

Kestävä ja vastuullinen ruokaprovinssi -hanke

# Biohiilen tuotannon mahdollisuudet maataloudessa

Raisa Leppänen, Aino Ollila, Anna Martikainen



Euroopan unionin  
osarahoittama



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA



HELSINGIN YLIOPISTO  
BIURALIA-INSTITUUTTI



Luke  
LUONNONVARAINKESKUS



Seinäjoen University of Applied Sciences

## Sisällys

2	Biohiilen raaka-aineena voidaan hyödyntää laajasti erilaisia biomassoja.....	3
2.1	Biohiilen raaka-aineet voivat olla paikallisesti optimoituja ja vaihtelevia .....	3
2.2	Lyhytkiertoviljelmä paju biohiilen raaka-aineena.....	3
2.3	Biohiilen raaka-ainepotentiaali maa- ja metsätaloudessa .....	4
3	Pyrolyysiprosessi ja laitteistot .....	7
4	Biohiilen hyödyntäminen maataloudessa .....	9
4.1	Biohiili soveltuu monipuolisesti maatalouden hyödynnettäväksi .....	9
4.2	Biohiilen vaikutus maaperän ominaisuuksiin .....	9
5	Biohiilen sääntely ja sertifiointi EU:ssa ja Suomessa .....	11
5.1	EU:n lannoitelainsäädäntö.....	11
5.2	Suomen lannoitelainsäädäntö .....	11
5.3	Biohiilen sertifiointi .....	12
6	Kannattavuus .....	13
6.1	Hiilikreditit osana kannattavuutta.....	14
7	Johtopäätökset .....	16
	LÄHTEET .....	18

Biohiilen tuotanto ja käyttö maataloudessa luovat mahdollisuuksia ilmastonmuutoksen hidastamiseen ja kestäväen maatalouden edistämiseen. Ilmastonmuutoksen edetessä kiinnostus biohiilen tuotantoa ja käyttöä kohtaan on kasvanut. Biohiili tukee maaperän hyvinvointia ja kasvien kasvua pidättämällä ravinteita ja sitomalla vettä, lisäksi biohiili toimii pitkäaikaisena hiilivarastona. Pyrolyysiprosessissa biomassan sisältämä hiili sitoutuu hyvin pysyvässä muodossa biohiileen. Näin ollen biohiileen varastoituu pitkäaikaisesti biomassasta peräisin olevaa hiiltä, joka ilman pyrolyysiprosessia vapautuisi hiilidioksidina ilmakehään. Maatalouden sivuvirtojen hyödyntäminen biohiilen tuotannossa lisää resurssitehokkuutta ja tukee kiertotaloutta. Biohiili on monikäyttöinen materiaali, sitä voidaan hyödyntää muun muassa tasapainottamassa kasvualustan kosteusolosuhteita, suodattamassa hulevesiä tai vaikka kasvualustana kaupunki- ja viherrakentamisessa. Kotieläintiloilla biohiili soveltuu kaskadikäyttöön, rehuun lisätyn biohiilen on todettu lisäävän karjan hyvinvointia. Biohiili kulkeutuu lantaan vähentäen hajuhaittoja ja sitoen itseensä ravinteita. Lopulta biohiili voidaan levittää maahan, jossa se parantaa maan kasvuolosuhteita ja luovuttaa ravinteita tasaisesti

Biohiilen tuotantoon ja hyödyntämiseen osana maataloutta liittyy monipuolisia mahdollisuuksia ajatellen kestäväen ja vastuullisen ruoantuotannon kehittämistä. Seinäjoen ammattikorkeakoulu toteuttaa Kestävä ja vastuullinen ruokaprovinssi -hanketta, jonka yhtenä osana selvitetään biohiilen tuotannon mahdollisuuksia maatilamittakaavassa. Osana hanketta on haastateltu alan asiantuntijoita ja haettu tietoa biohiilen tuotannon mahdollisuuksista maatilamittakaavassa. Työssä on hyödynnetty sekä tehtyjä haastatteluja että erillistä taustatiedon keruuta, jotka ovat toteuttaneet Seinäjoen ammattikorkeakoulu ja Tampereen Yliopisto. Tähän raporttiin on koottu katsaus biohiilen tuotannon mahdollisuuksista maataloudessa sekä haastattelujen, että tiedonhaun pohjalta.

## 2 Biohiilen raaka-aineena voidaan hyödyntää laajasti erilaisia biomassoja

### 2.1 Biohiilen raaka-aineet voivat olla paikallisesti optimoituja ja vaihtelevia

Biohiiltä voidaan valmistaa monista erilaisista biomassoista, ja raaka-aineen valinta vaikuttaa merkittävästi lopputuotteen ominaisuuksiin ja soveltuvuuteen eri käyttökohteissa. Suomessa biohiilen tuotanto perustuu pääasiassa puuperäisiin raaka-aineisiin, kuten runkopuuhun, purku- ja hukkapuuhun sekä metsäteollisuuden sivuvirtoihin (Soikkonen, 2022). Puun lisäksi myös maatalouden sivuvirrat, kuten viljan lajittelujäte ja oljet, tarjoavat potentiaalia biohiilen raaka-aineeksi.

Kansainvälisesti biohiilen tuotannossa käytetään hyvin monipuolisia materiaaleja. Esimerkiksi maissin, puuvillan ja riisin olki ovat yleisiä raaka-aineita useissa Aasian ja Afrikan maissa. Kiinassa hyödynnetään laajasti mäntyä, kun taas Brasiliassa tuotetaan biohiiltä muun muassa kahvinpajujen kuorista ja kananlannasta (Mykkänen, 2025). Biohiilen raaka-ainevalikoima voi olla hyvin paikallisesti optimoitu ja vaihteleva, riippuen alueen maatalous- ja metsätalouden rakenteesta.

### 2.2 Lyhytkiertoviljelmä paju biohiilen raaka-aineena

Suomessa biohiilen tuotantopotentiaalin laajentamiseksi on tarkasteltu myös lyhytkiertoviljelmien, kuten pajun, käyttöä. Kestävä ja vastuullinen ruokaprovinssi -hankkeen yhtenä tavoitteena oli selvittää entisillä turvetuotantoalueilla kasvatettavan lyhytkiertoisien pajun soveltuvuutta biohiilen raaka-aineeksi. Lyhytkiertometsäviljely, eli vesakasvatusmetsä, tarjoaa mahdollisuuden kasvattaa nopeasti uusiutuvaa, pieniläpimittaista biomassaa alueilla, jotka eivät sovellu ruoantuotantoon.

Paju on biomassatarkastelussa varteenotettava raaka-aine. Se on nopeakasvuinen, huokoinen ja biomassaa runsaasti tuottava puulaji, joka viihtyy kosteilla, viljelyyn huonosti soveltuvilla mailla. Näin ollen sen viljely mahdollistaa tuottavampien peltojen säilyttämisen

ruoantuotannossa. Pajun hyödyntäminen biohiilen tuotannossa on erityisen perusteltua, kun lopputuotteelle on tiedossa maanparannuskäyttöä. Hollménin (2021) mukaan pajusta valmistettu biohiili on tasalaatuista, suurihuokoista ja vähäraskametallista. Sen huokosrakenne mahdollistaa erinomaisen vedenpidätyskyvyn, mikä tekee siitä sopivan esimerkiksi viheralueiden maanparannukseen tai suurten puiden juuristoalueille.

Maatalous on usein linkittynyt myös metsätalouteen, joka osaltaan mahdollistaa myös pajun tai muiden vesakkojen hyödyntämisen. Tilatasolla on myös valmiuksia raaka-aineen käsittelyyn, sillä tarvittavaa konekantaa, katostilaa ja infrastruktuuria on monilla tiloilla jo olemassa.

*Pajuviljelmien perustaminen entisille turvetuotantoalueille tarjoaa mahdollisuuden alueiden uuteen käyttöön turvetuotannon alasajon jälkeen. Vaikka turpeen korvaaminen vastaavalla tulonlähteellä voi olla haastavaa, paju tai esimerkiksi ruokohelpi voivat tarjota pienimuotoista lisätuloa* (haastateltava 3). On kuitenkin huomattava, että pajun viljely vaatii myös investointeja. Viljelyala täytyy muokata viljelykuntoon, uutta konekantaa voidaan tarvita istutukseen ja alas leikkuuseen. Mikäli viljelyalaa on riittävästi, olisivat nämä työvaiheet kannattavaa toteuttaa urakointina. Tehokas pajun viljely vaatii useamman sata hehtaaria viljelyalaa ollakseen myös konetyön suorittavalle urakoitsijalle kannattavaa. Viljelyalana voidaan entisten turvetuotantoalueiden ohella hyödyntää myös ruoantuotannossa heikosti menestyviä peltolohkoja, jolloin viljelyn laajentaminen ei kilpaile suoraan elintarviketuotannon kanssa. Kannattaakseen viljely vaatii riittävän pinta-alan lisäksi myös markkinoiden kehittymistä. Biohiilen markkinoiden kehittyessä voidaan samalla edistää biohiilen raaka-aineeksi sopivien viljelymuotojen yleistymistä.

## 2.3 Biohiilen raaka-ainepotentiaali maa- ja metsätaloudessa

Valtaosa biohiilen tuotantoon soveltuvasta raaka-ainepotentiaalista sijaitsee metsissä tai liittyy metsäteollisuuden sivuvirtoihin. Maaseudulla ja maataloudessa on kuitenkin saatavilla monipuolisia biomassoja, joita voidaan hyödyntää biohiilen valmistuksessa. Maatalouden sivuvirrat, kuten viljan kuivausjäte tai biokaasulaitoksissa syntyvä mädäte, tarjoavat mahdollisuuksia biohiilen raaka-aineeksi. *Haastattelut* (Haastateltavat 1 ja 3) *osoittavat*

*kuitenkin, että yksittäisillä maatiloilla näiden materiaalien määrät jäävät usein pieniksi. Esimerkiksi mädäte käytetään tyypillisesti suoraan lannoitteena peltomaassa, eikä viljan kuivausjätteen volyyymi ole merkittävä.*

*Lisäksi on tärkeää arvioida, kuinka paljon lopputuotetta voidaan kussakin tapauksessa saada suhteessa käytettävään raaka-aineeseen (haastateltava 1). Tältä osin puupohjaiset materiaalit osoittautuvat usein tehokkaammiksi. Haastattelun (haastateltava 4) mukaan maatilojen sivuvirtojen hyödyntäminen sellaisenaan, esimerkiksi lannoitteena tai energiantuotannossa, voi olla järkevämpää kuin niiden jalostaminen biohiileksi, ellei raaka-ainevolyymia pystytä kasvattamaan esimerkiksi tilojen välisellä yhteistyöllä. Esimerkiksi vehnänolki ja viljojen kuoret pelletoituna omaavat raaka-ainepotentiaalia ja tilojen välinen yhteistyö voisi lisäisi volyyymia, joka yksittäiseltä tilalta muihin raaka-aineisiin verraten on vähäisempää.*

Myös muita maatalouden sivuvirtoja on tutkittu biohiilen raaka-aineina. Elo, Nummela ja Kymäläinen (2021) vertailivat tutkimuksessaan eri materiaalien soveltuvuutta, kuten puutarhojen oksajätettä, purkupuuta sekä jätevesilietteestä ja biojätteestä valmistettuja mädätteitä. Tutkimuksessa havaittiin, että lietepohjaisten materiaalien hiilipitoisuus ja kuiva-ainepitoisuus ovat merkittävästi alhaisempia kuin puupohjaisilla materiaaleilla, mikä heikentää niiden käytettävyyttä biohiilen valmistuksessa ja lisää energiankulutusta kuivauksessa. Lietemädätteen hiilipitoisuutta voidaan kuitenkin nostaa lisäämällä siihen puuhaketta.

Kansainvälisesti EU:n REFERTIL-hanke (REFERTIL, n.d.) on tarkastellut orgaanisten jätevirtojen hyödyntämistä kaupungeista, maatiloilta sekä elintarviketeollisuudesta. Hankkeessa kehitettiin eläinten luista valmistettua biohiiltä (ABC Animal Bone bioChar), joka toimii tehokkaana orgaanisena fosforilannoitteena – sen  $P_2O_5$ -pitoisuus on jopa 30 %. Lisäksi hankkeessa tutkittiin kasvipohjaista biohiiltä maanparannusaineena, jolla on korkea hiilipitoisuus. Kuitenkin kasvipohjaisella biohiilellä ei ole merkittävää ravinteiden välityskykyä, mikä heikentää sen taloudellista kannattavuutta pelkkänä lannoitteena.

Maa- ja metsätalouden sekä muun orgaanisen jätevirran tarjoama raaka-ainepotentiaali biohiilen tuotantoon on laaja ja monimuotoinen. Reunaehtoina biohiilen kannattavalle tuotannolle voidaan pitää raaka-aineen kuivuutta tai helposti saavutettavaa kuivattavuutta, sekä sen sijaintia kohtuullisen lähellä tuotantopaikkaa, jotta logistiset ja taloudelliset

kustannukset pysyvät hallinnassa. Myös tilakohtaisen yhteistyön lisääminen voi edistää kannattavaa raaka-aineen hyödyntämistä biohiilen tuotannossa.

### 3 Pyrolyysiprosessi ja laitteistot

Biohiilen tuotantoprosessin tavoite ohjaa sekä raaka-ainevalintaa että pyrolyysin teknisten parametrien, kuten lämpötilan ja prosessityypin, säätöjä (Riikonen, 2019, s. 7). Biohiilen ominaisuuksia voidaan optimoida käyttökohteen mukaan valitsemalla siihen soveltuva raaka-aine ja sopivat tuotanto-olosuhteet.

Yksi keskeinen tuotantotekijä on pyrolyysilämpötila, jolla on merkittävä vaikutus biohiilen pysyvyyteen ja ravinteiden säilymiseen. Korkeammissa lämpötiloissa valmistettu biohiili on kemiallisesti stabiilimpaa ja hajoaa hitaammin, kun taas matalammissa lämpötiloissa tuotetussa biohiilessä säilyy paremmin raaka-aineen sisältämiä ravinteita (Bioenergia ry, 2022). Muhonen (2024) raportoi, että yli 500 °C lämpötiloissa tuotetulla biohiilellä puoliintumisajat voivat ylittää 1000 vuotta, mikä tekee siitä tehokkaan hiilivaraston.

Elo ym. (2021) korostavat, ettei biohiili ole yksiselitteinen tuote, vaan monimuotoinen tuotekategoria, jonka ominaisuudet vaihtelevat raaka-aineen ja valmistusprosessin mukaan. Ippolito ym. (2020) ovat tarkastelleet pyrolyysilämpötilan, raaka-aineen ja pyrolyysityypin yhteisvaikutuksia biohiilen fysikaaliskemiallisiin ominaisuuksiin. Heidän mukaansa korkeammat pyrolyysilämpötilat lisäävät biohiilen kokonaishiilipitoisuutta ja ominaispinta-alaa (Specific Surface Area, SSA), jotka voivat parantaa maaperän vedenpidätyskykyä ja ravinteiden pidättymistä. Puu-pohjaisilla biohiilillä on keskimäärin korkein SSA, ja yhdistettynä optimaaliseen pyrolyysilämpötilaan ne voivat aiheuttaa merkittäviä parannuksia maaperän fysikaalisissa ominaisuuksissa.

Vaikka lämpötila vaikuttaa biohiilen rakenteelliseen pysyvyyteen, raaka-aineen koostumus määrittää biohiilen ravinteiden – kuten typen (N), fosforin (P), kaliumin (K), kalsiumin (Ca), magnesiumin (Mg), raudan (Fe) ja kuparin (Cu) – saatavuuden. Ippolito ym. (2020) esittävät, että ravinteiden saatavuutta voidaan ennakoida raaka-aineen valinnalla ja sen kokonaistuhka- ja ravinnepitoisuudella.

*Maatilamittakaavassa biohiilen tuotanto on yleensä pienimuotoista ja siihen soveltuvat erityisesti panostoimiset hidaspYROLYYSILAITTEISTOT. Näissä prosessi toteutetaan eräajona: biomassapanos ladataan kerralla, ja pyrolyysiprosessi päättyy, kun koko panos on käsitelty (haastateltava 1).*

*Maatiloille soveltuvien laitteistojen koko on tyypillisesti noin 10 kuutiota, (haastateltava 5) mukaan tällaisia yksiköitä voidaan sijoittaa useampi yhden kattilan yhteyteen – esimerkiksi kolme erillistä pyrolyysiyksikköä muodostaa jo tehokkaan ja maatilan tarpeisiin optimoidun tuotantolinjan. Hajautettuun tuotantoon soveltuva pyrolyysiteknologian on kuitenkin vielä yksi pullonkauloista biohiilen tuotannossa. Tällä hetkellä ei ole vielä saatavilla kohtuulliseen hintaan varmoja ja hyvin toimivia laitteistoja.*

## 4 Biohiilen hyödyntäminen maataloudessa

### 4.1 Biohiili soveltuu monipuolisesti maatalouden hyödynnettäväksi

Biohiilellä on maataloudessa useita käyttömuotoja, jotka tukevat sekä ilmastokestävyyttä että tilojen resurssitehokkuutta. Yleisin käytötapa on maanparannus, jossa biohiili parantaa maaperän rakennetta, lisää vedenpidätyskykyä ja sitoo ravinteita. Nämä tekijät pienentävät ravinteiden huuhtoutumisriskiä ja nostavat osaltaan satotasoa (Lehmann & Joseph, 2015). Lannan käsittelyssä ja lietteen katteena biohiiltä voidaan hyödyntää hajuhaittojen vähentämiseen ja ravinteiden sitomiseen, jolloin biohiili toimii osana suljettua ravinnekiertoa (Bioenergia ry, 2022). Rehukäytössä märehitijöille lisätty biohiili voi edistää ruoansulatusta, vähentää metaanipäästöjä ja lopulta siirtyä lannan mukana maaperään parantaen sen laatua (Hagemann ym., 2019). Lisäksi biohiili soveltuu kasvualustojen komponentiksi esimerkiksi kasvihuone- ja viheraluesovelluksissa sen huokoisuuden ja mikrobitoimintaa tukevan rakenteen ansiosta (Ippolito ym., 2020). Kaikissa käyttökohteissaan biohiili toimii myös hiilinieluna, sillä pyrolyysiprosessin aikana muodostunut hiili säilyy maaperässä jopa satoja tai tuhansia vuosia vapautumatta takaisin ilmakehään (Muhonen, 2024).

### 4.2 Biohiilen vaikutus maaperän ominaisuuksiin

Biohiilen ominaisuudet ja vaikutukset maaperässä riippuvat käytetystä raaka-aineesta ja pyrolyysiolosuhteista. Sánchez-Monedero ym. (2019) mukaan pyrolyysilämpötila vaikuttaa erityisesti biohiilen pysyvyyteen ja kykyyn pidättää ravinteita. Lisäksi biohiilen kemiallinen tai biologinen jälkikäsittely voi tehostaa sen toimivuutta esimerkiksi lannoitteiden tehostajana. Ahsan ym. (2022) tarkentavat, että eläinpohjaisista jätteistä valmistetut biohiilet ovat lupaavia ravinnelisinä, kun taas kasviperäisistä jäännöksistä valmistetut biohiilet toimivat paremmin hiilensidontaan ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Cely ym. (2015) tukevat tätä havaintoa: biohiilen agronomisiin vaikutuksiin vaikuttavat keskeisesti raaka-aineen alkuperä ja pyrolyysiprosessin lämpötila.

Bhattacharyya ym. (2024) ja Schmidt ym. (2021) ovat koostaneet laajoja katsauksia biohiilen vaikutuksista eri maaperätyypeissä ja kasveilla. Biohiilen on todettu toimivan erinomaisesti kantajamateriaalina mikrobivalmisteille, tätä tukevat biohiilen huokoinen rakenne ja vuorovaikutuksesta maaperän mikrobiston kanssa. Biohiili voi myös tukea biologista typensidontaa ja parantaa kasvien ravinteiden saantia. Lisäksi se parantaa maaperän fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia, kuten huokoisuutta, pH:ta, sähkönjohtavuutta ja ravinnepitoisuuksia.

Biohiilen vaikutukset eivät kuitenkaan ole aina yksiselitteisiä. Suomessa Kalu ym. (2022) tutkivat biohiilen vaikutuksia Jokioisissa, Viikissä ja Kuitiassa. Heidän tutkimuksensa osoitti, ettei biohiili merkittävästi vähentänyt  $N_2O$ -päästöjä, mahdollisesti kuivan koejakson vuoksi. Kuitenkin kaikilla tutkimuspaikoilla havaittiin biohiilen käytön jälkeen seitsemän vuoden ajan kasvanut sato ja pienentyneet  $CH_4$ - ja  $N_2O$ -päästöt suhteessa sadon määrään. Tutkimus vahvisti myös biohiilen positiivisen vaikutuksen typenkäytön tehokkuuteen. Erityisesti biohiilen potentiaali korostuu maaperissä, joissa on korkea lietepitoisuus ja alhainen hiilipitoisuus.

## 5 Biohiilen sääntely ja sertifiointi EU:ssa ja Suomessa

### 5.1 EU:n lannoitelainsäädäntö

Biohiilen käyttöä lannoitevalmisteissa säätelee Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2019/1009, joka on tullut voimaan 16.7.2022. Tämä asetus määrittelee pyrolyysi- ja kaasutusmateriaalit (eli biohiilen) hyväksytyiksi ainesosiksi EU-lannoitevalmisteissa, edellyttäen että ne täyttävät tietyt turvallisuus- ja ympäristövaatimukset (EUR-Lex, 2022). Asetuksessa vahvistetaan myös haitallisten aineiden, kuten polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen (PAH), enimmäispitoisuudet biohiilessä (Finlex, 2022; Bioenergia ry, 2022). Ruokaviraston (2023) mukaan Suomessa markkinoitavia lannoitevalmisteita voi valmistaa kansallisen lannoitelainsäädännön vaatimusten mukaisesti. Lisäksi biohiilen raaka-aineiden on oltava peräisin hyväksytyistä lähteistä, ja niiden käsittelyssä on noudatettava asetuksessa määriteltyjä prosesseja. Biohiilen on oltava turvallista ihmisille, eläimille ja kasveille sekä ympäristöystävällistä (Bio-energia ry, 2022).

### 5.2 Suomen lannoitelainsäädäntö

Suomessa lannoitevalmisteiden valmistusta, markkinoille saattamista ja käyttöä säätelee lannoitelaki (711/2022). Lain mukaan Ruokavirasto ylläpitää ainesosaluetteloä, jossa määritellään hyväksytyt ainesosat lannoitevalmisteisiin. Pyrolyysihiili on luokiteltu ainesosaluokkaan 9 (Ruokavirasto, 2022).

Maa- ja metsätalousministeriön asetus 964/2023 täydentää lannoitelakia määrittelemällä tuoteluokkien laatuvaatimukset, ainesosaluokat sekä niiden laatu- ja käsittelyvaatimukset. Asetuksessa säädetään myös lannoitevalmisteiden ja lannan käytöstä sekä tuoteluokkakohtaisista merkintävaatimuksista (Ruokavirasto, 2023).

### 5.3 Biohiilen sertifiointi

Biohiilen tuotannon vastuullisuuden ja laadun varmistamiseksi on kehitetty kansainvälisiä sertifiointijärjestelmiä. Eurooppalainen Biohiilisertifikaatti (EBC) jakaa biohiilet kuuteen eri luokkaan käyttökohteiden mukaan. Jokainen käyttökohde vaatii omat sertifiointiparametrit, jotka täytyy määrittää. Erityisesti maatalouskäyttöön suunnattu EBC-Agro-luokka asettaa raja-arvot, joiden avulla voidaan varmistaa, että biohiilen käyttö ei johda maaperän tai vesistöjen pilaantumiseen.

Järjestelmä määrittelee tiukat vaatimukset muun muassa raaka-aineiden alkuperälle, tuotantoprosessille, lopputuotteen laadulle ja käytölle. Sertifikaatti tukee kiertotaloutta, turvallisuutta ja ilmastohyötyjä, ja se mahdollistaa myös sertifioidun biohiilen käytön hiilinieluna (EBC, 2023).

Sertifiointiprosessi edellyttää tuotantolaitokselta dokumentoitua jäljitettävyyttä raaka-aineista ja tuotantoprosessista sekä vuosittaista auditointia riippumattoman tahon toimesta. Lisäksi EBC edellyttää, että tuottaja raportoi kasvihuonekaasupäästöjen määrän ja mahdolliset hiilisiidon vaikutukset (International Biochar Initiative, 2024).

Myös muita sertifiointijärjestelmiä on käytössä. Esimerkiksi International Biochar Initiative (IBI) tarjoaa omaa laatustandardiaan, joka pohjautuu erityisesti Yhdysvaltojen ja kansainvälisten soveltavien ohjeistusten mukaiseen vaatimustasoon. IBI-standardi keskittyy erityisesti biohiilen tuotteen teknisiin ominaisuuksiin ja turvallisuuteen maatalouskäytössä.

Sertifiointin merkitys on kasvanut erityisesti tilanteissa, joissa biohiiltä hyödynnetään osana vapaaehtoisia hiilimarkkinoita tai julkisia tukijärjestelmiä. Ilman sertifiointia laatua voi olla vaikea osoittaa biohiilen ilmastohyötyjä tai varmistaa ympäristöturvallisuutta. Näin ollen sertifiointi toimii sekä luottamuksen rakentajana että riskienhallinnan välineenä niin viranomaisille, tuottajille kuin loppukäyttäjille.

## 6 Kannattavuus

Maataloudessa on useita tekijöitä, jotka tukevat biohiilen tuotantoa ja hyödyntämistä. Biohiilen raaka-aineiksi soveltuvaa biomassaa on usein saatavilla kohtuullisen kuljetusmatkan päästä. Maatalouden yhteys metsätalouteen tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää esimerkiksi ensiharvennuksista ja muista metsänhoitotoimista syntyvää puubiomassaa. Myös tilojen olemassa oleva infrastruktuuri, logistiikkaratkaisut ja konekalusto, soveltuvat raaka-aineen keräämiseen, kuljettamiseen ja tarvittaessa kuivattamiseen esimerkiksi halli- tai muissa katetuissa tiloissa.

Mahdollisuuksista huolimatta biohiilen tuotannon kannattavuus maatilatasolla on osoittautunut haasteelliseksi. Kannattavuuteen vaikuttavat muun muassa alkuinvestoinnin suuruus, tilalla käytettävissä olevat tilat ja resurssit, raaka-aineiden saatavuus sekä pyrolyysiprosessin operointiin liittyvät kustannukset ja tuotot. Tuottoja voidaan saada paitsi biohiilen myynnistä, myös pyrolyysiprosessissa syntyvästä energiasta, pyrolyysikondensaateista (tisleistä) sekä mahdollisesti hiilikrediiteistä.

Roberts ym. (2010) mukaan pyrolyysi-biohiilijärjestelmän taloudellinen kannattavuus riippuu ennen kaikkea biomassan saatavuudesta, prosessointikustannuksista sekä hiilikompensaatioiden taloudellisesta arvosta. Vaikka biohiilellä on merkittävä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä, maatilamittakaavassa järjestelmät ovat taloudellisesti kannattavia pääasiassa silloin, kun ne perustuvat jätebiomassaan ja hajautettuun tuotantomalliin. Heinrich ym. (2023) tukevat tätä näkemystä ja tuovat esiin, että maatiloilla kannattavuuden esteenä ovat usein korkeat alkuinvestoinnit ja pitkä kuoletusaika.

Biohiilen tuotantoon sisältyy kuitenkin elementtejä, jotka voivat parantaa sen kannattavuutta tilatasolla. Näistä keskeisin on pyrolyysiprosessissa syntyvän lämmön hyödyntäminen. Heinrich ym. (2023) korostavat, että lämpöenergian hyödyntäminen tilan omissa prosesseissa, kuten kuivauksessa tai lämmityksessä, on ratkaisevaa järjestelmän taloudelliselle toteutettavuudelle. Pyrolyysissä syntyvä lämpöenergia tulisi pystyä kohdentamaan mahdollisimman tehokkaasti tilan omaan energiankulutukseen.

Ruotsalaisessa kontekstissa Azzi, Karlton ja Sundberg (2021) kehittivät mallin, jolla simuloitiin maatiloilla toimivien pyrolyysiyksiköiden vaikutuksia biohiilen tuotantoon, energiatasa-

painoon ja ympäristövaikutuksiin. Heidän tutkimuksensa osoitti, että lämpörajoitteisissa järjestelmissä pyrolyysilaitteiston oikea mitoitus on keskeistä. Ylimoitettu laitteisto johti tarpeettoman suureen työmäärään, heikompaan kannattavuuteen ja suurempiin päästöihin, etenkin kun ilmastonmuutoksen ennustettiin pienentävän tilan biomassan saatavuutta.

Suomalaisessa toimintaympäristössä Juvan (2023) mukaan biohiilen tuotanto voi olla kannattavaa erityisesti silloin, kun se yhdistetään tilan lämmöntuotantotarpeisiin. Hänen mukaansa tuotanto ei ole yksinään taloudellisesti kannattavaa, vaan erityisesti energian hyödyntäminen on avainasemassa. Hän korostaa myös tuotantolaitteiston kapasiteetin ja tilan lämmöntarpeen vastaavuutta: mikäli laitteiston kapasiteetti vastaa tarkasti tilan lämmöntarvetta, voidaan tuotantoa ajaa tehokkaasti. Suuremmassa mittakaavassa ylijäämäenergiaa voidaan myös myydä ulos, mutta tämä edellyttää tasalaatuista ja riittävän suurta tuotantoa.

Kannattavuuteen liittyy myös markkinointiin ja myyntiin liittyvä osaaminen. Markkina ei synny itsestään vaan vaatii hyvät yhteistyöverkostot, osaamista myynnin suhteen sekä tuotteen, joka vastaa asiakkaiden tarvetta. Maatilalla ja maaseudulla on myös paikallisesti mahdollisuuksia hyödyntää tuote itse ja tukea sitä kautta alueen maatalouden säilymistä taloudellisesti ja ekologisesti elinvoimaisena.

## 6.1 Hiilikreditit osana kannattavuutta

Hiilikrediittien hyödyntäminen tarjoaa potentiaalisen väylän parantaa biohiilen tuotannon kannattavuutta maatilatasolla. Hiilikrediitit ovat osa vapaaehtoisia hiilimarkkinoita, joilla yritykset tai yksityishenkilöt voivat kompensoida päästöjään rahoittamalla toimenpiteitä, jotka poistavat hiilidioksidia ilmakehästä. Biohiili nähdään tässä kontekstissa pitkäaikaisena hiilivarastona, mikä tekee siitä kiinnostavan keinon synnyttää poistokelpoisia hiilikrediittejä.

Käytännössä hiilikrediittien hyödyntäminen edellyttää kuitenkin yrittäjältä sekä asiantuntemusta että taloudellisia ja ajallisia resursseja. Heinrich ym. (2023) arvioivat, että hiilikrediiteillä voi tulevaisuudessa olla merkittävä rooli biohiilen tuotannon taloudellisessa kannattavuudessa, erityisesti jos markkinahinta nousee kysynnän kasvaessa. Toisaalta, kuten Hansen-Connell ym. (2022) korostavat, vapaaehtoisille hiilimarkkinoille osallistuminen ei ole

suoraviivaista: alkuinvestoinnit, informaatioesteet sekä taloudelliset ja ympäristölliset epävarmuudet voivat muodostaa merkittäviä esteitä erityisesti pienille toimijoille. Hansen-Connellin ym. (2022) tutkimuksessa todetaankin, että maatilamittakaavan tuottajille hiilikrediittien tarjoamat tulovirrat eivät ole toistaiseksi realistisia johtuen kustannuksista ja hallinnollisesta monimutkaisuudesta.

Suomalaisessa kontekstissa hiilikrediittien mahdollistamisessa toimii keskeisenä välittäjänä puro.earth, joka on erikoistunut hiilidioksidin pysyvään poistoon perustuvien hiilikrediittien verifiointiin ja välitykseen. puro.earth (2024) edellyttää, että biohiilen tuotannossa käytetään kestävän alkuperän biomassaa ja että biohiili käytetään tavalla, joka varmistaa sen pitkäaikaisen säilymisen hiilivarastona, kuten maaperän parannusaineena. Lisäksi järjestelmä vaatii yksityiskohtaista laskentaa hiilensidonnann määrän määrittämiseksi sekä tuotantolaitoksen ja prosessin dokumentaation täyttävän asetetut standardit. Tällä hetkellä puro.earthin rekisterissä on vain yksi suomalainen toimija, Carbofex Nokia 1, joka on saanut virallisen CO<sub>2</sub> Removal Certificate (CORC) -sertifikaatin (puro.earth, n.d.). Tämä osoittaa, että toimialalla ollaan vielä kehitysvaiheessa, mutta mahdollisuuksia on olemassa, mikäli toimijat pystyvät vastaamaan vaatimuksiin.

Biohiili ja sen tuotanto osana maaseutua ja maataloutta tarjoaa monia mahdollisuuksia niin maatalouden kestävyiden vahvistamisessa kuin maaseudun elinvoimaisuuden kehittämisessä. Tuotanto raaka-aineen tuottamisesta valmiin tuotteen markkinointiin ja myyntiin on laaja kokonaisuus sisältäen moninaista osaamista ja resursseja. Tuotannon rakentaminen alueellisen yhteistyön näkökulmasta on vaihtoehto, joka edistää alueen elinkeinomahdollisuuksia. Yhden yrityksen kohdalla se on kokonaisvaltainen prosessi, joka vaatii yrittäjältä sekä ajallisia että taloudellisia resursseja, teknistä osaamista ja monialaista ymmärrystä. Kannattavan tuotannon saavuttaminen edellyttää tuotantoprosessin kaikkien vaiheiden tehokasta hallintaa ja tilakohtaista optimointia.

Maatilamittakaavassa tuotettavan biohiilen tuotannon taloudellinen kannattavuus on toistaiseksi osoittautunut haastavaksi, johtuen suuresta alkuinvestoinnista ja muun muassa epävarmuudesta hiilikompensaatiomarkkinoilla. Tuotannon tehokkuutta voidaan kuitenkin parantaa hyödyntämällä pyrolyysiprosessissa syntyvää lämpöenergiaa tilan omaan käyttöön tai myyntiin. Kannattavuuden parantamiseksi tarvitaan myös liiketoimintaosaamista, markkinoinnin, tuotteen sertifiointin ja hiilikrediittijärjestelmien hallintaa. Sertifioitu biohiili voi mahdollistaa pääsyn vapaaehtoisille hiilimarkkinoille, mutta erityisesti pienimuotoisten tuottajien kohdalla tiedon puute ja hallinnolliset vaatimukset muodostavat vielä merkittäviä esteitä.

Maatalousyrittäjän työnkuva on valmiiksi hyvin moninainen ja käytettävissä olevat resurssin hyödynnetään tehokkaasti olemassa olevaan yritystoimintaan. Kokonaisvaltainen biohiilen tuotannon lisääminen osaksi maatalousyrittäjän toimintaa vaatii sekä ajallisia, että rahallisia resursseja, uuden oppimista ja erilaisten kokonaisuusien hallintaa. Yksittäiselle yrittäjälle tämä kokonaisuus saattaa olla liian suuri hallittavaksi muun yritystoiminnan rinnalla.

Biohiilen tuotantoon liittyy kuitenkin selkeä kehityspotentiaali, ja maaseudulla on erinomaiset lähtökohdat vastata siihen. Suomessa on runsaasti biomassaresursseja, valmista infrastruktuuria ja toimivaa konekanta. Biohiilen tuotantoon liittyvien liiketoimintamahdollisuuksien realisoituminen edellyttää kuitenkin alkuvaiheen tukea ja rahoitusta, alueellista pilotointia ja tutkimustiedon käytännönläheistä jalkauttamista.

Pilottihankkeet voivat osoittaa tuotannon toimivuutta erilaisissa maatilaympäristöissä, lisätä luottamusta uuteen teknologiaan ja luoda pohjaa alueelliselle biohiilipohjaiselle liiketoiminnalle. On tärkeää, että tutkimustieto välitetään tehokkaasti myös päättäjille, kuluttajille ja kaupalle, jotta syntyy yhteinen ymmärrys biohiilen mahdollisuuksista osana maatalouden vihreää siirtymää.

Maaseutu ja maatalous ovat uuden edessä. Hajautetun hiilensidontateknologian kehittäminen ja käyttöönotto voi vahvistaa maaseudun elinvoimaa, edistää ilmastotavoitteiden saavuttamista ja tarjota uusia liiketoimintamahdollisuuksia maatilayrittäjille. Biohiilen tuotanto maatilalla voi olla osa laajempaa paikallista kokonaisuutta, joka edellyttää eri tahojen yhteistyötä, pilottikokeilujakokeiluja ja käytännönläheistä kehittämistyötä.

Tämä raportti on kirjoitettu osana Euroopan unionin osarahoittamaa Kestävä ja vastuullinen Ruokaprovinssi hanketta. Hankkeen kokonaisbudjetti on 719 897 € ja toteutusaika 1.9.2023 – 30.8.2025.

## LÄHTEET

- Ahsan, A., Basirun, W. J., Mohammad, M., & Islam, M. R. (2022). Biochar in sustainable agriculture: A critical review on its application, benefits and environmental implications. *Environmental Research*, 204, 111984. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111984>
- Ahsan, M. M., Alam, M. S., & Rahman, M. M. (2022). Variability in biochar properties based on feedstock and pyrolysis temperature: Implications for agronomic and environmental benefits. *Journal of Environmental Management*, 305, 114402. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114402>
- Bhattacharyya, P., Saha, P., & Ghosh, B. N. (2024). Biochar as a carrier of microbial inoculants for sustainable agriculture: A synthesis of global field experiments. *Soil & Tillage Research*, 226, 105609. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105609>
- Bhattacharyya, R., Kundu, S., & Gupta, H. S. (2024). Biochar as a microbial inoculant carrier: Impacts on soil microbial communities and crop productivity—A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 345, 108410. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108410>
- Bioenergia ry. (2022). Biohiiliopas – Tietoa biohiilen tuotannosta ja käytöstä Suomessa. <https://www.bioenergia.fi/julkaisut>
- Bioenergia ry. (2022). Biohiilen käyttö ja sääntely Suomessa. <https://www.bioenergiary.fi>
- Cely, P., McBride, M. B., & Gajda, A. M. (2015). Influence of feedstock type and pyrolysis temperature on biochar agronomic properties and nutrient retention. *Journal of Agricultural Science*, 7(9), 34–47. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n9p34>
- Cely, P., Tarquis, A. M., Paz-Ferreiro, J., & Méndez, A. (2015). Factors driving the agronomic potential of biochar: Effects of feedstock and pyrolysis temperature on crop growth. *Compost Science & Utilization*, 23(4), 280–290. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2015.1052904>
- European Biochar Certificate. (2023). European Biochar Certificate – Guidelines for a sustainable production of biochar. Ithaka Institute. <https://www.european-biochar.org/en/download>
- European Commission. (n.d.). Regulation (EU) 2019/1009 on fertilising products. Retrieved May 16, 2025, from [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/legislation\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/legislation_en)
- EUR-Lex. (2022). Asetus (EU) 2019/1009 lannoitevalmisteista. <https://eur-lex.europa.eu>

- Finlex. (2022). EU:n lannoiteasetus (EU) 2019/1009. <https://www.finlex.fi>
- Hagemann, N., Joseph, S., Schmidt, H.-P., Kammann, C. I., Harter, J., Borch, T., & Kappler, A. (2019). Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nature Communications*, 10, Article 4469. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11993-8>
- Hollmén, I., (2021). Pajusta biohiiltä. *Bioenergialehti*, (12). <https://bioenergialehti.fi/2021/12/31/pajusta-biohiilta/>
- International Biochar Initiative. (2024). Standards and certifications. <https://biochar-international.org/resources/standards/>
- Ippolito, J. A., Laird, D. A., & Busscher, W. J. (2020). Environmental benefits of biochar. In J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed., pp. 655–694). Routledge.
- Kalu, B. A., Rasa, K., Kuoppala, K., & Nieminen, T. M. (2022). Effects of biochar application on nitrous oxide emissions and crop yield in Finnish soils: A seven-year field study. *Science of The Total Environment*, 834, 155344. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155344>
- Kalu, C., Regina, K., & Heinonsalo, J. (2022). Long-term effects of biochar on crop yield and greenhouse gas emissions in boreal soils. *Agricultural and Forest Meteorology*, 317, 108916. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108916>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed.). Routledge.
- Muhonen, T. (2024). Biohiilen käyttö maataloudessa – Ilmastohyödyt ja käytännön sovellukset. Luonnonvarakeskus (Luke). <https://www.luke.fi>
- Mykkänen, M. (2025). Global perspectives on biochar feedstock diversity and utilization: Case studies from China and Brazil. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 40(2), 113–128. <https://doi.org/10.1017/S1742170524000301>
- Ruokavirasto. (2022). Lannoitelaki 711/2022 ja ainesosaluettelo. <https://www.ruokavirasto.fi>
- Ruokavirasto. (2023). Maa- ja metsätalousministeriön asetus 964/2023. <https://www.ruokavirasto.fi>
- Ruokavirasto. (2024). Ainesosaluettelo lannoitelain mukaisille tuotteille. Retrieved May 16, 2025, from <https://www.ruokavirasto.fi/lannoitteet>
- Sánchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L., & Roig, A. (2019). Biochar as a tool for sustainable soil management: Effects on nutrient retention and microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 137, 107545. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107545>

Sánchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L., Sánchez-García, M., Vandecasteele, B., & Meers, E. (2019). Biochar's role in organic waste composting: Benefits and risks. *Journal of Environmental Management*, 243, 387–396. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.017>

Schmidt, H.-P., Hagemann, N., Draper, K., & Kammann, C. (2021). The use of biochar in agriculture. In J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation* (2nd ed., pp. 665–692). Routledge.

Schmidt, H.-P., Kammann, C., & Glaser, B. (2021). Biochar in agriculture – A review of current knowledge and future prospects. *Environmental Science & Technology*, 55(19), 12785–12796. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02133>

Soikkonen, O. (2022). *Biohiilen valmistusprosessit* [Kandidaatintyö, Tampereen yliopisto]. Tampereen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/139889/SoikkonenOskari.pdf?sequence=5&isAllowed=y>