



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2021

Ahvenanmaan kalankasvatuslaitosten vaikutukset päällyksleiviin ja pohjaeläimistöön

Niina Kotamäki, Olli Malve, Tuulia Käppi, Lauri Niskanen,
Henrik Nygård ja Markus Kankainen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2021

Ahvenanmaan kalankasvatustiltojen vaikutukset päällystetyn ja pohjaeläimistöön

Niina Kotamäki, Olli Malve, Tuulia Käppi, Lauri Niskanen,
Henrik Nygård ja Markus Kankainen

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2021



Viittausohje:

Kotamäki, N., Malve, O., Käppi, T., Niskanen, L., Nygård, H. & Kankainen, M. 2021. Ahvenanmaan kalankasvatuslaitosten vaikutukset päällylsleviin ja pohjaeläimistöön. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 85 s.

Niina Kotamäki, ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-2731-9404>



ISBN 978-952-380-220-9 (Painettu)

ISBN 978-952-380-221-6 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-221-6>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Niina Kotamäki, Olli Malve, Tuulia Käppi, Lauri Niskanen, Henrik Nygård ja Markus Kankainen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2021

Julkaisu vuosi: 2021

Kannen kuva: Lauri Niskanen

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

Tiivistelmä

Niina Kotamäki¹⁾, Olli Malve²⁾, Tuulia Käppi^{2,3)}, Lauri Niskanen³⁾, Henrik Nygård²⁾ ja Markus Kan-
kainen⁴⁾

¹⁾ Suomen ympäristökeskus (SYKE), Survontie 9, 40500 Jyväskylä

²⁾ Suomen ympäristökeskus (SYKE), Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki

³⁾ Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

⁴⁾ Luonnonvarakeskus (Luke), Itäinen Pitkätatu 4 A, 20520 Turku

Vesiviljelyn innovaatio-ohjelman ympäristövaikutustutkimuksissa arvioitiin kalankasvatuksen ja muiden olosuhdetekijöiden vaikutukset pohjaeläimistöön sekä päällyslievien muodostumiseen. Tarkastelu kohdennettiin Ahvenanmaan vesialueille, jossa on ollut suuria kalankasvatuslaitoksia paikallisen sijainninohjaussuunnittelun jälkeen jo reilut kymmenen vuotta, ja jossa suurin lait-
toskeskittymä tuottaa vuodessa yli miljoona kiloa kalaa. Velvoitetarkkailuaineiston ja tilastolli-
sen analyysin perusteella selvitettiin, minkälaisissa olosuhteissa ja tuotantomäärillä on vaiku-
tuksia, sekä minkälaisiin olosuhteisiin laitoksia voidaan jatkossakin sijoittaa. Lisäksi aineiston
perusteella kehitetyn ennustavan mallin avulla arvioitiin, kuinka laajalle vaikutukset pohja-
eläimistöön ja päällyslieviin mahdollisesti ulottuisivat Kalavaltio- ja Uudenkaupungin hank-
keissa. Tulosten perusteella vaikutukset pohjaeläimistöön ja päällyslieviin ovat yleisesti ottaen
samankaltaiset: mahdolliset vaikutukset näkyvät laitosten välittömässä läheisyydessä, ja tuo-
tantomäärän vaikutus on suurempi suojaisilla, matalilla paikoilla. Päällyslievien a-klorofyllin
määrään vaikuttaa erityisesti veden lämpötila, sijaintipaikan avoimuus, tuotannon suuruus sekä
etäisyys laitokselta. Uusien suunniteltujen laitosten vaikutus päällyslieviin ulottuu 200–800 met-
rin etäisyydelle laitoksesta tuotannon määrästä ja sijainnista riippuen. Pohjaeläinten lajiston
vaihtelua selittää enimmäkseen ympäristöolosuhteet, kuten pohjanlaatu, alusveden lämpötila
ja happipitoisuus. Tulosten perusteella voidaan suositella, että laitokset tulisi sijoittaa avoimille
alueille, jossa alusvesi sekoittuu hyvin ja pohjan happitilanne on hyvä. Tutkimuksen tuloksia
voidaan hyödyntää laitosten sijainninohjauksessa sekä vaikutusarviointien ja velvoitetarkkailun
kehittämisessä.

Asiasanat: Kalankasvatus, vesistövaikutukset, päällyslievät, pohjaeläimet, tilastoanalyysi

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Aineisto ja menetelmät	6
2.1. Kalankasvatuslaitosten valinta ja yleiskuvaus	6
2.1.1. Ympäristötarkkailunäytteet ja näytteenottomenetelmät	8
2.2. Tilastolliset menetelmät	8
3. Tulokset.....	10
3.1. Aineiston visualisointi.....	10
3.2. Vaikutukset päällyksleiviin	12
3.2.1. Aineiston alustava tarkastelu.....	12
3.2.2. Ympäristötekijöiden vaikutukset.....	18
3.2.3. Tilastollinen malli päällykslevävaikutuksen arviointiin.....	21
3.3. Vaikutukset pohjaeläimistöön.....	25
3.3.1. Aineiston alustava analyysi.....	25
3.3.2. Ympäristötekijöiden vaikutukset.....	31
3.3.3. Tilastollinen malli BQI-vaikutuksen arviointiin.....	35
3.4. Vaikutusarviot suunnitteluvaiheen laitoksille.....	36
4. Yhteenveto ja suositukset	42
Viitteet.....	44
Liitteet	45
Liite 1. Velvoitetarkkailuaineistot koottuna ja visualisoituina	45

1. Johdanto

Kalankasvatuksen vaikutuksista ympäröivän veden tilaan on veloitettarkkailuhavaintoja, ja malleja vaikutusten arviointiin. Vaikutusarvioiden tarkentamiseksi vesiviljelyn innovaatio-ohjelmassa on tehty erilaisia kalankasvatuksen ympäristövaikutuksiin liittyviä tutkimuksia. Tavoitteena on, että laitokset voitaisiin sijoittaa oikein ja tuotantomäärä asettaa kestäväälle tasolle (Maa- ja metsätalousministeriö 2014).

Hankkeiden lupaharkintaa ohjaavassa vesipuidedirektiivissä on säädetty, että hyvän ekologisen tilan saavuttaminen ei saa vaarantua kalankasvatuksen tai minkään muun luvitettavan toiminnan takia (2000/60/EY). Lisäksi EU-tuomioistuin on linjannut, että ympäristötavoitteet ovat oikeudellisesti sitovia (nk. Weser-tuomio C-461/13). Tämän vuoksi vaikutusarvioinnissa pyritään selvittämään, miten kalankasvatus vaikuttaa vesien- ja merenhoitolain (1299/2004) mukaiseen ympäristötavoitteiden saavuttamiseen.

Kalankasvatustiloksen ympäristölupien yhteydessä laitoksille laaditaan ympäristövaikutusten seurantaohjelma, jossa seurataan vesialueen vedenlaatua ja erilaisia biologisia muuttujia, kuten päällyslievien muodostumista sekä pohjaeläimistöä, joka on yksi rannikon ekologian tilaa kuvaavista biologisista laatuindikaattoreista.

Pohjaeläimet ovat melko paikallisia ja pitkäikäisiä ja integroivat siten ympäristön pidemmän ajan muutoksia. Kalankasvatuksen merkittävin vaikutus pohjaeläinyhteisöihin johtuu eloperäisen orgaanisen aineen kertymisestä sedimenttiin. Lievästi rehevissä oloissa pohjaeläinyhteisön tuotanto lisääntyy, mikä näkyy biomassan lisäyksenä. Kun rehevöityminen etenee, pohjaeläinyhteisön lajikoostumus muuttuu. Suurikokoiset ja pitkäikäiset herkäät lajit vähenevät ja yhteisö koostuu lähinnä pienikokoisista opportunistisista lajeista. Tämä näkyy biomassan pienenemisenä. Pitkälle edenneessä rehevöitymistilassa orgaanisen aineen hajoamisprosessi kuluttaa pohjanläheisen veden hapen ja happivajeen edetessä pohjaeläinyhteisö katoaa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli arvioida, miten kalankasvatus yhdessä ympäristötekijöiden kanssa vaikuttaa pohjaeläimistöön ja päällyslievästäön muodostumiseen laitoksen läheisyydessä. Arviointeja varten koottiin laaja havaintoaineisto Ahvenanmaan kalankasvatustilosten veloitettarkkailuaineistoista. Aineistoon sovitettiin yksinkertaisia tilastollisia malleja, joita testattiin kahden suunnitteilla olevan ja olosuhteiltaan erilaisen kasvatustilan ympäristövaikutusten arvioinnissa Kustavin Isokarin länsipuolelle sekä Uudenkaupungin välisaaristossa.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Kalankasvatuslaitosten valinta ja yleiskuvaus

Ahvenanmaan laitosten tuotantomääriä ja vaikutuksia ympäröivän vesialueen päällysteisiin ja pohjaeläimiin on seurattu ympäristöluvista annettujen määräysten mukaisesti. Laitosten seurantaraportteihin on koottu vuosittain tiedot ympäristön tilaa kuvaavista ja niiden vaikuttavista muuttujista. Tällä hetkellä toiminnassa on 26 laitosta, ja vanhoja, jo suljettuja laitoksia on ollut 61. Tätä tutkimusta varten poimittiin tiedot 14 laitoksen velvoitetarkkailuaineistoista (Kuva 1). Poiminnassa pyrittiin ortogonaaliseen asetelmaan ts. kokoamaan aineisto laitoksista, joissa on tuotantotason ja ympäristökijöiden ääriarvojen kombinaatiot mahdollisimman kattavasti edustettuna.



Kuva 1. Ahvenanmaan kalankasvatuslaitosten sijainti. Tässä tarkastelussa mukana olevat laitokset on nimetty ja merkattu vihreällä symbolilla.

Kunkin laitoksen osalta selvitettiin laitosta ympäröivän merialueen ympäristöolosuhteet sekä tuotantomäärä eli laitoksen lisäkasvu ja kumulatiivinen lisäkasvu (Taulukko 1). Kumulatiivinen lisäkasvu (kg) on yleensä laskettu laitoksen perustamisvuodesta alkaen. Vanhimmat aineistossa olevat laitokset on perustettu vuonna 1993, mutta tuotantotietoja on vasta vuodesta 1997 lähtien. Laitosten ja havaintopisteiden avoimuusluokka määritettiin Velmun pinnanaaltoekspositiomallin avulla (Isæus & Rygg 2005). Avoimuusluku on jaettu edelleen 7 luokkaan: 1 = 0–1200 (erittäin suojainen), 2 = 1201–4000, 3 = 4001–5000, 4 = 5001–10 000 (suojainen), 5 = 10001–30000, 6 = 30001–100000, 7 = 100001–2000000 (erittäin avoin). Havaintopisteen etäisyys kasvattamosta (m) mitattiin Arc Mapin mittausominnolla. Pohjan laatu määritetään 3-portaisella asteikolla: 1 = eroosiopohja (org. aineksen pitoisuus < 4 %), 2 = kulkeutuva pohjatyppi (org. aineksen pitoisuus 4–10 %), 3 = kasautuva pohjatyppi (org. aineksen pitoisuus > 10 %).

Taulukko 1. Tarkasteluun valitut laitokset ja niiden tuotantomäärät (minimi, maksimi ja keskiarvo), tuotantovuodet, avoimuus, pohjan laatu ja paikan syvyys.

	Min tuotanto (kg)	Min tuotanto-vuosi	Max tuotanto (kg)	Max tuotanto-vuosi	Keski-tuotanto (kg)	Tuotanto-vuodet	Avoim. luokka	Avoim. luku	Pohjan laatu	Syv. (m)
Bergö	35 536	2002	113 223	2014	70 966	1997–2015	2	2954	3	9
Björkö (Killingskär)	123 900	2011	212 000	2019	164 199	2006–2019	4	6 355	3	9
Jurmo	3 329	2007	149 651	2004	105 460	1997–2012	4	5484	2	7
Klåvskär	93 682	2002	546 222	2017	312 215	1997–2019	6	63 473	2	11
Lejgrund (+Bjämnäs)	0	2000,2005,2011	510 000	2014	250 197	1997–2019	6	30 017	2–1	20
Stenkil	5 646	2018	245 112	2005	132 702	1997–2019	4	5 211	3	4
Storfjärden	11 614	2016	120 500	2015	101 897	1997–2019	5	12 164	3	11
Vibbo Lax (Vårdö by)	50300/0	2006,2019	77 750	2014	64 135	1997–2019	5	13 586	2	10
Ånholm (Brunnsöfjärden)	58092/0	2003,2016	160 000	2008	103 013	1997–2019	4	6 528	3	7
Demantskär	159 467	2002	540 274	2017	358 820	1997–2019	5	26 031	1–2	10
Föglöfjärden (Flisö yttre)	132 485	2003	636 969	2014	410 180	1997–2019	6	29 567	1–2	12
Märrklobb N (+Rönnskär)	374 500	2009	525 000	2017	436 806	2009–2019	6	63 560	2–3	21
Märrklobb S (+Rönnskär)	419 000	2010	525 000	2017	436 806	2010–2019	6	35 266	2–3	20
Årtholm (Jurmo Ny)	100 000	2013	186 000	2019	156 200	2013–2019	6	59 087	1	19

2.1.1. Ympäristötarkkailunäytteet ja näytteenottomenetelmät

Ympäristötarkkailunäytteet otetaan vuosittain elo- ja syyskuussa. Kokonaisravinnanäytteet ovat pintakerroksesta v. 2007 asti, mutta tarkkaa näytteenottosyvyyttä ei ole joka vuosi merkitty. Kokonaisfosforipitoisuus (TotP, µg/l) määritetään spektrofotometrillä (metodi: ISO 15681/SS 028127 mod. Naturvårdsverket (1999): Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Kust och hav, rapport 4914). Kokonaistyypipitoisuus (TotN, µg/l) puolestaan määritetään Traacsin analysaattorilla suodattamattomasta näytteestä (metodi: SS13355 mod/SS 028131 mod. Naturvårdsverket (1999)). Veden lämpötila (temp, °C) mitataan lämpötila-happisondilla (LDO) tai Hg-lämpömittarilla. Mittauslaite lasketaan veteen Hach HQd 30 -flexin avulla. Happipitoisuus (O₂, mg/l) mitataan lämpötila-happisondilla (LDO) tai O₂-DL-happisensorilla (metodi: SS-EN 25813) ja mittauslaite lasketaan veteen Hach HQd 30 -flexillä. Naturvårdsverket (1999), Naturvårdsverket (2007): Status, potential och kvalitetskrav för kustvatten och vatten i övergångszon, HVMFS (2013).

Päällyslävä-, eli perifytonnäytteet (Mg/m²) otetaan pitämällä Whatman GF/C-lasikuitufiltteriä vedessä 14 vuorokautta. Laboratoriossa perifytonnäytteelle tehdään a-klorofyllianalyysi SFS 5772 Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:n laboratorion käyttämän menetelmän mukaisesti. Saadun datan arviointi tehdään Naturvatten (2010) mukaan.

Pohjaeläimistön tilaa kuvaavaa BQI-indeksiä varten otetaan näytteet Ekman-Birge -pohjaeläinnäytteenottimella tai van Veen -noutimella merenpohjasta ja seulotaan ne 0,5 mm siivilällä. Näytteistä lasketaan pohjaeläinlajiston lajikohtainen yksilötiheys. BQI on multimetrinen indeksi, joka huomioi herkkien ja toleranttien lajien tiheyksien keskinäiset suhteet, lajirunsauden ja yksilötiheyden. BQI on todettu reagoivan rehevöitymispaineelle ja ilmentää siten kalankasvatuksen aiheuttavaa vaikutusta merenpohjan tilaan. BQI:lle hyvän ekologisen tilan raja-arvo on Selkämerellä ja Ahvenanmerellä asetettu arvoksi 4 (<https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/State-of-the-soft-bottom-macrofauna-community-HELCOM-core-indicator-2018.pdf>).

Pohjaeläimistön biomassa (märkäpaino g/m²) määritetään samoista pohjaeläinnäytteistä, useimmiten lajikohtaisesti. Tässä työssä on käytetty pohjaeläinyhteisön kokonaisbiomassaa.

2.2. Tilastolliset menetelmät

Aineiston tilastollisen tarkastelun tavoitteena on saada selkeämpi kuva erityyppisten ja eritaivoiin sijoitettujen laitosten vaikutuksista lähialueen vesiekologiaan, eli tässä pohjaeläimistöön ja päällysläviin. Kaikkien laitosten aineistojen yhdistäminen samaan tarkasteluun mahdollistaa sen, että tarkasteltavien muuttujien vaihteluväli kattaa paremmin erilaiset ympäristöolosuhteet ja tilanteet. Toisaalta, koska aineistojen yhdistäminen myös lisää kokonaisvaihtelua, on tärkeää löytää ne tekijät, jotka selittävät vaihtelua eniten.

Tilastollisen, empiirisen analyysin lähtökohta on aineiston visuaalinen tarkastelu. Näin saadaan alustava kuva muuttujien välisistä yhteyksistä, jakaumista ja mahdollisista poikkeavista tai virheellisistä arvoista sekä muunnosten tarpeellisuudesta. Jatkuvien muuttujien osalta kuvataan muuttujien jakautuneisuus pistekuvina ja histogrammeina sekä parittaiset (lineaariset) korrelaatiot muiden muuttujien kanssa pistekuvina ja Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla. Vaste-muuttujien jakaumia luokitteluasteikon muuttujien suhteen tarkastellaan boxplot-kuvien avulla.

Tilastollisessa tarkastelussa mielenkiinnon kohteena ja selitettävänä muuttujana käytetään absoluuttisen arvon lisäksi vaikutuksen suuruutta. Vaikutuksen suuruus päällyslävästön ja pohjaeläimistön määrään sekä pohjaeläimistön BQI-indeksiin laskettiin tarkkailupisteen ja

vertailupisteen havaintoarvojen erotuksena. BQI-indeksin osalta negatiivinen vaikutus tarkoittaa köyhempää lajistoa tarkkailupisteellä ja positiivinen vaikutuskeroin rikkaampaa lajistoa.

Päällyslävien α -klorofyllin sekä pohjaeläimistön BQI:n ja kokonaisbiomassan ja niiden vaikutuksen vaihtelua selittäviä tekijöitä haarukoitiin useilla eri menetelmillä, kuten pääkomponentti-analyysillä, regressiopiilla, varianssianalyysillä ja askeltavalla regressioanalyysillä. Lisäksi käytettiin random forest -tyyppistä päätöspuumallinnusta, jonka avulla pystytään pienestäkin havaintoaineistosta tunnistamaan vaihteluun eniten vaikuttavat tekijät. Vaikka mahdollisten selittävien muuttujien joukko on valittu asiantuntija-arviona ja tekijöiden määrää on siten saatu rajattua jo etukäteen, erilaisia mahdollisia ennustemalleja jää silti lukuisia. Vesistövaikutuksia ennustavan mallin valintaan käytetään sekä asiantuntija-arviota että nk. mallien keskiarvoistamista. Mallien keskiarvoistamisessa paras malli lasketaan eri mallivaihtoehtojen ennusteiden painotettuna keskiarvona.

Aineiston tilastolliseen analyysiin käytettiin SAS-ohjelmaan kuuluvaa JMP-data-analyysityökalua sekä R-ohjelmointikieltä. Aineiston kuvailuun käytettiin mm. R:n paketteja *ggplot2* ja *lattice*. Random forest -analyysiin käytettiin paketteja *RandomForest* ja *pdp*. Ennustemallin haarukointiin käytettiin *MuMIn*-pakettia. Tässä raportissa on esitetty vain johtopäätösten kannalta oleelliset tilastotarkastelut ja kuvat.

3. Tulokset

3.1. Aineiston visualisointi

Kaikki yksittäiset havainnot on esitetty Liitteessä 1, jossa jokaiselle laitokselle on tehty erikseen laitoskohtaiset perifyton- ja BQI-kuvaajat (Liite 1. Velvoitetarkkailuaineistot koottuna ja visualisoituina). Perifytonkuivissa on esitetty näytteenottopisteiden perifytonin a-klorofyllipitoisuus ($\mu\text{g/l}$) ja laitoksen lisäkasvu (kg). Kuvaajissa näkyvät lisäksi näytteenottopisteiden pintalämpötilat. BQI-kuvaajissa on esitetty näytteenottopisteiden BQI-indeksi sekä laitoksen lisäkasvu ja kumulatiivinen lisäkasvu. Lisäksi BQI-kuvaajissa näkyvät näytteenottopisteiden happipitoisuus (mg/l) sekä pinta- ja pohjalämpötilat ($^{\circ}\text{C}$). Kolmen viimeisen muuttujan symbolit on värikooditettu. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa pohjaeläinnäytteiden kanssa.

Kuvien perusteella voidaan karkeasti sanoa, että vuosien välinen vaihtelu on usein suurta ja päällyslievien osalta huippuvuosi näyttäisi olleen vuonna 2014. Seurantapaikoilla perifytonin määrä näyttäisi olevan usein korkeampi verrattuna vertailupaikkojen määrään, erityisesti kun veden lämpötila on yli 20°C . Myös tuotannon vuosittainen vaihtelu heijastuu jossain määrin perifytonin määrään. Pohjaeläimistön tilaa kuvaavaa BQI-indeksi puolestaan näyttää jossain määrin heikentyvän, kun tuotanto jatkuu pidempään tai kun happitilanne heikkenee.

Yhdistettyä aineistoa tarkasteltaessa havaitaan, että vuosittainen (luonnollinen) päällyslievien ja BQI:n vaihtelu referenssi- ja tarkkailupisteillä on samankaltaista (Kuva 2). Myöhempinä vuosina ero referenssi- ja tarkkailupisteiden keskimääräisissä päällyslievä- ja BQI-arvoissa vaikuttaisi hieman kaventuneen. Referenssipajoilla vuonna 2007 BQI oli lähes 7,5, kun se vuonna 2016 oli keskimäärin 5. Tosin vuoden 2007 jakaumat perustuvat vain yhden laitoksen mittauksiin. Aineiston vaihtelu ja aukkoisuus näkyy selkeästi ja perifyton- ja BQI-mittaukset on tehty usein eri vuosina, eikä mm. pitkän ajan muutoksista voi tehdä johtopäätöksiä suuntaan tai toiseen.



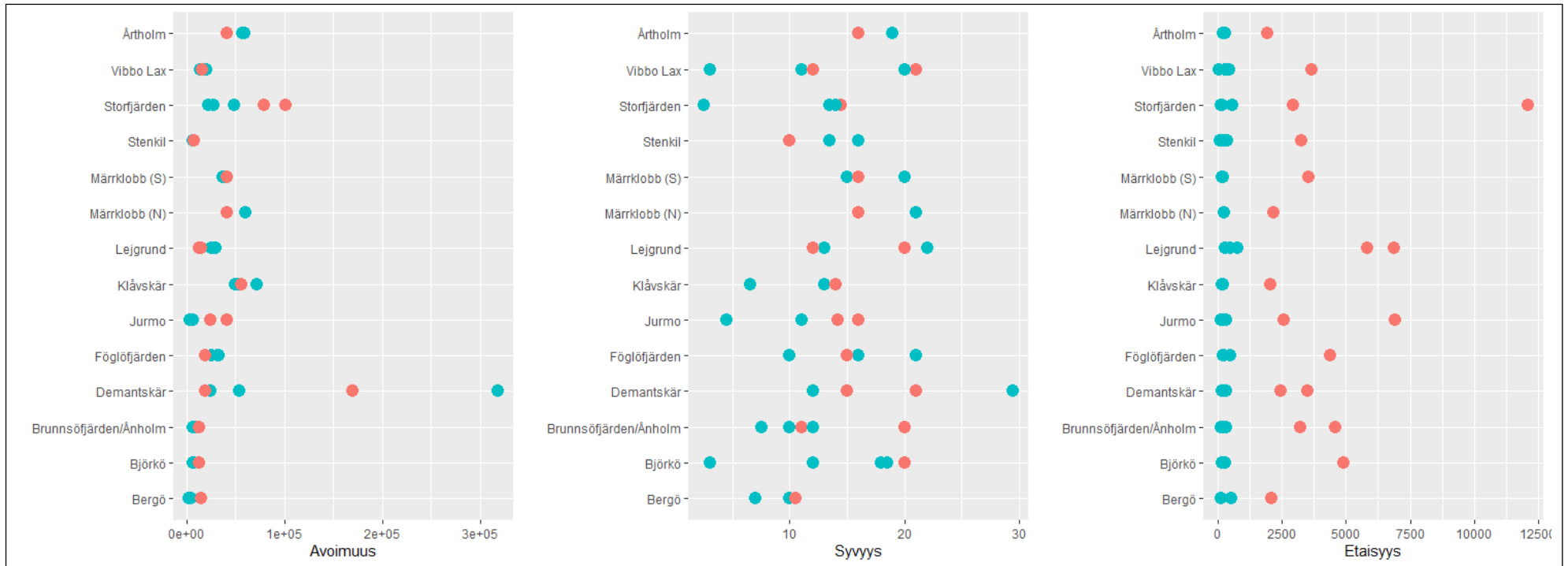
Kuva 2. Perifytonklorofyllin ja BQI:n vaihtelu vuosittain referenssi- ja tarkkailupaikoilla.

3.2. Vaikutukset päällyksileviin

3.2.1. Aineiston alustava tarkastelu

Laitosten tarkkailu- ja referenssipisteiden ympäristöolosuhteet vaihtelevat jonkin verran muuttujan mukaan (Kuva 3). Vesialueen avoimuusluku referenssi- ja tarkkailupisteillä on suuruusluokaltaan pääosin samansuuntainen. Syvyydet vaihtelevat jonkin verran tarkkailu- ja referenssipäikoilla. Seurantapisteen etäisyys laitoksesta on luonnollisesti pienempi tarkkailupisteillä.

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2021



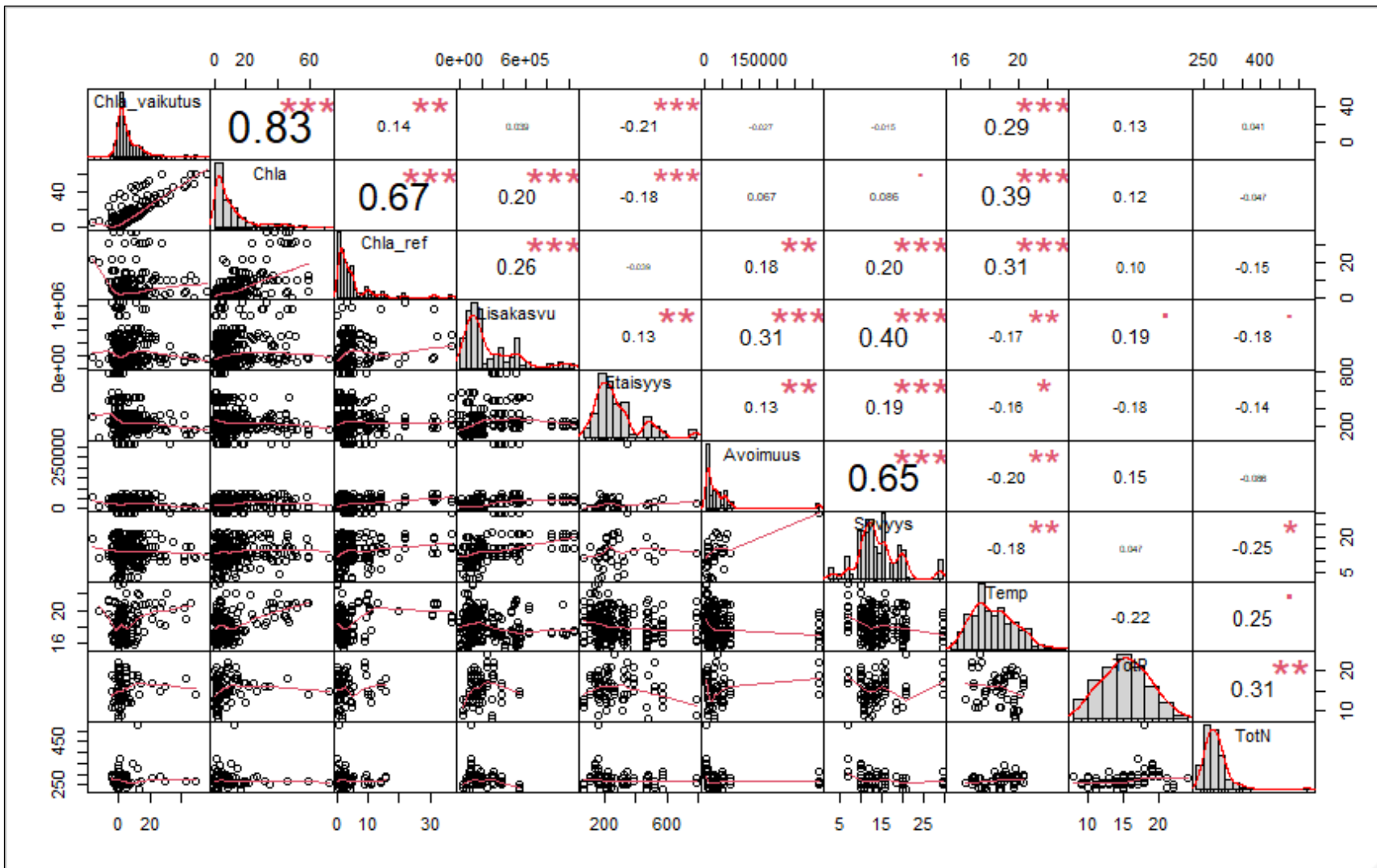
Kuva 3. Kalankasvatustiltojen perifytonseurannan tarkkailu- (siniset pallot) ja referenssipisteiden (punaiset) avoimuusluokka, syvyys ja etäisyys.

Ympäristötarkkailuhavaintojen vaihtelu laitoksittain ja seurantapisteittäin on esitetty kuvassa 4. Perifytonklorofyllin referenssipisteiden arvot näyttäisivät olevan useimmilla laitoksilla tarkkailupisteitä pienemmät. Lämpötila ei vaihtele havaintopaikoittain tai laitoksittain kovin paljon. Lämpötilan vaihteluväli on noin 15 asteesta reiluun 23 asteeseen. Kokonaisravinteita on mitattu selvästi vähemmän kuin perifytonia ja lämpötilaa, Märklobissa ja Årtholmissa ei lainkaan. Selkeää eroa referenssi- ja tarkkailupisteiden osalta ei näiden kuvien perusteella ole. Jatkoanalyysissä on huomioitava ravinnehavaintojen vähyys tai kokonaan puuttuminen.



Kuva 4. Päällyslievien, veden lämpötilan ja kokonaisravinteiden pistekuvat laitoksittain. Referenssipisteiden havainnot punaisella ja tarkkailupisteet sinisellä.

Yksittäisten muuttujien jakautumista sekä kahden muuttujan välisiä yhteyksiä voidaan tarkastella yhdistetyn jakauma-korrelaatiokuvan avulla. Näin saadaan viitteitä siitä, ovatko jakaumat normaalisia ja ovatko yhteydet lineaarisia. Lisäksi saadaan arvio lineaarisen korrelaation suuruudesta. Näitä tietoja voidaan käyttää hyväksi, kun rakennetaan tilastollista mallia vastemuuttujan ja selittäjien välille. Kuvassa diagonaalilla on yksittäisten muuttujien histogrammit, joista näkee havaintojen jakaumat. Lähes kaikki muuttujat, lukuun ottamatta lisäkasvu ja avoimuutta, ovat kutakuinkin normaalisti jakautuneita. Kahden muuttujan väliset pistekuvat ja niihin sijoitettu käyrä ovat yladiagonaalilla. Pisteparvista nähdään selvästi, että aineistossa on paljon vaihtelua, eikä lineaarinen yhteys ole selvä monessakaan tapauksessa (Kuva 5). Aladiagonaalilla ovat parittaiset korrelaatiot. Korrelaation tekstin suuruus on verrannollinen korrelaation suuruuteen ja tilastollisen merkitsevyyden suuruus on merkattu tähdellä. Perifytonvaikutus näyttäisi pienentyvän merkitsevästi etäisyyden kasvaessa ja suurentuvan lämpötilan kasvaessa. Muiden muuttujien osalta korrelaatiot ovat pieniä, mutta suunta on odotetun lainen: lisäkasvu ja ravinteet korreloivat positiivisesti ja avoimuus ja syvyys negatiivisesti. Avoimuus, syvyys ja lisäkasvu ovat myös keskenään korreloituneita: eli suuren tuotannon laitokset ovat useammin avoimilla ja syvillä paikoilla. Kokonaisravinteet korreloivat myös jonkin verran keskenään.

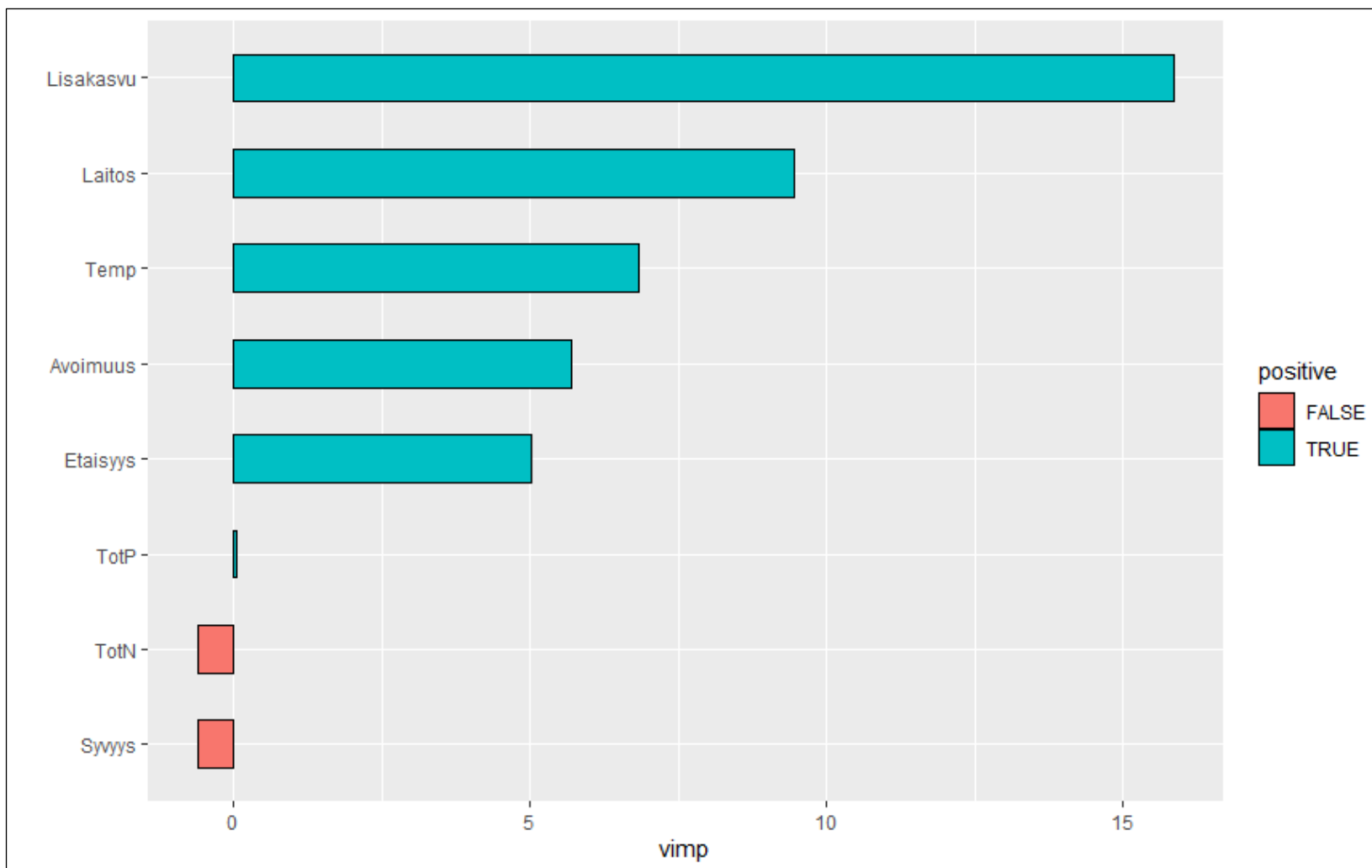


Kuva 5. Päälysläväaineiston muuttujien histogrammit (diagonaalilla), parittaiset korrelaatiot ja niiden merkitys (diagonaalin alapuolella) sekä pisteparit ja niihin sovitettu vapaasti estimoituva malli (diagonaalin yläpuolella). *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$.

3.2.2. Ympäristötekijöiden vaikutukset

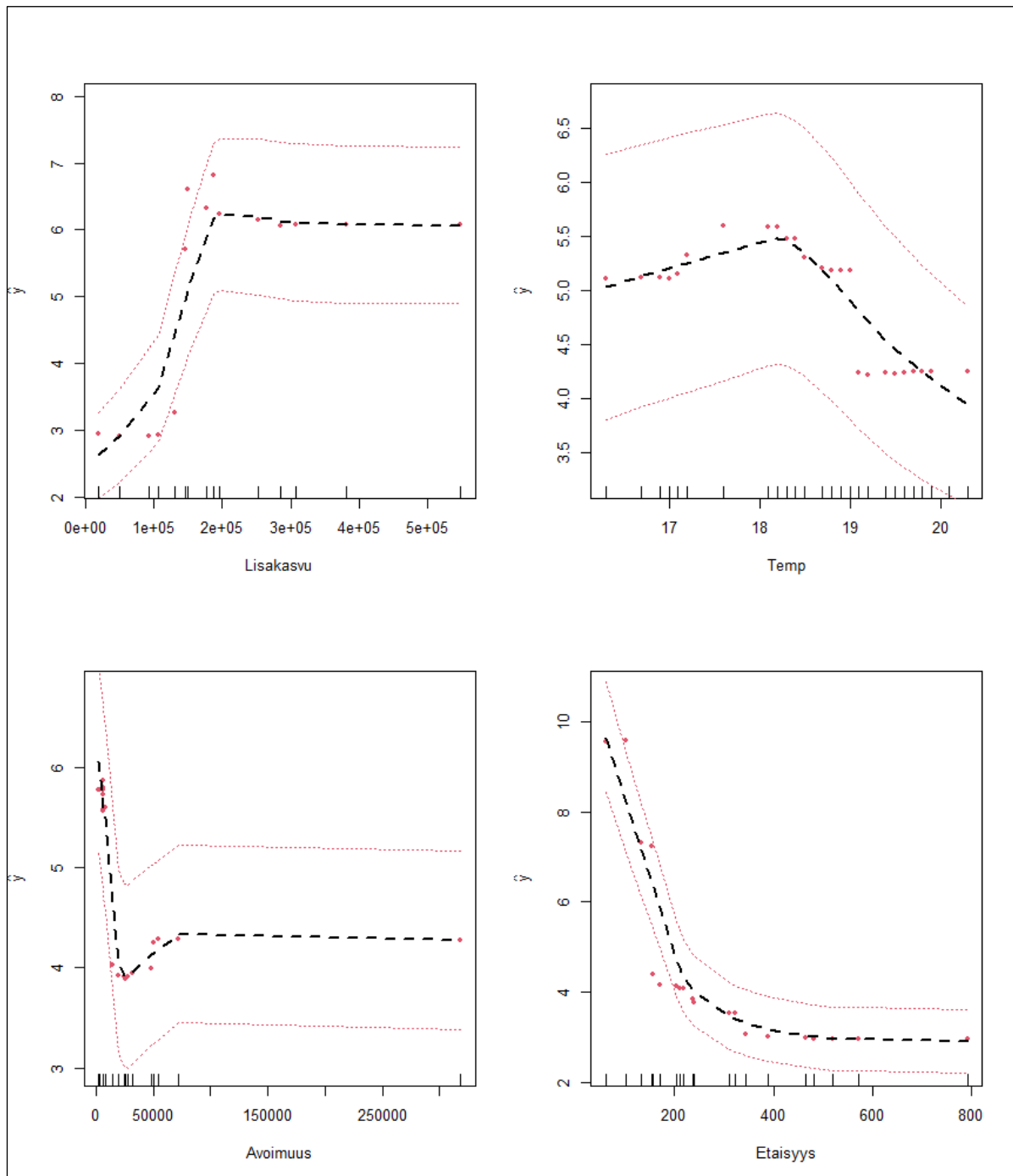
Alustavan tarkastelun perusteella voidaan olettaa, että ympäristötekijöillä näyttäisi olevan yhteys päällyslievien *a*-klorofyllivaikutukseen. Jotta eri muuttujien vaikutusta voidaan paremmin tarkastella, aineistoon sovitettiin useita regressiomalleja Random forest -menetelmällä ja simuloitiin sekä yksittäisten muuttujien vaikutusta, että kahden muuttujan samanaikaista vaikutusta päällyslievien *a*-klorofyllivaikutuksen suuruuteen.

Tarkastelun perusteella nähdään, että lisäkasvun merkitys *a*-klorofyllivaikutuksen keskimääräiseen arvoon on suurin, sen jälkeen laitosvaikutus (Kuva 6). Laitosvaikutus sisältää kaikki laitoksen ominaisuuksiin sisältyvät vaihtelun lähteet, eli laitoksen eroavaisuudet selittävät vaihtelua. Osa näistä tekijöistä on mukana tässä tarkastelussa ja voidaan erotella, osa vaihtelusta jää selittämättä. Muiden tekijöiden osalta lämpötila, avoimuus ja mittauspisteen etäisyys nousevat analyysissä tärkeiksi vaihtelua selittäviksi tekijöiksi. Ravinteilla ja mittauspisteen syvyydellä ei joko ole merkitystä tai niiden vaikutusta ei pystytä arvioimaan tämän aineiston perusteella.



Kuva 6. Eri muuttujien merkitys päälyslävästön *a*-klorofyllivaikutuksen suuruuteen *Random Forest* -mallinnuksen perusteella. Kaukana nollaa oleva positiivinen arvo (sininen palkki) kuvaa tekijän suurta merkitystä ennustetarkkuuteen ja negatiivinen (punainen palkki) sitä, että tekijän merkitys on pieni ja satunnaiskohina on suurta.

Edellä kuvattujen tekijöiden vaikutusta päälyslävästövaikutukseen voidaan tarkastella tarkemmin yksitellen. Vaikutus on suurinta, kun tuotantomäärä kasvaa 225 tonniin vuodessa, seuranapisteen etäisyys laitoksesta on alle 400 m, avoimuusluku on alle 25 000 tai kun lämpötila on 18.5 °C (Kuva 7).

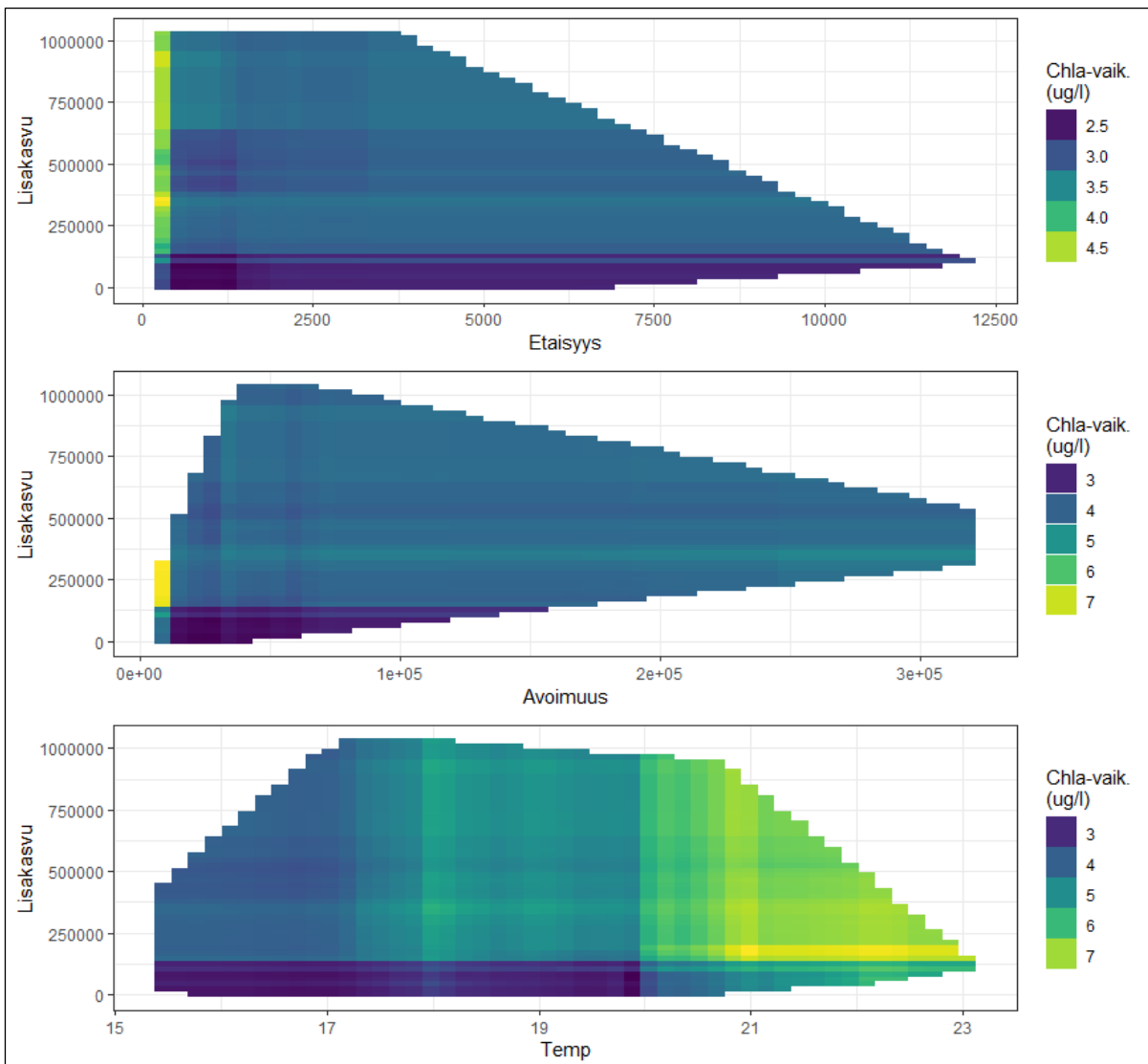


Kuva 7. Yksittäisten muuttujien vaikutus α -klorofyllivaikutuksen suuruuteen muuttujan havaitulla vaihteluvälillä. Havainnot merkattu vaaka-akselille pystyviivoin.

Yksittäisten muuttujien vaikutusten lisäksi tarkastellaan kahden muuttujan vaikutusta samanaikaisesti. Alla olevissa kuvissa ovat lisäkasvun parittaiset vaikutukset muuttujien etäisyys, avoimuus ja lämpötila suhteen (Kuva 8). Kun lisäkasvu on suurta ja mittauspiste on lähellä, α -klorofyllivaikutus on selkeä (suuri arvo). Etäisyyden kasvaessa vaikutus heikkenee. Pienellä

lisäkasvumäärällä etäisyydellä ei ole vaikutusta. Lämpötilalla on myös vaikutusta enemmän suuren tuotannon laitoksilla, pienillä lisäkasvumäärillä lämpötilavaikutus on pieni. Kun mittauspiste on suljetulla alueella (avoimuus on pieni), tuotantomäärän vaikutus on suurempi kuin avoimilla alueilla. Näiden kuvien avulla voidaan haarukoida olosuhteita, jolloin vaikutus olisi pienintä.

Tuloksia ei ole ekstrapoloitu koskemaan havaintoaineiston vaihteluvälin ulkopuolelle, jonka vuoksi kuvissa alueiden reunoilla on tyhjää. Vaikka aineisto ja laitokset valittiin kattamaan mahdollisimman laajasti eri tuotantotasoja ja ympäristöolosuhteita, on jatkossa tärkeää saada lisähavaintoaineistoa entistä kattavammin ja pystyä arvioimaan vaikutukset mahdollisimman laajalla vaihteluvälillä ja erilaisissa tilanteissa.



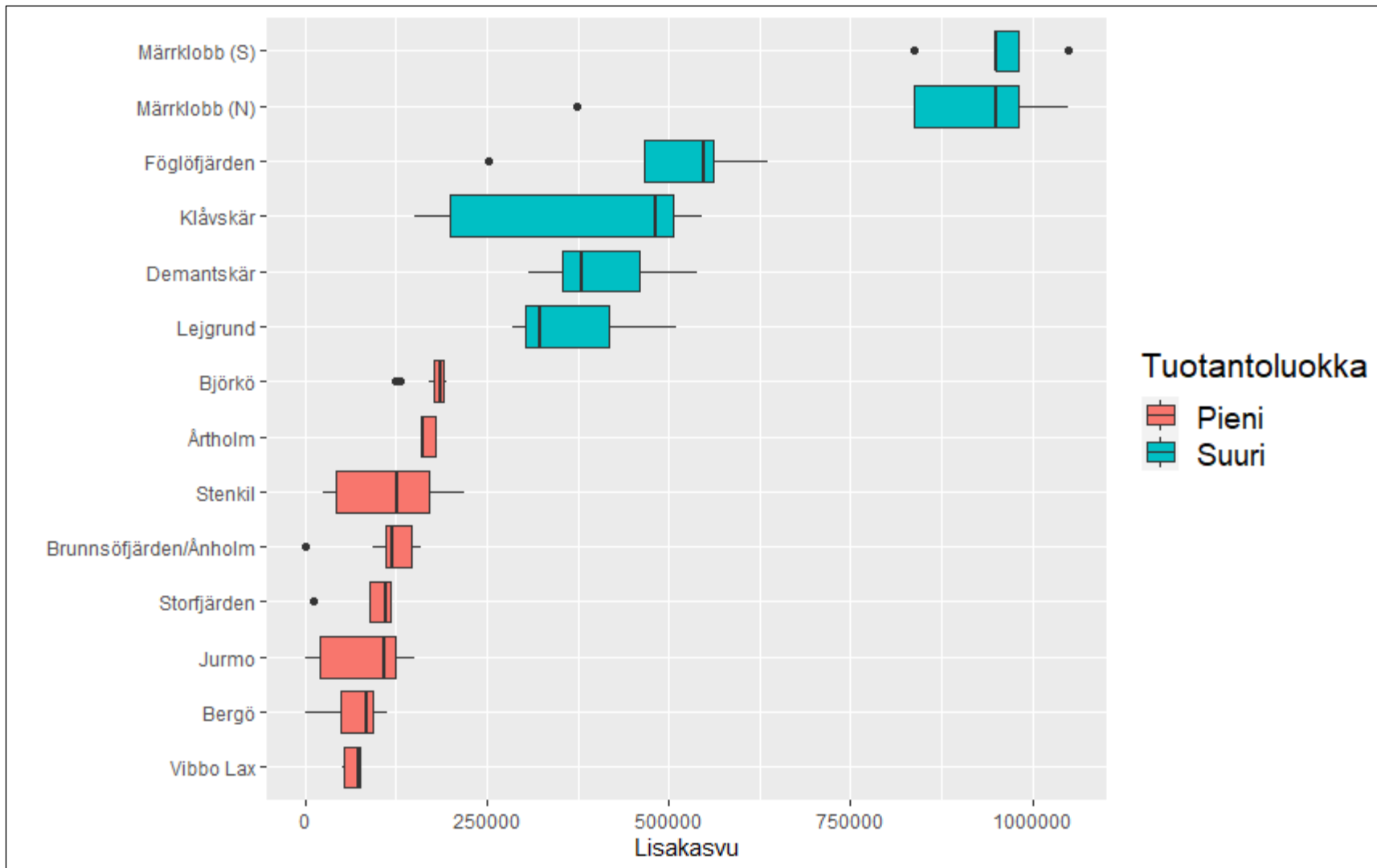
Kuva 8. Kahden muuttujan yhtäaikainen vaikutus a-klorofyllivaikutuksen suuruuteen muuttujien havaitulla vaihteluvälillä.

3.2.3. Tilastollinen malli päällyslävävaikutuksen arviointiin

Aineiston alustavan analyysin ja random forest -tyyppisen haarukoinnin perusteella saatiin parempi kuva päällyslävien a-klorofylliin vaikuttavista tekijöistä. Näiden tietojen perusteella

rakennetaan yksinkertaisia ennustemalleja, joiden avulla erilaisten laitosvaihtoehtojen vaikutusta päällysleiviin voidaan arvioida. Vaikutusta selittäviksi tekijöiksi valitaan ensisijaisesti sellaiset muuttujat, joihin sijainninhjauksella voidaan vaikuttaa. Näitä ovat mm. tuotantomäärä, etäisyys ja vesialueen avoimuus. Ne ympäristötekijät, joihin ei suoranaisesti voida vaikuttaa, mutta jotka selittävät vaihtelua, lisätään malliin, mikäli ne parantavat selitystasetta. Yksittäisten laitosten (satunnais)vaikutusta ei oteta malliin mukaan, vaan laitosvaikutus tulee muiden selittäjien kautta.

Alustavan analyysin perusteella aineisto jaettiin lisäkasvun mukaan kahteen luokkaan, pienen ja suuren tuotannon laitoksiin (kuva 9). Karkeasti ottaen suurilla laitoksilla tuotanto on yli 250 000 kg ja pienillä laitoksilla alle sen.



Kuva 9. Aineiston jakaminen kahteen tuotantoluokkaan keskimääräisen lisäkasvun perusteella.

Molemmille osa-aineistoille sovitettiin oma malli. Mallin yleinen muoto on:

$$y = \alpha + \text{Lisäkasvu} \times \beta_1 + \text{Etäisyys} \times \beta_2 + \text{Avoimuus} \times \beta_3 + \text{Lämpötila} \times \beta_4 + \text{Syvyys} \times \beta_5 + \epsilon,$$

missä y on perifytonvaikutus, α on vakiotermi, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ ja β_5 ovat parametrien estimaatit ja ϵ on mallin jäännöstermi.

Mallitulosten perusteella pienen tuotannon laitoksilla päälyyslevien a -klorofyllivaikutusta selitti eniten lisäkasvun määrä ja veden lämpötila (Taulukko 2). Samoin avoimuus ja syvyys ovat tilastollisesti merkitseviä. Vakiotermi on positiivinen ja tilastollisesti merkitsevä, eli aineistossa tarkkailupisteillä on keskimäärin pienemmät perifytonarvot kuin referenssipisteillä (silloin kun muiden tekijöiden vaikutus on nolla). Kun tarkastellaan suuren tuotannon laitoksia, vaihtelua selittää eniten etäisyys tarkkailupisteestä. Etäisyyden kasvaessa päälyyslevämäärän vaikutus vähenee. Toisin sanoen etäisyys kasvattaa tarkkailu- ja referenssipisteen eroa siten, että laitosta lähellä olevilla tarkkailupisteillä perifytonin a -klorofyllimäärät ovat keskimäärin suurempia kuin referenssipisteillä. Lisäksi lämpötilalla on positiivinen vaikutus, eli lämpötilan kasvaessa päälyyslevämäärä kasvaa, eli veden lämpötilan kasvaessa tarkkailupisteiden a -klorofyllimäärät ovat keskimäärin korkeampia kuin referenssipisteillä. Suuren tuotannon laitoksilla lisäkasvu, avoimuus ja syvyys eivät ole tilastollisesti merkitseviä selittäjiä.

Taulukko 2. Perifytonmallien estimaatit, estimaattien keskivirheet (sulkeissa), merkitsevyystaso (tähdet), havaintomäärä (N) ja selitysaste (R^2). Efektien vertailtavuuden vuoksi mallin muuttujat on skaalattu.

	Malli1: Tuotantoluokka=pieni	Malli2: Tuotantoluokka=suuri
Vakiotermi, α	5.37 (0.87) ***	3.05 (0.58) ***
Lisäkasvu β_1	4.57 (0.90) ***	0.69 (0.78)
Etäisyys β_2	-1.52 (1.02)	-2.17 (0.61) ***
Avoimuus β_3	-2.18 (1.06) *	0.40 (1.31)
Temp β_4	3.12 (0.91) ***	1.58 (0.59) **
Syvyys β_5	2.09 (1.04) *	-0.78 (1.30)
N	105	73
R²	0.31	0.26

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$.

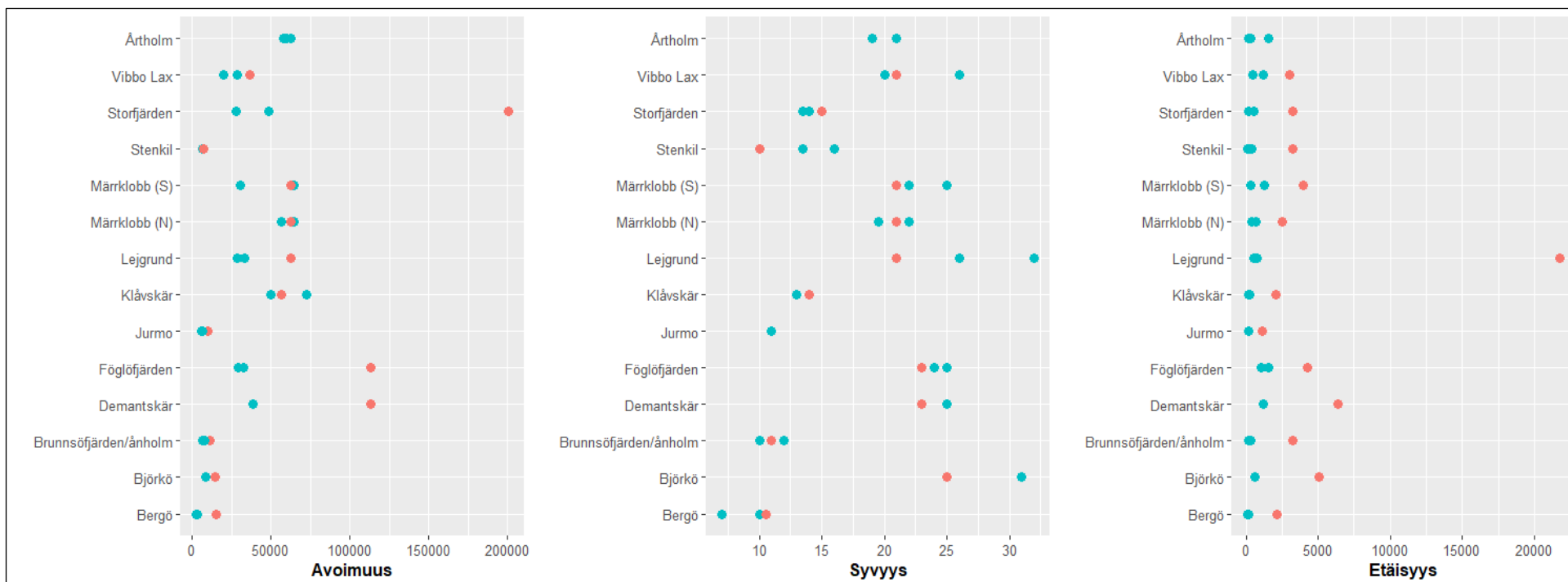
Laitoksen tuotannon suuruudella on siis vaikutusta siihen, mitkä tekijät on otettava suunnittelussa huomioon. Pienet laitokset ovat usein suljetummilla (herkemmillä, matalammilla) vesialueilla, jolloin lisäys tuotantomäärässä vaikuttaa herkemmin. Suuret laitokset sijaitsevat usein avoimilla ja syvillä alueilla, jolloin tarkkailupisteen etäisyys vaikuttaa tuloksiin. Näin ollen erityisesti suurten laitosten seurantapisteen etäisyyttä laitoksesta tulisi arvioida tarkemmin.

3.3. Vaikutukset pohjaeläimistöön

3.3.1. Aineiston alustava analyysi

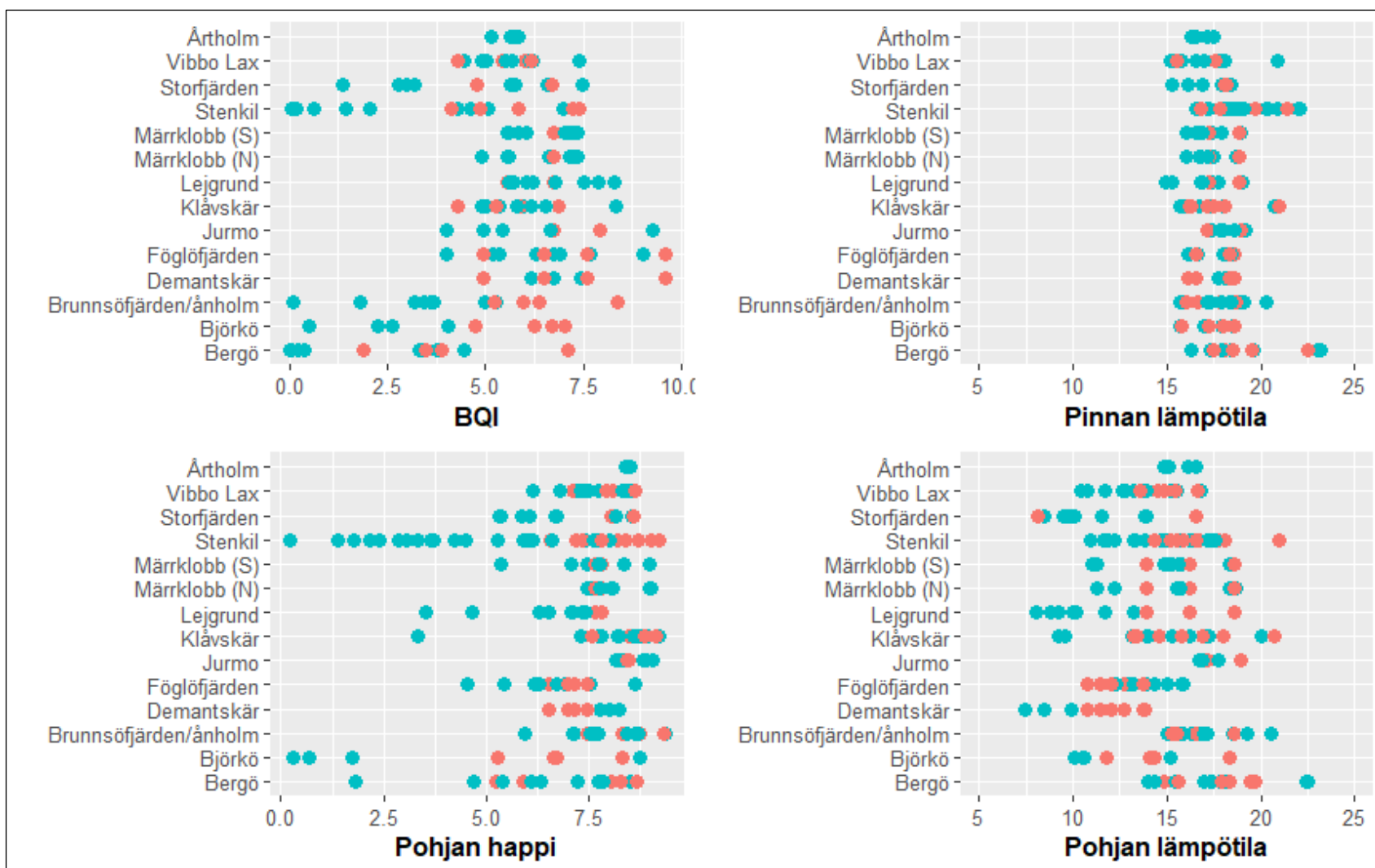
Pohjaeläinten osalta tarkasteltiin vaikutuksia lajiston monimuotoisuutta kuvastavaan BQI-indeksiin ja pohjaeläinlajiston kokonaisbiomassaan (BQI_e, Biom_e). Pohjaeläinmittaukset on tehty eri havaintopaikoista kuin päällyslämmittämismittaukset. Kuvassa 10 on esitetty tarkkailu- ja referenssipisteiden avoimuus, syvyys ja etäisyys laitoksesta. Avoimuusluvussa on jonkin verran vaihtelua tarkkailu- ja referenssipisteiden osalta s.e referenssipisteet ovat useammin avoimemilla vesialueilla. Etäisyys laitoksesta tarkkailupisteillä vaihtelee sadasta metristä reiluun kilometriin ja referenssipisteillä reilusta kilometristä jopa 20 kilometriin.

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2021



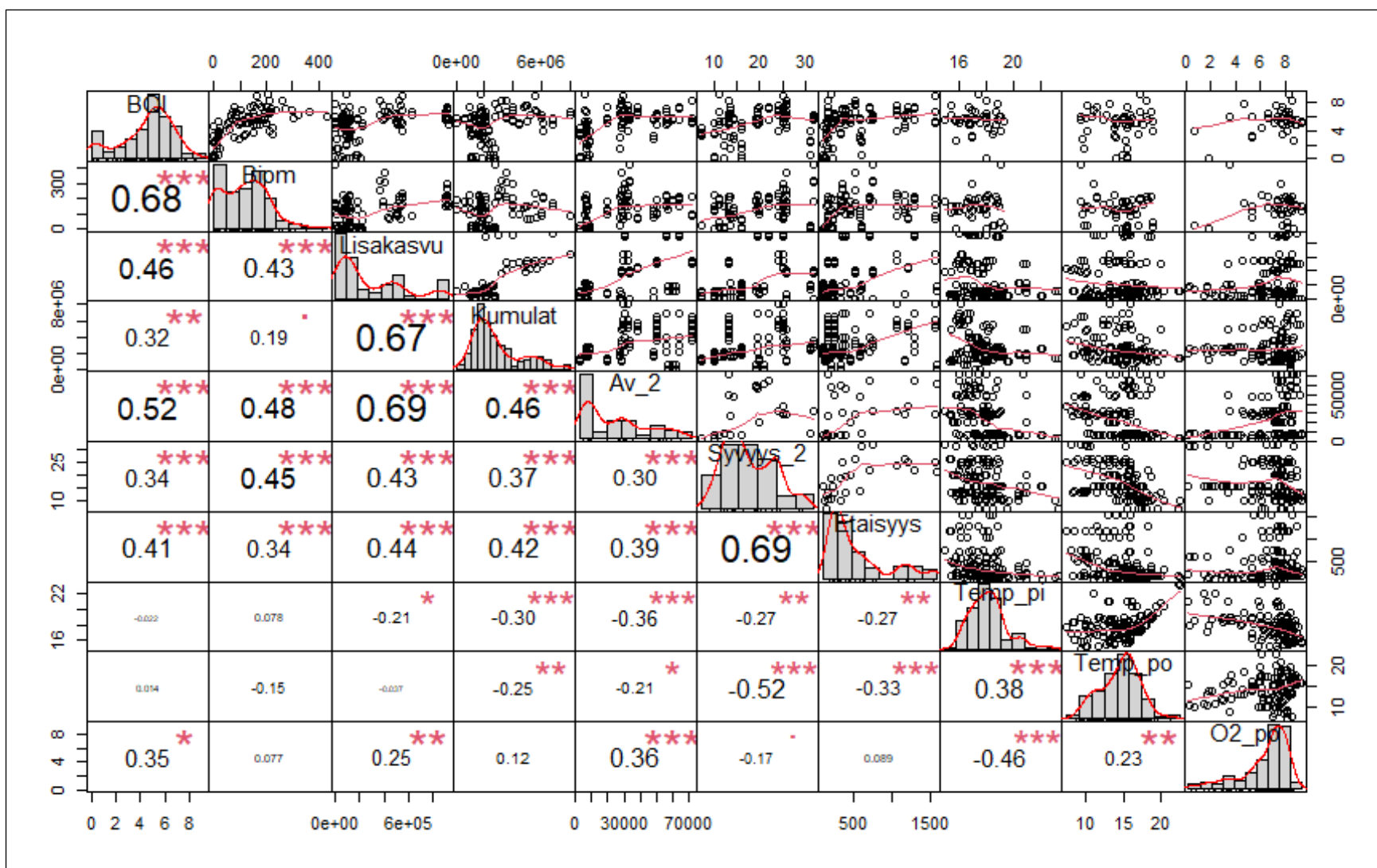
Kuva 10. Kalankasvatuslaitosten pohjäläinseurannan tarkkailu- (siniset pallot) ja referenssipisteiden (punaiset) avoimuusluokka, syvyys ja etäisyys.

Pohjaeläinaineiston yleiskuva nähdään pisteparvikuvista (Kuva 11). Havainnot ovat jakautuneet verrattain tasaisesti eikä poikkeavia arvoja näy. Biomassa- ja BQI-vaikutusta mahdollisesti selittävät tekijät ovat tuotannon määrä (lisäkasvu ja kumulatiivinen kasvu), laitoksen avoimuus, syvyys ja etäisyys, sekä veden lämpötila pohjalla ja pinnalla sekä pohjan happipitoisuus. BQI on keskimäärin pienempää tarkkailupisteillä kuin referenssipisteillä. Keskimäärin näyttäisi siltä, että pohjan happiolot ovat hieman paremmat referenssipisteillä, mutta muuten ympäristöolosuhteissa ei ole suuria eroavaisuuksia.



Kuva 11. BQI:n, pinta- ja pohjaveden lämpötilan ja pohjan happipitoisuuden vaihtelu laitoksittain. Referenssipisteen havainnot punaisella ja tarkkailupisteet sinisellä.

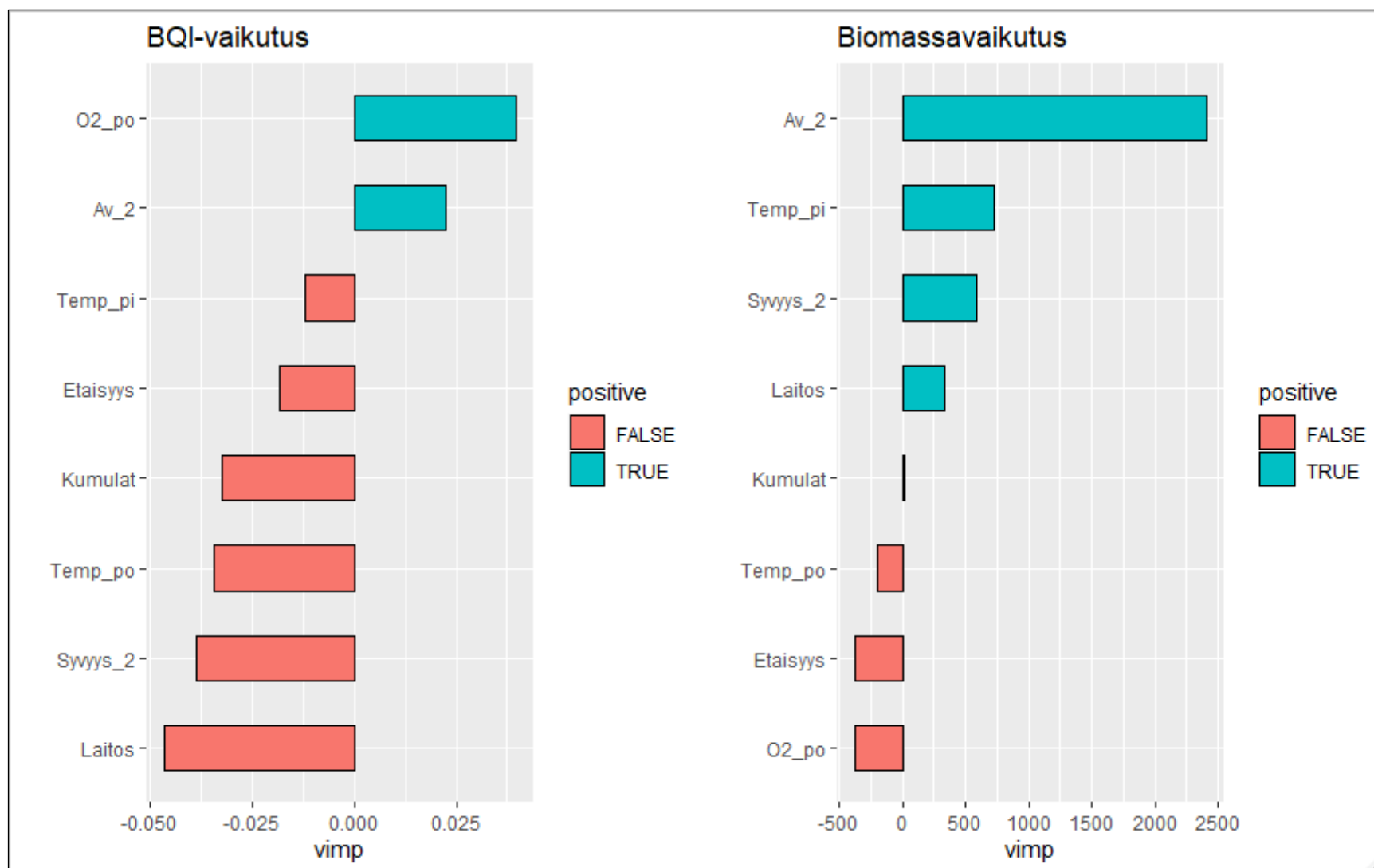
Muuttujien väliset korrelaatiot ja jakaumat nähdään kuvasta 12. BQI- ja biomassassa korreloivat keskenään (0.68). Molemmat korreloivat lisäksi tuotannon, avoimuuden, etäisyyden ja syvyyden kanssa. BQI korreloi myös pohjan happipitoisuuden kanssa (0.35). Laitoksiin liittyvät muuttajat, kuten vesialueen avoimuus ja lisäkasvu, korreloivat keskenään (0.69), samoin avoimuus ja syvyys (0.69). Tämä kuvastaa sitä, että suuren tuotannon laitokset ovat avoimilla ja syvillä vesillä. Pohjan ja pinnan lämpötilat korreloivat keskenään ja pisteparvikuvasta nähdään, että korrelaatio on voimakkaampaa, kun pohjan lämpötila kasvaa lähelle 20 astetta. Pohjan lämpötilalla ja happipitoisuudella on myös yhteys. Luonnollisesti myös pohjan lämpötila ja syvyys korreloivat: syvyyden kasvaessa pohjaveden lämpötila laskee. Lämpötila- ja happiolosuhteet kuvastavat veden vesipatsaan vertikaalista sekoittumista ja kerrostuneisuutta. Monen muuttujan kohdalla yhteydessä on havaittavissa kynnyskohta, jossa käyrän suunta muuttuu.



Kuva 12. Pohjaeläinaineiston muuttujien histogrammit (diagonaalilla), parittaiset korrelaatiot ja niiden merkittävyys (diagonaalin alapuolella) sekä pisteparit ja niihin sovitettu vapaasti estimoituva, ns. smoothed regression -malli (diagonaalin yläpuolella).

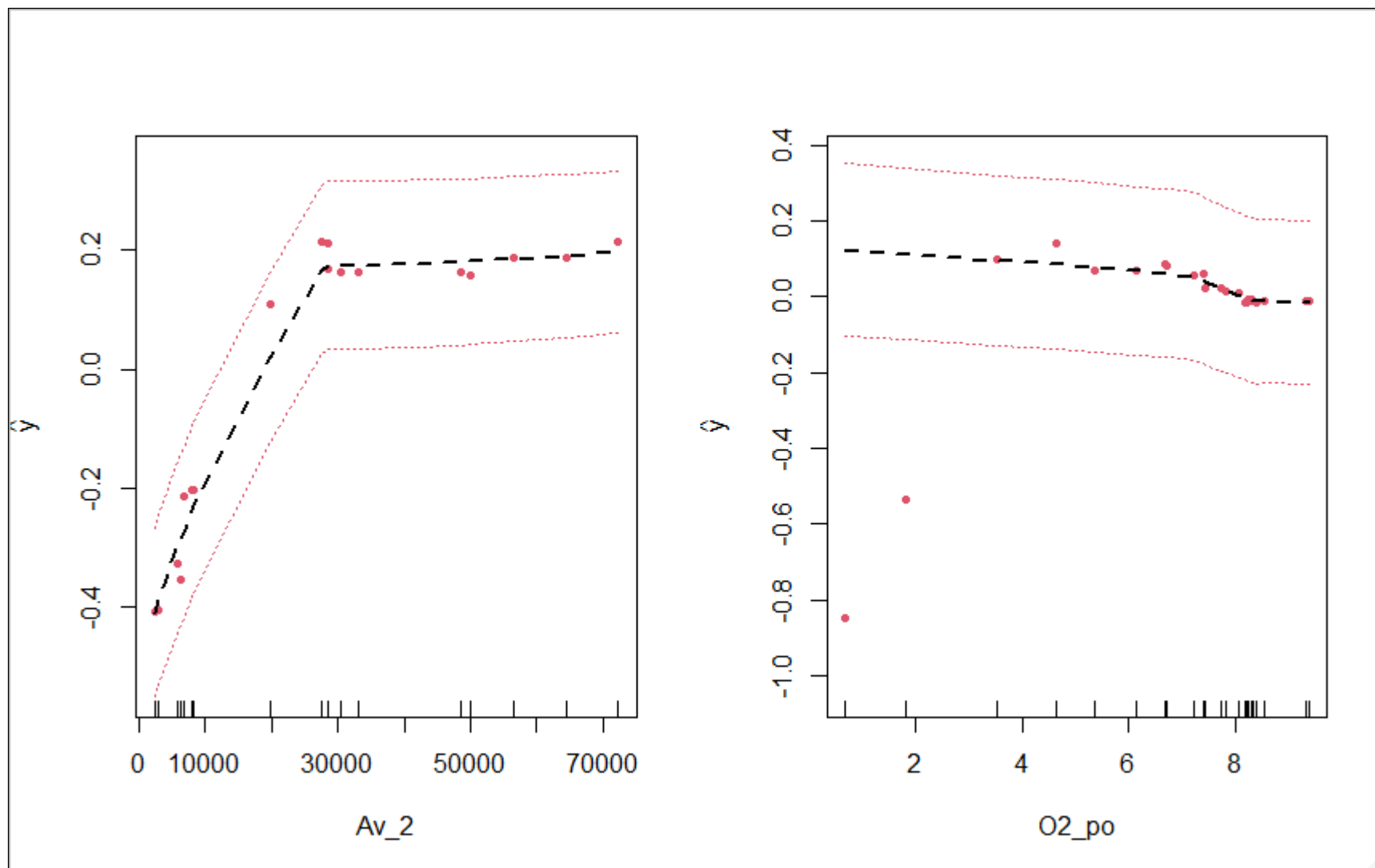
3.3.2. Ympäristötekijöiden vaikutukset

BQI- ja biomassavaikutukselle ajettiin erikseen random forest -analyysi. Koko aineistoa tarkasteltaessa BQI-vaikutuksen vaihtelua näyttää selittävän eniten pohjan happipitoisuus ja avoimuus (Kuva 13). Biomassaavaikutuksen tekijät ovat pohjanlaatu, avoimuus, syvyys, lämpötila ja laitoksen tuotanto. Punainen palkki tarkoittaa, että satunnaiskohinaa on paljon, eikä muuttuja näin ollen paranna BQI- tai biomassavaikutuksen vaihtelun selityskykyä. Huomattavaa on, että BQI-vaikutuksen osalta suurin osa selittäjistä ovat punaisella, eli niiden merkitys on vaikea saada estimoitua satunnaiskohinan alta.



Kuva 13. Eri muuttujien merkitys (*vimp*=variance *importance*) BQI-vaikutuksen (vasemmalla) ja biomassavaikutuksen (oikealla) suuruuteen Random Forest -mallinnuksen perusteella. Sininen palkki kuvaa suurta merkitystä ja punainen sitä, että merkitys on pieni.

Edellisen kuvan perusteella piirretään yksittäisten muuttujien vaikutuskuvat avoimuudelle ja pohjan happipitoisuudelle (Kuva 14). BQI-vaikutus on pienintä (eli suurta negatiivista) hyvin pienen avoimuusluvun arvoilla ja vaikutuksen suuruus kasvaa avoimuuden kasvaessa. Vastavasti pohjan happipitoisuuden kasvaessa BQI-vaikutus pienenee, eli vähähappisilla pohjilla BQI-arvo on pienempää tarkkailupisteillä kuin referenssipisteillä. Biomassavaikutuskuvia ei tässä esitetä, vaan jatkossa keskitytään BQI-vaikutuksen tarkasteluun.



Kuva 14. Merkittävimpien muuttujien vaikutus BQI-vaikutuksen suuruuteen muuttujan havaitulla vaihteluvälillä (jatkuvat muuttujat kuvat 1–7) ja laitoksittain (kuva 8).

3.3.3. Tilastollinen malli BQI-vaikutuksen arviointiin

Edellä esitettyjen tarkastelujen perusteella voidaan muodostaa lineaarinen malli BQI-vaikutuksille. Koko aineistoa tarkasteltaessa BQI-vaikutuksen tärkeimmät selittäjät näyttäisivät olevan avoimuus ja pohjan happipitoisuus. Myös muilla tekijöillä voi olla merkitystä. Aineistoa ei tarvitse jakaa tuotantoluokan perusteella, vaan sovitetaan malli koko aineistoon. Kun käytetään sekä automaattista mallin valintaa (ks. kpl 3.2 *MuMin*) että asiantuntija-arviota, BQI-vaikutuksen malliin jää selittäviksi tekijöiksi tuotantomäärän kumulatiivinen kasvu, avoimuus, etäisyys, pohjan happipitoisuus ja pohjan lämpötila.

On huomattava, että mallissa havaintojen määrä on melko pieni johtuen siitä, että pohjan happipolosuhteita ja veden lämpötilaa ei mitata rutiininomaisesti kuin muutaman kerran kesässä. Nämä tekijät kuitenkin ovat BQI:n kannalta merkittävät, joten ne jätetään malliin.

Mallin yleinen muoto on:

$$y = \alpha + \text{Kumulatiivinen kasvu} \times \beta_1 + \text{Avoimuus} \times \beta_2 + \text{Etäisyys} \times \beta_3 + \text{Pohjan happi} \times \beta_4 + \text{Pohjan lämpötila} \times \beta_5 + \epsilon,$$

missä y on BQI-vaikutus, α on vakiotermi, $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ja β_4 ovat parametrien estimaatit ja ϵ on mallin jäännöstermi.

Tulosten perusteella BQI-vaikutukseen on eniten vaikutusta pohjan happi- ja lämpötilaolosuhteilla, vesialueen avoimuudella ja laitoksen kumulatiivisella tuotannolla. Vakiotermi on negatiivinen, eli muiden tekijöiden vaikutusten ollessa nolla, BQI-arvo on keskimääräinen suurempi kuin referenssipisteillä. Tämä ero ei mallin mukaan ole merkitsevä. Negatiivinen kerroin tarkoittaa, että jos tarkkailupisteiden BQI-arvo on suurempi kuin vertailupisteillä, niin tämä ero kasvaa entisestään. Kumuloituvaa tuotantomäärää siis pienentää entisestään vaikutuskerrointa ts. kasvattaa tarkkailupisteen arvoa referenssiin nähden. Avoimuuden vaikutuskerroin on positiivinen, eli mitä avoimemmalla vesialueella laitos (ja tarkkailupisteet) sijaitsevat, sen pienempi ero tarkkailu- ja referenssipisteillä on. Toisin sanoen avoimella vesialueella laitoksen vaikutus BQI-arvoon on pienempi.

Taulukko 3. Mallien estimaatit, estimaattien keskivirheet (sulkeissa), merkitsevyytaso (tähdet), havaintomäärä (N) ja selitysaste (R^2). Efektien vertailtavuuden vuoksi muuttujat on skaalattu.

	BQI-vaikutuksen malli
Vakiotermi, α	-0.20 (0.20)
Kumulatiivinen kasvu β_1	-0.78 (0.34) *
Avoimuus β_2	1.06 (0.34) **
Etäisyys β_3	-0.41 (0.29)
O₂ pohja β_3	0.89 (0.23) **
Temp pohja β_4	-0.67 (0.24) *
N	25
R²	0.6

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$.

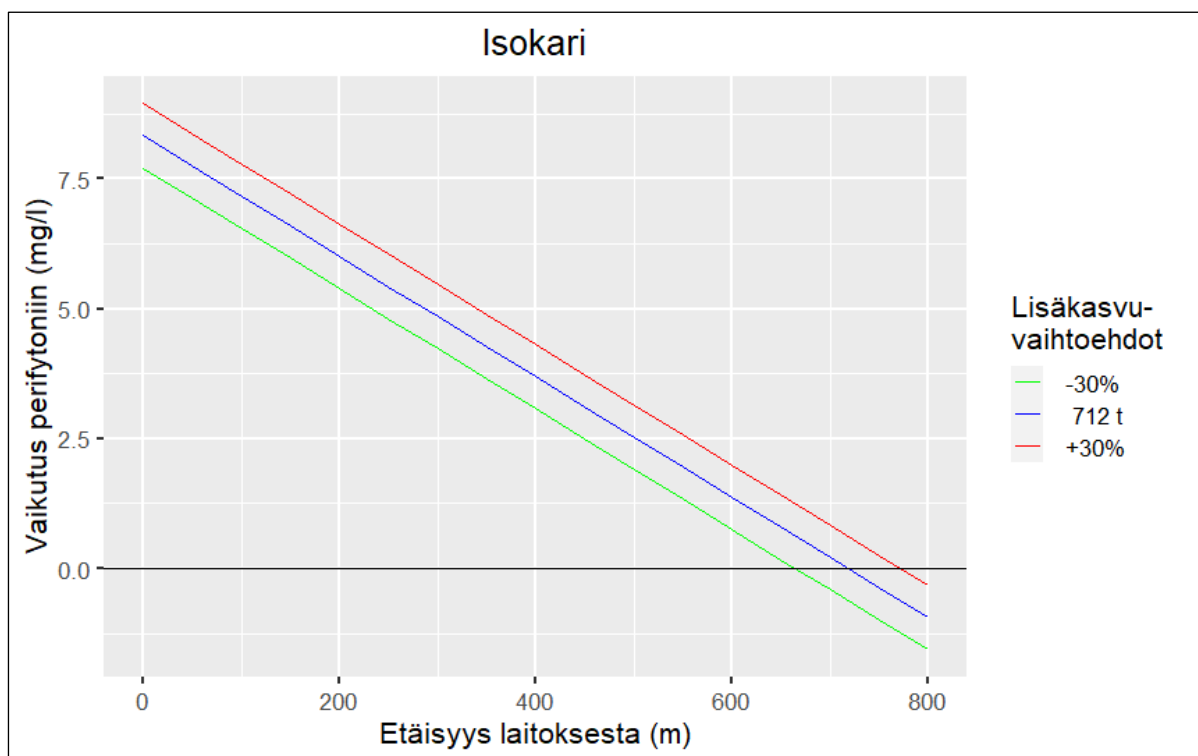
3.4. Vaikutusarviot suunnitteluvaiheen laitoksille

Edellä esitettyjen tulosten ja yksinkertaisen tilastollisen mallin avulla voidaan tehdä yleistyksiä muita vastaavanlaisia vesialueita ja suunnitteluvaiheessa olevia laitoksia koskien. Analyysin perusteella havaittiin, että erilaisissa olosuhteissa tulee kiinnittää huomioita eri muuttujiin vaikutusten arvioimiseksi. Tämän vuoksi arvioidaan pohjaeläin- sekä perifytonvaikutuksia erittäin avoimiin olosuhteisiin valtion vesialueille Isokarin länsipuolelle sekä välisaaristoon Uudenkaupungin vesialueille.

Isokarin suunniteltu kalankasvatustila sijaitsee Uudenkaupungin avomeren vesimuodostumassa (3_Seu_120), noin 5 km Isokarista luoteeseen (Kuva 15). Syvyys alueella on 20–30 m. Selkämeren ulappa-alueet ovat karuja/lievästi reheviä, mutta rannikon lähivesissä on selkeästi rehevöityneitä alueita. Selkämeren avoimella rannikolla veden vaihtuvuus on tehokasta. Uudenkaupungin avomeren vesimuodostuman ekologinen tila on tyydyttävä. Tilaluokitus on muuttunut viime luokituksen hyvästä nykyiseen tyydyttävään. Tilaluokituksen muutos perustuu planktonlevien runsautta kuvaavan a-klorofyllin arvojen nousuun, vesimuodostuman ulko-osissa havaittuihin sinileväkukintoihin sekä fosfori- ja typpiarvoihin, jotka ovat tyydyttäviä (Ekologisen tilan luokittelu 2019, VEMU 3 -tietojärjestelmä). Pohjaeläimistö on ekologisen tilan mukaan erinomainen. Alueelta on kuitenkin otettu vain yksi pohjaeläinnäyte, Isokarilta. Pohjan happipitoisuus vaihtelee IU1 seurantapaikalla vuosien 2010–2019 arvojen 6,2 ja 9,9 mg/l välillä. Tuotantoalue sijaitsee pehmeän ja kovan maalajin välillä (GTK 2015).

Perifytonvaikutuksen arvioimista varten selvitettiin molempien suunnitteilla olevien tuotanto- paikkojen suunniteltu tuotantomäärä (lisäkasvu) sekä vesialueen syvyys ja avoimuus. Lisäksi arvioitiin vesialueen keskimääräinen veden lämpötila loppukesän tarkkailuajankohtina. Sijoit- tamalla nämä tiedot tilastolliseen malliin (kpl 3.2.3 Taulukko 2), saadaan suuntaa antava arvio ekologisista vaikutuksista ja vaikutusalueesta kyseisen tyyppisillä vesialueilla.

Avoimella vesialueella sijaitsevan, suuren tuotantoluokan laitoksilla merkittävin perifytoniin vai- kuttava tekijä on etäisyys laitoksesta (Taulukko 2 Malli2). Näin ollen Isokarin tapauksessa kiin- nitetään muut tekijät (avoimuus, syvyys, veden lämpötila) ja simuloidaan perifytonvaikutusta erilaisilla etäisyyksillä ja erilaisilla tuotantovaihtoehdoilla. Avoimuusluvuksi asetetaan suunni- tellun laitoksen sijoituspaikan vesialueen avoimuus 840664, syvyys 29 m ja keskimääräinen pin- taveden lämpötila 17 °C (havainnot paikalta Isokari IU1, elokuu 2010–2019). Mallisimuloinnin mukaan suunnitellun laitoksen vaikutus päällysteisiin ulottuisi noin 650–770 m päähän riippuen tuotannon määrästä ($\pm 30\%$). Tuotannon lisäyksellä tai vähennyksellä ei siis ole merkittävää suoraa vaikutusta vaikutusalueeseen näin avoimella vesialueella, ja vaikutukset ulottuvat lai- toksen läheisyyteen.

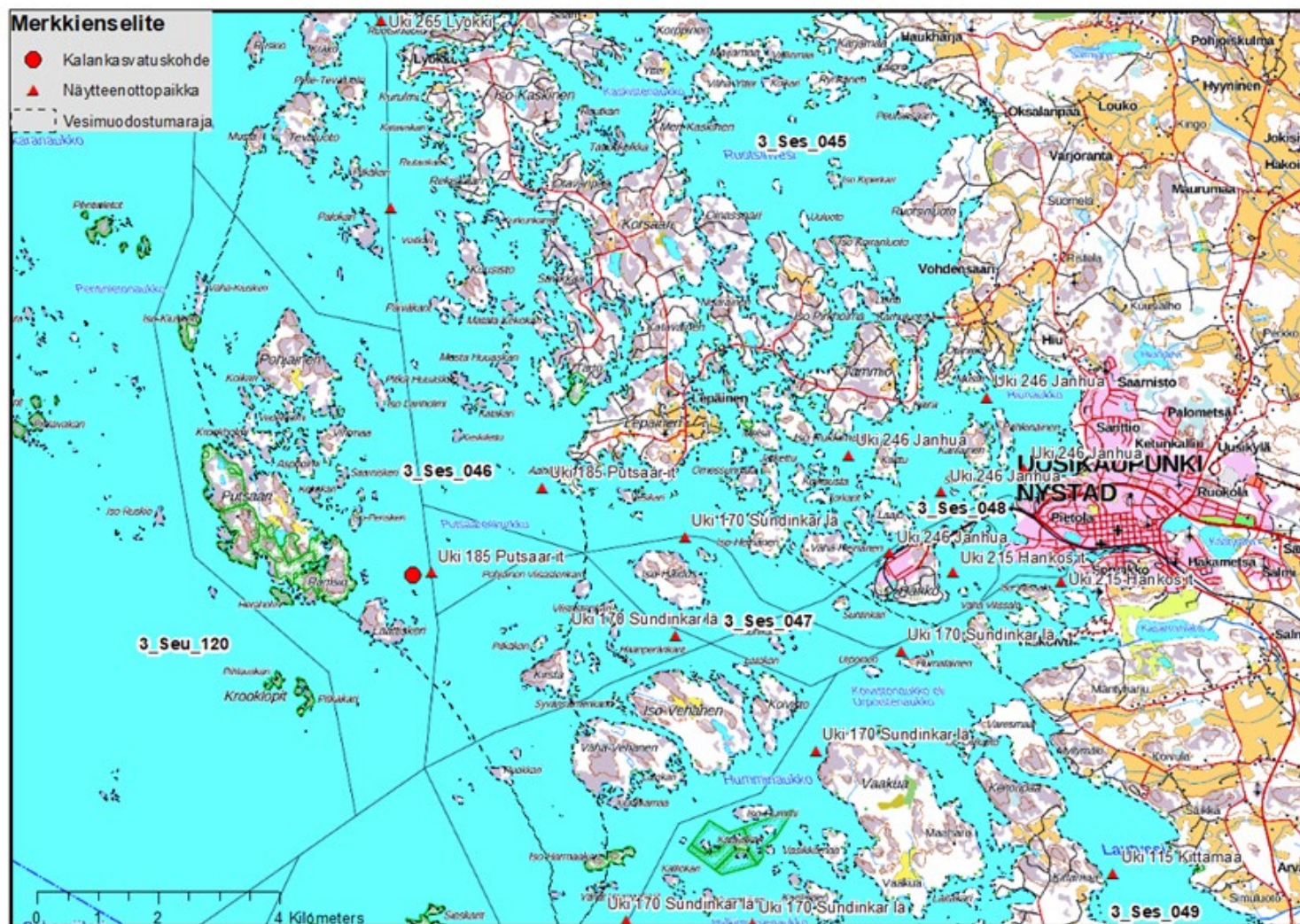


Kuva 16. Tilastollisen mallin perusteella arvioitu perifytonklorofyllin vaikutussäde Isokarin suunnitellulta laitoksesta erilaisilla tuotantomäärävaihtoehdoilla.

BQI-vaikutusmallin tärkeimmät selittäjät ovat vesialueen avoimuus ja pohjan happi- ja lämpö- tilaolot. Lisäksi kumulatiivisella kasvulla on vaikutus. Isokarin laitoksen sijoituspaikan avoi- muusindeksi on hyvin suuri (785369), keskimääräinen pohjan happipitoisuus lähimmällä seu- rantapisteellä on noin 8 mg/l ja pohjan lämpötila 11 °C. Suunniteltu tuotantomäärä, tai tässä kumulatiivinen kasvu, on 712017. Kun BQI-vaikutuksen malliin (Taulukko 3) sijoitetaan nämä arvot, laitoksen välittömässä läheisyydessä BQI-vaikutus on merkityksetön. Tulos johtuu siitä, että Isokarin vesialueen happi- ja lämpötilaolot ovat seurantatietojen mukaan hyvät ja erityi- sesti siitä, että vesialueen avoimuus on hyvin suuri. On huomattava, että tilastollinen malli so- vitettiin aineistoon, jossa maksimiavoimuus on lähes kymmenen kertaa pienempi kuin Isokarin

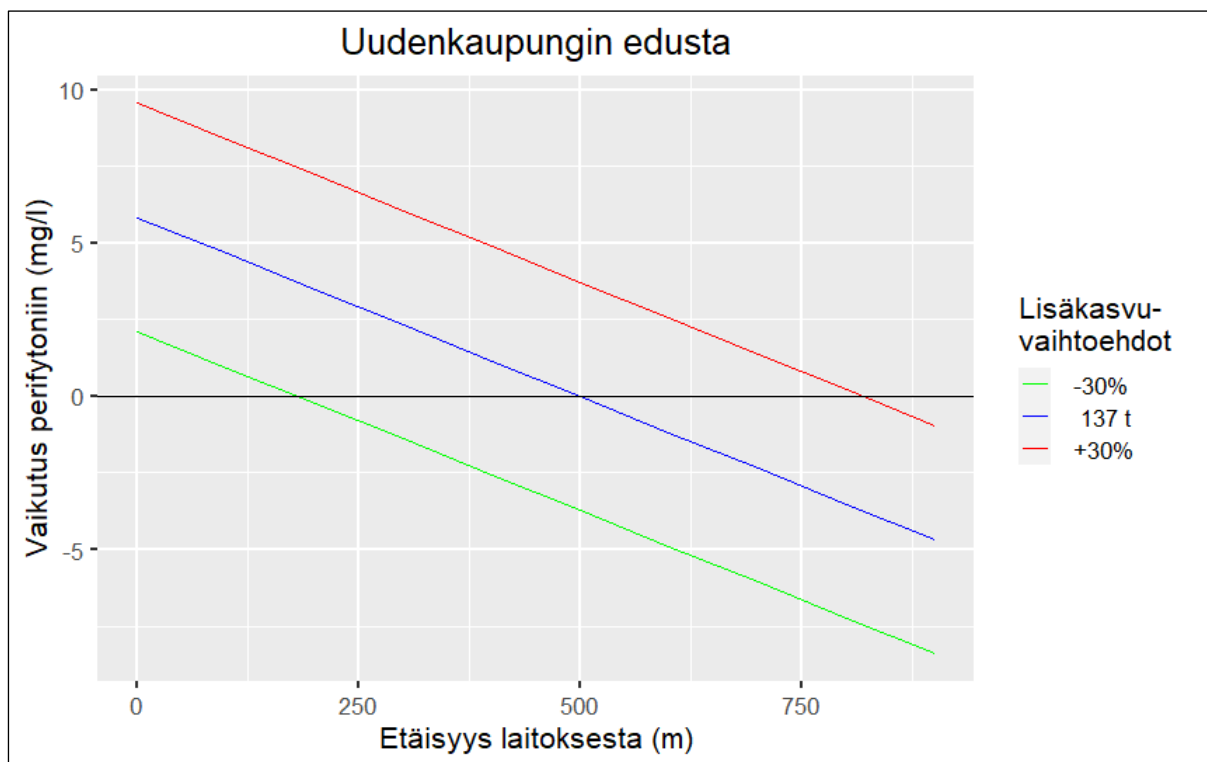
alueella. Yleensäkin ekstrapolointi mallin sovitukseen käytetyn aineiston ulkopuolella on kyseenlaista.

Uudenkaupungin edustalle mallinnettu kalankasvatuskohde sijaitsee Liesluodon - Korsaaaren edustan vesimuodostumassa (Kuva 17). Vesimuodostuma kuuluu Selkämeren sisempiin rannikkovesiin ja on tyypiltään välisaaristoa. Kohde sijaitsee alueella, jossa on noin 15–20 m syvää. Vesistöön kohdistuu merkittävästi hajakuormitusta, sillä alueen valuma-alueella harjoitetaan paljon maataloutta. Lisäksi Saaristomereltä tuleva kuormitus kuormittaa etenkin rannikon läheisiä vesimuodostumia. Vesimuodostuma on ekologiselta luokituksesta tyydyttävä ja luokitus on heikentynyt viime kaudesta hyvästä tyydyttävään. Klorofylli-a, fosfori- ja typpi-arvot sekä pohjaeläimistö on ekologisen tila-arvion perusteella tyydyttävässä kunnossa. Pohjan happipitoisuus on vaihdellut lähimmän seurantapaikan UKI 185 kohdalla 4,6 ja 9,1 mg välillä.



Kuva 17. Uudenkaupungin edustalle mallinnettu kalankasvatuskohde (punainen ympyrä) sijaitsee noin 700 m Putsaaren eteläkärjestä kohti itää. Lähin seuranta-asema, Uki 185 Putsaari-It sijaitsee aivan kasvatuskohteen vieressä.

Simuloinnin perusteella suunnitellun laitoksen päällystysvaikutus ulottuisi noin 200 metristä noin 800 metriin riippuen tuotannon määrästä (Kuva 18). Mallin mukaan suljetummalla vesi-alueella lisäkasvun vaikutus näkyy herkemmin tuloksissa kuin avoimemmalla sijainnilla. Mallinnuksessa käytetty lisäkasvu oli 137487 kg, lämpötila 17 °C (Uki putsari elokuu 0–5 m), avoimuus 37041 ja syvyys 16 m.



Kuva 18. Tilastollisen mallin perusteella arvioitu perifytonklorofyllin vaikutussäde Uudenkaupungin edustalle suunnitellulta laitoksesta erilaisilla tuotantomäärävaihtoehdoilla.

BQI-vaikutusarvioinneissa merkittävimmät tekijät ovat pohjan olot ja vesialueen avoimuus. Alueella olevan lähimmän tarkkailupisteen pohjan (20–30 m) lämpötila on 13 °C ja happi 8 mg/l (Uki putsari elokuu pitkän ajan keskiarvot). Vesialueen avoimuusindeksi on 37041. Tämä avoimuus on selvästi pienempi kuin Isokarin merialueella, mutta kuitenkin silti suurempaa kuin Ahvenanmeren alueen laitosten sijaintipaikkojen avoimuus (keskimäärin 25000, vaihteluväli 2376–72282). Mallissa (Kappale 3.3.3 Taulukko 3) avoimuus on erittäin merkitsevä ja vaikutuskerroin on positiivinen. Näin ollen malli on hyvin herkkä avoimuudelle, ja sijoittamalla malliin Uudenkaupungin vesialueen avoimuuden (ja muut tiedot), laitoksen aiheuttama BQI-vaikutus on merkityksetön.

4. Yhteenveto ja suositukset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa kalankasvatuksen vaikutuksista päälyslävästöön ja pohjaeläimistöön sijainnin ohjauksen, luvituksen, ympäristövaikutusarvioiden sekä velvoitetarkkailun kehittämistä varten. Neljäntoista ahvenanmaalaisen kalankasvatustiloksen velvoitetarkkailuaineistot koottiin ja visualisoitiin. Lisäkasvun sekä ympäristötekijöiden vaikutukset päälyslävästöön ja pohjaeläimistöön analysoitiin tilastollisesti.

Ekologisten vaikutusten arviointi on haastavaa ja harvoin on tarjolla monimutkaisia prosessipohjaisia malleja, tai riittävästi dataa mallien kalibrointiin ja validointiin. Tässä tutkimuksessa käytetyillä tilastollisilla malleilla saadaan suuntaa antavia arvioita vaikutusten suuruudesta ja vaikutusalueen laajuudesta sekä yleistyksiä suunnitteilla olevien laitosten vaikutuksista vastaavalla vesialueilla.

Tarkastelun tulosten perusteella päälyslävien määrään, eli perifytonin a-klorofylliin, vaikuttaa ympäristöolosuhteet (veden lämpötila, sijaintipaikan avoimuus), tuotannon suuruus sekä etäisyys laitokselta. Suojaisilla alueilla sijaitsevien pienen tuotannon laitosten lisäkasvu lisää perifytonin määrää. Etäisyys suuren tuotannon laitoksista vaimentaa em. vaikutuksia n. 400 m päässä laitoksista. Avomeren pohjaeläinindeksi (BQI) vaikutuksen vaihtelua selittää erityisesti vesialueen avoimuus sekä alusveden lämpötila ja happipitoisuus. Lisäksi laitoksen kumulatiivinen tuotantomäärä oli merkitsevä tekijä.

Isokarin läheisyyteen suunnitellun laitoksen vaikutusalue päälysläviin vaihteli tuotantomäärästä riippuen 650 m ja 770 m välillä. Tuotantomäärän muutoksella ei olisi mainittavaa vaikutusta. Sen sijaan, Uudenkaupungin välisaaristoon suunnitellun, tuotantomäärältään pienemmän laitoksen sijoituspaikka on herkempi tuotantomäärän lisäykselle, ja vaikutusalue ulottuu pienemmästä tuotantomäärästä huolimatta noin 200 m ja 800 m välille. Koska pohjaeläinvaihtuksen yksi tärkeimmistä selittäjistä oli avoimuus, vaikutuksia pohjaeläimistöön ei pystytty ekstrapoloimaan Ahvenanmaan laitosten ympäristöä avoimemmille alueille.

Tulosten perusteella, suuren tuotannon laitokset tulee sijoittaa avoimille, syville vesialueille, joissa vedenvaihto on tehokasta, alusvesi sekoittuu hyvin ja paikallisetkin vaikutukset pohjaeläimistöön ja päälysläviin jää pieneksi. Pienen tuotannon laitokset tulisi myös sijoittaa muualle kuin alueille, jotka ovat ympäristöolosuhteiltaan herkkiä pienellekin ravinnelisäykselle.

Biologisten ja ekologisten vaikutusten arviointiin tilastolliset, mittausdataan pohjautuvat mallit ovat hyvä vaihtoehto. Niiden luotettavuutta voidaan parantaa kokoamalla ja analysoimalla eri tavoin kerättyä aineistoa. Lisäksi mallinnuksen reunaehdot ja oletukset on huomioitava vaikutusarvioiden luotettavuuden arvioinnissa.

Jatkossa velvoitetarkkailun resurssit tulisi kohdentaa mahdollisimman tehokkaasti ja tärkeimmät, vaikutuksille herkimmat indikaattorimuuttujat on valittava huolellisesti ja niiden tarkkailun on oltava säännöllistä ja riittävää. Tarkkailu tulisi tehdä siten, että mitataan samanaikaisesti (samoina vuosina ja päivinä) eri tekijöitä. Velvoitetarkkailupisteiden sijoittamisessa on otettava huomioon ympäristöolosuhteet ja laitoksen ominaisuudet. Lisäksi referenssipaikkojen valinta pitää tehdä huolellisesti ja niiden edustavuus on arvioitava aika ajoin.

Seuraavaksi velvoitetarkkailuaineistoa kerätään Saaristo- ja Selkämeren kalankasvatustiloksista ja tarkennetaan laitosten vaikutusalueiden laajuuden ja vaikutusten suuruuden arviointia ja malliennusteita. Tulosten perusteella Vesiviljelyn innovaatio-ohjelmassa kehitettyyn FIN-FARMGIS-paikkatietosovellukseen voidaan lisätä osio, joilla vaikutukset päälysläviin ja pohjaeläimiin voidaan arvioida ja tuotanto ohjata alueille, joissa vaikutukset eivät ole haitallisia.

Lisäksi yhdistämällä jatkuvatoimisten mittareiden, in-situ -havaintojen ja satelliittien tuottaman mittausaineistot (nk. datafuusio) ollaan saamassa kattava kuva sameuden ja veden a-klorofyllin vaihtelusta laitosten läheisyydessä ja vesimuodostumatasolla. Tämä yhdessä 3D-merimallien sekä alkusekoittumisen mallien kanssa mahdollistaa tulevaisuudessa laitosten päällyslä- ja pohjäläinvaikutusten tarkemman arvioinnin, niin laitosten välittömässä läheisyydessä, kuin koko rannikkoalueen mittakaavassa.

Viitteet

Geologian tutkimuskeskus (GTK) 2015. Merenpohjan kovat ja pehmeät alueet 1:250 000. <http://hakku.gtk.fi>.

Isæus, M. & Rygg, B. 2005. Wave exposure calculations for the Finnish coast. NIVA 5075–2005.

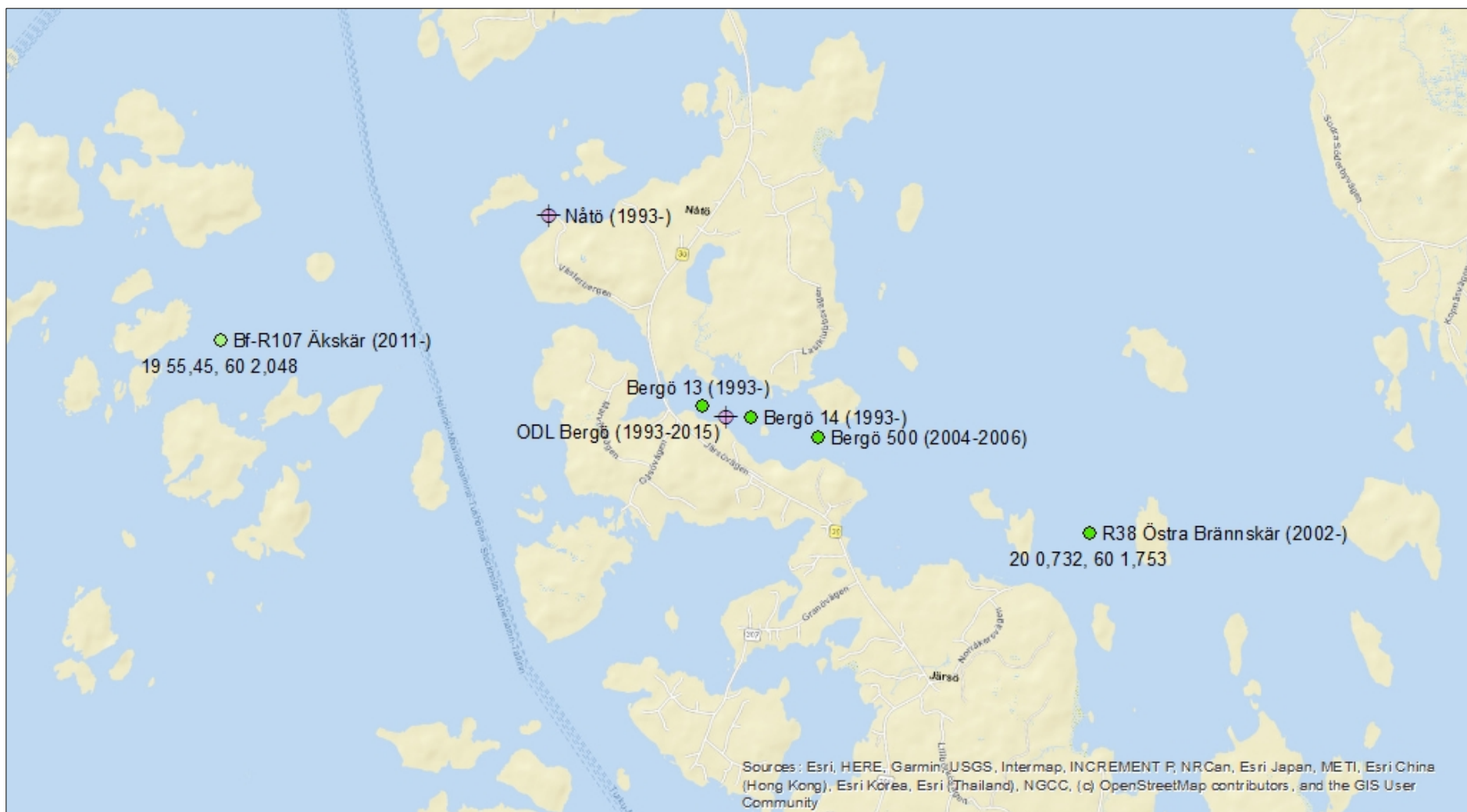
Maa- ja metsätalousministeriö 2014. Kansallinen vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelma. 978-952-453-856-5 (Verkojulkaisu).

Ympäristöministeriö 2020. Kalankasvatuksen ympäristönsuojeluohje. Ympäristöministeriön julkaisuja 2020:22. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-252-5>.

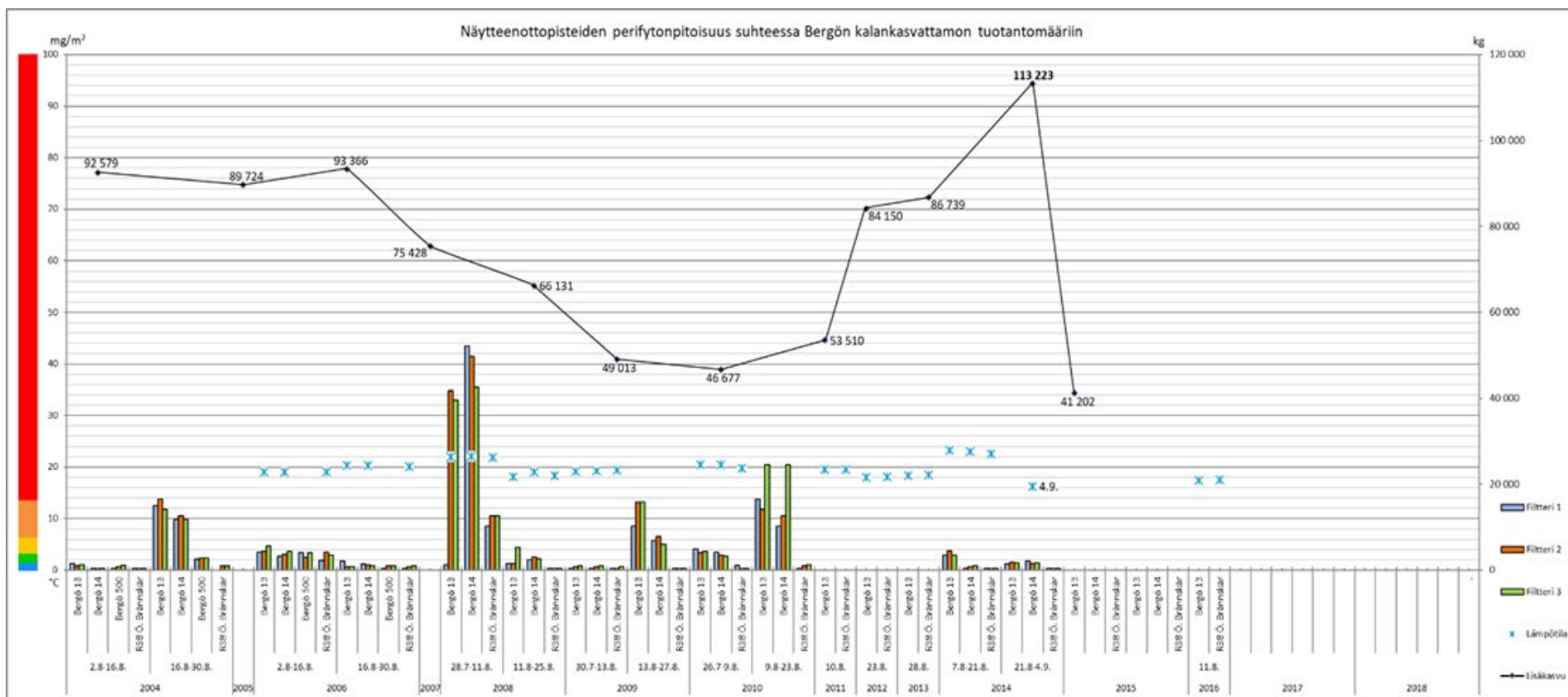
Liitteet

Liite 1. Velvoitetarkkailuaineistot koottuna ja visualisoituina

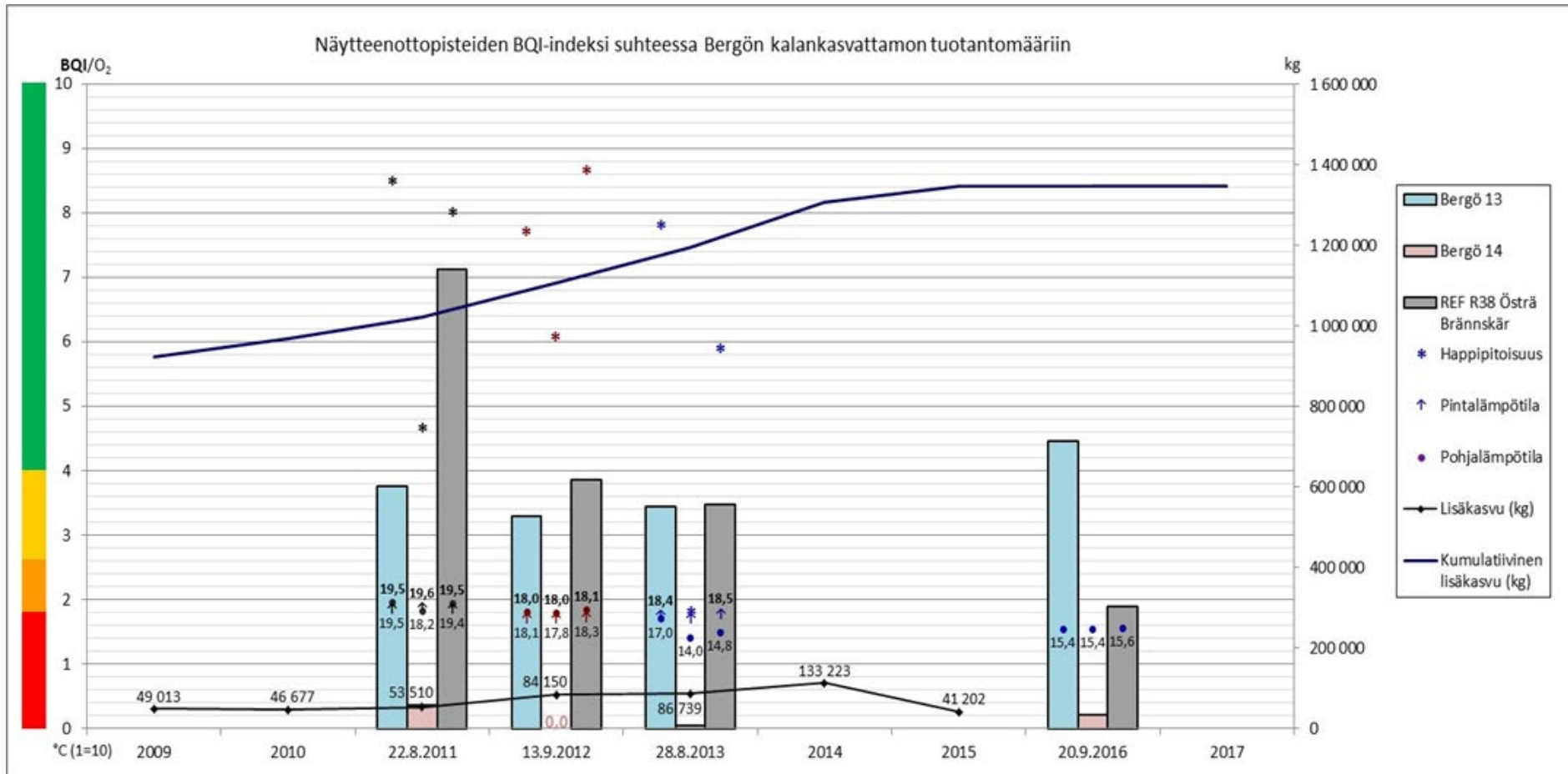
Päällysväestön a-klorofyllin, tuotannon ja lämpötilanvaihtelun kuvaajat laitoksittain.



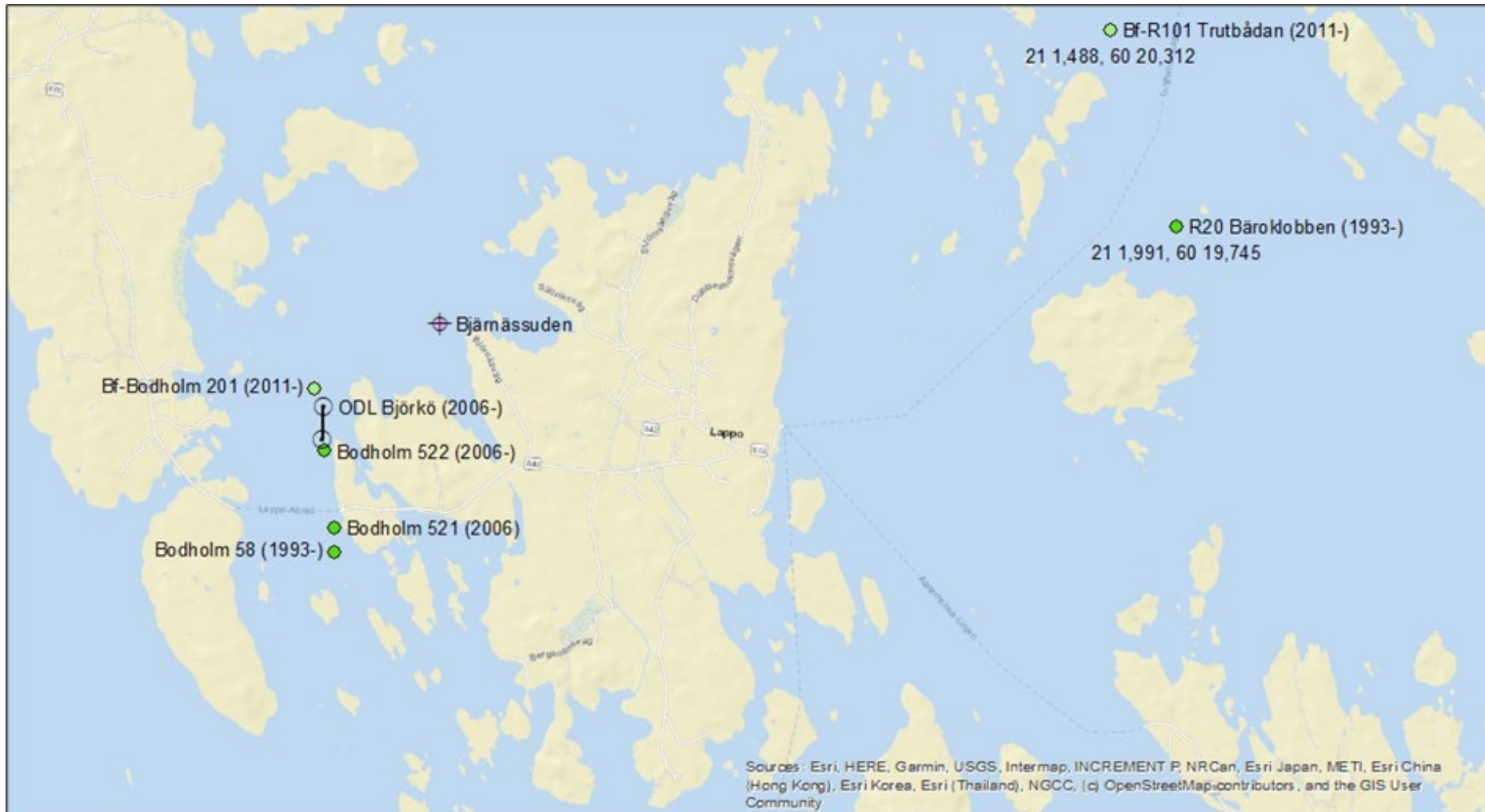
Kuva 19. Bergön laitoksen näytteenottopisteinen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet yleensä vaaleanvihreällä. Tällä laitoksella ei ole erillisiä näytteenottopisteitä pohjaeläimistöille vaan pisteiltä Bergö 13 ja 14 on perifytonin lisäksi otettu myös pohjaeläinnäytteet. Referenssipisteen nimen alussa on R ennen pisteen numeroa.



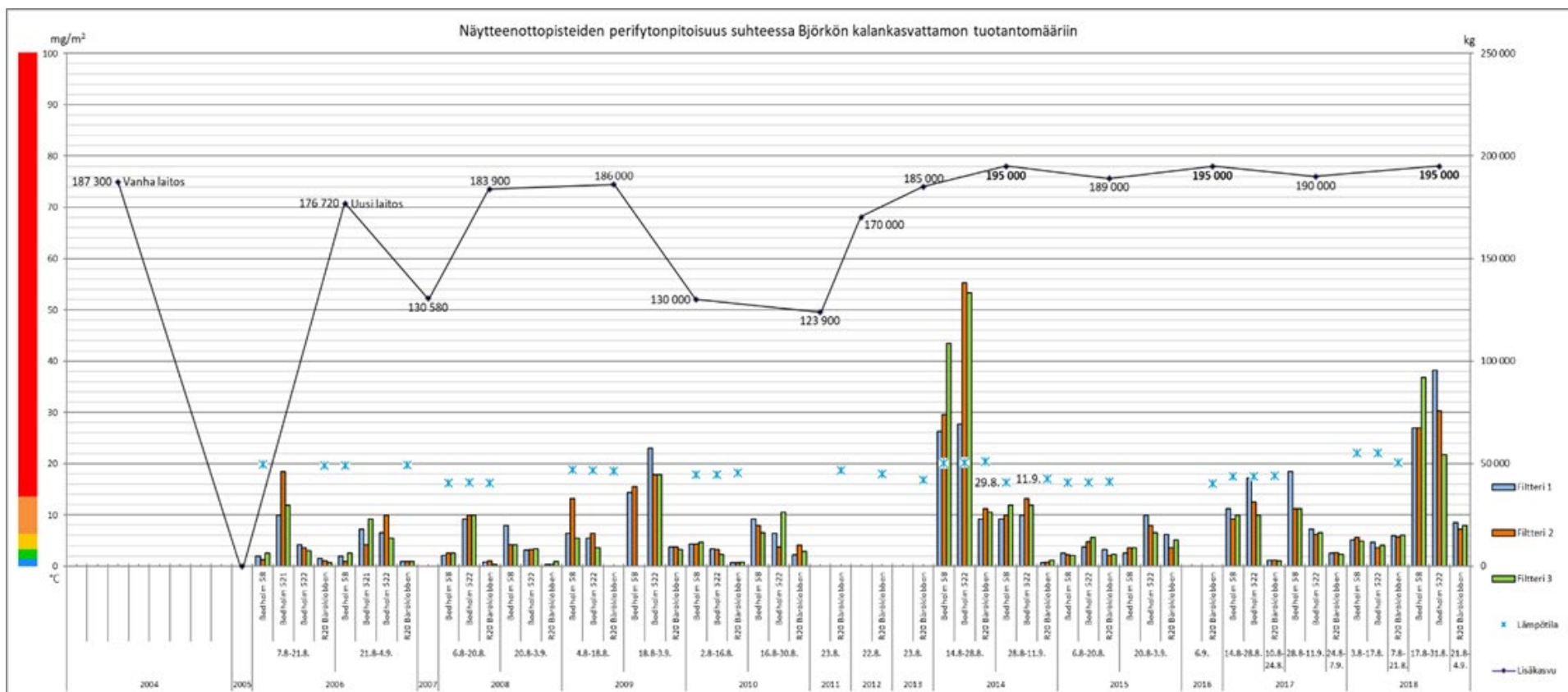
Kuva 20. Perifytonin (päällyskasvuston) pitoisuus suhteessa Bergön laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2004–2014.



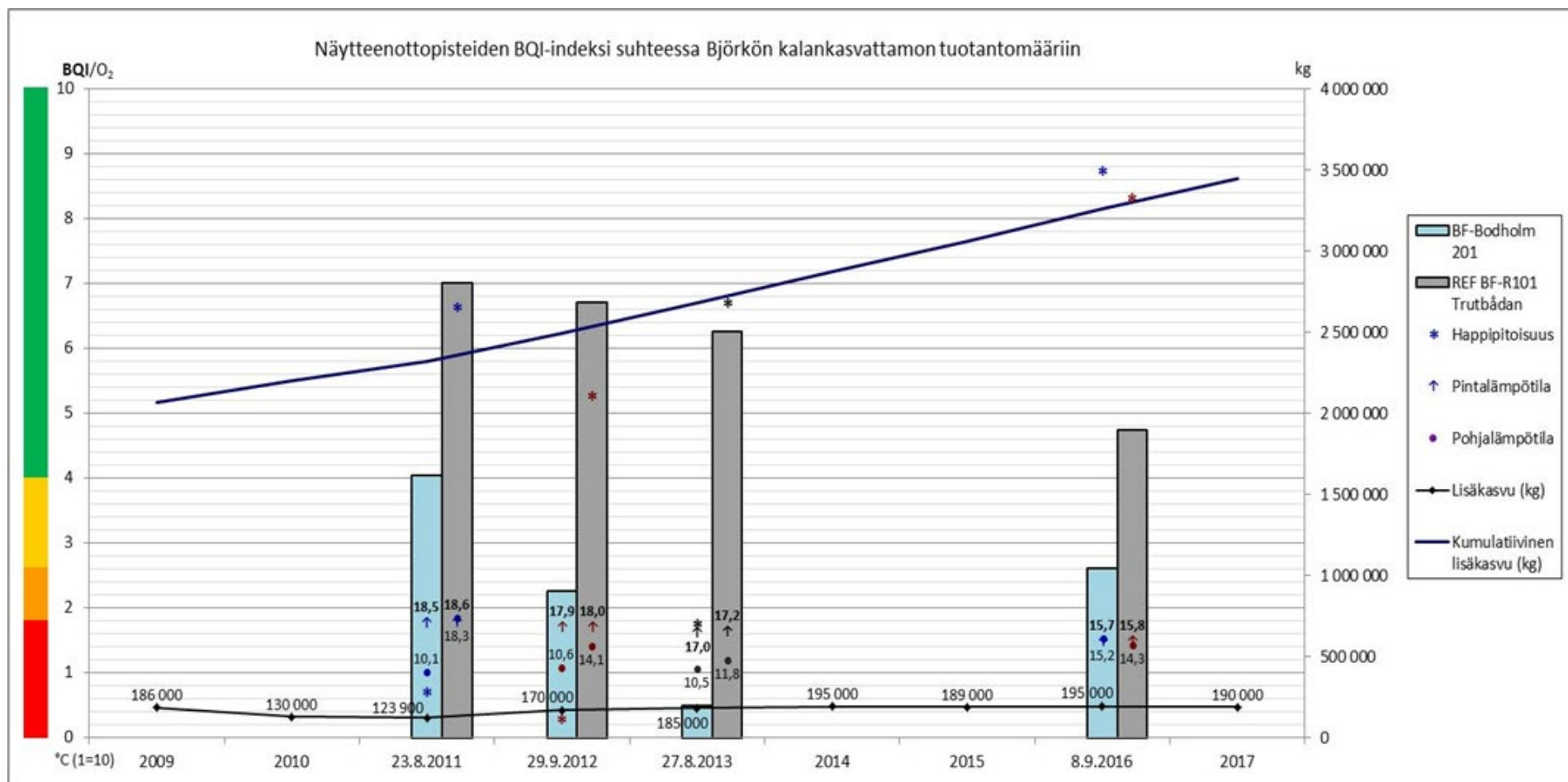
Kuva 21. BQI-indeksi suhteessa Bergön laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiviseen lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö µg/l) vuosina 2011–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.



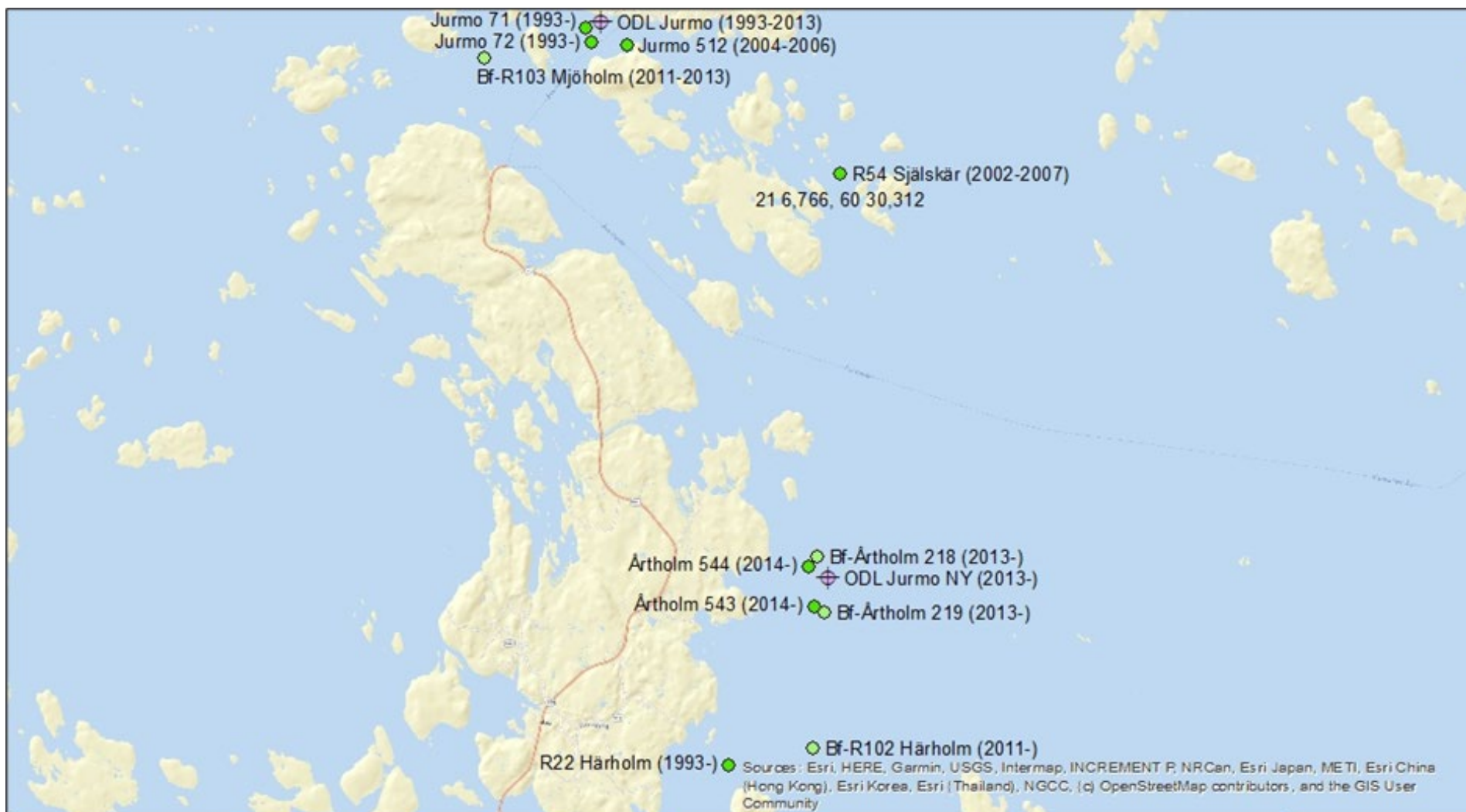
Kuva 22. Björköns laitos näytteenottopisteineen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet vaaleanvihreällä. Referenssipisteen nimen alussa on R ennen pisteen numeroa.



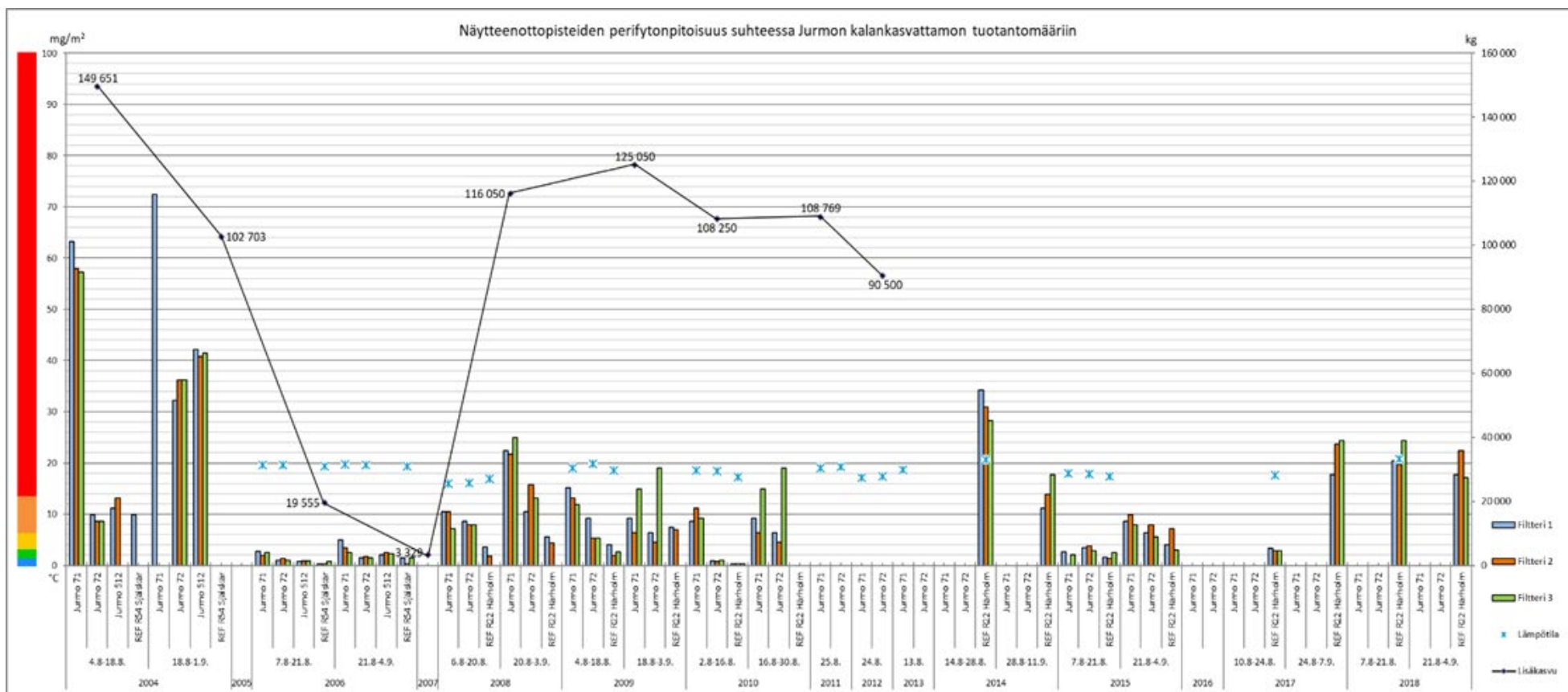
Kuva 23. Perifytonin (päälyliskasvuston) pitoisuus suhteessa Björkön laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2006–2018.



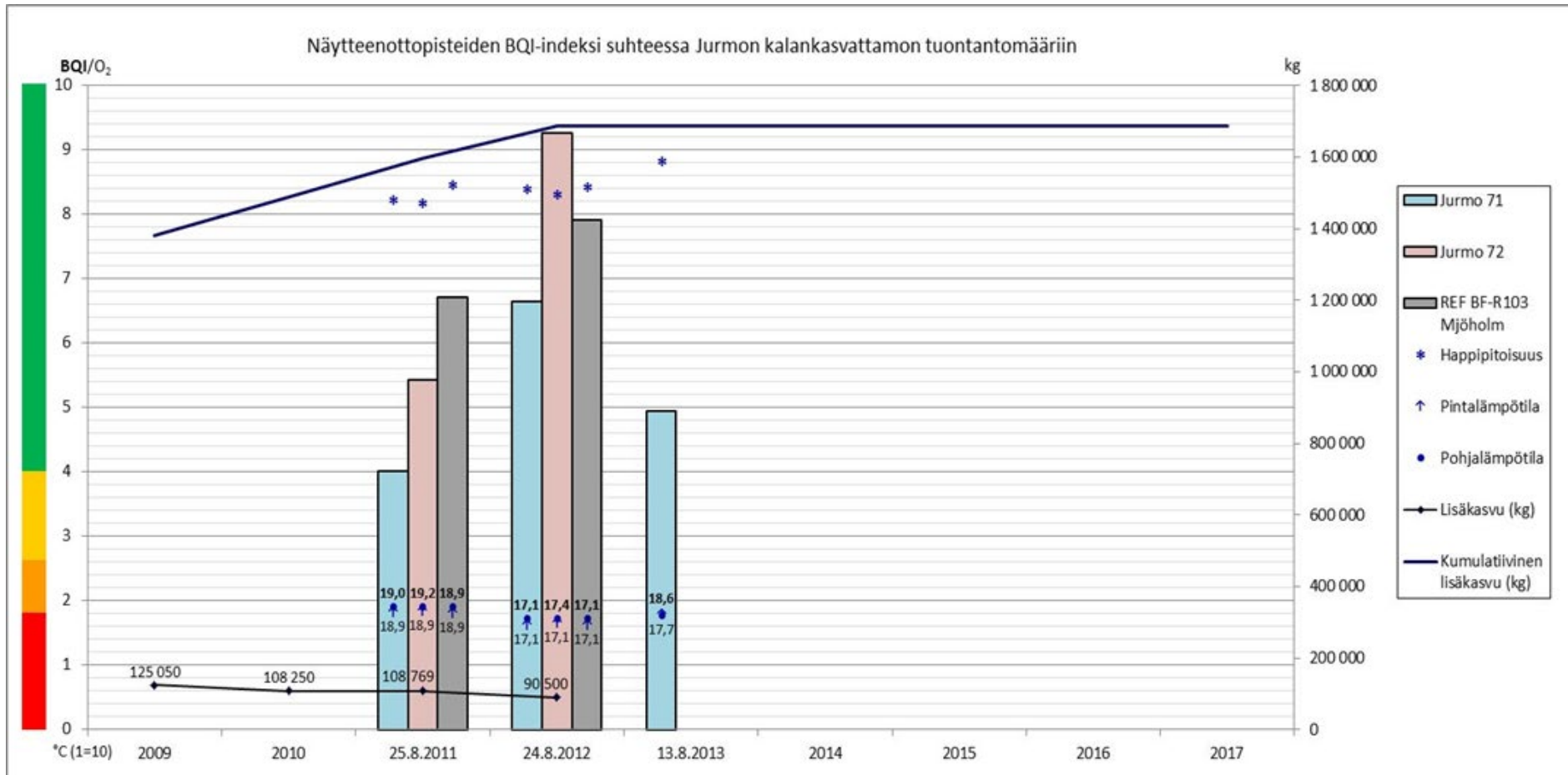
Kuva 24. BQI-indeksi suhteessa Björkön laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiviseen lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö $\mu\text{g/l}$) vuosina 2011–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.



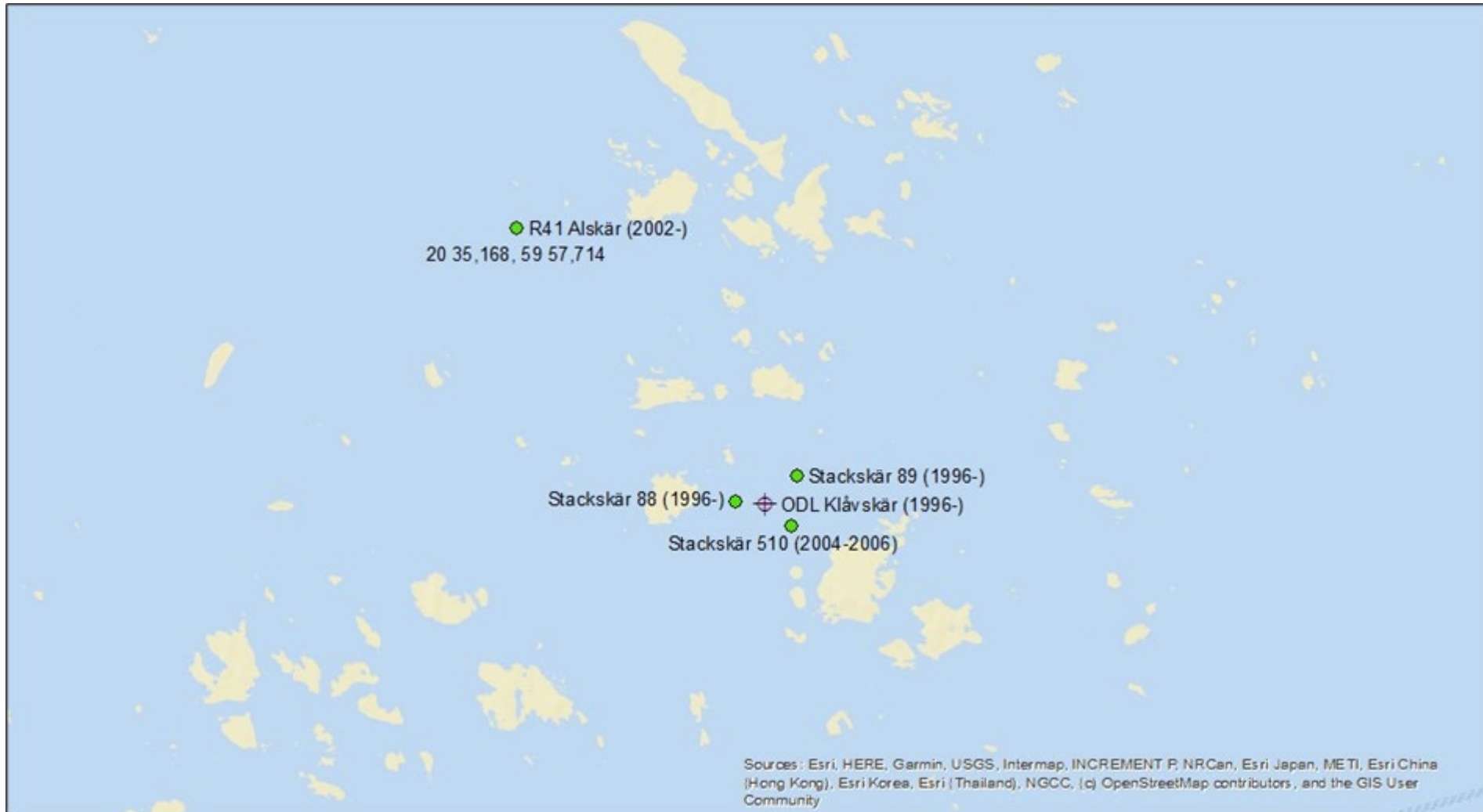
Kuva 25. Jurmon laitos näytteenottopisteineen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet yleensä vaaleanvihreällä, mutta tällä laitoksella ei ole erillisiä näytteenottopisteitä pohjaeläimistöille vaan pisteiltä Jurmo 71 ja 72 on perifytonin lisäksi otettu myös pohjaeläinnäytteet. Referenssipisteen nimen alussa on R ennen pisteen numeroa.



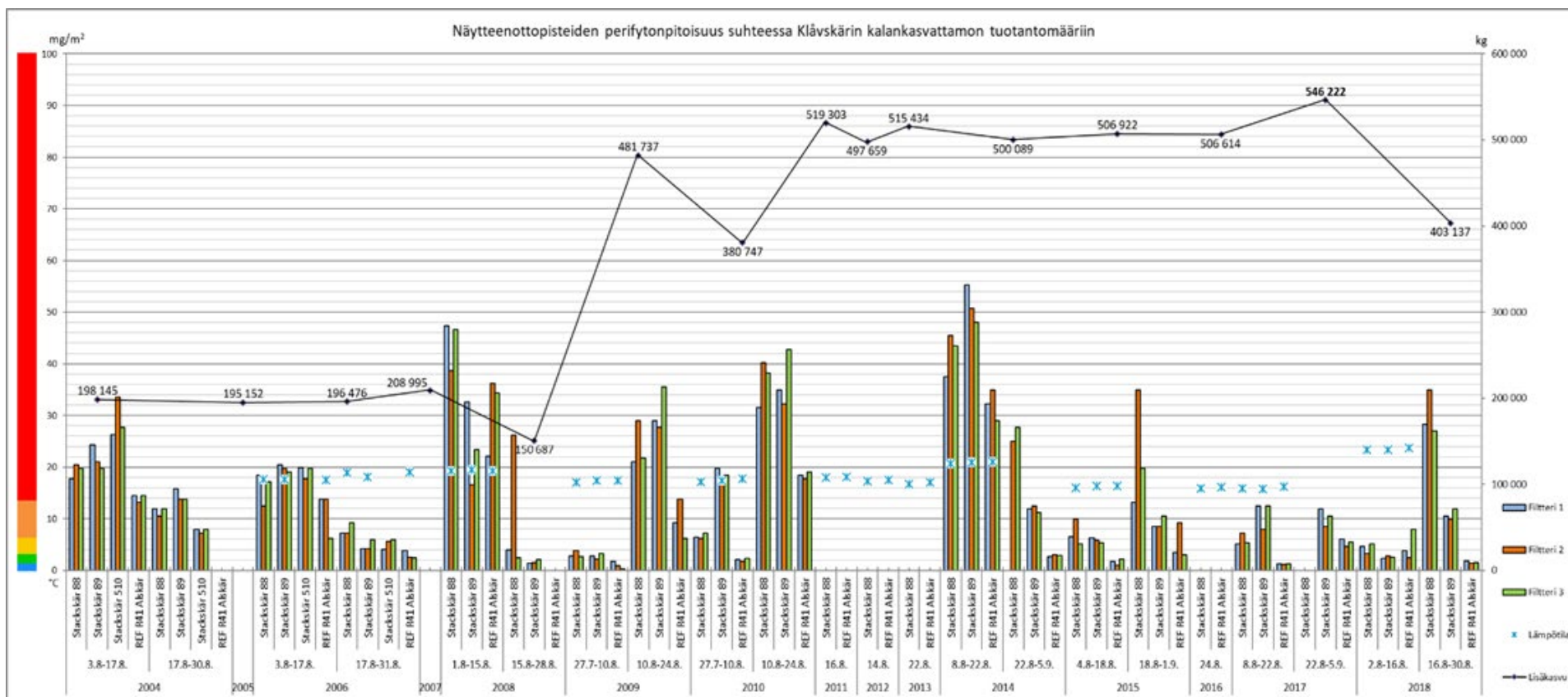
Kuva 26. Perifytonin (päällyskasvuston) pitoisuus suhteessa Jurmon laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2004–2015.



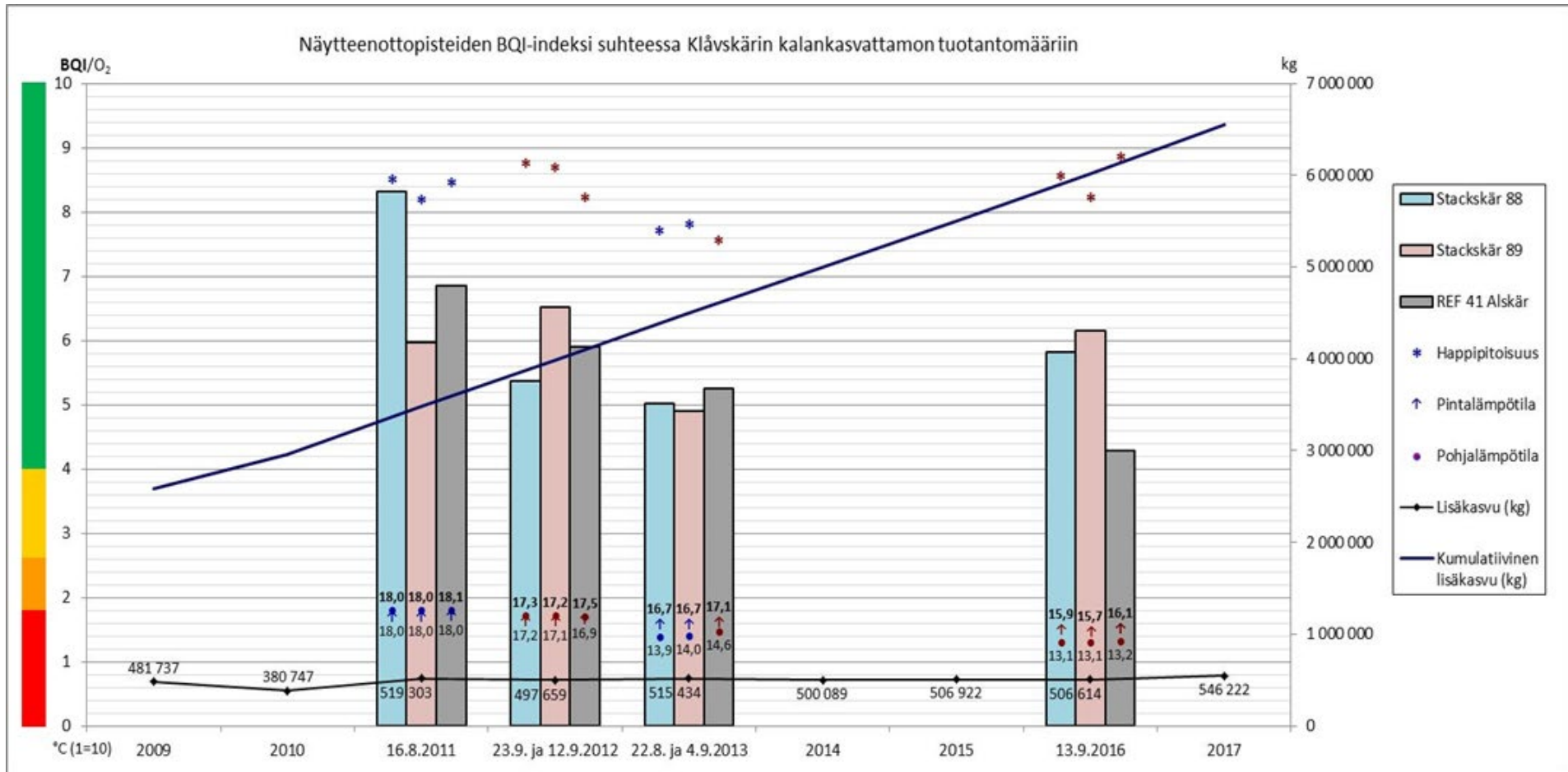
Kuva 27. BQI-indeksi suhteessa Jurmon laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiviseen lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö $\mu\text{g/l}$) vuosina 2011–2013. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.



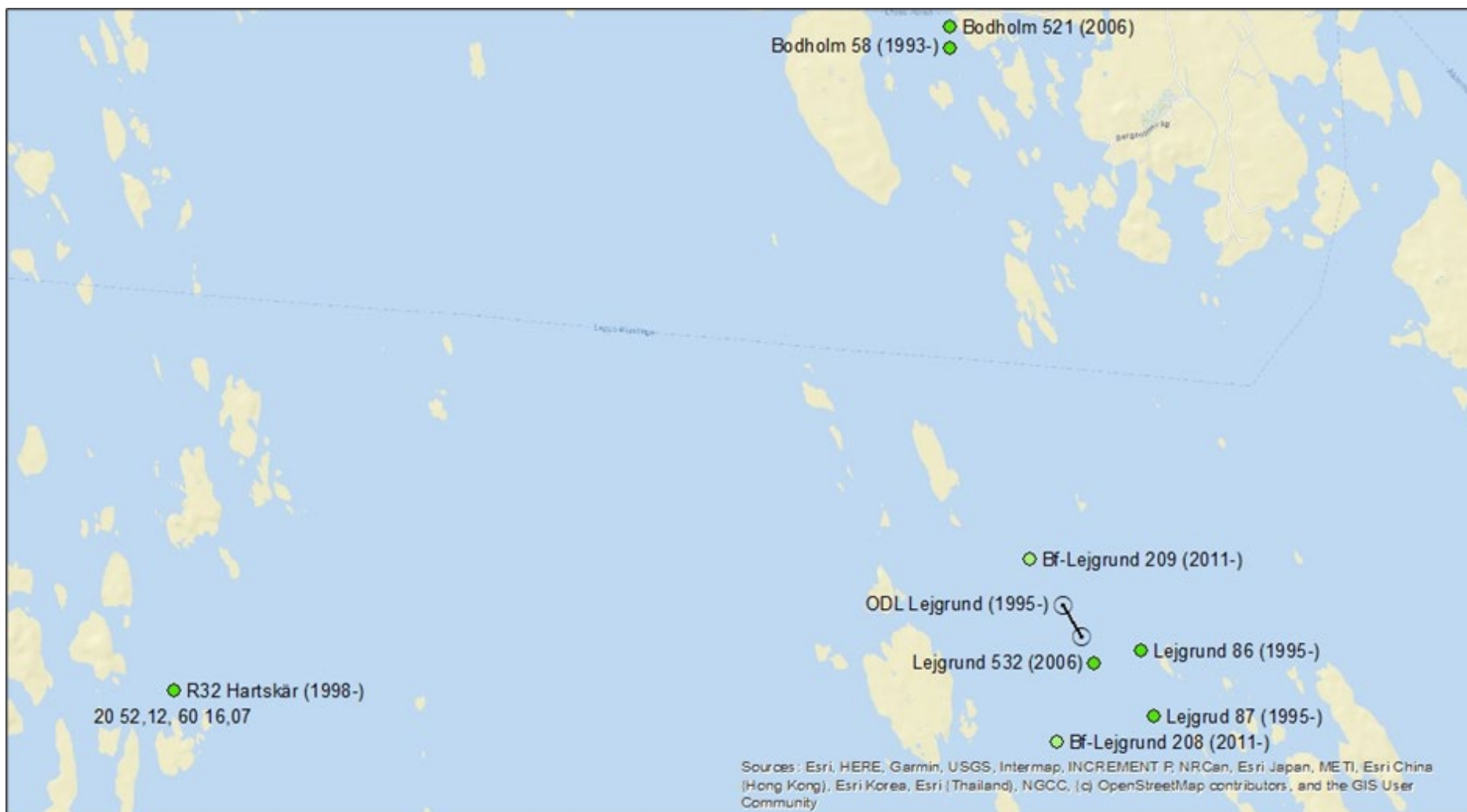
Kuva 28. Klåvskärin laitos näytteenottopisteineen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet yleensä vaaleanvihreällä, mutta tällä laitoksella ei ole erillisiä näytteenottopisteitä pohjaeläimistöille vaan pisteiltä Stackskär 88 ja 89 on perifytonin lisäksi otettu myös pohjaeläinnäytteet ja R41 Alskär toimii pohjaeläimistönkin ref. pisteenä.



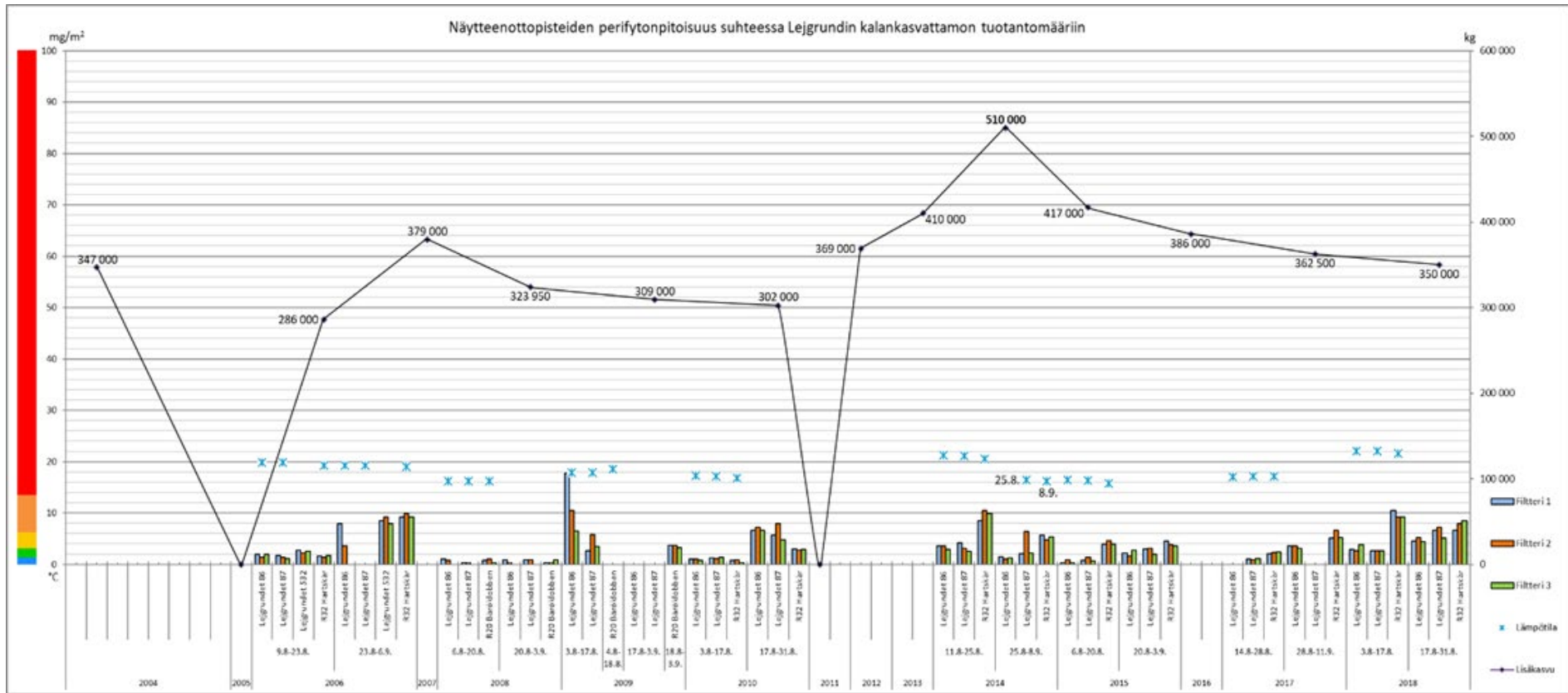
Kuva 29. Perifytonin (päälyliskasvuston) pitoisuus suhteessa Klävskärin laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2004–2018.



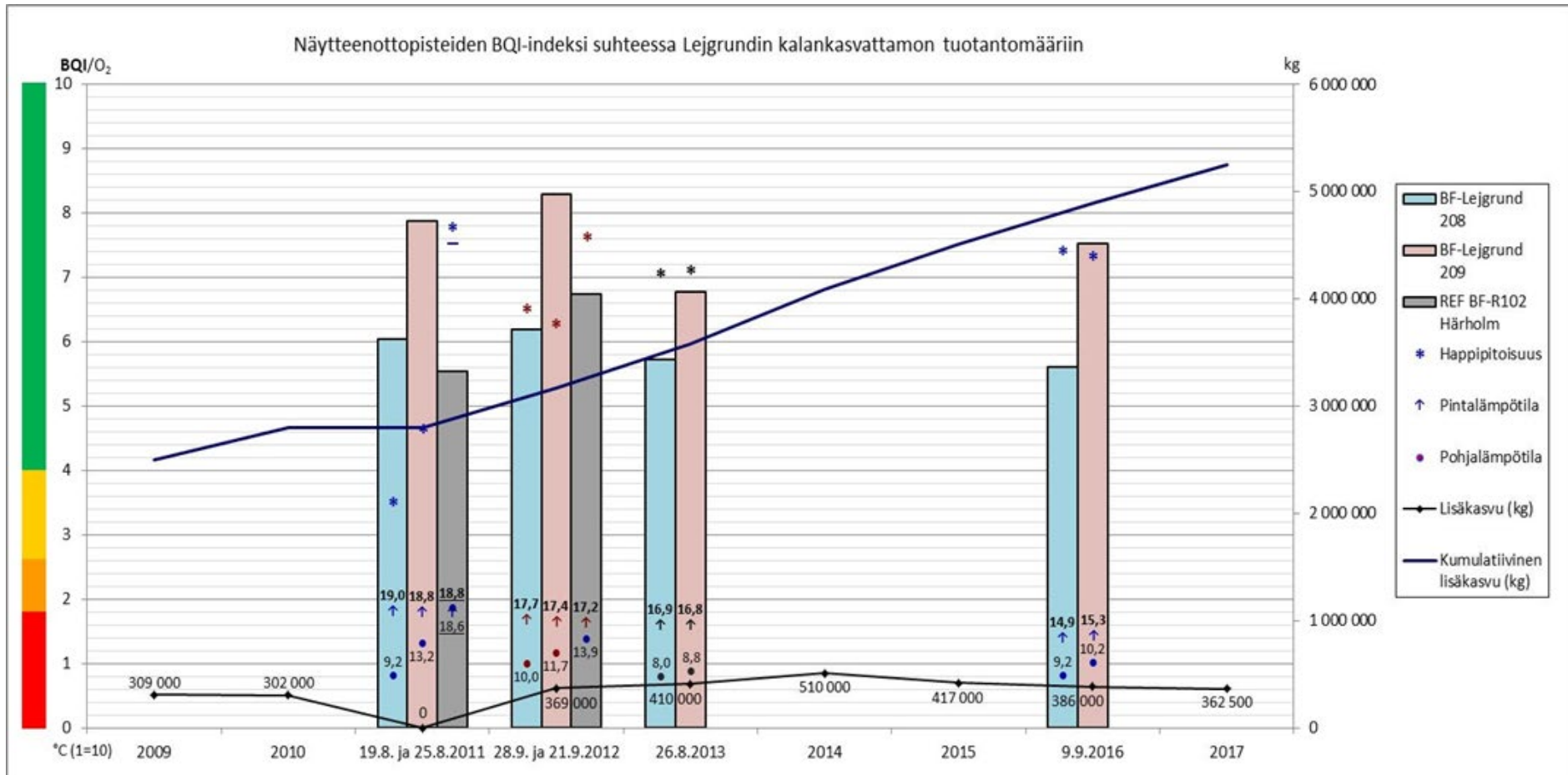
Kuva 30. BQI-indeksi suhteessa Klåvskärin laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiviseen lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö $\mu\text{g/l}$) vuosina 2011–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.



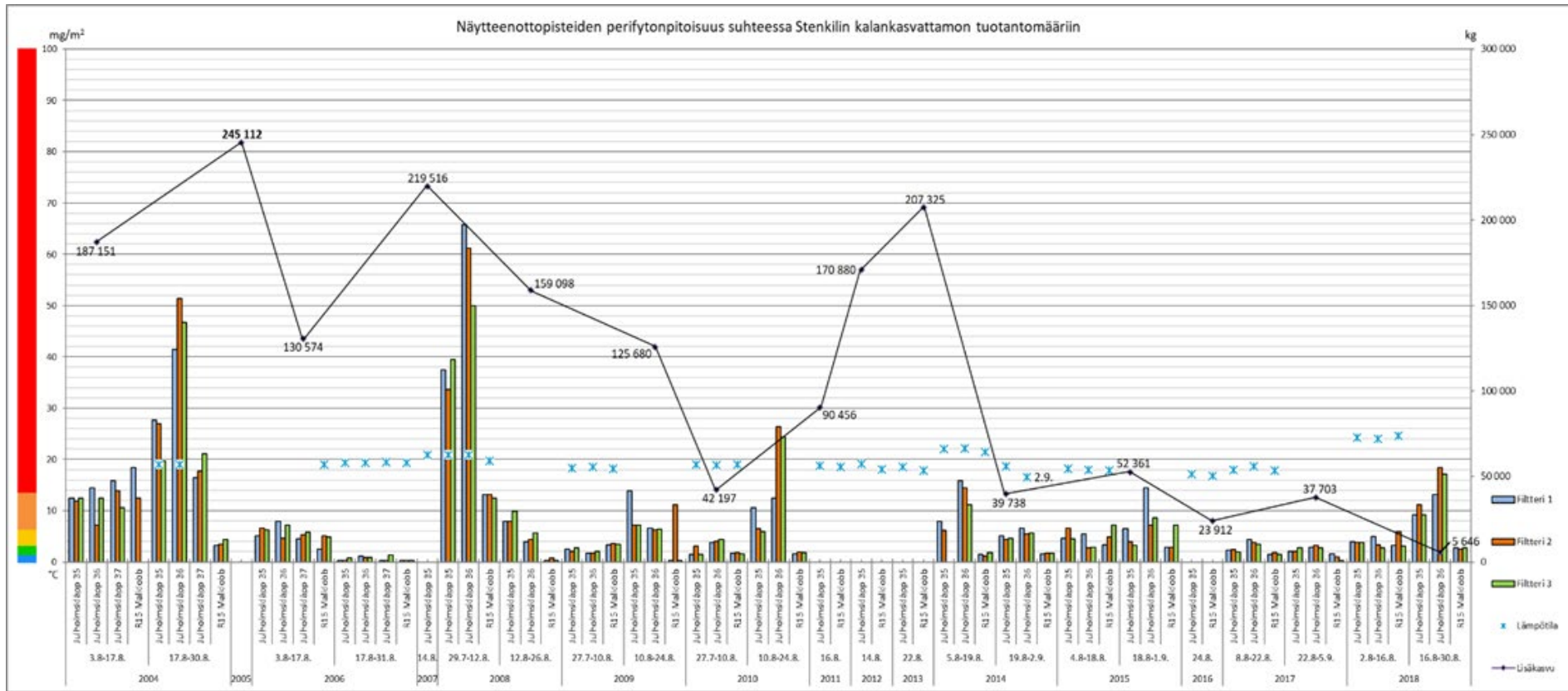
Kuva 31. Lejgrundin laitos näytteenottopisteineen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet vaaleanvihreällä. Referenssipisteen nimen alussa on R ennen pisteen numeroa. Pohjaeläimistön referenssipiste Bf-R102 Härholm näkyy mm. Jurmon kartassa (kuva 23) ja Märklöbbin kartassa (kuva 51).



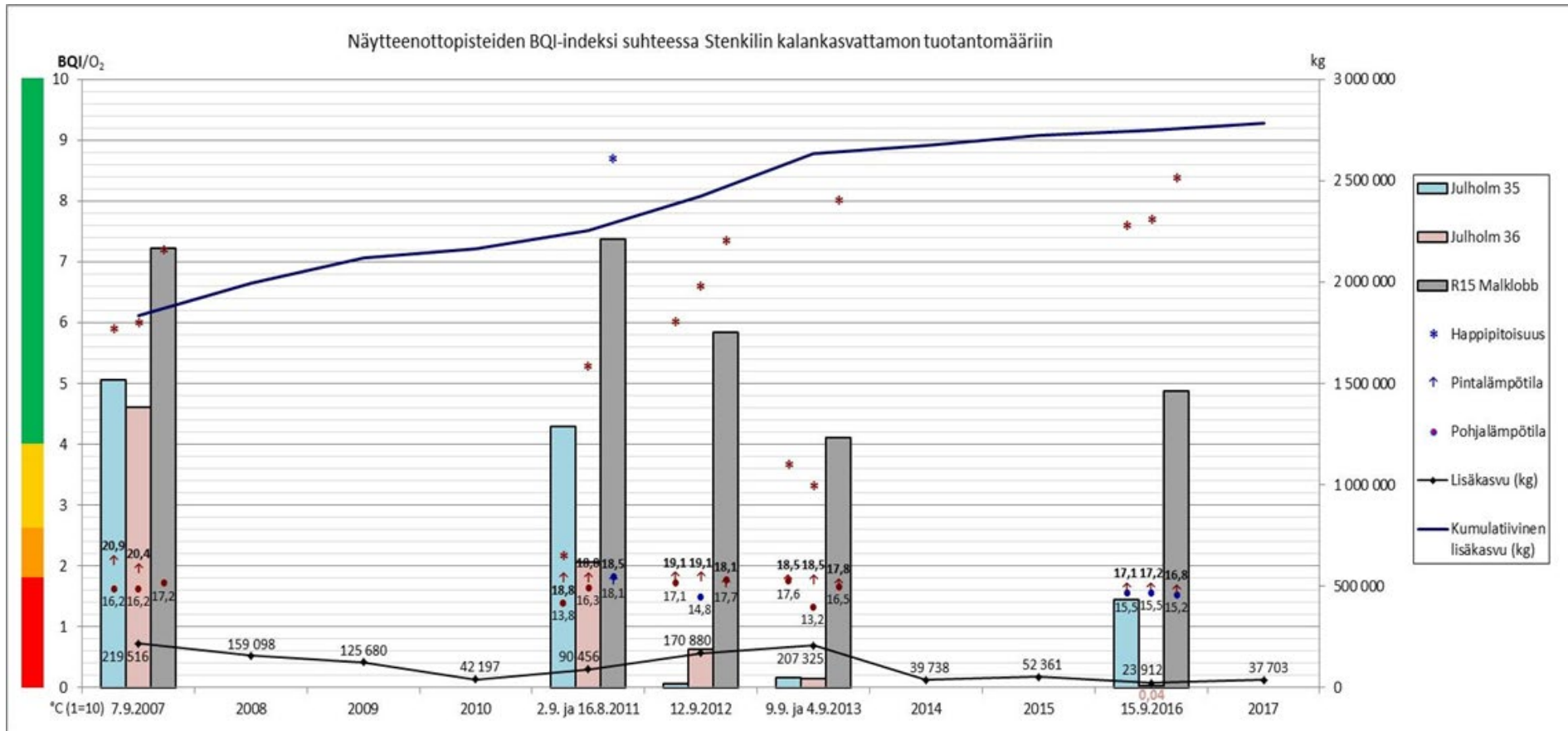
Kuva 32. Perifytonin (päällyskasvuston) pitoisuus suhteessa Lejgrundin laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2006–2018.



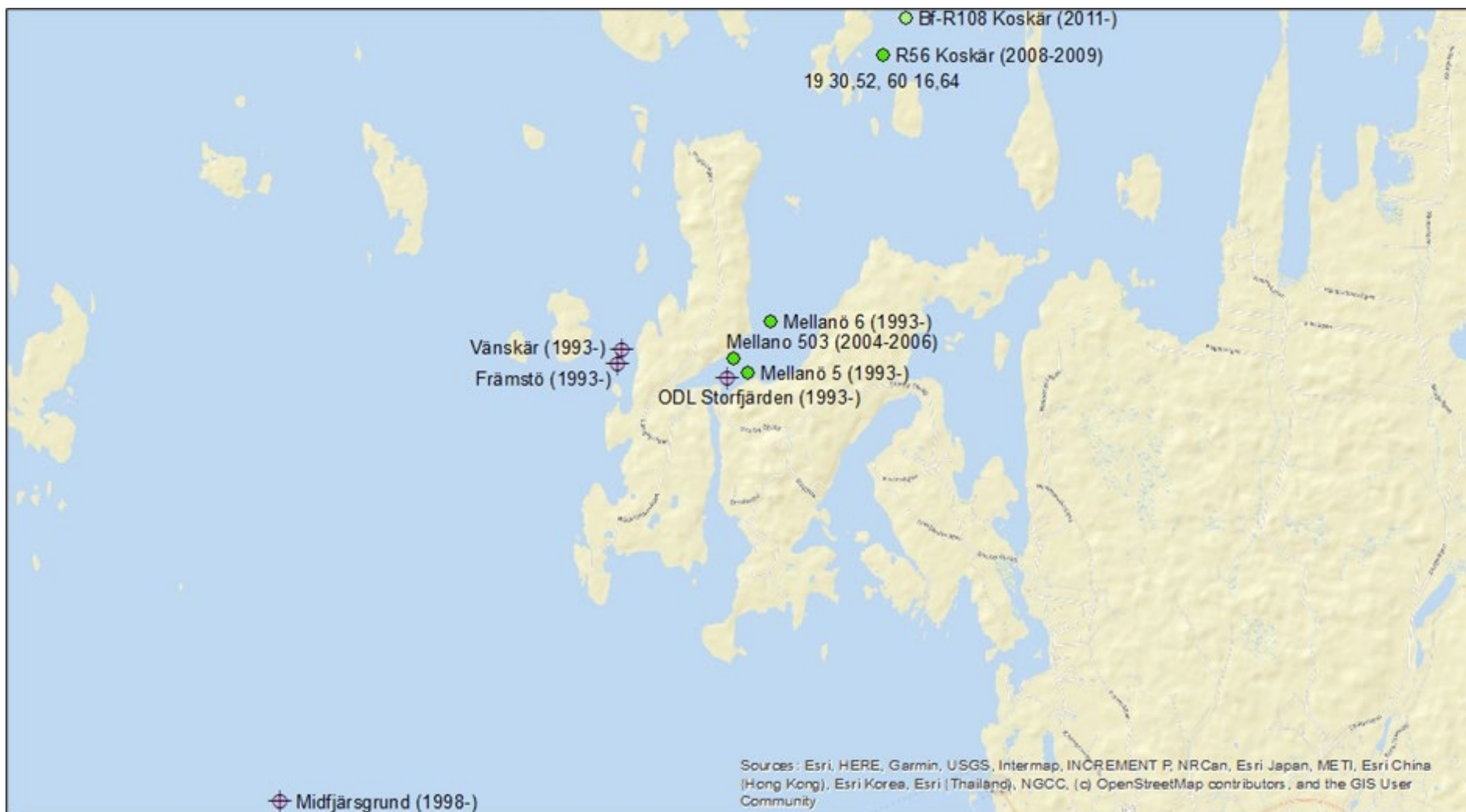
Kuva 33. BQI-indeksi suhteessa Lejgrundin laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiviseen lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö $\mu\text{g/l}$) vuosina 2011–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.



Kuva 35. Perifytonin (päällyskasvuston) pitoisuus suhteessa Stenkilän laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2004–2018.



Kuva 36. BQI-indeksi suhteessa Stenkilän laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiviseen lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö µg/l) vuosina 2007–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.

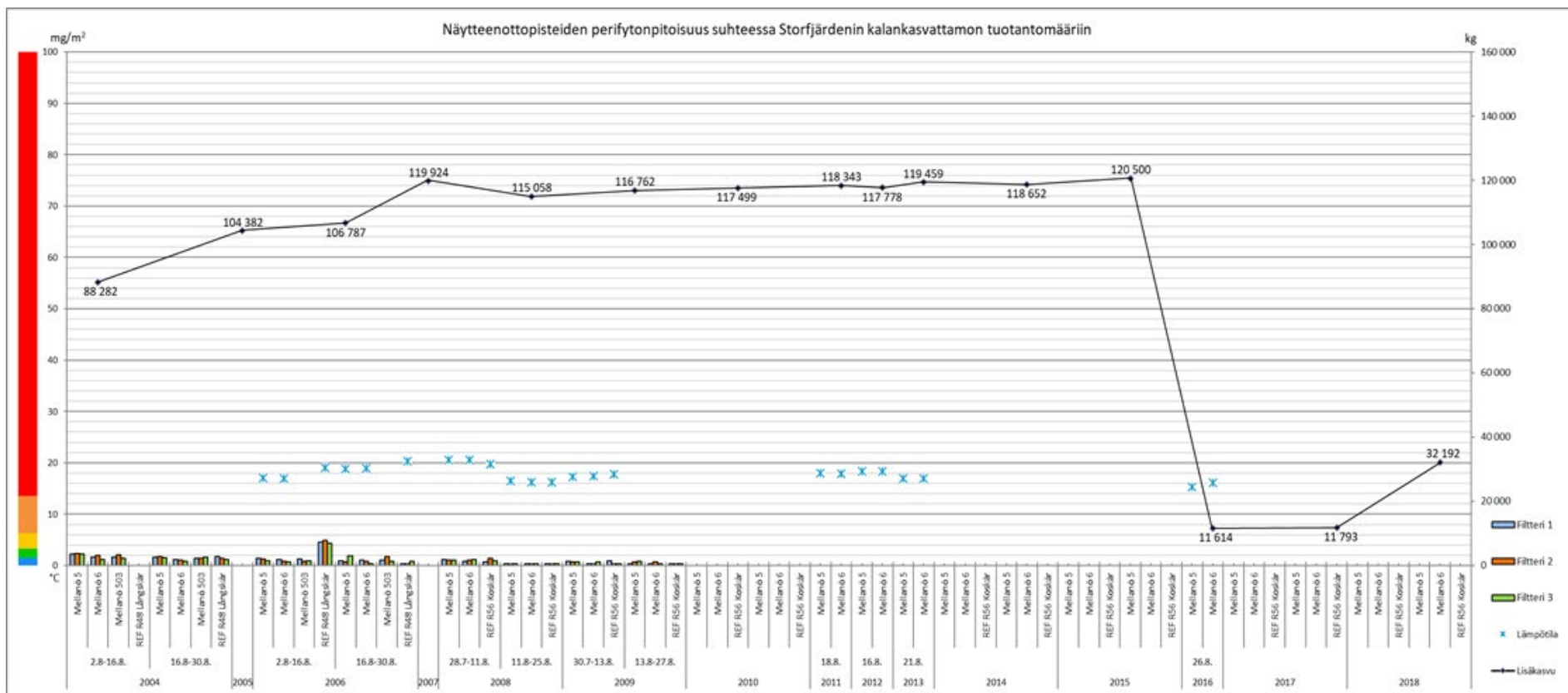


Kuva 37. Storfjärdenin laitos näytteenottopisteineen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet yleensä vaaleanvihreällä, mutta tällä laitoksella ei ole erillisiä näytteenottopisteitä pohjaeläimistöille vaan pisteiltä Mellanö 5 ja 6 on perifytonin lisäksi otettu myös pohjaeläinnäytteet. Ref. pisteen nimen alussa on R ennen pisteen numeroa.

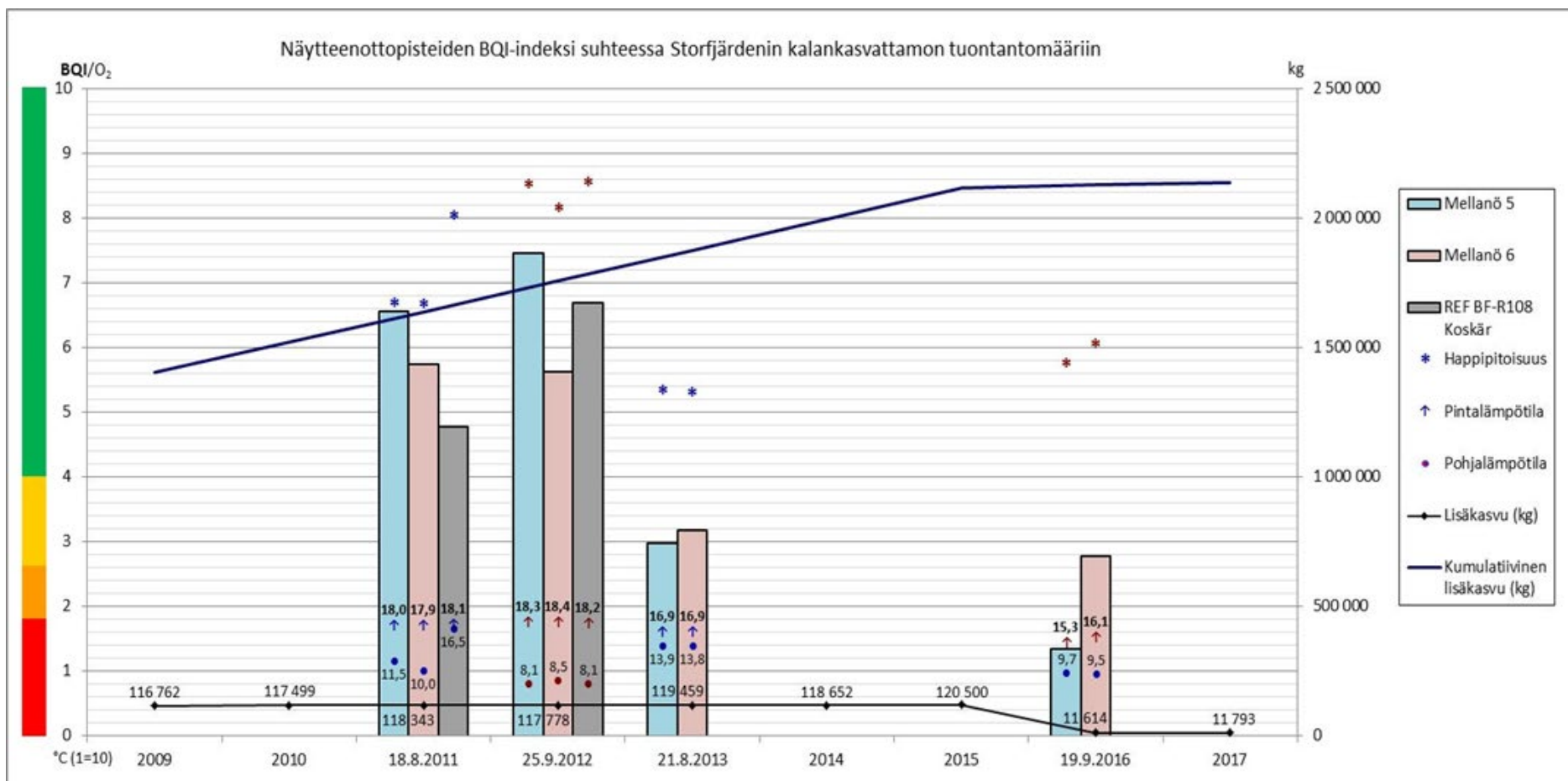


Kuva 38. Storfjärdenin laitoksen aiempi referenssipiste (R48 Långskär).

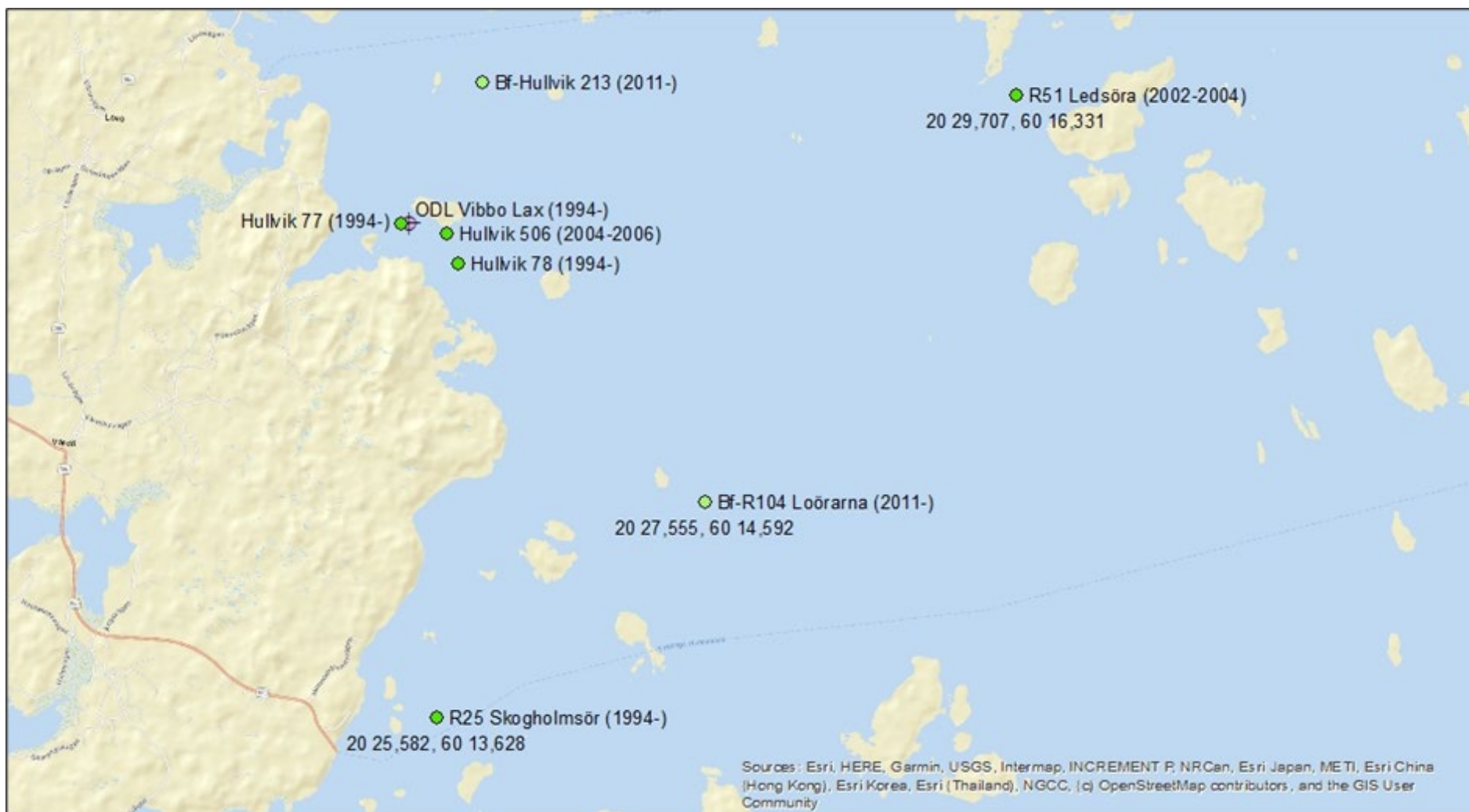
Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2021



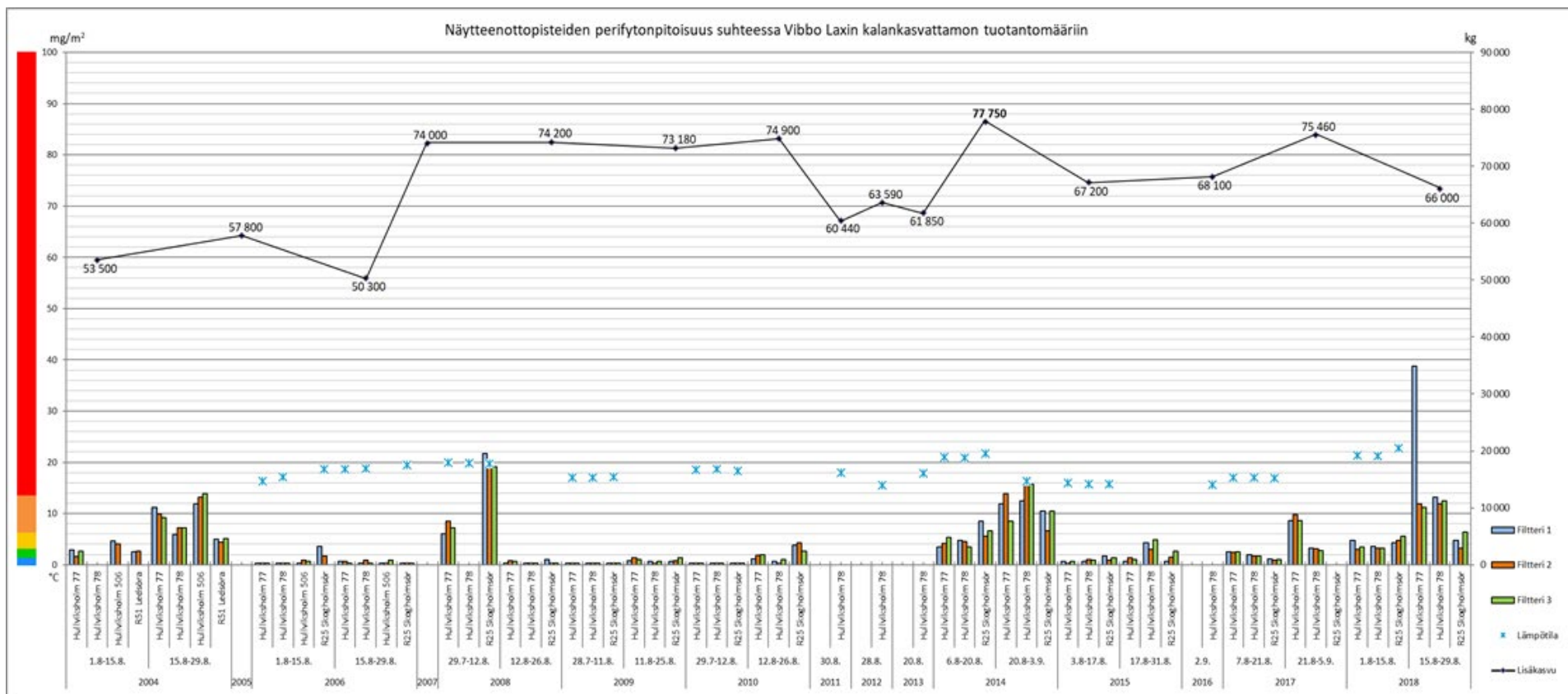
Kuva 39. Perifytonin/päällyskasvuston pitoisuus suhteessa Storfjärdenin laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2004–2009.



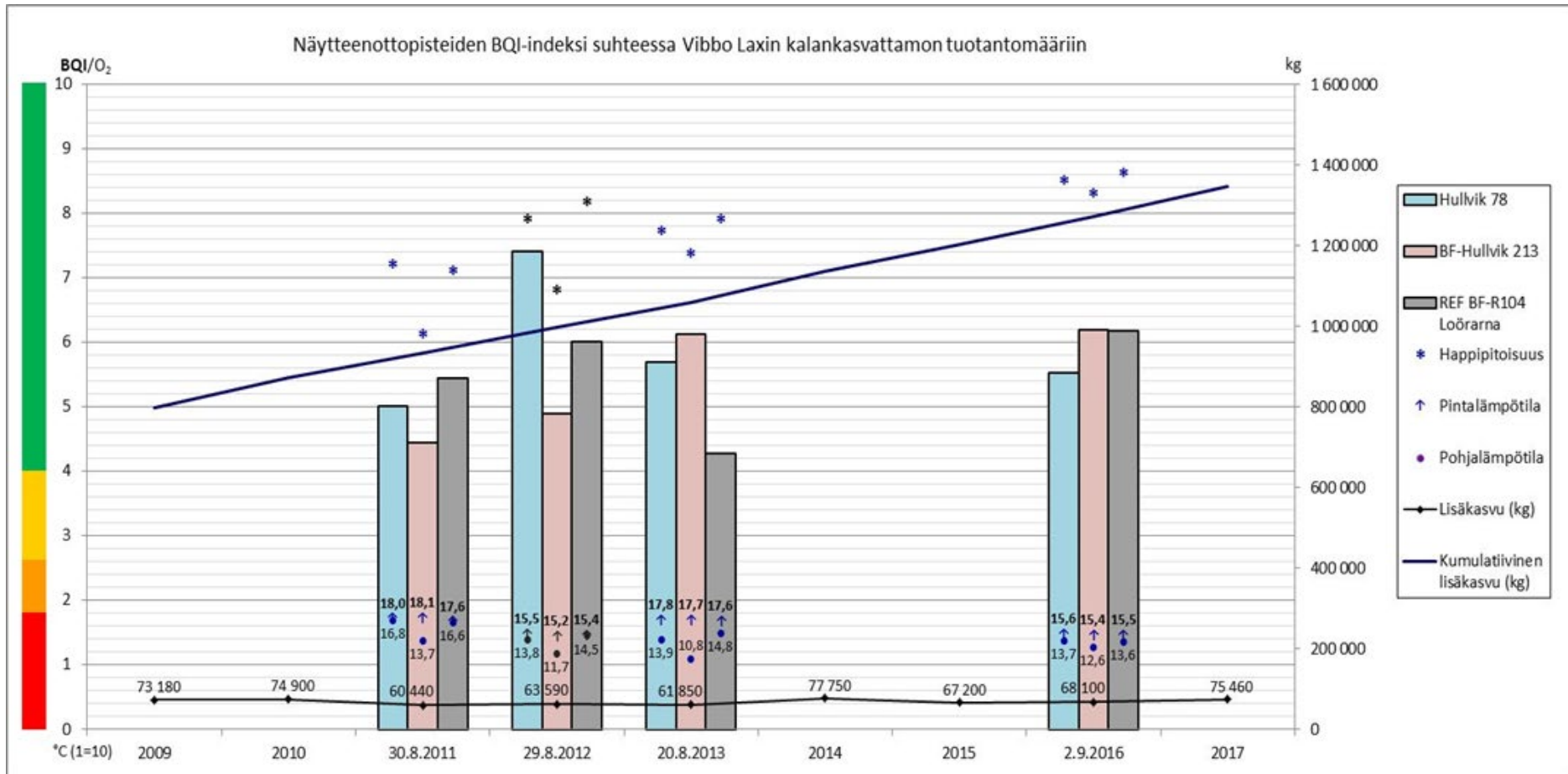
Kuva 40. BQI-indeksi suhteessa Storfjärdenin laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiv. lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö $\mu\text{g/l}$) vuosina 2011–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.



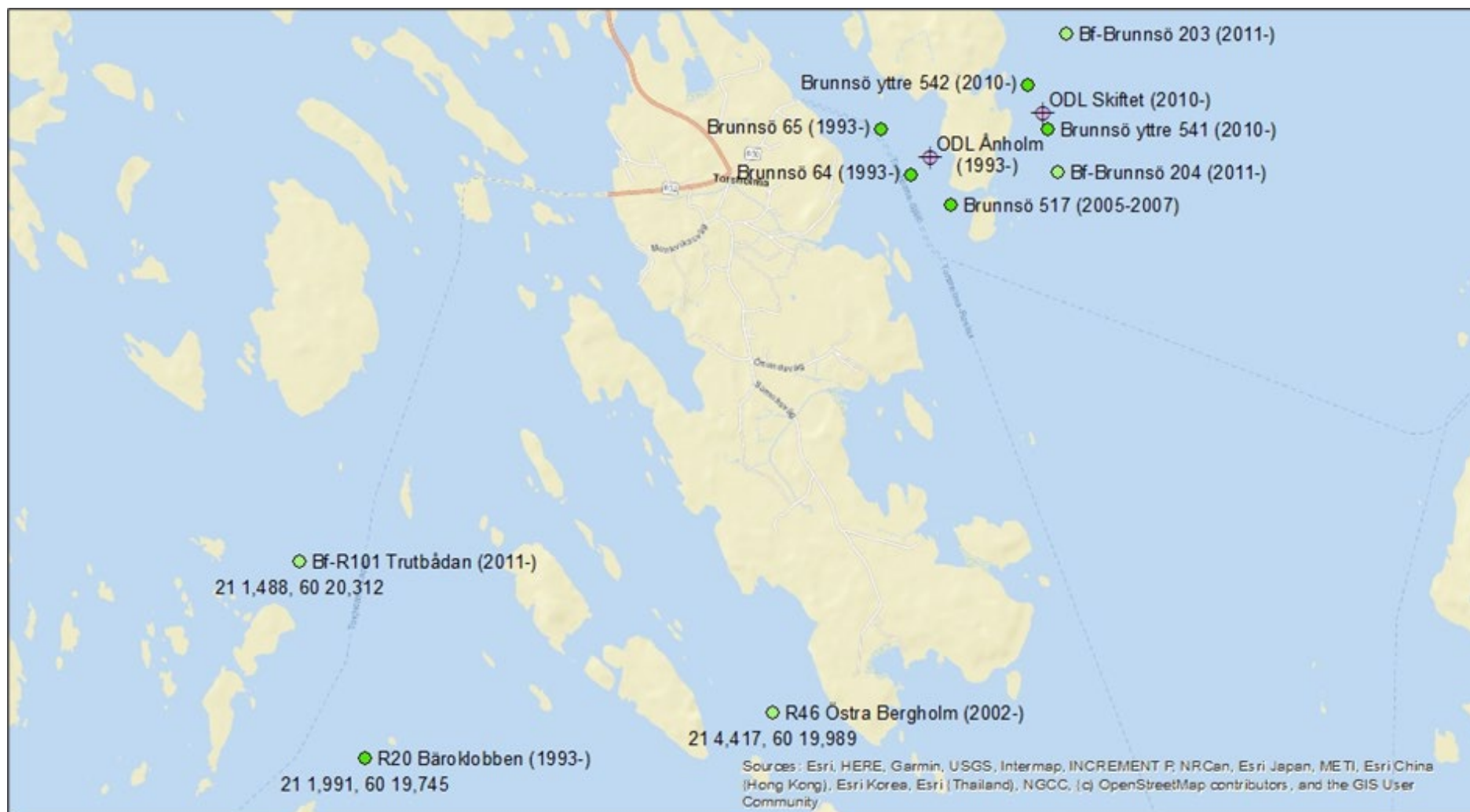
Kuva 41. Vibbo Laxin laitos näytteenottopisteineen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet yleensä vaaleanvihreällä, mutta piste Hullvik 78 toimii perifytonin lisäksi myös toisena pohjaeläimistön näytteenottopisteinä. Referenssipisteen nimen alussa on R ennen pisteen numeroa.



Kuva 42. Perifytonin (päällyskasvuston) pitoisuus suhteessa Vibbo Laxin laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2004–2018.

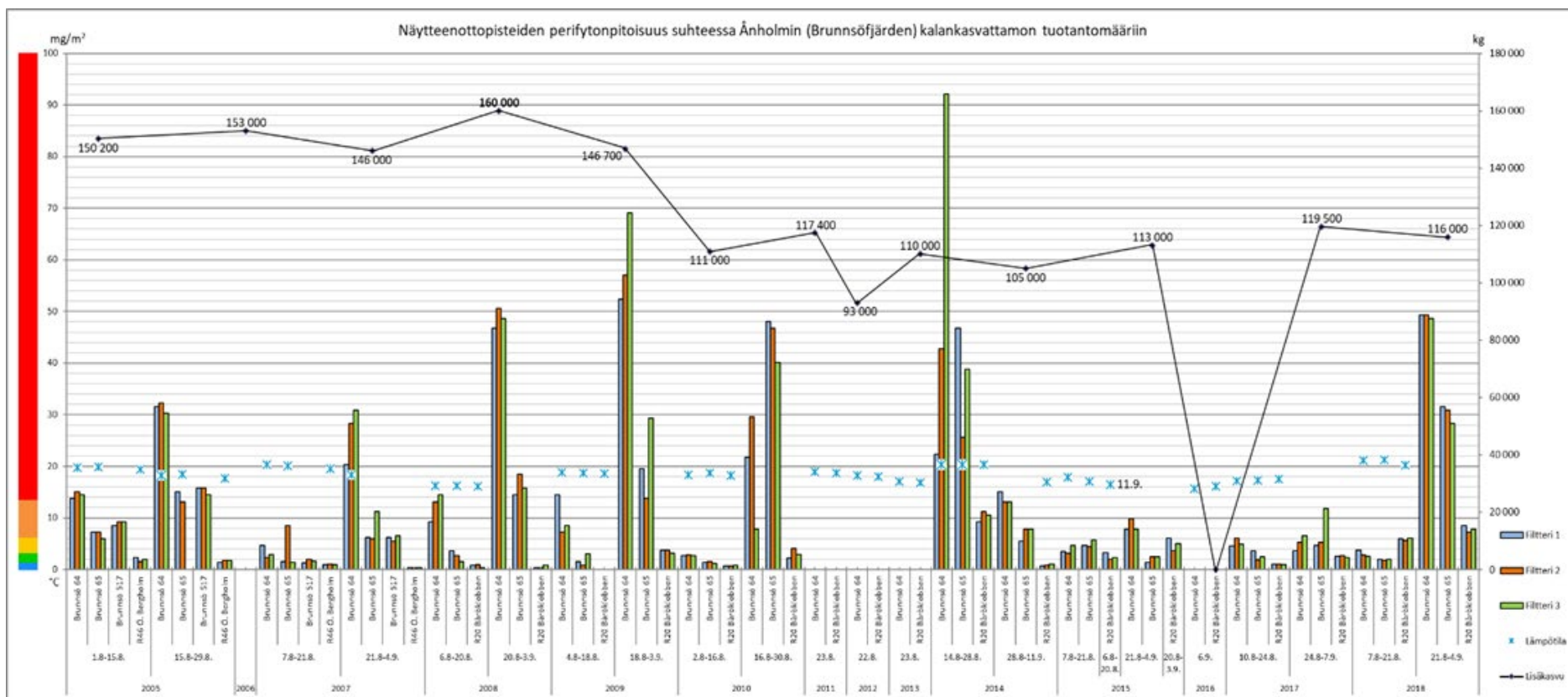


Kuva 43. BQI-indeksi suhteessa Vibbo Laxin laitoksen lisäkasvuun, kumulatiivis. lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö $\mu\text{g/l}$) vuosina 2011–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.

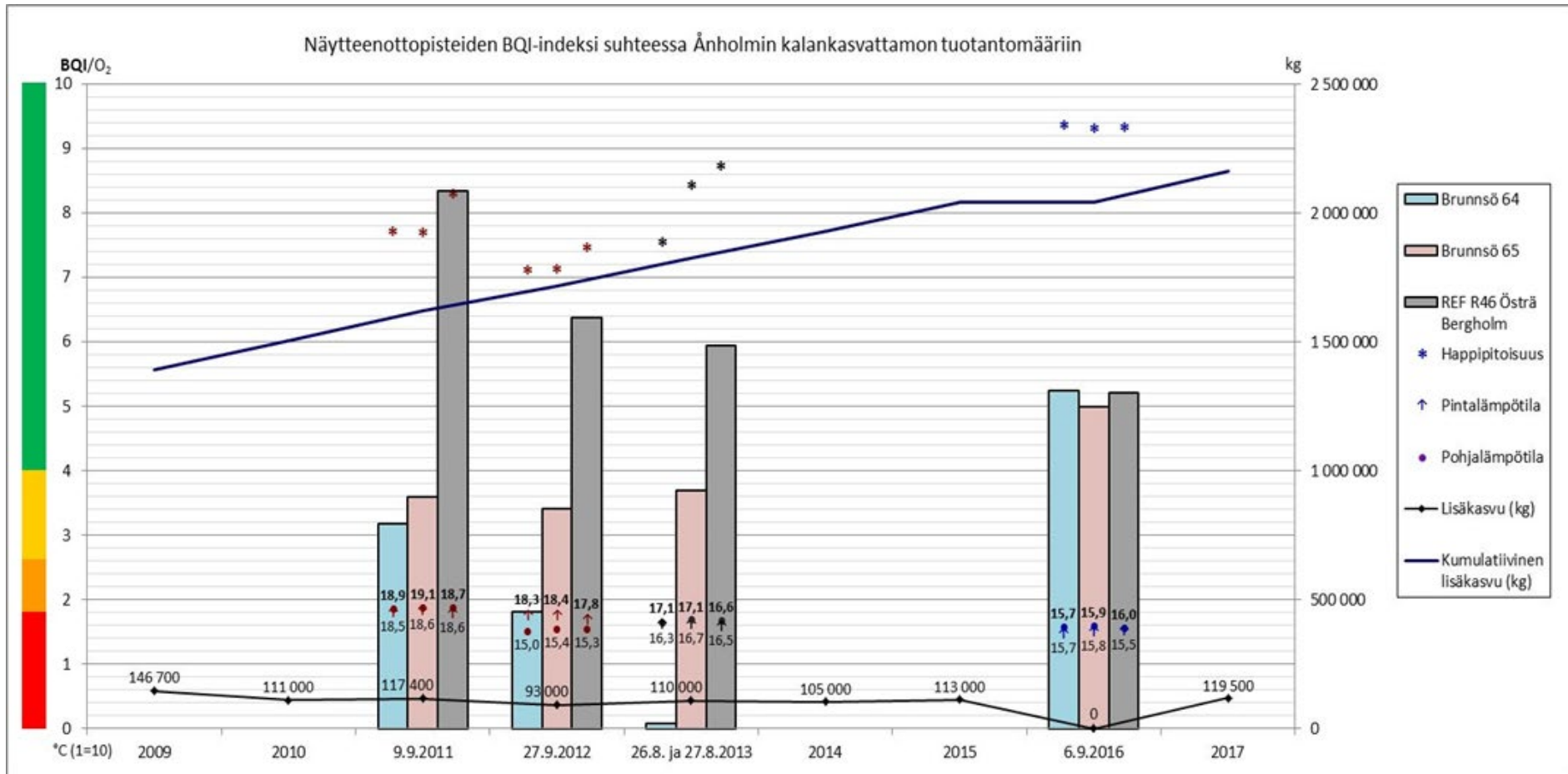


Kuva 44. Änholmin (ent. Brunnsöfjärden) laitos näytteenottopisteinen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet yleensä vaaleanvihreällä, mutta tällä laitoksella ei ole erillisiä näytteenottopisteitä pohjaeläimistöille vaan pisteiltä Brunnsö 64 ja 65 on perifytonin lisäksi otettu myös pohjaeläinnäytteet. Pohjaeläimistön referenssipiste on R46 Östra Bergholm.

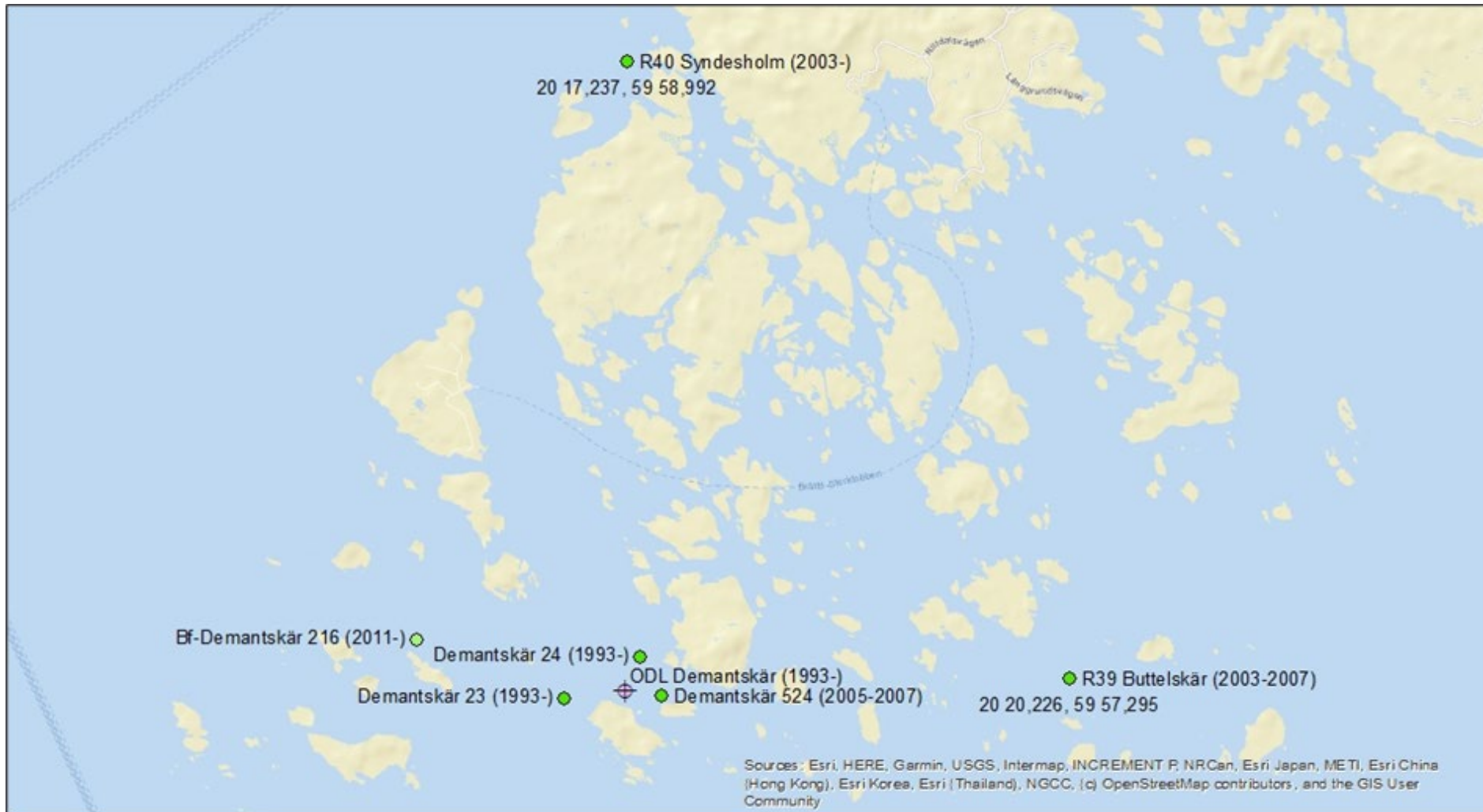
Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2021



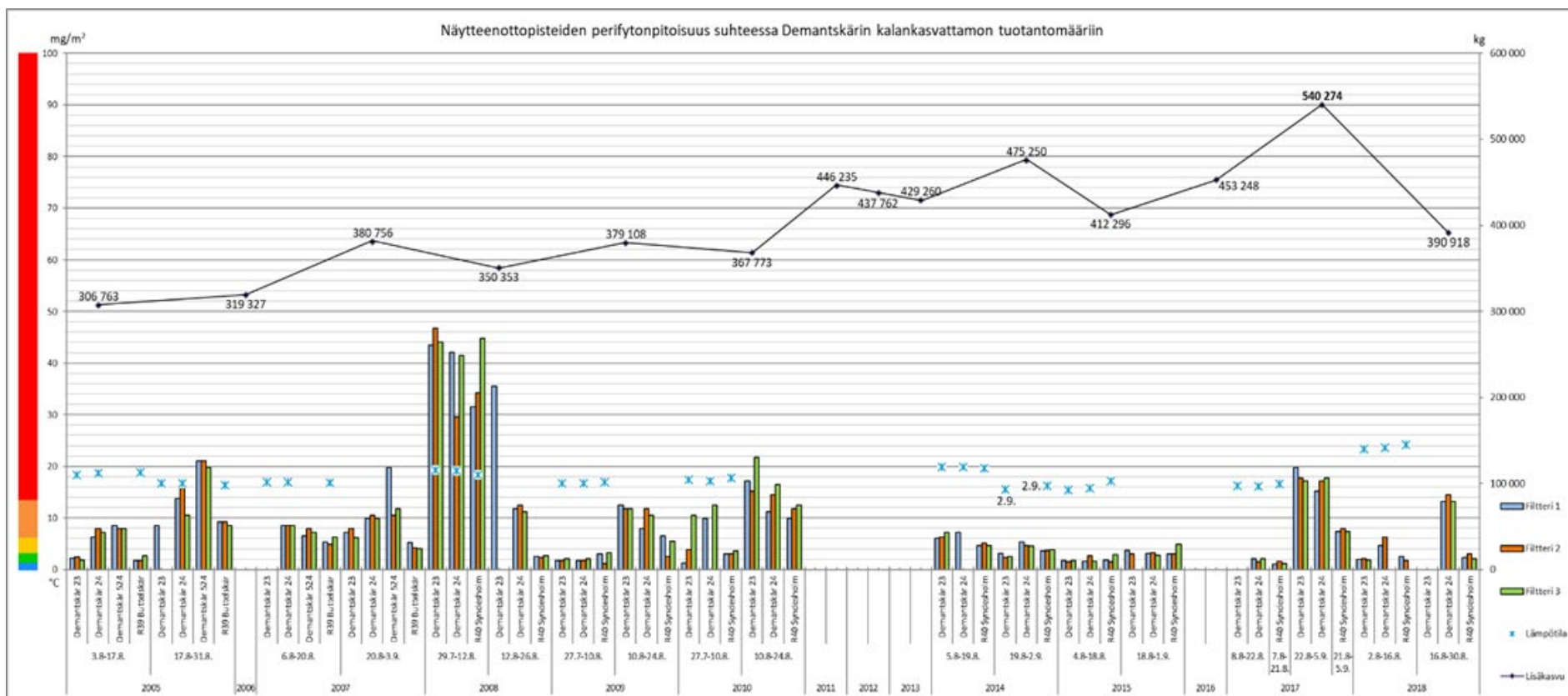
Kuva 45. Perifytonin (päällyskasvuston) pitoisuus suhteessa Änholmin laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2005–2018.



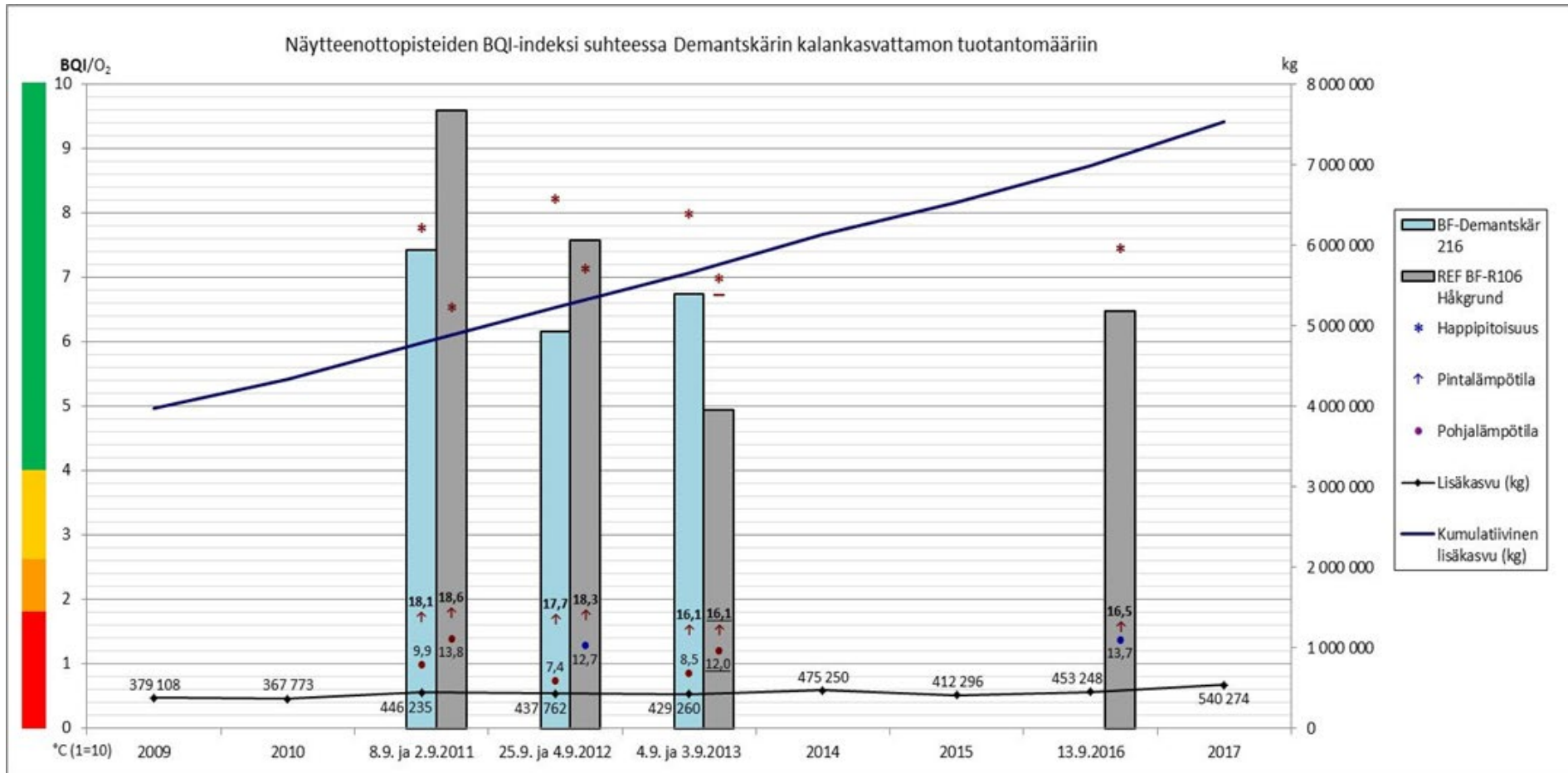
Kuva 46. BQI-indeksi suhteessa Änholmin laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiviseen lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö $\mu\text{g/l}$) vuosina 2011–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.



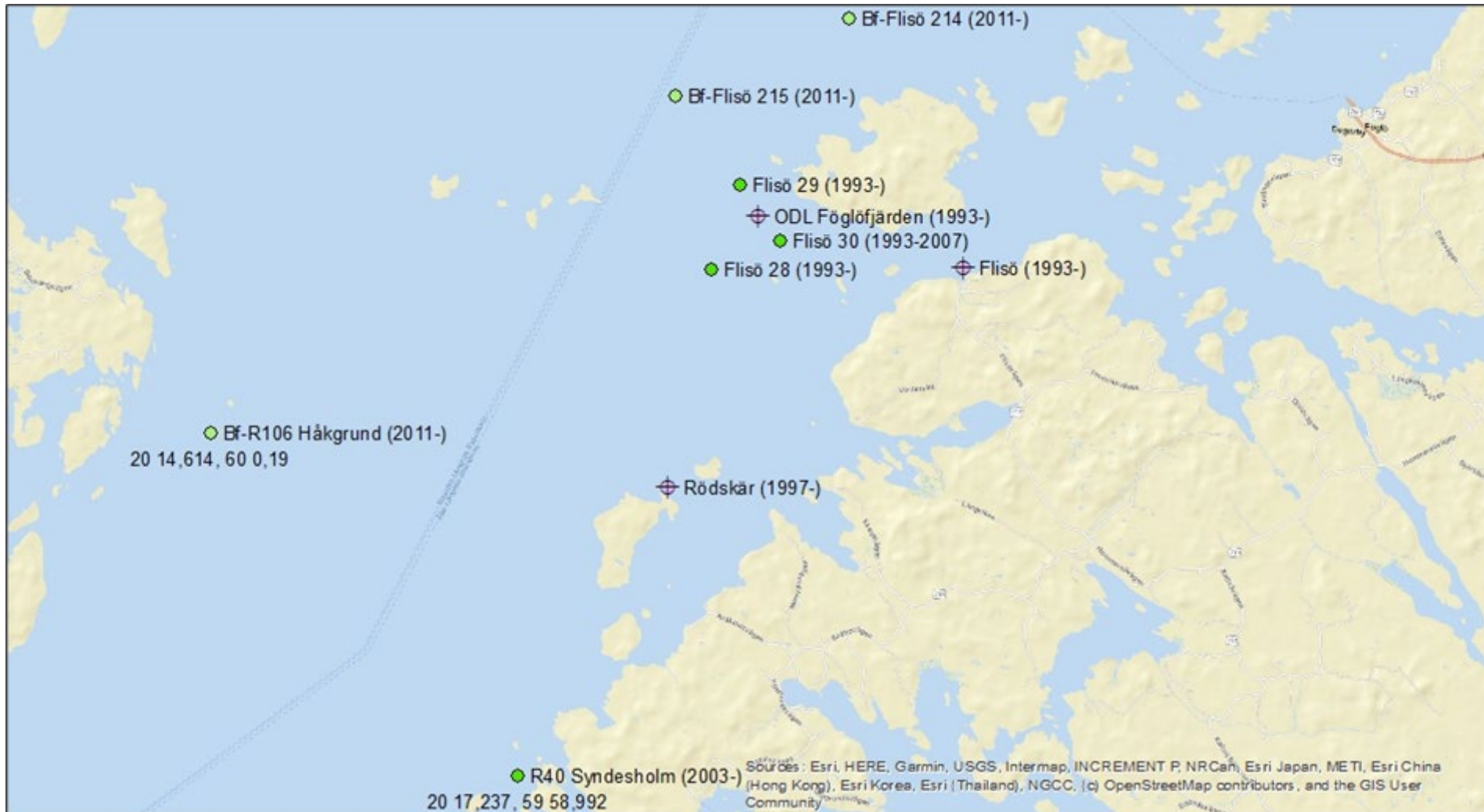
Kuva 47. Demantskärin laitos näytteenottopisteineen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet vaaleanvihreällä. Pohjaeläimistön referenssipiste Bf-R106 Håkgrund näkyy Föglöfjärdenin kartassa (kuva 48).



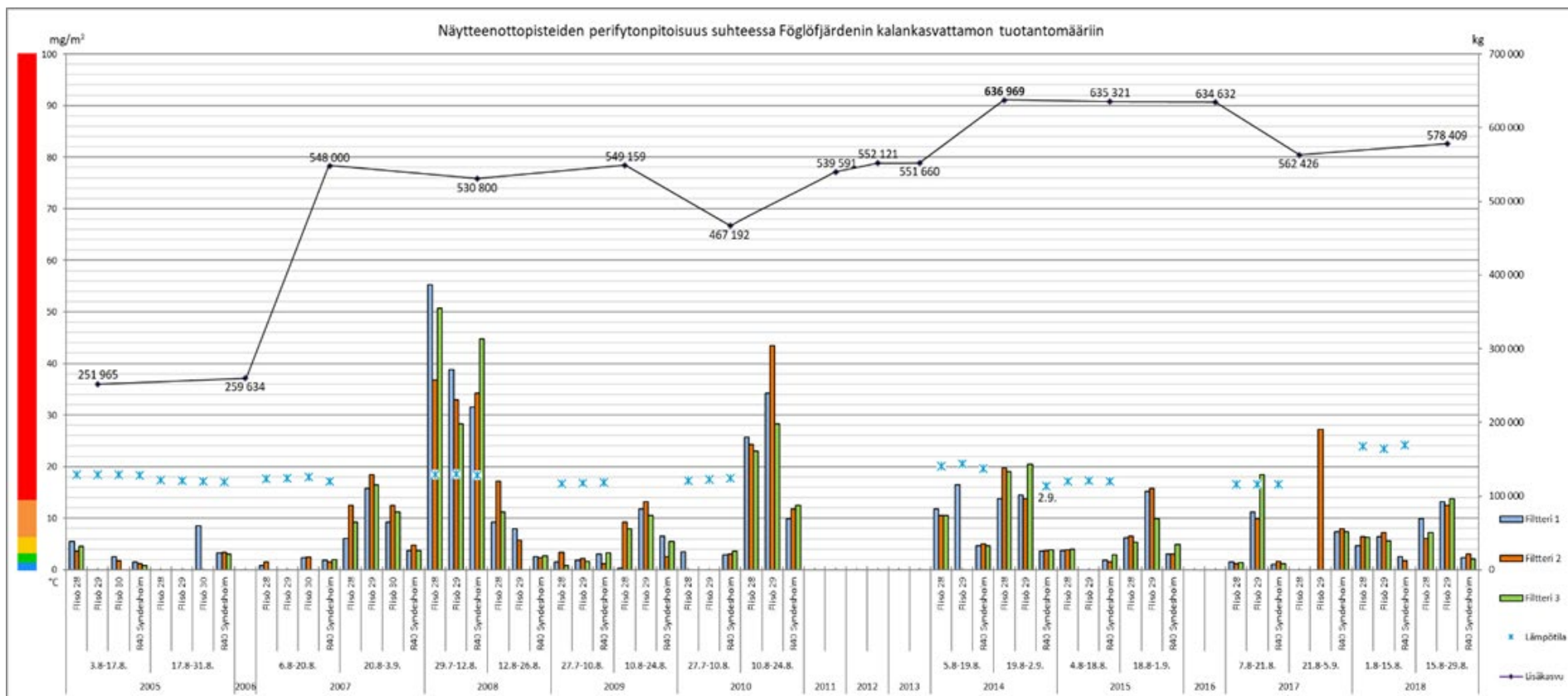
Kuva 48. Perifytonin/päällyskasvuston pitoisuus suhteessa Demantskärin laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2005–2018.



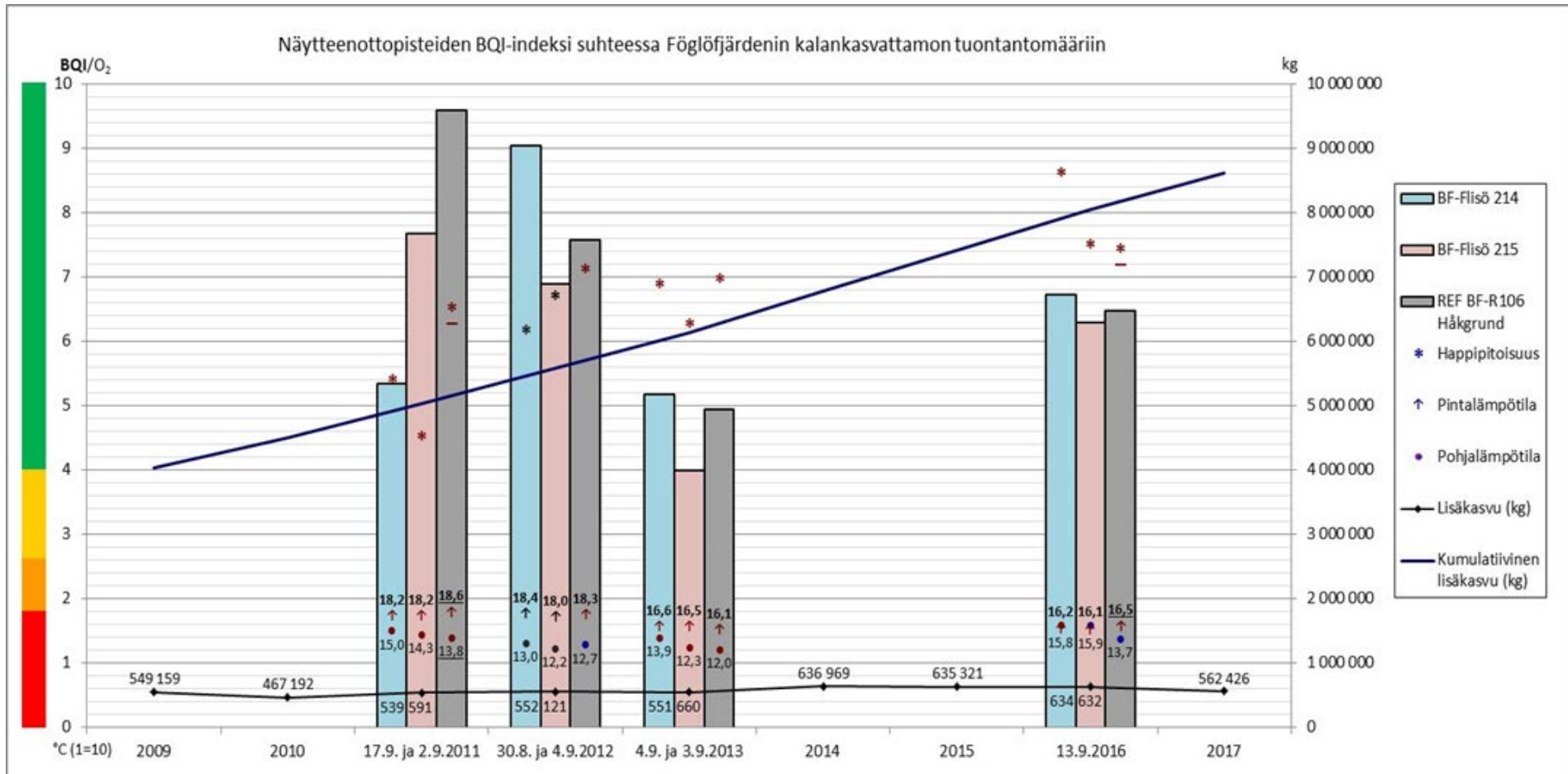
Kuva 49. BQI-indeksi suhteessa Demantskärin laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiv. lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö $\mu\text{g/l}$) vuosina 2011–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.



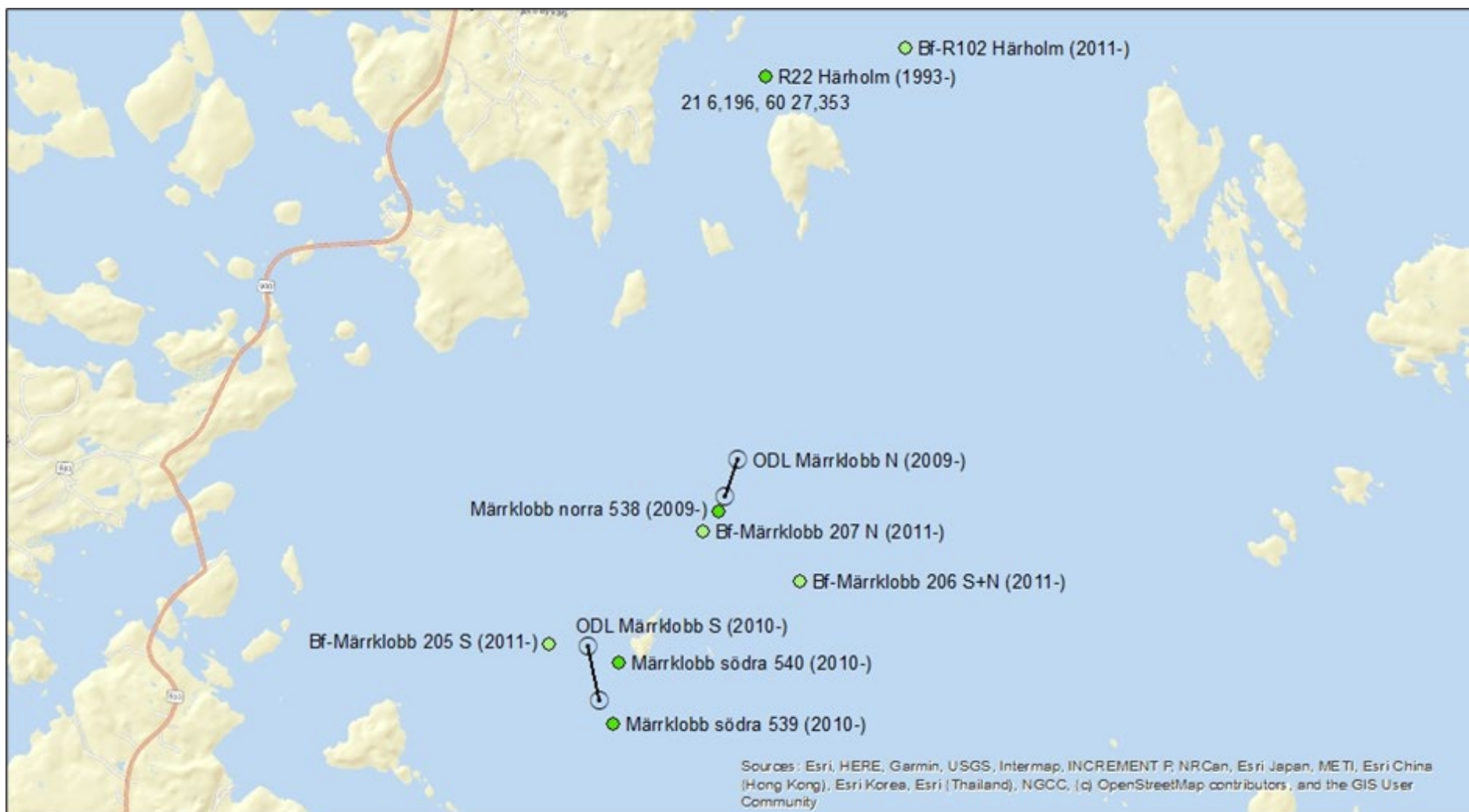
Kuva 50. Föglöfjärdenin laitos näytteenottopisteinen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet vaaleanvihreällä. Referenssipisteen nimen alussa on R ennen pisteen numeroa.



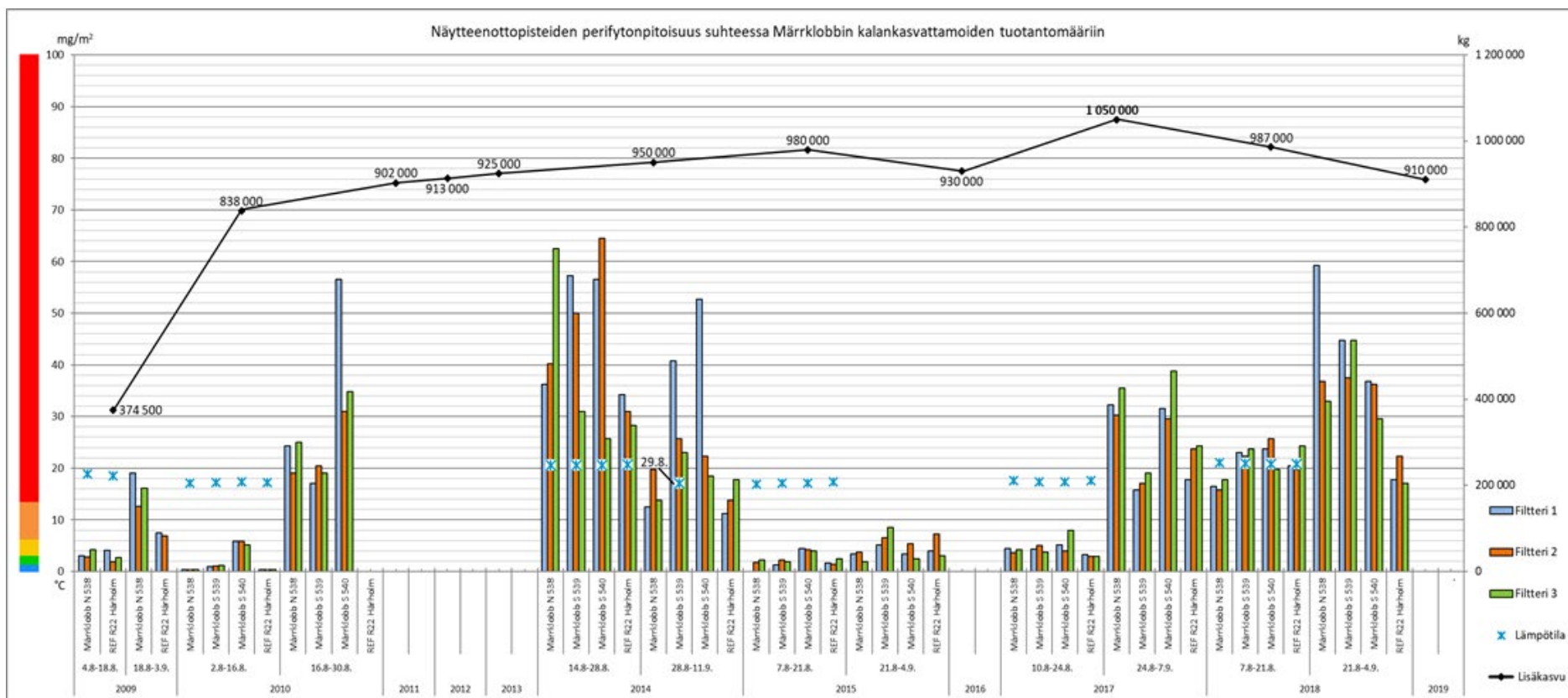
Kuva 51. Perifytonin (päälyllyskasvuston) pitoisuus suhteessa Föglöfjärdenin laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2005–2018.



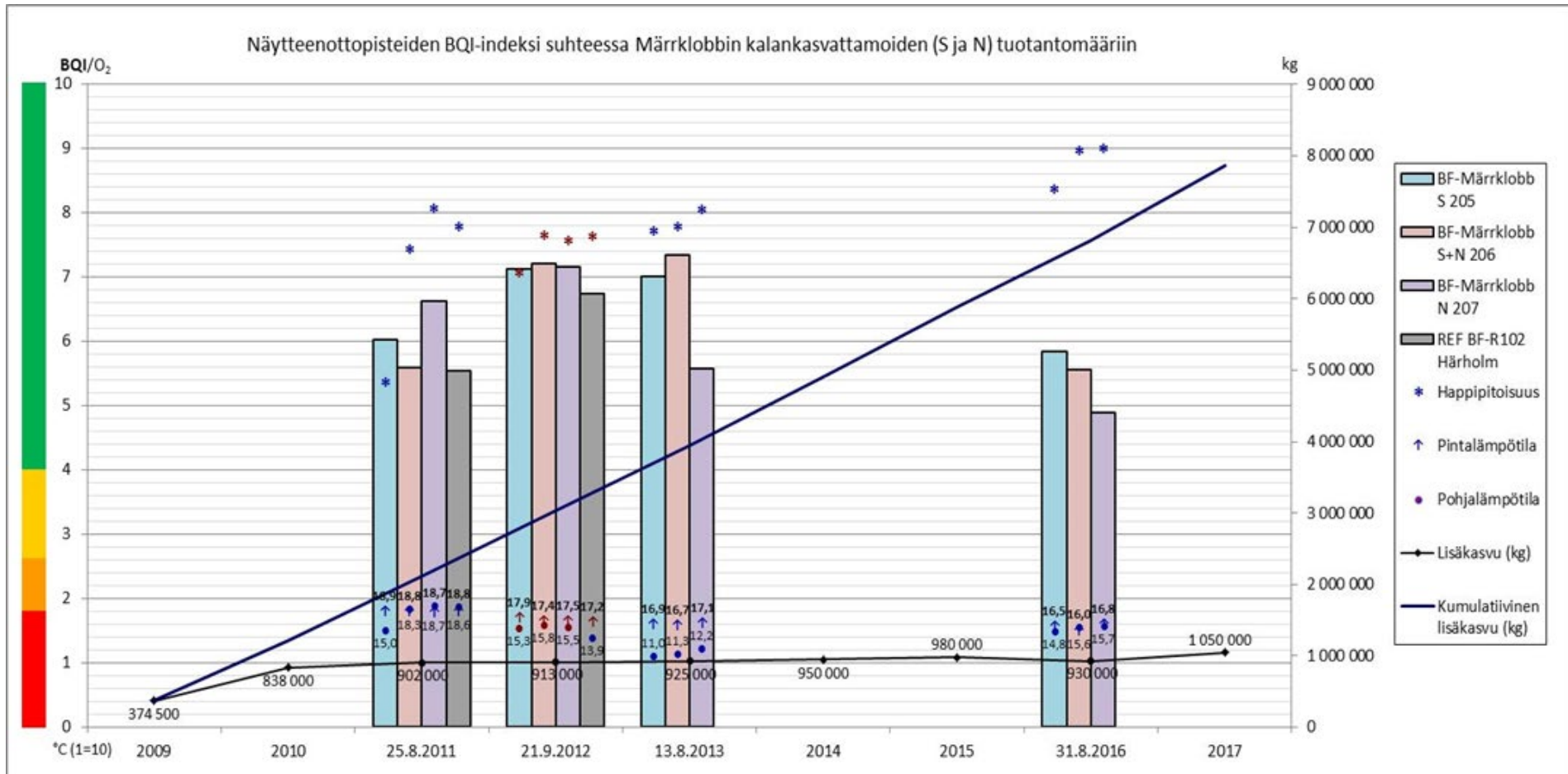
Kuva 52. BQI-indeksi suhteessa Föglöfjärdenin laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiv. lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö $\mu\text{g/l}$) vuosina 2011–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.



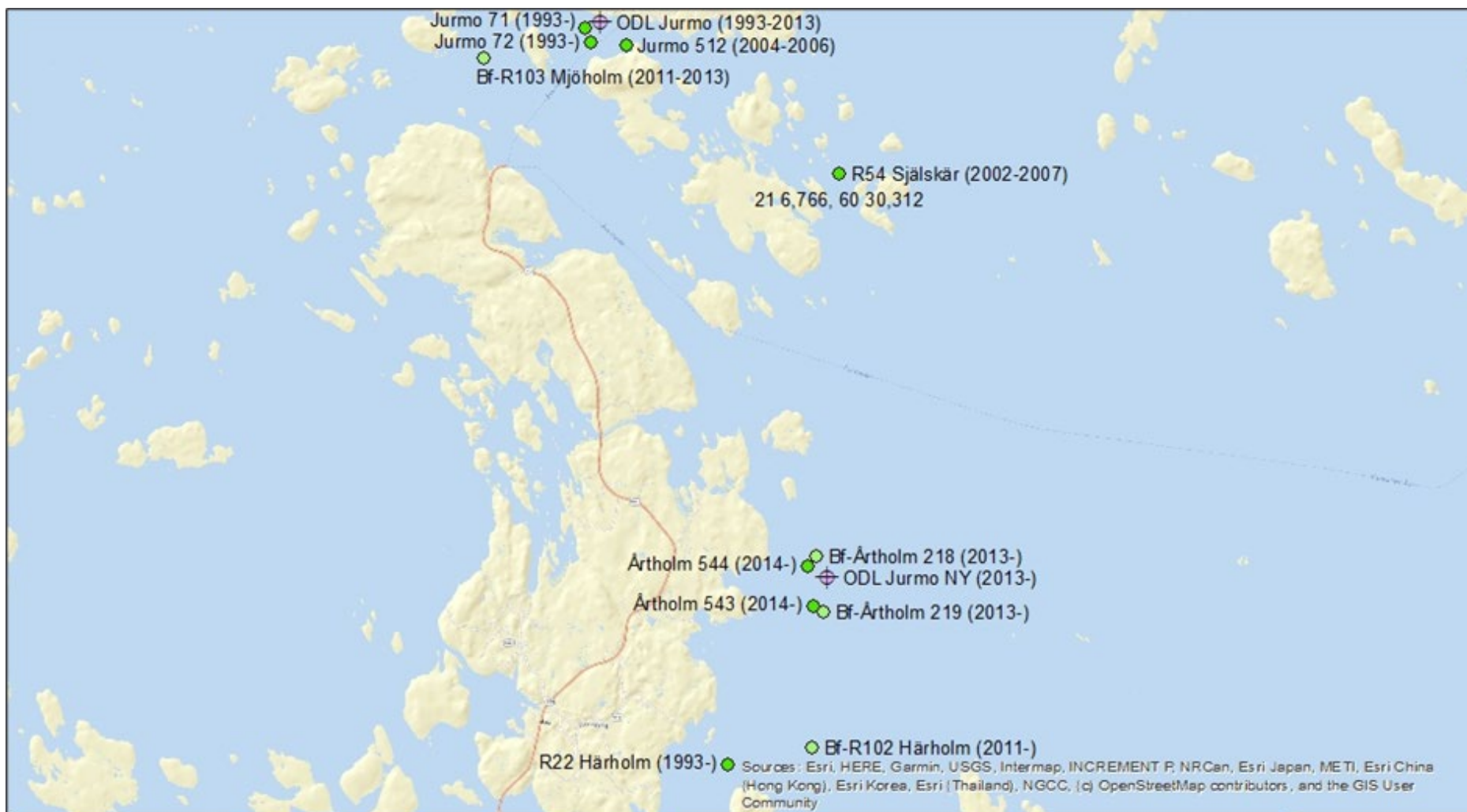
Kuva 53. Märrklobbin laitokset (N + S) näytteenottopisteineen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet vaaleanvihreällä. Referenssipisteen nimen alussa on R ennen pisteen numeroa.



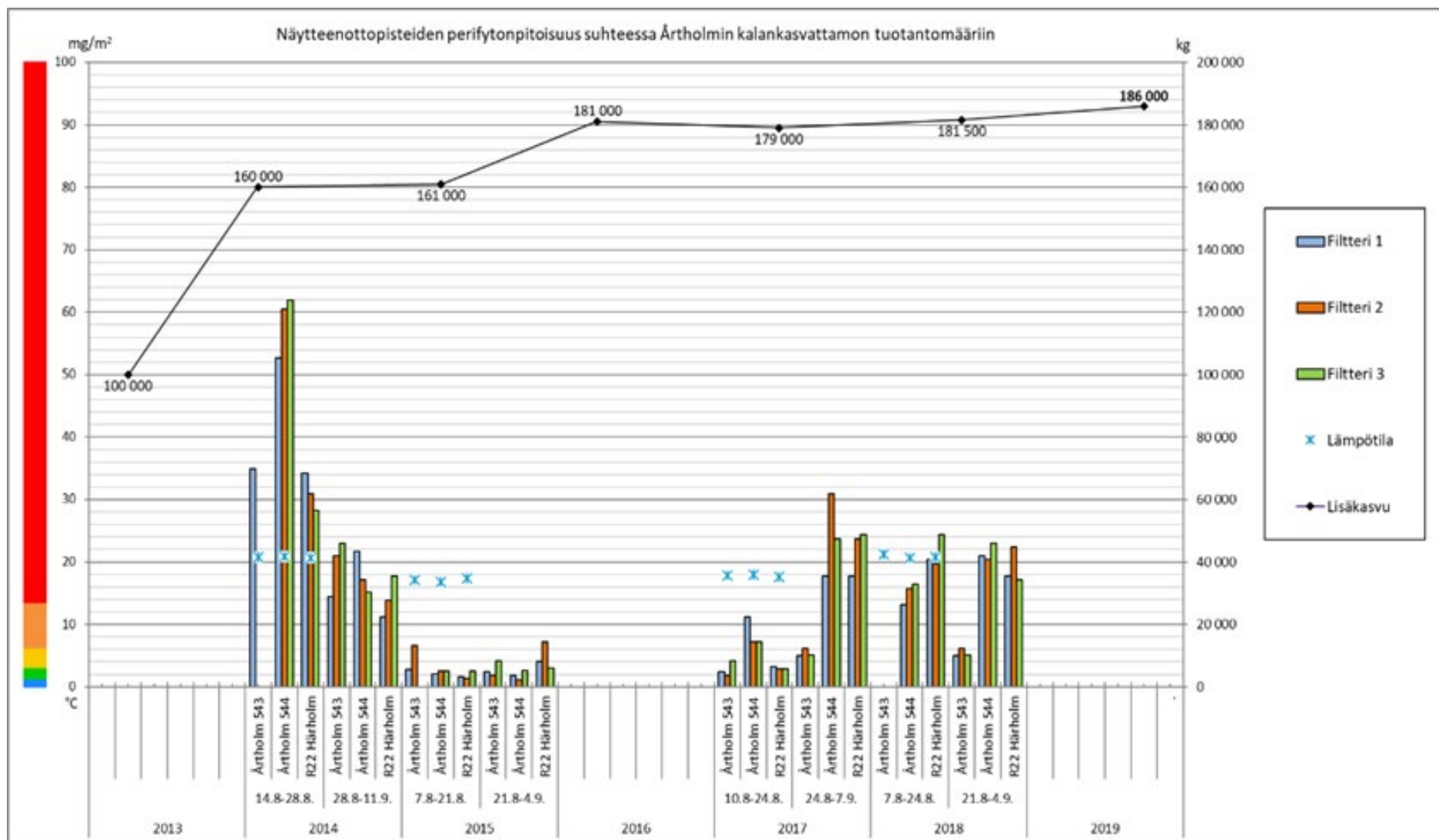
Kuva 54. Perifytonin (päällyskasvuston) pitoisuus suhteessa Märklobbin laitosten lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2009–2018.



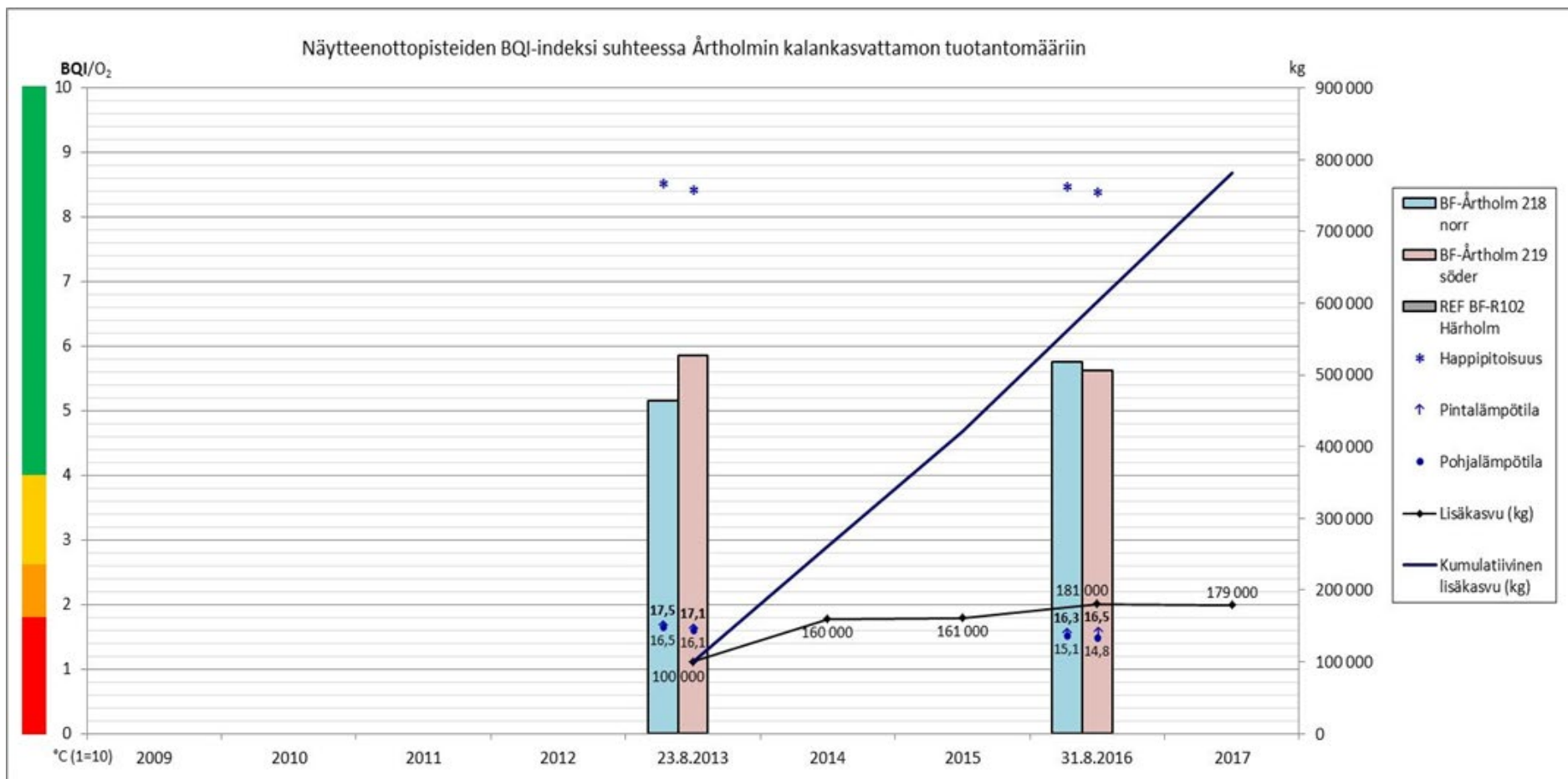
Kuva 55. BQI-indeksi suhteessa Märkklobbin laitoksien lisäkasvuun, kumulatiivis. lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö µg/l) vuosina 2011–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjaeläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjaeläinnäytteet.



Kuva 56. Årtholmin laitos näytteenottopisteineen. Perifyton-pisteet on merkitty tummemman vihreällä symbolilla ja pohjaeläinpisteet vaaleanvihreällä. Referenssipisteen nimen alussa on R ennen pisteen numeroa.



Kuva 57. Perifytonin (päällyskasvuston) pitoisuus suhteessa Ärtholmin laitoksen lisäkasvuun ja pintalämpötilaan v. 2014–2018.



Kuva 58. BQI-indeksi suhteessa Årtholmin laitoksen lisäkasvuun, kumulatiiviseen lisäkasvuun, pinta- ja pohjalämpötilaan sekä pohjan happipitoisuuteen (yksikkö µg/l) vuosina 2013–2016. Lämpötilan ja happipitoisuuden symboleissa on 3-värinen asteikko. Siniset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samana päivänä pohjäläinnäytteiden kanssa. Mustat symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu samassa kuussa, mutta eri päivänä pohjäläinnäytteiden kanssa. Punaiset symbolit tarkoittavat, että näytteet on otettu eri kuussa kuin pohjäläinnäytteet.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000