

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikka

Elektroniikkasuunnittelu

2017

Mika Kumpumäki

# SINILEVÄANTURIN TUTKIMUSTYÖ

**TURKU AMK**   
TURKU UNIVERSITY OF  
APPLIED SCIENCES

Mika Kumpumäki

## SINILEVÄANTURIN TUTKIMUSTYÖ

Sinilevät aiheuttavat haittaa monilla tavoin. Nykyisin menetelmin sinilevien tunnistaminen on kallista. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, onko sinileväanturi mahdollista toteuttaa edullisesti kuluttajakäyttöön nykyisellä tekniikalla tai olisiko muita vaihtoehtoisia syanobakteerien tunnistustapoja fluoresenssin lisäksi olemassa. Näiden lisäksi tarkoituksena oli myös luoda pohjaa mahdolliselle jatkokehitykselle. Työssä tutkittiin olemassa olevien sinileväantureiden toimintatapoja, hintoja ja ominaisuuksia. Näiden perusteella arvioitiin tapoja, joilla anturin hintaa nykyisellä tekniikalla saataisiin alennettua. Uusien tunnistustapojen tutkiminen jäi suppeaksi, eikä uusia tekniikoita löydetty.

Työssä todettiin, että edullinen anturi saattaisi olla mahdollista toteuttaa ylimääräisiä ominaisuuksia karsimalla tai halvemmilla komponenteilla tarkkuudesta tinkien. Käytännössä anturin toteuttaminen ei kuitenkaan välttämättä kannata, sillä kuluttajakäytössä elektroninen sinileväanturi ei liene hintansa arvoinen markkinoilta löytyvän vaihtoehtoisen sinilevätestin vuoksi.

### ASIASANAT:

anturit, fluoresenssi, pilottitutkimukset, syanobakteerit

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics

2017 | 18

Mika Kumpumäki

## RESEARCH ON SENSING CYANOBACTERIA

Cyanobacteria cause many water quality issues that affect humans and animals. Using the existing methods for sensing cyanobacteria is expensive. The goal of this Bachelor's thesis was to research if it is possible to implement an inexpensive sensor using current sensing technology or possibly find an alternative way of sensing cyanobacteria. In addition to that, the goal was to also create a base for further studies.

This Bachelor's thesis mainly focuses on studying fluorescence sensing because existing sensor technology is mostly based on fluorescence phenomenon. Prices and attributes of existing sensors were studied and sensors were compared to each other. As the focus was mainly on fluorescence sensing, only a fraction of the work carried out in this thesis investigated finding new sensing techniques and, as a result, new techniques were not found.

The conclusions of this research were that an inexpensive sensor could possibly be implemented by cutting unnecessary attributes or using cheaper components with the risk of reduced accuracy. In practice, creating this kind of sensor might not be reasonable as there is an alternative way of sensing cyanobacteria on the market.

### KEYWORDS:

sensors, fluorescence, pilot study, cyanobacteria

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>5</b>
<b>2 SINILEVÄ</b>	<b>6</b>
<b>3 SINILEVÄANTURIT</b>	<b>10</b>
<b>4 FLUORESENSSI</b>	<b>12</b>
<b>5 ANTURIN HINNAN MUODOSTUMINEN</b>	<b>14</b>
<b>6 POHDINTA</b>	<b>15</b>
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>16</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>17</b>

# 1 JOHDANTO

Sinilevät eli syanobakteerit ovat yleisimpiä myrkyllisten yhdisteiden tuottajia Suomen vesistöissä. Niiden tuottamat hermo- ja maksamyrkyt ovat vaarallisia niin ihmisille kuin eläimillekin. Myrkyille altistumisen seuraukset voivat olla pahimmillaan hengenvaarallisia. Altistuminen voi tapahtua suorana kontaktina tai välillisesti esimerkiksi ruoan välityksellä. [1]

Tämän opinnäytetyön aiheena on tutkia, miten sinileväanturi olisi mahdollista tuottaa riittävän edullisesti yksityishenkilöiden käyttöön. Tällä hetkellä antureita on hintojensa vuoksi käytössä vain joillakin yleisillä uimarannoilla.

Nykyisin jo olemassa olevien antureiden toiminta perustuu pääasiallisesti fluoresenssi-ilmiöön, jossa sinilevää ärsytetään valolla ja johon sinilevä reagoi emitoiden valoa takaisin eri aallonpituudella. Tämä tunnistustapa kuitenkin vaatii kaistanpäästösuodattimina toimivia linsejä, jotta häiritsevät valon aallonpituudet saadaan suodatettua pois. Optiset linssit ovat itsessään jo varsin kalliita, ja näin ollen olisi mahdollisesti kehitettävä uusi tapa tunnistaa sinilevää, jotta päästään haluttuun hintaluokkaan. Nykyisellään anturit maksavat tuhansia ja jopa kymmeniä tuhansia euroja. Työn tavoitteena on tutkia, miten anturi voitaisiin toteuttaa mahdollisimman halvalla kuluttajakäyttöön. Tavoitteeksi asetettiin toteuttaa anturi alle 200 €:lla.

Aivan lähtötilanteessa toimeksiantaja halusi, että työn lopussa olisi jo mahdollinen prototyyppi valmiista laitteesta ohjauselektroniikkaa myöten. Työn laajuuden vuoksi kuitenkin päädyttiin siihen, että tämä opinnäytetyö keskittyy tunnistusanturin toiminnan tutkimiseen ja mahdollisten uusien tunnistustapojen löytämiseen. Vastaavanlaisia töitä löytyy kirjallisuudesta melko vähän. Lähimpänä tätä työtä lienee Ryoichi Asain ym. julkaisema teos: "Development of a fluorometric sensor for the measurement of phycobilin pigment and application to freshwater phytoplankton", jossa keskitytään makeassa vedessä esiintyviin kasviplanktoneihin [2].

## 2 SINILEVÄ

Sinilevät eli syanobakteerit kuuluvat tieteelliseltä luokittelultaan bakteerien kuntaan ja syanobakteerien pääjaksoon. Syanobakteereja kutsutaan usein sinileviksi, vaikka todellisuudessa ne eivät ole leviä vaan esitumallisia eikä niiden värikään aina ole sininen. Sinilevä-termi on kuitenkin vakiintunut ja sitä käytetään yleisesti aiheesta puhuttaessa. Syanobakteerien erikoisuutena muihin esitumaisiin verrattuna on se, että ne ovat fotosynteesittisiä eli ne yhteyttävät Auringon valosta saamaansa energiaa käyttäen. Yhteyttämistuotteena syntyvän hapen vuoksi syanobakteerien uskotaan olleen merkittävässä roolissa maapallon ilmakehän muuttumisessa hapettomasta hapelliseksi ennen kambriakautta. Kambri tarkoittaa ajanjaksoa noin 541 miljoonaa vuotta sitten, jolloin eläinlajisto alkoi kasvaa räjähdysmäisesti. Syanobakteereja on fossiilien perusteella todettu olleen olemassa jo 3 500 miljoonaa vuotta sitten. [3]

Monet syanobakteerilajeista tuottavat haitallisia fykotoksiineja. Fykotoksiinilla tarkoitetaan usein vesiliukoisia, lähes haihtumattomia kasviplanktonien tuottamia myrkyllisiä yhdisteitä. Suomessa esiintyviä toksisia syanobakteerilajeja on useita. Makeissa vesissä tällaisia ovat ainakin *Anabaena*-suku (Kuva 1), *Aphanizomenon*-suku, *Microcystis aeruginosa*, *Nodularia spumigena*, *Nostoc* ja *Oscillatoria aghardii*. Itämeressä on havaittu edellä mainituista *Anabaena*-sukua, *Nodularia spumigenaa* sekä niiden lisäksi *Aphanizomenon sp.* [1]



Kuva 1. *Anabaena flosaquae* -syanobakteerilaji. [4]

Syanobakteerit tuottavat monia toksisia yhdisteitä. Kaksi yleisintä niiden tuottamaa suurempaa yhdisteryhmää ovat maksa- ja hermomyrkyt. Varsinaisten myrkyllisten yhdisteiden lisäksi syanobakteerisolut itsessään voivat aiheuttaa erilaisia oireita. Tutkituimpia myrkyllisistä yhdisteistä ovat järvissä muun muassa *Nostocin* tuottamat mikrokystiinit ja Itämeressä *Nodularia spumigenan* tuottama nodulariini-R eli NOD-R. Näiden kahden yhdisteen oireet ovat samankaltaisia ja ne molemmat lukeutuvat maksamyrkyihin. Nieltynä kumpikin yhdiste voi aiheuttaa maksavauriota ja kroonisesti altistuttaessa maksasyöpää. Käytännössä pidempiaikainen altistuminen vaatisi kuitenkin äärimmäistä huolimattomuutta. Saastuneeseen veteen kosketuksissa oltaessa saattaa aiheutua ihoärsytystä ja allergisia oireita. Sisään hengitettynä syanobakteerit voivat aiheuttaa esimerkiksi rintakipuja, astmaoireita ja kurkkukipua. Syanobakteereille saattaa altistua myös ravinnon kautta sinileväkukintojen aikaan, sillä ainakin mikrokystiinit ja nodulariini-R kertyvät joidenkin kalojen maksaan sekä simpukoihin. [1]

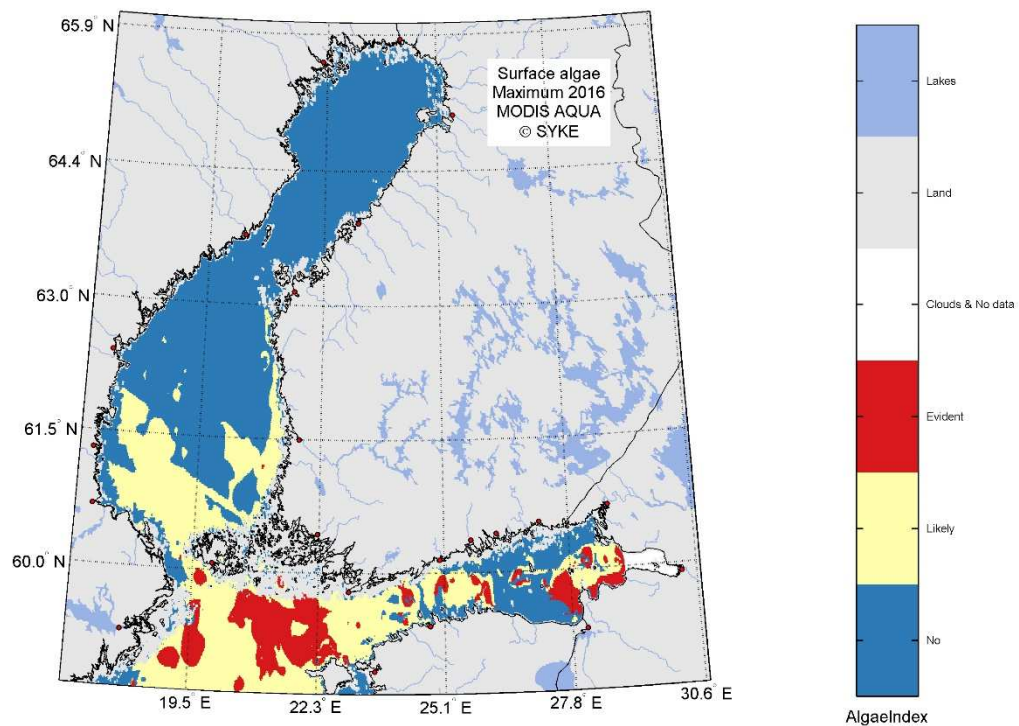
Sinilevien määrään vaikuttaa ilmaston lämpeneminen sekä vesistöjen rehevöityminen. Rehevöityminen johtuu osaltaan ihmisen aiheuttamasta typpi- ja fosforikuormasta. Itämerellä tapahtuu jatkuvasti sisäisiä prosesseja, jotka saavat lisäravinteiden kanssa aikaan noidankehän. Kasviplanktonin määrä lisääntyy, kun meri rehevöityy. Kuollutta orgaanista materiaalia hajoaa yhä enemmän ja merenpohjan happi kuluu entistä nopeammin. Pohjan tullessa hapettomaksi ravinteita alkaa liueta jälleen veteen. Erityisesti fosforin lisääntyminen vedessä saa syanobakteerien määrän kasvuun, sillä fosforin määrä on rajoittava tekijä niiden lisääntymisessä. Kun fosforia on saatavilla, syanobakteerit sitovat ilmakehästä typpeä. Hajotessaan ne taas vapauttavat sitä veteen ja koko kiertokulku alkaa alusta. [5]

## **Sinilevätilanne Suomessa**

Suomen ympäristökeskus on kerännyt tietoa Suomen levätilanteesta levähaittarekisteriin 1990-luvun alkupuolelta asti. Rekisterissä on tietoja vuodesta 1982 lähtien. Vuoden 1997 pahan sinileväkesän innoittamana on vuonna 1998 aloitettu systemaattinen valtakunnallinen levätilanteen seuranta. Seurannasta vastaavat Suomen Ympäristökeskus, ELY-keskukset sekä kunnalliset ympäristöviranomaiset. Suomen merialueen levätilannetta seurataan silmämääräisesti havainnoiden satelliittikuvista, joista ei pysty päättelemään levälajeja. Tämän lisäksi tietoa saadaan myös tutkimusaluksilta, kaupallisilta aluk-

silta ja Rajavartiolaitoksen tekemiltä lennoilta. Sisävesien levätilannetta seurataan pääasiallisesti ympäri Suomea olevilla pysyvillä havaintopaikoilla. Havaintopaikkoja oli vuonna 2016 yli 300 kappaletta 243 järvessä ja merialueilla. Myös yksityishenkilöt voivat lisätä omia havaintojaan seurantaan. Seuranta on nähtävissä SYKE:n perustamalla Järvi & Meriwiki -sivustolla [6]. Seuranta tehdään vuosittain kesäkuun alusta syyskuun loppuun ja SYKE julkaisee raportin viikoittain kesä-elokuun aikana levätilanteesta. [7]

Vuoden 2016 sinilevätilanne sisävesillä oli poikkeuksellisen hyvä varhaisista havainnoista huolimatta. Pahimmillaan sinilevätilanne on yleensä elokuun aikana. Merialueilla sinilevähavaintoja tehtiin jo tavallista varhaisemmassa vaiheessa. Tuulen vettä sekoittava vaikutus esti merellä suurten pintalautojen syntymisen, vaikka veteen olikin sekoittuneena sinilevää. Valtaosa merialueen havainnosta tehtiin Saaristomeren ja Suomenlahden rannikoilla (Kuva 2). Avomerellä havaittujen sinilevälautojen yleisin laji oli *Nodularia spumigena*, joka on myös yleisin myrkyllisiä yhdisteitä tuottava sinilevälaji Itämeressä [1]. [7]



Kuva 2. Vuoden 2016 sinileväesiintymät koostettuna. [8]



Vuonna 2016 elokuun puoleen väliin mennessä sisävesillä tehtyjen havaintojen määrä oli koko systemaattisen seurannan ajan alhaisin. Sinilevää oli kuitenkin paikoitellen runsaastikin lyhyitä ajanjaksoja muutamilla järvillä. Pidemmiksi ajanjaksoiksi levää ei muodostunut epävakaisen sään vuoksi. Vedet olivat kylmiä, taivas oli pilvinen ja tuuli sekoitti vettä estäen suurten sinilevälautojen muodostumisen veden pinnalle. [7]

### 3 SINILEVÄANTURIT

Sinileväanturit tunnistavat syanobakteereja fluoresenssi-ilmion avulla. Tätä menetelmää kutsutaan *in vivo* -fluorometriaksi. *In vivo* -fluorometria tarkoittaa mittauksen tapahtuvan suoraan elävän solun yhdisteiden aikaansaamasta fluoresenssista. Antureista puhuttaessa käytetään myös termiä *in situ*, joka taas tarkoittaa mittauksen tapahtuvan kenttäolosuhteissa eikä esimerkiksi koeputkessa laboratoriossa. Fluoresenssia mittaavia laitteita kutsutaan fluorometreiksi. [9, 10]

Elektronisilla sinileväantureilla on sekä vahvuuksia että heikkouksia verrattuna perinteisempään käsin tehtävään laboriotunnistukseen. Verrattuna perinteiseen laboratoriossa mikroskoopilla tehtävään solujen laskentaan *in vivo* -fluorometria on erittäin paljon tehokkaampi ja samalla helppo keino kerätä suuria määriä dataa reaaliajassa. Suuren datamäärän etuna on parempi satunnaisotannan toteutuminen. Työlästä näytteenotto-prosessia kuljetuksineen ei tarvita lainkaan. Menetelmää on kuitenkin hyvä tukea myös laboriotutkimuksilla, jotta tiedetään, tuottaako tunnistettava syanobakteerilaji myrkyllisiä yhdisteitä mitatussa ympäristössä. [9, 10]

#### Virhetekijät

Useat muuttujat aiheuttavat virheitä antureilla tehtävissä mittauksissa. Solujen kasvuaste ja ikä saattavat vaikuttaa fykosyaniinin määrään ja sen aiheuttamaan fluoresenssi-ilmioon. Fykosyaniini on levien sisältämä sininen proteiinipigmenti, joka osallistuu yhteyttämisprosessiin [11]. Fykosyaniinin säteilyspektrin vasteen huippukohta voi vaihdella hieman eri syanobakteerilajien välillä riippuen fykobilisomien pigmenttipitoisuuksista. Fykobilisomit ovat syanobakteerien sisältämiä valoa sitovia proteiini-komplekseja. Eri syanobakteerilajien välillä voi olla myös eroja solujen sisältämien fykosyaniinien määrässä ja hajonnassa. [10]

Valon saturaatiolla on myös vaikutusta fykosyaniinin fluoresenssivasteeseen. Liialliselle valostressille altistuessaan yhteyttävät hiukkaset ikään kuin passivoituvat suojautuakseen liian suurelta energiamäärältä [12]. Fykosyaniinien määrän on todettu olevan yleisesti korkeampi valon intensiteetin ollessa alhaisempi. Tämän lisäksi syvästä vesistä otettujen näytteiden fluoresenssivasteen on huomattu olevan suurempi verrattuna enemmän valolle altistuneisiin pintavesien syanobakteereihin. [10]

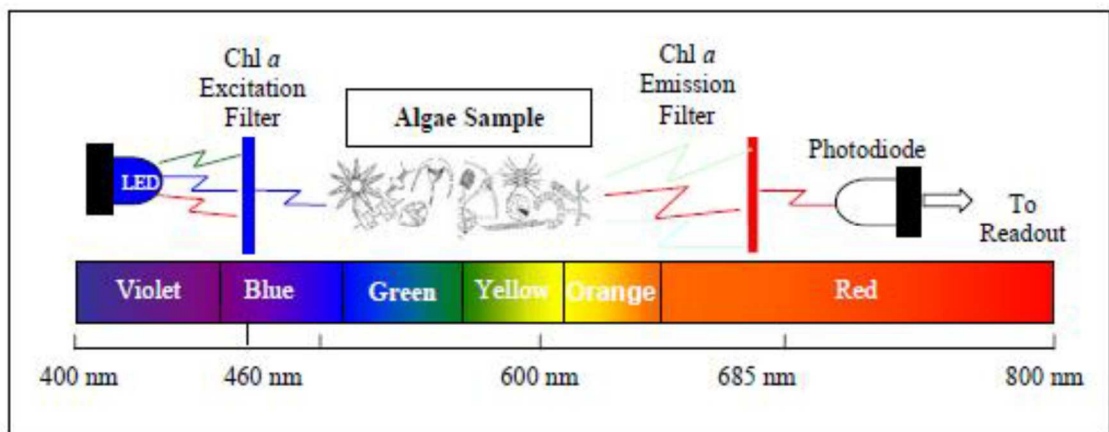
Ravinteiden määrä voi vaikuttaa syanobakteereissa esiintyvien fykosyaniinien määrään, sillä fykosyaniinit ovat proteiineja ja erityisesti alhaiset typpipitoisuudet saattavat rappeuttaa niitä. Suuret leväkasautumat voivat estää valon heräteallonpituuksien pääsyn esiintymän sisimpiin soluihin ja tämän lisäksi fluoresoitunut valo voi helpommin sirota tai absorboitua uudestaan soluihin. Suurien esiintymien kohdalla onkin huomattu saatujen mittaustulosten olevan todellista tilannetta alhaisempia. Myös liiallinen veden sameus voi aiheuttaa mittausrvirheitä. [10]

## 4 FLUORESENSSI

Fluoresenssi on yksi luminesenssin muodoista. Fluoresenssissa tulevan valon fotoni absorboituu ja virittää absorboivan aineen molekyylejä. Viritystilan purkautuessa molekyylistä emittoituu fotoni tai fotoneja, joiden aallonpituus useimmiten on alkuperäistä aallonpituutta korkeampi. Tätä lähtevää valoa kutsutaan fluoresoituneeksi valoksi. Fluoresoituneen valon energia on aina tulleen valon energiaa matalampi, sillä osa energiasta muuttuu lämmöksi. [13]

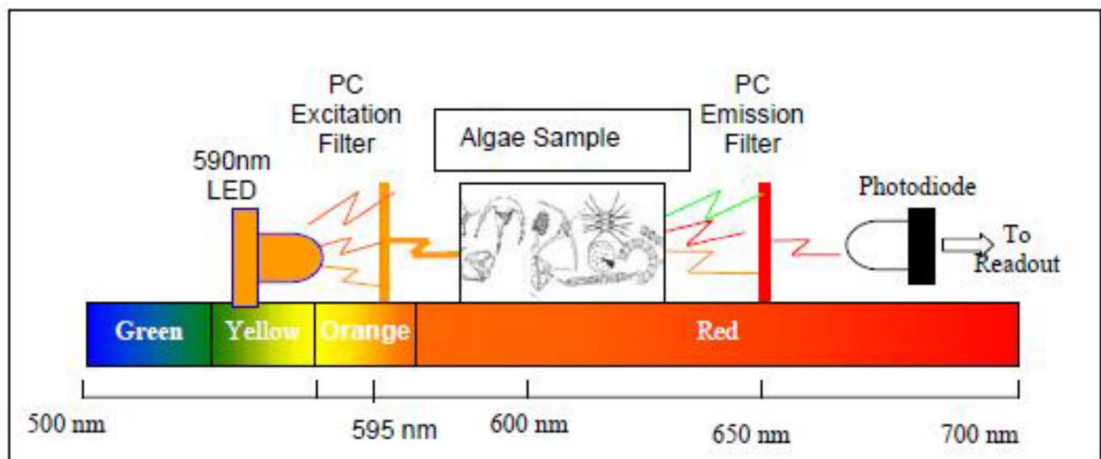
Lehtivihreän fluoresoivaa ominaisuutta käytetään laajalti apuna laboratorio- ja kenttätutkimuksissa. Sen avulla tutkitaan syanobakteerien lisäksi muun muassa plankton- ja merileviä sekä putkilokasveja. Lehtivihreä sisältää useita fluoresoivia ainesosia ja monet anturit tunnistavat useampia kuin yhtä näistä. [10]

Yksi fluoresoivista aineista on klorofylli a -molekyylä (Kuva 3). Mittaamalla näiden molekyyliden määrää saadaan tietoa levän biomassasta. Klorofylli a:n määrän mittaaminen ei kuitenkaan välttämättä kerro totuutta syanobakteerien määrästä mitattavalla vesialueella. Tämä johtuu siitä, että klorofylli a -pigmenttiä on jokaisessa yhteyttävässä organismissa ja näin ollen monet muut vedessä olevat eliöt fluoresoivat myös. Lopputuloksena saadaan todellista korkeampia mittaustuloksia. [10]

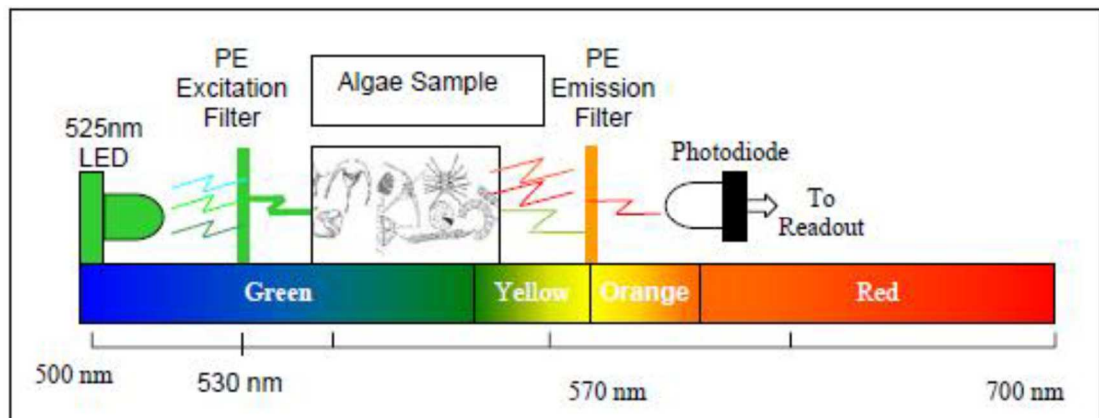


Kuva 3. Klorofylli a:n mittauksessa käytettävä järjestely. [14]

Eri kasviplankton- ja syanobakteerilajit sisältävät niille ominaisia lisäpigmenttejä, joiden avulla voidaan tunnistaa eri lajeja. Syanobakteerien kohdalla tällaisia tunnistettavia pigmenttejä ovat fykobiliproteiinit fykosyaniini (Kuva 4) ja fykoerytriini (Kuva 5). Näiden kahden proteiiniyhdisteen fluoresenssiominaisuudet eroavat klorofylli a:n vastaavasta riittävästi, että tunnistus on mahdollista. Fykosyaniini on makeissa vesissä vallitseva yhdiste, kun taas fykoerytriineja esiintyy enimmäkseen suolaisissa vesissä. [9]



Kuva 4. Fykosyaniinin mittauksessa käytettävä järjestely. [14]



Kuva 5. Fykoerytriinin mittauksessa käytettävä järjestely. [14]

Kaikissa levissä olevan lehtivihreän heräteallonpituus on noin 460–470 nm ja fluoressista syntyvän valon aallonpituus 680–700 nm. Fykosyaniinilla heräteallonpituus on noin 590–595 nm ja fluoresoituneen valon aallonpituus 650–680 nm. Fykoerytriinillä vastaavat aallonpituudet ovat 530–540 nm ja 570 nm. [9, 14, 15]

## 5 ANTURIN HINNAN MUODOSTUMINEN

Nykyisellään pelkät sinileväanturit maksavat tuhansista euroista aina kymmeneen tuhan euroihin. Lisäksi usein vaaditaan muitakin tarvikkeita pelkän anturin lisäksi, että saadaan toimintakuntoinen sinilevämittausjärjestelmä. Luonnollisestikin hintojen ollessa näin korkeita, tavallisen kuluttajan ei ole kannattavaa hankkia anturia yksityiskäyttöön esimerkiksi kesämökille tai purjeveneeseen. [9]

Monien antureiden hinnat ovat korkealla jo sen vuoksi, että ne sisältävät sellaisia ominaisuuksia, joita yksityishenkilö ei mittalaitteessaan tarvitse. Esimerkiksi klorofylli a:n sekä molempien fykoproteiinien tunnistus ovat monissa antureissa. Tarkimmillaan anturi voi tunnistaa jopa eri syanobakteerilajeja. Hintaa lisää todella merkittävästi se, että anturi tunnistaa monia eri asioita. Jokaisella tunnistettavalla kohteella on omat aallonpituutensa, joilla se virittyy ja emittoi. Tällöin jokaista tunnistettavaa kohdetta kohti tarvitaan kaksi kaistanpäästösuodattimena toimivaa linssiä. Linssit ovat selvästi kallein pakollisista yksittäisistä osista mittauslaitteessa nykyisellä teknologialla. [9, 15]

Myös erilaiset kaapeli- ja akkupaketit, jotka ovat eräiden antureiden kohdalla pakollisia ostettavia itse anturin lisäksi, lisäävät mittausjärjestelmän hintaa todella huomattavasti. Olemassa on kuitenkin jo nykyisellään sellaisia antureita, jotka ovat käsikäyttöisiä ilman ylimääräisiä kaapeleita tai ulkoisia akkuja. [9, 15]

## 6 POHDINTA

Tämän hetken fluoresenssimittaustekniikkaa käyttäen anturin hinnasta voi olla vaikeaa tinkiä riittävästi, jotta anturia voisi suositella yksityiskäyttöön. Varsinaisten fluoresenssikäyttöön tarkoitettujen linssien hinnat lähtevät noin 150 eurosta ylöspäin [16]. Saattaisi kuitenkin olla mahdollista käyttää muita muutaman kymmenen euron kaistanpäästösuodatinlinssijä, joiden päästökaista on varsinaisia fluoresenssikäyttöön tarkoitettuja linssijä kapeampi [17]. Näiden linssien ominaisuudet eivät välttämättä ole kovinkaan optimaaliset, mutta silti mahdollisesti riittävät kertomaan, onko vedessä syanobakteereja vai ei.

Nykyistä tekniikkaa käyttäen on todennäköisesti karsittava ominaisuuksista, jotta hintoja on edes mahdollista saada alas. Ainakin monissa antureissa oleva klorofylli a:n mittaus olisi mahdollista jättää kokonaan pois, sillä klorofylli a:n määrä ei usein korreloi syanobakteerien määrän kanssa. Myös erillisten antureiden kehittäminen meri- ja järvikäyttöön laskisi hintoja, sillä silloin yhteen anturiin riittäisi ainakin teoriassa pelkästään toisen fykoproteiinin tunnistukseen tarvittavat linssit. On kuitenkin muistettava, että eri fykoproteiinien ei voi suoraan pelkistää esiintyvän pelkästään suolaisessa tai makeassa vedessä. Täten tämä ratkaisu ei välttämättä olisi kovin toimiva.

Ongelmallista sähköisessä sinilevän tunnistuksessa on myös se, että myrkyllisetkään sinilevälajit eivät joka paikassa tuota myrkyllisiä yhdisteitä. Tästä syystä mielestäni mittalaitteen rakentaminen kuluttajakäyttöön ei välttämättä edes ole kannattavaa, vaikkakin sinilevä voi aiheuttaa erinäisiä oireita myös ilman niiden tuottamia myrkyllisiä yhdisteitä. Parempi – jo olemassa oleva – tunnistusmenetelmä yksityiskäyttöön on mielestäni Turun yliopiston ja Teknologian tutkimuskeskuksen kehittämä kertakäyttöinen pikatesti, joka tunnistaa sinilevämyrkyt kemiallisesti.

## 7 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin keinoja suunnitella edullisesti anturi, joka tunnistaa vedessä olevan sinilevän. Tavoitteena oli selvittää, onko edullisen anturin kehittäminen mahdollista nykyisellä tekniikalla, olisiko olemassa vaihtoehtoisia tunnistustekniikoita sekä luoda pohjaa mahdolliselle jatkotutkimukselle aiheesta. Työn alussa odotettiin myös mahdollista anturin prototyyppiä.

Melko pian työn aloittamisen jälkeen kävi selväksi, että sinileväanturin kehittämiseen tarvittava tietopohja vaatii niin paljon perehtymistä, ettei tämän opinnäytetyön puitteissa tulla rakentamaan prototyyppiä anturista ja työ jää tutkimusasteelle. Työn tavoitteet saavutettiin siis vain osittain. Vaihtoehtoisia tunnistustekniikoita ei tämän työn puitteissa löytynyt, mutta saatiin luotua jonkinlainen pohja mahdolliselle jatkotutkimukselle. Kokonaisuutena työ jäi pintaraapaisuksi sinilevän tunnistuksen maailmaan.

Tutkimustyön perusteella mielestäni yksityishenkilöiden kannattaa edelleen luottaa omiin silmiinsä ja maalaisjärkeen sinilevän suhteen. Mikäli tämä ei ole riittävää, voi turvautua pikatestiin, joka kertoo suoraan levän myrkyllisyydestä.



## LÄHTEET

- [1] Kankaanpää, H. T. "Haitalliset levät ja terveys", *Duodecim* 2011,127:1335–40. Saatavilla: [https://www.researchgate.net/profile/Harri\\_Kankaanpaa/publication/51564459\\_Haitalliset\\_levat\\_ja\\_terveys\\_Harmful\\_algae\\_and\\_health/links/00b4951da8e8235e94000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Harri_Kankaanpaa/publication/51564459_Haitalliset_levat_ja_terveys_Harmful_algae_and_health/links/00b4951da8e8235e94000000.pdf) (Luettu 8.3.2017)
- [2] Asai, R., ym. "Development of a fluorometric sensor for the measurement of phycobilin pigment and application to freshwater phytoplankton." *Field Analytical Chemistry & Technology* 4.1 (2000): 53-61. Saatavilla: [https://www.researchgate.net/publication/243886078\\_Development\\_of\\_a\\_fluorometric\\_sensor\\_for\\_the\\_measurement\\_of\\_phycobilin\\_pigment\\_and\\_application\\_to\\_freshwater\\_phytoplankton](https://www.researchgate.net/publication/243886078_Development_of_a_fluorometric_sensor_for_the_measurement_of_phycobilin_pigment_and_application_to_freshwater_phytoplankton) (Luettu 1.5.2017)
- [3] Giovannoni, S. J., ym. "Evolutionary relationships among cyanobacteria and green chloroplasts." *Journal of bacteriology*,170.8 (1988): 3584-3592. Saatavilla: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC211332/pdf/jbacter00186-0274.pdf> (Luettu 26.3.2017)
- [4] Proyecto Agua. Saatavilla: <https://www.flickr.com/photos/25898159@N07/29966585861> (Haettu 21.3.2017)
- [5] SYKE, Viitasalo, M., "Itämeri – ympäristö ja ekologia", [pdf-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.syke.fi/fi-FI/Julkaisut/Esitteet/Itameri\\_ymparisto\\_ja\\_ekologia\\_tietopake\(28801\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Julkaisut/Esitteet/Itameri_ymparisto_ja_ekologia_tietopake(28801)) (Luettu 21.3.2017)
- [6] Järvi- ja Meriwiki [https://www.jarviwiki.fi/wiki/Valtakunnallinen\\_lev%C3%A4seuranta](https://www.jarviwiki.fi/wiki/Valtakunnallinen_lev%C3%A4seuranta)
- [7] SYKE, "Valtakunnallinen leväyhteenveto 2016", [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Levatilannekatsaukset/Vuosittaiset\\_levayhteenvedet/Valtakunnallinen\\_levayhteenveto\\_2016\\_Lev\(40206\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Levatilannekatsaukset/Vuosittaiset_levayhteenvedet/Valtakunnallinen_levayhteenveto_2016_Lev(40206)) (Luettu 28.3.2017)
- [8] Satelliittikuva. Saatavilla: <http://www.syke.fi/download/noname/%7B8B66E489-D92F-44A2-BF08-85D14C218522%7D/120961> (Haettu 28.3.2017)
- [9] Pires, M. D., "Evaluation of fluorometers for the in situ monitoring of chlorophyll and/or cyanobacteria", [pdf-dokumentti]. Saatavilla: [http://publications.deltares.nl/1203593\\_000.pdf](http://publications.deltares.nl/1203593_000.pdf) (Luettu 18.4.2017)
- [10] NSW Department of Primary Industries, "Evaluation of a YSI fluorometer to determine cyanobacterial presence in the Murray and Lower Darling Rivers", [pdf-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.water.nsw.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0005/555575/algae\\_evaluation\\_ysi\\_fluorometer\\_cyanobacterial\\_presence\\_murray\\_and\\_lower\\_darling\\_rivers.pdf](http://www.water.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0005/555575/algae_evaluation_ysi_fluorometer_cyanobacterial_presence_murray_and_lower_darling_rivers.pdf) (Luettu 18.4.2017)
- [11] Biology online, "Phycocyanin", [www-dokumentti]. Saatavilla <http://www.biology-online.org/dictionary/Phycocyanin> (Luettu 18.4.2017)
- [12] Nieminen, M., "Eräiden biopolttoainesovelluksiin käyttökelpoisten mikroleväkantojen fotosynteesin valo- ja lämpötilavasteet". 2014. Saatavilla: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/144135> (Luettu 18.4.2017)
- [13] RP Photonics, "Fluorescence". Saatavilla: <https://www.rp-photonics.com/fluorescence.html> (Luettu 23.4.2017)
- [14] Turner Designs. Saatavilla <https://www.turnerdesigns.com/t2/doc/appnotes/S-0061.pdf> (Haettu 18.4.2017)
- [15] "ECO FL", WET Labs, Inc., Philomath, Oregon, USA. 2011.

[16] Edmund Optics, Fluorescence Bandpass Filters -tuotekatalogi, [www-dokumentti]. Saatavilla: <https://www.edmundoptics.eu/optics/optical-filters/bandpass-filters/fluorescence-bandpass-filters/> (Luettu 1.5.2017)

[17] Edmund Optics, 500–694nm Bandpass Interference Filters -tuotekatalogi, [www-dokumentti]. Saatavilla: <https://www.edmundoptics.eu/optics/optical-filters/bandpass-filters/500-694nm-bandpass-interference-filters/> (Luettu 1.5.2017)