

Opinnäytetyö AMK

Prosessi- ja materiaalitekniikan koulutusohjelma

2021

Elina Järvinen

# MERISEDIMENTIN INKUBOINTIKOKEIDEN KOEJÄRJESTELYN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN

Elina Järvinen

# MERISEDIMENTIN INKUBOINTIKOKEIDEN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Turun ammattikorkeakoulun Vesi- ja ympäristötekniikan tutkimusryhmä. Tutkimus liittyi Varsinais-Suomen ELY-keskuksen hallinnoimaan SEABASED-hankkeeseen. Tavoitteena oli tehdä merisedimentin inkubointikoe, joka suunniteltiin tilauksen yhteydessä liitteenä olleen koesuunnitelman pohjalta. Tutkimuksessa käytetyt sedimenttinäytteet haettiin Itämereltä Hålxax vikistä yhteistyössä Meritaidon sukeltajien kanssa.

Ennen inkubointikokeiden aloittamista selvitettiin missä olosuhteissa ja millä välineillä koe saadaan suoritettua. Inkubointikokeen tarkoituksena oli selvittää pintasedimentin poiston vaikutusta sedimentin hapenkulutukseen sekä ravinteiden kiertoon sedimentin ja veden välillä. Kokeen tarkoituksena oli myös tutkia miten sedimentin poisto vaikuttaisi hapettomien merenpohjien tilaan ja olisiko siitä apua merenpohjien happikatoon.

Sedimentinpoiston vaikutuksia arvioitiin laboratoriokokeella, jossa sedimenttinäytteistä poistettiin pintasedimenttiä eri paksuisina kerroksina. Varsinainen koe suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun kemiantekniikan laboratoriossa. Koejärjestelyä varten suunniteltiin ja rakennettiin koeyksiköille teline, sekoitusjärjestelmä, korkit sekä letkut ja näytteidenottoa varten pipetointivälineet.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että pintasedimentin poistolla saavutetaan positiivisia vaikutuksia sedimentin hapenkulutukseen. Koejärjestelyn olosuhteet kuitenkin poikkesivat sedimentin luonnollisista olosuhteista niin paljon, että kokeen avulla ei voi arvioida luotettavasti käytännön olosuhteissa tapahtuvaa hapenkulutuksen tai alusveden fosforinpitoisuuden muutosta. Jatkoselvityksenä olisi tarpeellista tehdä huomattavasti laajempi tutkimus usealle huonokuntoiselle merenlahdelle, joista otettaisiin monta sarjaa rinnakkaisia näytteitä.

## ASIASANAT:

sedimentti, inkubointi, vesinäyte, hapetus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Chemical and Materials engineering

2020 | 28 pages, 2 pages in appendices

Elina Järvinen

# DESIGN AND CONSTRUCTION OF ARRANGEMENT FOR SEA SEDIMENT INCUBATION TEST

The client for the thesis was the Water and Environment Engineering research group at Turku University of Applied Sciences. The study was a part of the SEABASED project managed by the Centre for Economic Development, Transport and the Environment of Southwest Finland. The aim was to execute an incubation test which was based on the test plan attached to the commission. The sea sediment samples used in the study were retrieved from the Hålx vik area in the Baltic sea in collaboration with Meritaito Oy.

First, it was determined under what conditions and by what means the experiment can be performed. The purpose of the test was to determine the effect of surface sediment removal on sediment oxygen consumption and nutrient cycle between sediment and water. The intent of the test was also to investigate how sediment removal would affect the state of oxygen-starved seabed and whether it would help seabed oxygen deficiency.

The effects of sediment removal were evaluated in a laboratory test. In the test surface sediment was removed in layers of different thicknesses. The actual experiment was performed in the chemical engineering laboratory of Turku University of Applied Sciences. A rack of test units, mixing system, caps and tubing were designed for the experiment. Also pipetting equipment for the sampling was planned and built.

Based on the study, it can be stated that the removal of surface sediment has positive effects on the oxygen consumption of the sediment. However, the conditions of the experiment differed so much from the natural conditions of the sediment that the change in oxygen consumption or the phosphorus content of the ground water under practical conditions could not be reliably determined. It would be necessary to execute a much more extensive study of multiple poor condition bay. Several series of parallel samples would then be taken from these. Attached to the thesis there is a practical implementation schedule.

## KEYWORDS:

sediment, incubation, water sample, oxidation

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 TAUSTAA</b>	<b>7</b>
2.1 Itämeri ja sen tilanne	7
2.2 Itämeren sisäinen kuormitus	8
2.3 Sedimentti	8
2.4 Aikaisemmat tutkimukset	8
<b>3 KOEJÄRJESTELYN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN</b>	<b>10</b>
3.1 Kokeen kesto ja tilat	10
3.2 Sedimenttinäytteenoton suunnittelu	10
3.3 Koejärjestelyn laitteisto	12
3.4 Vesinäytteet	13
3.5 Sedimenttinäytteet	14
3.6 Riskikartoitus	15
<b>4 KOKEEN TOTEUTUS</b>	<b>16</b>
4.1 Sedimenttinäytteenoton toteutus	16
4.2 Inkuboinnin toteutus	19
4.2.1 Ensimmäinen inkubointi: luonnollinen sedimenttipinta	21
4.2.2 Toinen inkubointi: ensimmäisen sedimentinpoiston jälkeen	21
4.2.3 Kolmas inkubointi: toisen sedimentin poiston jälkeen	22
4.2.4 Neljäs inkubointi: hapettomat olosuhteet sedimentin poiston jälkeen	22
4.2.5 Viides inkubointi: hapellisten olosuhteiden palauttamisen jälkeen	22
<b>5 YHTEENVETO</b>	<b>24</b>
5.1 Luotettavuustarkastelu	24
5.2 Jatkoselvitys ja kehitystarpeet	25
<b>LÄHTEET</b>	<b>26</b>

## LIITTEET

Liite 1. Inkubointiaikataulu

# KUVAT

Kuva 1 .....	11
Kuva 2 .....	17
Kuva 3 .....	18
Kuva 4 .....	20
Kuva 5 .....	20

# 1 JOHDANTO

Tutkimus toteutettiin syksyn 2020 aikana Turun ammattikorkeakoulun kemiantekniikan laboratoriossa. Inkubointikoe on osa EU:n Interreg Central Baltic -rahoitteista *Sea-based measures in Baltic Sea Nutrient Management* (SEABASED) -hanketta. Hankkeen päätavoite on vähentää rehevöitymisen vaikutuksia Itämeressä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa toimiva koejärjestely merisedimentin inkubointikokeille Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijan tekemän tutkimussuunnitelman pohjalta. Inkuboinnilla tarkoitetaan prosessia, jossa koeyksiköt ovat määrättyissä olosuhteissa ja lämpötilassa, jotta nähdään miten ravinteet kehittyvät ja hapenkulutus käyttäytyy. Inkubointikokeella yritetään simuloida kuinka paljon merenpohjan ruoppauksessa pitäisi poistaa pintasedimenttiä. Tutkimuksessa suoritettiin inkubointikokeita laboratoriossa ja tarkoituksena oli poistaa sedimenttinäytteistä inkubointien välissä eri paksuisia kerroksia. Inkubointikokeen tavoitteena oli määrittää merisedimentin pintakerroksen poiston vaikutusta sedimentin hapenkulutukseen ja ravinteiden kiertoon sedimentin ja veden välillä.

Opinnäytetyö sisältää teoriaosuuden, joka käsittelee Itämeren ja sen tilannetta sekä sisäisen kuormituksen vaikutusta Itämeren tilaan. Opinnäytetyön toteutusosuudessa kerrotaan miten koejärjestely suunniteltiin ja rakennettiin. Lisäksi lopussa käsitellään kokeen luotettavuutta sekä jatkoselvitys- ja kehitystarpeita.

## 2 TAUSTAA

Osiassa kerrotaan Itämeren tilanteesta ja sen rehevöitymisestä. Inkubointikokeilla haetaan keinoja Itämeren pohjan happitilanteen parantamiseen.

### 2.1 Itämeri ja sen tilanne

Itämeri on pieni meri, jonka keskisyyvyys on 55 metriä. Meren syvin kohta sijaitsee 497 metrin syvyydessä nimeltään Landsortin syväne. Itämeren vesi on murtoveettä ja se vaihtuu hitaasti. Tanskan salmien kautta Perämereltä saapuvaa valtamerivettä ja jokien tuomaa makeaa vettä sekoittuu Itämeressä. Valuma-alueella tarkoitetaan maa-aluetta, josta mereen valuu vettä ja sen mukana ravinteita. Itämeren valuma-alueella asuu noin 85 miljoonaa ihmistä ja se on neljä kertaa suurempi kuin meri. Itämeri on jo paikoin pahoin rehevöitynyt ja sen suurin uhka on edelleen ravinnekuormituksen aiheuttama rehevöityminen. (WWF, 2020)

Itämeren happitilanne paranee suolapulssien eli toistuvien suolaisen veden virtausten ansiosta noin kerran vuosikymmenessä. Itämeren syvänteisiin virtaa suolaista ja hapekasta vettä Pohjanmereltä Itämeren pohjanläheiseen vesikerrokseen. Itämeren pohja on kuitenkin laajalti hapetonta, joten hapekas vesi ei mahdollisesti riitä parantamaan merenpohjan happitilannetta tarpeeksi. (John Nurmisen säätiö, 2020)

Typpi- ja fosforipäästöt aiheuttavat rehevöitymistä, jotka edesauttavat vesikasvien ja levien leviämistä vedessä. Sinilevät kasvavat pääosin fosforin takia. Kaupunkien jätevedet sekä metsien ja peltojen valumavedet ovat yksi reitti mistä typpeä ja fosforia päätyy mereen. Itämereen siirtyy ilmalaskeumana myös osa liikenteen typpipäästöistä. Suomen kokonaiskuormituksesta suurin osa tulee maatalouden typpi- ja fosforipäästöistä. Ilmastomuutos kuormittaa Itämeren rehevöitymistä lisää. Ravinnevalumat maalta mereen lisääntyvät kasvavien sademäärien sekä vähälumisten talvien takia. Levien kasvua edistää ilmaston lämpeneminen, koska myös merivesi lämpenee. (John Nurmisen säätiö, 2020)

## 2.2 Itämeren sisäinen kuormitus

Itämeri jatkaa rehevöitymistään, vaikka ravinnekuormitus on pienentynyt viime vuosikymmenien aikana. Sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan tilannetta, jossa meren sisäisistä prosesseista vapautuu pohja-ainekseen sitoutunutta fosforia takaisin meriveteen. Sisäinen kuormitus vapauttaa pohjasedimenttiin aiemmin sitoutuneita ravinteita takaisin veteen, joten sisäistä kuormitusta ei voi suoraan verrata valuma-alueelta ja ilmasta tuleviin kuormituksiin. Meri siis käytännössä rehevöittää itse itseään. (Hietalahti)

Rehevöitynyt meri sisältää paljon kasviplanktonia sekä rannikon rihmaleviä. Liiallinen määrä kasviplanktonia johtaa siihen, että sitä ei hyödynnetä kokonaan. Leväsoluja vajoaa liikaa pohjaan, jossa hajottajabakteerit hajottavat orgaanista ainetta. Happi loppuu lopulta kokonaan. Itämeri on myös kerrostunut eli vesi on suolaisempaa syvemmillä, koska kevyempi vähäsuolainen vesi on painavamman suolaisen veden päällä. Hapekkaampi vesi päällä ei näin ollen pääse sekoittumaan alakerrokseen. Sedimentti hajottaa fosforia, kun vesi on hapekasta myös pohjan lähellä. Hapen loppuessa sedimentin sisältämä fosfori vapautuu takaisin veteen. Kun fosforia vapautuu pohjasta veteen muuttuu vesi typpirajotteiseksi. Kun typpeä ei ole saatavilla ilmasta typpeä sitovat sinileväkannat voimistuvat. (Hietalahti)

## 2.3 Sedimentti

Sedimentti on meren pohjalle syntynyt kerrostuma, joka on muodostunut esimerkiksi tuulen tai veden vaikutuksesta. Sedimentti koostuu mereen ajautuneista mineraaleista ja niihin sitoutuneista orgaanisista aineista ja kemiallisista saostumista. Mereen sedimentti voi vaikuttaa haitallisesti, jos se sisältää vahingollisia aineita. Ympäristön biologisella ja fysikaalisella arvioinnilla, biologisilla myrkyllisyystesteillä sekä kemiallisilla analyyseillä pystytään arvioimaan sedimentin haitallisuutta. (Itämerihaaste, 2020)

## 2.4 Aikaisemmat tutkimukset

Aivan samankaltaisia merisedimentin tutkimuksia ei ole aiemmin tehty, mutta Ympäristöministeriö teetti konsulttiselvityksen osana Vahanen Environment Oyn:n vetämää kansainvälistä konsortiota, jossa mukana olivat Baltic Sea Action Group sekä Centrum



Balticum/Balex. Projektissa kartoitettiin meren sisäisten ravinnevarastojen rehevöittäviä vaikutuksia sekä niiden mahdollisia kunnostustoimia ja kustannuksia. Raportissa käsiteltiin myös toimenpiteisiin liittyvää kansainvälistä ja kansallista lainsäädäntöä. Painopisteet tarkastelussa olivat merenpohjan hapetus, sedimentin ruoppaus sekä sedimentin kemiallinen käsittely. Pohjan hapetus osoittautui tutkimuksen mukaan kustannustehokkaimmaksi keinoksi vähentää rehevöitymistä ja sitä on aikaisemmin kokeiltu järviolosuhteissa. Tutkimuksessa kuitenkin todetaan, että Itämeren hapettomat pohjat ovat laajoja ja meri on kunnostustoimille haastava ympäristö. Kunnostustoimiin sisältyy riskejä ja epävarmuuksia, joten korkeatasoisia tutkimuksia tarvittaisiin lisää. (Vahanen Environment Oy, 2018)

## 3 KOEJÄRJESTELYN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN

Koejärjestelyn suunnittelun tavoitteena oli rakentaa inkubointikoejärjestely, jonka avulla pystyttäisiin arvioimaan sedimentinpoiston vaikutuksia merenpohjan happikadon parantamiseen.

### 3.1 Kokeen kesto ja tilat

Koe suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun kemiantekniikan laboratoriossa. Kokeen käytännön testit ajoittuivat välille 8.10. – 6.11.2020. Käytetyn huoneen ikkunat peitettiin jätensäkeillä umpeen, jotta koeyksiköt eivät altistuisi valolle. Aikataulu suunnitteluun ja kokeen toteutukseen oli tiukka. Liitteenä olevassa aikataulussa ovat jokaisen inkuboinnin käytännön toteutusajat (Liite 1.)

### 3.2 Sedimenttinäytteenoton suunnittelu

Inkubointikokeella pyrittiin tutkimaan olisiko sedimenttipohjan pintakerroksen ruoppauksesta apua hapettomien merenpohjien happikatoon ja ravinteiden vapautumiseen sedimentistä. Lisäksi tavoitteena oli selvittää mikä olisi tavoiteltava ruoppausvyvyys poistettaessa merenpohjan pintasedimenttiä. Näistä syistä tavoitteena oli saada sukkellettua Hållax vikistä yhdeksän varsinaiseen kokeeseen tarvittavaa koeyksikköä sekä kaksi varänäytettä, jos jostain syystä joku näyte menisi pilalle. Lisäksi tarkoituksena oli kerätä myös Limnos-näytteenoutimella alusvettä samasta paikasta kuin sedimenttinäytteet n. 100 litraa koetta varten. Näytteenottoa varten sääolot piti olla kohdallaan, jonka takia näytteenottopäivää siirrettiin pariin otteeseen. Kuljetukseen käytettiin isoa saavia, johon putkeline laitettiin ja sen liikkuminen sekä heiluminen estettiin tiivistämällä saavin sisällä oleva tila solumuovilla.

Sedimenttinäytteitä varten hankittiin metrin mittaisiin polykarbonaattiputkia, joiden sisähalkaisija oli 64 mm. Putket toimivat kokeessa koeputkina eli koeyksikköinä. Polykarbonaattiputkiin laitettiin valkoisella teipillä merkki halutusta sedimenttipatsaan korkeudesta

50 senttimetrin korkeudelle putken alareunasta. Yläkorkit kiinnitettiin putken yläosaan ilmastointiteipillä niin, että ne roikkuivat siiman ja silmukkaruuvien avulla putken vieressä meressä näytteenoton aikana. Alakorkit päätettiin laittaa telineen alle roikkumaan sukeltajien omaan pussiin, josta sai otettua yhden korkin kerrallaan. Koeyksikköinä toimivat sedimenttiputket sijoitettiin niitä varten tehtyyn telineeseen näytteenoton yhteydessä. Teline muodostui kahdesta vesivanerikiekosta, jotka oli kiinnitetty toisiinsa kolmen rautatangon avulla. Alapuolen vanerilevyssä oli jokaiselle putkelle oma reikänsä, yläpuolen vesivanerissa oli putkia varten uurrettu vanerin reunaan kolo, jossa putket pysyivät kiinni paksujen kuminauhojen avulla (Kuva 1.)



Kuva 1 Putkiteline ennen sedimenttinäytteenottoon lähtemistä.

### 3.3 Koejärjestelyn laitteisto

Koejärjestelyn laitteiston testaus aloitettiin kokeilemalla putken päihin tulevien korkkien vedenpitävyyttä. Polykarbonaattiputket asetettiin samaan vedellä täytettyyn kartionmuotoiseen saaviin, jossa inkubointikokeet suoritettiin. Putken yläpää tulpattiin ja putkea nostettiin ylemmäs vedellä täytetyssä saavissa, jotta alakorkki saataisiin paikoilleen. Tilattiin uudet alakorkit, koska ensimmäiset eivät olleet vedenpitäviä. Kokeessa käytetyt korkit olivat POM-muovia eli polyasetaalien ja polyksimetyylin sekoitusta.

Isoon saaviin laitettiin koeyksiköiden teline ja saavi täytettiin vedellä. Veden tarkoituksena oli estää ilmassa olevan hapen kulkeutumista koeyksikköihin. Inkubaatiokokeen aikana sedimenttikerroksen päällä olevan veden piti olla jatkuvassa liikkeessä, jotta vesi sekoittuisi eikä siihen muodostuisi pitoisuusgradientteja. Sekoitus toteutettiin niin että, imettiin letkulla vettä putken vesipatsaan alaosasta ja johdettiin se takaisin pinnan tuntumaan. Letku johdettiin korkin läpi pumpulle ja sieltä takaisin korkin läpi takaisin putkeen. Pumput olivat alipainepumppuja. Veden sekoittumista testattiin geelivärin kanssa, koska se oli vettä raskaampaa materiaalia. Se sekoittui pumppaamisen avulla veteen, joten todettiin sekoituksen toimivan. Sedimentti ei pölynyt sekoituksen aikana. Yläkorkkina oli silikonikorkki, johon porattiin kaksi ilmatiivistä läpivientä letkuille. Ensin sekoituksessa päätettiin käyttää silikoniletkua, mutta se päästi happea lävitseen. Happiongelman takia letkut vaihdettiin ensimmäisen inkuboinnin jälkeen Tygon-letkuihin ja tuloksista saatiin luotettavampia, kun happea ei päässyt letkujen läpi systeemiin. Viiden pumpun toimintaa kokeiltiin yhtä aikaa ja ne toimivat normaalisti. Pienissä punaisissa Watson Marlow 120 S pumpuissa oli kiinni 1 letku ja sopivan kierrosnopeuden todettiin olevan 5 rpm. Tällä kierrosnopeudella saatiin pumpattua n. 5 ml vettä minuutissa eli 7200 ml vuorokaudessa. Putkessa oli noin litra vettä niin se vaihtui vuorokauden aikana 7,2 kertaa. Vihreissä Watson Marlow 504 Du pumpuissa oli 3 letkua ja kierrosnopeus oli 3 rpm, jolla saatiin pumpattua n. 5 ml vettä minuutissa eli molempien pumpputyypin veden kierrätysnopeus oli sama. Sekoituksen täytyi olla varovaista, jotta sedimenttiprofiili ei häiriintyisi vaan pelkästään vesi sekoittuisi.

Seuraavaksi selvitettiin miten sedimenttinäytteet saadaan otettua putkista. Ensin vesi pumpattiin pois samoilla pumpuilla, joilla sekoitettiin. Sedimentin pumppaus ei onnistunut käytettävissä olevilla pumpuilla, joten mietittiin vaihtoehtoja tapaa sedimentin keräämiseen. Lopulta päädyttiin keräämään sedimenttinäytteet automaattipipettorilla. Sedimenttinäytteen loppuosaa ei saatu enää kerättyä pipettorilla, joten siihen käytettiin taivutettua

lusikkaa, joka oli taivutettu sekä kiinnitetty metalliputkeen, jotta varren saa ylettymään syvälle putkeen. Vesi saatiin pumpattua takaisin putkeen takaisin ilman, että sedimentti pölyyää ja se onnistui pienellä kierrosnopeudella (3-8 rpm).

Kokeen aikana lämpötilan oli tarkoitus pysyä vakiona. Tämä varmistettiin viikonlopun yli kestäville lämpötilamittauksilla, että lämpötila pysyy tasaisena koko kokeen ajan. Kolmessa vuorokaudessa vesisaavin lämpötila vaihteli alle 0,5 °C. Tämä todettiin riittävän pieneksi vaihteluksi. Ilman lämpötilavaihtelu oli 2,77 °C, mutta tämä johtui vuorokauden normaalista lämpötilanvaihteluista. Lämpimämmät piikit tulivat joka päivä samaan aikaan n. klo 14-17. Inkubointilämpötilaksi valikoitui 21 °C, jotta inkubaatioaika voitiin pitää lyhyempänä. Luonnossa vesi on kylmempää, mutta laboratorio-olosuhteissa kylmässä vedessä kemiallisiin reaktioihin olisi mennyt liian kauan aikaa.

Koeyksiköille täytyi tehdä kokeen aikana myös ilmastus. Ilmastus tarkoittaa prosessia, jossa hapetetaan vettä. Putkessa olevan vesipatsaan alaosaan syötettiin paineilmaa. Ilmastus päädyttiin tekemään koetilaan kiinteästi asennetun paineilmayksikön avulla. Paineilmakompressorista tuleva paineilma haaroitettiin 9 eri letkuun ja jokaisen letkun päähän laitettiin kiinni hohkakivi. Hohkakiven tehtävänä oli saada kaasusta pienikuplainen, jotta paineilma liukenee veteen helpommin. Koesarjaan kuuluva veden tyyppitys tehtiin samalla tavalla siirtämällä haaroitusketju kiinni typpipulloon paineilmayksikön sijasta.

### 3.4 Vesinäytteet

Putkessa olevasta vedestä otettiin vesinäytteet automaattipipetillä, jossa oli 100 ml:n pipetin kärki. Kun automaattipipetti ei enää ylettynyt veteen, lisättiin pipetin päähän jatkojalaksi letkunpätkä. Tämä mahdollisti vesinäytteiden ottamisen myös syvältä putkesta. Vesinäytteet otettiin dekantterilasiin varovasti, jotta näytteeseen ei sekoittuisi happea. Hapen mittaukseen käytettiin YSI:n EXO 2 -moniparametrimittaria, joka oli varusteltu happi- ja lämpötila-antureilla. Antureiden kalibrointi suoritettiin ennen kokeen aloitusta. Tulosten luotettavuutta varmistettiin tekemällä ajoittaisia mittauksia tunnetun happipitoisuuden näytteistä luotettavuuden varmistamiseksi. Happipitoisuuden mittaamiseen käytetty dekantterilasissa ollut vesi siirrettiin määrittämisen jälkeen muoviseen näytepulloon. Jos näytepulloon jäi ilmatila niin se tyytettiin, jotta ilmaa ei jäisi näytepulloon. Tyytitys tapahtui laittamalla korkin alta typpipullossa kiinni ollut letku näytepulloon ja peittämällä koko systeemi Minigrip pussilla, jotta ilma poistuu näytepullosta kokonaan. Vesi- ja sedimenttinäytteet lähetettiin analysoitavaksi akkreditoituun Lounais-Suomen vesi- ja

ympäristö Oy:n (LSVY) laboratorioon. LSVY:n laboratoriossa analysoitiin vesinäytteistä seuraavat parametrit: ammoniumtyppi, nitraattityppi, nitriittityppi, kokonaistyyppi, liennut kokonaisfosfori, liennut fosfaattifosfori, kokonaisrauta ja mangaani.

### 3.5 Sedimenttinäytteet

Sedimenttinäytteet otettiin samalla pipettorilla kuin vesinäytteet. Pipetin kärkeä oli leikattu, jotta kärjessä oleva aukko olisi isompi. Tämän ansiosta sedimentissä olleet pienet kovat kokkareet eivät haitanneet näytteiden ottamista. Sedimenttinäytteet otettiin putkesta ensin pipettorilla niin syväälle kuin kärki yletty. Loput otettiin taivutetulla lusikalla, johon oli kiinnitetty jatkovarsi. Lusikalla saatiin sedimenttipinta siistittyä seuraavaa inkubointia varten helpommin kuin pipettorin kärjellä. Näytteet laitettiin 0,5 l Minigrip-pusseihin ja pussissa olleet näytteet tyytettiin n. 1 min ajan ennen pussin sulkemista. Typpi-kaasu johdettiin typpipullosta silikoniletkulla, jonka päähän oli tehty pieniä reikiä n. 2 cm matkalle. Reikien tarkoitus oli saada typpi liukenemaan paremmin sedimenttiin. Typpi pyrittiin levittämään sedimenttinäytteisiin hieromalla käsin pussia ulkopuolelta sekä liikkuttamalla pussissa ollutta letkua, jotta happi poistuisi tehokkaasti.

Sedimenttinäytteistä mitattiin myös kuiva-ainepitoisuus. Määritys tehtiin ottamalla n. 10 g sedimenttiä haihdutusmaljaan ja punnitsemalla se. Malja laitettiin lämpökaappiin vähintään kuuden tunnin ajaksi. Lämpökaapista malja siirrettiin eksikkaattoriin tunniksi ja sen jälkeen se punnittiin. Punnitustulosten avulla kuiva-ainepitoisuus saatiin laskettua.

LSVY:n laboratoriossa analysoitiin sedimenttinäytteistä seuraavat parametrit: kokonaistyyppi, liennut kokonaisfosfori, liennut fosfaattifosfori, kokonaisrauta ja biokemiallinen hapenkulutus. Lisäksi koululla analysoitiin kuiva-ainepitoisuus.

Sedimenttinäytteenoton jälkeen koeyksiköihin jäänyt merivesi pumpattiin pois ja putket täytettiin alipainepumppujen avulla juuri hapetetulla merivedellä. Merivesilisäys tehtiin pienellä virtausnopeudella, jolloin pohjalla oleva sedimentin sekoittuminen minimoitiin.

### 3.6 Riskikartoitus

Tutkimuksessa oli erilaisia riskitekijöitä. Tiukka aikataulu oli suurin riski kokeen onnistumiselle. Resursseihin liittyi myös riski, koska sairastuminen ja poissaolot olivat todennäköisiä koronapandemian ollessa voimissaan. Opiskelijoita oli työssä mukana kuitenkin kolme, joten yhden sairastuminen ei olisi merkittävästi haitannut projektin suorittamista. Riskiä pyrittiin myös ennakoimaan käyttämällä kasvomaskeja ja pitämällä etäisyyttä tutkimuksen sallimissa rajoissa. Aikataulu oli tiukka koko projektin ajan, joten aikataulun venyminen oli riski. Aikataulu suunniteltiin tiukaksi ja sitä hieman tiivistettiin esimerkiksi tasaantumisajoina, jotta tutkimus saadaan tehtyä annettuun aikaan mennessä.

Merenpohjan sedimenttinäytteenottoon liittyi merkittäviä riskejä. Sääolosuhteet toivat riskin näytteenottopäivään. Näytteitä ei voinut lähteä hakemaan, jos tuuli oli yli 8 m/s. Näytteenottopäivää siirrettiin muutamaa otteeseen sääolosuhteiden takia. Kovan tuulen vaikutuksia ennakoitiin kiinnittämällä koeyksiköt mahdollisimman hyvin kuljetussaaviin, jotta ne eivät pääsisi liikkumaan tai sekoittumaan yhtään. Koeyksiköiden alakorkit olivat painavia ja niitä oli hankala käsitellä vedenalla paksuilla sukeltajien hanskoilla. Niitä ei ollut kuin yksi ylimääräinen ja jos korkki olisi pudonnut sedimenttiin sitä ei olisi enää löytynyt. Riskiä ei huomiotu muuten kuin huolellisuudella, koska varakorkkeja ei saatu lisää aikataulun sallimissa rajoissa. Näytteenottoa ei oltu suoritettu aikaisemmin, joten merenpohjan näkyvyyden takia ei ollut varmaa onko sukeltajien mahdollista saada näytteet otettua suunnitelman mukaisella tavalla. Sukeltajia helpottamaan laitettiin koeputkien ympärille valkoinen teippi näkyvyyttä parantamaan.

Laboratoriossa riskeinä olivat laiterikot, analyysivirheet, näytteidenotot sekä sekoitus. Laboratoriomittari jouduttiin korvaamaan kenttäkäyttöön tarkoitettulla happimittarilla. Mittaria ei ole suunniteltu laboratorio-olosuhteisiin, joten tulosten luotettavuutta piti arvoida uudelleen. Vesinäytteet jouduttiin ottamaan isompaan astiaan, koska Exo- happimittari ei mahtunut mittaamaan suoraan koeyksiköistä. Riskiä minimoitiin huolellisella työskentelyllä. Laboratoriossa tehtiin kuiva-ainemittaukset ja happimittaukset. Pyrittiin siihen, että happimittaukset suoritaisi aina sama yksi henkilö, jotta arvoissa ei tapahtuisi muutoksia. Laboratoriossa työskentelyyn liittyviä riskejä pyrittiin ennakoimaan noudattamalla laboratoriosuunnitelmaa, jotta kaikki tekevät asiat samalla tavalla ja samassa järjestyksessä. Sekoitukseen liittyi riski sen takia, jos pumpput esimerkiksi rikkoutuisivat. Näytteet suojattiin valolta aina kun mahdollista ja inkubointien ajan ne olivat pimeässä suljetussa huoneessa.

## 4 KOKEEN TOTEUTUS

Kokeen toteutusosiossa käydään läpi sedimenttinäytteiden haku ja kuljetus sekä inkubointikokeen toteutus. Koejärjestelyä muokattiin hieman kokeen toteutuksen aikana esille tulleiden ongelmien takia.

### 4.1 Sedimenttinäytteenoton toteutus

Sedimenttinäytteet haettiin Meritaidon sukeltajien avulla Houtskarın Hålx vikistä Itämereltä. Tuulen nopeus näytteenottopäivänä oli 9 m/s ja sää oli puolipilvinen. Koordinaatit näytteenottopaikassa olivat: 60°13,561N, 021°20,826E. Sukeltajat keräsivät näytteet muutaman neliömetrin alueelta pohjasta n. 12 metrin syvyydestä. Veden lämpötila oli 13,5 °C. Näytteiden noston jälkeen ne valokuvattiin heti ja alakorkit teipattiin ilmastointiteipillä tiivyyden varmistamiseksi. Sedimenttipatsaiden korkeudet mitattiin myös. Teline koeyksiköiden kanssa siirrettiin kuljetussaaviin ja telineen ympärille aseteltiin solumuovia stabiiliin kuljetuksen varmistamiseksi. Kuljetusastia suojattiin lisäksi valolta. Venematkan ja autokuljetuksen aikainen sedimentin sekoittuminen jäi minimaaliseksi ja sedimenttikerrokset näyttivät kuljetuksen jälkeen pysyneen toisiinsa sekoittumattomina.

Näytteenottopaikasta nostettiin myös n. 100 litraa alusvettä 10 metrin syvyydestä, jotta inkubaatioiden aikana poistettu vesi saatiin korvattua hapellisella merivedellä. Nostoihin käytettiin Limnos-näytteenoudinta. Meriveden lämpötila 10 m syvyydessä oli noin 12,8 °C, suolapitoisuus 6,6 ‰, sameus 10,35 NTU ja happipitoisuus 2,8 mg/l.





Kuva 2 Näytteet heti merestä nostamisen jälkeen. Koeyksiköt S1-S9 telineessä paikoillaan ja kaksi varanäytettä ovat eri korkeudella kuin muut.

Kuvassa 2 näkyy sedimenttien kerrostuneisuus näytteenoton jälkeen. Kuvan avulla voidaan tulkita, että sedimenttipatsaista erottui selkeästi kolme eri osaa. Päälimmäisenä musta hapeton sedimentti, keskellä ohuehko sekoittunut kerros ja alimpana harmaa osuus. Sedimenttipatsaiden korkeus vaihteli välillä 59–79 cm. Mustan sedimenttikerroksen paksuus oli noin 25–30 cm.



Kuva 3 Lähikuva näytteistä teippauksen jälkeen. Valkoisella teipillä merkattiin haluttu sedimenttipatsaan korkeus, mutta huono näkyvyys merenpohjassa esti putkien upottamisen täsmälleen oikeaan syvyyteen.

## 4.2 Inkuboinnin toteutus

Teline koeyksikköineen sijoitettiin läpinäkyvään kartion malliseen akryyliseen saaviin, joka oli täytetty vedellä. Vesi esti hapen kulkeutumista koeyksikköihin. Akryylisaavin vettä typetettiin säännöllisesti, jotta sen happipitoisuus pysyisi mahdollisimman alhaisena. Vesihauteena käytettyä saavia ei voitu täyttää aivan täyteen asti, koska koeyksiköt olisivat alkaneet nosteen vaikutuksesta kellua, mikä olisi aiheuttanut riskin putkien alapään tulpan löystymiselle tai irtoamiselle. Koeyksiköiden putket ylettyivät vesihauteen yläpuolelle n. 20 cm. Laitteisto pidettiin mahdollisuuksien mukaan peitettynä valolta suojassa.

Ennen kokeen alkua alakorkkien tiiveys varmistettiin korkkiin laitettavalla vulkanointiteipillä. Yläkorkkina oli kartioinmuotoinen silikonikorkki, johon tehtiin kaksi reikää veden-sekoitusletkuja varten. Silikonikorkit eivät olleet täysin tiiviitä, joten niiden tiivistämiseksi käytettiin parafilmiä.

Alussa kaikki letkut olivat materiaaliltaan silikonia, mutta niiden huomattiin päästävän happea lävitseen. Letkut vaihdettiin niin, että putken ulkopuolella olevat letkut olivat Tygon-letkuja ja putken sisällä oleva letku oli silikonia. Korkin läpi laitettiin pala jäykempää muoviletkkua, jolla letkut yhdistettiin. Letkut olivat liitettynä pumppuihin, jotka kierrättivät vettä. Peristaattipumppuja oli kahta eri kokoa. Vihreät Watson Marlow 504 Du pumpput, joihin mahtui kolme letkua kiinni, pumppasivat 5 rpm nopeudella. Punaiset Watson Marlow 120 s pumpput, jotka pumppasivat nopeudella 3 rpm kierrättivät vettä vain yhden letkun kautta. (Kuva 4).

Näytteiden hapetus ja typetys toteutettiin erillisillä silikoniletkuilla. Letkut haaroitettiin yhdeksään putkeen ja kunkin letkun päähän kiinnitettiin hohkakivi. Hohkakiven tarkoituksena oli saada kaasusta pienempi kuplaisia ja veteen helpommin liukenevia. Kuvassa 4 on menossa koeyksiköiden ilmastus, jota varten kuvassa on myös ilmastusletkut paineilmakompressorista. Korkit pidettiin auki ilmastuksen ajan.



Kuva 4 Laitteisto, jota kokeessa käytettiin.

Kokeessa toteutettiin viisi lyhyttä inkubointijaksoa, joiden muuttujina olivat meriveden happitilanne inkuboinnin alkaessa ja poistetun sedimentin määrä.

		Käsittely ennen inkubointia				
		Veden ilmastus			Veden typetytys	Veden ilmastus
Koeyksikkö/inkubointi	1. inkubointi	2. inkubointi	3. inkubointi	4. inkubointi	5. inkubointi	
S1	Luonnollinen sedimenttipinta	5 cm sedimentinpoisto	15 cm sedimentinpoisto			
S2						
S3						
S4		15 cm sedimentinpoisto	25 cm sedimentinpoisto			
S5						
S6						
S7		Luonnollinen sedimenttipinta				
S8						
S9						

Kuva 5 Koejärjestely kaaviona

#### 4.2.1 Ensimmäinen inkubointi: luonnollinen sedimenttipinta

Ensimmäisellä inkuboinnilla mitattiin veden ravinnepitoisuuden lähtötaso ja hapenkulutus. Ensin hapetettiin näytteissä oleva merivesi, jonka jälkeen koeyksiköiden annettiin tasaantua 24 h. Tasaantumisen jälkeen analysoitiin vesinäytteiden happipitoisuus ja otettiin vesinäyte 200 ml:n näytepulloon. Jokaisessa vesinäytteenotossa näytepullot täytettiin piriipintaan tai pulloon jäänyt ilmatila tyytetettiin ennen pullon sulkemista. Vesinäytteet toimitettiin viipymättä laboratorioon tarkempia määrittelyjä varten. Näytteiden kuljetus laboratorioon kesti noin 15 minuuttia.

Vesinäytteenoton jälkeen aloitettiin ensimmäinen inkubaatio. Koeyksiköihin jäänyt ilmatila tyytetettiin, korkit suljettiin ja näytteiden sekoitus eli vesikierto käynnistettiin. Vuorokauden jälkeen happipitoisuus mitattiin uudestaan ja otettiin uudet vesinäytteet. Tämän jälkeen oli ensimmäinen sedimenttinäytteenotto. Sedimentin pinnalta poistettiin loppu vesi, jotta sedimenttinäyte päästiin ottamaan. Kolmesta ensimmäisestä koeyksiköstä (S1-S3) poistettiin 5 cm, yksiköistä S4-S6 poistettiin 15 cm ja koeyksiköt S7-S9 pysyivät koko kokeen ajan muuttumattomana.

#### 4.2.2 Toinen inkubointi: ensimmäisen sedimentinpoiston jälkeen

Toisen inkuboinnin tarkoituksena oli selvittää sedimentinpoiston vaikutuksia ja käyttökelpoisuutta hapettomien merenpohjien hoidossa. Kokeessa tutkittiin sedimentin poiston vaikutuksia hapenkulutukseen ja ravinteiden liukenemiseen sedimentistä veteen. Ennen toisen inkuboinnin aloitusta putkiin lisättiin hapetettua merivettä, jotta jokaisessa koeyksikössä olisi taas 25 cm korkuinen vesipatsas. Koeyksiköiden annettiin tasaantua yön yli veden lisäämisen jälkeen ennen kokeen jatkumista. Aamulla merivettä hapetettiin koeyksiköissä tunnin ajan ja tämän jälkeen putkien annettiin tasaantua kaksi tuntia. Seuraavaksi mitattiin näytteiden happipitoisuudet ja otettiin vesinäytteet samalla tavalla kuin ensimmäisessä inkuboinnissa. Vesinäytteenoton jälkeen putkien ilmatilat tyytetettiin hapen poistamiseksi. Korkit suljettiin ja tiivistettiin parafilmillä. Sekoitus käynnistettiin inkuboinnin ajaksi. Inkubointi kesti vuorokauden, jonka jälkeen happipitoisuudet mitattiin ja otettiin uudet vesinäytteet. Sedimentin pinnalta pumpattiin jäljelle jääneet vedet pois ja otettiin uudet sedimenttinäytteet. Kolmesta ensimmäisestä koeyksiköstä (S1-S3) poistettiin 10 cm, yksiköistä S4-S6 poistettiin 10 cm ja koeyksiköt S7-S9 pysyivät koko kokeen ajan muuttumattomana.

#### 4.2.3 Kolmas inkubointi: toisen sedimentin poiston jälkeen

Kolmannen inkuboinnin tavoite oli sama kuin edellisen eli määrittää eri paksuisten sedimenttikerrosten poiston merkitystä sedimentin yläpuolisen veden happi- ja ravinnepitoisuuksiin. Ennen kolmatta inkubointia lisättiin hapellista merivettä pumpun avulla hitaasti, jotta sedimentti ei sekoittuisi. Koeyksiköiden annettiin tasaantua yön yli ennen kokeen jatkamista. Aamulla koeyksiköiden merivettä hapetettiin tunnin ajan ja sen jälkeen ne saivat tasaantua tunnin. Tämän jälkeen mitattiin taas happipitoisuus ja otettiin vesinäytteet. Seuraavaksi putkien ilmatilojen happi poistettiin vesifaasia typtämällä. Typetyksen jälkeen suljettiin korkit sekä käynnistettiin sekoitus.

Inkubaatio kesti tällä kertaa 18 tuntia, koska 24 tunnin inkuboinnin aikana koeyksiköiden happipitoisuus laski erittäin lähelle nollaa. Happipitoisuuden ollessa lähellä nollaa hapenkulutusnopeuden arviointi hankaloituu. Inkuboinnin jälkeen happipitoisuus mitattiin uudestaan ja otettiin uudet vesinäytteet.

#### 4.2.4 Neljäs inkubointi: hapettomat olosuhteet sedimentin poiston jälkeen

Neljännän inkuboinnin tarkoituksena oli selvittää miten ravinteet liukenevat hapettomissa olosuhteissa sedimentin poiston jälkeen. Hapettomat olosuhteet saatiin aikaiseksi typtämällä koeyksiköiden merivesi. Typetyksen jälkeen aloitettiin inkubointi korvaamalla edellisissä kokeissa poistettu vesi. Näytteiden merivesi ja putkien ilmatila typtettiin niin hapettomaksi kuin mahdollista. Inkubointi aloitettiin sulkemalla korkit ja käynnistämällä pumput. Inkubointi kesti noin 18 tuntia ja lopetuksen jälkeen mitattiin happipitoisuus ja otettiin vesinäytteet.

#### 4.2.5 Viides inkubointi: hapellisten olosuhteiden palauttamisen jälkeen

Viimeisen inkuboinnin tarkoituksena oli selvittää sedimentin ja veden välistä ainevuota hapetonta jaksoa seuraavissa hapellisissa olosuhteissa. Inkubointi aloitettiin korvaamalla merivesi, jota oli käytetty edelliseen näytteenottoon. Koeyksiköitä hapetettiin yksi tunti, jonka jälkeen ne saivat tasaantua tunnin ajan. Ravinneanalyysyjä varten otettiin vesinäytteet ja mitattiin myös happipitoisuus. Putkien ilmatila typtettiin hapettomaksi,

suljettiin korkit ja aloitettiin sekoitus. Inkubointi kesti 18 tuntia, jonka jälkeen mitattiin veden happipitoisuus ja otettiin vesinäytteet ravinnemittauksia varten.

## 5 YHTEENVETO

Viimeisessä osiossa käydään läpi kokeen luotettavuutta sekä jatkoselvitys- ja kehitystarpeita.

### 5.1 Luotettavuustarkastelu

Näytteenotossa sukeltajien toiminta merenpohjassa on vaikuttanut luotettavuuteen. Sedimentin ylimääräinen pölyäminen on aiheutunut toiminnan seurauksena ja vaikeuttanut sedimenttien keräämistä pohjasta. Luotettavuuteen on myös vaikuttanut näytteenotopisteiden valinta eli ovatko näytteet edustaneet hyvin koko merenpohjaa sekä näytteiden määrän valinta. Kerättävän sedimenttikerroksen paksuudeksi päätettiin 50 senttimetriä, jonka katsottiin olevan riittävä määrä kokeen suorittamiseen onnistuneesti. Kuljetuksen aikana koeyksiköt altistuivat tärinälle, kolinalle, tien kuopille ja mahdolliselle sedimentin tiivistymiselle. Näitä kaikkia pyrittiin mahdollisuuksi mukaan välttämään esimerkiksi ajamalla hidasteisiin erittäin hiljaa ja pienen aallokon takia myös veneen nopeutta hidastettiin. Näkyvää sekoittumista ei kuljetuksen jäljiltä kuitenkaan tapahtunut. Koeyksiköt suojattiin valolta mahdollisuuksien mukaan, mutta esimerkiksi näytteidenoton aikana tämä oli mahdotonta. Koe suoritettiin korkeammassa lämpötilassa kuin luonnolliset olosuhteet sen takia, että reaktiot tapahtuvat nopeammin.

Koeyksiköiden sisältämää merivettä sekoitettiin alipainepumppujen avulla. Pumput eivät olleet samanlaisia keskenään, mutta niiden toiminta pyrittiin optimoimaan mahdollisimman yhdenmukaiseksi. Pumppujen toiminnassa oli välillä haasteita, mutta ne ratkaistiin aina sekoituksen alkaessa. Ensimmäisessä inkuboinnissa käytössä olleet silikoniletkut läpäisivät happea, joten happea imeytyi letkujen sisällä olleeseen veteen. Inkuboinnin aikana koeyksiköiden veden happipitoisuuden olisi pitänyt laskea, mutta kun happea pääsi imeytymään veteen happipitoisuus nousikin lähtötilanteesta. Tämä aiheutti koejärjestelyn virhetilanteen.

Korkit eivät olleet tiiviitä ensimmäisen inkuboinnin aikana, jonka takia ne tiivistettiin ilma-voitojen välttämiseksi parafilmillä. Koeyksiköiden ilmataskut tyytettiin ennen inkubointien aloitusta, mutta tyytelyn tehokkuutta ei kuitenkaan pystytty varmistamaan. Inkubointien välissä olleet tautot ovat myös mahdollisesti vaikuttaneet näytteiden säilymiseen ja sitä kautta tulosten luotettavuuteen. Sedimentti oli kauan poissa luontaisesta



ympäristöstään, joten siinä on voinut tapahtua sellaisia muutoksia, jotka vaikuttavat sen käyttäytymiseen.

Inkubointiaikaa piti lyhentää kesken kokeen, koska happipitoisuudet laskivat liian lähelle nollaa. Happiarvojen ollessa liian alhaisia hapenkulutus ei ole enää lineaarista, mikä vaikeuttaa tulosten tulkitsemista. Lyhennetty inkubointiaika hankaloittaa eri vaiheiden vertailtavuutta. Koeyksiköiden vesipatsaan typetys oli haastavaa eikä se välttämättä onnistunut täydellisesti. Pitkästä typetysajasta huolimatta veden happipitoisuus ei laskenut nollaan.

Kokeen jälkeen tapahtuneissa jatkuvatoimisissa hapenkulutuksen mittauksissa saatiin selville, että vesipatsaan yläpuolelle jäävän osan läpi diffusoituu happea. Tätä osattiin epäillä jo ennen kokeen alkua. Tästä syystä koeyksiköt pidettiin vesihauteessa inkubointien ajan, lukuunottamatta putken ylintä 20 cm.

## 5.2 Jatkoselvitys ja kehitystarpeet

Inkubointiaika pitäisi optimoida ennen kokeen alkamista, jotta inkubointiaika olisi sama koko kokeen ajan. Tämä helpottaisi hapenkulutuksen tulkintaa varsinaisen kokeen aikana. Tutkimuksissa käytetyt alakorkit saatiin tiivistettyä ilmastointiteipillä, mutta jatkossa on syytä testata muitakin korkkivaihtoehtoja. Letkujen materiaalien soveltuvuus kannattaa varmistaa ennen kokeen aloittamista. Tämän testin perusteella silikoniletkujen sijaan kannattaa käyttää vaan Tygon letkuja, jotka eivät päästä happea lävitseen. Näytteiden sekoituksessa erilaiset pumput toimivat, kunhan kaikkien sama sekoitustahti varmistetaan testauksella ennen kokeen aloittamista.

Jatkoselvityksenä olisi syytä tehdä laajempi tutkimus usealle eri huonokuntoiselle merenlahdelle. Näistä kaikista otettaisiin kolme sarjaa rinnakkaisia näytteitä, jolloin tulosten luotettavuus paranisi ja saataisiin inkubointien tuloksista kattavammat. Jatkotutkimus auttaisi selvittämään onko merenpohjan ruoppaus kannattava merenhoidollinen menetelmä ennen kuin sedimentinpoistoa kokeiltaisiin kokonaiselle pilaantuneelle merenlahdelle.

## LÄHTEET

**Hietalahti, Visa.** Itameri.fi. [Online] [Viitattu: 7. 12 2020.] [https://www.ostersjon.fi/fi-FI/Luonto\\_ja\\_sen\\_muutos/Itameren\\_tila/Rehevoityminen/Sisainen\\_kuormitus](https://www.ostersjon.fi/fi-FI/Luonto_ja_sen_muutos/Itameren_tila/Rehevoityminen/Sisainen_kuormitus).

**Itämerihaaste. 2020.** Itämerihaaste. [Online] 2020. [Viitattu: 16. 12 2020.] [http://www.itamerihaaste.net/tyomme/tee\\_toimenpideohjelma/toimenpide-esimerkkeja/hyvinvoiva\\_meriluonto/pilaantuneet\\_sedimentit](http://www.itamerihaaste.net/tyomme/tee_toimenpideohjelma/toimenpide-esimerkkeja/hyvinvoiva_meriluonto/pilaantuneet_sedimentit).

**John Nurmisen säätiö. 2020.** John Nurmisen säätiö. [Online] 2020. [Viitattu: 7. 12 2020.] <https://johnnurmisensaatio.fi/itameren-suojelu/tietoa-itameresta/>.

**Vahnen Environment Oy. 2018.** [Online] 25. 3 2018. [Viitattu: 16. 12 2020.] [https://vahanen.com/wp-content/uploads/2018/05/Speeding\\_up\\_the\\_ecological\\_recovery\\_of\\_the\\_Baltic\\_Sea.pdf](https://vahanen.com/wp-content/uploads/2018/05/Speeding_up_the_ecological_recovery_of_the_Baltic_Sea.pdf).

**WWF. 2020.** [Online] 2020. [Viitattu: 7. 12 2020.] <https://wwf.fi/alueet/itameri/>.

## Inkubointiaikataulu

		Inkubointiaikataulu			
		Sedimentin ja veden tilavuusmittaukset ennen maanantaita!			
		Putkien ilmastus su?			
		Merivesi yhdessä paikassa ja kuplitus koko ajan päällä?			
Aika	12.loka	13.loka	14.loka	15.loka	
	Maanantai	Tiistai	Keskiviikko	Torstai	
6.45.00					
7.00.00					
7.15.00					
7.30.00					
7.45.00					
8.00.00	Kevyt sekoitus 10 min ajaksi				
8.15.00	Mitataan veden happipitoisuus				
8.30.00	Otetaan 200 ml:aa näytettä LSVSY:lle (9 putkea) -> lähetetään näytteet		Ilmastus 1h		
8.45.00					
9.00.00					
9.15.00	Suljetaan putket ilmatiiviisti ja käynnistetään sekoitus				
9.30.00	Inkuboidaan näyteputkia 24h putket: 1, 2 ja 3	Mitataan happipitoisuus ja otetaan 250 ml:aa näytettä LSVSY:lle ( 9 putkea)	Tasaantuminen 2h		
9.45.00	Inkuboidaan näyteputkia 24h putket: 4, 5 ja 6	Vesi pumpataan kokonaan pois ja aloitetaan samalla porrastetusti sedimenttinäytteidenotto			
10.00.00	Inkuboidaan näyteputkia 24h putket: 7, 8 ja 9	Sarja 1 sedimenttinäytteenotto 5 cm x 3, putket 1, 2 ja 3, sedimenttieran jako kolmeen osaan			
10.15.00		Sarja 2 sedimenttinäytteenotto, 15 cm x 3, putket 4, 5 ja 6, sedimenttieran jako kolmeen osaan			
10.30.00		Sarja 3 putkien veden poisto ja korvataan ilmastetulla merivedellä, annetaan näytteiden stabiiloitua 1 vrk.			
10.45.00		BOD-näytteiden tyytetyt 6 x			
11.00.00		Vesinäytteiden ja sedimenttinäytteiden lähetys LSVSY:lle			
11.15.00					
11.30.00			Näytteiden sekoitus 10 min ajan		
11.45.00			Mitataan veden happipitoisuus	Mitataan happipitoisuus ja otetaan 250 ml:aa näytettä LSVSY:lle ( 9 putkea)	
12.00.00			Otetaan 200 ml:aa näytettä LSVSY:lle (9 putkea) -> lähetetään näytteet	Vesi pumpataan kokonaan pois ja aloitetaan samalla porrastetusti sedimenttinäytteenotto	
12.15.00				Sarja 1 sedimenttinäytteenotto 10 cm x 3, putket 1, 2 ja 3, sedimenttieran jako kolmeen osaan	
12.30.00				Sarja 2 sedimenttinäytteenotto, 10 cm x 3, putket 4, 5 ja 6, sedimenttieran jako kolmeen osaan	
12.45.00			Suljetaan putket ilmatiiviisti ja käynnistetään sekoitus	Sarja 3 putkien veden poisto ja korvataan ilmastetulla merivedellä, annetaan näytteiden stabiiloitua 1 vrk.	
13.00.00			Inkuboidaan näyteputkia 24h putket: 1, 2 ja 3	BOD-näytteiden tyytetyt 6 x	
13.15.00			Inkuboidaan näyteputkia 24h putket: 4, 5 ja 6	Vesinäytteiden ja sedimenttinäytteiden lähetys LSVSY:lle	
13.30.00			Inkuboidaan näyteputkia 24h putket: 7, 8 ja 9		
13.45.00					
14.00.00					

7					
8					
9	<b>Aika</b>	<b>19.loka</b>	<b>20.loka</b>	<b>21.loka</b>	<b>22.loka</b>
10	6.45.00	<b>Maanantai</b>	<b>Tiistai</b>	<b>Keskiviikko</b>	<b>Torstai</b>
11	7.00.00				
12	7.15.00				
13	7.30.00				
14	7.45.00				
15	8.00.00				
16	8.15.00		Mitataan veden happipitoisuus		Mitataan veden happipitoisuus
17	8.30.00		Oletaan 250 ml:aa näytettä LSVSY:lle (9 putkea) -> lähetetään näytteet	Oletaan 150 ml:aa näytettä LSVSY:lle (9 putkea) -> lähetetään näytteet	Oletaan 200 ml:aa näytettä LSVSY:lle (9 putkea) -> lähetetään näytteet
18	8.45.00			Mitataan veden happipitoisuus - mittausta varten otetaan dekkiaan vettä, joka palautetaan takaisin putkeen mittauksen jälkeen	
19	9.00.00		Pumpataan kokoaan vesi pois ja korvataan uudella	Korvataan poistettu vesi ilmastetulla merivedellä - HUOM! ei vaihdeta kokoaan vettä, vaan korvataan näyteisiin otettu vesi	
20	9.15.00				
21	9.30.00				
22	9.45.00			<b>Ilmastus 1 h</b>	
23	10.00.00		Typetyksen testaus		
24	10.15.00				
25	10.30.00				
26	10.45.00				
27	11.00.00				
28	11.15.00				
29	11.30.00				
30	11.45.00				
31	12.00.00				
32	12.15.00				
33	12.30.00	<b>Ilmastus 1 h</b>			
34	12.45.00				
35	13.00.00				
36	13.15.00				
37	13.30.00				
38	13.45.00				
39	14.00.00	Näytteiden sekoitus 10 min ajan	kupitetaan tyhjiä näytteet hapetomiksi	Näytteiden sekoitus 10 min ajan	
40	14.15.00		Mitataan veden happipitoisuus	Mitataan veden happipitoisuus	
41	14.30.00	Oletaan 200 ml:aa näytettä LSVSY:lle (9 putkea) -> lähetetään	Kun vesi hapetonta, otetaan 150 ml:aa näytettä LSVSY:lle (9 putkea) -> lähetetään	Oletaan 150 ml:aa näytettä LSVSY:lle (9 putkea) -> lähetetään näytteet	
42	14.45.00	Mitataan veden happipitoisuus	Suljetaan kaikki putket ilmatiiviisti ja käynnistetään sekoitus	Suljetaan kaikki putket ilmatiiviisti ja käynnistetään sekoitus	
43	15.00.00	Suljetaan putket ilmatiiviisti ja käynnistetään sekoitus	Inkuboidaan näyteputkia 18h putket: 1- 9	Inkuboidaan näyteputkia 18h putket: 1- 9	
44	15.15.00	Inkuboidaan näyteputkia 18h putket: 1 ja 2			
45	15.30.00	Inkuboidaan näyteputkia 18h putket: 3 ja 4			
46	15.45.00	Inkuboidaan näyteputkia 18h putket: 5 ja 6			
47	16.00.00	Inkuboidaan näyteputkia 18h putket: 7, 8 ja 9			
48	16.15.00				
49	16.30.00				
50	16.45.00				
51	17.00.00				
52	17.15.00				
53	17.30.00				