



SEABASED

Merisedimentin inkubointikoe SEABASED –hankkeelle

TULOSRAPORTTI

**Antti Kaseva, Elisa Walli, Elina Järvinen, Beatrice Suominen &
Hanna Hänninen**

14.11.2020



Varsinais-Suomen ELY-keskus

Merisedimentin inkubointikoe SEABASED –hankkeelle

TULOSRAPORTTI

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	4
2 KOEJÄRJESTELYT	5
2.1 Koeasetelman lähtökohdat	5
2.1.1 Inkuboinnin koeasetelma	6
2.1.2 Inkuboinnin järjestelyt	7
2.2 Kokeen toteutus	11
2.2.1 Sedimenttinäytteenotto	11
2.2.2 Inkubointi	14
3 TULOKSET	17
3.1 Ensimmäinen inkubointi: alkuperäinen sedimenttipinta	17
3.1.1 Vedenlaatutulokset	17
3.1.2 Happitilanne	18
3.1.3 Ensimmäiseen inkubointiin liittyvät huomiot ja havainnot	19
3.2 Toinen inkubointi: pintasedimentin poisto 5 ja 15 cm	20
3.2.1 Vedenlaatutulokset	20
3.2.2 Happitilanne	21
3.2.3 Sedimenttitulokset	22
3.2.4 Toiseen inkubointiin liittyvät huomiot ja havainnot	22
3.3 Kolmas inkubointi: sedimentin poisto 15 ja 25 cm	23
3.3.1 Vedenlaatutulokset	23
3.3.2 Happitilanne	24
3.3.3 Sedimenttitulokset	24
3.3.4 Kolmanteen inkubointiin liittyvät huomiot ja havainnot	26
3.4 Neljäs inkubointi: hapettomat olosuhteet	26
3.4.1 Vedenlaatutulokset	26
3.4.2 Happitilanne	27
3.4.3 Neljäänteen inkubointiin liittyvät huomiot ja havainnot	28
3.5 Viides inkubointi: hapellisten olosuhteiden palautuminen	28
3.5.1 Vedenlaatutulokset	28
3.5.2 Happitilanne	29
3.5.3 Viidenteen inkubointiin liittyvät huomiot ja havainnot	29
3.6 Koejärjestelyä täydentävät selvitykset	30

3.6.1 Hapenkulutuksen lisätestit	30
3.6.2 Sedimenttipinnan valkoisen kerrostuman koetulokset	35
4 JOHTOPÄÄTÖKSET	36
LIITTEET	40

1 JOHDANTO

Varsinais-Suomen ELY-keskus tilasi Turun ammattikorkeakoululta (Turun AMK) Merisedimentin inkubointikokeen osana EU: Interreg Central Baltic -rahoitteista *Seabased measures in Baltic Sea Nutrient Management* (SEABASED) -hanketta. Inkubointikokeen tavoitteena oli selvittää merisedimentin pintakerroksen poiston vaikutusta sedimentin hapenkulutukseen ja ravinteiden kiertoon sedimentin ja veden välillä.

Koe tilattiin Turun AMK:lta 1.9.2020. Kokeen käytännön toteutus ajoittui välille 8.10.2020 – 6.11.2020. Inkubointikoe toteutettiin tarjouspyynnön liitteenä olleen Jouni Lehtorannan tekemän koesuunnitelman pohjalta. Koesuunnitelmaa muokattiin jossain määrin toteutuksen aikana, jotta kokeella saavutettaisiin paremmin sille asetetut tavoitteet. Koesuunnitelmaan tehdyistä muutoksista sovittiin yhdessä tilaajan ja koesuunnitelman laatijan kanssa.

2 KOEJÄRJESTELYT

Kokeen tarkoituksena oli tutkia miten sedimentin poisto vaikuttaa hapettomien merenpohjien tilaan ja selvittää olisiko sedimentin poistosta apua merenpohjien happikatoon. Sedimentinpoiston vaikutuksia pyrittiin arviomaan laboratorikokeella, jossa sedimenttiprofiilista poistettiin pintasedimenttiä eri paksuisina kerroksina.

Kokeessa käytetyt sedimenttiprofiilit otettiin sedimenttinäytteenä Houtskarın Hålox vikistä ja varsinainen koe toteutettiin Turun ammattikorkeakoulun kemiantekniikan laboratoriossa.

2.1 Koeasetelman lähtökohdat

Koeasetelma perustui häiriintymättömien sedimenttiprofiilien käyttöön. Näitä läpinäkyvään putkeen otettuja sedimenttiprofiileja kutsutaan tässä raportissa koeyksiköiksi. Koeyksiköille pyrittiin luomaan mahdollisimman stabiilit ja samankaltaiset olosuhteet. Inkubointilämpötilaksi valittiin 21 °C inkubointiajan lyhentämiseksi. Inkubointi ei siten vastannut merisedimentin läheisen alusvesikerroksen luonnollista lämpötilaa, eikä tuloksista voida täten tehdä suoria päätelmiä sedimentin ja vesirajapinnan muutosten nopeudesta luonnollisissa olosuhteissa. Inkubointiajan lyhentäminen oli kuitenkin välttämätöntä kokeen suorittamiseksi vaaditussa aikataulussa. Lisäksi inkubointiaika haluttiin pitää lyhyenä, jotta voitaisiin minimoida hapen pääsy koeyksiköihin sedimenttiputkien läpi tapahtuvana diffuusiona.

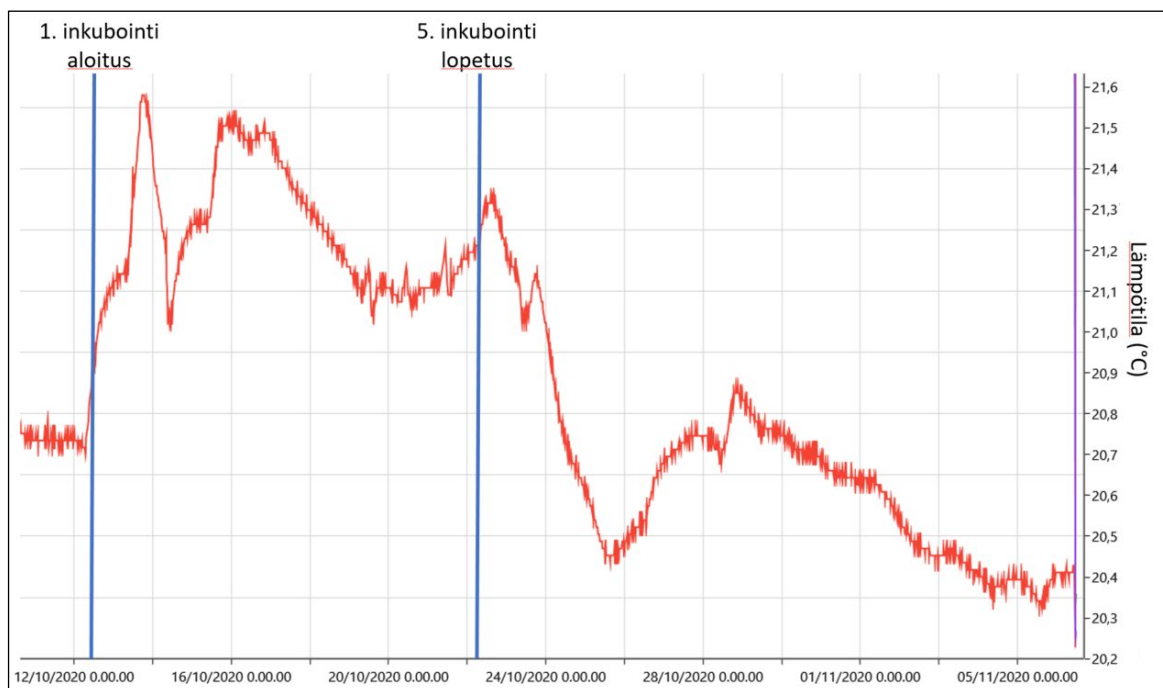
Inkubointikokeella pyrittiin tutkimaan olisiko sedimenttipohjan pintakerroksen ruoppauksesta apua hapettomien merenpohjien happikatoon ja ravinteiden vapautumiseen sedimentistä. Lisäksi tavoitteena oli selvittää mikä olisi tavoiteltava ruoppaus-syvyys poistettaessa merenpohjan pintasedimenttiä.

2.1.1 Inkuboinnin koeasetelma

Kokeessa käytetyt sedimenttiprofiilinäytteet otettiin suoraan läpinäkyviin polykarbonaattiputkiin, jotka toimivat sellaisenaan inkubointikokeen koeyksikköinä. Merisedimenttiä ja sedimentin läheistä merivettä sisältävät koeyksiköt pidettiin vesihauhteessa koko testin ajan. Tällä pyrittiin minimoimaan hapen diffuusiota muovisen näyteputken läpi näytteeseen sekä tasaamaan mahdollisia lämpötilan vaihteluja. Näyteputket olivat kokeen suorittamisen aikana kiinnitettynä telineeseen, millä varmistettiin, että näyteputket pysyvät suorassa ja paikallaan. Näyteputkien korkit suunniteltiin ilmatiiviiksi, jottei ulkopuolista happea pääsisi liukenemaan koeyksiköiden sisältämään sedimenttiin tai meriveteen.

Inkuboinnin aikana sekoitettiin hitaan vesikierron avulla sedimentin päällä olevaa vettä, jotta vältettäisiin pitoisuusgradienttien muodostuminen. Vedenkierto putkissa toteutettiin alipainepumppujen avulla. Putkien yläpään sulkeviin korkkeihin tehtiin kaksi ilmatiivistä läpivientä vedenkierrätysletkuille. Vettä imettiin pumpulla n. 5 cm etäisyydeltä sedimenttipinnasta ja palautettiin takaisin vesipatsaan yläosaan n. 3 cm etäisyydelle vedenpinnasta. Tällä pyrittiin simuloimaan alusveden hyvin hitaita virtauksia sekä pitämään vesipatsaan vesi homogeenisenä näytteidenottoa varten.

Inkuboinnit suoritettiin n. 21 °C:ssa. Kuvassa 1 on havainnollistettu inkubointikokeen aikainen lämpötilavaihtelu. Valittu lämpötila ei vastaa merenpohjan luontaisia olosuhteita, mutta korkeampi lämpötila mahdollisti lyhyemmän inkubointiajan. Inkubointi toteutettiin pimeässä, jotta näytteissä ei pääsisi tapahtumaan yhteyttämistä. Tällöin laboratorion ikkunat pimennettiin ja koeyksiköt letkuineen peitettiin. Inkubointien välissä ja näytteenoton yhteydessä koeyksiköt eivät olleet peitettyinä.



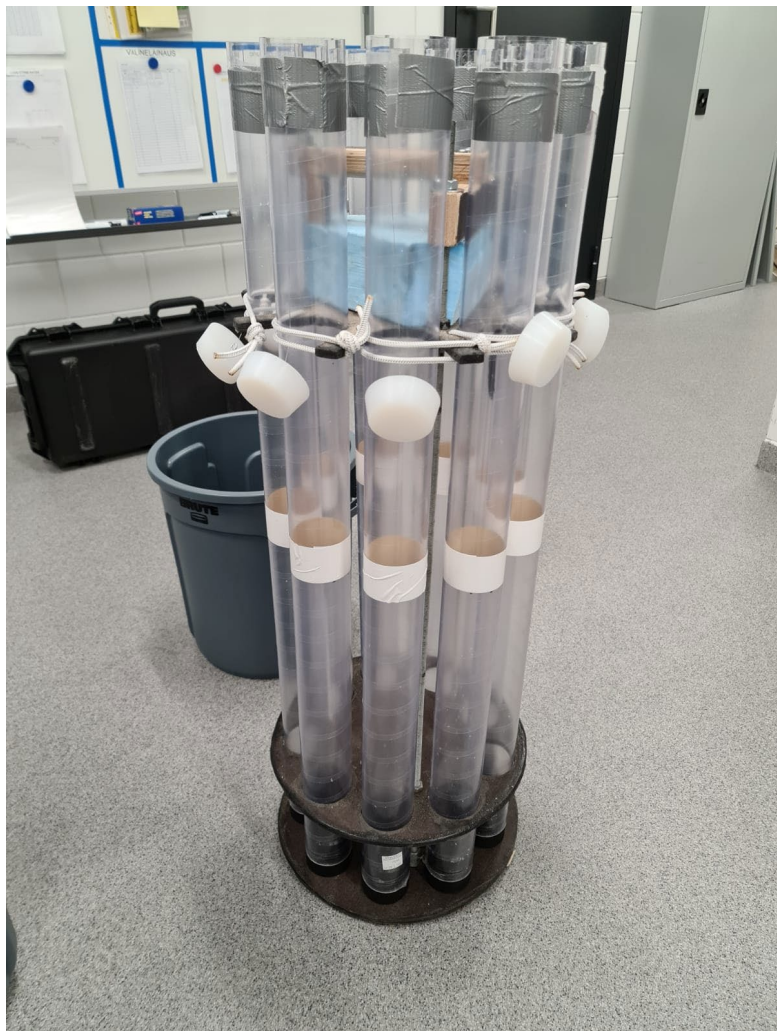
Kuva 1: Koeysiköiden vesihauteen lämpötilavaihtelu kokeen aikana (20,9 °C - 21,6 °C)

Koe koostui suunnitelman mukaisesti viidestä lyhyestä inkubointijaksosta, joissa muuttujina olivat poistetun sedimentin määrä ja meriveden happitilanne inkuboinnin alkaessa. Inkubointijaksojen toteutus ja järjestelyt on kuvattu kohdissa 2.1.2 ja 2.2.

2.1.2 Inkuboinnin järjestelyt

Sedimenttinäytteet otettiin noin metrin mittaisiin läpinäkyviin polykarbonaattiputkiin, joiden sisähalkaisijat olivat 64 mm. Putken alapään korkki oli POM-muovia eli polyasetaalien ja polyksimetyylin sekoitusta. Korkkien tiiveyttä varmistettiin vulkanointiteipillä. Ylätulppana käytettiin kartionmuotoista silikonikorkkia, jonka läpi vietiin vedenkierrätystä varten kaksi letkua. Kokeen alussa kaikki letkut olivat silikonia. Niiden todettiin vuotavan happea, joten ne vaihdettiin niin, että putken sisällä oleva letku oli silikonia, ja inkubointiputken ulkopuolella letkut olivat Tygon-letkuja, jotka eivät päästäneet happea lävitseen. Letkut yhdistettiin toisiinsa korkin läpi menevällä jäykällä muoviletkulla. Letkut olivat kytkettyinä peristaattipumppuihin, jotka säädettiin kierrättämään vettä. Pumput, joissa oli kolme letkua, pumppasivat nopeudella 5 rpm ja pumput, joissa oli yksi letku kiinni, pumppasivat nopeudella 3 rpm (kuva 3). Näytteiden hapetus ja typitys tehtiin erillisten silikoniletkujen avulla, jotka oli liitoksin jaettu yhdeksään haaraan. Happi ja typpi ajettiin hohkakivien läpi, jolloin kaasuista saatiin pienikuplaisia ja veteen helpommin liukenevia.

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 2). Teline koeyksikköineen sijoitettiin läpinäkyvään kartion malliseen akryyliseen saaviin, joka oli täytetty vedellä. Akryylisaavin vettä typetettiin säännöllisesti, jotta sen happipitoisuus pysyisi mahdollisimman alhaisena. Vesihauteena käytettyä saavia ei voinut täyttää aivan täyteen asti, muuten koeyksiköt olisivat alkaneet nosteen vaikutuksesta kellua, mikä olisi aiheuttanut riskin putkien alapään tulpan löystymiselle tai irtoamiselle. Koeyksiköiden putket ylettyivät vesihauteen yläpuolelle n. 20 cm.



Kuva 2: Putkiteline

Kuvassa 3 on esitetty tilanne, jossa on meneillään koeyksiköiden ilmastus. Ilmastuksen ajaksi koeyksiköiden korkit avattiin ja yksiköihin vietiin ylimääräiset hapetusletkut.



Kuva 3: Kokeessa käytetty laitteisto.

Vesinäytteet otettiin koeyksiköistä automattipipetillä, käyttäen 100 ml:n pipetinkärkeä. Sedimenttinäytteet otettiin aluksi kärjestään muokatulla automattipipetillä, kunnes sedimentti muuttui liian paksuksi pipetoida. Loput sedimenttinäytteestä lusikoitiin tarkoitusta varten rakennetulla jatkovartisella lusikalla. Sedimenttinäytteet pakattiin 0,5 l Minigrip-pusseihin, joita typetettiin n. 1 min ajan ennen sulkemista. Typetys tehtiin päästään tulpatulla letkulla, jonka loppupäähän oli tehty pieniä reikiä. Letkun ollessa pussissa letkua liikuteltiin ja sedimenttiä hierottiin käsin pussin ulkopuolelta. Näin typpi pyrittiin levittämään paremmin näytteeseen ja happi poistui tehokkaammin. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi akkreditoituun Lounais-Suomen vesi- ja ympäristö Oy:n (LSVY) laboratorioon.

LSVY:n laboratoriossa analysoitiin vesinäytteistä seuraavat parametrit:

- Ammoniumtyppi, NH_4^+ -N
- Nitraattityppi, NO_3^- -N
- Nitriittityppi, NO_2^- -N
- Kokonaistyyppi, Tot N
- Liuennut kokonaisfosfori, Tot P
- Liuennut fosfaattifosfori, PO_4^{3-} -P
- Kokonaisrauta Tot Fe
- Mangaani Mn

Sedimenttinäytteistä analysoitiin:

- Kuiva-aine
- Liuennut kokonaisfosfori, Tot P
- Kokonaistyyppi, Tot N
- Kokonaisrauta Tot Fe
- Biokemiallinen hapenkulutus BOD_7

Tehtyjen analyysien mittausepävarmuustiedot ovat liitteessä 3.

Tämän lisäksi Turun AMK:n laboratoriossa määritettiin sedimentin kuiva-ainepitoisuus ja tilavuuspaino. Kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen tehtiin seuraavasti: Sedimenttiä punnittiin taarattuun haihdutusmaljaan, joka siirrettiin lämpökaappiin, jonka lämpötila oli hieman yli 100°C . Veden haihduttua punnitusmalja jäähdytettiin eksikaattorissa ja punnittiin.

Näytteenoton jälkeen koeyksiköihin jäänyt merivesi imettiin pois ja ne täytettiin uudestaan hapetetulla merivedellä alipainepumpun ja silikoniletkun avulla. Sedimentin resuspension minimoimiseksi merivesilisäys toteutettiin pienellä virtaamalla. Hapen mittaukseen varatun mittarin luotettavuusongelmien takia jouduttiin ennen kokeen aloitusta ottamaan käyttöön toinen, kookkaampi mittari. Tästä johtuen happimittausta ei voitu toteuttaa suoraan koeyksiköstä, vaan mittaus tehtiin sitä varten otetusta happinäytteestä. Happinäytteet otettiin nostamalla merivettä putkista auto-

maattipipetillä dekantterilasiin. Vesi valutettiin dekantterilasiin varovasti ilman-sekoittumisen minimoimiseksi. Happi mitattiin YSI:n Exo 2 -moniparametrimittarilla, joka oli varusteltu happi- ja lämpötila-antureilla. Anturit kalibroitiin ennen kokeiden aloitusta, ja tulosten luotettavuuden varmistamiseksi tehtiin ajoittain mittauksia tunnetun happipitoisuuden näytteistä. Happipitoisuuden mittaamiseen käytetty vesi siirrettiin mittauksen jälkeen muoviseen näytepulloon, joka toimitettiin analysoitavaksi LSVY:n laboratorioon.

Aamuisin koeyksiköt kuvattiin kameralla ja mitattiin sedimentin pinnan ja vedenpinnan korkeus sekä kirjattiin visuaaliset havainnot koeyksiköistä.

2.2 Kokeen toteutus

2.2.1 Sedimenttinäytteenotto

Sedimenttinäytteet haettiin Houtskarin Hålx vikistä yhteistyössä Meritaidon sukeltajien kanssa. Sää oli puolipilvinen ja tuulen nopeus oli 9 m/s. Näytteenottopaikan koordinaatit olivat 60°13,561N, 021°20,826E. Sukeltajat keräsivät näytteet meren pohjasta n. 12 metrin syvyydestä. Meriveden lämpötila oli 13,5 °C. Kun näytteet oli nostettu pinnalle, ne valokuvattiin, teipattiin alakorkit tiiveyden varmistamiseksi ja mitattiin sedimenttipatsaiden korkeudet. Sedimenttiputkien kuljetus- ja inkubointiline (kuva 4) siirrettiin kuljetusastiaan ja telineen ympärille laitettiin solumuovia, jotta näyteputket pysyisivät mahdollisimman stabiileina kuljetuksen aikana. Lisäksi kuljetusastia suojattiin valolta. Venematkan ja autokuljetuksen aikainen sedimentin sekoittuminen jäi pieneksi ja sedimenttikerrokset näyttivät kuljetuksen jälkeen normaalilta.

Sedimenttinäytteenoton lisäksi sedimenttinäytteenottopaikasta nostettiin noin 100 litraa alusvettä 10 m syvyydestä. Tähän käytettiin Limnos-näytteenoudinta. Merivesi 10 m syvyydellä oli nostohetkellä noin 12,8 asteista, suolapitoisuus 6,6 ‰, sameus 10,35 NTU ja happipitoisuus 2,8 mg/l. Erikseen kerättyä merivettä käytettiin inkubaatiokoesarjassa koeyksiköistä poistetun veden korvaamiseen.



Kuva 4: Näytteet noston jälkeen. Varsinaiset koeyksiköt (S1-S9) ovat telineessä paikoillaan. Kaksi varanäytettä ovat muita korkeammalla kuvassa telineen oikealla reunalla.

Kuvassa 5 näkyy sedimenttiputkien kerrostuneisuus heti näytteenoton jälkeen. Kuvasta voidaan havaita, että sedimenttipatsaista erottui selkeästi kolme eri osaa. Alimpana harmaa osuus, keskellä ohuehko, sekoittunut kerros ja päällimmäisenä on musta sedimentti. Sedimenttipatsaiden korkeus vaihteli välillä 59–79 cm. Mustan, hapettomista olosuhteista kertovan sedimenttikerroksen paksuus oli noin 25–30 cm.



Kuva 5: Lähikuva näytteistä noston jälkeen. Valkoinen teippi osoittaa näytteenoton tavoitteellista sedimenttipintaa. Huonon näkyvyyden takia putkien upottaminen juuri toivotulle syvyydelle ei onnistunut.

2.2.2 Inkubointi

Inkubointikoe koostui viidestä inkuboinnista, jotka on kuvattu tarkemmin inkubointeittain kuvan 6 jälkeen. Kolme koeyksikköä muodostivat rinnakkaiset testit siten, että koeyksiköt S1-S3, S3-S6 ja S7-S9 käsiteltiin samalla tavalla. Inkuboinnit poikkesivat toisistaan joko poistetun sedimentin osalta tai inkubointia edeltävän käsittelyn osalta. (kuva 6)

	Käsittely ennen inkubointia				
	Veden ilmastus			Veden tyytety	Veden ilmastus
Koeyksikkö \ inkubointi	1. inkubointi	2. inkubointi	3. inkubointi	4. inkubointi	5. inkubointi
S1	Luonnollinen sedimenttipinta	5 cm	15 cm pintasedimenttiä poistettu		
S2		pintasedimenttiä poistettu			
S3					
S4		15 cm	25 cm pintasedimenttiä poistettu		
S5		pintasedimenttiä poistettu			
S6					
S7		Luonnollinen sedimenttipinta.			
S8					
S9					

Kuva 6: Koejärjestelyn koeysiköt S1-S9, inkuboinnit 1-5, inkuboinnin esikäsittely ja sedimenttien poistot kaaviona.

Ensimmäinen inkubointi: alkuperäinen sedimenttipinta (aloitus 12.10.2020)

Ensimmäisellä inkuboinnilla pyrittiin mittaamaan hapenkulutus ja veden ravinnepitoisuuden lähtötaso. Aluksi hapetettiin näytteissä oleva merivesi, minkä jälkeen näytteet saivat tasaantua 24 h. Tämän jälkeen mitattiin vesinäytteiden happipitoisuus sekä otettiin vesinäytettä 200 ml muoviseen näytepulloon. Kaikissa näytteenotoissa näytepullot joko täytettiin piripintaan tai mahdollisesti pulloon jäänyt ilmatila tyydettiin ennen pullon sulkemista. Vesinäytteet toimitettiin välittömästi Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:n laboratorioon analysoitavaksi. Näytteet kuljetettiin pimeässä ja kuljetus kesti noin 15 minuuttia. Kaikista vesinäytteistä analysoitiin liukoinen kokonaisfosfori, liukoinen fosfaatti, (DIP), kokonaistyyppi, ammonium-, nitraatti- ja nitriittityppi, rauta ja mangaani.

Näytteenoton jälkeen aloitettiin ensimmäinen inkubaatio. Putkiin veden yläpuolelle jäänyt ilmatila tyydettiin, korkit suljettiin sekä näytteiden vesikierto käynnistettiin. Ensimmäinen inkubaatio kesti 24 h, minkä jälkeen happipitoisuus mitattiin uudelleen ja otettiin uudet vesinäytteet analysoitavaksi. Sedimentin pinnalta pumpattiin vesi pois, jotta päästiin ottamaan sedimenttinäytteet, joista tutkittiin BOD₇ ja kuivaainepitoisuus, orgaaninen hiili, kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi-, ja kokonaisrautapitoisuus.

Toinen inkubointi: pintasedimentin poisto 5 ja 15 cm (aloitus 14.10.2020)

Toisella inkubointikokeella pyrittiin selvittämään pintasedimentin poiston vaikutuksia ja käyttökelpoisuutta hapettomien merenpohjien hoidossa. Tavoitteena oli selvittää sedimentin poiston vaikutusta hapenkulutukseen sekä ravinteiden liukenemiseen sedimentistä veteen. Ennen toista inkubointia putkiin lisättiin hapetettua merivettä varovasti pumpun avulla ja putkien annettiin odottaa yön yli ennen kokeen jatkamista. Aamulla merivettä hapetettiin putkissa tunnin ajan, minkä jälkeen putket saivat tasaantua 2 tuntia. Tasaantumisen jälkeen mitattiin koeyksiköiden meriveden happipitoisuus ja otettiin vesinäytteet kuten ensimmäisessä inkubaatiossa. Tämän jälkeen typetettiin putkien ilmatila hapen poistamiseksi, minkä jälkeen suljettiin korkit ja käynnistettiin sekoituspumput. Inkubaatio kesti 24 h, minkä jälkeen happipitoisuus mitattiin uudestaan ja otettiin uudet vesinäytteet tutkittavaksi. Sedimentin pinnalta pumpattiin vesi pois ja otettiin sedimenttinäytteet.

Kolmas inkubointi: sedimentin poisto 15 ja 25 cm (aloitus 19.10.2020)

Toisen inkuboinnin tavoin oli kolmannen inkuboinnin tarkoituksena selvittää eri paksuisten sedimenttikerrosten poiston merkitystä sedimentin yläpuolisen veden happi- ja ravinnepitoisuuksiin. Ennen kolmatta inkubointia putkiin lisättiin varovasti pumpun avulla hapetettua merivettä, jotta sedimentti ei sekoittuisi ja putkien annettiin odottaa yön yli ennen kokeen jatkamista. Aamulla merivettä hapetettiin putkissa tunnin ajan, minkä jälkeen ne saivat tasaantua tunnin ajan. Tasaantumisen jälkeen mitattiin näytteiden meriveden happipitoisuus ja otettiin vesinäytteet. Tämän jälkeen typetettiin putken ilmatilasta happi pois, suljettiin korkit ja käynnistettiin pumput. Inkubaatio kesti 18 h, minkä jälkeen happipitoisuus mitattiin uudestaan ja otettiin uudet vesinäytteet. Inkubaatioaikaa lyhennettiin, koska 24 h inkuboinnin aikana koeyksiköiden happipitoisuus ehti laskea hyvin lähelle nollaa, mikä hankaloitti hapenkulutuksenopeuden arviointia.

Neljäs inkubointi: hapettomat olosuhteet (aloitus 20.10.2020)

Neljännessä inkubaatiosykliässä oli tarkoitus typettää merivesi hapettomaksi, jotta voitaisiin tutkia ravinteiden liukenemista hapettomissa olosuhteissa sedimentin poistojen jälkeen. Neljäs inkubaatiokoe aloitettiin korvaamalla edellisissä kokeissa poistettu vesi. Näytteiden merivesi sekä putkien ilmatila typetettiin mahdollisimman hapettomaksi. Tämän jälkeen aloitettiin inkubaatio sulkemalla korkit ja käynnistämällä sekoitus. Inkubointi kesti noin 18 h, minkä jälkeen mitattiin happipitoisuus ja otettiin vesinäytteet.

Viides inkubointi: hapellisten olosuhteiden palautuminen (aloitus 21.10.2020)

Viidennessä inkubointikokeessa tutkittiin sedimentin ja veden välistä ainevuota hapetonta jaksoa seuraavissa hapellisissa olosuhteissa. Viides inkubointikoe aloitettiin korvaamalla edelliseen näytteenottoon käytetty merivesi. Näytteitä hapetettiin tunnin ajan, minkä jälkeen näytteet saivat tasaantua tunnin ajan. Näytteistä mitattiin happipitoisuus ja otettiin vesinäytteet ravinneanalyysjä varten. Putken ilmatila typetettiin hapettomaksi, suljettiin korkit ja käynnistettiin sekoitus. Näytteiden inkubointi kesti n. 18 h. Inkuboinnin jälkeen näytteiden happipitoisuus mitattiin uudelleen ja otettiin vesinäytteet.

3 TULOKSET

Inkubaatiokokeen analyysi- ja mittaustulokset on esitetty alla inkuboinneittain. Kaikki vedenlaadun analyysitulokset ovat saatavilla liitteessä 1 ja sedimentin analyysitulokset liitteessä 2.

3.1 Ensimmäinen inkubointi: alkuperäinen sedimenttipinta

Ensimmäisen inkuboinnin tarkoituksena oli selvittää käsittelemättömän sedimenttipinnan hapen kulumista ja selvittää meriveden ainepitoisuuksia lähtötilanteessa, jossa pintasedimenttiä ei vielä ole poistettu koeyksiköistä. Tässä inkuboinnissa käytettiin sedimenttinäytteenotossa putkeen jäänyttä merivettä, kun taas myöhemmissä inkuboinneissa käytettiin näytteenottopisteen alusvesikerroksesta, noin 2 metrin etäisyydeltä meren pohjasta kerättyä merivettä.

Inkuboinnin yhteydessä mitatut happipitoisuudet (ks. 3.1.2) osoittivat, että veden kierrätyksessä käytetyt silikoniset letkut päästivät lävitseen huomattavan määrän happea. Happipitoisuudet eivät siis laskeneet oletetusti inkuboinnin aikana, eikä täten ensimmäisen inkuboinnin hapenkulutuksesta voi tehdä kokeen perusteella johtopäätelmiä.

3.1.1 Vedenlaatutulokset

Inkuboinnin aikana ei letkujen hapenläpäisevyyden tähden tapahtunut oletettua hapen kulumista, mikä luonnollisesti vaikuttaa myös odotettuihin muutoksiin meriveden ainepitoisuuksissa. Analyysitulokset vaihtelivat jonkin verran koeyksiköiden välillä, vaikka sedimenttinäytteet otettiin vain muutaman neliömetrin alueelta. Suurinta vaihtelu oli fosforin osalta, jossa suurin pitoisuus oli yli kolminkertainen pienimpään verrattuna (taulukko 1). Käytännössä meriveden fosfori muodostui 100-prosenttisesti liukoista ortofosforista. Joissakin tapauksissa analysoitu liukoisen ortofosfaattifosforin pitoisuusmäärityksen tulos ylitti liukoisen kokonaisfosforin pitoisuuden. Nämä erot olivat kuitenkin analyysin määrittystarkkuuden sisällä. Määritysten epävarmuustiedot on esitetty liitteessä 3.

Inkuboinnin aikaiset muutokset ainepitoisuuksissa jäivät pääasiallisesti melko pieniksi tai muutoksen suunta vaihteli eri yksiköiden välillä. Pieneksi jääneitä muutoksia selittävät inkuboinnin aikana hyvin samanlaisina pysyneet olosuhteet.

Taulukko 1: Samalla tavalla käsiteltyjen koeyksiköiden pitoisuuksien keskiarvo ennen ja jälkeen 1. inkubointia sekä pitoisuuksien prosentuaalinen muutos. 24 tunnin Inkubointi koskemattomalla sedimenttipinnalla.

		1. inkubointi								
		Kok.N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Kok.P.liuk.	PO ₄ -P.Liuk	Fe	Mn	Happi
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Ennen	S1-S3	2733	4	9	2067	713	683	153	353	4,8
	S4-S6	2233	3	6	1733	543	537	147	267	5,1
	S7-S9	2567	3	6	2000	647	653	150	337	4,9
Jälkeen	S1-S3	2467	3	7	1867	700	710	105	347	6,7
	S4-S6	2167	3	3	1700	537	550	73	260	6,4
	S7-S9	2467	3	3	1967	647	657	84	323	5,9
Muutos %	S1-S3	-10	-9	-21	-10	-2	4	-32	-2	39
	S4-S6	-3	0	-55	-2	-1	2	-50	-3	26
	S7-S9	-4	-20	-56	-2	0	1	-44	-4	20

*Laskennassa määrittysrajan alittavat arvot on korvattu arvolla, joka on puolet määrittysrajasta.

*Laskennassa määrittämissä alittavat arvot on korvattu arvolla, joka on puolet määrittämissärajasta.

3.1.2 Happitilanne

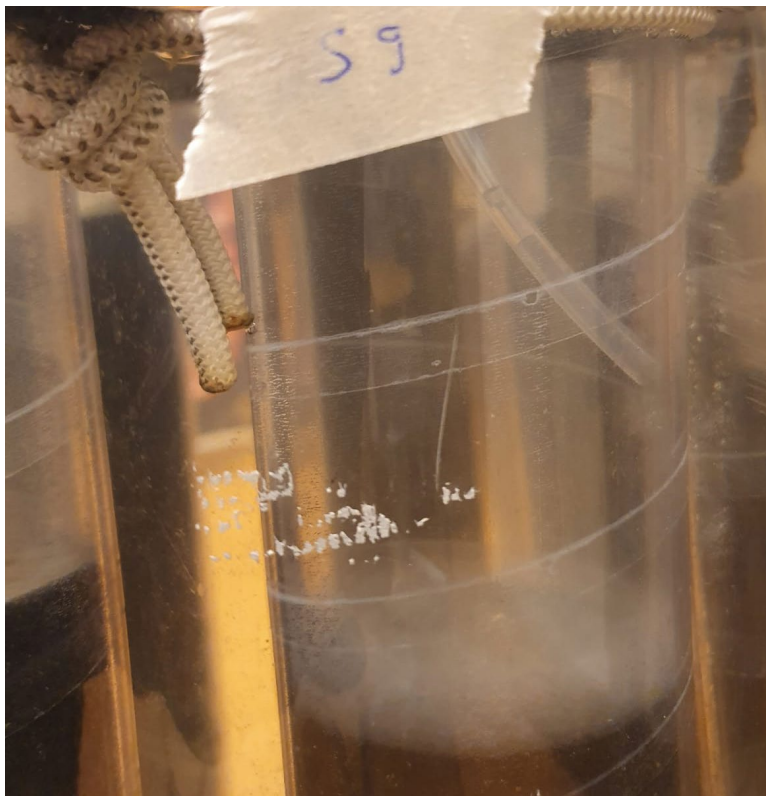
Inkubointia edeltäneet happipitoisuudet vaihtelivat koeyksiköissä välillä 4,4–6,4 mg/l, pois lukien koeyksikkö S2, jossa hapen pitoisuus oli vain 2,6 mg/l. Inkuboinnin jälkeen pitoisuudet olivat välillä 4,4–7,8 mg/l, mikä tarkoittaa, että hapen pitoisuudet olivat oletuksesta poiketen kasvaneet inkuboinnin aikana.

Tämä osoitti, että inkubointijärjestelmään pääsi jostain merkittävä määrä happea. Hapen lähteeksi varmistuivat käytetyt silikoniset letkut, sillä letkujen vaihdon jälkeen inkuboinnissa 2 vastaavaa happipitoisuuden nousua ei ollut havaittavissa, vaan hapen pitoisuudet laskivat hyvin matalalle tasolle. Letkujen vaihdon lisäksi koeyksiköiden yläkorkkien tiiveyttä parannettiin lisäämällä korkin ja putken yhtymäkohdan päälle parafilmiä.

3.1.3 Ensimmäiseen inkubointiin liittyvät huomiot ja havainnot

Ennen inkuboinnin aloittamista 12.10.2020 havaittiin valkoinen usvamainen n. 1 cm kerrostuma koeyksiköissä S4, S5, S8 ja S9 (kuva 7). Kerros muistutti ulkonäöltään lähinnä harvaa pumpulia.

Inkuboinnin jälkeen 13.10.2020 koeyksiköissä S4, S8 ja S9 havaittiin edelleen erotuvat vaaleat kerrostumat sedimenttipinnalla. Kerrokset olivat nyt paksummat, mutta kerrostuma oli silminnähden harvempaa. Kerrostumista kerättiin kokoomanäyte, josta analysoitiin kokonaisrikkipitoisuus.



Kuva 7: Osaan koeyksiköistä oli sedimenttipinnalle muodostunut n. 1 cm paksu vaalea kerrostuma ennen ensimmäistä inkubointia.

3.2 Toinen inkubointi: pintasedimentin poisto 5 ja 15 cm

Toisen inkubointijakson tavoitteena oli selvittää ohuen pintasedimenttikerroksen poiston vaikutusta hapenkulutukseen sekä sedimentin ja meriveden väliseen ainevuohon.

3.2.1 Vedenlaatutulokset

Toisen inkuboinnin alussa koeyksiköistä mitatut aineiden pitoisuudet olivat lähempänä toisiaan kuin ensimmäisen inkuboinnin alussa. Poikkeuksena tästä olivat raudan pitoisuudet, mikä johtui ensisijaisesti koeyksikön S8 poikkeavan korkeasta pitoisuudesta. Pienempi ero inkuboinnin lähtöpitoisuuksissa voi johtua siitä, että koeyksiköiden vedellä oli vähemmän aikaa reagoida sedimenttipinnan kanssa ennen toista inkubointia verrattuna ensimmäiseen inkubointiin. Myöskään eri käsittelyiden välillä ei lähtötilanteessa ollut havaittavissa suuria eroja. Käsittelyiden välisiä pieniä eroja oli havaittavissa lähinnä ammoniumtypen ja kokonaistypen määrissä.

Inkuboinnin aikaiset muutokset vedenlaadussa viittasivat enemmänkin aineiden sitoutumiseen kuin niiden vapautumiseen sedimentistä (taulukko 2). Mangaania lukuun ottamatta analysoitavien parametrien pitoisuudet laskivat inkuboinnin aikana. Mangaanin määrät, yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta, nousivat lievästi.

Eri koeyksiköiden välillä oli myös havaittavissa eroja. Koeyksiköistä S1-S3 poistettiin 5 cm ja koeyksiköistä S4-S6 15 cm pintasedimenttiä ennen inkubointia. Koeyksiköt S7-S9 toimivat käsittelemättöminä verrokkeina. Selkein ero ilmeni verrokkina toimineiden koeyksiköiden (S7-S9) ja koeyksiköiden S4-S6 välillä, joista poistettiin 15 cm pintasedimenttiä. 15 cm pintasedimentin poisto johti muista koeyksiköistä poikkeavaan pitoisuuksien laskuun kokonaisfosforin, ortofosfaattifosforin, raudan ja mangaanin osalta. Verrokkina toimineiden koeyksiköiden S7-S9 ammoniumtypen ja kokonaistypen pitoisuudet olivat hieman korkeammat kuin muissa koeyksiköissä, joskin koeyksikkökohtaista vaihtelua oli havaittavissa.

Taulukko 2: Samalla tavalla käsiteltyjen koeyksiköiden pitoisuuksien keskiarvo ennen ja jälkeen 2. inkubointia sekä pitoisuuksien prosentuaalinen muutos. 24 tunnin inkubointi, jota edeltänyt 5 cm (S1-S3) ja 15 cm (S4-S6) pintasedimentin poisto. Koeyksiköt S7-S9 toimivat käsittelemättöminä verrokkeina.

		2. inkubointi								
		Kok.N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Kok.P.liuk.	PO ₄ -P.Liuk	Fe	Mn	Happi
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Ennen	S1-S3	1367	5	6	707	143	113	200	82	8,1
	S4-S6	1400	7	11	830	140	103	280	62	8,2
	S7-S9	1113	5	9	590	163	118	297	87	7,9
Jälkeen	S1-S3	1030	3	3	293	123	91	69	88	0,5
	S4-S6	937	6	3	264	40	13	38	36	0,7
	S7-S9	1087	3	3	503	133	117	108	94	0,9
Muutos %	S1-S3	-25	-33	-57	-58	-14	-19	-66	8	-94
	S4-S6	-33	-5	-77	-68	-71	-87	-87	-42	-92
	S7-S9	-2	-38	-71	-15	-18	-1	-64	9	-89

*Laskennassa määrittysrajan alittavat arvot on korvattu arvolla, joka on puolet määrittysrajaista.

3.2.2 Happitilanne

Ensimmäisen inkuboinnin aikana happea läpäisseet silikoniset letkut vaihdettiin ennen toista inkubointia ongelman korjaamiseksi. Koska toisen inkubaation jälkeen mitatut happipitoisuudet olivat varsin matalia, oletettiin, että silikoniletkut olivat pääsyy happivuotoon.

Inkuboinnin alussa happipitoisuudet koeyksiköissä olivat noin 8 mg/l, mikä tarkoittaa vajaan 95 % happikylläisyyttä. Koeyksikköä S7 lukuun ottamatta happipitoisuudet putosivat inkuboinnin aikana alle 1 mg/l pitoisuuteen. Hapenkulutus oli siis kaikissa koeyksiköissä merkittävää, mutta erot eri käsittelyiden välillä jäivät pieniksi. Mittausten perusteella happi ei kuitenkaan loppunut koeyksiköistä kokonaan. Tämä voi johtua happimittauksen epätarkkuudesta, koeyksiköihin mahdollisesti kulkeutuvasta hapestä, tai siitä, että hapenkulutus ei välttämättä ole lineaarista nolatasoon saakka.

3.2.3 Sedimenttitulokset

Ennen toista inkubointia poistetut sedimenttinäytteet homogenisoitiin ja niistä otettiin näytteet. Putkista S1-S3 poistettu 0–5 cm pintasedimentti ei eronnut merkittävästi putkista S4-S6 poistetusta 0–15 cm pintasedimentistä kokonaistypen, -fosforin tai -raudan pitoisuuksien osalta. Myös näiden sedimenttikerrosten kuiva-ainepitoisuuden muutos oli vähäinen. Selvin ero näiden sedimenttikerrosten välillä koski hapenkulutusta (BOD₇). Mikäli muista koeyksiköistä poikkeavan S5:n tulos jätetään huomiotta, jäävät myös hapenkulutuksen arvoissa tapahtuneet muutokset lieviksi. (taulukko 3)

Sedimentin kuiva-aineen fosforipitoisuudet olivat hieman matalammat 0-15 cm sedimentissä, kun taas typen osalta tilanne oli päinvastainen. Märkäsedimentissä typen, fosforin ja raudan pitoisuudet olivat korkeammat 0-15 cm sedimentissä.

Taulukko 3: Pintasedimentin ominaisuuksia.

sedimentti-kerros	koe-yksikkö	kuiva-aine (%)	tilavuuspaino g/ml	pitoisuus kuiva-aineessa mg/kg					pitoisuus sedimentissä, g/l				
				TOC	N	P	Fe	BOD ₇ atu	TOC	N	P	Fe	BOD ₇ atu
0-5 cm	S1	14,3	1,06	41000	6500	1300	48000	21000	6,2	1,0	0,20	7,3	3,2
0-5 cm	S2	13,4	1,04	45000	6600	1500	51000	29000	6,3	0,9	0,21	7,1	4,1
0-5 cm	S3	13,5	1,09	46000	7200	1400	52000	22000	6,7	1,1	0,20	7,6	3,2
0-15 cm	S4	16,2	1,12	43000	7600	1100	52000	19000	7,8	1,4	0,20	9,4	3,5
0-15 cm	S5	17,2	1,15	44000	6700	1400	47000	14000	8,7	1,3	0,28	9,3	2,8
0-15 cm	S6	15,8	1,09	42000	7500	1500	49000	20000	7,2	1,3	0,26	8,4	3,4

3.2.4 Toiseen inkubointiin liittyvät huomiot ja havainnot

Toisessa inkuboinnissa alettiin käyttää parafilmiä korkkien mahdollisten vuotojen estämiseksi.

Toisen inkuboinnin lopussa koeyksikössä S9 sedimentin pinnalle oli jälleen muodostunut hieman vaaleaa kerrostumaa.

3.3 Kolmas inkubointi: sedimentin poisto 15 ja 25 cm

Kolmannella inkuboinnilla pyrittiin selvittämään uuden, syvemmälle ulottuvan sedimentin poiston vaikutuksista. Inkubointiaika lyhennettiin 24 tunnista 18 tuntiin, koska toinen inkubointikoe osoitti hapenkulutuksen olevan hyvin suurta.

3.3.1 Vedenlaatutulokset

Kolmannen inkuboinnin lähtötilanteen pitoisuudet olivat kaikkien analysoitujen parametrien osalta lähtökohtaisesti matalampia kuin toisen inkuboinnin alussa. Erityisen selkeä muutos oli ammoniumtypen pitoisuuksissa, jotka olivat pudonneet alle määrittystason. Matalimmat liukoisen ortofosfaattifosforin pitoisuudet havaittiin koeyksiköissä S4-S6, joista oli nyt poistettu yhteensä 25 cm pintasedimenttiä.

Kolmannen inkuboinnin aikana nitraatin, nitriitin ja ammoniumin pitoisuudet pysyivät hyvin pieninä ollen pääsiallisesti alle analyysin määrittysrajan. Liukoisen kokonaisfosforin pitoisuudet lähes kaksinkertaistuivat, ja selkeää nousua oli havaittavissa myös raudan ja mangaanin pitoisuuksissa. Pienimmät liukoisen ortofosfaattifosforin ja kokonaisfosforin pitoisuuksien kasvut havaittiin koeyksiköissä S4-S6, joista oli nyt poistettu yhteensä 25 cm pintasedimenttiä. Suurinta liukoisen ortofosfaattifosforin vapautuminen oli verrokkisedimenteissä (S7-S9). (taulukko 4)

Taulukko 4: Samalla tavalla käsiteltyjen koeyksiköiden pitoisuuksien keskiarvo ennen ja jälkeen 3. inkubointia sekä pitoisuuksien prosentuaalinen muutos. 18 tunnin inkubointi, jota edeltänyt uusi 10 cm sedimenttikerroksen poisto koeyksiköistä S1-S6. Koeyksiköt S7-S9 toimivat käsittelemättöminä verrokkeina.

		3. inkubointi								
		Kok.N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Kok.P.liuk.	PO ₄ -P.Liuk	Fe	Mn	Happi
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Ennen	S1-S3	1073	4	3	14	71	22	139	25	7,0
	S4-S6	977	4	3	2	61	5	109	22	6,8
	S7-S9	940	3	3	2	81	30	38	69	6,4
Jälkeen	S1-S3	1133	3	3	2	126	29	187	39	0,6
	S4-S6	1267	4	3	2	96	9	153	37	0,4
	S7-S9	1060	3	3	2	130	75	113	89	0,4
Muutos %	S1-S3	6	-25	0	-89	78	30	35	57	-92
	S4-S6	30	-8	0	0	57	75	41	68	-94
	S7-S9	13	11	0	0	61	151	197	28	-94

*Laskennassa määrittysrajan alittavat arvot on korvattu arvolla, joka on puolet määrittysrajasta.

*Laskennassa määrittysrajan alittavat arvot on korvattu arvolla, joka on puolet määrittysrajasta.

3.3.2 Happitilanne

Kolmannen inkuboinnin aikana happipitoisuuden muutokset olivat samankaltaisia kuin toisessa inkuboinnissa. Hapen jäännöspitoisuudet olivat edelleen hyvin matalia, vaikka inkubointiaika oli lyhennetty 24 tunnista 18 tuntiin. Happitilanne ennen ja jälkeen inkuboinnin oli hieman matalampi kuin toisella inkubointikerralla. Koeyskoiden väliset erot olivat melko pieniä ennen ja jälkeen inkuboinnin.

3.3.3 Sedimenttitulokset

Ennen kolmatta inkubointia poistettiin 10 cm kerros sedimenttiä koeyskoidista S1-S6. Tällöin uusi sedimenttipinta koeyskoidissa S1-S3 oli 15 cm syvyydellä alkupe-
räisestä sedimenttipinnasta ja koeyskoidissa S4-S6 syvyydellä 25 cm.

Poistettujen sedimenttikerrosten 15–25 cm (S4-S6) kuiva-aine sisälsi enemmän typpeä ja rautaa kuin 5–15 cm sedimenttikerros (S1-3). Fosforin osalta kerroksissa ei ollut havaittavaa eroa, mutta hapenkulutus oli selkeästi vähäisempää syvem-
mässä kerroksessa. (taulukko 5)

Taulukko 5: alempien sedimenttikerrosten ominaisuuksia.

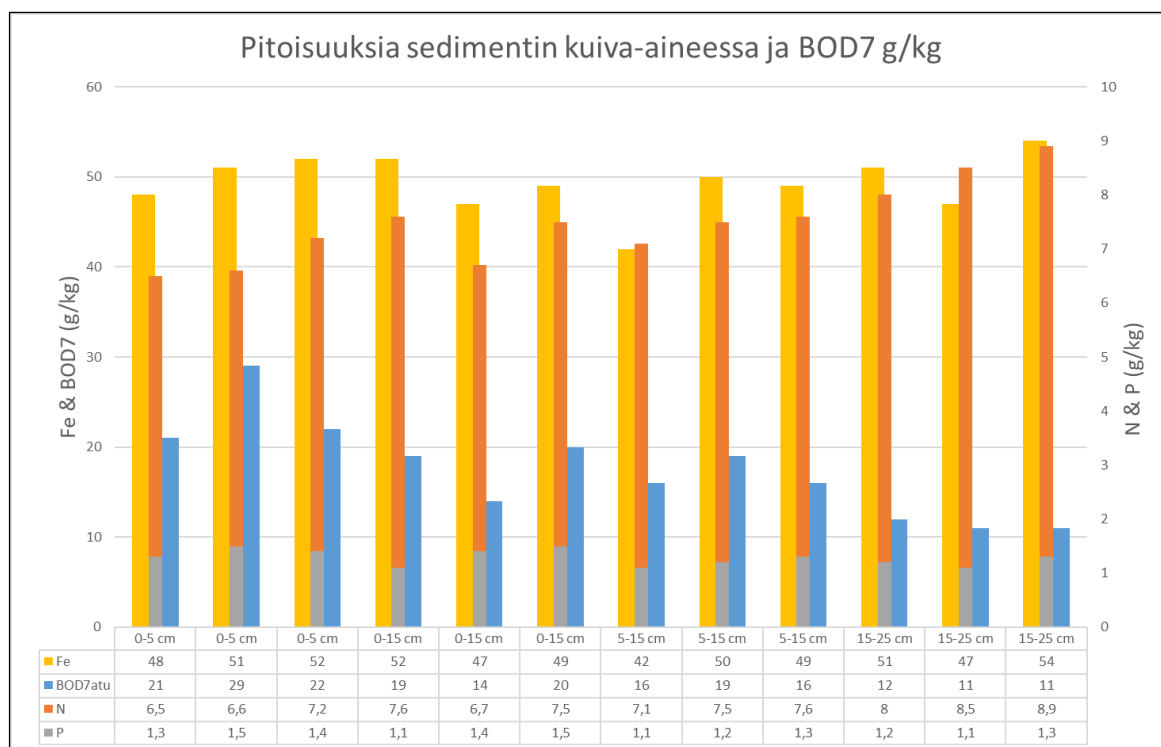
sedimentti- kerros	koe- yksikkö	kuiva-aine (%)	tilavuuspaino g/ml	pitoisuus kuiva-aineessa mg/kg					pitoisuus sedimentissä, g/l				
				TOC	N	P	Fe	BOD ₇ atu	TOC	N	P	Fe	BOD ₇ atu
5-15 cm	S1	17,5	1,08	42000	7100	1100	42000	16000	7,9	1,3	0,21	7,9	3,0
5-15 cm	S2	16,3	1,07	43000	7500	1200	50000	19000	7,5	1,3	0,21	8,7	3,3
5-15 cm	S3	16,4	1,10	43000	7600	1300	49000	16000	7,8	1,4	0,23	8,8	2,9
15-25 cm	S4	19,5	1,09	46000	8000	1200	51000	12000	9,8	1,7	0,26	10,9	2,6
15-25 cm	S5	18,5	1,10	53000	8500	1100	47000	11000	10,8	1,7	0,22	9,6	2,2
15-25 cm	S6	18,7	1,10	47000	8900	1300	54000	11000	9,7	1,8	0,27	11,1	2,3

Koeyskoidista tehtyjen analyysien perusteella voidaan tehdä karkeita arvioita siitä, miten paljon esimerkiksi kiintoainesta tai ravinteita saataisiin poistettua Hålx vi-
kistä pohjasedimenttipinnan ruoppauksella. Poistamalla 15 senttimetrin kerros se-
dimentin pinnalta olisi mahdollista poistaa noin 30-40 g fosforia ja noin 180-200 g
typpeä per ruopattava neliömetri (taulukko 6). Esimerkiksi ruoppaamalla Hålx vikin
läntisen syvänteen yli 6 m syvän alueen sedimenttipohja 15 cm paksuudelta olisi
mahdollista poistaa sedimentin mukaan arviolta 25 tonnia typpeä 340 kg fosforia.
Tämä suuntaa-antava arvio perustuu oletukseen, että mainitun syvänteen se-
dimentti olisi ominaisuuksiltaan keskimäärin samanlaista, kuin koeyskoidien sedi-
mentit.

Taulukko 6: Analyysitulosten perusteella arvioitu aineiden poistuma, yhden neliömetrin ruoppausalaa kohden.

sedimenttikerros	koeyksikkö	yhden neliömetrin ruoppauksen yhteydessä poistuva määrä (g)					
		kuiva-aine x1000	TOC	N	P	Fe	BOD7atu
0-5 cm	S1	7,6	312	50	10	366	160
0-5 cm	S2	7,0	315	46	11	357	203
0-5 cm	S3	7,3	336	53	10	380	161
0-15 cm	S1	26	1104	183	31	1158	462
0-15 cm	S2	24	1066	177	31	1230	535
0-15 cm	S3	25	1112	190	34	1264	449
0-15 cm	S4	27	1172	207	30	1417	518
0-15 cm	S5	30	1302	198	41	1390	414
0-15 cm	S6	26	1079	193	39	1259	514
0-25 cm	S4	49	2151	377	56	2503	773
0-25 cm	S5	50	2382	371	64	2348	638
0-25 cm	S6	46	2047	376	65	2371	740

Sedimenttianalyseistä ilmeni, että syvemmät sedimenttikerrokset sisälsivät vähemmän happea kuluttavaa orgaanista ainetta ja sedimentin poistoilla voisi siis olla vaikutuksia merisedimentin läheisen alusveden happitilanteeseen. Syvemmät sedimenttikerrokset kuitenkin sisälsivät enemmän typpeä kuin ylin pintasedimentti (0–5 cm). Fosforin tai raudan pitoisuuksissa ei ilmennyt suuria muutoksia eri kerrosten välillä. (kuva 8)



Kuva 8: Eri sedimenttikerrosten kuiva-aineen sisältämät P, N ja Fe-pitoisuudet sekä biologinen hapenkulutus.

3.3.4 Kolmanteen inkubointiin liittyvät huomiot ja havainnot

Koeyksikön S3 vesi oli silmin nähden sameampaa kuin muissa putkissa.

Koeyksikössä S4 putkessa kellui ilmastusletkujen kiinnityksessä käytetty ilmastointiteipin palanen ja se poistettiin ennen inkuboinnin aloitusta.

Pipetin kärki tippui näytettä otettaessa koeyksikön S6 sedimenttiin ja sedimentti pöllähti hieman.

Koeyksikön S9 hohkakivi tippunut ennen hapetusta sedimentin pinnalle, mutta se ei aiheuttanut näkyviä muutoksia sedimentin pinnassa.

Inkuboinnin jälkeen koeyksiköissä S1, S3, S6, S7 ja S8 havaittiin vahvaa rikkivedyn hajua.

Koeyksikön S2 putkea tyhjennettäessä ote pipetistä lipesi, ja pipetin kärki osui hie-
man sedimenttiin. Sedimentti ei kuitenkaan pöllähtänyt osumasta.

3.4 Neljäs inkubointi: hapettomat olosuhteet

Ennen neljättä inkubointia koeyksiköiden vesi typetettiin. Inkuboinnin tavoitteena oli selvittää sedimentin ja vesimassan välistä ainevuota hapettomissa olosuhteissa.

3.4.1 Vedenlaatutulokset

Koko kokeen selkeästi korkeimmat rautapitoisuudet mitattiin inkuboinnin aloitustilanteessa. Korkeat rautapitoisuudet johtunevat sedimentin rautayhdisteiden pelkistymisestä typetyksen aikana. Koeyksiköiden väliset erot aloitustilanteessa olivat melko pieniä, pois lukien raudan pitoisuudet, jotka vaihtelivat välillä 120–5300 µg/l. Koeyksiköissä S7-S9 raudan pitoisuudet olivat matalammat kuin muissa koeyksiköissä.

Inkuboinnin aikana tapahtui selkeää pitoisuuksien laskua kaikkien parametrien, erityisesti raudan, osalta. Raudan pitoisuuden laskua voi selittää mahdollinen raudan hapettuminen ja sedimentoituminen, mikä tukisi happimittauksien tuloksia ja epäilystä hapen pääsystä koeyksiköihin. Ortofosfaattifosforin pitoisuudet laskivat alim- malle tasolle koeyksiköissä S4-S6 ja jäivät korkeimmalle vertailuyksiköissä S7-S9. (taulukko 7)

Taulukko 7: Samalla tavalla käsiteltyjen koeyksiköiden pitoisuuksien keskiarvo ennen ja jälkeen 4. inkubointia sekä pitoisuuksien prosentuaalinen muutos. 18 tunnin inkubointi, jota edeltänyt koeyksiköiden vesimassan typetys hapen poistamiseksi.

		4. inkubointi								
		Kok.N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Kok.P.liuk.	PO ₄ -P.Liuk	Fe	Mn	Happi
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Ennen	S1-S3	973	9	12	140	110	99	2753	39	0,4
	S4-S6	1007	9	13	143	115	95	3233	38	0,4
	S7-S9	867	10	13	163	117	102	420	23	0,4
Jälkeen	S1-S3	630	3	3	2	81	57	94	11	1,5
	S4-S6	610	3	3	2	70	42	105	12	2,2
	S7-S9	567	3	3	2	117	82	126	22	0,5
Muutos %	S1-S3	-35	-67	-79	-99	-26	-42	-97	-71	256
	S4-S6	-39	-68	-80	-99	-40	-55	-97	-70	411
	S7-S9	-35	-69	-81	-99	0	-20	-70	-7	18

*Laskennassa määritysrajan alittavat arvot on korvattu arvolla, joka on puolet määritysrajasta. Ennen tilanteen happipitoisuudessa käytetty mittausten keskiarvoa kaikille koeyksiköille.

3.4.2 Happitilanne

Neljäs inkubointi oli suunniteltu vastaamaan hapettomia olosuhteita ja niissä tapahtuvia muutoksia. Koeyksiköt pyrittiin muuttamaan hapettomiksi typettämällä, mutta happipitoisuutta ei saatu laskemaan aivan nolnaan pitkään kestäneestä kuplituksesta huolimatta. Happipitoisuus ennen inkuboinnin aloitusta mitattiin kolmesta koeyksiköstä, joissa kuplitus oli silmämääräisesti heikointa Happipitoisuutta ennen inkubointia ei mitattu kaikista putkista, jotta putket saatiin suljettua mahdollisimman samaan aikaan ja yhtä pitkän typetyksen jälkeen.

Aloitustilanteen hyvin matalan happipitoisuuden sekä 2. ja 3. inkuboinnin hapen- kuluksen perusteella olisi hapen pitänyt kulua inkuboinnin aikana loppuun kaikissa koeyksiköissä. Näin ei kuitenkaan tapahtunut, vaan koeyksiköissä oli inkuboinnin jälkeenkin pieniä määriä happea jäljellä. Vaikka koeyksiköiden vedenkierrätyk-

sessä käytetyt letkut vaihdettiin heikommin kaasuja läpäiseviin ja putkien tulppauksessa tehtiin kaasutiiveyden lisävarmistuksia, vaikuttaisi siltä, että koeyksiköihin pääsi hapetta kulkeutumaan materiaalien lävitse.

3.4.3 Neljänteen inkubointiin liittyvät huomiot ja havainnot

Näytteet pyrittiin typettämään hapettomiksi, mutta pitkästä typetysajasta huolimatta tässä ei onnistuttu. Happipitoisuudet laskivat lähelle nollaa, n. 5 % kyllästeisyyteen, mutta ne eivät laskeneet siitä alaspäin typetyksen jatkamisesta huolimatta.

Inkuboinnin jälkeen koeyksiköissä S7 ja S8 havaittiin vahvaa rikkivedyn hajua.

3.5 Viides inkubointi: hapellisten olosuhteiden palautuminen

Viidennen inkuboinnin tarkoituksen oli kuvastaa tilannetta, jossa hapelliset olosuhteet ovat palanneet sedimentin yläpuoliseen vesimassaan.

3.5.1 Vedenlaatutulokset

Neljännen inkuboinnin tavoin olivat merivedestä analysoidut aineiden pitoisuudet melko samat eri koeyksiköissä, raudan pitoisuuksia lukuun ottamatta. Pitoisuudet olivat myös huomattavasti matalampia kuin ensimmäisissä inkuboinneissa.

Viidennen inkuboinnin aikana merivedessä tapahtuneet muutokset jäivät varsin pieniksi ja muutoksen suunta vaihteli eri koeyksiköiden välillä. Ainoat selkeämmät muutokset näkyivät raudan pitoisuuksissa niissä koeyksiköissä, joissa raudan pitoisuudet olivat olleet koholla inkuboinnin aloituksessa. Näissä rautapitoisuus väheni. Hieman pienempiä muutoksia käsittelyiden välillä oli havaittavissa kokonaistypen osalta. Verrokkiyksiköissä tapahtui pientä typpipitoisuuksien nousua, kun taas S1-S3:ssa ja S4-S6:ssa oli pientä pitoisuuden laskua. Fosforin ja raudan osalta tapahtui pitoisuuksien kasvua ensisijaisesti verrokkiyksiköissä S7-S9. (taulukko 8)

Taulukko 8: Samalla tavalla käsiteltyjen koeyksiköiden pitoisuuksien keskiarvo ennen ja jälkeen 5. inkubointia sekä pitoisuuksien prosentuaalinen muutos. 18 tunnin inkubointi, jota edeltänyt koeyksiköiden vesimassan hapettaminen.

		5. inkubointi								
		Kok.N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Kok.P.liuk.	PO ₄ -P.Liuk	Fe	Mn	Happi
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l
Ennen	S1-S3	667	3	4	6	65	43	623	15	7,1
	S4-S6	843	3	3	2	63	31	558	14	7,2
	S7-S9	667	2	3	2	67	40	90	20	6,2
Jälkeen	S1-S3	613	3	3	2	72	45	83	11	0,6
	S4-S6	790	3	3	2	70	40	77	11	0,7
	S7-S9	743	2	3	2	97	69	108	27	0,3
Muutos %	S1-S3	-8	-20	-38	-76	11	5	-87	-25	-92
	S4-S6	-6	-11	0	0	11	28	-86	-21	-91
	S7-S9	12	-14	0	0	44	72	20	37	-95

*Laskennassa määrittysrajan alittavat arvot on korvattu arvolla, joka on puolet määrittysrajasta.

*Laskennassa määrittämissä alittavat arvot on korvattu arvolla, joka on puolet määrittämissä.

3.5.2 Happitilanne

Viidennessä inkuboinnissa happipitoisuudet laskivat 2. ja 3. inkuboinnin tavoin hyvin alas, ollen noin 0,5 mg/l. Koeyksiköiden välisissä happitilanteissa oli jonkin verran vaihtelua sekä ennen että jälkeen inkuboinnin. Yksiselitteistä eroa eri käsittelyiden välillä ei happitilanteessa havaittu, mutta verrokkina toimineissa koeyksiköissä S7-S9 olivat hapen pitoisuudet hieman muita alemmat sekä aloitus- että lopetustilanteessa.

3.5.3 Viidenteen inkubointiin liittyvät huomiot ja havainnot

Koeyksiköiden putkissa ei ollut huomattavia eroja, mutta joissakin veden kierrätysletkuissa liikkui hieman tummaa kiintoainesta.

Inkuboinnin jälkeen koeyksiköissä S7 ja S8 havaittiin vahvaa rikkivedyn hajua.

3.6 Koejärjestelyä täydentävät selvitykset

3.6.1 Hapenkulutuksen lisätestit

Inkubointiajan lyhentämisestä huolimatta inkubointien jälkeiset happitasot olivat hyvin alhaiset ja täten hapenkulutuksen arviointi ei ollut täysin luotettavaa. Niin ikään koeyksiköiden välisiä eroja oli alhaisen happipitoisuuden tähden melko hankala erottaa toisistaan. Lisäksi inkubointien perusteella vaikutti siltä, että letkujen vaihdon jälkeenkin happea pääsisi jonkin verran koeyksikköihin. Tästä syystä päätettiin tehdä lisäkokeita hapenkulutuksesta. Lisäkokeiden tavoitteena oli selvittää koeyksiköiden hapenkulutusta ja siinä mahdollisesti ilmeneviä eroja eri sedimenttikerrosten välillä. Samalla pyrittiin saamaan parempi käsitys koeyksiköiden happipitoisuuden kehittymisestä ajan funktiona ja varmistamaan koejärjestelyn kaasutiiveyttä.

Neljän tunnin inkubointikoe koeyksiköiden hapenkulutuksen selvittämiseksi

Koesuunnitelman mukaisten inkubointien jälkeen suoritettiin kaksi kertaa 4 h mittainen inkubointi. Inkubointi toteutettiin samalla tavalla kuin varsinaiset inkubointikokeet, paitsi että inkubointiaika oli lyhyempi, eikä vesinäytteistä tehty muita määrittäyksiä kuin happipitoisuus.

Neljän tunnin inkuboinnin tuloksissa on havaittavissa uuden sedimenttipinnan vaikutus hapenkulutukseen koeyksiköissä (taulukot 9 ja 10). Hapenkulutuksen erot 15 cm ja 25 cm sedimenttipoiston välillä eivät olleet kovin suuria, mutta erosivat selvästi verrokkikoeyksiköiden tilanteesta. Sedimentin hapenkulutus vaikutti olevan niin tehokasta, että jo aloitustilanteessa ehti tapahtua hapenkulutusta mittauksien aikana. Tämä siitäkin huolimatta, että koeyksiköt olivat ilman korkkia tuona aikana. Tämä ilmiö on osin havaittavissa myös koejärjestelyn mukaisissa inkuboinneissa.

Verrokkikoeyksiköissä S7-S9 vaikuttaisi olevan osin muita koeyksiköitä alempia pitoisuuksia jo aloitustilanteessa. Tämä johtunee sedimenttipinnan korkeammasta hapenkulutuksesta, mutta voi myös osin aiheutua numerojärjestyksessä tehdystä hapen mittaamisesta ja tästä johtuvasta pidemmästä odotusajasta ennen inkuboinnin aloitusta.

Taulukko 9: Ensimmäisen 4h inkuboinnin tulokset

	4h inkubointi koe - ennen inkubointia			
23.10.	Happipitoisuus (mg/L)	Happisaturaatio (%)	Lämpötila	Kellonaika: Inkuboinnin aloitus
S1	7,72	89,8	20,78	10.50.00 v
S2	7,62	89	21,01	10.58.00 v
S3	7,77	90,9	21,07	11.04.00 v
S4	7,48	87,6	21,11	11.18.00 v
S5	7,46	87,3	21,07	11.22.00 v
S6	7,19	84,3	21,18	11.29.00 v
S7	5,74	67,4	21,2	11.36.00 v
S8	6,08	71,4	21,25	11.45.00 v
S9	6,24	73,1	21,19	11.53.00 v
	4h inkubointi koe - inkuboinnin jälkeen			
23.10.	Happipitoisuus (mg/L)	Happisaturaatio (%)	Lämpötila	Kellonaika: Inkuboinnin lopetus/näytteen otto
S1	4,17	49	21,32	14.56.00 v
S2	3,56	41,7	21,15	15.05.00 v
S3	4,25	49,9	21,22	15.28.00 v
S4	2,95	34,5	21,12	15.18.00 v
S5	2,48	29,1	21,15	15.38.00 v
S6	2,27	26,7	21,41	15.48.00 v
S7	0,51	6	21,46	15.56.00 v
S8	0,94	11,1	21,58	16.05.00 v
S9	1,44	17,1	21,49	16.13.00 v

Taulukko 10: Toisen 4h inkuboinnin tulokset

	4h inkubointi koe - ennen inkubointia			
28.10.	Happipitoisuus (mg/L)	Happisaturaatio (%)	Lämpötila	Kellonaika: Inkuboinnin aloitus
S1	8,07	93,6	20,67	10.37.00 v
S2	8,06	94	20,86	10.47.00 v
S3	8,11	94,5	20,81	10.56.00 v
S4	7,99	93,3	20,94	11.02.00 v
S5	7,97	92,8	20,82	11.09.00 v
S6	7,87	92	20,99	11.15.00 v
S7	7,15	83,2	20,77	11.20.00 v
S8	7,24	84,5	20,91	11.29.00 v
S9	7,4	86,1	20,79	11.33.00 v
	4h inkubointi koe - inkuboinnin jälkeen			
28.10.	Happipitoisuus (mg/L)	Happisaturaatio (%)	Lämpötila	Kellonaika: Inkuboinnin lopetus/näytteen otto
S1	3,7	43,4	21,26	14.50.00 v
S2	3,64	42,6	21,16	14.57.00 v
S3	4,85	56,8	21,12	15.05.00 v
S4	3,45	40,5	21,21	15.15.00 v
S5	3,77	44,2	21,17	15.23.00 v
S6	2,96	34,7	21,07	15.29.00 v
S7	2,07	24,3	21,37	15.38.00 v
S8	1,86	22	21,49	15.48.00 v
S9	2,09	24,6	21,37	15.54.00 v

Hapenkulutuksen lisätestien perusteella laskettu teoreettinen sedimentin hapenkulutus vaihteli eri koeyksiköissä välillä 4,7-7,5 g/m²/d (taulukko 11). Hapenkulutus oli korkeaa niin inkubointien, kuin 4 tunnin lisätestien aikana. Huoneenlämpötilassa tehdyt testit eivät vastaa sedimentille luontaisissa lämpötiloissa tapahtuvaa hapenkulutusta, mutta antavat kuitenkin viitteitä sedimentinpoiston mahdollista vaikutuksesta hapenkulutukseen.

Taulukko 11: Huonelämpötilassa tehtyjen neljän tunnin lisäinkubointikokeiden (23.10 & 28.10) mukainen hapenkulutussnopeus.

Koeyksikkö	Laskennallinen hapenkulutus g/m ² /d	
	4h inkubointikoe 23.10	4h inkubointikoe 28.10
S1	5,2	6,2
S2	5,9	6,4
S3	4,8	4,7
S4	6,8	6,5
S5	7,0	6,0
S6	7,1	7,1
S7	7,2	7,1
S8	7,1	7,5
S9	6,6	7,3

Jatkuvatoiminen hapenkulutuksen mittauskoe

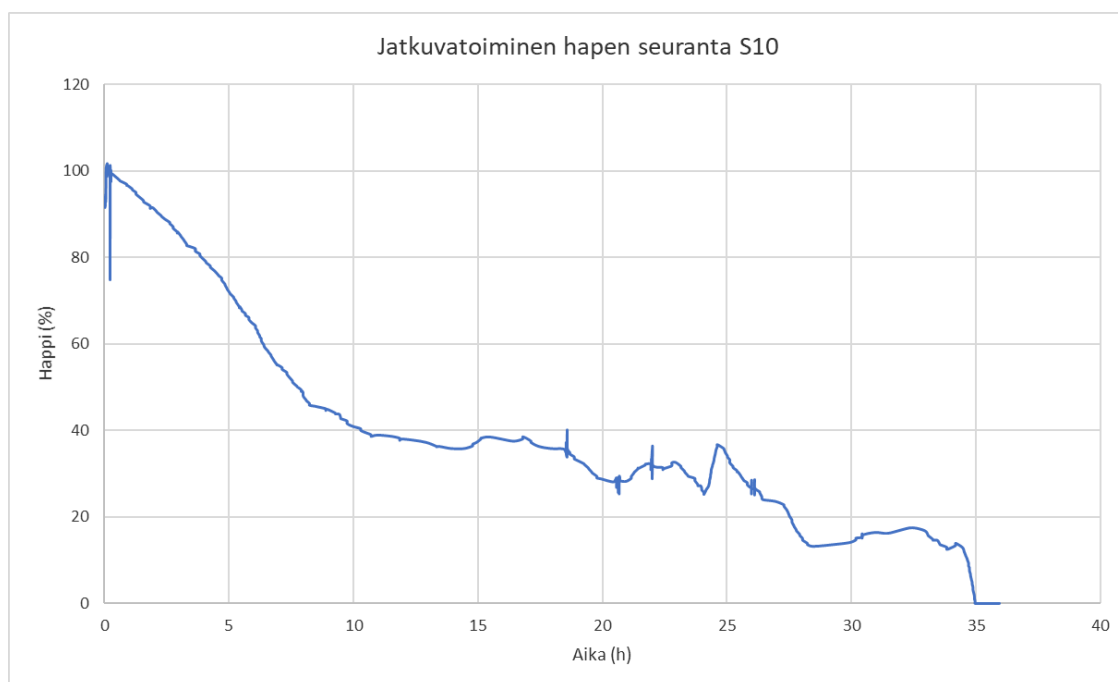
Koeyksiköiden hapenkulutussnopeuden selvittämiseksi toteutettiin myös jatkuvatoiminen hapenmittauksen testi. Koe toteutettiin sijoittamalla jatkuvatoimisesti mitaava happianturi suljettuun koeyksikköön. Koe toistettiin tulosten varmentamiseksi.

Ensimmäisessä testissä käytettiin varakoeyksikköä S10, joka sijoitettiin vesihauuteeseen n. 50 cm syvyyteen ja koeyksikkö suojattiin valolta. Näytteen happi kului loppuun 34 h aikana. Hapenkulutus ei ollut lineaarista kuten kuvassa 9 havaitaan. Tulosten perusteella epäiltiin hapen imeytymistä muoviputken veden yläpuolisesta osasta koeyksikköön.

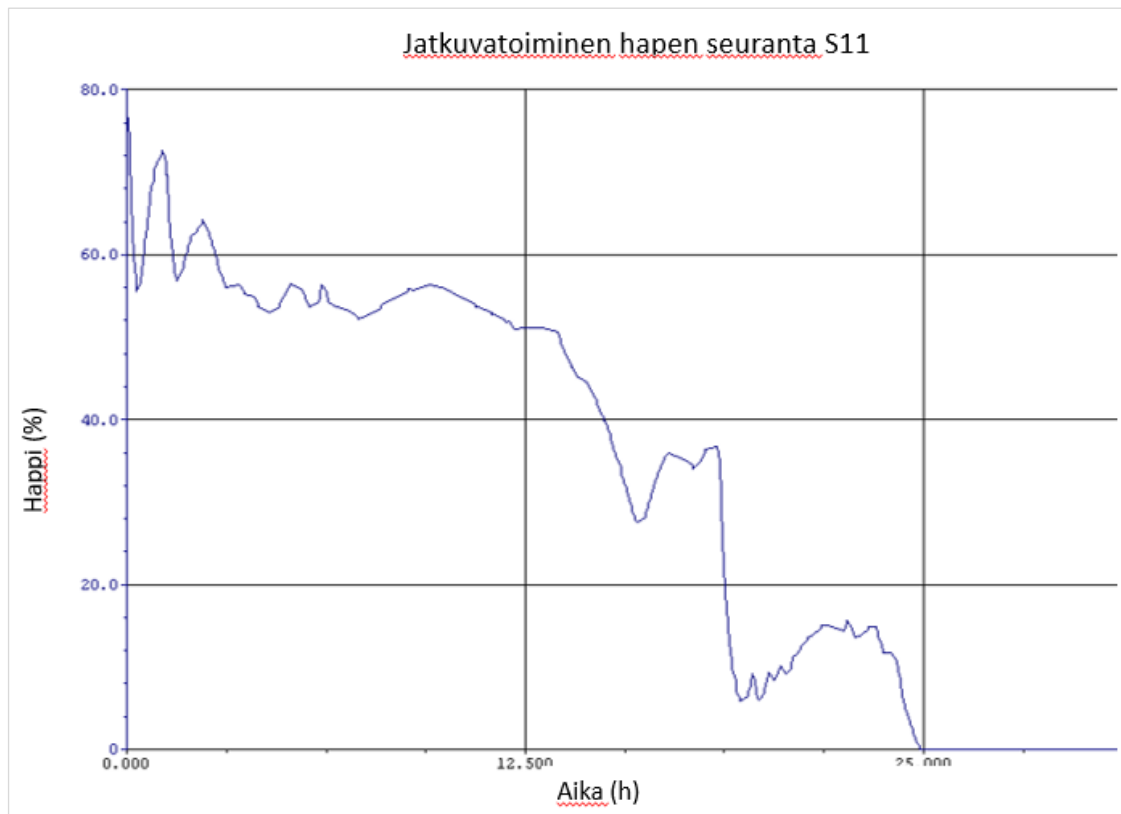
Toisessa testissä käytettiin varakoeyksikköä S11. Koejärjestely oli muuten sama, mutta vesihauuteen yläpuolinen osa, n. 50 cm, peitettiin kokonaan parafilmillä. Tällä pyrittiin vähentämään mahdollista hapen imeytymistä putken läpi näytteeseen. Happi kului loppuun 25 h aikana eli 9 h nopeammin kuin ilman parafilmiä. Aloitustilanteen happipitoisuus oli kuitenkin selvästi alempi kuin ensimmäisessä testissä ja

koe tehtiin toisella koeyksiköllä. Mitattu happipitoisuuden lasku ei edelleenkään ollut kovin tasaista kuten kuvassa 10 havaitaan. Yhtenä selittävänä tekijänä näiden kokeiden happipitoisuuden heilahteluun voivat olla seisovan veteen muodostuvat erilaiset pitoisuusgradientit.

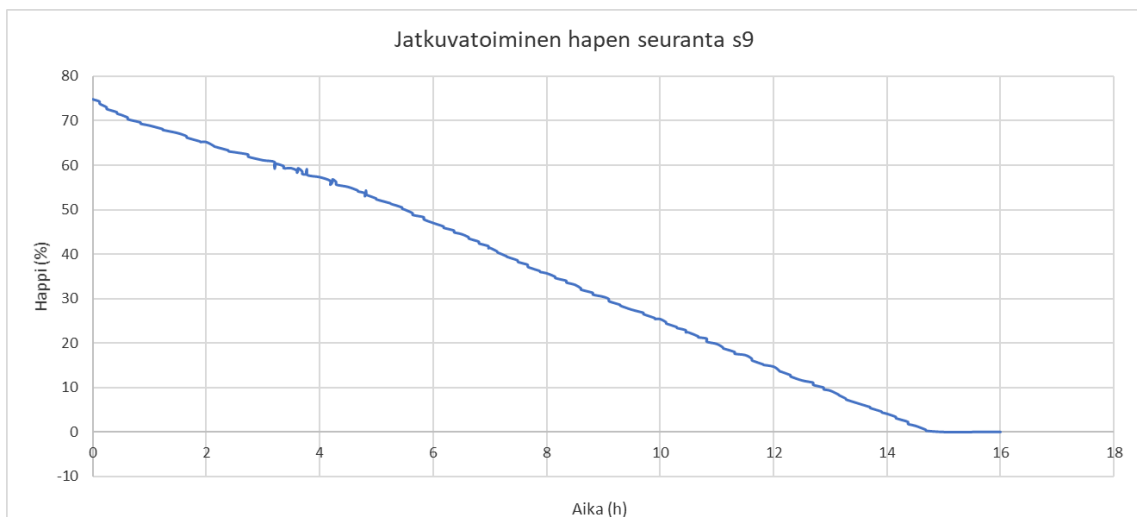
Kolmannessa testissä käytettiin koeyksikköä S9, joka oli aiemmissa alkuperäisissä inkubaatiokokeissa verrokkina, jolloin siitä ei poistettu sedimenttiä. Koejärjestely oli muuten sama, kuin toisessa testissä, mutta putkeen lisättiin vesikierto samalla periaatteella kuin se järjestettiin varsinaisessa kokeessa. Tällä haluttiin testata vedenkierron vaikutuksia hapenkulutukseen. Happi kului loppuun lineaarisesti 15 h aikana, kuten kuvasta 11 havaitaan. Lineaarisen hapenkulutuksen voidaan olettaa johtuneen veden kierron mahdollistamasta tasaisesta vedenlaadusta ja siitä, että koko vesimassa oli jossain vaiheessa kontaktissa sedimentin kanssa. Tämä on osaltaan voinut myös nopeuttaa hapen kulumista putkessa, kun vahvojen pitoisuusgradienttien muodostuminen oli estetty hitaalla vedenkierrolla.



Kuva 9: Jatkuvatoiminen hapenseuranta (%) S10, graafinen kuvaaja.



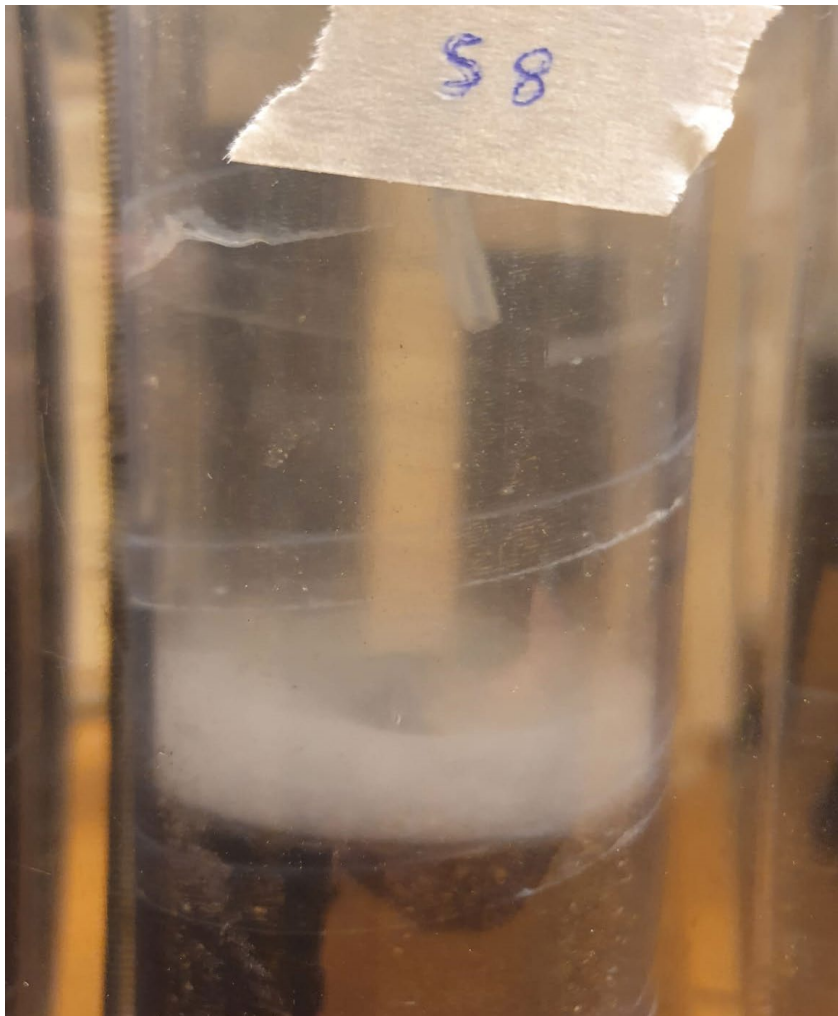
Kuva 10: Jatkuvatoiminen hapenseuranta (%) S11, graafinen kuvaaja



Kuva 11: Jatkuvatoiminen hapenseuranta (%) S9, graafinen kuvaaja

3.6.2 Sedimenttipinnan valkoisen kerrostuman koetulokset

Kokeen alkuvaiheessa ennen ensimmäistä inkubointia havaittiin sedimentin pinnalla selkeä vaalea kerrostuma koeyksiköissä S8 (kuva 12) ja S9. Kerrostuma oli paksuudeltaan koeyksiköistä riippuen, n. 0.2–1.5 cm ja muistutti usvamaista sumua sedimenttikerroksen pinnalla (Kuva 7). Myös koeyksikössä S4 ja S5 oli havaittavissa ohuempi valkoinen kerrostuma. Kerrostumat heikkenivät inkuboinnin aikana. Nämä kerrokset poistettiin meriveden poiston yhteydessä, eikä sedimenttien pinnalle enää muodostunut vastaavia kerroksia.



Kuva 12: Sedimentin pinnalle muodostunutta kerrostumaa

Kerroksen muodostumisen mekanismista tai kerroksen sisällöstä ei ollut varmuutta. Yhtenä hypoteesina oli, että kerrostuma voisi olla elementaarista rikkiä. Kerroksista otettiin 13.10.2020 kokoomanäyte, joista analysoitiin rikkipitoisuus. Näytteen rikkipitoisuus oli 160 mg/l.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Merisedimentin inkubointikokeen toteutus pohjautui tarjouspyynnössä esitettyyn koesuunnitelmaan, jota muokattiin jossain määrin kokeen aikana tehtyjen havaintojen perusteella. Alkuperäistä koesuunnitelmaa muokattiin muun muassa erittäin tehokkaaksi osoittautuneen hapenkulutuksen tähden. Myös koelaitteistoa muokattiin kokeen alkuvaiheessa havaittujen hapen vuotojen tähden. Nämä koejärjestelyn happitilanteeseen liittyvät haasteet osaltaan heikensivät järjestelyn luotettavuutta. Tästä huolimatta toteutettu koe tarjoaa tietoa selvityksen kohteena olleen merisedimentin pintakerroksen poiston vaikutuksista hapenkulutukseen ja sedimenttipinnan ainevuohon.

Melko lyhyestä inkubointiajasta huolimatta huonelämpötilan kiihdyttämä merisedimentin tehokas hapenkulutus kulutti koeyksiköiden hapen lähes kokonaan inkuboinnin aikana. Hapenkulutuksen lisätesteissä veden happipitoisuudet laskivat keskimäärin 4,5 mg/l jo neljän tunnin inkuboinnin aikana. Varsinaisessa inkubointikokeessa tehokas hapen kulutus hankaloitti eri sedimentin poistoista aiheutuvaa hapenkulutuksen muutoksen arviointia, eikä yksiselitteisiä eroja hapenkulutuksessa ollut havaittavissa. Hapenkulutuksen selvittämiseksi tehdyt lisätestit lyhennetyn inkuboinnin muodossa osoittivat, että pintasedimentin poistolla voidaan vähentää sedimentin hapenkulutusta. Koeyksiköiden välisessä hapenkulutuksessa oli huomattavaa vaihtelua, mutta suurinta hapenkulutus oli koeyksiköissä, joista ei ollut poistettu pintasedimenttiä. Koeyksiköissä, joista poistettiin 25 cm pintasedimenttiä oli hapen kulutus keskimäärin hieman pienempää kuin verrokkikoeyksiköissä. Selkeästi pienintä hapenkulutus oli kuitenkin koeyksiköissä, joista oli poistettu vain 15 cm pintasedimenttiä. Neljän tunnin inkubointikokeiden perusteella 15 cm pintasedimentin poisto johti tyypillisesti 10-30 % pienempään hapenkulutukseen. Sedimentistä tehtyjen BOD_{7atu} -määrityksien mukaan sedimentin hapenkulutuksen olisi kuitenkin pitänyt pienentyä siirryttäessä 15 cm syvyydeltä 25 cm sedimenttisyvyyteen.

Hapenkulutuksen lisäksi sedimenttipoistoilla oli havaittavia vaikutuksia mm. vesimassan fosforin pitoisuuksiin. Toisten inkubointien aikana fosforin, kuten muidenkin analysoitujen parametrien, pitoisuudet nousivat ja toisten aikana laskivat. Vaikka koeyksiköiden ja inkubointien välillä oli jonkin verran vaihtelua, osoittautui 25 cm sedimentin poisto fosforipitoisuuksien näkökulmasta lähes poikkeuksetta parhaaksi vaihtoehdoksi ja vastaavasti alkuperäinen sedimenttipinta huonoimmaksi vaihtoehdoksi. Kokonaistypen ja typen fraktioiden osalta vastaavaa selkeää eroa ei käsittelyiden välillä ollut havaittavissa.

Koejärjestelyn aikana kokonaisfosforin sekä liukoisen fosfaatin pitoisuudet laskivat siten, että kunkin inkuboinnin lähtötilanteen pitoisuudet olivat alemmat, kuin edellisen inkuboinnin aloituksessa. Poikkeuksena tästä oli inkubointi 4, jonka tarkoituksena oli kuvata sedimentin läheisen vesimassan hapettomia olosuhteita. Vastaava pitoisuuksien kehitys oli havaittavissa kokonaistypen ja ammoniumtypen osalta. Nitraatti- ja nitriitti-typen pitoisuudet puo-

lestaan pysyivät matalina koko koejärjestelyn ajan. Sedimentin yläpuolisessa vesimassassa inkubointien aikaan tapahtuneiden muutosten suunta tuntui olevan ainakin osin riippuvainen inkuboinnin aloitustilanteen pitoisuuksien lähtötasosta. Toisin sanoen, mikäli inkuboinnin alussa ainepitoisuudet olivat korkeahkot, tapahtui inkuboinnin aikana pitoisuuksien laskua ja inkuboinnin aloituspitoisuuksien olleessa matalia, kasvoivat pitoisuuden inkuboinnin aikana.

Toteutettujen kokeiden perusteella voidaan siis odottaa pintasedimentin poistolla saavutettavan positiivisia vaikutuksia sedimentin hapenkulutukseen sekä veden fosforipitoisuuksiin. Koejärjestely kuitenkin poikkesi sedimentin luonnollisista olosuhteista siinä määrin, ettei järjestelynperusteella voi arvioida sedimentin poistolla käytännön olosuhteissa saavutettavissa olevaa määrällistä hapenkulutuksen tai alusveden fosforinpitoisuuden muutosta.

Luotettavuusarviointi

Koeyksiköitä haettaessa luotettavuuteen on vaikuttanut sukeltajan toiminta merenpohjassa, esimerkiksi jos sedimenteissä on tapahtunut sedimenttipinnan sekoittumista näytteenoton aikana. Koeyksiköitä siirrettäessä ne ovat altistuneet värinälle, kolinalle ja mahdolliselle sedimentin tiivistymiselle, vaikka tätä pyrittiin välttämään monin keinoin. Näkyvää sedimentin sekoittumista ei kuitenkaan kuljetuksen jäljiltä ollut havaittavissa.

Koeyksiköt pidettiin valolta suojattuna, poikkeuksena tässä oli näytteiden otto, jolloin valolle altistumista ei voitu estää

Koeyksiköiden vesipatsaan vettä sekoitettiin alipainepumppujen avulla. Kaikki pumput eivät olleet samanlaisia keskenään, mutta niiden toiminta optimoitiin mahdollisimman yhdenmukaiseksi. Pumppujen toiminnassa oli hetkittäin haasteita, mutta ongelmat havaittiin ja korjattiin pumppauksen alkaessa. Ensimmäisessä inkuboinnissa käytössä olleet silikoniletkut päästivät happea lävitseen, jolloin happea imeytyi letkuissa olleeseen veteen. Inkuboinnin aikana koeyksiköiden veden happipitoisuuden olisi pitänyt laskea, mutta letkuissa kiertävään veteen pääsi imeytymään happea. Koeyksiköiden happipitoisuus nousi lähtötilanteesta, mikä ei ollut toivottavaa. Ensimmäisen inkuboinnin jälkeen letkut vaihdettiin muoviletkuihin, minkä jälkeen vastaavaa hapen imeytymistä letkun läpi ei enää tapahtunut. Korkit ovat myös mahdollisesti vuotaneet, minkä takia ne tiivistettiin parafilmillä ensimmäisen inkuboinnin jälkeen ilmapuotojen välttämiseksi. Koeyksiköiden ilmataskut typetettiin aina ennen inkubointien aloitusta, mutta typetyksen tehokkuutta ei pystytty vahvistamaan.

Tulosten luotettavuuteen ovat vaikuttanut mahdollisesti myös inkubointien välissä olleet tauot. Sedimentissä on voinut tapahtua muutoksia, jotka vaikuttavat sen käyttäytymiseen sitä enemmän mitä kauemmin se on ollut pois luontaisesta ympäristöstään.

Inkubointiaikaa lyhennettiin kesken kokeen, koska happiarvot koeyksiköissä putoivat liian alas. Happiarvojen pudotessa liian mataliksi hapenkulutus ei ole enää lineaarista, mikä hankaloittaa tulosten tulkintaa. Lisäksi lyhennetty inkubointiaika tekee näytteiden vertailusta haastavaa.

Koeyksiköiden vesipatsaan typetys oli vaikeaa eikä onnistunut täydellisesti. Pitkästä typetyksestä huolimatta veden happipitoisuus ei laskenut nollaan ennen neljättä inkubointia.

Kokeen jälkeen tehdyissä jatkuvatoimisissa hapenkulutuksen mittauksissa ilmeni viitteitä siitä, että veden yläpuolelle jäävän putken osan läpi diffusoitui happea. Tämän takia koejärjestely oli alun perin suunniteltu tehtäväksi vesihauteessa. Inkubointien aikana koeyksiköt olivat vesihauteessa, jota ajoittain typetettiin happipitoisuuksien laskemiseksi. Käytännön syistä vesihaute ei kuitenkaan ulottunut putkien yläosaan saakka, mikä lisäsi hapen diffuusion riskiä.

Erään merkittävän epävarmuustekijän mittaus- ja analyysituloksille aiheuttivat näyteveden ja ilman väliset reaktiot sekä tästä mahdollisesti johtuvat muutokset näytteissä ennen analyysin tai mittauksen toteutusta.

Jatkoselvitys- ja kehitystarpeet

Jatkoselvityksenä olisi tarpeen tehdä laajempi tutkimus usealle huonokuntoiselle merenlahdelle, joista kaikista otettaisiin kolme sarjaa rinnakkaisia näytteitä. Näin saataisiin kokeen tuloksista kattavammat ja pystyttäisiin paremmin tulkitsemaan, olisiko tässä kyseessä kannattava merenhoidollinen menetelmä ennen kuin ruoppausta kokeiltaisiin täysimittaisesti pilaantuneelle merenlahdelle.

Mahdollinen jatkoselvitys olisi hyvä toteuttaa luonnollisia merisedimentin olosuhteita paremmin vastaavissa olosuhteissa tulosten käytännön sovellettavuuden parantamiseksi. Inkubointi tulisi toteuttaa tyypillisessä merisedimentin ja alusveden lämpötilassa ja inkubointiaikaa olisi syytä tutkia ja optimoida ennen kokeen toteutusta. Tällöin inkubointiaika pystyttäisiin paremmin optimoimaan sopivan mittaiseksi hapenkulutuksen sekä sedimenttipinnan ainevuon arvioimiseksi.

Tutkimuksissa käytetyt korkit toimivat riittävän hyvin kunhan niiden kanssa käytettiin ilmastointiteippiä, mutta sopivampia korkkeja tulisi käyttää mahdollisissa jatkotutkimuksissa. Letkujen sekä muiden kokeessa käytettävien materiaalien käyttökelpoisuuteen pitäisi perehtyä enemmän ennen kokeiden aloittamista ja näytteiden sekoituksessa olisi hyvä käyttää keskenään samanlaisia pumppuja. Koejärjestelyn happeen liittyvien riskitekijöiden takia tulisi harkita inkuboinnin, näytteenoton ja näytteiden kestäväinnin sekä vedenlaadun mittausten toteuttamista typpiatmosfäärissä.

LIITTEET

Liite 1. Vedenlaatutulokset

Liite 2. Sedimenttitulokset

Liite 3. Testausselosteita analyysien mittauksarkkuuksilla

Liite 1: Vedenlaatutulokset 1 (2)

Inkubointi	NäytePvm	Koeyksikkö	Kok.N µg/l	NO ₂ -N µg/l	NO ₃ -N µg/l	NH ₄ -N µg/l	KokP.l µg/l	PO ₄ -P.Liuk µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Happi mg/l
1	12.10.2020	S1	2800	4	8	2100	780	750	150	390	6,34
	12.10.2020	S2	3400	4	10	2700	980	920	130	480	2,6
	12.10.2020	S3	2000	3	10	1400	380	380	180	190	5,55
	12.10.2020	S4	3100	3	<5	2500	990	970	140	460	4,35
	12.10.2020	S5	1800	3	8	1300	300	300	170	190	5,61
	12.10.2020	S6	1800	3	6	1400	340	340	130	150	5,22
	12.10.2020	S7	2000	3	<5	1500	410	400	180	220	5,36
	12.10.2020	S8	2900	3	<5	2300	770	790	130	380	4,88
	12.10.2020	S9	2800	4	12	2200	760	770	140	410	4,53
	13.10.2020	S1	2800	4	<5	2200	790	830	140	380	6,69
	13.10.2020	S2	3100	3	<5	2400	990	1000	97	470	7,51
	13.10.2020	S3	1500	3	17	1000	320	300	78	190	5,98
	13.10.2020	S4	2700	3	<5	2000	870	900	81	450	5,28
	13.10.2020	S5	1800	3	<5	1500	360	360	71	180	7,77
	13.10.2020	S6	2000	3	<5	1600	380	390	67	150	6,12
	13.10.2020	S7	2000	2	<5	1600	450	450	79	220	5,75
	13.10.2020	S8	2900	3	<5	2400	790	800	87	360	7,54
	13.10.2020	S9	2500	3	<5	1900	700	720	85	390	4,38
2	14.10.2020	S1	1400	5	8	630	110	88	140	74	8,16
	14.10.2020	S2	1300	5	<5	730	170	120	240	87	8,09
	14.10.2020	S3	1400	5	7	760	150	130	220	84	8,05
	14.10.2020	S4	1400	7	13	810	140	110	290	63	8,26
	14.10.2020	S5	1400	6	9	840	160	120	190	60	8,25
	14.10.2020	S6	1400	7	10	840	120	79	360	62	8,03
	14.10.2020	S7	1200	8	13	540	140	84	570	83	7,8
	14.10.2020	S8	1200	4	7	650	190	150	150	87	8,11
	14.10.2020	S9	940	4	6	580	160	120	170	90	7,88
	15.10.2020	S1	790	4	<5	100	50	24	49	79	0,61
	15.10.2020	S2	1100	3	<5	250	130	100	71	94	0,54
	15.10.2020	S3	1200	3	<5	530	190	150	87	91	0,4
	15.10.2020	S4	790	5	<5	72	22	<3	34	29	0,49
	15.10.2020	S5	920	5	<5	250	29	<3	20	25	0,49
	15.10.2020	S6	1100	9	<5	470	70	37	59	54	1
	15.10.2020	S7	960	5	<5	430	130	110	140	85	1,71
	15.10.2020	S8	1200	2	<5	570	150	130	74	100	0,54
	15.10.2020	S9	1100	3	<5	510	120	110	110	98	0,48
3	19.10.2020	S1	1200	4	<5	39	73	26	76	29	6,5
	19.10.2020	S2	920	3	<5	<3	82	22	100	15	7,47
	19.10.2020	S3	1100	5	<5	<3	58	18	240	31	7,16
	19.10.2020	S4	970	4	<5	<3	70	<3	72	20	6,99
	19.10.2020	S5	960	4	<5	<3	61	13	34	20	6,68
	19.10.2020	S6	1000	4	<5	<3	53	<3	220	26	6,84
	19.10.2020	S7	850	4	<5	<3	95	43	59	70	6,43
	19.10.2020	S8	1200	3	<5	<3	85	31	26	80	6,2
	19.10.2020	S9	770	2	<5	<3	62	16	29	58	6,43
	20.10.2020	S1	1200	3	<5	<3	160	23	180	43	0,65
	20.10.2020	S2	1100	3	<5	<3	120	33	180	39	0,51
	20.10.2020	S3	1100	3	<5	<3	99	30	200	36	0,59
	20.10.2020	S4	1400	3	<5	<3	85	<3	110	41	0,65
	20.10.2020	S5	1200	4	<5	<3	84	25	110	33	0,22
	20.10.2020	S6	1200	4	<5	<3	120	<3	240	37	0,34
	20.10.2020	S7	910	4	<5	<3	120	72	140	85	0,36
	20.10.2020	S8	1300	3	<5	<3	150	88	59	90	0,31
	20.10.2020	S9	970	3	<5	<3	120	66	140	92	0,46

Liite 1: Vedenlaatutulokset 2 (2)

Inkubointi	NäytePvm	Koeyksikkö	Kok.N µg/l	NO ₂ -N µg/l	NO ₃ -N µg/l	NH ₄ -N µg/l	KokP.l µg/l	PO ₄ -P.Liuk µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Happi mg/l
4	20.10.2020	S1	820	9	12	160	110	100	960	20	
	20.10.2020	S2	1100	9	11	110	100	88	4800	59	
	20.10.2020	S3	1000	9	13	150	120	110	2500	37	
	20.10.2020	S4	1000	9	11	190	130	95	2300	33	
	20.10.2020	S5	720	9	9	110	120	100	5300	19	
	20.10.2020	S6	1300	10	18	130	96	90	2100	63	0,43
	20.10.2020	S7	1200	10	14	160	120	87	540	36	
	20.10.2020	S8	680	10	12	160	110	110	120	15	0,35
	20.10.2020	S9	720	9	13	170	120	110	600	19	0,5
	21.10.2020	S1	590	3	<5	<3	95	65	56	12	0,71
	21.10.2020	S2	740	3	<5	<3	73	50	150	13	1,44
	21.10.2020	S3	560	3	<5	<3	76	57	76	9	2,41
	21.10.2020	S4	620	3	<5	<3	57	27	82	9	3,25
	21.10.2020	S5	610	3	<5	<3	91	67	53	14	0,9
	21.10.2020	S6	600	3	<5	<3	61	33	180	12	2,39
	21.10.2020	S7	580	4	<5	<3	120	91	280	23	0,55
	21.10.2020	S8	570	2	<5	<3	91	70	22	21	0,44
	21.10.2020	S9	550	3	<5	<3	140	86	76	21	0,52
5	21.10.2020	S1	650	2	<5	<3	64	37	100	10	5,92
	21.10.2020	S2	650	3	<5	<3	54	32	1400	24	7,47
	21.10.2020	S3	700	5	7	16	77	59	370	10	7,79
	21.10.2020	S4	900	4	<5	<3	62	25	970	18	7,15
	21.10.2020	S5	660	2	<5	<3	73	45	53	10	7,2
	21.10.2020	S6	970	3	<5	<3	55	24	650	15	7,16
	21.10.2020	S7	630	3	<5	<3	63	33	140	22	5,92
	21.10.2020	S8	710	2	<5	<3	71	41	30	17	6,63
	21.10.2020	S9	660	2	<5	<3	68	46	100	20	6,17
	22.10.2020	S1	600	2	<5	<3	64	38	47	10	0,67
	22.10.2020	S2	610	3	<5	<3	69	41	130	12	0,59
	22.10.2020	S3	630	3	<5	<3	84	55	71	11	0,5
	22.10.2020	S4	640	3	<5	<3	56	30	100	10	0,69
	22.10.2020	S5	950	3	<5	<3	85	52	78	13	0,67
	22.10.2020	S6	780	2	<5	<3	69	38	52	11	0,62
	22.10.2020	S7	640	2	<5	<3	94	63	160	28	0,53
	22.10.2020	S8	750	2	<5	<3	97	69	45	25	0,29
	22.10.2020	S9	840	2	<5	<3	100	74	120	28	0,16

Liite 2: Sedimenttitulokset

NäytePvm	Näytteen nimi	TOC g/kg ka	BOD7 g/kg ka	P g/kg ka	Kuiva-aine %	Fe g/kg ka	N g/kg ka
13.10.2020	Sedimentti S1, 13.10.2020	41	21	1,3	14,2	48	6,5
13.10.2020	Sedimentti S2, 13.10.2020	45	29	1,5	13,1	51	6,6
13.10.2020	Sedimentti S3, 13.10.2020	46	22	1,4	13,2	52	7,2
13.10.2020	Sedimentti S4, 13.10.2020	43	19	1,1	15,8	52	7,6
13.10.2020	Sedimentti S5, 13.10.2020	44	14	1,4	16,5	47	6,7
13.10.2020	Sedimentti S6, 13.10.2020	42	20	1,5	15,8	49	7,5
15.10.2020	Sedimentti S1, 15.10.2020	42	16	1,1	18,5	42	7,1
15.10.2020	Sedimentti S2, 15.10.2020	43	19	1,2	16,4	50	7,5
15.10.2020	Sedimentti S3, 15.10.2020	43	16	1,3	17	49	7,6
15.10.2020	Sedimentti S4, 15.10.2020	46	12	1,2	19,3	51	8
15.10.2020	Sedimentti S5, 15.10.2020	53	11	1,1	18,6	47	8,5
15.10.2020	Sedimentti S6, 15.10.2020	47	11	1,3	18,7	54	8,9



Turun ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liiketoiminta
Lemminkäisenkatu 30
20520 TURKU

Tilausnro 248463 (AMK/MERISED), saapunut 12.10.2020, näytteet otettu 12.10.2020

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
19123	S1 12.10.2020
19124	S2 12.10.2020
19125	S3 12.10.2020
19126	S4 12.10.2020
19127	S5 12.10.2020
19128	S6 12.10.2020
19129	S7 12.10.2020
19130	S8 12.10.2020
19131	S9 12.10.2020

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	19123	19124	19125	19126
Rauta, ICP-OES	μg/l	150	130	180	140
Mangaani, ICP-OES	μg/l	390	480	190	460
Liuennot Kok. P, Nuclepore *	μg/l	780	980	380	990
Liuennot PO ₄ , Nuclepore *	μg/l	750	920	380	970
Kokonaistyyppi *	μg/l	2800	3400	2000	3100
Ammoniumtyppi *	μg/l	2100	2700	1400	2500
Nitraattityppi *	μg/l	8	10	10	<5
Nitriittityppi *	μg/l	4	4	3	3

Määrittäminen	Yksikkö	19127	19128	19129	19130
Rauta, ICP-OES	μg/l	170	130	180	130
Mangaani, ICP-OES	μg/l	190	150	220	380
Liuennot Kok. P, Nuclepore *	μg/l	300	340	410	770
Liuennot PO ₄ , Nuclepore *	μg/l	300	340	400	790
Kokonaistyyppi *	μg/l	1800	1800	2000	2900
Ammoniumtyppi *	μg/l	1300	1400	1500	2300
Nitraattityppi *	μg/l	8	6	<5	<5
Nitriittityppi *	μg/l	3	3	3	3

Tutkimustodistus pätee vain tutkitulle näytteelle. Asiakirjan osittainen kopiointi on kielletty.

Analyysemenetelmien viitteet ja mittausepävarmuustiedot ovat liitteellä. Akkreditointi ei koske näytteenottoa eikä lausuntoa.

Katuosoite
Telekatu 16
20360 TURKU

Postiosoite
Telekatu 16
20360 TURKU

Puhelin
(02) 274 0213
*(02) 274 0200

Sähköposti
etunimi.sukunimi@lsvsy.fi

Alv.rek.
Y 1564941-9
Krnro 774822



MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET (jatkoa ed. sivulta)

Määrittäminen	Yksikkö	19131
Rauta, ICP-OES	μg/l	140
Mangaani, ICP-OES	μg/l	410
Liennut Kok. P, Nuclepore *	μg/l	760
Liennut PO ₄ , Nuclepore *	μg/l	770
Kokonaistyyppi *	μg/l	2800
Ammoniumtyppi *	μg/l	2200
Nitraattityppi *	μg/l	12
Nitriittityppi *	μg/l	4

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

* -merkityt analyysit ovat akkreditoituja.

Niina Kohonen
kemisti
(02) 274 0213


MENETELMÄTIEDOT

Määrittäminen	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
Rauta, ICP-OES	SFS-EN ISO 11885:2009 (TL27)
Mangaani, ICP-OES	SFS-EN ISO 11885:2009 (TL27)
Liennut Kok. P, Nuclepore *	SFS-EN ISO 15681-2, CFA-tekniikka (TL27)
Liennut PO ₄ , Nuclepore *	SFS-EN ISO 15681-2, CFA-tekniikka (TL27)
Kokonaistyyppi *	Sis.men. SFS-EN ISO 11905-1, SFS-EN 29441:2018 (TL27)
Ammoniumtyyppi *	Sis.men fluorometrinen CFA-tekniikka (TL27)
Nitraattityyppi *	SFS-EN ISO 13395:1997 (TL27)
Nitriittityyppi *	SFS-EN ISO 13395:1997 (TL27)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL27	Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy (FINAS T101, SFS-EN ISO/IEC 17025:2017)

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittämisajankohta
Rauta, ICP-OES	2020/19123	±15%	15.10.2020
	2020/19124	±15%	15.10.2020
	2020/19125	±15%	15.10.2020
	2020/19126	±15%	15.10.2020
	2020/19127	±15%	15.10.2020
	2020/19128	±15%	15.10.2020
	2020/19129	±15%	15.10.2020
	2020/19130	±15%	15.10.2020
	2020/19131	±15%	15.10.2020
Mangaani, ICP-OES	2020/19123	±15%	15.10.2020
	2020/19124	±15%	15.10.2020
	2020/19125	±15%	15.10.2020
	2020/19126	±15%	15.10.2020
	2020/19127	±15%	15.10.2020
	2020/19128	±15%	15.10.2020
	2020/19129	±15%	15.10.2020
	2020/19130	±15%	15.10.2020
	2020/19131	±15%	15.10.2020
Liennut Kok. P, Nuclepore *	2020/19123	±15%	14.10.2020
	2020/19124	±15%	14.10.2020
	2020/19125	±15%	14.10.2020
	2020/19126	±15%	22.10.2020
	2020/19127	±15%	14.10.2020
	2020/19128	±15%	14.10.2020
	2020/19129	±15%	14.10.2020
	2020/19130	±15%	14.10.2020
	2020/19131	±15%	14.10.2020

Tutkimustodistus pätee vain tutkitulle näytteelle. Asiakirjan osittainen kopioiminen on kielletty.

Analyyssimenetelmien viitteet ja mittausepävarmuustiedot ovat liitteellä. Akkreditointi ei koske näytteenottoa eikä lausuntoa.



MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT (jatkoa edelliseltä sivulta)

Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittämisspvm.
Liennut PO ₄ , Nuclepore *	2020/19123	±10%	5.11.2020
	2020/19124	±10%	5.11.2020
	2020/19125	±10%	13.10.2020
	2020/19126	±10%	13.10.2020
	2020/19127	±10%	13.10.2020
	2020/19128	±10%	13.10.2020
	2020/19129	±10%	13.10.2020
	2020/19130	±10%	5.11.2020
	2020/19131	±10%	5.11.2020
Kokonaistyyppi *	2020/19123	±15%	19.10.2020
	2020/19124	±15%	19.10.2020
	2020/19125	±15%	19.10.2020
	2020/19126	±15%	19.10.2020
	2020/19127	±15%	19.10.2020
	2020/19128	±15%	19.10.2020
	2020/19129	±15%	19.10.2020
	2020/19130	±15%	19.10.2020
	2020/19131	±15%	19.10.2020
Ammoniumtyppi *	2020/19123	±10%	13.10.2020
	2020/19124	±10%	13.10.2020
	2020/19125	±10%	13.10.2020
	2020/19126	±10%	13.10.2020
	2020/19127	±10%	13.10.2020
	2020/19128	±10%	13.10.2020
	2020/19129	±10%	13.10.2020
	2020/19130	±10%	13.10.2020
	2020/19131	±10%	13.10.2020
Nitraattityppi *	2020/19123	±5 μg/l	13.10.2020
	2020/19124	±5 μg/l	13.10.2020
	2020/19125	±5 μg/l	13.10.2020
	2020/19126	Määrittämissrajien alitus	13.10.2020
	2020/19127	±5 μg/l	13.10.2020
	2020/19128	±5 μg/l	13.10.2020
	2020/19129	Määrittämissrajien alitus	13.10.2020
	2020/19130	Määrittämissrajien alitus	13.10.2020
	2020/19131	±5 μg/l	13.10.2020
Nitriittityppi *	2020/19123	±2 μg/l	13.10.2020
	2020/19124	±2 μg/l	13.10.2020
	2020/19125	±2 μg/l	13.10.2020
	2020/19126	±2 μg/l	13.10.2020
	2020/19127	±2 μg/l	13.10.2020
	2020/19128	±2 μg/l	13.10.2020
	2020/19129	±2 μg/l	13.10.2020
	2020/19130	±2 μg/l	13.10.2020
	2020/19131	±2 μg/l	13.10.2020

Tutkimustodistus pätee vain tutkitulle näytteelle. Asiakirjan osittainen kopioiminen on kielletty.

Analyysimenetelmien viitteet ja mittausepävarmuustiedot ovat liitteellä. Akkreditointi ei koske näytteenottoa eikä lausuntoa.



Turun ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liiketoiminta
Lemminkäisenkatu 30
20520 TURKU

Tilausnro 248697 (AMK/MERISED), saapunut 16.10.2020, näytteet otettu 15.10.2020

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
19627	Sedimentti 1, 15.10.2020
19628	Sedimentti 2, 15.10.2020
19629	Sedimentti 3, 15.10.2020
19630	Sedimentti 4, 15.10.2020
19631	Sedimentti 5, 15.10.2020
19632	Sedimentti 6, 15.10.2020

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	19627	19628	19629	19630
Kokonaisfosfori, sedimentti	g/kg ka	1,1	1,2	1,3	1,2
BOD7 sedimentti	g/kg ka	16	19	16	12
Typpi, sedimentti	g/kg ka	7,1	7,5	7,6	8,0
TOC kiinteät näytteet	g/kg ka	42	43	43	46
Kuiva-aine *	%	18,5	16,4	17,0	19,3
Rauta, Fe *	g/kg ka	42	50	49	51

Määrittäminen	Yksikkö	19631	19632
Kokonaisfosfori, sedimentti	g/kg ka	1,1	1,3
BOD7 sedimentti	g/kg ka	11	11
Typpi, sedimentti	g/kg ka	8,5	8,9
TOC kiinteät näytteet	g/kg ka	53	47
Kuiva-aine *	%	18,6	18,7
Rauta, Fe *	g/kg ka	47	54

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

* -merkityt analyysit ovat akkreditoituja. (a)=laatuvaatimus, (b)=laatusuositus

LAUSUNTO

TOC-määrittäminen teetettiin alihankintana KVVY Tutkimus Oy:n (FINAS T064) Tampereen laboratoriossa.

Niina Kohonen
Niina Kohonen
kemisti
(02) 274 0213

Tutkimustodistus pätee vain tutkitulle näytteelle. Asiakirjan osittainen kopioiminen on kielletty.

Analyysimenetelmien viitteet ja mittausepävarmuustiedot ovat liitteellä. Akkreditointi ei koske näytteenottoa eikä lausuntoa.

Katuosoite	Postiosoite	Puhelin	Sähköposti	Alv.rek.
Telekatu 16	Telekatu 16	(02) 274 0213		Y 1564941-9
20360 TURKU	20360 TURKU	*(02) 274 0200	etunimi.sukunimi@lsvsy.fi	Krno 774822



TIEDOKSI

Turun ammattikorkeakoulu/antti.kaseva@turkuamk.fi


MENETELMÄTIEDOT

Määrittäminen	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
Kokonaisfosfori, sedimentti	Sis A15 ja 16, CFA-tekniikka (TL27)
BOD7 sedimentti	(TL27)
Typpi, sedimentti	Sis A21 ja A22, SFS 5505 (TL27)
TOC kiinteät näytteet	SFS-EN 13137 method A (TL25)
Kuiva-aine *	Sis.men (TL27)
Rauta, Fe *	SFS-EN ISO 11885, SFS-EN 16173 (TL27)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL25	KVVY Tutkimus Oy (FINAS T064, SFS-EN ISO/IEC 17025:2017)
TL27	Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy (FINAS T101, SFS-EN ISO/IEC 17025:2017)

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittämisaj.
Kokonaisfosfori, sedimentti	2020/19627	±20%	26.10.2020
	2020/19628	±20%	26.10.2020
	2020/19629	±25%	26.10.2020
	2020/19630	±20%	26.10.2020
	2020/19631	±20%	26.10.2020
	2020/19632	±20%	26.10.2020
BOD7 sedimentti	2020/19627	±35%	16.10.2020
	2020/19628	±35%	16.10.2020
	2020/19629	±35%	16.10.2020
	2020/19630	±35%	16.10.2020
	2020/19631	±35%	16.10.2020
	2020/19632	±35%	16.10.2020
Typpi, sedimentti	2020/19627	±20%	22.10.2020
	2020/19628	±20%	22.10.2020
	2020/19629	±20%	22.10.2020
	2020/19630	±20%	22.10.2020
	2020/19631	±20%	22.10.2020
	2020/19632	±20%	22.10.2020
TOC kiinteät näytteet	2020/19627	±28%	
	2020/19628	±28%	
	2020/19630	±28%	
	2020/19631	±28%	
	2020/19632	±28%	
Kuiva-aine *	2020/19627	±10%	16.10.2020
	2020/19628	±10%	16.10.2020
	2020/19629	±10%	16.10.2020
	2020/19630	±10%	16.10.2020

Tutkimustodistus pätee vain tutkitulle näytteelle. Asiakirjan osittainen kopioiminen on kielletty.

Analyyssimenetelmien viitteet ja mittausepävarmuustiedot ovat liitteellä. Akkreditointi ei koske näytteenottoa eikä lausuntoa.

LIITE 3: Testausseosteita analyysien mittaustarkkuuksilla 8 (20)



**Lounais-Suomen
vesi- ja ympäristötutkimus Oy**

TESTAUSSELOSTE
Akkreditoitu laboratorio
10.11.2020

20-7807 4 (4)
#1

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT (jatkoa edelliseltä sivulta)

Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittämisajankohta
Kuiva-aine *	2020/19631	±10%	16.10.2020
	2020/19632	±10%	16.10.2020
Rauta, Fe *	2020/19627	±20%	20.10.2020
	2020/19628	±20%	20.10.2020
	2020/19629	±20%	20.10.2020
	2020/19630	±20%	20.10.2020
	2020/19631	±20%	20.10.2020
	2020/19632	±20%	20.10.2020

Tutkimustodistus pätee vain tutkitulle näytteelle. Asiakirjan osittainen kopioiminen on kielletty.

Analyyssimenetelmien viitteet ja mittausepävarmuustiedot ovat liitteellä. Akkreditointi ei koske näytteenottoa eikä lausuntoa.

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy
 Telekatu 16
 20360 TURKU



Tilausnro 419754 (4LOU-SUO/TRE), saapunut 20.10.2020

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
84370	2020/19627, sedim.

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	84370
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn		Tehty
*Org.kokonaishiili (TOC)	g/kg ka	42

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

*-merkitty on akkreditoitu menetelmä.



Heli Orakangas
 Ymp.asiantuntija(FM)

TIEDOKSI

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristö/laboratorio@lsvsy.fi

Tässä tutkimusseosteessa esitetyt testatulokset pätevät ainoastaan testatulle näytteelle. Akkreditointi ei koske lausuntoa.
 Tutkimustodistuksen saa kopioida vain kokonaan.

Katuosoite
 Patamäenkatu 24
 33900 TAMPERE

Postiosoite
 PL 265
 33101 TAMPERE

Puhelin
 (03) 2461 265
 *(03) 2461 111

Sähköposti
 heli.orakangas@kvvy.fi

Alv.rek./enn.pid.rek.
 2823750-1

MENETELMÄTIEDOT

Määritys	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	SFS-ISO 11464, 2007 (TL25)
*Org.kokonaishiili (TOC)	SFS-EN 13137 method A, 2001 (TL25)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL25	KVYY/Tampere (FINAS T064)

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määritys	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittäjäpvm.
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	2020/84370		23.10.2020
*Org.kokonaishiili (TOC)	2020/84370	±28%	7.10.2020

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy
 Telekatu 16
 20360 TURKU



Tilausnro 419754 (4LOU-SUO/TRE), saapunut 20.10.2020

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
84371	2020/19628, sedim.

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	84371
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn		Tehty
*Org.kokonaishiili (TOC)	g/kg ka	43

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

*-merkintä on akkreditoitu menetelmä.



Heli Orakangas
 Ymp.asiantuntija(FM)

TIEDOKSI

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristö/laboratorio@lsvsy.fi

Tässä tutkimusseosteessa esitetyt testatulokset pätevät ainoastaan testatulle näytteelle. Akkreditointi ei koske lausuntoa.
 Tutkimustodistuksen saa kopioida vain kokonaan.

Katuosoite
 Patamäenkatu 24
 33900 TAMPERE

Postiosoite
 PL 265
 33101 TAMPERE

Puhelin
 (03) 2461 265
 *(03) 2461 111

Sähköposti
 heli.orakangas@kvvy.fi

Alv.rek./enn.pid.rek.
 2823750-1

MENETELMÄTIEDOT

Määritys	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	SFS-ISO 11464, 2007 (TL25)
*Org.kokonaishiili (TOC)	SFS-EN 13137 method A, 2001 (TL25)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL25	KVYY/Tampere (FINAS T064)

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määritys	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittäjäpvm.
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	2020/84371		23.10.2020
*Org.kokonaishiili (TOC)	2020/84371	±28%	7.10.2020

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy
 Telekatu 16
 20360 TURKU



Tilausnro 419754 (4LOU-SUO/TRE), saapunut 20.10.2020

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
84372	2020/19629, sedim.

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	84372
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn		Tehty
*Org.kokonaishiili (TOC)	g/kg ka	43

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

*-merkintä on akkreditoitu menetelmä.



Heli Orakangas
 Ymp.asiantuntija(FM)

TIEDOKSI

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristö/laboratorio@lsvsy.fi

Tässä tutkimusseosteessa esitetyt testaus tulokset pätevät ainoastaan testatulle näytteelle. Akkreditointi ei koske lausuntoa.
 Tutkimustodistuksen saa kopioida vain kokonaan.

Katuosoite
 Patamäenkatu 24
 33900 TAMPERE

Postiosoite
 PL 265
 33101 TAMPERE

Puhelin
 (03) 2461 265
 *(03) 2461 111

Sähköposti
 heli.orakangas@kvvy.fi

Alv.rek./enn.pid.rek.
 2823750-1

MENETELMÄTIEDOT

Määrittäminen	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	SFS-ISO 11464, 2007 (TL25)
*Org.kokonaishiili (TOC)	SFS-EN 13137 method A, 2001 (TL25)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL25	KVYY/Tampere (FINAS T064)

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittäispvm.
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	2020/84372		23.10.2020
*Org.kokonaishiili (TOC)	2020/84372	±28%	7.10.2020

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy
 Telekatu 16
 20360 TURKU



Tilausno 419754 (4LOU-SUO/TRE), saapunut 20.10.2020

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
84373	2020/19630, sedim.

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	84373
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn		Tehty
*Org.kokonaishiili (TOC)	g/kg ka	46

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

*-merkintä on akkreditoitu menetelmä.



Heli Orakangas
 Ymp.asiantuntija(FM)

TIEDOKSI

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristö/laboratorio@lsvsy.fi

Tässä tutkimusselostuksessa esitetyt testatulokset pätevät ainoastaan testatulle näytteelle. Akkreditointi ei koske lausuntoa.
 Tutkimustodistuksen saa kopioida vain kokonaan.

Katuosoite
 Patamäenkatu 24
 33900 TAMPERE

Postiosoite
 PL 265
 33101 TAMPERE

Puhelin
 (03) 2461 265
 *(03) 2461 111

Sähköposti
 heli.orakangas@kvvy.fi

Alv.rek./enn.pid.rek.
 2823750-1

MENETELMÄTIEDOT

Määrittäminen	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	SFS-ISO 11464, 2007 (TL25)
*Org.kokonaishiili (TOC)	SFS-EN 13137 method A, 2001 (TL25)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL25	KVVY/Tampere (FINAS T064)

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määrittäminen	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittäispvm.
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	2020/84373		23.10.2020
*Org.kokonaishiili (TOC)	2020/84373	±28%	7.10.2020

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy
 Telekatu 16
 20360 TURKU



Tilausno 419754 (4LOU-SUO/TRE), saapunut 20.10.2020

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
84374	2020/19631, sedim.

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	84374
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn		Tehty
*Org.kokonaishiili (TOC)	g/kg ka	53

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

*-merkintä on akkreditoitu menetelmä.



Heli Orakangas
 Ymp.asiantuntija(FM)

TIEDOKSI

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristö/laboratorio@lsvsy.fi

Tässä tutkimusseosteessa esitetyt testatulokset pätevät ainoastaan testatulle näytteelle. Akkreditointi ei koske lausuntoa.
 Tutkimustodistuksen saa kopioida vain kokonaan.

Katuosoite
 Patamäenkatu 24
 33900 TAMPERE

Postiosoite
 PL 265
 33101 TAMPERE

Puhelin
 (03) 2461 265
 *(03) 2461 111

Sähköposti
 heli.orakangas@kvvy.fi

Alv.rek./enn.pid.rek.
 2823750-1

MENETELMÄTIEDOT

Määritys	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	SFS-ISO 11464, 2007 (TL25)
*Org.kokonaishiili (TOC)	SFS-EN 13137 method A, 2001 (TL25)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL25	KVYY/Tampere (FINAS T064)

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määritys	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittäjäpvm.
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	2020/84374		23.10.2020
*Org.kokonaishiili (TOC)	2020/84374	±28%	7.10.2020

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy
 Telekatu 16
 20360 TURKU



Tilausno 419754 (4LOU-SUO/TRE), saapunut 20.10.2020

NÄYTTEET

Lab.nro	Näytteen kuvaus
84375	2020/19632, sedim.

MÄÄRITYSTULOKSET / NÄYTTEET

Määrittäminen	Yksikkö	84375
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn		Tehty
*Org.kokonaishiili (TOC)	g/kg ka	47

Merkintöjen selityksiä: P = määrittäminen kesken, E = ei tehty, ~ = noin, < = pienempi kuin, « = pienempi tai yhtäsuuri kuin, > = suurempi kuin, » = suurempi tai yhtäsuuri kuin.

*-merkintä on akkreditoitu menetelmä.



Heli Orakangas
 Ymp.asiantuntija(FM)

TIEDOKSI

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristö/laboratorio@lsvsy.fi

Tässä tutkimusselostuksessa esitetyt testatulokset pätevät ainoastaan testatulle näytteelle. Akkreditointi ei koske lausuntoa.
 Tutkimustodistuksen saa kopioida vain kokonaan.

Katuosoite
 Patamäenkatu 24
 33900 TAMPERE

Postiosoite
 PL 265
 33101 TAMPERE

Puhelin
 (03) 2461 265
 *(03) 2461 111

Sähköposti
 heli.orakangas@kvvy.fi

Alv.rek./enn.pid.rek.
 2823750-1

MENETELMÄTIEDOT

Määrittys	Menetelmän nimi ja tutkimuslaitos (suluissa)
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	SFS-ISO 11464, 2007 (TL25)
*Org.kokonaishiili (TOC)	SFS-EN 13137 method A, 2001 (TL25)

TUTKIMUSLAITOSTIEDOT

Tunnus	Tutkimuslaitoksen nimi
TL25	KVYY/Tampere (FINAS T064)

MITTAUSEPÄVARMUUSTIEDOT

Määrittys	Näyte	Tuloksen epävarmuus	Määrittyspvm.
*Kiinteän näytteen kylmäkuivaus ja hienn	2020/84375		23.10.2020
*Org.kokonaishiili (TOC)	2020/84375	±28%	7.10.2020