



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 41/2021

Vedenlaadun mittauksia kalankasvatuslaitoksilla

Havainnot automaattisista mittareista
Saaristomerellä 2019–2020

Jari Niukko ja Markus Kankainen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 41/2021

Vedenlaadun mittauksia kalankasvatustiluksilla

Havaintoja automaattisista mittareista Saaristomerellä
2019–2020

Jari Niukko ja Markus Kankainen



Viittausohje:

Niukko, J. & Kankainen, M. 2021. Vedenlaadun mittauksia kalankasvatustiluksilla : Havaintoja automaattisista mittareista Saaristomerellä 2019–2020. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 41/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 39 s.

Selvityksessä käytettyjä laitteistoja on rahoitettu Suomen akatemian tutkimusinfrastruktuurit FIRI2018 -rahoituksella [Päätös n:o 319496]. Tutkimukset on suoritettu Euroopan meri- ja kalatalousrahaston rahoituksella.



ISBN 978-952-380-222-3 (Painettu)

ISBN 978-952-380-223-0 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-223-0>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Jari Niukko ja Markus Kankainen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2021

Julkaisu vuosi: 2021

Kannen kuva: Jari Niukko

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Jari Niukko¹⁾, Markus Kankainen¹⁾

¹⁾ Luonnonvarakeskus (Luke), Itäinen Pitkäkatu 4 A, 20520 Turku

Raportissa käsitellään Luonnonvarakeskuksen koordinoimia vedenlaatumittauksia automaattimittareilla Saaristomerellä vuosina 2019–2020. Kalankasvatuksen ympäristövaikutuksia mitattiin paikalle ankkuroitujen ympäristöpoijuihin sijoitettavien jatkuvasti mittaavien mittareiden ja kannettavien vedenlaatumittareiden avulla. Kalankasvatustilastosten läheisyydessä vedestä mitattiin klorofylli-, sameus- ja happipitoisuuksia mahdollisten ympäristövaikutusten selvittämiseksi. Ensisijaisena tavoitteena oli saada kokemuksia laitteista ja arvioida siten niiden käytökelpoisuutta sekä kehittää toimintatapaa luotettavampien ja tehokkaampien ympäristövaikutusten mittaamiseksi. Lisäksi lähtökohtaisesti tavoitteena oli arvioida kalankasvatuksen vaikutusta vedenlaatuun sen lähialueella.

Automaattilaitteilla voidaan saada suuri määrä mittausdataa, mutta määrä ei välttämättä korvaa laatua. Näin ollen oleellista on arvioida menetelmien ja aineiston käytettävyyttä ja luotettavuutta. Antureiden mittausarvot eivät sellaisenaan kuvaa esimerkiksi sameuden ja klorofyllin todellista arvoa vaan nämä tulee tarkentaa laboratorioarvoihin perustuen. Useisiin laboratorionäytteisiin perustuen kannettavien laitteiden sameusarvot saatiin korjattua vastaamaan laboratorioarvoja, mutta klorofylliarvoja ei saatu vastaavasti lineaarisella regressioanalyysillä vastaamaan hyvin laboratorionäytteitä, jolloin klorofylliarvoja voi käyttää vain suhteellisen vaikutuksen arviointiin. Poijuissa keskeistä on huolehtia antureiden jatkuvasta puhdistamisesta.

Kalankasvatustilastosten vaikutuksia vedenlaatuun on vaikea arvioida automaattimittareillakaan. Mittaluokassaan selkeää lineaarista muutosta vedenlaatuparametreissa esimerkiksi laitoksesta pois päin ei ollut havaittavissa interpolointikuvissa tai yritysten eri etäisyyksiltä tehdyissä mittauksissa, vaikkakin esimerkiksi Kihdin kasvatustilastosten läheisyydessä välillä havaittiinkin suurempia klorofylliarvoja. Mittausten vähäinen määrä, mittausten tarkkuus ja klorofyllin yleinen epätasainen jakautuminen meressä aiheuttavat sen, ettei vaikutuksen suuruutta tai vaikutus-alueetta ollut mahdollista määrittää tarkemmin. Sisempänä Rymättylässä olevassa salmessa klorofyllipitoisuudet olivat erittäin epätasaisesti jakaantuneet esimerkiksi moninaisten virtausten vuoksi ja ilmeisten muiden läheisten kuormituslähteiden takia, jolloin kalankasvatuksen vaikutus ei ollut arvioitavissa. Sameuden ja pohjanläheisen hapen osalta havaitut vaikutukset tai alueelliset erot olivat yleistäen vähäisiä.

Asiasanat: happi, kalanviljely, klorofylli, mittausmenetelmät, sameus, vedenlaatu

Sisällys

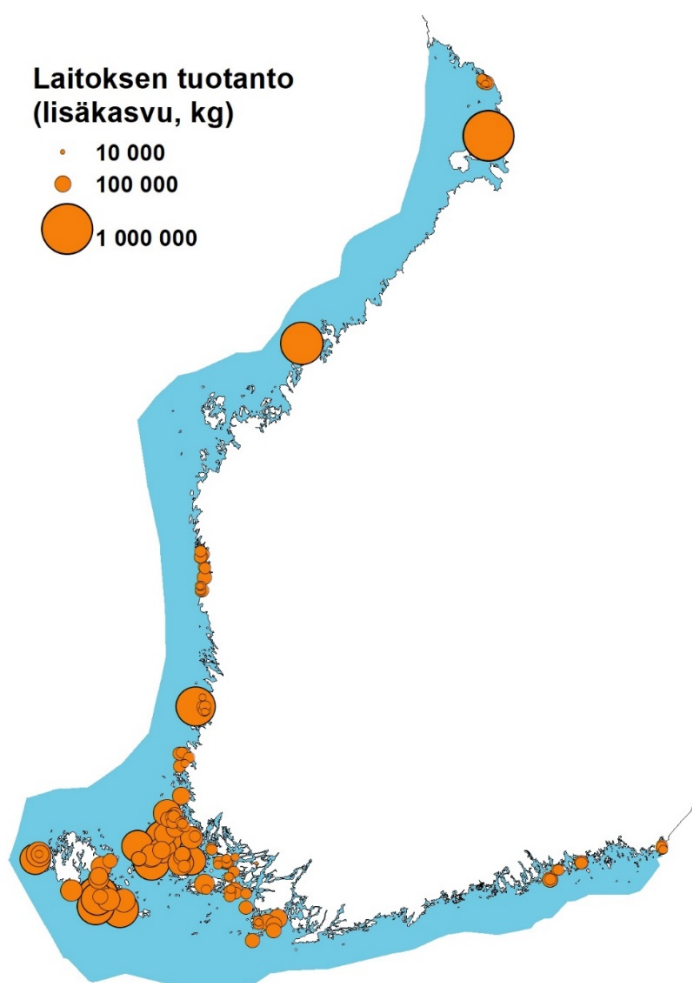
1. Johdanto	5
2. Mittauslaitteet ja menetelmät.....	8
2.1. Ympäristöpoijut	8
2.2. EXO2 siirrettävät mittalaitteet	9
2.3. Laboratorionäytteet ja laitteiden arvojen tarkentaminen	10
2.4. Mittauspaikat.....	10
3. Tulokset.....	12
3.1. EXO- ja laboratoriomittausten korrelaatio	12
3.2. Rymättylä – mittaukset	13
3.2.1. Kalaranta-laitoksen mittaukset	13
3.2.2. Hämmärsalmen aluemittaukset.....	14
3.3. Kustavi, Korra – mittaukset.....	18
3.4. Kustavi, Loukeenkari – mittaukset.....	21
3.5. Brändö, Märkklobb – mittaukset.....	22
3.6. Kustavi, Hupaniitty – mittaukset.....	25
3.7. Houtskari, Alörarna – mittaukset	26
3.8. Yhteenvedo ympäristöpoijujen mittauksista	27
3.9. Vesinäytteiden laboratorioanalyysien tulokset	30
4. Tulosten tarkastelu	32
Viitteet.....	35
Liitteet	37

1. Johdanto

Suomen merialueella kasvatettiin ruokakalaa noin 12,5 miljoonaa kiloa vuonna 2019 (Luonnonvarakeskus 2020). Merialueella laitosten koot vaihtelevat siten, että yrityksillä olevat pienimmät yksiköt ovat noin 20–40 tonnin kasvatuslaitoksia, mutta Suomen avomerialueille on viime vuosina myönnetty myös noin 600–1000 tonnin kasvatuslupia (kuva 1).

Vuonna 2014 valtioneuvoston hyväksymän vesiviljelystrategian mukaisesti vesiviljelytuotantoa on pyritty lisäämään ja samalla varmistamaan toiminnan ekologinen kestävyys (Valtioneuvoston periaatepäätös 2014). Kalankasvatuslaitosten tuotantoa säädetään Suomessa ympäristöluvilla, joissa säädetään välillisesti vesialueeseen kohdistuva kuormitusmäärä.

Suomen tavoitteena on myös vesien hyvän ekologisen tilan saavuttaminen, jota säädetään muun muassa EU:n vesipuitedirektiivissä. Ennakkotapauksen perusteella ympäristölupaa ei voida myöntää, jos toiminta vaarantaa veden hyvän tilan saavuttamisen (Belinskij ym. 2019). Tästä syystä ympäristövaikutusten, muun muassa veden laadun muuttujien, kuten a-klorofyllin tutkiminen ja toiminnan vaikutusten osoittaminen on keskeistä. Lupaharkinnassa ja velvoite-tarkkailussa arvioidaan toiminnan vaikutuksia veden laatuun.



Kuva 1. Suomen merialueen kalankasvatuslaitosten tuotanto.

Ravinnevähennystavoitteiden takia kalankasvatuksen keskeisin ympäristövaikutus Itämerellä on ravinnekuormitus (Silvenius ym. 2012). Kalankasvatuksen osuus ihmistoiminnan ravinnekuormituksesta Suomen merialueilla on fosforin osalta 2 % ja typen osalta 1 %. Saaristomerellä osuudet ovat vastaavasti runsaat 3 % ja noin 2 %. Paikallisesti kalankasvatuksella voi olla suurempi vaikutus levän kasvulle ja veden laadulle (Ympäristöministeriö 2020). Laitoksen tuotannon koolla ja laitoksen sijainnilla on ympäristövaikutusten kannalta olennaisesti merkitystä.

Kalankasvatuksesta veteen päätyvät ravinteet ovat peräisin kaloille syötettävästä rehusta. Suurin osa rehun ravinteista sitoutuu kalaan, mutta osa päätyy vesistöön kalan ulosteen kautta. Tämän seurauksena veteen vapautuu ravinteita, jotka aiheuttavat kasviplanktonin ja rihmalevien lisääntymistä. Lisäksi pohjalle voi kasaantua happea kuluttavaa orgaanista ainesta, jonka seurauksena mahdollisesti happipitoisuudet laskevat. Laitoksen tuntumassa kuormituksella voi olla vaikutuksia myös pohjaeliöstöön (Kotamäki ym. 2021).

Suurempien lupahankkeiden yhteydessä pyritään arvioimaan ravinnekuormitusmalleilla, miten toiminta vaikuttaa paikallisesti ja alueellisesti vesistöön. Kalankasvatuksen alueellisia vaikutuksia on mallinnettu esimerkiksi FICOS-mallijärjestelmällä, joka huomioi muut ravinnelähteet (Lignell ym. 2018). Tässä raportissa esitettyjä menetelmiä kokeillaan ja niiden tuloksia arvioidaan käytännöstä myös siksi, että jatkossa malleilla voidaan arvioida luotettavammin kalankasvatuksen paikallista vaikutusta käytännössä, kun suunnitellaan esimerkiksi uusia kalankasvatustiloja.

Kalankasvatustiloille tehdään vuosittain velvoitetarkkailuja, joissa seurataan esimerkiksi veden laatua ja eliöstöä. Uusien menetelmien avulla voitaisiin parantaa ja tehostaa seurantaa. Automaattimittarit ovat jo paikoin hyväksytyjä menetelmiä ympäristölupien velvoitetarkkailussa, mutta ei toistaiseksi tiedostettavasti merialueella, eikä ravinnekuormituksen mittaamisessa. Menetelmiä on kuitenkin jo kokeiltu käytännössä muutamissa selvityksissä; Saaristomerellä on hyödynnetty automaattimittausjärjestelmää, jossa vedenlaatumittauksia on tehty liikkuvasta veneestä (Lindfors ym. 2017). Kalankasvatuksen ympäristövaikutusten arviointi ja ympäristöseurantamenetelmien kehittäminen -hankkeessa on arvioitu miten kalankasvatus vaikuttaa ympäristöön ja erityisesti veden laatuun ja miten seurantaa voitaisiin kehittää eri menetelmin (Kettunen ym. 2015). Tuominen (2021) on käsitellyt samoja aineistoja kalankasvatuksen vaikutusten arviointiin kuin tässä raportissa, mutta vain vuoden 2020 osalta.

Laajasti on kuitenkin edelleen tietopuutteita myös kalankasvatuksen vaikutuksista tai vesistön lähtökohtaisestakaan vedenlaadusta ja sen ajallisesta ja alueellisesta vaihtelusta. Kun tarkemmin perehtyy esimerkiksi Itämeren ekologisen tilaluokituksen tausta-aineistoihin, voidaan havaita, että mittauksia on vähän luotettavan ja alueellisesti kattavan tilan arviointiin (Aroviita ym. 2014). Samalla kun laitteistojen luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta kokeillaan, tavoitteena on myös tuottaa tietoa vedenlaadun tilasta ja sen vaihtelusta. Tämän selvityksen aineistoa voidaan näin ollen hyödyntää esimerkiksi Datafuusiossa (Malve ym. 2021), jossa voidaan yhdistää eri vedenlaatuarviointitietolähteitä luotettavamman vaikutusarvioinnin ja tila-arvioinnin saamiseksi.

Kalankasvatustilojen vesistö tarkkailusta on todettu, että velvoitetarkkailun suurimpia haasteita on käyttökelpoisen tiedon tuottaminen kohtuullisin kustannuksin (mm. Hakala ym. 1994, Kettunen ym. 2015). Laitosten vesistö tarkkailuun liittyen on kirjoitettu myös vuosien 2013 ja 2020 kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohjeissa (Ympäristöministeriö 2013, 2020). Jälkimmäisessä ympäristönsuojeluohjeessa on tuotu esiin myös se, että vesistö tarkkailussa voitaisiin hyödyntää osaltaan myös uusia menetelmiä tapauskohtaisesti harkinnan mukaan. Tällaisia olisivat esimerkiksi kaukokartoitus ja dronet, automaattimittarit sekä videokameralla tehtävä pohjan kartoitus.

Tässä raportissa esitetään Luonnonvarakeskuksen vuonna 2019 ja 2020 koordinoimia vedenlaadun mittauskokeiluja automaattimittareilla ja tuodaan esiin mittauksiin ja menetelmiin liittyviä havaintoja. Luonnonvarakeskus sai (osana FINMARI-konsortiota) Suomen Akatemian myöntämää FIRI2018 tutkimusinfrastruktuuri-rahoitusta vedenlaadun mittauslaitteiden hankintaan. Luonnonvarakeskus teki mittausyhteistyötä kalankasvatuseritysten kanssa kattavampien mittausten saamiseksi osana Euroopan meri- ja kalatalousrahaston rahoittamaa Vesiviljelyn innovaatio-ohjelmaa.



Kuva 2. Jatkuvatoiminen ympäristöpöiju Kihdillä kasvatuseritysten läheisyydessä vuonna 2020.
Kuva: Jari Niukko.

2. Mittauslaitteet ja menetelmät

Raportissa käsiteltävät mittaukset suoritettiin vuosina 2019 ja 2020. Käytössä oli vedenlaadun mittaamiseen suunniteltuja jatkuvatoimisia ympäristöpoijuja ja siirrettäviä EXO2 laitteita (kuva 2 ja 3). Näiden lisäksi otettiin vedennoutimella vesinäytteitä laboratoriomäärytyksiä varten. Raportissa käsitellään Saaristomerellä suoritettuja mittauksia. Saaristomerellä Luonnonvarakeskuksen lisäksi mittauksia suorittivat Brändö Lax Ab, Lännenpuolen Lohi Oy, Nordic Trout Ab ja Heimon Kala Oy. Mittauksia suoritettiin myös Haverön Lohi Oy:n laitosten ympäristössä. Lisäksi Turun ammattikorkeakoulun opiskelija osallistui tutkimusaineiston keräämiseen ja Suomen ympäristökeskuksen tutkijat osallistuivat toiminnan kehittämiseen.

2.1. Ympäristöpoijut

Luonnonvarakeskus hankki ensimmäisen ympäristöpoijun vuonna 2015. Vuonna 2018 hankittiin vielä kaksi vastaavaa EHP Environment Oy:n EHP ympäristöpoijua. Poijuissa on ollut mittausantureita erilaisina kokoonpanoina. Alussa anturit oli sijoitettu pintaveteen ja pohjan lähelle, mutta myöhemmin vain pintaan, koska pohjan anturikaapelit rikkoutuivat oletettavasti ankkuriköysiin ja antureiden puhdistaminenkin oli hankalaa. Mukana olevia antureita on ollut kaiken kaikkiaan: lämpötila, sähkönjohtavuus, happi, sameus, klorofylli-a ja fykosyaniini. Näistä lämpötila ja happi on kalankasvatuksen tuotantoon liittyviä suureita, kun taas etenkin kolme jälkimmäistä tuo tietoa vedenlaadusta. Sameus kuvastaa veden kiintoainespitoisuutta ja näkösyvyyttä. Klorofylli-a kuvaa kasviplanktonin biomassaa ja indikoi rehevyyttä (Aroviita ym. 2014). Klorofylli-a on esimerkiksi yksi keskeisimmistä muuttujista, joilla arvioidaan veden ekologista tilaa. Fykosyaniini kuvaa sinilevien määrää. Fykosyaniinia voidaan käyttää myös poijujen klorofylliarvojen tarkentamisessa (Huotari & Ketola 2014). Lisäksi kaikissa poijuissa on ollut ilman parametrejä mittaava sääasema sekä yhdessä poijussa veden virtauksia eri kerroksista määrittävä ADCP-anturi. Poijuja on ollut kokeilussa Saaristomerellä ja Perämerellä. Poijuista saatava data on saatavilla ja nähtävillä avoimesti EHP-datapalvelusta: <https://ehp-data.com/>. Liitteessä 3 on ilmoitettu käytössä olleita anturimalleja.

Alkuvuosina poijun mittausta haittasi antureiden likaantuminen meressä, jolloin mittausarvot eivät olleet pääsääntöisesti käyttökelpoisia. Vuonna 2019 käyttöön otettiin antureiden manuaaliset puhdistamiset. Tavoitteena oli, että anturit puhdistettaisiin ennen kuin ne likaantuvat, koska antureiden likaantuminen heikentää arvojen luotettavuutta. Lisäksi käytettiin EHP:n laaduntarkastuspalvelua, joka seurasi arvojen kehittymistä ja ilmoitti jos mittausarvoissa oli tapahtunut poikkeavan suurta muutosta, jotta puhdistus mentäisiin tekemään. Lisäksi laaduntarkastuspalveluun kuului, että data korjattaisiin jälkikäteen vastamaan todellista, mutta vesinäytteiden vähäisestä määrästä ja likaantumisen aiheuttamista ongelmista johtuen korjauksia ei ole ollut mahdollista tehdä. Poijun suuren koon (3,6 m X 0,6 m, 400 kg) vuoksi puhdistaminen oli haastavaa avomerioloissa, koska poiju piti nostaa ylös alukseen antureiden puhdistamista varten. Manuaalisesta puhdistuksesta huolimatta arvot lähtivät heikentymään nopeasti puhdistuksen jälkeen, minkä vuoksi poijuja tuli kehittää edelleen.

Vuonna 2020 yhteen poijuun asennettiin puhdistusjärjestelmä. Poijun sisälle asennettiin 5 kg paineilmapullo, josta tuli paineilmaa kerran vuorokaudessa kahden sekunnin ajan kolmea anturia puhdistaan (fykosyaniini, klorofylli-a, sameus). Poiju maalattiin sisäpuolelta myös antifouling maalilla, jotta se pysyisi puhtaampana.

2.2. EXO2 siirrettävät mittalaitteet

Vuosina 2019–2020 hankittiin YSI:n EXO2 vedenlaatumittareita (Multiparameter Water Quality Sonde). Neljää laitetta käytettiin mittaamisessa Saaristomerellä. Laitteissa oli antureina: lämpötila/johtokyky, sameus, happi ja klorofylli/fykosyaniini (”Total Algae” optimoitu makeille vesille). Kaapeleita oli eri pituisia kohdealueen syvyyden mukaan. Käsinäyttö mahdollisti arvojen seuraamisen mittauksen yhteydessä. Antureiden kalibrointi tehtiin laitteistojen toimittajan toimesta (GWM-Engineering Oy) ennen kesän mittauksen alkamista.

Mittauksen tekeminen aloitettiin vuonna 2019. Yhteistyössä toimivat kalankasvattajat suorittivat mittauksia laitosten läheisyydessä joko kalojen ruokintamatkojensa yhteydessä tai muuna aikana tekemällä. Mittauksia tehtiin hieman vaihtelevasti eri laitoksilla, yhdessä Luonnonvarakeskuksen kanssa laaditun koesuunnitelman perusteella. Mittauksia tehtiin yleistäen kesän ja syksyn välisenä aikana 2019 ja 2020 suunnilleen viikon tai joskus kahden viikon välein. Mittauksia tehtiin aivan laitoksen kohdalla ja esimerkiksi 100 m ja 400 m päässä laitokselta. Mittaukset suoritettiin eri syvyyksistä, jotta tietoa saataisiin eri vesikerroksista.

Vuonna 2020 Luonnonvarakeskus suoritti lisäksi laajempia mittauskampanjoita kalankasvatuslaitosten läheisyydessä. Pääasiassa tavoitteena oli selvittää alueellisia havaintoja yhden metrin syvyydestä, mutta paikoin verrattiin arvoja myös eri vesikerroksista. Aluemittauksia tehtiin Kihdin alueella kuutena päivänä ja Rymättylässä viisi kertaa. Mittaukset tehtiin laitosten ympäriltä siten, että mittauspisteitä muodostui useita. Mittaus tehtiin ottamalla yksi mittaus aina kustakin pisteestä. Muutamana kertana mittaus tehtiin Kihdillä siten, että laite mittasi minuutin ajan sekunnin välein vedessä ja tästä muodostui aina kunkin pisteen arvo usean mittauksen keskiarvona. Saatujen pisteiden arvot oli mahdollista interpoloida karttaohjelmalla paremman alueellisen kuvan saamiseksi. Rymättylässä mitattiin lisäksi laitoksen viereiseltä laiturilta osan aikaa kesästä kolmena päivänä viikoittain. Pääasiassa tarkastelussa oli klorofylli, sameus ja happi. Tilastollista analyysia vaikutuksista ei ole toistaiseksi tehty.



Kuva 3. EXO2 -laite, käsinäyttö ja kaapeli mahdollistaa mittaukset laitosten ympäriltä ja myös eri syvyyksistä. Kuva: Jari Niukko.

2.3. Laboratorionäytteet ja laitteiden arvojen tarkentaminen

Poijulla ja kannettavalla EXO-laitteella on mahdollista saada suuri määrä dataa. Laitteistojen anturit antavat kuitenkin esimerkiksi klorofylli- ja sameusarvoja, jotka eivät ole sellaisenaan välttämättä käyttökelpoisia tai ainakaan vastaa suoraan laboratoriossa tehtävien määritysten tarkkuutta. Esimerkiksi levien osalta fysiologinen tila, lämpötila ja valaistus vaikuttavat fluorensssiin, jolla mitataan klorofylliä, minkä vuoksi mittauksia on vaikea saada vastaamaan laboratoriomittauksia (Huotari & Ketola 2014). Fluoresenssimittaus voi mitata alhaisen levämäärän, vaikka laboratoriossa mitataan korkea pitoisuus. Kyse ei ole välttämättä laiteviasta, vaan kyse voi olla myös esimerkiksi leväyhteisöjen koostumuksesta (Tattari ym. 2019). EXO-laitteiden anturit kalibroitiin ja laitteet tarkastettiin ennen kesän mittausten alkua laitteen toimittajan (GWM-Engineering Oy) toimesta. Myös paineilmapoiju tarkastettiin ennen mittauspaikalle laittoa (EHP Environment Oy). Tavallisen anturikalibroinnin lisäksi tulee mittausarvoille suorittaa vielä arvoja tarkentava korjaus perustuen laboratoriomäärittäyksiin. Tämä tehdään mittauskauden jälkeen tai mahdollisuuksien mukaan jo mittauskauden aikana. Tämän vuoksi EXO-mittausten yhteydessä ja poijun vierestä on otettu vesinäytteitä Limnos- tai Ruttner vedennoutimilla.

Laadunvarmistus on tärkeää, jotta aineistoa voidaan hyödyntää. Vedenlaadun mittausten käytännöistä on kirjoitettu opaskirja, joka on tehty jatkuvatoimisille mittareille, jotka jätetään mittaamaan pidemmäksi ajaksi (Tattari ym. 2019). Myös jatkuvatoimisesta sameuden mittaamisesta on tehty opas (Arola 2012). Anturikohtaisesti arvojen korjaamisessa voidaan käyttää lineaarista regressioyhtälöä laboratoriomääritysten ja anturin arvojen suhteen, kunhan vesinäytteenottoa tehdään riittävän usein ja muutenkin riittävästi. Sameusarvoille korjaus tehtiin lineaarisen regression tuottaman yhtälön mukaisesti. Tässä raportissa esitetyt klorofylli-arvoja on korjattu laboratorionäytteiden perusteella. Korjausten määrä on suhteessa vesinäytteiden määrään ja/tai regressioyhtälön selitysasteeseen. Levämäärien mittaaminen sisältää useita haasteita (Huotari & Ketola 2014), minkä takia klorofylliarvoja ei ole voitu aina tarkentaa vastaamaan todellisia.

Mittauksissa on tullut joitakin selvästi poikkeavia arvoja, jotka todennäköisesti eivät vastaa todellista vedenlaatua. Poijujen osalta antureiden likaantuminen aiheuttaa yleisesti vääriä arvoja. EXOn arvoja voi häiritä mahdolliset roskat vedessä tai mahdollisesti jokin muu mittaustapah- tumassa ollut tekijä. Selvästi virheellisiä EXOn arvoja on poistettu aineistosta.

Kaiken kaikkiaan vesinäytteistä määritettiin: klorofylli-a, sameus, sähkönjohtokyky, kokonaisfosfori ja kokonaistyyppi. Lisäksi otettiin kaksi happinäytettä. Näytteet määritti Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy.

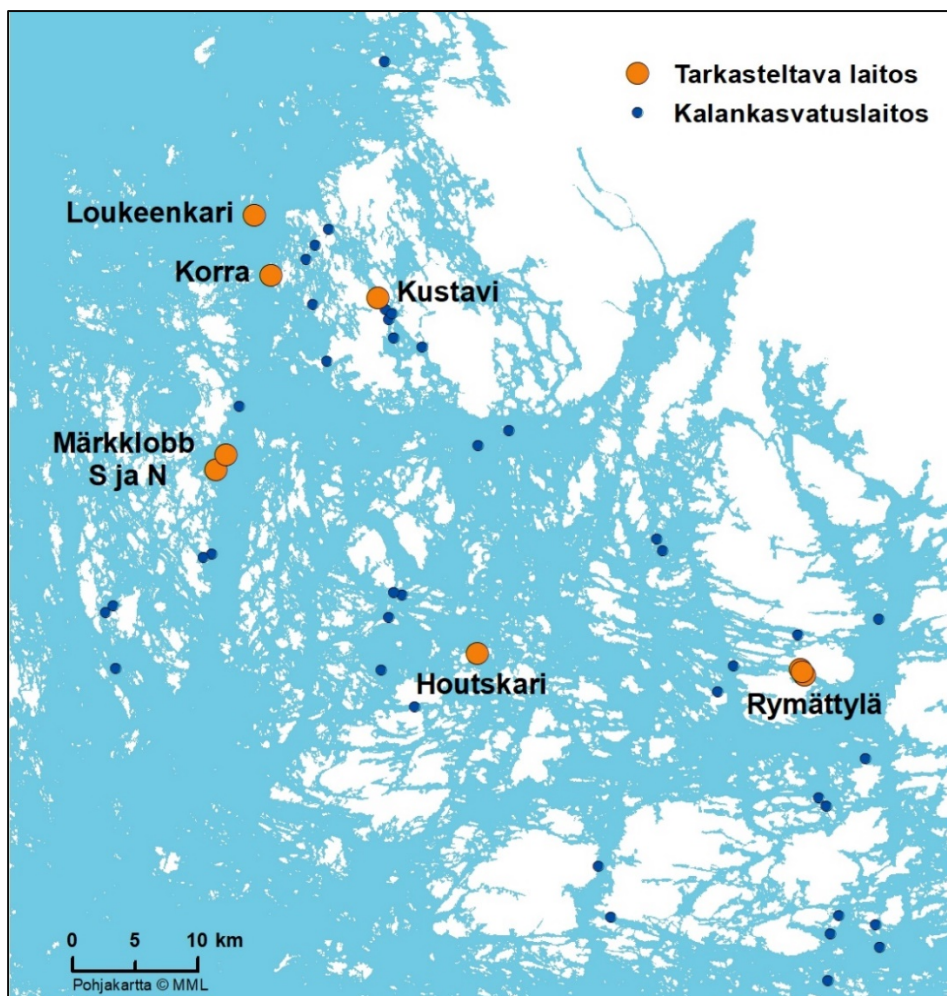
2.4. Mittauspaikat

Raportissa esitetään tehtyjä mittauksia kuudesta paikasta (kuva 4). Rymättylän paikalla sijaitsee kolme erillistä laitosta hyvin lähekkäin, joista jokaisen ympärillä on tehty mittauksia. Märkklobb käsittää kaksi vierekkäistä laitosta. Taulukossa 1 on esitetty tarkemmin tietoja kohteista.

Mittauksia on tehty joltain osin muuallakin, esimerkiksi Märkklobbenin ja Korran välissä olevalla laitoksella. Lisäksi vuonna 2019 oli Oulussa ympäristöpoiju ja Perämerellä ja Pietarsaareissa tehtiin myös joitakin EXO-mittauskokeiluja vuonna 2020.

Taulukossa 1 on kohteiden mittauksista tietoa sekä ympäristöluvassa sallittuihin rehun ravinnemääriin perustuvia lisäkasvatusmääriä laitoksille. Arvot kuvaa karkeasti tuotantokokoluokkaa

eri laitosten välillä. Ruokintamäärät vaihtelevat paljon kasvatuskauden aikana, eikä tässä raportissa ole esitettyä eri mittaushetkien ruokintamääriä. Esimerkiksi Korrassa vuonna 2020 ruokittiin vain noin puolet kiintiöstä.



Kuva 4. Laitoskohteet, joissa tehtiin vedenlaadun mittauksia.

Taulukko 1. Tietoa suoritetuista mittauksista ja laitoksen lupaan perustuva tuotantomäärä.

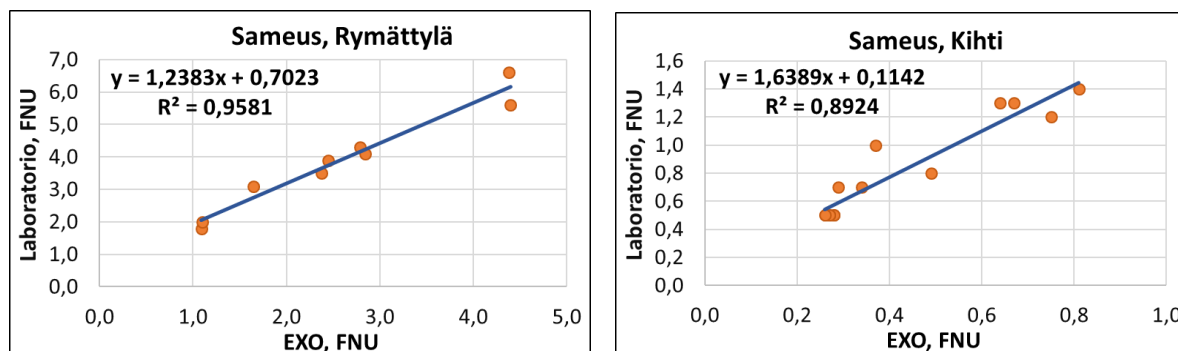
Paikka, Laitos	EXO-mittaukset (etäisyys laitoksesta)	Ympäristöpoiju (etäisyys laitoksesta)	Tuotanto, t (lisäkasvu)
Rymättylä	2020: (EXO-Aluemittaukset)		
Kalaranta	2020: (EXO 0m)		48
Myllyniemi			80
Aasla			54
Kustavi, Hupaniitty	2019-2020: (EXO: 0, 100, 400m)		41
Houtskari, Alörarna	2019-2020: (EXO: 0, 100, 400, 800m)	2019: (Poiju n.100 m)	317
Brändö, Märkklobb	2020: (Aluemittaukset)		
Norra		2020: (Poiju n.350 m)	525
Södra			525
Kustavi, Korra	2019: (EXO 0m) ; 2020: (Aluemittaukset)	2020: (Poiju n.200m, °C ja virtaus)	100
Kustavi, Loukeenkari	2019: (EXO 0, n.100m) ; 2020: (Aluemittaukset)	2019: (Poiju n.100 m)	300

3. Tulokset

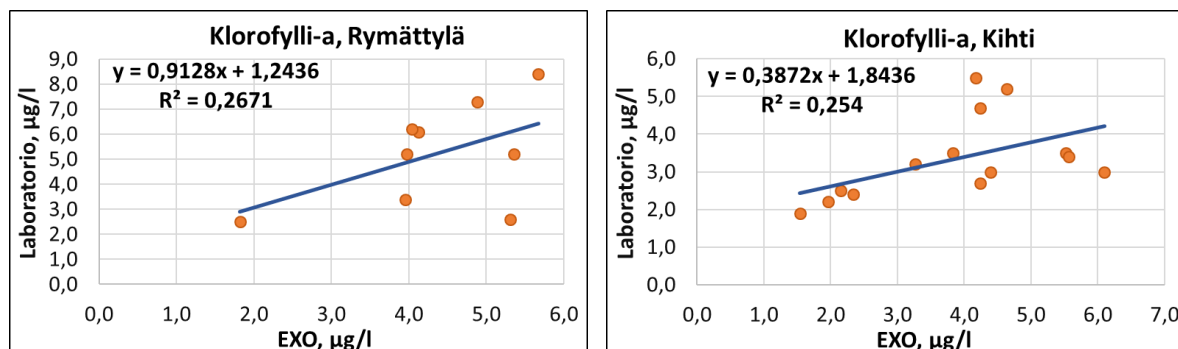
3.1. EXO- ja laboratoriomittausten korrelaatio

EXO-laitteella mittaamisen ohessa otettiin samasta paikasta vesinäytteitä vedennoutimella. Rymättylässä vesinäyte otettiin yhdeksänä päivänä ja näyte toimitettiin aina kyseisenä päivänä laboratorioon määritettäväksi. Kihdin alueella mittaukset suoritettiin toisella EXO-laitteella ja laboratorionäytteitä on otettu kolmesta eri paikasta: Loukeenkari, Korra ja Märkklobb.

Mittalaitteilla mitatut sameuden arvot vastasivat laboratoriomittauksia ($R^2 = 0,96$ ja $0,89$) (kuva 5), jolloin muut kyseisen paikkojen EXO-arvot korjattiin lineaarisen regressioanalyysin antaman yhtälön mukaisesti. Klorofylliarvojen korrelaatio oli puolestaan selvästi heikko kummassakin kohteessa ($R^2 = 0,27$ ja $0,25$) (kuva 6), joten klorofylliarvoja ei ole muutettu kyseisen yhtälön mukaan. Tässä voi olla syynä leväyhteisön koostumuksessa tai fysiologisessa tilassa tapahtuvat muutokset, jolloin leväsolujen pigmentin fluoresenssin ja laboratoriossa mitatun pitoisuuden suhde muuttuu eikä kalibrointiyhtälö näin ollen aina päde eri ajankohtina (Tattari ym. 2019). Kihdin alueella heinä–elokuussa laboratorion klorofylliarvot olivat suurempia kuin EXOn, mutta tilanne kääntyi syyskuussa toisinpäin. Myös Rymättylässä laboratorion klorofylliarvot olivat ensin suurempia, mutta tilanne muuttui sielläkin loppupuolella toisinpäin. On huomattava, että kuuden ensimmäisen eri aikaisen klorofyllimittauksen osalta Rymättylässä R^2 oli $0,98$ ja Kihdiläkin seitsemän ensimmäisen mittauksen (3 eri päivää) R^2 oli $0,96$. Klorofyllin korjausyhtälö tulee ilmeisesti päivittää useammin veden laadun/olosuhteiden/levätilanteiden muuttuessa. Liitteessä 2 on esitetty laboratoriomääritysten ja mittausantureiden vertailuarvoja.



Kuva 5. EXOn sameuden arvot korreloivat hyvin laboratoriarvojen kanssa (Rymättylä $n=9$, Kihdin alue $n=14$).

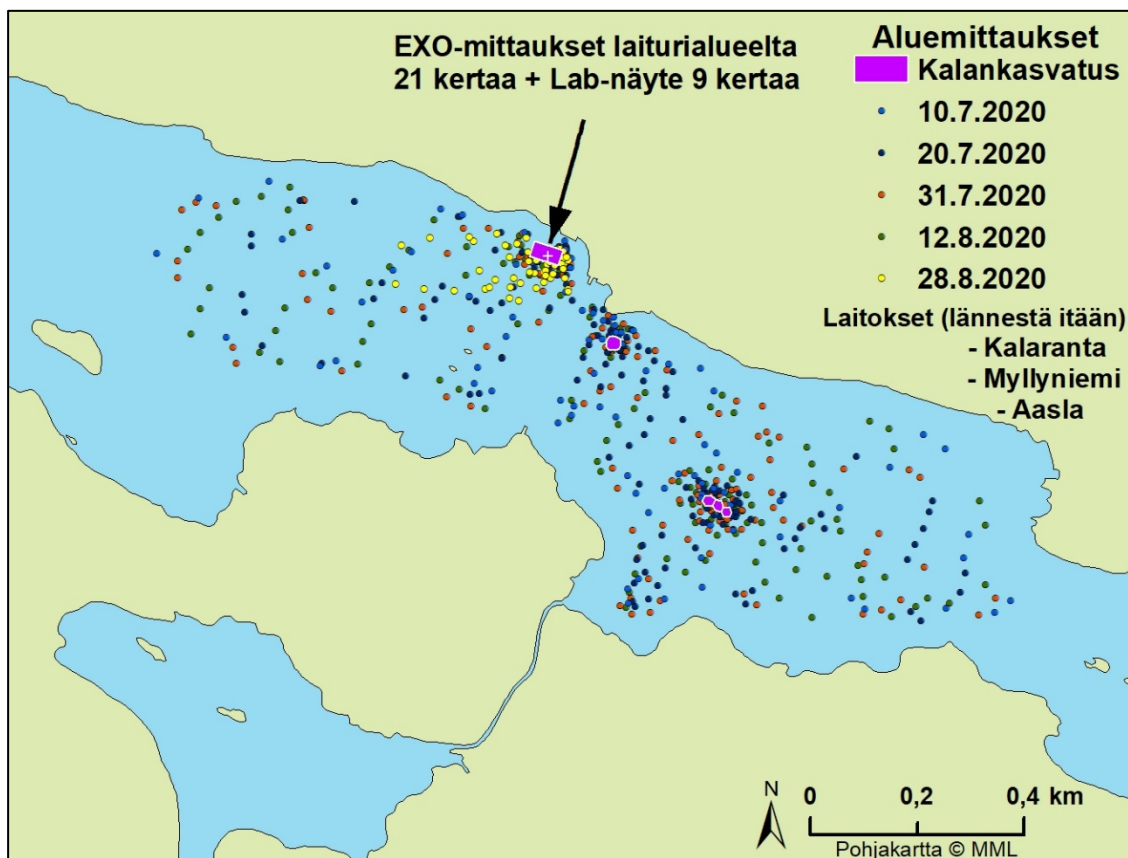


Kuva 6. EXOn klorofylliarvot eivät korreloi hyvin laboratoriarvojen kanssa koko mittausjakso huomioiden (Rymättylä $n=9$, Kihdin alue $n=14$).

3.2. Rymättylä – mittaukset

Kuvassa 7 on esitettyä kaikki Rymättylässä vuonna 2020 tehdyt mittauspisteet ja kolmen laitoksen sijainti. Mittauksia tehtiin laiturilta ja aluemittauksina. Laiturilta mittaukset suoritettiin kolmesta syvyydestä. Neljänä ensimmäisenä aluemittauskertana mittaukset suoritettiin pintavedestä (1 m). Viidentenä kertana aluemittaukset tehtiin vain Kalaranta-laitoksen läheisyydestä, mutta useasta syvyydestä.

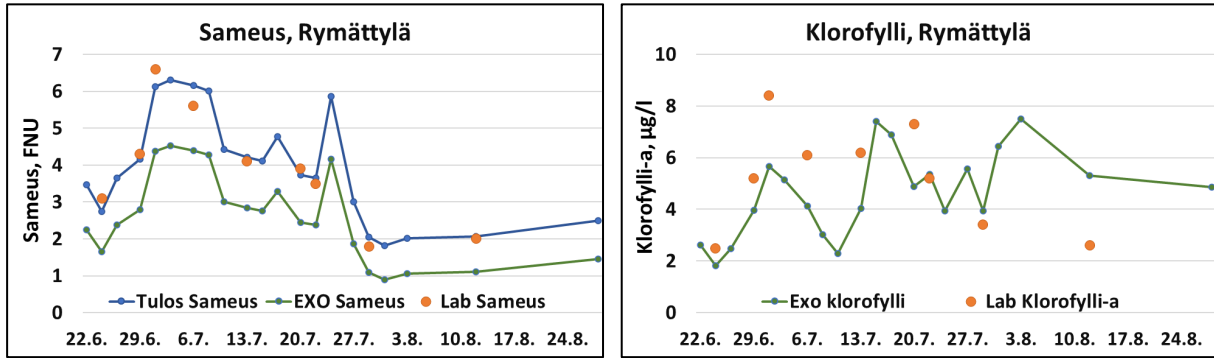
Aluemittauskuvissa esitetään pintaveden interpoloidut sameus- ja klorofylliarvot. Viidennen kerran osalta on esitettyä interpoloidut happiarvot metri pohjan yläpuolelta.



Kuva 7. Rymättylän Hämmärsalmen vuoden 2020 mittauspisteet.

3.2.1. Kalaranta-laitoksen mittaukset

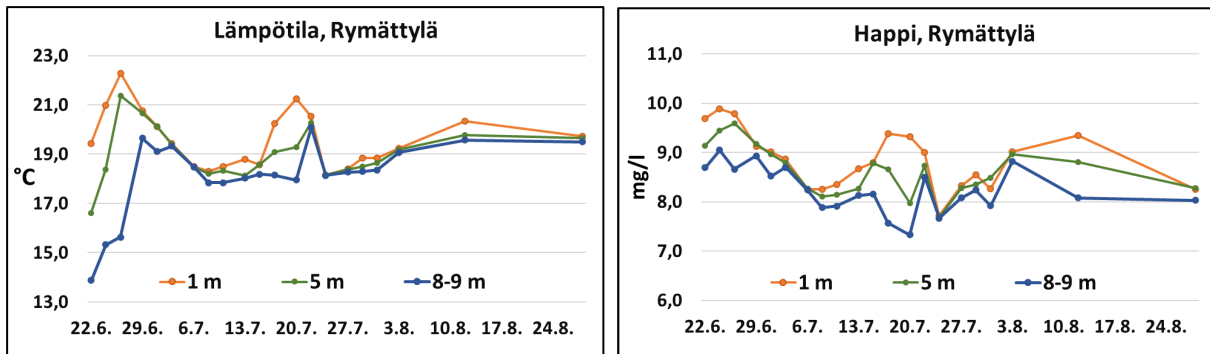
Rymättylässä mitattiin kesällä 2020 (Kalaranta-laitoksen laituri) EXO:lla tiheästi ja laboratori-onäytteitä otettiin yhdeksän kertaa yhden metrin syvyydestä. Näiden perusteella oli mahdollista muuttaa Rymättylässä suoritettujen aluemittausten sameusarvot vastaamaan paremmin laboratorioarvoja (kuva 8). Käytetty kaava oli $y=1,2383x+0,7023$ (x =EXOn arvo) ks. kuva 5.



Kuva 8. Rymättylän Kalarannan sameus- ja klorofylliarvojen vaihtelua vuonna 2020.

Rymättylän Kalarannan laiturlta mittaus tehtiin 21 kertaa 10 metriä syvästä paikasta ja mittaus suoritettiin 1 m, 5 m ja noin 9 m syvyyksistä. Keskimääräiset sameuden arvot nousevat hieman pohjaa kohti (1m=3,9 FNU; 5m=4,1 FNU; 9m=5,0 FNU). Klorofylliarvot (tarkentamattomat) olivat korkeimmillaan 5 metrissä, mutta matalammat pohjassa (1m=4,6 µg/l; 5m=4,9 µg/l; 9m=4,0 µg/l). Laboratorion klorofylliarvot olivat heinäkuun 20. päivään asti korkeampia kuin EXOn mitaustulokset, mutta heinäkuun 22. päivästä eteenpäin matalampia.

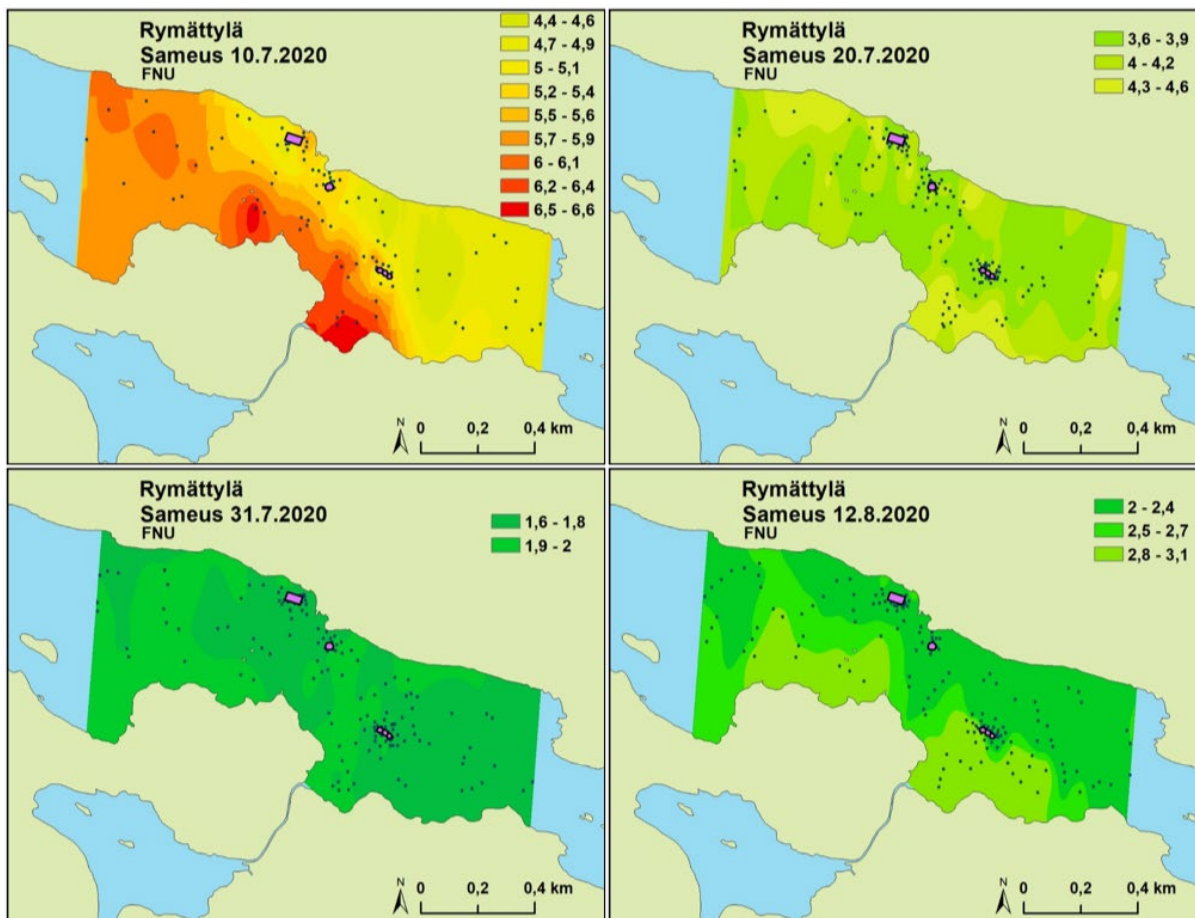
Kuvassa 9 on esitettyä happi- ja lämpötiläkäyrät eri syvyyksissä. Happi määritettiin laboratoriossa kerran kahdesta syvyydestä. Arvo oli kummassakin tapauksessa 0,28 mg/l pienempi EXOn antamaan arvoon verrattuna (alkuperäiset EXO-arvot 9,28 ja 8,78 mg/l). Tämä 0,28 mg/l suuruinen vähennys on tehty kaikkiin EXOn happiarvoihin Rymättylässä. Happipitoisuus oli pohjassa alimmillaan 7,3 mg/l, mutta koko vesikerroksessa pääsääntöisesti 8–10 mg/l, mikä on ainakin kalankasvatuksen kannalta hyvä happipitoisuus. Lämpötilaerot olivat suurehkoja pinnan ja pohjan välillä osin kesäkuun loppupuolella vesien lämmitessä. Heinäkuussa pintavesi lämpeni myös yli 21 asteeseen (kuva 9).



Kuva 9. Lämpötila ja happipitoisuus Rymättylän Kalarannan laitoksella vuonna 2020.

3.2.2. Hämmärsalmen aluemittaukset

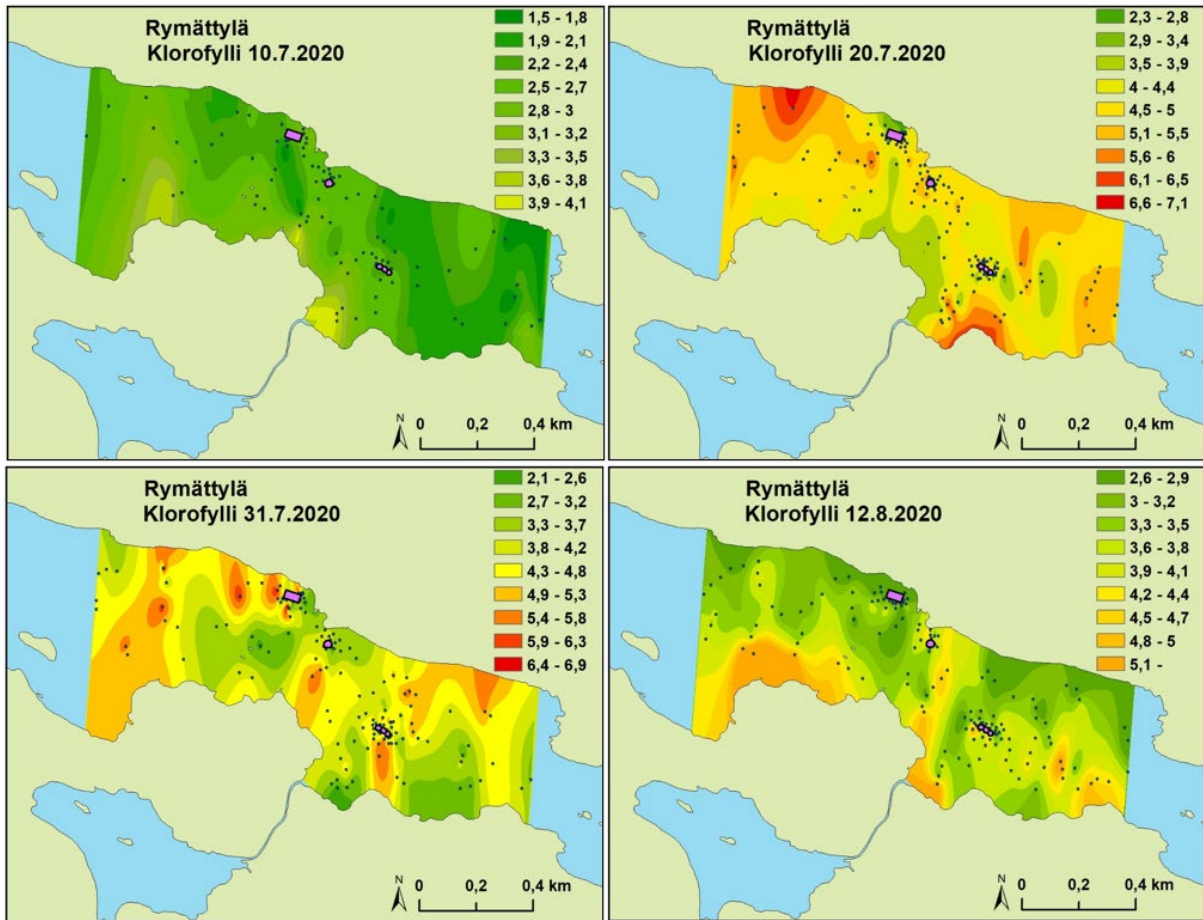
Rymättylässä sameusarvot vaihtelivat ajallisesti paljon eri kertojen välillä. Ensimmäisellä mitauskerralla pitoisuudet olivat jopa kaksin- tai kolminkertaiset kahteen jälkimmäiseen mittaukseen nähden ja erityisen korkeita alueelle laskevan ojan luona (kuva 10). Ojan valuma-alueella on esimerkiksi peltoja, joista voi tulla valumavesien mukana kiintoainesta ja sameampaa vettä. Ennen ensimmäistä mitauskertaa oli ollut sateita. Hämmärsalmeen tulee valumavesiä pelloilta myös muista paikoista. Kalankasvatuslaitosten osalta ei voi yksiselitteisesti havaita mahdollista sameuden lisääntymistä laitosten läheisyydessä, mutta mahdollista lisääntymistä ei voida myöskään poissulkea.



Kuva 10. Rymättylässä suoritetut EXO-aluemittaukset, pintaveden (1 m) sameusarvot (FNU) interpoloituina.

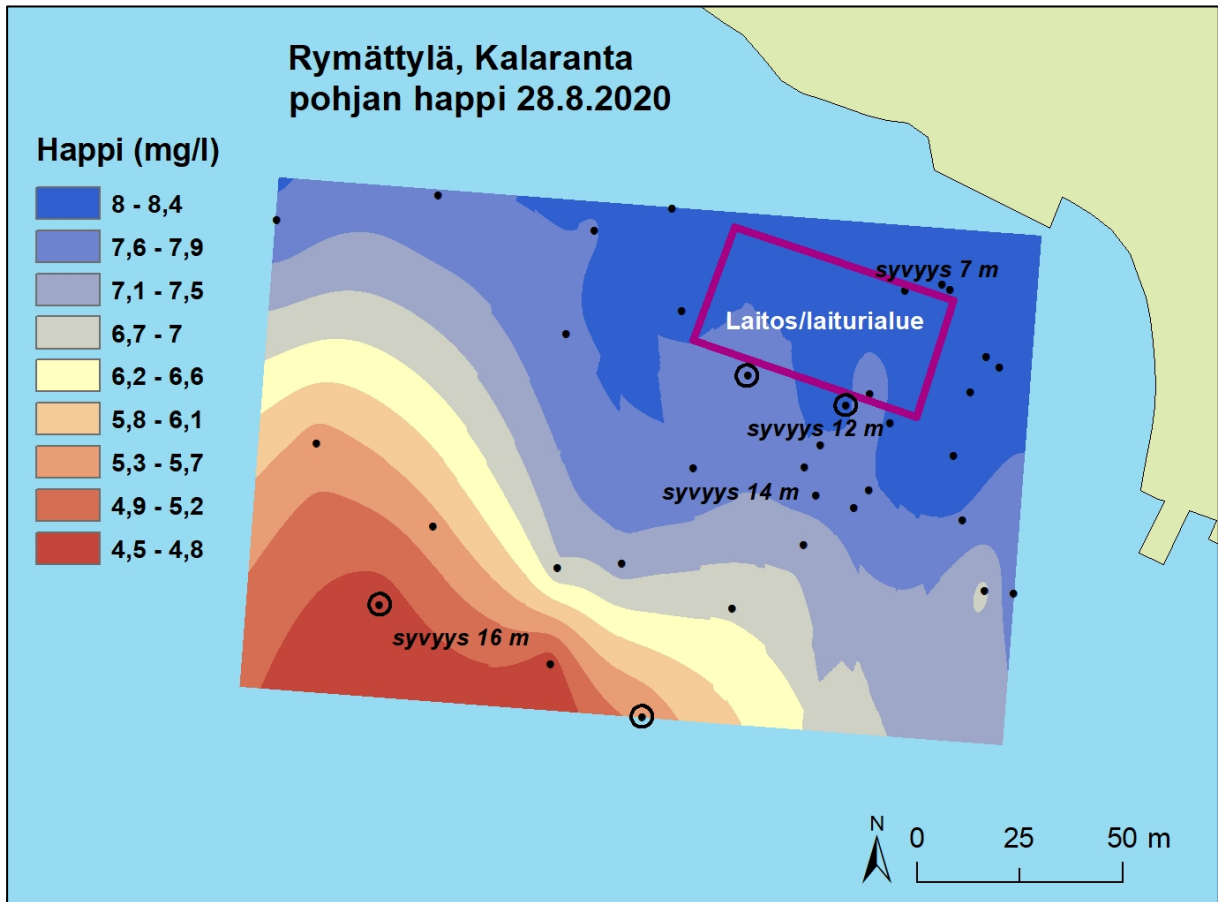
Klorofylliarvot olivat jakaantuneet kaikkien neljän mittauskerran osalta Hämmärsalmen alueella hyvin epätasaisesti (kuva 11). Yleisesti ottaen yhden mittauspäivän aikana voidaan nähdä varsin suuria pitoisuseroja alueella. Ensimmäisellä mittauskerralla pitoisuudet olivat korkeampia etelärannan puolella ojan laskupaikassa.

Salmen läpi kulkee vettä Airiston ja Rymättylän länsipuolen välillä ja näillä vesimassoilla sekä pelloilta ja maa-alueilta tulevilla valumavesillä voi olla vaikutusta pitoisuuksiin. Virtaukset voivat kulkea salmessa eri suuntiin eri syvyyksissä mikä tuo vaihtelevuutta. Virtauksien lisäksi vedessä tapahtuu tuulen aiheuttamia aaltoliikkeitä ja muita erinäisiä virtauksia ja turbulenttisia pyörteitä sekä myös veneiden ja lossin aiheuttamia aaltoja/virtauksia, jotka sekoittavat vettä ja levää vesikerroksessa. Mahdollisesti tuulettomilla päivinä kasviplanktonia voi olla enemmän pinnan tuntumassa. Myös päivän aikana tapahtuvat säämuutokset voivat mahdollisesti vaikuttaa jossain määrin mittaustuloksiin. Lisäksi tuuli voi kasata levää salmen rantojen läheisyyteen. Tällaiset tekijät voivat vaikuttaa siten, että klorofylliarvot voivat vaihdella samalla mittauskohteella mahdollisesti jokseenkin jatkuvasti ja yksittäisen toiminnan kuten kalankasvatuksen osuutta on vaikea määrittää luotettavasti alueellisin mittauksin. Kalankasvatustilastojen vaikutusta ei voida osoittaa tai havaita tehtyjen mittausten perusteella, mutta ei myöskään voida osoittaa onko pitoisuudet alueella kuitenkin joltain osin korkeampia kalankasvatuksesta johtuen.

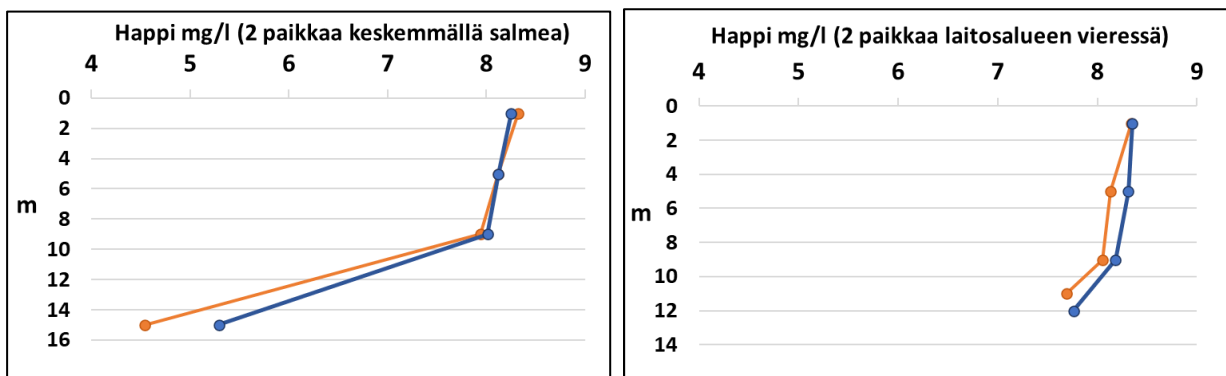


Kuva 11. Rymättylässä suoritettut EXO-aluemittaukset: klorofyllin esiintyminen on epätasaista. Klorofylli ($\mu\text{g/l}$) osalta on esitetty tarkentamattomat arvot 1 metrin syvyydessä.

Kuvassa 12 on esitettyä Rymättylän viidennen aluemittauskerran happipitoisuudet. Ympyröidyistä mittauspisteistä on esitetty syvyysprofiilit kuvassa 13. Laitosalueella happipitoisuus on 1 metri pohjan yläpuolella yli 7,5 mg/l, mutta syvemmällä/keskemmällä salmea alle 5 mg/l.



Kuva 12. Happipitoisuus metri pohjan yläpuolella laskee Rymättylän Hämmärsalmen keskustaa kohti. Ympyröidyistä pisteistä on esitetty myös tarkemmat syvyysprofiilit.



Kuva 13. Hapen syvyysprofiilit Rymättylässä 28.8.2020.

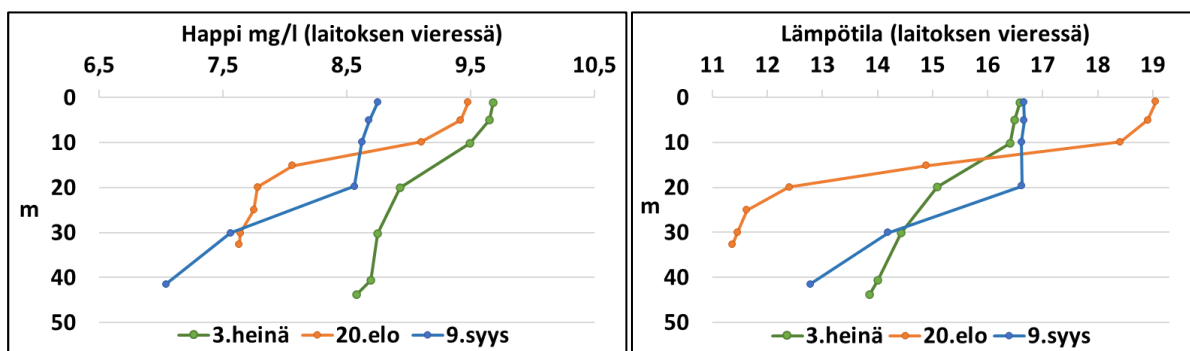
3.3. Kustavi, Korra – mittaukset

Kustavin Korran saaren eteläpuolella aloitettiin kalankasvatus vuonna 2020. Korrassa tehtiin aluemittauksia vuonna 2020 neljä kertaa. Mittauksia tehtiin paikan tuntumassa kuitenkin myös jo vuonna 2019.

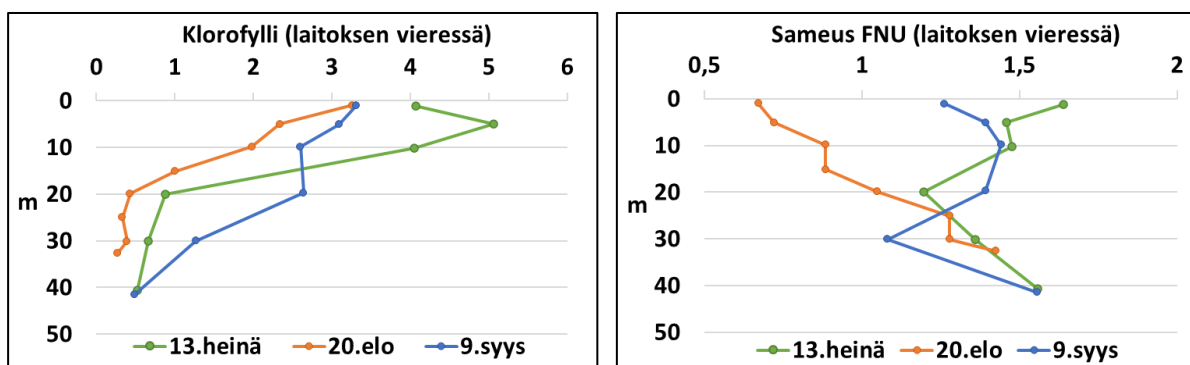
Taulukossa 2 on vuoden 2019 happiarvoja eri syvyyksiltä. Kesällä pinnan ja pohjan välillä on eroja, mutta happipitoisuudet tasoittuvat syksyllä vesien sekoittumisen myötä. Kuvassa 14 ja 15 on esitetty muutoksia syvyyden suhteen vuodelta 2020. Klorofylliarvot laskevat pohjaa kohti, mutta ovat heinäkuussa kuitenkin viidessä metrissä korkeampia kuin pintavedessä.

Taulukko 2. Happipitoisuuksia (mg/l) laitospaikan länsipuolelta noin 140–360 m päästä nykyisestä laitospaikasta vuonna 2019 ennen kalankasvatustoiminnan aloittamista.

Mittaus	12.7.19	15.7.19	25.7.19	2.8.19	8.8.19	10.9.19	2.10.19	9.10.19	18.10.19	24.10.19	1.11.19	4.11.19	13.11.19	19.11.19
1 m	9,2	9,6	10,1	9,1	9,4	9,1	9,6	10,0	10,2	10,6	10,9	11,0	11,4	11,6
5 m	9,2	9,4	10,2	8,5	9,4	9,1	9,6	10,0	10,2	10,6	10,9	10,9	11,4	11,6
10 m	9,1	8,8	9,2	8,0	8,4	8,9	9,6	10,0	10,3	10,6	10,9	10,9	11,4	11,6
20 m	8,4	8,7	8,3	7,4	6,7	8,7	9,7	10,0	10,3	10,6	10,9	10,9	11,4	11,6
30 m	8,7	8,7	8,4	7,3	6,9	8,5	9,7	10,0	10,3	10,6	10,9	11,0	11,4	11,6
40 m	8,9		8,4	7,5	7,6	8,2	9,7	10,0	10,3	10,6	10,9	10,9	11,4	11,6
50-57 m	8,9	8,9	8,5	7,7	7,8	7,5	9,7	10,0	10,3	10,5	11,0	10,9	11,4	11,6

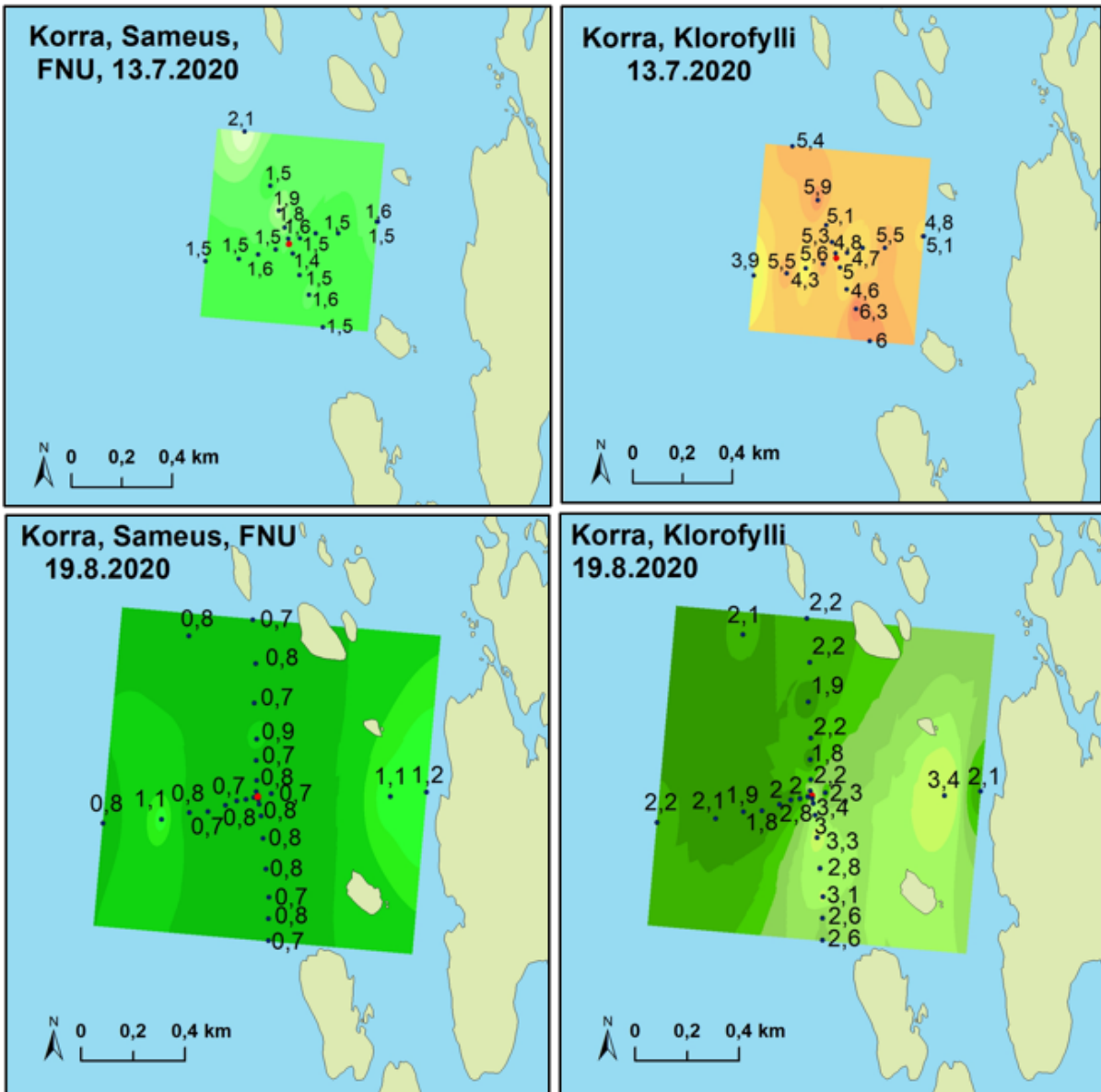


Kuva 14. Happi ja lämpötilat eri syvyyksiltä Korran laitoksen läheisyydessä vuonna 2020.

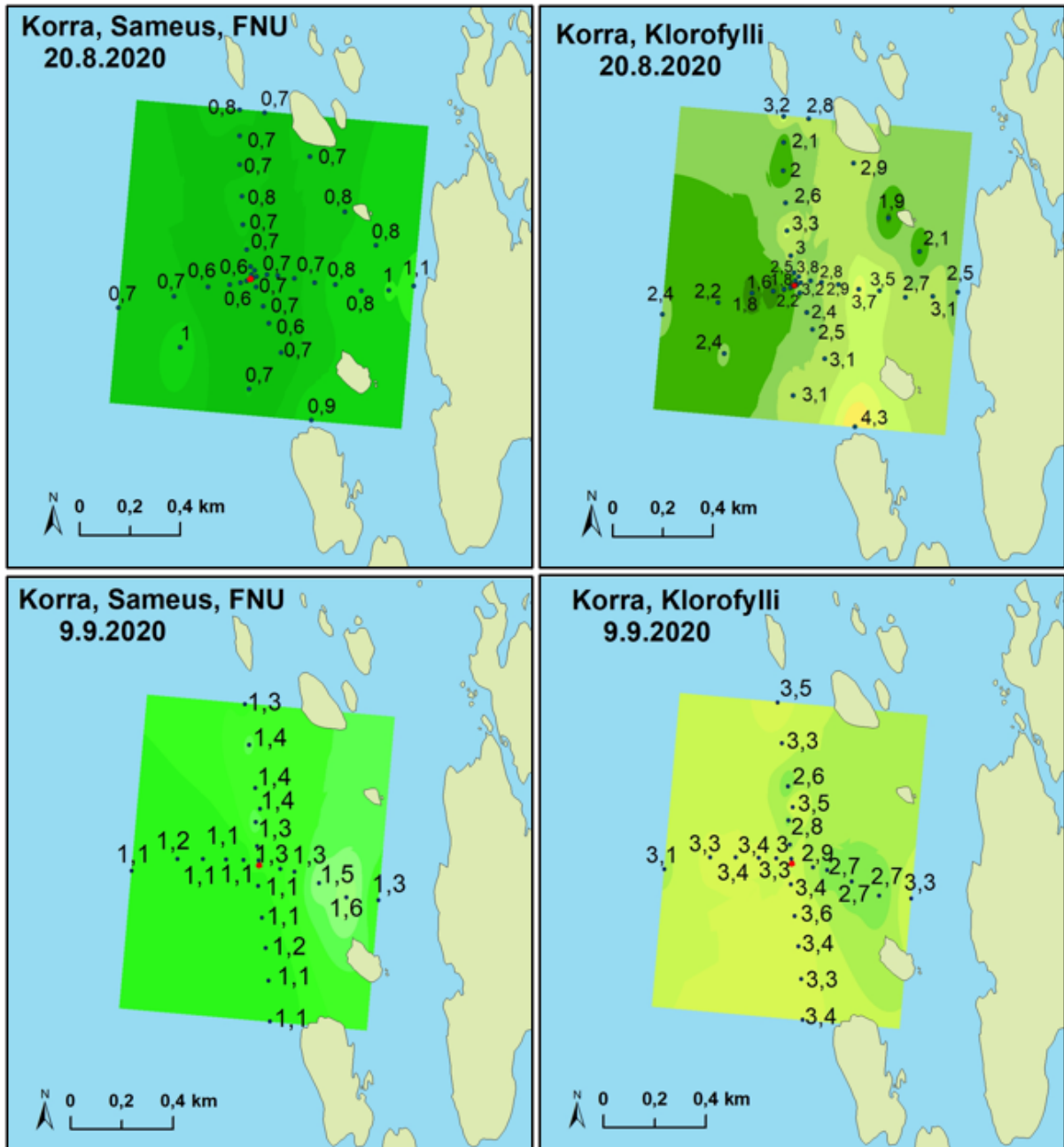


Kuva 15. Klorofylli (µg/l) (tarkentamaton arvo) ja sameus vuonna 2020 laitoksen tuntumassa.

Kuvissa 16 ja 17 on sameuden ja klorofyllin alueellinen jakauma neljältä mittauskerralta vuonna 2020. Klorofylliarvoissa vaihtelua päivien välillä on melko selvästi, mikä voi johtua esimerkiksi aurinkoisuudesta, tuulisuudesta tai laajemmista vesien liikkeistä. Klorofylli-arvoja on tarkennettu olemassa olevien laboratorionäytteiden mukaan vaihtelevasti, mutta arvot eivät ole kuitenkaan tarkkoja. Heinä-elokuussa klorofylliarvot ovat epätasaisia alueella ja esimerkiksi 20.8 voidaan 100 metrin sisälläkin havaita jopa kaksinkertaisia eroja. Klorofylliarvot ovat 19.8 laitoksen eteläpuolella korkeampia kuin laitoksen pohjoispuolella. Laitoksella tuotettiin vain noin puolet kiintiöstä (lisäkasvu noin 40 tonnia) vuonna 2020.



Kuva 16. Sameuden ja klorofyllin alueellinen jakautuminen Korralla vuonna 2020 kahdella ensimmäisellä mittauskerralla. Laitos (kehikon halkaisija 25 m) on keskellä punaisella.



Kuva 17. Sameuden ja klorofyllin alueellinen jakautuminen Korralla vuonna 2020 kahdella jälkimmäisellä mittauskerralla. Laitos (kehikon halkaisija 25 m) on keskellä punaisella.

3.4. Kustavi, Loukeenkari – mittaukset

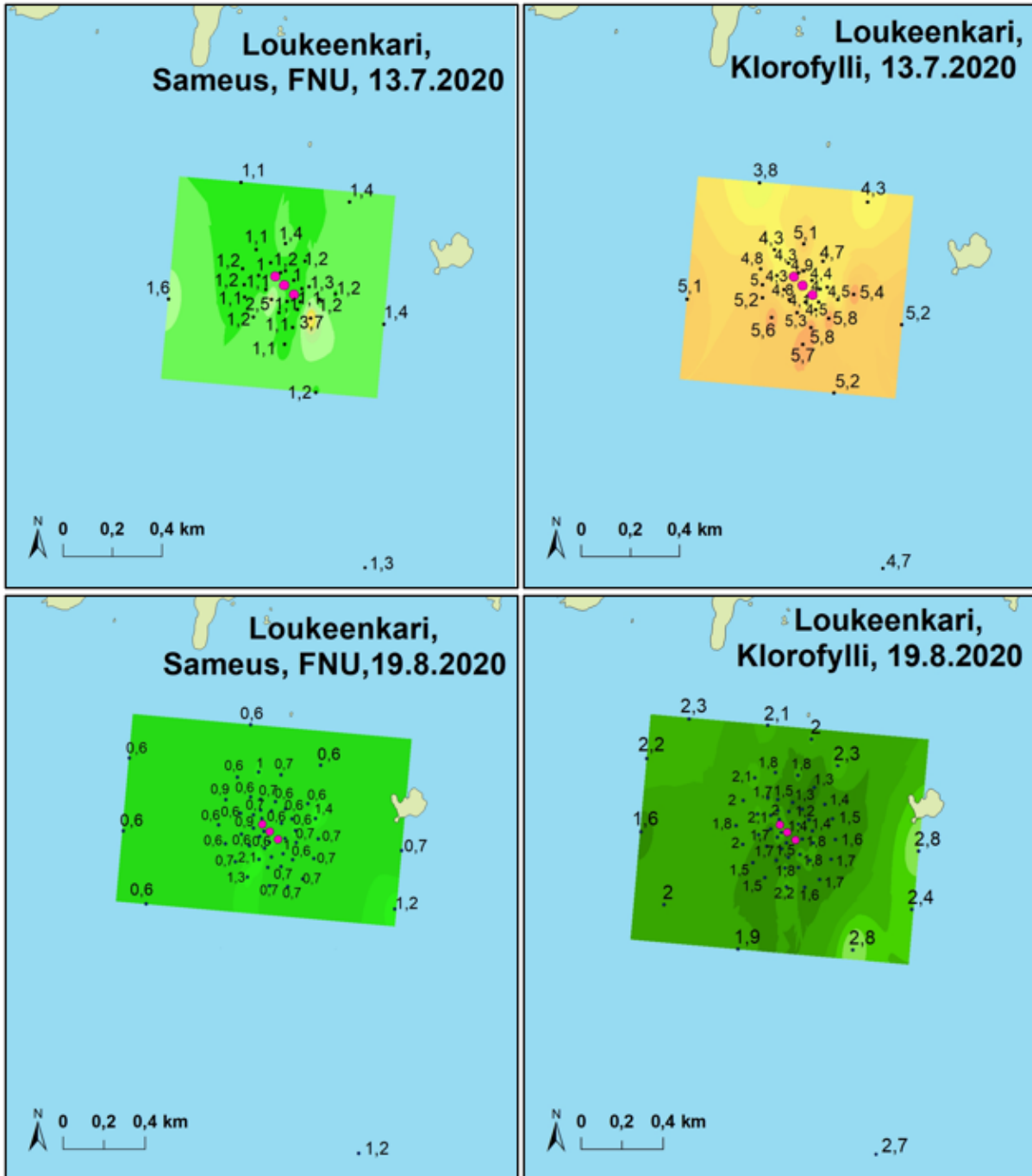
Loukeenkarin laitoksella tehtiin vuonna 2019 EXO-laitteella mittauksia laitoksen vierestä ja runsaan 100 metrin päässä. Vuonna 2019 Loukeenkari oli myös ympäristöpoiju runsaan 100 metrin päässä laitoksesta. Vuonna 2020 tehtiin aluemittauksia EXO-laitteella kaksi kertaa.

Taulukossa 3 on esitetty vuoden 2019 EXO-mittauksia. Keskimääräisiä eroja 0 ja 100 metrin etäisyyksien välillä ei juurikaan ole. Laitoksen klorofylliarvot olivat neljä ensimmäistä mittauskertaa pienempiä 100 metriä laitoksen pohjois-/luoteispuolella, mutta jälkimmäisillä kerroilla klorofylli-arvot olivat suurempia samassa paikassa. Jatkoselvityksissä olisi hyvä huomioida virtauksen suunta sekä klorofyllipitoisuudet suuremmalla alueella, jotta voidaan arvioida johtuvatko poikkeamat kalankasvatustaloksesta. Lähtökohtaisesti mittaus suunniteltiin sen mukaan minkä arvioitiin olevan päävirtaussuunta laitoksen sijainnissa, mutta virtaussuunnat vaihtelevat usein.

Taulukko 3. Vuoden 2019 EXO-mittauksia Loukeenkarin laitoksen vieressä (=0 m) ja runsaan 100 metrin päässä laitoksen luoteis-/pohjoispuolella. Klorofylliarvot ovat tarkentamattomia.

Klorofylli-a (µg/l)	12.7.19		15.7.19		25.7.19		2.8.19		8.8.19		10.9.19		2.10.19		9.10.19		ka 12.7–2.10	
	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m
Mittaus																		
1 m	2,1	1,9	1,5	1,6	0,7	0,6	1,6	1,0	1,1	1,3	1,4	2,1	1,5	1,6	1,3		1,4	1,4
5 m	3,4	3,3	2,4	1,7	2,0	1,9	2,2	2,2	1,6	2,1	1,9	1,9	1,4	1,5	1,7	2,0	2,1	2,1
10 m	2,3	2,2	1,8	1,6	2,4	2,2	1,8	1,8	2,2	2,1	1,7	1,9	1,6	1,7	1,9	2,2	2,0	1,9
15-20m	1,5	1,4		0,7		1,0		0,6	1,0	1,2	1,5	1,0	1,7	1,6	2,0	2,1		1,1
23-25 m			0,7		0,6		0,8					1,6		1,6		2,1		1,1
Sameus (FNU)	12.7.19		15.7.19		25.7.19		2.8.19		8.8.19		10.9.19		2.10.19		9.10.19		ka 12.7–2.10	
	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m
Mittaus																		
1 m	2,4	2,4	0,7	0,6	0,4	0,4	1,7	1,4	0,4	0,4	0,7	0,6	2,8	2,5	1,2		1,3	1,2
5 m	2,3	2,4	0,7	0,6	0,4	0,4	1,5	1,5	0,5	0,6	0,7	0,7	3,0	2,6	1,1	1,3	1,3	1,3
10 m	2,2	2,2	0,7	0,8	0,6	0,5	1,7	1,6	0,6	0,8	0,8	0,8	3,0	2,7	1,2	1,4	1,4	1,3
15-20m	1,8	2,0		1,8		0,8		2,8	1,7	0,9	0,8	2,3	2,9	3,3	1,2	1,4		2,0
23-25 m			2,1		1,4		2,8				0,9		4,0		1,1			2,2
Happi (mg/l)	12.7.19		15.7.19		25.7.19		2.8.19		8.8.19		10.9.19		2.10.19		9.10.19		ka 12.7–2.10	
	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m
Mittaus																		
1 m	9,2	9,2	9,6	9,9	10,0	10,2	9,1	9,1	9,9	9,9	9,0	8,6	9,5	9,7	9,9		9,5	9,5
5 m	9,2	9,2	9,7	9,8	10,2	10,2	8,6	8,7	9,5	9,5	9,0	8,8	9,5	9,7	9,9	10,0	9,4	9,4
10 m	8,9	8,9	9,0	8,8	9,4	9,4	8,4	8,4	9,2	9,2	8,8	8,8	9,6	9,7	9,9	10,0	9,0	9,0
15-20m	8,7	8,7		8,3		8,4		7,6	7,5	8,1	8,7	8,4	9,5	9,7	9,9	10,0		8,5
23-25 m			8,6		8,1		7,6					8,6		9,5		9,9		8,5
Lämpötila (°C)	12.7.19		15.7.19		25.7.19		2.8.19		8.8.19		10.9.19		2.10.19		9.10.19		ka 12.7–2.10	
	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m	0 m	100 m
Mittaus																		
1 m	15,2	15,2	15,5	15,4	18,5	19,3	15,0	14,9	16,1	16,1	16,9	17,0	13,3	13,2	11,5		15,8	15,9
5 m	15,2	15,1	15,3	15,2	16,6	16,6	14,8	14,8	16,0	15,9	16,9	16,9	13,3	13,2	11,5		15,4	15,4
10 m	14,7	14,6	13,9	14,0	15,7	15,6	14,3	14,3	15,7	15,5	16,9	16,9	13,4	13,2	11,5	11,4	15,0	14,9
15-20m	14,1	14,1		11,9		13,2		13,0	13,8	14,5	16,9	16,8	13,3	13,2	11,5	11,4		13,8
23-25 m			12,2		11,8		12,7					16,9		13,4		11,5		13,4

Aluemittauksista voidaan nähdä, että laitoksen eteläpuolella on mitattu 13.7 korkeampia klorofylliarvoja laitoksen eteläpuolella ja 19.8 länsipuolella (kuva 18). Mittausten vähäinen määrä ei kuitenkaan mahdollista laitoksen vaikutuksen tai laajuuden määrittämistä.

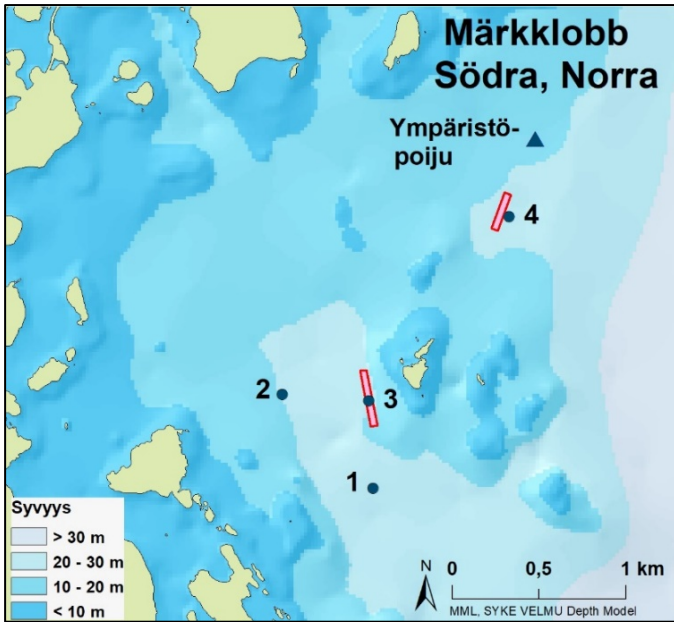


Kuva 18. Sameuden ja klorofyllin alueellinen jakautuminen Loukeenkarilla vuonna 2020. Laitos (kolme halkaisijaltaan noin 40 m kehikkoa) on keskellä punaisella.

3.5. Brändö, Märkklobb – mittaukset

Märkklobbenin laitoksella tehtiin EXO-aluemittauksia vuonna 2020 kolmena päivänä. Tässä on esitetty kahden mittauskerran tulokset, koska kolmannen kerran mittauksen määrä on vähäinen. Alueella tehtiin myös syvyysuuntaisia mittauksia 7.9.2020, joiden paikat on esitetty kuvassa 19 ja tulokset taulukossa 4. Alueella oli myös ympäristöpoiju vuonna 2020.

Klorofylliarvot ovat pintaa suuremmat 3–5 metrissä, jonka jälkeen klorofylliarvot laskevat syvemmältä mitattaessa. Sameus on melko tasaista koko vesipatsaassa pohjaa lukuun ottamatta. Happi ja lämpötila laskevat tasaisesti pohjaa kohden.



Kuva 19. Märkklobbenin syvyysprofiilipaikat 1–4 (7.9.2020) ja ympäristöpoijun sijainti. Laitoksia on kaksi (punaiset suorakaiteet) ja kummassakin on kasseja 5–6 kpl.

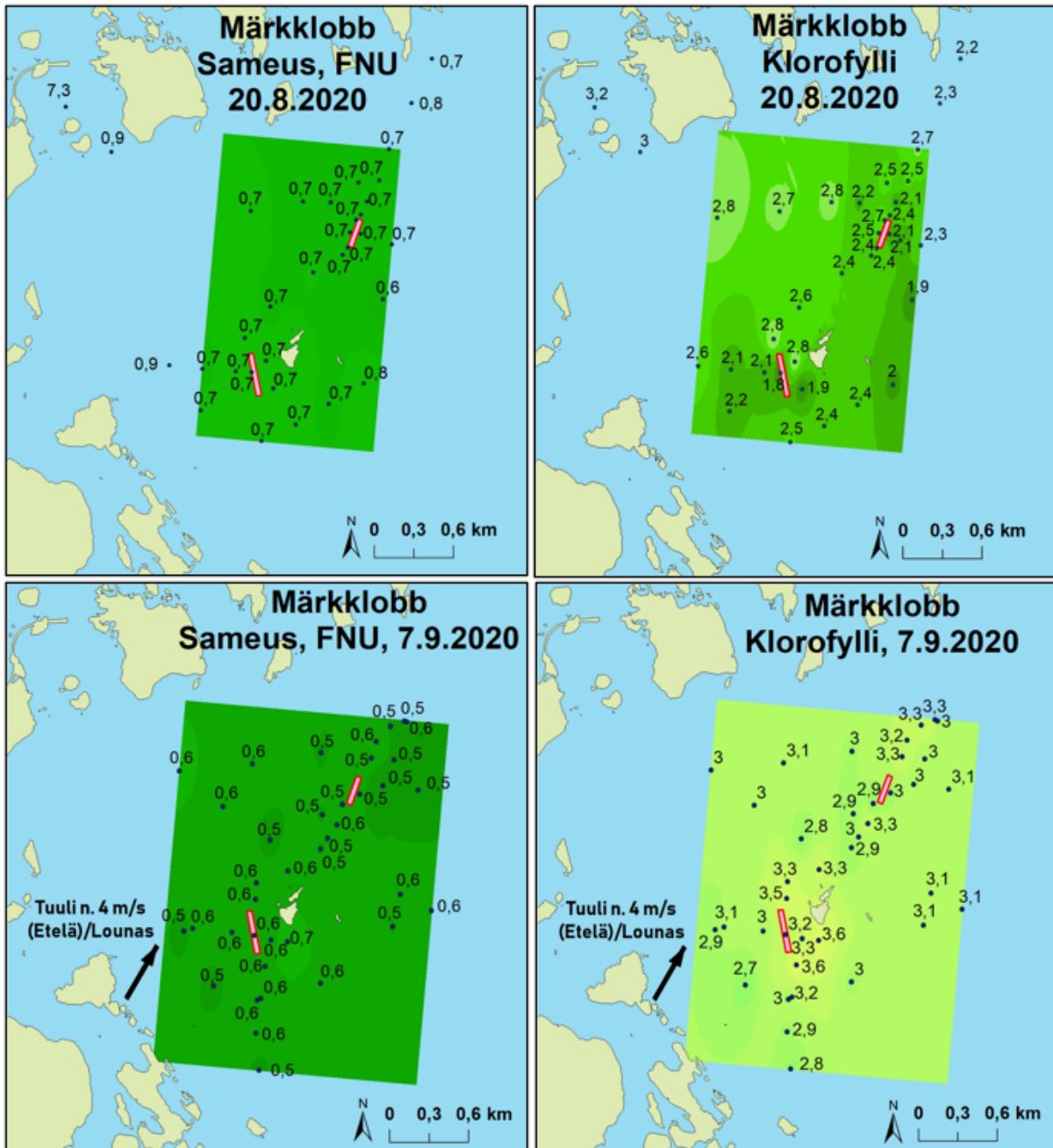
Taulukko 4. Märkklobbenin mittaustietoja 7.9.20202 eri syvyyksistä. Klorofylli ($\mu\text{g/l}$) arvot ovat tarkentamattomia, koska laboratorionäytteet ei kata eri syvyyksissä olevia vaihtelevia arvoja, mutta todelliset arvot ovat ainakin pinnan läheisyydessä selvästi alhaisempia.

syvyys	Klorofylli (korjaamaton arvo)				Sameus (FNU)				Happi (mg/l)				Lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
1 m	5.2	4.8	5.8	4.6	0.5	0.4	0.5	0.5	9.1	9.2	9.1	9.4	16.9	17.0	17.0	17.1
3 m	5.9	5.5	7.3	5.8	0.5	0.5	0.6	0.6	9.1	9.1	9.0	9.1	16.9	17.0	16.9	17.0
5 m	5.3	5.6	6.2	4.8	0.6	0.5	0.6	0.5	9.0	9.1	8.8	9.1	16.9	16.9	16.9	17.0
7 m	4.3	4.8	5.7	3.8	0.6	0.5	0.7	0.4	8.9	9.0	8.6	9.0	16.9	16.9	16.8	16.9
9 m	3.6	4.4	5.1	3.5	0.6	0.5	0.6	0.5	8.8	8.8	8.5	8.9	16.8	16.8	16.8	16.9
11 m	3.2	3.6	4.7	3.4	0.5	0.5	0.7	0.4	8.7	8.6	8.3	8.8	16.8	16.8	16.8	16.9
13 m	3.0	2.8	4.0	3.6	0.5	0.6	0.6	0.4	8.7	8.4	8.3	8.7	16.7	16.7	16.7	16.8
15 m	2.5	1.7	3.2	3.9	0.5	0.6	0.6	0.5	8.5	8.2	8.2	8.6	16.6	16.6	16.5	16.8
17 m	1.9	1.4	1.8	3.5	0.5	0.7	0.6	0.5	8.3	8.1	8.1	8.5	16.4	16.5	16.1	16.6
19 m	1.3	1.2	1.3	2.6	0.7	0.8	0.6	0.5	7.7	7.6	7.8	8.2	15.9	16.2	15.7	16.5
21 m	1.0	0.9	0.9	1.6	0.8	1.4	1.4	0.7	7.5	7.5	7.6	8.0	15.5	15.0	15.1	16.1
23 m	0.7	0.5			0.8	1.9			7.1	6.7			14.2	13.2		
25 m	0.4				1.6				6.9				12.6			
26 m	0.4				3.1				6.8				12.3			

Kuvassa 19 voidaan nähdä, että laitosten läheisyydessä ei ole sameuden suhteen laaja-alaista merkittävää muutosta. Eteläisemmällä laitoksella on saaren vieressä mitattu yksi 0,1 FNU korkeampi arvo. Laitos on kokoluokaltaan Suomen mittakaavassa suuri laitos ja ruokintamäärä on syyskuun alussa suhteellisen suuri.

Mittaukset tehtiin 7.9 keskiarvoina siten että, EXO mittasi sekunnin välein minuutin ajan kussakin paikassa. Mittauksissa on tavallista, että klorofylliarvoissa (korjatuissa) tapahtuu vaihtelua

minuutissa esimerkiksi 0,1–0,3 µg/l. Klorofyllin osalta kuvia on hankala tulkitä varmasti. Joltain osin 7.9 näyttäisi eteläisemmän laitoksen luona olevan saaren lähistöllä korkeampia arvoja ja ilmeisesti myös pohjoisemmän laitoksen pohjoispuolella. Muuten arvot ovat tasaisempia laitoksia ympäröivällä alueella kuin elokuun mittauksissa. Elokuun 20. päivä eteläisen laitoksen vieressä on kaksi suhteellisesti korkeampaa klorofylliarvoa ja myös kummankin laitoksen luoteis- tai länsipuolella, mutta mittausten vähäinen määrä kyseisenä kertana ei mahdollista vaikutuksen tarkempaa rajausta. Märkklobbenin länsipuoleisella vesialueella klorofylliarvot ovat korkeampia kuin Kihdin puolella 20.8, toisin kuin 7.9.



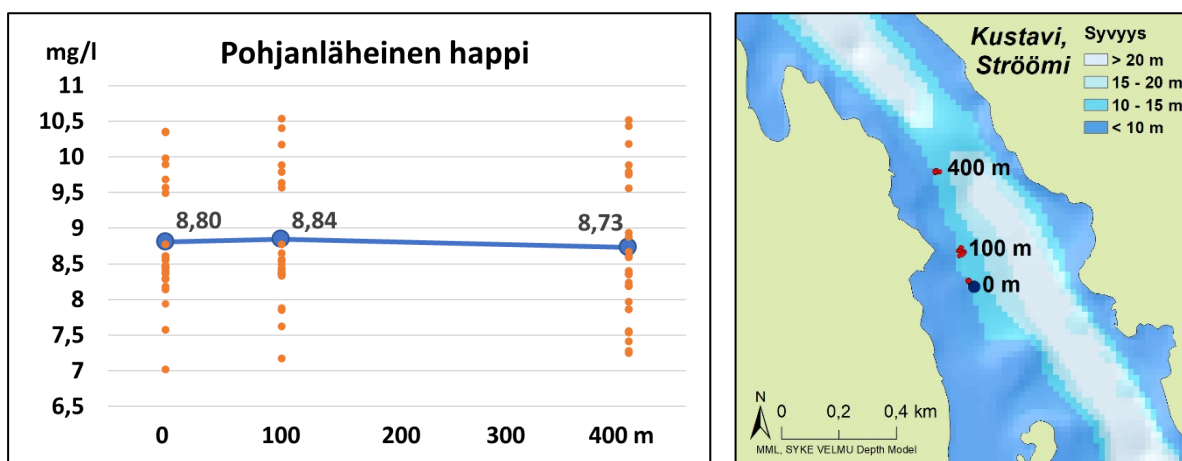
Kuva 20. Sameuden ja klorofyllin alueellinen jakautuminen Märkklobbenin laitoksilla 2020. Laitoksia on kaksi (punaiset suorakaiteet) ja kummassakin on kasseja 5–6 kpl.

3.6. Kustavi, Hupaniitty – mittaukset

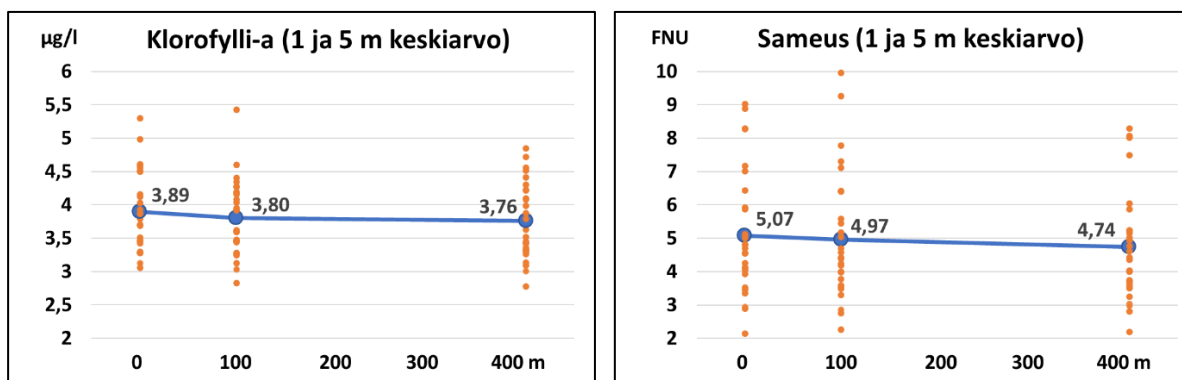
Kustavissa mitattiin EXO-laitteilla vuosina 2019 ja 2020. Kuvassa 21 ja 22 on esitetty kolmelta etäisyydeltä lähes viikoittain tehtyjä mittauksia. Pääosa mittauksista on heinä–syyskuulta, mutta vuodelta 2019 myös lokakuulta ja yksi mittaus marraskuultakin.

Happipitoisuus on laitoksen kohdalla suunnilleen sama kuin 100 metrin päässä. Kauempana 400 m päässä paikka on hieman syvempi, millä voi olla vaikutus hieman alempaan happipitoisuuteen. Happitasot ovat olleet pohjassakin korkealla vaihdellen 7–10,5 µg/l. Klorofylli ja sameus ovat laitoksen vieressä keskimäärin noin 0,1 µg/l ja 0,1 FNU suuremmat kuin 100 metrin päässä. Klorofyllin ja sameuden arvot korjattiin olemassa olevien laboratorionäytteiden perusteella (vuosi 2019 kolmella näytteellä ja vuosi 2020 neljällä näytteellä).

Keskimääräiset erot eri etäisyyksien välillä ovat siis pieniä, mutta keskiarvo kuvaa tilannetta vain karkeasti. Yksittäisissä mittauskerroissa arvot vaihtelevat ollen välillä pienempiä laitoksen vieressä ja välillä suurempia kuin kauempana.



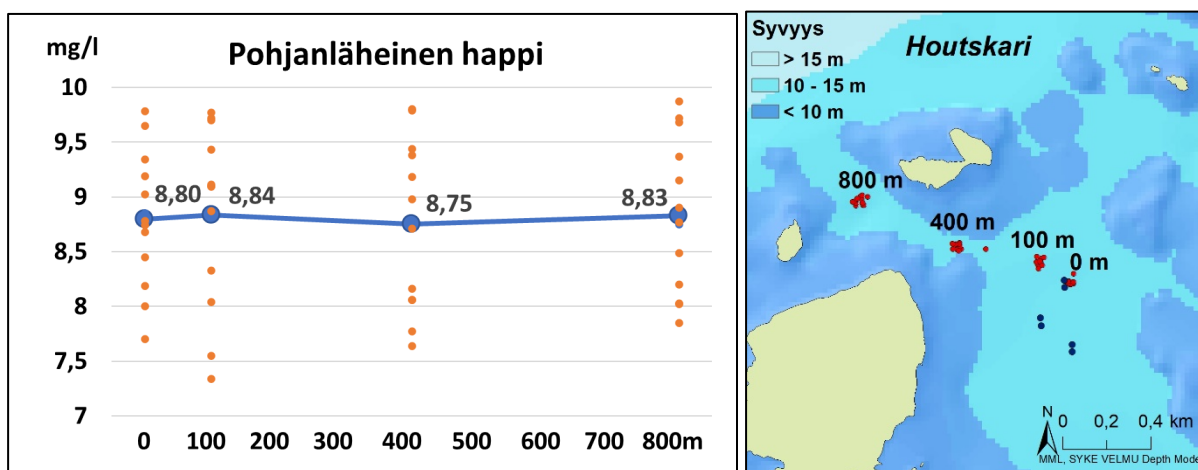
Kuva 21. Pohjanläheisen hapen mittaukset 2019–2020. Sinisellä on keskiarvo ja oranssilla yksittäiset mittaukset. Mittaussyvyyydet: (laitos 0 m=12 m); (100 m=14 m); (400 m=17 m). Mittaus on 1 m pohjan yläpuolelta. Mittauskertoja on kaikkiaan 30. Mittauspaikat on esitetty oikealla, jossa laitospaikka on sinisellä (=0m).



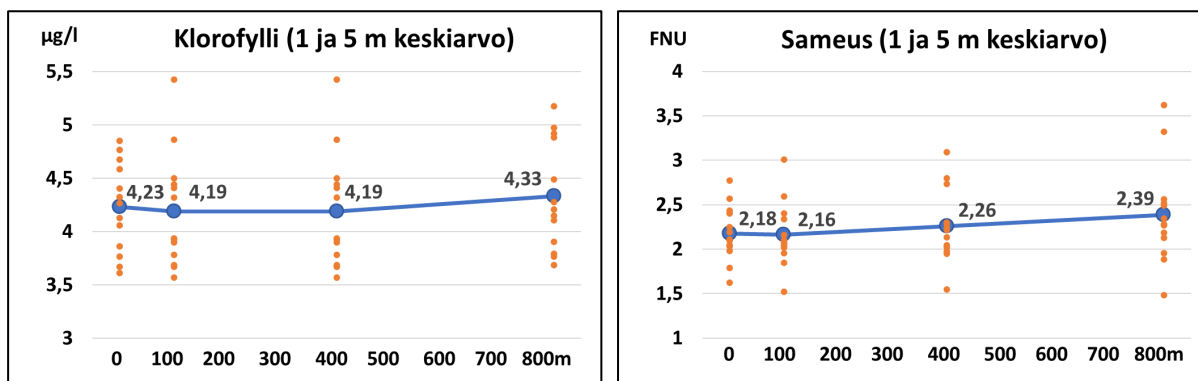
Kuva 22. Klorofyllin ja sameuden muutos etäisyyden mukaan vuonna 2019–2020. Sinisellä on keskiarvo ja oranssilla yksittäiset mittaukset. Mittauskertoja on kaikkiaan 30.

3.7. Houtskari, Alörarna – mittaukset

Houtskarissa mitattiin EXO-laitteella vuosina 2019 ja 2020 laitoksen vieressä, 100 m, 400 m ja 800 m päässä laitoksesta. Lähes viikoittaiset mittaukset ovat pääosin vuoden 2020 heinä–syyskuulta, mutta hieman myös vuoden 2019 elo–syyskuulta. Klorofylli- ja sameusarvot on tarkennettu poikkeuksellisesti sekä 2 kpl 2019 otettuun vesinäytteeseen että 2 kpl 2020 otettuun vesinäytteeseen perustuen (laite ollut välillä kalibroitavana). Klorofylliarvot voivat poiketa asteikoltaan todellisesta. Kuvissa 23 ja 24 nähdään, että neljältä eri etäisyydeltä otettujen mitausten perusteella erot laitoksen läheisyydessä ovat keskiarvoina mitattuina vähäisiä ja 800 metrin etäisyydellä klorofylli- ja sameusarvot ovat korkeampia. Tämä kauempana oleva sijainti poikkeaa ilmeisesti suojaisuudeltaan laitosalueesta, mikä osoittaa kuinka referenssipisteen valinta vaikuttaa vertailuun. Kauempana olevissa pisteissä ympäristön vaikutus voi olla suurempi laitokseen verrattuna. Havaitut keskimääräiset eroavaisuudet klorofyllissä ovat esimerkiksi sadan metrin päässä laitoksesta prosentin luokkaa, mutta arvot vaihtelevat mittauskertojen välillä ollen välillä suurempia laitoksen vieressä ja välillä pienempiä kuin esimerkiksi 100 metrin päässä.



Kuva 23. Pohjanläheisen hapen mittaukset 2019–2020. Vasemmalla sinisellä on keskiarvo ja oranssilla yksittäiset mittaukset. Mittaussyvytydet on kaikilla etäisyyksillä 10 m ja mittaukset on tehty 1 m pohjan yläpuolelta. Mittauskertoja on mukana kaikkiaan 13. Oikealla on esitetty laitosalue, joka koostuu kuudesta erillisestä kassista (=siniset pisteet), mittauspisteet punaisella.



Kuva 24. Klorofyllin ja sameuden muutos etäisyyden mukaan vuonna 2019 ja 2020. Sinisellä on keskiarvo ja oranssilla yksittäiset mittaukset. Mittauskertoja on mukana kaikkiaan 13.

3.8. Yhteenveto ympäristöpoijujen mittauksista

Vuonna 2019 ympäristöpoijut sijaitsivat Saaristomeren osalta Kustavin Loukeenkarilla ja Houtskarissa. Vuonna 2020 poijut olivat Kihdin Märkklobbenissa ja Korrassa. Märkklobbenin poijuun asennettiin vuodeksi 2020 paineilmapuhdistusmekanismi kolmelle anturille (sameus, klorofylli-a, fykosyaniini). Lisäksi poijussa oli happi-, lämpötila- ja sähkönjohtokykyanturit. Korrassa poijussa oli vain happi-, lämpötila- ja sähkönjohtokykyanturit, mutta lisäksi veden virtauksia määrittävä virtausanturi (Nortek Aquadopp profiler ADCP), joka mittasi virtauksia (nopeudet ja suunnat) eri vesikerroksista. Poijuissa oli myös sääasema.

Tarkastelukohteena oli esimerkiksi paineilmapuhdistuksella olevan poijun toiminta aiempaan verraten. Kuvassa 25 nähdään, että vuonna 2019 Loukeenkarissa mitatut klorofylliarvot (1 m) heittelivät voimakkaasti ja korjaantuivat sitten hetkellisesti käsin tehdyn anturipuhdistuksen yhteydessä. Arvot lähti kuitenkin heti nousemaan vähitellen antureiden likaantumisen myötä. Vuoden 2020 havaintojen perusteella näyttäisi alustavasti siltä, että paineilmapuhallus pitää klorofylliarvot tasaisempina. Paineilmapuhalluksen tiheys on säädettävissä ja vuonna 2020 se säädettiin puhaltamaan antureihin kerran vuorokaudessa kahden sekunnin ajan.

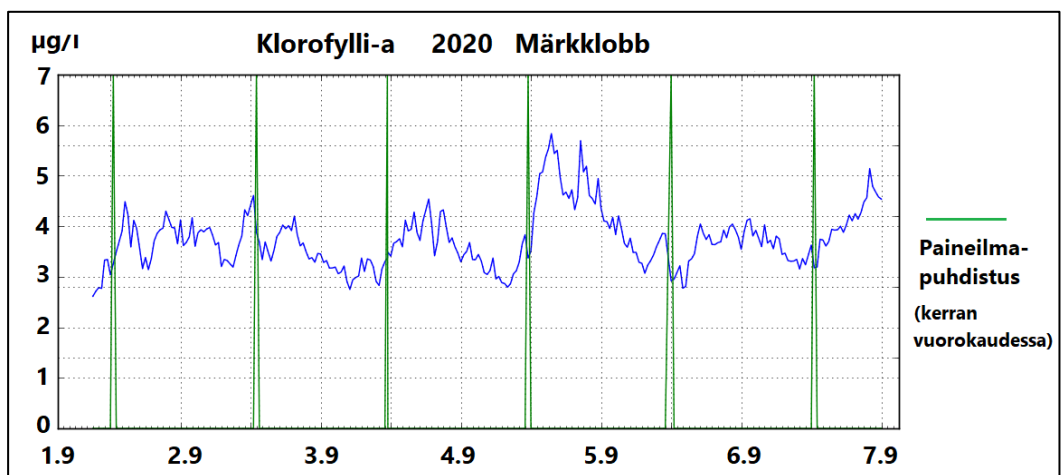
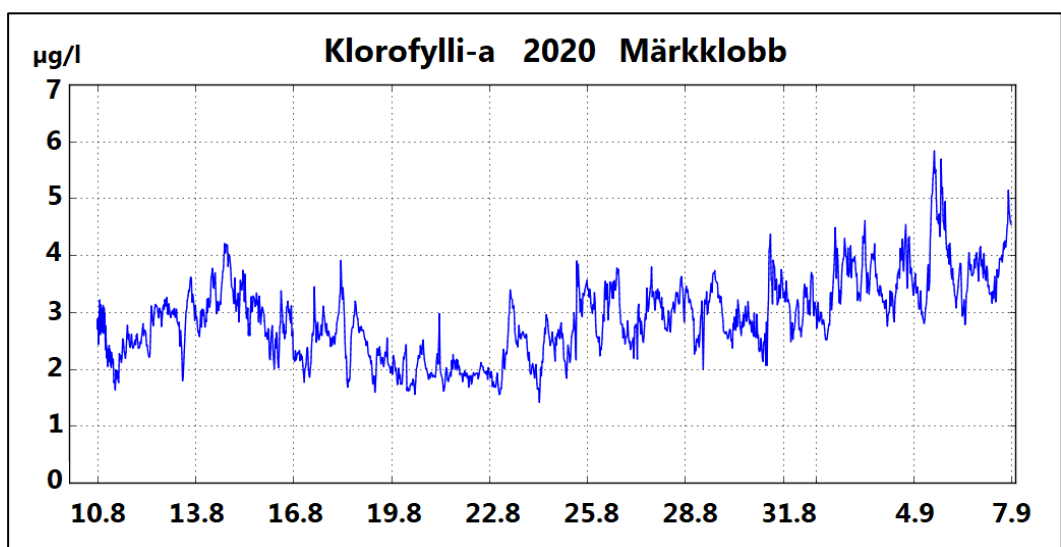
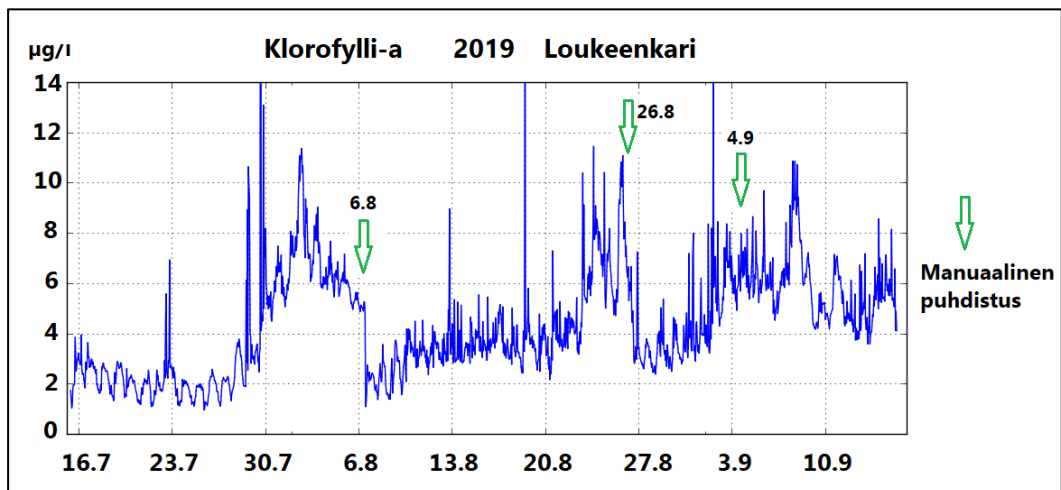
Sen sijaan kuvassa 26 voidaan nähdä, että paineilmapuhallus ei ole pitänyt kuitenkaan sameusarvoja tasaisina, vaan arvot laskevat aina jyrkästi paineilmapuhalluksen yhteydessä (vuonna 2020 sameusanturissa ei ollut samanaikaisesti puhdistuspyyhkijää). Tällaisessa tapauksessa voisi olla kuitenkin mahdollista saada kerran vuorokaudessa arvo välittömästi puhdistuksen jälkeen. Myös käsin tehtävä anturipuhdistus näyttää olevan lisäksi tärkeää.

Yleisesti poijun jatkuvista mittauksista on havaittavissa, että klorofylliarvot voivat vuorokauden aikana vaihdella suhteellisen paljon, esimerkiksi 1,5 µg/l vaihtelut ovat tavallisia, mutta esimerkiksi 4.9.2020 arvot vaihtelivat jopa lähes 3 µg/l ja vajaan 6 µg/l välillä. Poijun luota otettiin vuonna 2020 kolme laboratorionäytettä. Laboratoriovertailua on esitetty taulukossa 5.

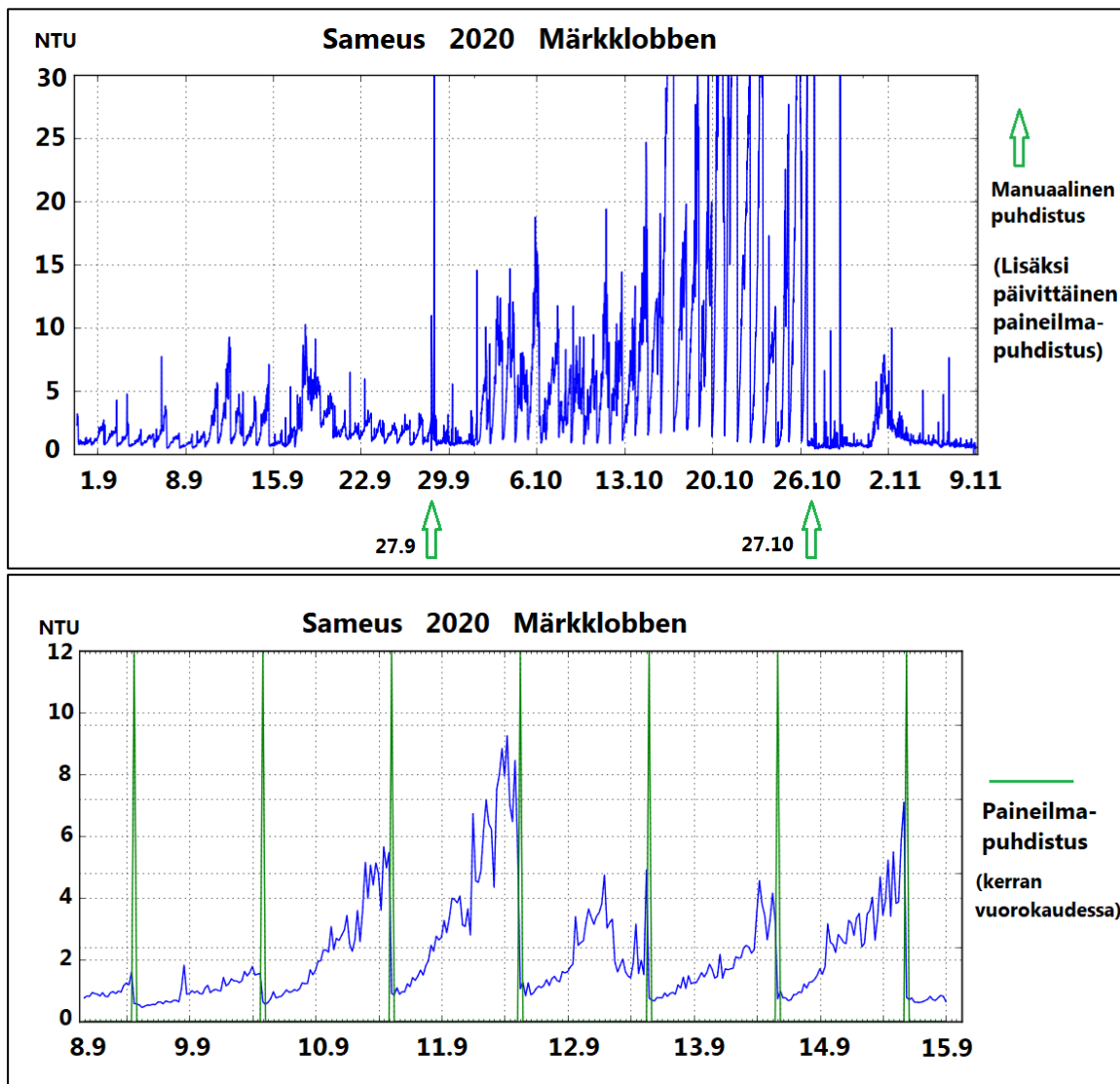
Kaikkiaan poijuja on hankittu vuonna 2020 kolme kappaletta, joista yhteen asennettiin paineilmapuhdistus vuonna 2020. Talvella/kevällä 2021 kaksi muutakin poijua on muutettu paineilmapuhdistuspoijuiksi EHP-Environment Oy:n toimesta.

Taulukko 5. Poijun ja laboratorion arvojen vertailua sekä poijun fykosyaniini-mittausarvot.

pvm	Poiju, sameus	LAB, sameus, FNU	Poiju, klorofylli	LAB, klorofylli-a (µg/l)	Poiju, fykosyaniini (µg/l)
7.9.2020	0,5	0,5	4,7	3,5	0,0
8.9.2020	0,9	0,5	3,5	3,5	1,0
20.8.2020	0,8	1,0	2,0	2,5	0,0

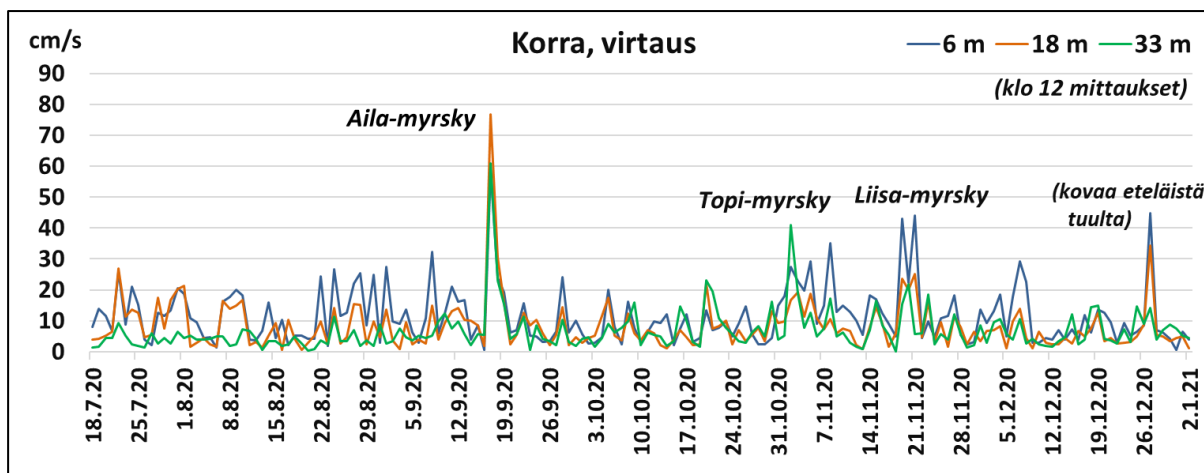


Kuva 25. Ylimpänä vuoden 2019 poijun klorofylliarvot, jolloin ei ollut paineilmapuhdistusta. Kahdessa alemmassa kuvassa on vuoden 2020 paineilmapuhdistuspoiju, mikä on pitänyt klorofylliarvot tasaisempina. Arvoja ei ole korjattu laboratorionäytteiden mukaan.

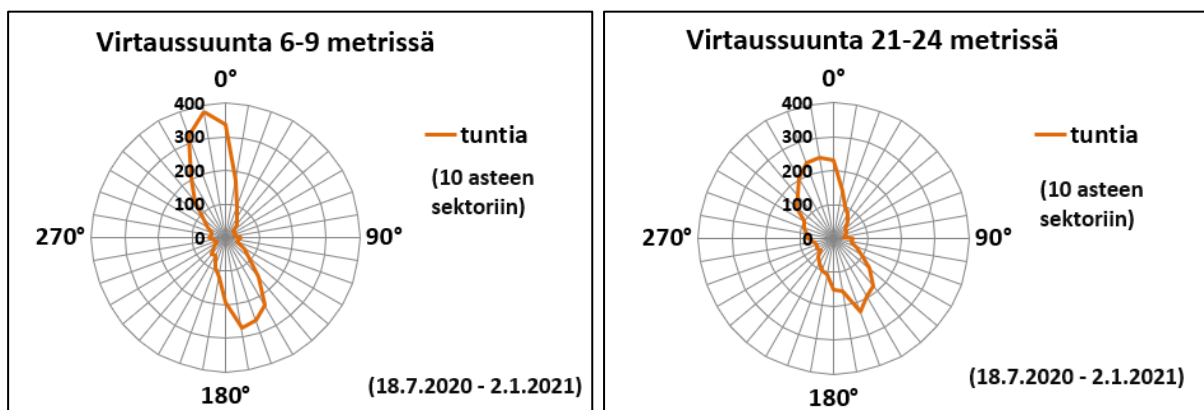


Kuva 26. Vuoden 2020 paineilmapoijun sameusarvot korjaantuvat paineilmapuhalluksen yhteydessä, mutta anturit likaantuvat heti tämän jälkeen. Alemmassa kuvassa on tarkemmin lyhyempi jakso kuvattuna. Mittaukset noin 1 metrissä.

Kuvissa 27 ja 28 on Korran virtausmittarin tuloksia. Kovimmillaan virtaukset ovat olleet tarkastelujakson aikana kovilla tuulilla yli 40 cm/s, mutta jopa lähes 80 cm/s. Virtaussuunta vaihtelee salmessa. Pääosin virtaus on pohjois-luoteeseen ja etelä-kaakkoon.



Kuva 27. Korran koelaitoksen luona virtaukset ovat voimakkaita myrskytuulilla.



Kuva 28. Virtaus menee Kihdin Korrassa pääasiassa pohjois-luoteeseen ja etelä-kaakkoon.

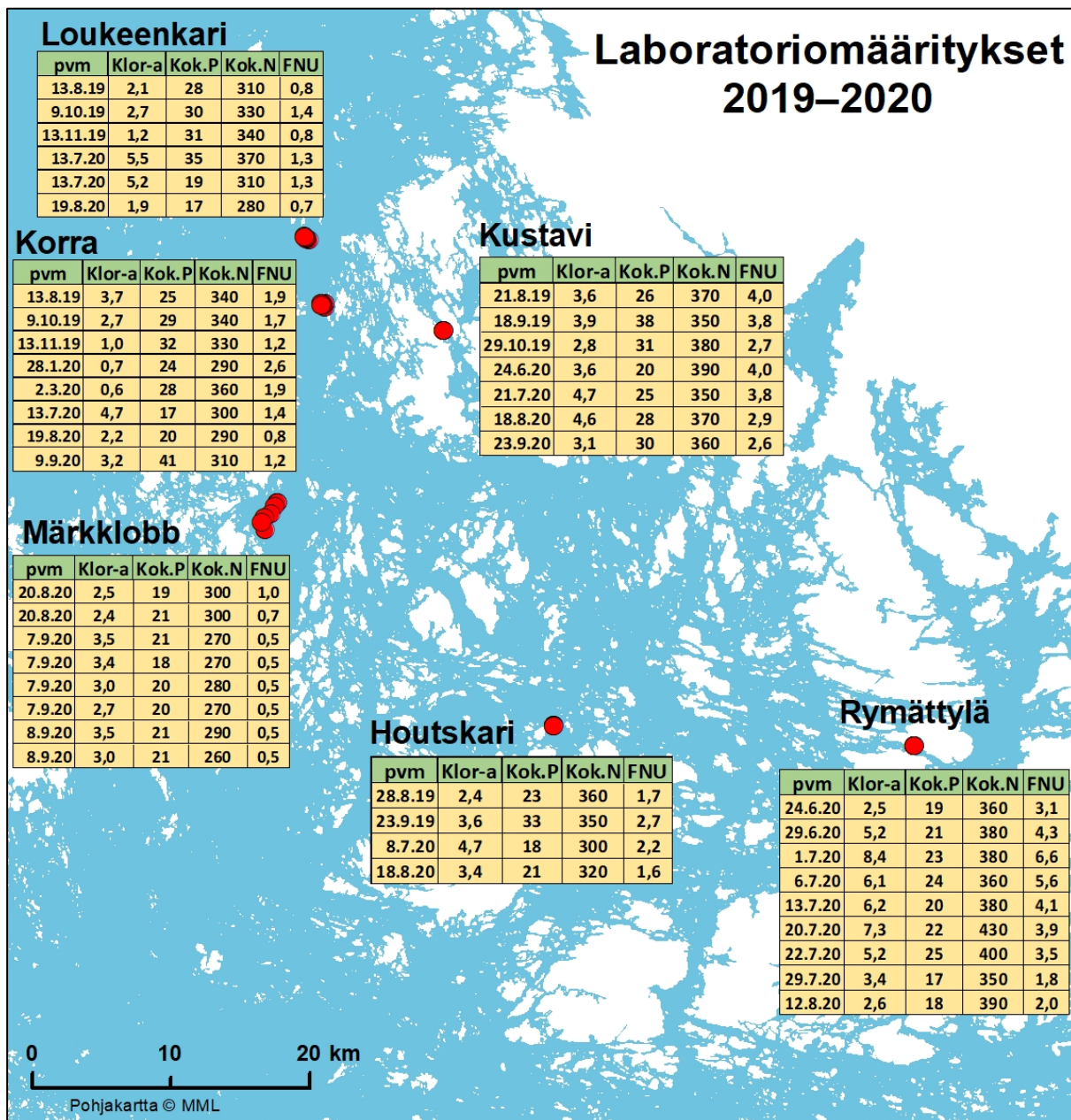
3.9. Vesinäytteiden laboratorioanalyysien tulokset

Mittausten yhteydessä otettiin myös vesinäytteitä laboratorioanalysejä varten (kuva 29). Tarkemmin tuloksia on liitteessä 1. Laboratoriotuloksista nähdään Rymättylässä olevan heinä-elo-kuun aikana klorofylliarvoissa vaihtelua 2,6–8,4 µg/l välillä. Rymättylän näytteet on otettu kaikki samasta paikasta. Loukeenkarilla on vuoden 2020 kesän mittauksissa vaihtelua klorofylliarvoissa 1,9–5,5 µl/g.

Laboratorionäytteitä otettiin vaihtelevasti laitosalueilta noin 0–400 metrin etäisyydellä laitoksesta. Laboratorionäytteitä otettiin, jotta voitaisiin tarkentaa mittalaitteiden arvoja vastaamaan paremmin todellista.

Vähäisten vesinäytteenottojen perusteella ei voi sanoa onko laitosalueen a-klorofylliarvot alle vesimuodostuman ekologisen tilaluokittelun hyvän tilan raja-arvojen tai miten kasvatuslaitos vaikuttaa a-klorofyllin yleiseen tasoon alueella. Luotettavan alueellisen ja ajallisen vaihtelun saamiseksi tulisi siksi käyttää automaattimittareita ja esimerkiksi satelliittien havaintoja, joita

sitten tulisi tarkentaa riittävällä määrällä vesinäytteenottoja. Pelkästään vesinäytteenotoilla ei saada kustannustehokkaasti tietoa ja käytännössäkin riittävää määrää tietoa vaihtelusta.



Kuva 29. Vedenlaadun laboratoriomääritykset on otettu kalankasvatuslaitosten läheisyydestä vaihtelevasti noin 0–400 metrin päästä. Määritykset on tehnyt Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy.

4. Tulosten tarkastelu

Saaristomeren alueella selvitettiin automaattisten vedenlaatumittalaitteiden käyttöä ja soveltuvuutta kalankasvatuksen aiheuttamien ympäristövaikutusten mittaamiseen. Tavoitteena oli kokeilla laitteita, kehittää mittausmenetelmää ja tarkastella kasvatuksen aiheuttaman ravinnemäärän myötä lisääntyvän kasviplanktonin mittaamista. Lisäksi selvitettiin rehun ja kalan ulosteiden mukana tulevan aineksen mahdollisesti aiheuttamaa veden sameuden lisääntymistä. Laitosalueilla selvitettiin myös pohjanläheisiä happipitoisuuksia, joka mahdollisesti kuvastaisi aineksen kerääntymisen aiheuttamaa alhaisempaa happipitoisuutta.

Kaloille annettavan rehun myötä vapautuu mereen fosforia ja typpeä. Osa veteen päätyvistä ravinteista on sitoutuneena kiintoaineeseen ja ei-liukoisessa muodossa ja osa on leville nopeammin käyttökelpoisessa liukoisessa muodossa. Kalat voivat ulostaa ja virtsata eri syvyyksissä, jolloin ulostetta muodostuu eri vesikerroksiin, josta sitä laskeutuu alaspäin ja leviää virtausten mukana laajalle alueelle. Virtaukset ja myös sääolosuhteet vaikuttavat levien esiintymiseen laitosalueella. Levien kasvu voi niille epäotollisissa sääoloissa kestää jonkin aikaa ravinnelisäyksestä. Virtaavissa olosuhteissa kasvu voi olla voimakkainta jonkin matkan päässä kuormituksesta, kun taas heikosti virtaavissa paikoissa paikalliset muutokset voi olla voimakkaammin näkyvissä (Kuosa 2020). Ei ole yksiselitteisesti sanottavissa miltä osin välittömästi laitoksen luona pintavedestä mitattavat klorofylliarvot kuvaavat laitoksen vaikutuksia.

Vesinäytteenotoilla havaittiin, että EXO-mittalaitteilla ja poijuilla saatavat arvot eivät kuvaa selaisenaan tarkkoja arvoja etenkin klorofyllin, muttei myöskään sameuden osalta. Ennen datan hyödyntämistä, aineisto tulee siten tarkentaa riittävällä vesinäytteenotoilla. EXO-laitteen sameusarvot saatiin korjattua laboratoriomäärityksillä vastaamaan todellisia. Klorofyllin osalta arvot näyttivät korreloivan laboratorioarvojen kanssa tietyin osin erittäin hyvin alkuosan mittauksissa, mutta tilanne muuttui lopussa. Näin ollen klorofyllituloksia ei voi luotettavasti määrittää välttämättä koko kauden lineaarisella regressiolla vaan mittaustuloksia tulee tarkastella tapauskohtaisesti. Asiassa vaikuttaa mahdollisesti leväyhteisön koostumuksessa tai fysiologisessa tilassa tapahtuvat muutokset, jolloin leväsolujen pigmentin fluoresenssin ja laboratoriossa mitatun pitoisuuden suhde muuttuu eikä kalibrointiyhtälö näin ollen aina päde (Tattari ym. 2019). Yleisesti ottaen klorofyllin mittaaminen fluoresenssin avulla on haastavaa ja jatkuvatoimisissa mittauksissa täyttä varmuutta levämäärän vaihteluista on hyvin vaikea saada ja aineiston tulkinta on haastavaa (Huotari ja Ketola 2014). Varminta on määrittää klorofyllimittausten korjauksiyhtälö vesinäytteillä jokaisen mittauskampanjan yhteydessä.

Laitteita kokeiltiin erilaisissa tuotantoympäristöissä tuotantomäärältään erikokoisten laitosten tai laitosalueiden yhteydessä: sisällä saaristossa (Rymättylä, Kustavi), välisaaristossa (Houtskari) sekä verrattain avoimilla alueilla (Korra, Märkklobb ja Loukeenkari). Tässä selvityksessä tehtyjen EXO-mittaustulosten perusteella kalankasvatuslaitosten alueella klorofylliarvoissa on selvää vaihtelua. Sameudessa vaihtelu oli etenkin ulommilla alueilla laitosten läheisyydessä pääsääntöisesti vähäistä, jossa oli alueellisesti vähemmän muita kuormittajia. Näin ollen voidaan arvioida, ettei kalankasvatuksen vaikutus sameuteen ole merkittävä vaan se johtuu pääsääntöisesti muista kuormittajista ja olosuhteista.

EXO-laitteella eri etäisyyksillä tehtyjen (0 m, 100 m, 400 m, 800 m) mittausten tulokset osoittivat, että keskimääräiset erot olivat vähäisiä klorofyllin, sameuden ja pohjan läheisen hapen suhteen, mutta esimerkiksi klorofyllipitoisuudet olivat välillä suurempia laitoksen vieressä ja välillä pienempiä kuin kauempana laitoksesta.

Mittauskampanjoissa korkeampia klorofyllipitoisuuksia havaittiin osittain Kihdin laitosten läheisyydessä, jotka saattavat johtua kalankasvatuslaitoksen vaikutuksesta. Kalankasvatuslaitoksen paikallisen vaikutuksen suuruusluokka on kuitenkin arvioitavissa esimerkiksi normaaliin a-klorofylli vaihtelutasoon nähden pieneksi, jos erot esimerkiksi a-klorofyllissä olivat mikrogrammojen desimaalien luokkaa jopa Suomen suurimman kalankasvatuslaitoksen välittömässä läheisyydessä mittauspäivinä. Kun tuloksia suhteuttaa muualla tehtyihin ravinnekormitusmallinnuksiin, niin vaikutukset ovat vastaavalla tasolla eli verrattain pieniä laitosten läheisyydessä (Kuosa 2020).

Vaikutuksen laajuutta ei voida kuitenkaan mittausten perusteella määrittää. Selkeästi rajattavia alueita a-klorofyllin tai sameuden muutoksen suhteen ei voitu tehdä. Mittauspisteiden määrä olisi pitänyt olla suurempi ja mittauskertoja tulisi olla enemmän kattavamman kuvan saamiseksi. Tässä havaintoaineistossa vaikutuksia arvioitiin käytännössä alle kilometrin päässä laitoksesta.

Yleisesti mittausten vaihteluun vaikuttavat veden virtaukset, pyörteet, aallokko ja muut veden liikkeet. Lisäksi muualta maalta tulevat kuormitukset, levän kerääntyminen rannan ja laitoksen lähelle ja sääolosuhteet voivat vaikuttaa pitoisuuksiin. Olosuhteista ja muusta kuormituksesta johtuen lähtökohtaiset ravinnetasot ja vaikutuksen suunta vaihtuu, jolloin myös esimerkiksi virtaustiedoilla voitaisiin tarkentaa arviointia. Tarkastelua helpottaisikin, jos olisi myös tiedossa pitoisuudet laajemmalla alueella.

Kannettavien mittalaitteiden etu on, että niillä voidaan mitata useassa pisteessä ja eri syvyyksissä. Laitteet ovat helposti mukana kulkevia ja näytteenottoa voidaan tehdä muun toiminnan ohessa. Mittausten luotettavuuteen liittyen tulee kuitenkin huolehtia vesinäytteenotosta ja aineiston käsittelystä. Mittauspisteistä olisi hyvä tehdä mittauksia esimerkiksi minuutin keskiarvona laitteen automaattisesti sekunnin välein tekemistä mittauksista, jolloin saataisiin luotettavampaa ja tarkempaa tietoa yksittäisen hetkellisen mittauksen sijaan.

Poijuista saatavan mittaustulosten luotettavuutta heikentää antureiden likaantuminen meressä. Luotettavuuden parantamiseksi antureissa tulee olla puhdistusmekanismi ja sen lisäksi antureita tulee puhdistaa myös manuaalisesti. Paineilmapuhdistuksella olevassa poijussa klorofylli-arvot olivat tasaisempia verrattuna aikaisempaan poijuun, jossa ei puhdistusmekanismia ollut. Sameusarvoja ei paineilmapuhdistus pitänyt kuitenkaan tasaisena, vaan puhdistuksen yhteydessä arvoissa tapahtui jyrkkä aleneminen. Poijujen tuloksista voidaan kuitenkin havaita, että vuorokauden aikana klorofylliarvojen muutokset ovat melko suuria. Jos poijujen tuottamat arvot pystytään varmentamaan luotettaviksi, sillä voidaan saada ajallisesti hyvin kattavasti tietoa veden laadusta. Poijujen etu on, että sen avulla voi arvioida alueen yleistä keskimääräistä veden laatua, kun taas harvemmat mittaukset ovat riippuvaisia mittaushetken olosuhteista. Lisäksi ajallisesti kattavat tulokset tukevat myös satelliittikartoituksia, koska satelliiteilla ei saada tietoa pilvisiltä päiviltä ja ainoastaan niiltä hetkiltä päivästä, jolloin ne lentävät kohteen yli. Poijujen huolto on työlästä, mutta mittaaminen tapahtuu automaattisesti. Poijut ja datankäsittely on verrattain kalliita.

Vesinäytteiden määritykset osoittavat, että kesällä klorofylliarvojen vaihtelut voivat olla suuria. Ja kuten mittauskampanjat osoittivat, paikallinen vaihtelu voi olla suurta. Vesinäytteenoton heikkous on, että se mittaa yhtä kohdetta yhdessä hetkessä. Näytteenoton tulos voi olla esimerkiksi kymmenen minuutin päästä tai sadan metrin päässä täysin erilainen. Harvoin otetut vesinäytteet ei pelkästään tuo luotettavaa kuvaa esimerkiksi kesän keskimääräisestä tilanteesta. Vesinäyte tulee ottaa samasta paikasta ja samanaikaisesti kuin automaattimittaus, jotta sillä voidaan korjata anturin tulosta vastaamaan vesinäytettä. Vesinäytteistä voidaan määrittää myös esimerkiksi ravinnepitoisuuksia, joita ei voida mitata antureilla luotettavasti.

Tietojen hyödyntäminen, muut menetelmät ja jatkotoimenpiteet

Selvityksen myötä on käynyt ilmeiseksi, että kattavamman ja tarkemman alueellisen kuvan saamiseksi sekä mittausten alueellinen määrä että ajallinen kattavuus tulisi olla suurempi. Tätä tarkoitusta voivat mahdollisesti tukea satelliittimittaukset, esimerkiksi siten, että pistemittauksia yhdistetään satelliittihavaintoihin. Tämän tutkimuksen mittaustuloksia onkin hyödynnetty satelliittikuvia havaintoihin yhdistävään Datafuusioon liittyen (Malve ym. 2021). Myös EXO2-laitteen hyödyntäminen liikkuvasta veneestä läpivirtausmenetelmällä (Lindfors ym. 2017) olisi mahdollisesti ajankäytöllisesti tehokkaampi mittausmenetelmä, kun sieltä täältä otetut yksittäiset mittaukset. Eri menetelmiä käyttämällä on mahdollista saada etenkin perinteisten vesinäytteiden lisäksi kattavammin tietoa ajallisesta ja alueellisesta vaihtelusta.

Kalankasvatuksen ympäristövaikutusten tarkastelu vedenlaatuun liittyen on haasteellista koska ei tiedetä millä etäisyydellä vaikutukset konkretisoituvat ja mikä on muiden kuormituslähteiden hetkellinen vaikutus. Tutkimukset voi olla siten perusteltua kohdistaa alueille, joissa muiden vaikutusten osuus olisi mahdollisimman vähäinen. Mittausaluetta tulisi laajentaa ja mittausten määrää lisätä. Lisäksi tutkimuksissa tulisi arvioida muiden selittävien tekijöiden kuten virtaus-suunnan vaikutusta ja arvioida miten ravinteet muuttuvat kalan ulosteesta ravinteiksi. Riittävästä aineistoista olisi mahdollista laatia kattavampi tilastollinen tarkastelu.

Viitteet

- Arola, H. (toim.) 2012. Jatkuvatoinen sameusmittaus – Hyvät mittauskäytännöt ja aineiston käsittely. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2012. 51 s.
- Aroviita, J., Vuori, K-M., Hellsten, S., Jyväskylä, J., Järvinen, M., Karjalainen, S.M., Kauppila, P., Korpinen, S., Kuoppala, M., Mitikka, S., Mykrä, H., Olin, M., Rask, M., Riihimäki, J., Räike, A., Rääpysjärvi, J., Sutela, T., Vehanen, T. & Vuorio, K. 2014. Maa- ja metsätalouden kuorittamien pintavesien ekologinen tila ja sen seuranta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2014. 75 s. + liitteet.
- Belinskij, A., Hepola, M., Hollo, E., Kauppila, J., Mäenpää, M., Määttä, T., Römpötti, E., Valve, H. & Soininen, N. 2019. Ympäristöllisten lupien muuttaminen vesienhoidon ympäristötaavoitteiden perusteella. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 26/2019. 65 s.
- Hakala, J., Hynninen, P., Kaukoranta, E., Selänne, A. & Vuoristo, H. 1994. Velvoitetarkkailun yleisohjeen täydennys: Kalankasvatuksen velvoitetarkkailu. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 586. 50 s. + liite.
- Huotari, J. & Ketola, M. (toim.) 2014. Jatkuvatoinen levämäärän mittaus – Hyvät mittauskäytännöt ja aineiston käsittely. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2014. 57 s. + liitteet.
- Kettunen, J., Lignell, R., Ropponen, J., Malve, O. & Kotamäki, N. 2015. Kalankasvatuksen ympäristöseurantajärjestelmän kehittäminen. Liite 1. SYKEN loppuraportti. 19 s. + liitteet.
- Kotamäki, N., Malve, O., Käppi, T., Niskanen, L., Nygård, H. & Kankainen, M. 2021. Ahvenanmaan kalankasvatuslaitosten vaikutukset päällysteisiin ja pohjaeläimistöön. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40, Luonnonvarakeskus. 44 s. + liitteet.
- Kuosa, H. 2020. Skallerfjärdenin mallinnus FICOS-ravinnekuormitusmallilla. Suomen ympäristökeskus/merikeskus. 9 s.
- Lignell, R., Miettunen, E., Tuomi, L., Ropponen, J., Kuosa, H., Attila, J., Puttonen, I., Lukkari, K., Peltonen, H., Lehtoranta, J., Huttunen, M., Korppoo, M., Tikka, K., Mäyrä, J., Heiskanen, A-S., Gustafsson, B., Hänninen, J., Thingstad, F., Kaurila, K., Vanhatalo, J., Westerlund, A. & Siiriä, S-M. 2018. Rannikon (Suomenlahti, Saaristomeri, Selkämeri) kokonaiskuormitusmalli: ravinnepäästöjen vaikutus veden tilaan – Kehityshankkeen loppuraportti (XI 2015-VI 2018). SYKE, Ilmatieteen laitos, Åbo Akademi, Baltic Nest Institute, Turun yliopisto, Bergenin yliopisto, Helsingin yliopisto. 84 s.
- Lindfors, A., Huttunen, O. & Kiirikki, M. 2017. Kustavin ja Iniön ympäristön vedenlaatumittaukset elokuussa 2017. Luode Consulting Oy. Raportissa: Turkki, H. (2020). Kustavin ja Iniön merialueen kalankasvatuslaitosten velvoitetarkkailututkimusten pitkäaikaisraportti 2013–2018. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy. Liite 7.
- Luonnonvarakeskus 2020. Tilastotietokanta, Kala- ja riistatilastot, Vesiviljely. <https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/>.
- Malve, O., Kallio, K., Siivola, E., Kervinen, M., Kankainen, M. & Keto, V. 2021. Datafuusiomenetelmän käyttö kalankasvatamoiden vedenlaatuvaikutusten seurannassa saaristomereillä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus. (käsikirjoitus), Luonnonvarakeskus.

- Silvenius, F., Mäkinen, T., Grönroos, J., Kurppa, S., Tahvonen, R., Kankainen, M., Vielma, J., Silvennoinen, K., Setälä, J., Kaustell, S. & Hartikainen, H. 2012. Kirjoloheen ympäristövaikutukset Suomessa. MTT Raportti 48. 40 s. + liitteet.
- Tattari, S., Tarvainen, M., Kallio, K., Lepistö, A., Näykki, T., Raateoja, M. & Seppälä, J. 2019. Laatuksikirja jatkuvatoimisille vedenlaadun mittauksille – Opas hyviksi käytännöiksi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 4/2019. 40 s. + liitteet.
- Tuominen, A-M. 2021. Kalankasvatuksen paikalliset vaikutukset vedenlaatuun – Mittaukset Saaristomerellä 2020. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. 83 s. + liite.
- Valtioneuvoston periaatepäätös 2014. Vesiviljelystrategia 2022. Kilpailukykyinen, kestävä ja kasvava elinkeino. Valtioneuvoston periaatepäätös 4.12.2014. 16 s.
- Ympäristöministeriö 2013. Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2013. 75 s.
- Ympäristöministeriö 2020. Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohje. Ympäristöministeriön julkaisuja 2020:22. 103 s. + liitteet.

Liitteet

Liite 1. Laboratoriomäärytyksiä 2019–2020 (Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy) ja Limnos-vedennoutimella mitattuja lämpötiloja ja näkösyvyksiä.

pvm	klo	Sijainti Latitude	Sijainti Longitude	Näytepaikka	Näyte- syvyys (m)	Paikan syvyys (m)	Näkö- syvyys (m)	Lämpö- tila °C	Happi mg/l	Sameus FNU	Sähkö- johtavuus mS/m	Kok. N µg/l	Kok. P µg/l	Kloro- fylli-a µg/l
13.8.2019	16:09	60,6121	21,1112	Loukeenari, Kustavi	1	12				0,8	1090	310	28	2,1
13.8.2019	11:53	60,5691	21,1425	Korra, Kustavi	1	50				1,9	1090	340	25	3,7
21.8.2019	10:00	60,5595	21,3035	Ströömi, Kustavi	1	15				4,0	1090	370	26	3,6
28.8.2019	9:05	60,3111	21,4909	Alörarna, Houtskari	1	11				1,7	1110	360	23	2,4
18.9.2019	9:20	60,5597	21,3036	Ströömi, Kustavi	1	15				3,8	1070	350	38	3,9
23.9.2019	12:40	60,3108	21,4911	Alörarna, Houtskari	1	11				2,7	1100	350	33	3,6
9.10.2019	11:45	60,6118	21,1109	Loukeenari, Kustavi	1	16				1,4	1110	330	30	2,7
9.10.2019	11:17	60,5690	21,1404	Korra, Kustavi	1	50-55				1,7	1100	340	29	2,7
29.10.2019	16:15	60,5596	21,3036	Ströömi, Kustavi	1	15				2,7	1080	380	31	2,8
13.11.2019	18:42	60,6113	21,1115	Loukeenari, Kustavi	1	15				0,8	1110	340	31	1,2
13.11.2019	19:16	60,5688	21,1435	Korra, Kustavi	1	50				1,2	1100	330	32	1,0
28.1.2020	13:45	60,5702	21,1409	Korra, Kustavi	1	50-54				2,6	1000	290	24	0,7
2.3.2020	18:00	60,5702	21,1409	Korra, Kustavi	1	50-54				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	Loukeenari, Kustavi	1	18	4,0	16,5		1,3	1030	370	35	5,5
13.7.2020	13:15	60,6102	21,1175	Loukeenari, 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	9,0	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	Loukeenari, 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	21,1060	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	60,4290	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

Liite 2. Vesinäytteiden laboratorioanalyysien ja mittalaitteiden vertailutuloksia vuosilta 2019 ja 2020. (klorofylli-a ja fykosyaniini µg/l, sameus FNU/NTU) (Laboratoriomääritykset Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy).

1. EXO	pvm	EXO Sameus	Lab Sameus	EXO Klor-a	Lab Klor-a
Korra	9.10.2019	0,4	1,7	2,2	2,7
Korra	13.11.2019	0,2	1,2	1,4	1,0
Loukeenkari	13.7.2020	0,6	1,3	4,2	5,5
Loukeenkari	13.7.2020	0,7	1,3	4,6	5,2
Korra	13.7.2020	0,8	1,4	4,2	4,7
Korra	19.8.2020	0,5	0,8	2,0	2,2
Loukeenkari	19.8.2020	0,3	0,7	1,5	1,9
Märkklobben	20.8.2020	0,4	1,0	2,2	2,5
Märkklobben	20.8.2020	0,3	0,7	2,3	2,4
Märkklobben	7.9.2020	0,3	0,5	5,5	3,5
Märkklobben	7.9.2020	0,3	0,5	6,1	3,0
Märkklobben	7.9.2020	0,3	0,5	5,6	3,4
Märkklobben	7.9.2020	0,3	0,5	4,2	2,7
Märkklobben	8.9.2020	0,3	0,5	3,8	3,5
Märkklobben	8.9.2020	0,3	0,5	4,4	3,0
Korra	9.9.2020	0,8	1,2	3,3	3,2
2. EXO	pvm	EXO Sameus	Lab Sameus	EXO Klor-a	Lab Klor-a
Rymättylä	24.6.2020	1,7	3,1	1,8	2,5
Rymättylä	29.6.2020	2,8	4,3	4,0	5,2
Rymättylä	1.7.2020	4,4	6,6	5,7	8,4
Rymättylä	6.7.2020	4,4	5,6	4,1	6,1
Rymättylä	13.7.2020	2,8	4,1	4,0	6,2
Rymättylä	20.7.2020	2,5	3,9	4,9	7,3
Rymättylä	22.7.2020	2,4	3,5	5,4	5,2
Rymättylä	29.7.2020	1,1	1,8	4,0	3,4
Rymättylä	12.8.2020	1,1	2,0	5,3	2,6
3. EXO	pvm	EXO Sameus	Lab Sameus	EXO Klor-a	Lab Klor-a
Kustavi, Stöömi	21.8.2019	2,3	4,0	3,4	3,6
Kustavi, Stöömi	18.9.2019	2,5	3,8	2,9	3,9
Kustavi, Stöömi	29.10.2019	1,9	2,7	2,0	2,8
Kustavi, Stöömi	24.6.2020	2,2	4,0	2,5	3,6
Kustavi, Stöömi	21.7.2020	2,4	3,8	4,5	4,7
Kustavi, Stöömi	18.8.2020	2,2	2,9	3,8	4,6
Kustavi, Stöömi	23.9.2020	1,9	2,6	2,8	3,1
4. EXO	pvm	EXO Sameus	Lab Sameus	EXO Klor-a	Lab Klor-a
Houtskari	28.8.2019	0,4	1,7	1,3	2,4
Houtskari	23.9.2019	1,7	2,7	1,1	3,6
Houtskari	8.7.2020	1,5	2,2	2,0	4,7
Houtskari	18.8.2020	0,9	1,6	2,4	3,4

Poiju	Paikka	pvm	Poiju, sameus	LAB, sameus	Poiju, klorofylli	LAB, klorofylli-a	Poiju, fykosyaniini
1	Loukeenkari	13.8.2019	1,0	0,8	2,9	2,1	
1	Loukeenkari	9.10.2019	0,3	1,4	4,4	1,9	
2	Houtskari	28.8.2019	-	1,7	3,6	2,4	
2	Houtskari	23.9.2019	4,7	2,7	3,1	3,6	
3	Märkklobben	20.8.2020	0,8	1,0	2,0	2,5	0,0
3	Märkklobben	7.9.2020	0,5	0,5	4,7	3,5	0,0
3	Märkklobben	8.9.2020	0,9	0,5	3,5	3,5	1,0

Liite 3. Laitteistoissa käytettyjä antureita (anturikokoonpanoissa on ollut vaihtelua eri poijujen kesken). Vuodeksi 2021 kaikkiin poijuihin on asennettu paineilmapuhdistus ja täydennetty myös puuttuvia vedenlaatua mittaavia antureita.

EHP ympäristöpoiju:

- Sääasema: GILL Maximet GMX500 (esim. tuulitiedot, auringon säteily, ilman lämpötila)
- Happi: Ponsel ODO (optinen luminesenssi)
- Lämpötila: EHP-T100A+
- Sähkönjohtavuus: Ponsel C4E
- Klorofylli: TriOS nanoFlu
- Sameus: Observator McVan NEP
- Fykosyaniini: TriOS NanoFlu Phycocyanin, titanium (optinen fluorometri)
- Sameus: NEP-500 (optinen, sisältää puhdistuspyyhkijän)
- Virtaus: Nortek Aquadopp profiler ADCP

Poijun anturit	2020		
	1	2	3
	Korra	(Ei meressä)	Märkklobb
Klorofylli-a		x	x
Fykosyaniini			x
Sameus		x	x
Lämpötila	x	x	x
Sähkönjohtokyky	x	x	x
Happi	x	x	x
Sääasema (tuuli, ilman lämpötila..)	x	x	x
Virtaus	x		
Paineilmapuhdistus			x

EXO2 (syvyysmittaus mukana):

- EXO Total Algae - PC Sensor, Ti (optimoitu makeille vesille, klorofylli ja sinilevä sensorit (blue green algae) samassa anturissa)
- EXO Conductivity/Temperature Sensor, Ti (sähkönjohtavuus/lämpötila)
- EXO Opical DO Sensor, Ti (happi)
- EXO Turbidity Sensor, Ti (sameus)
- EXO Handheld Display 2.0 (käsinäyttö, sisältäen GPS)



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000