

Opinnäytetyö (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Laboratoriotekniikka

2020

Jenni Ståhlberg

# SULFAATTISELVITYKSEN KOEJÄRJESTELYJEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Jenni Ståhlberg

# SULFAATTISELVITYKSEN KOEJÄRJESTELYJEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Opinnäytetyö oli osana Turun ammattikorkeakoulun ja Suomen ympäristökeskuksen yhteistyönä tehtyä tutkimusta, jossa tutkittiin sulfaattikuormituksen vaikutuksia fosforin vapautumiseen pohjasedimentistä makean veden vesistöissä. Työn tarkoituksena oli tehdä tarkka suunnitelma selvityksen toteuttamisesta ja valvoa toteutuksen onnistumista. Opinnäytetyön teoriaosuudessa on lyhyesti projektinhallinnan perusteita.

Selvityksessä oli koeyksiköitä eli lasipulloja, joissa oli tunnettu määrä jokivettä ja pohjasedimenttiä Turun Maarian altaalta. Koeyksiköitä oli 14 erilaista ja jokaisella oli rinnakkainen eli yhteensä niitä oli 28. Koeyksiköissä oli muuttuvina tekijöinä sulfaatti ja hiili sekä kontrolleina sedimentittömät ja ns. tapetut yksiköt, joissa ehkäistiin anaerobiset mikrobiologiset prosessit. Selvityksessä tehtiin näytteenottoja kaksi kertaa: seuraavana päivänä koeyksiköiden kokoamisesta ja kahden kuukauden inkuboinnin jälkeen. Jälkimmäinen näytteenotto tapahtui hapettomissa oloissa typpiteltoissa, jotta mitattavat yhdisteet eivät hapettuisi. Aluksi sedimentti ja jokivesi analysoitiin erikseen lähtötilanteen selvittämiseksi.

Työ aikataulutettiin tarkasti, koska mitattavat yhdisteet hapettuvat helposti ja analyyseja sekä näytteitä oli paljon. Analysoitavia yhdisteitä olivat muun muassa sulfaatti, liukoinen kokonaisfosfori, rauta ja sulfidi. Koeyksiköiden kokoamista ja analyysien toteutumista testattiin etukäteen jokivedellä ja sedimentillä. Jälkimmäistä näytteenottoa varten harjoiteltiin typpiteltojen käyttöä ja tehtiin suunnitelma niiden kanssa toimimiseksi, kuten niiden täyttö ja tarvittavat astiat ja laitteet.

Työ ei mennyt täysin suunnitelmien mukaan, mutta joitain tuloksia onnistuttiin saamaan. Aikataulu toimi, mutta ongelmia oli joissain menetelmissä ja laitteistoissa sekä valmistautuminen oli osittain puutteellista. Projektin kokoluokan huomioon ottaen työ sujui kuitenkin hyvin.

## ASIASANAT:

Sulfaatti, fosfori, sedimentti, projekti

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Biotechnology and Food Technology | Laboratory Technology

2020 | 32 pages, 3 pages in appendices

Jenni Ståhlberg

## PLANNING AND EXECUTION OF EXPERIMENTAL ARRANGEMENT OF SULFATE STUDY

The thesis was a part of a collaborative research between Turku University of Applied Sciences and the Finnish Environment Institute, in which research the influence of sulfate load on the release of phosphorus from bottom sediment in fresh water systems was studied. The purpose was to make a precise plan for the execution of the study and to monitor the execution. In the theory part of the thesis, project management is briefly discussed in general.

In the study there were test units, i.e. glass bottles filled with known amounts of river water and bottom sediment from the Maaria Reservoir in Turku. There were 14 different test units and one parallel for each, so 28 test units in total. The variables in the test units were sulfate and carbon and as controls, units without sediment and so called killed units were used. Sampling was done two times: the day after the assembly and after two months of incubating. The second sampling occurred in an environment lacking oxygen by using nitrogen tents. This prevents the compounds from oxidizing. The sediment and river water were analyzed to determine a baseline.

The work was precisely scheduled because the analyzed compounds oxidize easily and there were numerous analyses and samples. The compounds to be analyzed included sulfate, soluble total phosphorus, iron and sulfide. The assembly of the test units and the analyses were tested using the river water and the bottom sediment in advance. The use of the nitrogen tents was tested for the second sampling and a plan was devised for using them including to what extent to fill them with the nitrogen and what equipment to use.

The study did not quite go as planned but some results were acquired. The schedule succeeded but there were problems with some of the methods and equipment and the preparation was partly lacking. Taking the scope of the project into consideration it can be said that the work went well.

### KEYWORDS:

Sulfate, phosphorus, sediment, project

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 PROJEKTIHALLINTA</b>	<b>9</b>
2.1 Alustus	9
2.2 Organisointi ja aikataulus	9
2.3 Riskien ennakointi	11
2.4 Projektin toteutus	12
2.5 Projektin päättäminen	12
<b>3 KOEJÄRJESTELYJEN SUUNNITELMA</b>	<b>13</b>
3.1 Analyysit	14
3.2 Aikataulu	17
3.2.1 Analyysijärjestys	17
3.2.2 Ensimmäinen kierros	18
3.2.3 Toinen kierros	20
3.3 Valmistautuminen	21
<b>4 TOTEUTUS</b>	<b>23</b>
4.1 Koeyksiköiden kokoaminen	23
4.2 Ensimmäisen kierroksen näytteenotto, typetyt ja formaliinilisäys	27
4.3 Toisen kierroksen näytteenotto, pH- ja johtokyky mittaukset ja kestäväinnit	27
4.4 Muiden analyysien toteutuminen (ensimmäinen ja toinen kierros)	29
<b>5 ARVIOINTI</b>	<b>30</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>32</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Koeveden ja sedimentin analyysitulokset
- Liite 2. Koeyksiköiden analyysitulokset

## KUVAT

Kuva 1. Projektin aikataulus.....	10
Kuva 2. Johtokyky mittari ja mittaukseen tarvittavat välineet tyypiteltan sisällä .....	22
Kuva 3. Surviaisen toukkia kellumassa koeyksikköpullossa .....	23
Kuva 4. Koeyksiköt 1–9 säilytyspaikassaan kokoamispäivänä.....	24
Kuva 5. Koeyksiköt 10–18 säilytyspaikassaan kokoamispäivänä.....	25
Kuva 6. Koeyksiköt 19–28 säilytyspaikassaan kokoamispäivänä.....	25

## TAULUKOT

Taulukko 1. $\text{SO}_4^{2-}$ - ja C-tasot	13
Taulukko 2. Koeyksiköiden tiedot ja niiden $\text{SO}_4^{2-}$ - ja C-tasot	14
Taulukko 3. Sedimentin analyysit	15
Taulukko 4. Koeveden analyysit	16
Taulukko 5. Koeyksiköiden ruiskusuodatettujen näytteiden analyysit	17
Taulukko 6. Ensimmäisen kierroksen aikataulu sunnuntaista tiistaihin	19
Taulukko 7. Ensimmäisen kierroksen aikataulu keskiviikosta eteenpäin	19
Taulukko 8. Toisen kierroksen aikataulu perjantaista maanantaihin	20
Taulukko 9. Toisen kierroksen aikataulu tiistaista eteenpäin	20
Taulukko 10. Yksityiskohdat koeyksiköiden sisällöstä	26

## KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

AMK	Ammattikorkeakoulu
C	Hiili
DOC	Liennut orgaaninen hiili
Fe <sup>2+</sup>	Kahdenarvoinen rautaioni
HS <sup>-</sup>	Vetysulfidi-ioni
H <sub>2</sub> S	Rikkivety
IC	Ionikromatografi
Koevesi	Jokivesi, jota käytettiin analyyseihin ja koeyksiköiden ko- koamiseen
Koeyksikkö	Säilöpullo, jossa on tunnettu määrä sedimenttiä ja jokivettä
KSCN	Kaliumtiosyanaatti
LSVSY	Lounais-Suomen Vesi- ja Ympäristötutkimus OY
MP-AES	Mikroaaltoplasma-atomiemissiospektrofotometri
S <sup>2-</sup>	Sulfidi-ioni
Sedimentti	Vesistön pohjalla oleva kiinteä aines
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfaatti-ioni
Sulfaattiselvitys	Projektin kutsumanimi
SYKE	Suomen Ympäristökeskus

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Turun ammattikorkeakoulun laboratoriossa Suomen Ympäristökeskuksen (SYKE) asiantuntijoiden Jouni Lehtorannan ja Petri Ekholmin ohjauksessa ja se oli osana tutkimusta, jossa oli tarkoituksena tutkia sulfaattikuormituksen vaikutuksia fosforin vapautumiseen pohjasedimentistä makean veden vesistöissä.

Tutkimuksen taustalla oli se, että viimeaikaisissa tutkimuksissa on osoitettu, että makean veden vesistöjen sulfaattipitoisuus vaikuttaa voimakkaasti näiden vesistöjen pohjasedimentin ainekiertoihin. Erityisesti se on vaikuttanut fosforin vapautumiseen, ja näin vesistön sisäinen kuorma kasvaa. Sisäisellä kuormalla tarkoitetaan pohjasedimenttiin kertyneiden ravinteiden ja haitta-aineiden vapautumista takaisin veteen (Suomen Ympäristökeskus 2016). Sisäisen kuorman kasvaessa esimerkiksi rehevöityminen lisääntyy, ja tämä halutaan välttää. Sulfaatti liittyy vesiensuojeluteknologioiden käyttöön, sillä uusia ja tehokkaampia vesiensuojelumenetelmiä tarvitaan erityisesti maataloudesta aiheutuvan fosforikuormituksen minimoimiseksi. Lounais-Suomen Aurajoen valuma-alueella pilotoidaan kahta uutta vesiensuojelumenetelmää (SAVE- ja Fosforin saostaminen virtavedestä -hankkeet), jotka ovat alustavissa tutkimuksissa osoittautuneet tehokkaiksi fosforikuormituksen vähentämisessä. Molemmat menetelmät kuitenkin lisäävät sulfaattikuormitusta vesistöissä.

Tutkimuksessa koottiin 14 erilaista koeyksikköä eli lasipulloa, jotka sisälsivät tunnetun määrän jokivettä ja pohjasedimenttiä, ja niihin lisättiin eritasoisia määriä hiiltä ja sulfaattia. Jokaisesta koeyksiköstä tehtiin rinnakkainen eli koeyksiköitä varsinaisesti oli yhteensä 28. Mikrobiologinen toiminta erotettiin geokemiallisesta toiminnasta sillä, että osa koeyksiköistä ns. tapettiin eli tehtiin formaliinilisäys, joka tappaa näiden koeyksiköiden sisältämät mikrobit. Koeyksiköistä otettiin näytteet alkutilanteen analysointia varten seuraavana päivänä kokoamisesta, minkä jälkeen ne laitettiin inkubaatioon kahdeksi kuukaudeksi. Inkuboinnin jälkeen otettiin uudet näytteet analysoitaviksi ja verrattiin niiden tuloksia alkutilanteeseen. Näin voitiin nähdä, mitkä asiat voivat vaikuttaa fosforin vapautumiseen pohjasedimentistä.

Opinnäytetyön aihe on tämän sulfaattiselvityksen koejärjestelyjen suunnittelu. Tutkimuksessa oli monia ajallisesti kriittisiä analyysijä ja analysoitavien näytteiden määrä oli kokonaisuudessaan suuri, joten suunnittelu oli hyvin tärkeässä osassa tutkimuksen onnistumisen kannalta. Lisähaastetta toivat inkuboinnin jälkeiset analyysit, sillä näyttei-

den tuli olla hapettomissa oloissa. Turun AMK:n laboratoriossa ei ole ennen työskentely tyypiteltojen kanssa, joten ei ollut valmiita hyviksi koettuja toimintatapoja.

Opinnäytetyössä tullaan kertomaan ensisijaisesti tämän tutkimuksen koejärjestelyistä ja mitä sen suunnittelussa ja siihen valmistautumisessa tuli ottaa huomioon sekä miten suunnitelmat toteutuivat. Tämän lisäksi kerrotaan projektisuunnittelusta lyhyesti yleisellä tasolla ja liitteenä ovat analyysien tulokset.



## 2 PROJEKTIHALLINTA

Toteutettavan tutkimuksen onnistuminen nojaa hyvään ja perusteelliseen projektisuunnitelmaan. Suunnitelma on erityisen tärkeässä roolissa silloin, kun pitää tehdä paljon asioita lyhyessä ajassa.

### 2.1 Alustus

Ennen projektin varsinaista aloitusta tehdään projektisuunnitelma. Siinä pitää tulla ilmi projektin tavoitteet, mitä siinä tehdään ja miten (Sommermeri & Virkki 1997, 24). Huolellinen suunnittelu edistää projektin tavoitteen saavuttamista ja ohjaa toteutusta. Samaan aikaan sitä voi tarvittaessa päivittää projektin edetessä. Projektisuunnitelma voidaan kirjoittaa yhdessä projektitiimin kanssa, tai esimerkiksi projektipäällikkö voi kirjoittaa sen ennen tiimin kasaamista. (Virtanen 2000, 89–90.)

Tässä tutkimuksessa tutkimussuunnitelma kirjoitettiin muutama kuukausi ennen opiskelijoiden ottamista mukaan ja apurahaa oli haettu Maa- ja vesitekniikan tuki ry:ltä noin puoli vuotta aiemmin. Tutkimussuunnitelmasta kävi ilmi, mitä oli tarkoitus tehdä, miksi tutkimus toteutettiin, ja siinä oli koejärjestelytkin kerrottu suurpiirteittäin.

Turun AMK:n opiskelijat ja henkilökunta, jotka olivat osa tätä sulfaattiselvitystä, kävivät Suomen Ympäristökeskuksessa (SYKE) vierailulla projektin alussa. Vierailulla kerrottiin syvempää tietoa makean veden vesistöjen ainekiirroista ja fosforin merkityksestä. Lisäksi käytiin yksityiskohtaisemmin läpi, mitä laboratoriokokeiden koejärjestelyissä tulisi ottaa huomioon ja mitä tulisi tehdä.

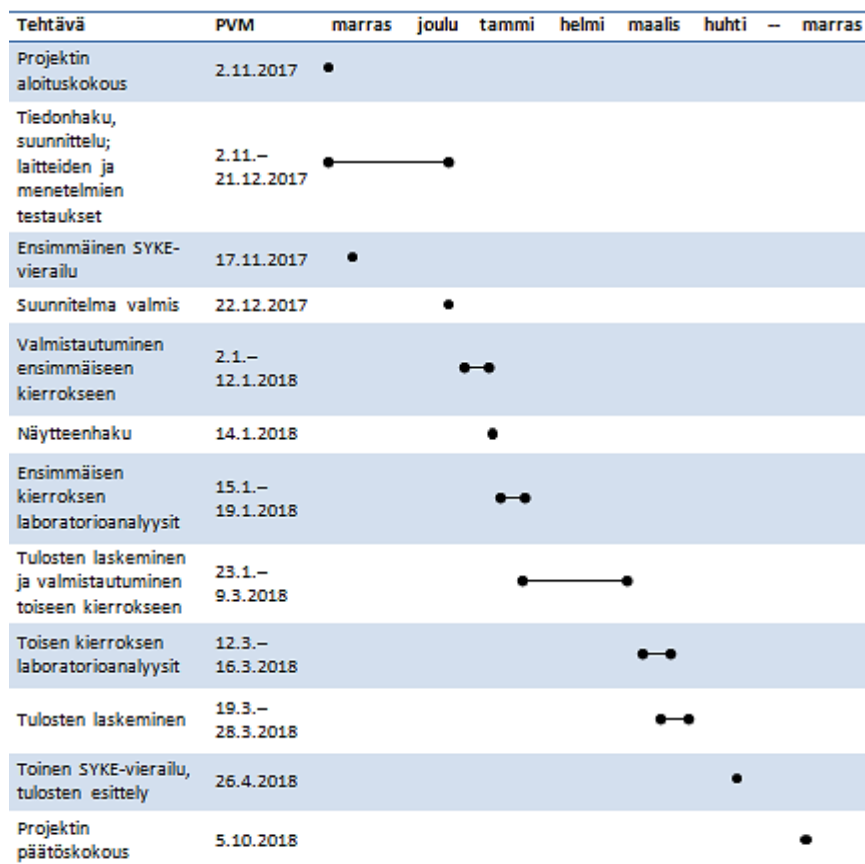
### 2.2 Organisointi ja aikataulutus

Projektin voi aloittaa projektipäällikön järjestämällä ns. aloituskokouksella, johon kaikkien projektijäsenten olisi hyvä osallistua. Kokouksessa projektisuunnitelma käydään yksityiskohtaisesti läpi ja jaetaan tehtävät. (Sommermeri & Virkki 1997, 29.) Projektipäälliköllä on monia tehtäviä, joihin lukeutuvat muun muassa projektin johtaminen ja koordinointi sekä hänen tulee seurata projektin etenemistä tavoitteeseensa annetuissa resursseissa ja aikataulussa (Marttala & Karlsson 2001, 84–85).

Laboratoriokokeet toteutettiin Turun AMK:n laboratoriotiloissa opiskelijatyönä. Opiskelijoita oli pääasiassa neljä, kaksi prosessi- ja materiaalitekniikan, yksi bio- ja elintarvike-tekniikan ja yksi ympäristötekniikan opiskelija. Laboratoriotutkimuksien toteutusta ja laatua valvoi Turun AMK:n kemiantekniikan lehtori yhteistyössä SYKE:n asiantuntijoiden kanssa. Opiskelijat toimivat pääasiallisesti Turun AMK:n laboratorioanalyytikon kanssa kiireellisissä asioissa. Lisäksi opiskelijoiden apuna oli kaksi avustajaa silloin tällöin.

Tutkimus oli niin laaja, että siitä saatiin kaikille neljälle opiskelijalle opinnäytetyöaiheet. Näiden opinnäytetöiden toimeksiantajana oli Turun AMK:n Vesitekniikan projektipäällikkö, joka toimi myös tutkimuksen koordinoijana ja budjetin valvojana.

Aikataulutukselle olennaista on resurssien huomioiminen, jotta ne eivät ylikuormitu, oli kyseessä sitten esimerkiksi ihmiset tai laitteet (Virtanen 2000, 94–95). Hanke oli suunniteltu toteutettavaksi yhdeksän kuukauden kuluessa sen aloituksesta. Projektin aikataulutusta löytyy kuvasta 1, jossa kerrotaan jokaiseen tehtävään kulunut aika, jota havainnollistaa kaavio projektiin kuluneiden kuukausien aikana.



Kuva 1. Projektin aikataulutusta

Laboratoriotutkimusten arvioitu kesto-aika oli tästä yhdeksän kuukauden kestoista 2,5 kuukautta. Jäljelle jäävä aika oli varattu valmisteluun, datan käsittelyyn, raportointiin ja viestintään. Tämän opinnäytetyön puitteissa tehtiin laboratoriotutkimusten aikataulut, joka löytyy sivuilta 19–21.

### 2.3 Riskien ennakointi

Kaikkiin projekteihin liittyy toimialasta riippumatta uhka, että lopputulosta ei saavuteta projektisuunnitelman määrittelemissä resurssipuitteissa. Projektisuunnitelmat laaditaan siinä olettamuksessa, että olosuhteet ja ympäristö eivät projektin aikana muutu merkittävästi. Hyvässä ja kattavassa projektisuunnitelmassa on ainakin jollain tavalla otettu riskien mahdollisuus huomioon, jotta projektin epäonnistuminen vältetään. (Sommermeri & Virkki 1997, 102.)

Tässä tutkimuksessa oli monia mahdollisia riskitekijöitä. Näitä riskitekijöitä olivat: laiterikko, analyysivirheet, aikataulun venyminen, sää vesistön alueella, opiskelijoiden sairastuminen ja tarvittavien hankintojen myöhäinen saapuminen.

Säähän ja vesistön jäätilanteeseen ei voi vaikuttaa, joten siihen ei varauduttu muutoin kuin valmistautumalla henkisesti siirtämään aikatauluja eteenpäin. Aikatauluja jouduttiin lopulta siirtämään kahdesti ennen näytteiden hakemista vesistöstä. Ensimmäinen kerta johtui siitä, että tarvittiin lisää aikaa valmistautumiseen ja suunnitteluun, ja toinen kerta johtui vesistön jäätilanteesta.

Tarvittavat hankinnat tehtiin siten, että kyseltiin toimittajilta tilattavien tavaroiden arvioitua toimitusaikaa, jos tilaussivustolla ei lukenut kyseistä tietoa. Hankinnat tehtiin niin, että ne eivät viivästyttäneet analyysien aloitusta.

Laboratoriotyöskentelyyn liittyviä riskejä ennakoitiin kirjoittamalla yksityiskohtainen toimintasuunnitelma, jota muut opiskelijat voisivat käyttää, jos joutuisivat tekemään toisen opiskelijan työt joltain päivältä. Turun AMK:n laboratorioanalyttikko olisi tarvittaessa voinut hoitaa osan töistä opiskelijan sairastuessa, koska esimerkiksi MP-AES-laitteistoa ei osannut käyttää kuin yksi opiskelija. Toimintasuunnitelmassa oli myös yksityiskohtainen aikataulu, jota voisi tarvittaessa seurata.

Laiterikkoja ennakoitiin tarkistamalla laitteiden kunto ja tekemällä tarvittavat kunnostukset hyvissä ajoin ennen analyysien aloitusta. Myös valitut analyysimenetelmät testattiin

oikeanlaisella näytteellä eli jokivettä ja pohjasedimenttiä haettiin vesistöistä testattavaksi.

#### 2.4 Projektin toteutus

Toteutuksen aloitus vaatii hyväksytyt projektisuunnitelman olemassaoloa. Työn aloitus lähtee yleensä liikkeelle aloituskokouksesta. Toteutusta valvotaan väliaikaraportoinnilla kirjallisesti tai kokouksen muodossa. (Somermeri & Virkki 1997, 63–64.)

Tässä projektissa pyrittiin pitämään vähintään pienimuotoinen kokous joka viikko työn etenemisestä. Projektin laboratoriotutkimus jakautui vaiheisiin: aiheeseen tutustuminen sekä suunnittelu ja testaus, laboratoriotutkimuksen toteutus, tulosten laskeminen ja raportointi. Toimintasuunnitelma hyväksyttiin SYKEllä, ja se toimi projektin väliraporttina.

#### 2.5 Projektin päättäminen

Projekti päätetään, kun työ on valmis ja toimeksiantaja on sen hyväksynyt ja kun tarvittavat päätöstoimenpiteet on tehty. Projektin päätöstoimenpiteistä yleensä kerrotaan projektisuunnitelmassa eli miten tulokset mahdollisesti julkaistaan ja kuka saa ne käyttöönsä. Projektipäällikkö kirjoittaa loppuraportin ja hoitaa tiedottamisen. Projektiajattelutavan mukaisesti projekti voidaan päättää päätöskokoukseen. (Somermeri & Virkki 1997, 68–69.)

Tästä tutkimushankkeesta tulee neljä julkaistavaa ammattikorkeakoulun opinnäytetyötä, ja sen lisäksi tuloksista viestitään SAVE- ja Fosforin saostaminen virtavedestä - hankkeiden verkkosivuilla sekä hankkeiden tiedotustilaisuuksissa ja seminaareissa.

### 3 KOEJÄRJESTELYJEN SUUNNITELMA

Tutkimusta varten koottiin yhteensä 28 koeyksikköä eli 14 yksikköä ja jokaiselle yksi rinnakkainen. Koeyksikkötutkimus toteutettiin faktorikokeena eli sedimentin ja jokiveden määrä pysyivät samana, mutta sulfaatin ja hiilen määrä olivat muuttuva osa. Koeyksiköihin sisältyi ns. tapettuja kontrolliyksiköitä, joissa anaerobiset mikrobiologiset prosessit estettiin formaliinilisäyksellä, ja niin geokemialliset ja biogeokemialliset muutokset erotettiin toisistaan. Osa koeyksiköistä oli ns. kontrolliyksiköitä, joissa ei ollut sedimenttiä, jolloin voitiin erottaa, mitkä muutokset johtuivat sedimentistä.

Taulukossa 1 kerrotaan tarkemmin, mitä sulfaatti- ja hiilitasot tarkoittavat. Tasot ovat 0, 1 ja 2. Tasolla 0 ei tullut lisäystä, tasolla 1 sulfaatin pitoisuus oli 30 mg/l ja hiililisäys oli 1 % kuiva-aineesta ja tasolla 2 sulfaatin pitoisuus oli 100 mg/l. Sulfaattilisäys tehtiin natriumsulfaattiliuoksesta, josta pipetoitiin automaattipipetillä tarvittava määrä kuhunkin näytteeseen. Hiililisäys tehtiin käyttäen kiinteää dekstroosia, jota lisättiin 1 % sedimentin kuiva-aineen massasta, eli jos näytteessä oli 20 g kuiva-ainetta, hiililisäys oli 0,2 g ja dekstroosina se oli 0,5 g. Tapettuihin kontrolleihin lisättiin 20 ml 37-prosenttista kaupallista formaldehydiliuosta.

Taulukko 1.  $\text{SO}_4^{2-}$  - ja C-tasot

Taso	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	C-lisäys
0	ei lisäystä	ei lisäystä
1	30	1 % kuiva-aineesta
2	100	-

Taulukossa 2 on koeyksiköiden tiedot ja lisäysten tasot. Koeyksiköiden nimet muodostettiin paikan ja tason mukaan. Sedimentin ja koeveden hakupaikoille oli eri nimet, mutta käytännössä ne otettiin samasta paikasta, sillä Maarian allas on tekojärvi Paattistenjoella. Tämä näkyi myös nimeämisessä siten, että sedimentillisten koeyksiköiden lyhenteessä käytettiin Maarian allasta, kun taas sedimentittömät nimettiin Paattistenjoen mukaan. Esimerkiksi koeyksikkö 1, jonka lyhenne oli MA0S0C tarkoittaa, että koeyksikössä oli sedimenttiä Maarian altaalta ja sulfaatti- ja hiilitaso olivat 0. Tapettu kontrolli on ilmaistu K-kirjaimella lyhenteen lopussa.

Taulukko 2. Koeyksiköiden tiedot ja niiden SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - ja C-tasot

No.	Lyhenne	Sedimentti	Koevesi	Huom.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - taso	C-taso
1–2	MA0S0C	Maarian allas	Paattistenjoki		0	0
3–4	MA0S1C	Maarian allas	Paattistenjoki		0	1
5–6	MA1S0C	Maarian allas	Paattistenjoki		1	0
7–8	MA1S1C	Maarian allas	Paattistenjoki		1	1
9–10	MA2S0C	Maarian allas	Paattistenjoki		2	0
11–12	MA2S1C	Maarian allas	Paattistenjoki		2	1
13–14	MA0S0CK	Maarian allas	Paattistenjoki	Tapettu kontrolli	0	0
15–16	MA0S1CK	Maarian allas	Paattistenjoki	Tapettu kontrolli	0	1
17–18	MA2S0CK	Maarian allas	Paattistenjoki	Tapettu kontrolli	2	0
19–20	MA2S1CK	Maarian allas	Paattistenjoki	Tapettu kontrolli	2	1
21–22	PJ0S0C	Ei	Paattistenjoki		0	0
23–24	PJ2S0C	Ei	Paattistenjoki		2	0
25–26	PJ0S1C	Ei	Paattistenjoki		0	1
27–28	PJ2S1C	Ei	Paattistenjoki		2	1

Tutkimus oli jaettu ensimmäiseen ja toiseen kierrokseen, joiden välissä oli noin kahden kuukauden inkubointiaika. Ensimmäisen kierroksen näytteet koeyksiköistä otettiin seuraavana päivänä kokoamisesta, ja samalla analysoitiin sedimentti ja koevesi erikseen. Näytteenoton jälkeen koeyksiköt typetettiin happipitoisuuden alentamiseksi ja tehtiin tapettuihin kontrolleihin formaliinilisäys. Tämän jälkeen koeyksiköitä inkuboitii huoneenlämmössä pimeässä noin kaksi kuukautta. Analyysejä varten koeyksiköiden näytteet ruiskusuodatettiin sekä ensimmäisellä että toisella kierroksella. Huokoskoko suodattimissa oli 0,45 µm.

Toisen kierroksen näytteet käsiteltiin ja osa analyyseistä tehtiin hapettomissa oloissa tyypiteltoissa. Tyypiteltoina käytettiin 520 litran Sigma-Aldrich AtmosBag 4-hand -telttoja. Yhdessä teltassa oli työskentelymahdollisuus kahdelle henkilölle.

### 3.1 Analyysit

Ensimmäisellä kierroksella sedimentti ja koevesi analysoitiin erikseen, jotta saatiin lähtötilanne selville ennen niiden yhdistämistä koeyksiköihin. Osa analyyseistä tehtiin alihankintana Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:ssä (LSVSY). Näyte- ja analyysimäärien vuoksi koevesi haluttiin analysoida kokonaisuudessaan alihankintana.

Osa koeveden analyyseistä kuitenkin tehtiin myös AMK:n toimesta, koska ne oli helppo mitata samaan aikaan koeyksiköiden näytteiden kanssa. Näin myös nähtäisiin, eroavatko tulokset toisistaan. Toisella kierroksella analysoitiin pelkästään koeyksiköiden näytteet.

Sedimentistä oli suunniteltu analysoitavan kuiva-ainepitoisuus, hehkutushäviö ja seuraavien aineiden pitoisuudet: kokonaishiili, -fosfori, -rauta ja -mangaani sekä ditioniittiuuttainen rauta ja fosfori. Taulukossa 3 on listattuna sedimentin analyysit, käytetyt laitteet, käytetty standardi tai menetelmä sekä analyysin tekijä. Sedimentti piti hajottaa fosforin, raudan ja mangaanin analysointia varten ja siihen käytettiin standardia SFS-EN 16173.

Taulukko 3. Sedimentin analyysit

Analyyysi	Laite	Standardi tai menetelmä	Tekijä
Kuiva-aine	Lämpökaappi	SFS 3008	AMK
Hehkutushäviö	Muhveliuuni	SFS 3008	AMK
Kokonaishiili	Hiilityypianalyysi	SFS-EN 13137 method A	LSVSY
Liukoinen kokonaisfosfori	Spektrofotometri	SFS-EN ISO 6878	AMK
Kokonaisrauta	MP-AES	SFS-EN ISO 11885	AMK
Kokonaismangaani	MP-AES	SFS-EN ISO 11885	AMK
Ditioniittiuuttainen rauta	MP-AES	SFS-EN ISO 11885	AMK
Ditioniittiuuttainen fosfori	Spektrofotometri	SFS-EN ISO 6878	AMK

Ditioniittiuutossa käytettiin fosforin fraktiointimenetelmää, jota muokattiin tähän selviytykseen sopivaksi. Ohje menetelmään otettiin Riina Suomisen opinnäytetyöstä, joka tehtiin Turun ammattikorkeakoulussa aiemmin. Fraktiointimenetelmässä oli viisi uuttoa, joiden avulla fosfori oli mahdollista saada eri muodoissaan analysoitavaksi. Tässä projektissa haluttiin analysoida vain ditioniittiuuttainen rauta ja fosfori, joten menetelmästä tehtiin uutot 1 ja 2, joista analysoitiin jälkimmäinen. Uutossa 1 sedimenttinäyte uutettiin natriumkloridiliuoksella ja uutossa 2 sama näyte uutettiin ditioniittiliuoksella. (Suominen 2015, liite 1.)

Koevedestä oli suunniteltu analysoitavan pH, sähkönjohtavuus, kiintoaine, sameus, alkaliteetti ja seuraavien aineiden pitoisuudet: kokonais-, ammonium-, nitraatti- ja nitriittityppi, kokonaisfosfori, liukoinen kokonaisfosfori ja liukoinen fosfaatti, rauta, mangaani, sulfaatti ja liennut orgaaninen hiili. Taulukossa 4 on listattuna analyysit, käytetyt laitteet, käytetty standardi tai menetelmä sekä analyysin tekijä.

Taulukko 4. Koeveden analyysit

Analyyssi	Laite	Standardi tai menetelmä	Tekijä
pH	pH-elektrodi	SFS 3021	AMK+LSVSY
Sähkönjohtavuus	Johtokyky mittari	SFS 27888	AMK+LSVSY
Kiintoaine		Sisäinen menetelmä A05	LSVSY
Kokonaistyyppi		SFS-EN ISO 11905-1	LSVSY
Nitraattityppi	AMK: IC	LSVSY: SFS-EN ISO 13395 AMK: SFS-EN ISO 10304-1	AMK+LSVSY
Ammoniumtyppi	Spektrofotometri	LSVSY: Sisäinen menetelmä A56, Skalar analytical metodi no. 158 AMK: SFS 3032	AMK+LSVSY
Kokonaisfosfori	Spektrofotometri	LSVSY: Sisäinen menetelmä A15, Lachat QuickChem metod 10-115-01 AMK: SFS-EN ISO 6878	AMK+LSVSY
Liukoinen kokonaisfosfori	Spektrofotometri	LSVSY: Sisäinen menetelmä A15, Lachat QuickChem metod 10-115-01 AMK: SFS-EN ISO 6878	AMK+LSVSY
Liukoinen PO <sub>4</sub> -P	IC	SFS-EN ISO 10304-1	LSVSY
Rauta	MP-AES	LSVSY: SFS-EN ISO 11885, SFS-EN ISO 15587-2 AMK: SFS-EN ISO 11885	AMK+LSVSY
Mangaani	MP-AES	SFS-EN ISO 11885	AMK+LSVSY
Sulfaatti	IC	SFS-EN ISO 10304-1	AMK+LSVSY
Liennut orgaaninen hiili (DOC)		SFS-EN 1484	LSVSY
Nitriittityppi	AMK: IC	LSVSY: SFS-EN ISO 13395 AMK: SFS-EN ISO 10304-1	LSVSY
Sameus		SFS-EN ISO 7027	LSVSY
Alkaliteetti	pH-elektrodi	Standard Methods... 20th ed. method 2320 B	LSVSY

Koeyksiköistä oli suunniteltu analysoitavan, pH, sähkönjohtavuus ja seuraavien aineiden pitoisuudet: nitraatti- ja ammoniumtyppi, liukoinen kokonaisfosfori, rauta, mangaani, rikki, sulfaatti ja sulfidi. Taulukossa 5 on listattuna koeyksiköiden analyysit, käytetyt laitteet, standardit ja menetelmät.



Taulukko 5. Koeyksiköiden ruiskusuodatettujen näytteiden analyysit

Analyysi	Laite	Standardi tai menetelmä
pH	pH-elektrodi	SFS 3021
Sähkönjohtavuus	Johtokykymittari	SFS 27888
Nitraattityppi	IC	SFS-EN ISO 10304-1
Ammoniumtyppi	Spektrofotometri	SFS 3032
Liukoinen kokonaisfosfori	Spektrofotometri	SFS-EN ISO 6878
Rauta	MP-AES	SFS-EN ISO 11885
Mangaani	MP-AES	SFS-EN ISO 11885
Rikki	MP-AES	SFS-EN ISO 11885
Sulfaatti	IC	SFS-EN ISO 10304-1
Sulfidi	Ag/S -elektrodi	ThermoFischer-elektrodin ohje

Valituissa laitteissa oli se etu, että monia yhdisteitä tai alkuaineita pystyttiin mittaamaan saman ajon aikana. MP-AES käyttää atomiemiessiospektrometriaa, jossa eri alkuaineet viritystilan purkautuessa emittoivat valoa eri aallonpituuksilla (Agilent Technologies 2016, 4). Ionikromatografi perustuu kromatografiaan, jossa anionit kulkeutuvat eri tahtiin ioninvaihtokolonista (Jaarinen & Niiranen 2005, 158).

### 3.2 Aikataulu

Aikataulutus oli tärkeä, koska osa analysoitavista aineista ja yhdisteistä oli herkkiä hajoamaan ja ne piti saada nopeasti määritettyä. Analyysille haluttiin antaa mahdollisimman paljon aikaa, joten ensimmäisen kierroksen näytteenotto vesistöstä tehtiin sunnuntaina, jolloin kokoaminen voitiin tehdä heti maanantaina ja tiistaina näytteenotto. Toisella kierroksella näytteenotto ajoitettiin maanantaille.

#### 3.2.1 Analyysijärjestys

Ajallisesti kiireellisimmät analyysit olivat kuiva-aine, pH ja johtokyky ja sulfidi. Myös ditioniittiutuutto ja näytteiden kestäväointi fosfori- ja ammoniumtyppianalyysihin sekä rauta-, mangaani- ja rikkianalyysihin tuli tehdä mahdollisimman pian.

Koeyksiköiden kokoamista varten piti selvittää sedimentin alustava kuiva-ainepitoisuus. Se oli vain alustava tulos, koska sedimentti ei ehtinyt kuivumaan tarpeeksi seuraavaan

päivään mennessä. Sitä olisi pitänyt kuivattaa 15–20 tuntia standardin SFS 3008 mukaan, mutta todellinen kuivumisaika oli noin 12 tuntia. Kuiva-ainepitoisuus oli oleellinen tieto hiillisyksen sekä sedimentin ditioniittiuuton näytemäärän kannalta. Sen lisäksi sedimentin määrää koeyksiköissä olisi pitänyt nostaa, jos vesipitoisuus olisi ollut todella suuri.

pH ja johtokyky piti mitata tuoreista näytteistä, joten koevesi mitattiin heti koeyksiköiden kokoamisen jälkeen. Koeyksiköiden näytteet mitattiin näytteenoton ja suodatuksen jälkeen kokoamista seuraavana päivänä.

Sulfidi oli erittäin herkkä hapettumaan, joten se tuli mitata mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen. Hapettumista pyrittiin estämään pH-säädöllä. pH:n ollessa yli 12, rikkivety ( $H_2S$ ) ja vetysulfidi ( $HS^-$ ) muuntuvat sulfidiksi ( $S^{2-}$ ), jota elektrodi mittasi (Thermo Fisher Scientific 2007).

Spektrofotometrianalyyseistä fosfori oli kiireellisempi, joten se analysoitiin ennen ammoniumtyyppiä.

MP-AES-analyyseillä ei ollut varsinaista järjestystä, mutta rauta ja mangaani analysoitiin samalla kertaa ja rikki erikseen. Kuitenkin ne tuli tehdä eri päivinä menetelmällisistä syistä. Menetelmää testattaessa huomattiin, että raudan ja mangaanin analyysi häiriintyi, jos menetelmään lisättiin monokromaattorin puhdistus rikin analysointia varten. Rikin analysointi vaati monokromaattorin puhdistuksen, koska se mitattiin alhaisella aallonpituudella (181,972 nm).

### 3.2.2 Ensimmäinen kierros

Sedimentin ja koeveden näytteenotossa oli omat ongelmansa, sillä Maarian altaan tulisi olla kunnolla jäässä, jotta sen päällä voi kävellä, tai ei saisi olla jäätä ollenkaan, jotta voisi kulkea veneellä. Maarian altaalla ei myöskään ole valoja, joten työskentely pyrittiin tekemään päivänvalossa, joka oli rajallinen talviaikaan. Näytteenoton arveltiin kestävän koko päivän, sillä näytemäärä oli suuri. Tämän projektin jäsenenä toiminut Turun ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan opiskelija suunnitteli näytteenoton. Näytteenottoon käytettiin Limnos-sedimenttinäytteenotinta, ja yhdellä nostolla sai hieman yli desilitran sedimenttinäytettä. Kuhunkin sedimentilliseen koeyksikköön tarvittiin noin 2 dl sedimenttiä, joten yksi koeyksikkö vaati kaksi nostoa. Nostoja oli tarkoitus tehdä yh-

teensä 65 kpl. Jokivettä tarvittiin 1 litra jokaiseen koeyksikköön, joten sitä kerättiin talteen 40 litraa.

Taulukossa 6 on aikataulusuunnitelma päiväkohtaisesti sunnuntaista tiistaihin. Suunnitelman mukaan sunnuntaina tehtiin näytteenotto ja sedimentin homogenointi sekä aloitettiin sedimentin kuiva-ainemääritys. Maanantaina koottiin koeyksiköt alustavan kuiva-ainepitoisuuden mukaan ja mitattiin koeveden pH ja johtokyky. Tiistaina suoritettiin näytteenotto koeyksiköistä, näytteiden suodatus, sulfidianalyysi, pH:n ja johtokyvyn mittaaminen, ditioniittiuton suoritus sekä näytteiden kestäväönnit. Näytteenoton jälkeen koeyksiköt tyytettiin ja tehtiin formaliinilisäys tapettuihin kontroleihin.

Taulukko 6. Ensimmäisen kierroksen aikataulu sunnuntaista tiistaihin

<b>Su 14.1.2018</b>	<b>Ma 15.1.</b>	<b>Ti 16.1.</b>
Näytteenotto maastosta	Alustava kuiva-ainemääritys	Näytteenotto koeyksiköistä
Sedimenttiä kuivumaan	Koeyksiköiden kokoaminen	Näytteiden suodatus
	Koeveden pH ja johtokyky	Koeyksiköiden tyytitys ja formaliinilisäys
		Sulfidianalyysi
		pH ja johtokyky
		Ditioniittiutto
		Näytteiden kestäväönnit

Taulukossa 7 on aikataulusuunnitelma keskiviikosta eteenpäin. Keskiviikkona aloitettiin spektrofotometri-, MP-AES- ja IC-analyysit sekä tehtiin varsinainen kuiva-ainemääritys. Analyysit tehtiin loppuun torstaista eteenpäin.

Taulukko 7. Ensimmäisen kierroksen aikataulu keskiviikosta eteenpäin

<b>Ke 17.1.2018</b>	<b>To 18.1. ja siitä eteenpäin</b>
Fosforianalyysi	Ammoniumtyypianalyysi
MP-AES-analyysit	MP-AES-analyysit
IC-analyysit	IC-analyysit
Varsinainen kuiva-ainemääritys	Hehkutusjäännös

Kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen tehtiin ilman tiukkaa aikataulutus- ta, koska niiden tekemisessä ei ollut kiireitä.

### 3.2.3 Toinen kierros

Toisen kierroksen analyysien oletettiin valmistuvan nopeammin, koska ei ollut esimerkiksi sedimentin analyyskejä ja käsittelyjä. Koeyksiköiden vesi oli silmämääräisesti kirkkaampaa kuin ensimmäisellä kierroksella, jolloin suodatuksessa ei menisi niin paljon aikaa. Taulukoissa 8 on aikataulusuunnitelma perjantaista maanantaihin. Perjantaina valmisteltiin tila siirtämällä pöytiä sopiviin kohtiin ja asetettiin tarvittavat välineet typpitelttoihin valmiiksi odottamaan täyttöä. Maanantaina suoritettiin näytteenotto ja suodatus sekä sulfidianalyysi. Lisäksi tehtiin pH- ja johtokyky mittaukset sekä kestävästiin näytteet.

Taulukko 8. Toisen kierroksen aikataulu perjantaista maanantaihin

<b>Pe 9.3.2018</b>	<b>Ma 12.3.</b>
Tilan valmistelu	Koeyksiköistä näytteenotto ja suodatus
	Sulfidianalyysi
	pH ja johtokyky
	Näytteiden kestäväinnit

Taulukossa 9 on aikataulusuunnitelma tiistaista eteenpäin. Tiistaina aloitettiin spektrofotometri-, MP-AES- ja IC-analyysit sekä tehtiin tarvittavat ioninvaihdot IC-analyyskejä varten. Keskiviikosta eteenpäin tehtiin analyysit loppuun.

Taulukko 9. Toisen kierroksen aikataulu tiistaista eteenpäin

<b>Ti 13.3.2018</b>	<b>Ke 14.3. ja siitä eteenpäin</b>
Ioninvaihto typpiatmosfäärissä	Ammoniumtyppianalyysi
IC-analyysit	IC-analyysit
Fosforianalyysi	MP-AES-analyysit
MP-AES-analyysit	

Omat haasteensa aikatauluun toivat typpiteltat, jotka piti täyttää ja tyhjentää useampaan kertaan vaadittavan happipitoisuuden takaamiseksi. Happipitoisuus tarkistettiin täyttöjen jälkeen happimittarilla. Haluttu happipitoisuus oli alle 3 %. Tarvittavien täyttöjen määrä oli 3–4 riippuen miten hyvin teltat saatiin tyhjennettyä täyttöjen välissä. Telttoja oli yhteensä viisi, typpipulloja oli kerralla käytettävissä kaksi ja happimittareita yksi.

### 3.3 Valmistautuminen

#### Ensimmäinen kierros

Laboratoriotyöskentelyssä luotettavan tuloksen saamiseksi näytteenoton, näytteen säilytyksen, näytteen käsittelyn, analyysien ja tulosten tulkinnan pitää onnistua (Suomi 2009, 10). Tämä pidettiin mielessä suunnitelmaa tehdessä. Valmistautuminen alkoi sillä, että etsittiin sopivat standardimenetelmät kullekin analyysille ja näytteenkäsittelylle. Laitteet ja menetelmät testattiin ja tehtiin mahdolliset laiteosien puhdistukset tai vaihdot. Joitain analyysejä ei ole ennen tehty Turun AMK:n laboratoriossa, joten ne vaativat hieman enemmän työtä. Sulfidielektrodi oli täysin uusi, joten se otettiin käyttöön, eikä rikkiä ole aiemmin analysoitu MP-AES:llä. Erityisesti lineaaristen alueiden alarajat oli tärkeä saada selville, koska ensimmäisellä kierroksella oletettiin rikkiä tai sulfidia olevan hyvin pieni määrä.

Koeyksiköille ostettiin sopivat lasiset säilöpullot. Tilavuudeksi valittiin yksi litra, koska pullojen sisäiset muutokset näkyisivät hyvin ulospäin, kun veden ja sedimentin määrät olisivat suurempia. Samalla pullosta otettava näytemäärä voisi olla suurempi ja näin näyte ei loppuisi kesken, jos analyysit pitäisi virheen tai muun syyn takia toistaa. Pulloihin oli myös hyvä jäädä vähän tilaa, jotta muodostuvat kaasut eivät räjäyttäisi pulloja.

Ajan säästämiseksi kirjoitettiin valmiiksi kaikkien säilöpullojen etiketit. Mietittiin, mitä välineitä mihinkin vaiheeseen tarvittaisiin ja pestiin ne, jotta ne olisivat puhtaita, ja näin vähennettiin virhelähteitä. Osa analyyseistä vaati happopestyjä astioita ja niitä pestiin vähän enemmän kuin todellinen tarve oli, jotta ne eivät loppuisi kesken.

#### Toinen kierros

Toisella kierroksella tyypiteltoihin tutustuttiin kunnolla. Telttoissa, jotka hankittiin tätä tutkimusta varten, ei ollut tukirakenteita tai kunnollista pohjaa, joten selvitettiin, pystyykö teltta pystyssä ilman tukirakenteita ja tarvitsiko se pohjalle jotain tukevaa. Kuvassa 2 on johtokyky mittari sekä mittaukseen tarvittavat välineet tyypiteltojen sisällä. Kuvassa näkyy myös termostaattihauteen kulmien suojaukseen teipatut vaahtomuovipalat ja pleksilasi mittarin alla.



Kuva 2. Johtokyky mittari ja mittaukseen tarvittavat välineet tyypiteltan sisällä

Selvitettiin myös, paljonko teltoihin mahtui välineistöä ja mitä siellä pystyi tekemään, esimerkiksi pienien 10 millilitran mittapullojen käsittely. Näille pienille mittapulloille tehtiin koeputkitelineistä ja pleksilasin palasista telineet. Teltojen pohjien vakauttamiseksi sinne laitettiin pleksilasi alustaksi. Otettiin myös huomioon välineistön mahdolliset terävät reunat ja laitettiin niihin pehmusteita tai muuta suojaa, kuten halkaistuja puutarhaletkun pätkiä pleksilasin kulmiin.

## 4 TOTEUTUS

### 4.1 Koeyksiköiden kokoaminen

Kerätty sedimentti homogenoitiin laittamalla kaikista keräysastioista sedimentit samaan muovipurkkiin ja sekoitettiin hyvin muovilusikalla. Koevettä otettiin näytteenottopaikalta 40 litraa ja se kaadettiin puhtaaseen saaviin. Veden sekoitus tapahtui lasten isolla muovilapiolla. Kokoamisen aikana oli kokoaikainen sekoitus, jotta kiintoaine ei päässyt laskeutumaan saavin pohjalle. Näin sedimentin ja koeveden koostumus oli kaikissa koeyksiköissä suunnilleen sama.

Koeyksiköiden astioina käytettiin yhden litran lasisia säilöpulloja. Alkuperäisessä suunnitelmassa oli tarkoitus laittaa pulloihin 200 g sedimenttiä ja 800 ml jokivettä, mutta sedimenttiä ei saatu nostettua Maarian altaalta suunniteltua määrää, joten päädyttiin laittamaan 175 g, jotta kaikkiin sedimentillisiin pulloihin riittäisi. Sedimenttiä lisättiin lusikoimalla sitä sedimentin homogenointiastiasta suoraan pulloon. Vettä laitettiin niin, että sedimentin ja veden yhteispaino oli 1 kg. Vesi lisättiin ottamalla veden homogenointiastiasta vettä 2 litran dekanterilasiin, josta kaadettiin suoraan koeyksikköpulloon.

Sedimentissä oli surviaisen toukkia, joita pilkkijät käyttävät syöteinä. Kuvassa 3 on kaksi surviaisen toukkaa koeyksikössä. Yritettiin välttää niiden ottamista mukaan koeyksiköihin, mutta niitä näkyi olevan lähes joka pullossa siitä huolimatta.



Kuva 3. Surviaisen toukkia kellumassa koeyksikköpullossa

Hiililisäys tehtiin kvantitatiivisesti samaan aikaan veden lisäämisen aikana ja sulfaatti lisättiin veden lisäämisen ja punnituksen jälkeen. Tämän jälkeen koeyksiköitä sekoitettiin ja ne laitettiin säilöpaikkaansa.

Sulfaattilisäys oli laskettu alkuperäisen suunnitelman mukaan eli siten, että koevettä on 800 ml. Näin ollen sulfaattilisäys ei ole täysin sitä mitä haluttiin (1. taso 30 mg/l ja 2. taso 100 mg/l). Vettä oli sedimentillisissä koeyksiköissä noin 825 ml ja sedimentittömissä noin 1000 ml, joten sulfaatin pitoisuus oli suunniteltua alempi.

Koeyksiköistä otettiin näytteet kahdessa kohtaa inkubointia: yhden päivän jälkeen ja kahden kuukauden jälkeen. Inkubointi tapahtui huoneenlämmössä ja pimeässä. Säilytyspaikkana olivat tavalliset kaapit, joista koeyksiköitä ei tarvitsisi siirrellä kuvien ottamisen tai muun tarkkailun vuoksi. Sekoitus tehtiin kerran viikossa kääntelemällä jokaista pulloa 10 kertaa. Samalla otettiin valokuvat ennen sekoitusta. Kuvissa 4–6 koeyksiköt on juuri koottu ja siirretty säilytyspaikkaansa.



Kuva 4. Koeyksiköt 1–9 säilytyspaikassaan kokoamispäivänä





Kuva 5. Koeyksiköt 10–18 säilytyspaikassaan kokoamispäivänä



Kuva 6. Koeyksiköt 19–28 säilytyspaikassaan kokoamispäivänä

Taulukossa 10 on tiedot kokoamisen yksityiskohdista, kuten hiilisisäyksen eli dekstroosin ja sedimentin sekä koeveden massat.

Taulukko 10. Yksityiskohdat koeyksiköiden sisällöstä

Nro	Koeyksikkö	m (sedimentti, g)	m (vesi+sed., g)	m (vesi, g)	m (dekstroosi, g)	V (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , ml)
1	MA0S0C R1	175,23	1000,48	825,25	-	-
2	MA0S0C R2	175,56	1000,06	824,5	-	-
3	MA0S1C R1	175,88	1000,16	824,28	0,74	-
4	MA0S1C R2	175,13	1004,58	829,45	0,73	-
5	MA1S0C R1	175,36	1000,34	824,98	-	1,5
6	MA1S0C R2	175,1	1000,48	825,38	-	1,5
7	MA1S1C R1	175,13	1000,88	825,75	0,74	1,5
8	MA1S1C R2	175,11	1000,3	825,19	0,74	1,5
9	MA2S0C R1	175,06	1000	824,94	-	5
10	MA2S0C R2	175,15	1000,54	825,39	-	5
11	MA2S1C R1	175,05	1002	826,95	0,75	5
12	MA2S1C R2	175,02	1000,7	825,68	0,74	5
13	MA0S0CK R1	175,12	1000,72	825,6	-	-
14	MA0S0CK R2	177,77	1000,42	822,65	-	-
15	MA0S1CK R1	175,11	1000,64	825,53	0,75	-
16	MA0S1CK R2	175,06	1000,36	825,3	0,75	-
17	MA2S0CK R1	175,43	1000,36	824,93	-	5
18	MA2S0CK R2	175,15	1000,64	825,49	-	5
19	MA2S1CK R1	175,06	1000,38	825,32	0,74	5
20	MA2S1CK R2	175,2	1001,22	826,02	0,73	5
21	PJ0S0C R1	-	-	1000,02	-	-
22	PJ0S0C R2	-	-	1001,7	-	-
23	PJ2S0C R1	-	-	1001,18	-	5
24	PJ2S0C R2	-	-	1000,68	-	5
25	PJ0S1C R1	-	-	1001,32	0,73	-
26	PJ0S1C R2	-	-	1000,84	0,74	-
27	PJ2S1C R1	-	-	1001,04	0,74	5
28	PJ2S1C R2	-	-	1001,1	0,75	5

Koeveden analyysit ja osa sedimentin mittauksista tehtiin alihankintana Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:n (LSVSY) laboratoriossa. Koevesianalyysille tehtiin joiltain osilta vertailuksi määrittäminen myös Turun AMK:n laboratoriossa, jos näyte oli helppo lisätä näytejonoon. Homogenoidusta sedimentistä ja koevedestä otettiin kaksi rinnakkaista näytettä analysoitavaksi. Nämä kaksi rinnakkaista näytettä otettiin eri kohdissa kokoamisprosessia. Näytteenottokohdat olivat koeyksiköiden 5 ja 20 kokoamisen jälkeen. Sedimenttiä otettiin muovipurkkeihin 100 g kummallakin näytteenottokerralla.

Koevettä otettiin yhden litran muovipulloihin niin, että ilmaa jäi pulloon mahdollisimman vähän.

#### 4.2 Ensimmäisen kierroksen näytteenotto, typetys ja formaliinilisäys

Seuraavana päivänä koeyksiköiden kokoamisesta tehtiin näytteenotto. Sen jälkeen kaikki koeyksiköt typetettiin ja tapettuihin kontroleihin tehtiin formaliinilisäys.

Näytteenotto tehtiin sähköisellä pipetintäyttäjällä. Kärjet olivat kertakäyttöisiä 50 ml:n muovikärkiä. Otettava näytemäärä oli 110 ml, joten se otettiin kolmessa osassa: 50, 50 ja 10 ml. Kärki upotettiin pulloon niin, että pipetinkärjen kohta 24 ml oli pullon suun reu-nassa, jolloin näyte otettaisiin kaikista pulloista samasta kohtaa. Pulloja ei sekoitettu enää samana päivänä, koska haluttiin kiintoaineen laskeutuvan, ja näin liuoksen suodattaminen kestäisi vähemmän aikaa. Näyte otettiin 250 ml:n dekanterilaseihin, jotka näytteenoton jälkeen peitettiin parafilmillä. Tämän jälkeen näytteet ruiskusuodatettiin (huokoskoko 0,45 µm) 100 ml:n lasisiin säilöpulloihin. Ruiskusuodatus oli hyvin hidasta, ja saatu näytemäärä oli alle 100 ml eli sitä jäi suodattimiin jonkin verran.

Näytteenoton jälkeen koeyksiköt typetettiin typpikaasulla. Typetys tapahtui kolmen koeyksikön sarjoissa haaroitettuna letkun kanssa. Typen tuleminen pulloihin oli vähän epätasaista, kun verrattiin kolmea letkua keskenään, mutta alustavien testausten mukaan sen ei pitäisi haitata, kunhan edettäisiin heikoimmin typettävän letkun mukaan. Typetyksen onnistuminen tarkistettiin happimittarilla. Jokaista kolmen koeyksikön sarjaa typetettiin 10 minuuttia onnistumisen varmistamiseksi.

Typetyksen jälkeen tapettuihin koeyksiköihin lisättiin 20 ml kaupallista 37-prosenttista formaldehydiliuosta ja sekoitettiin. Lisäys ei vaatinut erityistä tarkkuutta, joten se tehtiin mittalasilla.

#### 4.3 Toisen kierroksen näytteenotto, pH- ja johtokyky mittaukset ja kestäväinnit

Toisella kierroksella näytteenotto ja -käsittely tapahtuivat typpiteltoissa. Typpiteltojen tarkoitus oli, että näytteet pysyisivät hapettomina typpi-atmosfäärissä, jolloin yhdisteiden hapettumista ei tapahtuisi. Typpiteltoja oli monenlaisia, mutta hinnan ja koon vuoksi valittiin 520 litran hiotut polyeteenimuoviset teltat, joissa oli käsipaikat 2 henkilölle

(SIGMA-ALDRICH AtmosBag, catalog No. z55552). Lisäksi teltoissa oli läpivientiportit kaasuletkulle ja sähköjohdoille.

Teltoja oli yhteensä viisi, joista kolmea käytettiin näytteenottoon. Kahteen muuhun teltaan valmisteltiin sulfidi- ja pH-analyysien aloitusta. Koeyksikköpullot jaettiin siten, että kahdessa teltassa oli 10 ja yhdessä 8 pulloa. Näytteenotto tehtiin sähköisillä pipetintäyttäjillä niin, että jokaisella teltalla oli oma täyttäjänsä. Ensimmäisellä kierroksella näytteenotossa käytettiin 50 ml:n kertakäyttöisiä kärkiä, mutta ne eivät mahtuneet telttoihin, joten käytettiin 25 ml:n kärkiä. Näytemäärä oli kuitenkin sama eli 110 ml. Näytteet pipetoitiin 100 ml:n säilöpulloihin, koska dekantterilasit olivat liian epävarmoja tyytellettäen. Näytteenoton jälkeen näytteet ruiskusuodatettiin (huokoskoko 0,45 µm) uusiin 100 ml:n säilöpulloihin. Suodatuksen jälkeen suodatetuista näytteistä pipetoitiin automaattipipeteillä 15 ml 50 ml:n säilöpulloihin sulfidianalyysiä varten.

Näytteenoton ja suodatuksen aikana aloitettiin jo sulfidianalyysiin valmistautuminen eli teltan ja sen sisällön kokoaminen ja standardien ajaminen, jotta oltaisiin valmiita aloittamaan näyteajot suodatuksen loputtua.

Johtokyky- ja pH-mittaukset aloitettiin heti suodatuksen jälkeen. Nämä olivat aikaa vievin osuus päivästä, koska molempia mittauksia ei voitu tehdä samalla kertaa eli piti ensin tehdä pH kokonaisuudessaan ja vasta sitten johtokyky, sillä molemmissa käytettävän termostaattihauteen lämpötila oli eri. Huomattiin myös, että termostaattihauteen moottori vaikutti teltan sisälämpötilaan lämmittäen ilmatilaa. Tämän takia veden lämpötila ja oletettavasti näytteidenkään lämpötilat eivät olleet standardien mukaiset. Mittauksia olisi voinut nopeuttaa sillä, että olisi ollut eri teltat molemmille mittauksille, mutta toinen käytettävissä ollut termostaattihaude oli liian suuri teltaan laitettavaksi. Molemmat mittaukset tehtiin kahdessa osassa, koska teltaan ei mahtunut enempää säilöpulloja.

Samaan aikaan pH- ja johtokykymittausten kanssa tehtiin näytteiden kestäväointiä. Spektrofotometrianalyysien näytteet kestäväoitiin säilöpulloihin ja MP-AES-analyysien näytteet 10 ml:n mittapulloihin lukuun ottamatta rikkiä, joka valmistettiin 15 ml:n Falconputkiin. Todettiin, että pienet mittapullot olivat hyvin huono valinta teltaan. Niitä varten oli valmistettu telineet mittapullotelineistä ja pleksilasista, jotta pullot eivät kaatuilisi, mutta työskentely oli silti kömpelöä, hidasta ja pullot kaatuilivat telineissä. Näytettä ei kuitenkaan mennyt hukkaan mittapullojen kaatumisen takia.

#### 4.4 Muiden analyysien toteutuminen (ensimmäinen ja toinen kierros)

Jo ensimmäisellä kierroksella huomattiin, että rikin pitoisuus näytteessä kasvoi ajan kuluessa eikä systeemitesti mennyt läpi. Sama ongelma jatkui toisellakin kierroksella ja oli vielä pahempi johtuen luultavasti näytteiden kasvaneista rikkipitoisuuksista. Tämä saattoi johtua siitä, että laitteeseen jäi rikkiä syystä tai toisesta (carryover) ja se näkyi seuraavissa näytteissä siten, että pitoisuus oli suurempi mitä sen pitäisi olla. Tästä syystä sekä ensimmäisen että toisen kierroksen rikkianalyysin tulokset olivat epäluotettavia.

Teltojen kanssa työskennellessä on vaara, että pullot kaatuvat, ja näin tässäkin tapauksessa kävi. Yksi näyte loppui kesken eikä siitä saatu mitattua ammoniumtyyppiä. Joidenkin aineiden ja yhdisteiden pitoisuudet olivat nousseet hyvin paljon, mistä syystä joitain analyysejä piti uusida. Näytteitä voi yleisesti laimentaa lisää, mutta ammoniumtyypin ja fosforin kohdalla se oli ongelmallista, koska näytteenkäsittely piti aloittaa alusta asti. Lisälaimennokset ja useammat pipetoinnit kuitenkin kasvattavat virhettä. Esimerkiksi rauta-analyysissä joillain näytteillä oli laimennossuhde 1:200, joka on suuri.

IC-näytteille tehtiin ioninvaihto suurten rautapitoisuuksien vuoksi. Ioninvaihto tuli tehdä tyypiteltassa hapettumisen välttämiseksi. Tämä osoittautui hankalaksi tilanpuutteen vuoksi ja ioninvaihtomassa regeneroitiin teltan ulkopuolella, koska sitä ei mahduttu tekemään teltan sisäpuolella. Sen lisäksi olisi ollut liian suuri riski, että happoastia kaatuu teltassa.

Ioninvaihdon onnistuminen varmistettiin lisäämällä pari pisaraa kaliumtiosyanaattiliuosta (KSCN) pieneen määrään ionivaihdettua näytettä. KSCN reagoi raudan kanssa muuttaen liuoksen punaiseksi, jos liuos sisältää rautaa. Todettiin kuitenkin, että KSCN ei reagoi näytteen kanssa edes ennen ioninvaihtoa. Tämä johtuu siitä, että KSCN reagoi vain  $\text{Fe}^{2+}$ :n kanssa eikä sitä ollut näytteissä.

Nitraatin analysoinnissa oli joitain pieniä ongelmia, mutta muutoin IC- ja spektrofotometrianalyysit menivät odotetusti.

Sedimentin, koeveden ja koeyksiköiden näytteiden tulokset kummallakin kierroksella ovat liitteissä 1 ja 2.

## 5 ARVIOINTI

Tämän opinnäytetyön aihepiiriin kuului koko projektin laboratorio-osuuden hallinta. Tähän liittyi muun opiskelijatyöryhmän valvomista ja osittaista johtamista. Tämä osuus oli kaikkein heikoin osuus, ja vika löytyi luonteenpiirteistä. Pitäisi olla rohkeampi ja määrätietoisempi työn valvomisen kanssa. Välillä ei oikein tiennyt muiden työkulun yksityiskohtia ja tämä olisi ollut tärkeää opinnäytetyön sisällön kannalta. Tämä osuus projektista ei ollut kuitenkaan täysin epäonnistunut, ja johtamistaitoja voi onneksi kehittää. Jos pitäisi tehdä sama uudelleen, virheistä olisi otettu opiksi.

Muilta projektihallinnan osa-alueilta projekti kokonaisuudessaan sujui ihan hyvin. Aikatauluista pidettiin pääsääntöisesti kiinni. Joitain viivästyksiä tuli, mutta niitä ei ollut monia. Tämän opinnäytetyön valmistuminen venähti, mutta muut asiat tapahtuivat suhteellisen hyvin ajallaan. Työntekijöitä oli riittävästi eikä työjaossa ollut moittimista, mutta avustaneet henkilöt tulivat tarpeeseen. Tämänkin opinnäytetyön kannalta olisi vielä vähemmän saatu aikaiseksi ilman avustajaa, koska helposti uppoutui omiin analyyseihin ja tarkoituksena oli olla tietoinen muidenkin analyyseistä. Ensimmäisen kierroksen suodatus olisi ehkä tarvinnut lisääpua, koska siihen meni tosi paljon aikaa. Toteutusta valvottiin viikkokokouksilla suunnitelmien mukaan, mutta opiskelijoiden kesken olisi voinut olla enemmän yhteydenpitoa. Väliraportti eli toimintasuunnitelma oli aluksi vajaa ja keskeneräinen, mutta kommenttien jälkeen se muokattiin paremmaksi.

Projektin haasteena oli se, että tutkimus oli laaja näyte- ja analyysimäärältään, ja siihen nähden se toteutui hyvin. Oli monia liikkuvia osia ja riskitilanteita, mutta kaikki saatiin tehtyä niin hyvin kuin siinä ajassa pystyi tekemään. Kuitenkin on asioita, jotka tehtäisiin toisin, jos pitäisi aloittaa sama työ alusta asti.

Valmistautuminen tehtiin niin hyvin kuin pystyttiin, mutta sen voi aina tehdä vähän paremmin. Jo ensimmäisellä kierroksella opittiin asioita ja pystyttiin valmistautumaan paremmin toista kierrosta varten. Erityishuomiota tulisi kiinnittää siihen, että välineet ja toimintatavat olisivat yhtenäiset kummallakin kierroksella niissä asioissa, missä on mahdollista olla yhtenäinen. Esimerkiksi näytteenotto tapahtui ensimmäisellä kierroksella dekantterilaseihin ja toisella kierroksella säilöpulloihin. Muitakin ongelmia oli puutteellisen valmistautumisen suhteen, kuten sulfaattilisäyksen laskeminen näytemäärään sopivaksi.

Analyysien jälkeen pohdittiin, että olisiko nitraatti pitänyt analysoida jollain muulla tavalla kuin ionikromatografisesti, koska sen analysoinnissa oli ongelmia. Nitraatin olisi voinut analysoida esimerkiksi virtausinjektioanalyysillä (FIA eli flow injection analysis), mutta käytettävissä olevilla resursseilla ja tarvittavilla määrityksillä ei ollut mahdollista lisätä uutta laitetta mukaan.

Sulfidielektrodin lukemista huomattiin, että standardisuorat huonontuivat, joten elektrodi olisi pitänyt huoltaa ennen analyysijä. Tämän lisäksi molemmilla kierroksilla lineaariseksi alueeksi hyväksyttiin alue, jonka laimeimmat standardit alittivat laitemanuaalin ilmoittaman lineaarisen alueen alarajan.

Näytteitä ei tulisi laimentaa liikaa. Pitoisuusalueet vaihtelivat rajusti; joihinkin MP-AES-analyysin näytteisiin piti tehdä 200-kertainen laimennos, jotta ne osuivat mittauksen määritysalueelle, ja toiset näytteet laimentamattominakin jäivät alle määritysrajan.

Huomiota tulisi kiinnittää toimintatapojen yhtenäisyyteen ensimmäisellä ja toisella kierroksella. Pieniä 10 millilitran mittapulloja käytettiin ensimmäisellä kierroksella MP-AES-näytteiden näytteenkäsittelyssä, mutta sama toimintatapa ei sopinut typpiteltaan, ja tätä olisi pitänyt suunnitella paremmin ensimmäisestä kierroksesta asti. Pienien mittapullojen kanssa työskentely oli turhauttavaa, mutta siitä oli pakko selvittää. Näytteenkäsittelyssä olisi voinut ehkä käyttää samaa toimintatapaa kuin rikkinäytteiden käsittelyssä eli pipetoida tietty määrä kierrekorkillisiin Falcon-putkiin ja kestäväidä. Kestäväidystä liuoksista voisi valmistaa näytteet 10 millilitran tai muunkokoisiin sopiviin mittapulloihin typpiteltan ulkopuolella.

## LÄHTEET

Agilent Technologies. 2016. Application eHandbook - Microwave plasma atomic emission spectroscopy (MP-AES). Viitattu 18.5.2020 [https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-7282EN\\_MP-AES-eBook.pdf](https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-7282EN_MP-AES-eBook.pdf)

Jaarinen, S. & Niiranen, J. 2005. Laboratorion analyysitekniikka. Helsinki: Edita Prima Oy

Marttala, A. & Karlsson, Å. 2001. ProjektiKirja - Onnistuneen projektin toteuttaminen. Helsinki: Kauppakaari

Somermeri, A. & Virkki, P. 1997. Projektityö - Kehittämisen moottori. Helsinki: Oy Edita Ab

Suomen Ympäristökeskus 2016. Kuormitus. Viitattu 13.11.2018 [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika\\_on\\_Itameren\\_tila/Kuormitus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Kuormitus)

Suomi, J. 2009. Kemiällisen näytteen esikäsittely. Keuruu: Otava Kirjapaino Oy

Suominen, R. 2015. Sedimenttien fosfori-fraktiointimenetelmät ja niiden käytettävyys. Opinnäytetyö. Turun Ammattikorkeakoulu, laboratoriotekniikka, bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Viitattu 21.10.2019. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015121620933>

Thermo Fisher Scientific. 2007. User Guide - Silver/sulfide Ion Selective Electrode. Viitattu 20.5.2020 <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/manuals/D17183-.pdf>

Virtanen, P. 2000. Projektityö. Porvoo: WS Bookwell Oy



## Koeveden ja sedimentin analyysitulokset

### Koeveden analyysitulokset

LSVSY:n tulokset			
	Koevesi 1	Koevesi 2	Huom
pH	6,9	7	
	7,3	7,4	
Johtokyky ( $\mu\text{S/m}$ )	116	116	
	120	120	
Sameus (FNU)	99	99	
Kiintoaine (mg/l)	88	88	
Alkaliteetti (mmol/l)	0,59	0,58	
DOC (mg/l)	14	15	
kok-P (mg/l)	0,19	0,2	
Liuenut kok-P ( $\mu\text{g/l}$ )	47	46	
	44	43	
Liuenut PO <sub>4</sub> suodatettu (mg/l)	0,037	0,042	
kok-N (mg/l)	1,4	1,5	
NH <sub>4</sub> -N ( $\mu\text{g/l}$ )	45	45	
	35	34	
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	5,8	5,1	
	0,74	0,75	
NO <sub>2</sub> -N (mg/l)	0,015	0,015	
SO <sub>4</sub> (mg/l)	11	12	
	10	10	
Fe (mg/l)	1,68	1,18	Näyte suodatettu
	6,0	6,3	Näyte suodattamaton
Mn (mg/l)	0,056	0,051	Näyte suodattamaton
	0,049	0,050	

### Sedimentin analyysitulokset

	Sedimentti 0	Sedimentti 1	Sedimentti 2	
Kuiva-aine %	16,7	-	-	
	-	17,0	17,6	
Hekutusjäännös (mg/g) märkápaino	151	-	-	
Fe (g/kg) märkápaino	-	363	372	
Mn (g/kg) märkápaino		6,8	6,83	
Liuenut kok-P (mg/kg) kuivapaino		1959	1929	
dit. Fe (g/kg) märkápaino		3,35	3,12	
dit. P (mg/kg) märkápaino		168	169	
TC (g/kg ka)		34	34	
N (g/kg ka)		-	4,3	3,9

## Koeyksiköiden analyysitulokset

Ensimmäinen kierros (ennen inkubointia)

		pH	Johtokyky (µS/cm)	Liuennot kok-P (µg/l)	NH <sub>4</sub> -N (µg/l)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)	S (ppm)	H <sub>2</sub> S (mg/l)
1	MA0S0C R1	6,7	124	80	355	8,8	14	129	897	18,3	< 0,1
2	MA0S0C R2	6,9	124	44	350	7,7	15	105	875	-	
3	MA0S1C R1	6,8	129	42	40	2,8	13	132	1087	18,2	
4	MA0S1C R2	6,9	125	52	35	1,5	13	99	1023	18,7	
5	MA1S0C R1	7,1	180	52	353	2,2	43	103	925	29,4	
6	MA1S0C R2	7,0	180	88	368	3,2	44	150	935	29,4	
7	MA1S1C R1	6,9	181	42	25	3,6	42	116	1101	29,9	
8	MA1S1C R2	6,9	180	52	70	2,1	41	660	1100	29,2	
9	MA2S0C R1	7,0	309	62	325	3,8	106	124	1106	53,4	
10	MA2S0C R2	7,0	309	54	325	4	101	188	1115	53,2	
11	MA2S1C R1	7,1	310	44	43	1,6	107	106	1230	53,6	
12	MA2S1C R2	7,0	309	36	28	1,5	106	119	1248	53,8	
13	MA0S0CK R1	7,2	122	52	268	3	17	102	795	20,9	
14	MA0S0CK R2	7,1	120	50	258	3,1	15	487	777	21,0	
15	MA0S1CK R1	7,0	121	40	33	1,3	15	252	953	21,5	
16	MA0S1CK R2	6,9	122	48	35	1,8	14	152	974	21,1	
17	MA2S0CK R1	7,1	308	44	250	5,4	104	228	1037	56,2	
18	MA2S0CK R2	7,2	308	348	228	8,9	104	168	1022	56,1	
19	MA2S1CK R1	6,8	308	54	40	2,5	104	183	1327	56,9	
20	MA2S1CK R2	6,8	322	44	68	3,2	102	239	1352	56,5	
21	PJ0S0C R1	7,3	125	50	90	4,1	11	335	26,8	21,5	
22	PJ0S0C R2	7,5	119	44	65	4,1	11	376	25,8	22,0	
23	PJ2S0C R1	7,4	302	46	143	7	96	359	23,6	55,3	
24	PJ2S0C R2	7,5	303	56	53	5,7	97	363	21,9	56,4	
25	PJ0S1C R1	7,3	119	20	23	3	10	365	22,4	23,0	
26	PJ0S1C R2	7,5	122	20	35	2,7	10	348	20,9	23,5	
27	PJ2S1C R1	7,4	300	18	13	4	96	317	21,8	58,0	
28	PJ2S1C R2	7,4	302	16	33	3,6	97	322	20,5	58,3	

## Toinen kierros (inkuboinnin jälkeen)

		pH	Johtokyky ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Liennut kok-P ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	S (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)
1	MA0S0C R1	7,0	442	4344	8200	< 1,25	< 1,25	38,6	5,5		3,7
2	MA0S0C R2	7,0	441	4208	7700	< 1,25	< 1,25	40,7	5,4		2,4
3	MA0S1C R1	6,9	763	4296	> 6500	< 1,25	< 1,25	107	12,7		4,2
4	MA0S1C R2	6,9	771	4728	11500	< 1,25	< 1,25	99,5	12,5		4,3
5	MA1S0C R1	7,1	454	4408	6400	< 1,25	3,1	35,1	5,1		1,9
6	MA1S0C R2	7,1	462	4496	7000	< 1,25	2,9	34,8	5,2		1,6
7	MA1S1C R1	6,9	783	4696	10075	< 1,25	< 1,25	109	11,6		4,2
8	MA1S1C R2	6,9	792	4528	9225	< 1,25	< 1,25	102	11,9		4,1
9	MA2S0C R1	7,2	507	4952	6125	< 1,25	15,3	29,8	4,9		2,1
10	MA2S0C R2	7,2	507	5408	5850	< 1,25	18,4	30,4	4,9		1,3
11	MA2S1C R1	6,9	822	5472	8325	< 1,25	7,3	90,0	9,7		3,9
12	MA2S1C R2	6,9	823	4720	9375	< 1,25	12,9	88,6	9,6		4,1
13	MA0S0CK R1	4,7	434	14	7,5	< 1,25	16,3	2,3	8,1		3,4
14	MA0S0CK R2	4,8	440	14	10,0	< 1,25	17	5,0	8,3		3,3
15	MA0S1CK R1	4,7	528	48	5,0	< 1,25	9,8	23,7	9,2		3,3
16	MA0S1CK R2	4,7	516	12	5,0	< 1,25	11,7	19,9	8,9		3,3
17	MA2S0CK R1	4,7	575	8	5,0	< 1,25	96,5	1,7	8,0		3,3
18	MA2S0CK R2	4,6	568	10	7,5	16,5	75,6	0,9	7,8		3,5
19	MA2S1CK R1	4,9	635	20	5,0	< 1,25	93,6	21,1	8,7		3,4
20	MA2S1CK R2	4,8	628	14	5,0	2	116,4	17,2	8,4		3,7
21	PJ0S0C R1	7,1	118	58	12,5	4,6	15,1	0,30	< 0,010		0,8
22	PJ0S0C R2	7,1	117	56	10,0	4,2	10,7	0,31			0,9
23	PJ2S0C R1	7,2	299	58	17,5	7,5	85,6	0,24			0,8
24	PJ2S0C R2	7,2	313	62	17,5	6,3	77	0,35			1,0
25	PJ0S1C R1	4,1	151	16	15,0	< 1,25	10,3	3,1	0,035		1,1
26	PJ0S1C R2	4,1	150	22	17,5	< 1,25	10,1	3,1	0,034		1,0
27	PJ2S1C R1	4,0	335	22	17,5	< 1,25	104,4	3,2	0,033		0,8
28	PJ2S1C R2	4,0	332	20	12,5	< 1,25	82,3	3,1	0,031		0,6