



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mari Joutsenlahti

MAANVILJELYSSÄ TEHTYJEN
TOIMENPITEIDEN VAIKUTUS PELTOJEN
HIILENSIDONTAAN

Tekniikka
2022

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniologia

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Mari Joutsenlahti
Opinnäytetyön nimi	Maanviljelyssä tehtyjen toimenpiteiden vaikutus peltojen hiilensidontaan
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	82
Ohjaaja	Asseri Laitinen

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli tutkia maanviljelyssä tehtyjen toimenpiteiden vaikutusta hiilensidontaan. Opinnäytetyössä tarkastellaan näiden hiiliviljelytoimenpiteiden erilaisia tutkimustuloksia ja analysoidaan myös Carbon Action -alustan ylläpitämään Field Observatoryyn kerättyä dataa eri hiiliviljelytiloilta.

Tämä opinnäytetyö on kirjallisuuskatsaus. Työn alussa perehdytään kasvihuonekaasupäästöihin, joiden takia myös hiiliviljelyn toteuttaminen on tullut tärkeäksi osaksi ilmastonmuutoksen torjumista. Jokaisen hiiliviljelytoimenpiteen kohdalta on analysoitu Field Observatoryn keräämää dataa. Lopuksi on myös esitelty Carbon Action hankkeessa mukana olleet intensiiviviljeltyt ja tiloilta kerättyä dataa. Työ perustuu pääosin kirjallisuuteen, tutkimuksiin ja Carbon Action -hankkeen tuottamiin materiaaleihin.

Opinnäytetyöhön on sisällytetty kattavasti tietoa eri hiiliviljelytoimenpiteistä. Monien tutkimusten mukaan hiiliviljelytoimenpiteet sitovat hyvin hiiltä maaperään. Erilaisten olosuhteiden vaikutuksesta hiilensidonnan kannattavuus saattaa vaihdella alueittain. Pääosin hiiliviljelytoimenpiteet ovat tärkeitä hiilensidonnan kannalta, jotta pelloista saataisiin toimivia hiilinieluja.

Avainsanat hiilensidonta, hiiliviljely, kasvihuonekaasut, hiilidioksidi

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Ympäristötekniologia

ABSTRACT

Author	Mari Joutsenlahti
Title	The Impact of Agricultural Measures on Carbon Sequestration in Fields
Year	2022
Language	Finnish
Pages	82
Name of Supervisor	Asseri Laitinen

The aim of this thesis was to study the impact of agricultural measures on carbon sequestration. The thesis examined different research results of these carbon farming practises and analysed the data from different carbon farms collected to the Field Observatory. The Field Observatory is a service maintained by Carbon Action platform.

The thesis was a literature review. First, the thesis focused on research made about greenhouse gas emissions, which are also largely the reason why carbon farming has become an important part of combating climate change. Data collected by the Field Observatory were analysed for each carbon farming practice. Finally, the intensive carbon farms involved in the Carbon Action project and the data collected from the farms were examined. The thesis was mainly based on literature, research and the materials produced by the Carbon Action project.

The thesis studied different carbon farming measures comprehensively. According to many studies, carbon farming measures sequester carbon in the soil very well. The profitability of the carbon farming measures varied from region to region depending on the circumstances. The carbon farming measures for carbon sequestration were mostly found to be very important for turning fields into effective carbon sinks.

Keywords carbon sequestration, carbon farming, greenhouse gases, and carbon dioxide

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	ILMASTONMUUTOS.....	8
	2.1 Kasvihuoneilmiö.....	8
	2.1.1 Kasvihuonekaasupäästöt.....	9
	2.2 Pariisin ilmastosopimus	12
	2.3 4/1000-aloite.....	13
	2.4 Päästökauppa.....	14
3	HIILENSIDONTA MAANVIJELYSSÄ	16
	3.1 Hiilensidonta käsitteenä	16
	3.2 Hiiliviljely.....	16
	3.3 Hiiliviljelyn suunnittelu.....	17
	3.4 Carbon Action	18
	3.4.1 Field Observatory.....	19
	3.4.2 Mittausaineisto	20
	3.5 Luonnon monimuotoisuus.....	21
4	HIILENSIDONTAMENETELMÄT.....	23
	4.1 Alus- ja kerääjäkasvit.....	23
	4.1.1 Field Observatoryn ”NA” -hiiliviljelytila.....	29
	4.2 Laidunnus.....	31
	4.2.1 Field Observatoryn ”JN” -hiiliviljelytila.....	35
	4.3 Maanparannus ja lannoitus	39
	4.3.1 Field Observatoryn ”PA” -hiiliviljelytila.....	43
	4.4 Vähäinen maanmuokkaus ja suorakylvö	47
	4.5 Syväkuohkeutus	50

4.5.1	Field Observatoryn "AE" -hiiliviljelytila	52
4.6	Katkaisunurmi	53
4.6.1	Field Observatoryn "JA" -hiiliviljelytila.....	54
4.7	Turvemaiden hiiliviljely	55
4.8	Hiiliviljelyn vaikutukset hiilinieluihin.....	58
4.9	Mahdollisuudet ja edistäminen	61
4.10	Haasteet.....	63
5	INTENSIIVITILAT	64
5.1	Qvidja	64
5.2	Ruukki.....	69
5.3	Haltiala	73
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	76
	LÄHTEET.....	77

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Kasvihuoneilmiö.....	9
Kuva 2. Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa.....	12
Kuva 3. Monimuotoisuuskaista. Kuvaaja: Mikko Alhainen.....	22
Kuva 4. Kasvien juuristoja.....	26
Kuva 5. Kerääjäkasvitaulukko.....	27
Kuva 6. NA-hiilitilan NDVI-indeksi.....	30
Kuva 7. JN-hiilitilan NDVI-indeksi.....	37
Kuva 8. MI-hiilitilan NDVI-indeksi.....	38
Kuva 9. PA-hiilitilan NDVI-indeksi.....	44
Kuva 10. PI-hiilitilan NDVI-indeksi.....	46
Kuva 11. Orgaanisen hiilen määrä eri maanmuokkausprosesseissa.....	49
Kuva 12. AE-hiilitilan NDVI-indeksi.....	53
Kuva 13. JA-hiilitilan NDVI-indeksi.....	55
Kuva 14. Yli 60 cm turvekerroksien omaavien viljelymaiden osuus koko viljelyalasta maakunnittain.....	56
Kuva 15. Toimivien hiilinielujen hävittäminen vähentää hiilensidontapotentiaalia.....	61
Kuva 16. Qvidja mittauspellot.....	65
Kuva 17. Qvidja NDVI-indeksi.....	67
Kuva 18. Qvidja hiilivarasto.....	68
Kuva 19. Ruukki NDVI-indeksi.....	70
Kuva 20. Ruukki hiilivarasto.....	72
Kuva 21. Haltiala NDVI-indeksi.....	74
Kuva 22. Haltiala hiilivarasto.....	75

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen takia lämpötilat nousevat ja erilaiset ääri-ilmiöt sääolosuhteissa lisääntyvät. Suurin syy tällä hetkellä ilmaston lämpenemiseen on ihmisen toiminnasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on toteutettava erilaisia keinoja kasvihuonekaasujen vähentämiseksi ja ehkäisemiseksi.¹

Ilmastonmuutoksen torjumiseksi tarvitaan erilaisia toimenpiteitä, joiden avulla voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä tulevaisuudessa. Tällaiset toimenpiteet tulee suunnata aloille, jotka tuottavat paljon kasvihuonekaasupäästöjä, kuten energiantuotanto, teollisuus, jätehuolto ja maatalous.²

Maanviljelyssä tehokkain tapa vähentää ja ehkäistä kasvihuonekaasupäästöjä on hiiliviljely. Hiiliviljelyn avulla pystytään vaikuttamaan hiilensitomisen kannalta tärkeisiin asioihin, kuten lisäämään yhteyttämistä, parantamaan maaperän laatua ja vähentämään eroosiota, sekä lisäämään orgaanisen aineksen määrää maaperässä ja saamaan aikaan toimivan mikrobiston.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään erilaisiin hiiliviljelymenetelmiin ja niiden hyötyihin ja haittoihin, sekä tarkastellaan Carbon Action -alustan ylläpitämälle Field Observatory -sivustolle kerättyä dataa, joita on toteutettu pilottitiloilla. Datasta analysoidaan hiiliviljelytoimenpiteiden vaikutuksia käytännössä.

¹ Euroopan ympäristökeskus.

² Euroopan komissio.

2 ILMASTONMUUTOS

Ilmastonmuutos on yksi tunnetuimmista globaaleista kriiseistä, joka aiheuttaa ilmaston lämpenemistä. Sen hidastamiseksi on myös tehtävissä erilaisia toimenpiteitä. Tällä hetkellä suurin tekijä ilmastonmuutoksen vaikutuksiin on fossiiliset polttoaineet.³

Ilmastonmuutoksella on suuria vaikutuksia luontoon ja ympäristöön. Se aiheuttaa jääpeitteiden häviämistä, vedenpinnan nousua, tuholaishyönteiset ja kasvitaudit lisääntyvät ja myös erilaiset sään ääri-ilmiöt tulevat yhä yleisimmiksi. Tämä vaikuttaa myös useisiin eläinlajeihin, jotka kuolevat sukupuuttoon muuttuneen ilmaston takia.⁴

Ilmastonmuutoksen eteen onkin tehtävä useita toimenpiteitä, kuten lopettaa fossiilisten polttoaineiden käyttö, käyttää enemmän ja tehokkaammin uusiutuvaa energiaa ja kasvattaa luonnon omia hiilinieluja. Myös ruoantuotannon menetelmiä ja kulutusta on alettava kehittämään parempaan suuntaan.⁵

2.1 Kasvihuoneilmiö

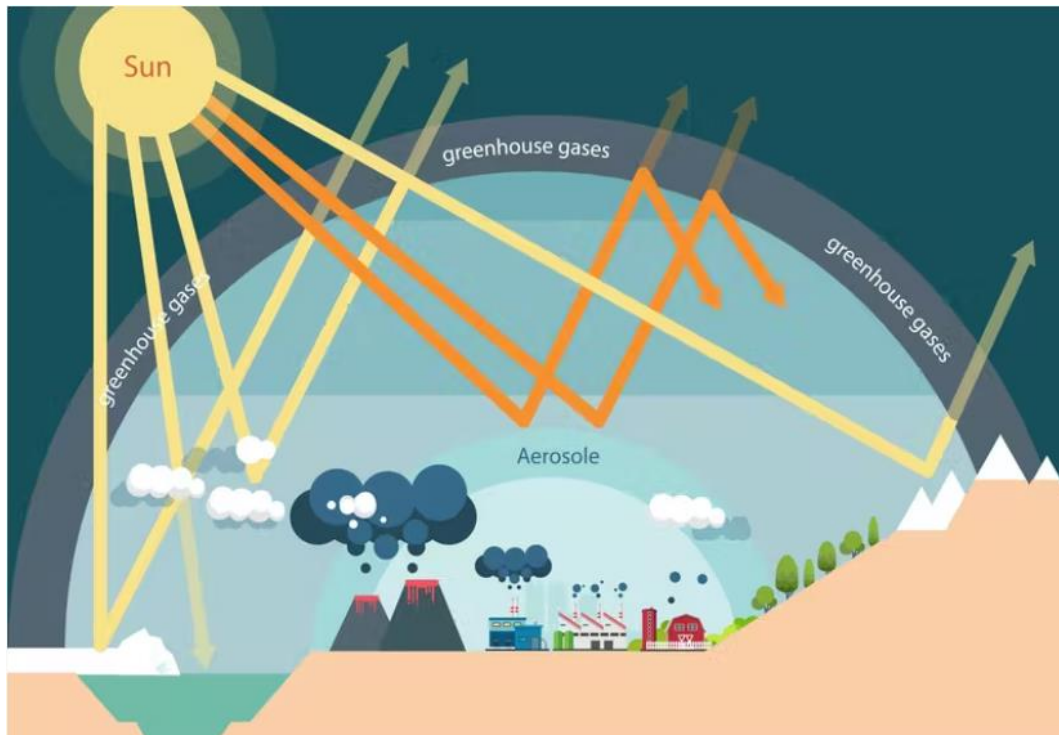
Kasvihuoneilmiön vaikutuksesta nykyisen kaltainen elämä maapallolla on mahdollista. Ilman luonnollista kasvihuoneilmiötä maapallon keskilämpötila olisi niin paljon matalampi, että se ei mahdollista enää elämään, johon olemme täällä tottuneet. Ilmakehää voisikin verrata kasvihuoneen katoksi. Tästä tulee myös nimitys kasvihuoneilmiö. Auringon säteily läpäisee ilmakehän ja näin ollen lämmittää myös maapalloa. Auringon lämpö siis kertyy maapallolle, mutta lämpösäteilyä ei pääse enää karkaamaan takaisin ulospäin, jolloin ilmasto vain lämpenee

³ WWF.

⁴ WWF.

⁵ WWF.

lämpenemistään. Ilmakehän koostumus muuttuu jatkuvasti ja kasvihuonekaasujen osuus kasvaa. Tämän seurauksena myös kasvihuoneilmiö voimistuu koko ajan.⁶



Kuva 1. Kasvihuoneilmiö.⁷

2.1.1 Kasvihuonekaasupäästöt

Kasvihuonekaasut ovat ilmakehässä olevia aineita, jotka aiheuttavat kasvihuoneilmiötä. Ilmastonmuutokseen eniten vaikuttavat kasvihuonekaasut ovat vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, otsoni ja dityppioksidi. Näitä kaasuja esiintyy luonnossa normaalistikin. Näiden lisäksi on myös ihmisen toiminnasta johtuvia kasvihuonekaasuja, kuten kloorifluoratut hiilivedyt ja erilaiset fluori- ja bromiyhdisteet.⁸

⁶ Ilmasto-opas.fi.

⁷ Tieteen kuvalehti.

⁸ Genano.

Hiilidioksidi on ilmastonmuutoksen kannalta merkittävin kasvihuonekaasu ja se on merkittävin ihmisen toiminnasta aiheutuva kasvihuonekaasu. Teollistumisen myötä hiilidioksidipitoisuudet ilmassa ovat nousseet melkein 40 %. Suurin hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja on fossiiliset polttoaineet. Toinen huomattava syy hiilidioksidipäästöille on metsien, etenkin trooppisten, hävittäminen ja maankäytön muuttuminen. Luonnossa tapahtuu jatkuvaa hiilen kiertokulkua erilaisten kohteiden välillä. Ilmaston lämpenemisen myötä prosessit kiihtyvät ja myös kasvien sitoma hiilidioksidi palaa ilmakehään entistä nopeammin. Tämä aiheuttaa hiilidioksidin varastointikyvyn vähenemistä, mikä puolestaan taas vahvistaa kasvihuoneilmiötä.⁹

Metaani on toiseksi pahin ihmisen tuottama kasvihuonekaasu, joka aiheuttaa ilmaston lämpenemistä. Se on ilmaston lämpenemisen kannalta voimakkaampi kaasu, kuin hiilidioksidi, mutta määrällisesti sitä on ilmakehässä vähemmän. Metaanin syntymisen aiheuttaa eloperäisen aineen hajoaminen hapettomassa olossa. Luonnossa metaania vapautuu etenkin soilta ja kosteikoilta. Myös erilaiset onnettomuudet esimerkiksi maakaasun kanssa toimiessa, voi aiheuttaa sen, että metaania pääsee ilmakehään.¹⁰

Dityppioksidi eli toiselta nimeltään typpioksiduuli tai tutummin ilokaasu on yksi merkittävimmistä maatalouden tuottamista kasvihuonekaasuista. Maatalouden lisäksi sen syntymisen syynä on maaperän ja merien mikrobitoiminta. Typpioksiduulin pitoisuus ilmakehässä ei ole hirveän suuri ja se on teollistumisen aikana lisääntynyt vain noin 20 %. Sen kasvu on kuitenkin nousussa koko ajan tasaiseen tahtiin. Typpioksiduulilla on hyvin tehokas ilmakehää lämmittävä vaikutus ja sen 110 vuoden elinikä on hyvin pitkä verrattuna muihin kasvihuonekaasuihin.¹¹

⁹ Ilmasto-opas.fi.

¹⁰ Ilmasto-opas.fi.

¹¹ Ilmasto-opas.fi

Otsoni on merkittävä tekijä kasvihuoneilmiössä, sillä se suodattaa erityisen hyvin UV-säteilyä. Otsonikato stratosfäärissä onkin heikentänyt hieman kasvihuoneilmiötä. Alailmakehässä eli troposfäärissä otsonin määrän lisääntyminen taas aiheuttaa ilmaston lämpenemistä. Otsonia syntyy erityisesti ihmisen aiheuttamista toiminnoista, mutta myös luonnollisesti erilaisten hiilivetyjen reaktioista ja metaanin hapettumisesta. Liialliset otsonipitoisuudet ovat myrkyllisiä kasveille ja eläimille.¹²

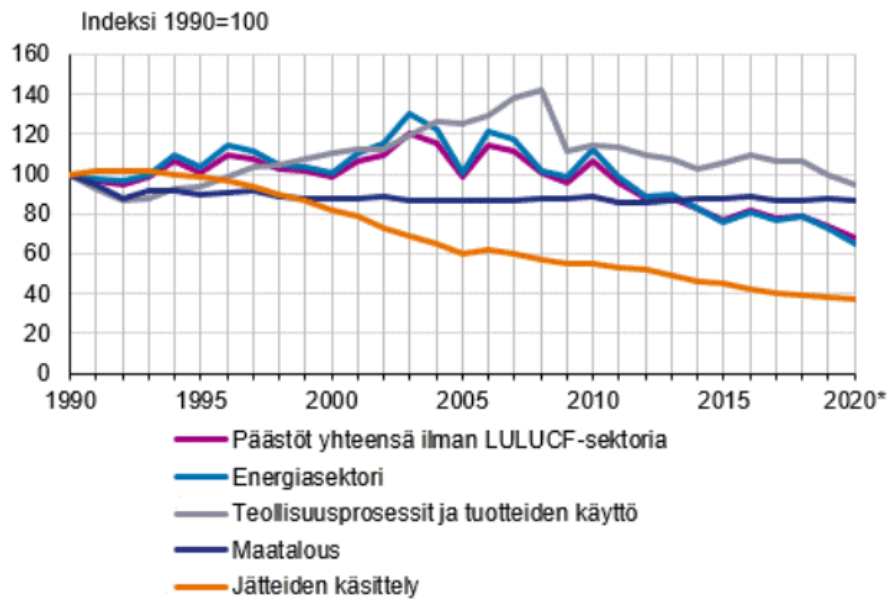
Kokonaispäästöt kasvihuonekaasujen osalta olivat vuonna 2020 Suomessa 48,1 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Näistä päästöistä 14 prosenttia oli maatalouden aiheuttamia, eli siis noin 6,5 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia.¹³

Hiilidioksidiekvivalentti on kasvihuonekaasujen päästölaskennassa hyödynnetty yksikkö, joka ilmaisee kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Kasvihuonekaasujen päästöjä laskettaessa, mukaan lasketaan hiilidioksidi-, metaani- ja typpioksiduulipäästöt. Näille päästöille on annettu eri kertoimia niiden haitallisuuden mukaan, jota on verrattu hiilidioksidiin. Hiilidioksidin kerroin on siis yksi, metaanin 25 ja typpioksiduulin 298.¹⁴

¹² Ilmasto-opas.fi.

¹³ Tilastokeskus.

¹⁴ Lipasto.



Kuva 2. Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa.¹⁵

Kuvasta 2 näkee, että kasvihuonekaasujen kehitys on laskussa kaikilta, muilta osin, mutta maataloudessa ne ovat pysyneet kohtuullisen samana koko ajan. Tämän takia myös maatalouden toimenpiteisiin tulee kiinnittää yhä enemmän ja enemmän huomiota, jotta uusilla toimilla saadaan myös pienennettyä maatalouden osuutta ja saadaan se käännettyä laskusuhdanteeseen.

2.2 Pariisin ilmastopimus

Pariisin ilmastopimus on astunut voimaan vuonna 2016. Sopimuksen päämääränä on pitää keskilämpötilan nousu maapallolla alle kahdessa asteessa. Tämä edellyttää, että kasvihuonekaasut saadaan laskuun mahdollisimman nopeasti.

¹⁵ Tilastokeskus

Tämän toteutumisen ehtona on se, että päästöt ja niitä sitovat nielut saadaan tasapainotettua.¹⁶

Sopimusta tarkastellaan viiden vuoden välein, jotta voidaan seurata edistymistä. Sopimuksen allekirjoittaneilta mailta edellytetään toimia päästöjen vähentämiseksi. Sopimuksessa ei ole erikseen määritelty kuinka paljon päästövähennyksiä tulee tehdä, vaan sitoutuneiden maiden tulee saavuttaa omat kansalliset tavoitteensa. Mailla on myös velvollisuus suunnitella kansallinen tavoite viiden vuoden välein. Tavoitteen tulee olla aina viimekertaista parempi.¹⁷

Suomen Ilmastopaneelin laskelmien mukaan Suomen tulisi olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä, jotta tavoitteessa pysyttäisiin. Tämän toteutumiseen ilmakehään saisi päästä hiilidioksidia vain sama määrä, mikä pystytään sitomaan metsiin ja maaperään. Tämän takia on tärkeää saada lisättyä hiilidioksidin sitomista maaperään ja perehtyä myös eri metodeihin, miten sitä voidaan toteuttaa mahdollisimman tehokkaasti maanviljelyssä.¹⁸

2.3 4/1000-aloite

Ranska toi Pariisin ilmastokokouksessa vuonna 2015 esiin 4/1000- aloitteen. Aloite on lähtenyt liikkeelle keksiä toimia ilmastonmuutoksen hidastamiselle ja kasvihuonekaasujen ja hiilidioksidin vähentämiseksi. Ilmastonmuutoksella on radikaaleja vaikutuksia maatalouteen ja viljelyyn ja näin ollen myös satotasot tulevat laskemaan huomasti vuosikymmenten saatossa. Tämän takia on myös tarkoitus turvata elinkeinoja ja ruoan saatavuutta.¹⁹

¹⁶ Ympäristöministeriö

¹⁷ Ympäristöministeriö

¹⁸ WWF.

¹⁹ Carbon Action.

Aloitteen konkreettisenä tarkoituksena on lisätä hiilen määrää maaperässä 4 promillea vuosittain. Jo tällaisella muutoksella saataisiin aikaan merkittävä vähennys ihmisten aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin. Aloitteen on tällä hetkellä allekirjoittanut jopa 43 maata, Suomi mukaan lukien.²⁰

2.4 Päästökauppa

Päästökaupan tavoitteena on, että päästökaupassa mukana olevien toimialojen päästöt pysyvät asetetun tavoitteen rajoissa ja vähentävät näin kasvihuonekaasupäästöjä.²¹ Päästökauppaan kuuluvat eri toimialat tarvitsevat omia päästöjään vastaavan määrän päästöoikeuksia, joiden avulla ne pystyvät käymään kauppaa.²² Suomessa päästökauppaa ei ole vielä laajennettu maatalouteen asti, mutta se voisi olla hyvin potentiaalinen vaihtoehto tulevaisuudessa. Muissa maissa tällaista konseptia on kokeiltu jo hieman. Vuonna 2017 Yhdysvalloissa Microsoft osti seitsemältä riisinviljelijältä 600 tonnia hiilidioksidihyvityksiä.²³

Australiassa on käytössä niin kutsuttu päästöjenvähennys rahasto, jonka tavoitteena on kannustaa päästöjen vähentämiseen. Tämä idea on sisällytetty virallisesti Australiassa olevaa hiiliviljely aloitteeseen. Tässä järjestelmässä osallistuvat voivat ansaita niin kutsuttuja ACCU (Australian carbon credit units) -pisteitä. Yhden ACCU-pisteen voi ansaita aina jokaisesta varastoidusta tai vältetystä hiilidioksidiekvivalenttitonnnista. Myöhemmin ACCU-pisteitä ansainneet voivat myydä niitä hallitukselle tai erilaisilla jälkimarkkinoilla.²⁴ Myös Itävallassa on kokeiltu hanketta,

²⁰ Carbon Action.

²¹ Työ- ja elinkeinoministeriö.

²² Motiva.

²³ The Counter.

²⁴ Australian Government.

jossa maanviljelijät saavat palkkioita, jos he pystyvät viljelymenetelmillään lisäämään hiilen määrää maaperässä.²⁵

²⁵ European Commission.

3 HIILENSIDONTA MAANVILJELYSSÄ

3.1 Hiilensidonta käsitteenä

Hiilensidonnassa tarkoituksena on sitoa hiiltä maaperään ja vähentää maaperästä vapautuvan hiilidioksidin määrää. Sen avulla pystytään poistamaan hiilidioksidia ilmakehästä, ja näin ollen se on olennainen osa ilmastonmuutoksen hidastamista. Hiilen sitominen maaperään auttaa maaperän ravinteikkuuden parantamisessa ja vaikuttaa positiivisesti viljelykasvin satoihin.²⁶

Maaperässä on enemmän hiiltä, kuin ilmakehässä. Tätä orgaanista ainetta maaperään pääsee muun muassa maatumisen tuotoksena. Orgaanisella aineksella tarkoitetaan maaperässä sijaitsevia eläviä ja kuolleita aineksia yhteensä.²⁷ Näihin lukeutuu esimerkiksi kasvien jäännökset ja erilaiset mikro-organismit.²⁸ Orgaaninen aines on vähentynyt voimakkaan viljelyn ja maanmuokkauksien seurauksena.²⁹

Hiilensidonnan mahdollisuudet ovat myös Suomessa kattavat, sillä arvioiden mukaan hiilidioksidia voitaisiin sitoa viisi miljoonaa tonnia vuodessa pelkästään suomen eri kivennäismaita hyödyntämällä.³⁰

3.2 Hiiliviljely

Kaikki kasvit sitovat hiiltä kasvaessaan, joten viljely on teoreettisesti aina myös hiiliviljelyä. Hiiliviljely on kuitenkin terminä vakinaistunut tarkoittamaan erilaisia toimenpiteitä, jotka lisäävät hiilen sitomista maaperään ja estävät sen vapautumista maaperästä.³¹

²⁶ Carbon Action. Field Observatory.

²⁷ Carbon Action. Field Observatory.

²⁸ Euroopan ympäristökeskus.

²⁹ Carbon Action. Field Observatory.

³⁰ Carbon Action. Field Observatory.

³¹ Yara.

Merkittävin asia hiilensidonnassa on tehokas yhteyttäminen. Yhteyttämiseen kasvit tarvitsevat hiilidioksidia, vettä ja lisäksi auringon valosta saatua energiaa. Yhteyttäminen tuotoksena syntyy sokeria ja happea. Sokerin kasvit käyttävät ravinnokseen ja happi vapautuu ilmakehään. Osa tästä hiilidioksidista vapautuu takaisin ilmakehään, osa sitoutuu maaperään ja osa menee kasvin omaan käyttöön.³²

Maaperän hyvä kunto on tärkeää, jotta hiiltä voidaan sitoa maaperään. Pelloilla hiilidioksidi on usein varastoitunut huonosti eroosion vuoksi. Siksi maanviljelyssä on tärkeää pyrkiä ehkäisemään eroosion syntymistä. Uusia tapoja viljelyn ja maaperänhoidon parempaan toteuttamiseen kehitellään jatkuvasti, jotta voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä. Erilaiset maaperätutkimukset ovatkin tärkeitä, jotta voidaan tulevaisuudessa tunnistaa maaperän laatuun vaikuttavat tekijät paremmin. Maaperässä olevan orgaanisen aineksen tarkkailu on tärkeää, jos halutaan parantaa vedenpidätyskykyä, maaperän rakennetta ja maatalouden tuottavaa toimintaa. Ihmisen toiminnalla on suuria vaikutuksia maaperässä tapahtuvaan hiilenkiertoon.³³

Hiilensidontamenetelmiä on monenlaisia. Maataloudessa yleisimmät menetelmät hiiliviljelyssä ovat alus- ja kerääjäkasvien käyttö, maanparannus, maanmuokkauksen vähentäminen, katkaisunurmi ja hiiltä sitova laidunnus.

3.3 Hiiliviljelyn suunnittelu

Hiiliviljelyn suunnittelussa on ymmärrettävä viljelyn perusteet, kuten viljelykierron suunnitteleminen, peltotöiden ja lannoituksen perusteet, sekä ymmärrettävä karjanhoitoa ja sen laidunnusta, mikäli sellaista on. Hiiliviljelyn suunnittelussa on mieltävä, millaisin keinoin sitä pyritään parantamaan. Tätä ennen on kuitenkin tärkeä tietää maaperän sen hetkinen tila ja pystyä arvioimaan muutosten vaikutuksia.

³² Carbon Action.

³³ Sharma, M. Kaushal, R. Kaushik, P. Ramakrishna, S. 2021.

Keinoja parantamiseen ovat yhteyttämisen lisääminen, yhteyttämiskakson pidentäminen, maaperän biologisen aktiivisuuden parantaminen, maaperän rakenteen parantaminen ja orgaanisen aineksen lisääminen maaperässä.³⁴

Tämän jälkeen tulee miettiä erilaisia toimenpiteitä, joilla pyritään pääsemään valittuun tavoitteeseen. Toimenpiteiden valintaan vaikuttaa pitkälti se, millaisia toimenpiteitä maanviljelijä itse haluaa toteuttaa, mutta on kuitenkin myös huomiotava pellon käyttötarkoitus ja maaperän kunto. Mikäli pelto on täysin viljelykäytössä, riippuu toimenpiteet myös satokasvista.³⁵

3.4 Carbon Action

Carbon Action on Baltic Sea Action Groupin kokoama vuonna 2017 aloitettu pilotti. Sitra antoi pilotille käynnistysrahoituksen. Carbon Action on laajentunut pilotti hankkeesta myöhemmin erilliseksi alustaksi. Alustalla on useita erilaisia hankkeita meneillään, sekä monia rahoittajia tukenaan. Alustan tarkoituksena on tutkia ja kehittää keinoja hiilen sitomiseen ja varastointiin maaperässä ja kehittää yhä nopeampia keinoja näiden toimenpiteiden nopeuttamiseksi. Carbon Action toimii myös tiiviissä yhteistyössä viljelijöiden ja tutkijoiden kanssa ja pyrkii kehittämään uusia metodeja hiilen varastoinnin tieteelliseen todentamiseen. Alustalla on myös tavoitteina edistää viljelystoimenpiteitä, jotka parantavat maaperän tilaa.³⁶

Carbon Action alustalla on myös erilaisia hiilipilottitiloja ympäri Suomea. Hiilitilat toteuttavat valitsemiaan hiiliviljelytoimenpiteitä. Pellot on jaettu aina lohkoihin, joissa koelohkolla testataan hiiliviljelytoimenpiteitä ja verrokkilohkolla jatketaan samanlaisia toimenpiteitä, kuin aiemminkin. Näiden hiilitilojen tavoitteena on

³⁴ Mattila, T. Hagelberg, E. Söderlund, S. Joona, J. 2022

³⁵ Mattila, T. Hagelberg, E. Söderlund, S. Joona, J. 2022

³⁶ Carbon Action.

saada kerättyä mahdollisimman kattavaa dataa tutkimuskäyttöön. Nämä tulokset ovat olennaisessa osassa kehittämässä hiilensidontamenetelmiä.³⁷

3.4.1 Field Observatory

Field Observatory on palvelu, joka on luotu hiiliviljelytoimenpiteiden seuraamiseksi. Field Observatoryn sivusto näyttää Carbon Action -hiilitiloilta kerättyä dataa lähes reaaliajassa. Field Observatory on avoin sivusto, josta kaikki voivat mennä tarkastelemaan tutkimustuloksia. Field Observatoryssa on mukana 20 eri Carbon Action -hiilitilaa, sekä kolme intensiivistilaa, joilla tehdään tutkimuksia enemmän. Jokainen hiilitila on nimetty erilaisin kirjainyhdistelmin.³⁸

Erilaiset satelliittiaineistot Field Observatoryn hiilitiloista Google Earth Engine pilvipalvelusta ja Amazon Web Servicen datoista. Field Observatory kerää erilaiset säähän liittyvät datat, kuten lämpötilan, sademäärän, ilmankosteuden ja tuulen voimakkuuden jokaisen hiilitilan lähimmältä Ilmatieteen laitoksen sääasemalta. Fotosynteettisesti aktiivisen säteilyn data saadaan kerättyä Copernicus Atmospheric Monitoring Servicen avoimesta datasta.³⁹

Tiloilta kerätään myös maaperänäytteitä, joiden avulla seurataan, orgaanisen aineksen määrää maaperässä, mikrobistoa, ravinteita ja fysikaalisia ominaisuuksia. Jokaisella pellolla on myös neljä maaperäsensoria, joiden avulla saadaan dataa maaperän kosteudesta, lämpötilasta ja suolaisuudesta. Lisäksi intensiivituloilta mitataan mikrometeorologisilla mittauksilla maaekosysteemin ja ilmakehän välillä tapahtuvaa veden, hiilidioksidin ja energian vaihtumista. Myös säätietojen osalta

³⁷ Carbon Action.

³⁸ Carbon Action, Field Observatory.

³⁹ Carbon Action, Field Observatory.

intensiivipelloilla on erilliset mittalaitteet, josta tiedot saadaan. SYKE vastaa maaperätutkimuksista ja mittauksista, joita tehdään hiilitiloilla.⁴⁰

Field Observatoryn kehittämässä ovat näiden lisäksi myös Baltic Sea Action Group, HAMK ja INAR. Baltic Sea Action Group johtaa yhteistyötä maanviljelijöiden ja yritysten kanssa. HAMK on mukana kehittämässä Field Observatoryn visuaalista käyttöliittymää. INAR eli ilmakehätieteiden keskus on myös mukana kehittämässä ja tutkimassa Field Observatoryn toimintoja.⁴¹

3.4.2 Mittausaineisto

Hiiliviljelyn tehokkuutta voidaan mitata erilaisien indeksien avulla. Carbon Actionin hiiliviljelytiloilla lähes reaaliaikaiset maaperässä olevat sensorit keräävät dataa näiltä tiloilta. Mittausaineiston avulla pystytään tarkastelemaan pellon ja kasvien reaktioita erilaisiin toimenpiteisiin. Tämä on tärkeä osa hiilensidonnan tutkimista ja parantamista Suomessa. Mittaukset antavat myös maanviljelijöille tärkeää tietoa toimenpiteiden vaikutuksista sadon ja tuottavuuden parantamiseen.⁴²

Tässä opinnäytetyössä tarkastella NDVI-indeksiä, joka on kasvillisuusindeksi. NDVI-indeksi määritellään laskemalla se satelliittidatan aineistoista. Se kertoo siis vihreän kasvillisuuden määrän mitatulla alueella. NDVI-indeksillä on suorayhteys kasvien yhteyttämispotentiaalini. Sen avulla pystytään myös hahmottamaan, paljonko biomassa lisääntyy maaperässä. NDVI-indeksi saadaan laskettua kaavalla $NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$, jossa NIR on heijastunut lähi-infrapunasäteily ja RED on heijastuva punaisen valon määrä.⁴³

⁴⁰ Carbon Action, Field Observatory.

⁴¹ Carbon Action, Field Observatory.

⁴² Carbon Action, Field Observatory.

⁴³ Oivukkamäki, J. 2018

3.5 Luonnon monimuotoisuus

Luonnon monimuotoisuus tarkoittaa elinympäristöjen laajuutta ja kuntoa. Luonnon monimuotoisuus on tärkeää hiilen varastoitumisen kannalta. Maankäyttö vaikuttaa luonnon monimuotoisuuteen ja sitä voidaan parantaa oikeanlaisella maankäytöllä tai vaihtoehtoisesti huonontaa ja aiheuttaa haittaa.⁴⁴ Maaperässä on paljon elämää ja siellä olevat eliöt muodostavatkin ¼ koko maapallon monimuotoisuudesta.⁴⁵

Erilaisten viljelykasvien käyttö lisää myös luonnon monimuotoisuutta. Vaikka kyseessä olisi viljelty pelto, sen viereen voidaan rakentaa kaista parantamaan monimuotoisuutta, häiritsemättä haluttua viljelytuotetta. Monimuotoisuuskaista rakennetaan viljelyalan viereen, rajaamalla noin kolmen metrin levyinen kaista. Monimuotoisuuskaistaan voidaan kylvää halutessaan joko maisema- tai nurmikasveja, joiden satoa ei tarvitse erikseen korjata.⁴⁶

Vaihtoehtoisesti peltöjen viereen voidaan tehdä maisemapeltokaistoja tai riistapeltokaistoja. Maisemapeltokaistoille istutetaan erilaisia kukkia, joita pölyttäjät voivat hyödyntää. Pölyttäjien tukeminen on erittäin tärkeää luonnon monimuotoisuuden kannalta. Riistapeltokaistoille voidaan kylvää erilaisia peltoviljoja ja niiden sekaan myös rehujuureksia ja kaalikasveja. Kaistojen avulla pystytään lisäämään suojaa erilaisille eliöille ja linnuille. Kaistat myös pienentävät pellostä lähteviä vaulumia ja rajaavat hyvin rikkakasvien leviämistä.⁴⁷

⁴⁴ Suomen luonnonsuojeluliitto.

⁴⁵ Sjöblom, H. 2015

⁴⁶ Sjöblom, H. 2015

⁴⁷ Sjöblom, H. 2015



Kuva 3. Monimuotoisuuskaista. Kuvaaja: Mikko Alhainen.⁴⁸

⁴⁸ Reaktor Education.

4 HIILENSIDONTAMENETELMÄT

Hiilensidontamenetelmiä on monenlaisia. Maataloudessa yleisimmät menetelmät hiiliviljelyssä ovat alus- ja kerääjäkasvien käyttö, maanparannus, maanmuokkauksen vähentäminen, katkaisunurmi ja hiiltä sitova laidunnus. Tässä kappaleessa perehdytään nimenomaan maataloudessa käytettyihin hiilensidontamenetelmiin.⁴⁹

Kukin menetelmä esitellään ja menetelmän hiilinieluvaikutuksia käydään läpi lähdekirjallisuuden ja tutkimusten avulla. Kunkin menetelmän osalta esitetään myös Carbon Action alustan hiiliviljelytiloilta saadut tulokset toimenpiteen toimivuudesta hiilensidontaan. Nämä tulokset on kerätty Field Observatory sivustolta toukokuussa 2022.

4.1 Alus- ja kerääjäkasvit

Alus- ja kerääjäkasvit lukeutuvat peitekasveihin, jotka lisäävät pellolle lehtipinta-alaa, silloin kun varsinainen satokasvi ei sitä tee. Kerääjäkasvi voidaan siis kylvää erityisesti, joko aluskasviksi satokasvin kanssa tai erilliseksi tuotantokasviksi satokasvin korjuun jälkeen. Jos kerääjäkasvi kylvetään varsinaisen satokasvin jälkeen, se tulisi kylvää viimeistään elokuun alussa, jotta siitä olisi huomattavaa hyötyä.⁵⁰

Alus- ja kerääjäkasvien pääasiallisena tarkoituksena on pienentää pellon eroosiota, lisätä viljavuutta ja parantaa laatua. Niiden avulla voidaan vähentää myös rikkaruohoja ja tuholaisia, lisätä monimuotoisuutta ja parantaa veden kiertoa viljelysmailla.⁵¹

Alus- ja kerääjäkasvit möyhentävät maata, sillä ne pystyvät kasvattamaan juurensa hyvinkin syväälle. Näin ollen maan rakenne parantuu ja muuttuu kuohkeammaksi.

⁴⁹ Carbon Action, Field Observatory.

⁵⁰ Ruralia-instituutti.

⁵¹ Carbon Action, Field Observatory.

Samalla ne myös sitovat ravinteita maahan ja estävät täten huuhtoutumista.⁵² Kerääjäkasvit lisäävät huomattavasti pellon monimuotoisuutta, joka lisää orgaanisen aineksen määrää maaperässä ja vaikuttaa näin myös positiivisesti maan biologiseen aktiivisuuteen. Kerääjäkasvien vaikutus näkyy jo hyvin jopa ensimmäisenä satokautena. Kun pellon orgaaninen aines lisääntyy, kasvit myös alkavat hyödyntää maassa olevaa typpeä. Kerääjäkasvit myös lisää yhteyttämisen kestoa viljelysmailla.⁵³

Kerääjäkasvit vähentävät pellon eroosiota sillä ne suojaavat peltoa kasvipeitteellään ja minimoivat liian nopean kuivumisen. Ne vähentävät myös kosteuden ja veden määrää pellossa syksyisin. Mikäli kerääjäkasvit kestävät myös talven yli, ne vähentävät liiallista kosteutta myös keväisin. Näin ollen maan muokkaaminen on järkevämpää ja vähemmän vahinkoa aiheuttavaa, sillä se ei todennäköisesti aiheuta yhtä pahaa maan tiivistymistä. Kerääjäkasvit myös auttavat vähentämään rikkakasvien määrää, sillä viljelysmailla ei jää paljaita alueita.⁵⁴

Kerääjäkasvit tulisi kylvää mahdollisimman ajoissa, jotta ne ehtivät kasvamaan tarpeeksi ennen oletettuja tulva-ajankohtia. Aluskasvit voidaan kylvää samaan aikaan pääkasvin kanssa tai heti satokasvin keräämisen jälkeen. Kylvämiselle sopiva ajankohta määräytyy myös valitun kerääjäkasvin kasvuominaisuuksien perusteella. Jos kerääjäkasvien kylvö myöhästyy, sen hyödyt, kuten ravinteiden sitomiskyky ja maan peittäminen pienenevät.⁵⁵

Ilmakehässä vapaana olevaa hiilidioksidia sitoutuu kasveihin ja sitä kautta maaperään. Kerääjäkasvit pystyvät sitomaan myös muita ravinteita itseensä, kuten typpeä ja rikkiä. Maan pH kuitenkin vaikuttaa ravinteiden sidontaan olennaisesti.

⁵² Ruralia-instituutti.

⁵³ Malin, E. 2020

⁵⁴ Malin, E. 2020

⁵⁵ Malin, E. 2020

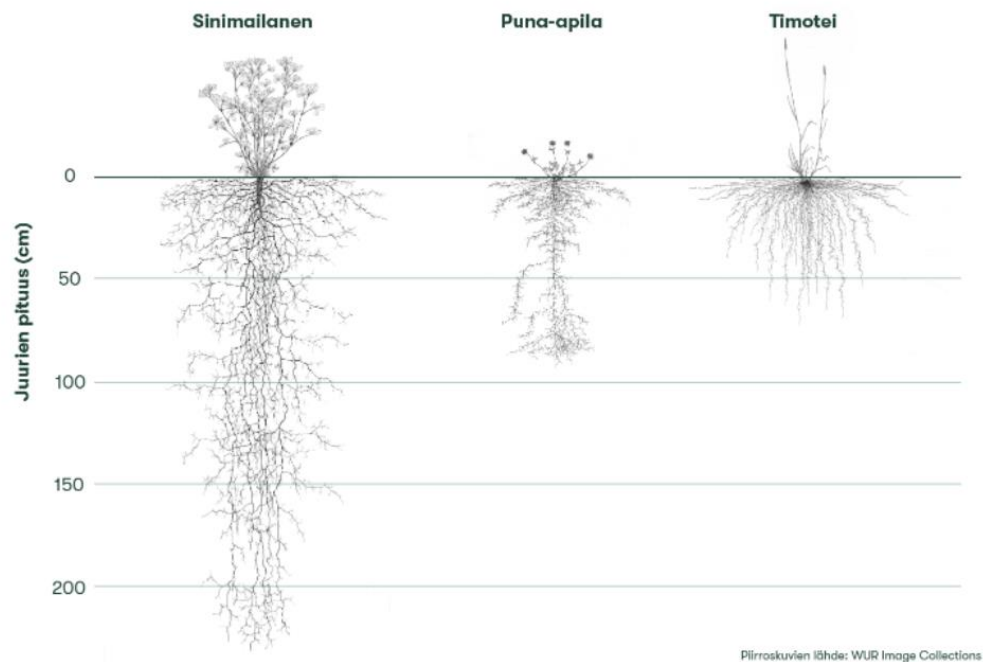
Ravinteiden sidontaan tarvittavat bakteerit eivät pysty elämään, jos maaperä on liian hapanta. Myös maaperässä olevien hivenaineiden tulee olla tasapainossa, jotta ravinteita voi sitoutua tehokkaasti. Kun kerääjäkasvit sitovat itseensä ravinteita, ne siirtyvät seuraavan kasvin käytettäviin, kun kerääjäkasvi on itse hajonnut. Jotta saadaan hyvä hyöty seuraavalle kasville, tulee välttää liian nopeaa maanmuokkaamista. Kerääjäkasvien käytössä maanmuokkaus olisi hyvä tehdä loppusyksystä, mutta aina parempi jos se pystytään tekemään vasta seuraavana keväänä.⁵⁶

Kasvilajien erilaiset juuristot vaikuttavat hiilensidontaan. Kaksisirkkaiset kasvit, joissa on yksi paksu pääjuuri, sopivat hyvin tiivistyneeseen maahan, sillä ne pystyvät työntymään maaperään paremmin kuin ohuet juuret. Syväjuuriset kasvit taas kuivattavat maaperää enemmän ja lisäävät runsaasti eloperäisen aineksen määrää ja parantavat näin ollen maaperää myös syvältä. Syväjuuristen kasvien juuret voivat ulottua jopa yli parin metrin syvyyteen. Laajajuuriset kasvit taas kasvattavat juuriaan leveyssuunnassa ja vaikuttavat näin suureen osaan maaperää. Tiheäjuuriset kasvit taas omaavat hyvin paljon juuria. Vaikka juuret voivat olla hyvinkin ohuita, ne kuivattavat maaperää tehokkaasti. Tiheiden juurien ansiosta myös maa möyhentyy tasaisesti ja orgaaninen aines levittyy tasaisemmin. Tiheä juuristo myös parantaa pellon kantavuutta.⁵⁷

⁵⁶ Malin, E. 2020

⁵⁷ Malin, E. 2020

Viljelykasvien juuristoja



Kuva 4. Kasvien juuristoja.⁵⁸

Kun suunnitellaan alus- tai kerääjäkasvien käyttöä, tulee huomioida useita seikkoja. Useat kasvilajikkeet samalla alueella aiheuttavat kilpailua ravinteista, vedestä ja muista kasville elintärkeistä toiminnoista. Taloudellisesti ja satomäärällisesti on hyvä, jos alus- tai kerääjäkasvin kasvu olisi hillittyä, niin kauan kunnes pääasiallinen satokasvi kerätään. Näin kilpailu lajikkeiden välillä vähenee ja satokasvi saa tarvitsemaansa energiaa ja ravinteita. Kerääjäkasvien positiivisia taloudellisia vaikutuksia ovat muun muassa typpilannoitteiden ja maanmuokkauksen tarpeen väheneminen. Kerääjäkasvien aiheuttamat kulut kuitenkin kompensoituvat yleensä hyvin vuosien saatossa typen sidonnan ja maaperän paranemisen avulla.⁵⁹

⁵⁸ Reaktor Education.

⁵⁹ Malin, E. 2020

Kerääjäkasvien kuolleiden juurien ja biomassan hajoaminen auttaa myös lisäämään orgaanisen aineksen määrää maaperässä. Kuivassa ilmastossa kerääjäkasvien käyttö ei ole kannattavaa, sillä ne aiheuttavat negatiivisia vaikutuksia pääsatokasviin, koska kilpailu vedestä ja ravinteista on liian kovaa. Tällaisissa olosuhteissa myöskään hiilensidonnan tapahtuminen ei ole kovin todennäköistä. Maaperän pH-arvojen on osoitettu vaikuttavan myös hiilensidontakykyyn. Korkean pH-arvon omaava maaperä heikentää kasvien tuottamaa hiilensidontaa.⁶²

Kerääjä- ja aluskasvien lisäämä monimuotoisuus on tärkeää hiilensidonnan lisäämiseksi. Eräässä maan mikrobistoa ja monimuotoisuutta tutkivassa tutkimuksessa lajien monimuotoisuudella onkin todettu olevan yhteys hiilensidontaan. Kasvien monimuotoisuus lisää mikrobien biomassaa ja aiheuttaa nopeaa mikrobiston kasvua, joka taas puolestaan lisää hiilensidonnan tehokkuutta.⁶³

Jos aluskasveja ei käytetä oikein, niillä voi olla negatiivisia vaikutuksia ympäristöön ja satotuottoihin. Sadot on myös lähes poikkeuksetta pienempiä alus- ja kerääjäkasvien kanssa. Arvioiden mukaan kuitenkin tämä näkyy parhaiten vain huonoina satokausina, muutoin sadon vähyys korostuu yleensä nimenomaan aluskasvilla. Viljelijöiden omien kokemusten mukaan kuitenkin kerääjäkasvien vaikutusta sadon määrään ei pysty havaitsemaan silmämääräisesti.⁶⁴

TEHO-hankkeessa vuosina 2009–2010 tehtyjen tutkimuksien mukaan kerääjäkasvit eivät ole vaikuttaneet satokasvien kylvöön seuraavina vuosina, vaikka kerääjäkasveja ei enää käytettäisi tulevana vuosina. Viljelijöiden omien kokemusten mukaan kuitenkin sääolosuhteilla on ollut isorooli myös kerääjäkasvien toiminnoissa. Viljelijöiden mukaan myös tihein kerääjäkasvusto saadaan kylvämällä kerääjäkasvi

⁶² Abdalla, M. Hastings, A. Cheng, K. Yue, Q. Chadwick, D. Espenberg, M. Truu, J. Rees, R. Smit, P. 2019

⁶³ Prommer, J. Walker, T. Wanek, W. Braun, J. Zezula, D. Hu, Y. Hofhansl, F. Richter, A. 2019

⁶⁴ Känkänen, H. Keskitalo, M. Riiko, K. 2011.

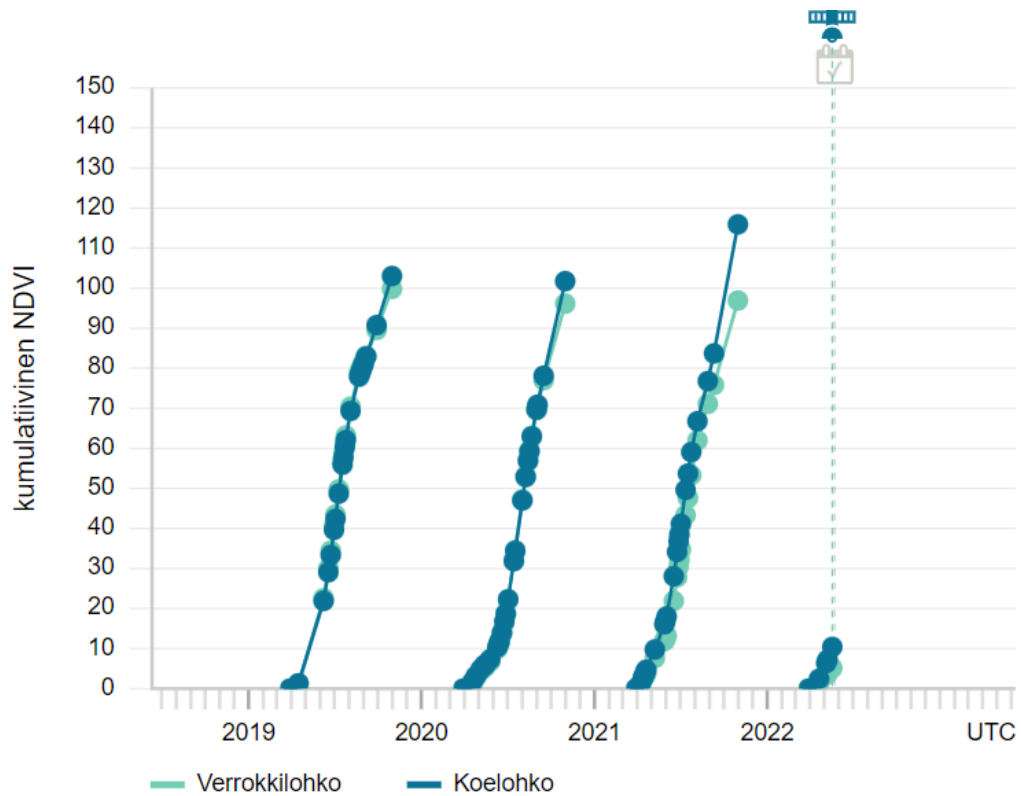
ja pääsatokasvi samaan aikaan. Viljelijät olivat myös huomanneet vaikutuksia maarakenteen paranemisessa ja humuspitoisuuden lisääntymisessä. Muut ominaisuudet kuten hiilen-, typen- ja ravinteiden sidonta ei osoittautunut viljelijöiden keskuudessa niin motivoivaksi tekijäksi, sillä se ei ole silmämääräisesti havaittava etu.⁶⁵

4.1.1 Field Observatory ”NA” -hiiliviljelytila

NA on Laihialla sijaitseva yksi Carbon Action -alustan hiiliviljelyn testipelloista. Sen tarkoituksena on kartoittaa kerääjäkasvien kykyä hiilensidonnassa. Kyseisellä pellolla on myös verrokkilohko, johon tuloksia voidaan vertailla. Koelohkolla kerääjäkasvina käytetään aluskasviksi kylvettävää hernettä. Aluskasvi kylvetään pellolle vuosittain.⁶⁶ Kumulatiivinen NVDI-indeksi on laskettu satelliiteilla mitatusta aineistosta (Kuva 6).

⁶⁵ Känkänen, H. Keskitalo, M. Riiko, K.

⁶⁶ Carbon Action, Field Observatory.



Kuva 6. NA-hiilitilan NDVI-indeksi.⁶⁷

Kuvasta 6 pystytään näkemään, että kahden ensimmäisen vuoden aikana tulokset ovat pysyneet suhteellisen samanlaisina. Koelohkojen arvot ovat olleet samaa luokkaa, mutta ero koe- ja verrokkilohkon välillä on kuitenkin kasvanut.

Vuonna 2021 näkyy kuitenkin selkeä ero, jolloin koelohkon NDVI-indeksi on ollut huomattavasti suurempi. Tämä tarkoittaa siis sitä, että koelohkolla on ollut enemmän kasvillisuutta, joten lehtipinta-alan lisääntyminen on tarjonnut otolliset olosuhteet hiilensidonnalle. Lisääntynyt kasvillisuus on tarjonnut otolliset olosuhteet myös yhteyttämisen lisääntymiselle. Verrokkilohkolla taas vuonna 2020 NDVI-indeksi on pysynyt suhteellisen samana, kuin aiempina vuosina.

⁶⁷ Carbon Action, Field Observatory

Tähän vaikuttaa varmasti se, että kerääjäkasvit vaikuttavat erityisesti maaperän laatuun ja biologiseen aktiivisuuteen. Biologinen aktiivisuus ei kuitenkaan parane vielä vuodessa, joten on kulunut muutama vuosi ennen kuin tulokset ovat alkaneet näkyä koelohkon tuloksissa.

4.2 Laidunnus

Laidunnuksen hiilensidontamäärät ovat verrattavissa kerääjäkasvien viljelyyn ja viljelykierron monipuolistamiseen, mutta sillä voidaan ylittää myös paljon suurempiin tuloksiin. Parhaita tuloksia hiilensidonnassa on saatu laidunnuksen osalta kiertolaidunnuksella, jossa eläinmäärä ja laidunnusrytmi sopeutetaan laitumeen ja sen kasvuun. Yleensä tällaiset laidunnusjaksot ovat melko lyhyitä ja laitumelle annetaan tarpeeksi aikaa palautua sen jälkeen. Laidunnuksessa tulee huomioida, että laitumia ei laidunneta paljaksi, vaan niille tulisi jättää vähintään yli 50 % kasvustosta.⁶⁸

Laidunnuksen avulla maaperään saadaan sidottua hiiltä kasvitähteinä, juurieriteinä ja lannan avulla. Kuolleet kasvinosat ovat kasvintähteitä, jotka hajoavat yleensä pikaisesti. Osa kasvintähteistä taas ei hajoa, vaan jää puolestaan maaperään. Juurieritteet ovat kasvintähteitä, jotka liukenevat ja myös erittyvät juuristosta. Eritteiden määrään vaikuttaa maaperä, mikrobisto ja kasvin laatu. Juurieritteitä syntyy runsaasti, jos mikrobisto on monipuolinen ja kasvien yhteyttäminen on kiivasta. Lanta puolestaan toimii hyvänä lannoitteena laitumelle ja sen mukana päätyy myös paljon sulamatonta rehua.⁶⁹

Laidunnusmenetelmiä on monenlaisia, kuten esimerkiksi kaistalaidunnus, rotaatiolaidunnus, lohkolaidunnus ja jatkuva laidunnus. Kaistalaidunnuksessa liikutetaan aitaa joka päivä, jotta saadaan muutettua laidunkaistaa päivittäin. Sen

⁶⁸ Mattila, T. Saarinen, P. 2020.

⁶⁹ Mattila, T. Saarinen, P. 2020.

hyvänä puolena on laadun ja satomäärän pysyminen hyvänä. Lohkola idunnuksessa laidun on jaettu erilaisiin lohkoihin, ja eläimet vaihtavat lohkoa sitä mu kaan, kun edellinen on syöty. Jatkuva laidunnus on huonoin tapa hyötykäyttää laidunta. Alkukesästä eläimet eivät ehdi syömään nurmea kasvutahdin mukaisella vauhdilla, ja syksyyn mennessä kasvu hiipuu niin paljon, että laidunnuksen tueksi tarvitaan myös muuta ruokintaa. Rotaatiolaidunnus on erityisesti hiiliviljelyssä suosittu menetelmä, jossa laidun on jaettu lohkoihin ja niiden kiertoaika on keskimäärin 1–3 päivää.⁷⁰

Rotaatiolaidunnuksessa laidun jaetaan eri kokoiisiin lohkoihin, joiden avulla pystytäisiin välttämään pistemäistä laidunnusta. Eläimiä siirretään tarpeen vaatiessa lohkojen välillä. Usein ongelmana on, että eläinten annetaan laidunta liian kaukana samalla loholla, jolloin laidun syödään liian paljaaksi. Jos laidunala on valtaavan iso, eläimet alkavat valikoida mitä kasveja ne syövät. Näiden seurauksena laidunkausi lyhenee ja tarve myös muualle ruokinnalle kasvaa. Myös eläinten keskuudessa suosituimman kasvit saattavat hävitä kokonaan, kun taas huonommassa suosiossa olevat kasvit pääsevät valtaamaan alaa itselleen vieläkin enemmän. Mikäli myös laidunnus ja ruokailu tapahtuu vai yhdellä alueella jatkuvasti, ei lanta levity tasaisesti alueelle.⁷¹

Mitä pienempi laidunpinta-ala on, sitä tarkemmin eläimet syövät ne, jos niille ei anneta mahdollisuutta muuhun. Tämä auttaa laitumen kasvivalikoiman pysymiseen optimaalisena ja antaa kasveille uutta elinvoimaa. Kasvit lyhenevät laidunnuksen seurauksena, ja tämä saa sen alkamaan kasvattamaan uutta lehtipinta-alaa itselleen. Lehtipinta-alan lisääntyminen taas kasvattaa yhteyttämistä ja tätä myöten myös hiilisyötettä. Nämä auttavat olennaisesti parantamaan maaperää ja vähentämään myös turhien rikkakasvien määrää. Laidunnuksessa tulee myös

⁷⁰ Laulajainen, J. 2019

⁷¹ Laulajainen, J. 2019.

huomioida eläinmäärän mitoitus laidunta kohden. Ideaalisinta olisi, että ali- ja ylilaidunnusta ei tapahtuisi missään vaiheessa. Ylilaidunnus hidastaa kasvuprosessia kasvukauden aikana. Alilaidunnus puolestaan aiheuttaa hävikkiä sadossa, tämä on kuitenkin hiiliviljelyn kannalta parempi kuin ylilaidunnus.⁷²

Laitumen kasvivalinnoissa tulee miettiä ennen kaikkea laitumen käyttötarkoitusta, satotasoja, kasvuolosuhteita, maalajeja ja korjuuintensiteettiä. Yleisimmin Suomessa käytetään nurmilajeina timoteita ja nurminataa. Timotei ei ole ideaalinen lajike ajateltaessa hiilensidontaa. Se kasvaa ja yhteyttää paljon keväällä, jonka seurauksena mahdollisuudet hiilen sitomiselle myös hiipuvat syksyn lähestyessä. Mikäli haluttaisiin kasvina käyttää jotain, joka tukee hiilensidontaa laidunnuksessa, tulisi etsiä kasvi, joka sitoisi hiiltä reilusti maaperään ja pidentäisi laidunkautta. Käytännössä tämä tarkoittaa kasvia, joka kasvaa keväällä nopeasti ja jälkikasvu on myös hyvää, jotta lohkojen lepoajat pysyvät riittävän lyhyinä.⁷³

Apilat ovat esimerkiksi hyviä kasveja tukemaan hiilensidontaa. Ne myös parantavat juuriensa avulla maaperää. Tulee kuitenkin huomioida, että esimerkiksi apila suurina määrinä saattaa aiheuttaa hevosille erilaisia oireita ja sen takia sitä ei tule syödä liikaa.

Hiiliviljelyn kannalta on myös hyvä miettiä mitä eläimiä laitumelle laitetaan. Eläinten päivittäiset syöntimäärät vaihtelevat lajin mukaan. Toiset myös syövät useampia lajikkeita, kun toiset taas ovat hieman nirsoimpia. Hevoset eivät ole hiilensidontan kannalta ideaalisia laiduntajia, sillä ne ovat hyvin nirsoja. Tämä aiheuttaa sen, että ne syövät lohkoista alueita vain paikoitellen, eikä järjestelmällisesti. Lehmä on hieman parempi laiduntaja, mutta suhteellisen nirso sekin. Lampaat ja vuohet puolestaan ovat erittäin hyviä laiduntajia, sillä ne eivät ole hirveän nirsoja ja syövät

⁷² Laulajainen, J. 2019

⁷³ Laulajainen, J. 2019

laitumella alueita hyvin tasaisesti. Hevoset myös laiduntavat kaikista eläimistä pitempään, noin 12–16 tuntia vuorokaudessa, kun muut eläimet taas alle 8 tuntia päivässä.⁷⁴

Tulokset ovat olleet yksimielisiä sen suhteen, että kaikki laidunmaat eivät sovellu hiilensidonnalliseen laidunnukseen. Hiekkaperäisillä mailla on todettu olevan laidunnuksen osalta hyviä tuloksia hiilensidonnan kannalta, kun taas savimailla tulokset ovat usein olleet huonompia tai jopa johtaneet hiilen häviämiseen maaperästä. Tutkijat ovat keskittyneet laidunnuksen osalta siihen, miksi hiiltä sitoutuu joissain olosuhteissa hyvin ja joissakin olosuhteissa taas se aiheuttaa hiilen häviötä.⁷⁵

Laidunmailla, joissa kasvaa lämpimän kauden nurmilajeja, kevyt laidunnus aiheuttaa yleensä hiilen häviötä, kun taas voimakkaampi laidunnus lisää hiiltä. Kylmemmän kauden nurmilajeilla kevyt laiduntaminen sitoo hiiltä ja taas voimakkaampi laidunnus vapauttaa hiiltä maaperästä. Laidunnuksessa on viime aikoina pyritty selvittämään, miksi samat toimenpiteet johtavat hiilensitomiseen joillakin alueilla ja taas hiilen vapautumiseen toisilla alueilla. Tästä on päästy siihen lopputulokseen, että laidunmaat eroavat voimakkaasti toisistaan ja eri alueita tulee hoitaa eri tavalla, jotta hiiltä voidaan sitoa. Tutkimukset ovat kuitenkin yksimielisesti osoittaneet, että typpilannoitukset laidunmailla johtavat aina kasvihuonekaasupäästöihin. Suoranaisia päästöjä typpilannoituksesta ovat dityppioksidipäästöt, mutta myös sen tuotannosta syntyvät hiilidioksidipäästöt on huomioitava negatiivisen vaikutteena. IPCC:n mukaan optimaalisesti laidunnetut maat kykenevät paremmin hiilensidontaa, kuin laiduntamattomat tai ylilaidunnetut maat.⁷⁶

⁷⁴ Laulajainen, J. 2019

⁷⁵ Toensmeier, E. 2016

⁷⁶ Toensmeier, E. 2016

28 % koko maailman laidunmaista ovat sopivia ja ideaalisia hiilensidontaan. Laidunnuksen hiilensidonnasta on saatu vaihtelevia tuloksia. Osa tuloksista osoittaa hiiltä sitoutuvan jopa 33,4 t/ha/vuosi, kun taas osassa saadaan tuloksia hiilen vapautumisen osalta jopa 12,4 t/ha/vuosi. Globaali keskiarvo on kuitenkin noin 0,5 t/ha/vuosi sidottua hiiltä. Vaihteluun vaikuttaa ilmasto, maaperän kunto, kasvillisuus ja maalaji. Mikäli laiduntamisesta haluttaisiin tehokasta, tulisi laidunmailla sijaita myös puita.⁷⁷

J. Russell Smith⁷⁸ on esittänyt omissa tutkielmissaan, että karjan rehua voisi korvata lisäämällä puuviljelmiä laidunnuksen yhteydessä, jolloin karja voi syödä puiden tuottamat hedelmät laiduntamalla. Tällä tavalla vältyttäisiin sadonkorjuun tai rikkakasvien torjuntaan tarvittavalta työltä. Puut myös sitoisivat hiiltä enemmän maaperään, kuin viljelykasvit.⁷⁹

Metsälaitumet ja puumaisia kasveja sisältävät laitumet sitovat jopa kolme kertaa enemmän hiiltä kuin normaali laidunnus. Metsälaidunmaiden hiilensidontapotentiaaliksi on arvioitu jopa 3–10 t/ha/vuosi.⁸⁰

4.2.1 Field Observatoryn ”JN” -hiiliviljelytila

JN-hiiliviljelytilalla Keiteleessä hiiliviljelymenetelmänä on laidunnus. Koelohkossa laidunnetaan 1–2 päivän jakso ja sen jälkeen sille annetaan pidempi noin 20–50 päivän mittainen lepojakso. Verrokkilohkolla taas laidunnetaan pitkissä jaksoissa.⁸¹

⁷⁷ Toensmeier, E. 2016

⁷⁸ Smith, J. 2015

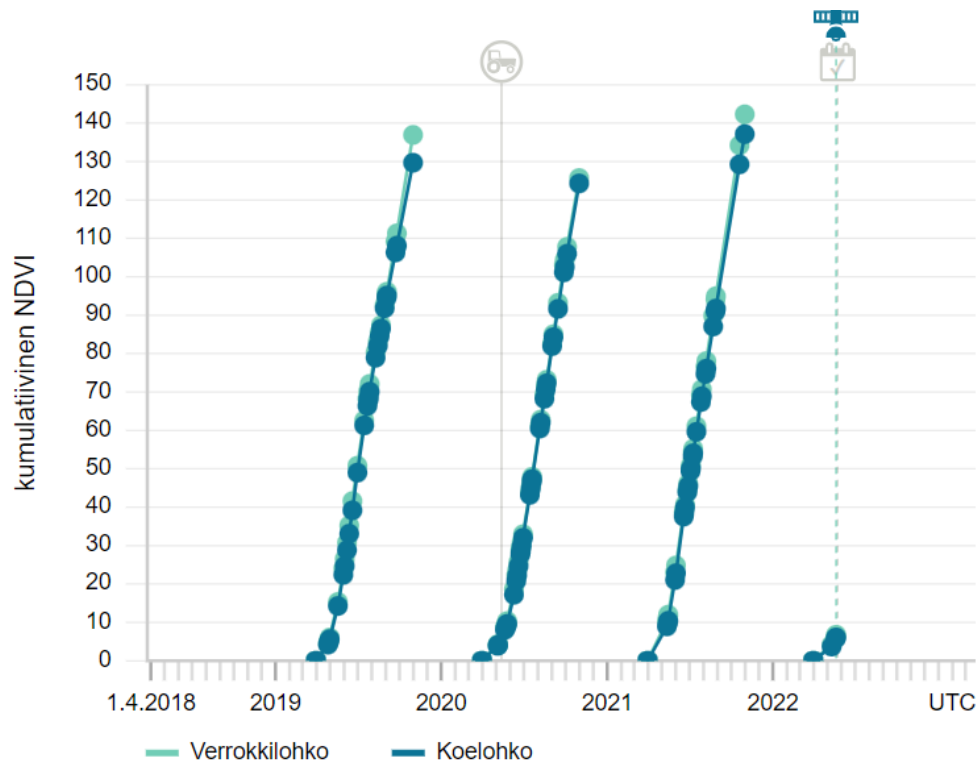
⁷⁹ Strickler, D. 2021

⁸⁰ Toensmeier, E. 2016

⁸¹ Carbon Action, Field Observatory.

JN-tilalla laidunnuksen tulokset ovat hieman yllättäviä, sillä verrokkilohkon NDVI-indeksi (kuva7) on koelohkoa korkeampi kaikkina vuosina.

Tällaisiin tuloksiin vaikuttaa pitkälti se, että mitä eläimiä laitumella on ollut. Eri eläimet laiduntavat eri tavalla ja syövät eri tavalla. Verrokkilohkon suurempia tuloksia saattaa selittää juuri eläinten nirsoilu, kun ravintoa on paljon tarjolla. Eläimet alkavat helposti syömään vain mielestään parhaita kasveja ja muut kasvit jäävät syömättä. Tulokseen vaikuttaa myös se, että kuinka paljon koelohkossa olevista laitumista eläimet ovat prosentuaalisesti syöneet.

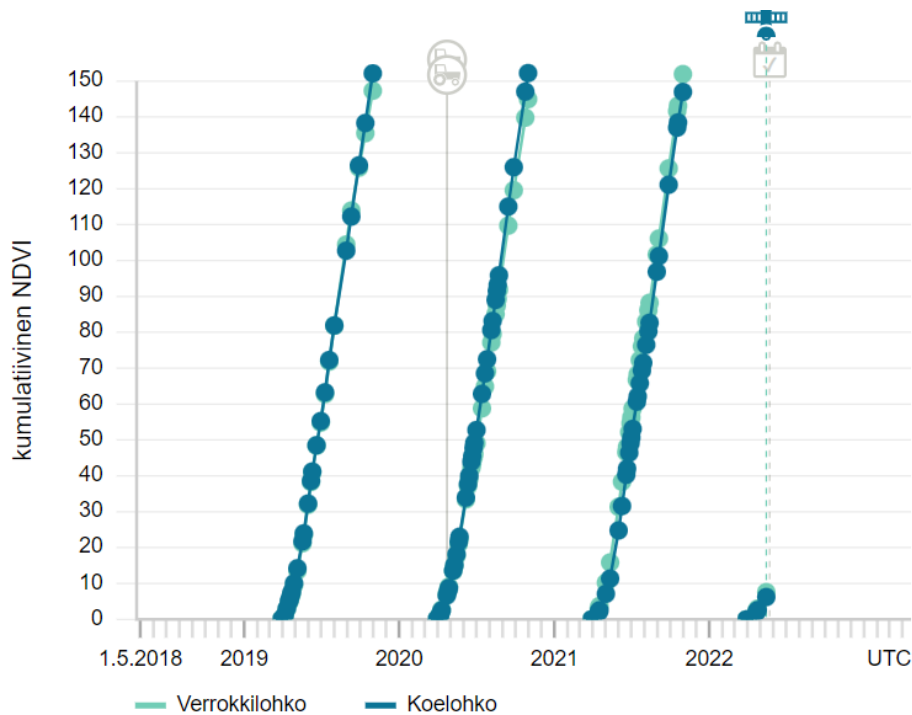


Kuva 7. JN-hiilitilan NDVI-indeksi.⁸²

Vertailun vuoksi tarkastellaan myös Lohjalla sijaitsevaa MI-hiilitilaa, jossa menetelmät ovat hyvin samankaltaiset. Koelohkoilla käytetään lyhyitä laidunnusjaksoja ja pitkiä lepojaksia ja verrokkilohkoilla pelkästään jatkuvaa laidunnusta.⁸³

⁸² Carbon Action, Field Observatory.

⁸³ Carbon Action, Field Observatory.



Kuva 8. MI-hiilitilan NDVI-indeksi.⁸⁴

Tulokset eroavat hieman JN-hiiliviljelytilan tuloksista, sillä ensimmäisinä vuosina NDVI indeksi on ollut korkeampi koelohkolla, mutta vuonna 2021 laskenut huomommaksi kuin verrokkilohkolla. Tähän saattaa vaikuttaa se, että onko laidunnusta toteutettu myös kolmantena vuonna samalla tavalla, kuin aiempina vuosina. Vuonna 2020 molemmille lohkoille on myös levitetty lannoitusaineita kasvukauden alussa. Lannoitteella ei näyttänyt olevan merkittävää vaikutusta NDVI-indeksin kannalta.

NDVI-indeksit ovat korkeammat kaikkina vuosina Lohjalla sijaitsevalla MI-tilalla, kuin Keiteleessä sijaitsevalla JN-tilalla. Sijainti on vaikuttavassa tekijässä, sillä huomattavasti etelämmässä sijaitsevalla MI-tilalla on myös luonnollisesti hieman pidempi kasvukausi, kuin Keiteleessä sijaitsevalla JN-tilalla.

⁸⁴ Carbon Action, Field Observatory.

Tähän vaikuttaa varmasti se, että JN-tilan maalaji on hieno hieta ja MI-tilan maalaji on verrokkilohkolla silttinen savi ja koelohkolla hiesusavi. Erilaisten maalajien vuoksi tulokset eivät ole myöskään suoraan verrannollisia toisiinsa. Maaperän alkuperäinen kunto ei myöskään ole ollut tiedossa kummaltakaan tilalta. JN-tilalla on kuitenkin tapahtunut suhteessa enemmän NDVI-indeksin kasvua.

4.3 Maanparannus ja lannoitus

Erilaisia maanparannusaineita käytetään ensisijaisesti nimensä mukaan maanparannukseen, mutta niiden avulla voidaan myös sitoa hiiltä maaperään ja samalla vähentää vesistön ravinnekuormitusta. Jotkut maanparannusaineet sisältävät paljon ravinteita, joten niiden avulla voidaan korvata erilaisia lannoitteita. Ravinteiden ja eloperäisen aineksen lisäämisellä voidaan estää maan tiivistymisriskiä ja kohentaa vedenläpäisyä. Myös ravinteiden pidätyskyky paranee ja näin ollen huuhtoumat ja pintavaluntariskit pienenevät.⁸⁵

Eloperäiset maanparannusaineet, kuten komposti ja lanta lisäävät itsessään hiiltä maaperään, sekä parantamalla maaperän ominaisuuksia, jolloin kasvit pystyvät syöttämään hiiltä enemmän maaperään.⁸⁶

Eloperäisiä maanparannusaineita ovat muun muassa kompostoitu karjalanta, biojäte ja puhdistamolietteet. Myös maanparannuskuidut, jota syntyy paperi- ja selluteollisuudesta, toimivat hyvin maanparannusaineena. Eloperäisten maanparannusaineiden tulee olla hyvin kompostoituneita, jotta voidaan minimoida rikkakasvien siementen määrä. Tämä on tärkeää huomioida, etenkin, jos maanparannusaineena käytetään lantaa. Jos lanta on hyvin kompostoitu, myös sen maanparannusvaikutukset ovat paremmat.⁸⁷

⁸⁵ Joona, J. 2013

⁸⁶ Paustian, K. Larson, E. Kent, J. Marx, E. Swan, A. 2019

⁸⁷ Joona, J. 2013

Kompostoitua puhdistamo- ja biojätettä on helppo käyttää, sillä niiden saatavuus on hyvää. Ne sisältävät paljon fosforia ja humusta. Näiden kohdalla ei ole kuitenkaan käytön osalta tutkittu synteettisiä orgaanisia haitta-aineita. Ne myös sisältävät jonkin verran raskasmetalleja, mutta oikein käytettynä määrät eivät ole haitallisia.⁸⁸

Sellu- ja paperiteollisuudessa syntyy erilaisia sivutuotteita, joita pystytään hyödyntämään hyvin esimerkiksi maanparannuskuituina. Ne lisäävät maaperään eloperäistä ainetta, joka hajoaa hyvin hitaasti. Nämä kuidut eivät itsessään sisällä ravinteita, joten ne tarvitsevat tueksi ravinteita muista eloperäisistä parannusaineista, jotta ne saavat hajoamiseen tarvittavan typpimäärän. Maanparannuskuitujen huonoina puolina on kuitenkin se, että niitä pitää käyttää suuria määriä, jotta tarvittava hyöty saavutetaan. Yhden viljelykierron aikana tarvitaan jopa 20–40 kuivaainetonna yhtä hehtaaria kohti. Maanparannusaineena voidaan käyttää myös järviruokoa. Sitä käytetään yleensä joko kompostoituna tai silputtuna. Järviruon käytöstä on myös muita hyötyjä, sillä sitä käyttämällä saadaan poistettua samalla ravinteita vesistöistä.⁸⁹

Maaperän happamuutta pystytään säätelemään hyvin kalkitusaineiden avulla. Kalkitusaineet sisältävät useimmiten kalsiumia ja magnesiumia, sillä ne sitovat itseensä hyvin ravinteita. Ne ovat myös hyviä ravinteita maaperälle ja rikastuttavat maaperää ja parantaa pieneliötoimintaa. Kalkitusaineet auttavat maan kuivumista ja muokkautuvuutta. Ne vaikuttavat positiivisesti myös fosforihuuhtoumiin, sillä ne ehkäisevät maaperän tiivistymistä ja eroosiota.⁹⁰

Maanparannusaineiden käyttö tulisi ajoittaa keskikesälle tai alkusyksylle. Näin voidaan välttää tiivistyminen, sillä maaperä on kuivaa. Maanparannusaineita

⁸⁸ Joona, J. 2013

⁸⁹ Joona, J. 2013

⁹⁰ Joona, J. 2013

käytettäessä tulee miettiä myös maanmuokkausta. Maanparannusaineiden käytösyvyys riippuu maaperän laadusta. Huonokuntoisilla mailla on ideaalista pyrkiä parantamaan ensin pintakerrosta kevytmuokkauksen avulla. Maaperän laadun parantuksessa aineet voidaan tulevaisuudessa sekoittaa syvemmälle maaperään. Suorakylvössä maanmuokkauksen yhteydessä tulisi käyttää maanparannusaineita, jos niitä käytetään. Näin voidaan vähentää maanmuokkausta.⁹¹

Esimerkiksi Kaliforniassa on tehty tutkimusta kompostin lisäämisestä laidunmaille. Tutkimuksessa havaittiin, että hiilen varastointi lisääntyi huomattavasti pienten kompostimäärien lisäyksen jälkeen. Tähän vaikutti se, että maaperän laatu ja vedenläpäisykyky paranivat, jolloin kasvien juuristot pystyivät varastoimaan hiiltä paremmin maaperään. Tutkimuksessa testattiin erilaisia komposteja ja levitysmääriä. Kaikki testatut skenaariot johtivat kasvihuonekaasujen nettohiiluihin, joiden hiilensidontapotentiaali vaihteli. Tulokset siis viittasivat siihen, että kompostilisäykset itsessään vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöihin ja hiilen sitomiseen positiivisesti.⁹²

Maanparannusaineet kehittyvät koko ajan eteenpäin yhä enemmän luonnonmukaisiin aineisiin. Uusimpina maanparannusaineina on tullut erilaiset biohiilipohjaiset maanparannusaineet.⁹³ Biohiili on ainetta, joka tuotetaan biomassasta. Se sisältää runsaasti aromaattista hiiltä ja erilaisia mineraaleja.⁹⁴ Suomessa biohiilen raaka-aineena toimii yleensä puu, josta johtuen ne ovat hieman ravinneköyhiä.⁹⁵

Biohiilen vaikutukset maanparantamiseen, johtuvat sen kalkitusvaikutuksista ja ravinteikkuuden parantamisesta. Sen avulla pystytään hallitsemaan myös

⁹¹ Joona, J. 2013

⁹² Ryals, R. Hartman, M. Parton, W. DeLonge, M. Silver, W. 2015

⁹³ Joona, J. 2013

⁹⁴ Suomen biohiiliyhdistys.

⁹⁵ Riikonen, A. 2019

ravinteiden ja veden pidättäytymistä. Biohiili toimii myös tehokkaana hiilensitojana. Ilmastonmuutoksen torjunnassa kuitenkin haitallista on se, että hajotessaan biohiili vapauttaa hiiltä takaisin ilmakehään, mikäli sen hajoaminen tapahtuu liian nopeasti.⁹⁶

Eräässä biohiileen kohdistuvassa tutkimuksessa huomattiin biohiilen aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen olevan yhteydessä sen levitysmääriin. Suurilla levitysmäärillä sen on havaittu aiheuttavan lisääntyviä metaani ja hiilidioksidipäästöjä. Tämä huomattiin etenkin, kun levitysmäärät olivat yli 40 t/ha. Korkealla levitysmäärällä biohiilen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt johtuivat siitä, että maaperässä oleva mikrobisto hajottaa biohiilessä olevaa orgaanista ainetta, jolloin se vapautuu ilmakehään hiilidioksidipäästöinä. Sen takia biohiilen ideaalinen levitysmäärä olisi alle 10 t/ha, jos halutaan minimoida mahdolliset hiilidioksidi- ja metaanipäästöt. Biohiili voi myös pitkällä aikavälillä toteutetussa käytössä huonontaa maaperän rakennetta ja näin lisätä hiilidioksidipäästöjä.⁹⁷

Biohiilen lisääminen maaperään voi joko nopeuttaa tai hidastaa maaperän orgaanisen aineksen hajoamista. Tähän vaikuttaa pitkälti maaperän ominaisuudet, kuten rakenne ja pH-arvo. Negatiivisten vaikutusten on kuitenkin todettu olevan pitkällä aikavälillä pieniä maaperän hiilivarastoihin. Pääosin kuitenkin biohiilen on tunnistettu lisäävän kasvien tuottavuutta ja sitä kautta myös hiilensyötön lisäämistä maaperään.⁹⁸

Biohiilen tutkimuksissa on huomattu, että joillakin alueilla se edesauttaa sadon lisääntymistä, ja joillakin alueilla ei saada näitä vaikutuksia aikaan. Joissakin tutkimuksissa on todettu, että pidemmällä aikavälillä sen käyttö huonontaa maaperää. Tämän takia biohiili ei myöskään ole saavuttanut suurta suosiota

⁹⁶ Riikonen, A. 2019

⁹⁷ Zhang, Q. Xiao, J. Xue, J. Zhang, L. 2020

⁹⁸ Paustian, K. Larson, E. Kent, J. Marx, E. Swan, A. 2019

maanparannusaineena. Biohiiltä käytetään myös karjan ruokinnassa, joten sitä voi päätyä viljelysmaille myös tällaisen karjan lannan mukana. Parhaita tuloksia biohiilen käytöstä on saatu trooppisilla ja subtrooppisilla alueilla.⁹⁹

Tulevaisuudessa tulee varmasti olemaan enemmän biohiilipohjaisia maanparannusaineita, kun niiden käyttöä tutkitaan enemmän ja niitä pystytään jalostamaan yhä toimivammiksi.

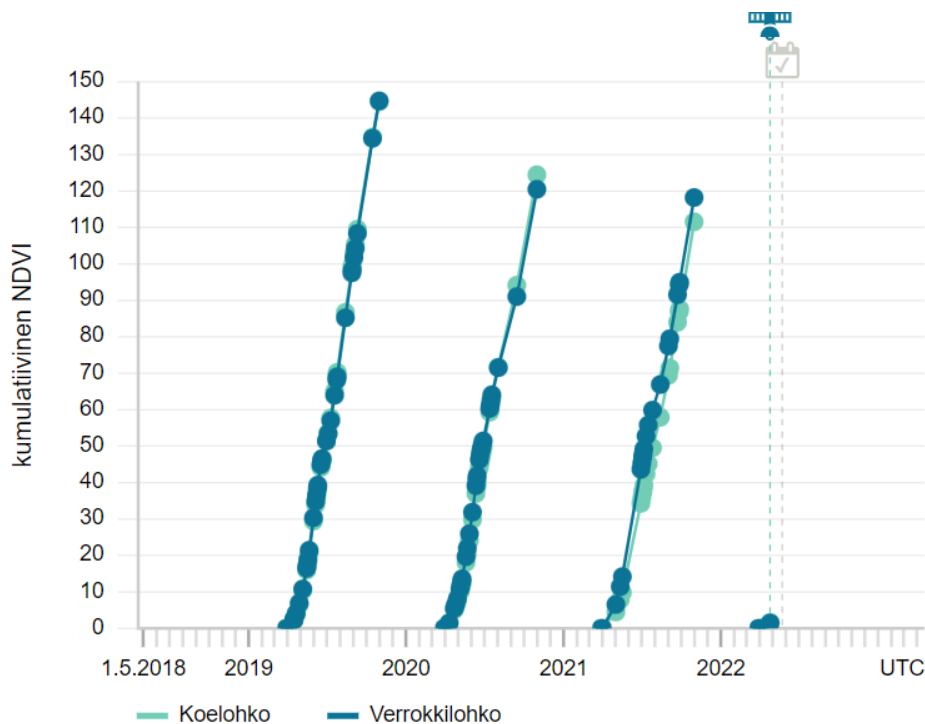
4.3.1 Field Observatoryn ”PA” -hiiliviljelytila

PA-hiilitila on Nurmijärvellä sijaitseva tila, jolla viljellään heinänurmea. Sen hiiliviljelymenetelmänä on käyttää maanparannusaineita. Verrokkilohkolla viljelyä toteutetaan normaalisti ilman maanparannusaineita ja koelohkolla on käytössä kompostoitu hevosenlanta.¹⁰⁰

Ensimmäisen vuoden tulokset NDVI- indeksissä vuonna 2019 ovat toistensa kanssa lähes identtiset. Tähän saattaa vaikuttaa se, että jos maaperä on ollut huonossa kunnossa ei myöskään maanparannusaineiden vaikutukset näy heti ensimmäisenä vuonna. Vuonna 2020 kuitenkin koelohkon NDVI-indeksi on ollut hieman korkeampi. Todennäköisesti edellisvuoden maanparannusaineet ovat vaikuttaneet paremmin ja kun tätä hiiliviljelytoimenpidettä on toteutettu kaksi vuotta peräkkäin, alkaa myös tulokset näkymään. Kolmantena vuonna 2021, yllättäen verrokkilohkon indeksi on ollut korkeampi. Tähän vaikuttaa se, että onko maaperään tehty mitään toimenpiteitä. Jos esimerkiksi maaperä on päässyt tiivistymään, ei maanparannusaineet läpäise maaperää kunnolla ja anna täten maksimaalista vaikutusta.

⁹⁹ Riikonen, A. 2019

¹⁰⁰ Carbon Action, Field Observatory.



Kuva 9. PA-hiilitilan NDVI-indeksi.¹⁰¹

Maaperän alkuperäinen kunto tulee myös näitä tulkittaessa ja mahdollisesti tulevaisuudessa selvittää, onko koelohkon ja verrokkilohkon maaperän arvot olleet samaa tasoa, vai onko jompikumpi ollut selkeästi huonompi. Koelohkon maaperänä aitosavi ja verrokkilohkolla puolestaan silttinen savi. Koelohkon aitosavinen maaperä on myös suuremman savipitoisuuden takia alttiimpi tiivistymiselle, kuin verrokkilohko. Myös maanparannusaineiden levittämisaika on ratkaisevassa tekiässä, jotta tiivistyminen voidaan välttää. Lannan osalta tuloksiin vaikuttaa myös se, kuinka hyvin lanta on kompostoitu. Mitä paremmin se on kompostoitu, sitä parempia vaikutuksia sillä on.

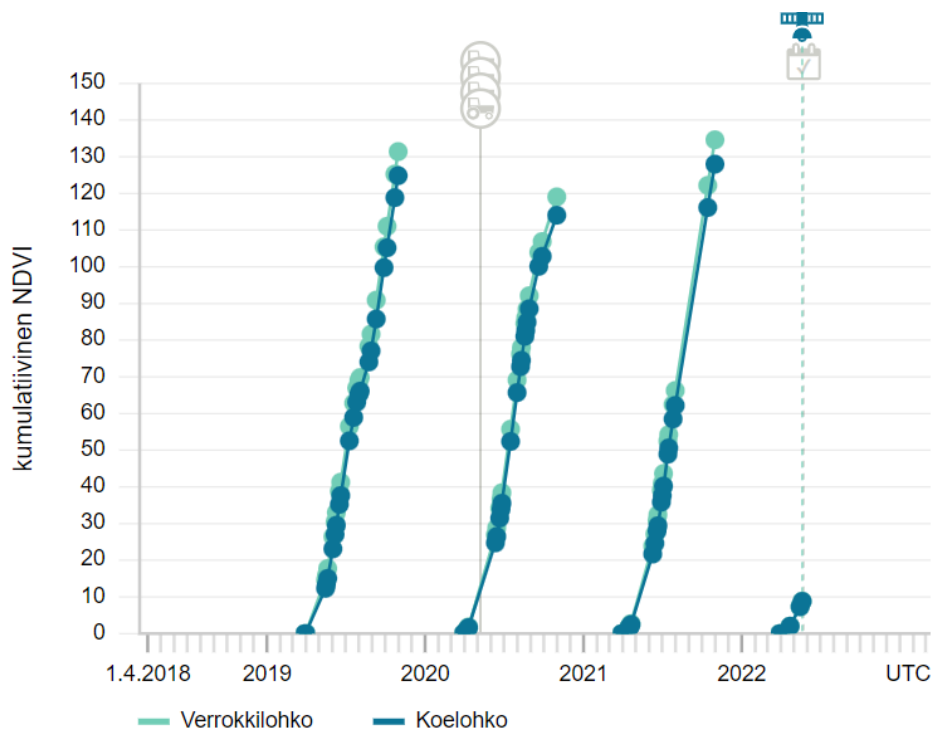
Vertailuna tarkastellaan Oripäässä sijaitsevaa PI-tilaa, joka on luomuviljelykäytössä. Koelohkolle on vuonna 2018 levitetty metsäteollisuuden sivutuotteena

¹⁰¹ Carbon Action, Field Observatory.

syntyntä maanparannuskuitua. Tarkoituksena on parantaa maaperän laatua ja lisätä ravinteiden määrää maaperässä.¹⁰²

Tulokset tämän menetelmän osalta ei ole yllättäviä. Koelohkolla on käytetty pelkäästään maanparannuskuituja, joka itsessään ei ole hirveän tehokas menetelmä. Koelohko ei ole yhtenäkkään vuonna yltänyt verrokkilohkon tasolle NDVI-indeksin mukaan. Maanparannuskuituja käytettäessä tulisi käyttää myös muita hiiliviljelymenetelmiä, jotta pystyttäisiin tehokkaaseen hiilensidontaa ja parempaan maanparannukseen. Maanparannuskuidut eivät myöskään itsessään ole hirveän ravinerikkaita, joten niiden kanssa tulisi mahdollisesti käyttää myös muita ravinteita.

¹⁰² Carbon Action, Field Observatory.



Kuva 10. PI-hiilitilan NDVI-indeksi.¹⁰³

Pääosin tilojen NDVI-indeksit ovat olleet suhteellisen samaa luokkaa. Suhteessa kuitenkin PA-hiilitilalla on tapahtunut enemmän laskua indeksissä. Tähän on voinut vaikuttaa sääolosuhteet, kylvöajankohdat ja maaperän tiivistyminen. Indeksien avulla ei myöskään suoraan pysty tulkitsemaan miten hyvin nämä aineet ovat todellisuudessa parantaneet maaperää. Todennäköisesti ne ovat lisänneet biologista aktiivisuutta, orgaanista ainesta ja ravinteita maaperässä. Joten maan laatu on luultavasti parantunut. Maanparannuksessa tulee kuitenkin huomioida, että se on aikaa vievää. Mikäli maaperä on huonossa kunnossa, se ei myöskään voi vaikuttaa satoihin parissa vuodessa.

¹⁰³ Carbon Action, Field Observatory.

4.4 Vähäinen maanmuokkaus ja suorakylvö

Jokaisella maanmuokkaus toimenpiteellä on negatiivisia ja positiivisia vaikutuksia maaperään ja sen hiilensidontakykyyn. Mitä vähemmän maata muokataan, sitä vähemmän siitä pääsee karkaamaan hiiltä.¹⁰⁴ Maanmuokkauksen huonoja ominaisuuksia tarkasteltaessa voisi luulla, että suorakylvö ja kevyt maanmuokkaus olisi suosittua. Maailmanlaajuisesti kaikilla viljelysmailla vain noin 7 % käytetään suorakylvömenetelmää.¹⁰⁵

Maanmuokkaus rikkoo maan sedimenttejä, joka lisää rajua ravinteiden huuhtoutumista. Maanmuokkaus lisää hiilidioksidipäästöjä, sillä hiilidioksidia vapautuu ilmaan ja orgaaninen aines vähenee maaperässä.¹⁰⁶

Muokkauksen keventämisen ansiosta hiilidioksidipäästöt vähenevät ja maaperästä ei pääse vapautumaan sitä. Sänkimuokkauksessa muokataan pellon pintakerrosta muutaman sentin syvyydestä.¹⁰⁷

Sänkimuokkauksen etu on sen keveyden ja taloudellisuuden lisäksi se, että sänkimuokkauksessa vanhat kasvin osat multaantuvat tasaisesti. Eroosio vähenee ja sen seurauksena myös huuhtoumat vähenevät. Pidemmällä aikavälillä myös lannoitteiden käyttötarve vähenee.¹⁰⁸

Suorakylvö on toimenpide, jossa maata ei muokata vaan siemenet kylvetään suoraan muokkaamattomaan maahan. Suorakylvön normaaliin kynnön vaikutukset ovat lähes vastakkaiset. Suorakylvön tärkeimpiä tekijöitä hiiliviljelyyn on eroosion väheneminen, mikrobitoiminnan vilkastuminen ja juuret pääsevät syvemmälle

¹⁰⁴ Mattila, T. Rajala, J. 2019

¹⁰⁵ Strickler, D. 2021

¹⁰⁶ FICA Suomen CA-viljelyn yhdistys.

¹⁰⁷ Agritek.

¹⁰⁸ Agritek.

tiivistymättömän maaperän ansiosta ja pystyvät näin sitomaan paremmin ravinteita. Orgaanisen aineen määrä maaperässä lisääntyy suorakylvön myötä. Tämän ansiosta ilmakehässä olevaa hiiltä pääsee sitoutumaan kasvien kautta maaperään paremmin. Suorakylvössä hiilen sitoutumiseen vaikuttaa myös aina kylvettävät kasvilajikkeet ja niiden erilaiset ominaisuudet.¹⁰⁹

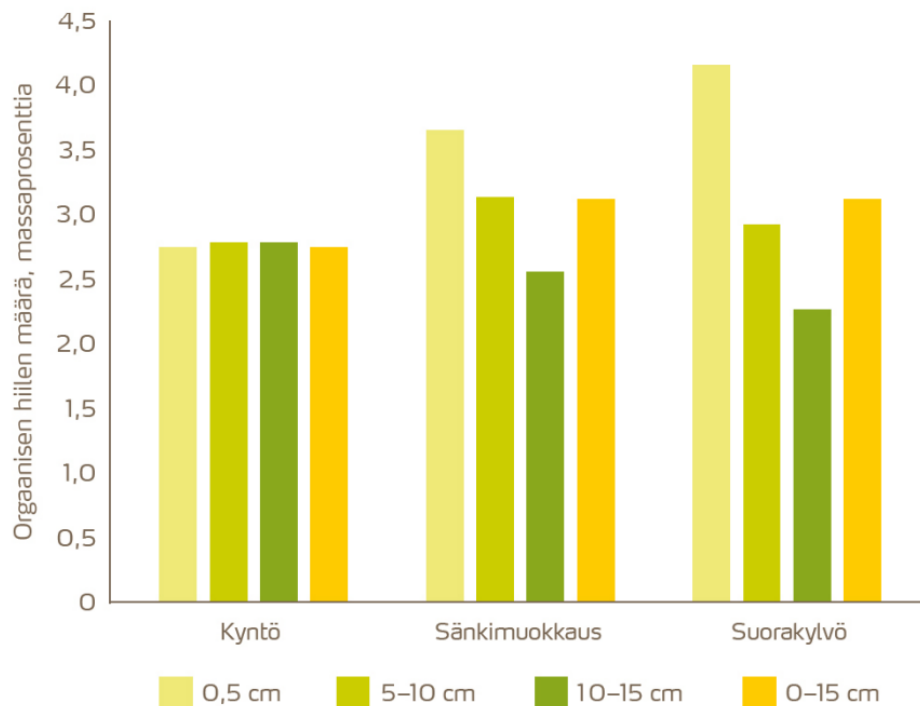
Suorakylvöön liittyy usein ajatus, että rikkakasvit ja muut ei halutut kasvit pääsevät lisääntymään paremmin. Todellisuus on kuitenkin, että jos maanmuokkaus vaikuttaisi rikkakasvien määrään, ei rikkakasvit olisi enää nykyään mikään ongelma. Muokattu maa tarjoaa rikkakasveille otollisen kasvualustan ja suorakylvömenettelyä toteutettaessa rikkaruoho-ongelma vähenee ajan saatossa. Monet suursiemeniset rikkaruohot häviävät maanmuokkauksen vähetessä, sillä ne eivät pysty juurtumaan tarpeeksi hyvin. Rikkakasvit kertovatkin usein siitä, että sadon intensiteettiä tulee lisätä esimerkiksi peitekasvien muodossa, eikä käyttää torjunta-aineita. Suorakylvössä voi joutua aluksi käyttämään glyfosaattia rikkakasvien torjuntaa, mutta pidemmällä aikavälillä monet kasvit ovat tulleet resistenteiksi tälle aineelle.¹¹⁰

Suorakylvön vaikutuksesta maaperä pysyy myös kosteampana. Kosteaan maaperään voidaan suorakylvössä kylvää ilman, että se aiheuttaa tiivistymiä, koska se ei ole niin herkkä tiivistymiselle orgaanisen aineksen määrästä johtuen. Suorakylvön vaikutukset alkavat näkymään vasta vuosien kuluessa, joten hiilensidonnassakaan ei voi heti ensimmäisinä vuosina tapahtuvan suuria muutoksia.¹¹¹

¹⁰⁹ Strickler, D. 2021

¹¹⁰ Strickler, D. 2021

¹¹¹ Strickler, D. 2021



Kuva 11. Orgaanisen hiilen määrä eri maanmuokkausprosesseissa.¹¹²

Kuvaajasta näkee, että hiili sitoutuu maaperään pintakerrokseen suorakylvöä käytettäessä.

Maanmuokkaustoimenpiteitä vertailevassa tutkimuksessa on vertailtu tavallisen maanmuokkauksen ja suorakylvön vaikutuksia maaperän eri ominaisuuksiin ja hiilen jakautumiseen Lounais-Suomessa sijaitsevilla pelloilla. 2008–2018 välisenä aikana seurattiin maaperän valumaa, pintavalumaa ja eroosiota. Tutkimuksen lopussa vuonna 2018 selvitettiin myös maaperän ominaisuuksia, eliöitä ja lajirikautta. Tutkimuksen mukaan maaperän eroosio oli 56 % pienempi suorakylvössä verrattuna tavalliseen maanmuokkaukseen. Pintavesien valuma kuitenkin osoitautui suuremmaksi suorakylvöä käytettäessä. Maanpinnasta mitattuna 60 cm syvyyteen asti hiiltä sitoutui enemmän tavallisessa maanmuokkauksessa, sillä

¹¹² FICA Suomen CA-viljelyn yhdistys.

suorakylvössä hiiltä sitoutui eniten vain 0–10 cm kerrokseen. Tutkimuksessa kävi ilmi myös suorakylvön huomattavasti huonompi sato, jolla on suora yhteys maaperän hiilivarastoihin.¹¹³

Tutkimuksen johtopäätöksiä voidaan todeta, että suorakylvöllä voidaan vähentää eroosion määrää, mutta yksinään se ei ole tehokas hiilensidontamenetelmä. Suorakylvön yhteydessä olisi hyvä käyttää myös jotain muuta menetelmää. Esimerkiksi syväjuuriset kasvit, joiden juuret ulottuvat syvälle, jotta hiiltä saataisiin varastoitua myös syvempiin maakerrokseen.¹¹⁴

Myös useat muut tutkimukset ovat osoittaneet suorakylvön vaikutuksista eroosion vähenemiseen jopa 90 % asti. Suorakylvö lisää maaperän stabiiliutta, jonka uskotaan myös parantavan hiilen varastoitumista. Monet tutkimukset ovatkin osoittaneet kevennetyn maanmuokkauksen ja suorakylvön lisäävän maaperän orgaanista hiiltä, sillä maaperän rakenne on parantunut. Joissakin tapauksissa on kuitenkin huomattu, että suorakylvö ei ole lisännyt hiilen varastoitumista. Tällaiset havainnot on tehty alueilla, joissa maan hiilipitoisuus on jo valmiiksi korkea. Tämä pätee myös usein viileillä ja kosteilla alueilla, joissa satomäärä ja hiilisyötteen maaperään voivat olla pienempiä viivästyneen itämisen vuoksi.¹¹⁵

4.5 Syväkuohkeutus

Tiivistymien poistossa voidaan tarvittaessa kokeilla ensin esimerkiksi syväjuurisia kasveja. Välillä voi myös käydä niin, että tiivistymät täytyy poistaa mekaanisesti. Syväkuohkeutus on erinomainen toimenpide, jos maa on päässyt tiivistymään erityisen pahasti. Syväkuohkeutuksen jälkeen täytyy huolehtia, että kasvien juuristot

¹¹³ Honkanen, H. Turtola, E. Lemola, R. Heikkinen, J. Nuutinen, V. Uusitalo, R. Kaseva, J. Regina, K. 2021.

¹¹⁴ Honkanen, H. Turtola, E. Lemola, R. Heikkinen, J. Nuutinen, V. Uusitalo, R. Kaseva, J. Regina, K. 2021

¹¹⁵ Paustian, K. Larson, E. Kent, J. Marx, E. Swan, A. 2019

kuohkeuttavat maata lisää, myös pitkällä aikavälillä sillä syväkuohkeutettu maa on erittäin huonosti kantavaa ja tämän takia myös altistuu helposti tiivistymiselle heti uudelleen.¹¹⁶ Kertaluontoinen syväkuohkeutus voi edistää hyvin maaperän hiilen sidontakykyä.¹¹⁷

Jos maa syväkuohkeutetaan, sen jälkeen kasvit pystyvät taas kasvattamaan juuriin laajemmalle ja syvemmälle ja ylläpitämään möyhennettyä maata. Negatiivisena vaikutuksena hapen määrä maaperässä kasvaa syväkuohkeutuksen yhteydessä. Hapen määrän lisääntymisen takia maaperässä tapahtuva hajotusprosessi kiihtyy, jopa maaperän syvissä kerroksissa asti.¹¹⁸

Syväkuohkeutuksessa myös pinnalle kertyneet hiilivarastot siirtyvät maaperässä syvemmälle sekoittuen muuhun maa-ainekseen. Saksassa tehty tutkimus, jossa vertailtiin tavallisesti kynnettyjä peltoja ja syvämuokattuja peltoja, huomattiin, että syväkuohkeutetut maat sisälsivät keskimäärin 42 % (± 13 %) enemmän hiiltä, kuin verrokkipellot. Laskelmien mukaan 45 vuoden jälkeen syväkuohkeutetun pelton pintamaat sisältävät 15 % vähemmän maanpintakerroksessa olevaa hiiltä, kuin tavanomaisesti kynnetyt pellot. Tämä antaa myös viitteitä siihen, kuinka kauan hiilen kertyminen maanpintakerroksiin kestää.¹¹⁹ Viljasatojen on myös havaittu olevan suunnilleen samansuuruisia, kuin tavallisesti kynnettyillä ja syväkuohkeutetuilla pelloilla.¹²⁰

¹¹⁶ Joona, J. Mattila, T. Rajala, J. 2019.

¹¹⁷ Paustian, K. Larson, E. Kent, J. Marx, E. Swan, A. 2019

¹¹⁸ Heinonsalo, J. 2020.

¹¹⁹ Alcántara, V. Don, A. Well, R. Nieder, R. 2016.

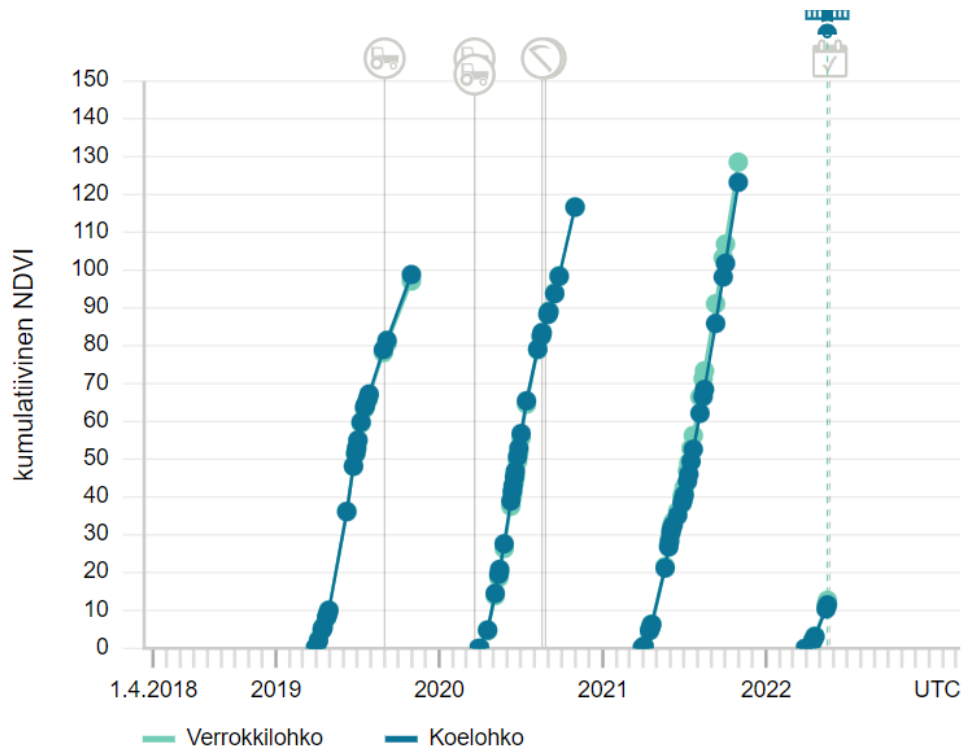
¹²⁰ Paustian, K. Larson, E. Kent, J. Marx, E. Swan, A. 2019

4.5.1 Field Observatory ”AE” -hiiliviljelytila

AE-hiilitila on Lapualla sijaitseva hiesusavipohjainen runsasmultainen luomuviljelypelto. Koelohko on syväkuohkeutettu vuonna 2018.¹²¹

Tuloksien osalta voidaan nähdä, että heti syväkuohkeuttamista seuraavana vuonna 2019, on koelohkon indeksiarvo ollut hieman parempi verrattuna verrokkilohkoon. Syväkuohkeutus on lisännyt hapen määrää maaperässä ja saanut tätä kautta aikaan hieman parempia tuloksia. Vuonna 2020 tulokset verrokki- ja koelohkon osalta ovat jo samat. Vuonna 2021 verrokkilohkon NDVI-indeksi on ollut korkeampi, kuin koelohkon. Luultavasti syväkuohkeutus on myös lisännyt hapen määrää maaperässä ja saanut orgaanisen aineksen hajoamisprosessin kiihtymään ja vaikuttanut näin ollen negatiivisesti sadon määrään.

¹²¹ Carbon Action, Field Observatory.



Kuva 12. AE-hiilitilan NDVI-indeksi.¹²²

Syväkuohkeutuksen kanssa tulisi käyttää aina myös muita toimenpiteitä, jotka parantavat maaperän laatua ja ehkäisevät tiivistymistä, koska maaperällä on riski tiivistyä uudestaan entistä pahemmin heti syväkuohkeutuksen jälkeen. Tällaisessa tilanteessa syväjuuriset kasvit toimisivat hyvin, jotta maaperä saadaan pidettyä kuohkeana, hiilen sitominen onnistuu myös syvempiin kerroksiin ja maan uudelleen tiivistyminen pystytään minimoimaan.

4.6 Katkaisunurmi

Katkaisunurmi on hiiliviljelymenetelmä, jossa ruohoa tai palkokasveja lisätään viljelykiertoon monipuolistaen sitä. Useimmiten näitä käytetään kuitenkin seoksena.

¹²² Carbon Action, Field Observatory.

Tämän avulla saadaan parannettua maaperän laatua ja hedelmällisyyttä. Katkaisunurmi parantaa myös seuraavan vuoden satoa.¹²³

Katkaisunurmella on myös tehokkaita vaikutuksia mikrobitoiminnan aktivoimiseen ja mururakenteen parantamiseen pellossa. Katkaisunurmi onkin verrattavissa hyvin pitkälti kerääjäkasveihin.¹²⁴ Katkaisunurmi vähentää myös tehokkaasti maanmuokkausta, sillä orgaaninen aines maaperässä lisääntyy. Myös torjunta-aineiden käyttöä saadaan vähennettyä katkaisunurmen avulla.¹²⁵

Katkaisunurmi edistää viljelykiertoa, eli peräkkäisinä vuosina ei kylvetä samaa lajietta uudelleen. Näin ollen välivuosina voidaan käyttää katkaisunurmi menetelmää ja hyödyntää alueita esimerkiksi karjan laitumina.¹²⁶

4.6.1 Field Observatory ”JA” -hiiliviljelytila

Somerolla sijaitsevalla JA-hiilitilalla on viljelty useita vuosikymmeniä pelkästään kevätiljoja. Pelto on vuonna 2020 jaettu kahteen eri lohkoon. Verrokkilohkolla on jatkettu edelleen kevätiljojen viljelyä ja koelohkolla sen sijaan on testattu katkaisunurmi menetelmää.¹²⁷

Kuvaajasta pystyy näkemään, että verrokkilohkolla, lehtipinta-ala on pysynyt vuodesta toiseen suhteellisen samana. Vuonna 2020 kylvetyn katkaisunurmen seuraukset näkyvät vuonna 2021, sillä lehtipinta-ala on kasvanut runsaasti. Näin voidaan todeta, että katkaisunurmi-menetelmä on toiminut hyvin ja kasvattanut reilusti NDVI-indeksin arvoa heti seuraavana vuonna toimenpiteestä laskettuna.

¹²³ Rocket skills.

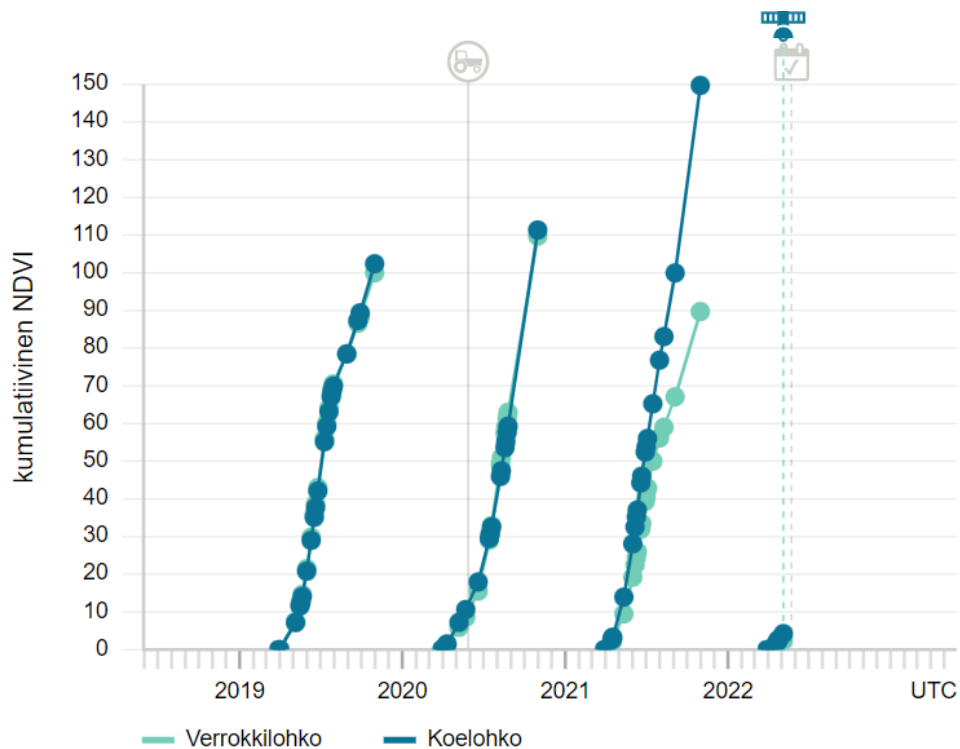
¹²⁴ Carbon Action.

¹²⁵ Edwards, T. Howieson, J. Nutt, B. Yates, R. O’Hara, G. Van Wyk, B. 2019.

¹²⁶ Farmer's Weekly.

¹²⁷ Carbon Action, Field Observatory.

Katkaisunurmi menetelmä on toiminut kyseisellä tilalla juuri niin kuin on ollut tarkoituksena.



Kuva 13. JA-hiilitilan NDVI-indeksi.¹²⁸

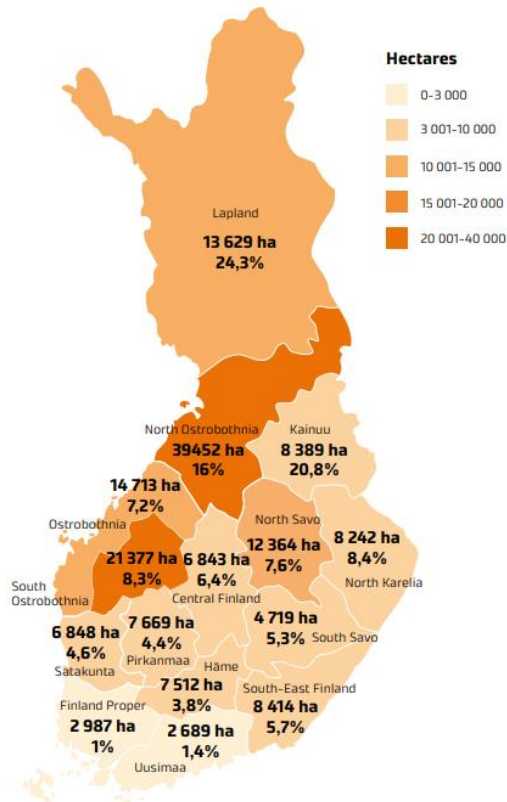
Käytännössä maaperästä on siis tullut todennäköisesti hedelmällisempää ja näin ollen kasvit ovat kasvaneet runsaampina ja pystyneet yhteyttämään paremmin. Näin runsas maaperän ja kasvillisuuden kunnon paraneminen edistää myös hyvin hiilensidontaa maaperään.

4.7 Turvemaiden hiiliviljely

Turvemaat muodostavat ison osan maailman hiilivarastoista, vaikka pinta-alallisesti niiden rooli ei ole merkittävän suuri. Suomessa kuitenkin on pinta-alallisesti

¹²⁸ Carbon Action, Field Observatory.

hyvin paljon turvemaita, joten niiden viljelyyn tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Turvemaihin muodostuu suuria hiilivarastoja, sillä kasviaineksen hajoaminen on hyvin hidasta ja voimakkaampaa kuin kasvien kasvu. Lähtökohtaisesti turvemaissa kiinnitetään enemmän huomiota vapautuvan hiilidioksidin määrän rajoittamiseen, kuin itse hiilensidontaan.¹²⁹



Kuva 14. Yli 60 cm turvekerroksien omaavien viljelymaiden osuus koko viljelyalasta maakunnittain.¹³⁰

¹²⁹ Naukkarinen, V. 2021.

¹³⁰ Karttunen, K, Berninger, K, Granholm, K, Huttunen, S, Kekkonen, H, Lehtonen, H, Lähteenmäki-Uutela, A, Lötjönen, T, Mattila, T, Miettinen, A, Niemi, J, Regina, K, Savikurki, A, Sorvali, J, Söderlund, S, Virkkunen, E, Kaljonen, M, Mäkipää, R. 2021.

Jos turvemaita halutaan viljellä, tulee suoalue kuivattaa ja muokata peltokäyttöön sopivaksi. Mikäli kasvihuonekaasupäästöjä halutaan pienentää turvemaita, tulee vähentää maanmuokkaus minimiin ja mahdollista ympärivuotinen kasvupeite. Turvemaiden päästövähennyksiä pienentämiseen voidaan käyttää kosteikkoviljelyä ja pohjaveden pinnankorkeuden nostamista. Vaikka pinnankorkeuksien nostaminen, kuitenkin lisää metaanipäästöjä, se kuitenkin pitkällä aikavälillä vähentää hiilidioksidipäästöjä.¹³¹

Kosteikkoviljelyssä viljelty alue on joinakin vuosina pieni päästölähde ja seuraavina vuosina taas toimiva hiilinielu. Kosteikkoviljelyssä maan on oltava tarpeeksi märkää, jotta olemassa olevat turvekerrokset eivät häviä. Näin myös saadaan lisättyä turpeen kertymistä ja ylläpidettyä turvemaiden monimuotoisuutta. Tehokkaimmat ja pitkäkestoisimmat päästövähennykset saadaan aikaan yleensä pelloilla, joilla on paksu turvekerros.¹³²

On tärkeää huomioida, että kosteikkoviljely ei saa aiheuttaa kierrettä, jossa aletaan raivaamaan myös uusia turvepeltoja. Kosteikkoviljelyn päätuote ei siis nimenomaan ole siitä saatu sato, vaan päästövähennykset.¹³³

Kosteikkoviljelyssä ei voida käyttää kasvilajeja, joista tarvitaan maanalaisia kasvinosia, sillä tämänkaltainen sadonkorjuu ei sovellu turvemaita. Parhaiten sopivat kasvit, jotka tuottavat paljon ja laadullisesta ravitsevaa biomassaa. Kosteikoilla voidaankin viljellä kasveja, jotka sopivat ihmisten ja eläinten ravinnoksi, energia-kasveiksi, teollisuuden raaka-aineiksi, lääkekasveiksi ja suomarjoja, jotka sopivat ihmisen ravinnoksi.¹³⁴

¹³¹ Naukkarinen, V. 2021.

¹³² Naukkarinen, V. 2021.

¹³³ Naukkarinen, V. 2021.

¹³⁴ Naukkarinen, V. 2021.

Kosteikkoviljely ei ole vielä toimivaa Suomessa, sillä se on hyvin uusi viljelytapa ja se ei ole viljelijöille kannattavaa. Joidenkin suomarjojen osalta se saattaa, olla melko hyvässä tilanteessa, sillä niillä on suhteellisen korkea kilohinta verrattuna muuhun ihmisen ravintoon käytettäviin viljelykasveihin. Kosteikoilla pystytään viljelemään myös erilaisia lääkekasveja, mutta tällaisten kasvien kysyntä ei ole Suomessa vielä niin suurta, joten niitä viedäänkin yleensä vientituotteena Keski-Eurooppaan, jossa niitä osataan hyödyntää paremmin.¹³⁵

Turvemailla voidaan viljellä erityisesti järviruokoa, jonka biomassaa voidaan jalostaa bioenergiaksi. Kosteikkoviljelykasvien biomassasta voidaan valmistaa myös erilaisia rakennusmateriaaleja.¹³⁶

Tällaisilla luonnonmukaisilla rakennusmateriaaleilla on hyvä potentiaali, sillä niiden avulla voidaan korvata muita ympäristölle haitallisia rakennusmateriaaleja. Luonnon raaka-aineista valmistetut rakennusmateriaalit ovat myös helpommin kierrätettävissä tulevaisuudessa.¹³⁷

4.8 Hiiliviljelyn vaikutukset hiilinieluihin

Maatalous vaikuttaa suuresti veden kulutukseen maailmalla, synnyttää kasvihuonekaasupäästöjä ja säätelee ruoantuotantoa. Viljelijöiden on tuotettava ruokaa ja raaka-aineita yhä suuremmalle väestölle ja samalla kevennettävä jatkuvasti siitä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä.¹³⁸

Tieteen näkökulmasta on edelleen hieman epäselvää, mikä pitää maaperän hiilensidonnan rajallisena. Tämän vuoksi on myös epävarmuuksia, siitä kuinka suuri vaikutuksia hiilensidonnalla on todellisuudessa. Aktiivista hiilensidontaa

¹³⁵ Naukkarinen, V. 2021.

¹³⁶ Naukkarinen, V. 2021.

¹³⁷ Puuteollisuus hankeportaali.

¹³⁸ Waite, R. Hanson, C. Ranganathan J. 2019.

ylläpidettäessä on harjoitettava hiiliviljelyä jatkuvasti. Usein maatiloilla, joissa käytetään hiiliviljelytoimenpiteitä, joudutaan kuitenkin harjoittamaan myös toimenpiteitä, jotka aiheuttavat hiilen vapautumista. Suorakylvö toimii tällaisesta tilanteesta hyvänä esimerkkinä. Sitä voidaan harjoittaa vuosia putkeen, mutta jossain vaiheessa maanviljelijöille tulee kuitenkin tarve kyntää maa. Kyntämistoimenpiteet vapauttavat hiiltä maaperästä ja näin ollen kumoavat osan tai jopa kaikki hiiliviljelytoimenpiteiden tuottamat edut.¹³⁹

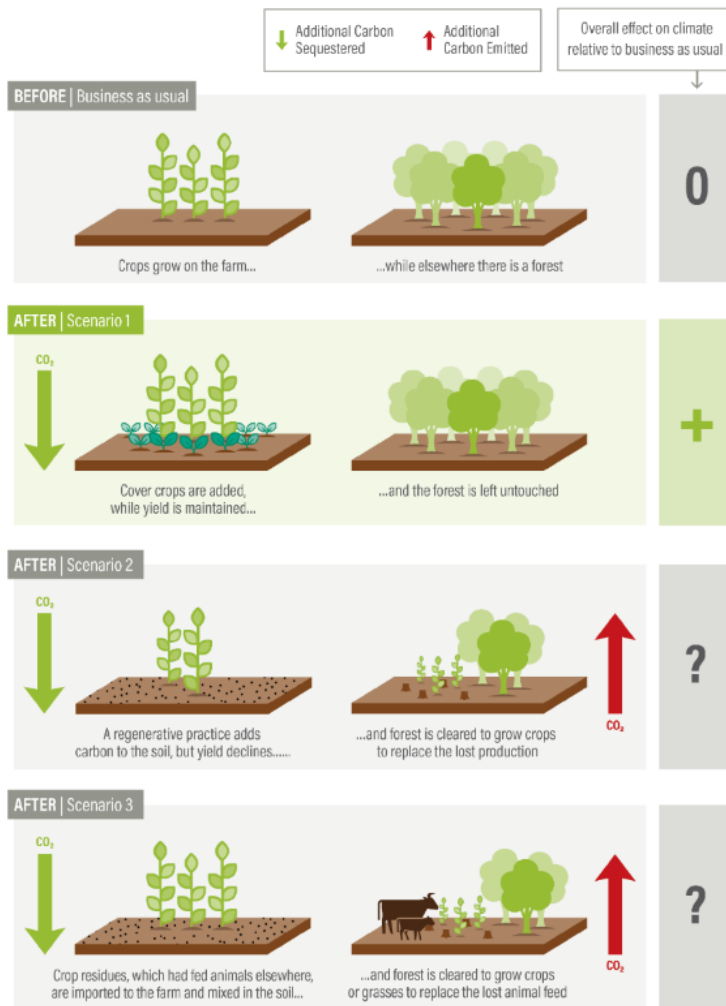
Maan kyntämisellä saadaan kasvukautta pidemmäksi, kuin esimerkiksi suorakylvö menetelmällä. Siemenet alkavat itämään nopeammin käännetyssä maassa, kuin suorakylvömenetelmällä. Suorakylvömenetelmä voi aiheuttaa myös pienempiä satoja. Satojen laskiessa, ruoan kysynnän pysyessä samana tai jopa noustessa viljelijöiden on pystyttävä korvaamaan nämä satotappiot. Satotappioiden korvaamiseen tarvitaan uusia viljelysmaita, jotka on yleensä tehtävä metsiä raivaamalla. Kun metsät raivataan viljelymaiksi, poistuu suuria metsien tuottamia hiilinieluja. Tällaisten toimenpiteisiin johtavat skenaariot jätetään usein pois, kun tarkastellaan asiaa vain hiiliviljelyn näkökulmasta. Myös lannan käyttö lannoitteena on rajallista, niin kuin myös maaperään hajoavat kasvintähteet. Näin ollen se tarkoittaa muiden toimenpiteiden lisäämistä, kuten lannan korvaamista keinotekoisilla lannoitteilla, jotka puolestaan eivät ole niin ekologisia ja lisäävät kasvihuonekaasupäästöjä.

Jotta hiilensidontaa voitaisiin toteuttaa niin, että siitä on hyötyä, on saatava ratkaisua myös muihin ongelmallisiin asioihin, kuten vähentää maataloustuotteiden käytön jatkuvaa kasvua ja lisätä muuta elintarviketuotantoa ilman, että maatalousmaita joudutaan laajentamaan. Luonnollisten ekosysteemien suojeleminen on myös tärkeää, jotta luonnon monimuotoisuus säilyy. Maataloudessa tulee

¹³⁹ Ranganathan, J. Searchinger, T. Waite, R. Zions, J. 2020.

hiilensidonnan lisäksi keskittyä muihin kasvihuonekaasuja aiheuttaviin toimenpiteisiin, kuten lannoitteisiin ja energiankäyttöön.

Kuvan 15 skenaarioista näkee sen, miten maataloustuotteiden tarpeen kasvaessa hiilensidontaa edesauttavat toimenpiteet saattavat johtaa yhtäkkiä pisteeseen, jossa hiiliviljelyn toteuttamiseksi aletaan muodostaa uusia hiilidioksidipäästöjä ja poistetaan muita suuria hiilinieluja käytöstä. Hiiliviljelytoimenpiteiden merkitys ei ole kovin suuri, jos siitä aiheutuneet haitat ovat suuremmat. Hiiliviljelytoimenpiteitä suorittaessa tulee siis tarkastella asiaa myös siltä kannalta, ettei saa tuhota luonnon omien ekosysteemien toimivia hiilinieluja. Pääosin metsien tuottamat hiilinielut ovat tehokkaampia, kuin maanviljelyssä olevat hiilinielut, joten niiden tuhoaminen aiheuttaa merkittävän suuria ongelmia.



Kuva 15. Toimivien hiilinielujen hävittäminen vähentää hiilensidontapotentiaalia.¹⁴⁰

4.9 Mahdollisuudet ja edistäminen

Hiiliviljely kulkee käsi kädessä toimivan ja tehokkaan viljelyn kanssa. Tulevaisuudessa maaperän kunnon merkitys tulee kasvamaan ilmastonmuutoksen aiheuttamien säävaihteluiden ja ääri-ilmiöiden yleistymisen takia. Hiiliviljely on hyvin lupaava keino ehkäistä ilmastonlämpenemistä. Hiiliviljelyn aikaan saamista tuloksista ja hyödyistä tulisi levittää enemmän tietoa maanviljelijöille. Onnistunut

¹⁴⁰ Ranganathan, J. Searchinger, T. Waite, R. Zions, J. 2020.

hiiliviljely lisää sadon määrää ja tätä kautta myös taloudellista tuottoa maanviljelijöille.¹⁴¹

Hiiliviljelyn edistämistä lisäksi myös tutkimuksien rahoitukset, joiden avulla voitaisiin kehittää ja jalostaa kasveja, jotka edistävät paremmin hiilensidontaan esimerkiksi suuremmilla ja syvemmällä juuristoilla.¹⁴²

On todennäköistä, että tulevaisuudessa hiiliviljely tullaan liittämään jotenkin mukaan päästökauppaan tai mahdollisesti erilaisten tukien avulla. Tällaisten toimenpiteiden ja uudistusten avulla saataisiin enemmän maanviljelijöitä lähtemään mukaan hiiliviljelyyn. Päästökauppa-suunnitelmia varten tarvitsee määrittää hiilen yksikkö suhteessa muihin, jotta se voi myös osallistua kaupankäyntiin.¹⁴³

Kosteikkoviljelyn rahoitusta voidaan pitää tulevaisuudessa potentiaalisena vaihtoehtona. Suomessa on paljon turvemaita, joten päästövähennyksiä saataisiin niiden osalta kasvatettua, mikäli tuottajat hyötyisivät siitä. Nyt he eivät ansaitse kosteikkoviljelyllä juuri mitään, mutta ovat silti valmiita uhraamaan aikaansa siihen. Kosteikot ovat suotuisia kasvupaikkoja erälle lääkekasveille, joten myös erilaisia lääkefirmoja voisi tulevaisuudessa saada mukaa tällaiseen.¹⁴⁴

Hiiliviljelyn tehostumisen ja suosion kasvattamisen takia, olisi hyvä saada kuluttajat kiinnostumaan erilaisista hiiliviljelyistä tuotteista ja tukemaan juuri niiden tuottoa suosimalla niitä esimerkiksi kaupassa.¹⁴⁵

¹⁴¹ Sharma, M. Kaushal, R. Kaushik, P. Ramakrishna, S. 2021.

¹⁴² Paustian, K. Larson, E. Kent, J. Marx, E. Swan, A. 2019

¹⁴³ Heinonsalo, J. 2020.

¹⁴⁴ Naukkarinen, V. 2021.

¹⁴⁵ Joonas, J. 2019

4.10 Haasteet

Hiiliviljelyn haasteena on saada maanviljelijät mukaan omaksumaan uusia toimintatapoja. Tällaiset toimenpiteet aiheuttavat heille lisäkustannuksia, mikäli heillä ei ole jo ennestään valmiuksia toteuttaa hiiliviljelyä. Useimmilla ei myöskään ole tietoa hiiliviljelyn toimintaperiaatteista. Haasteita aiheuttaa myös tarvittavan tiedon puuttuminen hiiliviljelyn eduista ja haitoista.¹⁴⁶

Tällä hetkellä Suomessa ei myöskään ole mitään veloitteita hiiliviljelyn edistämiseksi. Maanviljelijät eivät myöskään saa mitään erityistä rahallista vastinetta hiiliviljelyn toteuttamisesta, joten kannustimia sen aloittamiseen ei ole.

Hiiliviljelyyn haasteita tuo myös se, että sitä pitää tehdä jatkuvasti, mikäli halutaan saada hiiltä sidottua maaperään. Se ei ole siis pysyvä tapa hiilidioksidin poistamiseen, vaan se riippuu siitä, kuinka kauan ja kuinka tehokkaita toimenpiteitä harjoitetaan. Maaperään varastoidun hiilen määrä on rajoitettu, joka tarkoittaa, että hiilensidonnan lisääntyminen vähenee ajan kuluessa. Tällä toiminnolla pystytään vain ylläpitämään hiilensidontaa, mutta ei pystytä enää uutta hiiltä.¹⁴⁷

¹⁴⁶ Sharma, M. Kaushal, R. Kaushik, P. Ramakrishna, S. 2021.

¹⁴⁷ Clean energy wire.

5 INTENSIIVITILAT

Field observatory kerää dataa Carbon Action -maatiloista. Muiden hiilitilojen lisäksi tähän kuuluu kolme intensiivistä hiilitilaa: Qvidja, Ruukki ja Haltiala. Näillä kolmella tilalla tehdään eniten tutkimuksia ja saadaan myös dataa hiilidioksidin vaihtumista lähes reaaliajassa.¹⁴⁸

5.1 Qvidja

Qvidja on Paraisilla sijaitseva yksi Field observatoryn intensiivituloista. Qvidjan tilalla tavoitteena on hiiltä sitova mahdollisimman ekologinen viljely. Tavoitteena on minimoida torjunta-aineiden ja keinolannoitteiden käyttö ja sen sijaan käyttää eloperäisiä lannoitteita. Qvidjan maalajina on hiuesavi. Hiiliviljely menetelmänä käytetään monilajista nurmea. Nurmea on pääasiassa käytetty eläinten rehuna ja biokaasun raaka-aineena.¹⁴⁹

Qvidjassa pidetään huolta viljelykierrosta ja sen pelloilla viljelläänkin vuorotellen ominaisuuksiltaan erilaisia kasveja, jotta maaperää voidaan parantaa mahdollisimman hyvin. Pellolla viljelyssä on mukana myös typensidontakasveja, joiden avulla pyritään lisäämään kasvillisuuden peittävyttä, jotta voidaan vähentää eroosion riskiä ja estetään muiden ei haluttujen kasvien leviäminen alueella. Peltojen kylvämistä on myös rajoitettu mahdollisimman paljon ja sitä tehdäänkin vain tarpeen vaatiessa, jotta hiiltä ei pääse vapautumaan maaperästä.¹⁵⁰

¹⁴⁸ Carbon Action, Field Observatory.

¹⁴⁹ Qvidja Gård.

¹⁵⁰ Qvidja Gård.



Kuva 16. Qvidja mittauspellot.¹⁵¹

Qvidjalla on aktiivisessa mittauksessa kolme eri peltoa. Pyörrekovarianssi-lohko, CA 6 cm ja CA 15 cm. Näillä kolmella peltolohkolla tehdään aktiivisia mittauksia ja seuranta. CA 6 cm lohkolla leikkuukorkeus on aina 6 cm ja ja CA 15 cm on puolestaan 15 cm leikkuukorkeus. Pyörrekovarianssi-lohkolla tehdään lisäksi hieman enemmän mittauksia, kuin näillä kahdella muulla pellolla.¹⁵²

¹⁵¹ Carbon Action, Field Observatory.

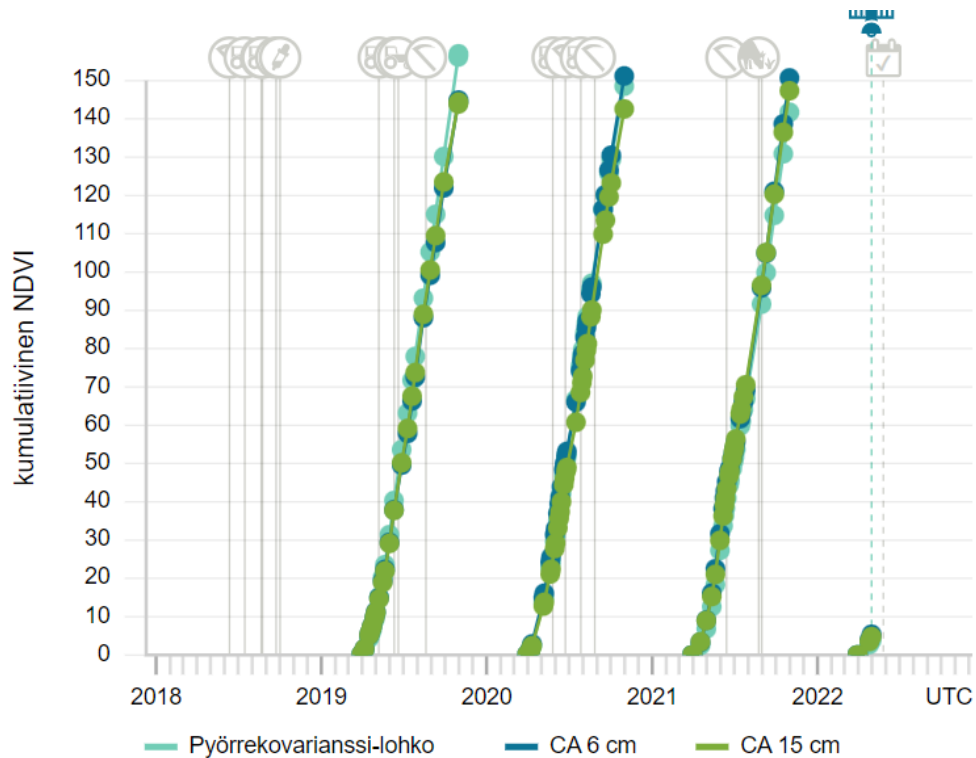
¹⁵² Carbon Action, Field Observatory.

Vuonna 2019 NDVI-indeksi on ollut hyvä kaikilla lohkoilla (kuva 17). Pyörrekovarianssi-lohkon indeksi on ollut suurin, mutta ollut tulevina vuosina myös ainut lohko, jonka NDVI-indeksi on ollut näkyvässä laskusuhdanteessa.

CA 6 cm lohkon indeksi on noussut vuoden 2019 ja 2020 välillä, mutta se on kuitenkin pysynyt 2021 vuonna samana, kuin 2020. CA 15 cm lohkon indeksi on vuonna 2020 laskenut hieman verrattuna 2019 vuoden indeksiin. 2021 vuonna kuitenkin sen indeksi on ollut korkeampi kuin aiempina vuosina.

Kuvaajassa mielenkiintoista on se, että CA 6 cm pellon NDVI-indeksi on jokaisena vuonna suurempi, kuin CA 15 cm pellon. Maalaisjärjellä ajateltuna lehtivihreää ja pinta-alaa olisi enemmän pellossa, jonka leikkuukorkeus on myös korkeampi. Näin ei kuitenkaan tämän kuvaajan mukaan ole. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että lyhyemmiksi leikatut kasvit pystyvät tehokkaammin kasvattamaan leikkuun jälkeen enemmän ja nopeammin lisää lehtivihreää sisältäviä osia. Tämä selittäisi sen, miksi NDVI-indeksi on korkeampi CA 6 cm pellolla.

Kuvassa nähdään myös eri toimenpiteet, joita pellolle on tehty ja niiden ajankohta. Viikatteen kuva kuvastaa sadonkorjuuta, karjan kuva laidunnusta, traktorin kuva maanparannusaineiden käyttöä tai maan muokkaamista. Nämä ovat yleisimmät symbolit, joita aineistoissa esiintyy. Kuvassa 17 voidaan myös nähdä ensimmäisen vuoden lopussa pipetin kuva. Se tarkoittaa, että maaperään on tehty tutkimuksia tai otettu maaperänäytteitä.



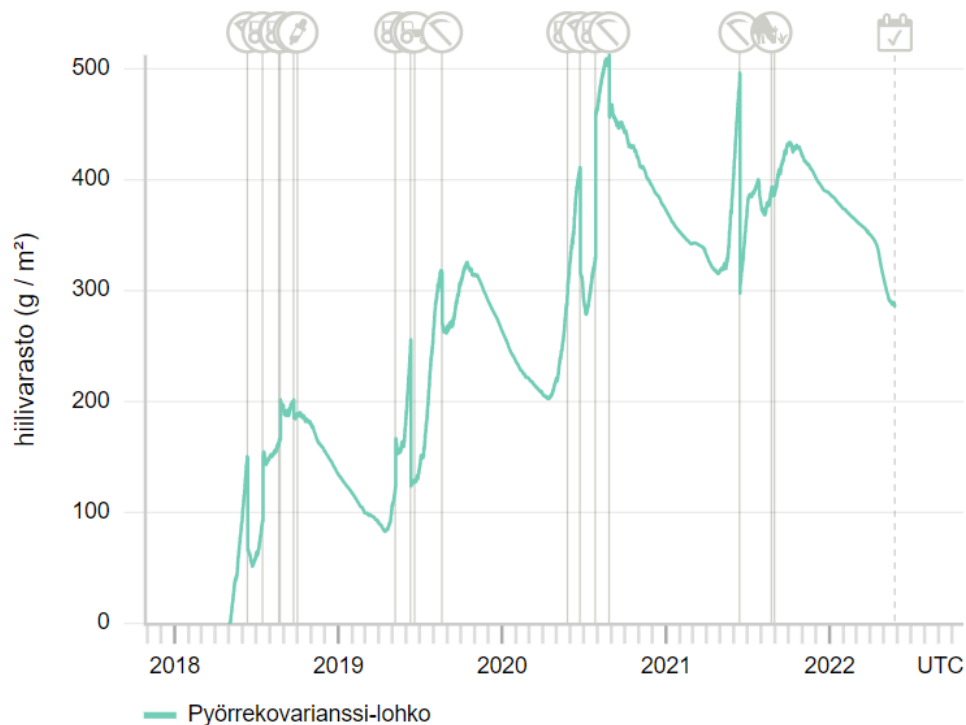
Kuva 17. Qvidja NDVI-indeksi.¹⁵³

Hiilivarastoa on mitattu vain Pyörrekovarianssi-lohkolla. Hiilivarastoarvo kuvaa, sitä toimiiko pelto hiilinieluna vai vapauttaako se hiiltä ilmastoon. Hiilivarastot kuvaajasta näkee hyvin, että hiilivarastot ovat lähteneet nousuun aina eloperäisen aineksen levittämisen jälkeen.

Hiilivarastot ovat olleet myös tasaisessa nousussa vuosittain ja joka vuosi pelto on toiminut yhä tehokkaampana hiilinieluna. Kuitenkaan vuonna 2021, ei olla päästy parempiin tuloksiin, kuin vuonna 2020. 2021 vuoden lopussa hiilivarastot ovat lähteneet hieman enemmän laskuun, kuin muina vuosina. Vuonna 2021 on myös koekeltu lohkolaidunnusta nautakarjalla 7 päivän ajan. Tämän jälkeen hiilivarasto on ollut vielä noin kuukauden ajan nousussa, jonka jälkeen se on alkanut laskemaan.

¹⁵³ Carbon Action, Field Observatory.

Hiilivarastoarvojen kohdalla pystyy huomamaan erilaisten toimenpiteiden vaikutuksen hyvin. Sadonkorjuun jälkeen hiilivarastoihin tulee silminnähtävä lasku, mikä on loogista, sillä maaperään hiiltä sitovat kasvit kerätään pois. Vastakohtaisesti aina lannoitteiden tai eloperäisen aineksen levityksen jälkeen hiilivarastot nousevat, sillä ne lisäävät hiilen määrää maaperässä.



Kuva 18. Qvidja hiilivarasto.¹⁵⁴

Pyörrekovarianssi-lohko toimii kuitenkin koko ajan hiilinieluna ja se ei ole missään vaiheessa hiiliviljelytoimenpiteiden alettua muuttunut hiililähteeksi. Tämä kuvaaja näyttääkin hienosti sen, miten hiiliviljely toimii, kun sitä jatketaan useita vuosia peräkkäin.

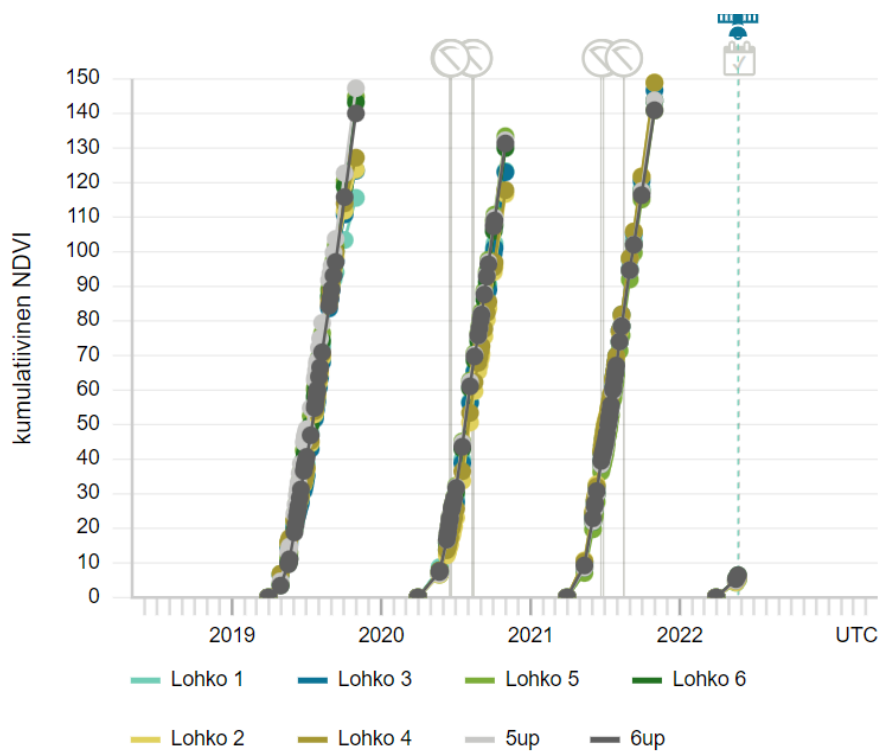
¹⁵⁴ Carbon Action, Field Observatory.

5.2 Ruukki

Ruukki sijaitsee Pohjois-Pohjanmaalla. Se on intensiivivilja, jonka maalajina on turve. Tällä turvepohjaisella maaperällä viljellään nurmisäilörehua. Mittaustuloksia otetaan tilalta yhteensä kahdeksalta eri pellolta. Tuloksien kerääminen on aloitettu vuonna 2019. Tällä intensiiviviljalla pystytään tarkastelemaan erityisen hyvin, miten turvepellot toimivat hiilensidonnan kannalta. Tällä tilalla ei toteuteta tällä hetkellä aktiivisia hiiliviljelytoimenpiteitä.¹⁵⁵

Kumulatiivinen NDVI-indeksi on vaihdellut vuonna 2019 hieman lohkojen välillä. Vuonna 2020 on kuitenkin tapahtunut arvoissa keskimäärin pienimuotoinen notkahdus peltolohkojen osalta, paitsi lohkoilla 1 noussut hieman ja lohkoilla 3 pysynyt samana. Vuonna 2021 NDVI-indeksi on taas lähtenyt kasvuun ja jokaisen peltolohkon arvot ovat kasvaneet edelliseen vuoteen verrattuna.

¹⁵⁵ Carbon Action, Field Observatory.



Kuva 19. Ruukki NDVI-indeksi.¹⁵⁶

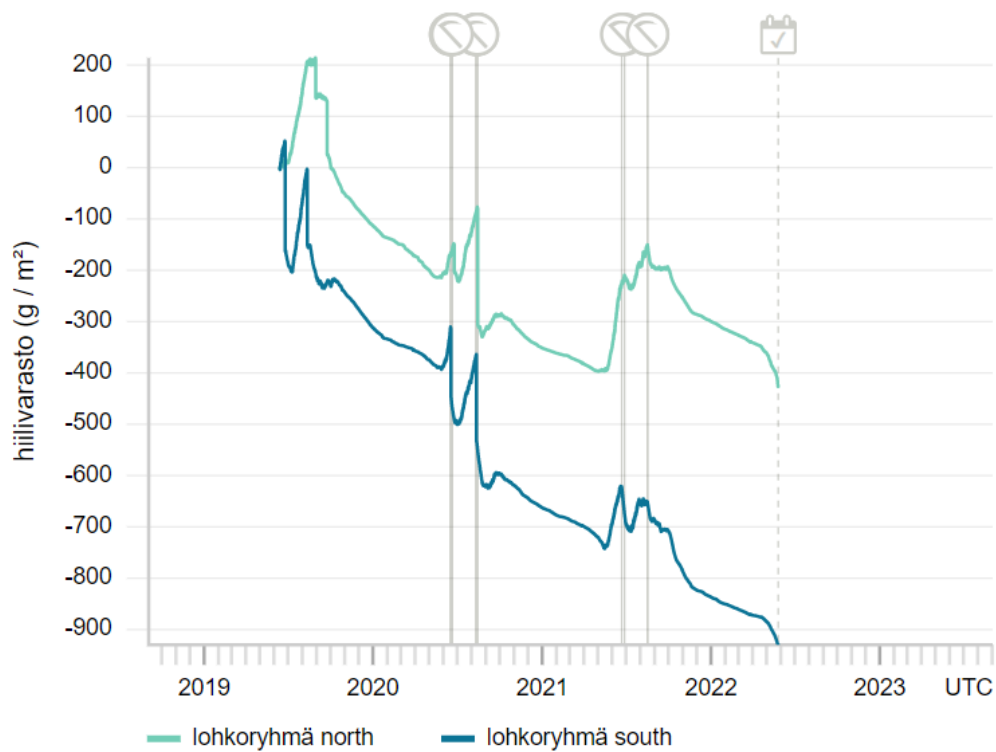
Kuvasta 20 näkee, että jokaisen sadonkorjuun jälkeen hiilivarastot ovat lähteneet laskuun, mutta pääsääntöisesti ne ovat olleet koko ajan laskusuhdanteessa. Sadonkorjuun jälkeen, kun uusi nurmiseos on alkanut kasvamaan, myös hiilivarastot ovat lähteneet nousuun. Myös keväisin hiilivarastot ovat nousseet kasvukauden alussa.

Lähtötilanteet ovat molemmilla pelloilla olleet hyvin erilaiset. Molemmat lohko-ryhmät ovat lähteneet liikkeelle nollasta, mutta pohjoisen lohko-ryhmä on lähtenyt heti nousuun ja toiminut hiilinieluna, kun taas eteläinen lohko-ryhmä on pienen hetken toiminut hiilinieluna, ja sen jälkeen toiminut hiilidioksidia vapauttavana hiililähteenä.

¹⁵⁶ Carbon Action, Field Observatory.

Tähän vaikuttaa se, että turvemaat ovat hyvin epävarmoja viljelysmaita ja vaikeasti kontrolloitavissa. Pääsääntöisesti turvemaat toimivat joinakin vuosina hiilinieluina ja toisina vuosina hiililähteinä. Eteläinen lohkokoryhmä toimii myös suurempana hiililähteenä, kuin pohjoinen peltoryhmä. Tähän vaikuttaa varmasti hyvin paljon maaperässä tapahtuva turpeen hajoamisprosessi, sillä se saa aikaan hiilidioksidin vapautumista. Turpeen hajoamisprosessia voitaisiin pienentää pitämällä pellot mahdollisimman tiheässä kasvipeitteessä niin pitkiä aikoja kuin mahdollista. Näin hajoamisprosessia voitaisiin hidastaa ja myös hiilidioksidipäästöt vähenisivät. Hapen määrä maaperässä saattaa vaihdella hyvin paljon alueittain turvemaidella. Hapen määrä on myös suuressa roolissa hiilensidonnassa, sillä liian suuri happimäärä aiheuttaa hiilidioksidin karkaamista.

Myös ruukin hiilivarastoissa on huomattavissa, että sadonkorjuun jälkeen hiilivarastot muuttuvat yhä pienemmiksi. Turvepelloille tämä onkin hyvin ominaista, sillä kasvipeitteen väheneminen lisää aiemmin mainittua turpeen hajoamisprosessia, mutta kuvasta 20 se on selkeästi havaittavissa.



Kuva 20. Ruukki hiilivarasto.¹⁵⁷

Vaikka NDVI-indeksi näyttää tulosten valossa hyvältä, ei siitä kuitenkaan saada tietoa hiilen sitoutumisesta. Ruukin turvemaidella näyttää NDVI-indeksin valossa olevan oivat mahdollisuudet hiilensidonnalle, sillä lehtivihreää on paljon, jonka johdosta myös hiiltä sitovaa yhteyttämistä pitäisi tapahtua paljon. Kuitenkin hiilivarastoja tarkastellessa nähdään, että hiilen sitoutumista ei ole alun jälkeen tapahtunut oikeastaan missään kohtaa. Tästä kuitenkin saa hyvin käsityksen siitä, että turvemaiden kohdalla pyritään enemmän vähentämään hiilipäästöjä, kuin sitomaan hiiltä.

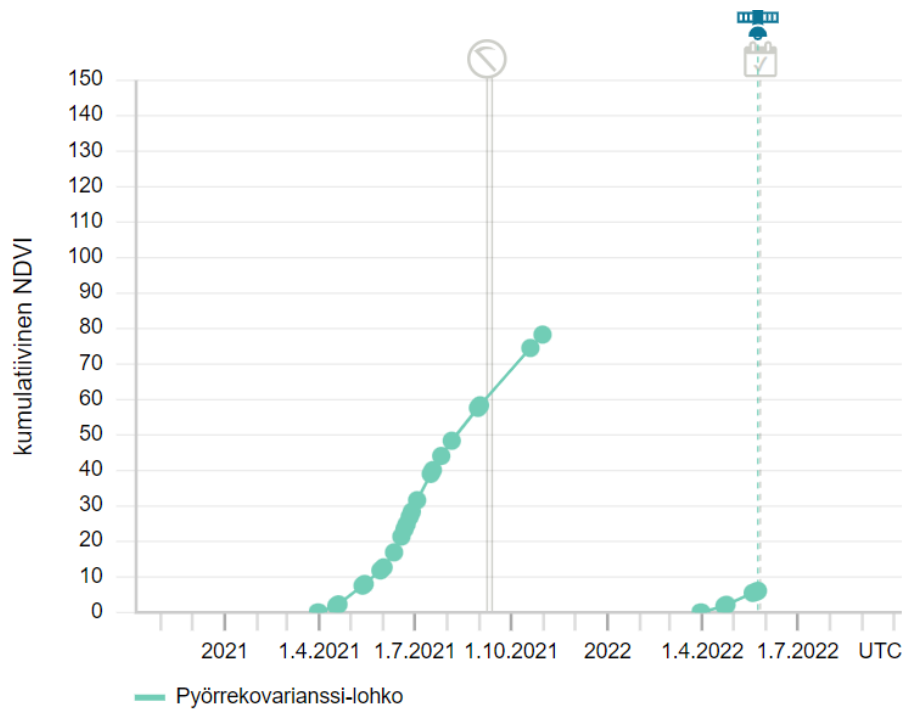
¹⁵⁷ Carbon Action, Field Observatory.

5.3 Haltiala

Haltiala on intensiiviviljelytila, joka on Helsingin kaupungin omistama, mutta tutkimuskäytössä Helsingin yliopistolla. Maalajina pellolla on hiuesavi ja siinä viljellään kauroja. Tilalla ei suoriteta tällä hetkellä aktiivisia hiiliviljelytoimenpiteitä, mutta mittauksia pellolta tehdään jatkuvasti. Tämä on myös hyödyllistä hiilensidonnan tutkimuksen kannalta, koska saadaan vertailua siitä, millaisiin tuloksiin päästään ilman minkäänlaisia hiiliviljelytoimenpiteitä. Ensimmäiset mittauksia pellolla on aloitettu tekemään vasta vuonna 2021.¹⁵⁸

Kumulatiivista NDVI-indeksiä ei pystytä tarkastelemaan kuin yhden kokonaisen vuoden ajalta. Verrattuna Quidjaan ja Ruukkiin sen indeksiarvo on ollut suhteellisen heikko. Sen kumulatiivinen NDVI-indeksi on parhaimmillaan saavuttanut arvokseen juuri ja juuri 80. Tästä voidaan päätellä, että pellolla on keskinkertaisesti lehtivihreää ja yhteyttäviä kasveja. Maaperän laatu ei kuitenkaan välttämättä ole hirveän hyvä, sillä se selittäisi NDVI-indeksin alhaisen arvon. Sato ei kasva niin runsaasti, jos maaperän laatu on huono ja biologinen aktiivisuus heikko.

¹⁵⁸ Carbon Action, Field Observatory.

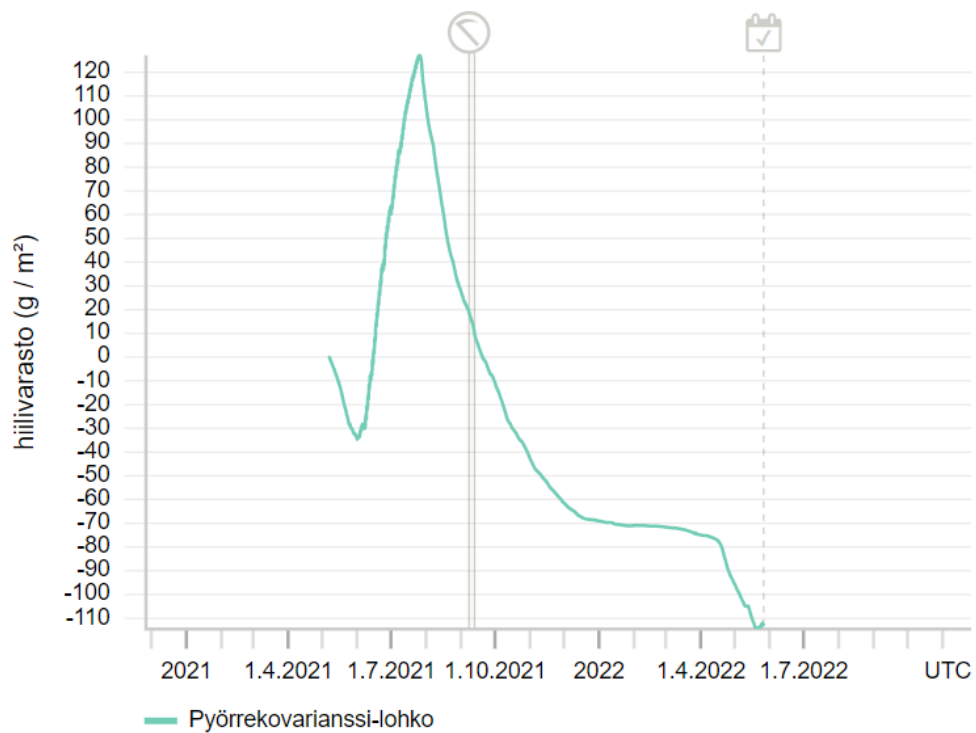


Kuva 21. Haltiala NDVI-indeksi.¹⁵⁹

Hiilivarastojen aloitusarvo on 0. Kuvaajasta nähdään, että aluksi pelto on toiminut hiililähteenä. Sen jälkeen kasvukauden alkaessa pelto on alkanut toimimaan hiilinieluna. Hiilinieluksi pelto on päässyt, sillä yhteyttäminen on ollut aktiivista. Kuitenkin heinäkuun lopussa hiilivarasto arvot ovat lähteneet taas laskuun. Tämä johtuu siitä, että kasvukausi on saavuttanut huippunsa ja yhteyttämistä ei enää tapahdu. Tällaisessa pellossa, jossa ei toteuteta hiiliviljelytoimenpiteitä, ei käytännössä ole muita tapoja sitoa hiiltä, kuin yhteyttäminen. Syyskuussa tapahtuneen sadonkorjuun jälkeen pelto on jatkanut toimintaansa hiililähteenä, koska sillä ei ole ollut enää mahdollisuuksia hiilen sitomiseen. Varastot ovat jatkaneet laskua, kunnes nyt vuonna 2022 kasvukauden alussa on nähtävissä pientä nousua.

¹⁵⁹ Carbon Action, Field Observatory.

Tämä pellon tuloksissa havainnollistaa hyvin sen, että kaikella viljelyllä on mahdollista sitoa hiiltä. Se ei vain kuitenkaan pysy kannattavana, mikäli hiiliviljelytoimenpiteitä ei toteuteta. Hiilivarasto kuvaajasta näkee myös, että pelto jatkaa kasvukauden jälkeen hiililähteenä olemista, joten hiilensidonnan hyödyt menevät siinä, kun loppuajan pelto on vain hiililähteenä.



Kuva 22. Haltiala hiilivarasto.¹⁶⁰

¹⁶⁰ Carbon Action, Field Observatory.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyössä tarkoituksena oli tutkia erilaisia hiiliviljelytoimenpiteitä ja vertailla eri toimenpiteistä saatua NDVI-indeksi dataa toisiinsa. Tutkittuja tuloksia ei voi verrata suoraan toisiinsa, sillä tulokset riippuvat pitkälti myös maaperän aiemasta laadusta ja maalajikkeesta. Intensiivitilojen kohdalla vertailtiin myös NDVI-indeksin lisäksi tilojen hiilivarastoja. Tulokset olivat kuitenkin hiilivarastojen kohdalla yhteneväisiä. Tilalla, jossa toteutettiin hiiliviljelyä, pelto toimi myös hiilinieluna. Tiloilla, joissa ei toteutettu näitä toimenpiteitä, pellot puolestaan toimivat hiililähteinä tai muuttuivat sellaisiksi hyvin nopeasti.

Maaperällä on valtava potentiaali sitoa hiilidioksidia ja tätä potentiaalia ei tällä hetkellä hyödynnetä tarpeeksi. Hiiltä varastoimalla maaperään saadaan myös parannettua maaperän laatua, lisättyä maaperän monimuotoisuutta, vähennettyä maaperästä tulevia huuhtoutumia ja vähennettyä eroosiota. Myös maanviljelijöiden kannalta hiiliviljely on kannattavaa, sillä pitkällä aikavälillä se vähentäisi heidän kustannuksiaan esimerkiksi erilaisten torjunta-aineiden ja maanmuokkauskaluston osalta. Myös maaperän laadun parantuessa satotuotot lisääntyvät ja lisäävät näin tuottavuutta.

Työn johtopäätöksinä voidaan pitää sitä, että hiiliviljely on tärkeässä roolissa hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Tulevaisuudessa sen rooli tulee korostumaan vielä enemmän, kun viljelijöitä saadaan enemmän mukaan toteuttamaan hiiliviljelyä. Hiilensidonnan vaikutuksista osa näkyy hyvin lyhyellä aikavälillä, mutta tulevaisuudessa tärkeämpää olisi keskittyä sen pitkäkestoisiin vaikutuksiin.

LÄHTEET

Agritek. 2020. Kannattavin kylvömuokkaus. Viitattu 17.4.2022. <https://www.agritek.fi/ajankohtaista/kannattavin-kylvomuokkaus>

Agritek. 2019. Sänkimuokkaus ja äestys samalla koneella? Viitattu 17.4.2022. <https://www.agritek.fi/ajankohtaista/potila-sankiaes>

Alcántara, V. Don, A. Well, R. Nieder, R. 2016. Deep ploughing increases agricultural soil organic matter stocks.

Australian Government. 2021. About the Emissions Reduction Fund. Viitattu 22.4.2022. <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/ERF/About-the-Emissions-Reduction-Fund>

Abdalla, M. Hastings, A. Cheng, K. Yue, Q. Chadwick, D. Espenberg, M. Truu, J. Rees, R. Smit, P. 2019. A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity.

Carbon Action. Carbon Action -alusta – Monta hyötyjää. Viitattu 30.5.2022. <https://carbonaction.org/fi/carbon-action-2/>

Carbon Action. Miksi kannattaa suosia niittyjä nurmikoiden sijaan? Viitattu 23.4.2022. <https://carbonaction.org/fi/niityttamisen-hyodyt/>

Carbon Action. 2019. Mikä ihmeen 4/100 ja miksi se koskee meitä? Viitattu 18.4.2022. <https://carbonaction.org/fi/mika-ihmeen-4-1000-ja-miksi-se-koskee-meita/>

Carbon Action. Mitä hiilitiloilla tehdään? Viitattu 30.5.2022. <https://carbonaction.org/fi/viljelijat/>

Carbon Action. 2021. Ruoka ja hiili viljellään samoilla pelloilla. Viitattu 24.5.2022. <https://carbonaction.org/fi/ruoka-ja-hiili-viljellaan-samoilla-pelloilla/>

Carbon Action, Field Observatory. Hiiliviljelymenetelmät. Viitattu 24.4.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/hiilenviljelykaytannot/>

Carbon Action, Field Observatory. Mittaukset ja Tutkimuspellot. Viitattu 18.4.2022 <https://www.fieldobservatory.org/fi/data-ja-testi-pellot/>

Carbon Action, Field Observatory. AE. Viitattu 17.5.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/online-field-data-fi/?site=ae>

Carbon Action, Field Observatory. Haltiala. Viitattu 24.5.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/online-field-data-fi/?site=haltiala>

Carbon Action, Field Observatory. JA. Viitattu 17.5.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/online-field-data-fi/?site=ja>

Carbon Action, Field Observatory. JN. Viitattu 17.5.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/online-field-data-fi/?site=jn>

Carbon Action, Field Observatory. MI. Viitattu 17.5.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/online-field-data-fi/?site=mi>

Carbon Action, Field Observatory. NA. Viitattu 17.5.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/online-field-data-fi/?site=na>

Carbon Action, Field Observatory. PA. Viitattu 17.5.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/online-field-data-fi/?site=pa>

Carbon Action, Field Observatory. PI. Viitattu 17.5.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/online-field-data-fi/?site=pi>

Carbon Action, Field Observatory. Qvidja. Viitattu 24.5.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/online-field-data-fi/?site=qvidja>

Carbon Action, Field Observatory. Ruukki. Viitattu 24.5.2022. <https://www.fieldobservatory.org/fi/online-field-data-fi/?site=ruukki>

Clean energy wire. 2022. Carbon farming explained: the pros, the cons and the EU's plans. Viitattu 18.5.2022. <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/carbon-farming-explained-pros-cons-and-eus-plans>

Edwards, T. Howieson, J. Nutt, B. Yates, R. O'Hara, G. Van Wyk, B. 2019. A ley-farming system for marginal lands based upon a self-regenerating perennial pasture legume

European Commission. Carbon Farming Schemes in Europe.

Euroopan komissio. 2021. Ilmastomuutoksen torjunta. Viitattu 20.05.2022. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/sustainability/environmental-sustainability/climate-change_fi

Euroopan ympäristökeskus. Ilmastomuutoksen hillitseminen. Viitattu 20.05.2022. <https://www.eea.europa.eu/fi/themes/climate/intro>

Euroopan ympäristökeskus. 2010. Maaperä — Unohdettu voimavara. Viitattu 22.4.2022. <https://www.eea.europa.eu/fi/articles/maapera>

Farmer's Weekly. 2022. The layperson's guide to ley farming. 23.5.2022. <https://www.farmersweekly.co.za/crops/field-crops/the-laypersons-guide-to-ley-farming/>

FICA Suomen CA-viljelyn yhdistys. CA-viljely sitoo ja varastoi hiiltä maahan ja vähentää ravinnepestäjä vesistöihin. CO₂ mittaukset ja <https://www.suorakylvo.fi/images/CA-viljelyn-ympristedut-2020.pdf> CA-viljelykyselytutkimukset.

Field observatory. Hiilensidonta. Viitattu 15.4.2022 <https://www.fieldobservatory.org/fi/hiilensidonta/>

Genano. 2020. Kasvihuonekaasut ja niiden haitallisuus. Viitattu 15.4.2022. <https://www.genano.com/fi/tietopankki/kasvihuonekaasut-ja-niiden-haitallisuus>

Heinonsalo, J. 2020. Hiiliopas. Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin. 1.painos.

Honkanen, H. Turtola, E. Lemola, R. Heikkinen, J. Nuutinen, V. Uusitalo, R. Kaseva, J. Regina, K. 2021. Response of boreal clay soil properties and erosion to ten years of no-till management.

Ilmasto-opas.fi. 2013. Dityppioksidi. Viitattu 16.4.2022. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/dityppioksidi>

Ilmasto-opas.fi. 2013. Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. Viitattu 16.4.2022. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku#referenc>

Ilmasto-opas.fi. 2021. Kasvihuoneilmio ja ilmakehän koostumus. Viitattu 14.4.2022. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuoneilmio-ja-ilmakehan-koostumus>

Ilmasto-opas.fi. 2013. Metaani. Viitattu 16.4.2022. https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/metaani#ref_ref1

Ilmasto-opas.fi. 2013. Otsoni kasvihuonekaasuna. Viitattu 16.4.2022. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/otsoni>

Joona, J. 2019. Hiiliviljely käytännössä.

Joona, J. 2013. Maanparannus- ja kalkitusaineet. RaHa -hankkeen materiaali.

Joona, J. Mattila, T. Rajala, J. 2019. Maan syväkuohkeuttaminen. Tietokortti.

Karttunen, K. Berninger, K. Granholm, K. Huttunen, S. Kekkonen, H. Lehtonen, H. Lähteenmäki-Uutela, A. Lötjönen, T. Mattila, T. Miettinen, A. Niemi, J. Regina, K. Savikurki, A. Sorvali, J. Söderlund, S. Virkkunen, E. Kaljonen, M. Mäkipää, R. 2021. Soil as part of climate solution – agricultural policy reform to promote climate-smart agriculture.

Känkänen, H. Keskitalo, M. Riiko, K. 2011. Kerääjäkasvit - tutkimuksesta käytännön kokemuksiin.

Laulajainen, J. 2019. Opas rotaatiolaidunnukseen.

Lipasto. Hiilidioksidiekvivalentti CO₂ekv. Viitattu 22.5.2022. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/co2ekvs.htm>

Malin, E. 2020. Kerääjäkasviopas

Mattila, T. Hagelberg, E. Söderlund, S. Joonas, J. 2022. How farmers approach soil carbon sequestration? Lessons learned from 105 carbon-farming plans.

Mattila, T. Rajala, J. 2019. Muokkausjärjestelmän valinta: Miksi ja miten maata muokataan? Tietokortti.

Mattila, T. Saarinen, P. 2020. Laidunnusopas. 1.painos.

Motiva. Päästökauppa. Viitattu 23.5.2022. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjaukskeinot/paastokauppa>

Naukkarinen, V. 2021. Kosteikkoviljelyn kasviopas. 1. painos.

Oivukkamäki, J. 2018. Kasvin stressin määrittäminen lehtitasolla klorofyllifluoresenssin ja reflektanssi-indeksien avulla.

Paustian, K. Larson, E. Kent, J. Marx, E. Swan, A. 2019. Soil C Sequestration as a Biological Negative Emission Strategy.

Prommer, J. Walker, T. Wanek, W. Braun, J. Zezula, D. Hu, Y. Hofhansl, F. Richter, A. 2019. Increased microbial growth, biomass, and turnover drive soil organic carbon accumulation at higher plant diversity

Puuteollisuus hankeportaali. 2018. Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit (PaiBiRa). Viitattu 15.5.2022. [https://www.hankeportaali.fi/hankkeet/121-paikalliset-biopohjaiset-rakennusmateriaalit-\(paibira\)](https://www.hankeportaali.fi/hankkeet/121-paikalliset-biopohjaiset-rakennusmateriaalit-(paibira))

Ranganathan, J. Searchinger, T. Waite, R. Zions, J. 2020. Regenerative Agriculture: Good for Soil Health, but Limited Potential to Mitigate Climate Change.

Reaktor Education. Kerääjä-, alus- ja syväjuuriset kasvit sekä typensidonta. Viitattu 27.5.2020. <https://courses.reaktor.education/fi/courses/regenfarming/maksimoi-yhteytys-mikrobit-ja-suoja/typensidonta/>

Reaktor Education. Monimuotoisuuden lisääminen. Viitattu 17.5.2022. <https://courses.reaktor.education/fi/courses/regenfarming/perehdy-valinnaisiin-aiheisiin/monimuotoisuuden-lisaaminen/>

Riikonen, A. 2019. Biohiili ja sen käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa.

Rocket skills. 2020. Getting started with ley farming - All the basics. Viitattu 30.4.2020. <https://rocketskills.in/blog/getting-started-with-ley-farming-all-the-basics/>

Ruralia-instituutti. Alus- ja kerääjäkasvien mahdollisuudet hyödyksi. Viitattu 25.5.2022. <https://www2.helsinki.fi/fi/ruralia-instituutti/koulutus/luomutietoverkon-materiaalit/alus-ja-kerääjäkasvien-mahdollisuudet-hyodyksi>

Ryals, R. Hartman, M. Parton, W. DeLonge, M. Silver, W. 2015. Long-term climate change mitigation potential with organic matter management on grasslands.

Sharma, M. Kaushal, R. Kaushik, P. Ramakrishna, S. 2021. Carbon Farming: Prospects and Challenges. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/19/11122/htm>

Sjöblom, H. 2015. Järki-isku 14: Riistapelto.

Sjöblom, H. 2015. Järki-isku 18: Maakuhinaa.

Smith, J. 2015. Tree Crops: A Permanent Agriculture

Strickler, D. 2021. The Complete Guide to Restoring Your Soil. Sivut 210–222

Strickler, D. 2021. The Complete Guide to Restoring Your Soil. Sivut 301–302.

Suomen biohiiliyhdistys. Biohiili, puuhiili, hydrohiili, kivihiili ja aktiivihiili. Viitattu 26.4.2022. <https://www.suomenbiohiili.fi/biohiili/>.

Suomen luonnonsuojeluliitto. Metsät ja Ympäristö. Viitattu 20.4.2022. <https://www.sll.fi/raasepori/toiminta-x/maisemasi/metsat-ja-ymparisto/>

The Counter. 2017. How carbon farming could halt climate change. Viitattu 22.4.2022. <https://thecounter.org/how-carbon-farming-could-halt-climate-change/>

Tieteen kuvalehti. 2021. Mikä on kasvihuoneilmiö ja miten se syntyy? Viitattu 15.4.2022. <https://tieku.fi/luonto/ilmastonmuutos/mika-on-kasvihuoneilmio-ja-miten-se-syntyy>

Tilastokeskus. 2021. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2020. Viitattu 16.4.2022. https://www.stat.fi/til/khki/2020/khki_2020_2021-12-16_kat_001_fi.html

Toensmeier, E. 2016. The carbon farming solution. Sivut 85–94

Työ- ja elinkeinoministeriö. Päästökauppadirektiivi. Viitattu 19.4.2022. <https://tem.fi/paastokauppadirektiivi>

Waite, R. Hanson, C. Ranganathan J. 2019. Creating sustainable food future.

WWF. Ilmastonmuutos. Viitattu 13.4.2022. <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/>

WWF. Pariisin ilmastopimus. Viitattu 18.4.2022. <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/pariisin-ilmastopimus/>

Yara. Viljelykasvit sitovat hiiltä. Viitattu 23.4.2022. <https://www.yara.fi/tietoa-yarasta/vastuullisuus/ymparisto/kestava-maatalous/hiilensidonta/>

Ympäristöministeriö. Pariisin ilmastopimus. Viitattu 18.4.2022. <https://ym.fi/pariisin-ilmastopimus>

Zhang, Q. Xiao, J. Xue, J. Zhang, L. 2020. Quantifying the Effects of Biochar Application on Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Soils: A Global Meta-Analysis.