



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sari Kurttila

Ilmastoturit-hanke

Maahengitysmittauksen tuloksia

Opinnäytetyö
Kevät 2025
Agrologi (AMK)



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Agrologi (AMK)

Tekijä: Sari Kurttila

Työn nimi: Ilmastoturrit-hanke: Maahengitysmittauksen tuloksia

Ohjaaja: Juha Tiainen

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 45

Liitteiden lukumäärä: -

Tavoitteena tällä opinnäytetyöllä oli selvittää, onko maaperän orgaanisen aineksen määrällä, maaperän kosteudella ja maaperän lämpötilalla merkitystä maahengitysmittauksissa Ilmastoturrit-hankkeen kahdella pilottitilalla.

Ilmastoturrit-hankkeen toteutusaika oli 1.12.2019 – 31.12.2023. Hankkeen tarkoituksena oli mitata peltojen hiilensidontaa ja pyrkiä löytämään toimia, joiden avulla hiilensidontaa voitaisiin lisätä ja hiilipäästöjä hillitä, pilotoida kustannustehokkaita ideoita sekä selvittää hiiliviljelyn taloudellista hyötyä viljelijälle. Tarkoituksena oli myös tuoda esille maatalouden mahdollisuuksia sitoa hiiltä maaperään ja kykyä toimia ratkaisijana ilmastonmuutoksen hillinnässä. Mittauksissa oli käytetty LI COR -maahengitysmittaria, ja mittauksia toteutettiin kymmenellä pilottitilalla.

Maahengitysmittauksen analysointia varten valittiin kahden eteläpohjanmaalaisen pilottitilan mittausdata (tila A ja B). Molemmilla tiloilla viljeltiin toisella loholla satokasvia ja toisella loholla satokasvin lisäksi kerääjäkasvia. Mittaukset oli suoritettu lokakuussa 2023 sadonkorjuun jälkeen. Tätä opinnäytetyötä varten valittiin mittausdatasta maahengitysmittauksien tulokset sekä maaperän kosteus ja lämpötila 5 cm:n syvyydestä mitattuna.

Maaperän orgaanisen aineksen määrällä oli merkitystä maahengitysmittauksissa. Mitä enemmän orgaanista ainesta maaperä sisälsi, sitä voimakkaampi oli maahengitys. Maaperän kosteudessa oli vain vähäisiä eroja tilojen kesken ja eikä voitu osoittaa, että sillä olisi ollut vaikutuksia maahengitysmittauksissa. Maahengityksen voimakkuuteen oli vaikutusta maaperän lämpötilalla.

¹ Asiasanat: maahengitys, hiilensidonta, Ilmastoturrit-hanke

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Natural Resources, Agriculture and Rural Enterprises

Specialisation:

Author: Sari Kurttila

Title of thesis: Ilmastosituriti-projekti: Maaperän hengityksen mittaus tulokset

Supervisor: Juha Tiainen

Year: 2025

Number of pages: 45

Number of appendices: -

The goal of this thesis was to determine whether the amount of organic matter in the soil, the soil moisture, and the soil temperature have an impact on soil respiration measurement results at two pilot farms of the Ilmastosituriti (Climate Warriors) project.

Ilmastosituriti project was carried out from December 1, 2019, to December 31, 2023. The purpose of the project was to measure the carbon sequestration of fields to identify actions that could enhance carbon sequestration while reducing carbon emissions, pilot cost-effective ideas, and assess the economic benefits of carbon farming for farmers. The aim was also to highlight agriculture's potential to sequester carbon into the soil and its ability to serve as a solution in mitigating climate change. The measurements were done using a LI COR soil respiration meter, and measurements were conducted at ten pilot farms.

For the analysis of soil respiration measurements, measurement data from two pilot farms in South Ostrobothnia (farm A and farm B) were selected. At both farms, one plot was cultivated with cash crop, while another plot was cultivated with both a cash crop and a catch crop. The measurements were carried out in October 2023 after the harvest. For this thesis, soil respiration measurement results, as well as soil moisture and temperature measured at a depth of 5 cm, were selected from the measurement data.

The amount of organic matter in the soil had an impact on the soil respiration measurement results. The more organic matter the soil contained, the stronger the soil respiration. There were only minor respiration results. Soil temperature did influence the intensity of soil respiration.

¹ Keywords: soil respiration, carbon sequestration, Ilmastosituriti project

SISÄLTÖ

| | |
|---|----|
| Opinnäytetyön tiivistelmä | 1 |
| Thesis abstract | 2 |
| SISÄLTÖ | 3 |
| Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo | 5 |
| Käytetyt termit ja lyhenteet..... | 7 |
| 1 JOHDANTO | 9 |
| 2 ILMASTOSOTURIT-HANKE..... | 11 |
| 3 HIILEN KIERTO | 12 |
| 3.1 Optimaalinen hiilensidonta | 13 |
| 3.2 Alus- ja kerääjäkasvin merkitys hiilensidonnassa..... | 14 |
| 4 MAAHENGITYS | 16 |
| 4.1 Maaperän kosteuden vaikutus maahengitykseen..... | 18 |
| 4.2 Maaperän lämpötilan vaikutus maahengitykseen..... | 19 |
| 4.3 Maaperän multavuuden vaikutus maahengitykseen..... | 20 |
| 4.4 Maaperän mikrobiston vaikutus maahengitykseen..... | 22 |
| 5 MITTAUKSET JA ANALYYSIT | 23 |
| 5.1 Kammiomittaukset ja maahengitysmittaus | 23 |
| 5.2 LI COR -maahengitysmittarin käyttö..... | 25 |
| 6 MATERIAALIT JA MENETELMÄT | 27 |
| 6.1 Tila A | 28 |
| 6.2 Tila B | 30 |
| 7 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT | 33 |
| 7.1 Multavuuden vaikutus maahengitysmittaustuloksiin tiloilla A ja B..... | 34 |
| 7.2 Tilan A ja B maan kosteuden vaikutukset maahengitykseen..... | 35 |
| 7.3 Tilan A ja B maan lämpötilan vaikutukset maahengitykseen..... | 37 |
| 7.4 Yhteenveto tilojen A ja B maahengitysmittaustuloksista..... | 39 |

| | |
|-----------------|----|
| 8 POHDINTA..... | 41 |
| LÄHTEET | 42 |

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

| | |
|--|----|
| Kuva 1 LI 870 CO ₂ /H ₂ O -kaasuanalysaattori ja 8200-01s-mittauskammio..... | 25 |
| Kuva 2 Mittauskammion nelipiikkinen anturi..... | 26 |
| Kuva 3 Mittauskammio..... | 26 |
| Kuva 4 Mittaria ohjataan esimerkiksi tabletin avulla..... | 26 |
| | |
| Kuvio 1 Kerääjäkasvien kuiva-ainesatoja 1990-luvun kokeissa | 15 |
| Kuvio 2 Tila A kerääjäkasvilohko / rakennekolmio | 29 |
| Kuvio 3 Tila A ei-kerääjäkasvilohko / rakennekolmio | 30 |
| Kuvio 4 Tila B ei kerääjäkasvia / rakennekolmio..... | 31 |
| Kuvio 5 Tila B / kerääjäkasvi rakennekolmio..... | 32 |
| Kuvio 6 Maahengitysverailua tilojen A ja B kesken | 34 |
| Kuvio 7 Tila A Maahengitys / maan kosteus | 35 |
| Kuvio 8 Tila B Maahengitys / maan kosteus | 36 |
| Kuvio 9 Tila A maahengitys / maan lämpötila | 37 |
| Kuvio 10 Tila B maahengitys / maan lämpötila | 38 |
| | |
| Taulukko 1 Multavuusluokat | 21 |

| | |
|--|----|
| Taulukko 2 Tila A / kerääjäkasvilohko / NIR-analyysin fysikaalisia ominaisuuksia..... | 28 |
| Taulukko 3 Tila A / ei-kerääjäkasvilohko / NIR-analyysin fysikaalisia ominaisuuksia..... | 29 |
| Taulukko 4 Tila B ei-kerääjäkasvilohko / NIR-analyysin fysikaalisia ominaisuuksia..... | 30 |
| Taulukko 5 Tila B / kerääjäkasvilohko / NIR-analyysin fysikaalisia ominaisuuksia..... | 31 |
| Taulukko 6 Tilojen A ja B orgaanisen aineksen määrä ja multavuusluokat | 34 |

Käytetyt termit ja lyhenteet

| | |
|---|---|
| Fotosynteesi | eli yhteyttäminen. Useimmissa kasveissa sekä joissakin levissä ja bakteereissa tapahtuva reaktio, jossa ilmakehän kaasumaisesta hiilidioksidista sekä vedestä muodostuu auringon valoenergian vaikutuksesta sokeria ja happea. |
| Hiili | Hiili on elämälle välttämätön alkuaine. Hiilen kemiallinen merkki on C. |
| Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂-ekv) | Suure, jota käytetään laskemaan eri kasvihuonepäästöjen yhteenlaskettua vaikutusta ilmaston lämpenemiselle. |
| Hiilinielu | Hiilen virta, joka poistaa tai jolla poistetaan ilmakehästä hiilidioksidia. Esimerkiksi kasvit sitovat kasvaessaan hiilidioksidia, eli ne ovat hiilinielu niin kauan kuin ne kasvavat. Tärkeimpiä hiilinieluja ovat meret, metsät ja maaperä. |
| Hiilisyöte | Hiilen lisäys maaperään. Hiilisyötettä ovat esimerkiksi kasvien, niiden juuristojen ja kasvintähteiden sekä eloperäisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden hiili. |
| Hiilitase | Nettonielu, joka lasketaan sidotun ja vapautetun hiilen erotuksena tietyllä aikavälillä. Tulos voi olla positiivinen tai negatiivinen. Positiivinen hiilitase tarkoittaa, että hiiltä on sitoutunut enemmän kuin sitä on vapautunut. |
| Hiilivarasto | Hiili on varastoituna niin, että se ei ole ilmakehässä. Kasvit ovat hiilivarasto ja kun kasvi kasvaa, niiden sisältämä hiilivarasto kasvaa. Lahotessaan kasvi palauttaa hiiltä ilmakehään ja sen sisältämä hiilivarasto pienenee. |

| | |
|------------------------------|---|
| Hiiliviljely | Erilaisia maanviljelytekniikoita, joiden tarkoituksena on poistaa hiiltä ilmakehästä ja sitoa kasveihin ja maaperään. |
| Hiilivuo | Hiilen nettovaihto eli yhteyttämisen ja hengityksen välinen erotus. |
| Juurihengitys | Juurista peräisin oleva hiilidioksidipäästö |
| Maahengitys | Prosessi, jossa orgaanista hiiltä vapautuu maasta hiilidioksidina ilmakehään. |
| Maan kokonaishengitys | Maa- ja juurihengityksen summa. |
| ppm | (parts per million) prosentin ja promillen kaltainen suhteellinen suhdeyksikkö, joka ilmaisee, montako miljoonasosaa jokin on jostakin. |

1 JOHDANTO

Kansallisen ilmastolain (423/2022, 2§) mukaan Suomen kasvihuonepäästöjen nettopäästöjen tulisi olla nollassa tai negatiiviset vuoteen 2035 mennessä. Vuoteen 2030 mennessä kokonaispäästöjä tulisi vähentää 60 prosenttia verrattuna vuoden 1990 tasoon. Suurimpia päästöjen aiheuttajia ovat tieliikenne (35 %) ja maatalous (23 %) (Ympäristöministeriö, 2024, s. 26). Maatalouden kasvihuonepäästöt jakautuivat vuonna 2023 seuraaville sektoreille: maatalousmaat 55 %, kotieläinten ruoansulatus 31 %, lannankäsittely 11 % ja kalkitus 3 % (mts, s. 56). Noin kolme neljäsosaa maatalouden kokonaispäästöistä on maaperään liittyviä päästöjä, kun mukaan luetaan hiilidioksidipäästöjen lisäksi dityppioksidipäästöt (mts, s. 57). Eloperäisiin eli turvemaihin näistä kohdistuu noin kolme neljäsosaa. On kuitenkin hyvä tietää, että maatalous ei ole vain kasvihuonepäästöjen lähde, vaan se on metsien ohella yksi harvoista sektoreista, joka pystyy myös sitomaan ilmakehästä hiiltä maaperään. Suotuisat viljelykäytännöt, kuten talviaikainen kasvipeitteisyys, monimuotoisen nurmen kasvattaminen ja kevennetyn maan muokkauksen käyttäminen, ovat tapoja, joilla on mahdollista sitoa hiiltä maaperään.

Ilmastositurit-hankkeen toteutusaika oli 1.12.2019–1.12.2023. Toteuttajina toimi useita tahoja. Hankkeen tavoitteena oli mitata peltojen hiilensidontaa ja pyrkiä löytämään toimia, joiden avulla hiilensidontaa voitaisiin lisätä ja hiilipäästöjä hillitä. Tavoitteena oli myös löytää ja pilotoida kustannustehokkaat ideat sekä selvittää hiiliviljelyn taloudellista hyötyä viljelijälle. Tarkoitus myös oli tuoda esiin positiivisella tavalla faktoihin perustuvia tietoja maatalouden mahdollisuuksista sitoa hiiltä maaperään ja kykyä toimia ratkaisijana ilmastonmuutoksen hillinnässä.

Tässä opinnäytetyössä paneudutaan Ilmastositurit-hankkeen tutkimustuloksiin ja tehdyistä tutkimustuloksista tähän opinnäytetyöhön on valittu maahengitysmittaukset sekä maaperän kosteus ja lämpötila 5 cm:n syvyydeltä mitattuna. Aiemmin tehtyjen tutkimusten mukaan maahengitykseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa maaperä, kasvukauden ajankohta, lämpötila ja maaperän kosteus. Tässä opinnäytetyössä tutkimuskysymyksenä on, millä tavalla Ilmastositurit-hankkeen maahengitysmittauksen tuloksiin on ollut

vaikutusta maaperän kosteudella, maaperän lämpötilalla ja maaperän multavuudella.

Hankkeen tutkimustuloksista on valittu kahden eteläpohjanmaalaisen koetilan koeruutuja, joissa mittauksia on tehty. Molemmat tilat on jaettu kahteen osaan, joissa toisessa on kasvatettu pelkästään satokasvia ja toisessa satokasvin lisäksi kerääjäkasvia. Maahengitysmittaukset on toteutettu lokakuussa 2023 sadonkorjuun jälkeen.

2 ILMASTOSOTURIT-HANKE

Ilmastosoturit -hankkeen toteutusaika oli 1.12.2019 – 31.12.2023 (Latvala, 2023). Toteuttajina toimivat ProAgria Etelä-Pohjanmaa (hankkeen hallinnoija), Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK) ja Luonnonvarakeskus (Luke). Rahoittajana oli Manner-Suomen maaseudun kehittämisrahasto (80 %). Hankkeen tavoitteena oli mitata peltojen hiilensidontaa ja pyrkiä löytämään toimia, joiden avulla hiilensidontaa voitaisiin lisätä ja hiilipäästöjä hillitä. Tavoitteena oli myös löytää ja pilotoida kustannustehokkaat ideat sekä selvittää hiiliviljelyn taloudellista hyötyä viljelijälle. Tarkoitus myös oli tuoda esiin positiivisella tavalla faktoihin perustuvia tietoja maatalouden mahdollisuuksista sitoa hiiltä maaperään ja kykyä toimia ratkaisijana ilmastonmuutoksen hillinnässä.

Mukana oli 10 pilottitilaa, joilla oli erilaisia koelohkoja (Latvala, 2023). Toimenpiteinä koelohkoilla olivat nurmien lajikkeiden monipuolistaminen, rotaatiolaidunnus sekä kerääjäkasvit yksivuotisilla viljelykasveilla. Koelohkolla tehtiin seuraavia mittauksia:

- maa-analyysejä hankkeen alussa ja lopussa sekä maaskannaus
- kasvustonäytteet ja kartoitukset dronella biomassamäärittämistä varten
- maahengitysmittaukset ja fotosynteesimittaukset nurmikierron mukaan ja kerääjäkasvilohkoilla.

Tässä opinnäytetyössä analysoidaan maahengitysmittauksen tuloksia kahdelta pilottitilalta, joilla molemmilla kasvatettiin toisella lohkolla viljan ohella kerääjäkasveja ja toisella pelkääjänä viljaa satokasvina.

3 HIILEN KIERTO

Hiili on ilmakehässä hiilidioksidina (Pietola, 2019, s. 21). Yhteyttämisen eli fotosynteesin kautta hiili päätyy osaksi maatalan hiilen kiertoa. Kasvava kasvillisuus sitoo ilmakehästä yhteyttäessään hiiltä biomassaan. Hiiltä sitoutuu lehtiin, kukintoihin, siemensatoon, juuriin sekä edelleen maaperän maa-ainekseen ja mikrobeihin. Hiilidioksidista osa palaa takaisin ilmakehään kasvien hengityksessä ja orgaanisen aineksen hajotuksessa. Yhteyttämisen tuloksena hiilidioksidi ja vesi muodostavat kasvissa aurinkoenergian avulla sokeria ja edelleen kasvibiomassaa ja samalla happea vapautuu. Kasvibiomassa tarvitsee hiilen, vedyn ja hapen lisäksi muitakin ravinteita kasvua ja biokemiallisia reaktioita varten. Aikaa myöten kasvi maatuu hajottajien toimesta. Kasvin maatuessa osa hiilestä vapautuu ilmakehään hiilidioksidina, osa taas siirtyy mikrobimassaan ja osa maapartikkelien sitomaksi lima-aineksi, joka lujittaa maan mururakennetta. Osa maaperän orgaanista hiiltä on myös kasvavan kasvin juuret ja juurieritteet.

Maaperän hiilestä suurin osa on varastoituneena sedimenttikivilajeihin orgaanisina yhdisteinä ja karbonaattina (Pahkala, 2008, s. 10). Tässä muodossa hiili on erittäin pysyvää eikä se näin ollen käytännössä osallistu hiilen globaaliin kiertoon. Maaperän suurimmat hiilivarastot Suomessa sijoittuvat luonnontilaisiin soihin.

Fotosynteesin seurauksena hiilidioksidia sitoutuu kasviin, joten hiilensidonnain edellytyksenä on auringon säteily (Luojukoski, 2023). Tämän lisäksi kasvi tarvitsee sopivasti vettä ja lämpöä. Kasvin kärsiessä kuivuudesta kasvi sulkee ilmarakojansa, jotta siihen imeytynyt neste ei haihtuisi ilmaan. Tällöin kasvi ei kykene sitomaan hiilidioksidia ilmakehästä. Tällaisessa tilanteessa lämpimänä kesäpäivänä kasvi ja maaperä saattavat vapauttaa hiilidioksidia voimakkaasti. Ilmaston muuttuessa lämpimämmäksi Suomen kesinä on koettu pitkiä kuivia kausia, jotka ovat olleet viljelymaille kohtalokkaita. Ilmaston lämpeneminen lisää kasvihuonekaasupäästöjä, mikä aiheuttaa ilmastonmuutoksen etenemisen. Kasvi- ja maahengitykseen eli respiraatioon vaikuttaa eniten maan lämpötila. Talvisin, kun auringon säteily on heikkoa ja maaperä on kylmä, hiiltä ei sitoudu, mutta ei myöskään vapaudu suuria

määriä. Voimakkaimmillaan hiilidioksidipäästö on kesäöisin. Aurinkoisena kesäpäivänä hiilidioksidia sitoutuu voimakkaasti, mutta yöllä suuri osa vapautuu takaisin ilmakehään.

Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on noin 385 ppm ja se kasvaa noin 2 ppm vuodessa (Hiilipuu, i.a.-a). Pitoisuus vaihtelee pohjoisella pallonpuoliskolla jonkin verran vuodenaikojen mukaan. Alhaisimmillaan hiilidioksidipitoisuus on kesäisin, koska hiilinielu on silloin voimakkaimmillaan ja korkeimmillaan talvisin. Vaihtelua on myös päivän aikana. Keskipäivän aikaan hiilidioksidipitoisuus on alhaisimmillaan hyvin sekoittuneen ilmakehän ja yhteyttämissen takia. Tyyninä öinä pitoisuus on korkeimmillaan maan pinnan läheisyydessä, koska ilmakehä ei sekoitu ja maaperän vapauttama hiilidioksidi jää lähelle maan pintaa.

Arvioidaan, että maaperässä on hiiltä jopa kolme kertaa enemmän kuin ilmakehässä (Heimch ym, 2020, s. 4). Maaperän hiilivaraston arvioidaan olevan 1500–2400 gigatonnia ja hiilivaraston arvioidaan ulottuvan 1–2 metrin syvyydessä olevaan kerrokseen. Hiilivaraston määrä on noin 300–500 kertaa vuotuisten fossiilisista polttoaineista syntyvän hiilipäästön määrä. Tästä on saanut alkunsa niin sanottu neljän promillen aloite, jonka Ranska teki Pariisin ilmastokokouksessa vuonna 2015. Kasvattamalla vuosittain neljä promillea pelto- maiden hiilivarastoja voidaan iso osa fossiilisten polttoaineiden käytöstä peräisin olevasta lisähiilestä sitoa pois ilmakehästä. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisun Hiilineutraali Suomi 2035 (2022, s. 25) mukaan valtioneuvoston esittämät kansalliset toimenpiteet ovat maatalouden päästövähennystoimia erityisesti turvemaiden päästöjen hillitsemiseen, kuten turvemaiden viljelyyn korotetulla veden pinnalla, kivennäismaiden hiilensidonnan lisäämiseen, täsmäviljelyyn sekä lypsylehmien metaanituoton vähentämiseen.

3.1 Optimaalinen hiilensidonta

Ajatellen optimaalista hiilen sidontaa on tärkeää, että maaperä on hyvässä kunnossa ja kasvustot terveitä ja vahvoja (Peltonen, 2019, s. 25). Ilmakehästä hiilidioksidi sitoutuu sitä tehokkaammin kasvustoon mitä elinvoimaisempia kasvustot ovat, ja elinvoimainen kasvusto käyttää myös ravinteita tehokkaasti hyödyksi. Maaperän hiilivarastoihin voidaan vaikuttaa hyvillä viljelykäytännöillä. Hyvien viljelykäytäntöjen avulla hiilisyötettä voidaan lisätä

maaperään ja samalla hidastetaan ihmistoiminnan aiheuttamaa orgaanisen aineksen hajoamista maaperässä. Samalla nämä menetelmät tukevat myös tuottavuuden ja kannattavuuden parantumista.

Tehokkaat keinot saada peltomaan hiilitase positiiviseksi, ovat loppujen lopuksi melko helppoja viljelytoimenpiteitä (ProAgria, i.a). Näihin toimenpiteisiin kuuluvat esimerkiksi kasvipeitteisen ajan pidentäminen, monivuotisten nurmien ja syväjuuristen kasvien ottaminen mukaan viljelykiertoon ja maan muokkausmenetelmien keventäminen.

Hiilinieluilla tarkoitetaan ekosysteemiä, joka kerää ja varastoi enemmän hiiltä kuin vapauttaa (Luojukoski, 2023). Kasvin fotosynteesitehon lisäksi ekosysteemin hiilen pidätyskyvyllä on suuri vaikutus hiilinieluihin. Voimakkaasti muokattava ekosysteemi, esimerkiksi viljapello, ei yleensä toimi hiilinieluna vuositasolla, vaan hiiltä vapautuu enemmän kuin sitoutuu.

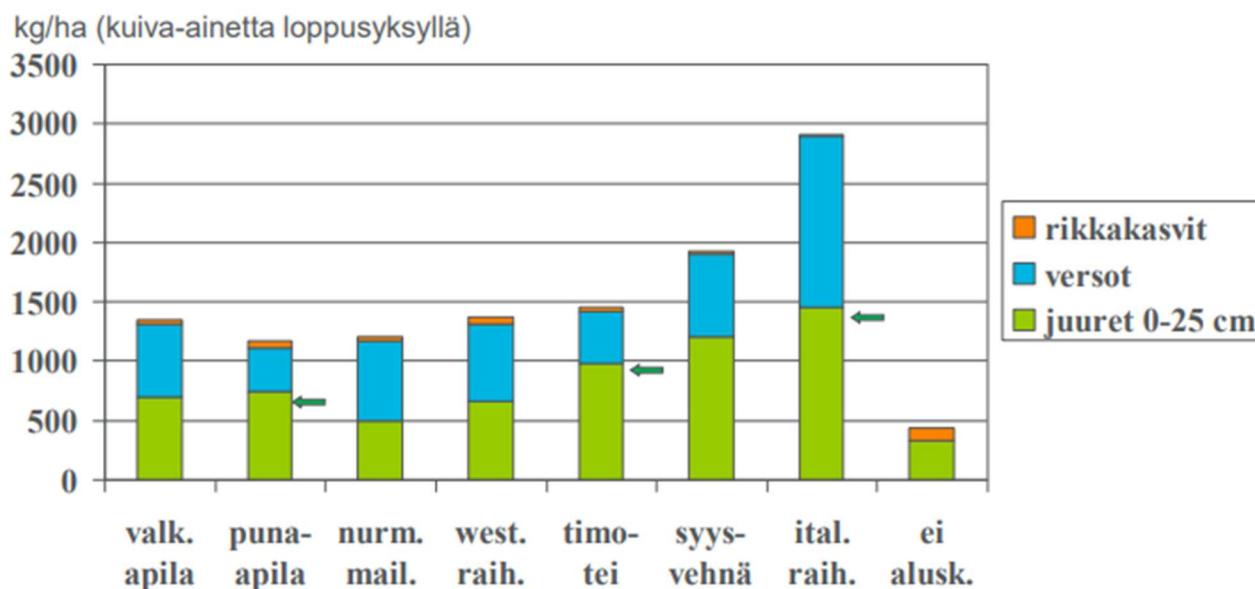
3.2 Alus- ja kerääjäkasvin merkitys hiilensidonnassa

Alus- ja kerääjäkasvit ovat satokasvin oheen kylvettäviä kasveja, jotka jatkavat kasvua ja yhteyttämistä satokasvin korjuun jälkeenkin (Lillvik & Perälä, 2023). Kerääjäkasvin avulla pyritään maksimoimaan vihreän kauden aika pellolla ja näin saadaan myös hiilidioksidia sidottua ympäri vuoden. Kerääjäkasvin valintaan vaikuttavia seikkoja voi olla yhteyttämisen maksimointi, mutta kerääjäkasvi voi myös sitoa satokasvista ylijääneitä ravinteita orgaaniseen muotoon, jolloin ne eivät päädy kuormittamaan vesistöjä ja arvokkaat ravinteet saadaan hyötykäyttöön. Typensitojakasveja, kuten esimerkiksi apilaa, valittaessa saadaan sidottua typpeä ilmakehästä orgaaniseen muotoon, mikä myös hyödyttää maaperän pieneliöstöä.

Alus- ja kerääjäkasvit kuivattavat maata ja suojaavat maaperää eroosiolta, mikä on tärkeää erityisesti, jos sadonkorjuukausina on sateista (Peltonen, 2019, s. 36). Jätettäessä kasvusto talven ajaksi pellolle vaikutukset ovat parhaimmat. Hiilensidonnassa kannalta

parasta olisi, jos biomassa kerääjäkasvilla on merkittävä. Ratkaisevaa on, miten voimakkaasti ne pääsevät kasvun alkuun pääkasvin sadonkorjuun jälkeen.

Kerääjäkasvit ennen kaikkea auttavat ilmastotoimissa lisätessään hiiltä maahan pelkkään satokasvin viljelyyn verrattuna (Känkänen, 2022, s. 2). Kerääjäkasvit voivat auttaa ilmastoviisaassa viljelyssä myös välillisesti muun muassa parantamalla maan kasvukuntoa ja suurentamalla satoja pitkällä aikavälillä. Kun pellon ojitukset ovat kunnossa kerääjäkasvinkin toimii paremmin. Juurissa on suurin osa kasvin biomassasta ja sillä on merkitystä versojen sisältämää biomassaa enemmän. Tällä on merkitystä maan kuohkeudelle, elävyydelle ja hiilisyötteelle (mts, s. 21). Kuviossa 1 on kerääjäkasveina käytettyjen kasvien kuiva-ainepitoisuuksia loppusyksyllä 1990. Kerääjäkasvin ilmastohyötyjä voidaan lisätä muun muassa pidentämällä kasvuaikaa, käyttämällä vahvasti kasvavia lajeja ja käyttämällä kasviseoksia (mts, s. 22). Kasvuaikaa voidaan pidentää tekemällä kylvö ajoissa sekä lopettamalla myöhään syksyllä tai vasta keväällä, näin juurten biomassaa lisääntyy ja juuret kasvavat syvemälle. Kasviseoksia käyttämällä varmistetaan kasvu- ja hajoamisnopeuden erot.



Kuvio 1 Kerääjäkasvien kuiva-ainesatoja 1990-luvun kokeissa (Luke, 2022)

4 MAAHENGITYS

Kasvin yhteyttämisen aikana sidottu hiili päätyy lopuksi maahan karikkeena, kuolleina juurina ja yksittäisinä kasveina (Hiilipuu, i.a.-b). Maahan päätynyt hiili vapautuu hitaasti hiilidioksidina ilmakehään. Maahengitykseksi kutsutaan eri lähteistä muodostuvaa maan kokonaishiilidioksidipäästöä. Se muodostuu lähinnä kahdesta päätekijästä: juurten kasvu- ja yläpitohengityksestä sekä kuolleen orgaanisen aineen hajotuksesta. Hajottajaeliöstö saa kuolleesta orgaanisesta aineksesta ravintoa, minkä seurauksena hiilidioksidia vapautuu soluhengityksessä.

Maahengitys voidaan jakaa kahteen erilliseen prosessiin: heterotrofiseen hengitykseen eli kuolleen orgaanisen aineksen hajotuksessa vapautuvaan maahengitykseen ja autotrofiseen hengitykseen eli kasvinjuurten ja niiden pinnalla elävän mikrobiston soluhengitykseen eli juurihengitykseen (Salko, 2020, tiivistelmä). Heterotrofisen hengityksen kasvaminen suhteessa karikkeen muodostumisnopeuteen tarkoittaa hiilivaraston pienenemistä maaperässä, kun taas autotrofisen hengityksen kasvaessa kasvien aktiivisuus kasvaa ja juuristoon varastoituvan hiilen määrä kasvaa. Maaperän kokonaishengityksestä juurihengitys tuottaa 40–60 % (Raich & Schlesinger, 1992, Pahkalan, 2008, s. 15 mukaan). Tähän osuuteen vaikuttaa vuodenaika (Byrne & Kiely, 2006, Pahkalan, 2008, s. 15 mukaan). Nurmella tehdyissä tutkimuksissa juurihengityksen todettiin olevan suurimmillaan kesän kasvukaudella, jolloin se oli 50 % ja muina aikoina se jäi 40 %:iin. Turvemaalla taas mikrobitoiminnan on todettu aiheuttavan suurimman osan kokonaishengityksestä, tällöin juurihengityksen osuus kokonaishengityksestä on ollut 35–45 % (Silvola ym. 1996, Pahkalan, 2008, s. 15 mukaan).

Hajottajaeliöstön ja juurten hengityksen suuruutta pidetään yhtenevinä, mutta tutkimustulosten perusteella suhteen arvellaan vaihtelevan niin, että juurten hengitys olisi 30–70 % maahengityksestä (Hiilipuu, i.a.-b). Maahengityksen nopeuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten erityisesti maan lämpötila ja maan kosteus. Mitä lämpimämpi maa on, sitä voimakkaampaa aktiivisuus on hajottajaeliöstöllä ja juurilla ja maahengitys sitä myöten

kiivaampaa. Hajottajaeliöstö ja juuret tarvitsevat toimiakseen myös kosteutta, joten niiden aktiivisuus ja siten myös maahengitys laskee maan kuivuessa.

Kun tehdään kasvuston hiilidioksidipitoisuusmittauksia, niin tyypillisesti kasvustosta mitataan hiilidioksidin uloshengitystä, mutta voidaan seurata myös hiilen varastoitumista ja jäljittää sekä biologisia sekä geokemikaalisia prosesseja (Luojukoski, 2020, s. 9). Useimmin hiilidioksidivuon mallintamisessa hyödynnetään tarkoitusta varten rakennettua kammiojärjestelmää. Kaasu kulkee kammiossa mittalaitteen läpi ja palaa takaisin varsinaiseen kammiotilaan. Mittauspiste voi sijaita joko kammion yläosassa tai varsinaisen kammiotilan ulkopuolella, jolloin kaasu johdetaan mittalaitteelle putken tai letkun avulla. Useimmiten kammio tai sen kansi on avattavissa moottorin avulla automaattisesti tietyin aikaväleihin. Silloin ilma vaihtuu kammion sisällä tehokkaasti ja hiilidioksidin määrästä uloshengityksessä saadaan mahdollisimman realistisia mittatuloksia. Dataa on kuitenkin osattava tulkita oikein ja virheelliset tulokset poistettava analyysistä. Usein kammio sisältää myös koneellisesti toimivan tuulettimen, jonka tuuletusnopeus on riippuvainen mitattavasta kohteesta ja kammiojärjestelmän koosta. Käytetään myös usein ulostuloreikää, joka pitää paineen tasaisena kammiossa. Hiilidioksidivuolla tarkoitetaan hiilidioksidin kulkeutumista ilmakehän sekä kasvillisuuden ja maaperän välillä (Jylhä, 2017, s. 7). Hiilidioksidivuota mitataan massayksikkönä tai mooleina aikayksikköä ja pinta-alaa kohden.

Ilmastonmuutoksen myötä kuivemmaksi tai lämpimämmäksi muuttuva ilmasto voi vaikuttaa muutokseen maasta ilmakehään hiilidioksidina vapautuvan hiilen poistumisnopeuteen ja tämän takia lämmittää ilmastoa entisestään (Salko, 2020, Tiivistelmä). Tutkimuksessa, jossa maahengityksen kehittymistä kuivuudessa boreaalisen metsämännyn kasvualustalla, todettiin, että tärkeimpiä maahengitystä ajavia tekijöitä ovat lämpötila ja kosteus, ja erot orgaanisen hiilen kertymisessä selittyvät pitkälti niillä ja lisäksi hiiltä kerryttävän karikkeen laadulla. (mm. Witkamp 1966, Borken ym. 2002, Högberg ym. 2001, Salko, 2020, s. 1 mukaan). Kasvillisuuden kasvu ja hengitys sekä kuolleen biomassan hajoaminen ovat viileissä ilmastoissa hitaampia prosesseja kuin lämpimämissä ilmasto-oloissa (Dixon ym. 1994, Salko, 2020, s. 1 mukaan). Borealisessa metsämaassa hiiltä kertyy maaperään

enemmän kuin mitä siitä poistuu, jolloin maaperä toimii hiilen varastona (Post ym. 1990, Salko, 2020, s. 2 mukaan).

4.1 Maaperän kosteuden vaikutus maahengitykseen

Metsäekosysteemissä kuivuuden on havaittu vaikuttavan autotrofiseen hengitykseen. Vedensaannin ollessa heikkoa, kasvit joutuvat rajoittamaan veden haihdutusta lehdistä (Farquhar ym. 1989, Salko, 2020, s. 6 mukaan). Hiilenotto kasviin tapahtuu lehden ilmarakojen kautta. Vesimolekyylit haihtuu lehdestä ilmaraon kautta, hiilidioksidi siirtyy ilmasta saman ilmaraon kautta lehteen. Kasvien kärsiessä kuivuudesta, kasvi vähentää haihdutustaan pienentämällä ilmarakojen aukioloastetta, tällöin hiilidioksidin kulku hidastuu ja ilmaraon sisäinen hiilidioksidipitoisuus laskee. Sidottu hiili siirtyy muihin osiin kasvista, jossa se joko varastoituu osaksi kasvin rakenteita tai poistuu ilmaan kasvin hengittäessä (Högberg ym. 2005b, Salko, 2020, s. 6 mukaan).

Maaperän vesipitoisuudella on vaikutusta niin kasvien ja mikrobien veden saantiin kuin myös maan ilmavuuteen, liukoisen aineksen määrään, osmoottiseen paineeseen ja maaperän happamuuteen (Pahkala, 2008, s. 13). Vedellä on vaikutusta myös kaasujen kulkeutumiseen, kaasujen diffuusio on n. 10000 kertaa pienempää vedessä kuin ilmassa. Tämän takia maaperän huokoisuudella ja vedenkyläisyysasteella on merkittävä vaikutus maaperästä ilmakehään suuntautuvan hiilidioksidivuon suuruuteen. Maaperän optimaalinen hengitys vaatii riittävää vesimäärää (Akinremi ym., 1998, Pahkala, 2008 s. 21 mukaan), mutta liiallinen vesimäärä rajoittaa hengitystä. Karkeat maalajit ovat alttiita kuivumiselle, ja kuivuus saattaa rajoittaa maahengitystä, jos on vähäsateisia kausia (Pahkala, 2008, s. 22).

Bourman ja Brylan (2000, s. 218) tekemässä tutkimuksessa liittyen sitruspuiden maaperään juuri- ja maaperän hengitysnopeudet olivat samanlaiset useimmissa maaperän kosteusolosuhteissa maaperässä, kuten maaperässä, jossa hiekan, lietteen ja saven prosentiosuudet vaihtelivat maaperän välillä. Ainoastaan kastelun jälkeen hiilidioksidipäästö maanpinnasta vaihteli maaperän välillä. Hiilidioksidipäästö oli paljon rajoitetumpaa kastelun jälkeen hienorakenteisemmassa maaperässä kuin hiekkamaissa, koska huokoisuus on

vähentynyt hienorakenteisemmassa maaperässä. Näin ollen hiilidioksidi säilytti korkeimmat pitoisuudet hienorakenteisemmassa maaperässä. Tämän tutkimuksen perusteella muutokset maaperän kosteudessa voivat vaikuttaa hiilidioksidin ulosvirtaukseen perustuviin juuri- ja maahengitysmittauksiin, erityisesti hienorakenteisessa maaperässä.

Pellon alla -webinaarissa (2024) Tuomas Mattila kertoo termistä hyötyvesikapasiteetti, joka tarkoittaa kasvien hyödynnettävissä olevasta veden määrästä. Kenttäkapasiteetti tarkoittaa, että pelto ei enää ole litimärkä, mutta sen kosteutta on edelleen paljon ja sitä ei ole vielä käytetty. Eli siinä tilanteessa, kun ylimääräinen vesi on valunut pois, ollaan kenttäkapasiteetissa ja sitten, kun maa kuivuu, lopulta tulee vastaan lakastumisraja, jolloin kasvit eivät toivu, vaikka kastelua tulisi. Kenttäkapasiteetin ja lakastumisrajan välissä hyötyvesikapasiteetti on se määrä vettä, joka on kasveille käyttökelpoista. Hyötyvesikapasiteetti kertoo, montako millia ruokamultakerroksessa on vettä ja kasvien hyödynnettävissä. Hyvässä kasvuvaiheessa kasvit käyttävät noin 25 mm vettä viikossa. Jos hyötyvesikapasiteetti on 25 mm ja jos ei sada, niin viikon päästä tulee kuivuudesta aiheutuvia ongelmia. Kuivuusstressi seuraa, kun puolet hyötykapasiteetista on käytetty. Puolet hyötyvesikapasiteetista on helposti kasvien käytössä, mutta loput puolet on huonommin hyödynnettävissä, jolloin kasvi joutuu sulkemaan huulisoluja, jotta ei menettäisi kosteutta liian paljon, mikä aiheuttaa sen, että yhteyttäminen heikkenee. Yhteyttäminen heikkeneminen tarkoittaa myös, että sillä on vaikutuksia maahengitykseen.

4.2 Maaperän lämpötilan vaikutus maahengitykseen

Ilmastonmuutos vaikuttaa maapallon pohjoisiin alueisiin lämmittäen ilmastoa, mikä nopeuttaa pohjoisten ekosysteemien ravinnekiertoa (IPCC, 2014, Salko, 2020 s. 3–4 mukaan). Vuosien 1901–2012 aikana viileällä vyöhykkeellä on havaittu 1–2,5 °C:n keskimääräinen nousu lämpötilassa. Vastaavalla tavalla sademäärän on havaittu kasvaneen vuosien 1951–2010 aikana. Lämpötilan noustessa kasvien yhteytys- ja hengitysnopeus kasvaa ja tämän takia kasvien elintoiminnot nopeutuvat myös juuristossa. Samoin kuin kasvien toiminta, myös orgaanisen aineen hajotus maaperässä on riippuvainen lämpötilasta, ja hajotettava eliöstö toimii nopeammin lämpimissä olosuhteissa ja vaikuttaa maahengitystä

kiihdyttävästi. On arvioitu, että ilmastonmuutos muuttaa boreaalisten alueiden olosuhteita niin, että kasvukaudet ovat pidempiä ja lämpimämpiä, ja kasvukauden ulkopuolinen aika muuttuu nykyistä sateisemmaksi.

Ilmakehän ja maaperän lämpötila vaikuttaa maahengityksen määrään (Pahkala, 2008, s. 21). Maahengitys lisääntyy, kun lämpötila nousee. Maaperän lämpötilalla on vaikutusta suoraan sekä fysikaalisiin että kemiallisiin ominaisuuksiin, muun muassa maaperän tilavuuteen, paineeseen ja diffuusion (Paul & Clark, 1989; Pahkala, 2008, s. 21 mukaan). Vaikka maaperän hiilidioksidituotto on riippuvainen maaperän lämpötilasta, pohjoisten ekosysteemien maahengityksen on todettu olevan samansuuruinen tai jopa korkeampi kuin lämpimissä ilmanaloissa (Koizumi ym. 1996, Pahkala, 2008, s. 21 mukaan). On arveltu tämän johtuvan mikrobien kyvystä sopeutua kylmiin olosuhteisiin. Maahengitys on mahdollista jopa talvisin, kun maaperän lämpötila on lähellä 0 °C, johtuen juuri mikrobien kyvystä sopeutua. On havaittu, että turvepelloilla hiilidioksidia voi vapautua jopa maaperästä, jonka koko 50 cm paksu turvekerros on jäässä eli talvenaikaiset hiilidioksidipäästöt voivat olla merkittäviäkin (Lohila, ym. 2004, Pahkala, 2008, s. 21 mukaan).

4.3 Maaperän multavuuden vaikutus maahengitykseen

Maaperä on sitä multavampaa mitä enemmän siinä on eloperäistä ainesta, ja maan multavuus määrittää myös keskeisesti maan kasvukunnon (Ylihalla & Simojoki, i.a., s. 58). Multavuudella on vaikutusta vedenpidätyskykyyn ja kuohkeuteen ja multavassa maassa on yleensä luonnostaan enemmän käyttökelpoista tyypeä kuin vähämultaisessa maassa. Maan muokkautuvuus vähenee, veden ja ravinteiden pidätyskyky heikkenee ja alttiut eroosiolle lisääntyy, jos orgaanisen aineksen pitoisuus pienentyy (mts, s. 61). Kun organismit käyttävät hiiliyhdisteitä elintoimintoihinsa, orgaaninen aine hapettuu biologisesti hiilidioksidiksi.

Multavuus pidättää ravinteita ja vettä käyttökelpoiseen muotoon ja edesauttaa hyvän maan rakenteen muodostumista ja ruokkii maaperäneliöitä (Mattila & Rajala, 2018, s. 16). Kivennäismailla Suomessa multavuus vähenee 200–300 kg vuodessa hiilenä mitattuna. Kehitys

on huolta herättävä, koska multavuus on sidoksissa viljelyn kannattavuuteen. Ilmaston vaikutus olisi myös merkittävä, jos multavuus saataisiin kasvuun. Multavuus koostuu mikrobिताhteista, jotka ovat päätyneet suojaan hajotukselta. Jos multavuutta halutaan lisätä, kasvintähteet on saatava mikrobien käsittelemiksi ja suojaan hajotukselta. Maahan olisi hyvä saada muodostumaan hyviä, liettymistä kestäviä muruja. Murujen hajoaminen voimakkaan muokkauksen tai liettymisen vuoksi johtaa hiiliyhdisteiden vapautumiseen ja nopeaan hajoamiseen. Tehokkain tapa saada hyviä muruja on viljellä tiheäjuurisia nurmia, huolehtia pellon riittävästä kuivatuksesta ja muokata maata mahdollisimman hellävaroin. Maa jaetaan orgaanisen aineksen suhteellisen osuuden mukaan kuuteen eri multavuusluokkaan taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1 Multavuusluokat

| Orgaanisen aineksen osuus % | Multavuusluokka | Lyhenne |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 0-3 | vähämultainen | vm |
| 3-6 | multava | m |
| 6-12 | runsasmultainen | rm |
| 12-20 | erittäin runsasmultainen | erm |
| 20-40 | multamaa | Mm |
| >40 | turvemaa | esim. Lct, St, ... |

Maahengityksen suuruuteen vaikuttaa maaperän koostumus vedensitomiskyvystä ja maaperässä olevasta hajoavan aineksen määrästä johtuen (Pahkala, 2008, s. 22). Erot karkeiden ja hienojakoisten maiden hiilidioksidipäästöjen välillä voivat johtua maalajien vedenpidätysominaisuuksista. Orgaanisen hiilen pitoisuus on hienojakoisissa peltomaissa keskimäärin korkeampi kuin lajikekoostumukseltaan karkeampien peltomaiden (Soinne, 2020, s. 27). Mitä enemmän peltomaassa on partikkelikooltaan pientä kivennäisainesta, kuten savea tai hienoa hiesua, sitä enemmän maassa on orgaanista ainesta sitovia ja suojaavia pintoja. Maapartikkelien sitoutuminen pinnoille suojaa orgaanista ainesta mikrobien hajotukselta.

Ylihullan ja Simojoen (i.a. s. 58) mukaan maan mikrobisto ja maaperäeläimet käyttävät energian ja elintoiminnoissa tarvitsemiensa aineiden lähteenä maahan päätyvää

eloperäistä ainesta, kuten maahan jääviä juuria, viljan sänkeä, olkia, varisevia lehtiä ja muuta kariketta. Osa kuolleen eloperäisen aineksen hiilestä vapautuu eliöiden hengittäessä takaisin ilmaan, ja osan maan eliöt käyttävät omana rakennusaineenaan.

4.4 Maaperän mikrobiston vaikutus maahengitykseen

Maaperän mikrobien hiilen käytön tehokkuus määritellään osuutena mikrobien sisäänkäytämästä hiilestä, jonka ne käyttävät oman biomassansa rakentamiseen. Loppuosa hengitetään ulos hiilidioksidina (Karhu, 2020, s. 15). Mikrobien parempi hiilen käytön tehokkuus tarkoittaa pienempää hiilidioksidipäästöä maaperästä. Se tarkoittaa myös suurempaa mikrobimassaan sitoutunutta hiilen määrää, joka lopulta voi sitoutua maaperän mineraaleihin mikrobien kuollessa ja siirtyessä osaksi maaperän pitkäaikaista hiilivarastoa. Maaperän mikrobien hiilen käytön tehokkuus kasvaa, kun mikrobien tyyppi lisääntyy. Tyypin saannin lisääntyessä mikrobien ei tarvitse kuluttaa hiiltä sellaisten entsyymien valmistamiseen, jotka vapauttavat tyyppiä hajottamalla monimutkaisia orgaanisia yhdisteitä.

Mikrobien entsyymiaktiivisuuden kautta maaperän lämpötila säätelee voimakkaasti maaperän prosesseja eli kontrolloi orgaanisten yhdisteiden hajoisaktiivisuutta ja maaperään varastoituneen hiilen vapautumista (Hiilipuu, i.a.-c). Maaperästä vapautuu enemmän hiiltä hiilidioksidina ilmakehään lämpötilan noustessa. Ekosysteemin kasvu eli nettohiilensidonta voi pienentyä, mikäli ekosysteemin hengitys kasvaa ilmaston lämmetessä. Talvisin lumi tekee eristävän kerroksen ja näin pienentää lämpötilan laskua maaperässä. Ilmastomuutoksen vuoksi lumipeitteen ennustetaan vähenevän, josta voi aiheutua juuristovaurioita ja tämän takia juuristokarikkeen muodostumista. Juuristokarike lisää mikrobien hajotusaktiivisuutta ja hiilidioksidin vapautumista ilmakehään.

Pellon alla -webinaarissa Haimi (2024, 35:05) kertoo lierojen vaikutuksista peltomaahan. Lierot parantavat maan rakennetta, eli sekoittavat ja vaikuttavat mururakenteeseen ja huokoisuuteen, parantavat maan ravinnetaloutta ja maan vesioloja sekä lisäävät mikrobien aktiivisuutta ja näin lisäävät kasvien kasvua. Negatiivisia vaikutuksia ovat kasvihuonekaasujen lisääntynyt tuotto ja maan rakenteen muuttuminen ja maanpinnan epätasaisuus.

5 MITTAUKSET JA ANALYYSIT

Tässä osiossa on käyty läpi Ilmastosit -hankkeelle ja tälle opinnäytetyölle merkityksellisiä mittausmenetelmiä ja analyysijä.

5.1 Kammiomittaukset ja maahengitysmittaus

Kammiomenetelmät ovat yleisesti käytettyjä menetelmiä (Luonnonvarakeskus, i.a). Laitteistot ja varusteet ovat suhteellisen halpoja ja mittaukset on helppo tehdä. Kammiomittausmenetelmillä voidaan saada yksityiskohtaista tietoa pellon sisäisestä vaihtelusta. Mittaaminen vaatii kuitenkin paljon manuaalista työtä. Tutkittava alue, joka yleisesti on 60 cm x 60 cm, suljetaan lyhyeksi ajaksi kammion sisään ja kaasujen pitoisuuksien muutosta seurataan ottamalla kammiosta kaasunäytteitä ja analysoimalla ne myöhemmin kaasukromatografilla tai kaasupitoisuutta mitataan suoraan kammiosta.

Kasvihuonekaasumittauksissa dityppioksidin (N_2O) ja metaanin (CH_4) mittaamiseen käytetään tummia, valoa läpäisemättömiä kammioita, koska niiden vaihto maaperän ja ilmakehän välillä ei ole riippuvaista valo-olosuhteista (Luonnonvarakeskus, i.a.). Myös hiilidioksidin (CO_2) mittaamiseen voidaan käyttää pimeäkammioita, mutta hiilidioksidin nettovaihtoa mitattaessa hyödynnetään läpinäkyviä kammioita ja erilaisia valotasoja. Näin saadaan tietoa myös kasvien fotosynteesin ja näin ollen hiilensidonnin tehokkuudesta. Kaasuvuon määrään vaikuttavat kasvillisuus, maalaji, maan kosteus ja lämpötila, joten pellon kasvihuonekaasuvaihto voi vaihdella paljonkin eri osissa peltoa. Jotta saadaan oikeanlainen kokonaiskuva pellon kasvihuonekaasuvaihdosta, on oltava tarpeeksi rinnakkaisia mittauspisteitä.

Maahengitystä voidaan mitata kammioperiaatteella. Kammiot asetetaan pienen maahan päälle ja kammion hiilidioksidipitoisuuden muutosta seurataan (Hiilipuu, i.a.-d). Yleensä maan hiilidioksidipäästö on suurempi kuin sen päällä kasvavan pintakasvillisuuden yhteyttä, minkä vuoksi kammion hiilidioksidipitoisuus kasvaa. Hiilidioksidivuon suuruus voidaan laskea hiilidioksidipitoisuuden muutoksesta aikayksikköä kohti.

Maahengityksen mittaaminen kammiomenetelmällä toteutetaan siten, että läpinäkyvään muovikammioon yhdistetään letkulla kammion sisäilman hiilidioksidipitoisuutta mittaava infrapuna-kaasuanalysaattori (Uljas, 2015, s. 17). Kammion katossa olevan anturin avulla mitataan myös fotosynteettisesti aktiivisten valofotonien määrää. Kammioon on liitetty jäähdytysjärjestelmä. Kammion lämpötilaa seurataan ohjausyksiköllä ja kammio pidetään termostaatin avulla kammion ulkopuolista lämpötilaa vastaavana. Maan pinnalle asetetaan kammio, ja sisälle jäävää ilman hiilidioksidipitoisuuden muutosta mitataan ajan funktiona ja tasaisin väliajoin (Jylhä, 2017, s. 18). Mittausta voi tehdä erilaisella tallennustiheydellä ja eri mittausajoilla. Pitkä mittausaika tiheällä tallennusvälillä on tarkka, mutta aikaa vievä, ja kuluttaa laitteen muistia. Lyhyt aika harvalla tallennusvälillä taas voi olla epäluotettava. On ohjeistettu, että mittausajan pituus etenkin pienen vuon tutkimusaloilla olisi hyvä olla 4–5 minuuttia.

Mitattaessa kammiolla aurinkoisessa säässä kammio toimii kasvihuoneena, mikä nostaa lämpötilaa kammion sisällä (Jylhä, 2017, s. 62). Tästä voi tulla vääristymiä mittaustuloksiin. Tältä voidaan välttyä vesikiertoisella jäähdytysjärjestelmällä tai esimerkiksi käyttämällä kylmäpatruunoita. Hiilidioksidipitoisuuden noustessa läpinäkyvässä kammiossa kyseinen mittauspaikka on hiilen lähde (Kulmala, 2020, s. 14). Kaasupitoisuuden pienentyessä mittauspaikka on hiilen nielu. Toistettaessa mittaus erilaisissa ympäristöolosuhteissa on mahdollista löytää yhteyksiä kaasunvaihtonopeuksien ja olosuhteiden välillä ja voidaan kehittää malleja, joilla hetkellistä hiilen sidontaa ja vapautusta voidaan arvioida myös tapauksissa, jolloin itse mittauksia ei ole tehty. On usein tarkoituksenmukaista mitata kasvien yhteytyksen sekä mikrobien ja kasvien hiilidioksidipäästöjen ympäristöriippuvuuksia erikseen.

Mittausmenetelmänä kammiomittaus on yleisesti käytössä, ja se sopii pienialaisesti vaihtelevaan maastoon (Kulmala, 2020, s. 14). Kun verrataan erilaisia käsittelyjä, kuten esimerkiksi lannoituksen määrän vaikutuksia kasvihuonekaasuvirtoihin, kammiomenetelmä soveltuu hyvin. Kammioita on manuaalisia eli ihmisten liikutteleimia tai täysin automatisoituja. Menetelmän huonona puolena on se, että mittauksen aikana se saattaa muuttaa esimerkiksi kohteen valo-, lämpötila- ja kosteusoloja.

5.2 LI COR -maahengitysmittarin käyttö

Ilmastositurit-hankkeessa käytettiin maahengitysmittaukseen LI COR -maahengitysmittaria. Mittauslaitteisto sisältää LI-870 CO₂/H₂O kaasuanalysoitsijan ja 8200-01s mittauskammion (Kuva 1) (Pohjan Poika, 2022). Kuvassa 2 on mittauskammion anturi, jossa on neljä kuuden senttimetrin mittaista metallipiikkiä, joka upotetaan maahan. Maahengitysmittari mittaa maahan asetetun mittausputken ja päälle asetettavan mittauskammion avulla kokonismaahengitystä. (Kuva 3). Kokonismaahengitys koostuu sekä maahengityksestä että kasvihengityksestä. Lisäksi laitteella saadaan mitattua ilman kosteutta, ilman lämpötilaa sekä lukuisia muita tunnuksia. Laitteisto koostuu analysoitsijasta ja mittauskammion, näitä yhdistävät kaasuletkut, datakaapeli ja virtakaapeli. Mittaria ohjataan ja säädetään esimerkiksi älypuhelimien tai tabletin avulla (Kuva 4). Ladattavilla NiMH-akuilla voidaan mitata jatkuvasti noin 6–8 tuntia per akku. Mittausperiaate on mitata noin kahden minuutin mittauskieron aikana kaasujen vaihto mittauskammion analysoitsijaan ja takaisin verraten virtaavan kaasun koostumusta analysoitsijan kaasuihin. Mittayksikkö hiilidioksidivuolle on mikromoolia sekunnissa neliometriä kohden. Maahengitysmittaria käytetään yleensä yhdessä yhteyttämismittarin kanssa, jolloin saadaan näiden kahden mittarin yhteistuloksesta selville pellon mittauspisteen hiilivuoto.



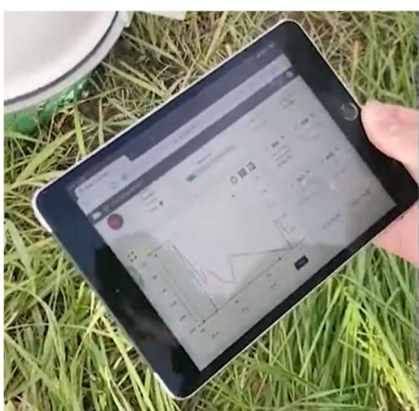
Kuva 1 LI 870 CO₂/H₂O -kaasuanalysoitsija ja 8200-01s-mittauskammio (Pohjan Poika, 2022)



Kuva 2 Mittauskammion nelipiikkinen anturi (Pohjan Poika, 2022)



Kuva 3 Mittauskammio (Pohjan Poika, 2022)



Kuva 4 Mittaria ohjataan esimerkiksi tabletin avulla (Pohjan Poika, 2022)

6 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Tämän opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi valittiin kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä. Tutkimuksen lähtökohtana on Ilmastositurit-hankkeessa saadut maahengitysmittaustulokset. Tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

- Onko maaperän kosteudella vaikutusta maahengitykseen?
- Onko maaperän lämpötilalla vaikutusta maahengitykseen?
- Onko multavuudella tai orgaanisella aineksen määrällä vaikutusta maahengitykseen?

Mittaukset suoritettiin LI COR -maahengitysmittarilla. Mittauksia tehtiin hankkeeseen valituilla 10 pilottitilalla. Tähän opinnäytetyöhön valittiin näistä pilottitiloista kaksi tilaa, jotka sijaittivat Etelä-Pohjanmaalla. Nämä tilat on nimetty tässä opinnäytetyössä tiloiksi A ja B.

Elina Pahkalan (2008, Tiivistelmä) tekemän pro gradu -tutkielman mukaan maa- ja juurihengitykseen vaikuttavat useat tekijät, muun muassa lämpötila, kosteus, maan rakenne ja kasvillisuus. Tähän opinnäytetyön aineistoksi valittiin LI COR -maahengitysmittarin mittaustuloksista seuraavat:

- maahengitysmittaustulokset (hiilidioksidin kulkeutuminen ilmakehän sekä kasvillisuuden ja maaperän välillä)
- maan lämpötila ja kosteus 5 cm:n syvyydeltä mitattuna.

Mittaustuloksista tulee esille maahengityksen määrä $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Molemmilla tiloilla oli suoritettu NIR-analyysi, josta tähän opinnäytetyöhön on otettu huomioon fysikaalisista ominaisuuksista orgaanisen aineksen määrä ja tästä saatu multavuusluokka sekä eri maalajien osuus. NIR-analyysistä on myös valittu rakennekolmiot, jotka havainnollistavat tilojen A ja B maaperän rakennetta ja miten se asemoituu rakennekolmiossa.

6.1 Tila A

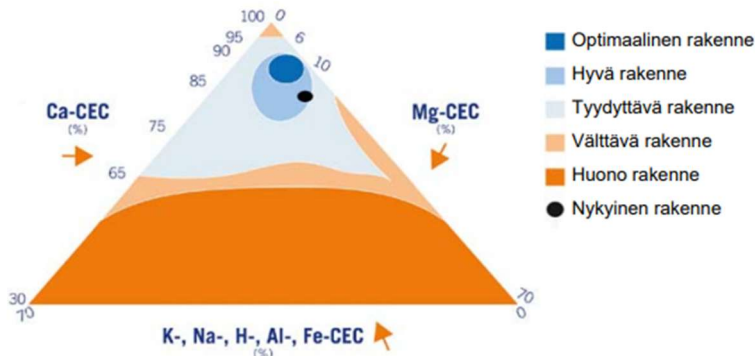
Tilalla A satokasvina vuonna 2023 kasvatettiin kevätvehnää yhdellä lohkolla ja toisella lohkolla satokasvin lisäksi kerääjäkasvina yksinkertaista raiheinää. Maahengitysmittaukset suoritettiin 10.10.2023 sadonkorjuun jälkeen.

Lohkon, jolla on kasvatettu **satokasvin lisäksi kerääjäkasvia**, (jatkossa kerääjäkasvi-lohko), taulukossa 2 on esitetty maaperän fysikaalisista ominaisuuksista orgaanisen aineksen määrä, multavuusluokka ja maalajit-%.

Taulukko 2 Tila A / kerääjäkasvilohko / NIR-analyysin fysikaalisia ominaisuuksia

| | |
|---------------------------|---------|
| Orgaanisen aineksen määrä | 3,10 % |
| Multavuusluokka | Multava |
| Savi (< 2 µm) | 21 % |
| Hiesu (2–50 µm) | 61 % |
| Hieta + hiekka | 15 % |
| < 16 µm) | 10,90 % |

Rakennekolmion mukaan lohkon maaperän rakenne on hyvä (kuvio 2). Maaperän rakenteen arviointi perustuu Ca-KVK-, K-KVK- ja Mg-KVK-suhteisiin. Todellinen maaperän rakenne ei ole pelkästään riippuvainen suhdeluvusta, vaan riippuu myös sääolosuhteista, maaperän kosteudesta ja koneiden painosta.



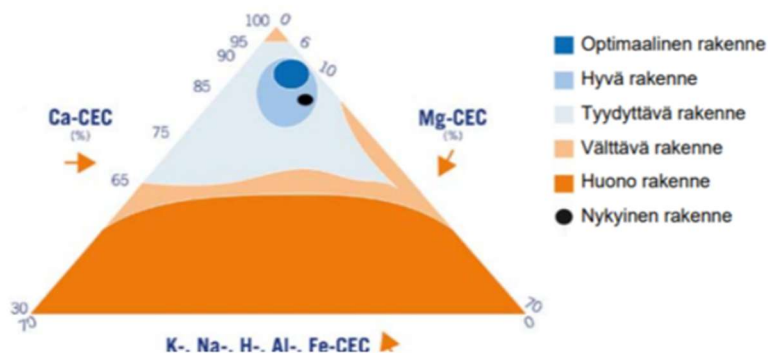
Kuvio 2 Tila A kerääjäkasvilohko / rakennekolmio

Lohkon, jolla kasvatettu **pelkästään satokasvia**, (jatkossa ei-kerääjäkasvilohko), taulukossa 3 on esitetty maaperän fysikaalisista ominaisuuksista orgaanisen aineksen määrä, multavuusluokka ja maalajit-%.

Taulukko 3 Tila A / ei-kerääjäkasvilohko / NIR-analyysin fysikaalisia ominaisuuksia

| | |
|---------------------------|---------------|
| Orgaanisen aineksen määrä | 1,90 % |
| Multavuusluokka | Vähämultainen |
| Savi (< 2 µm) | 35 % |
| Hiesu (2–50 µm) | 54 % |
| Hieta + hiekka (< 16 µm) | 8 % |

Rakennekolmion mukaan maaperän rakenne on hyvä (kuviokuva 3). Maaperän rakenteen arviointi perustuu Ca-KVK-, K-KVK- ja Mg-KVK-suhteisiin. Todellinen maaperän rakenne ei ole pelkästään riippuvainen suhdeluvusta, vaan riippuu myös sääolosuhteista, maaperän kosteudesta ja koneiden painosta.



Kuvio 3 Tila A ei-kerääjäkasvilohko / rakennekolmio

6.2 Tila B

Tilalla B satokasviksi vuonna 2022 kylvettiin syysvehnää ja keväällä 2023 kylvettiin lisäksi osaan peltoa kerääjäkasviksi italianraiheinää ja osaan jätettiin pelkästään satokasvi. Maahengitysmittauksia suoritettiin koealoista neljällä mittauspisteellä. Kahdella mittauspisteellä sadonkorjuun jälkeen oli satokasvin sänki sekä kerääjäkasvi ja kahdella mittauspisteellä pelkästään satokasvin sänki.

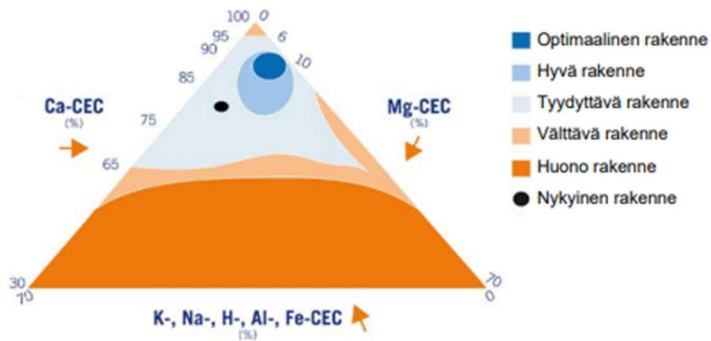
Koeala tilalla B, **jolla kasvatettiin satokasvia ilman kerääjäkasvia**, (jatkossa ei-kerääjäkasvilohko) taulukossa 4 on esitetty maaperän fysikaalisista ominaisuuksista orgaanisen aineksen määrä, multavuusluokka ja maalajit-%.

Taulukko 4 Tila B ei-kerääjäkasvilohko / NIR-analyysin fysikaalisia ominaisuuksia

| | |
|---------------------------|---------|
| Orgaanisen aineksen määrä | 3,10 % |
| Multavuusluokka | Multava |
| Savi (< 2 µm) | 11 % |
| Hiesu (2–50 µm) | 42 % |
| Hieta + hiekka (< 16 µm) | 44 % |

Rakennekolmion mukaan lohkon maaperän rakenne on tyydyttävä (kuviokuva 3). Maaperän rakenteen arviointi perustuu Ca-KVK-, K-KVK- ja Mg-KVK-suhteisiin. Todellinen maaperän

rakenne ei ole pelkästään riippuvainen suhdeluvusta, vaan riippuu myös sääolosuhteista, maaperän kosteudesta ja koneiden painosta.



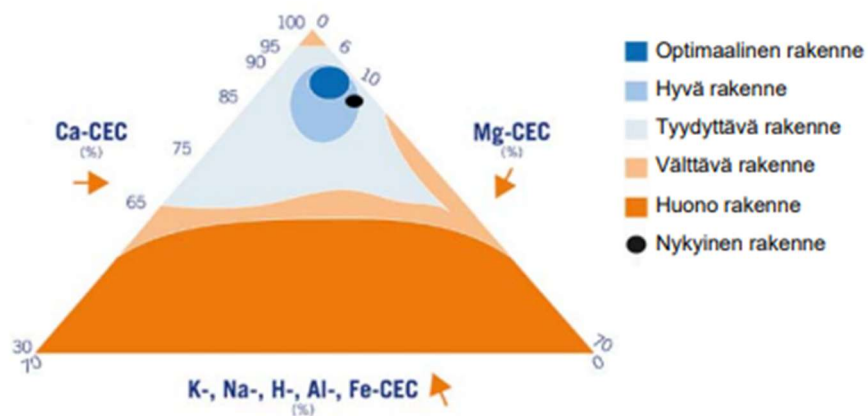
Kuvio 4 Tila B ei kerääjäkasvia / rakennekolmio

Koeala tilalla B, **jolla kasvatettiin satokasvin lisäksi kerääjäkasvia**, (jatkossa kerääjäkasvilohko), taulukossa 5 on esitetty maaperän fysikaalisista ominaisuuksista seuraavat orgaanisen aineksen määrä, multavuusluokka ja maalaji-%.

Taulukko 5 Tila B / kerääjäkasvilohko / NIR-analyysin fysikaalisia ominaisuuksia

| | |
|---------------------------|---------|
| Orgaanisen aineksen määrä | 4,20 % |
| Multavuusluokka | Multava |
| Savi (< 2 µm) | 16 % |
| Hiesu (2–50 µm) | 66 % |
| Hieta + hiekka (< 16 µm) | 14 % |
| | 36 % |

Rakennekolmion mukaan lohkon maaperän rakenne on hyvä (kuvio 5). Maaperän rakenteen arviointi perustuu Ca-KVK-, K-KVK- ja Mg-KVK-suhteisiin. Todellinen maaperän rakenne ei ole pelkästään riippuvainen suhdeluvusta, vaan riippuu myös sääolosuhteista, maaperän kosteudesta ja koneiden painosta.



Kuvio 5 Tila B / kerääjäkasvi rakennekolmio

7 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT

Tähän opinnäytetyöhön Ilmastositurit-hankkeen mittaustuloksista on huomioitu seuraavat mittauspisteissä toteutetut mittaustulokset:

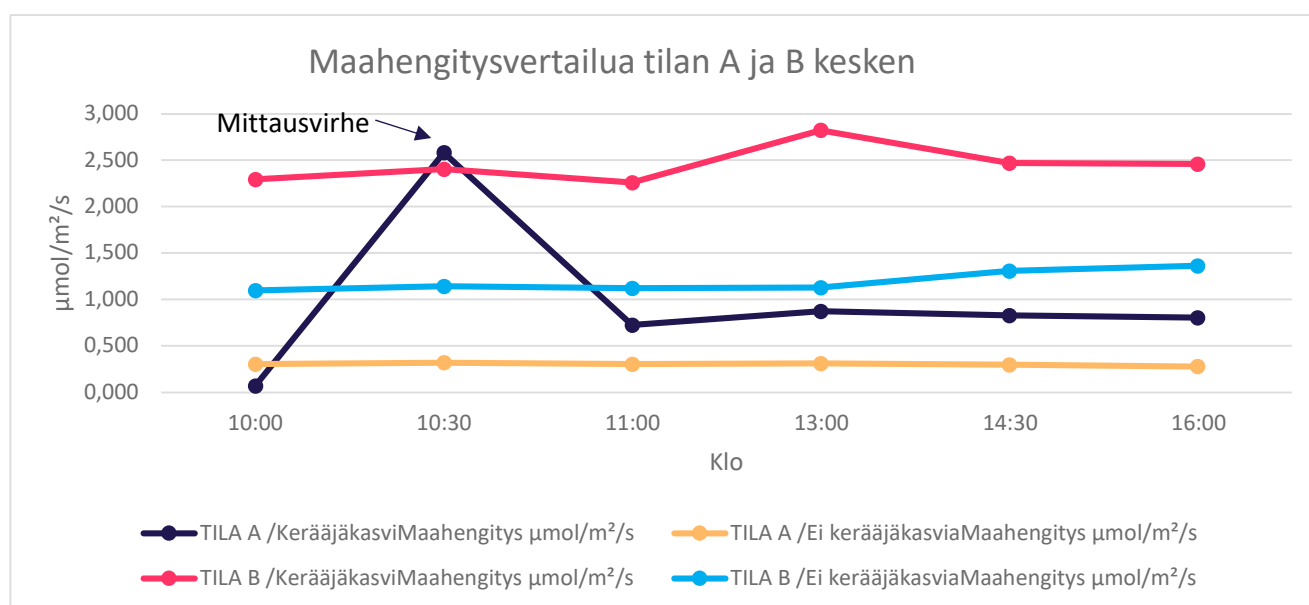
- maahengitys: $\mu\text{mol hiilidioksidia}/\text{m}^2/\text{s}$
- maahengitys maasta: $\text{Maahengitys } (\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}) \times 0,04401 = \text{mg hiilidioksidia}/\text{m}^2/\text{s}$
- ilman lämpötila: $^{\circ}\text{C}$
- maan kosteus: $\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}/\text{m}^3$
- maan lämpötila: $^{\circ}\text{C}$

Molemmilla tiloilla A ja B on toteutettu mittauksia neljällä eri mittauspisteellä. Jokaisella mittauspisteellä mittaukset tehtiin 43 sekunnin välein ja kaiken kaikkiaan 42 mittausta per mittauspiste (mittaussarja). Mittaukset on toteutettu noin kello 10.00 ja 17.00 välillä. Näistä 42 mittauksen mittaussarjoista on laskettu keskiarvot jokaisen mittauspisteen osalta. Näistä keskiarvoista on koottu diagrammit kuvioihin 6–10.

Kokonaismaahengitys koostuu juuri-, kasvi- ja maahengityksestä. Juurista hiiliyhdisteet siirtyvät kaasufaasiin juurihengityksessä ja maaperään juurien hajotessa (Pahkala, 2018, s.11). Juurihengitykseen liittyy myös ritsosfäärihengitys eli juurien ja hienojuurien sekä juuria välittömästi ympäröivän maan maahengitys (Whipps, 1990, Pahkalan, 2018, s. 14–15 mukaan). Kasvi käyttää fotosynteesissä sitomastaan hiilestä noin puolet kasvuun ja osa vapautuu metabolian seurauksena hiilidioksidina ilmaan kasvihengityksessä. Maaperästä hiili palaa kiertoon hiilidioksidina hajotustoiminnan ja mineraaliaineksen rapautumisen seurauksena.

7.1 Multavuuden vaikutus maahengitysmittaustuloksiin tiloilla A ja B

Maaperä on sitä multavampaa mitä enemmän siinä on eloperäistä eli orgaanista ainesta, ja maan multavuus määrittää myös keskeisesti maan kasvukunnon (Ylihalla & Simojoki, i.a., s. 58). Multavuudella on vaikutusta vedenpidätyskykyyn ja kuohkeuteen.



Kuvio 6 Maahengitysverailua tilojen A ja B kesken

Taulukko 6 Tilojen A ja B orgaanisen aineksen määrä ja multavuusluokat

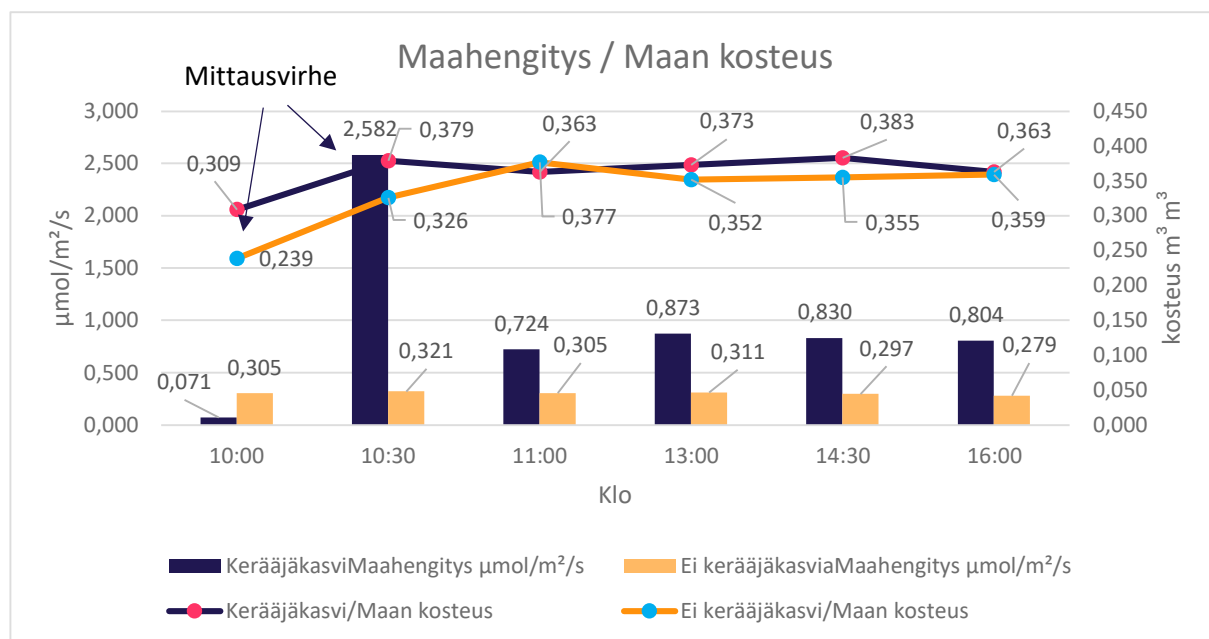
| | Orgaanisen aineksen määrä | Multavuusluokka |
|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| TILA A / Kerääjäkasvi | 3,10 % | Multava |
| TILA A / Ei kerääjäkasvia | 1,90 % | Vähämultainen |
| TILA B / Kerääjäkasvi | 4,20 % | Multava |
| TILA B / Ei kerääjäkasvia | 3,10 % | Multava |

Taulukossa 6 tilan B kerääjäkasvilohkon orgaanisen aineksen määrä on korkein näistä neljästä lohokosta ja näistä neljästä lohokosta maahengitysmittaustulos (kuvio 6) on korkein. Klo 10.30 mittaustuloksessa on iso heitto, joka kertoo mittausvirheestä. Tilan A ei-

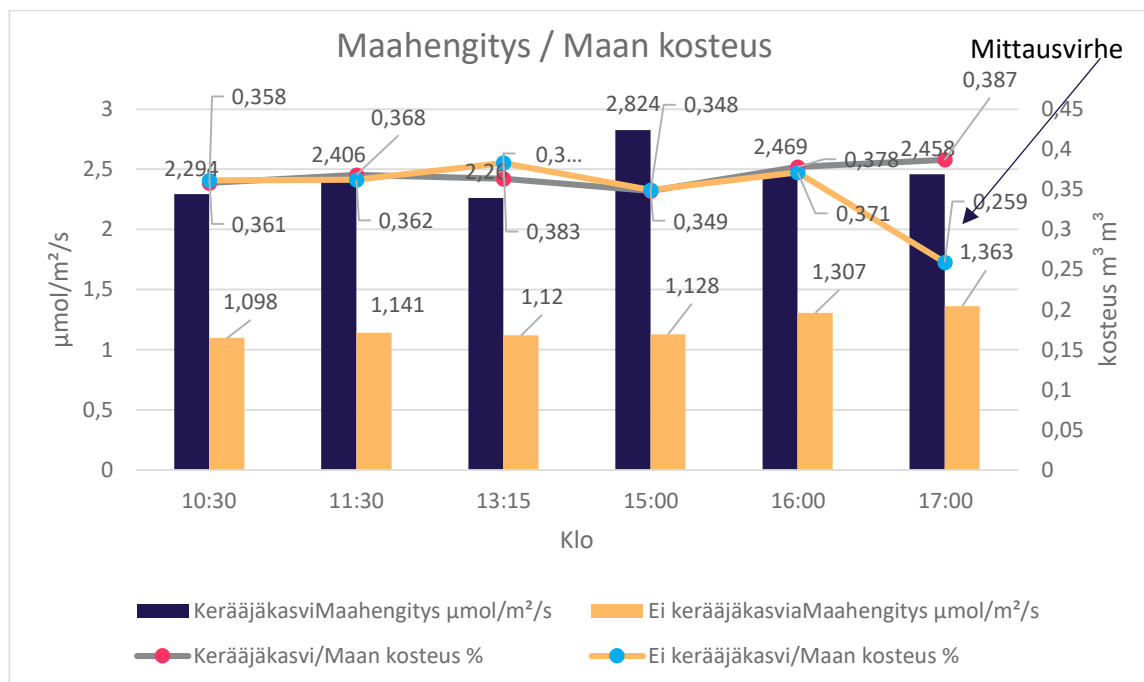
kerääjäkasvi-lohkolla on vastaavasti orgaanisen aineksen määrä matalin ja maahengitysmittaustulos on matalin. Mittaukset on toteutettu lokakuussa, jolloin kasvien yhteyttäminen on vähäisempää ja kasvien hengittäminen ja orgaanisen aineksen hajoaminen voivat olla voimakkaampaa. Muun muassa tämän takia hiilidioksidin vapautuminen ilmaan voi kasvaa.

Näiden mittaustulosten perusteella orgaanisen aineksen määrä korreloi maaperän hiilidioksidipäästön kanssa samalla periaatteella kuin Pahkalan tutkimustulokset viittaavat: orgaanisen aineksen määrän maaperässä voidaan katsoa korreloivan maan hiilidioksidipäästön kanssa (La Scala ym. 2000, Pahkalan, 2018 mukaan s. 22). Tosin todetaan myös, että poikkeuksena on savimaa, jonka orgaanisen aineksen määrä ei lisää maahengitystä. Tämä johtuu siitä, että savimaa muodostaa orgaanisen aineksen kanssa pysyviä komplekseja ja sisältää myös muita maalajeja suurempia orgaanista ainesta eristäviä maa-aggregaatteja.

7.2 Tilan A ja B maan kosteuden vaikutukset maahengitykseen



Kuvio 7 Tila A Maahengitys / maan kosteus



Kuvio 8 Tila B Maahengitys / maan kosteus

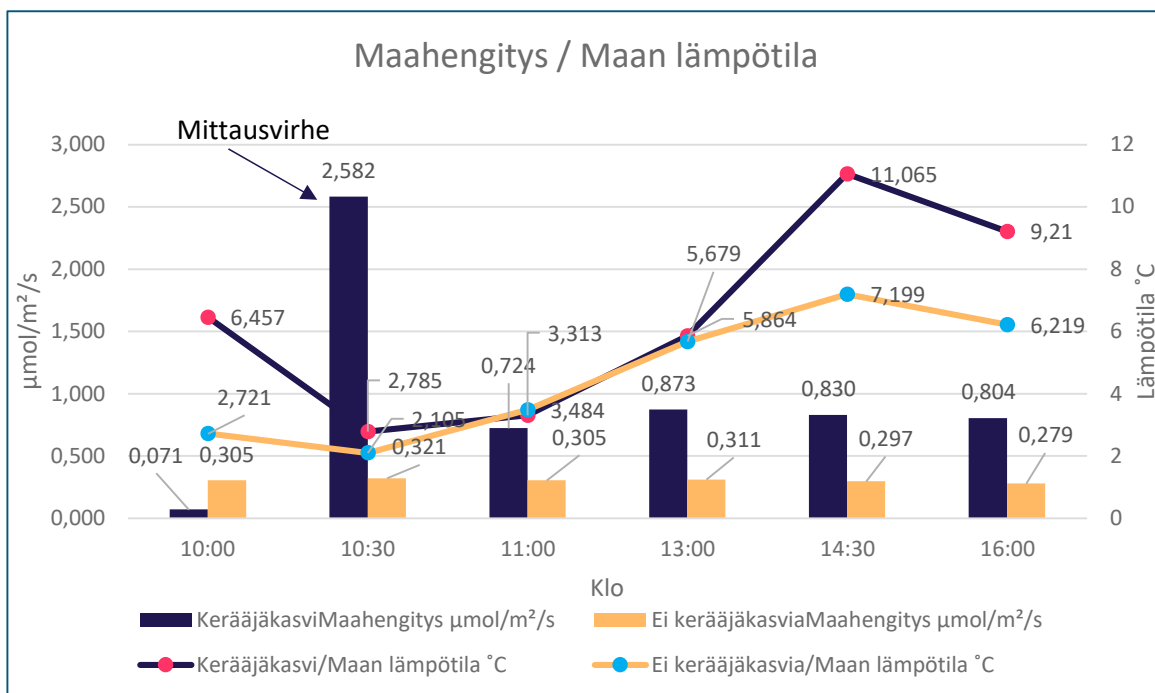
Tilalla A kerääjäkasvilohkolla hiesusavea on yhteensä 82 % ja tilalla B samoin 82 %. Tilalla A ei-kerääjäkasvilohkolla hiesusavea on yhteensä 89 % ja tilalla B 53 %. Kuviossa 7 tilalla A on mittausvirhe maahengitysmittauksessa klo 10.30. Myös klo 10 maahengitysmittaus tulos poikkeaa olennaisesti loppupäivän tuloksista ollen huomattavasti matalampi, mutta sitä ei ole merkitty tulostaulukkoon kuitenkaan virheeksi. Kuviossa 8 klo 17.00 tilan B ei-kerääjäkasvilohkon kosteusmittauksessa on mittausvirhe. Klo 11.00 eteenpäin tilan A maahengitys on ollut aika stabiili (0,724–0,873). Tilalla B oli jonkin verran korkeammat maahengitysarvot (1,098–1,363). Oletuksena on, että maahengityksen määrä selittyy orgaanisen aineksen määrällä ja tästä aiheutuvan vedenpidätysominaisuuden kautta.

Maahengityksen suuruuteen vaikuttaa maaperän koostumus vedensitomiskykynsä ja maaperässä olevan hajoavan orgaanisen aineksen kautta (Pahkala, 2018, s. 22). Vedenpidätysominaisuudet voivat vaikuttaa eroihin CO₂-päästöissä karkeiden ja hienojakoisten maiden välillä. Veden pidätyskyky karkeilla mailla on heikko sadeveden huuhtoutuessa helpommin maakerrosten läpi. Toisaalta tämällyypiset maalajit ovat kuivumiselle alttiimpia ja vähäsateisena kautena saattaa rajoittaa maahengitystä.

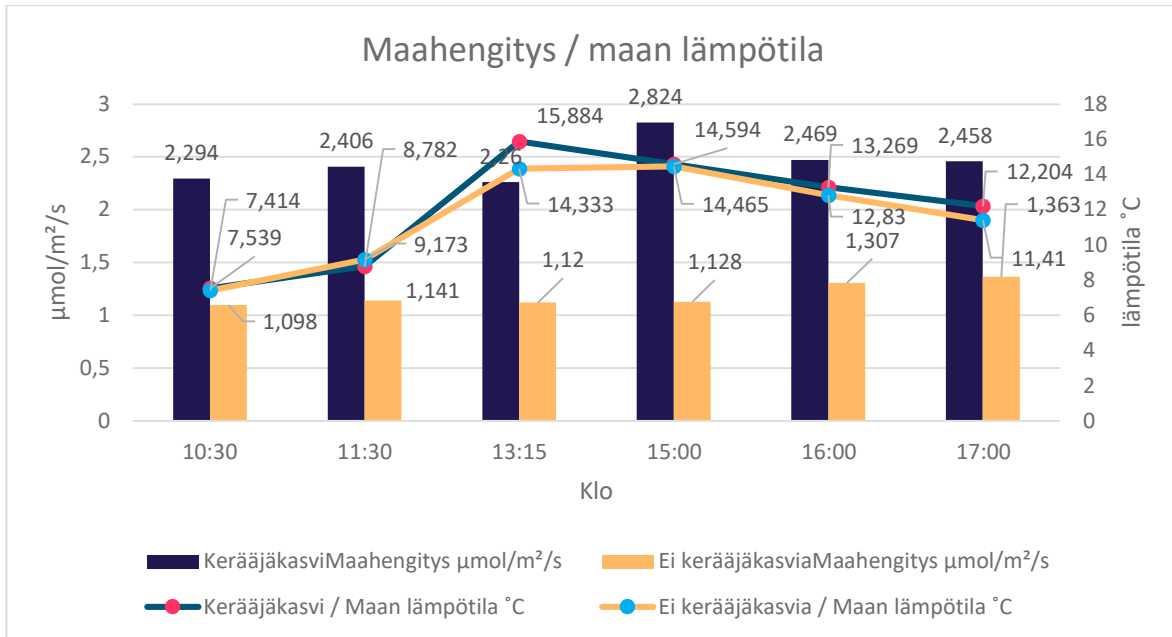
Molempien tilojen maaperä sisälsi hiesua ja savea ja savi on hiesun ohella partikkelikooltaan pientä kivennäisainesta, jolloin vedenpidätysominaisuudet ovat paremmat. Näin maassa on enemmän orgaanista ainesta sitovia ja suojaavia pintoja ja tämä suojaaa orgaanista ainesta hajotukselta ja maahengitys voi olla matalampaa.

Heinosen ym. (1992, s. 146) mukaan kun maan hienojakoisuus kasvaa, maan kyky pitää kasveille käyttökelpotonta vettä lisääntyy, mutta on myös riippuvainen maan rakenteesta. Jos maa on tiivistynyt, se heikentää maan kykyä varastoida maan pinnalle tullutta vettä esimerkiksi sateen jälkeen.

7.3 Tilan A ja B maan lämpötilan vaikutukset maahengitykseen



Kuvio 9 Tila A maahengitys / maan lämpötila



Kuvio 10 Tila B maahengitys / maan lämpötila

Kuvion 9 ja 10 mukaisesti sekä tilalla A että B matalimmat maaperän lämpötilat ovat aamulla klo 10 paikkeilla ja korkeimmillaan tilalla A klo 14.30 aikaan ja tilalla B klo 13.15 aikaan. Tilan A mittaukset on suoritettu 10.10.2023 ja tilan B 4.10.2023. Maaperän lämpötila 5 cm:n syvyydestä mitattuna on tilalla B ollut keskimäärin korkeampi ja myös ilman lämpötila on ollut tilan B mittausten aikana noin 5 °C korkeampi. Sää on ollut pilvinen. Molemmilla tiloilla ei-kerääjäkasvilohkon maahengitys on matalampaa kuin kerääjäkasvilohkon maahengitys. Tilan A klo 10 maahengitysmittauksien tulos poikkeaa olennaisesti loppupäivän tuloksista ollen huomattavasti matalampi, mutta sitä ei ole merkitty tulostaulukkoon kuitenkaan virheeksi.

Kasvi- ja maahengitykseen eli respiraatioon vaikuttaa eniten maan lämpötila (Luojukoski, 2023). Lämpötilan noustessa maaperän hajotustoiminta kasvaa (Pahkala, 2018, s. 21). Kun maan lämpötila kohoaa, ravinteiden mineralisaatio lisääntyy ja tämä taas lisää kasvien kasvua. Maahengityksen määrä näyttäisi olevan tilalla B korkeampi, joka voi johtua lämpimämmästä maaperästä ja sitä myöten hajotustoiminnan kasvusta.

7.4 Yhteenveto tilojen A ja B maahengitysmittaustuloksista

Selkein maahengitykseen vaikuttava tekijä näihin lokakuussa 2023 saatuihin mittaustuloksiin näyttäisi olevan orgaanisen aineksen määrä. Mitä korkeampi oli orgaanisen aineksen määrä, sitä korkeampi oli maahengitys. Sekä tilalla A että tilalla B maahengityksen määrä oli ei-kerääjäkasvilohkoilla matalampi kuin kerääjäkasvilohkolla. Tilalla A oli maahengityksen suuruus matalampi sekä kerääjäkasvilohkolla että ei-kerääjäkasvilohkolla verrattuna tilaan B. Tilalla B oli kerääjäkasvilohkon orgaanisen aineksen määrä 4,2 % ja ei-kerääjäkasvilohkolla 3,1 %. Tilalla A vastaavat arvot olivat 3,1 % ja 1,9 %. Orgaanisen aineksen määrä voi selittää isomman maahengityksen määrän tilalla B. Toinen määräävä tekijä oli voinut olla maaperän lämpötila, joka oli korkeampi tilalla B tehdyissä mittauksissa. Johtuen korkeammasta maaperän lämpötilasta myös pieneliöiden hajotustyö on vilkkaampaa, mikä voi aiheuttaa maahengityksen kasvua.

Pahkalan (2008, s. 58) tekemien tutkimusten mukaan ohraruuduilla lämpötilan vaikutus oli selvää: lämpötilan noustessa myös maan kokonaishengitys kasvoi. Maan kokonaishengitys on maaperän lämpötilan funktio niin kauan, kun maa on kostea (Smith ym. 2003, Pahkalan, 2018 mukaan s. 58). Kun maa on kuiva, maaperän vesipitoisuus on määräävämpi tekijä kuin maan lämpötila.

Tilan A ja B hiilidioksidipäästöt vaihtelivat 0,279–2,824 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (0,012–0,124 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$). Hiesupitoisuus tiloilla vaihteli 42–66 % ja savipitoisuus 11–35 %. Pahkalan (2008, Tiivistelmä) tekemässä tutkimuksessa turvemaan päästön maksimi vaihteli 0,35–0,52 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$, hietamaassa 0,18–0,37 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$ ja savimaassa 0,06–0,28 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$. Pahkalan tutkimuksessa savimaa sisälsi savea 57,3 % ja hiesua 28,2 %, eli savipitoisuus oli korkeampi kuin tilojen A ja B:n savipitoisuus. Savimaan maaperän kosteus oli keskimäärin 0,38. Tiloilla A ja B kosteuslukemat olivat keskimäärin 0,34–0,36.

Myös Lohilan ym. (2003, Abstract) tehdyssä tutkimuksessa vertailtiin turvemaiden ja kivennäismaiden eroja kokonaishengitysnopeudessa, maahengitys oli turvemaassa 0,11–0,36 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$ ja kivennäismailla 0,02–0,17 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{s}$. Näihin tutkimustuloksiin verrattuna tilan A

ja B hiilidioksidipäästöt vastaavat Pahkalan tutkimuksen savimaan päästöjä ja Lohilan ym. tutkimuksen kivennäismaan päästöjä.

Vertailtavuuden vuoksi olisi hyvä olla saatavilla mittaustuloksia eri vuodenaikoina useammalta vuodelta ja erityyppisen maaperän ja kasvillisuuden omaavilla tiloilla.

8 POHDINTA

Aihe on ollut ajankohtainen ja mielenkiintoinen liittyen paljon esillä olleeseen Suomen hiili-neutraaliustavoitteeseen vuonna 2035 ja alun perin niin sanottuun neljän promillen aloit-teeseen, jonka Ranska teki Pariisin ilmastokokouksessa vuonna 2015.

Maahengitysmittausaineisto tätä opinnäytetyötä varten tuli SeAMK:lta hankkeen työryh-mään kuuluneelta henkilöltä. Itse en osallistunut hankkeeseen ja se aiheutti jonkin verran haasteita, koska datan analysointi vaati aiheeseen ja aineistoon paneutumista ja useita palavereita hankkeen työryhmään osallistuneilta. Aineistossa oli jonkin verran mittausvir-heitä, joita olen pyrkinyt opinnäytetyössä tuomaan esille.

Tässä opinnäytetyössä käytettävissä olivat molempien tilojen NIR-analysit, joten tilojen maaperästä olisi ollut käytettävissä monipuolisemmin biologisia, kemiallisia ja fysikaalisia tunnuslukuja. Jotta opinnäytetyö ei olisi laajentunut liian laajaksi, fysikaalisista tekijöistä mukaan otettiin vain maalaji-% ja orgaanisen aineksen määrä. Alun perin mukaan oli tar-koitus ottaa myös tila C, jolla oli viljelty nurmea, mutta edellä mainitusta syystä myös tämä jätettiin tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Maahengitysmittausten analysointi on hyvin mo-niulotteinen asia ja uskoisin, että Ilmastositurit -hankkeesta saadusta datasta olisi vielä mahdollisuutta löytää aihetta toiseenkin opinnäytetyöhön.

Maahengitysmittaukset ovat yksi osa mittauksista, joilla voidaan todentaa hiilidioksidipääs-töjä maataloudessa. Kuitenkin mielestäni olennaisimpia ovat mittaukset, joilla todennetaan hiilitase eli nettohiili, jossa lasketaan sidotun ja vapautuneen hiilidioksidin erotus tietyllä aikavälillä. Tulos voi olla positiivinen tai negatiivinen. Positiivinen hiilitase tarkoittaa, että hiiltä on sitoutunut enemmän kuin sitä on vapautunut hiilidioksidina ilmakehään. Tarkoituk-senmukaista olisi, että löydetään parhaat mahdolliset keinot, joilla hiilitase saadaan maati-lakohtaisesti positiiviseksi. Tällä on olennainen merkitys, että saadaan maatalouden osuutta ilmastomuutoksen etenemisessä vähennettyä.

LÄHTEET

- Bourma, T. J., Bryla, D. R., (14.2.2000). *On the assessment of root and soil respiration for soils of different textures: interactions with soil moisture contents and soil CO₂ concentrations*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1023/A:1026502414977>
- Haimi. J. (20.11.2024). Peltomaan lierot ja niiden merkitys maan kasvukunnossa. Webinaarissa ProAgria, *Pellon alla -webinaari*. <https://www.youtube.com/watch?v=KwOFwvt4xMo>
- Heimch, L., Helenius, J., Huusko, M., Höijer, L., Joonas, J., Kanerva, S., Karhu, K., Kekkonen, H., Koppelmäki, K., Kulmala, L., Lötjönen, S., Mattila, T., Ollikainen, M., Peltokangas, K., Regina, K., Soinne, H., Wikström, U., & Viskari, T., (2020). Johdanto. Teoksessa J. Heinonsalo (toim.), *Hiiliopas katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin*. (s. 4). Baltic Sea Action Group. <http://hdl.handle.net/10138/311540>
- Hiilipuu. (i.a.-a). *Hiilidioksidipitoisuus*. <https://www.hiilipuu.fi/index.php/2022/09/01/hiilidioksidipitoisuus/>
- Hiilipuu. (i.a.-b). *Maahengitys*. <https://www.hiilipuu.fi/index.php/2022/09/02/maahengitys/>
- Hiilipuu. (i.a.-c). *Maaperän lämpötila*. <https://www.hiilipuu.fi/index.php/2022/09/02/maaperan-lamportila/>
- Hiilipuu. (i.a.-d). *Miten mitata maahengitystä*. <https://www.hiilipuu.fi/index.php/2022/09/07/miten-mitata-maahengitysta/>
- Ilmastolaki 423/2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423>
- Jylhä, M. (2017). *Arktis-alpiinisen alueen hiilidioksidivuon mittaaminen ja mallintaminen maisemamittakaavassa* [pro gradu -työ, Helsingin yliopisto]. Helda. <https://helda.helsinki.fi/items/868faf29-84a8-4f56-9d59-12dfbc117a01>
- Karhu, K. (2020). Mikrobin hiilen käytön tehokkuus (CUE). Teoksessa J. Heinonsalo (toim.), *Hiiliopas katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin*. Baltic Sea Action Group. <http://hdl.handle.net/10138/311540>
- Kulmala, L. (2020). Kaasunvaihto ja sitä mittaavat menetelmät. Teoksessa J. Heinonsalo (toim.), *Hiiliopas katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin*. (s. 27). Baltic Sea Action Group. <http://hdl.handle.net/10138/311540>

- Känkänen, H. (23.2.2022). *Kerääjäkasvit ilmastoapureina ja pellon ystävinä*. [PowerPoint-esitys]. ProAgria. https://www.proagria.fi/uploads/luke_keraajakasvit_ilmastovii-saassa_viljelyssa_hannukankainen_23.2.2022_2022-06-13-114715_rzkn.pdf
- Latvala, H. (11.12.2023). *ILMASTOSOTURIT – tietoa ja keinoja ilmastonmuutoksen hillintään: Ilmastosoturit hankkeen päätösseminaari*. [PowerPoint-esitys]. ProAgria. https://www.proagria.fi/uploads/Ilmastosoturit-hankkeen-esittely_paatosseminaari-111223_Henna-Latvala-ID-491525.pdf
- Lillvik, A. (Puhuja 2), Perälä, P. (Puhuja 3). (15.3.2023). *TIMEhanke – Hiilitieto jakso 3: Kerääjäkasvit ja vihreä kasvipeitteisyys* [podcast-jakso]. Seam tutkii ja kehittää. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. [SeAMK tutkii ja kehittää: TIME-hanke - Hiilitieto jakso 3: Kerääjäkasvit ja vihreä kasvipeitteisyys - SeAMK Podcast | Acast](https://www.seam.fi/wordpress/wp-content/uploads/2023/03/SeAMK_tutkii_ja_kehittaa_TIME-hanke_-_Hiilitieto_jakso_3_Kerääjäkasvit_ja_vihreä_kasvipeitteisyys_-_SeAMK_Podcast_Acast)
- Lohila, A., Aurela, M., Regina, K., & Laurila, T. (2003). *Soil and total ecosystem respiration in agricultural fields: effect of soil and crop type*. <https://doi.org/10.1023/A:1023004205844>
- Luojukoski, J. (2020). *Viljelymaan hiilidioksidivuon mittaamisen ja mallintamisen mahdollisuudet* [AMK-opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://www.theseus.fi/handle/10024/339411>
- Luojukoski, J. (27.2.2023). *Hiilinielut – kasvit hiilidioksidin imureina*. <https://maan-kaytto.fi/wp/index.php/2023/02/27/hiilinielut-kasvit-hiilidioksidin-imureina/>
- Luonnonvarakeskus. (i.a). *Kasvihuonekaasujen mittausten menetelmät*. <https://www.luke.fi/fi/luonnonvaratieto/tiedetta-ja-tietoa/eloperaisten-maatalousmaiden-kasvihuonekaasupaastojen-vahentaminen/kasvihuonekaasujen-mittausmenetelmat>
- Mattila, T. (20.11.2024). Vesi satokasvien käyttöön. Webinaarissa ProAgria, *Pellon alla -webinaari*. <https://www.youtube.com/watch?v=KwOFwvt4xMo>
- Mattila, T., & Rajala, J. (2018). Maan multavuuden hoito on tärkeää viljelijälle ja koko maapallolle. *Luomulehti*. <https://www.helsinki.fi/assets/drupal/2022-11/multavuuden-hoito-on-tarkeaa-viljelijalle-ja-koko-maapallolle-mattila-ja-rajala-11-3-2018-1.pdf>
- Mattila, T. & Vihanto, N. (7.6.2024). *Peltomaan hiilensidonnasta esteet: Uudistava viljely*. Baltic Sea Action Group. <https://www.bsag.fi/materiaalit/peltomaan-hiilensidonnasta-esteet/>

- Pahkala, E., (2008). *Maa- ja juurihengitys peltomaassa: Ympäristövasteet sekä kasvilajin ja maatyypin vaikutus*. [pro gradu -työ, Kuopion yliopisto]. Trepo.
<http://urn.fi/urn:nbn:fi:uef-20090056>
- Parkkonen, M., Huhtaluhta, S., Nykänen, A., & Antila, H., (i.a.). *Ilmastosoturit* [Video]. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Luonnonvarakeskus. Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahasto: Eurooppa investoi maaseutualueisiin. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. <https://www.youtube.com/watch?v=TD9ld7Dre50>
- Peltonen, S. (2019). Ilmastoviisas peltoviljely. Teoksessa S. Peltonen, K. Aalto, I. Hennola, & S. Anttila (toim.), *Ilmastoviisas maatilayritys: Ilmastoviisas peltoviljely*. ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1163.
- Pietola, L. (2019). Hiilen kierto. Teoksessa S. Peltonen, K. Aalto, I. Hennola, & S. Anttila (toim.), *Ilmastoviisas maatilayritys: Ilmastoviisas peltoviljely*. ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja nro 1163.
- Pohjan Poika. (29.11.2022). *LI COR – maahengitysmittarin käyttö* [video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/channel/UCUdiBjNIAGLc3PlvVn4o5yA/about>
- ProAgria. (i.a.). *Ilmastosoturit-hanke*. <https://www.proagria.fi/hankkeet/ilmastosoturit-hanke>
- Salko, S., (2020). *Autotrofisen ja heterotrofisen maahengityksen kehittyminen kuivuudessa boreaalisen metsämännyn (Pinus sylvestris) kasvualustalla* [Pro gradu -työ, Helsingin yliopisto]. Helda. <http://hdl.handle.net/10138/314945>
- Soinne, H. (2020). Maalaji. Teoksessa J. Heinonsalo (toim.), *Hiiliopas katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin*. Baltic Sea Action Group. <http://hdl.handle.net/10138/311540>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2022). *Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastategia*. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022:53. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM_2022_53.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Uljas, S. (2015). *Keidassuoekosysteemien kasviyhteisötyyppien hiilidioksidinvaihto*. [Pro gradu -työ, Itä-Suomen yliopisto]. eRepo. <https://erepo.uef.fi/server/api/core/bitstreams/909882c6-f89d-4f96-86d2-d0551bc4d259/content>
- Ylihalla, M. & Simojoki, A. *Muuttuva maatalous: Luku 3 Maaperä muutoksessa*. https://www.helsinki.fi/assets/drupal/2023-05/Seppanen_Kymalainen_2017_Muuttuva_maatalous_luku_3.pdf

Ympäristöministeriö. (2024). *Ilmastovuosikertomus 2024*. Ympäristöministeriön julkaisuja 2024:25. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-374-4>