



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 61/2025

# Synteesiraportti: Turvepeltojen vettämisen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin

Sanna Saarnio, Maarit Liimatainen ja Kristiina Lång



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 61/2025

# **Synteesiraportti: Turvepeltojen vettämisen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin**

**Sanna Saarnio, Maarit Liimatainen ja Kristiina Lång**

**Viittausohje:**

Saarnio, S., Liimatainen, M. & Lång, K. 2025. Synteesiraportti: Turvepeltojen vettämisen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 61/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 27 s.

Sanna Saarnio ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-1915-0370>



ISBN 978-952-419-090-9 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-090-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Sanna Saarnio, Maarit Liimatainen ja Kristiina Lång

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2025

Julkaisuvuosi: 2025

Kannen kuva: Hanna Kekkonen

## Synteesiraportti: **Turvepeltojen vettämisen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin**

Sanna Saarnio, Maarit Liimatainen ja Kristiina Lång

### **Tämän raportin ydinviestit:**

1. Vesipinnan etäisyys maan pinnasta on tärkein kasvihuonekaasupäästöjä säätelevä tekijä turvemailla.
2. Turvepellon pohjavedenpinnan korottaminen padottamalla on tehokas keino vähentää päästöjä.
3. Sadanta ei välttämättä riitä pitämään pohjavettä lähellä maan pintaa kesäaikaan, mutta osittainenkin vettäminen vähentää hiilidioksidipäästöjä merkittävästi.
4. Pohjaveden pinnan korkeus tulisi ottaa päästöjen arvioinnin lähtötiedoksi. Onnistuneilta vettämisikohteilta tarvitaan lisää mittaustuloksia, jotta päästöjen raportointi pystytään tekemään Suomen oloihin räätälöidyllä menetelmällä.

# Tiivistelmä

Sanna Saarnio<sup>1</sup>, Maarit Liimatainen<sup>2</sup> ja Kristiina Lång<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Luonnonvarakeskus, Joensuu

<sup>2</sup> Luonnonvarakeskus, Oulu

<sup>3</sup> Luonnonvarakeskus, Jokioinen

Suosta raivatut ja ojitetut pellot, turvepellot, ovat merkittävä kasvihuonekaasujen lähde Suomessa. Niiden iso päästövähennyspotentialiaali saadaan parhaiten käyttöön palauttamalla vesitalous lähemmäksi suon kaltaisia olosuhteita, vettämällä. Vettämiseen tulee todennäköisesti yhä enemmän kannustimia ja pinta-alaa lähivuosina, ja päästöjen raportointia koskevat vaatimukset tiukentuvat. Tämän raportin tavoitteena on tarkastella käytettävissä olevien mittaus tulosten perusteella, miten turvepeltojen päästöt muuttuvat vettämisen seurauksena ja riittääkö käytettävissä oleva mittausaineisto raportoinnin kehittämiseen.

Ympäri vuotisia maastossa mitattuja tuloksia oli käytettävissä kuudelta kohteelta, joissa pohjaveden pintaa oli tarkoituksella korotettu. Kun niiden hiilidioksidi-, metaani- ja dityppioksidipäästöjä tarkastellaan suhteessa pohjaveden korkeuteen, havaitaan selkeä lasku hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöissä vesipinnan noustessa. Metaanipäästöt nousevat, mutta nykyisen tiedon valossa eivät niin paljon, että hiilidioksidin päästövähennemän hyöty menetettäisiin. Dityppioksidipäästöt ovat olleet hyvin alhaisia useimmilla mittauskohteilla. Näiden kolmen kaasun kokonaispäästöt vähenivät noin 5 hiilidioksidiekvivalenttitonnia hehtaarilta jokaista 10 cm kohden, jonka pohjavesi nousi.

Tietoa erityyppisten peltokohteiden vettämisestä tarvitaan lisää. Erityisesti tarvitaan mittaus tuloksia kohteilta, joissa vesi on ollut hyvin lähellä maan pintaa. Koska monien kohteiden lannoitus ja muokkaus oli ollut tavanomaista vähäisempää ennen vesipinnan nostoa, tarvitaan tietoa myös kohteilta, jotka ovat olleet tavanomaisessa aktiiviviljelyssä ennen vettämistä.

**Asiasanat:** turve, orgaaninen maa, maatalous, kasvihuonekaasu, vesienhallinta, pohjavesitaso, vesittäminen

## Abstract in English

Sanna Saarnio<sup>1</sup>, Maarit Liimatainen<sup>2</sup> and Kristiina Lång<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Natural Resources Institute Finland, Joensuu

<sup>2</sup> Natural Resources Institute Finland, Oulu

<sup>3</sup> Natural Resources Institute Finland, Jokioinen

Cultivated peat soils are a major source of greenhouse gases in Finland. Their big emission reduction potential is best put to use by restoring their hydrology closer to wetland conditions by rewetting. There will probably be more incentives and surface area for rewetting in the next few years, and the requirements for reporting emissions will become stricter. The aim of this report is to examine on the basis of the available measurement results, how the emissions of cultivated peat soils change as a result of rewetting and whether the available measurement data is sufficient for the development of emission reporting. Year-round results measured *in situ* were available at six sites where the surface of the groundwater had been deliberately raised. When their emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide are examined in relation to the height of the groundwater, a clear decrease in carbon dioxide emissions is observed as the water level rises. Methane emissions are rising, but in the light of current data, not enough to lose the benefit of the reduction in carbon dioxide emissions. Nitrous oxide emissions have been very low at most measurement sites. The total emissions of these three gases decreased by about 5 tons of carbon dioxide equivalent per hectare for every 10 cm of groundwater rise. More information on rewetting different types of field sites is needed. In particular, measurements are needed at sites where water has been very close to the soil surface. Due to the lower than conventional level of fertilisation and tillage of many sites prior to water level rise, information is also needed from sites that have been under conventional active farming prior to rewetting.

**Keywords:** peat, organic soil, agriculture, greenhouse gas, rewetting, water table level, water management

## Sisällys

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Tavoitteet.....</b>	<b>9</b>
<b>3. Aineisto .....</b>	<b>10</b>
<b>4. Kokemuksia turvepeltojen vettämisestä.....</b>	<b>12</b>
<b>5. Vettämisestä vaikutus metaanivuohon.....</b>	<b>14</b>
<b>6. Vettämisestä vaikutus dityppioksidivuohon .....</b>	<b>16</b>
<b>7. Vettämisestä vaikutus maahengitykseen.....</b>	<b>18</b>
<b>8. Vettämisestä vaikutus hiilitaseeseen.....</b>	<b>20</b>
<b>9. Vettämisestä vaikutus kokonaispäästöihin .....</b>	<b>22</b>
<b>10. Johtopäätökset.....</b>	<b>24</b>
<b>Viitteet.....</b>	<b>25</b>

# 1. Johdanto

Turvetta syntyy heikosti maatuneista kasvintähteistä pohjaveden pinnan ollessa lähellä maan pintaa. Eloperäisen materiaalin kertyminen on tehnyt soista merkittävän hiilen varaston. Kun suo ojitetaan, sen mikrobiologinen hajotus nopeutuu, minkä seurauksena syntyy lisää päästöjä ilmakehään ja vesistöihin. Kuivatuksen lisäksi myös viljelytoimenpiteet (muokkaus, lannoitus, kalkitus) edesauttavat turpeen hajoamista.

Suomessa on arvioitu olevan noin 280 000 ha viljeltyjä ja 60 000 ha hylättyjä turvepeltoja, joiden yhteenlasketut kasvihuonekaasupäästöt olivat 9,08 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia (CO<sub>2</sub>-ekv.) vuonna 2023 (SVT 2025). Päästöt ovat enimmäkseen hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>), mutta turpeen hajoamisesta syntyy myös dityppioksidia (N<sub>2</sub>O).

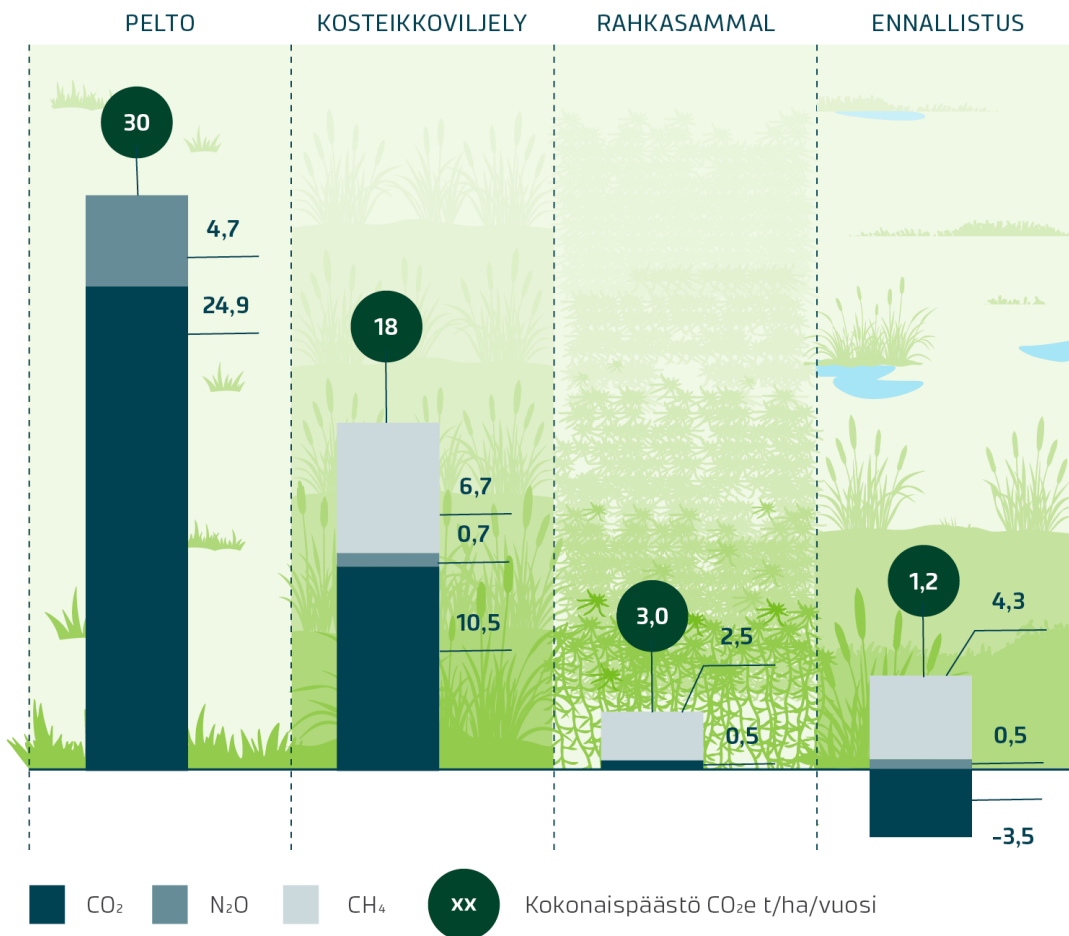
Suomessa on tutkittu turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjä ja niihin vaikuttavia tekijöitä jo 1990-luvulta lähtien. Ainoa vaikutukseltaan merkittävä keino vähentää turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjä on hidastaa eloperäisen aineen eli turpeen ja uuden karikkeen hajoamisnopeutta. Käytännössä tämä onnistuu nostamalla pohjaveden pinta takaisin lähelle turpeen pintaa. Vettämisellä voidaan tavoitella luonnontilaisen kaltaiseksi kehittyvää kosteikkoa tai edelleen viljelyssä pysyvää, mutta märkää peltoa eli kosteikkoviljelmää. Lähellä pellon pintaa olevan pohjaveden takia tavanomaiset viljelykasvit pitää vaihtaa märkyyttä sietäviin tai jopa sitä vaativiin lajeihin kuten osmankäämi, ruokohelmi, karpalo tai rahkasammalet (Naukkarinen 2021).

Vaikka pohjaveden syvyyden vaikutuksesta turpeen hajoamiseen on tiedetty jo kauan, peltojen uudelleen vettämisestä vaikutuksia on alettu tutkia vasta viime vuosikymmeninä. Tärkein syy vettämistutkimuksille on ollut todentaa pohjavedenpinnan nostosta seuraavan kasvihuonekaasupäästöjen muutoksen suuruus ja nopeus ilmastotavoitteiden seurannan avuksi. Lisäksi on kaivattu tietoa kosteikkoviljelykasvien viljelymenetelmistä ja sadon suuruudesta pohjoisissa olosuhteissa.

Turvepeltoja on vetetty Suomessa muutamia kymmeniä hehtaareja. Suurin osa kosteikoista on perustettu Riistakeskuksen hallinnoimalla SOTKA-rahoituksella. Lisäksi niitä on perustettu tutkimushankkeissa tai yksityisillä investoinneilla. Myös nykyisestä CAP-ohjelmasta voi saada tukea turvepellolle perustettavan kosteikon investointiin ja sen hoitoon viideksi vuodeksi tukikaudella 2023–27. Tämän tuen piiriin otettua peltoa ei enää katsota maatalousmaaksi. Ennallistamisasetus luo tähän mennessä suurimman paineen peltojen vettämiseen, sillä se edellyttää, että nykyisestä turvepeltojen alasta 15 % tulee vetetyksi vuoteen 2050 mennessä (EU 2024).

Ennen kuin Suomesta oli saatavilla mittaustuloksia vetettyjen peltojen kasvihuonekaasupäästöistä asiaa tarkasteltiin lauhkealta vyöhykkeeltä saatavissa olleiden mittaustulosten avulla (Bianchi ym. 2021). Koosteen perusteella voitiin todeta, että vetetyt kohteet olivat ojitettuja peltoja pienempiä kasvihuonekaasujen päästölähteitä (Kuva 1). Hiilidioksidipäästöjen pieneeminen kompensoi kohoavat metaanipäästöt, ja dityppioksidipäästöt olivat hyvin vähäisiä. Kokonaispäästöt vähenivät noin 70–80 % verrattuna maatalouskäytössä olevien ojitettujen turvemaiden päästöihin. Lauhkean vyöhykkeen vetettyjen turvemaiden keskimääräiset päästöt vastasivat IPCC:n päästökertoimia boreaalisen vyöhykkeen ravinteikkaille, vetetyille turvemaille (IPCC 2014). Ilmaversoisten kasvien (enimmäkseen nurmia) kosteikkoviljelyssä

kokonaispäästöt olivat 18 t CO<sub>2</sub>-ekv. ha<sup>-1</sup> vuosi<sup>-1</sup>, joka on lähellä huonosti ojitettujen nurmien kokonaispäästökerrointa (noin 15 t CO<sub>2</sub>-ekv. ha<sup>-1</sup> vuosi<sup>-1</sup>). Ennallistamisen ja rahkasammalen viljelyn kasvihuonekaasuvirrat olivat pienempiä eivätkä eronneet merkittävästi toisistaan. Rahkasammalen viljelyyn käytetyt pellot olivat hiilidioksidin nieluja, kun satoa ei sisällytetty hiilitaseeseen, mutta tyypillisillä korjuumäärillä (Wichmann ym. 2020) niistä tulee pieniä hiilen lähteitä. Suurin osa mittaustuloksista oli peräisin vettäamisen alkuvuosilta, jolloin kasvillisuus ja olosuhteet ovat vielä muutoksessa (Wilson ym. 2016). Tiedetään, että joissain tapauksissa tarvitaan pitkä aika negatiivisen hiilitaseen palautumiseen, useista vuosista vuosikymmeniin (Beyer & Höper 2015), kun taas joissakin kohteissa luonnontilaisia soita vastaavat kaasutaset saavutetaan pian vettäamisen jälkeen (Laine ym. 2019).



Lähteet: Pelto, IPCC Wetlands Supplement; kosteikkoviljely, rahkasammal ja ennallistus, Bianchi ym. 2021

**Kuva 1.** Hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>), dityppioksidin (N<sub>2</sub>O) ja metaanin (CH<sub>4</sub>) päästöt tavanomaiselta turvopelloilta (IPCC 2014) ja ilmaversoisten kasvien tai rahkasammalen kosteikkoviljelyyn siirretyiltä tai luonnontilaisen kaltaiseksi ennallistetuilta pelloilta lauhkealta vyöhykkeeltä (Bianchi ym. 2021). Hiilidioksiditaseessa on huomioitu kosteikkoviljelyn sadon mukana pois viety hiili (periaate esitetty kuvassa 6).

## 2. Tavoitteet

Ilmastotavoitteiden saavuttamisen kannalta on tärkeää pystyä raportoimaan päästöt myös tavonomaista määremiltä pelloilta luotettavasti. Tällä hetkellä on käytettävissä kahdenlaisia IPCC:n päästökertoimia maatalousmaan vettämisen vaikutusten raportointia varten: ne, jotka on tarkoitettu heikosti ojitetuille nurmille (pohjaveden syvyys noin 0,3 m) ja ne, jotka on tarkoitettu vetetyille eloperäisille maille. Näistä jälkimmäiset perustuvat enimmäkseen mittaus-tuloksiin alueilta, jotka eivät olleet maatalousmaita ennen vettämistä (IPCC 2014). Vetettyjen maatalousmaiden ja kosteikkoviljelyn kasvihuonekaasupäästöistä tietoa on edelleen niukasti ja niiden raportointi on edelleen hyvin epävarmaa joko IPCC:n nykyisten päästökertoimien tai uudempien kirjallisuudessa raportoitujen arvojen perusteella.

**Tässä synteesiraportissa tarkastellaan Suomesta saatavissa olevien mittaustulosten käytettävyyttä vetettyjen peltojen kasvihuonekaasujen raportointiin ja arvioidaan lisätutkimusten tarvetta.**

Vettämisellä voidaan saavuttaa myös hyötyjä luonnon monimuotoisuuden ja tulvasuojelun kannalta sekä vähentää ravinteiden tai hiilen huuhtoumia vesistöihin. Tämä raportti ei kuitenkaan käsittele näitä näkökulmia, koska niistä on vielä vähemmän mittaustuloksia saatavissa kuin kasvihuonekaasupäästöistä.

### 3. Aineisto

Tähän yhteenvetoraporttiin on koottu tulokset tähän mennessä julkaistuista suomalaisista turvepeltojen vettämiskohteista, jotka on lyhyesti esitelty alla. Lisätietoja kohteista löytyy kirjallisuusviitteistä.

**Inganneva** (Saarnio ym. lähetetty lehteen): Alue on raivattu 2002–2003 ja kohteella on viljelty viljaa ja nurmea luomun viljelykierrossa 2004 alkaen. Etenkään alussa rahkaturpeinen maa ei tuottanut hyviä satoja ja nurmi menestyi paremmin. Vettäminen aloitettiin 2019, jolloin ruokohelpeä kylvettiin 4,3 ha lohkolle. Toiselle noin 9 ha lohkolle ruokohelpeä kylvettiin 2021. Tällöin vetetyn alueen pinta-ala oli 6,1 ha ja patoja tarvittiin 14 kpl. Kasvihuonekaasumittauksia pellolla tehtiin aikavälillä 5/2020–5/2023.

**Särkelä** (Saarnio ym. lähetetty lehteen): Lohko oli tavanomaisessa peltoviljelyssä, mutta se oli pidetty riistapeltona juuri ennen vettämistoimia märkyyteen ja pellon epätasaisuuteen liittyvien ongelmien vuoksi. Syksyllä 2019 tehtiin maapadot, joihin asennettiin vedenkorkeuden säätelyn mahdollistavat venttiilit. Alkukesällä 2020 ojien välistä pellon pintaa muotoiltiin tasaisemmaksi ja alueelle kylvettiin riistapelto ja alle nurmi (nurmi-apilaseos), josta korjattiin kuivaheinää tutkimusvuosina 2021–23. Patoja asennettiin 2 kpl ja niillä vetettiin viettävältä lohkolta noin 0,4 ha suuruinen alue. Alueelta mitattiin kasvihuonekaasujen vaihtoa ekosysteemin ja ilmakehän välillä 7/2020–7/2023.

**Ouluneva** (Lång ym. 2024a): Kohde on raivattu noin 10 vuotta sitten huonokasvuisesta rämeestä, minkä jälkeen se on ollut aktiiviviljelyssä. Tavanomaisesti ojitetuilla kuiville saroille ja vetetyille saroille kylvettiin rypsinsekainen nurmi. Lisäksi yhden padotun saran ojan viereen istutettiin osmankäämiä pienelle koealalle ja siellä kasvoi entuudestaan paikoitellen ruokohelpeä. Kohteen vieressä sijaitsi myös raivaamaton suoalue, jossa mittauksia tehtiin mätäs- ja kuljupinnoilla. Kohteesta vetettiin kolme hehtaaria 2021 padottamalla vettä ojiin asennettujen maapatojen ja venttiilien avulla. Kasvihuonekaasupäästöjä mitattiin 8/2022–11/2023.

**Konnunsuo** (Lång ym. 2024a): Ennen kosteikkoviljelyä kohde oli tavanomaisessa peltoviljelyssä kymmeniä vuosia, viimeiset vuodet sillä viljeltiin viljaa (vehnä, ohra). Kosteikkoviljelykokeen alkaessa sille kylvettiin timotei. Konnunsuon 7 hehtaarin suuruiselle kasvulohkolle toteutettiin säätösalaajitus olemassa olevaan salaajaverkostoon syksyllä 2021. Tavanomaisesti salaajitetulla vertailulohkolla viljeltiin ohraa. Kasvihuonekaasupäästöjä kohteella mitattiin 5/2022–4/2023.

**Jokioinen 1**; Kuuma (Lång ym. 2024b): Vähintään 150 vuotta viljelyssä olleelle turvepellolle perustettiin ruutukoe, jossa pellon pohjaveden pintaa pyrittiin ensin nostamaan säätösalaajakaivon säätöputken avulla ja myöhemmin vettä alalle pumpaamalla. Koeruutuihin kylvettiin heinäseosta tai istutettiin juolukkaa tai pajua. Koska juolukka ei menestynyt kohteella, kyseisten koeruutujen annettiin kehittyä viherkesannoksi. Kokeella mitattiin hiilidioksidi-, metaani- ja dityppioksidivuota nurmi- ja kesantoruuduista sekä kasvillisista että kasvittomista mittauspaikosta aikavälillä 4/2019–3/2023.

**NorPeat** (Gerin ym. 2023): Luke Ruukin koeasemalla sijaitseva 26 hehtaarin kokoinen ja sata vuotta viljelyksessä ollut turvepelto on säätösalaajitettu ja turpeen syvyys vaihtelee eri osissa peltoa välillä 15–75 cm. Vuonna 2021 pellon viereen rakennettiin veden varastoallas, johon varastoidaan yläpuolisen valuma-alueen vesiä kastelukäyttöön. Samalla säätösalaajitus

muutettiin altakasteluksi, ja varastoidun veden avulla peltoa on vuodesta 2022 asti pyritty viljelemään korotetulla pohjavesitasolla. Vuonna 2022 pellolla kasvoi ohra, 2023 ohra nurmen suojaviljana ja vuonna 2024 käynnistyi uusi nurmikierto. NorPeat-pelto edustaa kohdetta, jossa vesienhallintaa tehdään aktiiviviljelyksessä olevalla ohutturpeisella nurmikiertopellolla tavoitteena saada hyvä rehusato. Tulosten käsittely ja julkaisu on parhaillaan menossa, eivätkä kaikki tulokset ehtineet vielä tämän synteesiraportin koostekuviin. NorPeat on Luken pitkäaikainen koekenttä ja kasvihuonekaasumittaukset jatkuvat tässä muodossa ainakin vuoteen 2030 asti. Kaasumittauksia tehdään Luonnonvarakeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen yhteistyönä.

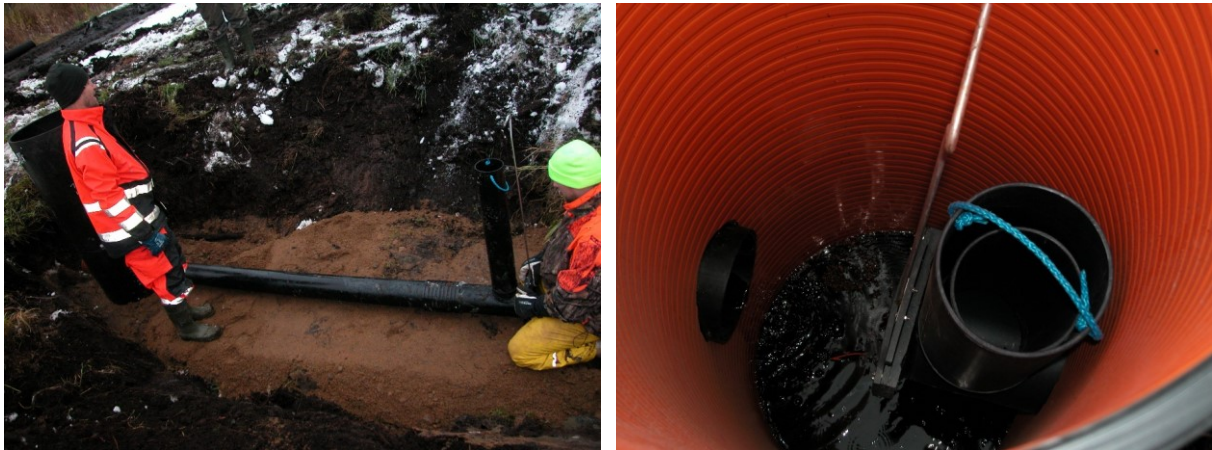
Yllä esitellyissä kokeissa mitattiin kasvihuonekaasuvuota joko ns. kammiomenetelmällä, eli sulkemalla maan pinta mittauskammioon noin puolen tunnin ajaksi ja seuraamalla kaasun pitoisuuden muutosta ajassa tai pyörrekovarianssimenetelmällä. Lumipeitteisenä aikana kammiomittauskohteiden kaasuvuot arvioitiin lumigradienttimenetelmän avulla. Mittauksia tehtiin ympärivuotisesti. Lisäksi alla mainittujen kokeiden tuloksia voidaan käyttää ympärivuotisten kenttäkokeiden tulkinnan tukena.

**Jokioinen 2** (Heikkinen ym. 2024): Vuosikymmenien ajan viljelyssä olleella paksutturpeisella pellolla mitattiin automaattikammioilla paljaan maan metaani- ja hiilidioksidivuota usean kasvukauden ajan, mutta ei talviaikaan. Tuloksista ei siksi ole laskettu vuotuisia taseita, mutta niiden perusteella tutkittiin pohjavedenpinnan ja lämpötilan vaihtelun vaikutuksia kaasuvuon dynamiikkaan.

**Astiakoe** (Regina ym. 2015): Kuudelta nurmiviljellyltä pellolta, joista kolmella oli saraturvetta ja kolmella rahkaturvetta, kairattiin 90 cm:n syvyisiä maaprofiileja, jotka pidettiin ensin ulkotiiloissa ja vedenpintaa nostettiin 10 cm kerrallaan. Kasvihuonekaasuvuota mitattiin vedenpinnan ollessa 70, 60, 50, 40 ja 30 cm:n syvyydellä maan pinnasta. Mittaukset toistettiin va-kiolämpötilahuoneessa vedenpinnan tasoilla 70 ja 30 cm.

## 4. Kokemuksia turvepeltojen vettämisestä

Peltojen kuivatus perustuu joko avo-ojiin tai salaojiin, ja pohjaveden korkeuden nosto toteutetaan hidastamalla veden poistumista pellolta ojien kautta. Tässä raportissa esitellyillä avo-ojitetuilla turvepelloilla vettäminen oli toteutettu maapadoilla, johon oli lisätty venttiili. Venttiilin pystyputken korkeudella voitiin säätää, mille korkeudelle vesi enimmillään ojissa nousee ja pohjassa oleva läppä aukaisemalla laskea vesi tarvittaessa pois ojista. Salaojitettujen peltojen säätösalojakaivoissa voitiin vastaavalla pystyputkella ja läpällä säätää mille korkeudelle vesi enimmillään pellolla nousee ja laskea se tarvittaessa peltotöiden ajaksi pois (Kuva 2).



**Kuva 2.** Vasemmalla venttiili ja maavallin läpäisevä jatkoputki asennettuna ojan pohjalle ennen maavallin rakentamista. Venttiilin vedenkorkeuden säätöputki ja kahvallinen läppä näkyvät oikeanpuoleisen henkilön edessä. Oikealla näkymä sisälle säätösalojakaivoon, jossa oikealla laidalla säätöputki ja sen kyljessä kahvallinen läppä. Kuvat: Sanna Saarnio.

Lähes kaikissa Suomessa tehdyissä vettämisessä on törmätty samaan ongelmaan. Kohteelle satavan veden poisvalumisen estäminen ei riitä pitämään vedenpintaa korkealla kasvukaudella (touko-syyskuu), koska lämpötilasta aiheutuva suora haihtuminen ja kasvien haihdutus siirtää pellolta enemmän vettä ilmakehään kuin mitä pellolle sataa. Koska samalla ajanjaksoilla vapautuu suurin osa pellon vuotuisista päästöistä ilmakehään, olisi vedenpinnan noston onnistuminen erityisen tärkeää kasvukauden ajaksi. Tämä ei käytännössä onnistu ilman ulkoista vesilähdettä eli vetettäviä kohteita suunniteltaessa pitäisi ottaa huomioon alueellinen vesitalous (Läpikivi ym. 2024, 2025): mistä vedet pitää saada ohjattua pois ja minne niitä voitaisiin ohjata lisää.

Yksi mahdollisuus lisäveden saamiseksi on pumpata vettä pellolle läheisestä vesistöstä. Jos tavoitteena on pyrkiä pitämään pohjavesitaso lähellä maanpintaa, kohteesta riippuen tarvittavan veden määrä voi olla suuri, ja siksi veden pumppaaminen esimerkiksi läheisestä joesta ei välttämättä ole ratkaisu, jota voi suositella laajamittaisesti varsinkin, jos pumppaaminen tehdään verkkovirralla. Vettä ei voi myöskään pumpata vesistöstä ilman rajoitetta vaan jossain kohtaa pumppaaminen vaatii vesilain mukaisen luvan. Yksi mahdollisuus saada lisävettä pellolle on hyödyntää yläpuolista valuma-aluetta ja pellon ohi luontaisesti virtaavia vesiä.

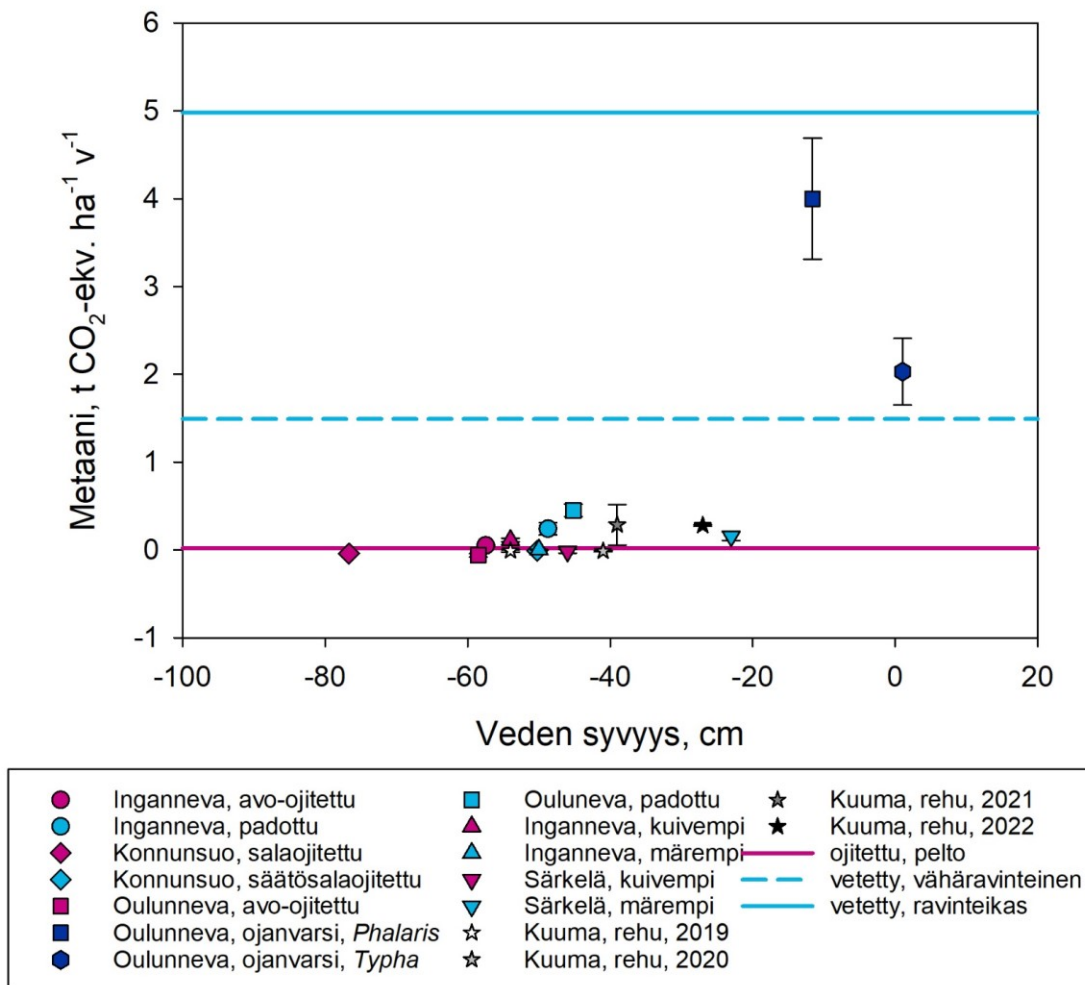
Luke Ruukin koeaseman NorPeat-pellon viereen rakennettiin talvella 2021–2022 noin 10 000 m<sup>3</sup>:n kokoinen veden varastoallas (Liimatainen ym. 2023, 2024, 2025), johon varastoidaan pellon yläpuolisen valuma-alueen vesiä eli käytännössä lumien sulamisvesiä ja valuntaa. Altaan avulla pyritään viljelemään viereistä turvepeltoa korotetulla pohjavesitasolla, kun lisävettä

ohjataan pellon säätösalaajaverkostoon altakastelun kautta. Ruukissa on testattu nyt useamman vuoden aikana, miten valuntavesi riittää kasvukaudella turvepellon pohjavesitason nostoon, sillä talven lumipeite ja kasvukauden aikainen sadanta vaikuttavat merkittävästi kasteluveden riittävyteen. Esimerkiksi kasvukausilla 2022–2024 vesi loppui kesken eikä kastelua pohjavesitason nostamiseksi pystytty toteuttamaan suunnitelmien mukaisesti (Liimatainen ym. 2025). Kasvukaudella 2025 sen sijaan tilanne on ollut veden riittävyden suhteen helpompi ainakin heinäkuun alkuun asti.

Veden varastointiratkaisut vaativat usein neuvottelun naapureiden kanssa. Valuma-alueen vedellä voi olla monta eri käyttäjää ja esimerkiksi Ruukin tapauksessa varastoaltaan vierestä jouduttiin kaatamaan metsää, mistä neuvoteltiin erikseen Metsähallituksen kanssa. Maanomistaja ei saa tämän kaltaisiin ratkaisuihin tukea, mikä osaltaan rajoittaa viljelijän halukkuutta investoida veden varastoimisratkaisuihin, ellei hän koe saavansa lisävedestä selvää hyötyä.

## 5. Vettämisestä vaikutus metaanivuohon

Luonnossa metaania muodostuu arkkelioiden pelkistäessä yksinkertaisia hiiliyhdisteitä hapettomissa olosuhteissa, kun muut pelkistysprosessit (esim. nitraatin tai sulfaatin pelkistys) ovat päättyneet (Oremland 1988). Toisaalta metaania myös kulutetaan maaperässä sitä hapettavien bakteerien toimesta (Hanson & Hanson 1986). Pohjavedenpinta säätelee hapellisen ja hapettoman turvekerroksen paksuutta ja siten ekosysteemin metaanitasetta. Luonnontilaisilla kosteikoilla metaania muodostuu enemmän kuin sitä kulutetaan ja ne ovat metaanilähteitä, kun taas ojitetuilla turvemaiden tilanne on yleensä päinvastainen. Käytännössä metaanitasereagoi maaperän märkyyden ja sitä kautta hapen saatavuuden muutoksiin, ja samassakin ekosysteemissä voi olla pienpaikallisia eroja (Saarnio ym. 1997, Maljanen ym. 2013). Ojitetuilla turvemaiden metaanivuo kuitenkin vaihtelee nollan tuntumassa ja metaanipäästöt alkavat merkittävästi kasvaa vasta kun pohjavedenpinta on pitkäaikaisesti enintään 20 cm syvyydessä tai sitä ylempänä (Kuva 3). Kasvukauden aikaiset mittaukset Jokioisten ja Ruukin turvepelloilla tukevat näitä tuloksia (Yli-Halla ym. 2022, Heikkinen ym. 2024, Niiranen ym. 2025).



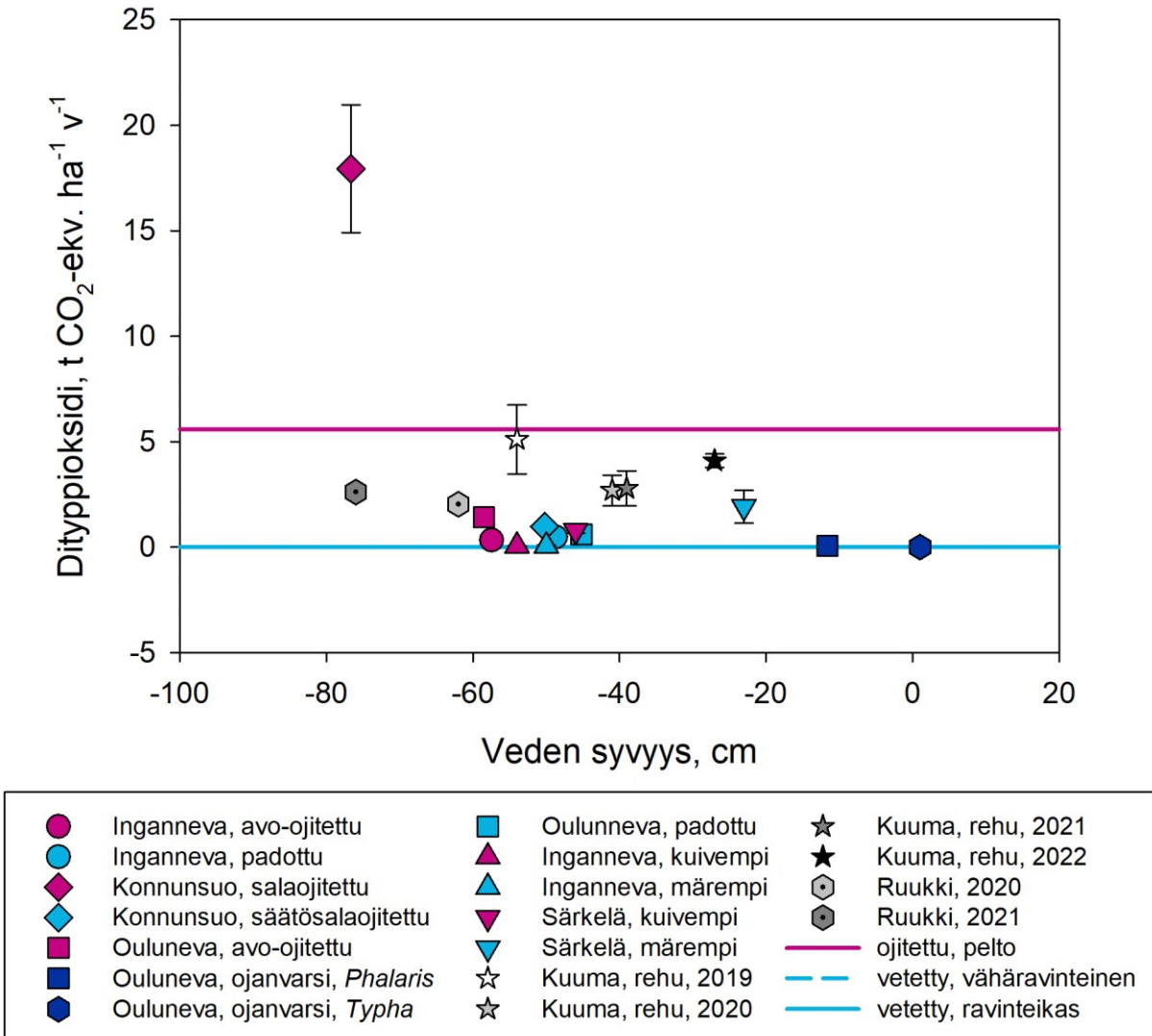
**Kuva 3.** Turvepeltokohteiden vuotuinen metaanitasetasuhteiden (Lång ym. 2024a ja 2024b, Saarnio ym., *lähetetty käsikirjoitus*). Poikkiviivat kuvastavat kasvihuonekaasupäästöjen raportoinnissa käytettäviä turvemaiden päästökertoimia (IPCC 2014).

IPCC:n ohjeiston mukainen oletus, että ojitettujen peltojen metaanipäästöt ovat lähellä nollaa, vaikuttaa oikealta, ja raportointia ei ole tarpeen muuttaa siltä osin. Vetettyjen alueiden oletuskertoimien oikeellisuutta ei pystytä arvioimaan käytettävissä olevien mittaustulosten perusteella, sillä määrittämistä vettämistilanteista on tuloksia vain yhdeltä kohteelta. Kansallisen päästökertoimen laskeminen tai päästöjen raportointi perustuen arvioituun pohjaveden pinnan tasoon on tällä hetkellä mahdotonta, ja veden syvyyden ja vuotuisen metaanipäästön välisen yhtälön muodostamiseksi tarvitaan lisää mittaustuloksia onnistuneilta vettämiskohteilta.

## 6. Vettämisen vaikutus dityppioksidivuohon

Dityppioksidia eli ilokaasua muodostuu useiden eri mikrobien toiminnan tuloksena. Tärkeimpiä prosesseja, joiden sivutuotteena maaperästä vapautuu dityppioksidia ilmakehään ovat nitrifikaatio ja denitrifikaatio (Firestone & Davidson 1989). Nitrifikaatiossa ammoniumia hapetetaan nitraatiksi ja denitrifikaatiossa nitraattia pelkistetään ilmakehän typeksi ( $N_2$ ). Koska happellisuus edistää nitrifikaatiota ja hapettomuus denitrifikaatiota, eniten dityppioksidia vapautuu maaperän ollessa kosteaa, kun molemmat prosessit ovat aktiivisena. Märästä ja kuivasta maasta merkittäviä päästöjä ei synny. Ojitetuilla turvemaidella merkittävimmät dityppioksidipäästöt voivat syntyä kasvukauden ulkopuolella; myös talvella (Maljanen ym. 2003, Maljanen ym. 2010). Lannoitus aiheuttaa dityppioksidipäästöjä (mm. Gerin ym. 2023), joiden ilmeneminen riippuu lannoittamisen ajankohdasta mutta myös lannoittamisen jälkeisestä sadannasta. Dityppioksidipäästöjen määrä vaihtelee erittäin paljon sekä ajallisesti että paikallisesti pelto-lohkon sisällä mm. sateiden ajoittumisen, tyyppiyhdisteiden saatavuuden tai muiden maaperäkemiallisten ominaisuuksien mukaan (Liimatainen ym. 2018). Jos vettäminen onnistuu vain osittain ja tyyppiä on saatavilla mikrobiprosesseihin, lisääntyvä kosteus voi nostaa dityppioksidipäästöjä hyvin ojitettuun tilanteeseen verrattuna (Taft ym. 2018). Kun vedenpinta saadaan nostettua pysyvästi maanpinnan tuntumaan, dityppioksidipäästöt jäävät vähäisiksi (Günther ym. 2015, Kandel ym. 2019).

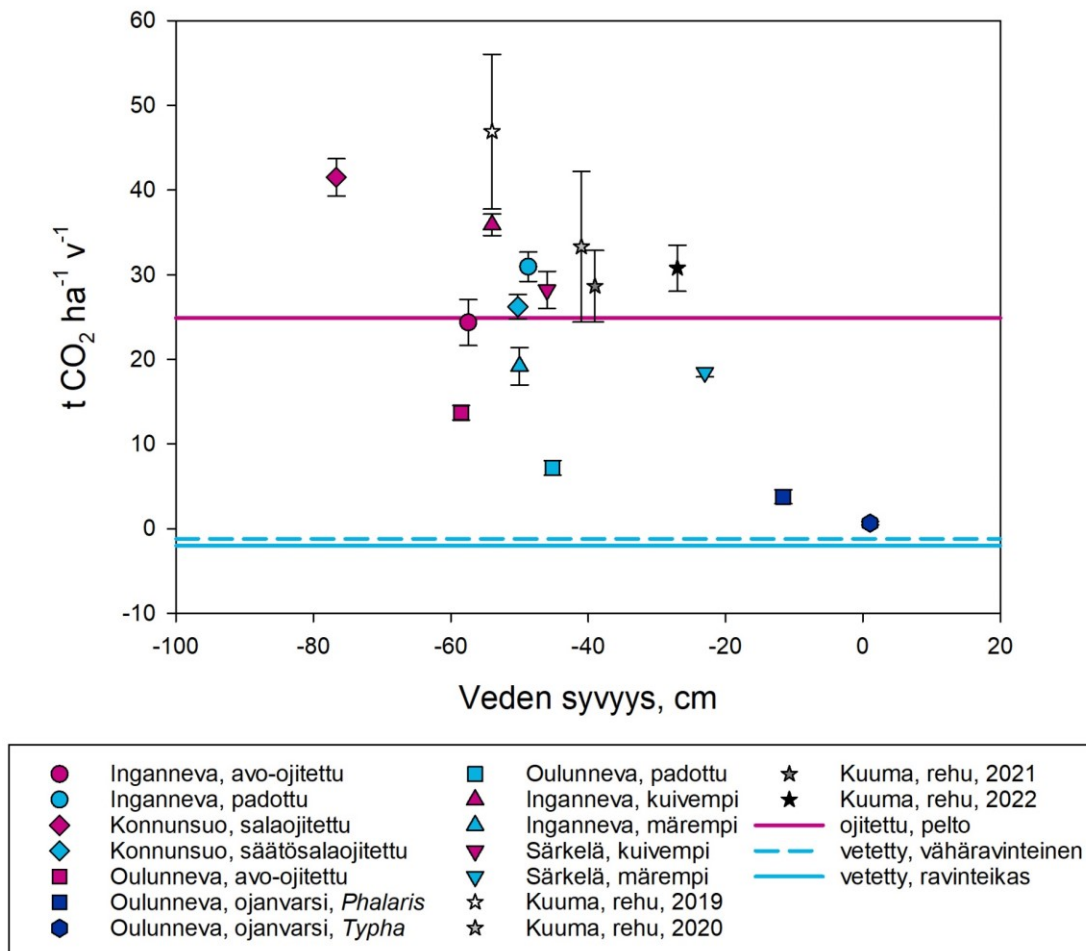
Suomalaisten tutkimuskohteiden vuotuiset dityppioksidipäästöt olivat hyvin vähäisiä, kaikilla veden syvyyksillä yhtä kohdetta lukuun ottamatta (Kuva 4). Poikkeavallakin kohteella (Kon-nunsuon kuivempi lohko)  $N_2O$ -päästöt olivat muutoin hyvin alhaiset keväällä ennen pelto-töitä mitattua suurta päästöä lukuun ottamatta (Lång ym. 2024a). Monilla kohteilla typpilannoitus oli vähäistä, mikä selittää myös kuivatetuilla peltolohkoilla havaitut pienet dityppioksidipäästöt verrattuna ojitettujen peltojen päästökertoimeen. Toisaalta Ruukin hyvin ojitetulla kohteella pellolla on normaali lannoitus ja mitatut arvot olivat silti alhaiset ja samalla tasolla muiden kohteiden kanssa. IPCC:n päästökertoimien pohjana oleva oletus, että pohjaveden noston onnistuessa päästöt ovat lähellä nollaa, vaikuttaa oikealta, mutta jatkossa vettämiskeisiin tarvittaisiin lisää tavanomaisesti typpilannoitettuja kohteita sekä onnistuneita vettämis-tilanteita.



**Kuva 4.** Turvepeltokohteiden vuotuinen dityppioksiditase vuoden keskimääräisen veden- syvyyden suhteen (Gerin ym. 2023, Lång ym. 2024a ja 2024b, Saarnio ym., *lähetetty käsikirjoitus*). Poikkiviivat kuvastavat kasvihuonekaasujen raportoinnissa käytettäviä turvemaiden päästökertoimia (IPCC 2014).

## 7. Vettämisestä vaikutus maahengitykseen

Turpeen kertyminen perustuu siihen, että märässä elinympäristössä uutta kariketta syntyy nopeammin kuin entinen ehtii vähähappisissa olosuhteissa hajota, ja jäljelle jääneet kasvijäänteet kertyvät eloperäiseksi kerrokseksi, jonka alimmat osat ovat aina veden kyllästämiä (Ingram 1978). Maaperässä olevan eloperäisen aineksen hajoamisesta vapautuvaa hiilidioksidia kutsutaan maahengitykseksi. Ojituksen seurauksena turvekerroksen pintaosat muuttuvat hapekkaaksi elinympäristöksi ja kasvijäänteet alkavat hajota aiempaa vilkkaammin. Tällöin pellon turvekerros ohenee, koska uutta kariketta syntyy hitaammin kuin vanhoja kasvijäänteitä hajoaa. Pohjavesipinnan nosto vaikuttaa suoraan hapen saatavuuteen maaperässä ja siten pienentää nopeasti hajoavan kerroksen osuutta. Yleisesti voidaan sanoa, että maahengitys vähenee sitä enemmän mitä ylempäs pohjavedenpinta turvepellolla saadaan nostettua (Kuva 5). Erityisen tärkeää olisi saada nostettua veden korkeutta kesällä, jolloin hiilidioksidipäästöt ovat suurimmillaan. Pelkkä vuoden keskimääräisen pohjaveden pinnan nostaminen ei riitä vähentämään maaperän päästöjä, mikä näkyi Kuuman ruutukoealueella, missä vesipinnan taso laski kesällä tavoitetta alhaisemmaksi (Lång ym. 2024b).

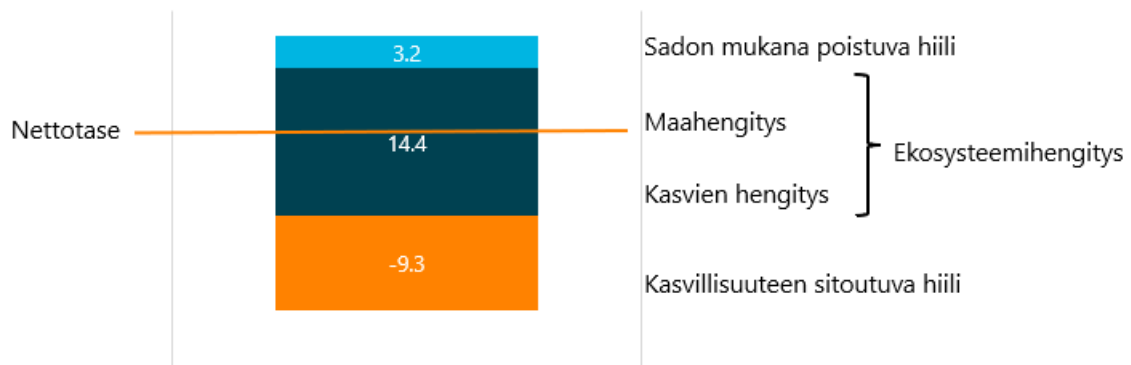


**Kuva 5.** Turvepeltokohteiden vuotuinen kasvittomalta maalta mitattu maahengitys vuoden keskimääräisen vedensyvyyden suhteen (Lång ym. 2024a ja 2024b, Saarnio ym., *lähetetty käsikirjoitus*). Poikkiviivat kuvastavat kasvihuonekaasujen raportoinnissa käytettäviä turvemaiden päästökertoimia (IPCC 2014).

Kuivempien kohteiden hiilidioksidipäästöt vastaavat hyvin tyypillisen pellon turpeen hajoamisen aiheuttaman päästön oletuskertoimen tasoa (Kuva 5). Nämä tulokset ovat kuitenkin mitattu kasvittomalta pinnalta, ja on vaikea arvioida, kuinka hyvin ne vastaavat viljelyssä olevan pellon turpeen hajoamista. Todellisuudessa kasvillisuudesta tuleva tuore hiili saattaa nostaa maaperän mikrobien hajotusaktiivisuutta, mutta toisaalta kasvillisuus viilentää maan pintaa vähentäen hajotusta. Arvion voisi perustaa myös mittauksiin, joissa on mitattu sekä yhteyttämisen sitomaa hiiltä että hengityksessä poistuvaa hiiltä (Kuva 6), mutta edelleen päästöjen raportoinnissa olennaisen ositteen, turpeen hajoamisen, päästön osuus jää epävarmaksi. Tulosten perusteella on vaikea sanoa, voitaisiinko vetetyillä pelloilla päästä nettohiilensidontaan, kuten oletuskertoimien taustalla olevassa tutkimuksessa on havaittu. Lisää tutkimustuloksia tarvitaan erityisesti vettämisikohteilta, joilla vedenpinta saadaan nostettua maanpinnan tuntuun pysyvästi.

## 8. Vettämisestä vaikutus hiilitaseeseen

Hiilidioksiditase sisältää maaperän mikrobitoiminnan seurauksena eloperäisestä aineksesta vapautuvan hiilidioksidin lisäksi myös kasvillisuuteen liittyvät hiilivuotot: yhteyttämisen mukana ilmacehästä poistuvan hiilen ja kasvien hengityksessä ilmacehään vapautuvan hiilen (Kuva 6). Turvepeltojen päästöjen raportoinnissa ja tilastoinnissa on olennaista, että raportoiduksi tulee vain turpeen hajoamisen päästö. Jos kohteella on mitattu yhteyttämisen kasvillisuuteen sitoutunutta hiiltä, tulee sadon mukana poistuvan hiilen osuus ottaa huomioon laskettaessa pellon nettotasetta.



**Kuva 6.** Esimerkki vuotuisesta hiilitaseesta turvepellolla, t C ha<sup>-1</sup> vuosi<sup>-1</sup> (Lång ym. 2025). Yhtenä vettämisestä tavoitteena on hidastaa turpeen hajoamista maahengityksessä ja siten siirtää tasetta lähemmäksi turvetta kerryttäviä, suon kaltaisia olosuhteita.

Eri kasvilajit ovat sopeutuneet elämään veden saatavuuden suhteen erilaisissa elinympäristöissä. Siksi samat kasvilajit eivät menesty yhtäläisesti kuivatulla ja vetetyllä pellolla, eikä niiden määrää ja toimintaa ole mielekästä verrata veden syvyyden ääripäissä. Poikkeuksena on kuitenkin ruokohelpi (*Phalaroides arundinacea*), jota voidaan viljellä niin kuivatetuilla kuin vetetyilläkin pelloilla. CANEMURE-hankkeen satoseurantojen perusteella maltillinen vedenpinnan nosto kesäaikaan ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi ruokohelpisadon määrään (Saarnio ym., lähetytty käsikirjoitus), mikä näkyi myös siinä, ettei vuotuisessa yhteyttämisen ollut eroa märemmän ja kuivemman alueen välillä. Ekosysteemihengitys (maaperän ja kasvien hengitys) jäi kuitenkin märemmällä alueella pienemmäksi, todennäköisesti hidastuneen maaperän hajoamisen takia, ja siten hiilidioksiditase (käytännössä nettopäästö) oli märemmässä pienempi. Nurmikohteella ojan reunassa kasvanut ruokohelpi valtasi ensin märemmän alueen pellosta ja myöhemmin myös kontrollialueen. Vertailuvuoden yhteyttämisen, ekosysteemihengityksessä ja siten taseessa ei ollut merkitsevää eroa kuivemman ja märemmän alueen välillä, vaikka ekosysteemihengitys näytti olevan suurempaa märemmässä. Koska märemmät olosuhteet vähensivät maaperän hajoamista myös tällä kohteella, niin ekosysteemihengitystulokset selittyivät ruokohelven voimakkaalla leviämisen.

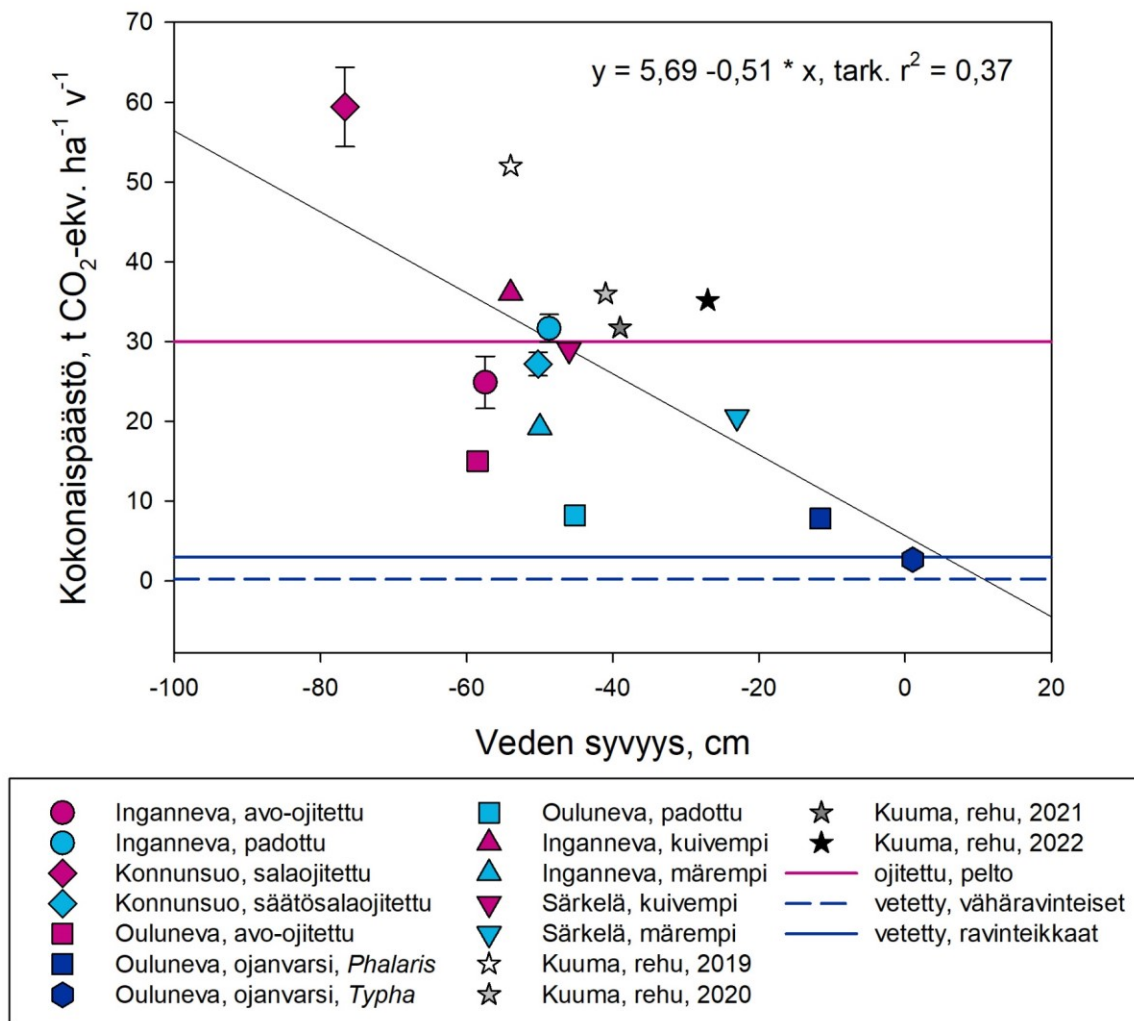
Kuuman pellon ruutukoealueella ei ollut erillisiä kuivempia ja märempiä alueita, mutta vuotuinen keskimääräinen pohjaveden syvyys vaihteli 27–54 cm pellon pinnan alapuolella nelivuotuisen kokeen aikana (Lång ym. 2024b). Rehunurmuruutujen vuotuinen yhteyttäminen, ekosysteemihengitys tai hiilidioksiditase eivät vaihdelleet keskimääräisen pohjaveden syvyyden mukaisesti. Kesantoruuduissa yhteyttäminen ja ekosysteemihengitys näyttivät lisääntyvän

pohjaveden syvyyden madaltuessa, mutta tämä selittynee sillä, että ruutujen kasvillisuus lisääntyi vuosien myötä, kun alun perin juolukalle istutettujen alueiden annettiin kehittyä viherkesannoksi. Samaan aikaan patoamis- ja pumppaamistoimin onnistuttiin keskimääräistä vedenpintaa nostamaan vuosittain entistä ylemmäs. Hiilidioksiditase ei kesantoruuduillakaan vaihdellut pohjaveden syvyyden mukaisesti. Kuumen pellollakin vedenpinnan nosto kesällä oli vaikeaa ja siten vuoden keskimääräinen vedenpinta ei täysin selittänyt edes maahengityksen vuotuista vaihtelua (Kuva 5). Siten ei ole yllättävää, että koko peltoekosysteeminkään hiilidioksiditaseet eivät vaihdelleet pohjaveden syvyyden mukaan.

Onnistuneen pohjaveden tason noston vaikutuksesta hiilidioksiditaseeseen tarvitaan enemmän tuloksia. Vaikka kasvien toimintaa (yhteyttäminen, hengitys) ei raportoida maaperäpäästöjen yhteydessä, kasvillisuus kuitenkin vaikuttaa maaperämikrobiston toimintaan muun muassa karikesyötteen ja juurieritteiden muodossa sekä kilpailemalla ravinteista ja vedestä. Siksi koko peltoekosysteemin hiilidioksidivoita olisi syytä mitata myös vettämistutkimuksissa.

## 9. Vettämisestä vaikutus kokonaispäästöihin

Hiilidioksidin osuus turvepeltomaan vuotuisista kokonaispäästöistä vaihtelee kuivimpien kohteiden lähes sadasta prosentista märimpien kohteiden 25–50 %:iin. Kuivimmilla kohteilla maaperä kulutti metaania ilmakehästä ja tällöin vuotuinen metaanivuo vähensi hiukan kokonaispäästöjä. Märmillä kohteilla metaanin osuus kokonaispäästöistä oli 50–75 %. Dityppioksidin osuus kokonaispäästöistä oli monella vähän lannoitetulla kohteella nollan tuntumassa. Mikäli dityppioksidipäästöjä oli, ne kattoivat 10–30 % kohteen kokonaispäästöistä. Yhteenlasketut maaperän vuotuiset hiilidioksidi-, metaani- ja dityppioksidipäästöt vähenivät lähes kaikilla kohteilla, jos veden korkeutta saatiin nostettua lähemmäs maan pintaa (Kuva 7). Erityisen tärkeää on saada nostettua veden korkeutta kesäaikaan, jolloin hiilidioksidipäästöt ovat suurimmillaan (Saarnio ym. *lähetetty käsikirjoitus*). Mikäli vuoden keskimääräisen vedensyvyyden ja kokonaispäästöjen välille sovitetaan regressiosuora, niin veden syvyyden vaihtelu näyttäisi selittävän vajaat 40 % kokonaispäästöjen vaihtelusta.



**Kuva 7.** Turvepeltokohteiden vuotuiset yhteenlasketut hiilidioksidi-, metaani- ja dityppioksidipäästöt maaperästä (ks. Kuvat 3–5) vuoden keskimääräisen vedensyvyyden suhteen (Lång ym. 2024a ja 2024b, Saarnio ym., *lähetetty käsikirjoitus*). Poikkiviivat kuvastavat kasvihuonekaasupäästöjen raportoinnissa käytettäviä turvemaiden päästökertoimia (IPCC 2014).

Saadun yhtälön mukaan kokonaispäästövähennemä on 5,1 t CO<sub>2</sub>-ekv. ha<sup>-1</sup> vuosi<sup>-1</sup> jokaista 10 cm suuruista veden pinnan nostoa kohden (Kuva 7). Tämä on samaa suuruusluokkaa kuin vastaava arvio globaalista aineistosta, joka antoi tulokseksi 3 t/ha hiilidioksidin ja metaanin osalta (Evans ym. 2021), sillä jos lisäksi otetaan dityppioksidi huomioon, nämä arviot lähestyvät toisiaan. Tämä on erittäin suuri päästövähennys verrattuna peltomaiden hiilensidonnalla yleisesti saavutettaviin päästövähennyksiin (0,7–1,5 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> vuosi<sup>-1</sup>; Stockmann ym. 2013, Tiefenbacher ym. 2021).

Kaikki kokeissa olleet pellot olivat olleet melko lyhyen aikaa vettämistoimien kohteena. Turvetta muodostavan kasvillisuuden kehitys saattaa viedä aikaa ja vaihdella olosuhteiden mukaan ja myös metaanipäästöt saattavat muuttua ajan kuluessa. Siksi on tarpeen saada mitaustuloksia myös pitkään vetettynä olleilta pelloilta.

## 10. Johtopäätökset

Vesipinnan etäisyys maan pinnasta on tärkein kasvihuonekaasupäästöjä säätelevä tekijä turvemailla, ja vettäminen on tehokkain tapa vähentää päästöjä ojitettujen turvemaiden maaperästä.

Maaperän hiilidioksidipäästöt vähenevät sitä enemmän mitä enemmän pohjavesitaso nousee. Myös hiilidioksiditaso pienenee, mikäli kasvillisuuden määrä ei muutu märkyden lisääntyessä.

Pohjaveden pinnan nousu noin 20 cm:n etäisyydelle maan pinnasta nostaa metaanipäästöjä maaperästä merkittävästi.

Osittainen pohjaveden pinnan nousu voi lisätä dityppioksidipäästöjä, mutta onnistunut vettäminen vähentää niitä.

Kokonaispäästöt vähenevät pohjaveden noustessa. Metaanipäästöjen nousu ei siis useimmissa tapauksissa kumoa hiilidioksidipäästöjen vähenemisestä saatavaa hyötyä.

Vettäminen onnistuminen vaatii huolellista suunnittelua ja lisäveden ohjaamista vetettävälle alueelle erityisesti lämpimimpinä kuukausina (touko-elokuu).

Tarvitaan lisää kasvihuonekaasujen mittaustuloksia onnistuneilta vettämisikohteilta, jotka ovat olleet ennen vettämistä tavanomaisesti lannoitettuja. Myös ravinteiden ja hiilen huuhtoumien muutoksesta vettäminen jälkeen tarvitaan lisää tietoa. Näin saadaan tietoa ravinteisuuden sekä erittäin märkien olosuhteiden vaikutuksesta päästöihin.

Koska pellon kuivatustila vaikuttaa kaikkien kasvihuonekaasupäästöjen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) suuruuteen, päästöjen arvioinnissa kannattaisi käyttää tietoa turvepeltojen vuotuisesta vesitaloudesta. Ojitustilanteeltaan heikentyneillä pelloilla vedenpinta voi olla tavanomaista ojitussyvyyttä korkeammalla ilman vettämistoimiakin, mikä olisi tarpeen ottaa huomioon päästöjä alentavana tekijänä.

Tässä raportissa vedettiin yhteen vain sellaisten kokeiden tulokset, joissa on aktiivisesti vaikuttettu pohjaveden pinnan tasoon ja lähitulevaisuudessa aiheeseen liittyviä julkaisuja on tulossa lisää. Lisäksi aiemmista tutkimuksista on kasvihuonekaasutuloksia erilaisista ojitus- ja viljelytilanteista. Nämä kaikki on hyvä koota yhteen kokonaisvaltaisen kuvan luomiseksi ja mahdollisimman hyvän päästöjen arviointimenetelmän kehittämiseksi.

## Viitteet

- Beyer, C. & Höper, H. 2015. Greenhouse gas exchange of rewetted bog peat extraction sites and a Sphagnum cultivation site in northwest Germany. *Biogeosciences* 12: 2101–2117. doi:10.5194/bg-12-2101-2015
- Bianchi, A., Larmola, T., Kekkonen, H., Saarnio, S. & K. 2021. Review of greenhouse gas emissions from rewetted agricultural soils. *Wetlands* 41: 108. <https://doi.org/10.1007/s13157-021-01507-5>
- EU 2024. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2024/1991, annettu 24 päivänä kesäkuuta 2024, luonnon ennallistamisesta ja asetuksen (EU) 2022/869 muuttamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1991&qid=1747202575524> . Viitattu 14.5.2025.
- Firestone, M.K. & Davidson, E.A. 1989. Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. Teoksessa: Andreae, M.O. & Schimel, D.S. (Ed.) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. John Wiley & Sons, Chichester, s. 7–21.
- Gerin, S., Vekuri, H., Liimatainen, M., Tuovinen, J.-P., Kekkonen, J., Kulmala, L., Laurila, T., Linkosalmi, M., Liski, J., Joki-Tokola, E. & Lohila, A. 2023. Two contrasting years of continuous N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluxes on a shallow-peated drained agricultural boreal peatland, *Agricultural and Forest Meteorology* 341:109630, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109630>.
- Hanson, R.S. & Hanson, T.E. 1986. Methanotrophic bacteria. *Microbiological Reviews* 60: 439–471.
- Heikkinen, J., Lång, K., Honkanen, H. & Mylly, M. 2024. Mitigation of greenhouse gas emissions by optimizing groundwater level in boreal cultivated peatland. *Wetlands* 44: 78. <https://doi.org/10.1007/s13157-024-01833-4>
- Ingram, H.A.P. 1978. Soil layers in mires: function and terminology. *Journal of Soil Science* 29(2): 224–227. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1978.tb02053.x>
- IPCC 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. & Troxler, T.G. (Ed.). IPCC, Sveitsi.
- Laine, A.M., Mehtätalo, L., Tolvanen, A., Frolking, S. & Tuittila, E. 2019. Impacts of drainage, restoration and warming on boreal wetland greenhouse gas fluxes. *Science of the Total Environment* 647:169–181.
- Liimatainen, M., Voigt, C., Martikainen, P.J., Hytönen, J., Regina, K., Óskarsson, H. & Maljanen, M. 2018. Factors controlling nitrous oxide emissions from managed northern peat soils with low carbon to nitrogen ratio. *Soil Biology and Biochemistry* 122: 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.006>
- Liimatainen, M., Lötjönen, T., Liedes, T., Läpikivi, M., Marttila, H. & Joki-Tokola, E. 2023. Turvemaat ja niiden kestävä viljely vesienhallinnan keinoin. *Vesitalous* 1: 20–24.

- Liimatainen, M., Lötjönen, T., Liedes, T., Läpikivi, M., Kinnunen, J. & Marttila H, 2024. Valuma-alueen veden varastointi maatalouden kastelukäyttöön. *Vesitalous* 1: 5–8.
- Liimatainen, M., Läpikivi, M., Liedes, T., Kinnunen, J., Niiranen, M., Lötjönen, T., Marttila, H. & Kulmala, L. 2025. Turvepeltojen ympäristövaikutusten hillintä vesienhallinnan keinoin. *Vesitalous* 1: 20–24.
- Lång, K., Honkanen, H., Kekkonen, H., Laurila, M., Nieminen, M., Saarnio, S., Sarkkola, S., Savikko, R., Sorvali, J. & Virkkunen, E. 2024a. Kosteikkoviljely ilmastonmuutoksen hillintäkeinona. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 106/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 76 s.
- Lång, K., Honkanen, H., Heikkinen, J., Saarnio, S., Larmola, T. & Kekkonen, H. 2024b. Impact of crop type on the greenhouse gas (GHG) emissions of a rewetted cultivated peatland. *Soil* 10: 827–841. <https://doi.org/10.5194/soil-10-827-2024>.
- Läpikivi, M., Liimatainen, M. & Marttila, H. 2024. Turvepeltojen valuma-alueilta vettä päästövähennyksiä varten. *Vesitalous* 6: 42–45.
- Läpikivi, M., Liimatainen, M., Klöve, B. & Marttila, H. 2025. Catchment-based approach for water table management with irrigation for cultivated peatlands. *Agricultural Water Management* 312: 109427. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109427>
- Maljanen, M., Hytönen, J. & Martikainen, P.J. 2010. Cold-season nitrous oxide dynamics in a drained boreal peatland differ depending on land-use practice. *Canadian Journal of Forest Research* 40(3): 565–572. <https://doi.org/10.1139/X10-004>.
- Maljanen, M., Liikanen, A., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 2003. Nitrous oxide emissions from boreal organic soil under different land-use. *Soil Biology and Biochemistry* 35(5): 689–700. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00085-3)
- Naukkarinen, V. 2021. Kosteikkoviljelyn kasviopas. Baltic Sea Action Group 2021.
- Niiranen, M., Kulmala, L., Läpikivi, M., Vekuri, H., Joki-Tokola, E., Lötjönen, T., Marttila, H., Lohila, A., Liski, J. & Liimatainen, M. Impact of peat depth on soil conditions, plant growth, and greenhouse gas emissions on a boreal agricultural drained peatland. *Vertaisarvioinnissa oleva käsikirjoitus*.
- Oremland, R.S. 1988. Biogeochemistry of methanogenic bacteria, Teoksessa Zehnder, A.J.B. (Ed.). *Biology of anaerobic microorganisms*. New York: John Wiley and Sons.
- Regina, K., Sheehy, J. & Myllys, M. 2015. Mitigating greenhouse gas fluxes from cultivated organic soils with raised water table. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 20: 1529–1544. DOI 10.1007/s11027-014-9559-2
- Saarnio, S., Honkanen, H., Miettinen, A. & Lång, K. Failed rewetting provided cost-effective reduction of greenhouse gas emissions at two boreal peat field sites, *vertaisarvioinnissa oleva käsikirjoitus*.

- Stockmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W., Field, D.J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A.B., Courcelles, V.D.R.D., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D.A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P.C., Chenu, C., Jastrow, J.D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.G., Parton, W.J., Whitehead, D. & Zimmermann, M. 2013. The Knowns, Known Unknowns and Unknowns of Sequestration of Soil Organic Carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 164: 80–99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>
- Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkkojulkaisu]. Viiteajankohta: 2023. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 14.5.2025]. Saantitapa: <https://stat.fi/julkaisu/cm194h-5v99n0t06uk1x01rxrg>.
- Tiefenbacher, A., Sandén, T., Haslmayr, H.-P., Miloczki, J., Wenzel, W. & Spiegel, H. 2021. Optimizing Carbon Sequestration in Croplands: A Synthesis. *Agronomy* 11: 882. 10.3390/agronomy11050882
- UNEP 2022. Global peatlands Assessment – The State of the World's peatlands: evidence for action toward the conservation, restoration, and sustainable management of peatlands. Main report. Global Peatlands Initiative. United Nations Environment Programme, Nairobi
- Yli-Halla, M., Lötjönen, T., Kekkonen, J., Virtanen, S., Marttila, H., Liimatainen, M., Saari, M., Mikkola, J., Suomela, R. & Joki-Tokola, E. 2022. Thickness of peat influences the leaching of substances and greenhouse gas emissions from a cultivated organic soil. *Science of The Total Environment* 806(1): 150499. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.-2021.150499>
- Wichmann, S., Krebs, M., Kumar, S. & Gaudig, G. 2020. Paludiculture on former bog grassland: profitability of Sphagnum farming in north West Germany. *Mires and Peat* 26:08.
- Wilson, D., Blain, D., Couwenberg, J., Evans, C.D., Murdiyarso, D., Page, S.E., Renou-Wilson, F., Rieley, J.O., Sirin, A., Strack, M. & Tuittila, E. 2016. Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. *Mires and Peat* 17:04.



**Löydät meidät  
verkosta**

**luke.fi**



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki