



Luomuviljelyn vaikutukset maaperän hiilensidontaan

Integratiivinen kirjallisuuskatsaus

Kati Merruntaus

Opinnäytetyö, AMK

Joulukuu 2023

Luonnonvara- ja ympäristöala

Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma

Merruntaus, Kati

Luomutuotannon vaikutukset maaperän hiilensidontaan. Integriivinen kirjallisuuskatsaus.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Joulukuu 2023, 40 sivua

Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Ilmastonmuutos, luontokato ja maaperän heikkeneminen aiheuttavat painetta kehittää maataloutta kestävämpään suuntaan. Uusina keinoina tavoitteen saavuttamiseen on esitelty erilaisia viljelymenetelmiä, kuten hiiliviljelyä ja muokkaamatta viljelyä. Yhtenä ratkaisuna voisi toimia myös luonnonmukainen viljely. Luomutuotanto on EU:n tasolla sertifioitu tuotantotapa, johon sisältyy monia hiilensidontaa edistäviä toimenpiteitä. Tutkimustieto luonnonmukaisen tuotannon ilmastovaikutuksista maaperän osalta on kuitenkin niukkaa ja hajanaista.

Opinnäytetyö toteutettiin integriivisena kirjallisuuskatsauksena. Aluksi tutkittiin luonnonmukaisesta tuotannosta tehtyyn tutkimukseen Suomessa ja lähialueilla. Tarkastelua kohdennettiin maaperää, hiiltä ja luomutuotantoa käsitteleviin tutkimuksiin. Tämän jälkeen tarkastelua laajennettiin luonnonmukaiselle tuotannolle tyypillisiin viljelymenetelmiin ja etsittiin niitä koskevaa tietoa tutkimuksista ja muusta kirjallisuudesta.

Kirjallisuuskatsauksen tuloksena syntyi katsaus siihen, millaisia vaikutuksia erilaisilla luonnonmukaiselle tuotannolle tyypillisillä menetelmillä on hiilensidontaan. Luonnonmukaista tuotantoa tarkastelevissa tutkimuksissa ei ole Suomessa havaittu merkittäviä eroja luonnonmukaisen ja tavanomaisen tuotannon välillä, Euroopassa tehdyissä tutkimuksissa sen sijaan on saatu luomutuotannon tehokkaampaan hiilensidontaan viittaavia tuloksia. Tarkasteltaessa luomutuotannolle tyypillisiä piirteitä voidaan kuitenkin havaita, että monet menetelmät edistävät hiilensidontaa.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että luonnonmukaisella tuotannolla on potentiaalia hiilensidontaan. Monet luonnonmukaiselle tuotannolle tyypilliset menetelmät tukevat hiilensidontaa ja luomutuotannon on useissa tutkimuksissa havaittu sitovan tavanomaista tuotantoa enemmän hiiltä. Jokainen maatila on kuitenkin omanlaisensa kokonaisuus, eikä yleispäteviä päätelmiä luomutuotannon ilmastoystävällisyydestä voida tehdä. Luonnonmukaisesta tuotannosta ja hiilensidonnasta kaivataan enemmän tutkimusta.

Avainsanat (asiasanat)

Luonnonmukainen tuotanto, hiilensidonta, maaperä

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Kati Merruntaus

The effects of organic farming on soil carbon sequestration. Integrative literary review

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2023, 40 pages.

Degree Programme in Agricultural and Rural Industries. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Climate change, biodiversity loss and soil degradation are driving agriculture into a more sustainable direction. New methods including carbon farming and no-tillage have been introduced to reach the goal. One of the solutions could be organic farming. Organic farming is an EU-certified practice that compasses many carbon sequestration enhancing methods. Research on the climate effects of organic farming is however scattered and scarce.

The thesis took the form of an integrative literary review. First the research done on organic farming in Finland and neighboring areas was reviewed. Focus was put on studies concerning soil carbon and organic farming. Afterwards perception was broadened to typical farming practices in organic farming, and information on them was searched from research and other literature.

The result of the literary review was a summary into how different farming practices typical to organic farming affect carbon sequestration. Studies on organic farming in Finland did not show remarkable differences between organic and conventional farming, but in Europe there has been research that suggests that organic farming is more effective in carbon sequestration. When looking into typical methods in organic farming, it could be observed that many do enhance carbon sequestration.

Based on the results, it can be concluded that organic farming has potential for carbon sequestration. Many methods typically used in organic farming improve carbon sequestration, and several studies have shown that organic farming may sequester more carbon than conventional farming. However, every farm is unique and no generalising conclusions on climate friendliness of organic farming can be made. More research on organic farming and carbon sequestration is needed.

Keywords/tags (subjects)

Organic farming, carbon sequestration, soil

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

Termejä	3
1 Johdanto	5
2 Menetelmä.....	6
3 Luonnonmukainen tuotanto	8
3.1 Mitä luomuviljely on?.....	8
3.2 Tilastoja luomutuotannosta	9
3.3 Luomuviljelyn piirteitä	10
3.4 Luonnonmukaisen viljelyn tuotantoehdot.....	11
4 Hiili ja ilmastonmuutos	12
4.1 maatalouden osuus hiilidioksidipäästöistä	13
4.2 Hiili maaperässä	13
4.3 Keinot arvioida maaperän hiilivarastoa ja sen muutosta	14
4.4 Orgaanisen aineksen hajoaminen	15
4.5 Maaperän eliöstö	16
4.6 Hiilen käyttäytyminen maaperässä.....	17
5 Hiiliviljely.....	19
6 Erilaisten viljelytoimenpiteiden vaikutus hiilensidontaan	20
6.1 Monipuolinen viljelykierto	20
6.2 Alus- ja kerääjäkasvien käyttö.....	21
6.3 Lannoitus.....	22
6.4 Orgaaniset maanparannusaineet.....	22
6.5 Muokkauksen vähentäminen ja mekaaniset rikkakasvintorjuntamenetelmät	23
6.6 Maan kunnostaminen	24
6.7 Laitumet	24
6.8 Peltometsäviljely	25
6.9 Kulotus.....	25
6.10 Kosteikkoviljely.....	26
7 Tutkimuksia luomutuotannosta	26
7.1 Suomi.....	26
7.2 Viro	28
7.3 Saksa.....	28
7.4 Pohjois-Ranska	28
7.5 Sveitsi	29

7.6 Eurooppa	29
8 Pohdintaa	29
Lähteet	32

Kuviot

Kuvio 1. Kirjallisuuskatsauksen tekemisessä tavoitteena on laajuus, kurinalaisuus, läpinäkyvyys ja yleistettävyy..... 7

Kuvio 2. Turvepeltojen määrä maakunnittain. 18

Taulukot

Taulukko 1. Viljelykierto. 27

Termejä

Biodynaaminen viljely = biodynaaminen eli biologis-dynaaminen viljely on Rudolph Steinerin kehittämä luonnonmukaisen viljelyn suuntaus, jossa yleisten luonnonmukaisen tuotannon periaatteiden lisäksi korostetaan preparaattien käyttöä ja henkistä ulottuvuutta. (Viljely, n.d.)

Biohiili = Biohiili on yleisnimitys biomassoista kuivatislaamalla valmistetuille hiilille. Biohiili on huokoinen materiaali, joka hajoaa hitaasti ja pystyy pidättämään vettä ja ravinteita. (Biohiili, 2022.)

CA-viljely = CA tulee sanoista conservation agriculture, eli suojelumaatalous. Viljelyjärjestelmä, joka FAO:n mukaan noudattaa seuraavia periaatteita: maaperän häiritsemisen minimointi muokkausta vähentämällä, jatkuva kasvipeitteisyys ja monipuoliset viljelykierrot. (Casagrande, Peigne, Silva, Vincent-Cavoud, 2017.)

Eloperäinen maa = Eloperäisissä maissa maan orgaanisen aineksen määrä on yli 20%. Eloperäisiä maita ovat mm. lieju, järvimuta, multamaa, muta, saraturpeet, turvemaat ja rakkaturpeet. Multamaissa orgaanisen aineksen määrä on 20-39,9%. (Hyväluoma, Lemola, Sarvi, Turtola, Uusitalo, 2018.)

Fotosynteesi = Fotosynteesi eli yhteyttäminen on reaktio, jossa kasvi käyttää auringon energiaa, hiilidioksidia ja vettä muodostaakseen sokeria.

Fotosynteesin kaava:

Hiilidioksidi + Vesi + Valoenergia → Sokeri + Happi

$$6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{valoenergia} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$$

(Fotosynteesi, n.d.)

Kerääjäkasvit = Kerääjä- ja aluskasvit ovat kasveja, joiden viljelyn tavoitteena on sadon tuottamisen sijaan esimerkiksi kasvukunnon parantaminen, rikkakasvien vähentäminen, eroosionesto ja

typensidonta. Kerääjäkasveina käytetään esimerkiksi ruista, italianraiheinää, valkoapilaa tai sini-mailasta ja ne voidaan kylvää joko tuotantokasvin aluskasviksi tai sadonkorjuun jälkeen. (Malin, 2020.)

Luonnonmukainen tuotanto = Muita nimityksiä mm. ekologinen maatalous, biologinen maatalous ja orgaaninen maatalous. Luonnonmukaisen tuotannon periaatteita avataan luvussa 3.1.

Mykorrhitsa = Mykorrhitsa eli sienijuuri on kasvien juurissa esiintyvä kasvien ja sienten symbioosi. Kasvi ja sieni vaihtavat vettä ja ravinteita keskenään. (Hoppula & Hoppula, 2018.)

Turvemaa = Turvemaissa orgaanisen aineksen määrä maa-aineksesta on yli 40 % (Hyväluoma, ym., 2018).

1 Johdanto

Hiiliviljely ja uudistava viljely ovat olleet viime vuosina paljon esillä maatalousalalla ilmastonmuutoksen etenemisen vuoksi. Hiiliviljelyssä pyritään ehkäisemään ilmastonmuutosta sitomalla hiiltä maaperään. Myös luonnonmukaiseen tuotantoon liitetään usein mielikuva ympäristö ja ilmastoystävällisyydestä. Luonnonmukaisessa tuotannossa toteutuu jo tuotantoehtojen puolesta useita hiilensidontaa edistäviä toimenpiteitä. Tämän lisäksi luonnonmukaisen tuotannon perustana oleviin periaatteisiin kuuluu maaperän kunnon parantaminen ja ilmaston suojeleminen. Toisaalta luomutuotannossa turvaudutaan esimerkiksi kasvinsuojelussa usein maanmuokkaukseen. Näitä hiilensidontaan eri tavoin vaikuttavia luonnonmukaisen tuotannon tyyppillisiä piirteitä käydään tässä opinnäytetyössä läpi.

Ilmaston lämpeneminen on ilmiö, johon maatalous on vaikuttanut ja joka tulee vaikuttamaan maatalouteen. Ilmastonmuutos tuottaa haasteita maanviljelyyn, sillä äärimmäiset sääolot lisääntyvät, kuivuus, epävakaat talvehtimisolosuhteet ja tuholaiset vaivaavat kasveja etenevässä määrin. (Holka, Jakubowska & Kowalska, 2022) Luonnonmukaisen tuotannon haasteita ovat satotasojen suuret vaihtelut, ja tavanomaista alhaisemmat satotasot, jotka madaltavat resurssitehokkuutta (Lemola, Palojärvi, Palosuo, Saarinen & Ukonmaanaho, 2022).

Tavanomainen eli kemiallis-tekninen maatalous on Suomessa ollut 1950-luvulta lähtien vallitseva tuotantomuoto. Väkilannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttö, sekä eri tuotantosuuntien eriytyminen korvasivat omavaraisuuteen nojaavan luontaisviljelyn. (Rajala, 2006, 26.) Ympäristön tilan heikentyminen on johtanut tarpeeseen kehittää ruuantuotantoa kestävämpään suuntaan. Luonnonmukainen tuotanto on saanut jalansijaa ja uskottavuutta Suomessa EU:n direktiivien ja tukiohjelmien ansiosta. Luonnonmukainen tuotanto on yksi monista periaatteiltaan ja tavoitteiltaan samankaltaisista menetelmistä, joiden avulla maataloutta pyritään muuttamaan kestävä kehityksen mukaiseen suuntaan. (Rajala, 2006) Näitä menetelmiä ovat esimerkiksi permakulttuuri, uudistava viljely ja biodynaaminen viljely. Haastavaa on, ettei luonnonmukaisen tuotannon kestävyttä ilmastonäkökulmasta ole tutkittu kovin paljon ja tieto on hajanaista.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kirjallisuuskatsauksen keinoin koota tietoa luonnonmukaisen tuotannon vaikutuksista maaperän hiilensidontaan pelloilla ja vertailla niitä tavanomaiseen

maatalouteen. Opinnäytetyön tilaajana on Luomuliitto. Aiheen tutkimisen taustalla on tarve saada kootusti tietoa luomutuotannon potentiaalista hiilensidontaan.

Tässä opinnäytetyössä on jätetty käsittelemättä tuotantopanoksien valmistuksen, kuljetuksen ja muiden maataloudesta välillisesti aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen lähteet. Maaperän hiilivarastot ovat kuitenkin vain osa maatalouden ilmastovaikutuksia. Esimerkiksi luomuviljelyssä ei juuri käytetä torjunta-aineita, joiden valmistuksesta ja käytöstä aiheutuu maailmanlaajuisesti vuosittain 19,9 miljoonan hiilidioksidiekvivalenttitonnin päästöt. (Wyckhuys, 2022.)

2 Menetelmä

Kirjallisuuskatsaus on tutkimusmenetelmä, jolla tutkitaan tutkimuksia. Tavoitteena on koota aiemmin julkaistusta alkuperäistutkimuksesta tietoa, jäsenellä, yhdistellä, tiivistää ja tulkita sitä kriittisesti. (Vilka, 2023.) Opinnäytetyön menetelmäksi valikoitui integratiivinen kirjallisuuskatsaus, sillä tavoitteena oli tehdä systemaattinen katsaus teemasta saatavilla olevaan tutkimustietoon, mutta toisaalta jo suunnitteluvaiheessa oli tiedossa, että aineiston haun rajoituksia todennäköisesti joutuu laajentamaan olennaisen tiedon löytämiseksi. (Vilka, 2023.)

Integratiivinen kirjallisuuskatsaus on eräänlainen välimuoto narratiivisesta ja systemaattisesta kirjallisuuskatsauksesta. Narratiivisessa kirjallisuuskatsauksessa pyritään ymmärtämään tutkittavaa ilmiötä tiedonhakuprosessin kulkiessa varsin intuitiivisesti ja siten sattumanvaraisesti. Systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa taas noudatetaan tarkkaa, toistettavaa ja järjestelmällistä protokollaa materiaalin hankkimiseen. (Vilka, 2023.)

Integratiivisen kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on lähestyä tutkittavaa aihetta tarkastelemalla tutkimusta ja ammattikirjallisuutta. Aineiston valintaan vaikuttaa tutkimuskysymys ja työn tarkoitus. (Vilka, 2023.)



Kuvio 1. Kirjallisuuskatsauksen tekemisessä tavoitteena on laajuus, kurinalaisuus, läpinäkyvyys ja yleistettävyys (Vilka, 2023).

Tähän opinnäytetyöhön on valittu materiaalia, joka käsittelee luonnonmukaiselle tuotannolle tyypillisiä viljelymenetelmiä ja niiden vaikutusta maaperän hiilensidontaan. Ensimmäisessä vaiheessa määriteltiin luonnonmukaiselle tuotannolle ominaisia piirteitä ja tutkittiin luonnonmukaisen tuotannon hiilensidonnasta tehtyjä tutkimuksia. Koska luonnonmukaiseen tuotantoon keskittyvää tutkimusta on tehty niukasti, hakua laajennettiin luonnonmukaiselle tuotannolle tyypillisiin menetelmiin. Toisessa vaiheessa kirjallisuuden avulla perehdyttiin näiden piirteiden vaikutuksiin hiilensidontaan.

Rajausta julkaisuajankohdan suhteen ei tehty, mutta suurin osa aihetta käsittelevästä tutkimuksesta on 1990-luvun lopulta lähtien julkaistua. Lähteiden alkuperä rajattiin luonnonmukaisen tuotannon ehtojen alueellisten eroavaisuuksien mukaan Eurooppaan, priorisoiden kuitenkin ensin Suomen, sitten pohjoismaat ja muut ilmastolta ja olosuhteilta vastaavat alueet. Joitain julkaisuja poimittiin myös Pohjois-Amerikasta.

Tietoa haettiin mm. hakukoneilla, kuten Googlella ja DuckDuckGo:lla, Luonnonvarakeskuksen Jukurista, Luomutietoverkosta ja UEF Primosta (Itä-Suomen yliopiston kirjaston hakupalvelu). Hakuosoina käytettiin mm. sanoja ”luomu”, ”luonnonmukainen”, ”maatalous”, ”hiilensidonta”, ”kasvihuonekaasupäästöt” ja vastaavia englanninkielisiä termejä. Lisäksi tärkeä keino

aineistonhankintaan oli aihetta käsittelevien tutkimusten lähteiden läpikäyminen, tällöin valikoitiin tarkempaan käsittelyyn lähteet, joiden otsikossa mainittiin luonnonmukainen tuotanto tai luonnonmukaiseen tuotantoon liittyvä viljelymenetelmä ja hiilensidonta. Muutama aiheeseen liittyvä tutkimus jouduttiin maksullisuuden vuoksi jättämään tarkastelusta.

3 Luonnonmukainen tuotanto

3.1 Mitä luomuviljely on?

Luonnonmukainen tuotanto on Euroopan unionin mukaan ”kokonaisvaltainen tilanhoidon ja elintarviketuotannon järjestelmä, jossa yhdistyvät ympäristön ja ilmastotoimien kannalta parhaat käytännöt, runsas biologinen monimuotoisuus, luonnonvarojen säästäminen sekä tiukkojen vaatimusten soveltaminen eläinten hyvinvoinnin osalta tuotannossa” (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2018/848, 2018).

Luomuviljelyn tavoitteita ovat muun muassa ympäristön ja ilmaston suojelun edistäminen, maaperän viljavuuden säilyttäminen, biologisen monimuotoisuuden lisääminen sekä myrkyttömän ympäristön edistäminen. Näihin tavoitteisiin pyritään erinäisillä tuotantosäännöillä. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2018/848, 2018) Ruokavirasto mainitsee luonnonmukaisen kasvintuotannon periaatteiksi mm. maaperän pitkän aikavälin viljavuuden säilyttämisen, energian ja luonnonvarojen vastuullisen käytön sekä kasvien terveyden ylläpidon ennaltaehkäisevillä toimenpiteillä. (Luomukasvintuotanto, 2022.)

Eriyisesti maaperän osalta mainitaan asetuksessa seuraavaa: ”maaperän elämän ja maaperän luonnollisen viljavuuden, maaperän vakauden, maaperän vedensitomiskyvyn ja maaperän monimuotoisuuden ylläpitäminen ja parantaminen estämällä ja torjumalla maaperän orgaanisen aineksen häviämistä, maaperän tiivistymistä ja maaperän eroosiota sekä ravinteiden antaminen kasveille pääasiassa maaperän ekosysteemin kautta”. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2018/848, 2018.)

3.2 Tilastoja luomutuotannosta

Vuonna 2022 Suomessa oli luomuviljelyssä 339 460 hehtaaria, tämä on noin 15 prosenttia Suomen peltoalasta. Luomutilojen keskipinta-ala oli 69,9 hehtaaria kun taas kaikkien tilojen keskiarvo on 52 hehtaaria. Luonnonmukaisesti viljeltyä viljaa oli vajaa 5% maan koko viljasadosta. Luomutiloja oli Suomessa yhteensä 4857, eli noin 11% kaikista tiloista. Luomutiloista kotieläintiloja oli 1145 eli noin neljäsosa, kaikista maatiloista kotieläintiloja on 22 %. Tuotetusta luomulihasta yli 3/4 oli naudanlihaa. (Tietohaarukka 2023, 22.)

Maailmalla luonnonmukaista tuotantoa harjoitetaan yli 72 miljoonalla hehtaarilla, eniten luonnonmukaisessa tuotannossa olevaa pinta-alaa on Australiassa, Argentiinassa ja Espanjassa. Luonnonmukaisesti viljelty pinta-ala on kasvussa, samoin luonnonmukaisesti tuotettujen elintarvikkeiden markkinat. Kasvava kysyntä nostaa tarvetta valvonnalle ja globaaleille tuotantosäännöille, tällä hetkellä luonnonmukaista tuotantoa harjoitetaan 108 maassa, joista 72:ssa on täysin toteutettu sääntelyjärjestelmä. (Meier, Schlatter, Trávníček & Willer, 2021.)

Yleisen sertifiointijärjestelmän puuttuessa luonnonmukainen tuotanto ei ole maailmanlaajuisesti täysin vertailukelpoista. Oleelliset periaatteet ja toimintatavat kuitenkin ovat samankaltaisia. Esimerkiksi biodynaamisen viljelyn sertifiointijärjestelmä sisältää myös EU:n luonnonmukaisen tuotannon periaatteet ja vaatimukset (Production, processing and labelling, 2022). EU:n ja Yhdysvaltojen välillä on vuonna 2012 tehty sopimus, jonka mukaan EU tunnustaa USDA National organic program -standardien mukaan tuotettujen luomutuotteiden vastaavan EU:ssa tuotettuja luomutuotteita. (EU-US Equivalence agreement. N.d) Osassa maista, esimerkiksi Intiassa, on PGS-järjestelmiä, jotka ovat paikallisia laadunvalvontajärjestelmiä. (Meier, ym. 2021.)

Tuotantosuunnat ovat keskittyneet Suomessa eri maakuntiin. Esimerkiksi lihanautoja ja lypsylehmiä on eniten Etelä-Pohjanmaalla, emolehmiä taas Pohjois-Pohjanmaalla. Pohjanmaalla on eniten luomusikoja, munivia luomukanoja eniten Varsinais-Suomessa. Pohjois-Karjalassa viljellään eniten mansikkaa ja mustaherukkaa ja Etelä-Savossa taas paljon puutarhakasveja. (Luomu maakunnissa, n.d.)

3.3 Luomuviljelyn piirteitä

Luonnonmukaisessa viljelyssä pyritään toteuttamaan luonnonmukaisen tuotannon tavoitteita ja periaatteita, kuten ympäristön ja ilmaston tilan edistämistä sekä maaperän viljavuuden säilyttämistä, monin erilaisin keinoin. Osa luonnonmukaisuutta on tuotannon sopeuttaminen paikallisiin olosuhteisiin ja käytettävissä oleviin resursseihin. Siksi eri tiloilla käytetään erilaisia ravinnehuoltostrategioita ja viljelytekniikoita. (Rajala, 2006, 40.)

Maan viljavuutta hoidetaan hyödyntämällä ekosysteemipalveluita ja biologisia keinoja. Aktiiviselle pieneliötoiminnalle luodaan sopivat olosuhteet. Maan muokkauksessa hyödynnetään juuristoltaan runsaita kasveja, maata muokataan mekaanisesti tarvittaessa, hellävaraisesti ja otolliseen aikaan. (Rajala, 2006, 40.)

Luonnonmukainen kasvinsuojelu perustuu integroituun torjuntaan. Ensisijaisena keinona on hallita kasvintuhoojia ennaltaehkäisevin menetelmin, vasta pakon edessä turvaututaan suoriin toimiin. Rikkakasveja, tauteja ja tuholaisia torjutaan mekaanisella muokkauksella, kasvinvuorotuksella ja muilla ennaltaehkäisevillä keinoilla, kuten katemateriaalien käytöllä (Rajala, 2006, 40). Rajalan (2006) mukaan ekologisen kasvinsuojelun näkökulmasta on huomioitava, että esimerkiksi rikkakasveista on myös hyötyä. Ne tarjoavat esimerkiksi vaihtoehtoja ravintoa tuholaisille ja linnuille. Niin sanotuilla tuholaisilla taas on oma tehtävänsä kasvipopulaatioiden säätelyssä, mutta kun ne toimivat ihmisen tavoitteita vastaan, niistä tulee torjuttava uhka. (Rajala, 2006) Hiilensidonnan näkökulmasta onnistuneen kasvinsuojelun etuna on se, että tuotannosta saadaan tehokkaampaa ja sadon hiilijalanjälki tuotettua yksikköä kohti pienenee. (Holka, ym., 2022.)

Luonnonmukaisessa maataloudessa pyritään mahdollisimman suljettuun ravinnekiertoon tilan sisällä. Esimerkiksi ostolannoitteita hankitaan vain korvaamaan sadon mukana poistuvat ravinteet. Ravinteita saadaan lannasta, komposteista ja kasvijätteistä, sekä kivijauheista. Lisäksi hyödynnetään biologista typensidontaa eli esimerkiksi apilanurmia, palkoviljoja ja viherlannoituskasvustoja. (Rajala, 2006, 36-38, 41.)

3.4 Luonnonmukaisen viljelyn tuotantoehdot

Ruokavirasto on antanut ohjeet luomukasvintuotantoon, ohjeet perustuvat Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseen 2018/848 ja komission täytäntöönpanoasetuksiin. Ohjeet ovat luonnonmukaisen kasvintuotannon vähimmäisvaatimuksia ja niitä on noudatettava luomuvalvonnassa olevilla maatalousalueilla. (Luomukasvintuotanto, 2022.)

Tilan siirtyessä luonnonmukaiseen tuotantoon, on tilan noudatettava luonnonmukaisen tuotannon ehtoja siirtymävaiheen ajan, ennen kuin tilan tuotteita voidaan markkinoida luonnonmukaisesti tuotettuina. Esimerkiksi yksivuotisilla kasveilla ja nurmille siirtymävaiheen pituus on 24 kuukautta. Muiden monivuotisten kasvien osalta siirtymävaiheen pituus on 36 kuukautta. Siirtymävaihetta voidaan lyhentää tai pidentää tietyin edellytyksin. (Luomukasvintuotanto, 2022.)

Viljelykierrolle on asetettu vähimmäisvaatimukset. Palkokasveja on oltava pääkasveina tai aluskasveina 30% viljelykierrosta. Kierto on tulella sisältyä vähintään yksi maan viljavuutta ylläpitävä kasvusto. 50 % vuosista pää- väli- tai kerääjäkasvina tulee olla viljavuutta ylläpitävä kasvi. Viljakasveja ei saa olla yli kolmena vuotena peräkkäin, eikä palkoviljoja, öljykasveja, perunaa tai samansukuisia yksivuotisia erikoiskasveja yli kahtena vuonna peräkkäin. (Luomukasvintuotanto, 2022.)

Maan viljavuudesta on huolehdittava esimerkiksi viljelemällä nurmea monivuotisten kasvustojen ohessa, käyttämällä viljelytoimenpiteitä, jotka eivät vähennä maan orgaanista ainesta, lisäävät maaperän vakautta, monimuotoisuutta ja maan pysyvyyttä. (Luomukasvintuotanto, 2022.)

Lannoituksen tulee perustua monipuoliseen viljelykiertoon ja eloperäisiin lannoitteisiin ja maanparannusaineisiin. Lannoituksen tulee perustua ensisijaisesti tilalta peräisin oleviin ravinteisiin ja luomutuotannon sisäiseen kasvi- ja eläintuotannon kokonaisuuteen. Mikäli tarvittavaa lannoitusta ei saada tilan sisältä tai muilta luomutiloilta, voidaan käyttää luomutuotannossa sallittuja täydennyslannoitteita. Mineraalityypilannoitteiden ja teollisesta eläintuotannosta peräisin olevan lannan käyttö on kielletty. (Luomukasvintuotanto, 2022.)

Kasvinsuojelu perustuu viljelykiertoon, oikea-aikaisiin niittoihin ja muokkauksiin, luontaisten vihollisten suosimiseen, lajikevalintoihin, biologiseen torjuntaan sekä mekaanisiin ja termisiin torjunta-

menetelmiin. Tilan ennaltaehkäisevät ja tehostetut menetelmät, joihin turvaudutaan ennaltaehkäisevien toimien ollessa riittämättömiä, tulee kuvata luomusuunnitelmassa. (Luomukasvintuotanto, 2022.) Perustelluista syistä voidaan käyttää luonnonmukaisessa tuotannossa sallittuja kasvinsuojeluaineita, näitä ovat mm. elintarvikeperäiset aineet, kuten lehmänmaito ja etikka, eräät sien- ja bakteeripohjaiset sienitautientorjunta-aineet, rautafosfaatti etanoiden ja kotiloiden torjuntaan, pyretriini ja rypsiöljy hyönteisten torjuntaan, mikrobipohjainen spinosadi muurahaisten torjuntaan ja viherminttuöljy perunan itämisen estämiseen. (Luonnonmukaiseen tuotantoon soveltuvat kasvinsuojeluaineet, 2023).

Luonnonmukaisessa tuotannossa on käytettävä mahdollisuuksien mukaan luonnonmukaisesta tuotannosta peräisin olevaa lisäysaineistoa, eli esimerkiksi siemeniä ja taimia. Mikäli luonnonmukaista tai siirtymävaiheen lisäysaineistoa ei ole saatavilla, voi Ruokavirasto antaa luvan tavanomaisen lisäysaineiston käyttöön. (Luomukasvintuotanto, 2022.)

4 Hiili ja ilmastonmuutos

Ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuudet ovat nousseet merkittävästi viime vuosikymmenien aikana (Heinonsalo, 2020, 4). Kasvihuoneilmiö on maapallolla luontaisesti esiintyvä ilmiö, jossa ilmakehässä olevat kasvihuonekaasumolekyylit absorboivat ja heijastavat maapallolta säteilevästä lämmöstä osan takaisin kohti maanpintaa. Kasvihuonekaasujen määrän lisääntyessä myös kasvihuoneilmiö voimistuu ja johtaa ilmaston lämpenemiseen. (The greenhouse effect, N.d.)

Kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, metaani, ilokaasu ja erilaiset fluoratut kasvihuonekaasut. Hiilidioksidin osuus kaikista kasvihuonekaasupäästöistä on 81%. Metaanin osuus on 11,4 %, metaani on 28 kertaa tehokkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. (Climate change – driving forces, 2023.)

Maapallon hiilivarastot ovat jakautuneet ilmakehään 730 petagrammaa ($Pg = 1\,000\,000\,000$ tonnia), meriin 38000 Pg, maahan 2000 Pg ja geologisiin varastoihin. Geologisiin materiaaleihin, kuten karbonaatteihin ja öljyyn on sitoutunut suurin määrä hiiltä, mutta se on varsin stabiilia lukuun ottamatta ihmisten vapauttamaa hiiltä fossiilisten polttoaineiden muodossa. Tämän ja esimerkiksi metsäkadon vuoksi ilmakehän hiilen määrä on lisääntynyt. (Heikkinen, 2016.)

4.1 maatalouden osuus hiilidioksidipäästöistä

Euroopan unionin alueella kasvihuonekaasupäästöistä noin 11% oli peräisin maataloudesta vuonna 2021. Suurin osa maatalouden päästöistä on peräisin märehitijöiden ruuansulatuksesta. Seuraavaksi eniten päästöjä tulee maatalousmaasta, sen jälkeen lannan käsittelystä, hiilipitoisista lannoitteista ja muista lähteistä. (Climate change – driving forces, 2023) Vuonna 2017 Suomen maatalouden päästöistä noin 75% oli peräisin maaperästä. Tästä yli puolet oli peräisin eloperäisiltä mailta (Aakkula, Jallinoja, Lehtonen, Luostarinen, Maanavilja, Niemi, Rantala, Saarnio & Soini, 2020).

Peltomaat menettävät hiilivarastoja, kun maan orgaanisen aineksen hajoamisen myötä ja sadon mukana poistuvan hiilen määrä on suurempi kuin yhteyttämisen ja maahan päätyvän materiaali määrä. (Heinonsalo, 2020.)

4.2 Hiili maaperässä

Hiiltä esiintyy maaperässä eri muodoissa (Creamer, Goede, Heinonsalo, Lemola, Ruoho, Salonen, Soinne & Uhlgren, 2023). Maaperän orgaaninen aines koostuu kasveista, mikrobeista ja eläimistä peräisin olevista kuolleista aineksista. Orgaaninen aines on maaperässä monessa muodossa, eri kokoisina molekyyleinä, erilaisilla rakenteilla ja kemiallisilla ominaisuuksilla varustettuna. Orgaanista ainesta voidaan luokitella esimerkiksi hajoamisnopeuden perusteella jatkumoon nopeasti hajoavasta labiilista aineksesta hitaasti hajoavaan stabiiliin ainekseen. Orgaanisen aineksen hajoamisnopeus vaihtelee muutamista kuukausista satoihin vuosiin. Orgaanisesta aineksesta karkeasti puolet on hiiltä. (Heinonsalo, 2020) Orgaaninen hiili voidaan jaotella stabiileihin mineraaleihin liittyneisiin ositteisiin, labiilimpiin partikkeliositteisiin ja liuenneisiin ositteisiin (Creamer, ym. 2023).

Orgaanisen hiilen määrä maaperässä vaihtelee alueittain merkittävästi maapallolla. Suomen maaperässä on melko suuri orgaanisen hiilen määrä. Multa- ja turvemailla orgaanista ainesta on maaperästä erityisen suuri osuus, turvemaissa yli 40% ja multamaissa yli 20%. Kivennäismailla orgaanisen aineksen osuus on tyyppillisesti vain muutamia prosentteja. Orgaanisella aineksella on kuitenkin tärkeä rooli maaperän ominaisuuksien kannalta. (Heinonsalo, 2020) Saveshiukkasten määrän perusteella maaperässä voidaan ennustaa maan kykyä sitoa mineraaleihin liittyntä orgaanista

hiiltä. Suomen ilmaston kosteus ja kylmyys sekä maan suhteellisen alhainen pH-arvo vaikuttavat hiilen pysymiseen maaperässä. Maaperän kosteus saattaa hidastaa partikkelimuotoisen hiilen vapautumista maaperästä. Lisäksi hiilen käyttäytymiseen vaikuttavat alumiini- ja rautaoksidit, sillä ne sitovat hiiltä itseensä. (Creamer, ym. 2023.)

Labiili orgaaninen aines toimii ravintona eliöille ja ylläpitää niiden toimintaa, mikä taas johtaa maan rakenteen paranemiseen mururakenteen kehittymisen myötä. Stabiili orgaaninen aines taas toimii olennaisena osana maan kemiallisia prosesseja. Se pidättää otollisissa oloissa ravinnekationeja, toimii puskurina happamoitumista vastaan ja lisää anionisten ravinteiden saatavuutta kasveille. Kuiva orgaaninen aines on hydrofobista. Toisaalta orgaaninen aines pystyy pidättämään suuria määriä vettä, mikä lisää maan vastustuskykyä kuivuudelle. (Heinonsalo, 2020.)

Stabiilia orgaanista ainesta syntyy hajotuksessa syntyvien yhdisteiden ja mikrobiperäisen aineksen reagoidessa maan kivennäisaineksen kanssa. Vastustuskyky hajoamiselle syntyy kemiallisten sidosten ja maan mururakenteen avulla. (Heinonsalo, 2020.)

Hiilen määrä maaperässä lisääntyy kuolleen kasvi- ja eläinaineksen, kasvieritteiden ja lannoitteiden myötä. Hiiltä maaperässä vähentävät orgaanisen aineksen hajoaminen, eroosio ja huuhtoutuminen. Orgaaninen hiili pidättyy maahan muodostamalla yhdisteitä mineraalien kanssa, sitoutumalla savimineraaleihin ja muodostamalla pitkäketjuisia hiiliyhdisteitä ja mikrobimassaa. (Heinonsalo, 2020.)

Orgaanisen hiilen lisäksi maassa on epäorgaanista hiiltä. Epäorgaaninen hiili koostuu karbonaattimineraalien osana esiintyvistä hiilestä. Suomen maaperässä ei esiinny luontaisesti juurikaan karbonaattimineraaleja. Pelloille päätyy karbonaattimineraaleja mm. kalsiitin ja dolomiitin mukana, mutta kalkitusaineiden neutraloidessa happamuutta hiili vapautuu nopeasti ilmakehään. (Heinonsalo, 2020.)

4.3 Keinot arvioida maaperän hiilivarastoa ja sen muutosta

Maaperän hiilinielua voidaan tutkia erilaisilla aikajännteillä. Maaperän hiilivarastoon vaikuttavat negatiivisesti maahengityksen voimakkuus, kasvien hengitys ja sadon mukana poistuva biomassa, hiilivarastoa taas lisää yhteyttäminen ja maahan päätyvä biomassa. (Heinonsalo, 2020.)

Hiilen määrää maaperässä voidaan tutkia esimerkiksi maanäytteiden avulla. Tällöin näyte poltetaan ja sen jälkeen punnitaan, jolloin saadaan selville orgaanisen aineen määrä. Menetelmä ei mitata epäorgaanista hiiltä. Hiilen kokonaismäärän lisäksi olisi kuitenkin hyvä tietää missä muodossa hiili on maaperässä. (Heinonsalo, 2020.)

Kaasunvaihtoa voidaan tutkia pyörrekovarianssimenetelmällä, jossa ilman kasvihuonekaasupitoisuuksia mitataan huomioiden tuulen nopeus ja suunta, jolloin voidaan selvittää, sitoutuuko vai vapautuu ko hiiltä (Heinonsalo, 2020).

Kammionmenetelmässä mitataan yksittäisten kohteiden hetkellistä hiilensidontaa tai -vapautumista. Kohde/kohdealue suljetaan kammioon ja ilman hiilidioksidipitoisuutta kammion sisällä mitataan lyhyen mittausjakson avulla. Inkubointi- eli muhituskokeet ovat kammionmittauksen kaltaisia kokeita maanäytteille. (Heinonsalo, 2020.)

Hiilivarastoa voidaan arvioida myös mallien avulla. Mallien avulla voidaan arvioida suurien alueiden hiilensidontaa pienilläkin resursseilla. Mallit ovat epätäydellisiä, sillä mallien laatiminen vaatii tyypillisesti yksinkertaistamista, ja ne perustuvat rajalliseen määrään lähtötietoa. (Heinonsalo, 2020.)

4.4 Orgaanisen aineksen hajoaminen

Orgaaninen aines hajoaa biologisten ja fysikaaliskemiallisten prosessien myötä. Orgaanisen aineksen hajoamiseen vaikuttavat mm. maaperäeliöiden määrä ja monimuotoisuus, happamuus, happensaanti, ravinteiden määrä, kosteus ja lämpötila. Eri maaperäeliöt myös viihtyvät erilaisissa olosuhteissa, esimerkiksi lierot ovat tehokkaampia kylmässä ja kosteassa kuin kuivassa ja lämpimässä. (Mattsoff, 2005.)

Tuoreessa orgaanisessa aineksessa on lähinnä erilaisia hiiliyhdisteitä. Hajottamisprosessissa mikroorganismit muuttavat näitä yhdisteitä itselleen helpommin käytettävään muotoon vapauttaen ravinteita ja samalla tuottavat jätteinä orgaanista ainesta, jossa on jäljellä vaikeammin hajoavia aineita. Nopeimmin hajoavat sokerit, tärkkelys ja proteiinit, sillä ne ovat helppoa ravintoa eliöille. Hitaasti hajoavia yhdisteitä ovat esimerkiksi selluloosa, rasvat ja vahat ja erittäin hitaasti hajoaa mm. ligniini. (Benites & Bot, 2005.)

Maan mikrobilajiston runsaus ja monimuotoisuus vaikuttaa orgaanisen aineksen hajoamisen nopeuteen (Heikkinen, 2016). Maaperässä orgaanista ainesta hajottavat mikrobit eli bakteerit ja sienet, maaperän hajottajaeläimet, jotka jaetaan mikro-, meso- ja makrofaunaan niiden koon perusteella. Pienimpiä hajottajaeläimiä ovat esimerkiksi alkueläimet, keskikokoisia punkit ja isoja lierot. Suurimman osan energiasta ja ravinteista vapauttavat sienet ja bakteerit, mutta maaperän eliöstön monimuotoisuus edistää hajotustoimintaa. (Mattsoff, 2005.)

Kosteus vaikuttaa orgaanisen aineksen hajoamiseen merkittävästi. Riittävä kosteus on myös tärkeä tekijä kasvien kasvun voimakkuudelle. Liika vesi taas vähentää maaperässä olevan hapen määrää, mikä voi hukuttaa kasveja ja rajoittaa aerobisten mikrobien toimintaa. Hapettomat olosuhteet myös voivat johtaa reaktioihin, joissa hiilidioksidista ja vedystä syntyy metaania. (Heinonsalo, 2020.)

4.5 Maaperän eliöstö

Mikrobit vaikuttavat hiilensidontaan monin eri tavoin. Ne hajottavat orgaanista materiaalia, tukevat kasvien kasvua parantamalla ravinteiden ja vedenottoa ja tukevat hyvän mururakenteen muodostumista. Lämpötila lisää myös mikrobitoiminnan aktiivisuutta. (Heinonsalo, 2020) Sienten, kasvien ja mikrobien yhteistoiminta vaikuttaa hiilen sitoutumiseen maaperään. Sienten vaikutus hiilensidontaan tunnetaan heikosti. (Bodegom, Huang, Liski, Soudzilovskaia & Viskari, 2022.)

Mikrobit ovat ensimmäisen asteen hajottajina tehokkaimpia, sillä ne vastaavat noin 90 % orgaanisen aineen hajottamisesta. Mikrobien tehokkuus perustuu niillä oleviin orgaanisen aineksen hajottamiseen vaadittaviin entsyymeihin. Maaperän hajottajaeläimillä on kuitenkin muita etuja. Ja ne toimivat esimerkiksi toisen asteen hajottajina laiduntaen mikrobeja ja sieniä. Esimerkiksi mikrofaunaan, alle 200 mikrometriä (μm), kuuluvat sukkulamadot ovat määrällisesti suurin maaperäeläinryhmä ja ne käyttävät ravintonaan mikrobeja. Mesofauna, eli 100 μm - 2mm kokoluokkaa edustavat maaperäeliöt, ovat hyödyllisiä maanviljelykselle siten, että ne hyödyntävät maaperän sieniä ja hyönteisiä ravintonaan ja kontrolloivat siten kasvipatogeenien ja tuhoeläimien populaatioita. Makrofaunaan, eli yli 2mm kokoluokkaan, kuuluvat lierot taas muokkaavat maata ja parantavat vesitaloutta kaivamalla tunneleita. (Mattsoff, 2005.)

Mikrobien hiilen käytön tehokkuus kuvaa sitä, missä suhteessa mikrobien käyttöönsä ottamaa hiiltä päätyy niiden omaan biomassaan ja hiilidioksidiksi ilmakehään. Mitä tehokkaammin mikrobit käyttävät hiiltä, sitä paremmin mikrobibiomassaan sitoutuu hiiltä. Mikrobien hiilenkäytön tehokkuutta lisää mikrobien suurempi typensaanti. Abioottiset tekijät vaikuttavat mikrobien hiilenkäytön tehokkuuteen. (Heinonsalo, 2020.)

Priming-ilmiö tarkoittaa helposti mikrobeille käyttökelpoisen hiilen aiheuttamaa lisähajotusta maaperässä. Helposti käytettävissä oleva hiili, kuten sokerit, antaa mikrobeille energiaa hajotustoimintaan. (Heinonsalo, 2020.)

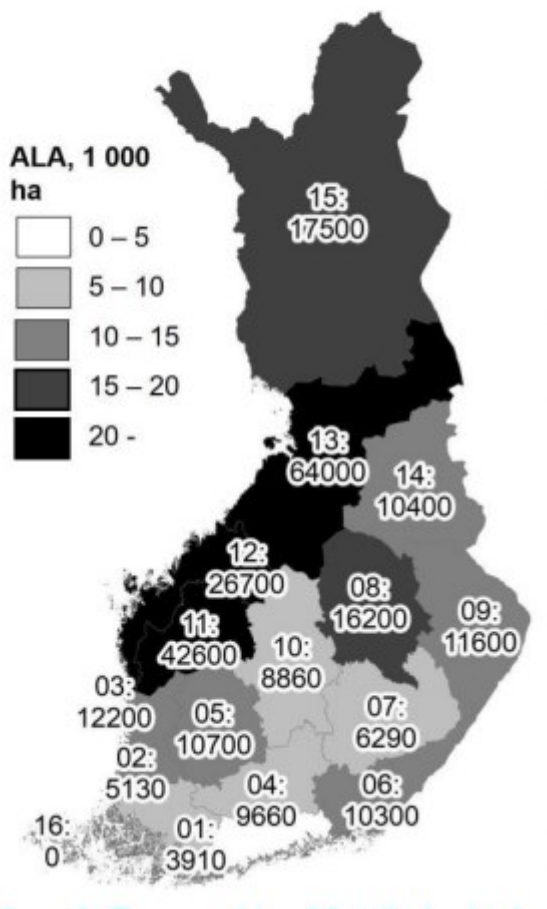
4.6 Hiilen käyttäytyminen maaperässä

Ilmaston, maaperän ja viljelymenetelmien pysyessä vakioina, maaperä saavuttaa vuosikymmenten kuluessa tasapainotilan. Mitä kauempänä hiili on saturaatiopisteestä eli kyllästymispisteestä, sitä voimakkaammin hiiltä sitoutuu tai vapautuu. Tasapainotilassa hiilivarasto ei muutu. Viljelymenetelmää muuttamalla voidaan hiilivaraston kokoa kasvattaa. Hiilisyötettä voidaan myös kohdentaa syvemmälle maahan, mikäli pintakerros on saturoitunut. (Heinonsalo, 2020.)

Hiiltä häviää maaperästä myös eroosion myötä. Monet hiilen sitoutumista edistävät toimenpiteet, esimerkiksi kerääjäkasvien käyttäminen, estävät myös eroosiota. Eroosion myötä hiili poistuu orgaanisen aineksen ja mineraalipartikkeleiden mukana. Eroosiota tapahtuu mekaanisesti tuulen ja veden vaikutuksesta sekä kemiallisesti. (Heikkinen, 2016.)

Hienojakoisella maalla on tyypillisesti suurempi potentiaali hiilensidontaan, sillä saves- ja hiesupartikkelit sisältävät karkeampia lajitteita enemmän pintoja, joihin orgaanista ainesta voi sitoutua. (Heinonsalo, 2020.)

Maatalous



Kuvio 2. Turvepeltojen määrä maakunnittain. (Aro, Assmuth, Haltia, Hellsten, Larmola, Lempinen, Lindfors, Lohila, Lång, Miettinen, Minkkinen, Nieminen, Ollikainen, Ojanen, Sarkkola, Sorvali, Seppälä, Tolvanen, Vainio, Wall & Vesala, 2022).

Soihin sitoutuu hiiltä, kun suolla kasvaneet kasvit lahoavat ja niiden sitoma hiili varastoituu turpeeseen. Turve hajoaa hapettomissa olosuhteissa hitaammin kuin kasvit sitovat hiiltä, jolloin hiilivarastot kasvavat. Hajoamisnopeuteen vaikuttaa myös mikrobien käytössä olevien ravinteiden määrä. (Aro ym., 2022, 25.)

Luonnontilaiset suot sitovat hiiltä niille kertyvään turpeeseen. Kun turve pääsee kosketuksiin ilman kanssa, esimerkiksi kun suo ojitetaan, alkaa tapahtua hajoamista. Turvemaidella on suuri potentiaali päästöjä vähentävien toimenpiteiden käyttöön. (Heinonsalo, 2020, 36.)

Ojitetun suon käyttötarkoitus vaikuttaa sen päästöihin. Esimerkiksi metsätaloukskäytössä olevat suot toimivat hiilinieluinä. Maataloukskäytössä päästöt kasvavat maanmuokkauksen ja lannoituk-sien myötä. (Aro ym. 2022. s.26) Joissain tapauksissa voi pellon poistaminen viljelykäytöstä olla jär-kevä ratkaisu, pelto voidaan ennallistaa, metsittää tai siirtää kosteikkoviljelyyn. Turvemaiden rai-vaamista pelloksi kannattaa myös välttää. (Heinonsalo, 2020.)

Päästövähennyksiä voidaan saada aikaan mm. muokkauksen vähentämällä, kasvipeitteisyyden lisäämisellä ja pohjaveden pinnan nostamisella. Nämä keinot eivät kuitenkaan lopeta turpeen ha-joamista ja siten hiilipäästöjä. Turpeen hajoaminen loppuu vain luomalla hapettomat olosuhteet, eli käytännössä ennallistamalla suo. (Aro ym. 2023. 34-35.)

5 Hiiliviljely

Kaikki toimet, jotka edistävät fotosynteesin myötä tapahtuvaa hiilen sitoutumista ilmakehästä, ja jotka hidastavat maan orgaanisen aineen hajoamista ja hiilen vapautumista, auttavat ylläpitämään maan hiilivarastoja. (Martino & Smith, 2007.)

Hiiltä sitoutuu ilmakehästä maahan kasvien välityksellä. Uudistava maatalous on järjestelmä, jonka tarkoituksena on parantaa maan kasvukuntoa, lisätä hiilensidontaa ja luonnon monimuotoisuutta. Hiiliviljely sisältyy uudistavan viljelyn käsitteeseen. (Uudistava viljely on enemmän kuin hiiliviljely, N.d.) Baltic Sea Action Groupin laatimissa kriteereissä uudistavalta viljelyltä vaaditaan osaamisen ja toiminnan kehittämistä, maan kasvukunnosta huolehtimista, monimuotoisuuden edistämistä, monipuolista viljelykiertoa, mahdollisimman suurta ympärivuotista kasvipeitteisyyttä, muokkauksen minimointia, kasvinsuojeluaineiden käytön minimointia ja ravinteiden tarpeenmukaista käyt-töä, sekä orgaanisten lannoitteiden ja biologisen typensidonnan suosimista (Uudistavan viljelyn yleiset kriteerit maataloille, N.d.).

Heinonsalon (2020) mukaan hiiliviljelyyn pyrittäessä ensimmäinen askel on pysäyttää hiilen kar-kaaminen ilmakehään, sen jälkeen voidaan tavoitella hiilen kerryttämistä maaperään.

Ilmastonmuutoksen torjunnassa maa- ja metsätalouden hiilinielut ovat tärkeässä roolissa niiden käytössä olevan maapinta-alan vuoksi. Maaperään on varastoitunut 1-2 metrin syvyyteen ulottuvaan kerrokseen kolminkertainen määrä hiiltä verrattuna ilmakehässä olevaan hiileen. Maatalousmaassa sijaitseva hiilivarasto on altis muutoksille, sillä se on jatkuvasti ihmistoiminnan kohteena. (Heinonsalo, 2020.)

Viljelykäytössä olevilta kivennäismailta häviää arviolta 220 kg hiiltä/ha/vuosi. Eloperäisillä mailla häviö on 3200-5900 kg hiiltä/ha/vuosi. (Heikkinen, Ketoja, Nuutinen & Regina, 2012.) Maankäytön muutokset vaikuttavat maaperän hiilivarastoon merkittävästi. Kun metsää raivataan pelloksi, entsen metsäalueen maaperän hiilivarasto laskee ajan myötä lähes puoleen. Metsän tai viljelymaan muuttaminen laitumeksi sen sijaan kasvattaa maaperän hiilivarastoa. (Heinonsalo, 2020.)

6 Erilaisten viljelytoimenpiteiden vaikutus hiilensidontaan

Ilmastoviisaan maatalouden menetelmiä ovat muun muassa monipuolinen viljelykierto, syväjuuristen kasvien suosiminen, suuremman kuolleen kasvimassan jättäminen maahan, alus- ja kerääjäkasvien käyttö, suuri hiilisyöte, biohiili, orgaaniset maanparannusaineet, peltometsäviljely, ravinteiden hallinta, muokkauksen vähentäminen, maan kunnostaminen. (Heinonsalo, 2020.)

Erilaisilla toimenpiteillä voi olla myönteisiä ja kielteisiä vaikutuksia maaperän eri osa-alueisiin. Toimenpiteiden yhdistely ja ajoitus tuottavat erilaisia tuloksia hiilensidontan kannalta. (Heinonsalo, 2020, 31) Olennaista hiilensidonnassa on maahan päätyvän hiiltä sisältävän orgaanisen aineksen määrä. Mitä parempaa kasvien kasvu on, sitä enemmän niistä jää biomassaa peltoon. (Holka, 2022. Kasvuston yhteyttämistä lisää mahdollisimman pitkä kasvipeitteisyys ja suuri lehtiala. Lehtialaa voidaan lisätä esimerkiksi seoskasvustoilla ja aluskasveilla. Monivuotisilla kasveilla saavutetaan ympärivuotinen kasvipeitteisyys. (Heinonsalo, 2020, 32.)

6.1 Monipuolinen viljelykierto

Erilaiset kasvilajit ja -lajikkeet vaikuttavat maaperän hiilivarastoon eri tavoin, esimerkiksi perunanviljely kuluttaa maaperää voimakkaasti. Nurmenviljely taas tyypillisesti sitoo maahan hiiltä. Viljeltävien lajien ja lajikkeiden monimuotoisuus lisää myös maaperämikrobien monimuotoisuutta.

(Heinonsalo, 2020.) Monivuotisten kasvustojen suosiminen edesauttaa hiilen sitoutumista, sillä hiiltä sisältävää ainesta kerääntyy maan alle juuristoon (Martino & Smith, 2007, 506).

Kun monipuoliseen viljelykiertoon sisältyy palkoviljoja, apilanurmia ja muita tyyppiä ilmakehästä sitovia kasvustoja, saadaan lisättyä kasveille käytettävissä olevan typen määrää ja voidaan saavuttaa suurempi biomassa. Viherlannoitusnurmien lannoitusvaikutus ylittää niitä seuraaville vuosille viljelykierrossa. (Holka, ym., 2022.) Esimerkiksi keskimääräisillä eurooppalaisilla olosuhteilla toteutetussa arvioinnissa siirtyminen viljamonokulttuurista nurmea sisältävään viljelykiertoon lisäsi maan orgaanisen hiilen määrää 0,5 t/ha/v (Holka, ym., 2022).

Syväjuuristen kasvien viljely tasapainottaa kasvijätteistä syntyvän orgaanisen aineksen sijaintia maaperässä (Heinonsalo, 2020). Tavanomaisen muokkauskerroksen alla mikrobiologinen aktiivisuus on vähäisempää, mikä hidastaa kasvimassan hajoamista ja siten hiilen vapautumista orgaanisesta aineesta. (Holka, ym., 2022.)

6.2 Alus- ja kerääjäkasvien käyttö

Kerääjäkasveilla tarkoitetaan kasveja, joita käytetään peittämään maanpintaa satokasvien ohessa ja välissä. Kerääjäkasvien käyttö lisää maan orgaanisen aineksen määrää niistä jäävien kasvijätteidensä muodossa, tyyppiä sitovat kasvit voivat myös lisätä typen määrää maassa. Niiden käyttäminen myös vähentää eroosiota ja ravinnehuuhtoumia sitomalla maata ja ylimääräisiä ravinteita maasta. Lisäksi kerääjäkasvit tarjoavat elinympäristön erilaisille hyödyllisille eliölle ja säätelevät maan lämpötilaa. (Benites & Bot, 2005.) Lisäksi alus- ja kerääjäkasvien hyötynä on niiden mahdollisuus vähentää rikkakasvien määrää. (Holka, 2022.) Optimaaliset kerääjäkasvit itävät nopeasti, kestävät erilaisia säätiloja, sitovat tyyppiä, ovat syväjuurisia, eivät haittaa pääkasvin kasvua ja ovat taloudellisia. (Brar, Dia, Grover, Kahlon, Sharma, Singh, Steiner, 2018.)

Luonnonmukaisessa tuotannossa haasteita aiheuttaa kerääjäkasvikasvustojen lopettaminen ilman synteettisiä kemikaaleja. Yhtenä keinona käytetään maanmuokkausta. (Casagrande, ym., 2017.) Maanmuokkauksen vaikutuksia hiilensidontaan käsitellään kappaleessa ”6.5 Muokkauksen vähentäminen ja mekaaniset rikkakasvintorjuntamenetelmät”

6.3 Lannoitus

Kasvien tarpeita vastaava ravinteiden saatavuus on edellytys tehokkaalle hiilensidonnalle ja sato-potentiaalille. Kaikkia kasvin vaatimia ravinteita on oltava saatavilla, jotta kasvibiomassaa voi syntyä. Toisaalta ravinteiden yltäkyläisyys voi heikentää maaperän mikrobitoimintaa mikrobien merkityksen vähentyessä kasvin ravinteidenhankinnassa. (Heinonsalo, 2020.)

Lannoituksen kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat monet tekijät. Esimerkiksi typen käytön tehokkuuteen vaikuttavat maan alkuperäinen ravinteikkaus, lannoituksen ajankohta, se, onko kyse kylvölannoituksesta vai hajalevityksestä ja jaetaanko lannoitusta. Dityppioksiduulin vapautumista voimistavat esimerkiksi maan alhainen pH, lannoitus juuri ennen sadetta ja lannoitteen levityssyvyys. Esimerkiksi lietteen levityksessä typpihäviöt ovat 18 prosenttiyksikköä suuremmat pintalevityksessä, kuin sijoituslevityksessä, jossa ne ovat noin 9%. (Holka, ym., 2022.)

Viherlannoitus on monella luomutilalla tärkeä lannoituskeino. Symbioosin typensitojabakteerien kanssa muodostaneet palkokasvit pystyvät sitomaan hiiltä juurinystyröillään suoraan ilmakehästä. Lisääntynyt käytettävissä oleva typpi lisää kasvien kasvua ja biomassaa ja siten maaperään päätyvän kasvijätteen ja juurien määrää, ja edelleen maaperän orgaanista ainesta. Kasvien luontaisen typensidonnan hyödyntäminen vähentää tarvetta ostolannoitteiden käyttöön. Erityisen huomattavaa on keinolannoitteiden valmistukseen kuluvan energian säästäminen, yhden typpitonnin valmistuksesta syntyy noin 2,6-9,7 hiilidioksidiekvivalenttonnin päästöt. (Holka, ym., 2022.)

6.4 Orgaaniset maanparannusaineet

Orgaaniset maanparannusaineet, joissa on sopivassa suhteessa hiiltä ja ravinteita, ovat optimaalisia hiilen lisäämiseen maaperässä. Maanparannusaineiden käyttö tulee ajoittaa sopivaan vaiheeseen viljelykiertoa ja vuotta. Hitaalla pyrolyysillä eli kuivatislauksella valmistettu biohiili on Luonnonvarakeskuksen MAHTAVA-hankkeen tulosten mukaan parhaiten maaperään jääviä hiilenlähteitä, sillä se sisältää 97% liukenematonta materiaalia (Regina, 2019, 11).

Erilaisissa maanparannusaineissa on erilaatuista hiiltä. Tuore materiaali hajoaa nopeasti maaperässä. Pitkälle hajonneet materiaalit taas ovat kestävämpiä, kompostoituneessa materiaalissa on

usein myös itsessään mikrobeja, jotka voivat olla hyödyllisiä maaperälle. Esimerkiksi turve ja mädätejäännös ovat tehokkaita hiilen lisäämisessä maaperään. Ligniinipitoisissa aineissa on runsaasti hitaasti hajoavaa ainesta. (Heinonsalo, 2020.)

Eri maanparannusaineiden ja orgaanisten lannoitteiden kemiallista laatua on selvitetty Yasso07-mallin avulla MAHTAVA-hankkeessa. Kemiallisen laadun avulla voidaan ennustaa maahan lisättyjen aineiden potentiaalia hiilivarastojen kasvatukseen. (Regina, 2019. s. 2.) Hankkeessa tutkittiin esimerkiksi erilaisia lantoja, kuten minkin-, sian- ja hevosenlantaa, sellutehdaslietettä, yhdyskuntalietettä, kasvibiomassoja, kuten apilaa sekä eri lähteistä valmistettuja biohiiliä. Aineista tutkittiin happo-, vesi- ja etanoliliukoisten, sekä liukenemattomien aineiden osuus. Lisäksi selvitettiin hiilen ja typen suhde. Vesi- ja etanoliliukoiset aineet ovat helposti hajoavia, niitä on suuri osuus esimerkiksi tuoreessa kasvimassassa ja lypsykarjatiloilta tulevassa lietteessä. Liukenematonta materiaalia löytyi tutkituista aineista vain biohiilestä, sellutehtaiden lietteestä, järviruo'osta ja kompostoidusta hevosenlannasta. (Regina, 2019, 10-11.)

Materiaalien kompostoitumiseen vaikuttavat hapen saatavuus, hiilen ja typen suhde, kosteus, lämpötila, aika, materiaalin partikkelikoko ja muut ominaisuudet. Mikro-organismit vaativat hajoitusprosessiin hiiltä, typpeä, fosforia ja kaliumia. Hiiltä käytetään energiaksi ja kasvuun, typpeä lisääntymiseen ja proteiinien valmistukseen. C:N-suhde eli hiilen ja typen määrän suhde on tärkeä kompostoitumisen onnistumisessa. Optimaalinen hiilen suhde typpeen on 25:1-30:1, mutta vaihteluväli 20:1-50:1 on vielä sopiva tehokkaaseen kompostoitumiseen. Tätä epätasapainoisemmat suhteet voivat johtaa esimerkiksi typen vapautumiseen ilmakehään. (Brinton, Gouin, Hoitink, Lalliberty, Murphy, Kay, Kolega, Richard, Rynk, Singley & Willson, 1992. s. 7-9.)

Eri aineiden C:N suhteet eroavat merkittävästi. Esimerkiksi metsäteollisuuden sivuvirtana saatavalla kuitulietteellä suhdeluku on 823,8, suhteessa paljon typpeä taas sisältävät esimerkiksi viemäriete ja minkinlanta, joiden suhdeluku on alle 10. (Regina, 2019. s. 10.)

6.5 Muokkauksen vähentäminen ja mekaaniset rikkakasvintorjuntamenetelmät

Luonnonmukaisessa tuotannossa käytetään yhtenä keinona rikkakasvien torjunnassa maanmuokkausta. Tämä voi johtaa maan biologisen aktiivisuuden vähenemiseen, eroosioon, orgaanisen aineksen vähenemiseen ja maan rakenteen heikkenemiseen. (Casagrande, 2017.)

Ympäri maailmaa tehtyjen tutkimusten perusteella suorakylvön arvioitiin lisäävän hiilen määrää 0-30 cm syvyydellä 10-20 % 20 vuoden tarkastelujaksolla. (Holka, ym., 2022.)

Muokkaukset ja muokkauksen voimakkuuden vähentäminen hillitsevät hiilen vapautumista maaperästä. Muokkaus rikkoo maan mururakennetta ja lisää hapen määrää maassa, mikä nopeuttaa orgaanisen aineksen hajoamista. Kyntäminen on haitallinen menetelmä hiilen määrälle. (Holka, ym., 2022.)

Pohjois- ja Etelä-Amerikassa harjoitetaan no-tillage-maataloutta, eli maataloutta ilman maanmuokkausta, mutta Euroopassa kylmä ja kostea ilmasto tekee tämäntyyppisistä suorakylvömenetelmistä huonommin soveltuvia. Sen sijaan Euroopassa käytetään vähennettyä muokkauksen menetelmiä (Reduced tillage) joita ovat esimerkiksi kultivointi ja matalakyntö. (Berner & Mäder, 2011.)

Muokkauksen vähentäminen lisää hiilen määrää maan yläkerroksissa, mutta voi sen sijaan vähentää sitä syvemmällä maassa orgaanisen syötteen pienentyessä. Verrattuna kyntöön vähennetty muokkaus kuitenkin lisää maan viljavuutta. Muokkauksen vähentäminen kuitenkin lisää yksisirkkaisten rikkakasvien määrää verrattuna kyntöön. (Berner & Mäder, 2011.)

6.6 Maan kunnostaminen

Viljelykasvit ja suuri osa mikrobeista suosivat lähellä neutraalia olevaa pH-arvoa, siksi maaperän happamuuden neutralointi voi tukea hiilensidontaa. Maassa, jossa on hyvä vesitalous, on kasveilla ja mikrobeilla käytettävissä happea, mikä lisää kasvua ja hajotustoiminnan nopeutta. Säättösalaojitus ja muut keinot nostaa pohjavedenpintaa toimivat erityisesti turvemaidella tehokkaana keinona vähentää hiilen vapautumista. (Heinonsalo, 2020.)

6.7 Laitumet

Maailmanlaajuisesti maatalousmaasta laitumia on enemmän kuin viljanviljelyyn käytettyä pinta-alaa. Laidunnuksen ajoitus ja voimakkuus vaikuttavat nurmen lajistoon, kasvuun, poistumaan ja hiilen sijoittumiseen kasvustossa, eli siihen, painottuuko biomassa maanpäälliseen kasvustoon vai

juuristoon. Optimaalisesti laidunnetuilla mailla hiiltä usein kertyy enemmän kuin laiduntamattomilla tai ylilaidunnetuilla mailla, tämä kuitenkin riippuu voimakkaasti vallitsevista olosuhteista. (Martino & Smith, 2007, 508.)

6.8 Peltometsäviljely

Peltometsäviljely ei ole Suomessa kovin yleisessä käytössä. Sillä on kuitenkin monia positiivisia vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen ja hiilensidontaan. Puuston varjostus voi rajoittaa fotosynteesiä, mutta toisaalta varjostus voi torjua kuumuuden ja säteilyn negatiivisia vaikutuksia. Kilpiän luomutilalla Etelä-Suomessa tehdyssä tutkimuksessa havainnoitiin paju-leppä-puurivin vaikutusta kaurapellon kasvuun. Pellolla oli lisäksi aluskasvustona apilapitoinen nurmiseos. Puurivistön läheisyydessä (2m) aluskasvusto menestyi paremmin kuin kauempana, mutta kaura kasvoi 12 metrin etäisyydellä paremmin kuin puiden vieressä. Erot eivät kuitenkaan olleet merkittäviä, eikä vaikutusta hiilitaseeseen havaittu. (Heimsch, Huusko, Kali, Karhu, Kulmala & Mganga, 2023.)

Peltometsäviljely eli agrometsätalous on kattotermi, joka pitää sisällään monia erilaisia menetelmiä. Esimerkkejä agrometsätaloudesta ovat metsälaitumet, käytäväviljely, metsämaanviljely ja veväsiestöjen suojavuohyökkeet. Agrometsätalous lisää maan orgaanisen aineksen määrää ja lisää mikrobiston monimuotoisuutta. Maanpäällisen monimuotoisuuden lisääntyminen tarjoaa ekosysteemipalveluita esimerkiksi petohyönteisten muodossa. Hiiltä sitoutuu viljelykasvien lisäksi monivuotisiin puihin. (Lovell & Wilson, 2016.)

Peltometsäviljelyllä on potentiaalia myös tuotannon tehokkuuden parantamiseen. Sekaviljelytehoilla (Land equivalent ratio eli LER-arvo) kuvataan sitä, kuinka paljon pinta-alaa vaaditaan monilajisen kasvuston tuottaman sadon tuottamiseen erillisissä monokulttuureissa. Eurooppalaisissa skenaariolaskelmissa agrometsätaloudelle on ennustettu LER-arvoja väliltä 1-1,4. (Lovell & Wilson, 2016.)

6.9 Kulotus

Kasvimassan polttaminen pellolla johtaa monenlaisten kasvihuonekaasujen vapautumiseen. Näitä ovat mm. hiilidioksidi, metaani, ilokaasu ja hiilivedyt. Lisäksi vapautuu erilaisia savukaasuja. Kulotus vähentää maan heijastavuutta, mikä johtaa maan pinnan lämpenemiseen. (Martino & Smith,

2007, 509.) Vaikka kulutus johtaa välittömästi orgaanisen aineksen häviöihin, sillä voi kuitenkin olla myös positiivisia vaikutuksia hiilensidontaan. Orgaanisen aineksen palaminen muuttaa sen rakennetta ja muodostaa esimerkiksi hiiltä ja kestäväää mururakennetta, jolloin orgaaninen aines muuttuu stabiilimpaan muotoon ja kestää maaperässä pidempään. Palon vaikutukset riippuvat sen voimakkuudesta. (Jones, 2022.)

6.10 Kosteikkoviljely

Kosteikkoviljely on tyypillisen peltoviljelyn ja ennallistamisen välimuoto, jossa pohjaveden tasoa pidetään noin 20 cm syvyydessä. Kosteikkoviljelymenetelmällä voidaan kasvattaa esimerkiksi järvi-ruokoa, pajuja, karpaloa, mustamarja-aroniaa ja mesiangervoa. Kosteikkoviljelyyn soveltuvia kasveja voidaan hyödyntää esimerkiksi energiantuotannossa, rehuna ja erikoistuotteissa. (Aro ym. 2023. s.35)

7 Tutkimuksia luomutuotannosta

Maan orgaanisen hiilen määrästä ja luomutuotannosta tehdyistä tutkimuksista on saatu ristiriitaisia tuloksia. Tässä kappaleessa esitellään valikoituja luonnonmukaisen tuotannon hiilensidonnasta tehtyjä tutkimuksia ja niiden tuloksia. Eri Euroopan maissa on tehty laajemminkin tutkimusta luonnonmukaisen viljelyn vaikutuksista ekosysteemien eri osa-alueisiin, satotasoihin ynnä muuhun, kaikkien tutkimusten sisällyttäminen tähän opinnäytetyöhön ei kuitenkaan ilmasto-, maaperä- ja muiden olosuhteiden vuoksi ole perusteltua.

7.1 Suomi

24 vuotta kestäneessä kokeessa Jokioisilla tutkittiin luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljanviljelyn vaikutuksia maan hiilivarastoihin 70 cm syvyyteen asti. Maaperän hiilestä tutkittiin sen jakautuminen eri ositteisiin. Koepelloilla on noudatettu vuodesta 1995 lähtien seuraavaa viisivuotista viljelykiertoa.

Taulukko 1. Viljelykierto (Creamer, ym. 2023).

vuosi 1	vuosi 2	vuosi 3	vuosi 4	vuosi 5
kevätohra + timotei	timotei-nurmi-nata-puna-apila-nurmi	timotei-nurmi-nata-puna-apila-nurmi	syysruis	herne-kaura

Koepeltoja verrattiin viereiseen pysyvään nurmeen. Hiilen kokonaismäärät olivat seuraavat: niityllä 169 t/ha, luonnonmukaisessa viljelyssä 129 t/ha ja tavanomaisessa viljelyssä 112 t/ha. Suurin osa hiilestä oli maan pintaosissa (<30cm). Sekä tavanomaisesti että luonnonmukaisesti viljellyillä koikeilla hiilestä suurin osa oli stabiilia mineraaleihin sitoutunutta hiiltä, eikä osuuksissa ollut viljelymenetelmien välillä merkittävää eroa. (Creamer ym., 2023.)

Mikkelin alueen säätietoja hyödyntämällä tehtyjen simulointien perusteella luonnonmukainen tuotanto johtaa viljailoilla tavanomaista tuotantoa merkittävästi pienempiin hiilihäviöihin tai lievään lisäykseen. Simulointien perusteella luonnonmukaisesti viljellyt pellot eivät ole alttiita lisäantyneelle typen huuhtoutumiselle tulevaisuudessa. Kotieläintiloilla erot tuotantomenetelmien välillä eivät ole yhtä merkittäviä, sillä kotieläintuotantoon sisältyy tavanomaisenakin tyypillisesti lietteen käyttöä lannoitteena ja nurmenviljelyä. Viljailojen simuloinnissa oli 3 tavanomaista viljelyjärjestelmää: mineraalilannoite + korjuutähteiden keräys, mineraalilannoite + korjuutähteiden jättäminen peltoon ja mineraalilannoite + liete + korjuutähteiden keräys. Luomuviljelyssä järjestelmiä oli 2: viherlannoitus ja teollinen lihaluujauhohojainen lannoite. (Valkama, Perego & Acutis, 2022)

Toholammille tehdyssä tutkimuksessa havaittiin luomutuotannon lisäävän mikrobien aktiivisuutta sekä niihin sitoutunutta hiiltä ja typpeä. Tutkimuksessa vertailtiin kahta peltoparia, joista toisella tutkittiin luonnonmukaista ja tavanomaista viljantuotantoa ja toisella luonnonmukaista ja tavanomaista nurmirehuntuotantoa. Nelivuotisia viljelykiertoja on toteutettu koetilalla vuodesta 2001 asti.

MTT:n tutkimuksessa vuodelta 2002 selvitettiin luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn vaikutuksia maaperän fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin. Tutkimuksessa tarkasteltiin pitkään luomuviljelyssä olleiden ja tavanomaisesti viljeltyjen, vierekkäin sijaitsevien peltoparien eroja, mutta tilastollisesti merkitseviä eroja ei löydetty. (Alakukku, Esala, Jorgensen, Martikainen, Niemi & Palojärvi, 2002.)

7.2 Viro

Virolaisessa tutkimuksessa seurattiin kahden erilaisen luomutuotantojärjestelmän ja kahden tavanomaisen järjestelmän vaikutuksia maan mikrobitoimintaan sekä typen ja hiilen määrään maaperässä perunanviljelyssä. Luomutuotannon osalta tutkittiin luomutuotantoa ilman talviaikaisia keräyskasveja ja kompostoitua karjanlantaa sekä tuotantoa niiden kanssa. Perunanviljely vähensi kaikkien kokeiden mikrobien hydrolyyttistä aktiivisuutta, mutta vähentyminen oli vähäisintä luomutuotannossa, jossa käytettiin karjanlantaa ja talviaikaista kasvipeitteisyyttä. Myös maan orgaanisen hiilen ja typen määrä oli suurin karjanlantaa hyödyntävässä luomuviljelyssä. Erot johtuvat mahdollisesti siitä, että pestisidien käyttäminen vähentää mikrobien aktiivisuutta, jolloin myös kasvimassan hajoaminen ja hiilensidonta hidastuvat. (Eremeev, Talgre, Mäeorg, Esmaeilzadeh-Salestani, Alaru, Loit, Runno-Paurson & Luik, 2019)

7.3 Saksa

Vuonna 2008 julkaistussa saksalaistutkimuksessa havaittiin luomutiloilla maahan kertyvän 400-1350 kg hiilidioksidia/ha/v verrattuna tavanomaisiin tiloihin, joilta hiilidioksidia vapautui 200 kg/ha/v. Eroa selittivät apilanurmien suuri osuus luonnonmukaisessa tuotannossa ja lannan käyttö väkilannoitteiden sijaan. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin suurta vaihtelua tilojen välillä tuotantosuunnasta riippumatta. (Rajala, n.d.)

7.4 Pohjois-Ranska

Pohjois-Ranskassa on tutkittu 16 vuoden ajan erilaisia viljelymenetelmiä. Tutkimuksessa ovat mukana tavanomainen, vähän panoksia käyttävä, CA-viljely ja luonnonmukainen viljely. Orgaanisen hiilen määrä maaperässä pysyi samana tavanomaisessa ja vähän panoksia käyttävässä viljelyssä, lisääntyi hieman luomutuotannossa, 0,28 t/ha/v ja lisääntyi huomattavasti CA-viljelyssä, 0,63 t/ha/v. (Autret, Balabane, Beaudoin, Bertrand, Chenu, Girardin, Grandeau & Mary, 2016.)

7.5 Sveitsi

Sveitsissä tehdyissä maan orgaanisen hiilen määrän ja kaasunvaihtokapasiteetin suhdetta tutkineessa tutkimuksessa oli mukana luomutiloja (Colombi, Walder, Büchi, Sommer, Liu, Six, Van der Heijden, Charles & Keller, 2019). Sveitsiläisen luomutuotannon ehdot poikkeavat hieman EU:n vastaavista, mutta esimerkiksi Bio suisse -sertifioitujen tuotteiden tuotantoehdot ovat tiukemmat kuin EU:n. (Kilcher, Khanna, Huber, Richter, Schmid & Staubli, 2004). Tutkimuksessa selvisi, että tiloilla, joilla maata muokataan, on huokoisempi maaperä. Luomutiloilla oli parempi vedenpidätyskyky sekä muokkauskerroksessa että pohjamaassa. Luomutiloilla oli huomattavasti korkeampi maaperän hiilipitoisuus kuin tavanomaisilla tiloilla. (Colombi ym., 2019.)

Toisessa sveitsiläisessä tutkimuksessa vertailtiin biodynaamisen ja tavanomaisen tuotannon eroa pitkän aikavälin tutkimuksessa. Tulosten mukaan orgaanisen hiilen määrä oli suurempi biodynaamisesti viljellyssä maassa. (Bliedtner, Fliessbach, Mäder, Salazar, Stalder, Szidat & Zech, 2018.)

7.6 Eurooppa

Vuonna 2012 julkaistussa eurooppalaisesta tutkimuksesta tehdyssä meta-analyysissä todettiin luonnonmukaisesti viljellyillä pelloilla olevan 7% suurempi orgaanisen aineksen määrä kuin verrokkeina olleilla tavanomaisesti viljellyillä pelloilla. Erojen arvioitiin johtuvan luonnonmukaisen tuotannon korkeammasta orgaanisen materiaalin syötteestä. Meta-analyysissä arvioitiin erilaisia luonnonmukaisen ja tavanomaisen tuotannon ympäristövaikutuksia vertailevia tutkimuksia.

Johtopäätöksenä arvioitiin luonnonmukaisella tuotannolla olevan tavanomaista tuotantoa pienemmät ympäristövaikutukset pinta-alaa kohden, mutta tilakohtainen vaihtelu on suurta. (Hodge, Macdonald, Riordan & Tuomisto, 2012).

8 Pohdinta

Luonnonmukaisen tuotannon vaikutus hiilensidontaan Suomen olosuhteissa on varsin spesifi aihe, josta löytyy hyvin rajallisesti tutkimustietoa. Luonnonmukaista tuotantoa on harjoitettu Suomessa vasta muutamia vuosikymmeniä suuremmissa mittakaavassa ja hiilensidonta maataloudessa on noussut teemana esille viime vuosina yhdessä ilmastokriisin kanssa. Uutta tutkimusta hiiliviljelystä tuotetaan jatkuvasti lisää ja aihe kiinnostaa monia.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi perusasiat kattava katsaus luomutuotannon vaikutuksista maaperän hiilensidontaan, mutta monesta osa-alueesta olisi saatavilla paljon enemmänkin tietoa yksityiskohtia syvennyttäväksi. Esimerkiksi mikro-organismien vaikutusta hiilensidontaan voisi tutkia lähes loputtomasti. Luomutuotantoa koskevaa tutkimustakin olisi maailmalla saatavilla, mutta silloin tiedon sovellettavuudesta jouduttaisiin tinkimään niin, ettei tiedosta olisi Suomen olosuhteissa merkittävää hyötyä.

Integratiivinen kirjallisuuskatsaus tutkimusmenetelmänä tarjosi sopivasti joustoa mahdollistaen tiedon etsinnän polveilevuuden. Heinonsalon (2020) Hiilioppaan katsaus erilaisiin hiilensidontaa edistäviin viljelytoimenpiteisiin yhdistettynä tietoon luonnonmukaisen tuotannon luonteesta toimi hyvänä runkona katsauksen tekemiselle, mutta paljon yksityiskohtia ja tarkentavaa tietoa oli etsittävä joukosta lähteitä. Näissä lähteissä taas oli viittauksia muihin lähteisiin ja teemoihin, joiden sisällyttäminen opinnäytetyöhön vaikutti tärkeältä.

Rajallisen tutkimustiedon lisäksi on huomioitava, että maatalous on myös todella monimuotoista. Jokainen maatila on omanlaisensa. Vaihtelua on niin kotieläinten määrässä, lajissa, laidunnuksen määrässä, viljelykierroissa, koneistuksessa, viljelijöiden ahkeruudessa ja kiinnostuksenkohteissa, paikallisissa olosuhteissa ja niin edelleen. Myös jokainen vuosi on erilainen ja säätilat vaikuttavat niin viljelyn kuin hiilensidontan onnistumiseen. Siksi yleisesti luomutuotannosta tehtävät päätelmät ovat väistämättä karkeita yleistyksiä, eivätkä kuvaa kovin hyvin yksittäisen tilan tilannetta.

Luomuviljelyn ilmastoystävällisyys riippuu myös siitä, mitä yksikköä kohden kasvihuonekaasupäästöjä tai hiilensidontaa tutkitaan. Jos tutkitaan hiilensidontaa peltohehtaaria kohti, saadaan erilaisia tuloksia kuin esimerkiksi tarkasteltaessa hiilensidontaa tuotettua ruokayksikköä kohti. On kuitenkin huomioitava, että luonnonmukaisessa tuotannossa tilan on tuotettava joko 30% pinta-alasta vuosittain myyntikasvia tai 50% pinta-alasta rehua kotieläinten käyttöön (Luonnonmukaisen tuotannon korvauksen sitoumusehdot 2023, 2023). Vastaavaa velvoitetta ei ole asetettu tavanomaiselle maataloudelle, mikä mahdollistaa ns. näennäisviljelyn ja siten sen, ettei maatilalla tuoteta ollenkaan satoa.

Ei siis voida sanoa, että kaikki luomuviljely on ilmastoystävällisempää kuin tavanomainen viljely. Tavanomaisen tuotannon piirissä oleva hiiliviljelyn periaatteiden mukaan hoidettu pelto tai pysyvä

nurmi voi olla oikein tehokas hiilinielu. Kuitenkin voidaan todeta, että luomuviljelyssä tyypillisesti käytetyt ja luomuviljelyn periaatteita toteuttavat toimenpiteet ovat usein samoja, joita suositellaan hiiliviljelyssä, sillä niiden on havaittu edistävän hiilen sitoutumista ja/tai sen vapautumisen estymistä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että luonnonmukaisen tuotannon yleisen luonteen ja tavoitteiden, tuotantoehtojen ja yleisten käytäntöjen myötä voidaan saavuttaa tehokkaampaa hiilensidontaa kuin tyypillisessä tavanomaisessa tuotannossa.

Lähteet

Aakkula, J., Jallinoja, M., Lehtonen, H., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Niemi, J., Rantala, J., Saarnio, S., Soini, K. 2020. Maatalouden ilmastotiekartta.

Alakukku, L., Esala, M., Jørgensen, K., Martikainen, E., Niemi, M., Palojärvi, A. 2002. Luonnonmuokaisen ja tavanomaisen viljelyn vaikutukset maaperään Viitattu 21.10.2023.
<http://www.mtt.fi/met/pdf/met2.pdf>.

Aro, L., Assmuth, A., Haltia, E., Hellsten, S., Larmola, T., Lempinen, H., Lindfors, L., Lohila, A., Lång, K., Miettinen, A., Minkkinen, K., Nieminen, M., Ollikainen, M., Ojanen, P., Sarkkola, S., Sorvali, J., Seppälä, J., Tolvanen, A., Vainio, A., Wall, A., Vesala, T. 2022. Turvemaiden käytön vaihtoehdot hiilineutraalissa Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2022. Viitattu 26.10.2023.
<https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/04/ilmastopaneelin-raportti-2-2022-turvemaiden-kayton-vaihtoehdot-hiilineutraalissa-suomessa.pdf>.

Autret, B., Balabane, M., Beaudoin, N., Bertrand, M., Chenu, C., Girardin, C., Grandeau, G., Mary, B. 2016. Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 232, 16.9.2016. Viitattu 20.10.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880916303760>.

Benites, J., Bot, A. 2005. The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food production. *FAO soils bulletin 80*. Food and agriculture organization of the united nation. Rooma. Viitattu 1.12.2023. <https://www.fao.org/3/a0100e/a0100e00.htm#Contents>.

Berner, A., Mäder, P. 2011. Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*: 27(1); 7–11. Viitattu 27.10.2023.
doi:10.1017/S1742170511000470.

Biohiili. 2022. Artikkelio bioenergia.fi -sivustolla. Päivitetty 11.11.2022. Viitattu 19.11.2023.
<https://www.bioenergia.fi/biohiili/#info>

Bliedtner, M., Fliessbach, A., Mäder, P., Salazar, G., Stalder, T., Szidat, S., Zech, R. 2018. Soil organic carbon cycling in a long-term agricultural experiment, Switzerland. Viitattu 22.10.2023.
<https://orgprints.org/id/eprint/34925/1/bliedtner-eta-2018-EGU2018-Vol20-15897.pdf>.

Bodegom, P., Huang, W., Liski, J., Soudzilovskaia, N., Viskari, T. 2022. Implementation of mycorrhizal mechanisms into soil carbon model improves the prediction of long-term processes of plant litter decomposition. Viitattu 19.10.2023. <https://bg.copernicus.org/articles/19/1469/2022/>.

Brar, A., Dia, M., Grover, K., Kahlon, C., Sharma, P., Singh, A., Steiner, R. 2018. The Role of Cover Crops towards Sustainable Soil Health and Agriculture—A Review Paper. Viitattu 27.10.2023.
[https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45te-exjx455qlt3d2q\)\)/journal/paperinformation.aspx?paperid=86907](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45te-exjx455qlt3d2q))/journal/paperinformation.aspx?paperid=86907).

Brinton, W., Gouin, F., Hoitink, H., Laliberty, L., Murphy, D., Kay, D., Kolega, J., Rynk, R., Richard, T., Singley, M., Willson, G. 1992. On-Farm Composting Handbook.

Casagrande, M., Peigne, J., Silva, E., Vincent-Caboud, L. 2017. Overview of Organic Cover Crop-Based No-Tillage Technique in Europe: Farmers' Practices and Research Challenges. Julkaistu 4.5.2017. *Agriculture* 2017, 7(5), 42. Viitattu 26.10.2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture7050042>.

Climate change – driving forces. 2023. Eurostat. Viitattu 20.11.2023. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Climate_change_-_driving_forces#General_overview

Colombi, T., Walder, F., Büchi, L., Sommer, M., Liu, K., Six, J., Van der Heijden, M., Charles, R., Keller, T. 2019. On-farm study reveals positive relationship between gas transport capacity and organic carbon content in arable soil

Creamer, R., Goede, R., Heinonsalo, Lemola, R., Ruoho, N., Salonen, A., Soinne, H, Uhlgren, O. 2023. Assessing the effect of arable management practices on carbon storage and fractions after 24 years in boreal conditions of Finland. Viitattu 21.10.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352009423000743?via%3Dihub>.

Eremeev, V., Talgre, L., Kuht, J., Mäeorg, E., Esmailzadeh-Salestani, K., Alaru, M., Loit, E., Runno-Paurson, E., Luik, A. 2019. The soil microbial hydrolytic activity, content of nitrogen and organic carbon were enhanced by organic farming management using cover crops and composts in potato cultivation, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. Viitattu 20.11.2023. <https://orgprints.org/id/eprint/37828/1/Eremeev%20et%20al%202019.pdf>.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2018/848. 14.6.2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0848>

EU-US Equivalence agreement. N.d. Viitattu 21.10.2023. <https://www.ota.com/international-trade/trade-agreements/eu-us-equivalence-agreement>.

Fotosynteesi - oppimateriaalikonaisuus. N.d. Heureka. Viitattu 14.11.2023. <https://heureka.s3.eu-west-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2022/08/18131434/Fotosynteesi-oppimateriaalitFIN.pdf>

Heikkinen, J. 2016. Carbon storage of Finnish agricultural mineral soils and its long-term change. Väitöskirja, Helsingin yliopisto. Viitattu 27.10.2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-0149-5>.

Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., Regina, K. 2012. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology* 19/2013.

Heimsch, L., Huusko, K., Kali, S., Karhu, K., Kulmala, L. Mganga, K. 2023. Effects of a tree row on greenhouse gas fluxes, growing conditions and soil microbial communities on an oat field in Southern Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*- 15.8.2023. Viitattu 5.11.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880923001846?via%3Dihub>.

- Heinonsalo, J. 2020. Hiiliopas – Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin. 1. Painos. <https://www.carbonaction.org/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>
- Hodge, I., Macdonald, D., Riordan, P., Tuomisto, H. 2012. Does organic farming reduce environmental impacts? – A meta-analysis of European research. Viitattu 21.10.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479712004264>.
- Holka, M., Jakubowska, M., Kowalska, J. 2022. Reducing Carbon Footprint of Agriculture—Can Organic Farming Help to Mitigate Climate Change? Viitattu 21.10.2023. <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/9/1383>.
- Hoppula, K., Hoppula, K. 2018. Mykorritsa- eli sienijuurisymbioosi. Luomuliiketoiminnan kehittäminen Keski-Suomessa -hankkeen materiaali. Diaesitys. Luonnonvarakeskus. Viitattu 20.11.2023
- Hyväluoma, J., Lemola, R., Sarvi, M., Turtola, E., Uusitalo, R. 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Vuodet 1996-2000 ja 2005-2009. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018. Luonnonvarakeskus. Viitattu 19.11.2023. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/541851/luke-luobio_17_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Jones, H.L. 2022. Controlled burning of natural environments could help offset carbon emission. Viitattu 9.12.2023. <https://www.plantsci.cam.ac.uk/news/controlled-burning-natural-environments-could-help-offset-carbon-emissions>.
- Kilcher, L., Khanna, R., Huber, B., Richter, T., Schmid, O, Staubli, F. 2004. The Organic Market in Switzerland and the EU - Overview and market access information for producers and international trading companies. Viitattu 20.11.2023. https://www.researchgate.net/publication/277860324_The_Organic_Market_in_Switzerland_and_the_EU_-_Overview_and_market_access_information_for_producers_and_international_trading_companies#pf42
- Lemola, R., Palojärvi, A., Palosuo, T., Saarinen, M., Ukonmaanaho, L. 2022 Miten pohjoisen luomutuotannon ympäristökestävyyttä tulisi arvioida? Esitelmätiivistelmä. Maataloustieteen päivät 2022. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote no 39. Helsinki 2022.
- Lovell, S., Wilson, M. 2016. Agroforestry—The Next Step in Sustainable and Resilient Agriculture. Viitattu 22.10.2023. <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/6/574>.
- Luomu maakunnissa. N.d. Pro luomu. Viitattu 21.10.2023. <https://proluomu.fi/material/luomu-suomessa/luomu-suomessa-tilastot/maakuntakoosteet/>.
- Luomukasvintuotanto. 2022. Ruokavirasto. Julkaistu 15.9.2022. Viitattu 28.11.2023. <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/oppaat/Luomukasvintuotanto/luomu-kasvintuotanto/>.
- Luonnonmukaisen tuotannon korvauksen sitoumusehdot 2023. 2023. Ruokavirasto. Viitattu 28.11.2023. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/luonnonmukainen-tuotanto/luonnonmukaisen-tuotannon-korvauksen-sitoumusehdot/luonnonmukaisen-tuotannon-korvauksen-sitoumusehdot-2023/#kasvinsuojelu>

Luonnonmukaiseen tuotantoon soveltuvat kasvinsuojeluaineet. 2023. Ruokavirasto. Päivitetty 31.3.2023. Viitattu 28.11.2023. <https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/viljelijat/luomutilat/lan-noite-ja-torjunta-aine/kasvinsuojeluaineet-2023-1.pdf>

Malin, E. 2020. Kerääjäkasviopas. Käytännön ohjeita kerääjäkasvien hyödyntämiseen Suomessa. 1. painos. toukokuu 2020. Viitattu 19.11.2023. <https://www.carbonaction.org/wp-content/uploads/2020/06/Keraajakasviopas2020.pdf>

Martino, D., Smith, P. 2017. Agriculture. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg3-chapter8-1.pdf>.

Mattsoff, L. 2005. Torjunta-aineiden maaperän eliöille aiheuttamien riskin arviointi – toistuvan käytön rajoituksen tarkentaminen. Suomen ympäristökeskus 804. Viitattu 29.11.2023. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/64c48d0b-41fc-40bd-8055-d7c3e39caafd/content>.

Meier, C., Schlatter, B., Trávníček, J., Willer, H. 2021. The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2021. Viitattu 21.10.2023. <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1150-organic-world-2021.pdf>

Production, processing and labelling. International Standard for the use and certification of Demeter, Biodynamic and related trademarks (as of: Oct 2022). 2022. Biodynamic federation Demeter. Viitattu 21.10.2023. https://demeter.net/wp-content/uploads/2022/10/20220929_BFDI_Standard_englVersion_final_fs.pdf.

Rajala, J. 2006. Luonnonmukainen maatalous.

Rajala, J. N.d. Saksalaistutkimus: kasvihuonekaasujen päästöt luomussa viidennestä pienemmät. Helsingin yliopisto. Viitattu 29.11.2023. <https://www.helsinki.fi/fi/ruralia-instituutti/opetus/kasvot-luomulle/saksalaistutkimus-kasvihuonekaasujen-paastot-luomussa-viidennesta-pienemmat>.

Regina, K. 2019. Tekninen loppuraportti. Maanparannusaineiden hiilivarastovaikutusten mallinnus (MAHTAVA). 3.6.2019. Viitattu 19.10.2023. https://mmm.fi/documents/1410837/0/MAHTAVA_Tekninen+loppuraportti.pdf/643dd4d9-95fa-3fb9-6458-ef93a580e8dc/MAHTAVA_Tekninen+loppuraportti.pdf?t=1622008706544.

The Greenhouse Effect. N.d. UCAR Center for science education. Viitattu 20.10.2023. <https://scied.ucar.edu/learning-zone/how-climate-works/greenhouse-effect>.

Tietohaarukka. 2023. Ruokatieto Yhdistys ry. Viitattu 19.10.2023. https://ruokatieto.fi/wp-content/uploads/2023/09/Tietohaarukka_2023_Suomi_NETTIIN.pdf.

Uudistava viljely on enemmän kuin hiiliviljely. N.d. Baltic sea action group. <https://www.bsag.fi/uudistava-viljely/>

Uudistavan viljelyn yleiset kriteerit maataloille. N.d. Baltic sea action group. Viitattu 20.10.2023. <https://www.bsag.fi/uudistava-viljely/kriteerit/>.

Valkama, E., Perego, A., Acutis, M. 2022. Soil organic carbon and nitrate leaching loss in organic and conventional farming systems for the current and near future climate. EGU General Assembly 2022. Viitattu 15.11.2023. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-2269>, 2022.

Viljely. N.d. Artikkelel Biodynaamisen yhdistyksen sivuilla. Viitattu 19.11.2023. <https://www.biodyn.fi/viljely1>

Vilkkä, H. 2023. Kirjallisuuskatsaus metodina, opinnäytetyön osana ja tekstilajina. Art House. Helsinki.

Wyckhuys, K. 2022. How ladybugs and disease-fighting microbes can help reduce agriculture's carbon footprint. Viitattu 20.10.2023. <https://www.ifpri.org/blog/scaling-integrated-pest-management-protect-crops-and-reduce-carbon-footprint>.

