



# HIILIVIISAS TAIMITUOTANTO

Maataloudessa tunnettujen hiiliviljelykäytäntöjen soveltuvuus  
avomaan taimituotantoon

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakennettu ympäristö, hortonomi

Kevät 2024

Jyrki Santala

Ilmastomuutos on yksi suurimmista maapallon tulevaisuutta uhkaavista ongelmista. Ihmisten toiminnasta aikaansaatu ilmastonmuutosta ei voida enää pysäyttää, mutta sen vaikutuksiin pyritään sopeutumaan ja ilmastonmuutoksen etenemistä hillitsemään. Fossiilisten polttoaineiden käytön rajoittaminen tai niistä kokonaan luopuminen ei yksin riitä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, vaan sen lisäksi tarvitaan toimia, jotka vahvistavat hiilen varastointia maaperään. Tarvitaan uudenlaista ajattelu- ja toimintatapaa hiiltä sitovien viljelykäytäntöjen käyttöönottoon myös avomaan taimituotannossa.

Hiiliviljely on yksi osa uudistavaa eli regeneratiivista viljelyä. Regeneratiivissa viljelyssä keskiössä on maan hoito, mutta samalla parannetaan ympäristön tilaa ja maatalan kannattavuutta kokonaisvaltaisesti. Hiiliviljely tarkoittaa toimia, joilla pyritään lisäämään hiilen pitkäaikaista varastointia maaperään, mutta myös estämään sen karkaamista ilmakehään.

Tutkimuksen tavoitteena on teemahaastattelun pohjalta hakea vastausta kysymykseen, voidaanko maataloudessa tunnettuja hiiliviljelyn käytäntöjä soveltaa avomaan taimituotantoon? Maataloudessa tunnettuja hiiliviljelyn käytäntöjä ovat jatkuva kasvipeitteisyys, muokkauksen minimointi, eloperäisen aineksen lisääminen, viljelykierto ja kerääjäkasvien käyttö. Tutkimuksessa haastateltiin viiden eri avomaan taimituotantoa harjoittavan taimiston edustajaa.

Tutkimustulosten perusteella voidaan vetää se johtopäätös, että avomaan taimituotantoon voidaan soveltaa maataloudessa tunnettuja hiiliviljelyn käytäntöjä. Käytännössä niin jo menetelläänkin, vaikka taimistot eivät sitä itse hiiliviljelyksi kutsukaan. Viljelykierto ja kerääjäkasvien käyttö on yleisesti käytössä. Maan muokkausta pyritään minimoimaan ja eloperäistä ainesta lisätään viljelykierron yhteydessä. Jatkuvan kasvipeitteisyyden toteuttamisessa on haasteita, jotka liittyvät käytettävissä olevan pinta-alan riittävyyteen ja kaluston uusimistarpeeseen.

Climate change is one of the greatest threats to the future of the planet. The climate change caused by human activity cannot be stopped anymore, but efforts are being made to adapt to its effects and mitigate its progress. Restricting or completely abandoning the use of fossil fuels alone is not sufficient to mitigate climate change. In addition, actions are needed to enhance carbon storage in the soil. A new mindset and approach are required to implement carbon-sequestering agricultural practices, including in open-field nursery production.

Carbon farming is one part of regenerative agriculture. In regenerative agriculture, the focus is on soil management while simultaneously improving environmental conditions and the overall profitability of the farm. Carbon farming involves actions aimed at increasing long-term carbon storage in the soil and preventing its release into the atmosphere.

The aim of the study is, based on thematic interviews, to find an answer to the question of whether known carbon farming practices in agriculture can be applied to open-field nursery production or not. Known carbon farming practices in agriculture include continuous vegetation cover, minimal tillage, addition of organic matter, crop rotation, and use of cover crops. The study interviewed representatives from five different open-field nurseries.

Based on the research findings, it can be concluded that known carbon farming practices in agriculture can be applied to open-field nursery production. In practice, these methods are already being used, even though nurseries themselves may not label it as carbon farming. Crop rotation and the use of cover crops are commonly employed. Minimizing soil disturbance and adding organic matter during crop rotation are also practiced. Implementing continuous vegetation cover faces challenges related to available land area and the need for equipment upgrades.

Keywords Carbon sequestration, climate change, nursery production.  
Pages 70 pages and appendices 1 pages

# Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Globaali ilmastonmuutos .....	2
2.1	Kasvihuoneilmiö .....	2
2.2	Ilmaston lämpeneminen .....	3
3	Ilmastonmuutoksen seuraukset .....	7
3.1	Ilmastonmuutosskenaariot .....	8
3.2	Ilmastonmuutoksen globaalit seuraukset .....	10
3.2.1	Sään ääri-ilmiöt .....	10
3.2.2	Merien lämpeneminen .....	12
3.2.3	Merenpinnan nousu .....	13
3.2.4	Jäätiköiden jäämassan pientyminen .....	13
3.2.5	Napamerien jääpeitteen sulaminen .....	14
3.2.6	Sosiaaliset uhat .....	15
3.2.7	Liiketoiminnalliset uhat .....	15
3.2.8	Alueelliset uhat .....	16
3.3	Ilmastonmuutoksen vaikutus suomalaiseseen taimistoviljelyyn .....	17
4	Tavoitteet ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi .....	23
5	Hiilin sitominen .....	25
5.1	Hiilen kierto .....	25
5.2	Hiilen sitoutuminen maaperään .....	27
5.2.1	Orgaaninen hiili .....	27
5.2.2	Mikrobit hiilensitojina .....	29
5.2.3	Sienijuurten hiilensidonta .....	32
6	Maan viljavuus ja kasvukunto .....	34
6.1	Maan viljavuus .....	34
6.2	Maan kasvukunto .....	36
6.2.1	Maan biologinen kasvukunto .....	36
6.2.2	Maan kemiallinen kasvukunto .....	37
6.2.3	Maan fyysinen kasvukunto .....	39
7	Hiiliviljely osana uudistavaa eli regeneratiivista viljelyä .....	42
7.1	Viljelymenetelmien vaikutus maan hiilivarastojen muutokseen .....	43
7.2	Hiiliviljelykäytännöt .....	44
8	Teemahaastattelu tutkimusmenetelmänä .....	45
9	Haastattelutulosten analysointi .....	46

9.1	Taustatiedot .....	46
9.2	Lisäysmateriaali .....	48
9.3	Pohjamaan vaikutus taimistoviljelyyn .....	48
9.4	Hiiliviljelykäytäntöjen soveltaminen .....	50
9.4.1	Jatkuvapeitteinen kasvatus.....	50
9.4.2	Maan muokkauksen minimointi.....	52
9.4.3	Eloperäisen aineksen lisäys .....	54
9.4.4	Viljelykierto ja kerääjäkasvien käyttö.....	55
10	Pohdintaa ja johtopäätökset .....	58
	Lähteet .....	60

## Kuvat, taulukot

Kuva 1. Auringonsäteilyn keskimääräinen teho ja sen jakautuminen ilmakehässä ja maan pinnalla. Luvut ovat $W/m^2$ . (Merinova, 2016) .....	2
Kuva 2. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuudet vuodesta 1958 (Nasa, 2024).4	
Kuva 3. Fossiilisista energialähteistä peräisin olevien hiilidioksidipäästöjen kehitys (Ilmasto-opas, 2022b). .....	5
Kuva 4. Ilmakehän metaanipitoisuudet vuodesta 1984 (Nasa, n.d.-a). .....	6
Kuva 5. Maapallon lämpötilan, ilmakehän hiilidioksidin ja maapallon väkiluvun muutos vuosina 1960–2020 (Heiskanen, 2020). .....	7
Kuva 6. IPCC:n eri SSP-skenaarioita vastaavat hiilidioksidin maailmanlaajuiset päästöt (IPCC, 2022a). .....	9
Kuva 7. Meren lämpösisällön muutos vuodesta 1955 (Nasa, 2022). .....	12
Kuva 8. Merenkorkeuden vaihtelu 1993-2023 (Nasa, 2023). .....	13
Kuva 9. Grönlannin jäämassan vaihtelu vuodesta 2002 (Nasa, n.d.-c). .....	14
Kuva 10. Arktisen merijään syyskuinen vähimmäislaajuus vuodesta 1979 (NASA, n.d.-b). .....	14
Kuva 11. Vuoden keskilämpötilan muutos Suomessa vuosina 2000–2085 (Ilmasto-opas, 2017). .....	18
Kuva 12. Lämpösumma vuosina 1971–2000 sekä ennuste jaksoille 2020–2047 ja 2070–2099 (Ilmasto-opas, 2018). .....	20
Kuva 13. Lämpösumman 30-vuotias liukuva keskiarvo pisteessä 60.9° N, 24.4°E lähellä Hämeenlinnaa (Ruosteenoja, 2019). .....	20
Kuva 14. Päästövähennystoimien riittävyys (Ilmasto-opas, 2023). .....	24
Kuva 15. Hiilen kierto (Naukkarinen ym., n.d.). .....	26

Kuva 16. Fotosynteesin valoreaktio ja Calvin-Benson-kierto (EduRev, n.d.).	27
Kuva 17. Maaperän hiilivaraston muodostuminen (Peltonen ym., 2019).	32
Kuva 18. Viljavan maan toiminta (Rajala, 2006).	35
Kuva 19. Maan kasvukunnan osa-alueet (Rantala, 2018).	36
Kuva 20. Uudistavan viljelyn peruseriaatteet (Sädeharju & Malin, n.d.).	45
Kuva 21. Kerääjäkasvin vaikutukset (Malin, 2020).	57
Taulukko 1. Sään ääri-ilmiöiden todennäköisen esiintymisen muutokset ja ihmisen vaikutus niihin (IPCC, 2014).	11
Taulukko 2. Suuntaa-antava kuvaus lämpötiloihin liittyvistä muutoksista Etelä- ja Pohjois-Suomessa 2100-luvun lopulle tultaessa vuodenajoittain. Nollapistepäivinä lämpötila vaihtelee pakkasen ja suojasään välillä (Ilmasto-opas, 2017).	21
Taulukko 3. Hiilen jakautuminen maaprofiilissa (Yli-Halla 2019).	28
Taulukko 4. Keskimääräiset hiilipitoisuudet (g/kg) maalajeittain Suomessa (Luke, n.d.).	29
Taulukko 5. Maalajitteiden luokittelu ja lajitteiden nimitykset (Sädeharju ym., n.d.).	39
Taulukko 6. Viljelytoimenpiteiden vaikutus maan hiilivaraston muutokseen (Heinonsalo ym., 2020).	44
Taulukko 7. Haastatellut yritykset.	45
Taulukko 8. Taimistojen taustatiedot.	46
Taulukko 9. Lehtipuiden suuntaa-antavat kasvatusajat (Taimisto Huutokoski, 2021).	47

## **Liitteet**

Liite 1. Teemahaastattelun runkokysymykset

# 1 Johdanto

Ajatus opinnäytetyön aiheesta syntyi kiinnostuksesta uudistavaan eli regeneratiiviseen viljelyyn entisenä luomuviljelijänä ja hiiliviljelyyn puutarhaharrastajana. Kun mukaan liitetään myös ilmastonmuutos, muodostui kysymys siitä, voidaanko avomaan taimituotantoon soveltaa maataloudessa tunnettuja hiiliviljelykäytäntöjä?

Ilmastonmuutos on edennyt pisteeseen, jossa fossiilisten polttoaineiden käytön rajoittaminen ei yksin riitä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, vaan sen lisäksi hiilen sitomista maaperään tulee vahvistaa. Noin neljäsosa fossiilisten polttoaineiden päästöistä on sitoutunut kasveihin ja maaperään. Jotta maaperään ja kasveihin voitaisiin sitoa nykyistä enemmän hiiltä, tarvitaan uudenlaista ajattelu- ja toimintatapaa hiiltä sitovien viljelykäytäntöjen käyttöönottoon olipa kyse maanviljelystä tai avomaan taimituotannosta. Maaperän eloperäisen aineen varastoja ja hiilen varastoitumista takaisin maaperään voidaan kasvattaa oikein valituilla ja sovelletuilla käytännöillä.

Hiiliviljely on osa uudistavaa viljelyä, joissa molemmissa pyritään maksimoidaan yhteytys ja mikrobitoiminta ja minimoimaan maaperään kohdistuvat häiriöt. Korostettaessa uudistavien viljelymenetelmien maaperän kuntoa parantavia ja hiilivarastoa kasvattavia ominaisuuksia puhutaan hiiliviljelystä. Uudistava maatalous taas tarkoittaa hiiliviljelyä monipuolisemmin koko ekosysteemiä elvyttävää viljelytapaa, jonka ytimenä on maan kasvukunto. Hyvän kasvukunnon omaava maa tuottaa laadullisesti hyvän sadon, mutta sitoo myös hiiltä. Uudistavalla viljelyllä tavoitellaankin hyvän sadon lisäksi maaperän kasvukunnon parantamista, luonnon monimuotoisuuden lisääntymistä ja säilymistä sekä maan hiilivaraston kasvua.

Tässä opinnäytetyössä ei lasketa hiilijalanjälkeä eikä hiilitasetta, vaan teemahaastattelun pohjalta hakea vastausta kysymykseen hiiliviljelykäytäntöjen käyttömahdollisuudesta avomaan taimituotannossa.

## 2 Globaali ilmastonmuutos

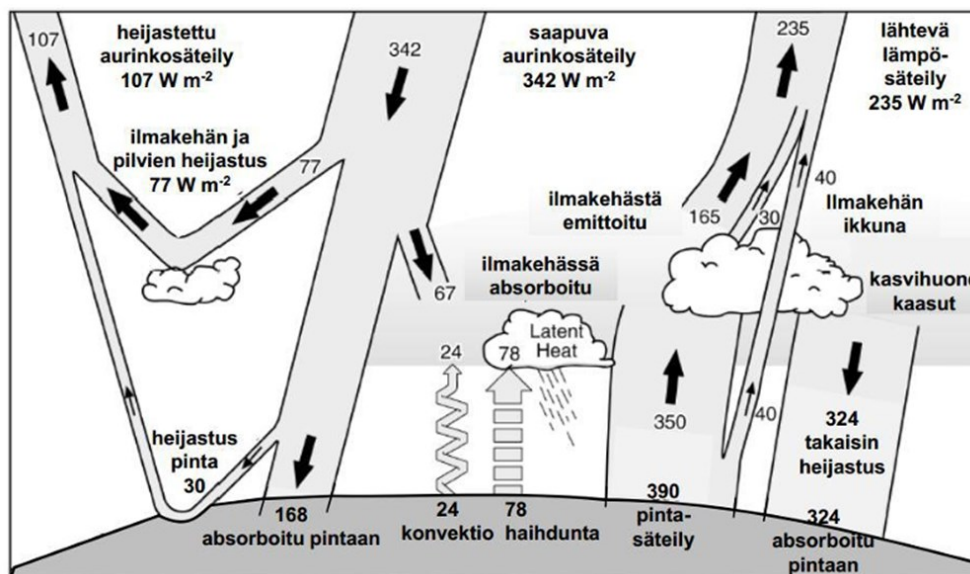
Ilmastonmuutos on yksi suurimmista maapallon tulevaisuutta uhkaavista ongelmista. Ihmisten toiminnasta aikaansaatu ilmastonmuutosta ei voida enää pysäyttää, mutta sen etenemistä voidaan hillitä ja vaikutuksiin sopeutua (IPCC, 2022).

Ilmastonmuutoksen merkittävin aiheuttaja on kasvihuoneilmiö. Kasvihuoneilmiö aiheuttaa ilmaston lämpenemisen, jolla on kauaskantoiset seuraukset myös avomaan taimistoviljelyyn. Tulevaisuudessa taimistoviljelyn haasteena tulee olemaan erityisesti äärevät sääolosuhteet, joiden vaikutuksia voidaan hillitä ottamalla käyttöön uusia viljelykäytäntöjä.

### 2.1 Kasvihuoneilmiö

Maapallon ilmakehää on verrattu kasvihuoneen lasikattoon, joka päästää auringosta tulevan säteilyn sisään, mutta samalla estää lämpösäteilyä karkaamasta takaisin avaruuteen. Auringon säteilytehoa saapuu maapallolle keskimäärin noin  $340 \text{ W/m}^2$ . Luku on laskettu yli koko maapallon ja mukana on myös säteilystä paitsi jäävä yöpuoli. Säteilystä noin 70 % imeytyy pääasiassa maahan ja merien pintakerrokseen loppuosan heijastuessa takaisin avaruuteen. (Nevanlinna, 2008. ss. 43–44)

Kuva 1. Auringonsäteilyn keskimääräinen teho ja sen jakautuminen ilmakehässä ja maan pinnalla. Luvut ovat  $\text{W/m}^2$ . (Merinova, 2016)



Maapallolla kasvihuoneen lasikaton tehtävästä huolehtivat ilmakehän alimmissa kerroksissa kasvihuonekaasut. Näistä voimakkain on vesihöyry ( $\text{H}_2\text{O}$ ), joka vastaa luonnollisen

kasvihuoneilmiön aiheuttamasta maapallon lämpenemisestä yli puolet. Toista sijaa pitää yllä hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ). Näiden kaasujen pitoisuus on hyvin pieni verrattuna ilmakehän valta-kaasuihin typpeen ( $\text{N}_2$ ) ja happeen ( $\text{O}_2$ ), mutta siitä huolimatta ne ottavat talteen noin 90 % maanpinnan ja merien lähettämästä lämpösäteilystä. Merkittävimmät luonnostaan ilmakehässä esiintyvät kasvihuonekaasut vesihöyryn ja hiilidioksidin lisäksi ovat metaani ( $\text{CH}_4$ ), dityppioksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ja otsoni ( $\text{O}_3$ ). Ilmakehän valtakaasuista typpi ja happi eivät aiheuta kasvihuoneilmiötä, koska kasvihuonekaasujen molekyyliarakenteen ominaisuudet antavat niille kyvyn imeä lämpösäteilyä tietyillä aallonpituuksilla. Näin niillä on kyky muuttaa saamansa energia uudelleen säteilyksi, josta osa palaa takaisin lämmittämään maan pintaa ja osa karkaa avaruuteen. (Nevanlinna, 2028, s. 45) Fysikaalisesti kyse on siis siitä, että erityisesti hiilidioksidi absorboi ultraviolettisäteilyä. Hiilidioksidipitoisuuden nousu ilmakehässä saa maan pinnan lämpötilan nousemaan, koska yhä suurempi osa maan pinnan ultraviolettisäteilystä absorboituu ilmakehään eikä pääse karkaamaan avaruuteen (Lawrence, 2023, s. 69).

Maapallon pintalämpötilan määrittää auringon energian lämmittävän vaikutuksen ja maapallolta poissäteilevän energian muodostama energiatasapaino. Ilman luonnollista kasvihuoneilmiötä maapallon pintalämpötila olisi 20–30 astetta kylmempi ja vesien jäätyminen vuoksi planeettamme olisi asuinkelvoton. Kasvihuoneilmiö on siten osa luonnonjärjestystä, jonka ansiosta maapallon lämpötila on elämälle suosiollinen keskilämpötilan ollessa 14,4 °C. (Taalas, 2021, ss. 37–38)

## 2.2 Ilmaston lämpeneminen

Joulukuun 12 päivänä 2015 Pariisissa solmittiin kansainvälinen, oikeudellisesti sitova sopimus ilmastonmuutoksesta eli Pariisin ilmastosopimus. Sopimus astui voimaan 4.11.2016 ja sen on ratifioinut Suomen lisäksi 192 osapuolta. Pariisin sopimuksen tavoitteena on kääntää maailmanlaajuiset kasvihuonekaasupäästöt laskuun mahdollisimman pian ja että ihmisen aiheuttamat kasvihuonekaasujen päästöt ja päästöjä sitovat nielut ovat tasapainossa tämän vuosisadan jälkipuoliskolla. Näiden toimien tavoitteena on pitää maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle kahdessa asteessa suhteessa esiteolliseen aikaan. Lopullisena tavoitteena oli rajoittaa lämpeneminen alle 1,5 asteen. (Ilmasto-opas, 2022a)

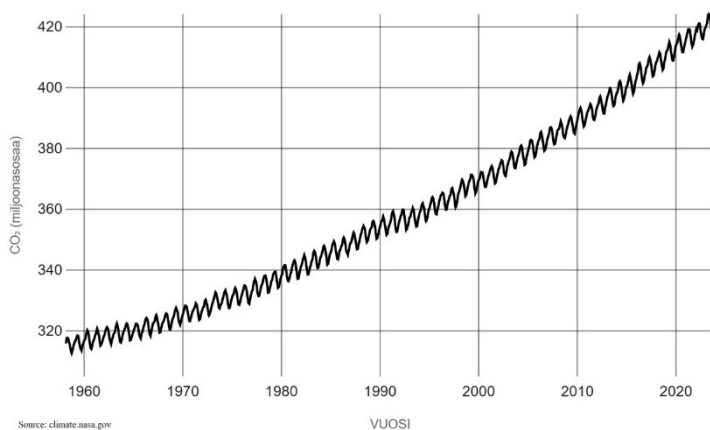
IPCC:n eli hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (Intergovernmental Panel on Climate Change) kuudennen arviointiraportin mukaan jokainen viimeksi kuluneista neljästä vuosikymmenestä on ollut lämpimämpi kuin mikään sitä edeltävä vuosikymmen vuodesta 1850 lähtien. Maapallon keskimääräinen pintalämpötila oli vuosina 2001–2020 0,99 °C

korkeampi kuin vuosina 1850–1900. Suoraan ihmiskunnan toimista aiheutunut maapallon keskilämpötilan nousu vuoden 1850 jälkeen on ollut 1,07 °C. Tällä aikavälillä kasvihuonekaasut aiheuttivat lämpenemistä 1,0–2,0 astetta, kun taas ihmisten tuottamat pienhiukkaspäästöt jäähdyttivät maapalloa 0,0–0,8 asteella. (IPCC, 2022, s. 3)

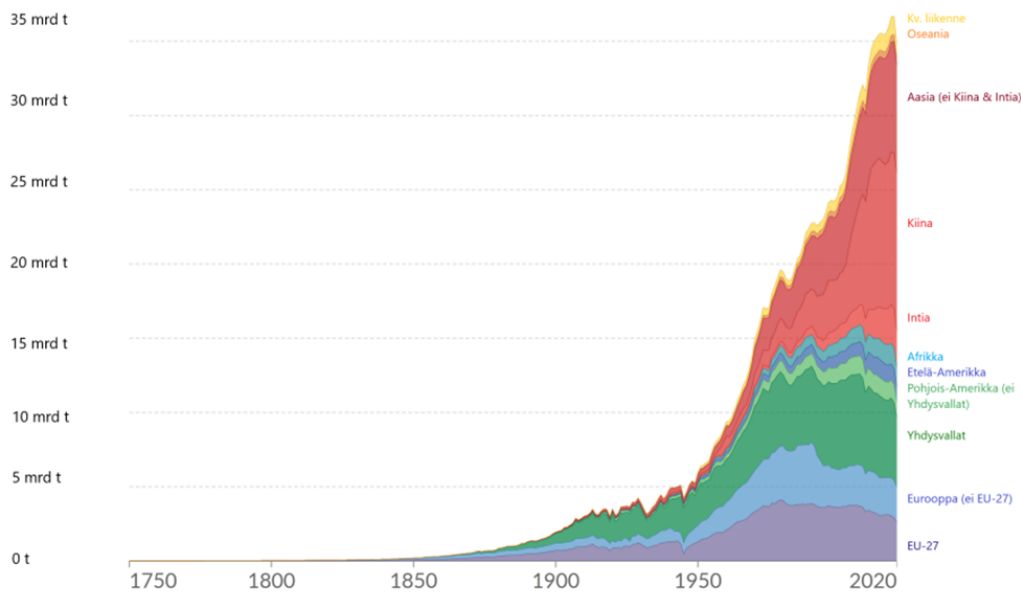
Useat kasvihuonekaasut esiintyvät ilmakehässä luonnostaan, mutta ihmisen toiminta lisää erityisesti hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>), metaanin (CH<sub>4</sub>) ja dityppioksidin (N<sub>2</sub>O) määrää. Eniten ilmaston lämpenemistä aiheuttaa ihmisen toiminnasta syntyvä hiilidioksidi, jonka osuus kasvihuonepäästöstä oli vuonna 2021 noin 75 prosenttia (Ritchie ym., 2024). Hiilidioksidia syntyy fossiilisten polttoaineiden (kivihiilen, öljyn ja maakaasun) talteenotosta ja polttamisesta sekä maastopaloista ja luonnollisista prosesseista, kuten tulivuorenpurkauksista. Suuri päästölähde on myös trooppisten metsien hävittäminen ja muu maankäytön muuttuminen. (Ilmasto-opas, n.d.-b) Yksittäisenä suurena hiilidioksidipäästön lähteenä on sementin valmistus, joka aiheuttaa Suomen hiilidioksidipäästöistä 1,9 % ja maailman hiilidioksidi-päästöistä 7 % (Finnsementti, 2022, s.14).

Tammikuussa 2024 ilmakehän hiilidioksidipitoisuudeksi mitattiin 423 miljoonasosaa (ppm, Parts per million,) eli 150 prosenttia enemmän kuin esiteollisella kaudella ennen vuotta 1750 (Nasa, 2024). Viimeisen 60 vuoden aikana maaperä, kasvillisuus ja valtameret ovat sitoneet itseensä 56 % ihmiskunnan tuottamista hiilidioksidipäästöistä. (IPCC, 2022, s.3)

Kuva 2. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuudet vuodesta 1958 (Nasa, 2024).



Kuva 3. Fossiilisista energialähteistä peräisin olevien hiilidioksidipäästöjen kehitys (Ilmasto-opas, 2022b).

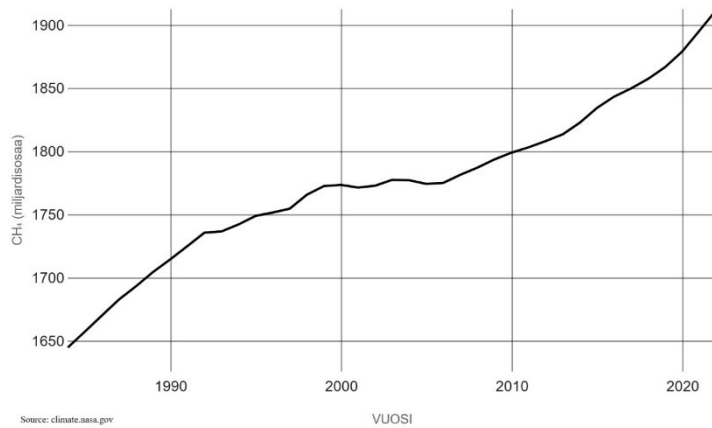


Kuvassa 3 on esitetty fossiilisista energialähteistä peräisin olevien hiilidioksidipäästöjen kehitys maailmassa alkaen teollistumisesta nykypäivään gigatonneina (miljardia tonnia). Kuvasta voidaan päätellä, että hiilidioksidipäästöt kasvavat etenkin kehittyvissä maissa. Teollisuusmaissa puolestaan päästöjen kasvu on tasoittunut tai ovat lähteneet laskuun. Kiinan osuus maailman kasvihuonekaasupäästöistä on kasvanut nopeasti 2000-luvulta lähtien. Vuonna 2020 maailman neljä suurinta kasvihuonekaasujen tuottajaa olivat Kiina (osuus CO<sub>2</sub>-päästöistä 30,7 % ja maailman kumulatiivisista CO<sub>2</sub>-päästöistä 14 %), Yhdysvallat (13,5 %/25 %), EU (8,6 %/18 %) ja Intia (7 %/3 %). Suomen kumulatiiviset CO<sub>2</sub>-päästöt olivat 0,19 %. Nämä luvut eivät sisällä maankäytön muutoksista syntyneitä päästöjä. Huomattava on, että ilmastokeskustelun tikunnokkaan otetun lentoliikenteen ja merenkulun osuus on 3,6 %. (Ritchie ym., 2023; Ilmasto-opas, 2022b)

Metaani (CH<sub>4</sub>) on voimakas kasvihuonekaasu ja hiilidioksidin jälkeen toiseksi suurin ilmaston lämpenemisen aiheuttaja. Kokonaispäästöistä metaanin osuus on noin 19 prosenttia. Ottamatta huomioon ilmaston takaisinkytkentää yksi tonni metaania tuottaisi 100 vuoden aikajänteellä 28-kertaisen määrän lämpenemistä verrattuna tonniin hiilidioksidia. Metaanin elinikä ilmakehässä on vain 7–2 vuotta, kun taas hiilidioksidi voi säilyä satoja vuosia tai kauemminkin. (Ritchie ym., 2024) Metaania syntyy eloperäisen aineen hajotessa hapettomissa oloissa, kuten riisipelloilla, märehitjööitten suolistossa ja kaatopaikoilla sekä luonnossa kosteikoilla, soilla ja vesistöjen pohjakerroksissa. Suurin metaanin päästölähde onkin maatalous. Metaanin päästöistä ihmiskunta on tuottanut noin 2/3 loppuosan ollessa luonnollista perua. Metaanin pitoisuus ilmakehässä on yli kaksinkertaistunut viimeisen 200

vuoden aikana. Vuonna 2022 ilmakehän metaanipitoisuus oli 1912 miljardiosaa (ppb, Parts per billion) ja on yhä nousussa. Tämä nousu vastaa 20–30 prosentin osuutta ilmaston lämpenemisestä vuoden 1750 jälkeen. (IPCC, 2022a, s. 8; Nasa, n.d.-a)

Kuva 4. Ilmakehän metaanipitoisuudet vuodesta 1984 (Nasa, n.d.-a).



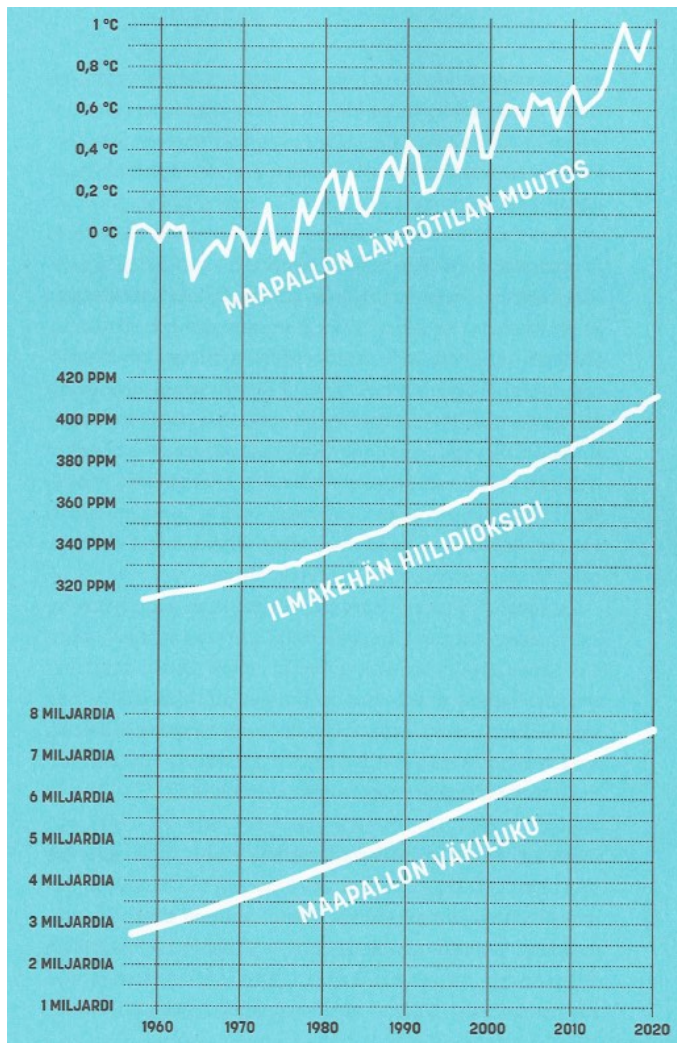
Dityppioksidia (typpioksiduuli tai ilokaasu, N<sub>2</sub>O) muodostuu maaperässä nitraattien (muun muassa typpilannoitteiden) hajotessa. Kokonaispäästöistä dityppioksidin osuus on noin 5 prosenttia, mutta sadan vuoden aikajänteellä ja ottamatta huomioon ilmaston takaisinkytkentää tonni typpioksiduulia tuottaisi 265-kertaisen lämpenemisen hiilidioksiditonniin verrattuna (Ritchie ym., 2024). Maatalouden harjoittaminen tuottaa runsaan kolmasosan kaikista dityppioksidin päästöistä. Loppuosa dityppioksidista on peräisin luonnosta, lähinnä maaperän ja merien mikrobitoiminnan seurauksena. Dityppioksidin elinikä ilmakehässä on noin 110 vuotta. Ilmakehän dityppioksidin määrä kasvaa koko ajan tasaisesti ja on lisääntynyt noin 20 %, 325 miljardiosaan (ppb), vuoden 1750 jälkeen. (Ilmasto-opas, n.d.-c)

Kuvassa 5 on esitetty maapallon lämpötilan, ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden ja maailman väkiluvun muutosta kuvaavat käyrät, jotka kaikki ovat lähes samansuuntaisia. Taulukoita tutkimalla voisi päätyä siihen lopputulokseen, että ilmastonmuutos johtuu väestönkasvusta, koska maapallon väestö on kasvanut räjähdysmäisesti 1960-luvun kolmesta miljardista 2020-luvun kahdeksaan miljardiin. Kolmannen miljardin ylityksen jälkeen väestönkasvu vain kiihtyi; neljäs miljardi ylitettiin 14 vuodessa, mutta kahdeksannen miljardin ylitykseen tarvittiin enää 10 vuotta. (Tilastokeskus, n.d.)

Syy-seuraussuhde ei kuitenkaan ole näin suoraviivainen. Saharan eteläpuolisessa Afrikassa syntyvyys on maailman korkeinta, mutta hiilidioksidipäästöt henkeä kohti ovat maailman pienimmät – vuonna 2022 tonni/asukas, kun vastaavasti Suomessa 6,5 tonnia/asukas

(Ritchie ym., 2023). Yhdysvallat tuottaa Kiinan jälkeen maailmassa toiseksi eniten hiilidioksidipäästöjä, vaikka sen väestö kasvaa hitaimmin 80 vuoteen. Kuitenkin Kiinan osuus maailman kumulatiivisista CO<sub>2</sub>-päästöistä on 14 % ja Yhdysvaltain 25 %. Yhdysvalloissa elää alle viisi prosenttia maailman väestöstä, mutta he kuluttavat neljänneksen maailman öljystä, 23 prosenttia kivihiilestä ja kolmanneksen paperista. Juurisyynä päästöjen kasvuun voidaankin pitää kulutuksen lisääntymistä väestönkasvun sijasta. (Sasser, 2019)

Kuva 5. Maapallon lämpötilan, ilmakehän hiilidioksidin ja maapallon väkiluvun muutos vuosina 1960–2020 (Heiskanen, 2020).



### 3 Ilmastonmuutoksen seuraukset

Arkikeskustelussa, keskustelupalstoilla ja sosiaalisen mediassa ilmastonmuutoksen seurauksia usein vähätellään toteamalla, että aina on ollut kylmiä talvia, helteisiä kesiä ja voimakkaita tuulia. Kylmänä talvipäivänä kysellään, missä on ennustettu ilmaston

lämpeneminen. Näissä keskusteluissa termit sää ja ilmasto rinnastuvat, vaikka ne ovat täysin eri asia. Säällä tarkoitetaan ilmakehän hetkellistä tilaa. Sää on se, mitä näkee ja kokee katsoessaan ulkona taivaalle. Ilmasto kuvaa tietyn alueen tyypillisen sään yleispiirteistä luonnetta ja vaihtelua vähintään 30 vuoden keskimääräisten säätilastojen perusteella. Aikaväli on niin pitkä, että otos edustaa sääoloiltaan erilaisia vuosia kohtuullisen hyvin. (Foreca, 2023)

### 3.1 Ilmastonmuutoskenaariot

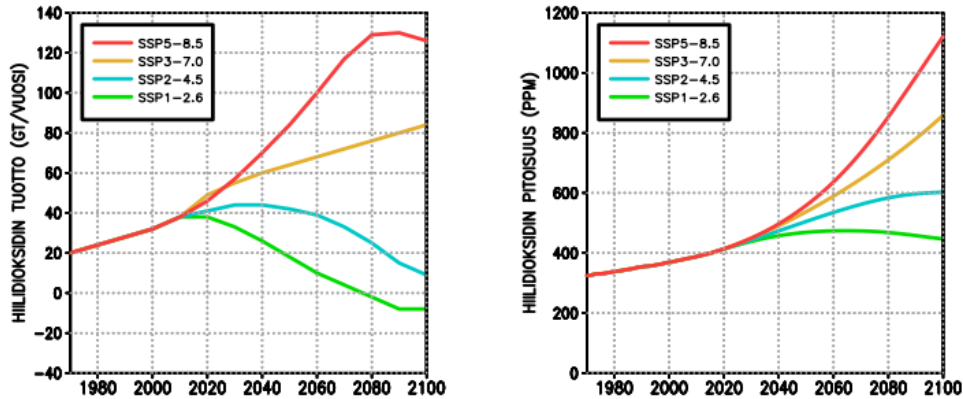
Jotta ilmastonmuutoksesta aiheutuvia seurauksia voidaan arvioida ja tehdä päätöksiä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, tarvitaan päätöksenteon tueksi tieteellisesti tuotettua tietoa. IPCC:n koostamiin raportteihin on kerätty ja arvioitu julkaistua tieteellistä tietoa ilmastonmuutoksesta ja tätä tietoa hyväksikäyttäen kuvailtu ilmasto eri skenaarioiden avulla. Skenaario tarkoittaa tässä yhteydessä johdonmukaisten tapahtumien ketjua, joka etenee nykytilanteesta tulevaisuuteen tiettyjen oletusten ohjaamana. Se ei kuitenkaan ole ennuste, sillä skenaario ei kuvaa kaikkein todennäköisintä kehityskulkua, vaan skenaariolla kuvataan useita erilaisia tapahtumapolkuja ja vaihtoehtoisia tulevaisuuden tiloja. Tavoitteena on skenaarion kautta ymmärtää, mitkä tekijät voivat johtaa erilaisiin tulevaisuuskuviin. (Ilmatieteen laitos, 2021)

Ilmastoskenaarioihin liitetty säteilypakote kuvaa sitä energiaepätasapainoa, jonka päästöt ovat ilmastojärjestelmässä saaneet aikaan. Lämmittävä säteilypakote syntyy, kun kasvihuonekaasujen määrän lisääntyminen vähentää maapallolta avaruuteen poistuvan lämpösäteilyn määrää. Pienhiukkaset vähentävät auringonsäteilyn lämmittävää vaikutusta, joka puolestaan johtaa maapallolla jäähdyttävään säteilypakotteeseen. Säteilypakotetta mitataan säteilytehon (wattia) määrällä neliometriä kohden ( $W/m_2$ ). (Nevanlinna, 2008, s. 57) Tällä hetkellä kasvihuonekaasujen vaikutus säteilypakotteeseen tunnetaan kohtalaisen hyvin. Sen sijaan hiukkasiin liittyviin pakotetekijöihin liittyy epävarmuutta, jolloin ihmiskunnan aiheuttaman kokonaispakotteen suuruutta ei tarkasta tiedetä. Arviot vaihtelevat 0,6 ja 2,4  $W/m_2$  välillä parhaan arvion ollessa 1,6  $W/m_2$ . (Nevanlinna, 2008, ss. 58–59)

Kuva 6 esittää IPCC:n eri SSP-skenaarioita vastaavia hiilidioksidin maailmanlaajuisia päästöjä. Vasemmassa kuvassa hiilidioksidin tuotto miljardeina tonneina vuodessa ja oikeassa kuvassa pitoisuudet (ppm) ilmakehässä vuosina 1970–2100. SSP tulee sanoista ”Shared Socio-economic Pathway” (yhteiskunnallis-taloudellinen kehityskulku) ja lukuarvo ilmaisee ns. säteilypakotetta. Esim. SSP2-4.5-skenaariossa kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuuksien muutokset aiheuttavat maapallon lämpötaseeseen epätasapainon, jonka

suuruus olisi noin vuonna 2100  $4.5 \text{ W/m}_2$ . (IPCC, 2022a, ss.11–15; Ilmatieteen laitos, 2022, s. 2)

Kuva 6. IPCC:n eri SSP-skenaarioita vastaavat hiilidioksidin maailmanlaajuiset päästöt (IPCC, 2022a).



Skenaariossa SSP1-2.6 oletetaan, että käytössä olisi erittäin tehokkaat päästöjen rajoitustoimet, joiden seurauksena maailmanlaajuisen  $\text{CO}_2$  päästöjen tulisi kääntyä selvään laskuun jo 2020-luvulla ja olla 2080-luvulla jopa hieman negatiivinen. Oletusten toteutuessa tämän vuosisadan lopulla maapallon keskilämpötila olisi noussut  $1.8 \text{ }^\circ\text{C}$  (epävarmuusväli  $1.3\text{--}2.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ) verrattuna esiteolliseen aikaan. (IPCC, 2022a, ss.14–15; Ilmatieteen laitos, 2022, s. 3)

SSP2-4.5 skenaariossa kuvataan ilmastopolitiikan puolittaista onnistumista. Hiilidioksidipäästöt kasvavat hieman alussa, mutta kääntyvät laskuun 2040-luvusta lähtien ollen vuosisadan loppupuolella kaksinkertainen teollistumista edeltävään tasoon verrattuna. Maapallon keskimääräinen lämpötilan nousun arvioidaan olevan tämän vuosisadan lopulla  $2.7 (2.1\text{--}3.5) \text{ }^\circ\text{C}$ . (IPCC, 2022a, ss.14–15; Ilmatieteen laitos, 2022, s. 3)

Skenaario SSP3-7.0 tulevaisuuden hiilidioksidipäästöt kasvavat tasaisesti ja ovat kaksinkertaiset vuoden 2100 tienoilla vuoden 2015 tasoon verrattuna ja suunnilleen kolminkertainen teollistumista edeltävään aikaan verrattuna. Arvion mukaan maailmanlaajuinen keskilämpötilan nousu olisi tämän vuosisadan lopulla  $3.6 (2.8\text{--}4.6) \text{ }^\circ\text{C}$ . (IPCC, 2022a, ss.14–15; Ilmatieteen laitos, 2022, s. 3)

IPCC:n synkimmässä skenaariossa, SSP5-8.5, päästöjen rajoittaminen ei ole onnistunut, vaan kahden asteen lämpenemisraja ylittyy jo ajanjaksona 2041–2060. Hiilidioksidipäästöt kasvavat nopeasti ja ovat enemmän kuin kolminkertaiset ennen vuosisadan loppua

voimakkaan kasvun jatkuessa vielä vuodesta 2100 eteenpäinkin. Keskimääräinen maailmanlaajuinen lämpötilan nousu olisi tämän vuosisadan lopulla 4.4 (3.3–5.7) °C. (IPCC, 2022a, ss.14–15; Ilmatieteen laitos, 2022, s. 3)

## 3.2 Ilmastonmuutoksen globaalit seuraukset

Ihmisten toimien seurauksena maapallon ilmakehän kasvihuonekaasujen määrä on lisääntynyt, jolloin lämpösäteilyä pääsee poistumaan yhä vähemmän. Tämä on johtanut ilmaston lämpenemiseen. Vuosi 2023 olikin maailmalla mittaushistorian lämpimin vuosi. Loppukesästä 2023 alkaen maapallon keskilämpötila on ollut yli 1,5 astetta esiteollisen ajan tasoa korkeammalla. Kesäkuussa 2023 Tyynellämerellä käynnistynyt El Niño -ilmiö on suuresti vaikuttanut kasvihuoneilmiön jatkuvan voimistumisen lisäksi koko maapallon sääoloihin. (Ilmastokatsaus, 2023, s. 9)

### 3.2.1 Sään ääri-ilmiöt

Ilmaston lämmitessä sään ääri-ilmiöiden muutokset voimistuvat. Jokainen puolen asteen lisänousu maapallon keskilämpötilassa lisää selvästi kuumuuteen liittyviä ääri-ilmiöitä, kuten helleaaltoja ja runsaita sademääriä (IPCC, 2022a, s. 15). Äärimmäinen sääilmiö määritellään tapahtumaksi, joka on harvinainen tietyssä paikassa ja tiettyyn aikaan vuodesta. Vähintäänkin poikkeuksellisen on ilmiö, joka toistuu kerran tai kaksi vuosisadassa tai vielä harvemmin (Saukkonen, 2020, s. 9). Määritelmän mukaan niin kutsuttujen äärimmäisten sääolosuhteiden ominaisuudet voivat vaihdella paikasta toiseen absoluuttisessa mielessä. Äärimmäisten sääilmiöiden jatkuessa jonkin aikaa, esim. vuoden, se luokitellaan äärimmäiseksi ilmasto-tapahtumaksi, jos se tuottaa keskiarvon tai kokonaismäärän, joka on itsessään äärimmäinen, esimerkiksi korkea lämpötila, kuivuus tai kokonaissademäärä kauden aikana (IPCC, n.d.).

Taulukossa 1 on esitetty eräiden sään ääri-ilmiöiden todennäköisen esiintymisen tähänastiset muutokset, todennäköisyys sille, että ihmiskunnan tuottamat päästöt ovat vaikuttaneet havaitun muutoksen syntyyn sekä todennäköisyys sille, että ilmiön esiintymisessä on odotettavissa muutoksia vuosina 2016–2035 ja vuosina 2081–2100. Tulevat muutokset on laskettu suhteessa jakson 1986–2005 keskiarvoon. (IPCC, 2014, s. 6)

Taulukko 1. Sään ääri-ilmiöiden todennäköisen esiintymisen muutokset ja ihmisen vaikutus niihin (IPCC, 2014).

Ilmiö, trendin suunta	Tähänastinen muutos	Ihmisten vaikutus	Muutos 2016–35	Muutos 2081–2100
Entistä vähemmän (ja/tai entistä leudompia) kylmiä päiviä ja öitä useimmilla maa-alueilla	Hyvin todennäköistä	Hyvin todennäköistä	Todennäköistä	Käytännössä varmaa
Entistä enemmän (ja/tai entistä kuumempia) kuumia päiviä ja öitä useimmilla maa-alueilla	Hyvin todennäköistä	Hyvin todennäköistä	Todennäköistä	Käytännössä varmaa
Helleaallot yleistyvät ja/tai pidentyvät useimmilla maa-alueilla	Todennäköistä suuressa osassa Eurooppaa, Aasiaa ja Australiaa	Todennäköistä <sup>a</sup>	Ei esitetty todennäköisyysarviota <sup>b</sup>	Hyvin todennäköistä
Rankkasateet yleistyvät tai voimistuvat useimmilla alueilla	Maa-alueilla todennäköisesti yleisemmin lisääntyneet kuin vähentyneet <sup>c</sup>	Melko luotettavasti kyllä	Todennäköistä useimmilla maa-alueilla	Hyvin todennäköistä useimmilla keskileveysasteitten maa-alueilla ja runsassateisilla trooppisilla alueilla
Kuivuuskaudet pitenevät ja/tai voimistuvat	Todennäköistä (joilakin alueilla) <sup>d</sup>	Epävarmaa	Epävarmaa <sup>g</sup>	Todennäköistä (luultavasti sekä alueellisesti että maailmanlaajuisesti) <sup>h</sup>
Entistä enemmän voimakkaita trooppisia hirmumyrskyjä	Lähes varmaa Pohjois-Atlannilla 1970-luvulta lähtien	Epävarmaa <sup>i</sup>	Epävarmaa	Todennäköisyys yli 50 % läntisellä Tyynellä merellä ja Pohjois-Atlannilla <sup>j</sup>
Meren pinta nousee hyvin korkealle entistä useammin	Todennäköistä (vuodesta 1970)	Todennäköistä <sup>k</sup>	Todennäköistä <sup>l</sup>	Hyvin todennäköistä <sup>l</sup>

Mikäli maapallon keskilämpötila kohoaa kahdella asteella teollistumista edeltävän ajan tasosta, Pohjois-Euroopassa helleaaltopäivien keskimääräisen vuotuisen määrän ennustetaan nousevan 3–4-kertaiseksi ja vuotuisen helleaaltojen äärimmäisyyden noin nelinkertaiseksi. Etelä-Euroopassa vastaavat kasvutekijät ovat noin kuusi ja kymmenen. Erittäin kuumia hellejaksoja koettaisiin Pohjois-Euroopassa tällöin arviolta kerran noin kuudessa vuodessa ja Etelä-Euroopassa jopa useammin kuin joka toinen vuosi, kun aiemmin vastaavaa esiintyi kerran sadassa vuodessa. (Ruosteenoja & Jylhä, 2023)

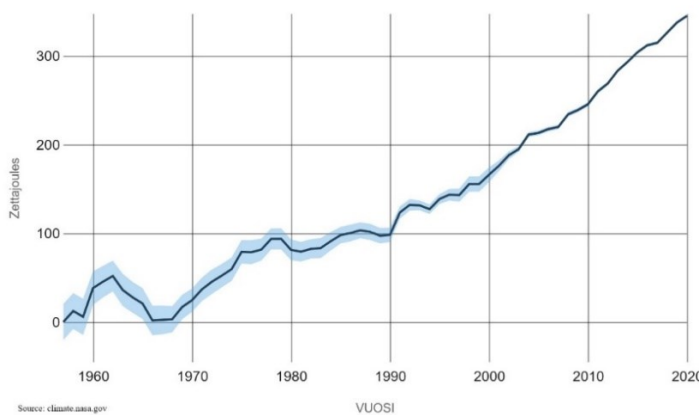
IPCC:n raporteissa arvioidaan suurella todennäköisyydellä kovien sateiden voimistuvan ja yleistyvän ilmaston lämpenemisen seurauksena suurimmassa osassa maailmaa. Maailmanlaajuisesti kaikkein suurimpien vuorokausisademäärien ennustetaan kasvavan noin 7 % ilmaston lämmitessä yhdellä asteella. IPCC:n arvioiden mukaan voimakkaiden trooppisten hirmumyrskyjen suhteelliset osuudet ja niissä puhaltavien kovimpien tuulien nopeudet kasvavat. Paikoin on odotettavissa muutoksia meteorologisen kuivuuden (sadevaje ja kuivuuden pituus) ankaruudessa ja esiintymistiheydessä. Yleisemmin kuivuuden lisääntymistä kuin vähentymistä. Myös hydrologista kuivuutta eli vesivarojen vähäisyyttä

(miten paljon vettä on joissa, järvissä ja pohjavesivarastoissa) koetaan yhä enemmän. (IPCC, 2022a, ss.17–19; NWS, n.d.) Kun hellejaksoja koetaan yhä useammin, se pahentaa kuivuusongelmaa. Vastaavasti sateet tulevat aiempaa rajumpina kuuroina. Koska maa ei ehdi imeä itseensä vettä ja näin korjata maaperän kosteusvajetta, sateesta johtuvat tulvat aiheuttavat entistä enemmän tuhoa (Yle, 2023b).

### 3.2.2 Merien lämpeneminen

Yhdeksänkymmentä prosenttia ilmaston lämpenemisestä tapahtuu meressä, mikä aiheuttaa veden sisäisen lämmön lisääntymisen. Vuoden 1997 jälkeen meriin on varastoitunut yhtä paljon ihmisen aiheuttamaa lämpöenergiaa kuin jos Hiroshima-tyyppinen atomipommi olisi räjäytetty joka sekunti 75 vuoden ajan (Yle, 2016). Tähänastiset kasvihuonekaasupäästöt aiheuttavat sen, että merien lämpeneminen jatkuu vielä kauan. SSP1-2.6-skenaarion perusteella 2100-luvun aikana meret todennäköisesti lämpenevät vielä 2–4 kertaa niin paljon kuin vuosien 1971–2018 välillä. Merenpinnan ja syvempien kerrosten väliset lämpötilaeron kasvaessa merivesi happamoituu ja happipitoisuudet alenevat. Mereen varastoitunut lämpö saa sen veden laajenemaan, mikä on aiheuttanut 30–50 prosenttia maailman merenpinnan noususta. Viimeiset 10 vuotta olivat valtameren lämpimin vuosikymmen sitten 1800-luvun. Vuosi 2022 oli valtameren lämpimin mitattu vuosi (IPCC, 2022a, s. 22). Kuvassa 7 on esitetty meren lämpösisällön muutos vuodesta 1955. Jokainen kaavion arvopiste edustaa viiden vuoden keskiarvoa. Esimerkiksi vuoden 2020 arvo edustaa merien lämpösisällön keskimääräistä muutosta (vuodesta 1955) vuosina 2018–2022 (Nasa, 2022).

Kuva 7. Meren lämpösisällön muutos vuodesta 1955 (Nasa, 2022).

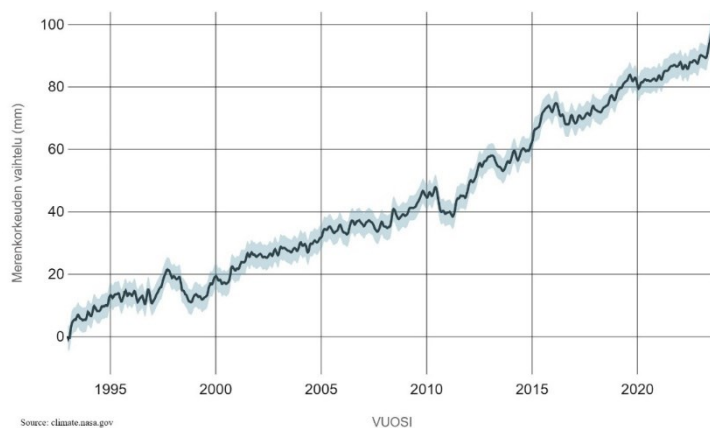


### 3.2.3 Merenpinnan nousu

Merenpinta nousee ihmisen aiheuttaman ilmaston lämpenemisen seurauksena ennennäkemättömällä nopeudella. Vuoden 2023 satelliittimittausten perusteella meren pinta on noussut 110 ( $\pm 4.0$ ) mm vuodesta 1993, jolloin satelliittimittaukset aloitettiin (WMO, 2024). Merenpinnan nousu johtuu pääasiassa kahdesta ilmaston lämpenemiseen liittyvästä tekijästä: jäätiköiden sulamisesta ja sulamisesta johtuvasta lisävedestä sekä meriveden laajenemisesta sen lämmitessä.

Jos ilmaston lämpeneminen saadaan rajoitettua 1,5 asteeseen, meren pinta nousisi silloinkin lähimpien 2000 vuoden aikana noin 2–3 metriä ja jos maapallon keskilämpötila nousee 2 °C, 2–6 metriä. Meren pinnan nousu jatkuisi vielä satoja vuosia syvien vesikerrosten vielä pitkään jatkuvasta lämpenemisestä ja jäätiköiden sulamisesta johtuen. (IPCC, 2022a, s. 25)

Kuva 8. Merenkorkeuden vaihtelu 1993-2023 (Nasa, 2023).

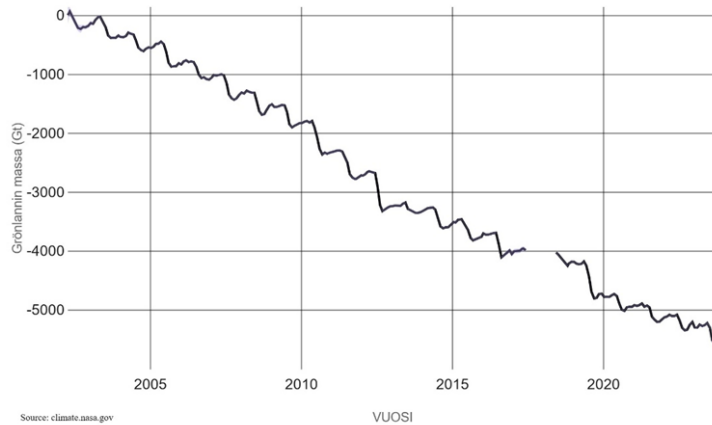


### 3.2.4 Jäätiköiden jäämassan pienentyminen

Vaikka ilmastomuutosta voidaan hillitä, vuoristo- ja napajäätiköitten sulaminen jatkuisi vielä kymmeniä ellei satoja vuosia. Grönlanti menettää jäämassastaan noin 270 miljardia tonnia vuodessa ja kutistuminen jatkunee tämän vuosisadan aikana. Etelämanner menettää jäämassaa noin 150 miljardia tonnia vuodessa. (IPCC, 2022a, ss. 22–24)

Jäätiköiden massan pienentyminen on merkittävää, koska Grönlannin ja Etelämantereen jäätiköt varastoivat noin kaksi kolmasosaa kaikesta maan makeasta vedestä ja jäätiköiden sulamisvesi on aiheuttanut noin kolmanneksen maailman keskimääräisestä merenpinnan noususta vuodesta 1993 lähtien. (Nasa. n.d.-c)

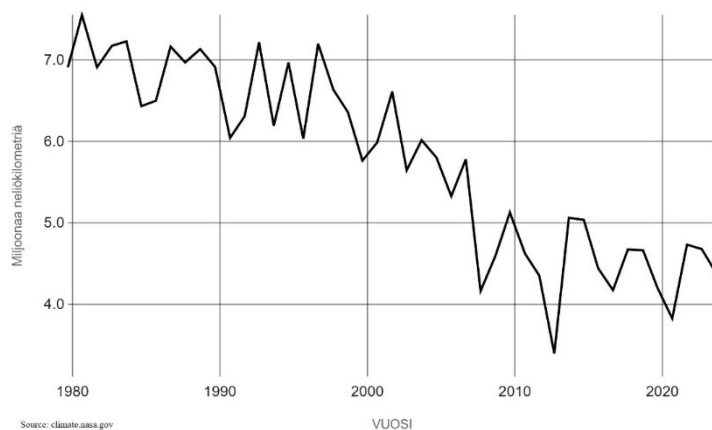
Kuva 9. Grönlandin jäämassan vaihtelu vuodesta 2002 (Nasa, n.d.-c).



### 3.2.5 Napamerien jääpeitteen sulaminen

Ilmastonmuutoksen edetessä ikeroudan sekä talvisen lumipeitteen, roudan ja napamerien jääpeitteen sulaminen jatkuu. Pohjoisten merien jääpeite on suppeimmillaan syyskuussa ja vuoden 2012 merijään laajuus oli mittaushistorian pienin. Jo nyt syyskuun arktinen merijää kutistuu 12,2 prosenttia vuosikymmenessä verrattuna vuosien 1981–2010 keskimääräiseen laajuuteen. Arvioidaankin, että pohjoiset meret ovat todennäköisesti syyskuussa jäättöminä ainakin kerran ennen vuotta 2050. ( IPCC, 2022a, s. 16; NASA, n.d.-b)

Kuva 10. Arktisen merijään syyskuinen vähimmäislaajuus vuodesta 1979 (NASA, n.d.-b).



### 3.2.6 Sosiaaliset uhat

Sen lisäksi, että ilmastonmuutos vaikuttaa edellä kuvatun tavoin luontoon, siitä seuraa myös sosiaalisia uhkia. Sosiaalisista uhista merkittävin on ilmastonmuutoksen vaikutus ihmisten, eläinten ja kasvien terveydelle. Kesähelteisiin ja talvipakkasiin liittyvien kuolemantapausten ja sairauksien lisääntyminen sekä onnettomuusriskin lisääntyminen sään ääri-ilmiöiden, kuten tulvien, tulipalojen ja myrskyjen lisääntyessä tulee kasvamaan. Uhkana on myös muutokset allergisoivien siitepölylajien sekä erilaisten virusten ja tautien levinneisyydessä. (Euroopan komissio, n.d.) Esimerkiksi sulavasta ikiroudasta voi vapautua ihmisille ja eläimille vaarallisia viruksia ja bakteereita, joiden tutkimusten mukaan tiedetään säilyvän elossa jäässä tuhansia, jopa miljoonia vuosia. Vuonna 2016 Jamalin niemimaalla sulaneesta ikiroudasta poroihin levinnyt pernaruttobakteeri tappoi tuhansia poroja ja sairastuttu ihmisiä, kun helleaalto sulatti roudan ja paljasti pernaruttoon kuolleita eläimiä. (Lääkärilehti, 2023)

IPCC:n mukaan ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit ovat suhteettomia ja epäsuhtaisia ihmisten ja luonnon järjestelmille, koska niiden haavoittuvuudessa ja altistumisessa on eroja. Maantieteellisen sijaintinsa vuoksi erityisesti trooppisella vyöhykkeellä sijaitsevat kehittyvät maat, jotka ovat vähiten vastuussa ilmaston lämpenemisestä, ovat alttiimpia ilmastonmuutokselle. Huomattava on, että nämä alueet kärsivät jo nyt säännöllisesti äärimmäisistä sääilmiöistä, kuten El Niño tai La Niña. Ilmastonmuutos koettelee suhteettomasti näiden maiden jo ennestään haavoittuvimpia väestöryhmiä, kuten naisia, joiden osuus maailman köyhimmästä väestöstä on 70 prosenttia. Ilmastonmuutos pahentaakin sosiaalista eriarvoisuutta ja köyhyyttä, mikä puolestaan johtaa lisääntyvän eriarvoisuuden kierteeseen. Äärimmäisten sääilmiöiden yleistymisen ja voimistumisen sekä merenpinnan noususta johtuvan pakkomuuton odotetaan lisääntyvän. Arvioiden mukaan vuoteen 2050 mennessä yli 143 miljoonaa ihmistä Saharan eteläpuolisessa Afrikassa, Etelä-Aasiassa ja Latinalaisessa Amerikassa joutuu muuttamaan oman maansa sisällä paetakseen ilmastonmuutoksen hitaasti eteneviä vaikutuksia. (Euroopan parlamentti, 2021a)

### 3.2.7 Liiketoiminnalliset uhat

Ilmastonmuutos vaikuttaa tavalla tai toisella kaikkiin maailman yrityksiin, mutta arvioiden mukaan uhkien odotetaan kohdistuvan suhteettomasti pieniin ja keskisuuriin yrityksiin. Osa elinkeinoista on kuitenkin muita haavoittuvampia. Ilmastonmuutoksella ennakoitaan olevan merkittävä vaikutus maataloustuotantoon niin satojen kuin eri viljelykasvien viljelyalueiden osalta. Maailman hallitsevin maatalouden muoto, pienimuotoinen perhevilljely, on erittäin altis ilmastonmuutokselle. Ilmastonmuutoksella on pääsääntöisesti kielteinen vaikutus

maatalouteen erityisesti eteläisillä alueilla. Näillä alueilla korkeat lämpötilat, vesipula ja sään ääri-ilmiöt voivat johtaa pieniin satoihin, suuriin satovaihteluihin ja ajan kuluessa viljelyyn soveltuvien alueiden vähenemiseen. (Euroopan komissio, n.d.)

Euroopan pohjoisilla alueilla kasvukausi on pidentynyt ja sen ennustetaan pitenevän edelleen kevään aikaistuesssa ja kasvukauden jatkuessa pidemmälle syksyyn.

Lämpösumman kasvaminen mahdollistaisi lämpimän kauden viljelykasvien kasvatuksen niillä pohjoisen alueilla, jotka aiemmin eivät olleet niiden viljelemiseen sopivia. Kasvukausien pitenemisen, hallavapaiden kausien lisääntymisen ja kylmien jaksojen vähenemisen seurauksena voidaan käyttöönottaa uusia kasvilajikkeita, saada suurempia satoja ja laajentaa viljelykasvien viljelyyn sopivien aloja. Pohjoisen alueen ilmaston lämpenemisestä seuraa myös kielteisiä vaikutuksia. Ilmaston lämpeneminen johtaa kasvituholaisten ja - tautien määrän kasvuun. Sään ääri-ilmiöiden, erityisesti rankkasateiden lisääntymisen seurauksena ravinteiden huuhtoutuminen lisääntyy ja eroosion johdosta maaperän orgaaninen aines vähenee. Pohjois-Euroopassa saavutettu hyöty ei kuitenkaan kompensoi kuumuuden ja kuivuuden yhteisvaikutuksen vuoksi useimmille Euroopan alueille 2000-luvun aikana ennustettuja merkittäviä maataloustuotannon tappioita. (Euroopan komissio, n.d.)

Metsätaloudessa ilmastonmuutos kasvattaa kuivuuden, myrskyjen ja metsäpalojen sekä tuholaisten ja tautien riskiä. Metsien kasvun ennustetaan hidastuvan Etelä-Euroopassa ja kiihtyvän Pohjois-Euroopassa. Pohjoisen havumetsävyöhykkeen metsissä puulajien monimuotoisuus on vähäistä, jolloin ilmaston lämpeneminen lisää merkittävästi tuholaisten ja kasvitautien riskiä. Kaiken kaikkiaan odotettavissa on kaikkialla Euroopassa metsien biodiversiteetin muuttuminen. Puulajit tulevat vaihtumaan ja tiettyihin kasviyhteisöihin kohdistuu yhä enemmän uhkia. (Euroopan komissio, n.d.)

### **3.2.8 Alueelliset uhat**

Edellä on esitetty ilmastonmuutoksen alueellisia vaikutuksia trooppisella vyöhykkeellä sijaitseviin kehittyviin maihin, maa- ja metsätalouteen sekä napa-alueiden jäätikköihin.

Paikallisesti ilmastonmuutos vaikuttaa erityisesti kaupungeissa asuvaan väestöön.

Kaupungistumisen kehitys on ollut hyvin nopeaa. Vielä vuonna 1960 kaupungeissa asui noin miljardi asukasta ja maaseudulla kaksi miljardia. YK:n arvion mukaan vuonna 2021 noin 4,3 miljardia eli n. 56 % maailman väestöstä asui kaupunkialueilla. Kaupunkialueiden asukasmäärä ohitti maaseutu ympäristön vuonna 2007. (Ritchie & Roser, 2019)

Kaupunkiasutuksen leviäminen, väestönkasvu, väestön keskittyminen kaupunkeihin ja väestön ikääntyminen ovat lisänneet ja lisäävät entisestään kaupunkien altistumista erilaisille

ilmastovaikutuksille, kuten helleaalloille, kaupunkitulville ja kuivuudelle. Ääri-ilmiöt, kuten Elbe-joen tulvat vuonna 2013 tai Venetsian tulvat vuonna 2020 ja kanaalien kuivuminen vuonna 2021, osoittavat, että kaupungit ovat erittäin alttiita sään ääri-ilmiöille.

Jo koetut ja ennustetut pidemmät ja äärimmäisemmät helleaallot aiheuttavat pahentavia terveysongelmia ikäihmisille, lapsille ja yleensäkin niille, jotka ovat alttiita korkeille lämpötiloille. Kaupungit ja erityisesti niiden lämpösaarekkeet, ovat kuumempia kuin ympäröivä maaseutu, mikä paikallisesti pahentaa ilmaston lämpenemisen vaikutuksia ja mikä vaikuttaa erityisesti globaalisti kasvavaan kaupunkiväestöön. Siten kaupungistumisen jatkuminen voimistaa helleaaltojen haittavaikutuksia. On arvioitu, että kaupungistuminen lisää myös keskimääräistä sademäärää ja voimistaa rankkasateita kaupungeissa. Rannikkokaupungeissa merenpinnan kohoaminen, rankkasateet tai runsaiden jokivirtaamien yhdistelmä lisää tulvimisen vaaraa. (Ruosteenoja & Jylhä, 2023; IPCC, 2022a, s. 29)

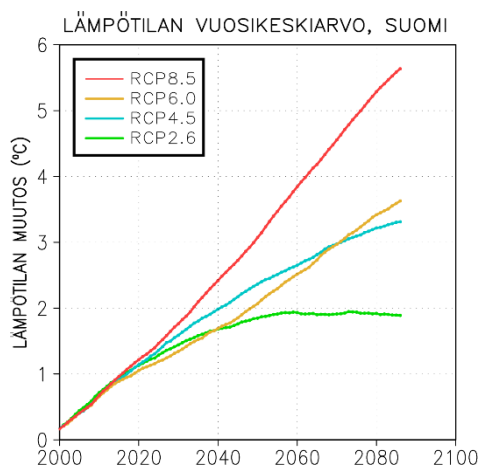
### **3.3 Ilmastonmuutoksen vaikutus suomalaiseen taimistoviljelyyn**

Ilmaston kuvatessa tietyn alueen pitkän ajanjakson tyypillisen sään yleispiirteistä myös ennustetut ilmastonmuutoksen seuraukset ovat erilaisia eri alueilla. Alueellisesti ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit ovat suhteettomia ja epäsuhtaisia ihmisten ja luonnon järjestelmille, koska niiden haavoittuvuudessa ja altistumisessa on eroja. Siksi on hyvä tarkastella ilmastonmuutoksen globaalien seurausten lisäksi ilmaston lämpenemisen vaikutuksia Suomen luontoon ja kasveihin. Voitaneen sanoa, että ilmaston lämpenemisestä johtuvat muutokset Suomen luonnon ja ihmisten järjestelmille ovat, ainakin aluksi, positiivisemmat kuin vaikutukset esimerkiksi Etelä-Euroopan maihin. Suomi ei kuitenkaan ole muusta maailmasta irrallaan oleva saari, vaan olemme riippuvaisia esimerkiksi muualta tuotavista raaka-aineista ja elintarvikkeista. Pahimmassa tapauksessa ilmastonmuutoksesta johtuva poliittinen jännitys ja pakolaisaallot vaikuttavat merkittävästi suomalaisten elämään. (Nevanlinna, 2008, ss.183-184)

Suomen ja muiden Pohjoismaiden ilmasto lämpenee nopeammin ja voimakkaammin kuin maapallo keskimäärin. Arktisilla alueilla lämpenemisvauhti on noin kaksinkertainen koko maapallon keskimääräiseen verrattuna. Keskilämpötila vuosina 2000–2010 oli lähes asteen korkeampi kuin 1960-luvulla ja yli kaksi astetta korkeampi kuin 1850-luvulla (Mikkonen ym., 2015). Voimakkainta lämpeneminen on ollut talvikuukausina, jolloin keskilämpötila on noussut noin 2–3 astetta. Jo nyt Suomen luonto on reagoinut ilmaston lämpenemiseen, koska puiden lehtien puhkeaminen keväällä on aikaistunut noin 12 vuorokaudella 1800-luvun puoliväliin verrattuna. (Syke, 2023; Ilmasto-opas, 2020)

Kuva 11 esittää vuoden keskilämpötilan muutosta Suomessa vuosina 2000–2085 verrattuna jakson 1981 – 2010 keskimääräisiin arvoihin. Käyrät edustavat eri RCP-skenaarioita (Representative Concentration Pathways). Skenaariot kuvaavat kasvihuonekaasu- ja hiukkaspäästöjen kertymistä ilmakehään, RCP8.5, hyvin suuret päästöt; RCP6.0, melko suuret päästöt; RCP4.5, melko pienet päästöt; RCP2.6, hyvin pienet päästöt. (Ilmasto-opas, 2017)

Kuva 11. Vuoden keskilämpötilan muutos Suomessa vuosina 2000–2085 (Ilmasto-opas, 2017).



Noin vuoteen 2030 lämpötila nousee eri skenaarioiden mukaan suunnilleen yhtä nopeasti. Tällöin Suomen vuotuinen keskilämpötila nousisi jaksoon 1981–2010 verrattuna noin 1,5–2 asteella. Vuosisadan loppupuolella lämpenemisen voimakkuuteen vaikuttaa kasvihuonekaasujen päästöjen määrä. Hyvin pienillä päästöillä (RCP2.6) lämpeneminen on mahdollista rajata noin kahteen asteeseen. Jos päästöt onnistutaan rajoittamaan kohtuullisesti (RCP4.5, RCP6.0), lämpötilan nousu olisi 3–4 astetta. Päästöjen jatkuessa hyvin suurina (RCP8.5), lämpötila kohoaisi jopa noin 6 astetta vuosisadan loppuun mennessä. (Ilmasto-opas, 2017)

Kuluvan vuosisadan loppuun mennessä kasvukausi eli se aika vuodesta, jolloin kasvit kasvavat, pitenee kuukaudella tai kahdella kasvihuonekaasujen päästöistä riippuen. Terminen kasvukausi alkaa lumen sulaessa aukeilta paikoilta ja vuorokauden keskilämpötilan noustessa pysyvästi yli 5 °C. Terminen kasvukausi päättyy vuorokauden keskilämpötila laskiessa pysyvästi 5 °C alapuolelle tai pysyvään lumipeitteeseen. (Ilmatieteen laitos, n.d.) Kasvukauden tehoisaa lämpösummaa kertyy niiltä päiviltä, jolloin vuorokauden keskilämpö-tila on 5 °C yläpuolella, koska summaan lasketaan vuorokauden

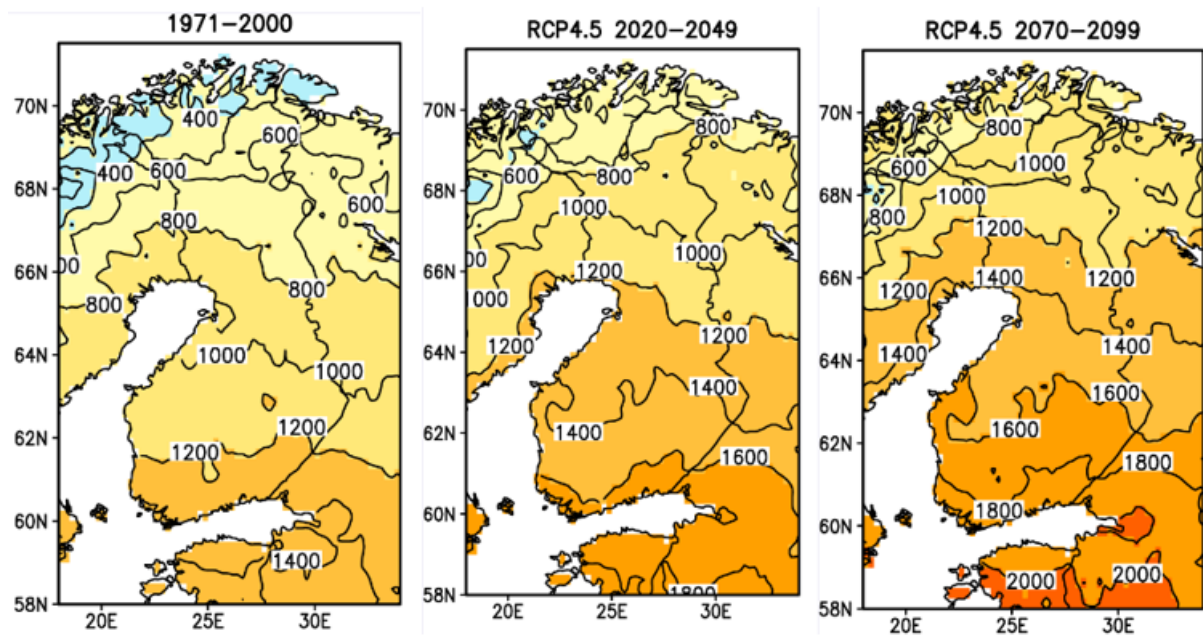
keskilämpötilan viiden asteen ylittävä osa. Vuorokauden keskilämpötila jäädessä + 5 asteen alapuolelle, summaa ei kerry, mutta se ei myöskään vähene.

Vaikka päästöt olisivat melko pieniäkin (RPC4.5-skenaario), kasvukausi pitenisi keväällä ja syksyllä noin 2–3 viikolla vuosisadan loppuun mennessä. Etelä- ja Keski-Suomessa kasvukausi alkaisi huhtikuun alkupuolella, Pohjois-Pohjanmaalla, Etelä-Lapissa huhtikuun loppupuolella ja Tunturi-Lapissa toukokuun alkupuoliskolla. Etelä- ja Keski-Suomessa kasvukausi päättyisi lokakuun lopulla tai marraskuun alussa. Muualla Suomessa kasvukausi päättyisi lokakuun alkupuolella tai puolivälissä. (Ruosteenoja ym., 2016a)

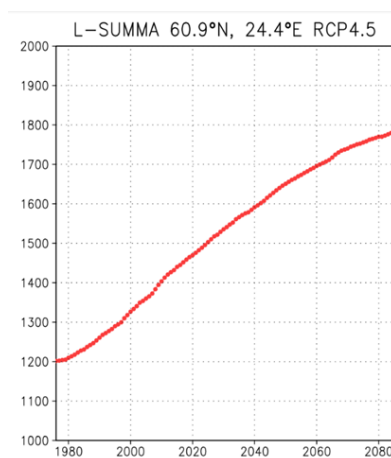
Eteläisimmässä Suomessa lämpösummaa kertyi 1900-luvun loppuvuosikymmeninä kasvukauden aikana keskimäärin noin 1300 astepäivää ja Pohjois-Lapissa 400–600 astepäivää. Ilmaston lämmitessä lämpösummat kasvavat nopeasti. Vuoden 2000 jälkeen lämpösummat ovat miltei kaikkina vuosina ylittäneet jakson 1971–2000 keskiarvon. Esimerkiksi vuosien 2011, 2013 ja 2018 kasvukaudet olivat harvinaisen lämpimiä. Suuressa osassa Suomea lämpösummaa kertyi yli 300 astepäivää yli normaalin. (Ruosteenoja ym., 2016a; Ilmasto-opas, 2018; Ilmatieteen laitos, n.d.)

Kasvukauden lämpösumma nousisi Suomessa 2100-luvun loppuun mennessä noin 500 astepäivällä, vaikka maailmanlaajuisia päästöjä rajoitettaisiinkin voimakkaasti. Kuva 12 esittää kasvukauden aikana keskimäärin kertynyttä lämpösummaa vuosina 1971–2000 sekä RCP4.5-skenaarion ennustetta lämpösummaksi jaksoille 2020–2047 ja 2070–2099 (Ilmasto-opas, 2018). Ennuste, jonka aikasarja pohjautuu RCP4.5-skenaarioon, toisi toteutuessaan Etelä-Suomeen nykyistä Keski-Euroopan pohjoisosaa (Puola, Itä-Saksa) vastaavat lämpöolot eli lämpösumma olisi noin 1800 °C vrk (Kuva 13). Nykyisen Etelä-Suomen olosuhteet (lämpösumma 1200 °C vrk) puolestaan siirtyisivät tällöin Etelä-Lappiin. (Ruosteenoja ym., 2016b)

Kuva 12. Lämpösomma vuosina 1971–2000 sekä ennuste jaksoille 2020–2047 ja 2070–2099 (Ilmasto-opas, 2018).



Kuva 13. Lämpösomman 30-vuotias liukuva keskiarvo pisteessä 60.9° N, 24.4°E lähellä Hämeenlinnaa (Ruosteenoja, 2019).



Hellejaksojen ankaruutta kuvaa kesän yhteenlaskettu hellelämpösomma. Jos maapallo lämpenisi teollistumista edeltävään aikaan verrattuna kahdella asteella, hellepäivien lukumäärä Suomessa olisi 4–10 kertaa niin suuri kuin 1900-luvun lopulla. Tästä johtuen hellelämpösomma kasvaisi ja sellaisia kuumia hellejaksoja, jollaisia koettiin 1900-luvun lopun ilmastossa kerran 10 vuodessa, esiintyisi keskimäärin joka toisena kesänä. Lisäksi vuorokauden alin ja ylin lämpötila kohoaisi huomattavasti koko maassa talvella, keväällä ja syksyllä. Talvet lauhtuisivat ja pakkaspäivien lukumäärä vähenisi erityisesti Etelä-Suomessa. Nollapistepäivien, eli niiden päivien, jolloin lämpötila vaihtelee pakkasen ja suojasään välillä,

määrä lisääntyy erityisesti talvella Pohjois-Suomessa. (Ilmasto-opas, 2017; Ilmatieteen laitos, 2023)

Taulukko 2. Suuntaa-antava kuvaus lämpötiloihin liittyvistä muutoksista Etelä- ja Pohjois-Suomessa 2100-luvun lopulle tultaessa vuodenajoin. Nollapistepäivinä lämpötila vaihtelee pakkasen ja suojasään välillä (Ilmasto-opas, 2017).

Muuttuja	Alue	Talvi	Kevät	Kesä	Syksy	Vuosi
<b>Keskilämpötila</b>	Pohjois-Suomi	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti	kohoaa	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti
	Etelä-Suomi	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti	kohoaa	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti
<b>Vuorokauden ylin lämpötila</b>	Pohjois-Suomi	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti	kohoaa	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti
	Etelä-Suomi	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti	kohoaa	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti
<b>Vuorokauden alin lämpötila</b>	Pohjois-Suomi	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti	kohoaa	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti
	Etelä-Suomi	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti	kohoaa	kohoaa huomattavasti	kohoaa huomattavasti
<b>Pakkaspäivien lukumäärä</b>	Pohjois-Suomi	lyhenee	lyhenee	lyhenee	lyhenee	lyhenee
	Etelä-Suomi	lyhenee	lyhenee huomattavasti	lyhenee	lyhenee huomattavasti	lyhenee huomattavasti
<b>Nollapistepäivien lukumäärä</b>	Pohjois-Suomi	lisääntyy	lyhenee	lyhenee	lyhenee	säilyy lähes ennallaan
	Etelä-Suomi	säilyy lähes ennallaan	lyhenee	lyhenee	lyhenee	lyhenee

Ilmaston lämpenemisen seurauksena erityisesti Pohjois-Suomessa talvisateet lisääntyvät ja runsastuvat, sadepäivien lukumäärä kasvaa ja pilvisuus lisääntyy. Lisääntyneet runsaat sateet johtavat syys- ja talvitulvien lisääntymiseen, mutta toisaalta kevättulvat vähenisivät (Kotakorpi, 2021, s. 59). Runsaiden lumisateiden määrä lisääntyy, mutta lumipeitekausi lyhenee erityisesti Etelä-Suomessa. Lumipeitteen puuttuminen yhdessä toistuvien maaperän jäätyksen ja sulamisen jaksojen kanssa altistaa erityisesti vastaistutetut taimet talvihuolle ja ahavalle (Ruotsalainen ym., 2022, s. 13).

Lämpösumman kasvaessa kasvillisuusvyöhykkeet siirtyvät pohjoisemmaksi, joka muuttaa kasvien elinoloja. Etelä-Suomessa erityisesti kuusen kasvu vähenee ja lehtipuiden osuus kasvaa. Pohjoisilla alueilla koivun kasvu voi lisääntyä. Myös kuusen ja männyn tilavuuskasvu ja taimettuminen saattavat voimistua muuttuvista olosuhteista (Ruotsalainen ym., 2022, ss.

12-13). Varovaisenkin skenaarion mukaan Lapin keskilämpötilat nousevat kesäisin 2–3 °C, jolloin metsänraja nousisi 2100-luvun loppuun mennessä vähintään 350 m nykyistä ylemmäs ja johtaisi tunturipaljakan vähenemiseen (Ilmasto-opas, n.d.-e).

Monia Suomessa kasvatettavia, kotipuutarhoissa ja viheralalla käytettäviä kasveja viljellään niiden biologisten menestymisvyöhykkeiden pohjoisrajalla. Talvien keskilämpötilojen noustessa kasvien menestymisen Suomen talvessa arvioidaan paranevan monivuotisten kasvien pakkasvaurioiden riskin pienentyessä. Suomessa menestyvien monivuotisten puutarha- ym. kasvien lajikkeiden määrä lisääntyy lämpösumman kasvaessa ja kasvillisuusvyöhykkeiden siirtyessä pohjoisemmaksi. Kaupalliseen taimituotantoon voidaan ottaa uusia lajeja, jolloin niin hedelmä- ja vihannestuotannossa kuin viheralalla käytettävä lajikkeisto monipuolistuu. (Huhta & Melin, 2023, s. 27; Rosenberg, 2021, s. 14)

Muutokseen sopeutuminen tuo mukanaan myös haasteita. Nykyisin käytössä olevat taimilajikkeet on jalostettu vallitseviin ilmasto-oloihin. Sen sijaan lajikkeita, jotka sopeutuisivat vuosisadan lopulle ennustettuihin olosuhteisiin, hyvin korkeiden kesälämpötilojen ja pitkän päivän yhdistelmään, ei tavattane tällä hetkellä missään maapallolla. Vielä ei ole olemassa noihin oloihin jalostettuja lajikkeita. (Ruosteenoja ym., 2016a, s. 13) Taimituotannossa kestävät lajikkeet ovat välttämättömiä monivuotisten lajien viljelyn onnistumisessa. Näissä lajikkeissa riittävä ja pitkään keväälle kestävä pakkaskestävyys, vahva juuristo ja myöhäinen kukinta-aika ovat tärkeitä ominaisuuksia. Kotimainen lajikejalostus ja erityisesti ulkomaalaisten lajikkeiden riittävä testaus ennen laajamittaista viljelyä ovat avainasemassa minimoitaessa taimistoviljelyn riskejä. (Huhta ym., 2023, s. 30)

Kasvillisuuden menestyminen borealisella vyöhykkeellä edellyttää, että sen vuosittainen kehityssykli ja ilmastollinen vuosisykli ovat synkroniassa. Monivuotiset lajit talveentuvat syksyllä kestävänsä kylmää talvea. Talveentumisen käynnistyminen määräytyy laji- ja alkuperäkohtaisesti lyhenevän päivänpituuden ja lämpötilan laskun mukaan. Kullakin kasvilla on niille tyypillinen kriittinen yön pituus, jolloin talvehtiminen alkaa joka vuosi samaan aikaan säiden vaihtelusta riippumatta (Pankakoski, 1992, ss. 137-138). Syksyllä yön pituuden kasvaessa kasvien pituuskasvu päättyy, silmut alkavat muodostua ja talveentuminen alkaa. Kun syksyinen kylmä kausi ennen pakkasjaksoja pitenee, kasveilla on pidettyvän kasvukauden aikana enemmän aikaa talveentumiseen, joka voi lisätä niiden pakkaskestävyyttä. Toisaalta talveentumiselle lähtösykäyksen antava päivänpituuden muutos ei ilmastomuutoksesta muutu, joten talveentuminen alkaa tulevaisuudessa lämpimämpänä aikana kuin nykyisin. Ilmastomuutoksen seurauksena Suomen lisääntyvä sateisuus johtaa syksyllä hyvin märkiin kasvuolosuhteisiin. Jos kylmää kautta edeltää

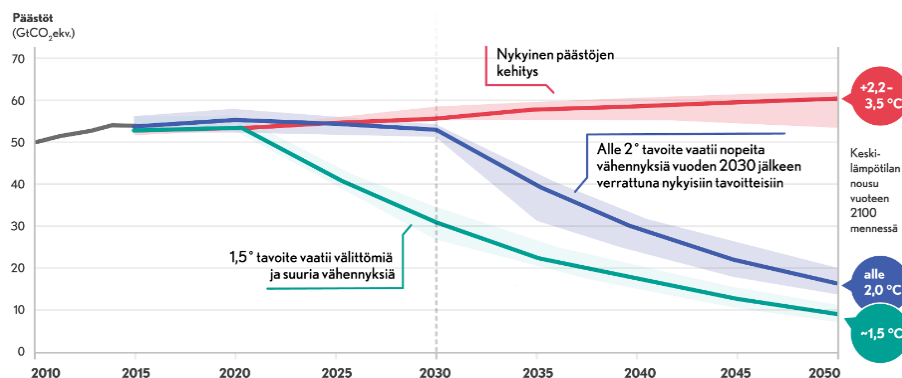
leudompi sääjakso, talveentuminen voi häiriintyä eikä parasta pakkaskestoa saavuteta. Lämpötilojen nousu talvella saattaa myös kiihdyttää solujen aineenvaihduntaa, jolloin kasvien energiavarastot hiipuvat talven aikana. Talvi-aikaisen kuivumisen riski kasvaa varsinkin eteläisillä lajeilla, koska ne voivat haihduttaa runsaasti talven lämpöjaksojen aikana. (Huhta & Melin, 2023, s. 27; Ruotsalainen ym., 2022, s. 13)

Syksyiseen lehtien kellastumiseen ja niiden irtoamissolukon kehittymisen säätelyyn vaikuttaa matala lämpötila sekä lyhenevä päivänpituus. Lehtivihreä hajaantuu ja typpi- ym. aineosat kulkeutuvat varren ja juuriston varastosolukkoihin. Lämmin syksy voi viivästyttää taimistoviljelyssä usein käytetyissä, alkuperältään boreaalista aluetta eteläisempi kasvien lehtien varisemista. Kesän kuivuusjaksot voivat myös viivästyttää lehtien irtoamista syksyllä. Tämä ilmiö on tulkittu sopeutumiseksi siihen, että kasvit pystyvät lisäämään hiilihydraattivarojaan mahdollisimman pitkään syyskaudella. Lehtivihreän jääminen syksyllä varisemattomiin lehtiin voi kuitenkin johtaa kasvien alentuneeseen typpitasoon seuraavan kasvukauden alkaessa. (Pankakoski, 1992, ss. 137-138; Huhta & Melin, 2023, s. 27; Yle, 2023a)

#### **4 Tavoitteet ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi**

Pariisin ilmastopimuksen tavoitteena on rajoittaa ilmaston lämpeneminen alle 1,5 asteen (Ilmasto-opas, 2022a). Maapallon keskilämpötila on kuitenkin kasvanut ja oli vuonna 2023 noin 1,45 °C vuosien 1850–1900 keskiarvon yläpuolella (WMO, 2024). IPCC:n 6. arviointiraportin mukaan valtioiden tähän mennessä ilmoittamat päästövähennyssitoumukset eivät riitä rajaamaan ilmaston lämpenemistä 1,5 asteeseen vuosisadan loppuun mennessä. Ilman nopeita ja vaikuttavia päästövähennyksiä seuraavan kahden vuosikymmenen aikana nykyinen päästökehitys johtaa noin kolmen asteen lämpenemiseen vuosisadan loppuun mennessä. Vuoden 2030 jälkeen vaaditaan jo voimakkaita päästövähennyksiä, jotta lämpeneminen voidaan rajata enintään 2 asteeseen. (Ilmasto-opas, 2023)

Kuva 14. Päästövähennystoimien riittävyys (Ilmasto-opas, 2023).



Ilmastonmuutosta ei voida pysäyttää, mutta sitä voidaan hillitä. Hillinnällä tarkoitetaan ihmisen toimia kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämiseksi ja hiilinielujen vahvistamiseksi. Eri valtioiden lisäksi Euroopan unioni on antanut asetuksen, jossa asetetaan sitova ilmastoneutraalisuustavoite. Asetuksen 2. artiklan mukaan unionin kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat on tasapainotettava viimeistään vuoteen 2050 mennessä niin, että nettopäästöt vähennetään noltaan vuoteen 2050 mennessä, jonka jälkeen unioni pyrkii saavuttamaan negatiiviset päästöt. Välitavoitteena on kasvihuonekaasujen nettopäästöjen vähentäminen unionin sisällä vähintään 55 prosentilla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä. (Euroopan parlamentti, 2021b, s. 26–28)

Suomessa ilmastonmuutoksen hillintätavoitteissa ollaan kunnianhimoisempia. Ilmastolain tavoitteena on varmistaa, että ”ihmisen toiminnasta aiheutuvat kasvihuonekaasujen päästöt vähentyvät ja nielujen aikaansaamat poistumat kasvavat siten, että kasvihuonekaasujen päästöt ovat enintään yhtä suuret kuin poistumat viimeistään vuonna 2035 ja että poistumat kasvavat ja päästöt vähenevät edelleen myös sen jälkeen” (Ilmastolaki 423/2022, § 2 ). Viimeaikaisten tutkimusten perusteella on kuitenkin todettu, että nyt toteutettujen toimenpiteiden joukolla ja muutosten tasoilla ei vielä saavuteta hiilineutraalisuutta vuonna 2035. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää lisää päästövähennystoimia ja maankäyttösektorin nettonielujen vahvistamista. (Savolainen ym., 2024, s. 146)

Hillintätoimina on siten kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja hiilinielujen vahvistaminen. Yksinään kumpikaan ei riitä. Vähentämällä lyhytikäisten kasvihuonekaasujen, kuten metaanin, päästöjä ilmaston lämpenemistä voitaisiin hillitä nopeasti. Näiden toimien vaikutukset ovat kuitenkin lyhytaikaisia. Maapallon lämpenemisen pysäyttämiseksi hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on välttämätöntä. Vähentäminen vaikuttaa kuitenkin hitaasti, koska hiilidioksidin elinikä ilmakehässä on pitkä. (Nevanlinna, 2008, ss. 200–201)

Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä hiilidioksidin osuus on noin 75 prosenttia ja tästä noin 90 prosenttia syntyy fossiilisten polttoaineiden eli kivihiilen, öljyn ja maakaasun tuotannosta ja käytöstä (Ritchie ym., 2023). Ilmastonmuutoksen hillinnän keskiössä onkin juuri siirtyminen pois fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Joulukuussa 2023 järjestettiin YK:n ilmastokokous, COP28, Dubaissa. Kokouksen merkittävin julistus oli, että uusiutuvien energialähteiden käyttöönoton vauhtia ja laajuutta on lisättävä huomattavasti, jotta saavutetaan Pariisin sopimuksen tavoitteet. Samalla edistetään maailmanlaajuisia siirtymistä pois fossiilisista polttoaineista hyvissä ajoin ennen vuosisadan puoliväliä ja viimeistään vuosisadan puoliväliin mennessä. (UNFCCC, 2023)

## 5 Hiilin sitominen

Fossiilisten polttoaineiden käytön rajoittaminen ei yksin riitä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, vaan sen lisäksi hiilen sitomista maaperään tulee vahvistaa. Arvioiden mukaan kasvit ja maaperä sitovat tällä hetkellä itseensä noin neljäsosan fossiilisten polttoaineiden päästöistä. Jotta maaperään ja kasveihin voitaisiin sitoa nykyistä enemmän hiiltä, tarvitaan uudenlaista ajattelu- ja toimintatapaa hiiltä sitovien viljelykäytäntöjen käyttöönottoon olipa kyse maanviljelystä tai avomaan taimituotannosta.

Oikein valitut ja sovelletut käytännöt kasvattavat maaperän eloperäisen aineen varastoja ja hiilen varastoitumista takaisin maaperään. Hiiliviljelyllä tarkoitetaan tässä taimistoissa tehtäviä viljelytoimia, joilla pyritään avomaan taimituotannon yhteydessä lisäämään hiilen pitkäaikaista varastoitumista maaperään sekä vähentämään viljelymaan kasvihuonekaasupäästöjä (Naukkariinen ym., n.d.).

### 5.1 Hiilen kierto

Kun tavoitteena on maaperän hiilivaraston eli hiilinielujen kasvattamista hiiliviljelyn avulla, on aluksi hyvä tarkastella hiilen kiertoa sekä sen sitoutumista maaperään. Hiili on tärkein alkuaine ja keskeinen ainesosa kaikissa elollisten olioiden molekyyliissä. Esimerkiksi ihmisen elimistöstä noin 18 % on hiiltä. Hiilen kierrolla tarkoitetaan kaasumaisen hiilidioksidin jatkuvaa liikkumista maapallon eri hiilivarantojen välillä. Kierron voi jakaa hitaaseen eli geosykliin ja nopeaan kiertoon eli biosykliin. Hidas kierto tarkoittaa prosesseja, jotka ajallisesti tarkasteltuna tapahtuvat 100–200 miljoonan vuoden aikana. Hidas kierto on muodostanut maan kuoreen maapallon suurimman hiilivaraston, joka varastoi hiiltä 10 000 vuotta ja kauemminkin. Hiilen hitaassa kierrossa hiili siirtyy ilmakehästä maan kuoreen eli

litosfääriin sateen mukana. Ilmakehän hiili yhdistyy veteen muodostaen hiilihappoa, joka liuottaa kivilajeja. Liukenevat kivilajit vapauttavat mm. kalsiumioneja, jotka siirtyvät pintaveden mukana meriin ja eliöihin. Lopulta eliöiden jäänteet sedimentoituvat kiviainekseksi, joihin sitoutuu hiiltä. Kiviaineisiin sitoutunut hiili vapautuu jälleen ilmakehään kivilajien sulaessa tulivuorten purkausten yhteydessä. (Riebeek & Simmon, 2011)

Kuva 15. Hiilen kierto (Naukkarinen ym., n.d.).



Hiilen nopea kierto tapahtuu ilmakehän, valtameren, merten pohjan pintasedimentin, kasvillisuuden, maaperän ja vesistöjen välillä. Kierto on nopeaa, koska ilmakehässä yksittäinen hiilidioksidimolekyylillä viipyy vain noin viisi vuotta. Sen sijaan kasvillisuus, maaperä ja osa merten varastoista sitovat hiiltä sadoiksi tai jopa tuhansiksi vuosiksi. Maa- ja kasvihengityksen johdosta osa maaperään sitoutuneesta hiilidioksidista vapautuu ilmakehään. Myös valtaosa merten pintakerrokseen sitoutuneesta hiilestä palautuu hiilidioksidina ilmakehään. (Naukkarinen ym., n.d)

Hiiltä siirtyy hitaasta kierrosta osaksi nopeaa kiertoa tulivuorten vulkaanisen toiminnan, kemiallisen rapautumisen ja eroosion seurauksena. Ihminen on kuitenkin teollistumisen myötä häirinnyt luonnollista hiilenkiertoa lisäämällä fossiilisten polttoaineiden käyttöä, jonka seurauksena suuri määrä maaperään sitoutunutta fossiilista hiiltä on vapautunut hitaasta kierrosta nopeaan kiertoon. (ICPP, 2014, ss.12-13; Naukkarinen ym., n.d)

## 5.2 Hiilen sitoutuminen maaperään

Maaperässä hiiltä esiintyy sekä epäorgaanisena että orgaanisessa muodossa. Maaperän epäorgaaninen hiili tarkoitetaan karbonaattimineraalien rakenneosana esiintyvää hiiltä. Suomen kallioperäisessä kivennäisaineksessa karbonaattimineraalit ovat harvinaisia, joten Suomessa ei luontaisesti esiinny lainkaan epäorgaanista hiiltä. (Heinonsalo ym., 2020, s.10)

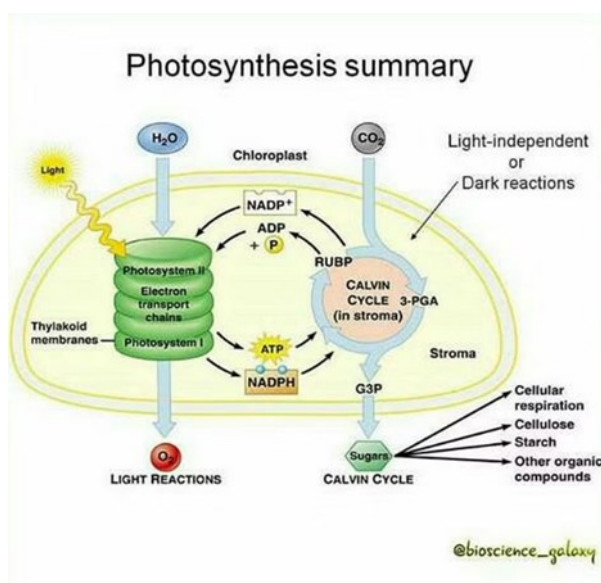
Maaperän orgaanisella aineksella tarkoitetaan kasveista, mikrobeista ja eläimistä peräisin olevaa kuollutta ainesta ja joka esiintyy maassa eriateisesti hajonneina yhdisteinä.

Orgaanisella hiilellä tarkoitetaan hiiltä, joka on sitoutunut eloperäiseen ainekseen muodostaen noin puolet eloperäisen aineksen massasta. (Heinonsalo ym., 2020, s. 8)

### 5.2.1 Orgaaninen hiili

Hiili päätyy eloperäisen aineksen osaksi kasvien fotosynteesin eli yhteyttämisen kautta. Yhteyttäessään kasvit sitovat ilmakehän hiilidioksidin sisältämän hiilen tuottamiensa hiilihydraattien rakenneosaksi ja edelleen biomassaksi (Kuva 16). Maahan joutuvan kuolleen kasviaineksen, kasvieritteiden, eläinperäisten jätteiden ja orgaanisten lannoitteiden vaikutuksesta hiilen määrä kasvaa. Toisaalta hiiltä poistuu maaperästä orgaanisen aineksen hajotessa, mutta myös eroosion ja huuhtoutumisen mukana. (Heinonsalo ym., 2020, s. 8; Naukkarinen ym., n.d)

Kuva 16. Fotosynteesin valoreaktio ja Calvin-Benson-kierto (EduRev, n.d.).



Hiilen pysyvyyteen maassa vaikuttaa eloperäisen aineksen hajoamisnopeus. Labiili orgaaninen aines hajoaa nopeasti, muutamasta kuukaudesta vuoteen. Helposti hajoava aines pitää yllä maan elämää toimiessaan ravintona lukuisille maan eliöille, joiden hajotustoiminnan seurauksena orgaaniseen ainekseen sitoutuneita ravinteita vapautuu uudelleen kasvien käyttöön. (Naukkarinen ym., n.d)

Mikäli maaperän hiilivarastoa halutaan kasvattaa, on stabiililla orgaanisella aineksella keskeinen rooli. Stabiili orgaaninen aines hajoaa hitaasti, satojen vuosien kuluessa. Stabiiliin muotoon orgaaninen aines päätyy, kun hajotuksen eri vaiheissa syntyvät yhdisteet ja mikrobiperäinen aines reagoivat maan kivennäisaineksen kanssa. Maahan lisätty orgaaninen aines eli hiilisyöte koostuu kolmesta tekijästä: maanpäällisistä kasvintähteistä, maanalaisista kasvitähteistä (juuret ja juurieritteet) sekä lisätystä lannasta ja maanparannusaineista. Heinonsalon mukaan maahan lisätystä orgaanisesta aineesta 20–80 % hajoaa hyvin nopeasti 1–4 vuoden kuluessa, jolloin sen sisältämä hiili palaa ilmakehään. Hitaasti hajoavaa osuutta on perinteisesti kutsuttu ”humustuneeksi”. Maanpäällisistä kasvintähteistä muodostuu humukseksi 20 %, juurista ja juurieritteistä noin 40 %, lannasta noin 35 %, kompostista noin 40 % ja biohiilestä noin 80 % alkuperäisestä lisäysmäärästä laskettuna. (Heinonsalo ym. 2020, s. 22)

Peltomaissa valtaosa orgaanisesta aineksesta ja hiilestä on sitoutuneena kivennäisaineksen pinnoille tai on suojassa maamurujen sisällä. Peltomaan eloperäinen aines sijaitsee sen pintakerroksessa, jossa myös hiilen osuus on suurin. Taulukosta 3, joka kuvaa hiilen jakautumista eri maaprofiileissa Jokioisten savimaalla, voidaan todeta, että 66 prosenttia peltomaan hiilestä sijaitsee 0–35 cm:n syvyydellä.

Taulukko 3. Hiilen jakautuminen maaprofiilissa (Yli-Halla 2019).

Syvyys, cm	C, %	<b>C, t/ha</b>	Osuus, %
0-19	3,5	<b>86</b>	37
19-35	3,3	<b>68</b>	29
35-110	0,4	<b>35</b>	15
110-210	0,3	<b>44</b>	19
Yhteensä		<b>233</b>	100

Muruissa ja mineraaleissa oleva hiili säilyy maassa pitkään, mikäli maaperän olosuhteet eivät merkittävästi muutu. Viileä ja kostea ilmasto sekä maan hienojakoinen kivennäisaines suosivat hiilen kertymistä maahan. Hienojakoisten maiden orgaanisen hiilen pitoisuus on

keskimäärin korkeampi kuin lajitekoostumukseltaan karkeampien peltomaiden. Mitä enemmän peltomaassa on partikkelikooltaan pientä kivennäisainesta, kuten savesta tai hienoa hiesua, sitä enemmän maassa on orgaanista ainesta sitovia ja suojaavia pintoja. (Heinonsalo ym., 2020, s. 27) Pohjoisilla leveysasteilla on runsaasti orgaanisia multa- ja turvemaita, jossa orgaanisen hiilen pitoisuus voi olla yli 40 % (Heinonsalo ym., 2020, s. 8).

Maan muokkaus kiihdyttää orgaanisen aineksen hajotusta paljastaessaan maan rakenteen ja murujen suojaamaa orgaanista ainesta hajottajamikrobeille ja parantaessa maan ilmanvaihtoa. Muokkauksen tapahtuessa maan pintakerroksessa, jossa sitoutuneen hiilen osuus on suurin, lisääntyneen hajotustoiminnan myötä orgaanista hiiltä poistuu hiilidioksidina ilmaan aikaisempaa enemmän. Tutkimuksissa onkin todettu, että Suomen peltojen hiilipitoisuus on vähentynyt kaikissa maalajeissa (Taulukko 4). Viljelymaahan sitoutuneen hiilen vähentyminen johtuu paljolti peltojen hoitokäytännöistä viime vuosikymmeninä, mutta hiilipitoisuuden väheneminen johtuu osittain myös muista viljelymaahan vaikuttavista prosesseista, kuten ilmastonmuutoksesta. (Luke, 2023)

Taulukko 4. Keskimääräiset hiilipitoisuudet (g/kg) maalajeittain Suomessa (Luke, n.d.).

	Kivennäis- maat	Multa- maat	Turve- maat
1987	39	174	358
1998	39	187	347
2009	37	172	344
2018	35	152	331

### 5.2.2 Mikrobit hiilensitojina

Mikrobiston vaikutus maan hiilivarastoon liittyy orgaanisen aineksen hajotustoimintaan ja kasvin kasvua edistäviin vaikutuksiin. Näiden tekijöiden tasapaino vaikuttaa suoraan hiilivaraston suuruuteen ja sen muutoksen suuntaan. Mikrobit vaikuttavat hiilen kiertoon kahdella vastakkaisella tavalla. Orgaanisen aineksen hajotustoiminnan kautta mikrobit vapauttavat hiilidioksidia ilmakehään, mutta samalla ne myös muodostavat suuren osan maaperän pysyvästä hiilivarastosta.

Maahengityksessä mikrobit hajottavat orgaanista ainetta ja vapauttavat hiilidioksidia ilmakehään. Viljelykasveilla tehdyt tutkimukset ovat osoittaneet, että fotosynteesin tuottamasta hiilestä 30–60 % siirtyy juuriin. Tästä määrästä kasvin kasvuun liittyvässä

juurihengityksessä poistuu keskimäärin 35 %. Koska juuriin siirtyneestä hiilestä yli puolet hajotetaan saman kasvukauden kuluessa, suuri osa niin juurihengityksessä kuin maahengityksessä vapautuvasta hiilidioksidista on peräisin lähiaikoina sidotusta hiilestä. Pysyvemmän orgaanisen aineksen hajotuksessa syntyvä hiilidioksidi tuottaa mineraalimailla vain noin kymmenesosan maan kokonaishengityksestä hiilivarastoja. (Pahkala, 2008, s. 15; Naukkarinen ym., n.d)

Orgaanisen aineksen hajotustoiminnan lisäksi mikrobit muodostavat suuren osan maaperän pysyvästä hiilivarastosta käyttäessään ylimääräisen hiilen kasvuunsa. Maaperän hiilivaranto kasvaa, kun osa kasvien maahan syöttämästä hiilestä sitoutuu mikrobien biomassaan. Mikrobien hiilen käytön tehokkuus tarkoittaa sitä, kuinka suuri on mikrobien sisäänkäyttämän hiilen osuus. Hiilen käytön tehokkuuden ollessa suuri hiiltä sitoutuu enemmän mikrobibiomassaan ja maaperän hiilidioksidipäästö on pieni. Mikrobibiomassaan sitoutunut hiili voi ajan kuluessa sitoutua maaperän mineraaleihin ja muodostaa näin hiilen pitkäaikaisen varaston, mutta tähän vaikuttavat kasvualustan kosteusolosuhteet, maalaji sekä mururakenne ja mikrobiyhteisön koostumus. (Naukkarinen ym., n.d)

Viime vuosien tutkimukset myös ehdottavat, että suuri osa pitkäaikaisesta hiilen varastosta olisikin peräisin mikrobien biomassasta. Tämä havainto nostaisi mikrobien hiilenkäytön tehokkuuden entistä merkittävämpään rooliin maaperän hiilivarastotarkasteluissa. Edellä jo todettiin, että hiilisyöttestä suuri osa palautuu nopeasti takaisin ilmakehään. Aiemmin uskottiin, että maaperään jäävä hiilijae muodostuu hajoamattomista kasvintähteistä. Uusien tutkimusten mukaan maaperään jää myös mikrobien läpi mennyttä, helposti hajoavaa hiiltä, jolloin suurin osa maaperän hiilestä onkin peräisin mikrobien jäänteistä eikä kasvinjätteistä. (Heinonsalo ym., 2020, ss.15–22)

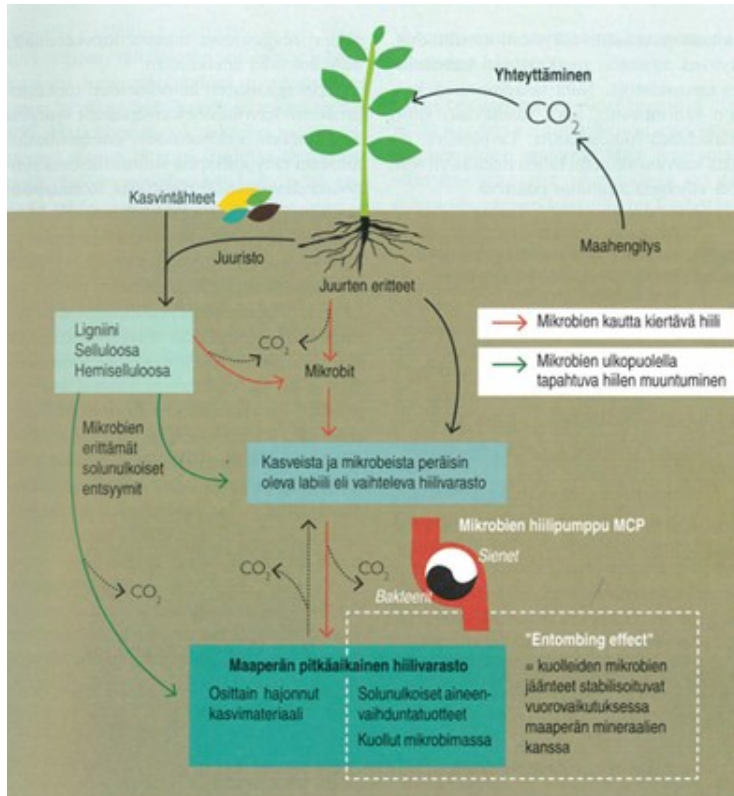
Mikrobien typen saanti lisääntyy maaperän mikrobien hiilen käytön tehokkuuden kasvaessa. Tällöin hiiltä ei kuluteta sellaisten entsyymien valmistamiseen, jotka vapauttavat typpeä hajottamalla orgaanisia yhdisteitä. C/N-suhde (hiili-typpeä-suhde) kuvaan hiilen ja typen suhdetta. Kasvit eivät saa typpeä käyttöönsä, jos maassa on hiiltä enemmän kuin typpeä, koska pieneliöt varastoivat typen käyttöönsä. Kun hiiltä on maassa liian vähän, vapautuu typpeä liian nopeasti maasta ilmakehään eikä jää kasvien käyttöön. Suomessa peltomaan tyypillinen C/N –suhde on 10–16, mutta esimerkiksi hitaasti maatuvalle oljelle on 40-kertaisesti hiiltä suhteessa typen määrään. Tällöin hajoaminen on hidasta, koska pieneliöt käyttävät typpeä kymmenesosan hiilen määrästä. (Eurofins, 2020; Peltonen ym., 2019, s. 22)

Maaperän hiilivarasto ei kasva rajattomasti. Hiiltä sitovan viljelymenetelmän käyttöönoton jälkeen hiilivarasto kasvaa, mutta ajan kuluessa orgaanisen hiilen pitoisuus saavuttaa tasapainotilan. Tasapainotilassa hiilivarasto ei muutu, koska hiilisyöte vastaa päästöä. Hiilen saturaation eli kyllästymispisteen tapahtuminen on paikkakohtaista ja sen saavuttamiseen voi mennä 10 tai jopa 100 vuotta. Kyllästymispisteen saavuttamisen jälkeen hiilen lisäys ei enää kasvata hiilivarastoa. Eloperäisen aineksen lisäys maaperään voi priming-ilmiönä tunnetun prosessin kautta kiihdyttää maaperän vanhan ja pysyvän hiilen hajoamista. (Naukkarinen, 2022, s. 7) Vaikka hiilen lisäysmäärää lisätään, sitä vähemmän lisätystä hiilestä sitoutuu maahan. Toisaalta mitä suurempi on systeemin epätasapaino, sitä voimakkaammin hiiltä sitoutuu tai vapautuu. Maa on hiilisaturoitunut, kun mineraalipinnat ovat täyttyneet. Hiilivarastoa voidaan saturaation jälkeenkin lisätä, mutta lisätty hiili hajoaa aiempaa nopeammin ja hiilivarasto on herkkä nopealle laskulle. (Heinonsalo ym., 2020, s.19)

Orgaaninen hiili pidättyy maahan kemiallisesti ja fysikaalisesti. Kemiallisesti orgaaninen hiili pidättyy maahan muodostaessaan yhdisteitä mineraalien kanssa ja fysikaalisesti suojautumalla savimineraaleihin, jossa hiili on suojassa hajotukselta. Savimailla onkin karkeita kivennäismaita suurempi kyky varastoida hiiltä. Biokemiallisesti orgaaninen hiili pidättyy maahan mikrobien muodostaessa pitkäketjuisia hiiliyhdisteitä ja mikrobimassaa. (Heinonsalo ym., 2020, s.19)

Joidenkin tutkimusten mukaan hiilen käytön tehokkuus on sienivaltaisissa yhteisöissä bakteerivaltaisia suurempi. Pellon kasvukunnon heikentyessä mikrobisyhteisö voi muuttua bakteerivaltaisemmaksi. Myös mineraalityppilannoitus voi vähentää sienten ja sienijuurien määrää maassa, jolloin se voi pienentää hiilenkäytön tehokkuutta. (Heinonsalo ym., 2020, s.15; Naukkarinen ym., n.d)

Kuva 17. Maaperän hiilivaraston muodostuminen (Peltonen ym., 2019).



### 5.2.3 Sienijuurten hiilensidonta

Sienijuuri (mykorritsa) on sienen ja kasvin muodostama molempia hyödyntävä kokonaisuus, jossa sieni elää kasvin juuristossa symbiosissa kasvin kanssa. Sienijuurisymbioosi voidaan määritellä sienten ja sen isäntäkasvien väliseksi vuorovaikutussuhteeksi, jossa molemmat hyötyvät. Sienijuurityypit eroavat sen perusteella tunkeutuvatko ne isäntäkasvin juurisolujen läpi vai ei. Viljelykasvit ja perennat sekä mm. hedelmäpuut, pihlaja, tuomi, kataja sekä useimmat puuvartiset pensaat ja jaloista lehtipuista tammi ja pyökki muodostavat kerājuurisienen. Keräsienillä sienijuuri muodostuu, kun sienirihmasto tunkeutuu sisälle kasvin juuriin ja muodostaa kasvin juurisoluihin keräsiä sekä kasvattaa rihmastoja kasvin soluväleihin. Keräisten keskeisenä tehtävänä on parantaa kasvin ja sienen yhteistyötä molempien ravinteiden-, veden- ja energiansaannissa. (Vestberg & Timonen, 2018, ss. 14–15)

Pintajuurisieni on paljas- ja koppisiemenisten puuvartisten kasvien eli mm. männyn, kuusen, koivun, lehmuksen, haavan, lepän ja pajun sienijuurityppi. Pintajuurisienen sienirihmastot kasvavat kasvin solun välissä, mutta eivät sen soluseinien sisäpuolella. Soluseinä, joka erottaa kasvi- ja sienisolut, sisältää molempien eliöiden erittämiä soluseinän aineksia ja on erilainen kuin kasvin tai sienen soluseinä yksinään. Pintasienuurissa sienirihmasto

muodostaa ns. Hartingin verkon, kun sienirihmasto kasvaa juuren kuorikerroksen soluvälitiloihin. Juurten pinnalle muodostuukin näkyvä rihmastovaippa, joka eristää juuren maasta, jolloin juureen kulkevat aineet joutuvat kulkemaan vaipan läpi sienisolun sisällä tai solujenvälisessä tilassa. Merkittävin osa aineiden siirtymisestä sienestä juureen ja juuresta sieneen tapahtuukin juuri Hartingin verkossa. (Vestberg & Timonen, 2018, ss. 93–95)

Maahan levittäytyvä pintasienirihmasto kasvattaa syksyisin näkyvän itiöemän, joista osaa käytämme ruokasieninä, kuten tatteja, haperoita ja rouskuja.

Sienijuurisieni vahvistaa kasvin vastustuskykyä taudinaiheuttajia vastaan, koska sen olemassaolo heikentää kilpailun vuoksi taudinaiheuttajien mahdollisuuksia. Sienijuurisienet myös erittävät antibioottisia aineita, jotka suojelevat kasvin juuria taudinaiheuttajilta. Sienijuurisieni tehostaa fosforin, kuparin ja sinkin eli vaikeasti liikkuvien ravinteiden ottoa. Usein se myös tehostaa isäntäkasvien biologista typensidontaa. (Rajala, 2006, s. 58)

Isäntäkasvin yhteyttämistä hiilestä jopa viidennes siirtyy sienijuurien ulkorihmastoon muutamassa tunnissa. Koska sienirihmasto voi muodostumisensa jälkeen hajota hyvin nopeasti, osa siihen varastoituneesta hiilestä vapautuu takaisin ilmakehään. Jos rihmasto on päätynyt maaperäeliöiden ravinnoksi, siihen sitoutunut hiili varastoituu maahan. Sienijuurisymbioosi edesauttaa hiilinielun muodostukseen monilla tavoilla. Ensinnäkin se tehostaa isäntäkasvin yhteyttämistä, joka puolestaan kasvattaa suuremman sienijuuriston, jolloin pintajuurisientä voi olla jopa 10 000 km/m<sup>2</sup>. Sienijuuririhmasto onkin merkittävä osa maaperän mikrobibiomassasta. Pellokosysteemissä sienirihmastoista periytyvää hiiltä voi olla satoja kiloja hehtaarilla. Sienijuurisienten rihmastot ulottuvat laajalle alueelle ja voivat kasvin juuristoa paremmin jakaa yhteyttämistuotteita tasaisesti maahan. Koska sienirihmasto tunkeutuu hienoimpiinkin hiukkasiin, se edistää maan mikrobitoimintaa ja näin muodostaa ja ylläpitää maan mururakennetta. Tämä taas edesauttaa sienirihmaston maahan kuljettaman hiilen varastoitumista maahan. (Vestberg & Timonen, 2018, ss. 52, 310–311)

Maan rakenteen muodostuksessa ja stabiloinnissa keräsienirihmastojen erittämällä glomaliini-proteiinilla on merkittävä osuus. Glomaliinin proteiiniyhdisteet, jotka liimaavat maahiukkasia vettä kestäviksi muruiksi, ovat hitaasti hajoavia, koska niiden puoliintumisaika on viidestä vuodesta muutamaan kymmeneen vuoteen. Näin glomaliinin sisältämä hiili kertyy maahan pitkän ajan kuluessa ja kasvattaa erityisesti keräsienivaltaisissa ekosysteemeissä maan pysyvää hiilivarastoa. (Vestberg & Timonen, 2018, s. 312)

Ilmastonmuutoksen vaikutus sienijuurien ilmastonmuutoksen hillintävaikutuksista on epäselvä. Siitä esitetäänkin keskenään ristiriitaisia johtopäätöksiä, koska tällä hetkellä

tiedetään liian vähän sienijuurisienten kyvystä sopeutua erilaisiin ympäristöoloihin ja ilmastonmuutokseen. Kenttäkokeiden perusteella on todettu, että ilmakehän lisääntynyt hiilidioksidipitoisuus lisää rihmaston määrää maassa, koska isäntäkasvin yhteyttämisen lisääntyminen parantaa kasvin kasvua. Lämpötilan kohoaminen edistää myös sienirihmastojen ja mikrobien kasvua. Toisaalta sienirihmastojen hajoaminen nopeutuu lämpötilan noustessa. Lopulta sienijuurten reagoitua ilmastonmuutokseen ohjaa kasvillisuuden muutos. Isäntäkasveissa tapahtuvat muutokset aiheuttavat muutoksia sieniyhteisössä, millä voi olla merkitystä sienijuurisienien hiilensidontaan. (Vestberg & Timonen, 2018, s. 312)

## 6 Maan viljavuus ja kasvukunto

Suomessa termi maan viljavuus sisältää kaikki kasvien kasvuun vaikuttavat maan ominaisuudet, kuten ravinteisuuden, rakenteen ja biologisen toiminnan. Viljavuuskäsitettä käytetään usein maan kasvukunnon synonyymina, mutta käytännössä viljavuudella on tarkoitettu lähinnä maan ravinteisuutta.

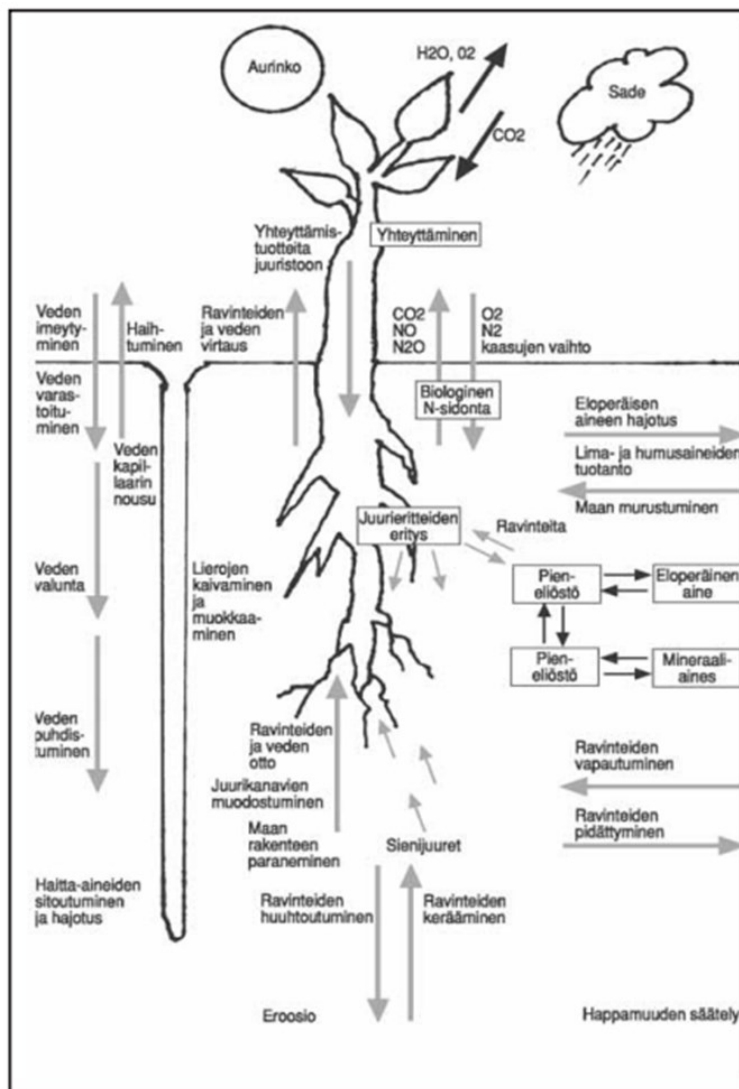
Kasvukunto sen sijaan kertoo maan laadusta, viljavuudesta sekä tuottokyvystä eli se kuvaa maan toiminnallista laatua kokonaisuutena (Kukkonen, ym. 2004, s. 9). Sadontuottokyvyn lisäksi hyväkuntoinen maaperä varastoi vettä, hiiltä ja ravinteita sekä kykenee ylläpitämään monipuolista eliöyhteisöä, mutta se on myös herkkä erilaisille viljelytoimien muutoksille. Kasvukuntoa voidaan kehittää viljelykäytäntöjä muuttamalla ja sitä voidaan seurata erilaisilla indikaattoreilla. (Mattila & Rajala, 2017, s.11)

### 6.1 Maan viljavuus

Maan viljavuudella tai sadontuottokyvyllä tarkoitetaan maan kykyä toimia kasvualustana ja tuottaa satoa. Viljavuus on maa-kasvi-systeemin eri osapuolten välistä vuorovaikutusta. Tällä tarkoitetaan maan mineraali- ja eloperäisen aineksen, pieneliöstön ja juurten sekä ympäristön välistä vuorovaikutusta. Viljavuuden kannalta keskeisintä on se, miten koko maa-kasvi-systeemi toimii. Pitkällä tähtäimellä viljavuuden tärkeä ominaisuus on maa-kasvi-systeemin toiminnan vakaus eli itsesäätelykyky. Erityisesti ravinnetasojen ylläpidon, happamuuden sekä tautien, tuholaisten ja rikkakasvien hallinnassa maan itsesäätelykyky on ratkaisevassa asemassa. (Rajala, 2006, s. 53)

Viljavassa maassa on vilkas maaperäeläinten ja pieneliöstön toiminta sekä se on rakenteeltaan huokoista, muruista ja ilmavaa. Viljavalle maalle on ominaista hyvä vedenläpäisy- ja pidätyskyky sekä puskurikyky maata happamoittavia tekijöitä vastaan. Viljavan maan tehokas eloperäisen aineksen hajotustoiminta tuottaa ja varastoi hiiltä maaperään. Sen eroosio on vähäistä ja maalla on kyky muuttaa haitta-aineita vaarattomiksi. Paremman itsesäätelyn myötä maassa on myös vähemmän kasvintuhoojia. Viljavassa maassa ravinnepäästöt ovat vähäisempiä, sadontuottokyky on hyvä ja maalla on kyky tuottaa ja varastoida ravinteita. (Rajala, 2006, ss. 52–53)

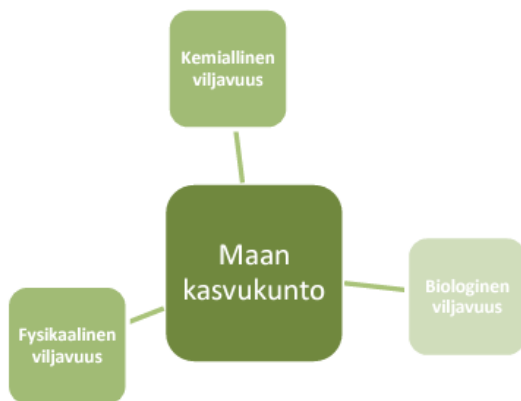
Kuva 18. Viljavan maan toiminta (Rajala, 2006).



## 6.2 Maan kasvukunto

Tässä opinnäytetyössä maan kasvukunnon ajatellaan kuvaavan maaperän kykyä reagoida viljelytoimiin siten, että taimituotanto ja ekosysteemipalveluiden tuottaminen voivat jatkua. Maan kasvukunto on kokonaisuus, joka riippuu biologisista, kemiallisista ja fysikaalisista tekijöistä. Kasvukunnon eri tekijät ovat riippuvuussuhteessa toisiinsa, jolloin yhdenkin tekijän häiriö vaikuttaa muiden tekijöiden toimintaan. Biologisen, elävän osan maasta muodostavat pieneliöt kasvien juurten kanssa. Kasviravinteiden lisäksi kemialliseen osaan luetaan maan happamuuteen ja erilaisiin kemiallisiin yhdisteisiin liittyvät asiat sekä eloperäisen aineksen määrä maassa. Fysikaalisiin tekijöihin luetaan vesitalouteen ja maan rakenteeseen liittyvät asiat. (Kukkonen ym., 2004, s.11)

Kuva 19. Maan kasvukunnon osa-alueet (Rantala, 2018).



### 6.2.1 Maan biologinen kasvukunto

Biologinen viljavuus on kasvien juurten ja juurieritteiden sekä pieneliöiden toiminnan tulosta. Biologiset tekijät huolehtivat ravinteiden kierrosta, tuottavat humusta, lujittavat muruja ja muokkaavat maata eli tekevät maan ylimmästä osasta elävää ruokamultaa. Biologinen viljavuus parantaa kasvien veden- ja ravinteidenottokykyä, tautien vastustuskykyä ja kykyä sietää ääri-ilmiöiden aiheuttamaa stressiä. Aktiivinen ja monimuotoinen pieneliötoiminta on maan viljavuuden perusedellytys. Pieneliöstö koostuu mm. bakteereista, sienirihmastoista, sukkulamadoista ja lieroista. Suomalaisessa peltomaassa pieneliöstöä on keskimäärin 1,5–3,0 t/ha, joista lieroja jopa 1 t/ha. (Rajala, 2006. ss. 53–57)

Pieneliöstö toimii maassa useiden viljavuuden kannalta tärkeiden tehtävien suorittajina. Pieneliöstö hajottaa helposti hajoavaa eloperäistä ainetta ja kierrättää kasvi- ja eläinjätteisiin sitoutuneet aineet takaisin luonnon kiertokulkuun ja edelleen kasvien käyttöön.

Hajotustoiminnan tuloksena ne saavat elintoimintoihinsa, kasvuunsa ja lisääntymiseensä sekä työhönsä tarvitsemansa energian. Samalla muodostuu lima-aineita maan mururakenteen lujittamiseen, ravinteita, humusta ja hiilidioksidia kasvien lehtiin yhteyttämistä nopeuttamaan. Vilkas hajotustoiminta estää myös tautien leviämistä. (Rajala, 2006. s. 56)

Suomessa yleisimmät lierolajit ovat peltoliero, kasteliero ja onkiliero. Peltolieron käytävä on yleensä vaakasuora, kun taas kastelieron käytävät ovat syviä ja pystysuoria. Maan viljavuudelle lierojen merkitys on suuri. Lierot ilmastavat maata käytävillään, muokkaavat kasvintähteitä maahan ja lannoittavat maata ulosteillaan. Kasvintähteitä haudatessaan ne paitsi vievät orgaanista ainesta syvemmälle, myös vähentävät kasvintähteiden kautta tulevaa tautipainetta. Osa lierolajeista viihtyy pellon pintakerroksissa, mutta syvälle kaivautuvien lajien, kuten kastelierojen, käytävät voivat ulottua yli metrin syvyyteen ja ne tarjoavat juurille ja ylimääräiselle vedelle sujuvan kulkureitin syvempiin maakerroksiin parantaen veden imeytymistä sateella. (Rajala, 2006. s. 57)

Kesäajan aktiivisessa vaiheessa lierot voivat tuottaa päivässä jopa painonsa verran lantaa. Hyvässä peltomaassa lieroja on 1 000 kg/ha, jolloin ne voivat tuottaa 1 000 kg/ha lantaa (Rajala, 2006. s. 57). Mikrobeille lierojen suolensisältö ja ulosteet ovat sopiva elinympäristö. Lierojen ulosteessa on keskimääräistä enemmän kasveille käyttökelpoisia ravinteita, koska lierojen suolessa olevat mikrobit käyvät lävitse lierojen syömää kasvimassaa ja samalla vapauttavat siihen sitoutuneita ravinteita. Lisäksi lanta on lievästi emäksistä, joten se auttaa maan pH:n säilyttämisessä. Näin ne rikastavat ravinteita kasveille käyttökelpoiseen muotoon. (Raatikainen, 2021, ss. 9–10)

## 6.2.2 Maan kemiallinen kasvukunto

Kemiallinen viljavuus käsittää mm. maan happamuuden, ravinteikkuuden, ravinteiden varastointikyvyn ja suolapitoisuuden. Kasvualustan happamuus säätelee sen biologisia ja kemiallisia reaktiota, mutta vaikuttaa epäsuorasti myös maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Happamuus vaikuttaa maan mikrobitoimintaan, kasvinravinteiden liukoisuuteen, maan murtumiseen, eloperäisen aineksen hajoamiseen sekä humuksen syntyyn ja edelleen kasvien kasvuun. Useimmat puutarhakasvit viihtyvät parhaiten maassa, joka on lievästi hapan pH:n ollessa 6–6,5. Tällaisessa maassa ravinteet ovat kasveille käyttökelpoisimmassa muodossa. Kun maan pH-arvo laskee alle 5, se johtaa kationinvaihtokapasiteetin vähenemiseen. Tämän seurauksena kasvin juurten kasvu ja kehitys estyy, jolloin veden imeytyminen sekä typen otto ja sen käytön tehokkuus häiriintyvät. (Soinne, 2016)

Maan happamuuteen vaikuttaa sekä luontainen että viljelystä johtuva happamoituminen. Suomessa maaperä on luontaisesti hapanta, jolloin happamoitumista aiheuttaa kallioperän rapautuminen, eroosio ja huuhtoutuminen. Luontaista happamoitumista aiheuttaa myös orgaanisen aineksen epätäydellinen hajoaminen. Viljelystä ja maankäytöstä aiheutuu happamoitumista mm. ammoniumtyyppä sisältävien lannoitteiden käytöstä, jolloin nitraattia tulee maahan enemmän kuin kasvit käyttävät. (Soinne, 2016; Tarpio, 2021, ss. 10–11)

Maan ravinteisuus muodostuu maanesteeseen liuenneista vesiliukoisista ravinteista, maahiukkasten pinnalla olevista vaihtuvista ravinteista sekä ravinnereserveistä ja maaperän kokonaisravinteista, jotka tulevat kasvien käyttöön kiviaineksen rapautumisen kautta. Maan kokonaisravinnevaroista esimerkiksi savimaiden jankkokerroksessa (25–100 cm) voi fosforia olla 2–3 t/ha ja kaliumia 180 t/ha. Hiekkamaissa vastaavat ravinnemäärät ovat vain muutamia satoja kiloja. (Rajala, 2006, s. 71)

Kallioperä muodostuu erilaisista kivilajeista, jotka taas koostuvat erilaisista mineraaleista eli kivennäisaineista. Kullakin mineraalilla on oma kemiallinen koostumus, joka yhdessä niiden laadun ja määrän kanssa vaikuttavat maan muihin ominaisuuksiin sekä määrittää sen, millaisia reaktioita niiden pinnoilla tapahtuu. Maaperän tärkeimpiä reaktioita ovat ravinteiden pidättyminen maahiukkasten pinnoille. Tällöin ravinteiden pidättymispaikkojen tyyppi ja määrä määrittelevät maan kyvyn varastoida lannoitteista ja eloperäisestä aineksesta vapautuvia ravinteita. (Sädeharju ym., n.d.)

Mineraalit vaikuttavat suoraan maan viljavuuteen, koska kasvit käyttävät ravinteina niistä maahan vapautuneita ioneja. Maahan positiivisella varauksella varautuneiden ravinneionien varastointikyky eli kationinvaihtokyky tai kationinvaihtokapasiteetti (KVK) on kasvien ravinnehuollon perusta. Kationinvaihtokapasiteetti kuvaa ravinnemäärää, joka mahtuu maahiukkasten pintaan kasvien saatavaan muotoon. Kationit sitoutuvat maan kiintoaineksen pinnoille sähköisin voimin ja vapautuvat maahiukkasten pinnoilta, kun maanesteen ravinnepitoisuus pienenee kasvin ravinteidenoton myötä. (Rajala, 2006, ss. 72–73)

Kationinvaihtokapasiteettiin vaikuttavat maalajin lisäksi maan multavuus ja pH. Viljava maa varastoi suuria määriä ravinteita kasvien käytettäväksi suhteellisen helposti, mutta turvassa huuhtoutumiselta. Karkeiden kivennäismaiden kationinvaihtokapasiteetti on usein alle 10 cmol/kg. Savimailla ja eloperäisillä mailla arvo on 20–100 cmol/kg. Hyvin ravinteikkaassa kompostissa kationinvaihtokapasiteetti-arvo voi olla yli 300 cmol/kg. Yleistäen voidaan sanoa, että mitä korkeampi kationinvaihtokapasiteetin arvo on, sitä ravinteikkaampi maa.

Kationinvaihtokapasiteettiä voidaan parantaa lisäämällä maan savespitoisuutta, jolloin

saviumuskompleksi pystyy sitomaan ja vapauttamaan enemmän ravinteita ja samalla lisäämään maan viljavuutta. Myös maan pH:ta nostamalla aina 7:ään asti sekä parantamalla maan multavuutta ja eloperäisen aineksen laatua voidaan maan ravinteiden varastointikykyä parantaa. (Jokela, 2016)

### 6.2.3 Maan fyysinen kasvukunto

Maan fysikaalisia viljavuustekijöitä ovat mm. maalaji, maan rakenne ja vesitalous sekä maan ilmavuus ja lämpimyyt. Ne vaikuttavat oleellisesti sekä maan biologisiin että kemiallisiin toimintoihin. Maaperän fysikaalisiin ominaisuuksiin vaikuttavat ennen kaikkea maan lajikekoostumus ja maan rakenne. Maan kivennaisaines jaetaan hiukkasten koon mukaan eri maalajitteisiin, joiden ominaisuudet eroavat toisistaan (Taulukko 5). Mitä enemmän maassa on tiettyä raekokoa olevaa ainesta, sitä voimakkaampaa on sen vaikutus maan ominaisuuksiin ja näin ollen myös maan viljavuuteen. Viljavuuteen maalaji vaikuttaa mm. maan rakenteen, ravinteisuuden, ravinteiden varastointikyvyn, vesitalouden ja lämpimyyden sekä muokkautuvuuden kautta. (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, ss. 23–24; Rajala, 2006, s. 66)

Taulukko 5. Maalajitteiden luokittelu ja lajitteiden nimitykset (Sädeharju ym., n.d).

#### Maalajitteet

Rakeen läpimitta (mm)	Lajitteen nimitys, lyhenne
< 0,002	saves, S
0,002 – 0,006	hieno hiesu, HHs
0,006 – 0,02	karkea hiesu, KHs
0,02 – 0,06	hieno hieta, HHt
0,06 – 0,2	karkea hieta, KHt
0,2 – 0,6	hieno hiekka, HHk
0,6 – 2	karkea hiekka, KHk
> 2	sora, Sr

Kivennäismaat luokitellaan lajitekoostumuksen mukaan. Sen sijaan eloperäisten maiden luokitus perustuu eloperäisen aineksen määrään ja laatuun. Hyväkuntoisen maan kiintoaineksen tilavuudesta tulisi olla 10–15 % orgaanista ainesta, mikä vastaa noin 4–8 %:n multavuutta. Orgaanisen aineksen määrä on vähämultaisessa maassa 0–3 %, multavassa

3–6 %, runsasmultaisessa 6–12 % ja erittäin runsasmultaisessa maassa 12–20 %.

(Sädeharju ym., n.d)

Edellä jo todettiin, että maalaji vaikuttaa maan viljavuuteen, mutta sillä on vaikutusta myös maan viljelyominaisuuksiin. Hiekka ja hiedat ovat ilmavia ja löyhiä, mutta erityisesti karkeiden hietä- ja hiesumaiden viljelyä rajoittaa poudanarkuus, jolloin ne ovat ne ovat alttiita kuivuudelle. Lisäksi näille mailla on tyypillistä vähäinen ravinteisuus sekä heikko ravinteiden varastointikyky. Toisaalta hiekkamaa ei roudi, jolloin routimisen aiheuttamat juuristovauriot ovat vähäisiä. Hietä sen sijaan soveltuu fysikaalisilta ominaisuuksiltaan kasvintuotantoon hyvin. Hienojen hietojen vahva puoli on hyvä poudankestävyys, jota lisää veden riittävän nopea kapillaarinen nousu kasvien käyttöön. Hienon hiedan ravinteisuus on keskinkertainen, mutta pienikin määrä savesta parantaa sen ravinteisuutta. (Sädeharju ym., n.d; Rajala, 2006 s. 67)

Hiesun fysikaaliset ominaisuudet ovat kasvintuotannon kannalta huonot, koska hiesumaissa on yleensä heikko rakenne. Loppukevään ja alkukesän sateet voivat liettää hiesumaan pinnan ja maan kuivuessa se kuorettuu helposti. Rakenteen johdosta sen jankko iskostuu helposti vettä hyvin hitaasti läpäiseväksi, jolloin hiesumaat ovat tiiviitä ja kuivuessaan kovia. Pintakerroksen liettyminen ja kuorettavuus haittaavat erityisesti kasvien taimettumista. Hiesu on myös hiekkaa ja savea sisältäviä maalajeja huomattavasti herkempi eroosiolle. (Rajala, 2006, s. 66)

Savimaat ovat runsasravinteisia ja niiden ravinteiden varastointikyky on hyvä. Savimaan rakenne on yleensä melko tiivis, koska savipartikkeleilla on suuri ominaispinta-ala ja paljon vettä, ravinteita ja eloperäistä ainesta pidättäviä pintoja. Savipartikkeleiden väliin jäävät huokokset ovat pieniä ja niiden muodostama huokosto monimutkainen, jolloin vesi ja ilma liikkuvat savimaassa hitaasti. (Sädeharju ym., n.d; Rajala, 2006, s. 66)

Eloperäiset viljelysmaat jaetaan turve- ja multamaihin. Eloperäiset maat ovat muodostuneet kasviaineksen hajotuksen ollessa olosuhteiden johdosta hitaampaa kuin kasviaineksen kertyminen. Maat, joiden eloperäisen aineksen pitoisuus on yli 20 prosenttia luokitellaan eloperäisiksi maiksi. Turvemaita ovat maat, joiden eloperäisen aineksen pitoisuus on yli 40 prosenttia. Lämpötila vaikuttaa huomattavasti maaperän humuksen hajoamiseen. Lämpimissä olosuhteissa maaperän eloperäisen aineksen hajoaminen on nopeampaa kuin viileässä. Kuivatettujen, lannoitettujen ja kalkittujen turvemaiden sadontuottokyky on hyvä. Turvemaita voidaan viljellä vähäisellä typpilannoituksella, koska maassa on hyvät typpivarat. Ne ovat myös helposti muokattavia ja ne sietävät hyvin poutaa. Ongelmina viljelykäytön

kannalta ovat toisinaan liiallinen märkyys ja heikko kantavuus sekä happamuus ja vähäravinteisuus muiden ravinteiden kuin typen osalta. (Sädeharju ym., n.d; Rajala, 2006, s. 67)

Viljavan maan rakenteen tärkeä tunnuspiirre on sen muruisuus ja siitä seuraava huokoisuus. Muruilla tarkoitetaan 2–7 mm huokoisia kappaleita maata. Muruja suuremmat kappaleet ovat kokkareita, paakkuja tai lohkkareita ja sitä pienemmät pienmuruja ja maahiukkasia (Rajala, 2006, s. 67–68). Murut voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään; huokosiin, biologisesti syntyneisiin muruihin ja ei-huokosiin, fysikaalisesti syntyneisiin muruihin. Biologisesti syntyneissä muruissa on kiviaineksen lisäksi paljon eloperäistä ainesta, koska mururakenteen lujittajana toimivat kasvien juuret, sienirihmasto ja bakteerien tuottamat lima-aineet sekä lierot. Biologiset murut ovat pyöreähköjä ja kestäviä. Pyöreiden huokoisten murujen väliin jää suuria, kooltaan yli 0,03 mm, huokosia, joissa on ilmaa ja joita myöten ilma vaihtuu ja sadevesi imeytyy maan sisään ja valuu edelleen alaspäin. Biologiset murut lisäävät myös maan poudankestävyyttä, koska murujen sisällä on 0,002–0,03 mm kokoisia huokosia, joihin varastoituu kasveille käyttökelpoista vettä. Kasvien hiusjuuret kasvavat helposti biologisten murujen sisään hakemaan ravinteita. Hiusjuuren kuollessa sen sisältämät ravinteet sitoutuvat maahan huokosten reunoille ja hajotuksessa mineralisoidut ravinteet vapautuvat kasvien käyttöön. Loppuosa hajonneesta murusta tuo pienmuruina pieniä huokostiloja maahan, jossa pieneliöstön tuottamat lima-aineet sitovat ne uusiksi muruiksi. Tämä jatkuva kierto ylläpitää maan muruisuutta. (Rajala, 2006, s. 67; Ravander ym., 2019 ss. 10–11)

Fysikaalisesti roudan, kuivumisen tai mekaanisesti muokkauksen seurauksena syntyneet ei-huokoiset murut ovat kulmikkaita, tiiviitä, sepelimäisiä tai teräväsärmäisiä ja sileäpintaisia. Kulmikkaiden murujen kyky varastoida kasvien käyttöön vettä ja ravinteita on oleellisesti vähäisempi kuin pyöreiden murujen. Pieneliöllä ei ole niissä tarttumapintaa, kasvien hiusjuuret eivät voi kasvaa niiden sisään eikä muruun johda veden ja kaasun vaihtoa mahdollistavia huokosia. Tiiviisti asettuneena sepelimäiset murut voivat myös estää juurien kasvun muualla kuin murujen välissä. Näin kasvin kasvu on heikkoa, koska se ei saa sileiltä pinnoilta tarvitsemiaan ravinteita. (Ravander ym., 2019 ss. 10–11)

Biologisesti syntyneistä muruista muodostuva maa on ilmava ja sen maahengitys on riittävää. Juurten kasvu on helppoa, kun juurien ei tarvitse porautua tiiviin maan läpi. Siksi hyvärakenteisessa maassa juurten pituuskasvu, tiheys ja toiminta parantavat kasvien ravinteiden ja veden saantia. Hyvä ilmavuus varmistaa myös vilkkaan pieneliö- ja hajotustoiminnan sekä lima-aineiden ja muiden viljavuudelle edullisten tekijöiden tuotannon. (Rajala, 2006, s. 70)

Suomen ilmastossa peltojen kuivatus ja vesitalous vaikuttavat ratkaisevasti maan kasvukuntoon nyt ja erityisesti tulevaisuuden äärevissä sääoloissa. Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta sadanta lisääntyy ja runsastuu. Toisaalta pouta- ja hellejaksojen pitenemisen ja haihdunnan lisääntymisen myötä maaperän pintakerros muuttuu entistä kuivemmaksi. Keväällä hyvä kuivatus nopeuttaa maan kuivumista ja lämpenemistä. Hyvän kuivatuksen ansiosta runsaat sadevedet pääsevät nopeasti pois pelloilta, jolloin kasvien juurien ja pieneliöiden hapensaanti on turvattu. Hyvärakenteinen maassa pienten sadekuurojen vesi imeytyy hyvin maan sisään ja liika vesi valuu nopeasti ruokamultakerroksen ja jankon huokosten läpi salaojiin. Hyvärakenteinen maa myös varastoi runsaasti vettä murujen väleihin sekä murujen ja kokkareiden sisään, jolloin poudanarkuus vähenee. ( Rajala, 2006, ss. 70–71)

Maan lämpötila muuttuu hitaasti ja maan pinnan lämpötilavaihtelut ovat voimakkaampia kuin syvemmillä. Kasvukausi ja kasvien kasvu alkaa vuorokauden keskilämpötilan noustessa pysyvästi yli 5 °C:een. Sen sijaan pieneliötoiminta alkaa merkittävämmän vasta maa lämmentyä noin 8 °C:een. Maaperän lämpötila säätelee voimakkaasti maaperän prosesseja mikrobien aktiivisuuden kautta. Lämpötilan noustessa mikrobien hajotusaktiivisuus kasvaa ja samalla ravinteiden mm. typen vapautuminen kiihtyy ja ravinteiden otto helpottuu. Sen sijaan kylmässä maassa mikrobitoiminta on hidasta, juurten toimintakyky on heikkoa ja ravinteiden saanti vaikeutuu. (Rajala, 2006, s. 71)

## **7 Hiiliviljely osana uudistavaa eli regeneratiivista viljelyä**

Edellä on jo todettu, ettei fossiilisten polttoaineiden käytön rajoittaminen yksin riitä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, vaan sen lisäksi tarvitaan toimia, jotka vahvistavat hiilen varastointia maaperään. Tarvitaankin uudenlaista ajattelu- ja toimintatapaa hiiltä sitovien viljelykäytäntöjen käyttöönottoon myös avomaan taimituotannosta. Uudistavan eli regeneratiivisen viljelyn keskiössä on maan kasvukunto. Hyvän kasvukunnon omaava maa tuottaa laadullisesti hyvän sadon, mutta myös sitoo hiiltä. Viljelytoimin tapahtuvaa maaperän hiilivaraston kasvattamista osana uudistavaa viljelyä kutsutaankin hiiliviljelyksi.

Hiiliviljely tarkoittaa toimintatapaa, jolla pyritään lisäämään hiilen pitkäaikaista varastoitumista maaperään. Hiiliviljelyssä viljelyperiaatteet ja -menetelmät ovat samoja kuin uudistavassa viljelyssä, mutta uudistava viljely tarkoittaa laajempaa kokonaisuutta. Hiiliviljelyssä huomio keskitetään hiilen lisäämiseen maaperään sekä maaperän hiilen varastoinnista huolehtimiseen. Maalajista riippuen pyritään lisäämään tai ylläpitämään maan hiilivarastoja,

mutta myös vähentämään hiilen karkaamista ilmakehään. Hiiliviljely, kuten uudistavakin viljely, ylläpitää maaperän biologista toimintaa, muokkaa hiiltä kestäväan muotoon ja kerryttää maaperän pitkäaikaista hiilivarastoa. Oikein valitut ja sovelletut käytännöt kasvattavat maaperän eloperäisen aineen varastoja ja hiilen varastoitumista takaisin maaperään. (BSAG, n.d.)

Uudistava eli regeneratiivinen viljely määritellään kokonaisvaltaiseksi, ekosysteemiä elvyttäväksi lähestymistavaksi ruoantuotantoon. Regeneraatio tarkoittaa vaurioituneen kudoksen paranemisprosessia, mutta sitä käytetään myös ekologiassa kuvaamaan ekosysteemin palautumista tai uusiutumista voimakkaasta häiriötilasta. Regeneratiivisen viljelyn periaatteen juuret ovat alkuperäiskansojen noudattamissa viljelyperinteissä eli maanhoidossa. Useimmat regeneratiivisen viljelyn määritelmät painottavat maatalousekosysteemien hallintaa, jonka keskiössä on maaperän hoito. Maaperän kuntoon ja hoitoon keskittyvä määritelmä mahdollistaa regeneratiivisen viljelyn periaatteiden käyttöönoton toimijan tuotantosuunnasta tai -tavasta riippumatta. (General Mills, n.d.; Hagelberg ym., 2020, ss. 1–4) Näin regeneratiivisen viljelyn periaatteita voitaneen soveltaen noudattaa myös avomaan taimituotannossa.

## 7.1 Viljelymenetelmien vaikutus maan hiilivarastojen muutokseen

Maan hiilivaraston muodostuminen on kahden kilpailevan prosessin summa; toisaalla hiilisyöte lisää maan multavuutta, mutta toisaalla taas mikrobien hajotustoiminta vähentää sitä. Hiilivaraston kasvattaminen vaatii siten lisää hiilisyötettä kasvattamalla enemmän kasveja eli biomassaa tai tuomalla esimerkiksi biohiiltä muualta. Hiilen stabilisointia maahan voidaan edistää muuttamalla maaperän mikrobiyhteisöä, erityisesti lisäämällä sienijuurisieniä niin, että se muuntaa hiiliyhdisteitä suojatumpaan muotoon tai lisäämällä maan murustuvuutta ja murukestävyyttä. Maaperän kosteuteen, lämpötilaan ja happitilanteeseen vaikuttamalla voidaan mikrobien hajotustoimintaa hidastaa. (Heinonsalo ym., 2020, s. 30)

Taulukossa 6 esitetään joukko toimenpiteitä ja arvio niiden vaikutuksesta maan hiilivarastojen muutokseen neliportaisella asteikolla; - haitallinen vaikutus, + lievä positiivinen vaikutus, ++ kohtalainen positiivinen vaikutus ja +++ voimakas positiivinen vaikutus. Vaikka taulukko on laadittu peltoviljelyä koskeväksi, se on muunnettuna käyttökelpoinen arvioitaessa uudistavan viljelyn periaatteiden soveltuvuutta avomaan taimituotantoon.

Taulukko 6. Viljelytoimenpiteiden vaikutus maan hiilivaraston muutokseen (Heinonsalo ym., 2020).

Toimenpide	Hiilisyöte						Suojaaminen		Hajotuksen hidastus			
	Yhteytystehon lisäys	Yhteytysajan lisäys	Juuriston määrä	Juuriston syvyys	Juuri-eritteet	Ulkopuolinen hiilisyöte	Mikrobi-yhteisön muutos	Murukestävyys	Villennys	Kosteus	Happi	Pohjavesi
Lannoitus ja kasvinsuojelu	Typpi- ja fosforilannoitus	+++		+		-		-				
	Sivu- ja hivenlannoitus	++		+	+	+						
	Eloperäinen lannoitus	++					+	+	+			
	Orgaaniset maanparannusaineet						+++	+++	++			
	IPM kasvinsuojelu	+						++				
Kasvit	Lajikkeet	++	++	+++	+++	+++						
	Kerääjäkasvit	+	+++	++	++	++		+++	+++	+++	++	
	Nurmiseokset	++	++	++	++	++		++	++			
	Seosviljely	+	+	++	++	++		+	+	+		
	Peltometsäviljely											
Maan rakenne	Tehostettu kuivatus	++	++	++	++	+		++	+	-	-	-
	Säätösalaajitus								-	+	+	+++
	Matalamuokkaus: oljet pintaan							++	++	++	+	
	Suorakylvö				-			++	+++	++	++	+
	Syväkuohkeutus			+++	+++							-
Laidunnus ja nurmet	Lyhyt laidunnus, pitkä lepo	+++	+++	+++	+++	+++	+	++	++	++	++	
	Nurmien niittokorkeus	++	++	++	++	++				+	+	

## 7.2 Hiiliviljelykäytännöt

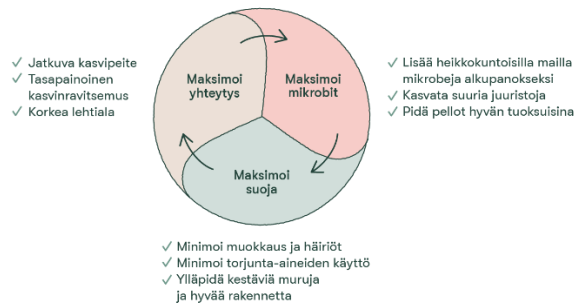
Ajatuksenani tässä opinnäytetyössä on pohtia taimistojen avomaatuotannon hiiliviisasta alkutuotantoa ”hiilensidonnan elinkaareissa” maataloudessa tunnistettuja hiiliviljelyn käytäntöjä soveltamalla. Maataloudessa tunnistettuja hiiliviljelyn käytäntöinä voidaan pitää:

1. Jatkuvaa kasvupitteisyyttä
2. Kevytmuokkausta
3. Eloperäisen aineksen lisäystä
4. Viljelykiertoa
5. Kerääjäkasvien käyttöä

Maataloudessa tunnistetut hiiliviljelyn käytännöt ja uudistavan viljelyn peruseriaatteet ovat samat (Kuva 20). Uudistavan viljelyn peruseriaatteiden tavoitteena on maksimoida laadukas sato, kun taas hiiliviljelyn tavoitteena on maksimoida hiiden sitoutuminen maaperään ja minimoida hiilen karkaaminen maaperästä.

Kuva 20. Uudistavan viljelyn peruseriaatteen (Sädeharju & Malin, n.d).

Uudistava maanviljely



## 8 Teemahaastattelu tutkimusmenetelmänä

Koska hiili- ja uudistava viljely ovat Suomessa vielä melko uusia viljelykäytäntöjä, tutkimusmenetelmäksi valittiin teemahaastattelu. Haastatteluteemoiksi valikoitiin viisi teemarunkoa. Kysymyksillä haastateltavia ohjattiin kertomaan aiheesta ensisijaisesti nykyolosuhteiden näkökulmasta. Haastattelurunko lähetettiin osalle haastateltaville etukäteen tarkasteltavaksi. Haastateltavilta pyydettiin lupa käyttää heidän nimeensä ja edustamansa yrityksen nimeä haastattelutulosten esittelyn yhteydessä.

Haastateltavat valittiin Taimistoviljelijät – Plantskoleodlarna ry:n suosittlemista taimistoista. Haastateltavien valinnalla pyrittiin saamaan mahdollisimman monipuolisia näkökulmia pienellä otoksella. Lista haastateltavista on Taulukossa 7. Haastattelut järjestettiin huhtikuun 2024 aikana pääosin puhelimitse, koska tämä muoto sopi haastatelluille parhaiten. Toijalan Taimitarha Oy:n toimitusjohtajan haastattelu suoritettiin taimistokäynnin yhteydessä. Haastattelut kestivät noin tunnin ja niistä tehtiin vapaamuotoiset muistiinpanot.

Opinnäytetyö toteutettiin laadullisena tutkimuksena. Haastateltavia oli vain kuusi, joten saatuja tuloksia ja näkemyksiä ei voi suoraan yleistää vastaamaan muiden taimistoviljelijöiden näkemyksiä.

Taulukko 7. Haastatellut yritykset.

Yritys
Ahosen Taimisto Oy
Taimisto Huutokoski Oy
Harviala Oy
Toijalan Taimitarha Oy
Puutarha Tahvoset Oy

## 9 Haastattelutulosten analysointi

Haastatteluista saadun aineiston tulokset esitetään teemoittain, vaikkakaan teemat eivät ole yksittäisiä, vaan sivuavat ja täydentävät toisiaan. Aluksi esitetään taustatietoja, kuten taimistojen liikevaihtoa ja tuotannossa olevien lajikkeiden määrä. Tämän jälkeen käydään läpi taimistojen lisäysaineiston hankintaa ja taimistojen pohjamaan vaikutusta taimistojen avomaan tuotantoon.

Tutkimuksessa ei lasketa hiilitasetta eikä hiilijalanjälkeä. Tavoitteena on pohtia, miten taimiston voivat soveltaa maataloudessa tunnettuja hiiliviljelykäytäntöjä omaan avomaan taimituotantoon. Hiiliviljelykäytäntöinä tarkastellaan jatkuvaa kasvupeitteisyyttä, muokkauksen minimointia, eloperäisen aineksen lisäystä sekä viljelykiertoa ja kerääjäkasvien käyttöä.

### 9.1 Taustatiedot

Ensimmäisenä teemana oli tuoteryhmät ja niiden viljelykierrat, mutta se sisälsi myös perustietojen kartoitusta. Näillä tiedoilla voidaan suhteuttaa myöhempiä vastauksia ja samalla pohtia eri suuruisten yritysten tapaa toimia. Taulukkoon 8 on koottu haastatteluun valittujen taimistojen taustatiedot liikevaihdosta, pinta-alasta, asiakkaista, sijainnista sekä tuotannosta.

Taulukko 8. Taimistojen taustatiedot.

	Liikevaihto meur	Pinta- ala, ha	Asiakkaat tukku/ kuluttaja	Kasvu- vyöhyke	Lajike- määrä
Ahosen Taimisto Oy	0,9	35	80/20	IV	600
Taimisto Huutokoski Oy	4,2	130	100/0	III	280
Harviala Oy	6,0	100	100/0	II	200
Toijalan Taimitarha Oy	0,7	17	80/20	II	310
Puutarha Tahvoset Oy	8,0	125	100/0	IB	600–800

Haastatteluun valittujen taimistojen volyymit olivat hyvin erilaisia. Liikevaihdoltaan suurin oli noin yhdeksän kertaa suurempi kuin pienin. Liikevaihto korreloi myös käytettävissä olevaan pinta-alaan eli suuremmalla pinta-alalla voidaan kasvattaa enemmän myyntiin tulevia tuotteita. Suurilla taimistoilla on vain tukkuasiakkaita, kun taas pienissä on myös kuluttajaasiakkaita, mutta näissäkin noin 80 prosenttia liikevaihdosta kertyy tukkumyynnistä.

Tyypillisiä tukkuasiakkaita ovat puutarhamyymälät, viherrakentajat ja julkinen sektori.

Lajikemäärä vaihtelee taimistoittain ja vuosittain. Tässä esitetyt luvun edustavat haastatteluhetken arvioita avomaatuotannon osalta. Siten esimerkiksi yritysten kotisivujen tuoteluettelot ovat yleensä laajempia ja lajikevalikoima suurempi, koska niissä on mukana myös välitystuotteet. Taimistojen omassa avomaatuotannossa olevien eri tuotekategorioiden määrä vaihtelee huomattavasti. Kahden haastateltavan taimiston avomaatuotanto on keskittynyt pelkästään lehtipuihin, havuihin sekä puisto- ja katupuihin. Muilla taimistoilla tuotekategoria on laajempi sisältäen lehtipuiden ja havujen lisäksi myös koristepensaat sekä perennat ja köynnökset. Kaksi taimistoa on vähentämässä tai poistamassa oman perennatuotannon kokonaan kannattamattomana.

Kasvatusaika riippuu toisaalta tuotteesta toisaalta tuotteen myyntihetken koosta. Perennoissa kasvatusaika on vain muutamia kuukausia, kun taas puissa kasvatusaika on hyvinkin pitkä. Myyntiajankohdasta riippuen kasvatusaika saattaa lehtipuilla olla jopa 15 vuotta. Kasvatusajoilla on merkitystä erityisesti viljelykiertojen kohdalla. Taulukossa 9 esitetään lehtipuiden suuntaa-antavat kasvatusajat. Ympärysmitta mitataan noin metrin korkeudelta.

Taulukko 9. Lehtipuiden suuntaa-antavat kasvatusajat (Taimisto Huutokoski, 2021).

Kasvatus- aika, v.	Ympärys- mitta, cm.	Korkeus, cm.
2		150–200
3	4–6	
4	6–8	
5	8–10	
6	10–12	
7	12–14	
8	14–16	
9	16–18	
10	18–20	
11	20–25	
12	25–30	

Havuiissa kasvatusaika on 4–10 vuotta. Paljasjuuripensaiden kasvuajat riippuvat myös kokoluokasta seuraavasti:

Kokoluokka 30-50 cm, 2-versoa, 2 vuotta

Kokoluokka 30-50 cm, 3-5 versoa, 3 vuotta

Kokoluokka 50-70 cm, 3-8 versoa, 4 vuotta

## 9.2 Lisäysmateriaali

Kolmen haastatteluun osallistuneen taimiston lisäysmateriaali oli pääsääntöisesti omaa. Kahden muun taimiston lisäysaineiston alkutuotanto on sopimustuotantoa yhteistyökumppaneilla. Näin voidaan taata tuotteen hyvä laatu ja keskittyä itse kasvatukseen. Oma lisäysaineistoa käyttävät lisäysmenetelminä siemenlisäystä, kesä- ja talvipistokkaita, varttamista/jalontamista ja jossakin määrin myös mikrolisäystä.

Yleensä puut ja pensaat pyritään lisäämään omasta materiaalista. Haasteena tässä nähtiin, ettei omaa lisäysaineistoa saada tarpeeseen nähden riittävästi ja se, että joidenkin niin sanotusti ”hyväksi” todettujen kotimaisten kantojen lisääminen on hankalaa. Suurena haasteena nähtiin myös avomaalla tapahtuvan alkukasvatusvaiheen sääolosuhteet, joihin ei voi vaikuttaa. Muualta ostetaan lisäysaineistoa, jos oman lisäyserän kasvatus epäonnistuu tai omaa lisäysaineistoa ei ole riittävästi. Myös uutuuskasvien ensimmäiset pikkutaimierät ostetaan. Haasteena nähdään se, että ostetun lisäysaineiston tuotanto ei ole omassa käsissä, jolloin laatu saattaa vaihdella suurestikin.

Lisäysmateriaalin alkukasvatusvaihe ja myös itse tuotanto vaihtelee taimistoittain, mutta myös taimistojen sisällä. Osalla taimistoista vain kylvöt, talvipistokkaat ja suuremmat puut kasvatetaan avomaalla muutoin kasvatus tapahtuu astiassa. Toisaalla astiapensaiden alkukasvatus tapahtuu suurelta osin avomaalla kahden ensimmäisen vuoden aikana. Sen sijaan osa peltopensaista ja puista on ensimmäisen vuoden turvekasvualustassa pistokaslokerossa tai pienessä ruukussa, jonka jälkeen ne istutetaan loppukasvatukseen avomaalle. Yhdellä taimistolla lähes koko tuotanto kasvatetaan avomaalla.

## 9.3 Pohjamaan vaikutus taimistoviljelyyn

Luonnollisesti eri taimistojen pohjamaat vaihtelevat taimistoittain, mutta myös taimistojen sisällä. Yleistäen voi sanoa, että mitä suurempi on taimiston käytettävissä oleva pinta-ala ja mitä useampi kasvulohko, sitä vaihtelevampi pohjamaa. Kolmen haastatteluun osallistuneen taimiston pohjamaa on pääsääntöisesti kivennäismaata – hiekkaa, hiesua, hiesua, hietamoreenia – mutta myös savesta. Yhden taimiston pohjamaa vaihtelee paljon lohkoittain,

mutta on paljolti hiuesavea ja jonkin verran moreenimaata. Yhden taimiston pohjamaa on pääosin savesta, jonka päällä eloperäistä pintamaata.

Opinnäytetyön kohdassa 6.2.3 on pohdittu maalajin vaikutusta maan viljavuuteen ja viljelyominaisuuksiin. Hiekka ja hiedat ovat ilmavia sekä löyhiä ja karkeat hieta- ja hiesumaat ovat alttiita kuivuudelle. Näille mailla on tyypillistä vähäinen ravinteisuus sekä heikko ravinteiden varastointikyky. Toisaalta hiekkamaa ei roudi, jolloin routimisen aiheuttamat juuristovauriot ovat vähäisiä. Taimituotantoon ilmavat ja löyhät maapohjat soveltuvat hyvin näihin kasvualustoihin on helppo istuttaa ja toisaalta helppo nostaa taimia. Ongelmana on poudanarkuus, alttius kuivumiseen ja kastelun tarve, joka tulee esille myös kolmen haastatellun taimiston vastauksissa. Pohjamaan ollessa savesta haasteena on märkyys, joka haittaa toisaalta kasvien kasvamista, mutta myös viljelytoimia.

Hiilensidontan näkökulmasta orgaanisen hiilen pitoisuus on hienojakoisissa maissa keskimäärin karkeampia peltomaita korkeampi. Mitä enemmän peltomaassa on savesta tai hienoa hiesua, sitä enemmän maassa on orgaanista ainesta sitovia ja suojaavia pintoja, joihin hiili sitoutuu.

Maan fysikaalista ja kemiallista laatua eli viljavuutta seurataan kaikissa tutkimuksessa mukana olevilla taimistoilla viljavuustutkimuksilla. Viljavuustutkimus on ympäristösitoumuksen tilakohtaisen toimenpiteen yhtenä yleisenä vaatimuksena. Viljavuustutkimuksesta tulee käydä ilmi mm. lohkon maalaji, multavuus, happamuus, johtokyky, vaihtuva kalsium, helppoliukoinen fosfori, vaihtuva kalium ja vaihtuva magnesium (Ruokavirasto, 2024b).

Maan biologista toimintaa, kuten mikrobitoimintaa ja maaperän pieneliöstön määrää seurataan silmämääräisesti ja kokemusperäisesti esimerkiksi ns. lapiotestin avulla ja taimien noston yhteydessä. Mikään tutkimukseen osallistuneista taimistoista ei ilmoittanut tehneensä esimerkiksi Pro Agria NIR-maa-analyysiä, jossa maan biologisista ominaisuuksista raportoidaan mm. mikrobien biomassa, mikrobiaktiivisuus sekä bakteeri/sieni-suhde ja eloperäisen aineksen ja orgaanisen hiilen määrä (Eurofins, 2021). Haastattelussa ei myöskään tullut esiin, että taimistot olisivat valinneet ympäristösitoumuksen tilakohtaiseksi toimenpiteeksi esimerkiksi maaperän seurannan tai ilmasto- ja ympäristökoulutuksen, jossa yhtenä koulutusaiheena on hiilensidonta peltomaahan ja maaperän kasvukunto (Ruokavirasto, 2024b).

## 9.4 Hiiliviljelykäytäntöjen soveltaminen

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää voidaanko avomaan taimituotantoon soveltaa maataloudessa tunnettuja hiiliviljelykäytäntöjä. Taimistojen edustajien haastatteluissa teemakokonaisuudet tältä osin olivat jatkuvapeitteinen kasvatus, maan muokkauksen minimointi, eloperäisen aineksen lisääminen sekä viljelykierto ja kerääjäkasvit.

Keskusteluissa pyrittiin arvioimaan kunkin taimiston tarkasteluhetken tilannetta hiiliviljelykäytäntöjen soveltamisessa. Tulosten esityksen johdantona esitetään lyhyt katsaus kunkin hiiliviljelykäytännön merkityksestä maan kasvukuntoon ja toisaalta hiilen lisäämiseen maaperään sekä maaperän hiilen varastoinnista huolehtimiseen.

### 9.4.1 Jatkuvapeitteinen kasvatus

Ilmastonmuutoksen johdosta sään ääri-ilmiöt tulevat lisääntymään. Lauhat talvet ja lisääntyvät talvisateet yleistyvät. Myös kesäsateiden ennustetaan kovenevan ja runsastuvan rankka-sateiksi. Tällöin viljelyalueiden maaperän eroosio- ja ravinnehuuhtoumariski lisääntyy merkittävästi. Eroosio aiheuttaa kiintoaineen kulkeutumista maalta vesistöihin. Näin kiintoaineen sisältämä typpi- ja fosforikuorma huuhtoutuvat rehevöittämään vesistöjä. Avomaan taimistoviljelyssä rivivälien ympärivuotinen kasvipeitteisyys antaa hyvän suojan maaperää eroosiolta ja ravinteiden huuhtoutumiselta. Talveksi jäävä kasvusto sitoo pintamaata, jolloin eroosiota ja ravinnehuuhtoutumia voidaan vähentää. (Sädeharju & Malin, n.d.) Jatkuva kasvipeitteisyys suojaa maaperää myös hellejaksojen aikana. Kasvipeitteinen maa on paljasta maanpintaa viileämpi, jolloin haihtuminen on vähäisempää ja vesi pidätty kasvien käyttöön.

Vihreän kasvuston korkea lehtiala maksimoi yhteyttämisen, josta on hyötyä erityisesti hiilensidonnan kannalta. Jatkuvalla kasvipeitteisyydellä voidaankin vähentää hiilidioksidipäästöjä ja toisaalta kerryttää hiilivarastoja. Myös maanperän mikrobitoiminta on vilkasta, kun kasvipeite tarjoaa niille ravintoa sekä juuristonsa kautta että kasvintähteinä. Vilkkaan mikrobitoiminnan johdosta myös maan rakenne ja multavuus paranevat. (Sädeharju & Malin, n.d.)

Vuodesta 2023 alkaen viljelijätukien maksamisen edellytyksenä on ollut ehdollisuus. Ehdollisuus määrittää vähimmäistason toimenpiteet, joista ei makseta erikseen korvauksia. Ehdollisuuden osana ovat niin sanotut GAEC-vaatimukset eli hyvän maatalouden ja ympäristön vaatimukset, joista talviaikainen vähimmäismaanpeite on yksi. Viljelijän tulee

säilyttää vähintään 33 prosenttia tukihakuvuonna hallinnassaan olevan pellon ja pysyvien kasvien alasta kasvipeitteisenä syksystä seuraavaan kevääseen. Vaatimus koskee myös taimistoviljelijöitä. (Ruokavirasto, 2024a)

Taimistoviljelijän on mahdollisuus saada myös EU:n kokonaan rahoittamaa suoraa ekojärjestelmätukea, jonka tavoitteena on tukea ilmaston ja ympäristön kannalta suotuisia maatalouskäytäntöjä. Ekojärjestelmätukeen kuuluu yhtenä toimenpiteenä peltojen talviaikainen kasvipeite, jota ainakin yksi haastatelluista taimistoista on hyödyntänyt.

Taimistoissa käytettävät taimien rivivälit vaihtelevat lähinnä viljelyteknisistä syistä. Tähän vaikuttavat mm. tuotantotapa ja kasvatettava laji sekä myös käytettävissä oleva kalusto. Samat asiat vaikuttavat myös rivivälin kasvipeitteisyyteen. Rivivälit vaihtelevat traktorin renkaan leveydestä (noin 35–60 cm) 3,5 metriin. Alkukasvatusvaiheessa 1–1,5 metrin riviväli on yleinen. Pensaiden ja puiden rivivälit vaihtelevat kahdesta metristä 3,5 metriin. Taimistoista yhdellä on kaikki rivivälit metrin levyisiä ja yhdellä noin kolmen metrin levyisiä. Molemmissa rivivälin leveyden määrittää käytettävissä oleva kalusto.

Kolmella tutkimukseen osallistuneella taimistolla rivivälit ovat kasvipeitteisiä kuitenkin niin, että pensaiden ympäristö on voi olla mulloksella. Yhdellä taimistolla kierron alkuvaiheessa rikkakasveja torjutaan vuoden ajan kultivoimalla, jonka jälkeen riviväliin kylvetään hidaskasvuista nurmea. Yksi haastateltava kertoi, että riviväleissä kasvatetaan nurmea ja valkoapilaa, joka on todettu hyvin kulutusta kestäväksi eikä vety nurmen tavoin.

Kahden taimisto rivivälit ovat mulloksella. Kasvipeitteisyyden haasteena pidettiin erityisesti hoitamisen suuritöisyyttä, koska nurmi tulee ajaa useita kertoja kasvukaudessa. Syksyllä nostettavat taimet jättävät joissakin tapauksissa mulloksen talven yli ja vasta keväällä näille alueille kylvetään nurmi tai naapuri kylvää viljan. Koska taimien nostot päättyvät vasta marraskuussa, kylvöt eivät enää ole mahdollisia.

Kysymykseen, kuinka paljon riviväliä voidaan muuttaa, jos halutaan vähentää avointa mullospintaa, kaikki haastateltavat vastasivat, ettei muutos ole mahdollista. Yleensä perusteluna oli se, ettei käytettävissä olevan pinta-ala riitä, jos riviväliä lisätään. Perustelu on varsin ymmärrettävä, koska rivivälin kasvattaminen lisäisi tuotannosta poissa olevan pinta-alan määrää. Rivivälin kasvattaminen saattaisi johtaa myös kaluston uusintaa.

Useat haastatteluun osallistuneet taimiston käyttävät glyfosaattia puurivistöjen rikkakasvien torjuntaan. Tätä perusteltiin sillä, että tällä hetkellä käytettävissä ei ole muuta vastaavan

tehoista ainetta. Perusteluissa tuotiin esiin myös vakiintunut kauppatapa, että myytäessä juuripaakullisia puita, niiden tulee olla vapaita elinvoimaisista rikkakasvien juurista. Viimeaikaisissa tutkimustuloksissa on kuitenkin havaittu, että jopa erittäin pienet jäämät glyfosaattipohjaista torjunta-ainetta maaperässä vähentävät kasveissa eläviä endofyyttisiä mikrobeita, joiden tehtävä on tukea kasvien terveyttä ja kasvua (Turun yliopisto, 2023).

Tutkimukseen osallistuneiden taimistojen lepoaiheessa olevilla lohkoilla käytettiin jonkin verran avokesannointia tai kemiallista kesantoa, jos lohkolla oli erityinen kestorikkakasviongelma. Avokesannoinnissa avointa mullospintaa muokataan kesän aikana useita kertoja, jolloin rikkakasvien kasvu voidaan estää näännyttämällä ne. Näännytyksessä käytetään hyväksi ns. kompensatiopistettä, jossa kasvi on käyttänyt kaikki vararavintonsa.

#### **9.4.2 Maan muokkauksen minimointi**

Maan muokkauksen tavoitteena on saada kasveille sopiva kasvualusta ja säädellä maaperän toimintaa. Muokkaus vaikuttaa maan vesitalouteen, ilmatilaan, hajotustoimintaan ja lajistoon. Muokkaus vaikuttaa maan kosteustilanteeseen, kun kevätkuokkauksen avulla katkaistaan kapillaarinen vedennousu ja poistetaan kasvipeitettä, maa kuivuu ja lämpenee nopeasti. Tiivistyneeseen maahan saadaan muokkauksella lisättyä sen huokostilavuutta, parannettua vedenläpäisykykyä ja juuriston kasvuedellytyksiä. Maan ilmavuuden lisääntyessä juuriston kasvu edistyy sekä mikrobiaktiivisuus ja hajotustoimintaa lisääntyvät. Tehostamalla hajotustoimintaa saadaan tehostettua myös maan murustumista, jolloin ravinteet vapautuvat sopivassa rytmissä kasvien ravinteiden oton kannalta. (OSMO, 2019)

Muokkauksella kasvintähteet sekoitetaan maahan sopivan kosteisiin ja ilmaviin oloihin, jolloin ne hajoavat nopeasti. Samalla voidaan vaikuttaa siihen kerrostuvatko ravinteet pintaan, sekoittuvatko ne juuristokerrokseen vai haudataanko ne. Muokkauksella voidaan tuhota ei-toivottuja kasveja sekä vaikuttaa niiden siementen leviämiseen ja sijoittumiseen maaperässä. Maan pintaan jääneiden rikkakasvien siemenet menettävät itävyytensä nopeasti, mutta toisaalta niitä itää enemmän kuin syvään haudattuna. (OSMO, 2019)

Muokkausmenetelmäksi voidaan valita maan kääntäminen tai ei-kääntäminen sekä matala tai syvä muokkaus. Muokkausmenetelmästä riippumatta se häiritsee aina maata. Siksi muokkausta ja sen aiheuttamia haittoja tulee minimoida esimerkiksi sen intensiteettiä eli toistoja, tehoa ja syvyyttä, vähentämällä. Kevennetty muokkauksella voidaan parantaa maan kasvukuntoa ja kehittää maan multavuutta. Siksi se tulee sovittaa oikeilla ajoituksilla sekä laitevalinnoilla osaksi olosuhteita ja viljelyjärjestelmää. (Joonas ym., n.d.-a)

Hiilensidonnan ja pieneliötoiminnan kannalta kevennetty matalamuokkaus on paras. Mitä vilkkaampaa on maan mikrobien toiminta, sitä syvemmälle voi muokata vähäisimmin häiriöin, vaikkakin sienirihmastoja syvempi muokkaus häiritsee aina matalampaa enemmän. Viimekädessä muokkaussyvyyden kuitenkin määrittää pyrkimys poistaa kasvin kasvua rajoittavia tekijöitä ja kehittää maan rakennetta. Siihen, mikä muokkausmenetelmä kulloinkin valitaan, vaikuttaa kasvitähteiden määrä, poistettavien kasvien juuristojen syvyys ja korjattavan tiivistymän sijainti. (Joonas ym., n.d.-a; OSMO, 2019)

Muokkausmenetelmän ja -teknologian valinnassa tulee myös ottaa huomioon se, miten eri maalajit kestävät muokkauksen haittoja. Tiiviillä, vähämultaisilla ja huonorakenteisilla mailla kevennetty muokkaus ei välttämättä tuota hyvää lopputulosta, koska maa ei murustu hyvin tai on liian kosteaa muokattavaksi. Savimailla routa on hyvä maan murustaja, mutta hieta- ja hiesumailla rakenne on herkkä roudalle. Kevyillä hieta-, multa- ja turvemilla muokkaus voidaan tehdä syksyllä tai keväällä. Savipitoisilla mailla kyntö tulee tehdä syksyllä, sillä keväällä kynnettäessä savimaa kuivu nopeasti. (Osmo, 2019)

Avomaan taimituotannossa maan muokkauksen tarve vaihtelee tuotannossa olevien kasvien kasvatusajan perusteella. Avomaan perennatuotannossa kasvatusaika on lyhyt, jolloin perusmaan muokkaus tapahtuu usein jo vuosittain. Pensastuotannossa kasvatusajat ovat 1–3 vuotta ja muokkaustoimenpiteet näin harvempia kuin perennatuotannossa. Peltopuiden eli pellolle istutettujen puiden kasvatusaika vaihtelee huomattavasti ollen jopa 12–15-vuotta (Taulukko 9). Maanmuokkauksen tarve ei kuitenkaan ole suoraan verrannollinen kasvatusaikaan, koska lehtipuut voidaan siirtoistuttaa jopa neljä kertaa kasvatusaikanaan. Näin perusmaan muokkaus voi tapahtua puun kasvuaikana useamman kerran (Taimisto Huutokoski, 2021).

Haastatteluissa keskusteluaiheina oli tekninen kysymys: kyntö vai kevytmuokkaus ja kysymys lepotilassa olevan lohkon maanmuokkausmenetelmistä erityisesti lepokauden päättyessä (niin sanottu nurmen katkaisu). Haastatelluista yksi käytti koko lepotilan aikana kevennettyä matalamuokkausta. Tällä tavalla haluttiin estää maaperässä olevien itämiskykyisten rikkakasvien siementen kääntäminen sopiviin itämisolosuhteisiin.

Yleisesti nurmet päätettiin istutusteknisistä syistä kyntämällä. Erityisesti syväkynnettyyn ja muokattuun savimaahan on helpompi istuttaa taimet. Joillakin haastateltavilla oli vuokra- tai yhteistoimintasopimus maanviljelijän kanssa, jolloin hän vastasi lepovaiheessa olevan lohkon muokkauksesta. Haasteena tässä oli suorakylvön käyttäminen, koska se ei aina muokannut maata riittävästi.

### 9.4.3 Eloperäisen aineksen lisäys

Eloperäisillä maanparannusaineilla tarkoitetaan tuotteita, joiden hyöty perustuu ensisijaisesti eloperäiseen ainekseen ja toissijaisesti siihen sitoutuneisiin ravinteisiin. Eloperäisten maanparannusaineiden säännöllisellä käytöllä voidaan ylläpitää peltomaa runsasmultaisena, korkean murunkestävyyden maana. Eloperäisen aineksen lisäys parantaa maan muokkautuvuutta. Yhdessä uudistavan viljelyn muiden periaatteiden, kuten minimoidun muokkauksen ja viljelykierron kanssa voidaan vähämultaisia, tiiviitä ja kuorettumisherkkiä maita muuttaa multaviksi. (Joona ym., n.d.-b.)

Eloperäisen aineksen lisääminen maahan ruokkii maan pieneliöstöä, jolloin niiden aktiivisuus ja määrä lisääntyvät. Muutoksen vauhti riippuu eloperäisen aineksen laadusta eli sen hiilityppi-suhteesta ja hajoavuudesta. Suhdelukua 25 on yleisesti pidetty rajana, jota suuremman hiili-typin suhteen omaavat tuotteet ovat maanparannusaineita ja alhaisemmat lannoitteita. Kun hiili-typin suhde on enemmän kuin 25:1, pieneliöt sitovat väliaikaisesti typpeä käyttöönsä ja ne joutuvat hankkimaan eloperäisen aineksen hajotukseen tarvittava typpi kauempaa. Jo taas hiili-typin suhde on vähemmän kuin 25:1, kyse on lannoitteesta, sillä eloperäinen aines vapauttaa typpeä maahan. (Peltonen ym., 2019, ss. 44–47)

Eloperäisen aineksen lisääminen peltoon vaikuttaa samanaikaisesti maaperän fysikaalisiin, biologisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Savimaahan lisätty eloperäinen aines hyödyttää erityisesti maan fysikaalisia ominaisuuksia parantaessaan maan rakennetta, vedenläpäisyä sekä kasvien ja mikrobien elinoloja. Eloperäinen aines tasaa lämpövaihteluja ja vähentää kuivuutta, liettymistä ja eroosiota. Savimailla eloperäisen aineksen lisääminen hyödyttää myös maan kemiallisia ominaisuuksia maan ravinteiden pidätyskyvyn parantuessa. Multava maa sietää myös paremmin happamuutta kuin vähän eloperäistä ainesta sisältävä maaperä. Eloperäisen aineksen lisääminen biologisena seurauksena maan pieneliöstötoiminta vilkastuu ja monimuotoistuu. Pieneliöstötoiminnan vilkastumisen seurauksena eloperäisen aineksen hajoaminen nopeutuu, ravinteiden vapautuminen kasvien käyttöön helpottuu ja taudinaiheuttajat vähenevät. Pieneliöstötoiminnan vilkastumisen seurauksena hiiltä sitoutuu maaperään enemmän ja maahengitys tehostuu. (Riiko, 2017)

Taimistoviljelyssä eloperäisen aineksen lisäys tapahtuu lohkon ollessa viljelykierron lepovaiheessa. Kaikki haastatellut taimistot lisäsivät eloperäistä ainesta, kuten turvetta, viherlannoitusta, kompostoitua lietettä tai Humuspehtoorin puhdasta puukuitua, niin sanottua nollakuitua sisältävää KATE-tuotetta.

Kahden taimiston käytettävissä on karjanlanta. Oletettavasti taimistot käyttävät kasvatusprosessin sivuvirtana syntyvää kompostia, vaikka vastauksissa sitä ei, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta, nimenomaisesti mainittu. Oletus perustuu siihen, että taimituotannossa syntyy aina kompostoitavia sivuvirtoja, kuten kasvijätteitä.

#### 9.4.4 Viljelykierto ja kerääjäkasvien käyttö

Viljelykierrolla, jota kutsutaan myös kasvinvuorotteluksi tai vuoroviljelyksi, tarkoitetaan viljelytapaa, jossa tietyn suunnitelman mukaan vuorotellaan eri vuosina kasveja, jotka eroavat mahdollisimman paljon kasvuvaatimuksiltaan ja ominaisuuksiltaan. Kasvien kiertojärjestys harkitaan tarkkaan ottamalla huomioon esikasvivaatimukset sekä kasvitautien ja tulolaisten ennaltaehkäisy. (Toukoluoto & Peltonen, 2015, s. 52)

Viljelykierto ei ole mikään uusi viljelytekninen keino. Vuoroviljely on ollut osa suomalaista, perinteistä maataloutta ja viljelykierron uusia tekniikoita tuli käyttöön jo 1800-luvun puolivälissä. Pienviljelijän käsikirjassa vuodelta 1912 todetaan, että kasvinvuorottelussa: ”maa pysyy myös kuohkeana, samoin voidaan myöskin kasvinvuorottelun avulla päästä helpommin rikkaruohoista, kasvitaudeista ja tuhohyönteisistä ” (Sunila ym., 1912, s. 60). Paavo Patomäen Taimistoviljely-teoksessa vuodelta 1948 todetaan kokemuksen opettaneen: ”että kasvit eivät yleensä menesty hyvin, jos ne istutetaan samalle paikalle vuodesta toiseen” ja että ”maan väsymiseen vaikuttaa ehkä kuitenkin eniten se, että maan pikkueliöstön (mikrobien), nim. alkueläinten (mikrofauna) ja bakteerien (mikroflora) suhde toisiinsa ei ole sopusuhtainen, joten kasveille edullisia kemiallisia muutoksia ei enää tapahdu maassa riittävästi” (Patomäki, 1948, ss. 30–31). Vielä ennen toista maailmansotaa viljelykierto oli keskeisessä roolissa maataloustuotannossa ja on sitä edelleenkin luonnonmukaisessa viljelyssä. Toisen maailmasodan jälkeen kivennäislannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käyttö yleisty, viljelykierron käyttö väheni, viljamonokulttuuri yleisty ja siitä alettiin kutsua tavanomaiseksi tuotannoksi. Monokulttuurissa samaa viljalajiketta viljellään samalla loholla vuodesta toiseen.

Viimeisten vuosikymmenten aikana viljelykierron merkitys on korostunut myös tavanomaisessa viljelyssä. Vuodesta 2023 alkaen viljelijätukien maksamisen edellytyksenä olevan ehdollisuuden yhtenä osana on myös viljelykiertovaatimus. Tämä ei kuitenkaan koske monivuotia kasveja, jolloin se ei vaikuta taimistojen saamiin viljelytukiin eikä siten ole pakollista. (Ruokavirasto, 2024a)

Viljelykierron perustehtävä on maan kasvukunnon turvaaminen. Siksi kiertoon tulee sisällyttää myös syvä- ja runsasjuuristoisia kasveja. Syvä- ja runsasjuuristoiset kasvit lisäävät maan multavuutta, parantavat ruokamultakerroksen muruisuutta ja pohjamaan rakennetta. Viljelykierrolla voidaan myös ehkäistä kasvitautien ja tuholaisten lisääntymistä sekä helpottaa rikkakasvien torjuntaa. Viljelykierron kasvivalinnoissa tulee ottaa huomioon eri kasvien allelopaaliset vaikutukset. Kasvien lehdet ja juuret erittävät yhdisteitä, jotka maaperään huuhtoutuessaan voivat vaikuttaa seuraavien kasvien siementen itämistä ja verson kasvu edullisesti tai haitallisesti. (Rajala, 2006, ss. 106–107)

Viljelykierron avulla voidaan parhaiten ehkäistä maassa tai kasvinjätteissä talvehtivia kasvitauteja. Monipuolinen viljelykierto vähentää yhteen isäntäkasviin erikoistuneiden taudinaiheuttajien määrää ja monipuolistaa maan pieneliöstöä niin, ettei yksittäisten taudinaiheuttajien määrä kasva. Viljelykierron mahdollisuudet tuhoeläinten hallintaan ovat rajallisemmat kuin kasvitaudeilla. Lentäen tai ilmapirtausten mukana ne siirtyvät helposti lohkolta toiselle. Sen sijaan maassa säilyviin tuhoeläimiin voidaan kasvivalinnoilla vaikuttaa. (Toukoluoto & Peltonen, 2015, s. 32)

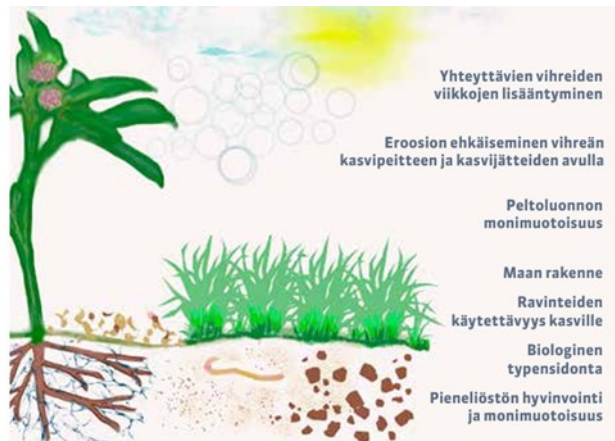
Kaikilla tutkimukseen osallistuneilla taimistoista oli viljelykierto käytössä. Viljelykierron pituus vaihtelee kasvin kasvuajan mukaan. Yleisenä tavoitteena on vähintään 2–3 vuoden ”lepoaika”, mutta rajoitteena mainittiin lisämaan tarve sekä uusien lohkojen aitaus- ja vesikaluston siirtokustannukset.

Kasvatusajan ollessa pisimmillään 15 vuotta ja lepovaiheen 5 vuotta, kiertoajaksi muodostuu 20 vuotta. Aikaa voidaan kuitenkin lyhentää tyhjentämällä lohko ja siirtoistuttamalla taimet uudelleen. Siirtoistuttamisen yhteydessä voidaan tehdä myös puiden niin kutsuttu juurihoito, jonka tarkoituksena on rajata juuriston tihein kasvu nostettavan juuripaakun alueelle. Nopeutetussa kierrossa myös maan kasvukuntoa voidaan nopeammin parantaa välikasveilla ja eloperäisen aineksen lisäämisellä ja näin saada lohko jälleen tuotantokäyttöön.

Monipuolisen viljelykierron osana toimivat alus- ja kerääjäkasvit parantavat maan kasvukuntoa, eroosion ehkäisemistä, rikkakasvien torjuntaa, mikrobien ruokkimista ja biologista typensidontaa. Alus- ja kerääjäkasveja käytetään myös orgaanisen aineksen ja kasvipeitteisyyden lisäämiseksi sekä estämään ravinnehuuhtoutumista (Kuva 21). Kerääjäkasvien merkittäviä hyötyjä ovat myös lisääntyvä yhteyttämispinta-ala sekä biomassa, jotka lisäävät maan eloperäistä ainesta ja tehostavat hiilensidontaa. (Malin, 2020 s. 4)

Lisättäessä viljelykiertoon viherlannoitusnurmia, apilanurmia ja palkoviljoja typensidonnan määrä kasvaa ja lisälannoituksen tarve pienenee. Yksivuotinen persianapila on nopeakasvuinen samoin kuin valkosinappi, jotka voidaan kylvää myös loppukesällä (Toukoluoto & Peltonen, 2015, s. 85). Typensidonnan tuoma typpi varastoituu maaperän multavuuteen ja vapautuu vähitellen, joten se ei ole suoraan käyttökelpoista kasveille (Mattila & Rajala, 2023, s. 23).

Kuva 21. Kerääjäkasvin vaikutukset (Malin, 2020).



Kerääjäkasvin valinnassa tulee päättää sidotaanko typpeä ilmasta biologisena typensidontana vai kerätäänkö sitä maasta. Biologisessa typensidonnassa ilmakehän typpeä sidotaan palkokasvien juurinyströissä toimivien Rhizobium-bakteereiden toimesta. Kerääjäkasveista erityisesti heinäkasvit ovat tehokkaita peltomaan vapaan typen hyödyntämisessä, jolloin voidaan laskea maan läpi suodattuvan veden nitraattipitoisuutta. Kerääjäkasvit ottavat tehokkaasti myös muita huuhtoutumiselle alttiita ravinteita, kuten rikkiä, jonka kerääjinä sinapit ja retikat ovat erityisen tehokkaita. Maksimaalinen typensidonnassa maan pH:n tulee olla kunnossa, koska typensitojabakteerit eivät elä maassa, jonka pH on alle 5. (Malin, 2020, s. 8)

Typensidonnalle tärkeää on myös maan ilmatilavuus. Jos maassa ei ole tarpeeksi happea, bakteerit eivät pysty tehokkaasti sitomaan typpeä. Kerääjäkasvit ovat avuksi maan ilmapuuden ja tiivistymien korjaamisessa. Monilajisessa kasvustossa kasvien erilaiset juuristot muokkaavat maata yhdessä. Parhaimmillaan ne läpäisevät sekä murtavat tiivistyneitä maakerroksia, koska syvälle tunkeutuvat paalujuuret sekä laajat ja tiheät hiusjuuret muokkaavat maata hydraulisella voimalla. (Malin, 2020, s. 12)

Avokesantoa taimistot eivät juurikaan käytä, vaan lepovaiheessa lohkot ovat viherkesannolla tai viljelysmaana. Viherkesannolla väli- ja kerääjäkasveina taimistot käyttivät tai ovat

käyttäneet useita eri lajeja, kuten kelta- ja valkosinappia, hernettä, härkäpapua, auringonkukkaa, öljyretikkaa, hunajakukkaa, kuituhamppua ja persianapilaa. Pääasiallisena tavoitteena on biomassan lisääminen viherlannoitukseen sekä typen tuottaminen seuraavan kasvuston käyttöön ja maan rakenteen parantaminen. Viljaa suositetaan erityisesti siksi, että viljan jälkeen kasvualusta on puhdas rikkakasveista, koska viljan kasvatusta vaatii rikkakasveista puhtaan maan. Myös maan rakenne paranee vuosittaisten maanmuokkausten ja oljen peltoon silppuamisen seurauksena. Viljanviljelyä taimistot eivät aina harjoita itse, vaan toimijana on lähistön maanviljelijä, jonka kanssa tehdään yhteistyötä.

## 10 Pohdintaa ja johtopäätökset

Peruskysymyksenä oli, voidaanko maataloudessa tunnettuja hiiliviljelykäytäntöjä soveltaa avomaan taimituotantoon. Vastausta etsittiin teemahaastattelemalla viiden avomaatuotantoa harjoittavan taimiston edustajaa. Jo alkukeskustelujen yhteydessä tuli esiin, että termi uudistava tai regeneratiivinen viljely oli vieras. Sen sijaan hiiliviljelytermi oli kaikille tuttu, mutta kukaan ei suoraan tunnustanut harjoittavansa tai pyrkivänsä nimenomaisesti harjoittamaan hiiliviljelyä.

Taimistoviljelyn luonteesta johtuen viljelykierto on yleisesti käytössä ja välttämätön, jotta maan kasvukuntoa voidaan ylläpitää. Osana viljelykiertoa ja kasvukunnon parannusta ovat kerääjäkasvit ja eloperäisen aineksen lisääminen. Maan muokkauksen minimointi on aina tapauskohtaista ja riippuu paljolti pohjamaasta ja esikasvista. Jatkovapeitteinen rivivälikasvatus on joissakin tapauksissa työläs, mutta ei mahdoton. Vastaus kysymykseen hiiliviljelykäytäntöjen soveltamisesta avomaan taimituotantoon on siten myönteinen. Kaikki tutkimukseen osallistuneet taimistot harjoittavat hiiliviljelyä. Jo taimiston tuotanto on hiiliviljelyä varsinkin puiden ja havujen kohdalla.

Hiiliviljelykäytäntöjen suurin ero eri taimistojen välillä on rivivälien avoin mullospinta. Tätä pidettiin työmäärältään helpompana kuin jatkovapeitteista kasvatusta, jossa haasteena nähtiin leikkuukertojen tiheys. On ymmärrettävää kohdistaa työpanokset mahdollisimman tuottavaan toimintaan, mutta ehkäpä tässä kohdin juurisyy on tapa. Näin on aina ollut.

Miten taimistojen hiiliviljelyä voidaan lisätä tai kehittää? Jo nyt kannustimena on, ainakin jossakin määrin, EU:n suorat viljelijätuet niihin toimintoihin, jotka edesauttavat luonnon monimuotoisuuden säilymistä ja hillitsevät ilmastonmuutosta. Viljelijätuet eivät siten ole este hiiliviljelylle, vaan päinvastoin hiiliviljely lisää tukien määrää. Taimistojen

päämarkkinasegmentti on rakentajat, kuten viherrakentajat ja julkinen sektori. Jo nyt on tutkittu kaupunkipuiden hiilijalanjälkeä, mutta tässä tutkimuksessa ei vielä ole otettu huomioon puiden alkutuotannon hiilijalanjälkeä, vaan tutkimus on vasta meneillään. Kun myös puiden alkutuotannon hiilijalanjälki on selvitetty, voidaan kokonaisvaltaisesti pohtia, mitkä hiiliviljelykäytännöt soveltuvat parhaiten avomaan taimituotantoon.

Tulevaisuudessa taimistoviljelyyn kohdistuu merkittäviä ilmastonmuutoksesta johtuvia ilmastohäiriöitä. Positiivisena voidaan pitää sitä, että lämpösumman kasvu ja tästä johtuva kasvukauden pidentyminen mahdollistavat uusien, ennen Suomessa menestymättömien, lajien ja lajikkeiden kaupallisen viljelyn. Samalla myös taimistoviljelyä voidaan harjoittaa uusilla maantieteellisillä alueilla kasvillisuusvyöhykkeiden siirtyessä pohjoisemmaksi ja pakkasvaurioiden riskin pienentyessä talvien keskilämpötilojen nousun johdosta.

Ilmastohäiriöihin sopeutuminen tuo mukanaan myös haasteita, joihin hiiliviljelyllä ei voidaan vastata. Nykyiset taimilajikkeet on jalostettu vallitseviin ilmasto-oloihin. Tulevaisuuden pitkän päivän ja korkean kesälämpötilan yhdistelmään soveltuvia lajikkeita ei juuri ole, jolloin niiden jalostustarve on ilmeinen. Hiiliviljelyllä yksin ei voida merkittävästi vaikuttaa ilmaston lämpenemisen seurauksena uusille alueille leviävien kasvitautien ja tuholaisten torjuntaan. Sen sijaan uudistava viljely osana luonnon monimuotoisuutta voi ehkäistä uusien kasvitautien ja tuholaisten aiheuttamia vahinkoja.

Haasteet, joihin hiiliviljely osana uudistavaa viljelyä voi vastata, kohdistuvat maan hoitoon ja erityisesti sen kasvukuntoon. Ennustetut äärevät sääolosuhteet, kuten pitkät hellejaksot, lisääntyvät talvisateet, sadepäivien ja sateiden runsastumien sekä lumipeitekauden lyhentymisen rasittavat maan kasvukuntoa. Uudistavalla viljelyllä, jossa toimivan vesitalouden lisäksi käytetään viljelykiertoa, vähintäänkin talviaikaista kasvipeitteisyyttä sekä minimoidaan muokkaus, voidaan maan kasvukuntoa ylläpitää ja luoda taimistoviljelyyn sopivat kasvuolosuhteet.

Vaikka ilmastonmuutoista ei voida pysäyttää taimien hiiliviljelyllä, voidaan sitä hillitä ja siihen sopeutua niin kauan kuin on toivoa.

## Lähteet

Ahonen, P. (2.4.2024). Toimitusjohtaja, Ahosen Taimisto Oy. Puhelinhaastattelu.

BSAG (n.d.) Q&A – kysymyksiä ja vastauksia. <https://www.bsaq.fi/faq/>

EduRev (n.d.) <https://edurev.in/question/2044061/Diagram-related-to-Photosynthesis-chapter->

Eurofins (16.3.2020). *Maan NIR-analyysi: Typpi*. <https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/2853731/maan-nir-analyysi-typpi.pdf>

Eurofins (7.4.2021). *Maan NIR-analyysi*. [https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/2858012/soilnir\\_yleistae-070421.pdf](https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/2858012/soilnir_yleistae-070421.pdf)

Euroopan komissio (n.d.) *Ilmastonmuutoksen seuraukset*. [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_fi](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_fi)

Euroopan parlamentti (7.4.2021a). *Mietintö ilmastonmuutoksen vaikutuksista kehitysmaiden haavoittuviin väestöihin*. [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0115\\_FI.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0115_FI.html)

Euroopan parlamentti (25.6.2021b). Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus puitteiden vahvistamisesta ilmastoneutraaliuden saavuttamiseksi sekä asetusten (EY) N:o 401/2009 ja (EU) 2018/1999 muuttamisesta (eurooppalainen ilmastolaki) <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-27-2021-INIT/fi/pdf>.

Finnsementti. *Ympäristöraportti 2022*. <https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Ymparistoraportti-Finnsementti-2022-1.pdf>

Foreca (3.3.2023). *Mitä eroa on säällä ja ilmastolla?* <https://www.foreca.fi/s%C3%A4%C3%A4pedia/hfplg50s> Haettu 25.1.2024

General Mills (n.d.) *Regenerative agriculture*. <https://www.generalmills.com/how-we-make-it/healthier-planet/environmental-impact/regenerative-agriculture>

Hagelberg, E., Wikström, U., Joonas, J., Mattila, T. (2020). *Regeneratiivinen eli uudistava maatalous: ruuantuotannon uusi suunta*. [https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2021/02/BSAG\\_CA\\_Regeneratiivinen-maatalous\\_FI\\_202101.pdf](https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2021/02/BSAG_CA_Regeneratiivinen-maatalous_FI_202101.pdf)

Heinonen, T. (2022). *Ilmastonmuutoksen vaikutukset timotei (Phleum pratense L.)-heinälajin lehtien fysiologiaan* (Pro gradu-tutkielma Itä-Suomen yliopisto). [https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/27350/urn\\_nbn\\_fi\\_uef-20220347.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/27350/urn_nbn_fi_uef-20220347.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Heinonsalo, J., Heimsch, L., Helenius, J., Huusko, K., Höijer, L., Joonas, J., Kanerva, S., Karhu, K., Kekkonen, H., Koppelmäki, K., Kulmala, L., Lötjönen, S., Mattila, T., Ollikainen, M., Peltokangas, K., Regina, K., Soine, H., Wikström, U. & Viskari, T. (2020). *Hiiliopas – katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin*. Baltic Sea Action Group. <https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>

Haverinen, Antti (3.4.2024). Toimitusjohtaja, Taimisto Huutokoski Oy, Puhelinhaastattelu.

Haverinen, Arttu (3.4.2024). Tuotantopäällikkö, Taimisto Huutokoski Oy. Puhelinhaastattelu.

Heiskanen, M. (2020). *Yhteen hiileen*. Tammi.

Huhta, E. & Melin, M. (toim.) 2023. *Ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden vaikutukset luontoon ja luonnonvaratalouteen* : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 118/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/554306/luke-luobio\\_118\\_2023.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/554306/luke-luobio_118_2023.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Ilmastokatsaus (21.12.2023). *Ilmastokatsaus-digilehti marraskuu 2023*. [Ilmastokatsaus-digilehti marraskuu 2023 | Ilmastokatsaus – Ilmatieteen laitos](https://www.ilmastodigilehti.fi/marraskuu-2023).

Ilmastolaki 423/2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423>

Ilmasto-opas. (n.d.-a). *Kasvihuonekaasut lämmittävät*. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuonekaasut-lammittavat>

Ilmasto-opas.(n.d.-b). *Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku*. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku>

Ilmasto-opas. (n.d.-c). *Dityppioksidi*. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ditypp>

Ilmasto-opas. (n.d.-d). *Mallinnuksella tietoa ilmastosta* <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/mallinnuksella-tietoa-ilmastosta>

Ilmasto-opas. (n.d.-e). *Tunturiluonnon elintila pienenee ilmastonmuutoksen edetessä* [https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/tunturiluonnon-elintila-pienenee-ilmastonmuutoksen-edetessa#ref\\_Nor08](https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/tunturiluonnon-elintila-pienenee-ilmastonmuutoksen-edetessa#ref_Nor08)

Ilmasto-opas. (2017). *Lämpötilat kohoavat*, [https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/lampotilat-kohoavat#ref\\_RUO16a](https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/lampotilat-kohoavat#ref_RUO16a)

Ilmasto-opas. (2018). *Kasvukaudet pidentyvät ja lämpenevät*. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvukaudet-pidentyvat-ja-lampenevat>

Ilmasto-opas (2020). *Suomen ilmasto on lämmennyt* <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/suomen-ilmasto-on-lammennyt> Haettu 28.1.2024

Ilmasto-opas (2022a). *Sopimukset ohjaavat kansainvälistä ilmastopoliitikkaa* [https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopoliitikkaa#ref\\_UNI19f](https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopoliitikkaa#ref_UNI19f) Haettu 14.1.2024

Ilmasto-opas (1.9.2022b). *Maailman kasvihuonekaasupäästöt kasvavat yhä*. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/maailman-kasvihuonekaasupaastot-kasvavat-yha> Haettu 14.1.2024

Ilmasto-opas (28.4.2023). IPCC:n 6. arviointiraportin osaraportin 3 infografiikat kuvaavat ilmastonmuutoksen hillintää <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ipccn-6-arviointiraportin-osaraportin-3-infografiikat-kuvaavat-ilmastonmuutoksen-hillintaa> Haettu 14.2.2024

Ilmatieteen laitos. (n.d.). *Terminen kasvukausi*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/terminen-kasvukausi>

Ilmatieteen laitos (26.7.2021). *Ilmastoskenaariot maalaavat erilaisia tulevaisuuskuvia ja auttavat arvioimaan, miten ilmasto eri tilanteissa muuttuisi*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/artikkeli/ftlq7hqBrKQ9QxDYqMri>

Ilmatieteen laitos (28.3.2022). *Maailmanlaajuisiin CMIP6-ilmastomalleihin perustuvia ilmastonmuutoskenaarioita.*

[https://assets.ctfassets.net/hli0qi7fbbos/1sJBYdUbndwx6uB1Ldnfcs/ad144a51396826ff229debbfc951a09b/ilmastonmuutoskenaariot\\_cmip6\\_verkko.pdf](https://assets.ctfassets.net/hli0qi7fbbos/1sJBYdUbndwx6uB1Ldnfcs/ad144a51396826ff229debbfc951a09b/ilmastonmuutoskenaariot_cmip6_verkko.pdf)

Ilmatieteen laitos (11.12.2023). *Ilmastonmuutos voimistaa Suomen helleaaltoja.*

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/uutinen/mALlqOzC2WFZt94x0V4a8>

IPCC (n.d.) *Glossary* <https://apps.ipcc.ch/glossary/search.php>

IPCC (6.3.2014). *Ilmastonmuutos v. 2013. Luonnontieteellinen peruste. Yhteenveto päätöksentekijöille suomeksi.* Ensimmäisen työryhmän osuus IPCC:n 5. arviointiraportissa

<https://assets.ctfassets.net/hli0qi7fbbos/28wTO7XK5pFvA3JuuusBNM/a99d3cfa38d2d411f1319594b39a9b3d/ipcc5-yhteenveto-suomennos.pdf>

IPCC (7.5.2015) *Ilmastonmuutos 2014. Ilmastonmuutoksen hillintä. Yhteenveto päätöksentekijöille.* Kolmannen työryhmän osuus hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin viidennessä arviointiraportissa.

[IPCC-2014-WG3-SPM suomennos ilmastonmuutoksen hillintä 2014 updated070515.pdf \(ctfassets.net\)](https://assets.ctfassets.net/hli0qi7fbbos/28wTO7XK5pFvA3JuuusBNM/a99d3cfa38d2d411f1319594b39a9b3d/ipcc5-yhteenveto-suomennos.pdf)

IPCC (6.10.2018) *Special Report: Global Warming Of 1.5 °C. Summary for Policymakers.*

<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>

IPCC (13.4.2022) *Ilmastonmuutos v. 2021: Luonnontieteellinen perusta. Yhteenveto päätöksentekijöille suomeksi.* Ensimmäisen työryhmän osuus IPCC:n 6. arviointiraportissa

[IPCC 6. arviointiraportti luonnontieteellinen perusta 2021 tiivistelmä käännös.pdf \(ctfassets.net\)](https://assets.ctfassets.net/hli0qi7fbbos/28wTO7XK5pFvA3JuuusBNM/a99d3cfa38d2d411f1319594b39a9b3d/ipcc5-yhteenveto-suomennos.pdf)

Jokela, V. (24.10.2016). *Mikä ihmeen kationinvaihtokapasiteetti?*

<https://www.farmit.net/blog/2016/10/24/mika-ihmeen-kationinvaihtokapasiteetti>

Joona J., Peltonen S., Malin E. & Hagelberg E. (n.d). *Minimoi häirintä.* Uudistavan viljelyn e-opisto. Baltic Sea Action Group

<https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/overview/>

Joona J., Vihonen E., Sädeharju S. & Malin E., n.d-b). *Paranna maata ulkoisilla panoksilla*. Uudistavan viljelyn e-opisto. Baltic Sea Action Group.

<https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/paranna-maata-ulkoisilla-panoksilla/>

Kotakorpi, K. (2021). *Suomen luonto 2100. Tutkimusretki tulevaisuuteen*. Bazar.

Kukkonen, S., Alakukku, L., Mylly, M. & Palojärvi, A. (2004). *Maan laadun arviointi tiloilla – kirjallisuuskatsaus*. MTT.

<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/457548/met63.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lawrence, K. (2023). *Ilmastomuutoksen fysiikka*. Terra Cognita, (J. Pietiläinen, käänt.) Alkuperäisteos julkaistu 2021.

Luke (n.d.). *Keskimääräiset hiilipitoisuudet muuttujina, vuosi, alue ja hiilipitoisuus g/kg*.

Tilastotietokanta. [https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_08a%20CAP-indikaattorit\\_05%20Ilmastomuutos%20hillint%c3%a4%20ja%20sopeutuminen\\_02%20Hiilen%20m%c3%a4%c3%a4r%c3%a4%20maatalousmaassa/01\\_Hiilen\\_maara\\_maatalousmaassa.px/table/tableViewLayout2/](https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_08a%20CAP-indikaattorit_05%20Ilmastomuutos%20hillint%c3%a4%20ja%20sopeutuminen_02%20Hiilen%20m%c3%a4%c3%a4r%c3%a4%20maatalousmaassa/01_Hiilen_maara_maatalousmaassa.px/table/tableViewLayout2/)

Luke (27.8.2023) *Hiilen määrä peltomaassa*.

<https://www.luke.fi/fi/tilastot/indikaattorit/agrikaattori-capvaikuttavuusindikaattorit-20232027/hiilen-maara-peltomaassa>

Lääkärilehti (27.11.2023). *Ikirouta sulaa, so what?*

<https://www.laakarilehti.fi/terveydenhuolto/ikirouta-sulaa-so-what/>

Mattila, T.J. & Rajala, J. (2017). *Mistä ja miten tunnistaa maan hyvän kasvukunnon*.

Raportteja 171. Helsingin yliopisto

<https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/df7e7829-be1f-4cf7-98bd-811e688f72ab/content>

Mattila T.J. & Rajala J. (2023) *Viljelykiertojen vertailutyökalu*. Raportteja 226. Helsingin

yliopisto. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/7a414a0c-e4a1-40c8-aff6-5e67e1312748/content>

Melin E. (2020). *Kerääjäkasviopas. Käytännön ohjeita kerääjäkasvien hyödyntämiseen*

Suomessa. [https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2022/07/Keraajakasviopas\\_2020\\_web.pdf](https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2022/07/Keraajakasviopas_2020_web.pdf)

Merinova (2016) *Aurinkodemo*

[https://www.merinova.fi/wpcontent/uploads/2016/09/aurinkodemo\\_loppuraportti.pdf](https://www.merinova.fi/wpcontent/uploads/2016/09/aurinkodemo_loppuraportti.pdf)

Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H., Gregow, H., Tuomenvirta, H., M. Lahtinen, M. & Laaksonen, A. (2015) *Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013*. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 29, 1521–1529.

<https://doi.org/10.1007/s00477-014-0992-2>

Nasa (n.d.-a) *Methane*. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/methane/> Haku 24.1.2024

Nasa (n.d.-b). *Arctic Sea Ice Minimum Extent*. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>

Nasa (n.d.-c) *Ice Sheets*. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>

Nasa (2022). *Ocean Warming*. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ocean-warming/>

Nasa (2023). *Sea Level*. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> Haettu 24.1.2024

Nasa (2024). *Carbon Dioxide* <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/> Haettu 17.3.2024

Naukkarinen, V. (2022). *Hiiliviljelyn ympäristövaikutukset*. [https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2022/12/Hiiliviljelyn\\_ymparistovaikutukset\\_Kirjallisuuskatsaus\\_2022.pdf](https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2022/12/Hiiliviljelyn_ymparistovaikutukset_Kirjallisuuskatsaus_2022.pdf)

Naukkarinen V., Sädeharju S. & Jääskeläinen J. (n.d.) *Hiili*. Uudistavan viljelyn e-opisto. Baltic Sea Action Group. <https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/hiili-vesi-ilmast/hiili/>

Nevanlinna, H. (2008). *Muutamme ilmastoa. Ilmatieteen laitoksen tutkijoiden katsaus ilmastonmuutokseen*. Karttakeskus.

NWS (n.d.) National Weather Service. *Drought Types*.

<https://www.weather.gov/safety/drought-types#>

Osmo (2019). Osaamista maan kasvukunnon hoitoon. *Muokausjärjestelmän valinta : miksi ja miten maata muokataan?* <https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2023/01/muokausjarjestelman-valinta-2019.pdf>

Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (2016). *Maan vesi- ja ravinnetalous*. 2. täydennetty painos. Salaojayhdistys ry

Pahkala, E. (2008). *Maa- ja juurihengitys peltomaassa: ympäristövasteet sekä kasvilajin ja maatyypin vaikutus*. (Pro Gradu –tutkielma, Kuopion yliopisto).  
[https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/12345679/9388/urn\\_nbn\\_fi\\_uef-20090056.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/12345679/9388/urn_nbn_fi_uef-20090056.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pankakoski, A. (1992). *Puutarhurin kasvioppi*. Valtion painatuskeskus.

Patomäki P. (1948). *Taimistoviljely*. Tammi.

Peltonen, S., Aalto, K., Hennola, I. & Anttila, S. (2019). *Ilmastoviisas maatilayritys*. ProArgia Keskusten Liitto.

Raatikainen, R. (2021). *Selvitys kohdetilan lierokannoista*. (Opinnäytetyö Savonia ammattikorkeakoulu).  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/498465/Raatikainen\\_Roosa.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/498465/Raatikainen_Roosa.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Rantala, J. (2018). *Maan viljavuuden ja kasvukunnon kehitys luonnonmukaisen tuotannon aikana*. (Opinnäytetyö Seinäjoen ammattikorkeakoulu).  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/158094/Rantala\\_Joanina.pdf;jsessionid=BB8C8685C31074B7B7F4BCA91EA70097?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/158094/Rantala_Joanina.pdf;jsessionid=BB8C8685C31074B7B7F4BCA91EA70097?sequence=1)

Rajala, J. (2006). *Luonnonmukainen maatalous*. 2 uudistettu painos.  
<https://aoe.fi/#/materiaali/1120>

Ravander J., Mattila T.J. & Rajala J., (2019) Murukestävyys maan kasvukunnon mittarina. Helsingin yliopisto. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/33f29ead-9791-4901-9146-3063a76ba514/content>

Riebeek, H. & Simmon, R. (16.6.2011) *The Carbon Cycle*.

<https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle/page1.php>

Riiko, K. (12.12.2017). *Kasvuvoimaa maanparannusaineista ja kerääjäkasveista*.

[https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/maanparannus\\_ja\\_aluskasvit\\_hame\\_121\\_217\\_kaisa\\_riiko.pdf](https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/maanparannus_ja_aluskasvit_hame_121_217_kaisa_riiko.pdf)

Ritchie, H. & Roser, M. (2019) *Urbanization*. <https://ourworldindata.org/urbanization> Haettu 27.1.2024

Ritchie, H., Rosado, P. & Roser, M. (26.9.2023). *CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions*.

<https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>. Haettu 5.2.2024

Ritchie, H., Rosado, P. & Roser, M. (2024). *Greenhouse gas emissions*.

<https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions> Haettu 12.2.2024

Rosenberg, J. (2021). *Pähkinöitä omasta puutarhasta*. Into Kustannus Oy.

Ruokavirasto. (12.3.2024a) *Ehdollisuuden opas 2024*.

<https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/perusehdot/ehdollisuus/ehdollisuuden-opas/ehdollisuuden-opas-2024/#id-42-viljelykierto> Haettu 24.4.2024

Ruokavirasto. (5.4.2024b). *Ympäristökorvauksen sitoumusehdot 2024*.

<https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/ymparistokorvaus/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot-2024/> Haettu 24.4.2024.

Ruosteenoja, K. (2019). *Kimmo Ruosteenojan koostama aikasarja Ilmatieteen laitoksen mallituloksista*. Sähköposti 30.1.2024.

Ruosteenoja, K. & Jylhä, K. (3.5.2023) *Average and extreme heatwaves in Europe at 0.5–2.0 °C global warming levels in CMIP6 model simulations*.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-023-06798-4>

Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M. & Pirinen, P. (2016a).

*Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa*. Terra 128: 1, 3–15.

<https://terra.journal.fi/article/view/107119/79710>

Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A. & Kämäräinen, M. (2016b) *Ilmastonmuutos lämmittää Suomen kasvukausia*, Maataloustieteenpäivät 2016.

[https://www.smts.fi/sites/smts.fi/files/MTP2016/Ruosteenoja\\_maataloustieteen-pv-2016-pitkae.pdf](https://www.smts.fi/sites/smts.fi/files/MTP2016/Ruosteenoja_maataloustieteen-pv-2016-pitkae.pdf)

Ruotsalainen, S., Himanen, K., Viherä-Aarnio, A., Aarnio, L., Haapanen, M., Luoranen, J., Matala, J., Riikonen, J., Uotila, K. & Ylioja, T. (2022). *Puulajivalikoiman monipuolistaminen metsänviljelyssä* : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 24/2022.

Luonnonvarakeskus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-394-7>

Salmikangas, S. (16.4.2024). Liiketoimintapäällikkö, Harviala Oy. Puhelinhaastattelu.

Sasser, J. (2019) *Väestökontrolli ei ole ratkaisu ilmastonmuutokseen*.

<https://ilmiomedia.fi/yleinen/vaestokontrolli-ei-ole-ratkaisu-ilmastonmuutokseen/>

Saukkonen, L. (2020). *Sään ääri-ilmiöt ja ilmastonmuutos*. Minerva.

Savolainen H., Niemistö J., Heikkinen M., Seppälä J., Springare S., Salminen J., Savolahti M., Soimakallio S., Ruokamo E., Koljonen T., Harlin A., Keränen J., Vainio T., Vainio-Kaila T., Kivikytö-Reponen P., Orko I., Karhu M., Lehtonen H., Joutsjoki V., Niemeläinen O., Kivinen M., Eerola T., Heino N. & Kaariaho T. (2024). *Suomen kansantalouden materiaalivirrat ja niiden vaikutukset Toteutunut kehitys ja kiertotalouden skenaariot vuodelle 2035*. Valtioneuvosto

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165490/VN\\_2024\\_8.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165490/VN_2024_8.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Soinne, H. (23.3.2016). *Maan happamuus ja kalkitus*.

[https://www.proagria.fi/uploads/kevatinfo\\_23.3.2016\\_helena\\_soinne\\_maan\\_happamuus\\_2022-06-13-161508\\_zlzn.pdf](https://www.proagria.fi/uploads/kevatinfo_23.3.2016_helena_soinne_maan_happamuus_2022-06-13-161508_zlzn.pdf)

Sunila J.E., Brander U., Nylander H. & Elfving Ö. (1912). *Pienviljelijän käsikirja*. Werner Söderström.

Syke. (2023). *Ilmastonmuutos näkyy jo Suomen luonnossa*.

<https://www.ymparisto.fi/fi/ympariston-tila/ilmastonmuutos/ilmastonmuutos-etenee> Haettu

28.1.2024

Sädeharju S. & Malin E., (n.d). *Uudistava viljely*. Uudistavan viljelyn e-opisto. Baltic Sea Action Group <https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/uudistava-viljely/>

Sädeharju S., Jääskeläinen J. & Malin E. (n.d). *Maaperä*. Uudistavan viljelyn e-opisto. Baltic Sea Action Group <https://courses.minnalearn.com/fi/courses/regenfarming/maapera/>

Säteri, M. (26.3.2024). Toimitusjohtaja, Toijalan Taimitarha Oy. Henkilökohtainen tapaaminen.

Taalas, P. (2021) *Ilmastonmuutos ilmatieteilijän silmin*. Tammi.

Tahvonen, T. (18.4.2024). Toimitusjohtaja, Puutarha Tahvoset Oy. Sähköpostiviesti.

Taimisto Huutokoski Oy. (7.11.2021). *Peltopuiden tuotantoa* (video) You Tube. <https://www.youtube.com/watch?v=hRU0x-Lr5A0>

Tarpio, X. (2021). *Kalkituksen ja typpilannoituksen vaikutus ohran (Hordeum vulgare L.) sadonmuodostukseen ja typenoton tehokkuuteen happamassa sulfaattimaassa*.

Maisteritutkielma Helsingin yliopisto.

<https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/ffc0c002-d13c-4d95-a050-d9f1f65c38e4/content>

Tilastokeskus (n.d.) *Maailman väestönkehitys*. <https://guides.stat.fi/vaesto-tilastoina/maailman-vaestokehitys>

Toukoluoto N. & Peltonen S. (2015) *Viljelykiertojen monipuolistaminen*. Bookwell.

Turun yliopisto (6.3.2023). *Glyfosaattipohjaisten torjunta-aineiden jäämät maaperässä vähentävät kasveille hyödyllisiä mikrobeita*

<https://www.utu.fi/fi/ajankohtaista/mediatiedote/glyfosaattipohjaiset-torjunta-ainejaamat-maaperassa-heikentavat>

UNFCCC (13.12.2023). United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). *COP28 Agreement Signals “Beginning of the End” of the Fossil Fuel Era*.

<https://unfccc.int/news/cop28-agreement-signals-beginning-of-the-end-of-the-fossil-fuel-era>

Vestberg, M. & Timonen, S. (2018). *Rihmankiertämät – kasvien ja sienten erottamaton elämä*. Vestberg M. omakustanne.

WMO, (2024). World Meteorological Organization (WMO). *Climate*.

<https://wmo.int/topics/climate>

Yle, (22.1.2016). *Valtameriin varastoituu lämpöä yhä nopeammin – "kuin atomipommi räjähtäisi joka sekunti"*. <https://yle.fi/a/3-8616210>

Yle (27.10.2023a). *Lehdet vielä puussa – eivätkö lappilaispuut tajua, että talvi on tulossa?* <https://yle.fi/a/74-20057366>

Yle (4.12.2023b). *Ilmastonmuutos iskee Itä-Afrikkaan – vuosien kuivuus vaihtui äkisti rajuihin mutatulviin*. <https://yle.fi/a/74-20063520>

Yli-Halla (21.3.2019). *Maan fysikaalinen ja kemiallinen kasvukunto*. Webinaari [https://www.ilmastoviisas.fi/wp-content/uploads/2019/03/Yli-Halla\\_Maan-kasvukunto\\_21032019.pdf](https://www.ilmastoviisas.fi/wp-content/uploads/2019/03/Yli-Halla_Maan-kasvukunto_21032019.pdf)

## Liite 1. Teemahaastattelun runkokysymykset

### OPINNÄYTETYÖ ”HIILIVIISAS TAIMITUOTANTO”. Maataloudessa tunnettujen hiiliviljelykäytäntöjen soveltuvuus avomaan taimituotantoon”

#### Kysymykset

1. Tuoteryhmät ja niiden viljelykierrot
  - Minkä kokoinen taimisto on (liikevaihto)
  - Asiakkaat (suoraan kuluttajille/tukku, ym)
  - Millä kasvuvyöhykkeellä taimisto sijaitsee?
  - Avomaalla kasvatettavien puiden, pensaiden ja perennojen lajikemäärä (noin-arvo)
  - Kasvatusaika, mikä on viljelykierron pituus eri tuoteryhmillä (puiden, pensaiden ja perennojen)? Tarkoitan tässä aikaa istutuksesta/kylvöstä korjuuseen
2. Lisäsmateriaali
  - Mitä lisäsmenetelmiä käytetään eri tuoteryhmässä?
  - Mitkä tuoteryhmät lisätään omasta materiaalista?
  - Mikä on keskeinen haaste?
  - Mitkä tuoteryhmät lisätään ostetusta materiaalista?
3. Viljelytekniikka nykytilanteessa
  - Rivivälit
  - Missä ja kuinka paljon on pakko olla avointa mullospintaa käytännön viljelyssä?
  - Kuinka paljon rivi- ja taimiväliä voidaan käytännössä muuttaa, jos halutaan vähentää avointa mullospintaa?
  - Miten avointa mullospintaa voitaisiin vähentää (kerääjäkasvit yms.)?
4. Pohjamaan vaikutus taimistoviljelyyn?
  - mitä taimiston pohjamaa on?
  - miten maata hoidetaan ja miten se vaikuttaa viljelykäytäntöihin?
  - miten vesitalous toimii em. pohjamaassa? Onko haasteena kuivatuksen vai kastelun tarve?
  - Miten maan viljavuutta (fysikaalista ja kemiallista laatua) seurataan?
  - Miten maan biologista toimintaa (mikrobitoiminta, maaperän pieneliöstön määrä) seurataan?
5. Miten käytännön avomaataimituotantoon voidaan (tai ei voida) sovittaa maataloudessa tunnistettuja hiiliviljelyn käytäntöjä
  - käytetäänkö viljelykierrossa kerääjäkasveja esim. typensitojakasvit
  - jatkuvapeitteinen kasvatus, rivinvälikasvatus (haasteet)
  - Kevytmaanmuokkaus vai kyntö ?
  - eloperäisen aineksen lisäys, karjanlannan käyttö, taimen mukana poissiirtyneen kasvualustan lisäys
  - viljelykierto, onko jo käytössä tai yleensä mahdollista, kiertoaika eri tuoteryhmissä,
  - miten viljelykierron perusteella tuotannosta poissa olevan maan kasvipeitteisyys päätetään (kyntö, kemiallinen, kesanto ?)