0	2
Hiesu (L2)	0	15	1	0	0	0	16
Hiekka (L3)	0	0	10	0	0	0	10
Sora (L4)	0	0	0	11	0	0	11
Kivi (L5)	0	0	0	0	8	0	8
Lohkare (L6)	0	0	0	0	0	2	2
Yhteensä	2	15	11	11	8	2	49
Osuus (%)	4.08	30.61	22.45	22.45	16.33	4.08	100

Syksyllä pumppausten yhteydessä kerättyä pohjan rakennetietoa verrattiin viistokaikuluotauksen tulkintaan. Alun perin maastossa pohja kirjattiin 12 luokkaan karkeuden perusteella. Luokittelu karkeistettiin vastaamaan luotaukuvatulkinnan kuutta luokkaa. Syksyn 2015 mätipumppausnäytteissä eniten näytteitä kerättiin hiekka- ja sorapohjilta, jotka olivat myös tutkimusalueella vallitsevat pohjan tyypit (Taulukko 8).

Taulukko 8. Pumppausten yhteydessä kerätyn pohjanlaatutiedon uudelleenluokittelu.

	<i>Pehmeä</i>	<i>Hiesu</i>	<i>Hiekka</i>	<i>Sora</i>	<i>Kivi</i>	<i>Lohkare</i>	<i>Yhteensä</i>	<i>%</i>
Pehmeä	13	0	0	0	0	0	13	9.63
Savi	0	2	0	0	0	0	2	1.48
Savi-kivi	0	3	0	0	0	0	3	2.22
Siltti	0	8	0	0	0	0	8	5.93
Hiekka	0	0	48	0	0	0	48	35.56
Sora	0	0	0	4	0	0	4	2.96
Sora-hiekka	0	0	0	10	0	0	10	7.41
Sora-kivi	0	0	0	23	0	0	23	17.04
Kivi-hiekka	0	0	0	0	3	0	3	2.22
Kivi	0	0	0	0	10	0	10	7.41
Lohkare	0	0	0	0	0	10	10	7.41
Kova	0	0	0	0	0	1	1	0.74
Yhteensä	13	13	48	37	13	11	135	100

Merkittävä virhelähde luokittelussa saattaa aiheutua kesällä 2016 tehtyjen padon korjaustöiden vaikutuksista. Voimalaitoskanava oli padottuna ja vesi juoksutettiin viereistä tulvakanavaa pitkin, joka on osa alkuperäistä kosken luonnonuomaa. Pato purettiin kesän aikana, ja mahdollisesti maansiirtotöiden aikana voimalaitoskanavan alaosan pohjan rakenne ja syvyysjakauma on muuttunut muokkaustöiden aikana siirtyneen maa-aineksen vaikutuksesta. Siten viistokaikuluotauksen pohjanrakenne ja mätipumppauksen aikainen pohjanrakenne saattavat poiketa toisistaan etenkin voimalaitoskanavan alaosalla. Voidaan myös olettaa, että joen pohjan rakenne vaihtelee luontaisestikin virtaaman ja veden mukanaan kuljettaman maa-aineksen myötä vuosien välillä.

Syksyn 2016 viistokaikuluotausaineiston luokittelua verrattiin pumppausten yhteydessä arvioituun, karttatasoksi interpoloituun pohjalaatuaineistoon (jatkuva muuttuja asteikolla 1-6, hienomasta karkeaan ainekseen (Taulukko 9). Viistokaikuluotausaineiston kuvatulkinnan ja mätipumppausaineiston mediaanin ja keskiarvon perusteella luokittelu on mahdollista jakaa karkeuden mukaan neljään luokkaan, jolloin luokat pehmeä ja hiesu yhdistetään samoin kuin sora ja kivi. Näiden luokkien erottaminen luotausaineistosta on ollut epävarmaa.

Taulukko 9. Pohjanlaatuarvion mätipumppauksen aikana (arvioitu pohja) ja interpoloidun pohjalaa-
tukartan välinen vastaavuus.

Arvioitu pohja	Havaintoja	Mediaani	Keskiarvo	Min	Max	Keskihajonta	Yhdistetty luokka
Pehmeä (1)	13	2,1	2,5	1,0	4,6	1,2	1 hieno
Hiesu (2)	13	2,2	2,6	1,9	4,8	1,0	
Hiekka (3)	48	3,1	3,3	2,0	5,0	0,8	2 hiekka
Sora (4)	37	4,1	4,2	3,0	5,7	0,7	3 sora-kivi
Kivi (5)	13	4,2	4,0	2,0	5,3	1,1	
Lohkare (6)	11	5,2	4,7	2,1	6,0	1,3	4 lohkare

6.5.2. Mätipumppauksen tulosten yleistäminen karttatasoksi

Mädin esiintymistä näytteenottopaikoilla verrattiin syksyn 2015 näytteenoton ja viistoluotausten yhteydessä kerättyihin, karttatasoiksi interpoloituihin muuttujiin (korkeusmalli, pohjan karkeus, pumppausjäännös ja virtaus). Lammaistenlahden syvin yhtenäinen alue jätettiin analyysien ulkopuolelle, koska sieltä ei saatu kerättyä aineistoa mätipumpulla. Näytteenottopaikoilla, joissa mätitiheys oli korkeampi muuttujien syvyys, pohja, pumppausjäännös ja virtaus vaihteluväli on pienempi. Mädin esiintymishavaintojen (esiintyy / ei esiinny) suhteen erot normaalisti jakautuneissa muuttujissa syvyys (yksisuuntainen ANOVA, $F(1,133) = 4,99$, $p = 0,027$), pohja (yksisuuntainen ANOVA, $F(1,133) = 13,39$, $p < 0,001$) ja epänormaalisti jakautuneissa muuttujissa pumppausjäännös (Wilcoxon signed rank sum, $Z = 4,37$, $p < 0,001$) sekä virtausnopeus (Wilcoxon signed rank sum, $Z = -2,16$, $p = 0,016$) olivat tilastollisesti merkittäviä.

Mätihavainnot voidaan luokitella mädin esiintymisen perusteella siten, että paikat, joista tuli vain yksi mätimuna ja paikat, joista tuli kaksi tai enemmän ovat eri ryhmissä. Tällöin voidaan arvioida mädin esiintymisen vaihteluväliä muuttujien arvojen suhteen (Taulukko 10).

Taulukko 10. Syksyn 2015 näytteenottopaikkojen ominaisuudet mädin esiintymisen ja muuttujien suhteen. Syvyys on ilmoitettu merenpinnan korkeudesta.

Mädin tiheys	N	Muuttuja	Keski-arvo	Mediaani	Alin arvo	Ylin arvo	Keskihajonta	10p	90p
Ei mätää	90	Syvyys, m	-0,94	-0,81	-4,38	1,52	1,41	-2,93	0,84
		Pohja (1-6)*	3,34	3,06	1,02	6,00	1,16	2,02	4,90
		Pumppausjäännös, g/m ²	286,87	171,83	1,68	1693,81	361,27	3,18	748,13
		Virtaus, m/s	0,10	0,05	0,00	1,00	0,21	0,00	0,20
< 10,5/m ²	16	Syvyys, m	-0,32	-0,11	-3,34	1,11	1,21	-1,90	0,89
		Pohja (1-6)*	4,09	4,03	2,52	5,74	0,93	2,99	5,27
		Pumppausjäännös, g/m ²	100,41	21,92	5,43	1003,71	245,74	5,54	168,28
		Virtaus, m/s	0,17	0,13	0,00	0,79	0,20	0,00	0,40
≥10,5/m ²	29	Syvyys, m	-0,47	-0,30	-2,14	0,96	0,85	-1,72	0,55
		Pohja (1-6)*	4,04	4,05	2,01	5,99	0,91	3,00	5,02
		Pumppausjäännös, g/m ²	57,16	18,01	6,03	518,83	102,74	11,00	152,01
		Virtaus, m/s	0,15	0,10	0,00	0,40	0,13	0,00	0,39

*interpoloitu pohjaluokittelu; 1=pehmeä, 6 = lohkare.

Keskimääräistä mätihavaintojen sijoittumista näiden muuttujien suhteen voidaan arvioida rajaamalla havaintoväli 10:n ja 90:n persentiiliin väliin, jolloin reunahavainnot jäävät pois. Siian mätiiä löytyi pääsääntöisesti normaalitasoon nähden matalammasta kuin -1,90 m pohjan korkeudesta ja matalimmillaan 0,89 m korkeudesta, keskimäärin -0,32 m syvyydestä. Mätiiä ei pääsääntöisesti ole pehmeillä tai hiesupohjilla, sen sijaan karkeammalla hiekka-kivi-sora-lohkare -pohjalla sitä esiintyy (Pohja ≥ 3 , keskiarvo 4,04). Todennäköisesti näytteenoton rajoituksista johtuen lohkarepohjalta mätiiä ei juuri löytynyt, koska mätipumpun suulake ei ulotu lohkareiden väliin. Jos pumppausjäännös on suuri ($> 168 \text{ g/m}^2$), mädin löytyminen on epavarmaa, keskimäärin irtoainesta pumppauspaikoilla oli $100,41 \text{ g/m}^2$. Tosin mediaani osoittaa, että mätihavainnot painottuvat paikkoihin, joissa pumppausjäännös on pieni. Pumppausjäännöksen määrä yhdistyy virtausnopeuteen, jos virtaus on kova, pumppausjäännöstä eli orgaanista hajoavaa ainetta ei pääse kertymään pohjalle. Mätiiä löytyi eniten alueilta, joilla virtausnopeus näytteenoton aikaan oli keskimäärin $0,15 \text{ m/s}$, mutta havaintojen vaihteluväli on $0-0,79 \text{ m/s}$. Näytteenottopaikoilla, joissa mätiiä oli tiheämmin ($>10,5 \text{ munaa/m}^2$), muuttujien vaihteluväli oli kapeampi.

Otoskorrelaatio logaritimuunnetun mätitiheyden, syvyyden, pumppausjäännöksen sekä pohjatyypin välillä on 5 %:n tasolla merkitsevä. Virtausnopeus -muuttuja ei korreloi merkitsevästi selitettävän mätitiheyden kanssa ($p = 0,22$). Vaikka muuttujien ja mätitiheyden korrelaatio on olemassa, ongelmaiseksi nousee muuttujien keskinäinen riippuvuus toisistaan. Pumppausjäännöksen otoskorrelaatio on erittäin merkitsevä sekä virtausnopeuden että pohjamuuttujan kanssa ja 5 %:n tasolla merkitsevä myös syvyys-muuttujan kanssa. Lisäksi sekä virtausmuuttuja että syvyysmuuttuja näyttäisivät korreloivat erittäin merkitsevästi pohjamuuttujan kanssa (taulukko 11). Pohjan tyyppi riippuu virtausnopeudesta, pehmeää ja hiesupohjaa on hitaasti virtaavilla alueilla kun taas kovimman virtauksen alueella kanavan alaosassa on lohkare- tai kivipohjaa. Pumppausjäännöksen määrä riippuu eniten virtausnopeudesta, virtaisimmissa kohdissa materiaalia ei kerry pohjalle. Koska kivi-lohkarepohjaa esiintyy pääasiassa kovempivirtaisilla alueilla, ei näille kerry myöskään pohjalle hajoavaa ainetta eli pumppausjäännöstä. Selittäjien välisistä otoskorrelaatioista neljä kuudesta on suurempia kuin yksikään selitettävän ja selittäjien välinen otoskorrelaatio, jolloin mallinnuksessa merkittävien muuttujien erottaminen toisistaan on hankalaa. Aineiston muuttujien perusteella mätitiheyden mallintaminen ei ole perusteltua.

Taulukko 11. Logaritimuunnetun mätitiheyden ja muuttujien väliset Pearsonin korrelaatiot.

Muuttuja	Mätitiheys (log -muunnos)	Pumppausjäännös	Virtaus	Syvyys	Pohja
Mätitiheys (log -muunnos)	1	-0,28	$0,10^{em}$	0,19	0,27
Pumppausjäännös	-0,28	1	-0,29	-0,18	-0,44
Virtaus	$0,10^{em}$	-0,29	1	$0,06^{em}$	0,54
Syvyys	0,19	-0,18	$0,06^{em}$	1	0,33
Pohja	0,27	-0,44	0,54	0,33	1

^{em} = ei merkittävä, muissa $p < 0.05$

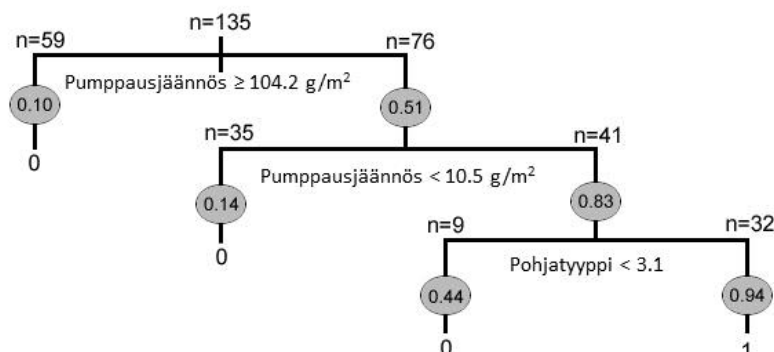
Mätinäytteenoton yhteydessä kerättyä, pumppausvarrella tunnustelmalla arvioitua pohjanlaatutietoa verrattiin pumppaustulokseen ja pohjanlaatukartan tietoihin. Paikkojen perusteella näytteenoton suurin mätitiheys ($110,6 \text{ munaa/m}^2$) havaittiin virran poimuttamalla puhtaalla hiekkapohjalla, toiseksi suurin ($48,4 \text{ munaa/m}^2$) hiesupohjalla. Nämä molemmat näytteenottopaikat sijaitivat voimalaitoskanavan alapuolella, varsinaisen päävirran reunassa eteläpuolella. Lammaistenlahdessa virtaaman ja rakennustöiden aiheuttaman pohjatyypin muutoksen vuoksi on syytä tarkastella myös mätipumppausten aikana kirjattua pohjanlaatutietoa. Alkuperäinen arvio (taulukot 8 ja 9) yhdistettynä neljään pohjatyypiluokkaan ja mätitiheyteen osoittaa, että suurimmat tiheydet ja eniten mätiiä havaittiin

kivi-sorapohjalta (taulukko 12). Muilla pohjatyypeillä mätitiheydet ovat alhaiset, erityisesti pehmeillä ja hiesupohjilla. Lohkarepohjien osalta mätipumppaus voi antaa aliarvion mätimäärästä, koska pumppun suulake ei ulotu lohcareiden syvimpiin väleihin. Todennäköisesti talven tai kesän aikana mätipumppausten jälkeen päävirran eteläpuoliset mätihavaintopisteet ovat täyttyneet hiekalla, koska pohjakuvissa niiden kohdalla oli puhdas, virtauksen muovaama hiekkapohja. Pumppaushetkelä näillä kohdilla todettiin olevan karkeaa soraa ja hiekkaa.

Taulukko 12. Mätitiheys (kg/m^2) verrattuna pumppaushetkelä arvioituun pohjan rakenteeseen.

Arvioitu pohja	Havaintoja	Keskiarvo	Mediaani	Pienin	Suurin	Keskihajonta	10s Pstl	90s Pstl
Hiekka	48	4,9	0	0	48,4	10,8	0	16,1
Hiesu	26	0,7	0	0	11,6	2,6	0	0
Kivi-sora	50	24,2	10,8	0	110,6	31,9	0	83,8
Lohkare	11	1,1	0	0	11,6	3,5	0	0

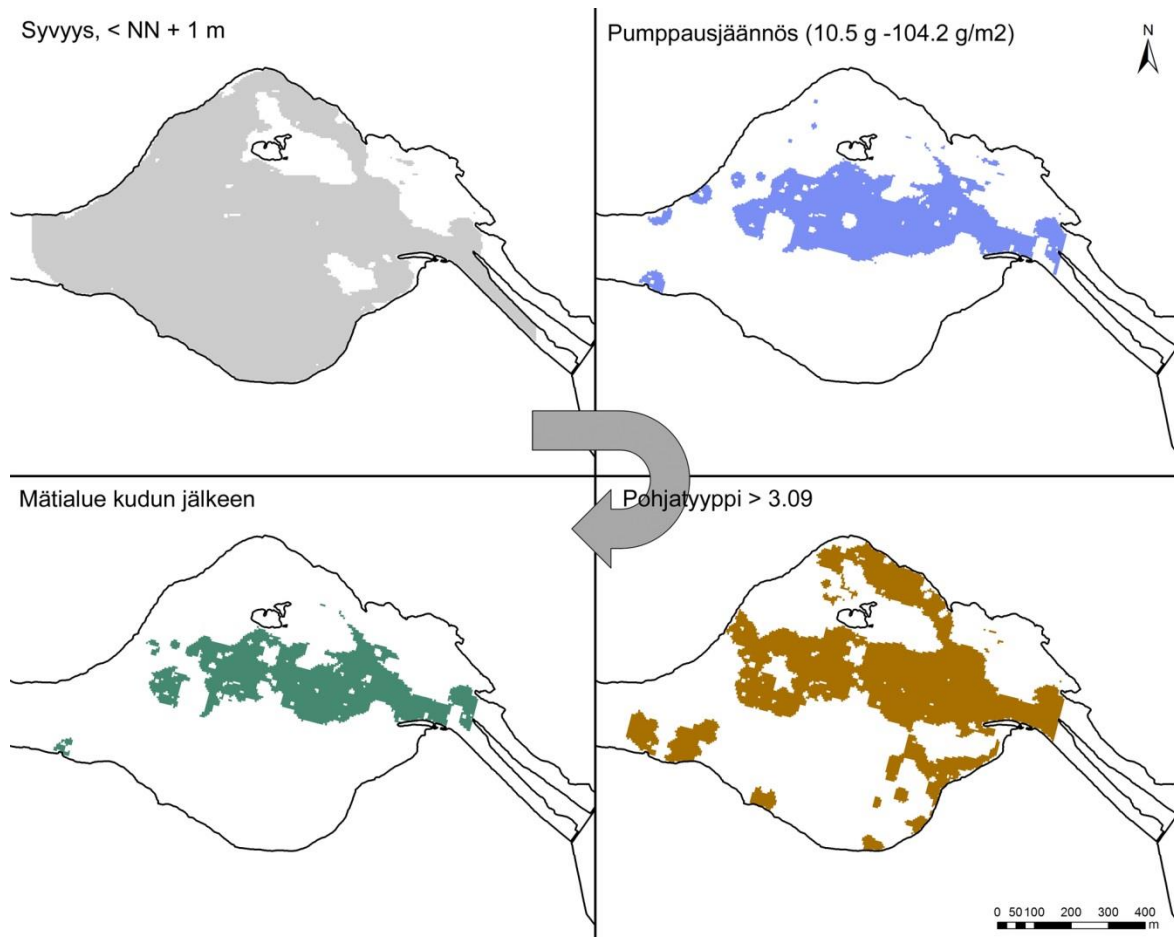
Mätialueen laajuutta Lammaistenlahdessa syksyllä kudun jälkeen arvioitiin mallintamalla R-ohjelman (R Core Team 2016) rpart –paketilla (Recursive Partitioning, Therneau ym. 2015), joka on luokittelupuuanalyysi (Breiman ym. 1984). Menetelmässä valitaan ensisijainen muuttuja, joka parhaiten jakaa mallinnettavan vasteaineiston kahteen luokkaan esiintymisen suhteen. Mallissa käytettiin muuttujana normaalisti kehittyneen mädin esiintymistä koealueella. Jako toistetaan jokaiselle luokkahaaralle uudella muuttujalla, kunnes mallin vastemuuttujan esiintymistodennäköisyys ei enää kasva (kuva 24).



Kuva 24. Aineiston luokittelu rpart –analyysillä. N= havaintojen lukumäärä ja harmaan ellipsin sisällä oleva luku kertoo luokitteluhaarassa mädin esiintymisen todennäköisyyden.

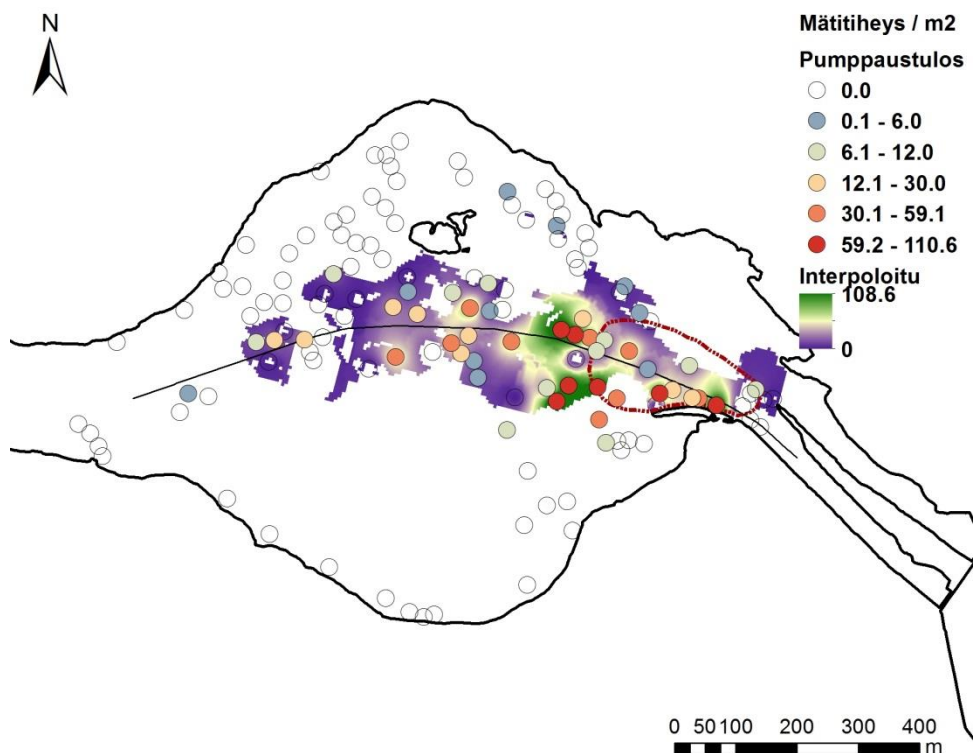
Mädin esiintymiselle otolliset olosuhteet olivat, kun pumppausjäännös on välillä $(10,5; 104,2 \text{ g}/\text{m}^2)$ ja pohjatyypin $(> 3,1)$. Tällöin mädin esiintymistodennäköisyys on 0,94 ja mallin luokitteluvirhe 12,6 %. Luokitteluanalyysi ei nosta esiin syvyyttä tai virtaamaa, jotka molemmat kuitenkin korreloivat mallissa mukana olevien muuttujien kanssa. Luokittelupuun esittämän jaon perusteella voidaan kartalle piirtää pumppausjäännökseen ja pohjatyypin perustuva alue, jossa mädin esiintymistodennäköisyys aineistossa on 0,94. Lisäksi aineistosta on syytä rajata ulkopuolelle alue, joka alavedellä jää kuiville ja mahdollisesti talvella jäätyy, jolloin mädin kehittymisedellytyksiä ei ole. Vaikka virtaama korreloi vahvasti pumppausjäännöksen kanssa, se kuitenkin vaihtelee vuorokausittain ja myös näytteenoton ajankohdan sisällä. Tällä tavalla rajattuna mädille sopiva alue, jota pumppausjäännös ja pohjatyypin rajaa on kooltaan 10,7 hehtaaria. Mätia sisältävistä syksyn 2015 näytteenottopaikoista mallin rajaaman

alueen ulkopuolelle sijoittuu 11 paikkaa (Kuva 25), joista kahdeksan sijaitsee kuitenkin mätialueen ulkorajojen sisäpuolella. Mäditömiä paikkoja alueen sisällä on kolme. Alueen sisälle sijoittuvien näytteenottoaikojen keskimääräinen mätitiheys on 33,1 mätimunaa/m². Kevään 2016 näytteenotossa 91 % normaalisti kehittyneitä mätia sisältäneistä näytteenottoaikoista (n=11) sijoittui mallinnusalueen sisään.

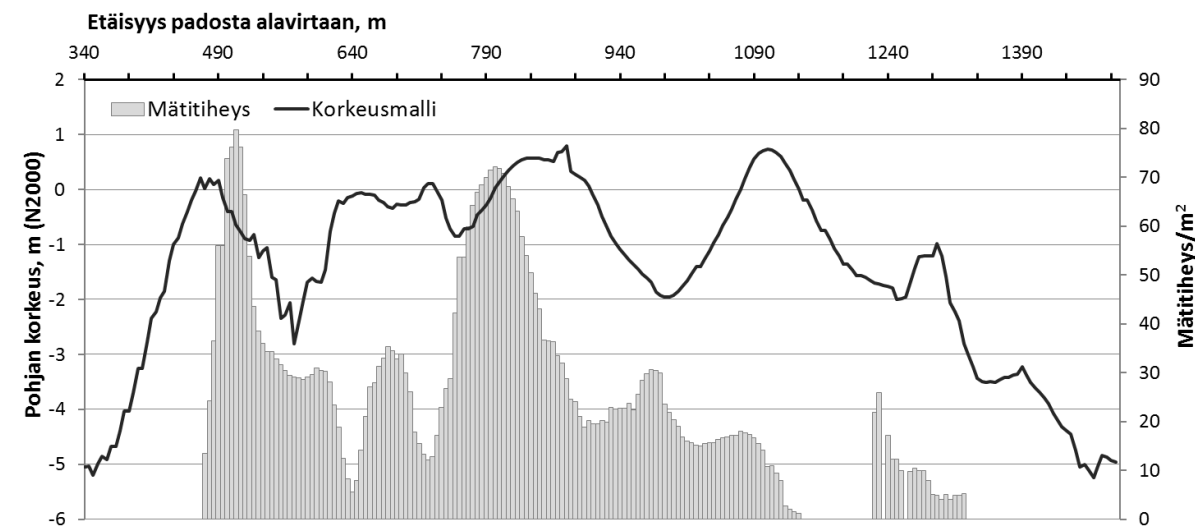


Kuva 25. Mallinnuksen mukainen mädin esiintymisalue ja muuttujat syvyys (rajattu minimivirtaamalla jäätön vesialue, pumppausjäännös sekä pohjatyppi).

Mädin tiheyttä näytesteillä voidaan havainnollistaa esiintymishavaintoihin perustuvalla, mallinnettulla mätialueella interpoloimalla (IDW, $p=2$, 5 lähintä pistettä) näytesteiden normaalisti kehittyneen mädin tiheys karttatasoksi. Suurimmat mätitiheydet ovat voimalaitoskanavan alaosaan, jonka yläpuolella havaintojen perusteella pääasiallinen siikojen kutualue sijaitsee. On todennäköistä, että siian mäti kulkeutuu kudun jälkeen hetken virran mukana ja päättyy pohjassa olevien, virtaa jarruttavien rakenteiden katveisiin (Kuvat 26 ja 27).



Kuva 26. Mallinnuksen mukaan rajautuneelle mätialueelle interpoloitu mätitiheys Lammaistenlahden alueella. Punainen kehä voimalaitokanavan alaosassa osoittaa alueen, jossa kutevia siikoja havaittiin mätirasioiden viennin yhteydessä vuonna 2014. Lammaistenlahden poikki kulkeva viiva on syvyyskoron ja mätitiheyden poikkileikkauslinja (ks. kuva 25).



Kuva 27. Lammaistenlahden pohjan korkeusprofiili (N2000) voimalaitoskanavan loppuosasta (etäisyys padosta alavirtaan) päävirtausalueen keskiosasta määritettynä interpoloituna korkeusmallina. Mätitiheys on interpoloitu mallinnuksella rajatulle alueelle viiden lähimmän havaintopisteen perusteella (IDW, p=2, radius=variable, 5 pistettä) ja poimittu keskilinjalle.

6.6. Tulosten tarkastelu

6.6.1. Kokemäenjoen siian poikastuotanto

Aiemmin Kokemäenjoessa on arveltu olevan merkittävä siian luontainen tuotanto, sillä siian värimerkintätutkimuksessa jokeen kudulle nousevien kalojen joukossa on havaittu olevan merkitsemättömiä kaloja (Leskelä 2015). Talvella 2014 toteutettu haudontakoe tuotti arveluja vahvistavan tuloksen, sillä mädistä huomattava osa selvisi hengissä talven yli. Mätihaudonnan perusteella voidaan olettaa, että vedenlaadusta huolimatta Kokemäenjoessa mädin kehittyminen poikaseksi on mahdollista ja onnistuu lähes vastaavalla tasolla kuin muissa verrokkina olleissa jokivesissä, Perhonjoessa ja Tornionjoessa. Haudontakokeessa ei kuitenkaan selvinnyt mädin päälle kiinnittyneen sedimentin ja levä- tai sienikasvuston merkitys kuoriutumiseen tai poikasten elinkykyyn, koska rasiat jouduttiin nostamaan ennen oletettua kevättulvaa ja poikasten luontaista kuoriutumista. Alkioiden kehityksen perusteella niiden kuitenkin voidaan olettaa olleen normaalisti kehittyneitä.

Mädin pinnalle kerääntynyt kasvusto saattaa indikoida heikkoa vedenlaatua, koska muissa vertailuissa (Perhonjoki, Tornionjoki) mäti oli pääsääntöisesti puhdasta ja ilman kasvustoa. Toisaalta on esitetty, että vähäinen sedimentaatio ja sen seurauksena mädin pinnalle tarttuva aines saattavat suojata mätiä saalistukselta, erityisesti mätiä syövilta kaloilta (Zuromska 1982). Kokeessa käytetty mätirasia suojaa yksittäisiä mätimunia virtaamavaihteluilta ja hyönteisten tai kalojen saalistukselta, jolloin rasian haudontatulos kuvaa lähinnä vedenlaatuun liittyvää mädin selviytymistä. Talven aikana verkkotaskujen sisälle ei Kokemäenjoessa juuri kertynyt niitä tukkivaa sedimenttiä.

Optimaalisessa siikakalojen alkionkehityksessä nopeat ensi vaiheet ajoittuvat syksyllä kudunjälkeiseen äkkiä laskevaan lämpötilaan. Talven aikainen yksilönkehitys tapahtuu hitaasti tasaisen alhaisessa lämpötilassa, ja keväällä lämpötilan nopea nousu yhdessä virtaaman kasvun kanssa käynnistää kuoriutumisen. Muikun mädillä on vakioilämpötilassa havaittu kaksi herkkää vaihetta, ensimmäinen heti hedelmöityksen jälkeen ja toinen kuoriutumisjakson aikana, mikäli se tapahtuu ilman selkeää lämpötilan nousua. Luonnollisesti kehittyvässä lämpötilassa normaalin kevään mukaisesti kuolleisuus ei kasva (Luczynski 1985). Aiemmissa selvityksissä siianpoikasten kuoriutumisaikajaksot määrittyivät lämpötilan nousun perusteella. Kuoriutuminen tapahtuu veden lämpötilan noustessa 2–4 °C lämpötilaan (Veneranta ym. 2013) tai tulvavirtauksen aiheuttaessa mätimunaan mekaanista rasitusta (Næsje ym. 1986). Mekaaninen rasitus, esimerkiksi mädin liikkuminen virran mukana, saattaa aikaistaa kuoriutumista (Price 1940, John & Hasler 1956). Keväällä 2016 molemmat, sekä lämpötila että virtaamat kohosivat huhtikuun alusta lähtien.

Kuoriuduttuaan vaellussiian poikaset ovat tavoitettavissa haavilla noin kolmen viikon ajan, ja kuoriutumishuippu osuu haavintatulosten perusteella noin viikon ajanjaksolle. Kevään 2016 haavipyynteissä huippu ajoittui huhtikuun kolmannelle viikolle. Kuoriutumisen kesto ja ajoittuminen vastaa merikutuisen siian haudonnoissa ja aiemmissa siian poikasnäytteenottoissa havaittua aikajaksoa (Larsson ym. 2013, Veneranta ym. 2013, Leonardsson ym. 2015). Haavinnoissa samassa kehitysvaiheessa olevia, vastakuoriutuneita poikasia löytyi kaikilta tutkimusaloilta, ja niiden perusteella on todennäköistä, että siian luonnonlisääntymistä tapahtuu Kokemäenjoessa myös muilla alueilla kuin Lammaistenlahdella.

On mahdollista, että kasvaessaan ja lämpötilan kohotessa siianpoikaset siirtyvät joen rannan välittömästä läheisyydestä muuhun habitaattiin tai niiden pakovauhti kasvaa niin suureksi, ettei niitä saada haavilla kiinni. Simo- ja Tornionjoessa on todettu ainakin osan poikasista viipyvän joessa heinäkuulle saakka, jolloin niitä saadaan joen keskiosalta lohenpoikasten pyyntiä varten laitetulla smoltti-ruuvilla kiinni. Tällöin poikaset ovat kooltaan noin 30–50 mm (Jokikokko ym. 2012).

Todennäköisesti Kokemäenjoessa poikasten alasvaellus käynnistyy heti kuoriutumisen jälkeen, tähän viittaisi ylimmän, Lammaistenlahden alueen poikasmäärien vähentyminen huhtikuun loppua kohden, vaikka alemmaa niitä edelleen jää haaviin. Yleisesti siian poikasten on arveltu saavuttavan meren noin 2-10 viikon ajanjakson aikana, ilmeisesti joen koosta, morfologiasta ja kutupaikkojen

sijainnista riippuen (Lehtonen ym. 1992, Larsson ym. 2013). Alasvaelluksen jälkeen siianpoikaset ovat jokisuun tuntumassa 2-3 kuukauden ajan, levittäytyen ympäröivälle merialueelle (Lehtonen ym. 1992).

Siianpoikaset alkavat syödä lähes välittömästi kuoriutumisen jälkeen, kun ruskuaispussin ravinto vähenee. Poikasten selviytymisen on havaittu olevan parempi, jos ne kuoriutuvat nousevaan lämpötilaan (Luczynski 1985). Tutkimusjaksolla vuonna 2016 jäät lähtivät jo maaliskuun lopussa Lammaistenlahdelta, ja poikaset mahdollisesti kuoriutuivat tavallista aikaisemmin. Normaalina jäätalvena jääpeite joessa on todennäköisesti pidempään ja vastaavasti veden lämpeneminen keväällä jäiden lähdettyä tapahtuu nopeammin. Varhaisen kuoriutumisen ja poikasten selviytymisen välistä yhteyttä ei kuitenkaan ole selvitetty vaellussiikajoissa, mutta on mahdollista, että pitkään kylmänä säilyvässä vedessä poikasille ei riitä ravintoa (Cushing 1990, Blaxter 1992, Lehtonen 1996). Dabrowskin (1976) mukaan muikun poikaset voivat elää ilman ravintoa noin 22 vrk viiden asteen lämpötilassa ja 10 asteen lämpötilassa noin 6 vrk (Tiitinen 1982). Siialla havaintojen mukaan selviytymisaika on samaa luokkaa. Vaellussiian ravinnosta jokivesissä ei ole tarkkaa tietoa, mutta meressä poikaset syövät pääasiassa planktonia, vesikirppuja ja hankajalkaisia (Hudd ym. 1992).

Kuoriutumisen jälkeen vaellussiian poikaset eivät nykyolettamuksen mukaan tarvitse alasvaelluksellaan suojapaikkoja lohen, taimenen tai harjuksen poikasten tavoin. Siianpoikaset alkavat uida heti kuoriuduttuaan ja suuntaavat veden pintakerrokseen. Siianpoikasten alasvaellus ei ole passiivista, sillä poikaset vaikuttavat kerääntyvän tiettyihin, rauhallisempiin virrankohtiin. Kokemäenjoessa tehdyn haavintakartoituksen mukaan siianpoikaset pysähtyvät virran katvekohtiin, rantapenkan reunoihin, akanvirtoihin tai kasvillisuuden reunan muodostamaan suojaan matkalla alas. Näissä kohdissa muita kalalajeja esiintyy varsin vähälukuisesti, joten poikasiin kohdentuva saalistuspaine lienee vaelluksen alkuvaiheessa vähäinen, erityisesti koska samaan aikaan esimerkiksi ahven ja särkikalat ovat kudulla tai valmistautumassa kutuun. Tutkimuksessa ei selvitetty poikasten esiintymistä rantavyöhykkeen ulkopuolella, avoimessa virrassa. On mahdollista, että osa varhaisvaiheen poikasista kulkeutuu ja ui virran keskialueella olevissa akanvirroissa. Haavintojen yhteydessä huomattiin myös voimakkaasti vaihtelevan vedenpinnan korkeuden vaikutus. Äkillisesti nouseva tai laskeva vesi todennäköisesti saa poikaset vaihtamaan paikkaa ja siten mahdollisesti nopeuttaa alasvaellusta verrattuna tilanteeseen, jossa vedenpinta pysyttelee samalla tasolla.

Kokemäenjoen haavintakartoituksen perusteella on ilmeistä, että vaellussiialla suhteellisen lyhytkin jokiosuus pystyy tuottamaan merkittävän määrän poikasia, koska soveltuvan poikashabitatin pinta-ala ei ole lisääntymismenestystä rajoittava tekijä.

6.6.2. Mädin hävikki talven aikana

Syksyllä Kokemäenjoessa havaitut mätitiheydet olivat korkeita verrattuna esimerkiksi Koitajoella (Huuskonen 2003) havaittuun keskimäärin 6 kpl/m² tiheyteen. Parhaassa Kokemäenjoen mätinäytteessä oli syksyllä 19 mätimunaa, eli 110 kpl / m². Vertailutietoja muiden virta-alueiden siian mätitiheyksistä ei ole olemassa, mutta järvalueilla Etelä-Saimaalla siian mätitiä oli enimmillään 4 kpl/m² (Viljanen 1985), Pyhäselällä noin 17 kpl/m² keväällä (Väisänen ym. 1994) ja Päijänteellä enimmillään syksyllä 5,2 kpl/m² (Valkeajärvi 2001). Heti kudun jälkeen mätitiheydet ovat suurimmillaan. Syksyllä kudetusta mädistä vain osa tuottaa poikasia, sillä talven aikana hautomisen aikainen kuolleisuus sekä kalojen ja muiden eläinten saalistus vähentää huomattavasti selviytyvän mädin määrää. Siian mätitiheyden vähenemisestä talven aikana ei ole olemassa tutkimustietoa. Muikulla vähenemän on havaittu loka-marraskuusta huhti-toukokuulle ulottuvalla ajanjaksolla olleen Puruvedessä noin 35 % ja Oulujärvessä 20–30 % vuosina 1968–1971 (Nissinen 1972). Kokemäenjoessa Lammaistenlahdella syksyn 2015 näytteenotossa mätitiä löytyi yhteensä 52 paikasta, joista 45 oli sellaisia, joissa mätitiä oli hedelmöittynyttä ja normaalisti kehittyvää. Keväällä 2016 pumppaustyö pyrittiin toistamaan samoissa paikoissa kuolleisuuden selvittämiseksi ja normaalisti kehittynyttä mätitiä löydettiin vain 11 paikasta eli 25 % alkuperäisistä näytepaikoista (n=47). Kehittymättä jäänyttä mätitiä löytyi lisäksi neljästä pai-

kasta. Lisäksi normaalisti kehittyneen mädin keskitiheys keväällä ($1,6 \text{ mätijyvää/m}^2$) oli huomattavasti alhaisempi kuin syksyn näytteenotossa (keskimääräinen tiheys $30,9 \text{ mätijyvää/m}^2$), jolloin mätihävikki näytepaikoilla talven aikana on ollut 94,8 %. Vaikka samalle näytteenottopaikalle kuin syksyllä oli keväällä hankala osua, sijoittuivat kevään näytteenottopisteet kuitenkin lähistölle, jolloin vähenemää voidaan pitää ainakin suuntaa antavana.

Mikkolan ym. (1979) kokeellisessa selvityksessä havaittiin, että siian mäti on ravintokohde mm. kaloille ja selkärangattomille, kuten vesiperhosten ja päivänkorentojen toukille, vesisiirille sen sijaan mädin kuoren arveltiin olevan liian kova. Luonnonvarakeskuksen merellä toteuttamissa kutusiikojen koekalastuksissa ahventen on havaittu kutupaikalla kutuaikaan syöneen lähes pelkästään siian mätiiä. Lammaistenlahden alueen kalalajistoon kuuluneen myös runsaasti särkikaloja, esimerkiksi lahna pohjaruokailijana todennäköisesti käyttää mätiiä ravintonaan. Fabriciuksen ja Lindrothin (1954) allaskokeessa myös siikojen havaittiin syövän mätiiä heti kudun jälkeen. Kudulla olleet siiat saattavat talvehdella Lammaistenlahdessa ja ylipäättään Kokemäenjoessa (Hurme 1970), joten ne saattavat särki- ja ahvenkalojen ohella syödä mätiiä merkittävässä määrin. Voimakkaat virtaamavaihtelut saattavat siirtää mätimunia epäsuotuisaan kohtaan, ja esimerkiksi sileälle hiekkapohjalle joutuessaan ne ovat saalistajille helpommin löydettävissä kudusta kuoriutumiseen ulottuvalla aikajaksolla.

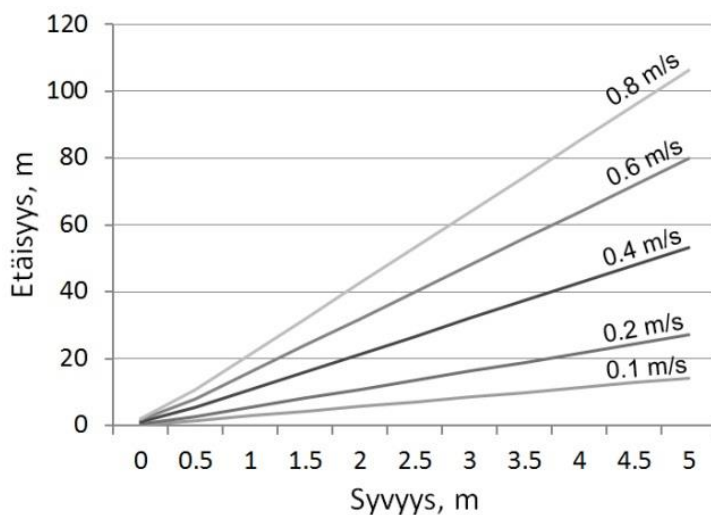
Kokemäenjoessa vuorokausisäännöstelyn vaikutuksesta virtaamavaihtelut ovat suuria ja lisäksi talvesta riippuen esimerkiksi voimakkaat sateet tai lumen sulaminen saattavat aiheuttaa virtaaman kasvattamistarpeen myös talviaikaan. Tutkimusjaksolla joulukuussa 2015 vuorokauden keskivirtaama kävi korkeimmillaan yli $500 \text{ m}^3/\text{s}$ tasolla ja helmikuussa 2016 lähes $500 \text{ m}^3/\text{s}$ tasolla, ollen noin viisinkertainen kutuajan virtaamaan nähden. Vaellussiian mäti ei ole hedelmöityttyään tarttuvaa ja se ei kiinnity pohjan rakenteisiin. Ennen hedelmöitymistä mäti on kevyesti tarttuvaa (Murray ym. 2013). On arvioitu, että noin $10\text{--}15 \text{ cm/s}$ virtausnopeus puoli metriä sedimentin pinnan yläpuolella on riittävä saamaan siian mätimunien liikkeelle (Ventling-Schwank & Livingstone 1994). Virtausolosuhteiden muuttuessa voimakkaasti kutuajan tilanteeseen nähden on mahdollista, että mäti siirtyy virran mukana uusiin paikkoihin, jotka virtaaman heikentyessä jäävät rauhallisen veden alueelle, erityisesti jos pohjalla ei ole riittävästi virtaukselta suojaavaa rakennetta, kuten kivikkoa. Tällöin mäti voi myös päätyä saalistajien saavutettavaksi talviaikaan.

Viistoluotauksen ja pohjakuvauksen perusteella heikon virtaaman alueella Lammaistenlahdella pohja koostuu hienojakoisesta aineksesta sekä hajoavasta orgaanisesta materiaalista. Pehmeällä pohjalla mätimunien kuolleisuus on usein korkein ja karkeammalla pohjalla pienempi (Mikkola ym. 1976, Shemeikka ym. 1978, Ventling-Schwank & Livingstone 1994). Sedimentin määrää arvioitiin pumppauksessa kertyvän pumppausjäännöksen perusteella, joka koostui pääasiassa hajoavasta orgaanisesta materiaalista, kuten puunkappaleista tai kasvimateriaalista. Varsinainen hajonnut aines ja hienojakoinen sedimentti meni pumpusta läpi. Pehmeän pohjan tunnistikin savenharmaasta pumppausvedestä ja ajoittain pumpun näytesivilyn tukkiutumisesta. Hienojakoisen sedimentin on runsaana määrinä todettu aiheuttavan mätimunien kuolleisuutta (Wilkonska & Zuromska 1982) mädin hengityksen estyessä (Müller 1992). Toisaalta Koitajoessa Huuskonen (2003) on havainnut, että siian mätipaikoilla pehmeän sedimentin määrä on ollut $2\text{--}3 \text{ cm}$, ja arvelee, että riittävän virtauksen vuoksi mädin kehittymiselle on edellytyksiä myös pehmeillä pohjilla. Müllerin (1992) mukaan mädin selviytyminen kytkeytyy lähinnä sedimentin pinnan happitilanteeseen, alhaisissa happipitoisuuksissa mädin hengitys estyy. Tämä puolestaan riippuu sedimentin rakenteesta (Jørgensen & Revsbech 1985).

Lämpötilamittauksen mukaan talvikuukausina lämpötila joenpohjalla laskee lähes nollaan, jolloin alkioiden kehitys on hidasta. Jos pohjalle pääsee muodostumaan alijäähtymistilanteissa jäätä, se todennäköisesti aiheuttaa mätimunien kuoleamisen. Ilmeisesti Lammaistenlahdella tällaisten olosuhteiden ilmeneminen ei ole tyypillistä, jolloin mätimunat riittävän syvällä ollessaan voivat lämpötilaolosuhteiden puolesta selviytyä. Mikäli kutuaikaan virtaama on korkea ja vedenpinta ylhäällä, on vaarana että osa kudetusta mädistä päätyy alueille, jotka minimivirtaamatilanteessa talvella jäävät jääkannen alle ja jäätyvät. Lammaistenlahdella tämä vaikuttanee lähinnä voimalaitoskanavan reuna-alueilla sekä mahdollisesti Lammaistenlahden saaren itäkärjessä olevalla matalalla alueella.

6.6.3. Lammaistenlahden kutu- ja mätialueen luonnehdinta

Lammaistenlahdella vaellussiian kutua havaittiin syksyllä 2014 mätirasioiden viennin yhteydessä voimalaitoskanavan alaosassa (Kuva 28), jossa virtaus hidastuu sekä muiden havaintojen (Mauri Aho, Länsi-Voiman kalaveikot) perusteella vähemmissä määrin Lammaistenlahdessa olevan saaren tasalla päävirrassa. Olettavaa on, että kutualue vaihtelee jonkin verran kutuajan virtaaman mukaan. Mikäli kutu tapahtuu pinnan tuntumassa, mäti voi ajautua kauas kutukohdasta virran mukana. Siianmädin vajoamisnopeus seisovassa vedessä on mätisuppilossa tehtyjen mittausten mukaan noin 3,8 cm/s. Jokiuomassa virtaus on luonteeltaan kaoottinen, mennessä välillä alas ja ylöspäin. Mädin kulkeutumisaluetta voidaan karkeasti haarukoida tasaisessa virtauksessa (Kuva 26). Pääasiallisesti kutualueeksi arvioidulla alueella syksyn mätipumppausten yhteydessä pintavirtaama vaihteli 1.0–0.06 m/s välillä, ja keskivirtaama oli 0,34 m/s. Lammaistenlahdella tehtyjen havaintojen ja muiden jokien tietojen, mm. Alterälvenin telemetriaselvitys 2015 (Andreas Broman Lst Norrbotten) ja Espoon- ja Mankinjoen siikamerkinnot 2014 (Aki Janatuisen graduaineisto), vaellussiian kutu sijoittuu tasaisesti virtaaville alueille, ei koskialueelle kuten lohella ja taimenella. Kutualueelta mäti voi virran mukana päätyä kymmenien metrien etäisyydelle alavirtaan kutukohdasta. Suurimmat mätitiheydet havaittiin tunnetun kutualueen alavirrassa, joten on todennäköistä, että pohjan muodot ja rakenne pysäyttävät mädin sen ajautuessa virran mukana.



Kuva 28. Siian mädin teoreettinen kulkeutumisetaisyys tasaisessa virtauksessa syvyyden funktiona.

Todennäköisesti mäti kuitenkin kasautuu pohjalla virran katvealueisiin, kuten syvyysprofiili- ja mätitiheyskuvasta (Kuva 25) on havaittavissa. Lammaistenlahden alaosissa mätiä esiintyy myös huomattavasti harvemmassa kuin voimalaitoskanavan jälkeisellä kivi-sora-hiekka-alueella, jossa virtausnopeus heikkenee. Mätipumppauksessa mädin kasautumakohtiin osuminen on sattumanvaraista, mutta aineiston perusteella suurin mätitiheys kerääntyy varsin rajatulle alueelle. Näytteenotossa ongelmana saattaa olla myös se, että lohkaropohjalta näytteenottosuuttimella on hankala saada riittävästi imua lohkaroiden väliin, tällöin suurten kivien välissä suojassa oleva mäti ei tule näytteeseen mukaan. Lammaistenlahdella lohkaropohjaa oli eniten voimalaitoskanavassa, jossa myös voimakas virtaus vaikeutti näytteenottoa.

Mätialueen mallinnuksen mukaan keskeiset mädin sijoittumiseen vaikuttavat muuttujat olivat pumppausjäännös ja pohjan tyyppi. Pumppausjäännös korreloi virtausnopeuden sekä pohjatyypin kanssa. Karkeilla lohkar- ja kivipohjilla orgaanisen aineksen määrä oli vähäinen, sen sijaan miedon virran tai lähes seisovan veden kohdilla pohja oli tyypillisesti hiesua tai pehmeää liejua, ja orgaanisen aineksen määrä suuri.

Mädin esiintymisalueella virtaama oli hitaampi, keskimäärin 0,17 m/s. Mallinnusalueella pohjanlaadun karkeus oli suurempi kuin 3,09, mikä tarkoittaa hiekkapohjaa ja karkeampaa ainesta, kuten soraa, kiveä ja lohkareita. Mätinäytteiden perusteella mätää sisältävissä paikoissa pohjanlaadun karkeus oli keskimäärin suurempi kuin 4 (Taulukko 10), joka keskimäärin vastaa sorapohjaa. Mädin tiheydet olivat kuitenkin suurimmat sora-kivipohjaksi luokitelluilla alueilla (Taulukko 12). Maa-aineksen raekoko on tällöin vaihtelevaa, koostuen sekä sorasta (noin 2 - 63 mm) ja kivistä (noin 63 – 200 mm) sekä paikoitellen isommista lohkareista. Havaintojen perusteella osa kudetusta mädistä, korkeinakin tiheyksinä päätyy hiekkapohjalle, mutta kevään näytteenotossa mätää ei tällaisilta alueilta enää löytynyt. On varsin oletettavaa, että Lammaistenlahden alueella vaellussiian kutualue määrittyy vallitsevan virtauksen perusteella. Kudettu mäti päätyy virran mukana pohjalle ja selviytyy soveltuissa kohdissa talven yli. Rakenteellisesti monimuotoinen pohja (sora-kivi) suojaa mätää saalistukselta ja jossain määrin myös virtaamavaihteluilta. Tasaisilla pohjilla tosin vaarana on soran- ja kivien välien täyttyminen virran mukana tulevalle hiesulle tai hiekalle vähäisen virtaaman kausina. Kutu-aikaan vallitseva vedenkorkeus ja virtaama saattaa määrittää mädin sijoittumisen. Korkealla vedellä on vaarana, että osa kudetusta mädistä jää talven alivirtaamatilanteessa jäätyvälle alueelle. Alleco Oy:n toteuttama pohjanlaadun kartoitus ja myöhemmin Luken viistokaikuluotaukset tuottivat erilaiset tulokset ja on mahdollista, että vuotuiset virtaamavaihtelut muokkaavat pohjaa ja liikuttavat erityisesti veden mukana kulkeutuvaa hiekkaa virran nopeuden mukaan säätyville alueille. Padoituksissa ja säännöstelyissä jokivesissä voimakasta ylivirtaamaa on jopa esitetty käytettäväksi kutualueiden puhdistamisessa ennen kutuajankohtaa (Nelson ym. 1987).

7. Siian luonnontuotannon parantamiseen tarvittavat selvitykset

7.1.1. Luonnontuotannon määrän arviointi

Vuodesta 2017 alkaen käytössä oleva Harjavallan voimalaitoksen yhteydessä oleva mätihautomo mahdollistaa joen luontaisen poikastuotannon tason määrittämisen. Aiemmin kun haudonta on tapahtunut Keminmaalla, on istutuspoikasten kuoriutuminen ja istutus tapahtunut vuosina 2011–2016 27.4.–18.5. välisenä aikana, mikä on noin 1-4 viikkoa myöhemmin kuin poikashaavintoissa vuosina 2014–2016 havaittu luontaisen kuoriutumisen pääjakso. Haudonnan tapahtuessa Kokemäenjoella kuoriutuminen ajoittunee jokiveden samansuuruisten lämpötilojen vaikutuksesta luontaisen lisääntymisen kanssa yhdenmukaiseen jaksoon. Tällöin merkintä-takaisinpyyntikokeella voitaisiin arvioida vaellussiian luontaisen lisääntymisen nykytila Kokemäenjoessa. Kokeessa merkittyjen istutuspoikasten ja merkitsemättömien luonnonpoikasten lukumääräsuhteiden perusteella voidaan laskea luonnonpoikasten arvioitu määrä. Aiemmin vastaavia kokeita on toteutettu mm. Simojoella (Lehtonen ym. 1992) ja Kymijoenjoella (Raunio & Nyberg 2013). Näissä tutkimuksissa merkintä oli tehty radioaktiivisella strontiumilla, mutta se on mahdollista toteuttaa myös kylvettämällä siianpoikaset alitsariinivärsissä ennen vapautusta (Keränen 2004). Tällöin siianpoikasen kuuloluuhun, otoliittiin imeytyy punainen merkkiväri, joka on mahdollista erottaa fluoresenssimikroskoopilla. Kalan jälkikäyttöä merkintä alitsariinilla ei haittaa millään tavalla eikä merkki näy pienpoikasvaiheen ohittaneessa kalassa ulospäin. Merkintä-takaisinpyyntikoe tulisi toteuttaa ainakin kolmena perättäisenä vuonna luontaisen poikastuotannon vaihtelun seuraamiseksi. Poikasten pyydystäminen joesta on mahdollista tehdä haavipyynnillä ja tarvittaessa virtaan asennettavilla ajepyydyksillä. Luonnontuotannon määrän arviointi on edellytys mahdollisten kutualuekunnostusten tulosten seurannalle pitkällä aikavälillä.

7.1.2. Kokemäenjoen siian kutualueiden kartoittaminen

Havaintoja siian kudusta on myös muilla Kokemäenjoen virta-alueilla kuin Lammaistenlahdella (Kimmo Puosi, suullinen kommentti). Nykyiset kutualueet on mahdollista havaita radiotelemetriaseurannalla, jossa riittävä määrä syksyllä jokeen nousevia siikoja merkittäisiin radiolähettimellä ja niiden liikkeitä seurattaisiin automaattisilla seuranta-aseilla sekä tarkemmilla käsipeilauksilla kutuun saakka. Vaellussiian osalta menetelmää on kokeiltu esimerkiksi Ruotsissa Alterälvenillä 2015 ja Suomessa Tornionjoella 2016. Molemmilla joilla siikojen telemetriaseurannalla on onnistuttu seuraamaan siikojen ja jäljittämään todennäköiset kutualueet, mutta tutkimushankkeet ovat vielä kirjoittamishetkellä (2017) kesken. Telemetriaseurannassa merkittävän kalamäärän tulisi yhtenä kutunousujaksona olla noin 50–100 kpl ja seuranta pitäisi toistaa kahtena vuonna. Kun kalojen suosimat muut kutualueet tunnetaan, ne ja lähialue tulisi viistokaikuluodata pohjan rakenteen kartoittamiseksi, vastaavalla tavalla kuin tässä raportissa on esitetty. Telemetriaselvitys antaisi lisätietoa Kokemäenjoen nykyisestä, vaellussiiialle käyttökelpoisesta lisääntymisalueen pinta-alasta ja tukisi siten nykyisen luonnonlisääntymisen kapasiteetin arviointia.

7.1.3. Kunnostustoimenpiteet ja seuranta

Kokemäenjoki on raskaasti muokattu joki, jota kalojen kannalta vedenlaadun lisäksi rasittaa sähkövoimantuotannon aiheuttama huomattava vuorokausisäännöstely. Poikashaavintojen ja mätikartoituksen perusteella edellytykset vaellussiian luonnonlisääntymiselle ovat nykytilassakin olemassa. Vaellussiian nousu pysähtyy Harjavallan voimalaitoksen alle, mutta padon ja jokisuun välissä 36 km matkalla on kaksi laajempaa koskialuetta ja neljä vuolletta tai virtapaikkaa voimalaitoksen alaosan lisäksi.

Lammaistenlahtea lukuun ottamatta muiden virta-alueiden pohjan rakennetta ei tiettävästi ole kartoitettu. Lammaistenlahden viistokaikuluotauksessa selvisi, että voimalaitoskanava ja melko laaja alue sen alapuolella on rakenteeltaan soraa tai kiveä ja virran reuna-alueilla todennäköisesti tulvien mukanaan tuomaa hiekkaa. Nykytilanteessa siian mädin hävikki talven aikana Lammaistenlahdella on erittäin suuri. On mahdollista, että muuttamalla Lammaistenlahden päävirran pohjan rakennetta karkeammaksi mädin selviytymistodennäköisyyttä voitaisiin kasvattaa. Tällöin mädillemme jäisi kivien suojaan virranhuopeita ja koloja, joissa se olisi suojassa ainakin kalojen aiheuttamalta predaatiolta, eikä myöskään lähtisi liikkeelle ylivirtaamatilanteissa yhtä herkästi kuin tasaisemmalta pohjalta.

Yhdysvalloissa Suurilla Järvillä vastaavia kunnostushankkeita on toteutettu pääasiassa sampikalojen lisääntymismahdollisuuksien ennallistamiseksi (Manny 2006, Roseman ym. 2011, Manny et al. 2015), mutta samalla myös esimerkiksi valkosilmäkuha (*Sander vitreus*) ja sillisiika (*Coregonus clupeaformis*) ovat käyttäneet riuttoja lisääntymisessä. Isojen Järvien St.Clair-joelle rakennetut riutat ovat olleet noin 40 m pitkiä, 13 m leveitä ja 0,5–0,7 m korkeita, tosin joen virtaamakin on valtava 5200 m³/s. Rakennetut riutat ovat koostuneet pääasiassa 10–20 cm kokoisesta, louhitusta kalkkikivestä, ja ne on sijoitettu kohtiin, joissa veden virtausnopeus on noin 0,8 m/s.

Sammelle tehtyjä kunnostustoimenpiteitä ja habitaattivaatimuksia ei suoraan voida soveltaa vaellussiialle, mutta kunnostusprosessi ja seuranta ovat rakenteeltaan samankaltaiset. Soveltuviin paikkoihin rakennetut virran suuntaiset kiviriutat voisivat toimia vaellussiiian kutu- ja mädin kehitymisalueina. Ennen kunnostuksia vaellussiialle tulisi määrittää kutualueen habitaatin minimivaatimus, jossa määritellään sopivan pohjamateriaalien karkeus, soveltuvan alueen minimikoko sekä sopivan virran nopeuden vaihteluväli. Erityisesti virran nopeuteen tulisi kiinnittää huomiota riutan suunnittelussa, sillä olosuhteiden vaihtelun tunteminen on edellytys kestävien rakenteiden suunnittelulle. Kuturiuttojen rakentamista ajatellen tulisi määrittää tulvavirtaamissa pohjassa paikallaan pysyvän kiviaineksen minimikoko. Suunnittelussa pitäisi myös huomioida keinotekoisien rakenteiden talven jäätymisolosuhteisiin mahdollisesti aiheuttamat muutokset. Jokuomassa virtausmittauksia pystytään toteuttamaan teknisesti akustisella mittauksella (ACDP, Acoustic Doppler Current Profiler) ja menetelmällä virtaustiedot voidaan yleistää karttatasoksi. Tiettävästi Kokemäenjoessa tällaisia virtausmittauksia on tehty esimerkiksi Arantilankosken yläosassa. Yhdistämällä virtaus, syvyys ja pohjan tyyppi, voidaan keinotekoiset kuturiutat muotoilla ja sijoittaa optimaalisesti mätiä haittaavan sedimentaation vähentämiseksi.

Lammaistenlahden vaellussiiian kutualue selvitys on ensimmäinen askel siian kutualueiden kunnostuksen suuntaan, mutta mahdollisia toimenpiteitä ajatellen tarvitaan vielä lisätietoa myös muista joista ja vaellussiiian käyttämisestä luontaisista kutuhabitaateista. Kokemäenjoen siikakantojen hoidossa tulisi ylläpitää kalastettavaa kantaa istutuksin, mutta pyrkiä kasvattamaan luonnontuotanto mahdollisimman suureksi kannan monimuotoisuuden vaalimiseksi. Soveltuvien kutualueiden pinta-alan kasvattaminen lisäisi todennäköisesti siian luontaisen lisääntymisen tuottoa voimalaitoksen alapuolisella alueella ja saattaisi vaikuttaa myös muiden vaelluskalojen poikastuotantoon suotuisasti.

8. Kiitokset

Kokemäenjoen vaellussiikaan liittyvän selvityksen teossa pitkän ajan kokemusta ja tietoa sekä apua käytännön töiden järjestelyissä on saatu Länsi-Voiman kalaveikkojen Mauri Aholta, Pro Agria Länsi-Suomen kalastusmestari Kimmo Puosi antoi tietoja siian muista mahdollisista kutupaikoista, UPM Energy / Harjavallan voimalaitokselle kiitos yhteistyöstä ja virtauksen säätämisestä sopivaksi näytteenoton aikana. Hannu Huuskonen Joensuun Yliopistosta toi mätipumpun myös Luken nuoremman polven tutkijoiden tietoon. Varsinais-Suomen ELY -keskus rahoitti tutkimusta. Metsähallituksen Vaasan toimipaikka vuokrasi viistokaikuluotaimen pohjan kartoitukseen. Erityiskiitos Erkki Jokikokolle, Alpo Huhmarniemelle ja Mikko Jaukkurille Luonnonvarakeskuksen Keminmaan ja Oulun toimipaikoista. Luken tilastotuki auttoi työhön liittyvien analyysien ja mallien kanssa.

9. Kirjallisuus

- Blaxter, J. H. S. 1992. The effect of temperature on larval fishes. *Netherlands Journal of Zoology* 42, 336–357.
- Blondel, P. 2009. *Handbook of Sidescan Sonar*. Springer-Praxis. New York.
- 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, J. H. Friedman, R. A. Olshen & Stone C.J. 1984. *Classification and Regression Trees*. Chapman & Hall, New York.
- Czerkies, P., Brzuzan, P., Kordalski, K. & Luczynski, M. 2001. Critical partial pressures of oxygen causing precocious hatching in *Coregonus lavaretus* and *C. albula* embryos. *Aquaculture* 196, 151–158.
- Cushing, D. H. 1990. Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. *Advances in marine biology*, 26, 249–293.
- Dabrowski, K. 1985. Can coregonid fish larvae feed under the ice? *Arch. Hydrobiol.* 104/3, 427–432.
- Finn, R. N. 2007. The physiology and toxicology of salmonid eggs and larvae in relation to water quality criteria. *Aquatic Toxicology* 81, 337–354.
- Fish, J. P. & Carr, H. A. 1990. *Sound underwater images*. Lower Cape Publishing, Orleans, Massachusetts.
- Hamor, T. & Garside, E. T. 1976. Developmental rates of embryos of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in response to various levels of temperature, dissolved oxygen, and water exchange. *Canadian Journal of Zoology* 54, 1912–1917.
- Harjunpää, H. & Leskelä, A. 2012. Kokemäenjoen (ja vähän Raumankin) siikamerkinnot. Esitelmä 15.3.2012, Kokemäenjoen kalakantojen hoito-ohjelman seurantaryhmän kokous.
- Honkasalo, L., Pennanen, J. ja Lappalainen, A. 1990. Kokemäenjoen kala- ja nahkiaiskannoille aiheutuneet vahingot ja niiden kompensointi. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Kalantutkimus-osasto, Monistettuja julkaisuja Nro 83. 104 s.
- Hudd R, Leskelä A, Wiik T, Lehtonen H 1992. Food of European whitefish (*Coregonus lavaretus* widegreni) larvae and fry in the southern Bothnian Bay (Baltic). *Polish Archives for Hydrobiology* 39: 473–478.
- Humminbird 2007. 798c and 798ci SI Combo Operations Manual Operations Manual. <http://www.humminbird.com/Category/Support/Product-Manuals/> [date 1.3.2017].
- Hurme, S. 1970. Tietoja siikataloudesta Selkämeren Suomen-puoleisella rannikolla. Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimustoimisto. Monistettuja julkaisuja N:o 39.
- Huuskonen, H. 2004. Siikakalojen määrittelys Koitajoella syksyllä 2003. Joensuun yliopisto. Karjalan tutkimuslaitos, Ekologian osasto. 11 s.
- Huuskonen, H. & Ratilainen, K. 2003: Koitajoen planktonsiian kutupaikkojen tila vuonna 2003. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuslaitos, Ekologian osasto, 14 s.
- John, K. R., & Hasler, A. D. 1956. Observations on Some Factors Affecting the Hatching of Eggs and the Survival of Young Shallow-Water Cisco, *Leucichthys artedii* LeSueur, in Lake Mendota, Wisconsin. *Limnology and Oceanography*, 1(3), 176–194.
- 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*, 117–125.
- Jørgensen, B.B. & Revsbech, N.P. 1985: Diffusive boundary layers and the oxygen uptake of sediments and detritus. *Limnological Oceanography* 30: 111–122.
- Kallio-Nyberg, I. & Koljonen, M. L. 1988. A stock registry for Finnish whitefish. *Finnish Fisheries Research*, 9, 49–60.
- Kaesler, A. J., & Litts, T. L. 2010. A novel technique for mapping habitat in navigable streams using low-cost side scan sonar. *Fisheries*, 35(4): 163–174.
- Kaesler, A. J., Litts, T. L., & Tracy, T. W. 2013. Using low-cost side-scan sonar for benthic mapping throughout the lower Flint River, Georgia, USA. *River Research and Applications*, 29(5): 634–644.
- Kaesler, A. J., & Litts, T. L. 2013. An illustrated guide to low-cost, side scan sonar habitat mapping. In *Continuing Education Workshop*. Retrieved from: <http://www.fws.gov/panamacity/resources/An%20Illustrated%20Guide%20to%20Low-Cost%20Sonar%20Habitat%20Mapping%20v1> (Vol. 1) [date 01.03.2017].

- Keinänen, M., Tigerstedt, C., Kålx, P. & Vuorinen, P. J. 2003. Fertilization and embryonic development of whitefish (*Coregonus lavaretus lavaretus*) in acidic low-ionic-strengthwater with aluminium. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 55, 314–329.
- 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).
- Laustrop, M. S., R. B. Jacobson, and D. G. Simpkins. 2007. Distribution of potential spawning habitat for sturgeon in the lower Missouri River, 2003–2006. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Lehtonen, H. 1981. Biology and stock assessments of Coregonids by the Baltic Coast of Finland. *Finnish Fisheries Research* 3: 31–83.
- Lehtonen, H. & Himberg, M. K.-J. 1992: Baltic sea migration patterns of anadromous *Coregonus lavaretus* L. s.str. and sea-spawning European whitefish C.I. widegreni Malmgren. In: T.N. Todd and M. Luczynski (eds.) *Biology and management of Coregonid Fishes*. Polish Archives of Hydrobiologia 39(3,4): 463–472.
- 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.
- Lindroth, A. 1957. A study of the whitefish (*Coregonus*) of the Sundsvall Bay district. Institute of Freshwater Research Drottningholm Report 38: 70–108.
- Keränen, P. 2004. Alitsariinipunainen S (ARS) -väriaineella merkittyjen kalojen otoliittien tulkinta fluoresenssimikroskopiolla. *Kalatutkimuksia – fiskundersökningar* 192. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki.
- Korhonen, J. & Haavanlammi, E. (toim.) 2012. Hydrologinen vuosikirja 2006–2010. Suomen ympäristö 8 / 2012. Suomen ympäristökeskus. 234 s.
- Lehtonen, H. 1996. Potential effects of global warming on northern European freshwaterfish and fisheries. *Fisheries Management and Ecology* 3: 59–71.
- 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.
- Lindroth, A. 1946. Zur Biologie der Befruchtung und Entwicklung beim Hecht- (gäddansbe-fruktnings- och utvecklingsbiologi samt gäddkläckning i glas). *Meddelanden från Statens undersöknings- och försöksanstalt för sötvattensfisket (Mitteilungen der Anstalt für Binnenfischerei bei Drottningholm, Stockholm)* 24.
- Leonardsson, K., Hudd, R., Veneranta, L., Huhmarniemi, A., & Jokikokko, E. 2016. Optimal time and sample allocation for uncohort fish larvae, sea-spawning whitefish (*Coregonus lavaretus* sl.) as a case study. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 73(2), 374–383.
- Leskelä, A. 2015. Kokemäenjoen ja Rauman edusta siian velvoiteistutusten tuloksellisuus. *Projekti 523036 Loppuraportti 31.5.2015*. Luonnonvarakeskus.
- Luczynski, M. 1985. Survival of *Coregonus albula* (L.)(Teleostei) embryos incubated at different thermal conditions. *Hydrobiologia*, 121(1), 51–58.
- Luczynski, M. & Kolman, R., 1987: Hatching of *Coregonus albula* and *C. lavaretus* embryos at different stages of development. *Environmental Biology of Fishes*, 19: 309–315.
- Manny, B. A. 2006. Monitoring element of the Belle Isle/Detroit River sturgeon habitat restoration, monitoring, and education project. Research completion report to Michigan Sea Grant Program, Ann Arbor, Michigan.
- Manny, B. A., Roseman, E. F., Kennedy, G., Boase, J. C., Craig, J. M., Bennion, D. H., & Ellison, R. 2015. A scientific basis for restoring fish spawning habitat in the St. Clair and Detroit Rivers of the Laurentian Great Lakes. *Restoration Ecology*, 23(2): 149–156.
- Mikkola, H., Oksman, H., & Shemeikka, P. 1976. Vaikuttaako pohjan laatu muikun mädin kehittymiseen. *Suomen Kalastuslehti* 83: 130–133.
- Mikkola, H., Oksman, H. & Shemeikka, P. 1979. Experimental study of mortality in vendace and whitefish eggs through predation by bottom fauna and fish. *Aqua Fennica*, 9: 68–72.
- Mitikka, S. & Niemi, J. 2013. Jokien vedenlaadun seurannan julkaistuja tuloksia. [<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B85FE965B-D85A-4212-AE47-01DA8EAD092C%7D/57547>]. Tarkistettu 27.2.2017.
- Müller, R. 1992. Trophic state and its implications for natural reproduction of salmonid fish. In *The Dynamics and Use of Lacustrine Ecosystems*. s. 261–268. Springer Netherlands.

- Murray, D.S., Bain, M.M., & Adams, C.E. 2013. Adhesion mechanisms in European whitefish *Coregonus lavaretus* eggs: is this a survival mechanism for high-energy spawning grounds? *Journal of fish biology*, 83(5): 1221–1233.
- 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.
- Nelson, R. W., Dwyer, J. R., & Greenberg, W. E. 1987. Regulated flushing in a gravel-bed river for channel habitat maintenance: a Trinity River fisheries case study. *Environmental Management*, 11(4): 479–493.
- Nissinen, T. 1972. Mätitiheys ja mädin eloonjääminen muikun (*Coregonus albula* L.) kutupaikoilla Purvedessä ja Oulujärvessä. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston tiedonantoja 1: 114 s.
- Olsson, J., Florin, A. B., Mo, K., Aho, T., & Ryman, N. 2012. Genetic structure of whitefish (*Coregonus maraena*) in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 97, 104–113.
- Price, J.W. 1940. Time-temperature relations in the incubation of whitefish, *Coregonus clupeaformis* (Mitchill). *Journal of general Physiology* 23:449–468.
- R Core Team 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Raunio, J. & Nyberg, K. 2013. Kymijoen Langinkoskenhaaran vaellussiian poikastuotanto vuonna 2013. Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tutkimusraportti no 213/2013.
- Richter, J.T., Sloss, B.L. & Isermann, D.A. 2016. Validation of a Side-Scan Sonar Method for Quantifying Walleye Spawning Habitat Availability in the Littoral Zone of Northern Wisconsin Lakes. *North American Journal of Fisheries Management*, 36:4, 942–950, DOI: 10.1080/02755947.2016.1173141
- Rombough, P. J. 1988. Respiratory gas exchange, aerobic metabolism, and effects of hypoxia during early life. In *Fish Physiology*, Vol XI (Hoar, W. S. & Randall, D. J., eds), pp. 59–161. London: Academic Press.
- Roseman, E. F., Manny, B., Boase, J., Child, M., Kennedy, G., Craig, J. & Drouin, R. 2011. Lake sturgeon response to a spawning reef constructed in the Detroit River. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(s2), 66–76.
- Salminen, A. 1947. Satakunnan rannikon kalastus. – *Suomen Kalastuslehti* 54, 18–19.
- Shemeikka, P., Oksman, H. & Mikkola, H. 1978. Muikun ja siian mädin hautoutumiseen vaikuttavista tekijöistä ja muikun kannanvaihteluiden syistä. *Savon Luonto* 10: 23–39.
- Siikatyöryhmän mietintö 2013. Työryhmämuistio MMM 2013:2. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki.
- Säisä, M., Rönn, J., Aho, T., Björklund, M., Pasanen, P., & Koljonen, M. L. 2008. Genetic differentiation among European whitefish ecotypes based on microsatellite data. *Hereditas*, 145(2): 69–83.
- Therneau, T., Atkinson, B. & Ripley, B 2015. Rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees. R package version 4.1-10. <https://CRAN.R-project.org/package=rpart>
- Tiitinen, J. 1982. Muikkukantojen runsaudentvaihtelut Lappajärvessä mätitutkimusten ja saalistietojen perusteella. *Vesihallituksen tiedotus* 220, 78 s.
- Tikkanen, P. & Hellsten, S. 1987. Muikun kutualueista ja mädin selvitymisestä Kemijärvessä vuosina 1982–1985. Kemijärven biologis-kalataloudellinen tutkimus, kalataloudellinen osatutkimus. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, kalatutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 68/1987, toim. Viljo Nyland.
- Timola, O. 1983. Paineilmalaite mädin pumppaamiseen pohjalta. *Suomen Kalastuslehti* 90/3, 84–85.
- Toiviainen, A. 2015. Kahden Koitajoen vesistöalueella esiintyvän siikamuodon (*Coregonus lavaretus*) risteymien elinvoimaisuus. Pro gradu-tutkielma. Itä-Suomen yliopisto, Biologian laitos, 23 s.
- Toots, H. 1949. Undersökningar på siklekplatser / en sikrumpump. *Svensk Fiskeri Tidskrift* nr 6/7, Juni-Juli 1949.
- Urho, L., Pennanen, J. T. & Koljonen, M. L. 2010. Fish. In: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (eds.). *The 2010 Red List of Finnish Species*. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. p. 336–343.
- Valkeajärvi, P., Riikonen, R. & Keskinen, T. 2001. Siian kutosyvyys ja säännöstelyn vaikutus siikaan Päijänteessä. Kala- ja riistaraportteja nro 232. Laukaa 2001.
- Veneranta, L., Urho, L., Koho, J., & Hudd, R. 2013. Spawning and hatching temperatures of whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) in the Northern Baltic Sea. *Advances in Limnology*, 39–55.

- 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.
- Vesistöennusteet 2017. Kokemäenjoen vesistöalue - Harjavalta
[<http://www.i2.ymparisto.fi/i2/35/q3510450y/wqfi.html>]. Tarkistettu 27.2.2017.
- Viljanen, M. 1985: Muikun ja siian mädin ja poikasten esiintyminen Etelä-Saimaalla. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuslaitoksen julkaisuja n:o 71: 233–245.
- Väisänen, P., Karjalainen, J. & Viljanen, M. 1994: Mätitiheydet Kallavedellä Kallan siltojen alueella vuonna 1994. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuslaitos, Ekologian osasto, 12
- Wilkonska, H., & Zuromska, H. 1982. Effect of environmental factors and egg quality on the mortality of spawn in *Coregonus albula* (L.) and *Coregonus lavaretus* (L.) [Poland]. *Polish Archives of Hydrobiology*.
- Zuromska, H. 1982. Conditions of natural reproduction of *Coregonus albula* (L.) and *Coregonus lavaretus* (L.) [in Polish]. *Polish Archives of Hydrobiology*.



Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000