



Maanparannusainelisäyksen vaikutus maan hiilidioksidituotantoon 10 kasvukauden peltokokeessa 2014-2023

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Lepaa, puutarhatalous

Kevät 2024

Topi Ylönen

Puutarhatalous

Lepaa

Tekijä Topi Ylönen

Vuosi 2024

Työn nimi Maanparannusainelisäyksen vaikutus maan hiilidioksidituotantoon 10 vuoden peltokokeessa 2014-2023

Ohjaaja Teo Kanninen

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin sekä maanparannusainelisäyksen vaikutuksia maahengitykseen että sen hajoamisen nopeutta Hämeen ammattikorkeakoulun ja toimeksiantajan Humuspehtoori Oy:n yhteistyönä toteutetussa kymmenen kasvukauden peltokokeessa. Peltokoe perustettiin Lepaalle keväällä 2014 ja se loppui syksyllä 2023. Tämä opinnäytetyö käsittelee kokeen eri vuosina saatujen maahengitysmittausten ja orgaanisen aineksen määrän tuloksia.

Kokeessa oli 32 koeruutua, jotka jakaantuivat kahdeksaan käsittelyyn ja neljään toistoon. Koepellon kokonaispinta-ala oli noin 1,1 hehtaaria ja yksittäisen ruudun pinta-ala oli 345m². Puolet ruuduista saivat erilaisia yhdistelmiä maanparannusaineita, neljäsosa väkilannoitteita ja neljäsosa jätettiin kontrolliruuduiksi ilman maanparannusaineita tai väkilannoitteita. Ensimmäisenä vuotena jankkuroitiin yksi ruutu per käsittely per toisto.

Maahengitysmittauksilla tutkittiin juurien soluhengityksestä, maaperän eliöiden hengityksestä sekä karikkeen ja muun maan orgaanisen aineksen hajoamisesta syntyvän hiilidioksidin määrää. Kokeessa käytettiin suljetun staattisen kammion menetelmällä toimivia ämpäreitä, Drägerin ilmaisinputkia ja Vaisalan GM70-hiilidioksidimittalaitetta. Maaperän orgaanisen aineksen määrää mitattiin hehkutuskevennyksellä.

Orgaanisen aineksen osuuden muutoksesta löytyi tilastollisesti merkitsevä ero. Aikaisempien vuosien maahengityksestä löydetty tilastollisesti merkitsevät erot eivät näkyneet vuoden 2023 mittauksissa.

Avainsanat Maaperä, maahengitys, maanparannus, orgaaninen aines.

Sivut 25 sivua

Degree programme in horticulture

Lepaa

Author Topi Ylönen

Year 2024

Subject The effect of the addition of soil enrichment substances on the soil's carbon dioxide production in a field experiment of 10 growing seasons in 2014-2023

Supervisor Teo Kanninen

The aim of this thesis was to study both the effects of addition of soil enrichment substances on soil respiration and also the rate at which it has decayed in a joint 10 growing season-experiment with Häme University of applied sciences and the client, Humuspehtoori Oy. The field experiment was established at Lepaa in the spring 2014 and it ended in the autumn of 2023. This thesis deals with the results of soil respiration measurements and the amount of organic matter found in different years of the experiment.

There were 32 test squares in the experiment which were divided into eight treatments and four repetitions. The total area of the test fields was approximately 1,1 hectares and the area of a single square was 345m². Half of the squares received different combinations of soil enrichment substances, a quarter received artificial fertilizers and a quarter were left as control plots without soil enrichment substances or artificial fertilizers. In the first year, one square per treatment per repetition was treated with a subsoil ploughing.

Soil respiration measurements were used to study the amount of carbon dioxide produced by the cellular respiration of the roots, the respiration of soil organisms, and the decomposition of litter and other soil organic matter. The experiment used closed static chamber buckets, Dräger detection tubes and Vaisala GM70 carbon dioxide meter. The amount of soil organic matter was measured by annealing reduction.

A statistically significant difference was found in the proportion of organic matter. The statistically significant differences found in previous years were not visible in the measurements of 2023.

Keywords Soil, earth respiration, soil enrichment, organic matter

Pages 25 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Maaperä.....	2
2.1	Maaperän fysikaaliset ominaisuudet	2
2.2	Maaperän biologiset ominaisuudet.....	4
2.2.1	Orgaaninen aines	5
3	Maahengitys	7
3.1	Mittausmenetelmiä.....	8
4	Maanparannus.....	9
5	Aineisto ja menetelmät.....	10
5.1	Koeruudut ja käsittelyt.....	10
5.2	Maahengitysmittaukset	12
5.3	Orgaanisen aineksen mittaukset.....	14
6	Tulokset	14
6.1	Vuoden 2023 maahengitysmittaukset	14
6.2	Maahengityksen muutos	16
6.3	Kontrolliruutujen muutos	17
6.4	orgaaninen aines	19
7	Tulosten tarkastelu.....	21
8	Johtopäätökset.....	22
	Lähteet	23

1 Johdanto

Maaperän tuottama maahengitys on viljelymaan kannalta tärkeä ilmiö. Ensimmäiset tutkimukset maahengityksestä ovat 1800-luvulta, jolloin sen tutkimuksilla kartoitettiin maaperän aineenvaihduntaa. 1900-luvun alkupuolella maahengitystä käytettiin maaperän hedelmällisyyden ja biologisen aktiivisuuden arviointiin koska kenttäkokeissa oltiin huomattu viljelykasvien lannoittamisen nostavan maahengityksen määrää. (Luo ym., 2006, ss. 7—8) 1950-luvulta alkaen tutkimuksia on tehty tasaisella vauhdilla aina 2000-luvulle asti, mutta viime vuosikymmeninä kiinnostus maahengityksen suhteesta globaaleihin muutoksiin, kuten maaperän köyhtymiseen (Rey ym., 2021, s 323) ja ilmastonmuutokseen (Zhou ym., 2016, 3157) ovat moninkertaistaneet maahengityksestä tehdyt tieteelliset tutkimukset.

Maanparannusaineilla voidaan parantaa maan viljelyominaisuuksia, kuten sen veden- ja ravinteidenpidätyskykyä tai vähentää maanpinnan liettymis- ja kuorettumisvaaraa. Sillä voidaan myös vähentään väkilannoituksen tarvetta joko suoralla lannoitusvaikutuksella tai maaperän eliötoiminnan vilkastuttamisella joka edistää ravinteiden vapautumista maaineksesta. (Kempainen, 1992, s. 296)

Tämä opinnäytetyö käsittelee Humuspehtoori Oy:n ja Hämeen ammattikorkeakoulun yhteistyössä toteutettua kymmenen kasvukauden mittaista peltokoetta Lepaan alueella vuosina 2014-2023. Kokeessa tutkitaan maanparannusaineiden pitkäaikaisia vaikutuksia maaperän ominaisuuksiin. Maanparannusaineita on lisätty vuosina 2014, 2016 ja 2019.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin miten maanparannusaineen lisääminen näkyy kokeen koeruutujen hiilidioksidituotannossa kymmenen kasvukauden jälkeen ja miten nopeasti maanparannusaine on hajonnut.

2 Maaperä

Maan uloin peite, maaperä, on kallioperän päälle kerääntynyt kerros joka koostuu orgaanisista ja epäorgaanisista ainesosista. Se peittää maapallon pinta-alasta noin kolmanneksen. Tässä kerroksessa ja sen päällä kasvien ja muiden eliöiden elämä, lisääntyminen ja kuolema ylläpitävät jatkuvaa orgaanisen ja epäorgaanisen aineen kiertoa josta kasvit saavat ravinteita. Maaperä tarjoaa kasveille ravinteiden lisäksi myös sen tarvitseman ilman ja veden sekä fyysisen tuen juurtumiselle. (Subba Rao, 1995, s.12; Wood, 1995, s. 1)

Orgaaninen aines on peräisin kaikista eliöistä jotka elävät maaperässä tai sen päällä. (Wood, 1995, s. 5) Epäorgaaninen aines on sen sijaan peräisin pääosin mannerjäätikön kvartäärikauden viimeisiltä kymmeniltä tuhansilta vuosilta, jolloin mannerjäätikkö rouhi epäorgaanista ainesta peruskalliosta, mutta myös osittain miljoonien vuosien saatossa tapahtuneesta kivien ja kallioiden rapautumisesta. (Subba Rao, 1995, s.12)

Maaperän ominaisuuksia tutkittiin pitkään lähinnä kemiallisesta näkökulmasta. Vasta 1800-luvun lopulla alettiin maaperää hahmottamaan fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten reaktioiden muodostamana kokonaisuutena jossa jokainen osa on vuorovaikutuksissa keskenään: maaperän fysikaaliset ominaisuudet luovat elinympäristön joissa mikrobit ja muut biologiset tekijät osallistuvat maaperän kemiallisiin reaktioihin. (Hartikainen, 1992, s.72)

2.1 Maaperän fysikaaliset ominaisuudet

Maaperän tärkeimpiä fysikaalisten ominaisuuksien määrittäjiä ovat sen maalaji, eli lajitekoostumus, ja rakenne. Maalajit jakaantuvat eloperäisiin maihin ja kivennäismaihin. Eloperäiseksi maaksi lasketaan kaikki maa jossa orgaanista ainesta on yli 20% ja kivennäismaaksi maa jossa on orgaanista ainetta alle 20%. poikkeuksena näihin on liejumaat, jotka lasketaan eloperäisiksi maiksi kun orgaanisen aineksen pitoisuus on yli 6%. Eloperäiset maat luokitellaan niiden orgaanisen aineksen määrän ja laadun mukaan. Maaperän Maalaji määräytyy sen vallitsevan maalajitteen mukaan. (Kempainen, 1992 ss. 24—25) Kivennäismaiden lajiteluokittelu perustuu raekokoon. (taulukko 1) (Aaltonen ym., 1949, s.39)

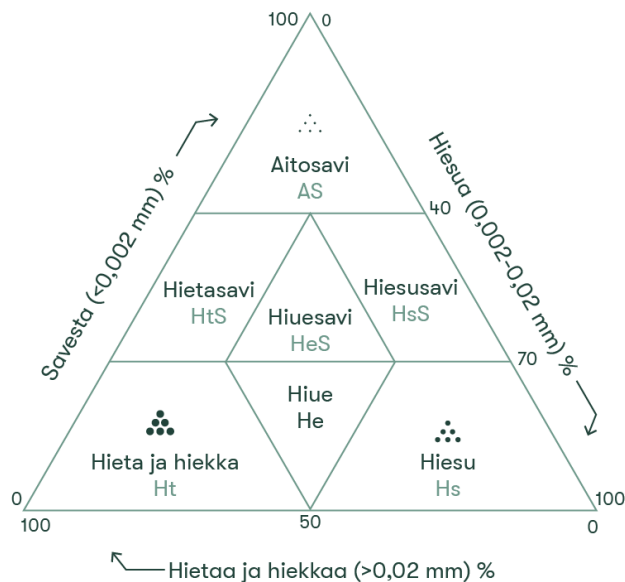
Taulukko 1 Kivennäismaiden luokittelu raekoon mukaan. (Aaltonen ym., 1949, s. 39)

Lajite	Läpimitta
Karkea sora	20—6 mm
Hieno sora	6—2 mm
Karkea hiekka	2,0—0,6 mm
Hieno hiekka	0,6—0,2 mm
Karkea hieta	0,2—0,06 mm
Hieno hieta	0,06—0,02 mm
Karkea hiesu	0,02—0,006 mm
Hieno hiesu	0,006—0,002 mm
Karkea savi	0,006—0,0002 mm
Hieno savi	<0,0002 mm

Maalajia määrittäessä voi käyttää apuna maalajikolmiota (kuva 1) (Minnealearn, n.d.).

Määrittäminen aloitetaan savespitoisuuden osoittavalta sivulta. (Minnealearn, n.d.)

Kuva 1 Maalajien määrittämiseen käytetty maalajikolmio (minnealearn n.d.)



Maan rakenne muodostuu sen erilaisista pienhiukkasista koostuvista ryhmittymistä ja niiden väliin jäävistä huokostiloista. Nämä säätelevät kasveille tärkeää vesitaloutta, ilmavuutta,

maan lämpötilaa (Heinonen, 1992, s. 90) ja kaasujen vaihtoa (Metting, 1992, s. 4) sekä näiden välityksellä maan mikrobitoimintaa (Heinonen, 1992, s. 90)

Karkeilla kivennäismailla on usein hiukkasrakenne, mikä tarkoittaa maan pienhiukkasten olevan irrallaan tai vain löyhinä rakenneosina eli aggregaatteina. Niiden syvemmät kerrokset ovat usein kovettuneet mineraalirakenteiden kosketuskohtiin saostuneen rauta- ja alumiinioksidin tai kolloidisen piihapon toimesta, joka toimii sementinkaltaisena sidosaineena. (Heinonen, 1992, s. 90)

Runsasmultaisilla aitosavimailla sen sijaan rakenneosia syntyy luonnollisten prosessien kautta runsaasti mikä johtaa suotuisissa olosuhteissa 1-10 mm mittaisiin pyöreisiin aggregaatteihin eli muruihin. Mururakenteen muodostumiseen vaikuttaa monia tekijöitä, mutta se perustuu pienten savihiukkasten sattumanvaraisen lämpöliikkeen aiheuttamaan koagulaatioon, jossa Hartikaisen (1992, s.93) mukaan ”veteen hajautuneet primäärihiukkaset takertuvat toisiinsa.” Savihiukkasten reaktiivisuus perustuu niiden pienen koon lisäksi myös sen reaktiiviseen pintaan (Dziadkowiec & Royne, 2020, s. 1).

2.2 Maaperän biologiset ominaisuudet

Kaikki maaperän biologiset ominaisuudet ovat peräisin elävistä eliöistä ja niiden toiminnasta (Minnealearn, n.d.). Maaperän eliökunta ryhmitellään usein sen koon mukaan (taulukko 2) (Wood, 1995, s. 16) (Wood, 1995. s 15).

Taulukko 2 Maaperän eliöiden luokittelu läpimitan mukaan, mukaelma Woodin (1995, s. 16) taulukosta.

Ryhmä	Läpimitta	Eliöt
Mikrofloora	<10 µm	Bakteerit, sienet
Mikrofauna	10—100 µm	Alkueläimet, sukkulamadot
Mesofauna	0,1—2 mm	Hyppyhäntäiset, punkit, änkyrimadot, termiitit
Makrofauna	2—20 mm	Kaksoisjalkaiset, siirat, hyönteiset, nilviäiset, lierot

Maaperän mikrofauna käyttää ravinnokseen mm. bakteereita, leviä ja sieniä samalla edistään orgaanisen aineksen hajotusta. Mesofaunan ravintona on bakteerien, levien ja sienien lisäksi myös kasvimehut ja muu eläimistö.(Hartikainen, 1992, s. 78) Lauhkean ja kylmän vyöhykkeen alueilla mesofaunan vaikutus maaperän muokkaukseen on pienempi, mutta trooppisilla ja subtrooppisilla vyöhykkeillä mesofaunaan kuuluvat termiitit ovat tärkeä kasviaineksen pilkkoja. (Wood, 1995, s.28). Makrofauna osallistuu orgaanisen aineksen pilkkomisen lisäksi myös vahvasti maaperän rakenteen muokkaamiseen. Nivelmatoihiin

(*Annelida*) kuuluvat lierot (*Lumbricidae*) ovat tämän ryhmän tärkeimpiä eliöitä. Niiden kaivamat reiät edistävät maan vedenläpäisykykyä, ilmanvaihtoa ja juurten kasvua. Lierojen ruoansulatuskanavan läpi käynyt maa-aines ja orgaaninen aines muodostavat myös pienempien mikrobien avustuksella lima-aineksilla vahvistettuja muruja. Kyntämisellä on todettu olevan suuri negatiivinen vaikutus lierojen määrään maaperässä ja jokavuotisen kynnön on joskus todettu hävittävän ne maasta kokonaan. Myös eri torjunta-aineiden käytöllä on havaittu lierojen kantaa pienentävä vaikutus. (Heinonen, 1992. s. 105)

Bakteerien suorittama typen sidonta on yksi maaperän tärkeimpiä biologisia prosesseja. siinä typen sidontaan erikoistuneet bakteerit muuttavat ilmakehän vapaata typpeä kasvien ravinteeksi sopivaksi ammoniakiksi seuraavalla reaktioyhtälöllä: $N_2 + 6H^+ + 6e^- \rightarrow 2NH_3$. Kaikkia typensitojabakteereja yhdistää niiden kyky tuottaa nitrogenaasiksi nimettyä entsyymiä, joka hajottaa N_2 -molekyylin kovalenttisen kolmoissidoksen. (Wood, 1995, s. 45)

Nitrifikaatio tapahtuu, kun maaperän mikrobit hapettavat ensin ammoniumin nitriitiksi ($NH_4^+ + O_2 \rightarrow NO_2^- + 4H^+ + 2e^-$) ja sen jälkeen nitriitistä nitraatiksi ($NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2e^- + 2H^+$). Molempiin vaiheisiin on omat erikoistuneet mikrobikantansa. (Wood, 1995, ss. 47—48)
Reaktiot alkavat maan lämpötilan ollessa noin 5 °c ja ovat nopeimmillaan sen ollessa 25-30 °c. Reaktiossa syntyvä vety happamoittaa maaperää. (Hartikainen, 1992, s. 75)

Denitrifikaatio on prosessi jossa nitraatti pelkistyy dityppioksidiksi, N_2O , ja vapaaksi typpikaasuksi, N_2 . Sen aiheuttaa fakultatiivisesti anaerobiset bakteerit jotka voivat käyttää nitraattia, nitriittiä tai typen oksideja hapen lähteenä vapaan hapen puuttuessa. Tästä syystä denitrifikaatio tapahtuu voimakkaimmin maassa jonka happipitoisuus on matala ja joka on märkää, lämmintä, ei liian hapanta ja jossa on runsaasti orgaanista ainesta. (Hartikainen, 1992, s.76)

2.2.1 Orgaaninen aines

Orgaanisen aineksen määrä ja laatu ovat merkittäviä vaikuttajia maan fysikaalisissa, biologisissa ja kemiallisissa ominaisuuksissa. Helposti hajoavan orgaanisen aineksen vapauttamat ravinteet ovat varsinkin lannoittamattomassa maaperässä tärkeä ravinteiden lähde kasveille. Samalla vapautuva hiilidioksidi tukee myös kasvien kasvua. Orgaanisen aineksen mikrobiologisessa hajotuksessa syntyvät happamat kelatoivat ainekset edesauttavat kasvien ravinteiden saantia rapauttamalla maan kivennäisaineksia helpommin käytettävään muotoon. (Hartikainen, 1992, s. 40)

Hartikaisen (1992, s. 44) mukaan maan orgaaniseen ainekseen ”luetaan kuuluvaksi kaikki maan sisässä ja pinnalla oleva kuollut kasveista tai eläimistä peräisin oleva aines, niiden orgaaniset hajotustuotteet sekä niistä syntetisoitu aines”. Orgaaninen aines voidaan jaotella kolmeen eri ryhmään: vielä hajaantumaton kasvien ja eläinten sekä mikro-organismien jäte, eri hajaantumisasteilla oleva aines ja humus (Hartikainen, 1992, ss.44—45)

Humus on heterogeenistä, amorfista, tummaa massaa jota muodostuu kun orgaanisen aineksen hajoamistuotteet reagoivat keskenään tai yhdessä mikrobien syntetisoiman aineksen kanssa. Humusaineet ovat kestäviä mikrobiologista hajotusta vastaan. (Hartikainen, 1992, ss. 44—47) Humuksen osuus maan orgaanisesta aineksestä on noin 80%. Humuksen hiilipitoisuus on noin 58% ja sen typpipitoisuus noin 3-6%. (Luo ym., 2006, s.57.) Humusaineet voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin niiden liukoisuuden mukaan. Humiini on humuksen osa joka ei liukene veteen missään olosuhteissa veteen. Humushapot ovat humuksen osa jotka eivät liukene veteen pH:n ollessa alle 2, mutta liukenevat veteen kun sen pH on yli 2. Fulvohapot liukenevat veteen riippumatta sen pH:sta. Humusaineiden tärkeimmät funktionaaliset kemiallisiin reaktioihin osallistuvat ryhmät ovat karboksyyliiryhmät (-COOH), fenoliset ja alkoholiset OH-ryhmät, ketoryhmät (-C=O) ja metoksiryhmät (-OCH₃).

Hajotuksen nopeuteen vaikuttavat maaperän lämpötila, kosteus, ravinteiden määrä, maan pH ja hapen määrä. Kuivassa maassa maaperän hajottajien toiminta hidastuu eikä lämpötilan nousulla ole yhtä suurta kiihdyttävää vaikutusta kuin maassa jonka kosteus on eliöiden kannalta riittävä. Liian kostea maa taas estää monen happea tarvitsevan hajottamiseen osallistuvien eliöiden, kuten sienten, toiminnan. Hapan maa ei puolestaan ole edullinen kasvuympäristö useimmille bakteereille. (Hartikainen, 1992, s. 46)

Hajotettava kasviaines koostuu monista eri yhdisteistä. Soluseinämistä peräisin oleva aines on pääosin hemiselluloosaa, selluloosaa ja ligniiniä. Solun sisältä on peräisin sokeria, tärkkelystä ja erilaisia typpipitoisia yhdisteitä. (Hartikainen, 1992, s.45)

Ammonifikaatio tapahtuu, kun maaperän mikrobien orgaanisen aineksen hajotuksessa syntynyt ammoniakki (NH₃) ionisoituu maaperässä ammoniumioneiksi (NH₄⁺). Ammoniakin ammonifikaatio tapahtuu parhaiten maaperän pH:n ollessa 6-7. Jos maaperän pH on alle 6, alkaa ammoniakkia haihtua maaperästä ilmaan merkittävästi. (Karvonen, 1992, s. 3) Typen ammonifikaatio ja nitrifikaatio ovat yhdessä vastuussa typen mineralisaatiosta, jossa typen orgaaniset muodot hajoavat kasvien ravinnoksi sopivaksi ammoniakiksi ja ammoniumioneiksi. Osa mikrobien ravinnoksi käyttämistä typpiyhdisteistä päättyy niiden omaan valkuusainetuotantoon, ja mikrobien kuoltua valkuusaineet päättyvät takaisin

maaperän orgaaniseen ainekseen. Tätä kutsutaan typen immobilisaatioksi. (Hartikainen, 1992, s.47)

Maaperän hiilen ja typen suhdetta (C/N-suhde) on usein käytetty arvioitaessa orgaanisen aineksen mineralisoituvuutta. Mitä suurempi C/N-suhde on, sitä hitaammin aines mineralisoituu. Jos maahan päätyneen hajotettavan karikkeen typpipitoisuus on vähäinen, tulee viljelysmailla pitää huolta viljelykasvien riittävästä typensaannista lannoitusta suunniteltaessa. (Hartikainen, 1992, s. 47)

Orgaanisen aineksen hajoamisvauhti on noin 5% sen kokonaismäärästä per vuosi. Lämpötilan nostaminen lisää usein humuksen hajoamista, ja maaperän ilmavuus on usein hapettamisreaktioita suosiva ominaisuus. Typen riittävä tarjonta kiihdyttää yleensä kaiken orgaanisen aineksen hajoamista. (Luo ym., 2006, s. 58).

3 Maahengitys

Maahengitys tarkoittaa maaperästä vapautuvaa hiilidioksidivirtaa joka koostuu juurien soluhengityksestä, maaperän eliöiden hengityksestä sekä karikkeen ja maan orgaanisen aineksen hajoamisesta. (Luo ym., 2006, johdanto)

juurien kautta tapahtuva soluhengitys kattaa keskimäärin 50% kaikesta maaperän soluhengityksestä, mutta eri olosuhteissa tehdyissä kokeissa on saatu tuloksia vaihteluvälillä 10-90%. Se myös kuluttaa soluhengityksessä 10-50% kasvin fotosynteesissä sitomasta hiilestä joka on glukoosin muodossa. Tämän johdosta maaperän juurikarvojen määrä korreloi hyvin mitatun maahengityksen kanssa. Juurten biomassan määrään ekosysteemissä vaikuttaa sen oman ekosysteemin synnyttämien kasvien määrä ja sijoittuminen ja se vaihtelee vuodenaikojen ja kasvupaikan mukaan. Useissa kokeissa maahengityksen ollaan todettu nousevan lineaarisesti yhdessä juuriston typpipitoisuuden kanssa. (Luo ym., 2006, s. 42)

Ritsosfääri on juurien ulkopinnan ja sitä ympäröivän maaperän väliin jäävä pieni, 10-20 µm paksu vyöhyke jota ympäröi limakerros. Juurten jatkuvasti erittämien aineiden vuoksi ritsosfääri on maaperän mikrobeille otollinen paikka asua, ja sitä asuttavat mikrobikannat ovat usein suuresti muusta maaperästä poikkeavia. Juurista erittyvistä aineista suurin osa päätyy bakteerien hajottamaksi. Ritsosfäärillä on tärkeä osa kasvien ja mikrobien vuorovaikutuksessa, jossa se säätelee ravinteiden saatavuutta, mikrobien toimintaa, karikkeen hajoamista ja maan orgaanisen aineksen prosesseja. (Luo ym., 2006, s. 46) Jopa 80% kaikkien nykyisten kasvien juuristoista elää symbioosissa mykorritsan eli sienijuuren

kanssa. (Haahtela & Salkinoja-Salonen, 2006, s. 397). Mykorritsa saa juuresta kasvin fotosynteesin tuottamia hiiliyhdisteitä ja kasvi saa mykorritsalta sen keräämää fosfaattia ja typpeä. Mykorritsa kuluttaa keskimäärin noin 10-20% kasvin fotosynteesissä valmistamasta glukoosista, mutta ekosysteemistä riippuen vaihteluväli voi olla 5-85%. (Luo ym., 2006, ss. 46—48). Yksittäisessä kokeessa ritsosfäärin mikrobien osuus kokonaismaahengityksestä arvioitiin olevan noin 23% (Sulzman, s.246).

Karikkeen hajoaminen on eri kokeissa tuottanut 15% ja 27% maaperän kokonaismaahengityksestä. Kariketta syntyy kun elävästä kasvista siirtyy biomassaa maaperään. Vuosittain maaperään siirtyvän karikkeen määrä vaihtelee ekosysteemin mukaan sademetsien $550-1200\text{g m}^{-2}\text{v}^{-1}$ ja aavikoiden $60\text{g m}^{-2}\text{v}^{-1}$ välillä. (Luo ym., 2006, s.49) Karikkeen sisältämien erilaisten yhdisteiden seurauksena sen hajoamisen nopeus ei pysy vakiona vaan on ensin nopeaa ja hidastuu ekosysteemin elinolojen mukaan. Karikkeen hajoaminen vaatii sen rakenteesta riippuen erilaisia mikrobeja tuottamaan hajottavia entsyymejä jotta sen orgaaniset ainekset ovat maaperän eliöiden käytettävissä. Maaperän eläimistö osallistuu hajottamiseen isojen karikepalojen pirstomisella, bakteerien ja virusten laiduntamisella sekä maaperän muokkamisella. (Luo ym., 2006, ss. 51—52) Karikkeen hajoamisnopeuteen vaikuttavista ilmastollisista tekijöistä tärkeimpiä ovat lämpötila ja sateen määrä (Luo ym., 2006, s. 55).

3.1 Mittausmenetelmiä

Tapoja maahengityksen mittaukseen on useita: erilaiset kammioratkaisut, alkaali- ja soda-kalkkiansat, kaasukaivot ja kaasukromatografrit. Erityyppiset kammiot ovat niistä yleisin menetelmä ja ne jakautuvat kolmeen eri osaan: suljettu dynaaminen kammio, avoin dynaaminen kammio sekä staattinen suljettu kammio. (Luo ym., 2006, ss.162—163)

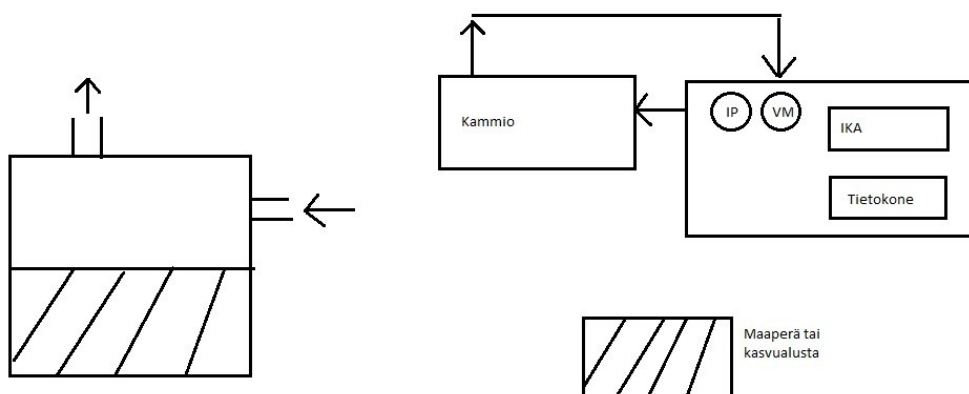
Suljetussa dynaamisessa kammiossa on avoin pohja joka painetaan tiivistetysti maahan, ja puhallin joka liikuttaa ilmamassaa silmukassa kammion ja infrapunakaasuanturin välillä (kuva 2) (Luo ym., 2006, s. 164). Tulos saadaan kun verrataan kulunutta aikaa hiilidioksidin nousuun. Hyötyinä tässä menetelmässä ovat helppokäyttöisyys, hyvä saatavuus, kalibroinnin vähäinen tarve ja lyhyt näytteenottoaika. Haittapuolina ovat suuri työn määrä ja kammioon kerääntyvä hiilidioksidi joka häiritsee sen diffuusion asteittaista muutosta. (Luo ym., 2006, ss. 164—167)

Avoimessa dynaamisessa kammiossa silmukan sijaan ilma pumpataan sen läpi ja hiilidioksidin tuotto lasketaan antureilla jotka mittaavat ilman hiilidioksidipitoisuuden erotuksen sisälle menevästä ja ulos poistuvasta ilmasta. Luotettavan tuloksen saamiseksi

täytyy kammion olla jatkuvuustilassa jotta ilmavirta on vakio. Hyvinä puolina ovat tarkat tulokset jotka ovat helppo erotella ajallisesti. Haittapuolina ovat herkkyys paineen muutoksille kammion ulko- ja sisäpuolella, hidas jatkuvuustilan saavuttaminen ja differentiaaliikaasuanalysaattorin sekä massavirtauskontrollerin tarve. (Luo ym., 2006, ss. 169—170)

Staattisessa suljetussa kammiossa on tila täysin eristetty hiilidioksidin keräyksen ajaksi. Tämän jälkeen näyte voidaan ottaa kammion sisältä injektio-ruiskulla laboratoriossa myöhemmin tutkittavaksi. Toinen tapa on asettaa kammion sisään imukykyistä kemikaalia, esimerkiksi natriumhydroksidia, kaliumhydroksidia tai sooda-kalkkia. Natriumhydroksidilla ja kaliumhydroksidilla tulos saadaan imeytyksen jälkeen titraamalla, ja sooda-kalkilla se saadaan laskemalla imeytyksen aikana tapahtunut painon muutos. (Luo ym., 2006, ss. 170—173)

Kuva 2 Suljetun dynaamisen kammion toimintaperiaate, IP=ilmapumppu, VM=virtausmittari, IKA=infrapunakaasuanturi. Mukaelma Luon ym. kuvasta. (2006, s. 164)



4 Maanparannus

Maanparannus on toimenpide jolla pyritään ensisijaisesti muokkaamaan ravinteiden pidätyskykyä ja saatavuutta sekä maan fysikaalisia olosuhteita suotuisammaksi sekä kasville että viljelijälle. Usein maanparannusaineiden sisältämien ravinteiden syystä sillä on myös lannoittava vaikutus. Vielä 1900-luvun alkupuolella ennen väkilannoitteiden kehittämistä

maanparannusaineiden sisältämällä ravinteilla oli nykypäivään verrattuna suurempi vaikutus satoisuuteen. (Kempainen, 1992 s.295)

Maanparannus on usein kallis ja aikaa vievä toimenpide. Maanparannusainetta voi joutua lisäämään maahan jopa 1000 m³ hehtaaria kohden, ja sen lisäksi viljelyalan kesannoiti on usein tarpeellista lisäysvuotena. Vastapainona maanparannuksen vaikutukset ovat usein pitkäaikaisia, ja pitkälle aikavälille jaettuna sen vuotuiset kustannukset pysyvät usein maltillisina. Orgaanisen aineksen lisäys on aina vaikutuksiltaan lyhytaikaisempaa kuin kivennäisaineiden. (Kempainen, 1992, s.295)

Kivennäismaan käyttö maanparannusaineena on yleisintä turvemaidella, joissa sen lisäyksellä parannetaan maan liiallista löyhyyttä ja huonoa lämmön- ja vedenjohtokykyä. Kivennäismaata voidaan myös sen tyypistä riippuen käyttää yksipuolisen lajitekoostumuksen omaavien kivennäismaiden parantamiseen: karkeiden kivennäismaiden ravinteiden- ja vedenpidätyskykyä voidaan korjata saveamalla ja hiekan lisäys kuohkeuttaa savi- ja hiesumaan tiivistä rakennetta. (Kempainen, 1992, s. 298)

Orgaanisiksi maanparannusaineiksi luetaan mm. muta, turve, erilaiset kompostit, eloperäiset jätteet, olki, puunkuorirouhe, karie ja hake. Orgaanisen maanparannusaineen ja lannoitteen ero on sen ensisijainen vaikutus. Orgaanisella maanparannusaineella se on maan fyysikaalisten ominaisuuksien parantaminen ja lannoitteilla lannoitus. Orgaaninen maanparannus vilkastuttaa myös maaperän mikrobitoimintaa, jolla on välillisiä vaikutuksia kivennäismaan viljelyominaisuuksiin. Mikrobitoiminnan kiihtyminen lisää hiilidioksidin tuotantoa, joka edistää maaperässä ravinteiden vapautumista maa-aineksesta. Ravinteiden vapautuminen lisää mikrobiston lima-aineiden tuotantoa, joka parantaa maan mururakenteen kestävyyttä Haihtuessaan maaperästä hiilidioksidi edistää myös kasvin fotosynteesiä. Useilla orgaanisilla maanparannusaineilla on myös monivuotinen typpilannoitusvaikutus.

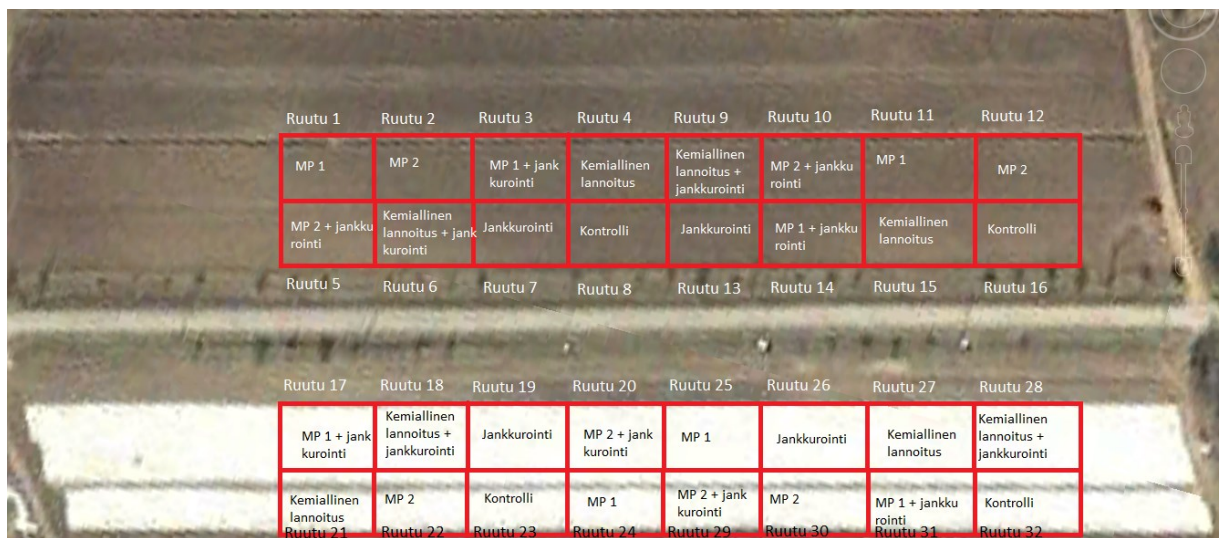
5 Aineisto ja menetelmät

5.1 Koeruudut ja käsittelyt

Yhteensä noi hehtaarin kokoinen, 32 ruutua sisältävä koeala sijaitsi Lepaantien varrella jakaantuneena tasaisesti sen molemmin puolin (kuva 3). Yhden ruudun pinta-ala oli 345m². Koealalla oli 8 käsittelyä ja 4 toistoa. Käsittelyt olivat seuraavat:

- 1) Maanparannusaine 1
- 2) Maanparannusaine 2
- 3) Maanparannusaine 1 + jankkurointi
- 4) Maanparannusaine 2 + jankkurointi
- 5) Kemiallinen lannoitus
- 6) Kemiallinen lannoitus + jankkurointi
- 7) Jankkurointi
- 8) Kontrolli

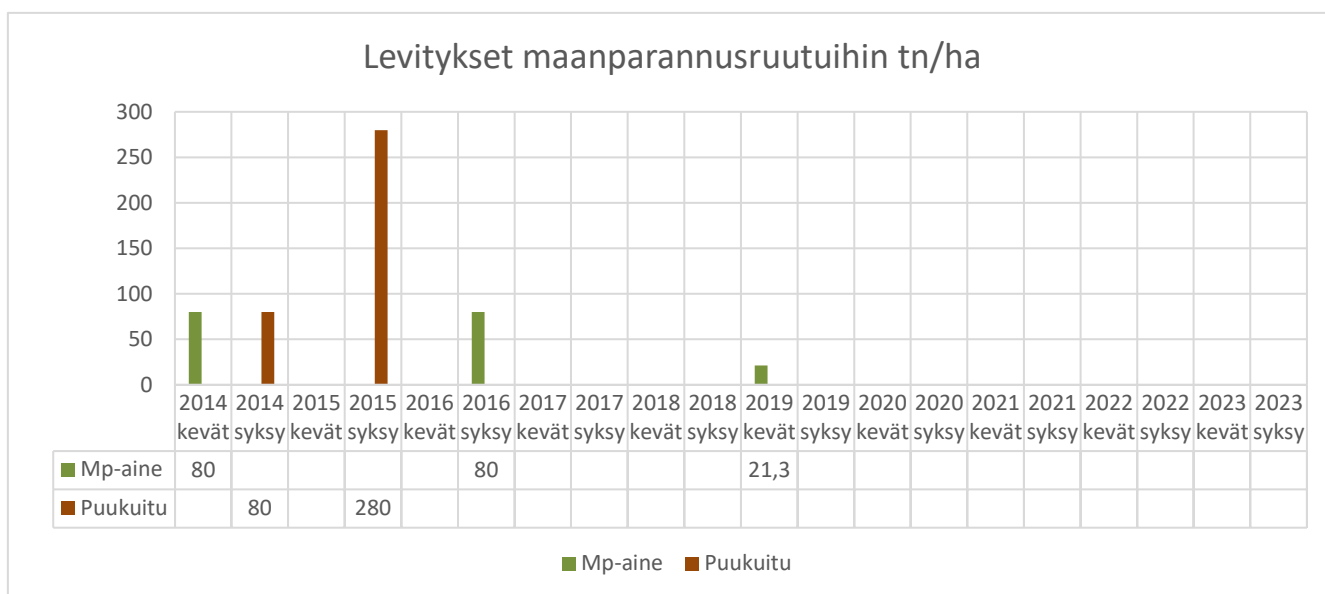
Kuva 3 Ilmakuva koepeltolohkoista ja käsittelyistä.



Maanparannusruutuihin oli lisätty maanparannusaineina kahta eri eläinlantapohjaista tuotetta sekä puukuitulietettä. Eläinlantapohjaisia tuotteita levitettiin keväällä 2014 80 tn/ha, syksyllä 2016 80tn/ha ja keväällä 2019 21,3 tn/ha. Puukuitulietettä lisättiin syksyllä 2014 80 tn/ha ja syksyllä 2015 280tn/ha. (taulukko 3)

Koeala äestettiin joka kevät. Kyntö tehtiin ensimmäistä vuotta lukuun ottamatta joka syksy.

Taulukko 3 Maanparannusruutuihin tehdyt lisäykset vuosittain.



Viljelykasveina on ollut sinimailanen (*Medicago sativa*), kaura (*Avena sativa*), vehnä (*Triticum aestivum*) ja ohra (*Hordeum vulgare*) (taulukko 4).

Taulukko 4 Viljelykasvit vuosittain

Vuosi	Viljelykasvi
2014	Sinimailanen
2015	Sinimailanen
2016	Kaura
2017	Vehnä
2018	Ohra
2019	Ohra
2020	Ohra
2021	Ohra
2022	Ohra
2023	Ohra

5.2 Maahengitysmittaukset

Maahengityksen mittaukset suoritettiin 3.-6.10.2023, jonka aikana jokaisesta ruudusta suoritettiin kolme näytteenottoa. Tämän lisäksi vertailussa ovat vuosina 2014 ja 2016 otetut näytteet.

Näyte otettiin poistamalla näytteenotto paikasta maan pintakerros kevyesti lapiolla, jonka jälkeen ämpäriin yläreuna painettiin tiiviisti noin 3-5 senttimetriä maan sisään. Lopuksi ämpäriin päälle asetettiin tiili pitämään sen paikallaan. Kun ämpäri oli ollut halutun ajan paikoillaan laitettiin ämpäriin tehtyjen peitettyjen reikien kautta ensin Vaisalan kannettavan hiilidioksidimittalaitteen lämpötila- kosteus- ja hiilidioksidianturit. Tämän jälkeen mittaus tehtiin Dräger-putkella, jonka läpi imettiin ruiskun avulla 10x100ml ilmaa noin viiden minuutin ajan. (kuva 4) Dräger-putki määrittä pitoisuuden välillä 100-3000 ppm. Kun mitattava hiilidioksidin taso ei noussut kymmeneen sekuntiin, kirjattiin Vaisalan GM70- hiilidioksidianturin antama tulos ylös. Keskimäärin tämä vei noin 6 minuuttia anturin ämpäriin asettamisesta. Vaisalan mittari määrittä pitoisuuden välillä 0-10 000 ppm.

Ensimmäisen päivän mittaukset tehtiin siten, että ämpärit olivat maassa tunnin ennen mittauksen ottoa. Koska joistain ruuduista saatiin hyvin lähelle Dräger-putken maksimimittaustasoa lähellä olevia tuloksia tehtiin loput mittaukset puolen tunnin odotusajalla. Ensimmäisen päivän mittauksista saadut tulokset saatiin yhteneväisiksi myöhempien tulosten kanssa olettaen hiilidioksidin nousun olleen lineaarinen kuluneen ajan suhteen. Myös edellisten vuosien tulokset ovat laskettu aikaisemmista mittausmääreistä ja aikaväleistä uusimman kanssa yhteneväisiksi.

Kaksi näytettä jouduttiin jättämään pois mittalaitteen toimintahäiriön ja näytteenotto paikan häirinnän johdosta.

Kuva 4 Maahengitysnäytteen otto. (Konttinen 2023)



5.3 Orgaanisen aineksen mittaukset

Orgaanisen aineksen mittaukset suoritettiin hehkutuskevennyksellä vuosina 2014 ja 2016.

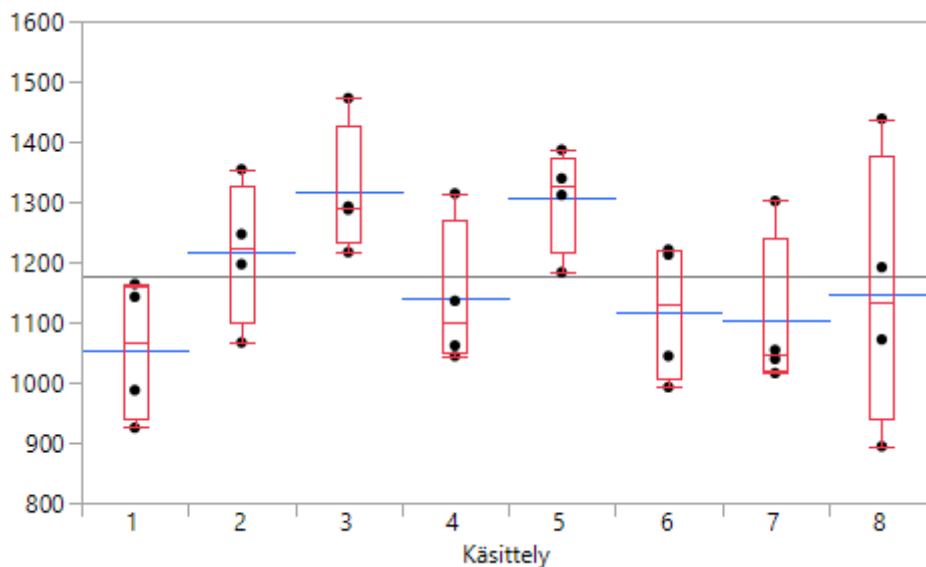
6 Tulokset

Tuloksien käsittelyyn on käytetty jmp pro-tilastoanalyysiohjelmaa, jolla on muodostettu sekä erilaisia keskiarvollisia eroja vertailevia box plot-kuvia ja t-testejä, että pylväsdiagrammeja. Box plot-kuvissa ja t-testeissä harmaa poikkiviiva kuvaa kaikkien x-akselin arvojen keskiarvoa ja sininen poikkiviiva laatikon päällä sen kohdan x-akselin muuttujan keskiarvoa. Mustat pisteet kuvaavat yhden toiston keskiarvoja tai yksittäisiä mitattuja tuloksia.

6.1 Vuoden 2023 maahengitysmittaukset

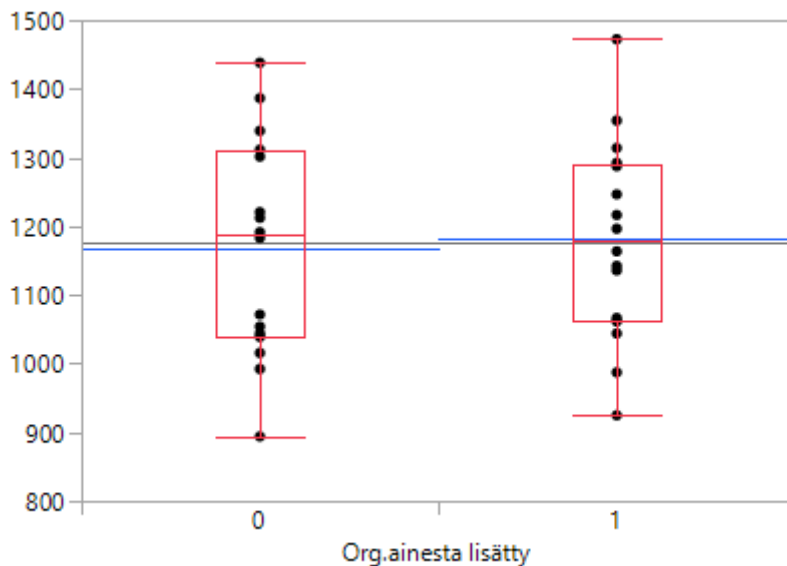
Vuoden 2023 maahengitysmittauksien tuloksia tarkasteltiin käsittelyittäin (taulukko 5) ja jaoitellen oliko orgaanista ainesta lisätty vai ei (taulukko 6).

Taulukko 5 Hiilidioksidi ppm käsittelyittäin.



Maahengitysmittauksissa ei löytynyt käsittelyiden väliltä tilastollisesti merkitseviä eroja.

Taulukko 6 Hiilidioksidin taso ppm. 0= ei lisätty orgaanista ainesta, 1=lisätty orgaanista ainesta.

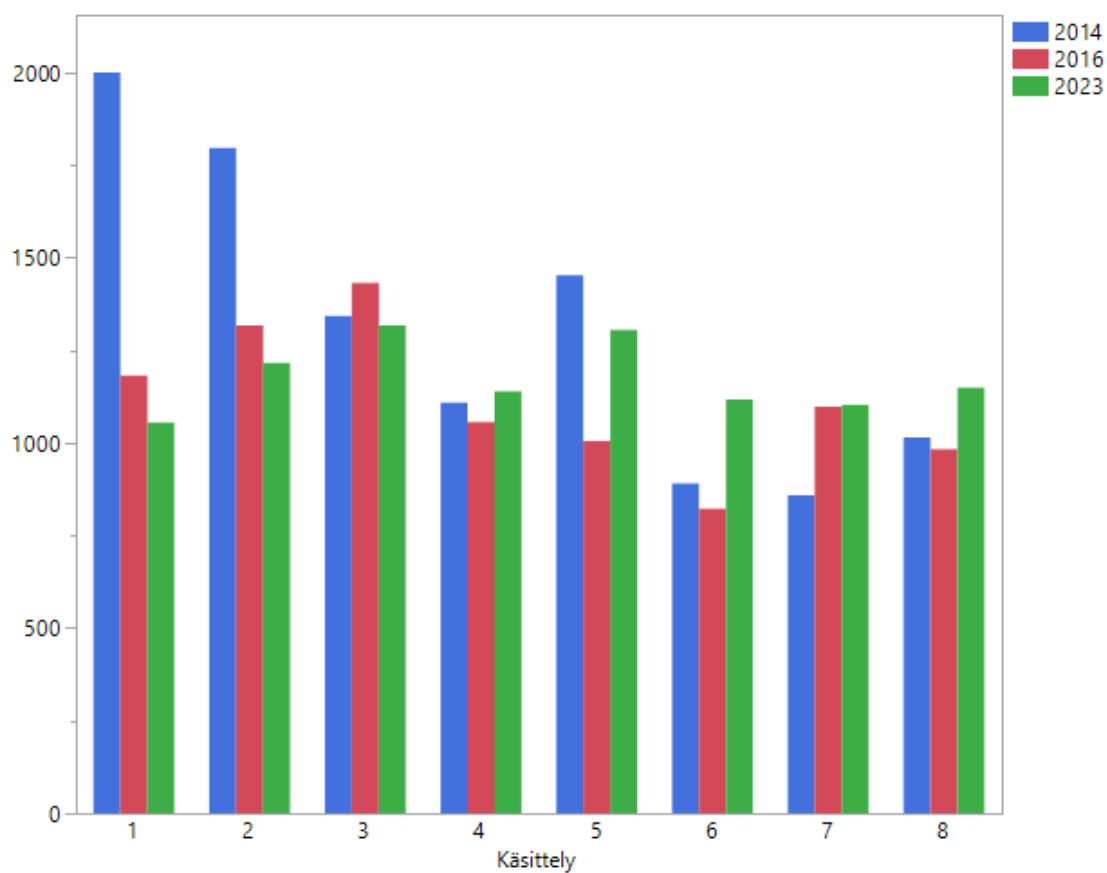


Koeruuduista joihin ei oltu lisätty orgaanista ainesta ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää eroa verrattaessa koerutuihin joihin oltiin lisätty orgaanista ainesta.

6.2 Maahengityksen muutos

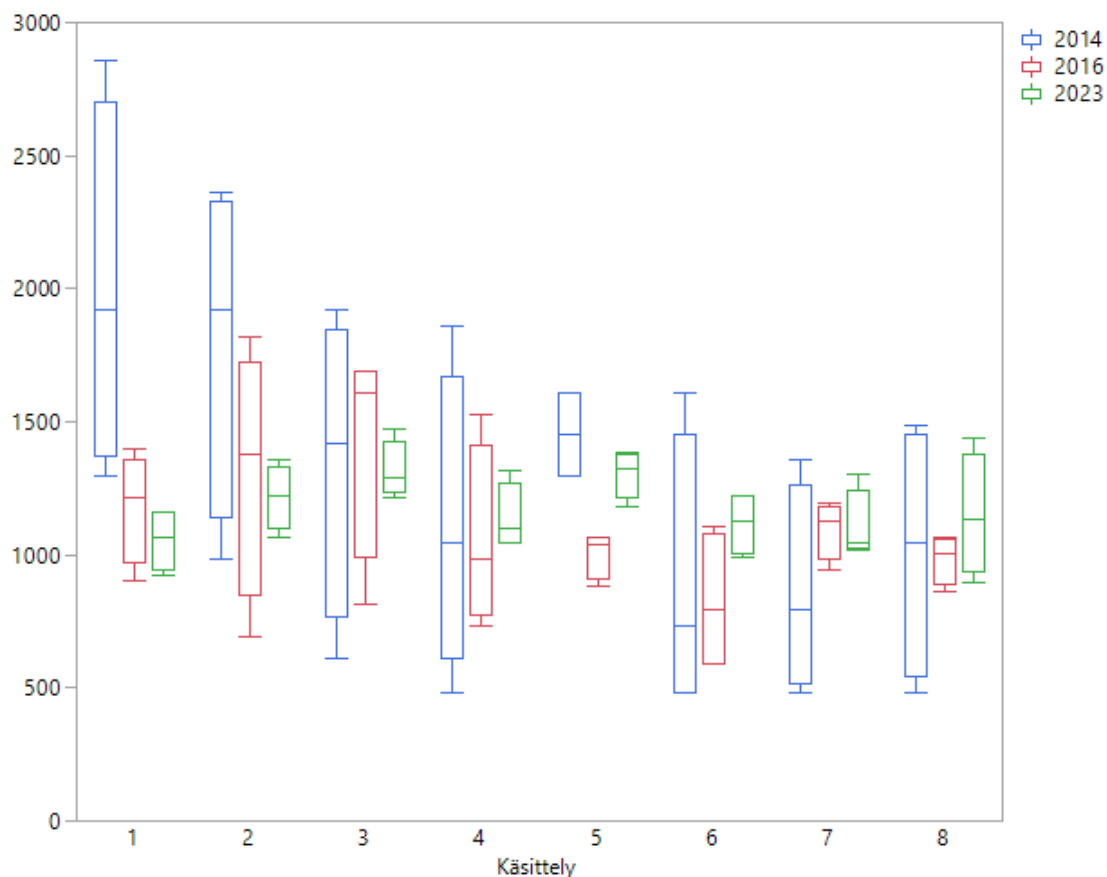
Maahengityksen muutosta vertailtiin keskiarvolla vuosittain per käsittely (taulukko 7) ja hajonnalla vuosittain per käsittely (taulukko 8).

Taulukko 7 Hiilidioksidi ppm keskiarvo vuosittain per käsittely.



Käsittelyissä 1 ja 2 muutos on ollut laskeva. Käsittelyssä 3 muutos on ollut ensin nouseva ja sen jälkeen laskeva. Käsittelyissä 4, 5, 6 ja 8 muutos on ollut ensin laskeva ja sen jälkeen nouseva. Käsittelyssä 7 muutos on ollut nouseva.

Taulukko 8 Maahengitystulosten hajonta vuosittain per käsittely.

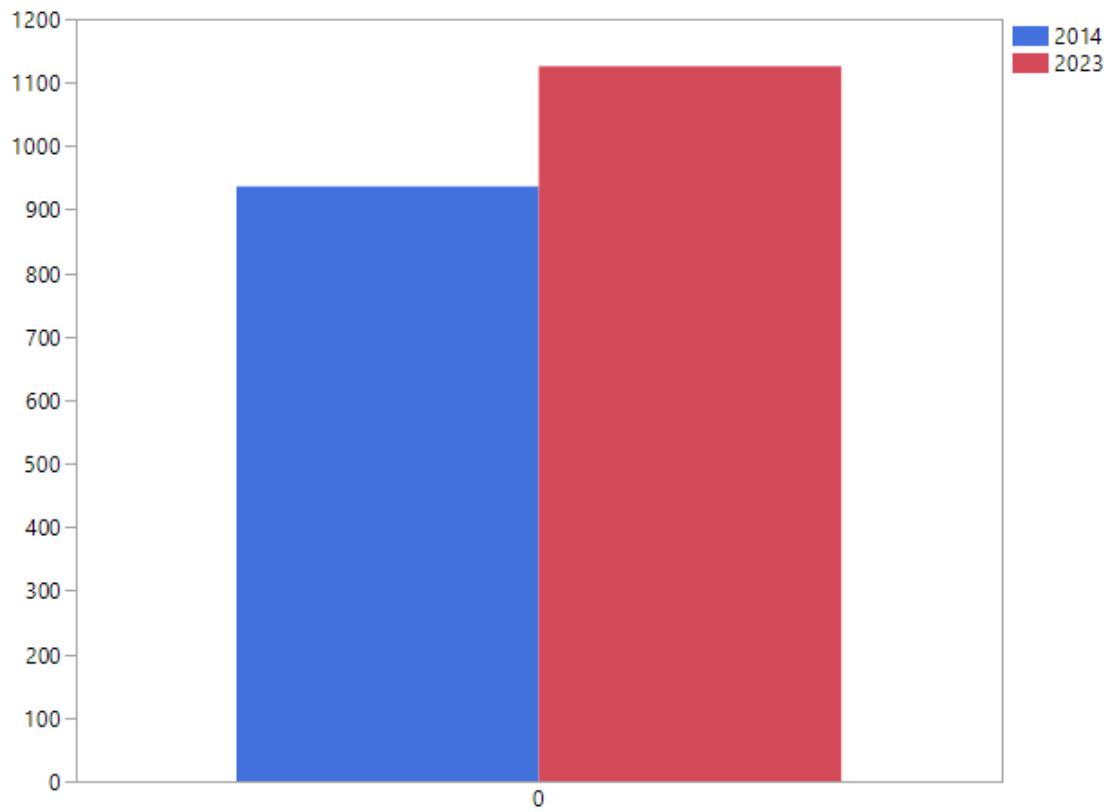


Vuoden 2014 mittauksissa hajonta oli suurta sekä käsittelyiden kesken että niiden sisällä. Vuonna 2016 hajonta oli käsittelyiden kesken huomattavasti pienempi, mutta käsittelyiden sisällä oli edelleen hajontaa. Vuoden 2023 mittauksissa hajonta oli pientä sekä käsittelyiden kesken että niiden sisällä.

6.3 Kontrolliruutujen muutos

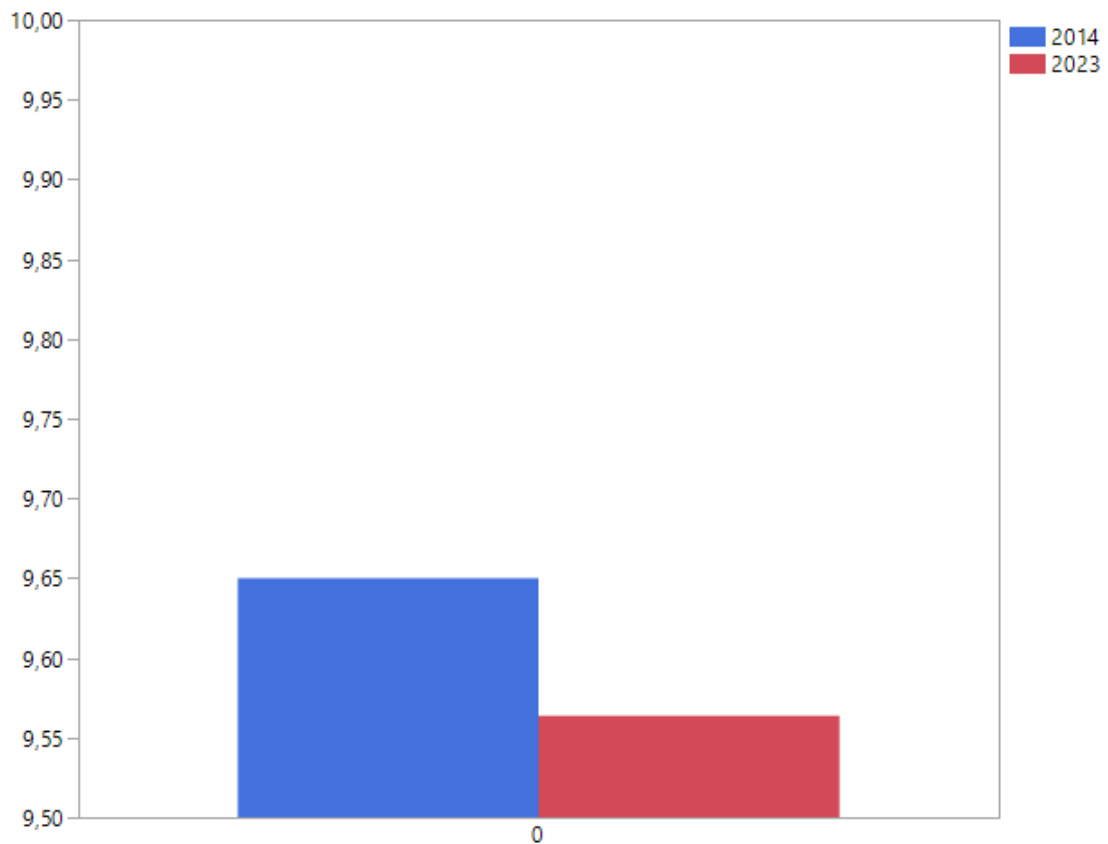
Käsittelyille 7 ja 8 ei lisätty kymmenen kasvukauden aikana maanparannusaineita tai lannoitteita. Tuloksia vertailtiin maahengityksen keskiarvoilla kontrolliruuduissa per vuosi (kuva 5) ja orgaanisen aineksen pitoisuuksilla kontrolliruuduissa per vuosi (kuva 6).

Kuva 5 Maahengityksen keskiarvot kontrolliruuduista vuosilta 2014 ja 2023.



Maahengityksen muutos kontrolliruuduissa vuosien 2014 ja 2023 välillä on ollut nouseva.

Kuva 6 Orgaanisen aineksen keskiarvot prosentteina kontrolliruuduista vuosilta 2014 ja 2023.

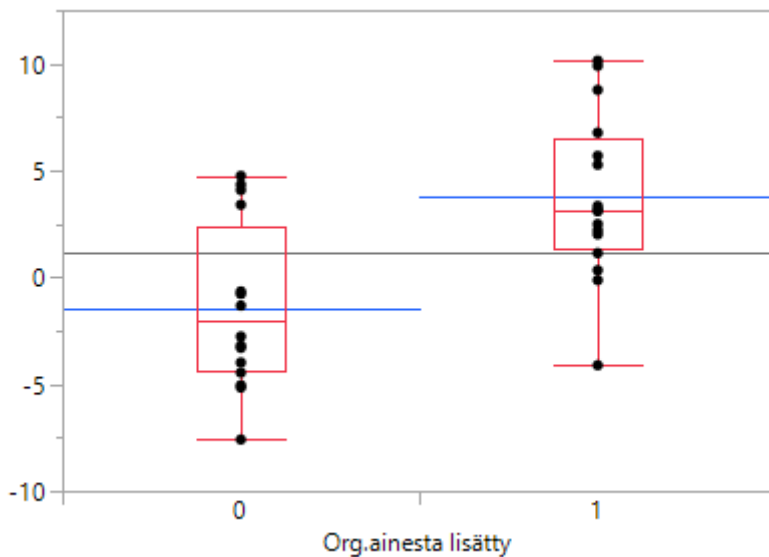


Orgaanisen aineksen keskiarvo kontrolliruuduissa vuosien 2014 ja 2023 on ollut laskeva.

6.4 orgaaninen aines

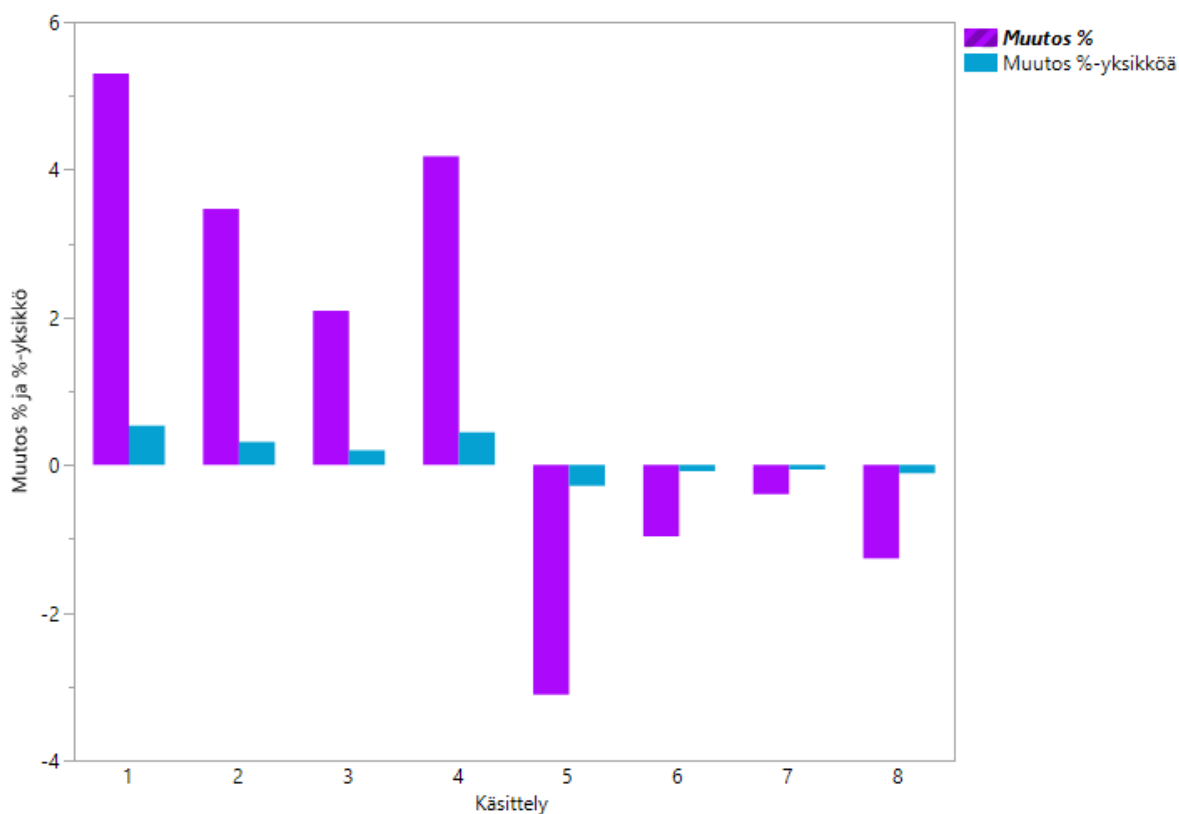
Orgaanista ainesta tutkittiin orgaanisen aineksen muutos-%:na jaoitellen oliko orgaanista ainesta lisätty vai ei per vuosi (taulukko 9) ja orgaanisen aineksen muutos-%:na ja muutos-%-yksikköinä per käsittely (taulukko 10).

Taulukko 9 Orgaanisen aineksen muutos-% aikaväliltä 2014-2023, 0= orgaanista ainesta ei lisätty 1=orgaanista ainesta lisätty.



Ruuduissa joihin oli lisätty orgaanista ainesta oli tilastollisesti merkitsevä ero orgaanisen aineksen muutos-%:ssa verrattuna ruutuihin joihin ei oltu lisätty orgaanista ainesta.

Taulukko 10 Orgaanisen aineksen muutos-% ja muutos-%-yksikkö aikavälillä 2014-2023 käsittelyittäin



Kaikissa käsittelyissä joihin oli lisätty orgaanista ainesta oli orgaanisen aineksen määrä kasvanut. Eniten oli orgaanisen aineksen määrä laskenut käsittelyssä 5, kemiallinen lannoitus. Käsittelyissä 6, 7 ja 8 oli orgaanisen aineksen määrä myös hieman laskenut.

7 Tulosten tarkastelu

Vuoden 2023 maahengitysmittauksissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja käsittelyiden tai lisätyn orgaanisen aineksen suhteen. Maanparannusruutujen vuoden 2023 alhaiset maahengitystulokset voivat Liangin ym.(2022, s. 10) mukaan johtua lisääntyneestä maaperän orgaanisesta hiilestä suhteessa typpeen, joka aiheuttaa lyhyellä aikavälillä lisääntyntä maahengitystä mutta pitkällä aikavälillä hidastaa sitä, samalla myös hidastaen orgaanisen hiilen mineralisoitumista. Voisi siis olla mahdollista että maanparannusruutujen suuri orgaanisen aineksen määrän kasvu johtuisi liian pienestä määrästä typpeä suhteutettuna käytössä olevaan suureen määrään orgaanista ainesta. Kemiallisen lannoituksen ruutujen orgaanisen aineksen laskuun voi olla syynä jatkuvasta typen saannista johtuva kiihtynyt orgaanisen aineksen hajoaminen (Hou ym., 2021).

Kaiken kaikkiaan maahengityksen vaihtelua oli hankala arvioida, koska koko kymmenen vuoden kokeen aikana vain vuoden 2016 mittaussarja oli hajonnaltaan tarpeeksi pieni jotta siitä saatuja tuloksia pystyi pitämään luotettavina. Muissa sarjoissa "nollatulosten" määrä vaihteli välillä 25-100%, ja toistoja oli vain 1.

Maanparannusaineina käytettyjen valmisteiden tarkasta sisällöstä ei ollut enää selvyyttä. Jos eläinlantalapohjaisen maanparannusaineen arvoina käyttää Humuspehtoorin Katetta (Humuspehtoori, n.d.-b) ja Broilerhyvää (humuspehtoori, n.d.-a), niin maanparannusruutuihin lisätyn orgaanisen aineksen kokonaismäärä oli $(80+280 \cdot 0,68) + (80+80+21,3 \cdot 0,87) = \sim 402,5$ tn/ha, ja sillä saavutettiin kymmenen vuoden jälkeen keskimäärin 0,372%-yksikön nousu maaperän orgaanisen aineksen kokonaismäärästä.

Kontrolliruutujen orgaanisen aineksen muutos-%-yksikkö oli -0,086%. Tämä tarkoittaa kymmenen vuoden aikana alle 0,001% vuosittaista vähenemisvauhtia ($0,999^{10} \cdot 1 = \sim 0,990$). Tämän ei pitäisi olla ns. "ryöstöviljelyssä" mahdollista. Toisaalta ruuduista korjatusta sadosta ei ole kerätty tietoa, joten ruuduista kerätyn sadon mukana poistuneesta orgaanisesta aineksesta ei myöskään tiedetä varmoja määriä.

Maahengityskokeissa käytetty staattinen suljetun kammion tekniikka yhdistettynä pitkään näytteenottoaikaan on mahdollisesti vaikuttanut tuloksiin; lyhyen aikavälin maahengitysmittauksiin hyvin sopivat lineaariset mallit aliarvioivat yli 45 minuutin

mittauksissa alussa tapahtuvan hetkittäisen harppauksen hiilidioksidin tuotannossa.(Tanka ym., 1994,s. 248–250).

Myös toisistaan poikkeavat sääolot ovat voineet vaikuttaa eri vuosien näytteiden tuloksiin. Sekä lämpötilalla että kosteudella on molemmilla todettu olevan vahva yhteys maahengityksen määrään. (Epron ym., ss. 221—226). Vuoden 2016 kuukausi jolloin näytteet ovat otettu on ollut merkitsevästi sekä vähäsateisempi että lämpimämpi kuin vuonna 2023. (Ilmatieteen laitos, n.d.) Tankan ym. (1994, s. 252) mukaan myös suuremmilla lyhyen aikavälin sademäärillä on havaittu olevan lyhyen aikaa hidastava ja sen jälkeen kiihdyttävä vaikutus maahengitykseen, johtuen hiilidioksidin kerääntymisestä maaperään. Myös maaperän huokosten muutokset sateen yhteydessä voivat olla osallisina maahengityksen vaihteluihin. Peltokokeen jankkuroitujen ruutujen heikommat tulokset maahengityksen osalta saattaisivat myös perustua maaperän ilmanvaihdon heikkenemiseen. Jokaisessa jankkuroidussa käsittelyssä maahengityksen taso oli korkeammalla vuonna 2023 kuin kokeen alussa vuonna 2014, mikä viittaisi maaperän toimintojen häiriöön.

8 Johtopäätökset

Maanparannusaineiden positiiviset vaikutukset maahengitykseen olivat tilastollisesti merkitseviä vuonna 2016, ja vuoden 2016 ja 2023 välisenä aikana maanparannusaineiden vaikutus maahengitykseen on loppunut.

Orgaanisen aineksen mittausten tuloksia voidaan pitää luotettavina, mutta jos tiedot käytettyjen maanparannusaineiden sisällöstä, ruuduista kerätyistä sadoista ja ruuduille tehdyistä hoitotoimenpiteistä ovat epäselviä, on orgaanisen aineksen muutoksen syyt hankalia eritellä.

Jos tämänkaltaista pitkäaikaista peltokoetta oltaisiin tekemässä uudelleen, tulisi sen maahengitysmittauksissa kiinnittää erityistä huomiota sekä sopivien mittalaitteiden oikeaoppiseen käyttöön että toistojen määrään. Myös mittaustekniikka tulisi vaihtaa, joko suljetun dynaamisen kammion tekniikkaan jos halutaan mitata maahengityksen määrää lyhyellä aikavälillä tai avoimen dynaamisen kammion tekniikkaan jolla pystyisi mallintamaan myös vuorokauden aikojen vaihtelun.

Lähteet

Aaltonen, V., Aarnio, B., Hyyppä, E., Kaitera, P., Keso, L., Kivinen, E., Kokkonen, P., Kotilainen, M., Sauramo, M., Tuorila, P., Vuorinen, J. (1949). *Maaperäsanaston ja maalajien luokituksen tarkistus v. 1949*. *Agricultural and Food Science*, 21(1) (ss. 37—66).

<https://doi.org/10.23986/afsci.71269>

Dziadkowiec, J., & Royne, A. (2020). Nanoscale Forces between Basal Mica Surfaces in Dicarboxylic Acid Solutions: Implications for Clay Aggregation in the Presence of Soluble Organic Acids. *Langmuir*, 36(49) (ss. 14978—14990).

<https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c02290>

Epron, D., Fargue, L., Lucot, E., Badot, P.-M. (1999). Soil CO₂ efflux in a beech forest: dependence on soil temperature and soil water content. Teoksessa *Annals of forest science* (ss. 221—226). EDP Science.

Haahtela, K. & Salkinoja-Salonen, M. (2002). Maamikrobiologia. Teoksessa M. Salkinoja-Salonen (toim.) *Mikrobiologian perusteita* (ss. 385—408). Gummerus Kirjapaino Oy

Hartikainen, H. (1992). MAAPERÄ. Teoksessa R. Heinonen (toim.), *Maa, viljely ja ympäristö* (ss.1—88). WSOY

Heinonen, R. (1992). maan rakenne. Teoksessa R. Heinonen (toim.), *Maa, viljely ja ympäristö* (ss.90—139). WSOY

Hou, S., Hättenschwiler, S., Yang, J., Sistla, S., Wei, H., Zhang, Z., Hu, U., Wang, R., Cui, S., Lü, X., Han, X. (2021). Increasing rates of long-term nitrogen deposition consistently increased litter decomposition in a semi-arid grassland. *The New phytologist* 229(1), (ss. 296—307). <https://doi.org/10.1111/nph.16854>

Humuspehtoori. (n.d.-a). *Broilerhyvä*. <https://www.humuspehtoori.fi/lannoitteet/broilerhyva>

Humuspehtoori. (n.d.-b). *Kate*. <https://www.humuspehtoori.fi/maanparannusaineet/kate>

Ilmatieteen laitos (n.d.). *Havaintojen lataus*. Haettu 16.5.2024 osoitteesta

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Karvonen, H. (1992). *Lämpötilan vaikutus typen mineralisaatioon maaperässä* [diplomityö, teknillinen korkeakoulu] https://www.tukisaatio.fi/tietopankki/wp-content/uploads/2019/04/L%C3%A4mp%C3%B6tilan-vaikutus-typen-mineralisaatioon-maaper%C3%A4ss%C3%A4-Karvonen-Helena_O.pdf

Kempainen, E. (1992). MAANPARANNUS JA MAANPARANNUSAIKINEET. Teoksessa R. Heinonen (toim.), *Maa, viljely ja ympäristö* (ss. 295—334). WSOY

Laihosola, J. (2017). *Maanparannusaineiden vaikutus maan mikrobiologiaan*. [opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu].

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/128347/Laihosola_Jemina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Liang, Z., Cao, B., Jiao, Y., Liu, C., Li, X., Meng, X., Shi, J., Tian, X. (2022). Effect of the combined addition of mineral nitrogen and crop residue on soil respiration, organic carbon sequestration, and exogenous nitrogen in stable organic matter. *Applied soil ecology: a section of agriculture, ecosystems & environment*, 171, 104324.

<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104324>

Luo, Y. & Zhou, X., & Yiqi, L. (2006). *Soil respiration and the environment*. Academic press.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.01.008>

Metting, B. (1993). Structure and physiological ecology of soil microbial communities. Teoksessa B. Metting (toim.), *Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management* (ss. 3—26). Marcel Dekker

Minnalearn. (n.d.) *Maaperän ominaisuudet*.

<https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/maapera/maaperan-ominaisuudet/>

Rasa, K., Pennanen, T., Peltoniemi, K., Velmala, S., Fritze, H., Kaseva, J., Joonas, J., Uusitalo, R. (2020). Pulp and Paper Mill Sludges Decrease Soil Erodibility. *Journal Of Environmental Quality*, 50(1) (ss. 172—184), Luonnonvarakeskus

<https://doi.org/10.1002/jeq2.20170>

Rey, A., Carrascal, L. M., Báez, C. G., Raimundo, J., Oyonarte, C., & Pegoraro, E. (2021). Impact of climate and land degradation on soil carbon fluxes in dry semiarid grasslands in SE Spain. *Plant and soil*, 461(1-2) (ss. 323—339). <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04842-y>

Subba Rao. (1995). *Soil microorganisms and plant growth*. Enfield: Science publishers, Inc.

Sulzman, E., Brant, J., Bowden, R., & Lajtha, K. (2005). Contribution of aboveground litter, belowground litter, and rhizosphere respiration to total soil CO₂ efflux in an old growth coniferous forest. *Biogeochemistry*, 73(1), (ss. 231—256). <https://doi.org/10.1007/s10533-004-7314-6>

Tanka, P., Kandel, Poul, E. & Elsgaard, L. (1994). *Effect of chamber enclosure time on soil respiration flux: A comparison of linear and non-linear flux calculation methods*. Atmospheric environment. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.062>

Wood, M. (1995). *Environmental soil biology*. Blackie Academic & Professional.

Wood, M. (1995). *Environmental soil biology*. Blackie Academic & Professional.

Zheng, Z., Yu, G., Fu, Y., Wang, Y., Sun, X., & Wang, Y. (2009). Temperature sensitivity of soil respiration is affected by prevailing climatic conditions and soil organic carbon content: A trans-China based case study. *Teoksessa Soil biology & biochemistry*, 41(7) (ss.1531—1540). <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.04.013>

Zhou, L., Zhou, X., Shao, J., Nie, Y., He, Y., Jiang, L., Wu, Z. and Hosseini Bai, S. (2016), *Interactive effects of global change factors on soil respiration and its components: a meta-analysis*. (ss.3157—3169) *Glob Change Biol*. <https://doi-org.ezproxy.hamk.fi/10.1111/gcb.13253>