

Opinnäytetyö AMK

Energia- ja ympäristötekniikka

2021

Anne-Marie Tuominen

KALANKASVATUKSEN PAIKALLISET VAIKUTUKSET VEDENLAATUUN

Mittaukset Saaristomerellä 2020

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Energia- ja ympäristötekniikka | Insinööri (AMK)

2021 | 83 sivua, 1 liitesivu

Anne-Marie Tuominen

KALANKASVATUKSEN PAIKALLISET VAIKUTUKSET VEDENLAATUUN

Mittaukset Saaristomerellä 2020

Opinnäytetyössä selvitetään kalankasvatuksen paikallisia vaikutuksia vedenlaatuun pääasiassa Saaristomeren alueella. Työn toimeksiantaja on Luonnonvarakeskus. Tutkimustuloksia on tarkoitus käyttää kalankasvatuslaitosten kestävä tuotantomäärän suunnittelussa.

Mittauksia on tehty kuudella eri alueella, joissa toimii yhteensä yhdeksän kalankasvatuslaitosta. Vedenlaatua tarkastellaan a-klorofyllin, sameuden, hapen sekä kokonaisravinteiden mittaustulosten avulla. Mittauksia on tehty kesä-syyskuussa 2020 kenttämittareilla, jatkuvatoimisilla ympäristöpoijuilla sekä vesinäytteistä laboratoriomittauksilla.

Tutkimuksessa tarkastellaan, näkyykö kalankasvatuksen vaikutus vedenlaatuun erityisesti laitoksen lähellä verrattuna eri etäisyyksien mittauspisteisiin ja selvitettiin vaikutusetäisyyttä.

Kalankasvatuksen vaikutus ei näy selvästi mittaustuloksissa. Tuloksista ei ole havaittavissa heikompaa vedenlaatua kalankasvattamoiden lähistöllä verrattuna kauempana sijaitseviin mittauspisteisiin, vaan erilaiset vedenlaatuarvot jakautuvat satunnaisemmin mittausalueilla. Vedenlaatuun saattavat vaikuttaa enemmän mittausalueiden ulkopuoliset tekijät, kuten laajempien vesimassojen liikkuminen virtausten mukana, muut kuormituslähteet sekä taustapitoisuudet.

ASIASANAT:

vedenlaatu, vesistövaikutusten arviointi, vesienhoito, pintavesi, kalankasvatus, kalanviljely, vesiviljely (kalatalous)

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and environmental engineering

2021 | 83 pages, 1 page in appendices

Anne-Marie Tuominen

LOCAL EFFECTS OF FISH FARMING ON WATER QUALITY

Measurements in the Archipelago Sea region 2020

The thesis examines the local effects of fish farming on water quality mainly in the Archipelago Sea region. The study was ordered by the Natural Resources Institute of Finland. The results of the research are intended to be used in designing sustainable production volumes for fish farming plants.

Water quality measurements have been taken in six different areas where a total of nine fish farming plants operate. Water quality is considered using measurement results for a-chlorophyll, turbidity, oxygen, and total nutrients. Measurements have been made between June and September 2020 using fieldmeters, continuously operating environmental buoys, and laboratory measurements of water samples.

The study examined how fish farming impacts water quality, and the range of the impact, by comparing water quality measurements taken at different distances from the plants.

The effect of fish farming is not clearly reflected in the measurement results. The results do not show lower water quality in the vicinity of fish farming plants compared to measurement points further away. Instead, different water quality values are distributed rather randomly in measurement areas. Water quality may be influenced more by factors outside the measurement areas, such as the movement of larger water masses with currents, other sources of load, and background concentrations.

KEYWORDS:

water quality, waterbody impact assessment, water management, surface water, fish farming, fish culture, aquaculture (fishery)

SISÄLTÖ

| | |
|---|-----------|
| KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO | 8 |
| 1 JOHDANTO | 9 |
| 2 TUTKIMUKSEN TAUSTAA | 10 |
| 2.1 Itämeren ja Saaristomeren tila ja vedenlaadun tavoitteet | 10 |
| 2.1.1 Itämeren ja Saaristomeren ravinnekuormitus ja kalankasvatuksen osuus kokonaiskuormituksesta | 11 |
| 2.1.2 Itämeren tila | 12 |
| 2.1.3 Vedenlaadun tavoitteet | 17 |
| 2.2 Kalankasvatus Suomessa | 18 |
| 2.2.1 Kalankasvatuksen kestäväälle kasvulle on kysyntää | 18 |
| 2.2.2. Kalankasvatuksen määrä Suomessa | 19 |
| 2.2.3 Kalankasvatuksen ympäristövaikutuksia | 21 |
| 2.2.4 Keinoja vähentää kalankasvatuksen ympäristövaikutuksia | 23 |
| 3 AIEMPIA TUTKIMUKSIA ALUEELTA | 25 |
| 4 VEDENLAADUN TUTKIMUSMENETELMÄT | 28 |
| 4.1 Vedenlaadun mittausmenetelmät | 29 |
| 4.1.1 Kannettavat vedenlaatumittarit | 29 |
| 4.1.2 Ympäristöpoijut | 29 |
| 4.1.3 Laboratorionäytteet | 29 |
| 4.1.4 Satelliitti- ja dronekuvaukset | 30 |
| 4.2 Mitattavia parametreja | 30 |
| 4.2.1 A-klorofylli | 30 |
| 4.2.2 Sameus | 31 |
| 4.2.3 Happi | 32 |
| 4.2.4 Kokonaisravinteet P ja N | 33 |
| 5 NÄYTTEENOTTO JA AINEISTON KÄSITTELY | 34 |
| 5.1 Kenttämittaus ja vesinäytteenotto | 34 |
| 5.2 Aineiston käsittely | 36 |
| 6 MITTAUSTULOKSET | 39 |

| | |
|---|----|
| 6.1 Korra, Kustavi | 40 |
| 6.1.1 A-klorofylli | 41 |
| 6.1.2 Sameus | 43 |
| 6.1.3 Happi | 46 |
| 6.1.4 P ja N | 46 |
| 6.2 Loukeenkari, Kustavi | 47 |
| 6.2.1 A-klorofylli | 48 |
| 6.2.2 Sameus | 49 |
| 6.2.3 Happi | 50 |
| 6.2.4 P ja N | 51 |
| 6.3 Märkklobb, Brändö | 51 |
| 6.3.1 Klorofylli | 52 |
| 6.3.2 Sameus | 56 |
| 6.3.3 Happi | 58 |
| 6.3.4 P ja N | 59 |
| 6.4 Hämmärsalmi, Naantali | 60 |
| 6.4.1 A-klorofylli ja sameus | 61 |
| 6.4.2 Happi | 65 |
| 6.4.3 P ja N | 65 |
| 6.5 Ströömi, Kustavi | 66 |
| 6.5.1 A-klorofylli, sameus ja happi | 67 |
| 6.5.2 P ja N | 69 |
| 6.6 Alörarna, Parainen | 70 |
| 6.6.1 A-klorofylli, sameus ja happi | 71 |
| 6.6.2 P ja N | 73 |
| 6.7 Kaikkien kohteiden laboratoriomittaukset | 74 |
| 7 HAVAINTOJEN YHTEENVETO | 77 |
| 8 PÄÄTELMÄT | 81 |
| LÄHTEET | 82 |
| | |
| LIITTEET | |

KUVAT

| | |
|---|----|
| Kuva 1. Arvio rannikkovesien ekologisesta tilasta (Vesikartta-palvelu 2020). | 14 |
| Kuva 2. Rehevöitymisen tilanarviossa käytetyt indikaattoriryhmät ja indikaattorit avomerialueilla ja rannikkovesillä (Korpinen ym. 2019, 119). | 15 |
| Kuva 3. Kuva Suomen rannikkovesi- ja avomerialueet ovat rehevöitymistilan kokonaisarvion mukaan heikossa tilassa (Korpinen ym. 2019, 118). | 15 |
| Kuva 4. Lounaisen Suomen kalankasvattamot 2020. Karttapohja MML. | 20 |
| Kuva 5. Kalankasvatuksen kokonaiskuormitus ja ominaiskuormitus vuosilta 1980–2015 (Ympäristöministeriö 2020, 21). | 21 |
| Kuva 6. Tutkittavien kalankasvattamoiden sijainnit kartalla. Karttapohja MML. | 36 |
| Kuva 7. Korran kalankasvattamo Kihdin merialueella. Karttapohja MML. | 40 |
| Kuva 8. A-klorofylli, Korra 13.7.2020. Karttapohja MML. | 41 |
| Kuva 9. A-klorofylli, Korra 19.8.2020. Karttapohja MML. | 42 |
| Kuva 10. A-klorofylli, Korra 20.8.2020. Karttapohja MML. | 42 |
| Kuva 11. A-klorofylli, Korra 9.9.2020. Karttapohja MML. | 43 |
| Kuva 12. Sameus (kalibroitu), Korra 13.7.2020. Karttapohja MML. | 44 |
| Kuva 13. Sameus (kalibroitu), Korra 19.8.2020. Karttapohja MML. | 44 |
| Kuva 14. Sameus (kalibroitu), Korra 20.8.2020. Karttapohja MML. | 45 |
| Kuva 15. Sameus (kalibroitu), Korra 9.9.2020. Karttapohja MML. | 45 |
| Kuva 16. Korran happipitoisuus eri syvyyksissä, keskiarvot heinä-syyskuussa 2020. | 46 |
| Kuva 17. Karttakuva Loukeenkari kalankasvattamosta. Karttapohja MML. | 47 |
| Kuva 18. A-klorofylli, Loukeenkari 13.7.2020. Karttapohja MML. | 48 |
| Kuva 19. A-klorofylli, Loukeenkari 19.8.2020. Karttapohja MML. | 49 |
| Kuva 20. Sameus (kalibroitu), Loukeenkari 13.7.2020. Karttapohja MML. | 49 |
| Kuva 21. Sameus (kalibroitu), Loukeenkari 19.8.2020. Karttapohja MML. | 50 |
| Kuva 22. Loukeenkari happipitoisuus heinä- ja elokuussa 2020. | 50 |
| Kuva 23. Märrklobbin kalankasvatuslaitokset sekä ympäristöpoiju kartalla. Karttapohja MML. | 52 |
| Kuva 24. A-klorofylli, Märrklobb 20.8.2020. Karttapohja MML. | 53 |
| Kuva 25. A-klorofylli, Märrklobb 7.9.2020. Karttapohja MML. | 54 |
| Kuva 26. A-klorofylli, Märrklobb 8.9.2020. Karttapohja MML. | 54 |
| Kuva 27. Märrklobbin poijun mittaama a-klorofyllipitoisuus 11.8.-14.9.2020. | 55 |
| Kuva 28. Syvyysprofiili a-klorofyllin pitoisuudesta. Märrklobb 7.9.2020. | 55 |
| Kuva 29. Sameus (kalibroitu). Märrklobb 20.8.2020. Karttapohja MML. | 56 |
| Kuva 30. Sameus (kalibroitu). Märrklobb 7.9.2020. Karttapohja MML. | 57 |
| Kuva 31. Sameus (kalibroitu). Märrklobb 8.9.2020. Karttapohja MML. | 57 |
| Kuva 32. Happipitoisuus eri syvyyksissä. Märrklobb 7.9.2020. | 58 |
| Kuva 33. Märrklobbin poijun mittaama happipitoisuus 11.8.-31.12.2020. | 58 |
| Kuva 34. Hämmärsalmessa Naantalissa on kolme vierekkäistä kalankasvatuslaitosta, jotka on merkitty karttaan oranssilla värillä. Taustakartta MML. | 60 |
| Kuva 35. A-klorofylli, Hämmärsalmi 10.7.2020. Karttapohja MML. | 61 |
| Kuva 36. Sameus (kalibroitu), Hämmärsalmi 10.7.2020. Karttapohja MML. | 61 |
| Kuva 37. A-klorofylli, Hämmärsalmi 20.7.2020. Karttapohja MML. | 62 |
| Kuva 38. Sameus (kalibroitu), Hämmärsalmi 20.7.2020. Karttapohja MML. | 62 |
| Kuva 39. A-klorofylli, Hämmärsalmi 31.7.2020. Karttapohja MML. | 63 |
| Kuva 40. Sameus (kalibroitu), Hämmärsalmi 10.7.2020. Karttapohja MML. | 63 |
| Kuva 41. A-klorofylli, Hämmärsalmi 12.8.2020. Karttapohja MML. | 64 |
| Kuva 42. Sameus (kalibroitu), Hämmärsalmi 12.8.2020. Karttapohja MML. | 64 |
| Kuva 43. Hämmärsalmen happipitoisuus kesä- ja elokuussa 2020. | 65 |

| | |
|--|----|
| Kuva 44. Karttakuvassa Ströömin kalanviljelylaitos oranssilla pisteellä sekä mittauspisteet mustalla. Karttapohja MML. | 66 |
| Kuva 45. Ströömin a-klorofylli kesä-syyskuussa 2020. | 67 |
| Kuva 46. Ströömin sameus kesä-syyskuussa 2020. | 68 |
| Kuva 47. Ströömin happipitoisuus kesä-syyskuussa 2020. | 69 |
| Kuva 48. Alörarna kartalla oranssina pisteenä, mittauspisteet mustalla. Taustakartta MML. | 70 |
| Kuva 49. Alörarnan a-klorofyllipitoisuus kuukausikeskiarvoina eri etäisyyksiltä kesä-syyskuussa 2020. | 71 |
| Kuva 50. Alörarnan sameus kuukausikeskiarvoina eri etäisyyksiltä kesä-syyskuussa 2020. | 72 |
| Kuva 51. Alörarnan happipitoisuus mittauspäivämäärittäin eri etäisyyksiltä laitoksesta. | 73 |
| Kuva 52. Laboratoriomittausten kokonaisfosforipitoisuudet keskiarvoina kesä-syyskuussa 2020. | 74 |
| Kuva 53. Laboratoriomittausten kokonaistyyppipitoisuudet keskiarvoina kesä-syyskuussa 2020. | 75 |
| Kuva 54. Laboratoriomittausten a-klorofyllipitoisuudet keskiarvoina kesä-syyskuussa 2020. | 75 |
| Kuva 55. Laboratoriomittausten sameus keskiarvoina kesä-syyskuussa 2020. | 76 |

TAULUKOT

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. Kalankasvattamot, mittausmenetelmät ja ajankohdat. | 35 |
| Taulukko 2. Laboratoriomittausten tulokset Korrassa. | 47 |
| Taulukko 3. Laboratoriomittausten tulokset Loukeekarilla. | 51 |
| Taulukko 4. Laboratoriomittausten tulokset Märklöbissa. | 59 |
| Taulukko 5. Laboratoriomittausten tulokset Hämärsalmella. | 66 |
| Taulukko 6. Laboratoriomittausten tulokset Ströömssä. | 70 |
| Taulukko 7. Laboratoriomittausten tulokset Alörarnalla. | 73 |

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

| | |
|---------------------|--|
| Anturi | (myös sensori) Mittalaitteen osa, jonka reagointia ympäristöön käytetään avuksi fysikaalisten suureiden mittaamisessa tai kemiallisten yhdisteiden tunnistamisessa. (Tattari ym. 2019, 12) |
| Kalibrointi | Kalibroinnilla tarkoitetaan joko mittausjärjestelmän viritystä ennen varsinaisia mittaustoimenpiteitä tai saatujen mittaustulosten kalibrointia jälkikäteen. Mittaustulosten kalibrointi on toimenpide, jonka avulla voidaan arvioida mittanormaalien (esim. kalibrointistandardin, referenssimateriaalin) ja mittalaitteen näyttämän välinen yhdenmukaisuus. (Tattari ym. 2019, 12) |
| Manner-Suomi | Suomi pois lukien Ahvenanmaan maakunta. |
| Mittalaite | (myös termit mittauslaite, mittauslaitteisto, mittari) Laite, joka mittaa jatkuvasti tai määrätyin väliajoin tiettyä signaalia, joka on verrannollinen mitattavaan suureeseen (esim. happipitoisuus). Laite voi olla joko kiinteästi sijoitettu tai kannettava kenttämittari. (Tattari ym. 2019, 12) |
| Rannikkovesi | Rannikkovedellä tarkoitetaan sellaisen viivan maanpuoleista pintavettä, jonka jokainen piste on yhden meripeninkulman etäisyydellä meren puolella lähimmästä sen perusviivan pisteestä, josta alueveden leveys mitataan, ja joka jossakin kohdassa rajoittuu jokeen. (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2014, 2 §:n 3 kohta) |

1 JOHDANTO

Suomen tavoite on parantaa merialueen tilaa ja samalla lisätä kotimaista kalankasvatusta. Kalankasvatus pistemäisenä kuormituslähteenä saattaa aiheuttaa paikallisesti merkittäviäkin vaikutuksia ympäristöön. Kalankasvatuksen ympäristönsuojelussa keskitytäänkin paikallisten vaikutusten minimoimiseen. Kalankasvatuksen vaikutukset myös vaihtelevat paikallisesti, ja niistä tarvitaan lisää tietoa, jotta voidaan suunnitella tuotantomäärät nykyisissä ja tulevaisissa laitoksissa kestäväälle tasolle.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Luonnonvarakeskuksen ja yhteistyökumppaneiden kanssa vuonna 2020 tehtyjä vedenlaatumittauksia. Mittauksia on tehty pääasiassa Saaristomerellä kuudella eri alueella, joilla toimii yhteensä yhdeksän kalankasvattamo. Tutkimuksessa tarkastellaan kalanviljelytoiminnan paikallisia vaikutuksia vedenlaatuun a-klorofyllin, sameuden, hapen sekä kokonaisravinnepitoisuuksien avulla.

Työn toimeksiantaja on Luonnonvarakeskus. Tutkimus tehdään osana Euroopan meri- ja kalatalousrahaston vesiviljelyn innovaatio-ohjelmaa, jota Luonnonvarakeskus koordinoi. Vesiviljelyn innovaatio-ohjelmassa tutkitaan ja kehitetään vesiviljelyn kestävä kasvun edellytyksiä sekä ympäristövaikutusten seurannan parantamista.

2 TUTKIMUKSEN TAUSTAA

Kalankasvatuksella, kuten muullakin ruoantuotannolla, on ympäristövaikutuksia. Kalankasvatus pistemäisenä kuormituslähteenä voi aiheuttaa erityisesti paikallisia ympäristövaikutuksia. Ympäristövaikutuksia tutkitaan tässä opinnäytetyössä keskittymällä vedenlaadun tarkasteluun. Kalankasvatuspaikan olosuhteet, kuten syvyys, virtausten voimakkuus ja pohjan kovuus vaikuttavat alueiden kuormituksen sietokykyyn. Tämän työn tarkoituksena on tuottaa lisää tietoa kalankasvatuksen paikallisesta vaikutuksesta vedenlaatuun. Tietoa voidaan hyödyntää kalankasvatuksen tuotantomäärien suunnittelemisessa kestäväälle tasolle sekä nykyisissä että tulevaisissa laitoksissa. Kestävän tuotantotason suunnittelulla edistetään kalankasvatuksen lisäämisen ja Itämeren tilan parantamisen tavoitteiden yhteensovittamista. Kalankasvatusta ohjataan alueille, joilla sillä on mahdollisimman pienet ympäristövaikutukset.

Taustatiedoissa kerrotaan tarkemmin Itämeren tilasta ja hyvän tilan saavuttamisen tavoitteesta sekä kalankasvatuksesta Suomessa.

2.1 Itämeren ja Saaristomeren tila ja vedenlaadun tavoitteet

Itämeri on tärkeä virkistyslähde monille suomalaisille, ja sen luonnonvarat ovat toimeentulon edellytys kalastajille, matkailupalveluiden tuottajille sekä vesiviljelijöille. Esimerkiksi kalakannat ja viihtyisä ja terveellinen elinympäristö ovat ekosysteemipalveluita, joita pidetään helposti itsestään selvinä hyötyinä.

Ihmisen vaikutus meriympäristössä on voimistunut lisääntyneet meriliikenteen, virkistyskäytön, energiatuotannon ja muun toiminnan vaikutuksesta. Se näkyy ekosysteemipalveluissa muun muassa niistä saatavien taloudellisten, kulttuuristen ja terveydellisten hyötyjen menetyksinä. Kun ymmärretään ja arvioidaan toiminnoista syntyvät haitat meriympäristölle sekä niiden tuomat hyödyt ihmisille, on meren käyttöä mahdollista hallita kestävästi, jotta meri tuottaisi hyötyjä myös tulevaisuudessa. (Korpinen ym. 2019, 34, 68.)

Vesiviljelytoimialan oletetaan lähitulevaisuudessa kasvavan (Korpinen ym. 2019, 72). EU:n sinisen kasvun strategian myötä Itämerestä haetaan lisää taloudellista kasvupotentiaalia, erityisesti vesiviljelystä. Meriympäristön tila 2018 -raportin (Korpinen ym.

2019, 34) mukaan tämä saattaa aiheuttaa ristiriitoja Itämeren ravinnekuormituksen vähennystavoitteiden kanssa. Sinisen kasvun strategia on EU:n yhdennetyssä meripolitiikassa kytketty ympäristön kannalta kestävään kehitykseen. Tämä toteutetaan EU:n meristrategiadirektiivin avulla.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan pääasiassa Itämeren osana sijaitsevan Saaristomeren vedenlaatua. Saaristomeri rajautuu etelässä Pohjois-Itämereen, pohjoisessa Selkämereen sekä idässä Suomen lounaisrannikkoon ja lännessä Ahvenanmaahan. Vesien tilan parantamisvelvoite koskee Saaristomerta muiden alueiden ohella, joten vedenlaatuun liittyviä asioita on hyvä tarkastella laajemmin. Seuraavissa Itämeren ja Saaristomeren kuormitus- ja vedenlaatutietoja sekä vedenlaadun tavoitteet.

2.1.1 Itämeren ja Saaristomeren ravinnekuormitus ja kalankasvatuksen osuus kokonaiskuormituksesta

Itämeren ravinnekuormitus

Suomesta päätyy kokonaiskuormituksena Itämereen vuosittain 3820 t fosforia ja 89 400 t typpeä. Kokonaiskuormitus on laskettu vuosien 2011–2016 keskiarvona ja se sisältää myös luonnonhuuhtouman, jolla tarkoitetaan rannikkovesiin tulevaa ihmistoiminnoista riippumatonta ravinnevirtaa. Suorasta pistemäisestä kuormituksesta tuli vuonna 2015 Suomen merialueille 178 t fosforia ja 5 423 t typpeä. (Korpinen ym. 2019, 74.)

Suomen eri merialueilla merenhoitosuunnitelmassa määritetyt enimmäiskuormitusmäärät ylittyvät kaikilla Suomen merialueilla. Kauimpana kuormitustavoitteista ovat Suomenlahti ja Saaristomeri. (Ympäristöministeriö 2020, 19–20) Saaristomerellä on myös suurin valuma-alueen pinta-alaan suhteutettu kuormitus (Korpinen ym. 2019, 74.)

Ravinnekuormitus on vaikuttanut voimakkaasti Itämeren tilan kehitykseen 1900-luvun puolivälistä asti. Ravinnekuormitus on peräisin enimmäkseen maataloudesta, mutta myös hajakuormituksesta, kuten metsätaloudesta, haja-asutuksesta ja ilman laskeumasta, sekä pistekuormituslähteistä, kuten yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilta, teollisuudesta ja kalankasvattamoilta. (Korpinen ym. 2019, 34, 74.)

Kalankasvatuksen merkittävin ympäristövaikutus Suomessa aiheutuu ravinnepäästöistä, jotka ovat lähes kokonaan peräisin kalan rehusta. Kalankasvatuksen osuus

Suomen ihmistoiminnan aiheuttamasta kuormituksesta on fosforikuormituksen osalta noin 2 % ja typpekuormituksesta 1 % (2018). (Ympäristöministeriö 2020, 19–20.)

Ravinnekuormitus Saaristomerellä

Saaristomerellä ihmistoiminnoista aiheutuva typpekuorma oli vuosien 2008–2012 keskiarvona 5760 t. Sen päästölähteet jakautuivat seuraavasti: maatalous 77 %, yhdyskunnat 10 %, haja-asutus 5 %, laskeuma järviin 3 %, metsätalous 2 %, kalanviljely 2 %, hulevedet 1 %, turvetuotanto 0 % ja teollisuus 0 %.

Fosforikuormitus Saaristomerelle vastaavalla jaksolla oli 504 t, ja se jakautui seuraavasti: maatalous 82 %, haja-asutus 9 %, kalanviljely 3 %, yhdyskunnat 3 %, metsätalous 2 %, laskeuma järviin 1 %, hulevedet 0 %, turvetuotanto 0 % ja teollisuus 0 %. (Korpinen ym. 2019, 80–81.)

Manner-Suomessa kalankasvatus painottuu Saaristomerelle, jossa kasvatetaan runsas 40 % tuotannosta (Setälä ym. 2014, 8). Saaristomerellä kalankasvatuksen kuormitusosuus on siis hieman keskimääräistä suurempi. Se aiheuttaa fosforin kokonaiskuormituksesta on runsaat 3 % ja typen kokonaiskuormituksesta noin 2 %. Kalankasvatuksen ravinteilla voi olla paikallisesti suurempikin merkitys perustuotannon kasvulle, vedenlaadulle ja esimerkiksi pohjan liettymiselle. (Ympäristöministeriö 2020, 19–20) Kalankasvatustoiminta on Saaristomeren merkittävin pistekuormittaja. (Korpinen ym. 2019, 74.) Kalankasvatuksen ympäristönsuojelussa keskitytäänkin paikallisten vaikutusten minimoimiseen (Ympäristöministeriö 2020, 19–20).

2.1.2 Itämeren tila

Kalankasvatuksella on vaikutuksia moneen eri vesien tilaa määrittelevään indikaattoriin. Meriympäristön tilaa voidaan tarkastella erikseen rehevöitymisen, vaarallisten ja haitallisten aineiden, roskaantumisen, vieraslajien, kaupallisten kalakantojen tilan, meriluonnon monimuotoisuuden tilan ja Itämeren ravintoverkkojen kannalta.

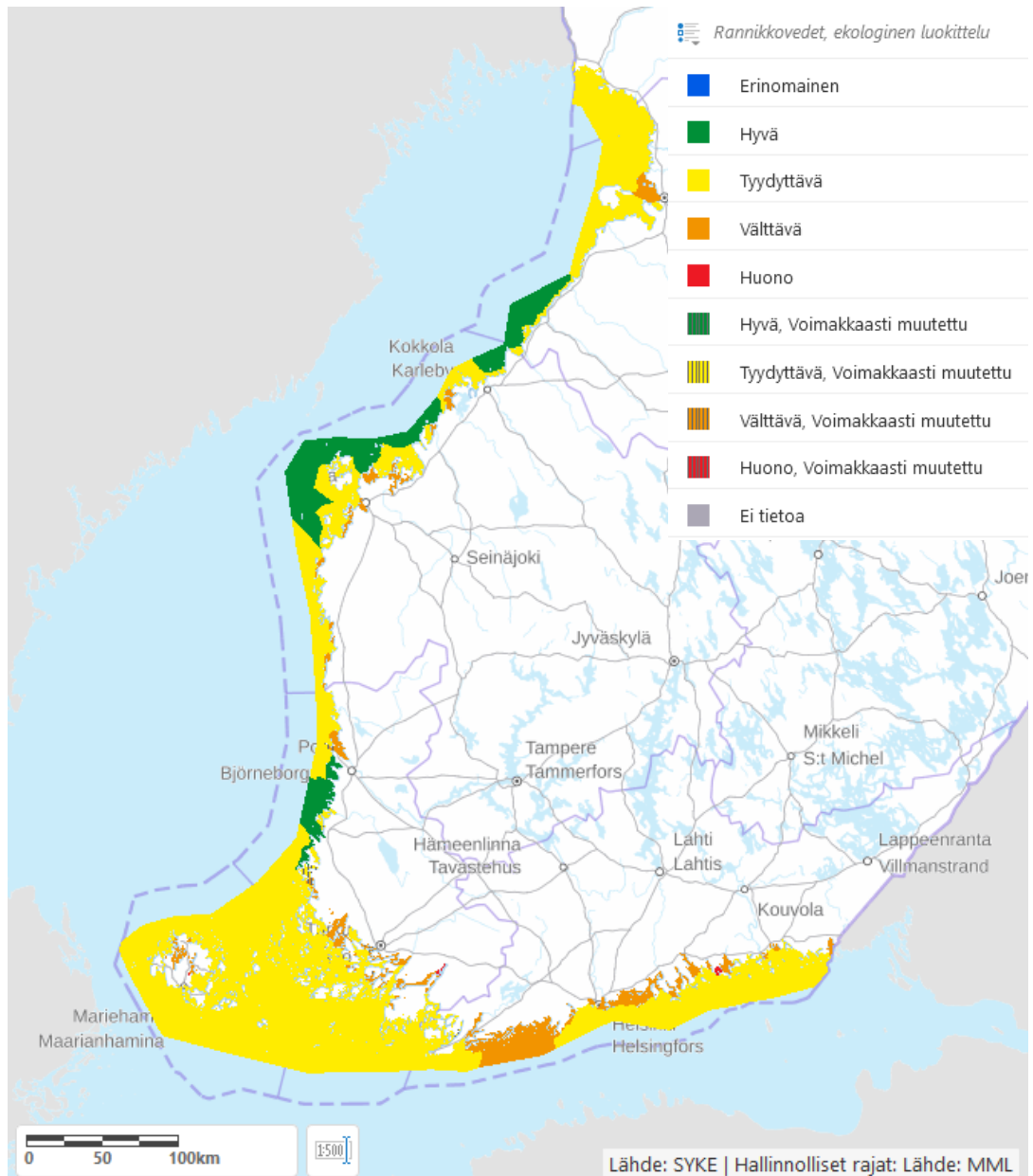
Tässä työssä keskitytään vedenlaatutarkastelujen myötä rehevöitymiseen, joka on yksi laadullisista kuvaajista, sekä ekologiseen tilaan, jolla vesien- ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain mukaan määritellään meriympäristön hyvä tila. (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2014, 2§ kohta 13.)

Rannikkovesien ekologinen tila

Vesien- ja merenhoidon järjestämisestä annetussa laissa meriympäristön hyvää tilaa arvioidaan ekologisen monimuotoisuuden avulla. Pintavesimuodostumien ekologinen tila luokitellaan viiteen eri tilaluokkaan: erinomainen, hyvä tyydyttävä, välttävä ja huono. Lisäksi määritellään vesimuodostuman kemiallinen tila, joka luokitellaan kahteen luokkaan. Vesimuodostumien lopullinen tila määräytyy ekologisesta ja kemiallisesta tilaluokasta huonomman mukaan.

Rannikkovedet ekologinen tila luokitellaan ensisijaisesti biologisten tekijöiden avulla. Näistä ovat kasviplankton, vesikasvit, pohjaeläimet, fysikaalis-kemialliset veden laatutekijät (kokonaisravinteet, pH, näkösyvyys) ja hydrologis-morfologiset tekijät (mm. keskimääräinen talvialenema, vaellusesteet). Näistä rannikkovesien luokitus perustuu pääasiassa kasviplanktonin a-klorofylliin, pohjaeläinindeksiin sekä rakkolevän kasvusyvyteen. Kokonaisarvio veden laadusta tehdään yhdistämällä kaikkien laatutekijöiden antama tieto veden tilasta. Mikäli kokonaisravinteet luokituvat eri tavoin, painotetaan fosforituksia. (Aroviita ym. 2019, 85.) Eri tekijöiden tilaa verrataan olosuhteisiin, joissa ihmistoiminta ei ole aiheuttanut havaittua vaikutusta eliöissä. Mitä vähäisempi vaikutus ihmisen toiminnalla on, sitä parempi on vesistön ekologinen laatu. (Suomen ympäristökeskus 2019. Pintavesien luokittelu.)

Suomen ympäristökeskus on luokitellut rannikkovesien ekologisen tilan tyydyttäväksi, joskin alueellista vaihtelua esiintyy. Alla olevassa karttakuvassa (Kuva 1.) näkyy arvio vedenlaadun tilasta vuosina 2012–2017 kerättyjen aineistojen perusteella (Vesikartta-palvelu 2020).



Kuva 1. Arvio rannikkovesien ekologisesta tilasta (Vesikartta-palvelu 2020).

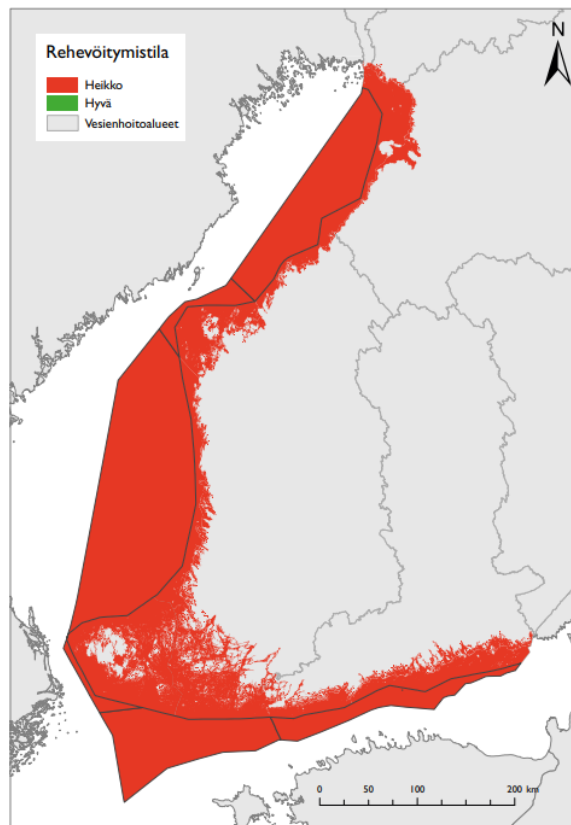
Rehevöitymistila

Suomen meriympäristön tila 2018 -julkaisun (Korpinen ym. 2019, 116) mukaan Suomen rannikkovesi- ja avomerialueet ovat rehevöitymistilan kokonaisarvion mukaan heikossa tilassa. Kuvassa 2. (Korpinen ym. 2019, 119) on rehevöitymisen tilanarviossa käytetyt indikaattoriryhmät ja indikaattorit avomerialueilla ja rannikkovesillä.

| Indikaattoriryhmä | Indikaattori | Avomeri | Rannikkovedet |
|--|--------------------------|---------|---------------|
| Ravinteet (pintavesi) | Kokonaisfosfori | x | x |
| | Kokonaistyyppi | x | x |
| | Epäorgaaninen fosfori | x | |
| | Epäorgaaninen typpi | x | |
| Suorat rehevöitymisvaikutukset | α -klorofylli | x | x |
| | Kasviplanktonin biomassa | | x |
| | Makrolevät | | x |
| | Näkösyvyys | x | x |
| | Sinileväkukinnat | x | |
| Epäsuorat rehevöitymisvaikutukset | Pohjaeläimet | x | x |
| | Happivelka | x | |

Kuva 2. Rehevöitymisen tilanarviossa käytetyt indikaattoriryhmät ja indikaattorit avomerialueilla ja rannikkovesillä (Korpinen ym. 2019, 119).

Kuvassa 3 (Korpinen ym. 2019, 118) näkyy, että rannikko- ja avomerialueet ovat kauttaaltaan heikossa tilassa. Tila-arvio on vuosilta 2011–2016.



Kuva 3. Kuva Suomen rannikkovesi- ja avomerialueet ovat rehevöitymistilan kokonaisarvion mukaan heikossa tilassa (Korpinen ym. 2019, 118).

Kesällä tehtävien kokonaistypen mittauksen perusteella millään rannikkovesialueella ei ole saavutettu pysyvästi hyvää tilaa vuosikymmeniin. Typen kokonaismäärän perusteella Suomen merialueet olivat kaikkein kauimpana hyvän tilan tavoitteesta lounaisilla ja eteläisillä rannikkovesialueilla. Lisäksi talvella mitattava liuenneen epäorgaanisen typen määrä kuvastaa heikkoa tilaa avomerialueilla. Klorofylli-indikaattori kuvaa rehevöitymisen suoria vaikutuksia. Klorofylliä on liikaa vedessä kaikilla Suomen merialueilla. Klorofylli korreloi tyypillisesti näkösyvyyden kanssa. Ahvenanmaalla ja Saaristomerellä, joissa kalankasvatustoimintaa on keskivertoa enemmän, tila on muun merialueen tavoin arvioitu rehevöitymisen osalta heikoksi. Fosforipitoisuuksien osalta Saaristomeren tila on huonontunut koko 1990-luvun ajan, kunnes 2010-luvulla pitoisuudet ovat vähentyneet ja ne ovat nyt jo lähempänä hyvän tilan tavoitetasoa. (Suomen ympäristökeskus 2019, Rehevöityminen.)

Happipitoisuus

Itämeren syvänteisiin syntyy helposti vähähappisia tai hapettomia alueita. Syvänteiden vesi ei sekoitu säännöllisesti pintaveden kanssa, vaan hapekasta vettä virtaa pohjaan satunnaisemmin suolapulssin ansiosta. Syvänteisiin kulkeutuu eloperäistä ainetta, jonka hajoaminen kuluttaa happea. Happea ei kuitenkaan kulkeudu halokliinin läpi pinnasta pohjalle. Hapettomuus on sinänsä Itämerelle ominainen ilmiö, mutta rehevöitymisen seurauksena hapettomien alueiden pinta-ala on kasvanut. Rehevöityminen aiheuttaa elollisen aineksen, kuten kasviplanktonin lisääntymistä. Samantyyppinen prosessi aiheuttaa hapen vähyyttä tai hapettomuutta keski- ja loppukesällä myös rannikkovesissä saarten ja matalikkojen eristämien altaiden pohjille. (Korpinen ym. 2019, 32.)

Pohjaeläinyhteisöjen tila on riippuvainen pohjien happitilanteesta. Vain harvat lajit selviävät vähähappisilla alueilla ja hapettomilla pohjilla elää vain hapettomissa oloissa menestyviä mikrobeja. Pohjayhteisön esiintymistä rajoittavana kriittisenä happipitoisuutena voidaan pitää 2 mg/L, mutta toiminta heikentyy jo 4 mg/L pitoisuuksissa, mitä pidetään hyvän tilan kynnsarvona.

Lounaisessa sisä- ja välisaaristossa on mitattu vuosittain alle 4 mg/L ja alle 2 mg/L happipitoisuuksia, mikä kuvastaa heikentyneitä merenpohjan tilaa. Lounaisessa ulkosaaristossa happitilanne on ollut parempi vuosien 2012 ja 2015 aikana, sillä alle 4 mg/L happipitoisuuksia ei mitattu lainkaan. (Korpinen ym. 2019, 175)

2.1.3 Vedenlaadun tavoitteet

EU:n säädökset

Vesien ekologisesti hyvän tilan saavuttaminen on EU:n jäsenvaltioita sitova tavoite. Euroopan unionin mukaan vesi ei ole kaupallinen tuote, vaan julkinen hyödyke ja rajallinen resurssi. Vesiä on suojeltava ja käytettävä kestävällä tavalla sekä laadullisesti että määrällisesti, vaikka niihin kohdistuu paljon paineita vesien lukuisista eri käyttömuodoista johtuen. Unionissa on laadittu kahdet laajat lainsäädäntöpuitteet makean veden ja meren resurssien suojelemiseksi. Ne ovat vesipuitedirektiivi ja meristrategiadirektiivi. Suojelu tapahtuu ekosysteemeihin perustuvan kokonaisvaltaisen toimintamallin pohjalta.

EU:n vesipuitedirektiivin tavoitteena on saavuttaa vesienhoitotoimenpiteillä sisämaan pintavesien, jokisuiden vaihtumisalueiden sekä rannikko- ja pohjavesien vähintään hyvä tila koko EU:ssa vuoteen 2027 mennessä eräitä poikkeuksia lukuun ottamatta.

Meristrategiadirektiivi puolestaan on laadittu meritalouden kestävä kehityksen vahvistamiseksi ja meriympäristön suojelun tehostamiseksi. Sen tavoitteena on saavuttaa unionin meriympäristön hyvä tila vuoteen 2020 mennessä, suojella ja säilyttää meriympäristöä sekä estää merien tilan huonontuminen. Jäsenvaltiot laativat merivesilleen ekosysteemiperustaisen strategian, jota tarkistetaan joka kuudes vuosi. (Euroopan parlamentti 2020.)

Suomen lainsäädäntö

Suomessa EU:n säädöksiä on pantu täytäntöön lailla vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä. Tarkoituksena on saavuttaa ja ylläpitää meriympäristön hyvä tila:

”Merenhoidon järjestämisessä sovelletaan ekosysteemilähestymistapaa ihmisen toiminnasta meriympäristölle aiheutuvien paineiden ja vaikutusten hallintaan siten, että meriympäristön hyvän tilan saavuttaminen tai meriekosysteemien kyky reagoida ihmisen toiminnasta aiheutuviin muutoksiin ei vaarannu, samalla kun mahdollistetaan merellisten hyödykkeiden ja palveluiden kestävä käyttö”. (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2014, 1§ kolmas momentti.)

Laki on otettava huomioon vesistöjä koskevissa toimenpiteissä.

Rannikkovesien hyvän tilan määrittelevät raja-arvot

Kullakin vesialueella käytetään omia raja-arvoja hyvän tilan määrittämiseen. Pintavedet ovat luontaisilta ominaisuuksiltaan erilaisia, joten luokittelua ei voida tehdä yhdellä

asteikolla. Rehevöitymistilan määrittämiseen käytetään kynnsarvoja typelle, fosforille, klorofyllille, näkösyvyydelle ja happiolosuhteille. (Korpinen ym. 2019, 44–59.) Tässä työssä tarkasteltavien kohteiden alueelliset raja-arvot käydään läpi Mittaustulokset-osi-
ossa.

Vedenlaatutavoitteiden ja kalankasvatustoiminnan yhteensovittaminen

Suomessa vesiviljely on ympäristölupanvaraista toimintaa. Ympäristölupamenettelyn tarkoituksena on varmistaa, että vesiviljelytuotannon ravinnekuormitus ei ylitä kohdealueen vesistöjen sietokykyä. Vesienhoidon tilaluokitus ja tavoitteet on otettava huomioon luvituksessa. (Ympäristöministeriö 2020, 65, 70–71.) EU:n ns. Weser-tuomion mukaan hankkeelle, joka voi aiheuttaa tilan heikkenemisen tai vaarantaa hyvän tilan savuttamisen, ei voida myöntää lupaa (Belinskij 2020).

Merellisten hankkeiden toteuttamisessa yksi avainkysymyksistä on, kuinka tunnistetaan meriekosysteemiin kohdistuvat vaikutukset ja määritetään niiden merkittävyys. Millainen on merkittävä vaikutus esimerkiksi yhden tai useamman vesimuodostuman tasolla vesien tilatavoitteeseen. Kriteerejä vaikutusten merkittävyydelle ei toistaiseksi ole, mikä vaikeuttaa ennakkointia ympäristölupaa hakiessa. Kalankasvattajan voi olla vaikeaa osoittaa omilla mittauksilla vaikutusten merkittävyyden tasoa lupaprosessin yhteydessä. Tulkintaeroja on esimerkiksi siitä, otetaanko yhteisvaikutusten arvioinnissa huomioon mukaan vain hankkeet vai myös yleiset globaalit ja väistämättä merkittävästi vaikuttavat muutostekijät, kuten ilmastonmuutos ja lisääntynyt sadanta. Kalankasvatusalalla tehdään jatkuvasti toimenpiteitä ja lisätutkimuksia kokonaisuuden ratkaisemiseksi, esimerkiksi työkaluja kalankasvatustoiminnan sijoittamispaikkojen hakemiseen ja valintaan, mallinnuksia vesimuodostumatasolla, sekä pohditaan mahdollisuuksia kompensaatoiden pilotointiin esimerkiksi Itämerirehun käytöstä. (Saario 2020.)

2.2 Kalankasvatus Suomessa

2.2.1 Kalankasvatuksen kestäväälle kasvulle on kysyntää

Vesiviljely on maailmanlaajuisesti nopeasti kasvava elintarviketuotannon muoto. Vesiviljelyä pidetään yhtenä potentiaalisimmista ja kestävimmistä tavoista tuottaa eläinproteiinia kasvavalle väestölle tulevaisuudessa. Vaihtolämpöisinä eläiminä kalat käyttävät saamansa ravinnon tehokkaammin kasvuun kuin tasalämpöiset tuotantoeläimet, joten

kestävästi tuotettu kala pienentää ruoantuotannon ilmastovaikutuksia. (Ympäristöministeriö 2020, 18, 22.) Maalla myös viljelyalasta on paikoin pulaa, mutta meressä on tilaa kasvattaa ruokaa kasvavalle maailman väestölle.

Suomalaisten kalan kulutus on kasvanut tasaisesti. Sitä vastoin kotimaisen kalan osuus kulutuksesta on vähentynyt, sillä kotimaan tuotanto ei vastaa markkinoiden kasvavaan kysyntään. Suomalaisten syömästä kalasta vajaa kolmannes on kotimaista, ja yli kaksi kolmannesta on kasvatettu muissa maissa. (Ympäristöministeriö 2020, 16.)

Kotimaisella vesiviljelyllä on useita positiivisia yhteiskuntavaikutuksia liittyen ruoantuotantoon, työllisyyteen ja aluekehitykseen. Kotimainen kalankasvatus turvaa ruokahuoltoa tuottamalla terveellistä lähiruokaa kuluttajille, raaka-ainetta jalostusteollisuudelle sekä ravintoloiden ja muun vähittäismyynnin tarpeisiin. Samalla se vähentää tuontiriippuvuutta ulkomaisesta raaka-aineesta ja parantaa Suomen kauppatasetta. Erityisesti syrjäisillä alueilla, joilla ympärivuotisten työpaikkojen luominen on vaikeaa, kalankasvatus luo työllisyyttä, ylläpitää yhdyskuntarakenteita sekä palveluja. Kalankasvatus suojelee uhanalaisia kalakantoja vähentämällä painetta kalastaa niitä sekä ylläpitämällä ja vahvistamalla niitä istutuksin. (Ympäristöministeriö 2020, 22)

Kalankasvatusta pyritään edistämään erilaisilla strategioilla. Näitä ovat esimerkiksi kansallinen Vesiviljelystrategia 2022 (vuodelta 2014), joka edistää vesiviljelyelinkeinon kasvua ja kehitystä Suomessa ja Suomen biotalousstrategia (2014), jossa nähdään vesiviljelyn potentiaali tulevaisuuden ruokatuotannossa. (Ympäristöministeriö 2020, 35–36.)

2.2.2. Kalankasvatuksen määrä Suomessa

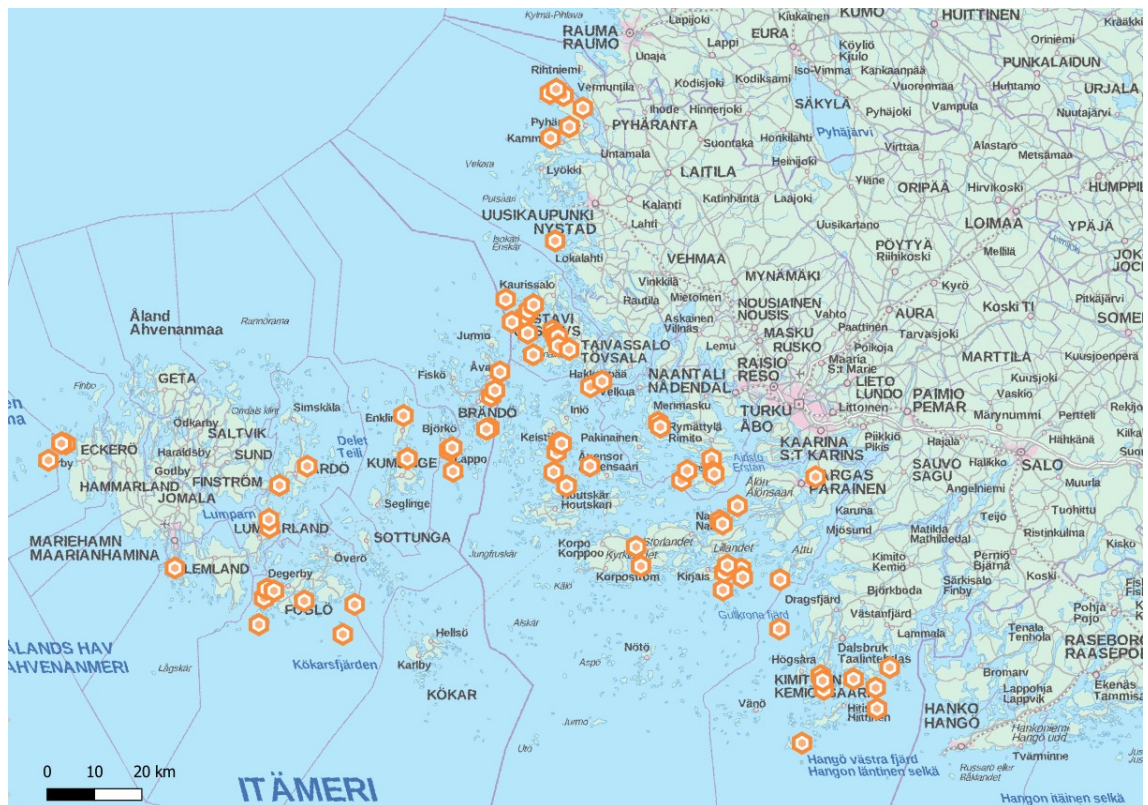
Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohjeen (Ympäristöministeriö 2020, 15–16, 18) mukaan Suomen vesiviljelyn vuotuinen kasvatusmäärä on pysynyt viime vuosina melko vakana. Ruokakalaa tuotettiin vuonna 2018 yhteensä 14,3 miljoonaa kiloa (perkaamaton paino). Manner-Suomen (eli Suomi pois lukien Ahvenanmaan maakunta) osuus tästä on 7,3 miljoonaa kiloa, josta 5 miljoonaa kiloa on tuotettu merialueella. Ahvenanmaan osuus tuotannosta oli 7 miljoonaa kiloa.

Koko Suomen tuotannosta suurin osa on kirjoletta, 13,2 miljoonaa kiloa sekä siikaa 0,8 miljoonaa kiloa. Lisäksi muita kaloja, kuten taimenta, nieriää, sampea ja kuhaa on kasvatettu yhteensä noin 0,3 miljoonaa kiloa. Ruokalan lisäksi Suomessa tuotettiin vuonna

2018 noin 50 miljoonaa kalanpoikasta istutuksiin ja jatkoviljelyyn, pääasiassa siikaa (40 %) ja kirjolohta (lähes 40 %). Poikasista noin 90 % tuotetaan Manner-Suomessa.

Vuonna 2018 Manner-Suomessa oli toiminnassa 151 ruokakalalaitosta, joista merialueella toimi 99. Ahvenanmaalla toimi 27 laitosta. Tuotannon keskkoko oli Manner-Suomen merilaitoksilla 51 tonnia, Ahvenanmaalla 196 tonnia ja sisävesialueen 52 ruokakalalaitoksella 31 tonnia.

Manner-Suomessa tuotanto on suurinta Saaristomerellä, jossa kasvatetaan runsas 40 % tuotannosta. Karttakuvassa (Kuva 4.) näkyvät lounaisen Suomen kalankasvattamot. Merialueella kasvatetaan pääasiassa ruokakalaa verkkokasseissa ja sisävesillä poikasia sekä ruokakalaa läpivirtaus- ja kiertovesilaitoksissa. (Setälä ym. 2014, 8) Toimivia kiertovesilaitoksia on koko Suomen alueella vain kahdeksan, ja niiden lupien mukainen tuotantokapasiteetti olisi 5,5 miljoonaa kiloa, mutta tuotanto ei ole vielä niin suurta (Ympäristöministeriö 2020, 18).



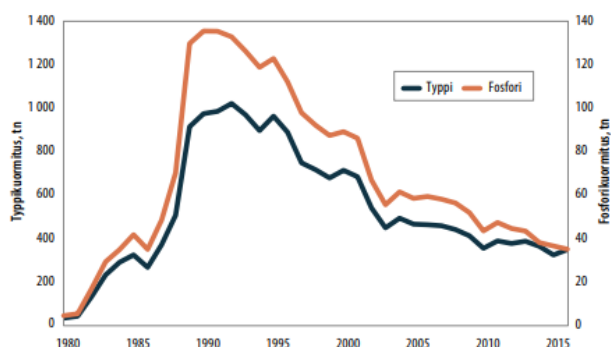
Kuva 4. Lounaisen Suomen kalankasvattamot 2020. Karttapohja MML.

2.2.3 Kalankasvatuksen ympäristövaikutuksia

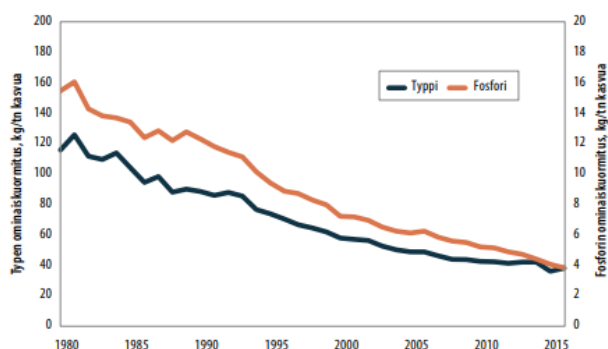
Ravinnepäästöjen aiheuttama rehevöityminen

Kalankasvatuksen aiheuttamien ravinnepäästöjen merkitys on valtakunnallisesti suhteellisen pieni, mutta ravinnepäästöt kuormittavat vesistöjä ja saattavat aiheuttaa erityisesti paikallisia rehevöitymisongelmia. Liiallisen ravinnekuormituksen aiheuttama rehevöityminen on voimakkain rannikkovesien ja avomeren tilaa heikentävä yksittäinen ihmisestä johtuva paine. (Ympäristöministeriö 2020, 19–20.)

Kalankasvatus on ollut huipussaan 1990-luvulla. Kalankasvatuksen määrä on laskenut silloisesta 20 miljoonasta kilosta nykyiseen 13 miljoonaan kiloon, mutta myös ominaiskuormitus, eli montako kiloa ravinteita pääsee vesistöön tuotettua kalatonna kohden, on vähentynyt selvästi. Kuva 5 (Ympäristöministeriö 2020, 21) havainnollistaa kalankasvatuksen aiheuttaman kuormituksen kehitystä vuosien 1980–2015 aikana.



Kuvia 3. Kalankasvatuksen kokonaiskuormitus (tn) Manner-Suomessa 1980–2016. (Lähde: VAHTI-rekisteri)



Kuvia 4. Kalankasvatuksen typen ja fosforin ominaiskuormitus (kg/tn tuotettua kalaa) Manner-Suomessa 1980–2016. (Lähde: VAHTI-rekisteri)

Kuva 5. Kalankasvatuksen kokonaiskuormitus ja ominaiskuormitus vuosilta 1980–2015 (Ympäristöministeriö 2020, 21).

Vallitsevat laimenemisolosuhteet vaikuttavat veden ravinnepitoisuuden kasvuun ja sen aiheuttamiin rehevöitymishaittoihin. Avomerellä laimenemisolosuhteet ovat paremmat kuin sisäsaaristossa. Ravinnepitoisuuden nousu aiheuttaa tyypillisesti levien kasvun lisääntymistä, mikä näkyy kasviplanktonkukintojen voimistumisena ja yleistymisenä sekä yksivuotisten rihmalevien runsastumisena. Kun rihmalevät kuolevat, ne irtoavat alustoistaan ja vajoavat pohjaan. Hajoamisprosessi kuluttaa pohja-alueiden happea. Rehevöitymisen seurauksena myös kalasto yksipuolistuu ja särkikalojen osuus kasvaa.

Verkkoallaslaitoksilla ravinnekuormitus on suurinta kalojen kasvukaudella heinä-syyskuussa, jolloin myös ruokintamäärät ovat suurimmillaan. Hellejaksoilla ruokintaa voidaan kuitenkin joutua rajoittamaan. Ravinnekuormituksesta suurin osa syntyy ruokakalan jatkokasvatusvaiheessa, joka enimmäkseen on merikasvatusta keskittyen Saaristomeren verkkoallastuotantoon. (Ympäristöministeriö 2020, 19–21)

Merenpohjan pilaantuminen

Kalankasvatuksen rakenteet ja toiminta ovat viidenneksi suurin merenpohjan fyysisen menetyksen syy satamien, kaasuputkien ja läjitysalueiden jälkeen. Merenpohjan laajoista elinympäristöistä merkittävä osa on heikossa tilassa johtuen rehevöitymisestä ja muista ihmisen aiheuttamista paineista. Saaristomerellä, joka on myös kalankasvatuksen ydinaluetta, yli puolet pohja-alasta arvioidaan olevan häiriintynyt ihmisen toiminnan takia. Kalankasvatusaltilaiden alle voi kertyä lietettä, mikä saattaa pilata alla olevaa pohjaa. Merenpohja määritellään pysyvästi fyysisesti menetetyksi, mikäli se ei palaudu 12 vuodessa. (Ympäristöministeriö 2020, 19–21.) (Korpinen ym. 2019, 98–101.)

Muut ympäristövaikutukset

Kalankasvatuksesta aiheutuu myös muita ympäristövaikutuksia tuotannon eri vaiheissa, esimerkiksi kasvihuonekaasuja. Kemikaalikuormaa aiheutuu verkkoaltaiden eliöiden kiinnittymisenestoaineista ja kylvetyskemikaaleista, kuten formaliinista. Kalankasvatuksessa käytetään olosuhteista riippuen vaihtelevia määriä antibiootteja, merilaitoksilla 11 kg vuonna 2017 ja 14 kg vuonna 2018. Roskaantumisongelmaa aiheuttaa erityisesti verkkoaltaiden rakennemateriaalista irtoava mikromuovi, jonka välitön kuormitus mereen arvioidaan olevan suuruusluokaltaan 22–38 tonnia vuodessa. Kuolleiden kalojen hävittäminen puolestaan vaatii asianmukaiset menetelmät, jotta niistä ei aiheudu haitallisia vaikutuksia ympäristöön. Lisäksi häiriöksi saatetaan kokea rakenteiden näkyminen maisemassa ja toiminnan aiheuttama liikenne, äänet ja haju. Kalankasvatus tapahtuu usein alueilla, joilla on myös loma-asutusta ja muuta virkistyskäyttöä. Myös vieraslajien tuontiin

tai alkuperäisten luonnonkantojen sekoittumiseen liittyvät riskit pitää huomioida toiminnassa. (Ympäristöministeriö 2020, 20.)

2.2.4 Keinoja vähentää kalankasvatuksen ympäristövaikutuksia

Kalankasvatustoiminta voi kasvaa kestävästi ja pitkäjänteisesti, kun otetaan huomioon vedenlaadun parantamisvelvoite sekä muut merenkäytön muodot. Tässä opinnäytetyössä keskitytään merellä tapahtuvaan verkkoallastuotantoon, jonka ympäristövaikutusten vähentämisen keinoista mainitaan tärkeimpiä. Verkkoallastuotannossa ei ole ravinteiden talteenottoon menetelmää, joka olisi teknisesti ja taloudellisesti kustannustehokasta. Verkkoallaskasvatuksen ympäristönsuojelua edistetään BEP-periaatteen (Best Environmental Practices, ympäristön kannalta paras käytäntö) mukaisesti noudattamalla ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi tarkoituksenmukaisia ja kustannustehokkaita eri toimien yhdistelmiä, kuten työmenetelmiä ja raaka-aine- sekä polttoainevalintoja. Ympäristövaikutuksia voidaan vähentää myös parantamalla laitosten ympäristövaikutusten seuranta. (Ympäristöministeriö 2020, 38–39, 42–43.)

Sijainninohjaus

Kalankasvatustoiminta ohjataan sopiville vesialueille, joilla vaikutus vedenlaatuun on pieni ja toiminnasta ei ole haittaa merenkäytön muille toiminnoille, kuten matkailulle, virkistyskäytölle, laivaliikenteelle sekä luonnolle ja ympäristölle. Usein sopivimmat kohteet sijaitsevat avoimemmilla merialueilla, joissa vedenlaatu on parempi ja joissa ravinnekuormitus laimentuu tehokkaasti. Sijainninohjauksen seurauksena merialueen kasvatuksessa on vähitellen tarve siirtyä voimakkaampaa aallokkoa ja virtausoloja sietäviin allas- ja muihin rakenteisiin. Tällaista ulkosaaristoon soveltuvaa tekniikkaa on jo käytössä yleisesti maailmalla suurilla verkkoallaslaitoksilla. Niissä altaiden kehikot, ankkuroinnit, kiinnitykset ja verkkoaltaat ovat nykyisin Suomessa käytetyn kaltaisia, mutta suurempia ja järeämpiä. (Ympäristöministeriö 2020, 43.) Sijainninohjauksen myötä ympäristöluvan hankkiminen helpottuu, jos voidaan osoittaa, että kasvattamalla ei ole tiettyssä sijainnissa veden hyvän tilan saavuttamisen tai ylläpitämisen kannalta merkittäviä ympäristövaikutuksia.

Rehut ja ravinteiden kierrätys

Kalankasvatuksen ravinnekuormitus on peräisin teollisista rehuista. Veteen pääsevien ravinteiden määrään voidaan vaikuttaa merkittävästi rehujen raaka-aineilla ja niiden

keskinäisillä käyttösuhteilla. Rehuissa tulisi suosia tuotantoalueiden omien ravinteiden kierrättämistä. Ravinteiden kierrätystä on esimerkiksi Itämerirehu, jossa kaloja ruokitaan Itämeren kalasta tehdyllä kalarehulla. Tällöin mereen ei lisätä ravinteita, vaan siellä valmiiksi olevia ravinteita kierrätetään. Ravinteiden kierrätys on vesiensuojelua täydentävä toimenpide, jolla ei voi korvata muita vesiensuojelutoimia Suomessa. (Ympäristöministeriö 2020, 39, 50.)

3 AIEMPIA TUTKIMUKSIA ALUEELTA

Saaristomeren alueella on tehty muutamia tutkimuksia koskien vedenlaatua ja kalankasvatusta. Tutkimuksissa on todettu pääasiassa, että kalankasvatuksen vaikutuksia ei ole luotettavasti havaittavissa tai vaikutus on suhteellisen pieni, ja että muut vedenlaatuun vaikuttavat tekijät vaikuttavat tuloksiin. Alla tutkimuksista tarkemmin.

Kalankasvatuksen ympäristöseurantajärjestelmän kehittäminen

Kalankasvatuksen ympäristönseurantajärjestelmän kehittämishankkeessa (Kettunen ym. 2020) suunniteltiin Kustavissa, Kihdin selän pohjoispäässä sijaitsevan Loukeenkarin kalankasvatustiloksen ympäristövaikutuksia arvioiva seurantajärjestelmä. Vaikutusten arvioinnille ja seurantaohjelman suunnittelulle asetettiin normaalikäytäntöä kovemmat menetelmälliset vaatimukset. Kalankasvatustiloksen vaikutusalueelle konstruointiin virtaus- ja vedenlaatumallit, joiden avulla ennustettiin veden virtaukset tiloksen ympäristössä ja tilokselta purkautuvien kokonaisravinteiden leviäminen. Mallinnustulosten perusteella mitattiin kokonaistypen, kokonaisfosforin, liukoisten ravinnefraktioiden, veden lämpötilan, happipitoisuuden ja suolapitoisuuden jakaumat tiloksen ympärillä tyypillisissä tuulitilanteissa. Mittaukset tehtiin kokoomanäytteistä pinta- ja pohjakerroksissa kasvukauden aikana kesällä 2015.

Kuormituksen pääkulkeutumissuuntaa sekä tuulen suunnan ja voimakkuuden vaikutus selvitettiin. Havaittiin, että tuulet ovat tärkeimpiä päävirtaussuuntaa modifioiva tekijä. Kalojen erittämät ravinteet ovat pääasiassa ulostepartikkeleina. Ulosteen fosforista noin 20 prosenttia liukenee nopeasti, minuuttien kuluessa fosfaattifosforina. Loppuosa fosforista pysyy hyvin pitkään perustuotannolle inertissä muodossa mm. kalsiumfosfaattina ja fytiinihappona. Osa fosforipäästöistä sedimentoituu ja kulkeutuu kovilla pohjilla hyvinkin kauas sedimentaatiovyöhykkeille, jossa fosforia vapautuu sisäisen kuormituksen välityksellä tuottavan kerroksen perustuotannon käyttöön. (Kettunen ym. 2020 17–18.)

Sekä mallinnuksen että mittauskampanjan avulla päädyttiin tulokseen, jonka mukaan Loukeenkarin tiloksen kuormitus ei erotu mittauksissa. Mallinnuksen mukaan kuormituksen laimentuminen on niin tehokasta, että ennustettu hetkellinen pitoisuusnousu on suurimmillaankin selvästi alle mittaustarkkuuden. Mittausten perusteella kasvukaudella ei havaittu merkittäviä pitoisuuksien kohoamisia. Vesipatsaan muuttujien vaihtelu oli vuonna 2015 vähäistä mittausajankohtien välillä ja etenkin alueellinen vaihtelu

kasvattamon läheisyydessä (50–1000 m) oli pientä eri näytteenottokerroilla. Kasvattamon rehevöittävää vaikutusta ei voitu havaita fosfaatin, kokonaisfosforin ja a-klorofyllin pitoisuuksista verrattuna vertailupisteen pitkän aikavälin havaintoihin. Myös satelliittikuvien tulkinta osoitti, etteivät voimakkaat leväkukinnat esiintyneet laitoksen läheisyydessä, vaikka ne olivat voimakkaita ulkomerellä. Tulosten mukaan vuosien välinen pitoisuusvaihtelu oli pientä verrattuna kuukausittaiseen tai satunnaiseen vaihteluun. Tämän vuoksi jatkoseurantaa ei kannata tehdä vuosittain, vaan laitoksen mahdollisia vaikutuksia suositeltiin seurattavan intensiivisemmin esimerkiksi 6 vuoden välein. Lähivuosien uudeksi seurantavälineeksi esitettiin myös uusien satelliittien tuotteet.

Kustavin ja Iniön merialueen kalankasvatuslaitosten velvoitetarkkailututkimusten pitkäaikaisraportti 2013–2018

Pitkäaikaisraportissa (Turkki 2020) on selvitetty Kustavin, Kihdin ja Iniön ympäristön vedenlaadun alueellista vaihtelua kalankasvatuslaitosten ympäristössä. Vedenlaatua on mitattu elokuussa 2017 liikkuvasta veneestä 0,5 m syvyydestä käyttäen erityistä läpivirtauslaitteistoa sekä EXO2-mittalaitepakettia, johon oli kytketty optinen sameus- ja klorofyllianturi sekä suolapitoisuus- ja lämpötila-anturit. Laitteisto mittasi vedenlaatuparametreja kerran sekunnissa, ja tuloksista interpoloitiin vedenlaatukartat, jotka perustuivat noin 35 000 mittausreitillä varrella sijainneen pisteen tietoihin. Nitraattityypihavaintoja tehtiin 1200.

Tutkimuksen tuloksissa todetaan, että Ströömin salmi ja saariston suojaiset osat erosivat selvästi avoimen Selkämeren vedestä. Selvimmin ero näkyi klorofylli-a-arvoissa ja sameudessa. Sameus vaihteli välillä 1–5 NTU, ja kirkkaimmat vedet olivat avoimemmilla vesillä. Ströömässä sameus oli 3–5 NTU. Lämpötilan osalta tuloksissa näkyy vastaava alueellinen jakauma kuin sameudessa, lämpimämmät vesimassat ovat sameampia. Suolapitoisuudessa alueellista vaihtelua ei juuri havaittu, pitoisuus oli koko alueella noin 5,9 ‰.

Skallerfjärdenin mallinnus FICOS-ravinnekuormitusmallilla

Suomen ympäristökeskus on kehittänyt FICOS-ravinnekuormitusmallin, jolla on mallinnettu Skallerfjärdeniin sijoitetun uuden kalankasvatuslaitoksen vaikutukset merialueen tilaan. Kasvattamoon keskitetään kolme pienempää kasvattamoa, jotka poistuvat alueelta. Arvioitavia muuttujia ovat kokonaisravinteet ja klorofylli. Mallinnuksessa käytettiin vuosien 2006–2013 todellisia säätietoja. Mallinnus toimii 460 x 460 m hilatarkkuudella.

Yhteenvedossa todetaan, että rannikon merialueen tilan tärkein muuttuja pintavesien tilan arvioissa on levämäärä, jota havaintoaineistossa kuvaa yleisesti klorofylli-a. Tila-arvioissa käytetään kesäkuukausien (heinä-elokuu) keskiarvoa. Sitä vastoin kokonaisravinteet, eli kokonaistyyppi ja suurelta osin myös kokonaisfosfori eivät kerro pistekuormittajien vaikutuksesta kesäkuukausina, sillä molempien kokonaisravinteiden tausta-arvo on Itämeressä suuri. Kuitenkin suurin osa taustapitoisuuksista on levien kasvulle käyttökelvottomassa muodossa, joten pistekuormittajien vaikutusta arvioidaan realistisemmin niiden leväkasvuun vaikuttavalla liuenneiden ravinteiden osuudella.

Tutkimuksessa todetaan, että ruokinnan ravinteiden käyttökelpoisuus levien kasvulle on typen osalta 100 % ja fosforin 35 %. Kuukausittainen kuormitus kokonaiskuormituksesta on toukokuussa 5 %, kesäkuussa 10 %, heinäkuussa 17 %, elokuussa 21 %, syyskuussa 25 % ja lokakuussa 22 %. Mallinnuksen perusteella alkukesän ravinnekuormitus on niin vähäinen, että tulokset esitetään heinäkuusta lähtien. Lokakuun kuormitus ei enää tuota mallitarkastelussa leväkasvua ajankohdan vähäisen valomäärän vuoksi. Muutoksia on arvioitu lähinnä suhteessa rannikkovesien tilan luokittelun hyvän tilan raja-arvoihin.

Mallinnuksesta saatujen tulosten mukaan kokonaistypen taso nousi pistekuormittajan lähialueella (1,86 x 1,86 km) heinä-syyskuun keskiarvona 0,40–0,99 µg/l ja kokonaisfosforin 0,01–0,09 µg/l. Kyseiset pitoisuudet ovat alle 0,5 % hyvän tilan rajasta. Klorofyllin suurin kuukausittainen lisäys oli 0,01–0,10µg/l uuden kohteen lähialueella (1,86 x 1,86 km). Uuden laitoksen vaikutus lähialueen klorofyllipitoisuuden kasvuun on <1 - <5 % ulkosaariston vesimuodostuman hyvän tilan rajasta (2,3µg/l).

Virtaukset ja sääolot vaikuttavat erittäin paljon vaikutusalueen laajuuden vaihteluun. Mallinnetun alueen virtausolot vaihtelevat voimakkaasti, mikä vaikuttaa kokonaisravinteiden leviämiskuvaan. Erityisesti mallinnettu levämäärä vaihtelee suuresti sekä vuosien että kuukausien välillä. Mallinnuksen tulokset eivät ennusta tulevaisuutta, mutta ne antavat kuvan todennäköisestä vaikutusten tasosta ja alueellisesta vaihtelusta. (Kuosa 2020.)

4 VEDENLAADUN TUTKIMUSMENETELMÄT

Opinnäytetyössä mittauksilla pyritään tuottamaan tietoa merialueen kalankasvatuslaitosten paikallisesta vedenlaadusta, pääasiassa muutaman sadan metrin säteellä laitoksista. Oletuksena on, että kalankasvatuslaitoksen toiminta saattaa heikentää vedenlaatua erityisesti laitoksen lähellä ja että vaikutus laimenee etäämmällä. Tarkoituksena on myös selvittää mille etäisyydelle vaikutus ulottuu. Tätä tarkasteltiin mittaamalla vertailupisteitä eri etäisyyksillä laitoksista. Mittaustulosten lisäksi hyödynnetään tarpeen mukaan muuta tiedonkeruuta esimerkiksi kalankasvatuslaitosten koosta ja ruokintamääristä.

Vedenlaadun seurannasta kenttämittareilla

Kannettavia kenttämittareita on tarjolla hyvin monenlaisia ja useilta eri laitetoimittajilta. Mittarit soveltuvat joko jatkuvatoimiseen, pitkäaikaiseen samassa paikassa tehtävään seurantaan tai hetkelliseen vedenlaadun mittaamiseen eri paikoissa. Laitteistot ovat kehittyneet vuosien varrella, mutta siitä huolimatta sensoreilla ei yleensä voida tuottaa yhtä tarkkoja mittaustuloksia kuin laboratoriomäärityksissä. Luonnonolosuhteissa tehtäviin mittauksiin liittyy lisäksi muita tekijöitä, jotka vaikuttavat mittaustarkkuuteen ja luotettavuuteen. (Arola 2012, 11.)

Luonnonvesien mittaamisessa tarvitaan usein hyvinkin alhaisia määritysrajoja. Tulosten luotettavuuden varmistamiseen tarvitaan laitteiden ja mittaustulosten kalibrointia. Mittaustulosten kalibrointi tulisi suositusten mukaan olla havaintopaikkakohtainen tai muutoin edustaa hyvin mittauskohdetta. Tulosten luotettavuutta varmistetaan vertailunäytteillä, joita tulisi olla useita ja niiden tulisi edustaa erilaisia mittauspaikeilla havaittuja vedenlaatutilanteita.

Yksi suurimmista heikkouksista vedenlaadun kenttämittareissa on edelleen luotettavan ja riittävän tarkan fosforianturin puuttuminen. Toistaiseksi fosforipitoisuutta voidaan arvioida sameuden ja fosforipitoisuuden välisen riippuvuuden avulla laskemalla näiden perusteella kiintoaine- ja kokonaisfosforikuormitusta. Kuitenkin sameuden ja kokonaisfosforin väliseen riippuvuuteen vaikuttaa moni asia, joten riippuvuuden merkittävyys on varmistettava aina paikkakohtaisesti vesinäytteiden perusteella. (Tarvainen ym. 2015, 11–12, 15–17.)

4.1 Vedenlaadun mittausmenetelmät

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan vedenlaatutietoja, jotka on mitattu alla mainituilla menetelmillä.

4.1.1 Kannettavat vedenlaatumittarit

Kannettavilla vedenlaatumittareilla (YSI EXO2) saadaan merialueella veneellä liikkuen alueellista dataa. Ne soveltuvat hetkelliseen vedenlaadun mittaamiseen tutkittavan alueen eri kohdissa. Suurin osa mittauksista on tehty 1 metrin syvyydessä. Lisäksi on tehty syvyysprofiilimittauksia, joissa vesipatsaan ominaisuuksista saadaan tietoa pinnalta pohjan läheisyyteen saakka.

4.1.2 Ympäristöpoijut

Ympäristöpoijut soveltuvat jatkuvatoimiseen, pitkäaikaiseen samassa paikassa tehtävään seurantaan. Poijulla saadaan suuri määrä ajallista mittausdataa yhdestä paikasta. Vedenlaatu saattaa vaihdella merkittävästi vuorokaudenkin sisällä, joten jatkuva mittaus parantaa mittausten luotettavuutta. Jatkuvatoimisista mittareista onkin todettu olevan hyötyä erityisesti mitä suurempia ja nopeampia vaihteluita vedenlaadussa on. Perinteisellä vesinäytteenotolla tällaista näytemäärää ei pystytä saamaan. (Tarvainen ym. 2015, 11–12, 15–17) Poijujen antama mittausdata voidaan kalibroida laboratorionäytteiden perusteella samoin kuin edellä mainittujen kannettavien kenttämittareiden mittaustuloksetkin. Poijujen mittaukset ovat saatavilla EHP-datapalvelusta osoitteesta ehp-data.com (LUKE ympäristöpoiju ja LUKE ympäristöpoiju 3).

4.1.3 Laboratorionäytteet

Vesinäytteet on toimitettu akkreditoituun laboratorioon analysoitavaksi, jolloin niistä saadaan luotettavinta tietoa vedenlaadusta. Laboratorionäytteistä saatuja mittaustuloksia voidaan käyttää kenttämittaustulosten kalibroimiseen ja tutkimustulosten varmentamiseen. Vesinäytteitä on otettu EXO-mittausten yhteydessä Limnos-vesinäytteenottimella (2 L). Näytteet on otettu samalta paikalta ja syvyydeltä kuin EXO-näytteenottimella

mitattu data. Lisäksi on huolehdittu oikeanlaisista kuljetus- ja säilytysolosuhteista, jotta näyte säilyisi mahdollisimman muuttumattomana analysointiin asti. Laboratoriossa voidaan määrittää myös ravinnepitoisuudet eli kokonaistypen ja -fosforin pitoisuudet.

4.1.4 Satelliitti- ja dronekuvaukset

Tässä työssä oli myös tarkoitus tutkia kalankasvatusaluetta satelliitti- ja dronekuvausten avulla ja verrata niitä vedenlaatumittauksiin sekä havainnoida hyödynnettävyyttä vedenlaadun arvioinnissa. Kuvauksia tehtiin yhteistyössä Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kanssa 7.– 8.9.2020 muiden aluemittausten yhteydessä. Uusien menetelmien hyödyntäminen mittausten täydentämiseksi jouduttiin kuitenkin jättämään opinnäytetyöstä pois, sillä satelliittikuvia ei saatu pilvisen ilman takia (satelliittikuvia voi tarkastella SYKE:n Tarkka-palvelussa <http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/tarkka>), ja dronekuvaukset epäonnistuivat teknisten ongelmien takia. LUKE:n mittausdata olisi yhdistetty SYKE:n datafuusioon, jossa yhdistetään eri mittausmenetelmien antamia tuloksia. Tulevaisuudessa satelliitti- ja dronekuvauksista (kaukokartoitusmenetelmiä) on tarkoitus kehittää seurantatyökaluja, joiden avulla voidaan jatkossa korvata onsite-tutkimuksia.

4.2 Mitattavia parametreja

Merivesien tilan keskeinen heikentäjä on rehevöityminen. Se ilmenee muun muassa veden samentumisena, levämäärän lisääntymisenä ja leväkukintoina sekä pohjan happivajeena eliöyhteisömuutosten ohella. Tämän opinnäytetyön vedenlaatutarkasteluissa keskitytäänkin a-klorofyllin, sameuden ja hapen mittaamiseen. Mittauksista saadaan samalla myös muuta dataa, kuten lämpötila- ja syvyystietoja. Laboratorionäytteistä mitataan myös kokonaisravinnepitoisuudet.

4.2.1 A-klorofylli

A-klorofylli kuvaa leväbiomassan runsautta. Se on veden laadun indikaattori ja tärkeä ekologisen tilan ilmentäjä Suomen rannikkoalueilla.

Leväsoluissa on a-klorofyllipigmenttiä, jonka määrää mitataan fluoresenssimenetelmällä, fluorometreillä, tietyltä näkyvän valon aallonpituusalueelta. Eri leväryhmät

sisältävät erilaatuisia väriyhdisteitä, yhteyttämisspigmenttejä, joten levien perusväri vaihtelee leväryhmästä toiseen. A-klorofylliä esiintyy runsaasti kaikissa leväryhmissä, joita ovat muun muassa sinilevät (syanoobakteerit), nielulevät, panssarsiimalevät, tarttumalevät, kultalevät, silmälevät ja viherlevät. A-klorofyllin määrä leväsoluissa, tai tilavuutta tai biomassaa kohti, ei ole vakio, vaan vaihtelu voi olla suurtakin johtuen erityisesti valaistuksesta ja ravinneoloista. Fluorometreillä olisi mahdollista tarkastella myös muiden levissä esiintyvien pigmenttien aallonpituusalueita, jolloin voitaisiin arvioida eri leväyhteisön lajistoa ja monimuotoisuutta.

Fluoresenssiin perustuvalla menetelmällä a-klorofylliä saadaan mitattua myös elävistä soluista ja pienissäkin pitoisuuksissa, mutta kaikki levissä oleva klorofylli ei fluoresoi. Elävän solun ja laboratoriossa vesinäytteestä uutetun a-klorofyllin fluoresenssi eivät vastaa täysin toisiaan. Kenttäkäyttöiset fluorometrit mahdollistavat myös jatkuvatoimisen mittaamisen. (Huotari & Ketola 2014, 9–16.)

Kalibroinnista

Ympäristöhallinnon Jatkuvatoiminen levämäärien mittaus -ohjeessa (Huotari & Ketola 2014, 41–44) todetaan, että mikäli klorofyllin fluoresenssin perusteella on tarkoitus tehdä tulkintoja a-klorofyllin pitoisuudesta, aineisto vaatii huolellisen kalibroinnin, jotta tulos vastaisi laboratoriossa määritettyä a-klorofyllipitoisuutta. Tällöin mittausaineistolle tehdään jälkikäteen vertailunäytteenottoon perustuva paikalliskalibrointi, joka on aina anturi- ja mittauspaikkakohtainen. Mittausaineistojen paikalliskalibroinnissa käytetään useimmiten lineaarista regressioyhtälöä. Kalibroimattoman aineiston tuloksia voidaan pitää korkeintaan suuntaa antavina. Paikalliskalibroinnin tarpeesta johtuen kertaluonteiset mittaukset vesistöissä eivät välttämättä ole luotettavia, vaan mittaukset soveltuvat paremmin alueelliseen kartoitukseen. Tällöinkin alueellisen kartoituksen tueksi joudutaan ottamaan paljon vesinäytteitä.

Tässä opinnäytetyössä a-klorofyllitulosten kalibrointia ei tehdä, vaan tuloksia vertaillaan vain paikallisesti näytteenottoalueen sisällä. Kalibrointia ei voinut toteuttaa tulosten hajanaisuuden takia, sillä lineaarisuusvaatimus ei täytynyt ja selitysaste oli heikko.

4.2.2 Sameus

Luonnonvesissä sameutta voivat aiheuttaa muun muassa saviaines, siltti, orgaaninen aines tai levät. Kalankasvatuksessa sameutta aiheuttavat kalojen ruokinta ja ulosteet.

Sameus on nesteen optisen ominaisuuden suure. Se perustuu näytteen sisältämien hiukkasten aiheuttamaan valonsirontaan. Hiukkaset ovat kiintoainetta, jonka pitoisuuden kasvaessa aiheutuu enemmän valonsirontaa ja sen seurauksena myös sameusarvo kasvaa. Sameuslukema ei siis itsessään ole pitoisuusarvo. Sameutta voidaan käyttää sijaismuuttujana joillekin ainepitoisuuksille, kuten kiintoaineelle tai kokonaisfosforille. (Arola 2012, 9, 33)

Kalibrointinäytteillä varmistetaan anturitulosten luotettavuus

Vaikka mittausturrit ovat tehdaskalibroituja, voivat eri standardilla kalibroidut anturit antaa samastakin näytteestä hieman toisistaan poikkeavia sameuslukemia. Anturin ominaisuuksien lisäksi mittaustuloksiin vaikuttavat esimerkiksi vedessä olevien partikkeleiden koko, muoto ja tummuus. Näiden vuoksi antureille tulisi tehdä paikalliskalibrointi datan hyvän laadun takaamiseksi.

Sameusarvojen vertailtavuuden parantamiseksi laitemittaustulokset voidaan kalibroida vesinäytteestä tehtyjen laboratoriosameusarvojen avulla. Ympäristöhallinnon jatkuvatoimisen sameusmittauksen ohjeistuksessa (Arola 2012, 29–33) suositellaan, että kalibrointi tehtäisiin mieluiten ainepitoisuutta, kuten kiintoaineen määrää vasten. Kuitenkin myös laboratoriossa mitattuun sameusarvoon perustuvan kalibroinnin on havaittu olevan luotettava menetelmä. Esimerkiksi kymmenellä kalibrointinäytteellä saadaan monissa tapauksissa riittävän luotettavat tulokset.

Sameusarvojen kalibroinnista kerrotaan tarkemmin aineiston käsittelyosiossa.

4.2.3 Happi

Rehevöityminen aiheuttaa elollisen aineksen, kuten kasviplanktonin lisääntymistä. Elollisen aineksen hajoaminen kuluttaa happea erityisesti pohjassa. (Korpinen ym. 2019, 32) Toisaalta kasviplankton myös tuottaa happea pintaveteen erityisesti kesällä. Veteen liukenevan hapen määrä on riippuvainen veden lämpötilasta.

Mittalaitteista

Nykyisten veden happipitoisuuden mittaamiseen käytettävien happianturien toiminta perustuu joko veteen liunneen hapen optiseen tai sähkökemialliseen mittaukseen. Uudet menetelmät vesistöjen seurannassa -opas (Tarvainen ym. 2015, 17–18) toteaa optisten anturien olevan vakaampia rutiinikäytössä kuin sähkökemialliseen mittaukseen

perustuvat laitteet. Happiantureissa havaitut pitkät stabiloitumisajat etenkin alhaisissa happipitoisuuksissa saattavat teettää epäluotettavuutta tuloksiin. Käyttökelpoisuuden parantamiseksi mittausta tulisi seurata reaaliaikaisesti esimerkiksi käsinäytöltä riittävän mittausajan arvioimiseksi.

4.2.4 Kokonaisravinteet P ja N

Fosforin (P) ja typen (N) kokonaispitoisuuksia mitataan vain laboratorionäytteistä. Kokonaisravinnepitoisuus mittaa myös eliöihin sitoutuneet ravinteet. Rehevöityminen aiheuttaa ravinnetason yleistä kohoamista avomeri- ja rannikkoalueilla ja pitoisuuksia käytetäänkin veden rehevyyden mittarina. Kesäajan kokonaistyyppi ja -fosfori sisältyvät vesipuitedirektiivin ekologista luokitusta tukeviin muuttujiin. (Korpinen ym. 2019, 44–59)

5 NÄYTTEENOTTO JA AINEISTON KÄSITTELY

5.1 Kenttämittaus ja vesinäytteenotto

Luonnonvarakeskus on mitannut vedenlaatua kalankasvattamoiden ympärillä kasvatuskauden 2020 aikana. Mittauksia on tehty kuuden eri kalankasvattamopaikan lähistöllä tavanomaisten tuulitilanteiden aikana. Sijaintipaikoilla toimii yhteensä yhdeksän kalankasvatuslaitosta, ja osassa on useampia kalankasvatuskasseja.

Luonnonvarakeskus on järjestänyt mittauskampanjapäiviä, jolloin on pyritty saamaan kerralla riittävän kattava määrä kenttämittauspisteitä (EXO) sekä vesinäytteitä, joista saisi yhdessä tarpeeksi luotettavan kuvan vedenlaadusta. Kihdin alueella mittauskampanjapäiviä on ollut kuusi: 13.7.2020 Korra ja Loukeenkari, 19.8.2020 Korra ja Loukeenkari, 20.8.2020 Korra ja Märklobb, 7.9.2020 Märklobb, 8.9.2020 Märklobb ja 9.9.2020 Korra. Opinnäytetyön tekijä on tehnyt mittauksia ja vesinäytteenottoa kolmena mittauskampanjapäivänä, 19.8. sekä 7.-8.9.2020. Rymättylässä aluemittauksia on tehty neljä kertaa laajalta alueelta, 10.7.2020, 20.7.2020, 31.7.2020, 12.8.2020, suppeammalta alueelta 28.8.2020 sekä mittauksia laiturin päästä 22.6.-28.8.2020.

Mittauksia on tehty pääasiassa 1 m syvyydessä, ja lisäksi on mitattu syvyysprofileita. Mittauspisteet on valittu kalankasvatuslaitosten ympärillä kokeillen eri tapoja; ympyräkehällä eri säteillä laitoksesta, neljään eri ilmansuuntaan laitoksesta ja satunnaispisteinä laitoksen ympärillä. Koska valmista, hyväksi todettua mittaustapaa ei ole ollut, tarkoituksena on myös hahmottaa sopivimpia tapoja mittauspisteiden valintaan.

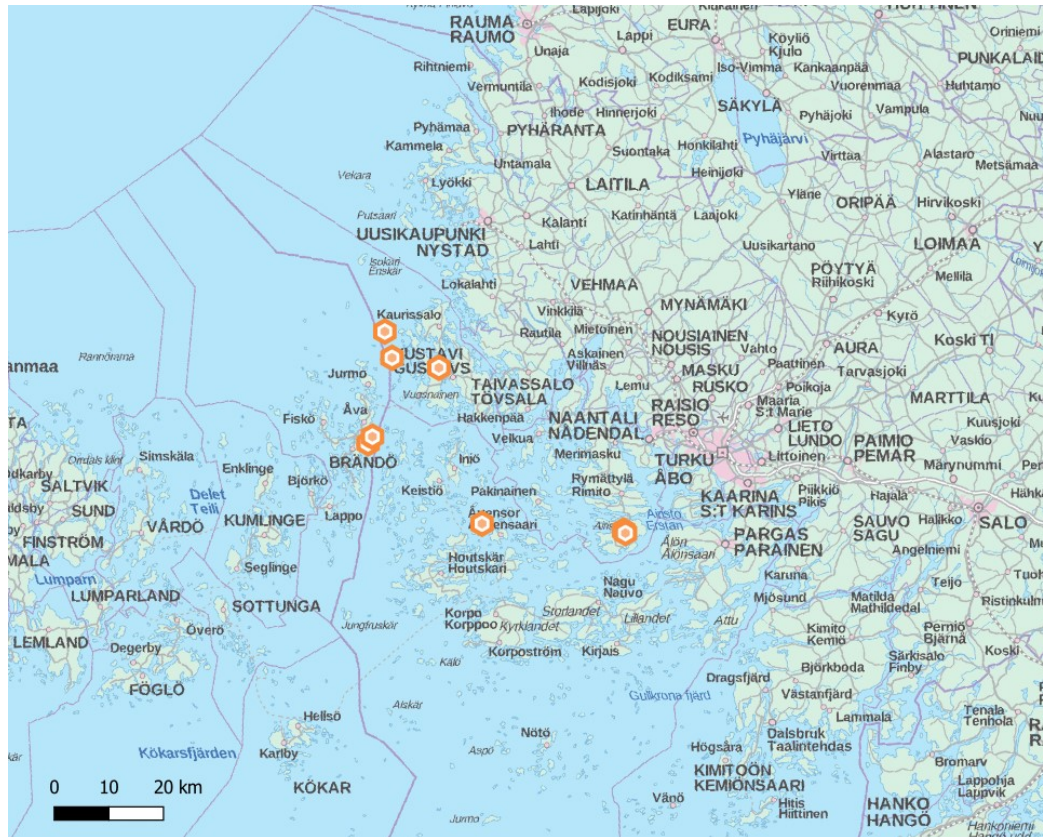
Korran ja Märklobbin kalankasvatuslaitosten lähistölle on tuotu myös ympäristöpoijut, jotka mittaavat vedenlaatua useasti päivässä. Poijut on asennettu 18.7. ja 11.8.2020, joten mittaustuloksia on saatu vasta näiden ajankohtien jälkeen.

Vedenlaatuseurantaa on toteutettu myös pilottiyhteistyönä kalankasvatusyrittäjien kanssa. Yritysyhteistyönä on tehty EXO-mittauksia tutkimusalueella kahdella laitoksella, Ströömässä Kustavissa ja Alörarnalla Paraisilla. Mittauksia on otettu viikoittain eri etäisyyksiltä kalankasvattamosta (0, 100, 400 m, Alörarnalla myös 800 m), sekä eri syvyyksistä. Kenttämittausten lisäksi laboratorionäyte on otettu neljä kertaa kesä-syyskuun aikana.

Alla olevassa taulukossa (Taulukko 1.) ovat näytteenottoajankohdat kalankasvattamoiden sijainnin mukaan, ja karttakuvassa (Kuva 6.) näkyvät tutkittavien kalankasvatuslaitosten sijainnit.

Taulukko 1. Kalankasvattamot, mittausmenetelmät ja ajankohdat.

| Sijainti | Mittausmenetelmät | Ajankohta |
|---|---|--|
| Korra, Kustavi | Kenttämittaus YSI EXO2:lla ja laboratorionäytteet | 1. aluemittaus 13.7.2020 2. aluemittaus 19.8.2020 3. aluemittaus 20.8.2020 4. aluemittaus 9.9.2020 |
| | Ympäristöpoiju | 18.7.2020 alkaen |
| Loukeenkari, Kustavi | Kenttämittaus YSI EXO2:lla ja laboratorionäytteet | 1. aluemittaus 13.7.2020 2. aluemittaus 19.8.2020 |
| Märrklobb, Brändö (alueella kaksi kalankasvattamoa) | Kenttämittaus YSI EXO2:lla ja laboratorionäytteet | 1. aluemittaus 20.8.2020 2. aluemittaus 7.9.2020 3. aluemittaus 8.9.2020 |
| | Ympäristöpoiju | 11.8.2020 alkaen |
| Hämmärsalmi, Rymättylä (alueella kolme kalankasvattamoa) | Kenttämittaus YSI EXO2:lla ja laboratorionäytteet | 1. aluemittaus 10.7.2020 2. aluemittaus 20.7.2020 3. aluemittaus 31.7.2020 4. aluemittaus 12.8.2020 5. suppeampi aluemittaus 28.8.2020 Lisäksi mittaukset kasvattamon vierestä 22.6 - 28.8.2020 |
| Ströömi, Kustavi | Yritysyhteistyö: kenttämittaus YSI EXO:lla ja laboratorionäytteet | 24.6.-29.9.2020 |
| Alörarna, Houtskari | Yritysyhteistyö: kenttämittaus YSI EXO:lla ja laboratorionäytteet | 30.6.-24.9.2020 |



Kuva 6. Tutkittavien kalankasvattamoiden sijainnit kartalla. Karttapohja MML.

5.2 Aineiston käsittely

Mittaustulokset on viety Excel-taulukkolaskentaohjelmaan sekä QGIS-paikkatieto-ohjelmaan, joissa saadaan tehtyä tarvittavat korjaukset ja esitystavat tuloksille.

Virheellisten mittauspisteiden poisto

EXO-mittausaineistosta on poistettu selkeästi linjasta poikkeavat tulokset, jotka on tulkittu mittausvirheiksi. Ne voivat johtua esimerkiksi kohdalle osuneesta roskasta tai mittaamisesta liian lähellä pohjaa, jolloin esimerkiksi sameusarvot nousevat merkittävästi.

Mittaustulosten kalibrointi

Kalibroinnin tavoitteena on, että laboratorionäytteiden ja anturimittausten tulokset korreloisivat keskenään voimakkaasti ja että niiden yhteys olisi lineaarinen. Lineaarisuusoletuksen myötä kalibrointiin käytetään regressioanalyysiä, jossa vertailunäytteiden ja anturitulosten välille lasketaan korrelaatiokerroin ja muodostetaan kalibrointisuora.

Kalibrintisuora on muotoa $y=mx+c$. y on anturitulos, x on laboratoriotulos, m on kalibrintisuoran kulmakerroin ja c on suoran y -akselin leikkauspiste. Mallissa käytetään selittävinä x -arvoina virheettömiksi oletettavia laboratoriomittauksia ja selitettävinä y -arvoina virheille alttiimpia anturituloksia. Perusoletuksena regressioanalyysissä on, että mallissa oleva virhevaihtelu on peräisin y -arvoista ja vastaavasti x -arvojen virheen ajatellaan olevan hyvin pientä tai merkityksetöntä. Kalibroidun anturin antamat lukemat muunnetaan siis vastaamaan mahdollisia laboratorioarvoja yhtälöllä $x=(y-c)/m$. (Arola 2012, 29-33.)

Kenttämittausten sameustuloksia on kalibroitu paikallisesti jälkikäteen regressioyhtälön avulla laboratorionäytteitä vasten, jolloin niiden on tarkoitus vastata laboratorionäytteiden antamia arvoja. Sameuskalibrointi on tehty Hämmärsalmella sekä Kihdin alueen kasvattamoilla eli Korralla, Loukeenkarilla ja Märrklobbilla. Kihdin mittauskohteet on arvioitu samankaltaisiksi alueiksi, joiden vedenlaatuominaisuudet vastaavat pitkälti toisiinsa. Tältä alueelta kalibrointiin on saatu sekä ajallista kattavuutta että riittävän laajaa sameusarvojen vaihteluväliä tulosten luotettavuuden varmistamiseksi. Sekä Kihdin että Hämmärsalmen aineisto on sopinut kalibrointiin, sillä mittaustulokset ovat olleet lineaarisia ja selitysaste on riittävän korkea, Kihdin alueella 89,2 % ja Hämmärsalmessa 95,8 %.

Kenttämittarilla saatuja klorofylliarvoja sitä vastoin ei voinut korjata samalla menetelmällä, sillä aineiston hajanaisuuden takia kalibroinnilla ei olisi saatu riittävän luotettavia tuloksia. Klorofylliarvoista voidaan näin ollen tarkastella vain suhteellisia eroja paikka-kohtaisesti. Happimittauksia ei ole myöskään kalibroitu vähäisen laboratorioaineiston vuoksi.

Paikkatiedon hyödyntäminen QGIS:llä

QGIS-paikkatieto-ohjelman avulla tulokset voidaan esittää visuaalisesti kartalla. Kalan- kasvatustiluksia, ympäristöpoijuja ja muita mittauspisteitä sekä niistä saatuja mittaustuloksia esitetään eri värisinä pisteinä ja interpoloituina alueina kartalla. Interpoloinnissa ohjelma laskee oletetut arvot mittauspisteiden välisille alueille.

Etäisyystarkastelu

Alörarnan ja Ströömin mittaukset on tehty kesän aikana useita kertoja samoista mittauspisteistä, 0 m, 100 m, 400 m, ja Alörarnalla lisäksi 800 m etäisyyksiltä. Näiden tulokset esitetään etäisyyden mukaan.

Muiden kalankasvatuslaitosten ja mittauspisteiden välisiä etäisyyksiä mitattiin paikkatieto-ohjelman avulla, josta etäisyystiedot siirrettiin jälleen Exceliin taulukointia varten. Etäisyystarkastelu osoittautui kuitenkin melko hyödyttömäksi, eikä antanut kovin selkeitä tuloksia. Esimerkiksi kalan ruokinnasta ja ulosteista oletettavasti aiheutuva sameus ei ole jakautunut lainkaan tasaisesti kalankasvatuslaitoksen ympärillä, ja näin ollen interpoloiduista karttakuvista saa paremman käsityksen vedenlaadusta eri kohdissa.

6 MITTAUSTULOKSET

Mittaustulokset (a-klorofylli, sameus ja happi sekä kokonaisravinteet P ja N) esitellään paikkakohtaisesti sekä päivämäärien mukaan. Mittaukset on tehty pintavedestä noin yhden metrin syvyydestä, lisäksi on mitattu syvyysprofileja. Kalankasvattamoista esitetään sijaintitiedot sekä laitoksen koko suuntaa antavasti kalojen lisäkasvun muodossa. Lisäkasvu on määritelty laitoksen ympäristöluvassa. Sillä tarkoitetaan kalojen ruokinnalla saatua yhteislisäpainoa tonneina, kun ne ovat merikasvatukseen tullessaan esimerkiksi 500 grammaisia per yksilö. Karttakuvissa kalankasvatuslaitosten ympärille on merkitty renkaita 100 metrin välein etäisyyksien hahmottamiseksi.

Mittaustulosten käyttökelpoisuus

Akkreditoidussa laboratoriossa mitattuja tuloksia vedenlaadusta voidaan pitää kaikkein luotettavimpana aineistona. Näitä tuloksia voidaan vertailla myös eri mittauskohteiden kesken. Laboratorionäytteiden avulla paikalliskalibroidut kenttämittareiden tulokset on muutettu vastaamaan mahdollisimman pitkälti laboratorioarvoja. Kenttämittareiden (EXO:t ja poijut) tulokset ilman kalibrointia soveltuvat parhaiten paikalliseen, suhteellisten erojen tarkasteluun alueella.

Mittaustulokset ovat kalibroimattomia, ellei kalibroinnista ole erikseen mainittu. Laboratorionäytteiden tuloksia voi tarkastella erikseen liitteestä (Liite 1).

Vesien hyvän tilan määrittelevät raja-arvot

Kullakin vesialueella käytetään omia raja-arvoja hyvän tilan määrittämiseen. Tässä työssä viisi tutkittavista kalankasvatuspaikoista sijaitsee Lounaisessa saaristossa ja yksi kohde (Märrklobb) sijaitsee Kihdillä noin kilometrin päässä maakuntarajasta Ahvenanmaan puolella. Vesienhoidossa asetetut rannikkovesien kokonaisfosfori- (P) ja kokonaisyppipitoisuuksien (N) (kokonaisravinteiden keskiarvopitoisuus 1.7.–7.9. 1 m pintavedessä) sekä a-klorofyllin kynnysarvot pitäisi alittaa.

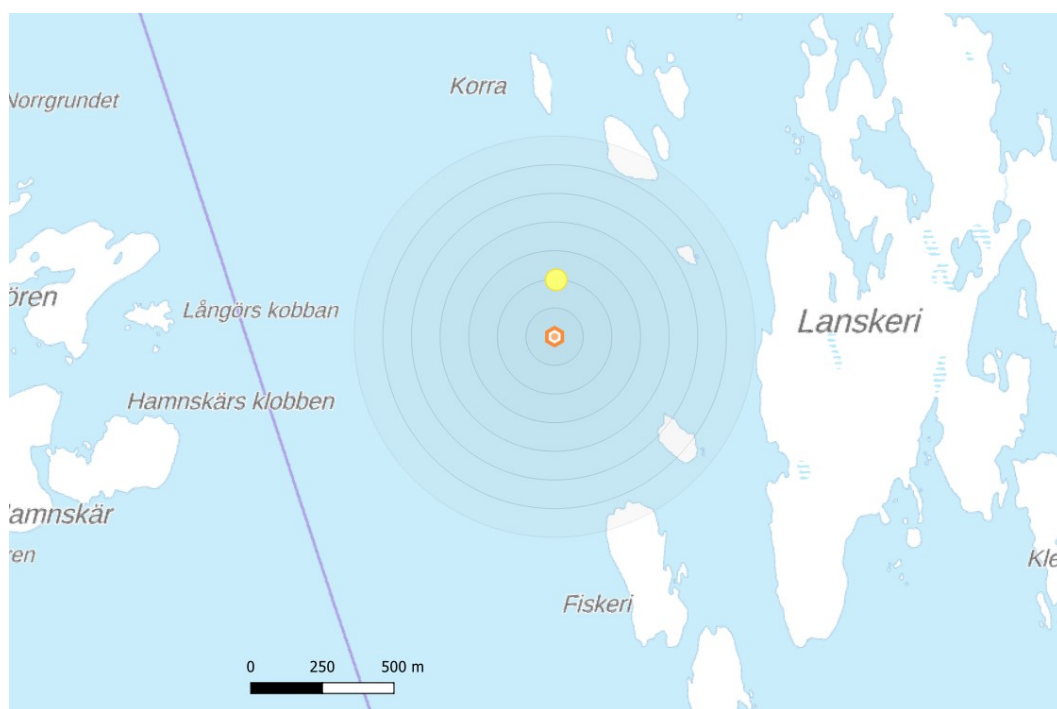
Rannikkovesityypit ja niiden mukaiset rannikkovesien hyvän tilan raja-arvot ovat kohteissa seuraavanlaiset: Korra ja Loukeenkari sijaitsevat lounaisessa ulkosaaristossa, jossa a-klorofyllipitoisuuden raja-arvo on 2,3 µg/L, ja kokonaisravinnepitoisuuksien raja-arvot ovat 18 P ja 290 N µg/L. Märrklobb sijaitsee Ahvenanmaan ulkosaaristossa, jossa a-klorofyllipitoisuuden raja-arvo on 2,4 µg/L sekä kokonaisravinnepitoisuuksien raja-

arvot ovat 15 P ja 312 N $\mu\text{g/L}$. Alörarna, Hämårsalmi ja Ströomi sijaitsevat lounaisessa välisaaristossa, jossa a-klorofyllipitoisuuden raja-arvo on 2,5 $\mu\text{g/L}$ ja kokonaisravinnepitoisuuksien raja-arvot ovat 20 P ja 310 N $\mu\text{g/L}$. Näiden lisäksi liuenneen hapen pitoisuudet eivät saa kuukausikeskiarvona laskea rannikkovesien vesimuodostumissa alle 4 mg/l. (Korpinen ym. 2019, 51–52.)

Laboratoriomittauksia arvioidaan lähinnä suhteessa rannikkovesien tilan luokittelun hyvän tilan raja-arvoihin. Hyvän tilan määritelmiä käytetään suuntaa antavina tietoina, sillä tässä tutkimuksessa käytettävä aineisto ei noudata kaikilta osin ekologisessa tilaluokituksessa käytettäviä näytteenottoajankohtia (1.7.–7.9.) tai näytteenottomenetelmiä eri syvyyksistä.

6.1 Korra, Kustavi

Korra on upotettavan kalankasvattamon koelaitos, joka on saatu toimintaan heinäkuussa 2020. Kalojen lisäkasvu on vuosittain 100 tonnia. Kalankasvatuslaitoksen sijainti (WGS84) 60,56801N 21,1458E ja EHP-poijun sijainti 60,56978N 21,14558E. Alla karttakuva (Kuva 7.) alueesta. Laitos on merkitty valko-oranssilla pisteellä ja ympäristöpoiju keltaisella.



Kuva 7. Korran kalankasvattamo Kihdin merialueella. Karttapohja MML.

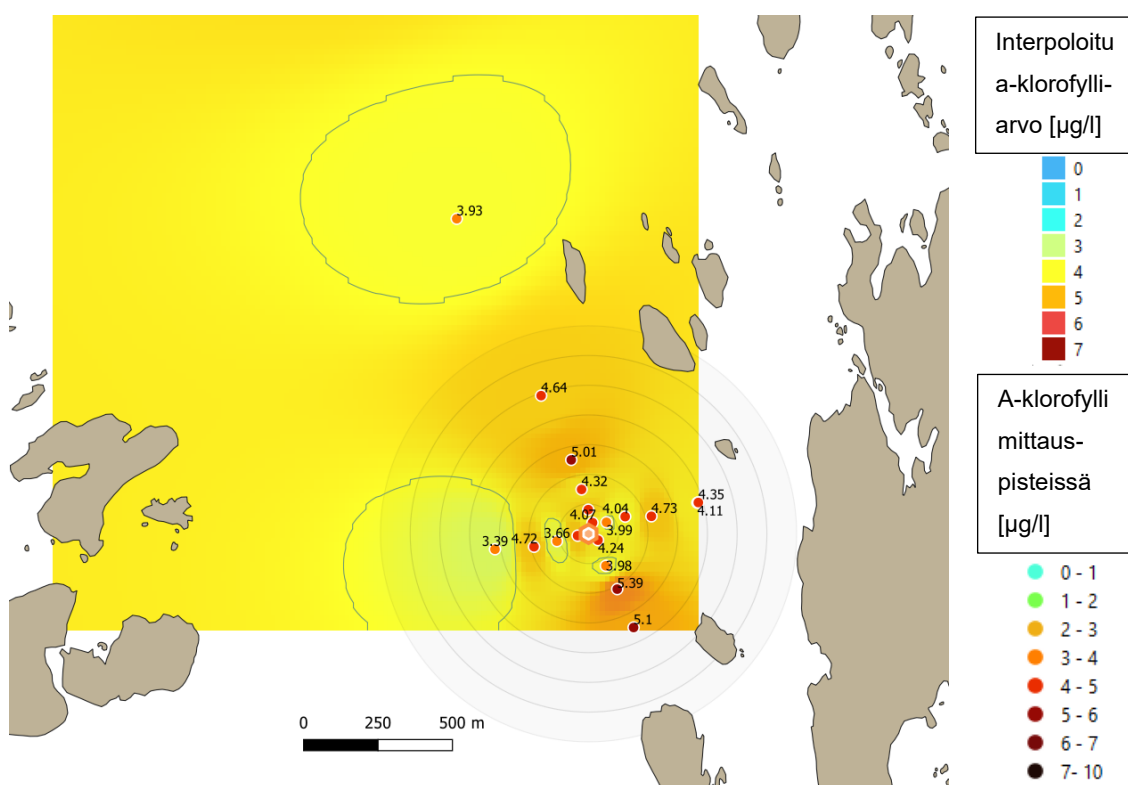
Aluemittauksia on tehty neljästi YSI EXO2:lla ja laboratorionäytteidenotolla: 13.7.2020, 19.8.2020, 20.8.2020 ja 9.9.2020. Ympäristöpoiju (LUKE Ympäristöpoiju 20113) on siirretty paikalle 17.7.2020, mutta luotettavia mittaustietoja ei ole kesän ja syksyn aikana saatu hapen, a-klorofyllin eikä sameuden osalta, joten tulokset on jouduttu jättämään pois tarkastelusta.

Tulosten keskiarvot

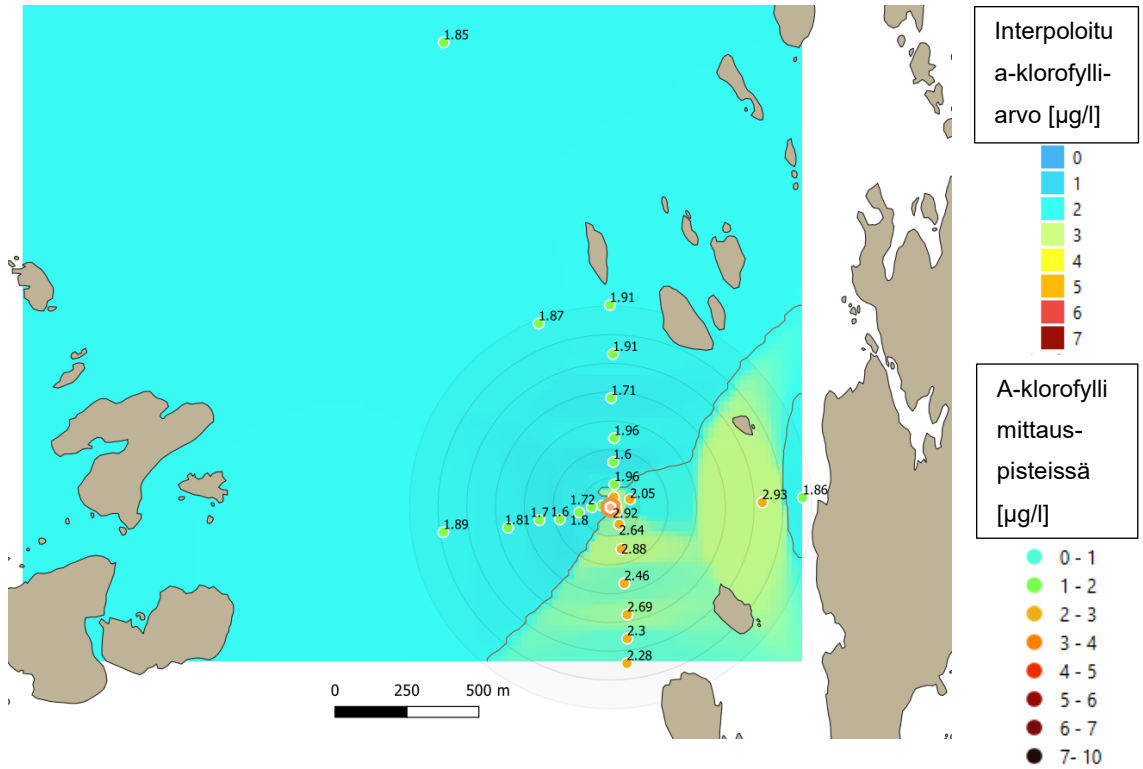
EXO-mittauksissa Korran alueella 13.7.–9.9. klorofyllin keskiarvo kaikilta mittauskerroilta oli 2,64 µg/l, ja sameuden 0,59 FNU (Kalibroitu 1,09 FNU) ja hapen 9,21 mg/l.

6.1.1 A-klorofylli

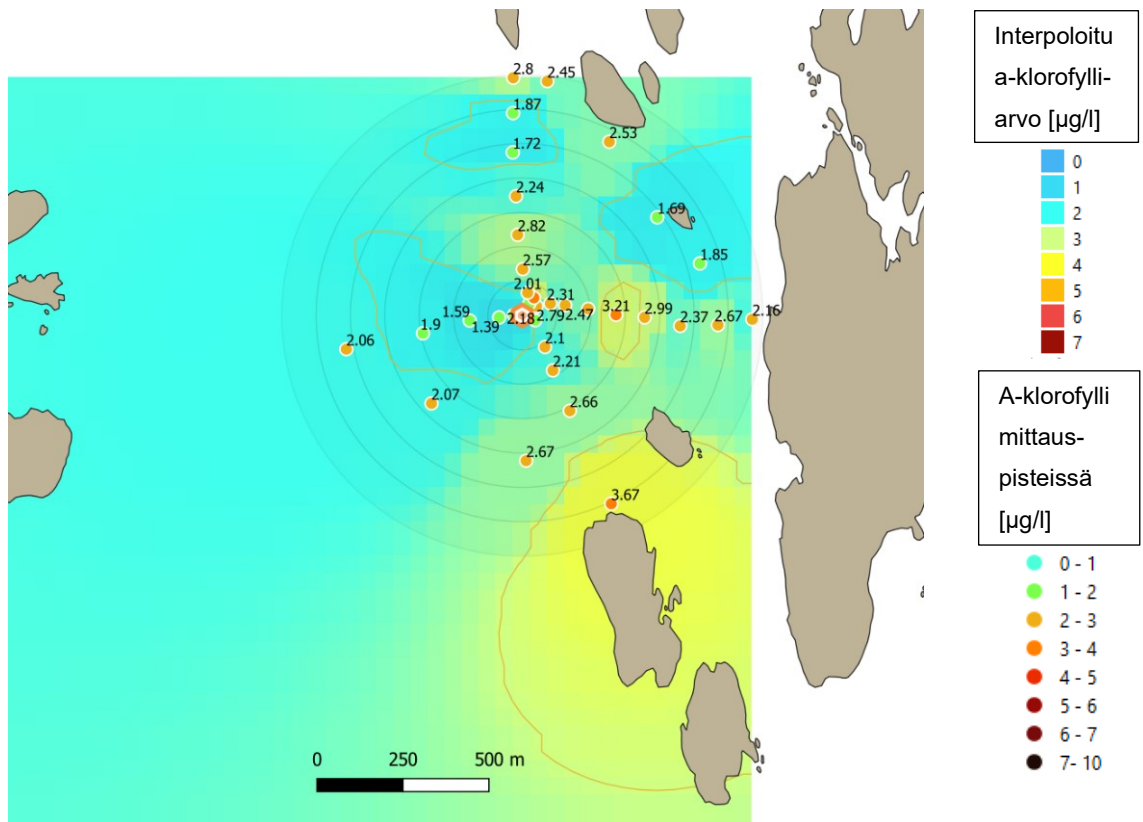
A-klorofyllin määrä on Korran alueella 13.7. noin 4 µg/l. 19.-20.8. tulokset jakautuvat laikuittaisesti alueella vaihdellen pääasiassa < 2 ja > 3 µg/l välillä. 9.9. pitoisuus on noin 3 µg/l. Alla interpoloiduissa karttakuvissa (Kuvat 8-11.) myös tulokset mittauspisteittäin.



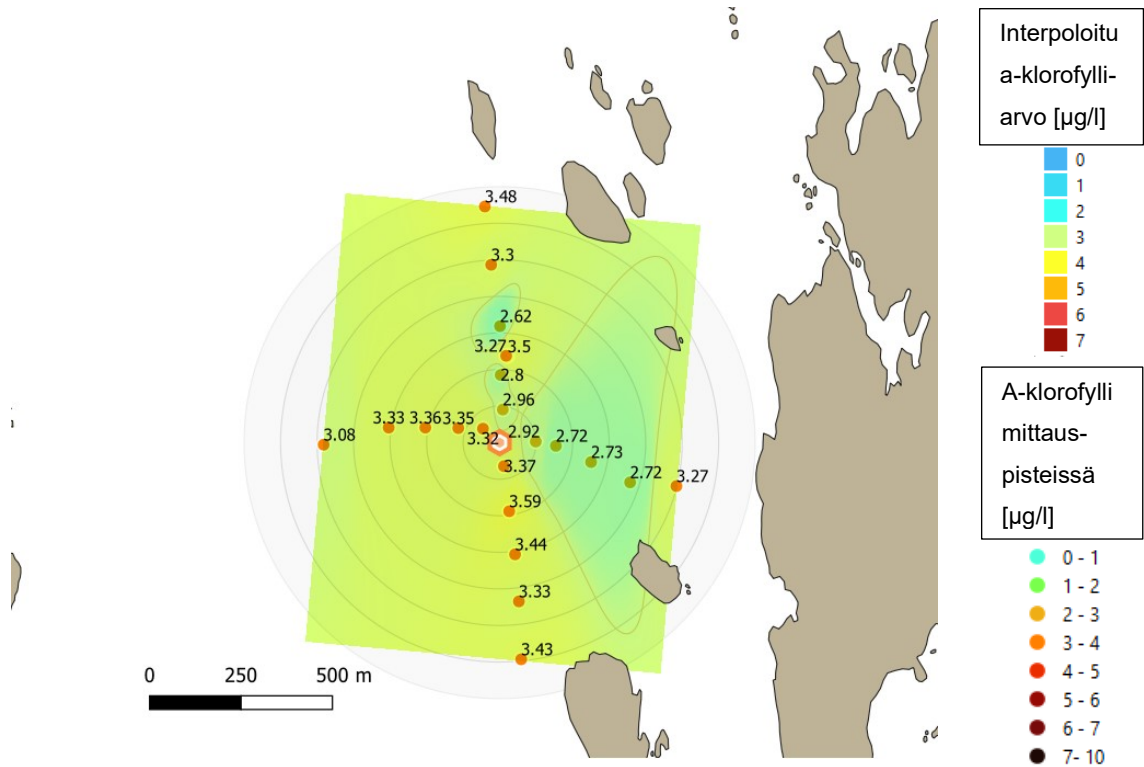
Kuva 8. A-klorofylli, Korra 13.7.2020. Karttapohja MML.



Kuva 9. A-klorofylli, Korra 19.8.2020. Karttapohja MML.



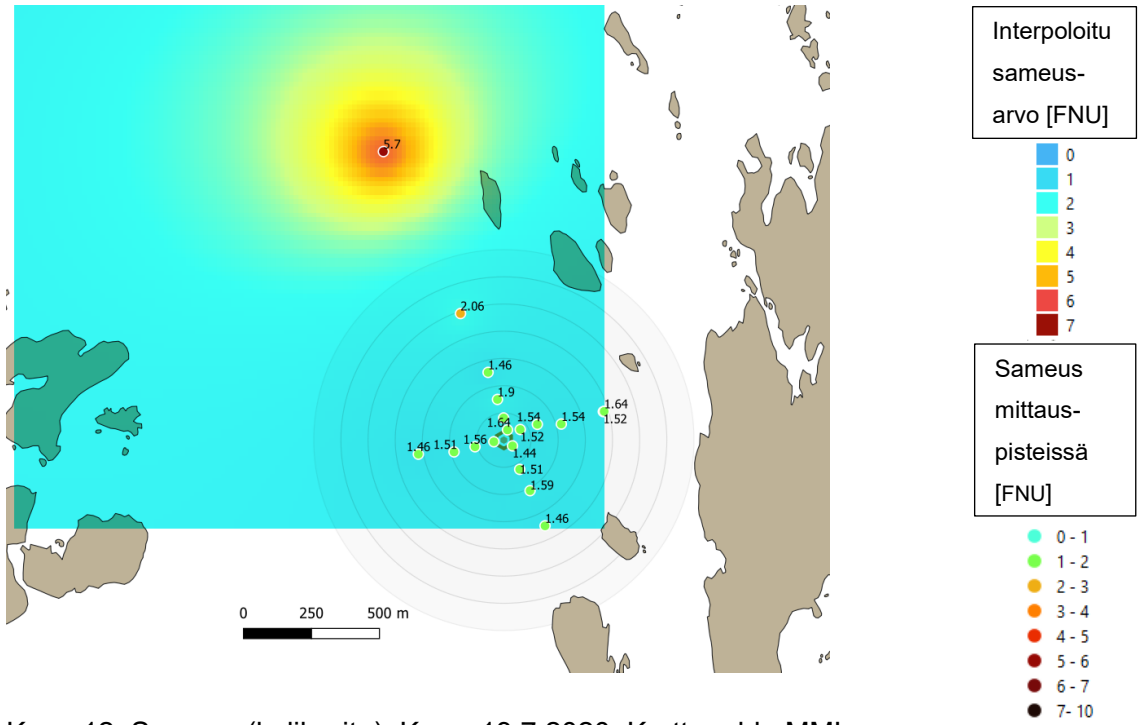
Kuva 10. A-klorofylli, Korra 20.8.2020. Karttapohja MML.



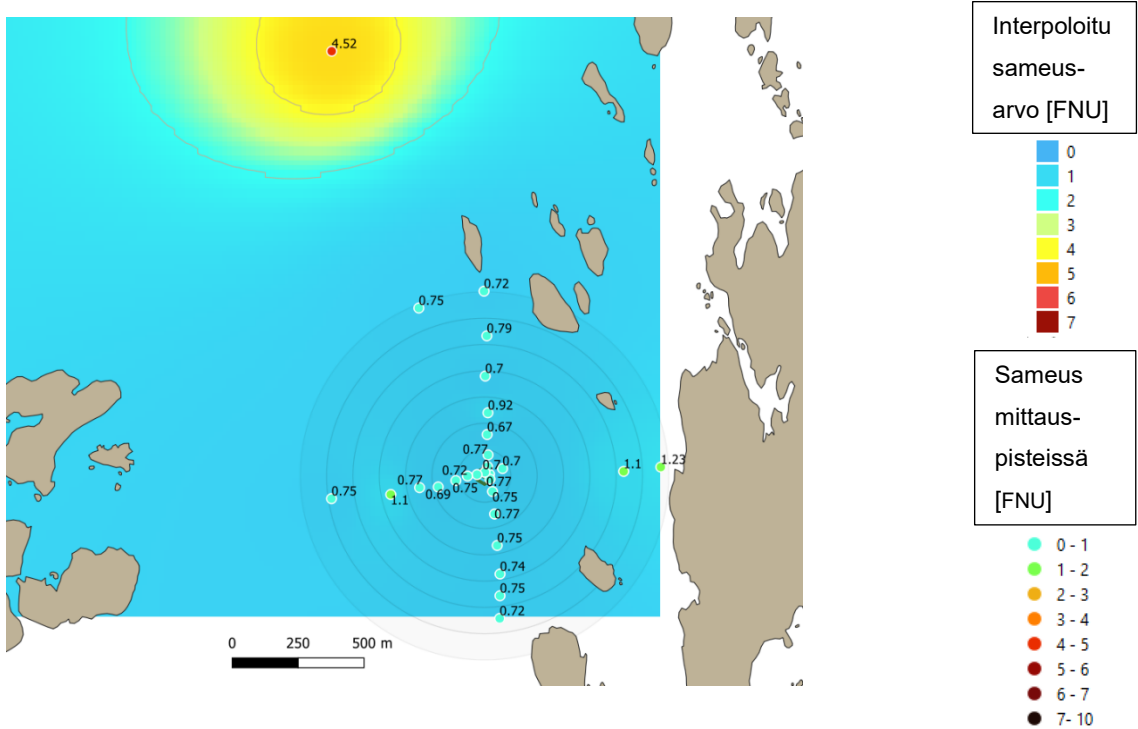
Kuva 11. A-klorofylli, Korra 9.9.2020. Karttapohja MML.

6.1.2 Sameus

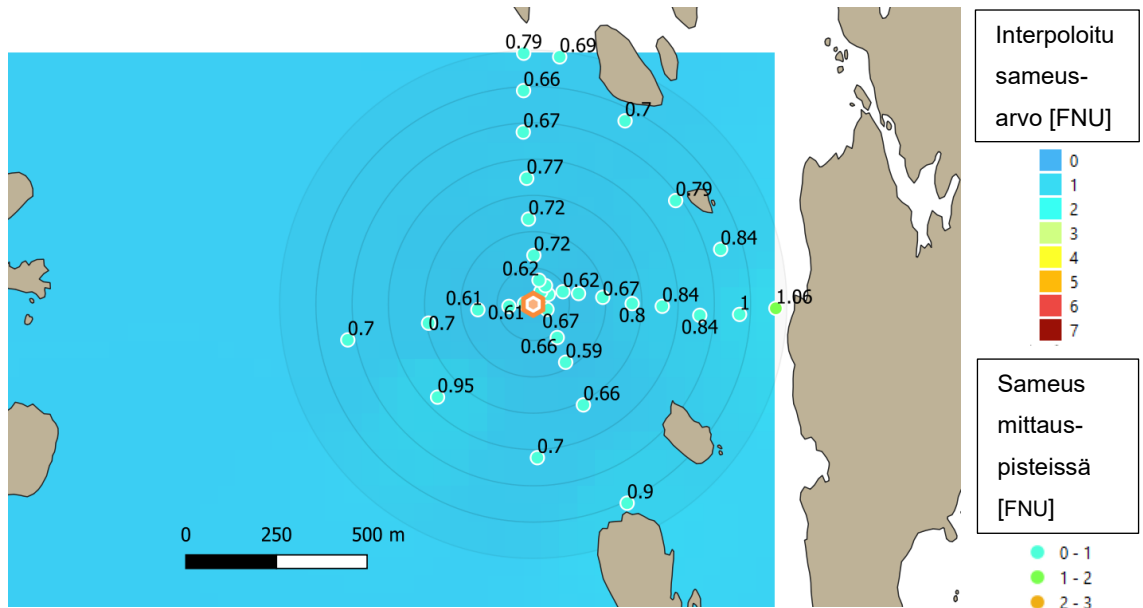
Alla olevissa karttakuvissa (Kuvat 12-15.) on sameustulokset interpoloituina ja mittauspisteittäin. Kalanviljelylaitoksen kohdalla vesi on melko tasaisesti kirkasta, sameusluku vaihtelee neljällä mittauskerralla <1 ja <2 FNU välillä.



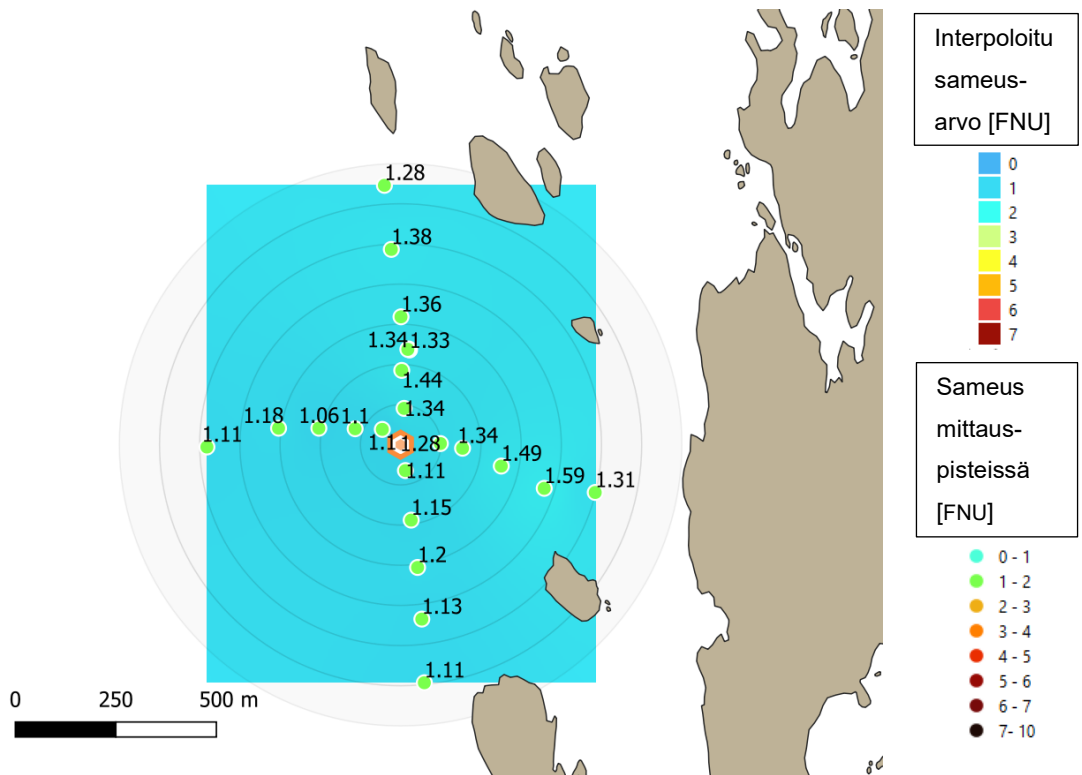
Kuva 12. Sameus (kalibroitu), Korra 13.7.2020. Karttapohja MML.



Kuva 13. Sameus (kalibroitu), Korra 19.8.2020. Karttapohja MML.



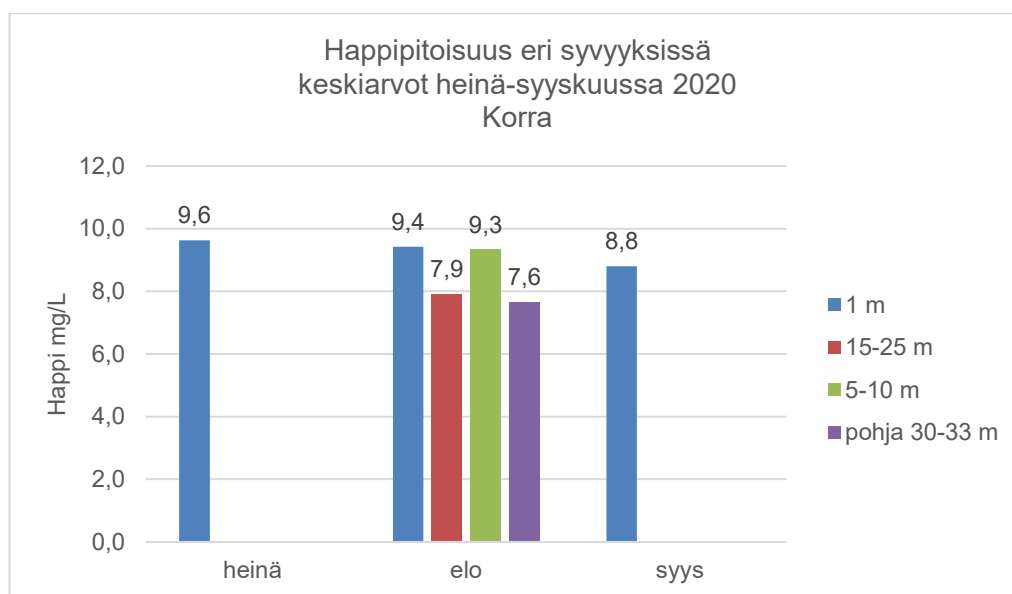
Kuva 14. Sameus (kalibroitu), Korra 20.8.2020. Karttapohja MML.



Kuva 15. Sameus (kalibroitu), Korra 9.9.2020. Karttapohja MML.

6.1.3 Happi

Alla olevassa kaaviokuvassa (Kuva 16.) happimittaukset heinä-syyskuussa 1 m syvyydestä, elokuussa mittauksia on tehty myös eri syvyyksiltä. Heinä- ja syyskuussa mittauksia on tehty alueella kerran (13.7. ja 9.9.), elokuussa kahtena päivänä (19.–20.8.). Happipitoisuus on ollut heinä-syyskuun aikana hyvällä tasolla vaihdellen pintavesissä 8,8–9,6 mg/l välillä ja pohjan lähellä 7,6 mg/l.



Kuva 16. Korran happipitoisuus eri syvyyksissä, keskiarvot heinä-syyskuussa 2020.

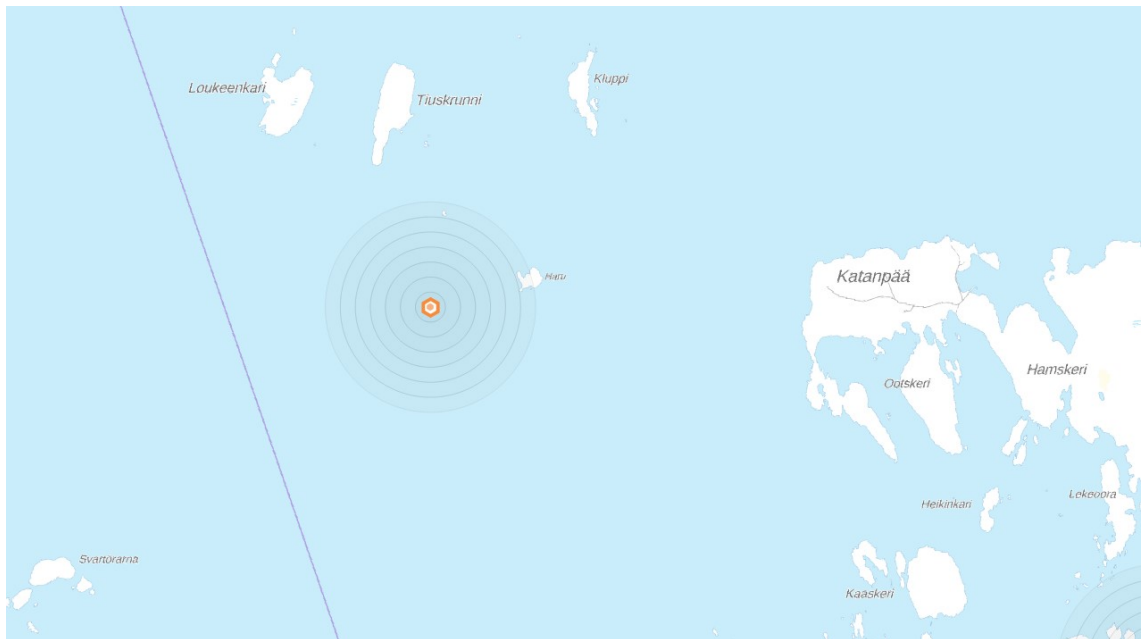
6.1.4 P ja N

Laboratorionäytteitä on otettu viisi kertaa. Kokonaisfosforin määrä on vaihdellut 17–41 µg/L välillä ja kokonaistypen 290–360 µg/L. Kokonaisravinnepitoisuuksien hyvän tilan alueelliset raja-arvot ovat 18 P ja 290 N µg/L. Kokonaisfosforipitoisuus alittaa kerran hyvän tilan raja-arvon, muilla mittauskerroilla tulos on yli raja-arvon. Kokonaistyyppipitoisuus on alimmillaan hyvän tilan rajalla ja pääsääntöisesti sen yli. Keskiarvona sekä kokonaisfosfori että -typpi ylittävät hyvän tilan raja-arvot. Alla tulokset taulukossa (Taulukko 2.).

Taulukko 2. Laboratoriomittausten tulokset Korrassa.

| Pvm | Näytteenotto­syvyys [m] | Paikan syvyys n. [m] | Näkö­syvyys [m] | Lämpötila [°C] | Sameus [FNU] | Sähk.joht. [mS/m] | Kok. N [µg/l] | Kok. P [µg/l] | Klorofylli-a [µg/l] |
|-----------|-------------------------|----------------------|-----------------|----------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|---------------------|
| 28.1.2020 | 1 | 50 | | | 2,6 | 1000 | 290 | 24 | 0,71 |
| 2.3.2020 | 1 | 50 | | | 1,9 | 1040 | 360 | 28 | 0,62 |
| 13.7.2020 | 1 | 34 | 3,5 | 16,5 | 1,4 | 1030 | 300 | 17 | 4,7 |
| 19.8.2020 | 1 | 36 | | 19,1 | 0,8 | 1010 | 290 | 20 | 2,2 |
| 9.9.2020 | 1 | 38 | 4 | 16,9 | 1,2 | 1030 | 310 | 41 | 3,2 |

6.2 Loukeenari, Kustavi



Kuva 17. Karttakuva Loukeenarin kalankasvattamosta. Karttapohja MML.

Loukeenarin laitoksen sijainti (WGS84) on 60,609842 N 21,114052 E. Kalojen lisäkasvu on vuosittain 299 tn. Ympäristöluvan mukainen typpikuormitus 20 000 kg/v, fosforikuormitus 2600 kg/v. Aluemittauksia on tehty kaksi kertaa YSI EXO2:lla ja

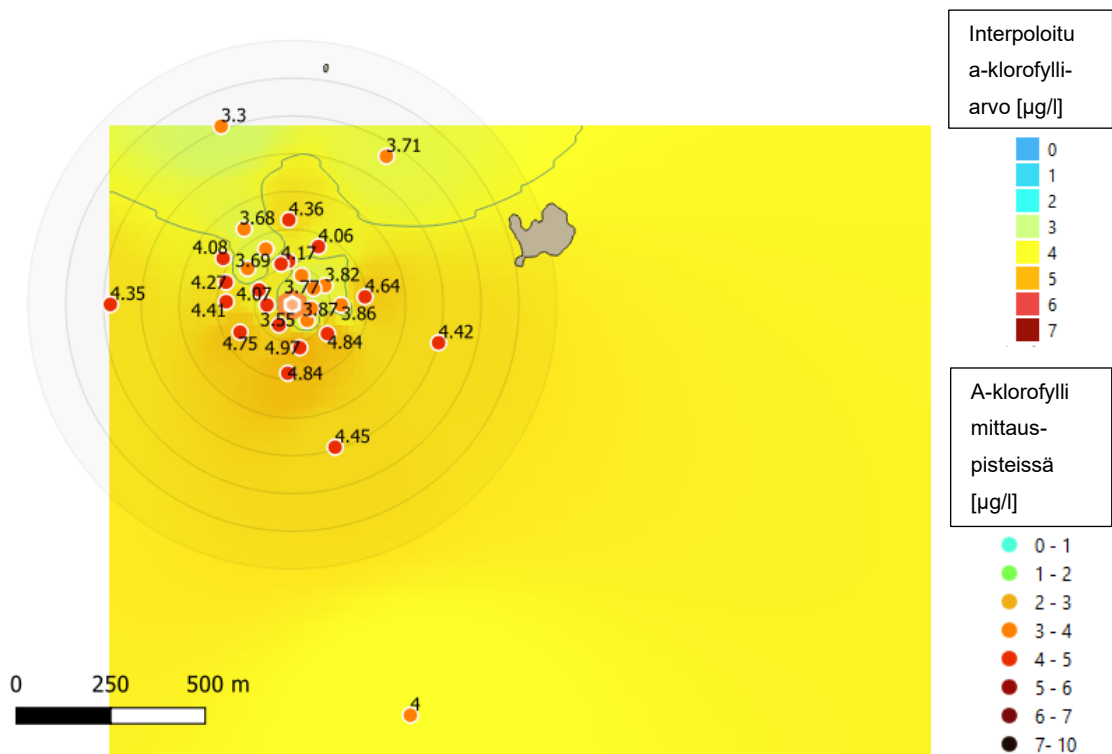
laboratorionäytteidenotolla, 13.7.2020, 19.8.2020. Kalojen ruokintamäärät ovat olleet 13.7. 4750 kg ja 19.8. 5300 kg. Yllä karttakuva (Kuva 17.) Loukeenkarin kalankasvattamosta Kihdin merialueella. Laitos on merkitty valko-oranssilla pisteellä.

Tulosten keskiarvot

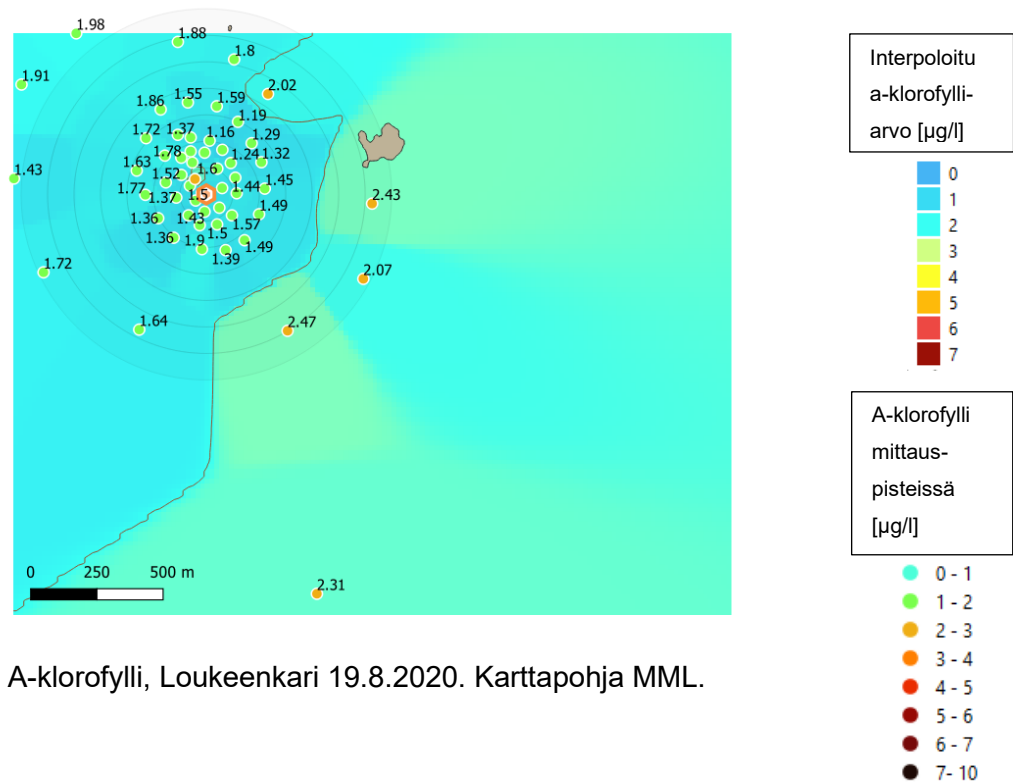
EXO-mittauksissa Loukeenkarilla klorofyllin keskiarvo kaikilta mittauskerroilta oli 2,46 µg/l, ja sameuden 0,65 FNU (Kalibroitu 1,18 FNU), hapen 9,39 mg/l.

6.2.1 A-klorofylli

13.7. a-klorofyllipitoisuus on Loukeenkarilla noin 4 µg/l, ja 19.8. mittaustulokset ovat pääsääntöisesti < 2 µg/l. Alla interpoloiduissa karttakuvissa (Kuvat 18-19.) mittauspisteet ja niiden tulokset.



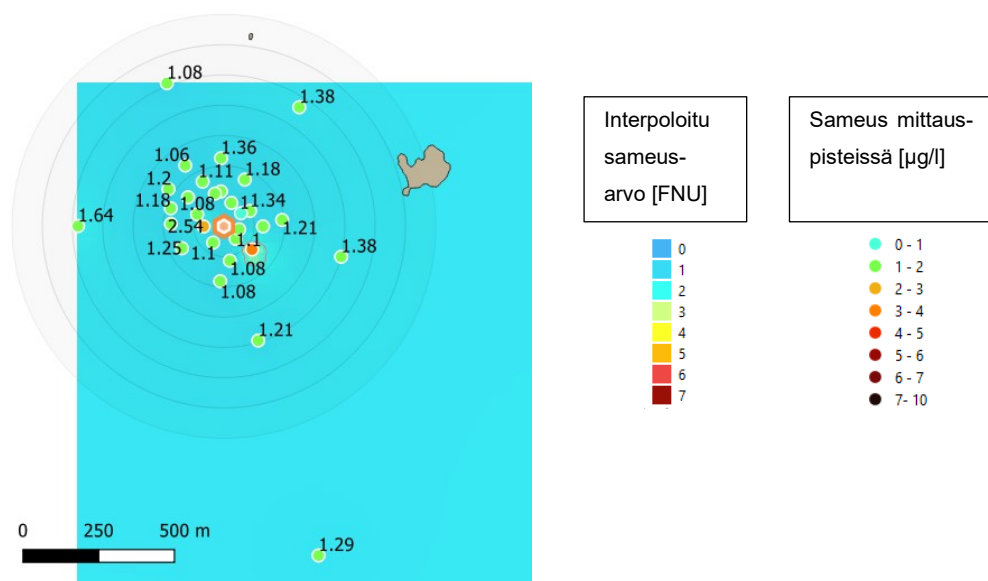
Kuva 18. A-klorofylli, Loukeenkari 13.7.2020. Karttapohja MML.



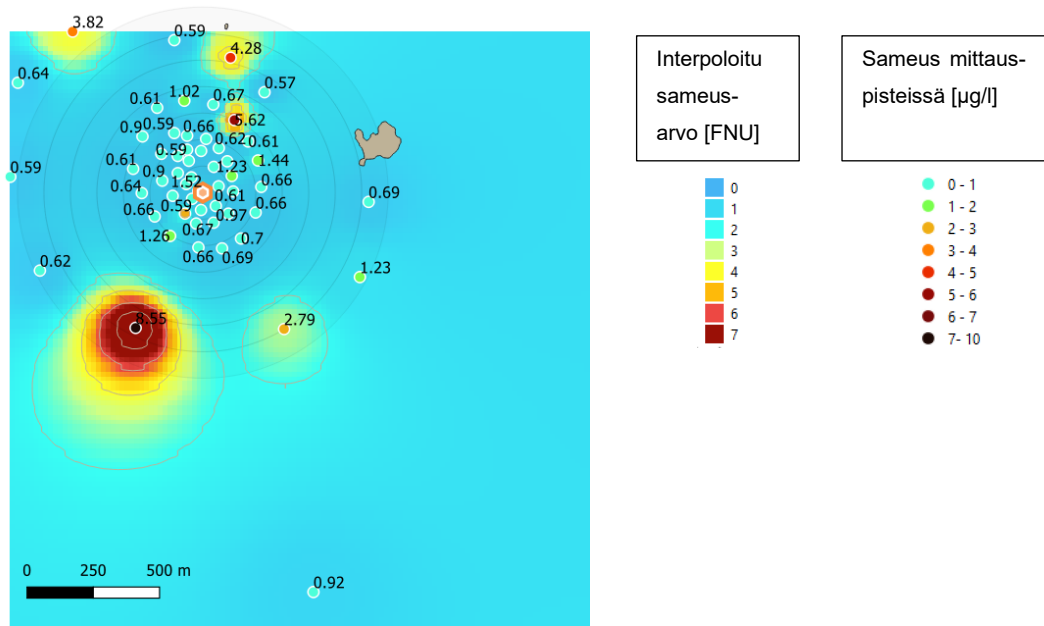
Kuva 19. A-klorofylli, Loukeenkari 19.8.2020. Karttapohja MML.

6.2.2 Sameus

Alla olevissa karttakuvissa (Kuvat 20 ja 21.) on sameustulokset interpoloituna ja mittaus-pisteittäin. Kalanviljelylaitoksen kohdalla vesi on melko kirkasta, sameuslukema vaihtelee kahdella mittauskerralla noin 0,7–1,2 FNU välillä, mutta jälkimmäisessä mittauksessa on saatu myös paikoittaisia korkeampia lukemia.



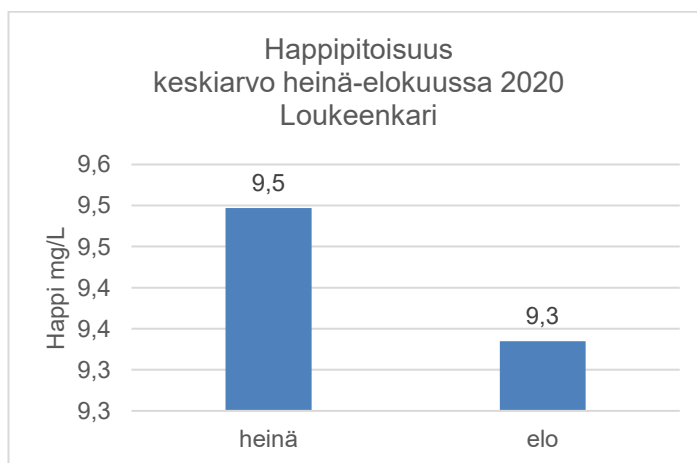
Kuva 20. Sameus (kalibroitu), Loukeenkari 13.7.2020. Karttapohja MML.



Kuva 21. Sameus (kalibroitu), Loukeenkari 19.8.2020. Karttapohja MML.

6.2.3 Happi

Happipitoisuus on hyvä sekä 13.7.2020, jolloin happipitoisuus oli mittauspisteissä keskimäärin 9,5 mg/l veden lämpötilan ollessa 16,5 °C, että 19.8.2020, jolloin mittauksen keskiarvo oli 9,3 mg/l ja veden lämpötila 18,7 °C. Happipitoisuutta on mitattu 1 m syvyydestä ja 19.8. kertaalleen myös 10 metristä, jossa happipitoisuus oli 8,32 mg/L sekä 15 metristä, jossa happipitoisuus oli 7,88 mg/L. Kaaviosta (Kuva 22.) ilmenee alueen tulokset keskiarvoina.



Kuva 22. Loukeenkari happipitoisuus heinä- ja elokuussa 2020.

6.2.4 P ja N

Laboratorionäytteitä on otettu kolme kertaa. Kokonaisfosforin määrä on vaihdellut 17 ja 35 µg/l välillä ja kokonaistypen 280–370 µg/l. Kokonaisravinnepitoisuuksien hyvän tilan alueelliset raja-arvot ovat 18 P ja 290 N µg/l. Sekä kokonaisfosfori että -typpi ajoittain alittavat, mutta enimmäkseen ylittävät hyvän tilan rajan. Alla tulokset taulukossa (Taulukko 3).

Taulukko 3. Laboratoriomittausten tulokset Loukeekarilla.

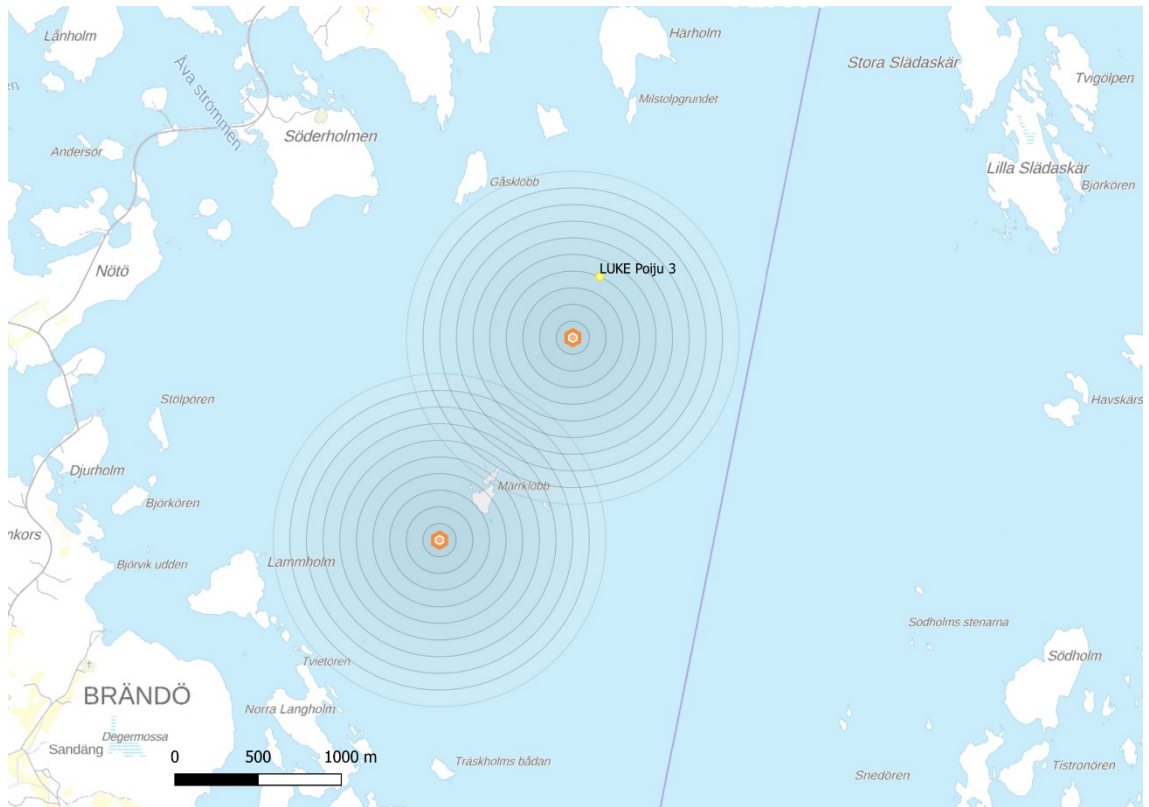
| Pvm | Näytteenotto-syvyys [m] | Paikan syvyys (suurin-piirtein) [m] | Näkösyvyys [m] | Lämpötila [°C] | Happi [mg/l] | Sameus [FNU] | Sähk.joht. [mS/m] | Kok. N [µg/l] | Kok. P [µg/l] | Klorofylli-a [µg/l] |
|-----------|-------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|---------------------|
| 13.7.2020 | 1 | 18 | 4 | 16,5 | - | 1,3 | 1030 | 370 | 35 | 5,5 |
| 13.7.2020 | 1 | 15 | 4 | 16,5 | - | 1,3 | 1030 | 310 | 19 | 5,2 |
| 19.8.2020 | 1 | 15 | - | 19,1 | - | 0,7 | 1000 | 280 | 17 | 1,9 |

6.3 Märkklobb, Brändö

Reilun kilometrin päässä toisistaan sijaitsevat laitokset Märkklobb Södra ja Norra muodostavat Märkklobbin laitostokokonaisuuden Kihdillä. Laitosten sijaintipaikat (WGS84) ovat 60,424667 °N 21,091667 °E (Märkklobb Södra), 60,436167 °N 21,104167 °E (Märkklobb Norra) sekä mittauspöijju 60.43951°N 21.1058634°E. Kalojen lisäkasvu on vuosittain 525 + 525 tonnia. Ruokintamäärät ovat olleet 20.8. Märkklobb pohjoinen 3200 kg ja eteläinen 3750 kg, 7.9. Märkklobb pohjoinen 4320 kg ja eteläinen 3700 kg.

Aluemittauksia on tehty kolmesti YSI EXO2:lla ja laboratorionäytteillä 20.8.2020, 7.9.2020, 8.9.2020. Jatkuvatoinen ympäristöpöijju on asennettu Brändön alueelle 8.8.2020. Pöijjun mittauksista hyödynnetään klorofylliä ja happea ja lämpötilaa, joiden tulokset on arvioitu luotettaviksi 11.8. alkaen. Märkklobbissa mitattiin 7.9. myös syvyysprofiileita neljästä kohdasta alueella. Mittaukset otettiin sekunnin välein samalla lasien mittalaitetta.

Alla karttakuva (Kuva 23.) Märklobbin alueesta, jossa kalankasvatuslaitokset on merkitty karttaan valko-oransseilla pisteillä. Sijaintipisteen ympärillä on renkaita 100 metrin välein etäisyyksien hahmottamisen helpottamiseksi. Luonnonvarakeskuksen ympäristöpoiju on merkitty keltaisella pisteellä.



Kuva 23. Märklobbin kalankasvatuslaitokset sekä ympäristöpoiju kartalla. Karttapohja MML.

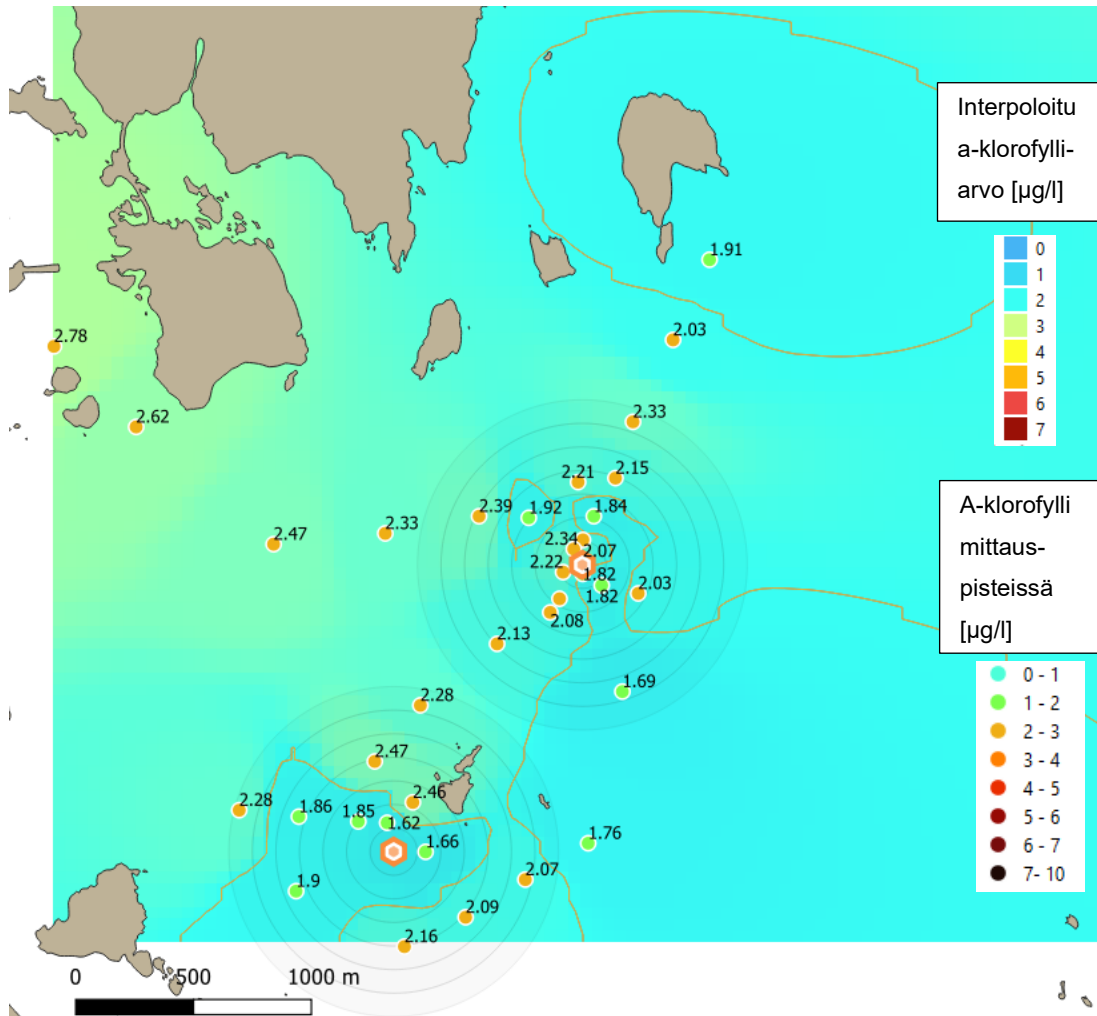
Tulosten keskiarvot

EXO-mittauksissa Märklobbin alueella klorofyllin keskiarvo pintamittauksissa (1 m) oli 3,72 $\mu\text{g/l}$, ja sameuden 0,39 FNU (kalibroituina 0,76 FNU), hapen 9,24 mg/l.

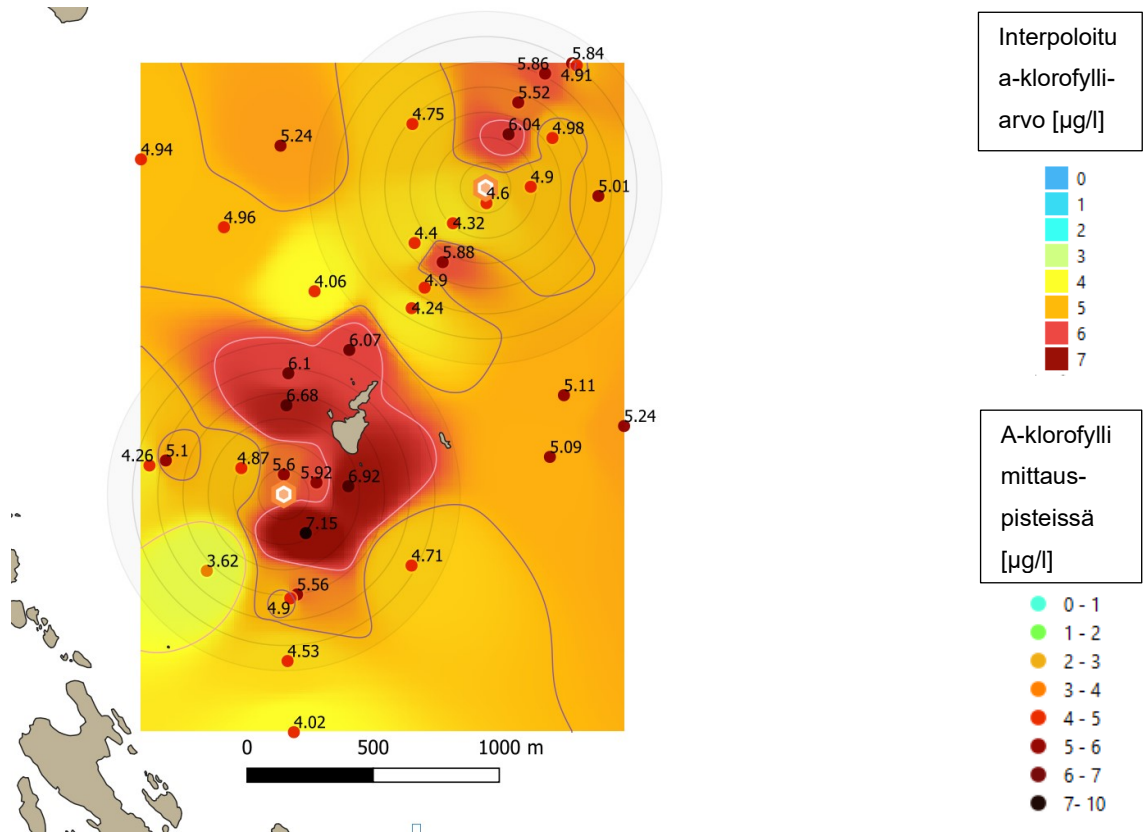
6.3.1 Klorofylli

Alla olevissa kuvissa klorofyllitilanne mittauspisteittäin sekä interpoloituina karttakuvana 20.8. (Kuva 24), 7.9. (Kuva 25) ja 8.9.2020 (Kuva 26) .

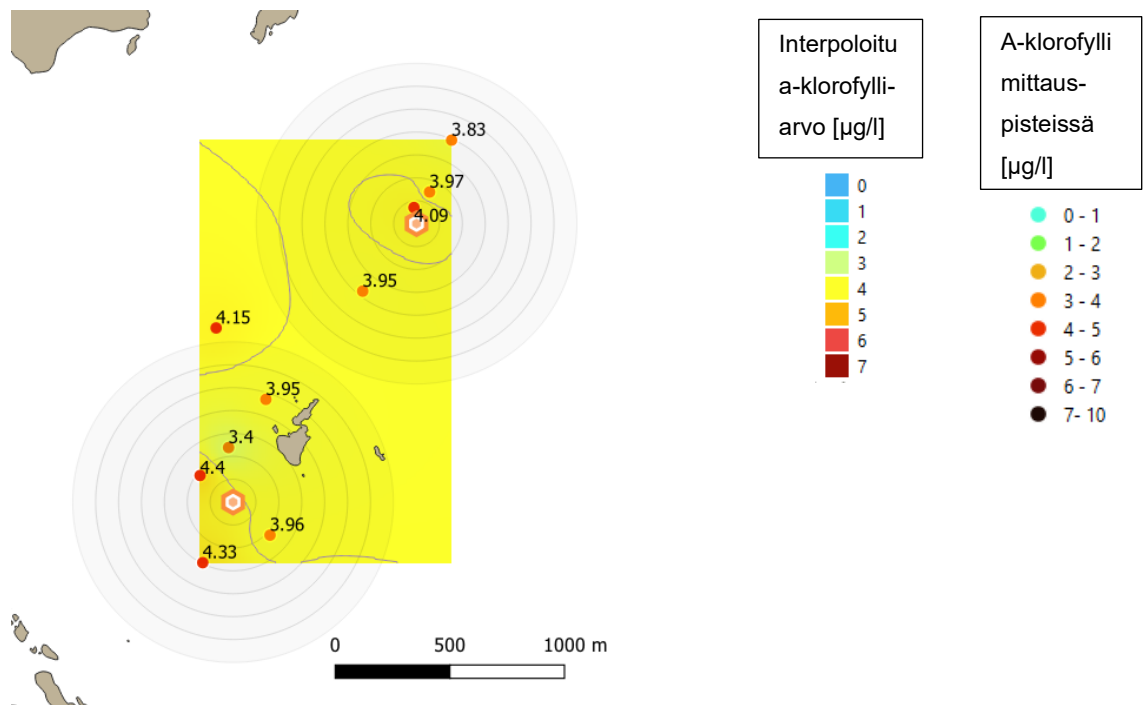
20.8. a-klorofylliarvo on alueella noin 2 µg/l paikkeilla, 7.9. arvot ovat selvästi korkeammat, noin 5 µg/l ja seuraavana päivänä 8.9. ne laskevat hieman, ollen noin 4 µg/l. Klorofylliarvot vaihtelevat päiväkohtaisesti melko paljon.



Kuva 24. A-klorofylli, Märrklobb 20.8.2020. Karttapohja MML.

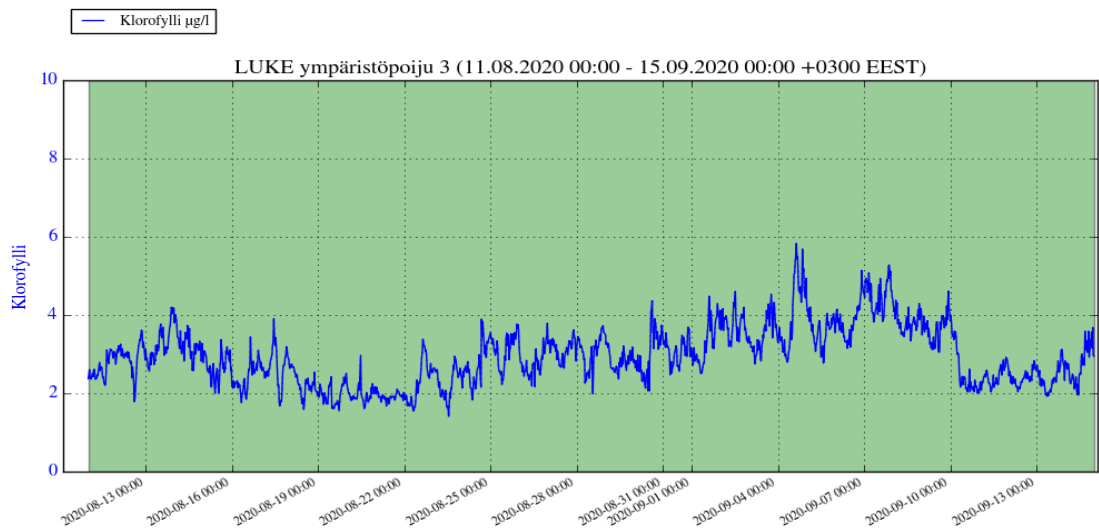


Kuva 25. A-klorofylli, Märklobb 7.9.2020. Karttaphja MML.



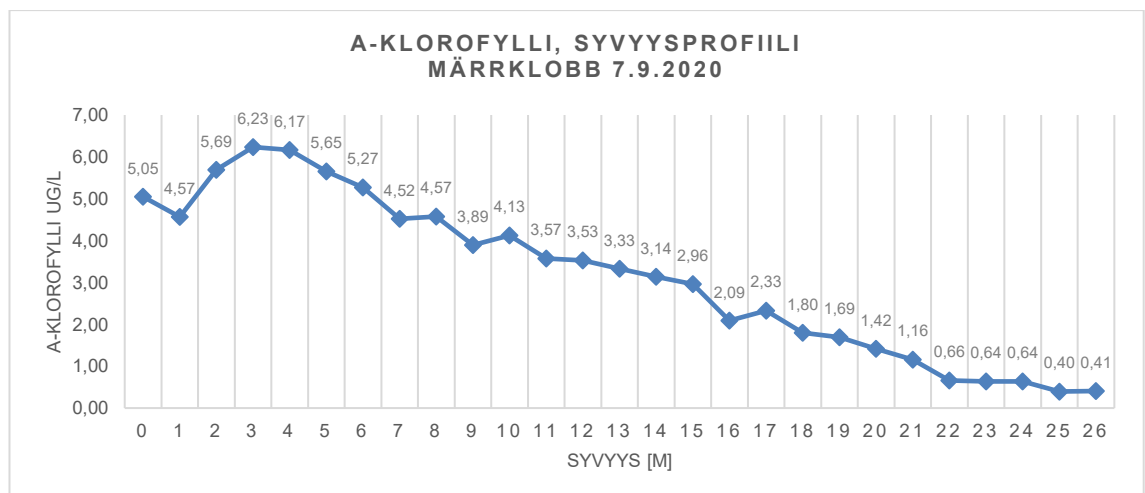
Kuva 26. A-klorofylli, Märklobb 8.9.2020. Karttaphja MML.

Märkklobbin ympäristöpoiju on mitannut a-klorofyllipitoisuutta ympäri vuorokauden, puolen tunnin välein. Alla ympäristöpoijun luotettaviksi arvioidut mittaustulokset 11.8.-15.9.2020. (Kuva 27) Kuvaajasta havaitaan, että klorofyllin määrä voi vaihdella runsaasti lyhyessäkin ajassa. Kuvaajassa mainittuina ajankohtina poiju mittasi elokuussa a-klorofyllin keskiarvoksi 2,68 µg/l ja syyskuussa 3,33 µg/l.



Kuva 27. Märkklobbin poijun mittaama a-klorofyllipitoisuus 11.8.-14.9.2020.

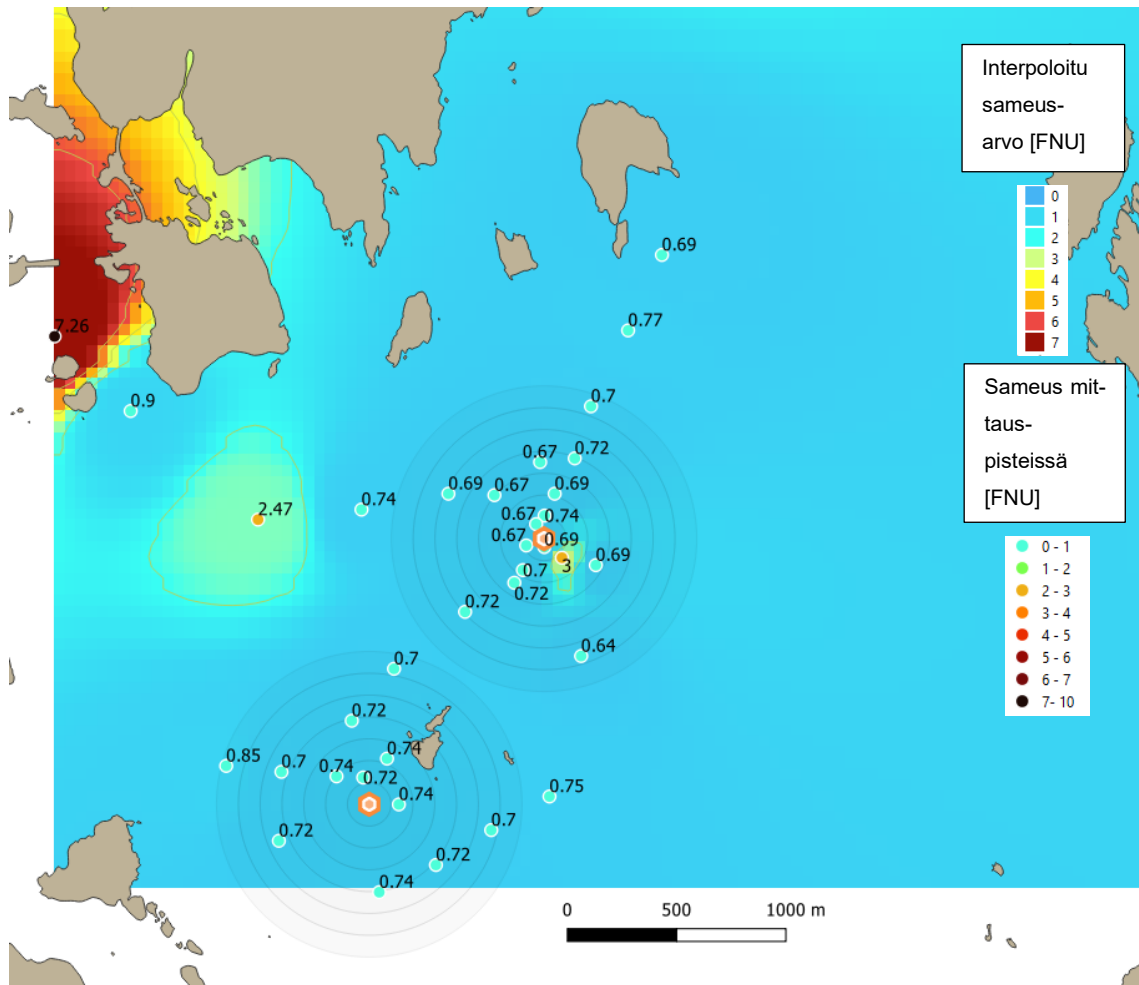
Syvyyssprofiilimittauksista voi huomata, kuinka a-klorofyllin määrä vähenee pohjaa kohti. Kuvaajassa (Kuva 28) eri syvyyksistä mitatut keskiarvot 7.9. tehdyistä mittauksista. Pinnalla pitoisuus oli 5,05 µg/l ja pohjan lähellä 0,41 µg/l.



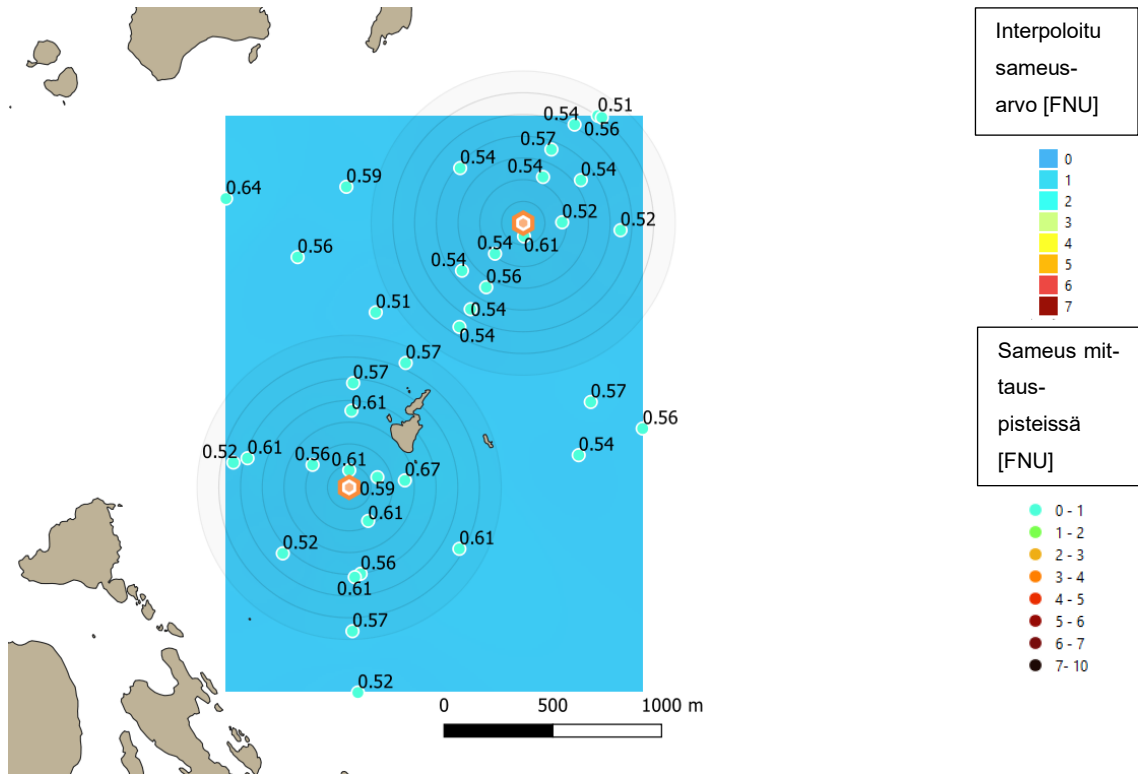
Kuva 28. Syvyyssprofiili a-klorofyllin pitoisuudesta. Märkklobb 7.9.2020.

6.3.2 Sameus

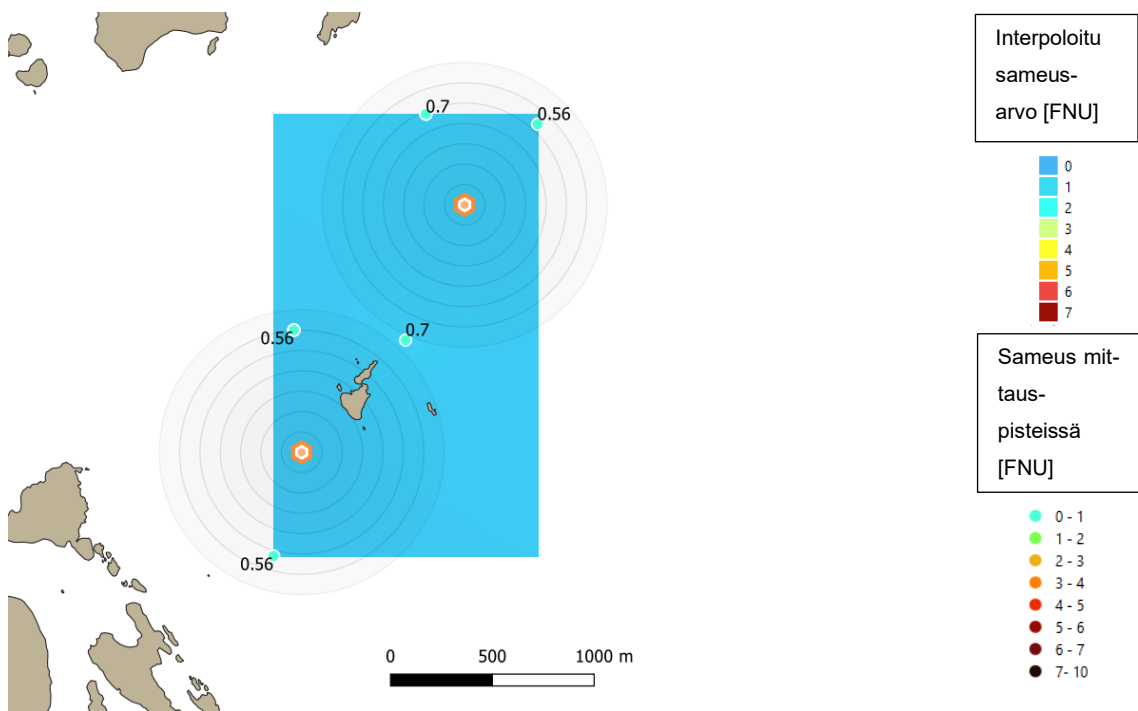
Alla olevissa karttakuvissa (Kuvat 29–31) on sameustulokset interpoloituina ja mittauspisteittäin. Märkklobbin kalanviljelylaitosten kohdalla vesi on kirkasta, sameuslukema on yleisesti jokaisena mittauspäivänä selkeästi alle 1 FNU. Korkeampia lukemia on mitattu paikoittain etenkin lähempänä rantaa.



Kuva 29. Sameus (kalibroitu). Märkklobb 20.8.2020. Karttapohja MML.



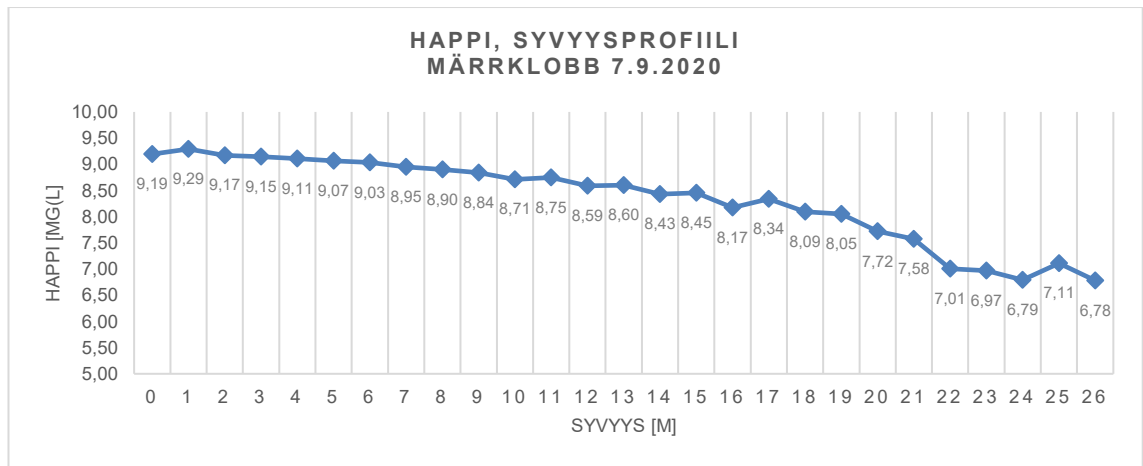
Kuva 30. Sameus (kalibroitu). Märkklobb 7.9.2020. Karttapohja MML.



Kuva 31. Sameus (kalibroitu). Märkklobb 8.9.2020. Karttapohja MML.

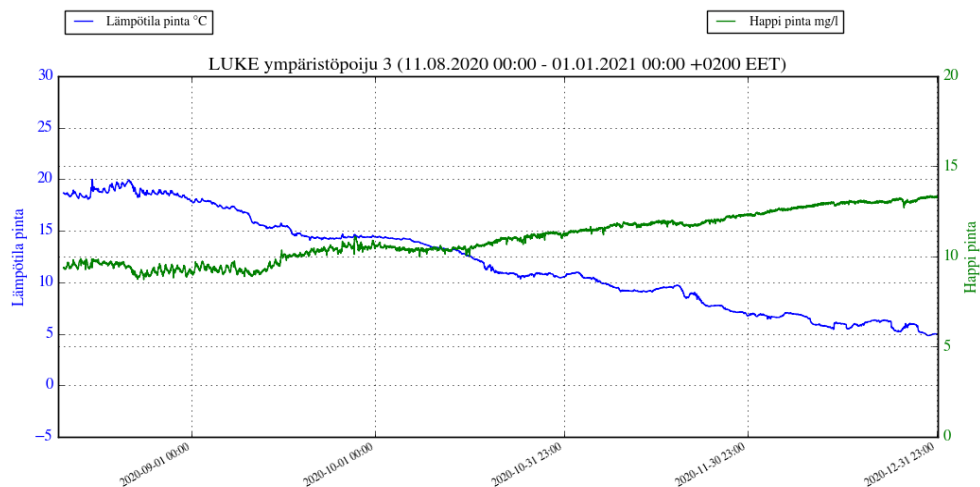
6.3.3 Happi

EXO-mittauksilla saatiin happipitoisuudesta syvyysprofileita. Alla kuvaajassa (Kuva 32) happipitoisuuden keskiarvot eri syvyyksistä 7.9.2020. Happipitoisuus laskee melko tasaisesti pohjaa kohti. Pinnalla pitoisuus on 9,19 mg/l ja pohjanläheisyydessä 6,78 mg/l.



Kuva 32. Happipitoisuus eri syvyyksissä. Märklobb 7.9.2020.

Märklobbin poijun mittauksista on saatu tietoa happitilanteesta pidemmällä aikavälillä. Alla olevasta kaaviosta (Kuva 33) ilmenee Märklobbin poijun mittaama pintaveden happipitoisuus 11.8.-31.12.2020. Mittaustulos on alimmillaan 8,7 mg/l elokuussa. Sen jälkeen happipitoisuus nousee loppuvuotta kohti lämpötilan laskiessa ja on loppuvuonna enimmillään 13,4 mg/l.



Kuva 33. Märklobbin poijun mittaama happipitoisuus 11.8.-31.12.2020.

6.3.4 P ja N

Laboratorionäytteitä on otettu kahdeksan kertaa. Kokonaisfosforin määrä on vaihdellut 18 ja 21 µg/l välillä ja kokonaistypen 260–300 µg/l. Kokonaisravinnepitoisuuksien pitäisi alittaa alueelliset hyvän tilan raja-arvot 15 P ja 312 N µg/l. Kaikilla mittauskerroilla kokonaisfosforipitoisuus ylitti hyvän tilan rajan, mutta kokonaistyyppipitoisuuden osalta veden tila oli hyvä. Alla tulokset taulukossa (Taulukko 4).

Taulukko 4. Laboratoriomittausten tulokset Märrklobbilla.

| Pvm | Näytteenotto syvyys [m] | Paikan syvyys n. [m] | Näkösyvyys [m] | Lämpötila [°C] | Happi [mg/l] | Sameus [FNU] | Sähköjoht. [mS/m] | Kok. N [µg/l] | Kok. P [µg/l] | Klorofylli-a [µg/l] |
|-----------|-------------------------|----------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|---------------------|
| 20.8.2020 | 1 | 20 | | | - | 1 | 1020 | 300 | 19 | 2,5 |
| 20.8.2020 | 1 | 20 | | | - | 0,7 | 1020 | 300 | 21 | 2,4 |
| 7.9.2020 | 1 | 20 | 4 | 17,4 | - | 0,5 | 1050 | 270 | 21 | 3,5 |
| 7.9.2020 | 1 | 23 | 4,9 | 17,1 | - | 0,5 | 1040 | 270 | 18 | 3,4 |
| 7.9.2020 | 1 | 18 | 4,6 | 16,9 | - | 0,5 | 1040 | 280 | 20 | 3 |
| 7.9.2020 | 1 | 13 | 5 | 17,3 | - | 0,5 | 1040 | 270 | 20 | 2,7 |
| 8.9.2020 | 1 | 20 | | | - | 0,5 | 1040 | 290 | 21 | 3,5 |
| 8.9.2020 | 1 | 21 | | | - | 0,5 | 1050 | 260 | 21 | 3 |

6.4 Hämmärsalmi, Naantali

Naantalissa, Rymättylän Hämmärsalmessa sijaitsee lähekkäin kolme eri toimijan kalankasvatusta. Sijainnit ovat ETRS-TM35-koordinaatteina 6697320N 221833E, 6697148N 221977E ja 6696847N 222167E. Laitosten lisäkasvu (idästä länteen päin) on 48 t, 80 t ja 54 t vuodessa. Ympäristöluvan mukainen typpikuormitus 3200+5300+3600 kg/v, fosforikuormitus 450+700+480 kg/v. Aluemittauksia on tehty neljästi, 10.7.2020, 20.7.2020, 31.7.2020 ja 12.8.2020, viidennellä kerralla on mitattu suppealta alueelta 28.8.2020. Lisäksi mittauksia on tehty kasvatuslaitoksen vierestä, laiturin päästä 22.6.-28.8.2020. Alla karttakuva (Kuva 34.) alueesta.



Kuva 34. Hämmärsalmessa Naantalissa on kolme vierekkäistä kalankasvatusta, jotka on merkitty karttaan oranssilla värillä. Taustakartta MML.

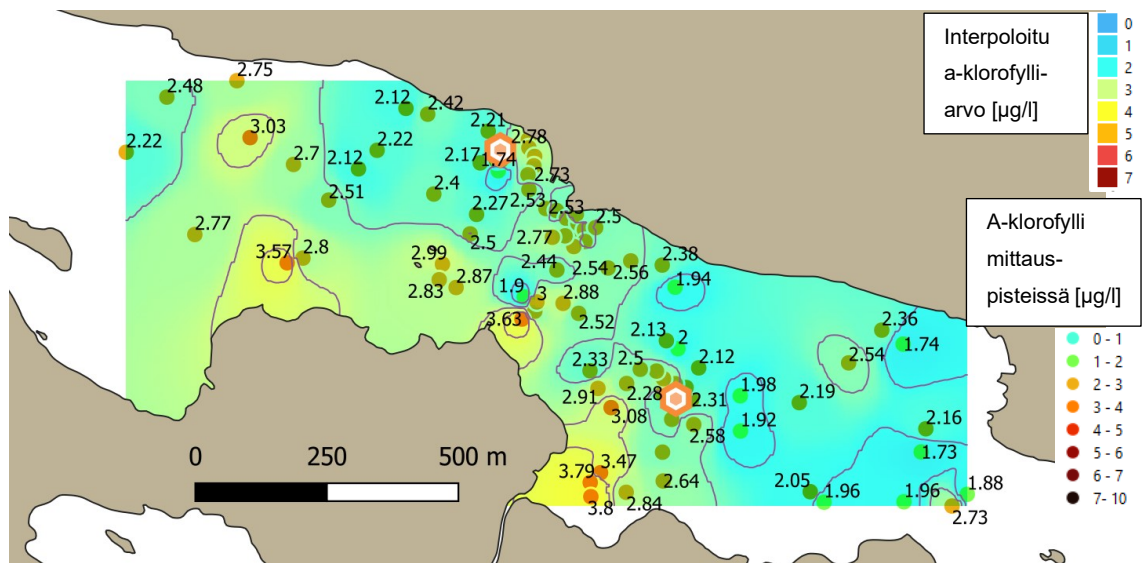
Tulosten keskiarvot

EXO-mittauksissa Hämmärsalmessa klorofyllin keskiarvo kaikilta mittauskerroilta oli 4,05 µg/l ja sameuden 2,00 FNU (kalibroituina 3,16 FNU), hapen 9,00 mg/l.

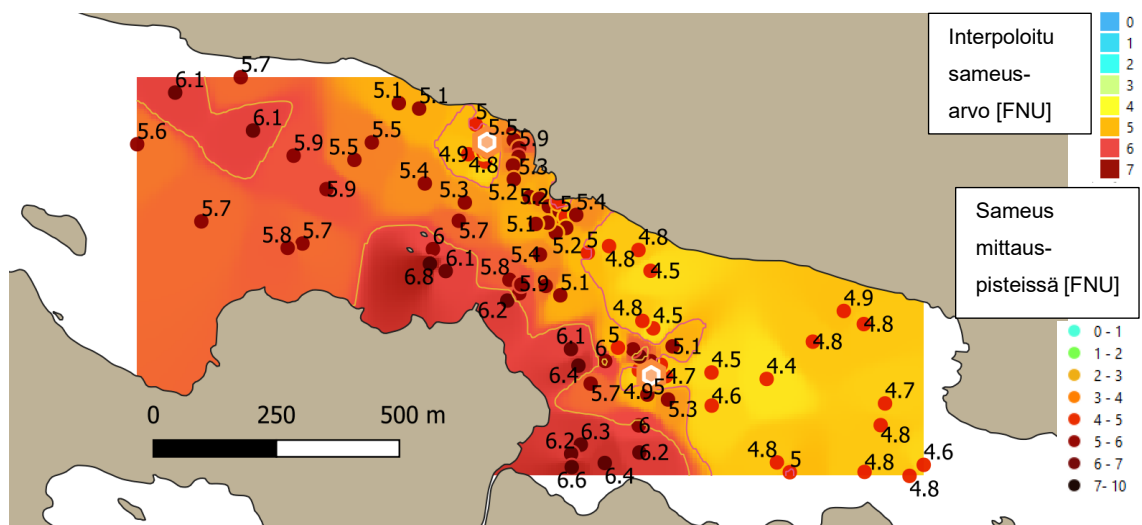
6.4.1 A-klorofylli ja sameus

1. aluemittaus 10.7.2020

1. aluemittauksen tuloksia on merkitty pisteinä ja interpoloituina alueina alla oleviin karttoihin (Kuvat 35 ja 36). Vesi on sameaa, eniten alueen etelä-, länsi- ja luoteisosissa, jossa arvo on >6 FNU ja muuallakin noin 5 FNU. Suurimmat klorofylliarvot myötäilevät samoja alueita ja ovat enimmillään alle 4 µg/l, kun taas alueen itäosissa on alle 2 µg/l pitoisuuksia.



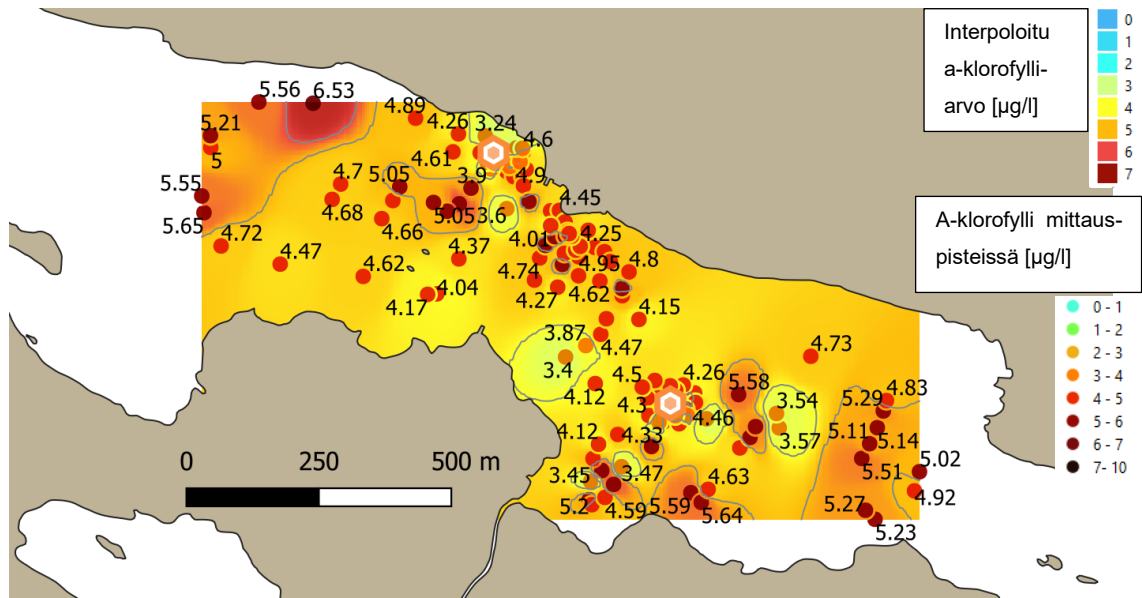
Kuva 35. A-klorofylli, Hämmärsalmi 10.7.2020. Karttapohja MML.



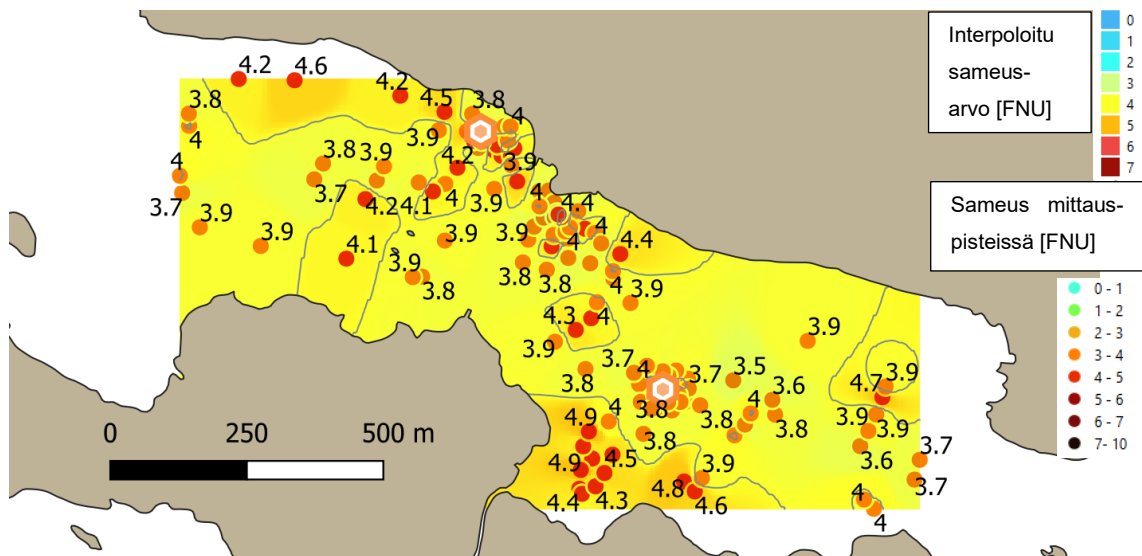
Kuva 36. Sameus (kalibroitu), Hämmärsalmi 10.7.2020. Karttapohja MML.

2. aluemittaus 20.7.2020

2. aluemittaus kuvaa tilannetta 20.7.2020. Suurimmat klorofylliarvot sijoittuvat melko hajanaisesti alueelle ollen useissa pisteissä yli 5 µg/L ja koko alueella alle 5 µg/l. Sameus on alueella noin 4 FNU. Mittauksen tuloksia näkyy alla olevissa kartoissa (Kuvat 37 ja 38).



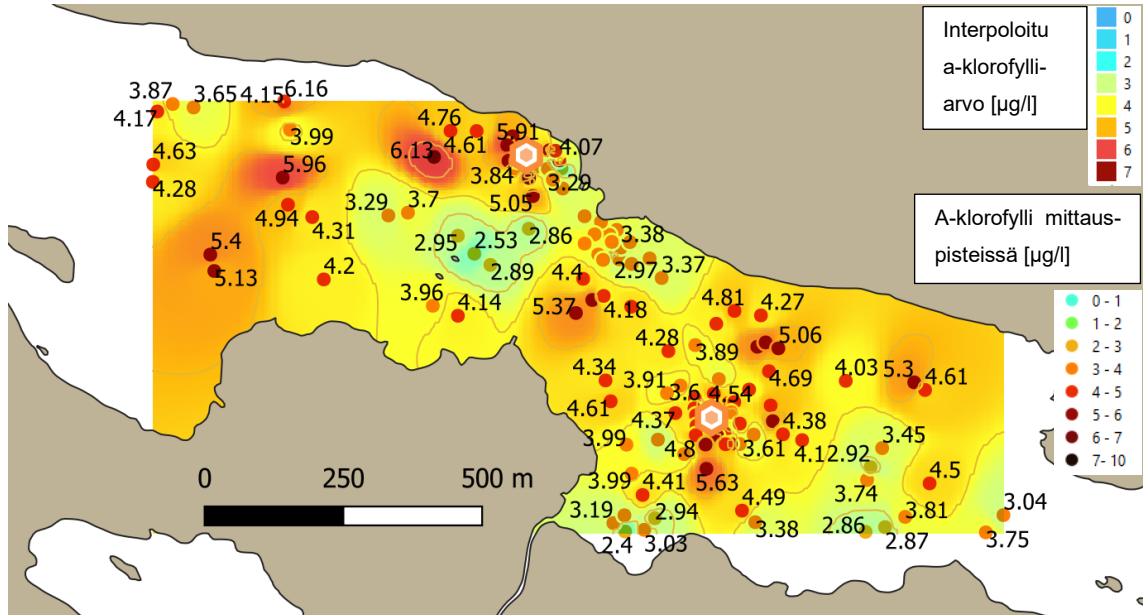
Kuva 37. A-klorofylli, Hämmärsalmi 20.7.2020. Karttapohja MML.



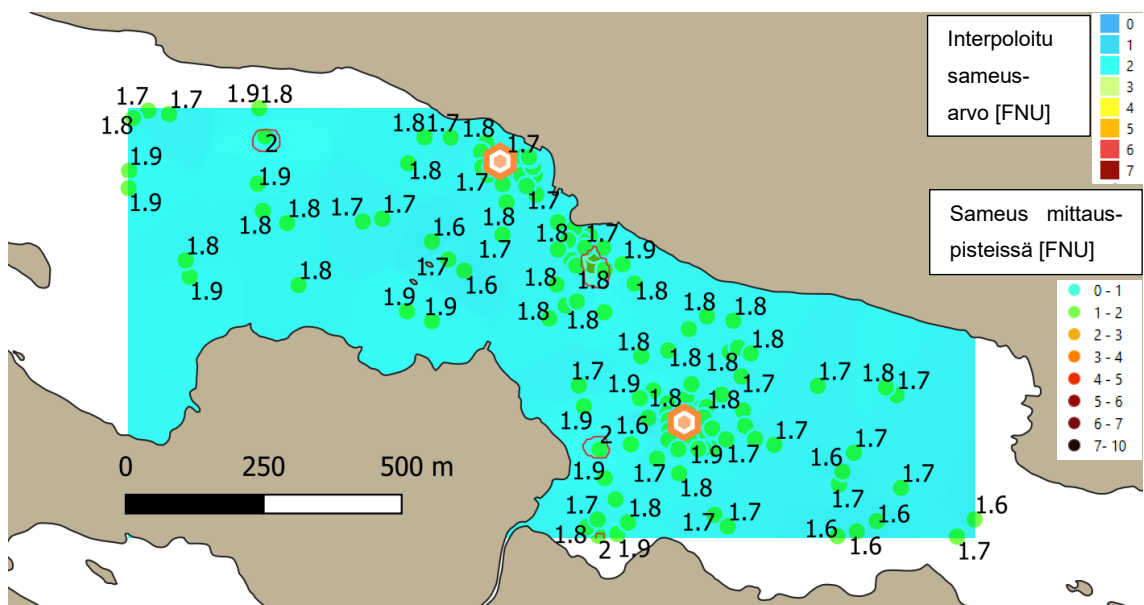
Kuva 38. Sameus (kalibroitu), Hämmärsalmi 20.7.2020. Karttapohja MML.

3. aluemittaus 31.7.2020

3. aluemittauksen tuloksia näkyy alla olevissa kartoissa (Kuvat 39 ja 40). Klorofyllipitoisuus vaihtelee noin 3–6 µg/l välillä. Sameusarvot ovat Hämmärsalmen aluemittausten alhaisimpia, selvästi alle 2 FNU.



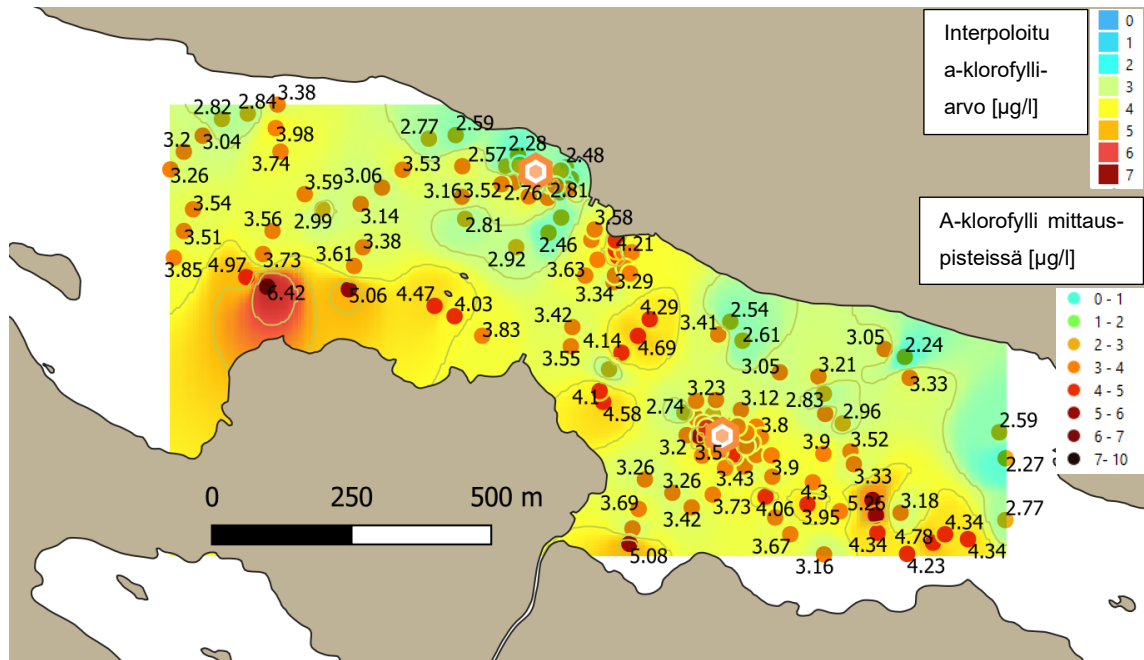
Kuva 39. A-klorofylli, Hämmärsalmi 31.7.2020. Karttapohja MML.



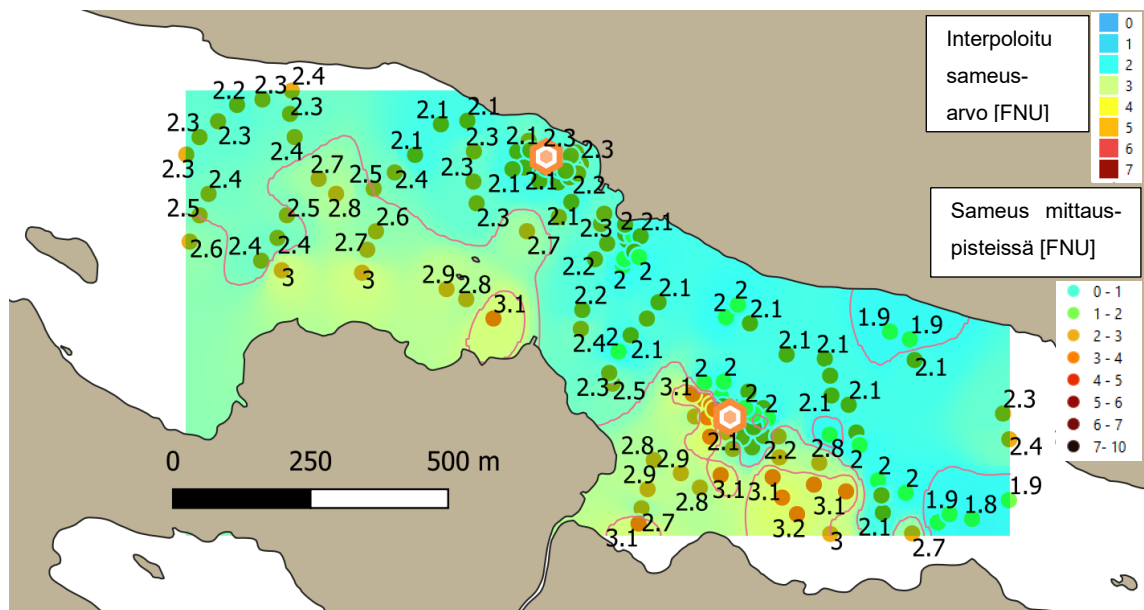
Kuva 40. Sameus (kalibroitu), Hämmärsalmi 10.7.2020. Karttapohja MML.

4. aluemittaus 12.8.2020

A-klorofylli on suurimmillaan alueen eteläreunalla kuten myös sameus. Klorofylli on alueella yleisesti noin 4 µg/l. Sameuslukemat vaihtelevat 2–3 FNU välillä. 4. aluemittauksen tuloksia näkyy alla olevissa kartoissa (Kuvat 41 ja 42).



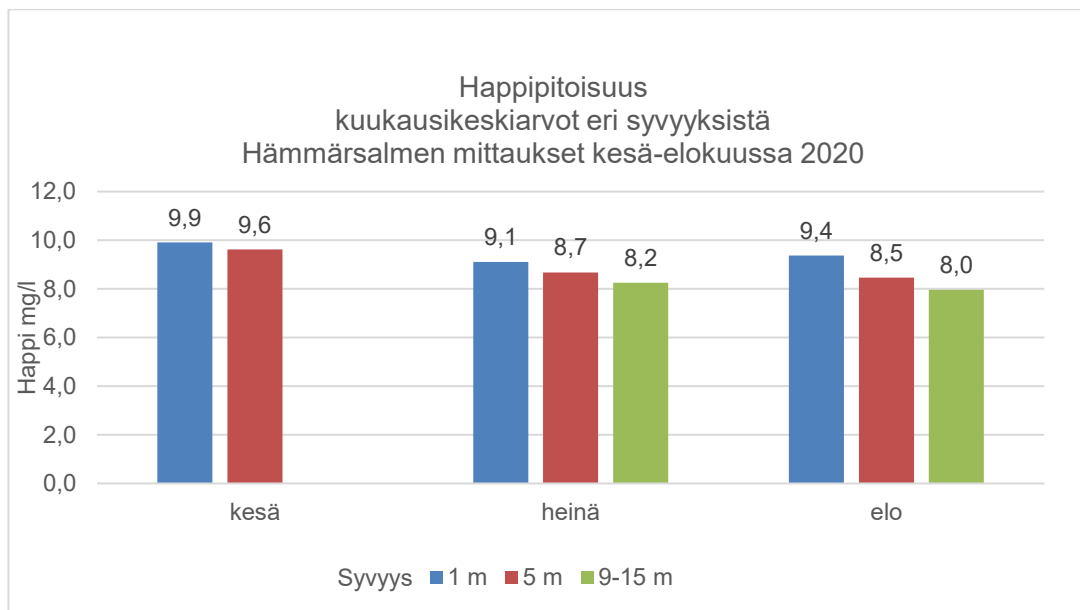
Kuva 41. A-klorofylli, Hämmärsalmi 12.8.2020. Karttapohja MML.



Kuva 42. Sameus (kalibroitu), Hämmärsalmi 12.8.2020. Karttapohja MML.

6.4.2 Happi

Happimittauksia on tehty 22.6.-28.8.2020 eri puolilta Hämmärsalmea. Alla olevassa kaaviossa (Kuva 43.) on yhdistetty 1 m, 5 m, ja 9–15 m mittaukset kuukausikeskiarvoina kaavioksi. Matalimmat happipitoisuudet on mitattu 28.8. 14–15 m syvyydestä, tulokset olivat 4,77–7,4 mg/l 18,3–19,1 °C lämpötilassa. Enimmillään happipitoisuus on ollut 24.6. 1 m syvyydessä, 10,2 mg/l 21 °C lämpötilassa.



Kuva 43. Hämmärsalmen happipitoisuus kesä- ja elokuussa 2020.

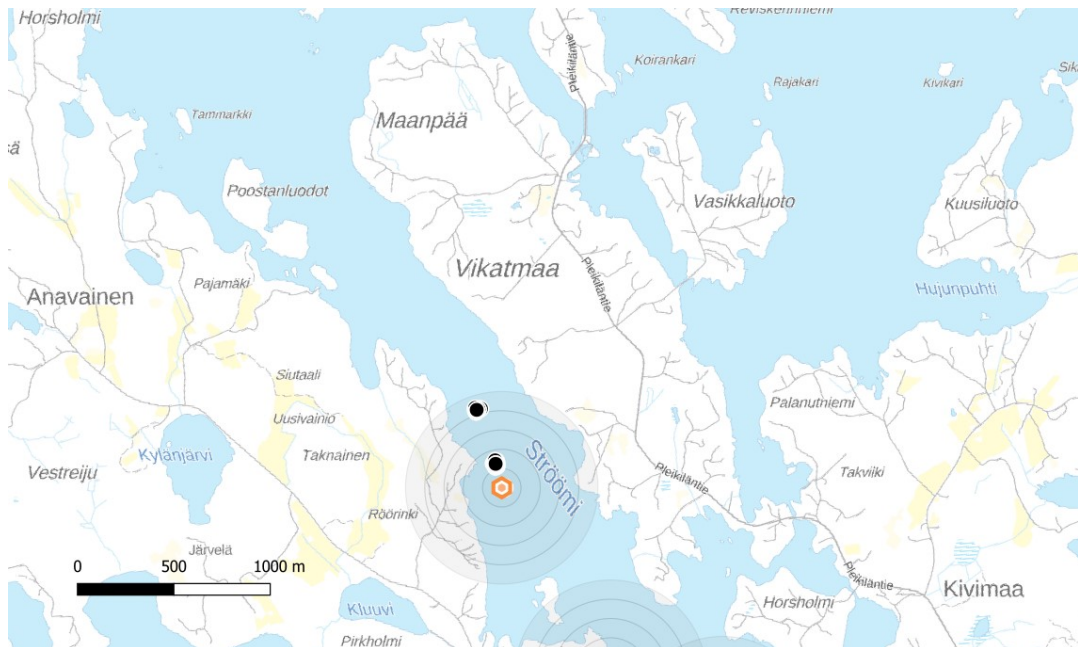
6.4.3 P ja N

Laboratorionäytteitä on otettu kymmenen kertaa. Kokonaisfosforin määrä on vaihdellut 17–25 µg/l välillä ja kokonaistypen 350–430 µg/l. Kokonaisravinnepitoisuuksien pitäisi alittaa alueelliset hyvän tilan raja-arvot 20 P ja 310 N µg/l. Fosforipitoisuus ylittää enimmäkseen hyvän tilan raja-arvon ja typpipitoisuus on selvästi raja-arvoa suurempi kaikilla mittauskerroilla. Alla tulokset taulukossa (Taulukko 5).

Taulukko 5. Laboratoriomittausten tulokset Hämmärsalmella.

| Pvm | Näytteenotto syvyys [m] | Paikan syvyys n. [m] | Näkösyvyys [m] | Lämpötila [°C] | Happi [mg/l] | Sameus [FNU] | Sähk.joht. [mS/m] | Kok. N [µg/l] | Kok. P [µg/l] | Klorofylli-a [µg/l] |
|-----------|-------------------------|----------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|---------------------|
| 24.6.2020 | 1 | 10 | 2,1 | 21,4 | | 3,1 | 1020 | 360 | 19 | 2,5 |
| 29.6.2020 | 1 | 10 | 1,6 | 20,8 | | 4,3 | 1020 | 380 | 21 | 5,2 |
| 1.7.2020 | 1 | 10 | 1,2 | 20,3 | | 6,6 | 1020 | 380 | 23 | 8,4 |
| 6.7.2020 | 1 | 10 | 1,3 | 18,9 | | 5,6 | 1020 | 360 | 24 | 6,1 |
| 13.7.2020 | 1 | 10 | 1,4 | 19,1 | | 4,1 | 1020 | 380 | 20 | 6,2 |
| 20.7.2020 | 1 | 10 | 1,6 | 21,7 | | 3,9 | 1020 | 430 | 22 | 7,3 |
| 22.7.2020 | 1 | 10 | 1,9 | 20,6 | 9 | 3,5 | 1020 | 400 | 25 | 5,2 |
| 22.7.2020 | 9 | 10 | | 20,1 | 8,5 | | | | | |
| 29.7.2020 | 1 | 10 | 3,3 | 19,1 | | 1,8 | 1030 | 350 | 17 | 3,4 |
| 12.8.2020 | 1 | 10 | 2,4 | 20,4 | | 2 | 1020 | 390 | 18 | 2,6 |

6.5 Ströomi, Kustavi



Kuva 44. Karttakuvassa Ströomin kalanviljelylaitos oranssilla pisteellä sekä mittauspisteet mustalla. Karttapohja MML.

Ströömin kalanviljelylaitoksen sijainti (WGS84) on 60,558465N 21,304484E. Kalojen li- säkasvu on 41 tn/v, ja ympäristöluvan mukainen typpikuormitus 2 700 kg/v sekä fosfori- kuormitus 360 kg/v. Mittauksia on tehty 15 kertaa aikavälillä 24.6.-29.9.2020. Mittaukset on tehty 0, 100 ja 400 metrin etäisyydellä laitoksesta eri syvyyksiltä. Yllä karttakuva (Kuva 44.) alueesta.

Tulosten keskiarvot

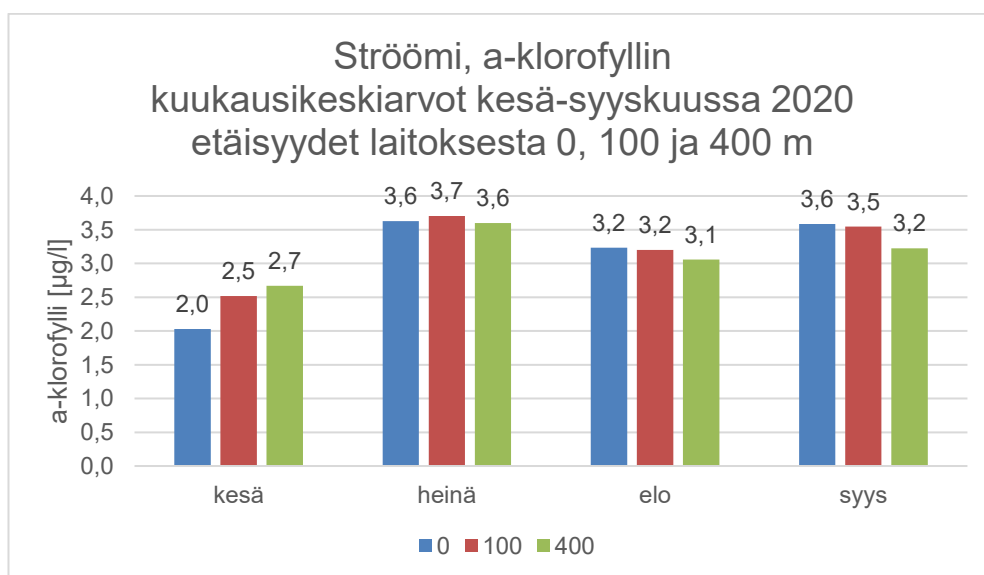
EXO-mittauksissa Ströömässä klorofyllin keskiarvo kaikilta mittauskerroilta oli 2,95 µg/l, sameuden 3,54 FNU ja hapen 8,83 mg/l.

6.5.1 A-klorofylli, sameus ja happi

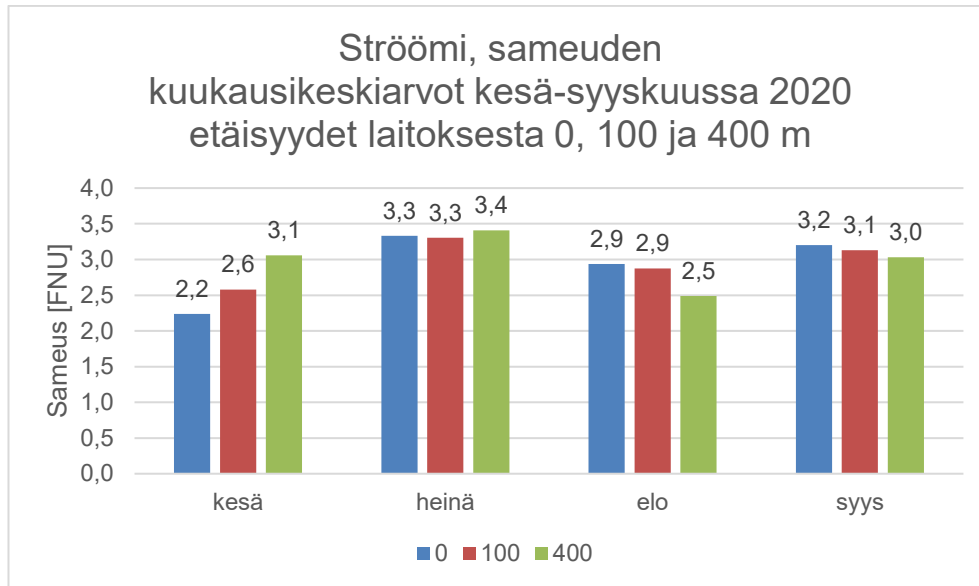
Kaavioista ilmenee a-klorofyllin (Kuva 45.) ja sameuden (Kuva 46.) mittaustulokset kuu- kausikeskiarvoina kesä-syyskuussa tehdyistä mittauksista. Mittaukset on tehty 1 metrin syvyydestä.

Kesäkuussa mitattiin alhaisimmat a-klorofyllipitoisuudet, keskiarvot vaihtelivat 2,0–2,7 µg/l välillä. Heinä-syyskuussa mittausten keskiarvo on korkeampi vaihdellen 3,1–3,7 µg/l välillä.

Sameusarvot ovat myös matalimmillaan kesäkuussa (2,2–3,1 FNU) ja korkeimmillaan heinä- ja syyskuussa (3,0–3,4 FNU).

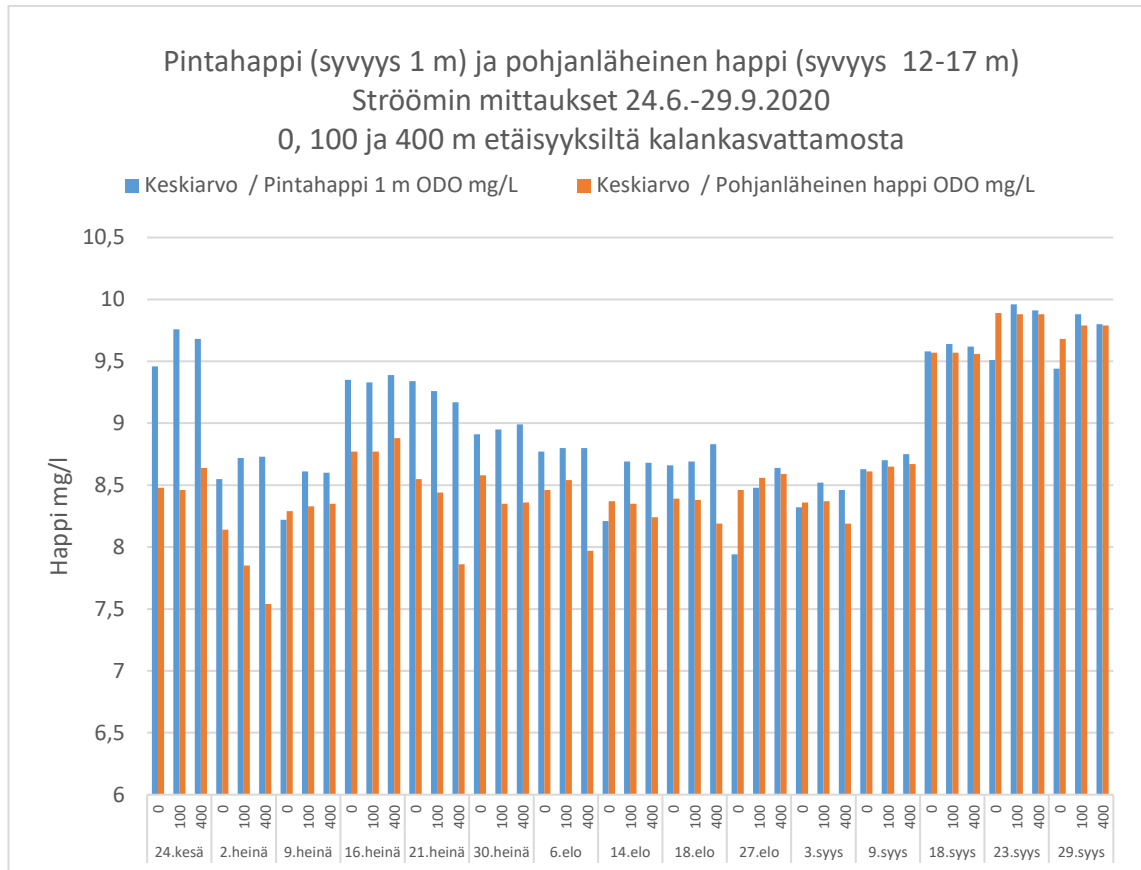


Kuva 45. Ströömin a-klorofylli kesä-syyskuussa 2020.



Kuva 46. Ströömin sameus kesä-syyskuussa 2020.

Happitilanne on vaihdellut lievästi. Pintahappi 1 metrin syvyydestä mitattuna on tutkimusajanjaksolla ollut alimmillaan 7,94 mg/l ja ylimmillään 9,96 mg/l. Pintalämpötila on vaihdellut 13,7 °C ja 19,9 °C välillä. Pohjanläheinen happi on mitattu laitoksen vieressä 12 metrin syvyydestä, 100 metrin päässä 14 metrin syvyydestä ja 400 metrin päässä 17 metrin syvyydestä. Pohjanläheinen happi on ollut alimmillaan 7,54 mg/l ja ylimmillään 9,89 mg/l. Pohjan lämpötila on vaihdellut 11,2 °C ja 19,1 °C välillä. Mittaukset on tehty YSI EXO -kenttämittauslaitteella. Kaaviossa (Kuva 47) on kuvattu happitulokset mittausajankohtien ja etäisyyksien mukaan.



Kuva 47. Ströömin happipitoisuus kesä-syyskuussa 2020.

6.5.2 P ja N

Laboratorionäytteitä on otettu neljä kertaa. Kokonaisfosforin määrä on vaihdellut 20–30 µg/l välillä ja kokonaistypen 350–390 µg/l. Kokonaisravinnepitoisuuksien tulisi alittaa 20 P ja 310 N µg/l arvot. Kokonaisfosfori ylittää pääsääntöisesti hyvän tilan rajan, ja myös kokonaistyyppi on selvästi hyvän tilan rajan yläpuolella. Alla tulokset taulukossa (Taulukko 6).

Taulukko 6. Laboratoriomittausten tulokset Ströömässä.

| Pvm | Näytteenotto syvyys [m] | Paikan syvyys n. [m] | Sameus [FNU] | Sähk.joht. [mS/m] | Kok. N [$\mu\text{g/l}$] | Kok. P [$\mu\text{g/l}$] | Klorofylli-a [$\mu\text{g/l}$] |
|-----------|-------------------------|----------------------|--------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 24.6.2020 | 1 | 15 | 4 | 990 | 390 | 20 | 3,6 |
| 21.7.2020 | 1 | 15 | 3,8 | 1020 | 350 | 25 | 4,7 |
| 18.8.2020 | 1 | 15 | 2,9 | 1010 | 370 | 28 | 4,6 |
| 23.9.2020 | 1 | 15 | 2,6 | 1020 | 360 | 30 | 3,1 |

6.6 Alörarna, Parainen

Alörarna sijaitsee Houtskarinvägenin lähellä Paraisilla, koordinaatit (WGS84) ovat 60,309271N 21,491753E. Kalojen lisäkasvu on 317 tn/v, ja ympäristöluvan mukainen typpikuormitus 21 000 kg/v ja fosforikuormitus 2800 kg/v. Mittauksia on tehty 10 kertaa aikavälillä 30.6.-24.9.2020. Mittaukset on tehty 0, 100,400 ja 800 metrin etäisyydellä laitoksesta eri syvyyksiltä. Alla karttakuva (Kuva 48) alueesta.



Kuva 48. Alörarna kartalla oranssina pisteenä, mittauspisteet mustalla. Taustakartta MML.

Tulosten keskiarvot

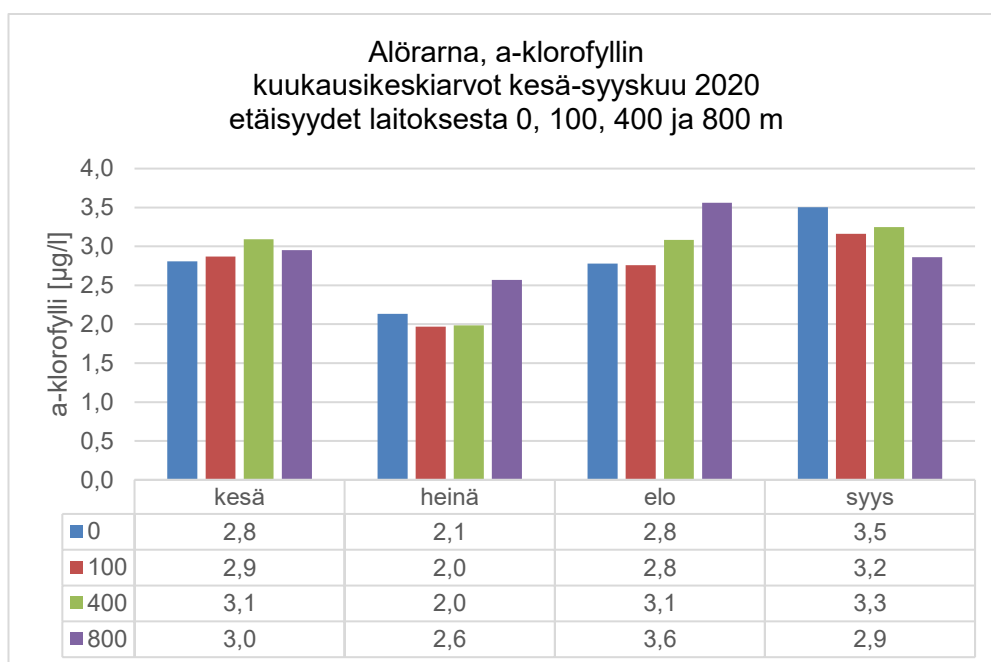
EXO-mittauksissa Alörarnan klorofyllin keskiarvo kaikilta mittauskerroilta oli 2,78 µg/l, ja sameuden 1,39 FNU, hapen 9,08 mg/l.

6.6.1 A-klorofylli, sameus ja happi

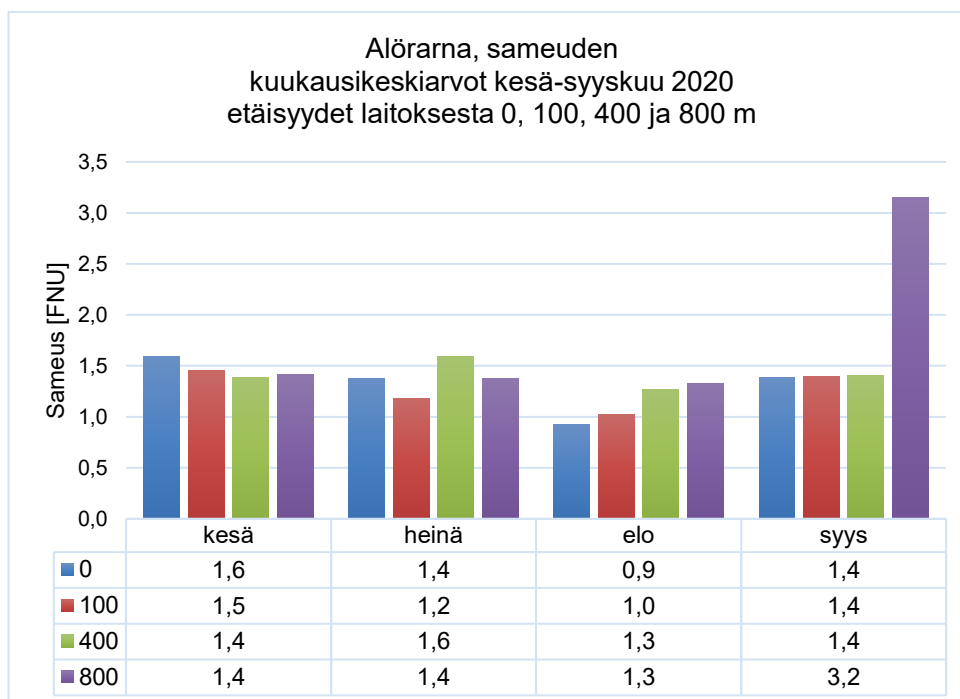
Kaavioista (Kuvat 49 ja 50) ilmenee a-klorofyllin ja sameuden arvot kuukausikeskiarvoina kesä-syyskuussa tehdyistä mittauksista. Mittaukset on tehty 1 metrin syvyydestä.

A-klorofyllipitoisuus oli heinäkuussa alhaisimmillaan, 2,0–2,6 µg/l. Kesä-, elo- ja syyskuussa pitoisuus oli lähellä samaa yleistaso vaihdellen 2,8–3,6 µg/l välillä.

Sameustilanne oli kesä-syyskuussa melko tasainen lukuun ottamatta syyskuun mittaukseen osunutta piikkiä 800 m etäisyydellä laitoksesta.

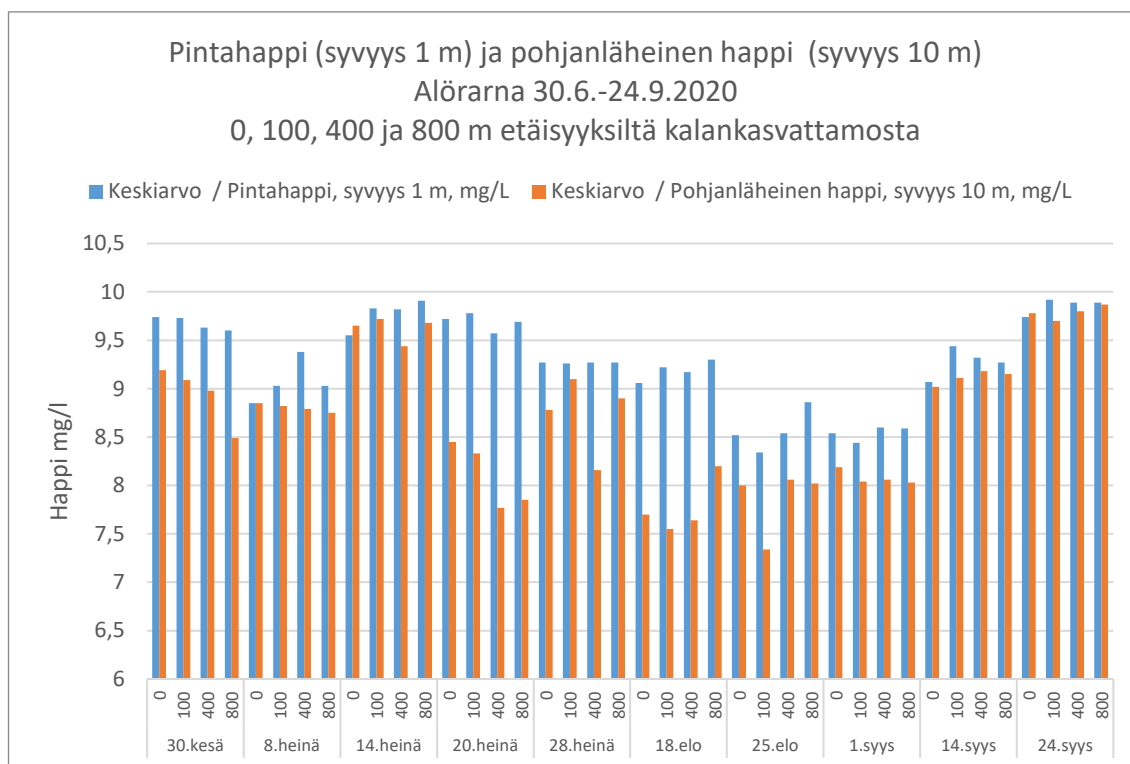


Kuva 49. Alörarnan a-klorofyllipitoisuus kuukausikeskiarvoina eri etäisyyksiltä kesä-syyskuussa 2020.



Kuva 50. Alörarnan sameus kuukausikeskiarvoina eri etäisyyksiltä kesä-syyskuussa 2020.

Happitilanne Alörarnan alueella on hyvä ja vaihtelu on melko lievää. Pintahappi 1 metrin syvyydestä mitattuna on tutkimusajanjaksolla ollut alimmillaan 8,34 mg/l ja ylimmillään 9,92 mg/l. Pintalämpötila on vaihdellut 14,2 °C ja 20,1 °C välillä. Pohjanläheinen happi on ollut alimmillaan 7,34 mg/l ja ylimmillään 9,87 mg/l. Pohjan lämpötila on vaihdellut 12,0 °C ja 19,4 °C välillä. Mittaukset on tehty YSI EXO -kenttämittauslaitteella. Kaaviossa (Kuva 51.) on kuvattu happitulokset mittausajankohtien ja etäisyyksien mukaan.



Kuva 51. Alörarnan happipitoisuus mittauspäivämäärittäin eri etäisyyksiltä laitoksesta.

6.6.2 P ja N

Laboratorionäytteitä on otettu kaksi kertaa. Kokonaisfosforin määrä on vaihdellut 18–21 $\mu\text{g/l}$ välillä ja kokonaistypen 300–320 $\mu\text{g/l}$. Kokonaisravinnepitoisuuksien hyvän tilan alueelliset raja-arvot ovat 20 P ja 310 $\mu\text{g/l}$. Keskiarvoina kokonaisfosfori alittaa hyvän tilan raja-arvon ja kokonaistyyppipitoisuus on hyvän tilan rajalla. Alla tulokset taulukossa (Taulukko 7).

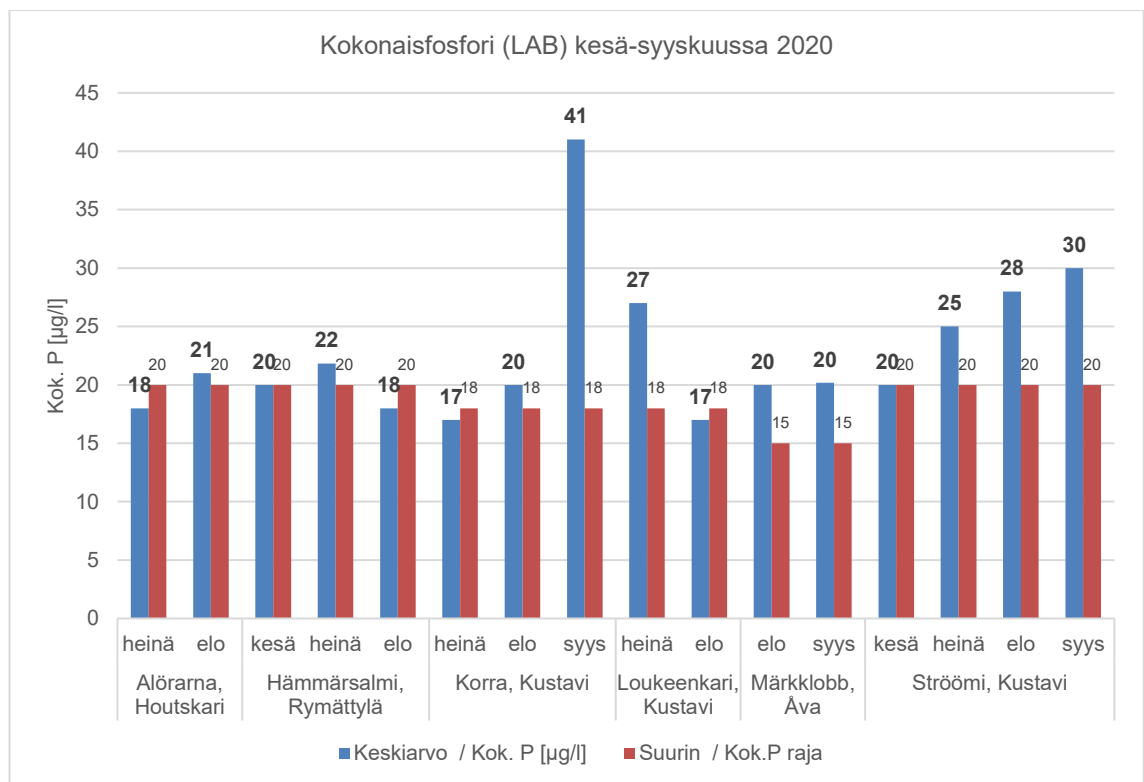
Taulukko 7. Laboriomittausten tulokset Alörarnalla.

| Pvm | Näytteenotto­syvyys [m] | Paikan syvyys n. [m] | Sameus [FNU] | Sähk.joht. [mS/m] | Kok. N [$\mu\text{g/l}$] | Kok. P [$\mu\text{g/l}$] | Klorofylli-a [$\mu\text{g/l}$] |
|-----------|-------------------------|----------------------|--------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 8.7.2020 | 1 | 11 | 2,2 | 1050 | 300 | 18 | 4,7 |
| 18.8.2020 | 1 | 11 | 1,6 | 1030 | 320 | 21 | 3,4 |

6.7 Kaikkien kohteiden laboratoriomittaukset

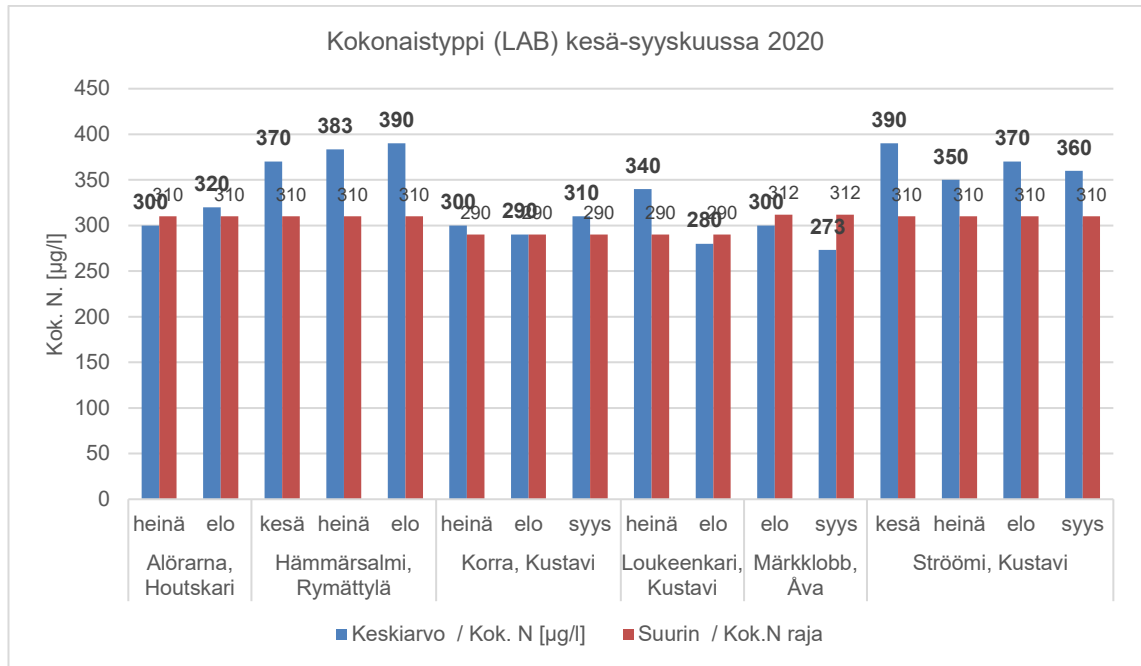
Alla kaikkien tutkittavien alueiden, eli Korran, Loukeenkarin, Märkklobbin, Hämmärsalmen, Ströömin ja Alörarnan laboratoriomittaustulokset kesä-syyskuussa 2020. Kaaviot on tehty kokonaisfosforin (Kuva 52), kokonaistypen (Kuva 53) ja klorofylli-a:n (Kuva 54) sekä sameuden (Kuva 55) mittaustuloksista. Kaavioihin on merkitty myös typen, fosforin ja klorofyllin rannikkovesien hyvän tilan alueelliset raja-arvot, jotka tulisi alittaa hyvän tilan saavuttamiseksi. Sameudesta hyvän tilan raja-arvoa ei ole määritetty. Analysoitava laboratoriomittausaineisto ei ole kovin laaja, joten yksittäisten mittauspisteiden arvot saattavat vaikuttaa huomattavasti joihinkin kuukausikeskiarvoihin.

Hämmärsalmella ja Alörarnalla kokonaisfosforipitoisuuden osalta vedenlaatu on enimmäkseen hyvä, muissa kohteissa raja-arvot ylittyvät. (Kuva 52)



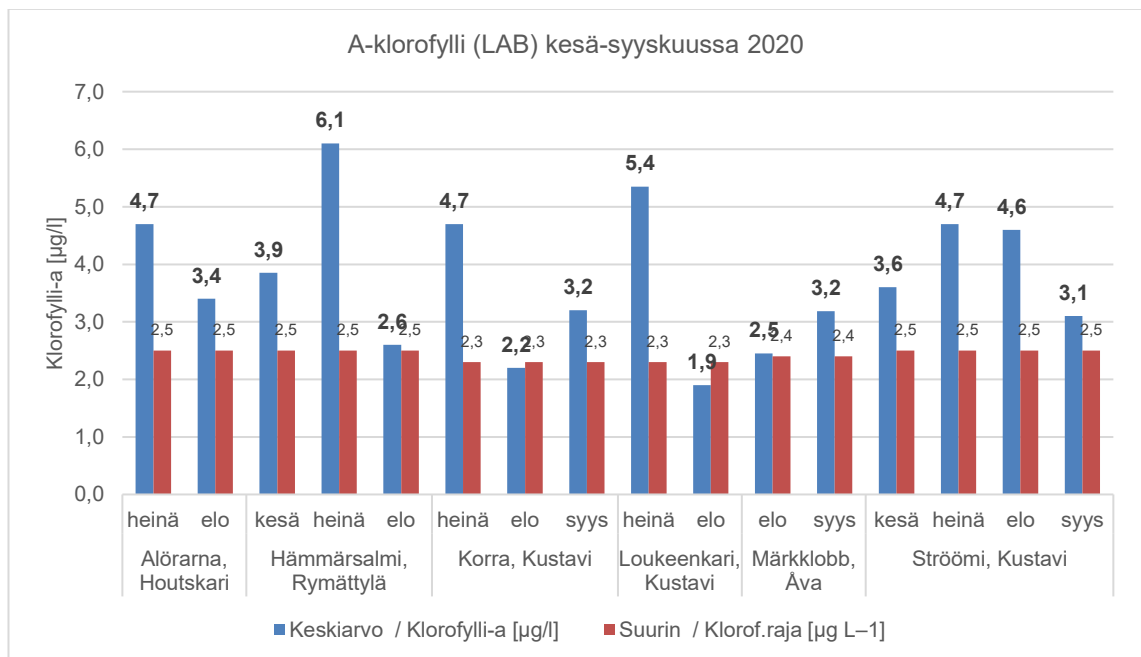
Kuva 52. Laboratoriomittausten kokonaisfosforipitoisuudet keskiarvoina kesä-syyskuussa 2020.

Kokonaistypen osalta Märkklobbin tila on hyvä ja Alörarna on hyvän tilan rajalla. Muissa kohteissa raja-arvot ylittyvät. (Kuva 53.)



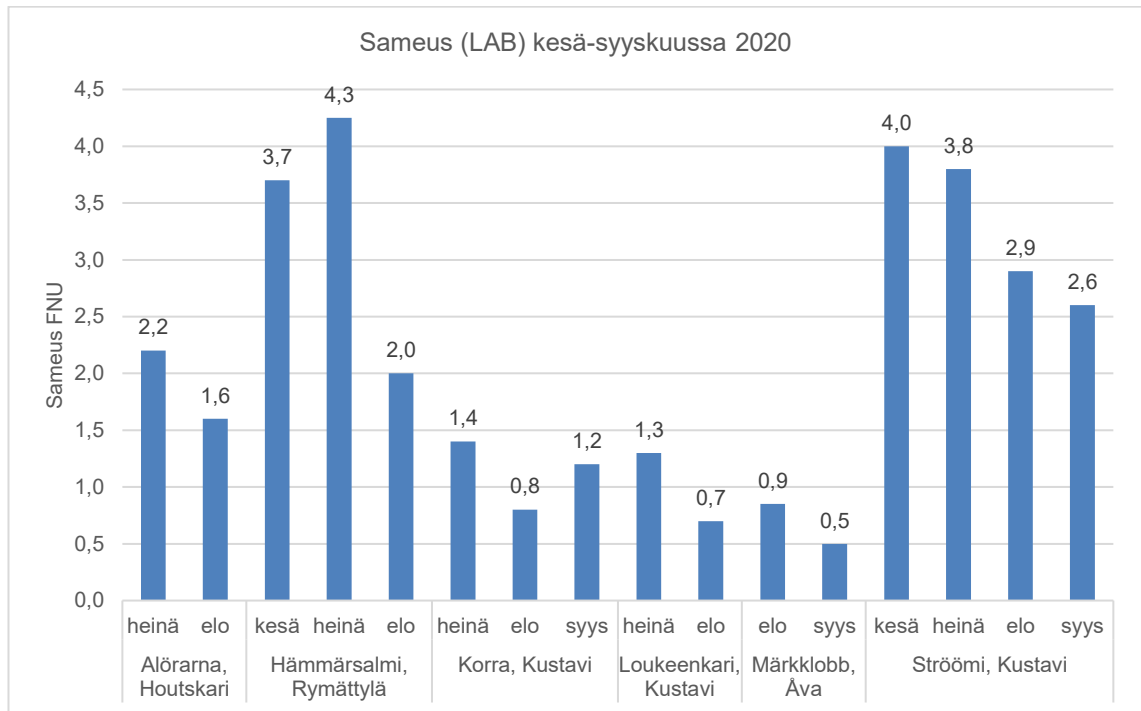
Kuva 53. Laboratoriomittausten kokonaistyyppipitoisuudet keskiarvoina kesä-syyskuussa 2020.

Klorofylliarvot alittavat hyvän tilan rajan vain elokuussa Korralla ja Loukeekarilla. Muina ajankohtina ei päästä alle hyvän tilan raja-arvon missään mittauskohdeissa. (Kuva 54.)



Kuva 54. Laboratoriomittausten a-klorofyllipitoisuudet keskiarvoina kesä-syyskuussa 2020.

Sameus on suurinta välisaaristossa sijaitsevilla kohteilla Hämmärsalmella (2,0–4,3 FNU) sekä Ströömissä (2,6–4,0 FNU), Alörarnalla vesi on hieman edellisiä kirkkaampaa (1,6–2,2 FNU). Ulkosaariston avoimemmilla merialueilla Korralla (0,8–1,4 FNU), Loukeenkari (0,7–1,3 FNU) ja Märkklobilla (0,5–0,9 FNU) on selkeästi kirkkaampaa vettä. (Kuva 55.)



Kuva 55. Laboratoriomittausten sameus keskiarvoina kesä-syyskuussa 2020.

7 HAVAINTOJEN YHTEENVETO

Opinnäytetyössä selvitettiin kalankasvatuksen paikallisia vaikutuksia vedenlaatuun Saaristomeren alueella. Tutkimuksessa tarkasteltiin, näkyykö kalankasvatuksen vaikutus vedenlaatuun erityisesti laitoksen lähellä verrattuna eri etäisyyksien mittauspisteisiin ja selvitettiin samalla vaikutusetäisyyttä. Kalankasvatuksen vaikutuksista oli tavoitteena saada lisää tietoa, jota Luonnonvarakeskus voi käyttää osana kalankasvatustilastojen kestävän tuotantomäärän suunnittelua. Lisäksi mittauksia tehtiin erilaisissa kuvioissa ja satunnaispisteissä, jotta saataisiin selville, millaisesta mittauspisteiden sijoittelusta saataisiin käytökelpoisimpia tietoja. Tarkoituksena oli myös soveltaa uusia tutkimusmenetelmiä selvittämällä satelliitti- ja dronekuvien käyttökelpoisuutta vedenlaatu seurannassa yhteistyössä Suomen ympäristökeskuksen kanssa, mutta kuvaukset eivät onnistuneet tällä erää. Kuvia olisi vertailtu mitattuihin vedenlaatu tuloksiin.

Vedenlaatumittauksia on tehty Saaristomerellä kuudella eri alueella, joissa toimii yhteensä yhdeksän kalankasvatustilastoa. Tutkittava etäisyys lähtökohdista on pääasiassa muutamia satoja metrejä. Vedenlaatua tarkastellaan a-klorofyllin, sameuden, hapen sekä kokonaisravinteiden mittaustulosten avulla. Mittauksia on tehty kesä-syyskuussa 2020 käsikäyttöisillä kenttämittareilla (EXO), jatkuvatoimisilla ympäristöpoijuilla sekä vesinäytteistä laboratoriomittauksilla.

Kalankasvatuksen vaikutusta vedenlaatuun on tarkasteltu mm. interpoloitujen karttakuvien sekä etäisyystarkastelujen avulla. Interpolointi toteutettiin Korran, Loukeenkarin, Märkklobbin ja Hämmärsalmen alueilla. Suppeampi etäisyystarkastelu taas tehtiin Ströömmin ja Alörarnan mittaustuloksille.

Kalankasvatuksen paikalliset vaikutukset vedenlaatuun

Tutkimuksessa ei ole havaittavissa kalankasvatustilastojen aiheuttamaa kuormitusta vedenlaadussa. Kalankasvatustilastojen alueilla ei näy selkeitä eroja pistekuormittajan, eli laitoksen, vieressä ja kauempaa mitattujen vertailupisteiden välillä.

Opinnäytetyössä vedenlaatua on esitelty enimmäkseen mittauspäivien mukaan. Mittausaikana on saatu lyhyen hetken tilannekuva vedenlaadusta. Interpoloiduista kuvista havaitaan, kuinka vedenlaatu vaihtelee alueella ilmentäen eri kohdissa parempia ja heikompiä vedenlaatu tuloksia erityisesti sameuden ja a-klorofyllin osalta. Happipitoisuuden suhteen vedenlaatu on tasaisempaa. Kokonaisfosforia ja -tyyppiä ei ole voitu samalla

tavalla paikallistaa vedenlaatukartaksi, sillä näiden tuloksia on saatu vain laboratori-onäytteistä, joita on suhteellisen vähän.

Vedenlaadun vaihtelu tutkimusalueiden sisällä, eri kohdissa, ei näytä selittyvän kalankasvatuslaitoksen toiminnalla. Vedenlaatuun saattavat vaikuttaa enemmän mittausalueiden ulkopuoliset tekijät, kuten laajempien vesimassojen liikkuminen virtausten mukana, muut kuormituslähteet sekä taustapitoisuudet. Tuulet ja virtaukset voivat vaikuttaa muualta kulkeutuvien levämäärien ja sameutta aiheuttavien hiukkasten sijaintiin, ja mitaustulosten vaihtelu voi olla suurta päiväkohtaisestikin. Lisäksi kalankasvatuksen aiheuttama kuormitus voi laimentua nopeasti ympäröivään veteen ja kuormituksen aiheuttama hetkellinen pitoisuuden nousu saattaa olla hyvin pientä.

Muiden kuormituslähteiden vaikutuksen näkyminen tuloksissa on mahdollista erityisesti Rymättylän Hämmärsalmella. Muiden alueiden tavoin kalankasvatuksen vaikutusta on vaikea havaita tarkasti, sillä vedenlaatu vaihtelee eri päivinä ja kalankasvattamoiden ympärillä mitataan paikoin niin hyviä kuin heikompaa vedenlaatua edustavia sameus- ja a-klorofylliarvoja. Kuitenkin erityisesti Hämmärsalmen eteläosissa on havaittavissa keskimäärin suurempia sameusarvoja ja klorofyllipitoisuuksia. Kuormituslähteenä saattavat olla esimerkiksi lähiseudun pellot, jotka aiheuttavat sateiden aikana kuormitusta oijen kautta mereen. Alueen jatkotutkimuksissa voisi olla hyötyä myös mittaushetkeä edeltävien säätilojen tarkastelusta.

Mittaustuloksia

Sameus

Alueelliset erot selittävät osittain sameuslukemia. Välisaaristossa vesi on lähtökohtaisesti sameampaa kuin ulkosaaristossa. Laboratorioarvoissa korkeimmat sameusarvot ovat saariston suojaisilla alueilla Hämmärsalmella ja Ströömässä, joissa on mitattu 2,0–4,3 FNU sameuslukemia. Alörarnan vesi on hieman kirkkaampaa sameuden vaihdellessa 1,6–2,2 FNU välillä. Kihdin alueella ulkosaariston kohteissa Korran, Loukeenkarin ja Märkklobbin alueilla on puolestaan kirkkaampaa vettä sameuslukemien vaihdellessa 0,5–1,4 FNU välillä.

Kokonaisravinteet

Myös kokonaistyyppituloksissa näkyy ero välisaariston ja avoimempien merisijaintien välillä. Kokonaistyyppi noudattelee samantyyllisiä eroja alueiden välillä kuin sameus. Kokonaistyyppipitoisuus on korkeimmillaan Hämmärsalmella (370–390 µg/l) ja Ströömässä

(350–390 µg/l), muissa kohteissa 270–340 N µg/l. Vesistön tilaluokitukseen käytettävien raja-arvojen perusteella Märklobbin alueella tila on hyvä ja Alörarna on hyvän tilan rajalla. Muissa kohteissa raja-arvot ylittyvät.

Kokonaisfosfori on korkeimmillaan Ströömässä (nousu kesäkuulta syyskuulle 20–30 µg/l) sekä syyskuussa Korralla (41 µg/l) ja heinäkuussa Loukeekarilla (27 µg/l). Muuten kokonaisfosforipitoisuus vaihtelee tutkimusalueilla 17–22 µg/l välillä. Kokonaisfosforipitoisuuden osalta vedenlaatu on enimmäkseen hyvä Hämmärsalmella ja Alörarnalla, muissa kohteissa raja-arvot ylittyvät selkeämmin.

Tuloksista ei pysty havaitsemaan kokonaisravinteiden alkuperää. Taustapitoisuudet selittävät todennäköisimmin mittaustuloksia.

A-klorofylli

Laboratoriomittausten mukaan a-klorofylliarvot alittavat hyvän tilan rajan vain elokuussa Korralla ja Loukeekarilla. Muina ajankohtina ei päästä alle hyvän tilan raja-arvon missään mittaushetkellä. Klorofyllipitoisuuden tulokset vaihtelevat Alörarnalla 3,4–4,7 µg/l, Hämmärsalmella 2,6–6,1 µg/l, Korralla 2,2–4,7 µg/l, Loukeekarilla 1,9–5,4 µg/l, Märklobilla 2,5–3,2 µg/l ja Ströömässä 3,1–4,7 µg/l.

Happi

Kenttämittareiden tulosten perusteella happitilanne on kaikissa mitatuissa kohteissa yleisesti hyvällä tasolla niin pinnalla kuin pohjan läheisyydessä.

Mittauspisteiden valinta ja mittauslaitteisto

Mittauspisteiden valinnassa on kokeiltu satunnaispisteitä, neljään ilmansuuntaan laitoksesta sekä ympyräkehällä eri etäisyyksillä mittaamista sekä kahdella laitoksella eri etäisyyksillä mittaamista yhteen ilmansuuntaan. Hämmärsalmen suhteellisen pienellä alueella tehdyt tiheet satunnaispistemittaukset kuvaavat melko hyvin alueen vedenlaatua. Ulkosaaristossa etäisyydet ovat suurempia ja myös kalankasvatuksen ravinteita kuljettavat virtaukset ovat voimakkaampia, joten erityisesti näissä tarkastelualue olisi hyvä olla riittävän laaja. Tarkempaa tietoa tarvittaisiin esimerkiksi klorofyllitilanteen kehittymisestä laajemmin merialueella. Näin voitaisiin paremmin tarkastella kuinka vesimassojen liikkeistä vaikuttaa kalankasvatuslaitosta ympäröiviin vedenlaatutuloksiin. Lähialuemittauksissa alueen laajuutta vaikuttaisi olevan tehokkainta lisätä mittaamalla sopivin välein eri ilmansuuntiin, sillä ympyräkehällä kiertäminen ja satunnaispisteiden välillä ajaminen

kuluttavat enemmän aikaa saman mittauspistemäärän saamiseksi. Mittauspisteitä voisi tehdä myös tasaisemmin ruudukkomallin leikkauspisteissä, mikä vaatii kenttätyössä riittävän tarkan paikannuslaitteen käyttöä. Yhteen ilmansuuntaan mittaaminen ei luonnollistikaan anna tietoa kalankasvatuslaitoksen ympäriltä laajemmasta alueellisesta vedenlaadusta, mutta tälläkin menetelmällä saadaan vertailuarvoja kalankasvatuslaitoksen vierestä ja vertailupisteitä kauempaa. Tulokset olisivat luotettavampia, mikäli mittaus tehtäisiin todennettuun veden päävirtaussuuntaan.

Mittalaitteiden osalta voisi harkita myös muita menetelmiä. Laajemmalla mittausalueella käsikäyttöinen mittalaite pysäytetystä veneestä käyttäen ei ole optimaalisin riittävän tiheän ja suuren mittauspistemäärän saamiseksi. Pintaveden mittaukseen voisi laitteiston osalta toimia paremmin liikkuvasta veneestä käytettävä läpivirtausmittauslaitteisto, joka toki vaatii myös vesinäytteitä tulosten kalibroimiseksi. Satelliitti- ja dronekuvaukset eivät onnistuneet tällä kertaa, mutta jatkossa niitä hyödyntämällä voisi saada helpommin laaja-alaisempaa aineistoa tutkittavaksi.

Jatkuvatoimisesta poijumittauksesta huomattiin, kuinka a-klorofyllin määrä voi vaihdella suuresti jopa vuorokauden sisällä. Tämä tekee klorofyllin luotettavasta mittaamisesta haastavaa, sillä liikkuvissa mittauksissa eri mittauspisteistä saadaan vain tietyn hetken mittaustulos. Levämäärään vaikuttavat saatavilla olevien ravinteiden ohella myös mm. valoisuus ja lämpötila. Jatkotutkimuksissa näiden muuttujien vaikutusta voisi ottaa paremmin huomioon.

8 PÄÄTELMÄT

Kalankasvatustiltojen paikallisessa tarkastelussa ei pystytty havaitsemaan kalankasvatuksen aiheuttamia muutoksia vedenlaadussa eikä siten myöskään kalankasvatustoiminnan vaikutusetaisyttä. Kalankasvatustiltojen alueilla ei näy selkeitä vedenlaatueroja tiltojen vieressä ja eri etäisyyksiltä mitattujen vertailupisteiden välillä. Vedenlaatu näyttää vaihtelevan mittausalueilla satunnaisesti ilmentäen eri kohdissa parempia ja heikompiä vedenlaatuolosuhteita, erityisesti sameuden ja a-klorofyllin suhteen. Happipitoisuuden osalta vedenlaatu ei muutu merkittävästi eri mittauspisteissä.

Kalankasvatuksen aiheuttama kuormitus voi laimentua nopeasti ympäröivään veteen. Kuormituksen aiheuttama hetkellinen pitoisuuden nousu saattaa myös olla niin pientä, ettei sitä pystytä mittaamaan luotettavasti. Suurempi vaikutus vedenlaatuun on todennäköisemmin mittausalueiden ulkopuolisilla tekijöillä. Esimerkiksi meriveden virtauksissa kulkeutuvien vesimassojen liikkuminen voi aiheuttaa mittaustulosten suurtakin vaihtelua levämäärien ja sameuden suhteen. Myös muiden kuormituslähteiden vaikutus alueen vedenlaatuun on mahdollista.

LÄHTEET

Arola, H. (toim.) 2012. Jatkuvatoinen sameusmittaus. Hyvät mittauskäytännöt ja aineistonkäsitteily. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2012. Suomen ympäristökeskus. Saatavana <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/41515>.

Aroviita, J.; Mitikka, S. & Vienonen, S. (toim.) 2019. Pintavesien tilan luokittelu ja arviointiperusteet vesienhoidon kolmannella kaudella, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37/2019. Helsinki: Suomen ympäristökeskus SYKE. Saatavana <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/306745>.

Belinskij, A. 2020. Kalankasvatuksen luvat EU:n vedenlaatumien ja Weser-tuomion näkökulmasta. Esitelmä kalankasvatuksen ympäristönsuojelupäivillä 1.10.2020. Viitattu 20.12.2020. https://ym.fi/documents/1410903/39420003/Belinskij_kalankasvatusp%C3%A4iv%C3%A4_YM_1.10.20.pdf/af251b96-824c-7f64-2966-3cd2ff27c670/Belinskij_kalankasvatusp%C3%A4iv%C3%A4_YM_1.10.20.pdf?t=1601533463554

Euroopan parlamentti 2020. Vesien suojeleminen ja hoito. Viitattu 8.12.2020. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/74/water-protection-and-management>.

Huotari, J.; Ketola, M. (toim.) 2014. Jatkuvatoinen levämäärien mittaus. Hyvät mittauskäytännöt ja aineiston käsittely. Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2014. Suomen ympäristökeskus. Saatavana <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/45421>.

Kettunen, J.; Lignell, R.; Ropponen, J.; Malve, O. & Kotamäki, N. 2015. Kalankasvatuksen ympäristöseurantajärjestelmän kehittäminen. SYKE:n loppuraportti. Viitattu 10.1.2020. <https://www.kalankasvatus.fi/wp-content/uploads/2018/01/Kalankasvatuksen-ymparistoseurantajarjestelman-kehittaminen-Loppuraportti.pdf>.

Korpinen, S.; Laamanen, M.; Suomela, J.; Paavilainen, P.; Lahtinen, T. & Ekeboom, J. (toim.) 2019. Suomen meriympäristön tila 2018. SYKE:n julkaisuja 4. 2. painos. Helsinki: Grano. Saatavissa myös <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/274086>

Kuosa, H. 2020. Skallerfjärdenin mallinnus FICOS-ravinnekuormitusmallilla. Yhteenveto 18.11.2020. Suomen ympäristökeskus/merikeskus.

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2014. Annettu Helsingissä 30.12.2004. Saatavilla sähköisesti osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041299>.

Saario, M. 2020. Vaikutusten arviointi merellisessä ekosysteemissä. Esitelmä kalankasvatuksen ympäristönsuojelupäivillä 1.10.2020. Viitattu 16.1.2021. <https://ym.fi/documents/1410903/37291851/Toiminnanharjoittajan+puheenvuoro.pdf/5aafb81e-6ea5-cf9f-23cb-b33281c3f05f/Toiminnanharjoittajan+puheenvuoro.pdf?t=1601453644907>

Setälä, J.; Kankainen, M.; Suomela, J.; Vielma, J. & Tarkki, V. 2014. Vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelman ympäristöselostus. RKTL:n työraportteja 24/2014. Helsinki: Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos RKTL. Saatavilla <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/519946>

Suomen ympäristökeskus 12.1.2018. Rehevoityminen. Viitattu 10.1.2020. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Rehevoityminen

Suomen ympäristökeskus 4.6.2020. Pintavesien luokittelun periaatteet. Viitattu 10.1.2020. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pintavesien_tila/Pintavesien_luokittelu

Tarvainen, M; Kotilainen, H. & Suomela, J. 2015. Uudet menetelmät vesistöjen seurannassa – mahdollisuudet ja haasteet. Raportteja 86/2015. Turku: Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Saatavilla myös <https://www.doria.fi/handle/10024/120174>.

Tattari, S.; Tarvainen, M.; Kallio, K.; Lepistö, A.; Näykki, T.; Raateoja, M. & Seppälä, J. 2019. Laatuksikirja jatkuvatoimisille vedenlaadun mittauksille. Opas hyväksi käytännöiksi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 4/2019. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE). Saatavissa myös <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/299105>.

Turkki, H. 2020. Kustavin ja Iniön merialueen kalankasvatustutkimusten veloitettavien tutkimusten pitkäaikaisraportti 2013–2018. 15.1.2020. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy.

Vesikartta-palvelu 2020. Vesien tila. Viitattu 3.12.2020. http://paikkatieto.ymparisto.fi/vesikartta-viewers/Html5Viewer_2_11_2/Index.html?configBase=http://paikkatieto.ymparisto.fi/Geocortex/Essentials/REST/sites/VesikarttaKansa/viewers/VesikarttaHTML525/virtualdirectory/Resources/Config/Default&locale=fi-FI

Ympäristöministeriö 2020. Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohje. Ympäristöministeriön julkaisuja 2020:22. Helsinki. Saatavilla <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162452>.

Laboratoriomittaukset 2020

| Laboratoriomittaukset 2020 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|-----------|------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|---------------------|
| Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy | | | | | | | | | | | | | | |
| Näkösyvyys määritetty Limnoksen valkoisen kansilevyn katoamissyvyyden perusteella. | | | | | | | | | | | | | | |
| Lämpötila on mitattu Limnoksen lämpömittarilla merellä näytteenoton yhteydessä. | | | | | | | | | | | | | | |
| Pvm | Klo | Latitude | Longitude | Paikannimi | Näytteenotto-syvyys [m] | Paikan syvyys n. [m] | Näkösyvyys [m] | Lämpötila [°C] | Heppi [mg/l] | Sameus [FNU] | Sähkijohd. [mS/m] | Kok. N [µg/l] | Kok. P [µg/l] | Klorofylli-a [µg/l] |
| 28.1.2020 | 13.45 | 60.5687 | 21.1429 | Korra, Kustavi | 1 | 50 | | | | 2,6 | 1000 | 290 | 24 | 0,7 |
| 2.3.2020 | 18.00 | 60.5687 | 21.1429 | Korra, Kustavi | 1 | 50 | | | | 1,9 | 1040 | 360 | 28 | 0,6 |
| 24.6.2020 | 9.20 | 60.5595 | 21.3036 | Ströömi, Kustavi | 1 | 15 | | | | 4,0 | 990 | 390 | 20 | 3,6 |
| 24.6.2020 | 13.15 | 60.3167 | 21.9619 | Hämmärsalmi, Rymättylä | 1 | 10 | 2,1 | 21,4 | | 3,1 | 1020 | 360 | 19 | 2,5 |
| 29.6.2020 | 11.30 | 60.3167 | 21.9619 | Hämmärsalmi, Rymättylä | 1 | 10 | 1,6 | 20,8 | | 4,3 | 1020 | 380 | 21 | 5,2 |
| 1.7.2020 | 13.40 | 60.3167 | 21.9619 | Hämmärsalmi, Rymättylä | 1 | 10 | 1,2 | 20,3 | | 6,6 | 1020 | 380 | 23 | 8,4 |
| 6.7.2020 | 13.50 | 60.3167 | 21.9619 | Hämmärsalmi, Rymättylä | 1 | 10 | 1,3 | 18,9 | | 5,6 | 1020 | 360 | 24 | 6,1 |
| 8.7.2020 | 8.15 | 60.3112 | 21.4915 | Alörarna, Houtskari | 1 | 11 | | | | 2,2 | 1050 | 300 | 18 | 4,7 |
| 13.7.2020 | 13.00 | 60.6108 | 21.1133 | Loukeenkari, Kustavi | 1 | 18 | 4,0 | 16,5 | | 1,3 | 1030 | 370 | 35 | 5,5 |
| 13.7.2020 | 13.15 | 60.6102 | 21.1175 | Loukeenkari, Kustavi | 1 | 15 | 4,0 | 16,5 | | 1,3 | 1030 | 310 | 19 | 5,2 |
| 13.7.2020 | 14.00 | 60.5678 | 21.1464 | Korra, Kustavi | 1 | 34 | 3,5 | 16,5 | | 1,4 | 1030 | 300 | 17 | 4,7 |
| 13.7.2020 | 13.50 | 60.3167 | 21.9619 | Hämmärsalmi, Rymättylä | 1 | 10 | 1,4 | 19,1 | | 4,1 | 1020 | 380 | 20 | 6,2 |
| 20.7.2020 | 14.28 | 60.3167 | 21.9619 | Hämmärsalmi, Rymättylä | 1 | 10 | 1,6 | 21,7 | | 3,9 | 1020 | 430 | 22 | 7,3 |
| 21.7.2020 | 9.10 | 60.5595 | 21.3036 | Ströömi, Kustavi | 1 | 15 | | | | 3,8 | 1020 | 350 | 25 | 4,7 |
| 22.7.2020 | 14.35 | 60.3167 | 21.9619 | Hämmärsalmi, Rymättylä | 1 | 10 | 1,9 | 20,6 | 9 | 3,5 | 1020 | 400 | 25 | 5,2 |
| 22.7.2020 | 14.40 | 60.3167 | 21.9619 | Hämmärsalmi, Rymättylä | 9 | 10 | | 20,1 | 8,5 | | | | | |
| 29.7.2020 | 13.30 | 60.3167 | 21.9619 | Hämmärsalmi, Rymättylä | 1 | 10 | 3,3 | 19,1 | | 1,8 | 1030 | 350 | 17 | 3,4 |
| 12.8.2020 | 14.05 | 60.3167 | 21.9619 | Hämmärsalmi, Rymättylä | 1 | 10 | 2,4 | 20,4 | | 2,0 | 1020 | 390 | 18 | 2,6 |
| 18.8.2020 | 11.15 | 60.3112 | 21.4915 | Alörarna, Houtskari | 1 | 11 | | | | 1,6 | 1030 | 320 | 21 | 3,4 |
| 18.8.2020 | 9.00 | 60.5595 | 21.3036 | Ströömi, Kustavi | 1 | 15 | | | | 2,9 | 1010 | 370 | 28 | 4,6 |
| 19.8.2020 | n. 12.20 | 60.5702 | 21.1456 | Korra, Kustavi | 1 | 36 | | 19,1 | | 0,8 | 1010 | 290 | 20 | 2,2 |
| 19.8.2020 | n. 10.30 | 60.6112 | 21.1127 | Loukeenkari, Kustavi | 1 | 15 | | 19,1 | | 0,7 | 1000 | 280 | 17 | 1,9 |
| 20.8.2020 | n. 16:25 | 60.4396 | 21.1061 | Märkklobb, Åva | 1 | 20 | | | | 1,0 | 1020 | 300 | 19 | 2,5 |
| 20.8.2020 | n. 17.00 | 60.4367 | 21.1034 | Märkklobb, Åva | 1 | 20 | | | | 0,7 | 1020 | 300 | 21 | 2,4 |
| 7.9.2020 | 13.40 | 60.4393 | 21.106 | Märkklobb, Åva | 1 | 20 | 4,0 | 17,4 | | 0,5 | 1050 | 270 | 21 | 3,5 |
| 7.9.2020 | 14.30 | 60.4212 | 21.0933 | Märkklobb, Åva | 1 | 23 | 4,9 | 17,1 | | 0,5 | 1040 | 270 | 18 | 3,4 |
| 7.9.2020 | 14.10 | 60.429 | 21.0912 | Märkklobb, Åva | 1 | 18 | 4,6 | 16,9 | | 0,5 | 1040 | 280 | 20 | 3,0 |
| 7.9.2020 | 16.45 | 60.4317 | 21.0996 | Märkklobb, Åva | 1 | 13 | 5,0 | 17,3 | | 0,5 | 1040 | 270 | 20 | 2,7 |
| 8.9.2020 | n. 9:50 | 60.4396 | 21.1064 | Märkklobb, Åva | 1 | 20 | | | | 0,5 | 1040 | 290 | 21 | 3,5 |
| 8.9.2020 | n. 11.05 | 60.4256 | 21.0886 | Märkklobb, Åva | 1 | 21 | | | | 0,5 | 1050 | 260 | 21 | 3,0 |
| 9.9.2020 | n. 14.00 | 60.5701 | 21.1457 | Korra, Kustavi | 1 | 38 | 4,0 | 16,9 | | 1,2 | 1030 | 310 | 41 | 3,2 |
| 23.9.2020 | 9.50 | 60.5595 | 21.3036 | Ströömi, Kustavi | 1 | 15 | | | | 2,6 | 1020 | 360 | 30 | 3,1 |