This document is downloaded from the
VTT Research Information Portal
https://cris.vtt.fi

VTT Technical Research Centre of Finland

Biohiili osana suomalaista biotaloutta

Salo, Esko; Siipola, Virpi; Raitila, Jyrki; Björnström, Martin; Karlsson, Markku

Published: 23/10/2025

Document Version
Publisher's final version

Link to publication

Please cite the original version:
Salo, E., Siipola, V., Raitila, J., Björnström, M., & Karlsson, M. (2025). *Biohiili osana suomalaista biotaloutta*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Asiakasraportti No. VTT-CR-00466-25

VTT
https://www.vttresearch.com

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
P.O. box 1000
FI-02044 VTT
Finland

By using VTT Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.

Download date: 08. Sep. 2026

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

ASIAKASRAPORTTI

VTT-CR-00466-25

Biohiili osana suomalaista biotaloutta

Kirjoittajat: Esko Salo, Virpi Siipola, Jyrki Raitila, Martin Björnström, Markku Karlsson

Luottamuksellisuus: VTT Julkinen

Versio: 30.9.2025

VTT

beyond the obvious

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Raportin nimi Biohiili osana suomalaista biotaloutta	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Maa- ja metsätalousministeriö, Anne Vehviläinen, Hallituskatu 3 A, Helsinki, PL 30, 00023 Valtioneuvosto	**Asiakkaan viite**
Projektin nimi Biohiilen markkinaselvitys	**Projektin numero** 142475

Tiivistelmä

Biohiili on monikäyttöinen materiaali, joka tarjoaa sekä ympäristöllisiä että taloudellisia hyötyjä. Sen avulla voidaan sitoa hiiltä pysyvästi, korvata fossiilisia hiiliä ja vahvistaa kiertotaloutta. Suomessa ja kansainvälisesti biohiilelle on jo kysyntää esimerkiksi metalliteollisuudessa, ja merkittävää markkinapotentiaalia korkean arvon sovelluksissa, kuten aktiivihiilessä ja akkuhiilessä. Maailmanlaajuisesti biohiilimarkkina on vielä pieni, noin 200 M€, mutta on nopeassa kasvussa. Vertailun vuoksi esimerkiksi aktiivihiilen markkina (6 mrd €) on moninkertainen. Yleisesti eri hiilien markkinat ovat kasvussa ja niiden ajureita toimii mm. elintason nousu, väestönkasvu ja sähköistyminen.

Suomen vahvuuksia biohiilen valmistajana ovat laaja kaukolämpöverkko, bioenergiaosaaminen ja runsaat biomassavarat. Tässä raportissa arvioiduista puu- ja agropohjaisista sivuvirroista voitaisiin tuottaa noin 1,3 miljoonaa tonnia biohiiltä vuodessa, mikä vastaisi euroissa miljardiluokan liikevaihtoa ja esimerkiksi maanparannuskäytössä 3,8 Mt CO_2:n pysyviä poistoja eli noin 9 % Suomen päästöistä. Tämä edellyttäisi kuitenkin merkittäviä investointeja ja markkinamuutoksia.

Biohiilelle kilpailukykyinen valmistuskustannus voidaan saavuttaa optimoimalla tärkeimmät kustannuselementit: raaka-aineen kustannus, investointitaso, saanto, tuotannon skaalaus sekä sivutuotteiden hyödyntäminen. Korkeamman arvon hiilituotteiden korvaaminen tarjoaa lupaavia mahdollisuuksia, mutta vaatii vielä T&K-panostuksia. Hiiltä varastoivien sovellusten (maanparannus, betoni) laajamittainen käyttöönotto edellyttää toimivia hiilikrediittimarkkinoita.

Biohiililiiketoiminnan kehittäminen Suomessa edellyttää 1) biohiilen arvoverkon kehittämistä, 2) pilotointi- ja demonstrointitukea, 3) tuotannon integroimista kaukolämpöverkkoon tai teollisiin prosesseihin.

Suomessa valmistetulla biohiilellä on merkittävä liiketoimintapotentiaali ja sen käyttöönotto kehittyy monissa sovelluksissa mm. metallinjalostuksessa, maaparannuksessa, rakennusmateriaaleissa ja suodatuskäytöissä. Suomella on mahdollisuus nousta biohiilen tuotannon, käytön ja teknologian edelläkävijäksi sekä tehdä biohiilestä merkittävä vientituote.

Espoo 21.10.2025

Laatija	**Tarkastaja**
Esko Salo, Tutkija	Aino Kainulainen, Tiimipäällikkö

Luottamuksellisuus Julkinen

VTT:n yhteystiedot

Esko Salo, esko.salo@vtt.fi

Jakelu (asiakkaat ja VTT)

Maa- ja metsätalousministeriö, Työ- ja elinkeinoministeriö, VTT

VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Hyväksyminen

TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY

Päivämäärä:	21 October 2025
Allekirjoitus:	Signed by: Aino Kainulainen F293CC515CAD49A...
Nimi:	Aino Kainulainen
Asema:	Research Team Leader

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Sisällysluettelo

Tiivistelmä
1 Selvityksen kuvaus ja tavoitteet....4
2 Yleiskuva biohiilestä ja biopohjaisesta aktiivihiilestä....5
2.1 Biohiilen valmistukseen soveltuvat raaka-aineet....7
2.2 Biohiilen käyttötarkoitukset ja saavutettavat hyödyt....8
2.3 Biohiilen valmistusprosessit....10
2.3.1 Hidaspyrolyysi....10
2.3.2 HTC-prosessi (märkähiilto)....11
2.3.3 Muut prosessit....11
2.4 Biohiilen jatkojalostus aktiivihiileksi tai kovahiileksi (akkuhiili)....12
2.4.1 Aktivointiprosessit....13
2.4.2 Kovahiili ja aktiivihiili....16
3 Bio- ja aktiivihiilen markkina....17
3.1 Torrefioitu biomassa....17
3.2 Biohiilen markkina....17
3.3 Aktiivihiilen markkinat....20
4 Biohiilen liiketoimintapotentiaali....23
4.1 Kotimaisen biomassan saatavuus....23
4.1.1 Metsähake....24
4.1.2 Metsäteollisuuden sivuvirrat ja kierrätyspuu....25
4.1.3 Muut biopohjaiset raaka-aineet....25
4.2 Tuotannon kustannus- ja kannattavuusmallinnus....27
4.3 Biohiilimarkkinoiden kehitysnäkymiä ja vientipotentiaalin arviointi....33
4.3.1 Biohiilialan arvoverkko....35
4.3.2 Bio- ja aktiivihiilen käyttö Suomessa....38
4.3.3 Tilannekatsaus Pohjoismaista....41
5 Johtopäätökset ja suositukset....44
6 Lähdeviitteet....46
7 Liitteet....51
Liite 1. Kaukolämmön hintakehitys....51
Liite 2. Puupolttoaineiden hintojen kehitys....51
Liite 3. Biohiilen valmistuskustannusten herkkyysanalyysi....52
Liite 4. Biohiilen valmistuskustannuksen herkkyysanalyysi....54

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

1 Selvityksen kuvaus ja tavoitteet

Päivitetty kansallinen biotalousstrategia tavoittelee biotalouden arvonlisän kaksinkertaistamista nykyisestä. Strategian arvonlisän kasvattamistavoite kattaa sekä ns. perinteiset että vielä kehittyvät uusien hiilituotteiden arvoketjut. Biohiilestä on valmistunut runsaasti selvityksiä, mutta kokonaiskuvaa sen markkinoista ja arvonlisäpotentiaalista ei ole. Biohiileen kohdistuu runsaasti mielenkiintoa, koska sen nähdään tarjoavan mahdollisuuksia biotalouden arvonlisän kasvattamiselle. Tarpeellista on muodostaa kokonaiskuva eri biohiilituotteiden markkinoista, potentiaalisista tarjoajista sekä mahdollisuuksista niin markkinoiden kuin tarjonnan kasvattamiselle. Tarpeen on myös tunnistaa ne esteet, mukaan lukien hallinnolliset esteet, mitkä biohiilen laajemmalle käytölle on ja miten ne voitaisiin poistaa.

Biohiili on ollut kiinnostuksen kohteena jo jonkin aikaa, mutta laajemmassa mittakaavassa se ei ole vielä tuotannossa Suomessa. Sen ymmärtämiseksi, mikä on biohiilen tämänhetkinen potentiaali, on tarpeen selvittää myös sen tuotantokustannuksia, ja miten se pärjää hintavertailussa tuotteille, jotka se erilaisissa sovellusalueissa mahdollisesti voisi korvata. Tarpeen on arvioida missä sovelluksissa biohiili on tai voisi olla kilpailukykyinen vaihtoehto.

Selvityksessä tarkemmin tarkasteltavat arvoketjut ja biohiilituotteiden kokonaisuus määritellään lopullisesti yhdessä tilaajan kanssa. Selvityksessä pääroolissa on metsäbiomassapohjainen raaka-aine ja siitä saatavat arvonlisätuotteet. Tarkasteltavat tuotteet valitaan myös sen perusteella, miten ne vastaavat biotalousstrategian arvonlisän kasvattamisen tavoitteeseen.

Selvityksellä kartoitetaan biohiilen tarjontaa, markkinoita ja miten mahdollisia markkinoita voitaisiin kehittää

- Biohiilen olemassa olevat ja potentiaaliset markkinat Suomessa ja maailmalla
- Biohiilen raaka-ainelähteet (ml. puumateriaalien kierrätys, rakennusjätteet)
- Biohiilen olemassa olevat ja mahdolliset sovellusalueet
- Suomessa sijaitsevien yritysten biohiilen tuotantomahdollisuudet (raaka-aineen saatavuus, volyymit, kustannusrakenne)
- Suomessa sijaitsevien yritysten nykyinen ja oletettu biohiilen tarve ja kysyntä (volyymit, kustannusrakenne, sovellusalueet)
- Suomessa valmistettavan biohiilen ja sen valmistusteknologioiden vientipotentiaali
- Arvio Suomen kannalta potentiaalisimmista sovellusalueista.
- Arvio valittujen biohiilituotteiden markkinoiden koosta ja sen ajureista.
- Arvio biohiilen tuotantokustannuksista valituissa tuotteissa ja vertailu vaihtoehtoisista raaka-aineista valmistettujen tuotteiden tuotantokustannuksiin
- Arvio biohiilen mahdollisuuksista syrjäyttää vaihtoehtoiset raaka-aineet ja tuotteet eri sovellusalueilla.
- Biohiilen valmistukseen liittyvä arvoverkko ja sen kehittämiseen liittyvät toimet
- Biohiilen kotimaiset ja ulkomaiset valmistajat (volyymit)
- Kotimaisen biohiilituotannon kasvattamisen investointitarpeet

Kirjallisuuskatsauksen ohella tässä selvityksessä on hyödynnetty tutkimustietoa VTT:n aikaisemmista biohiilitutkimusprojekteista. Lisäksi on käytetty markkinaraportteja ja haastateltu suomalaisia yrityksiä, jotka kehittävät bio- ja aktiivihiileen liittyvää liiketoimintaa Suomessa.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

2 Yleiskuva biohiilestä ja biopohjaisesta aktiivihiilestä

Suomessa on merkittävä mahdollisuus integroida biohiilen tuotanto osaksi metsäteollisuuden prosesseja, kaukolämmön tuotantoa sekä biokaasulaitoksia. Biohiilen tuotanto voidaan sovittaa vastaamaan lämpöverkkojen kausittaista kysyntävaihtelua, jolloin prosessi tukee energiajärjestelmän joustavuutta. Biohiilen keskeisimmät potentiaaliset loppukäyttöalueet ovat maanparannus, metallinjalostus sekä betoniin lisättynä, joista viimeksi mainittu on tällä hetkellä kehityksen alkuvaiheessa. Korkeamman lisäarvon tuotteisiin kuuluvat aktiivihiili ja akkuhiili, mutta niiden kaupallistaminen edellyttää lisätutkimusta ja -kehitystä, erityisesti akkuhiilen osalta. Biohiilen kysyntää tukevat hiilenpoistoon liittyvät tavoitteet, kasvavat päästövähennysvaatimukset sekä tarve vähentää riippuvuutta fossiilisista hiilenlähteistä. Nämä tekijät luovat edellytyksiä markkinakasvulle useissa eri loppukäyttösektoreissa.

Biohiilellä (biochar, biocarbon, biocoke, biocoal) tarkoitetaan hiilipitoista tuotetta, joka valmistetaan uusiutuvasta, biopohjaisesta raaka-aineesta pyrolyysillä tai muulla lämpökäsittelyprosessilla. Pyrolyysissä biopohjainen raaka-aine kuumennetaan vähähappisissa tai hapettomissa olosuhteissa, jolloin sen orgaaninen aines hiiltyy, ja syntynyttä kiinteää lopputuotetta kutsutaan biohiileksi (Lehmann & Joseph, 2015). Biohiiltä voidaan valmistaa pyrolyysin lisäksi useilla muilla biomassan lämpökäsittelymenetelmillä, kuten torrefioinnilla (torrefaction), märkähiillolla (hydrothermal carbonization, HTC) ja kaasutuksella (gasification). Torrefiointi ja märkähiilto tuottavat yleensä matalamman hiilipitoisuuden materiaalia kuin perinteinen pyrolyysi, eikä lopputuote vastaa esimerkiksi pyrolyysillä valmistetun biohiilen laatua ja ominaisuuksia. Kaasutuksessa kiinteä hiili muodostuu pääasiassa sivutuotteena, ja sen määrä on tyypillisesti pieni suhteessa kaasumaiseen energiatuotokseen.

Kiinteää hiilimateriaalia voidaan valmistaa myös pyrolysoimalla kaasumaisia biopohjaisia syötteitä, kuten biometaania. Tässä prosessissa muodostuva hiili muistuttaa usein ominaisuuksiltaan hiilimustaa (carbon black) ja poikkeaa sekä kemiallisesti että fysikaalisesti perinteisestä biomassapohjaisesta biohiilestä. Eri prosesseista valmistetuille lopputuotteille ei ole yhtä vakiintunutta määritelmää. Tuotteita on mm. torrefioitu biomassa, mustapelletti, märkähiili, pyrolyysihiili tai biokoksi, riippuen käytetystä raaka-aineesta, prosessista ja lopputuotteen ominaisuuksista.

Tämän lisäksi hiilijakeita voi syntyä myös esimerkiksi metaaniin perustuvassa vedyntuotannossa, jossa saadaan yhden kiloa vetyä kohden kolme kiloa kiinteää hiiltä (Prabowo et al. 2024). Tätä hiiltä voitaisiin rinnastaa biohiileen silloin, kun prosessissa käytetään biometaania. Biohiilimarkkinoiden vahvistuminen parantaisi siten myös metaaniin perustuvan vedyntuotannon kannattavuutta. Tässä raportissa keskitytään kuitenkin biohiilen tuotantoon kiinteistä biomassoista.

Biohiili -termiä käytetään usein yleisnimityksenä tai tuotekategoriana lämpökäsittelylle biomassalle (Bioenergia 2025), kun tarkemmin tarkoitetaan yhtä edellä mainituista lopputuotteista. Eri raaka-aineista ja valmistusmenetelmillä valmistetut biohiilet ovat hyvin erilaisia niin ominaisuuksien kuin käyttökohteiden osalta. Alle on koottu esimerkkejä hiilituotteista, joita voidaan myös kutsua biohiileksi.

- Charcoal / puuhiili tai grillihiili: poltettavaksi tarkoitettu hiili
- Torrefied biomass, biocoal / torrefioitu biomassa: lämpökäsitelty, tyypillisesti alle 300 °C:ssa, ja tiivistetty biomassa, jolloin sen varastoitavuus ja energiasisältö kasvaa. Lopputuotteena usein ”musta pelletti” tai briketti energiakäyttöön.
- Biochar, biocarbon / -biohiili tai pyrolyysihiili: muuhun kuin polttokäyttöön tarkoitettu hiili, valmistuslämpötila tyypillisesti yli 400-700 °C. Tuotteen hiilipitoisuus voi ylittää 90 %.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Käyttökohteita ovat mm. maanparannus parantamaan viljelymaan rakennetta ja vedenpidätyskykyä, kompostoinnissa tehostamaan hajotustoimintaa ja vähentämään hajuhaittoja sekä komponenttina rehuissa ja lannoitteissa. Metallienjalostusyritykset selvittävät mahdollisuutta korvata fossiilinen hiili biohiilellä pelkistimenä metallien valmistuksessa. Biohiiltä voidaan myös lisätä rakennusmateriaaleihin kuten betoniin.

- Activated carbon / aktiivihiili: vesihöyryllä tai muulla menetelmällä aktivoitu bio- tai fossiilipohjainen hiili, jolla erittäin suuri ominaispinta-ala ja huokoisuus, mikä tekee siitä tehokkaan adsorbentin esim. veden- ja jäteveden puhdistuksessa, kaasunpuhdistuksessa ja metallien talteenotossa/poistossa sekä elintarvike- ja lääketeollisuudessa korkeaa puhtausastetta vaativissa prosesseissa.

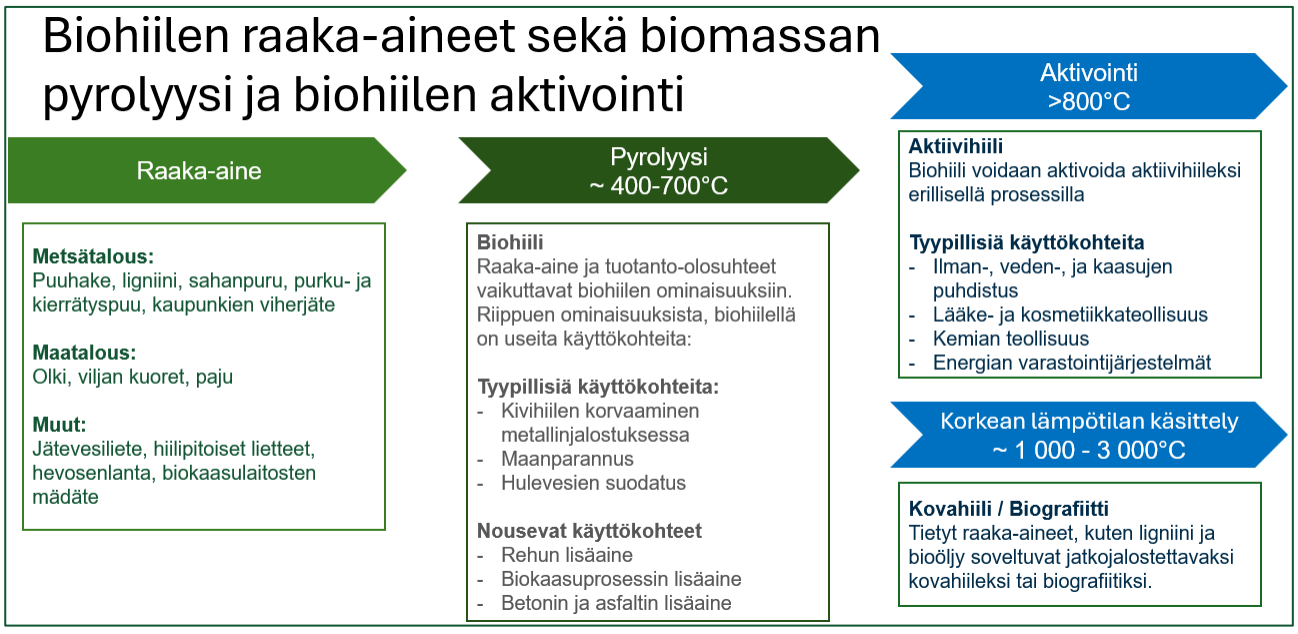
- Hard carbon / kovahiili, tai biografiitti, voidaan käyttää anodimateriaalina litium- ja natriumioniakuissa synteettisen ja luonnongrafiitin korvaamiseen (määritelty EU:ssa kriittiseksi raaka-aineeksi, (EU) 2024/1252). Kovahiilen käyttökohteita ovat mm. sähköautojen ja verkon energian varastointiratkaisut. Vain tietyt raaka-aineet soveltuvat kovahiilen tai biografiitin valmistukseen (mm. ligniini ja bioöljy).

Biohiilen valmistuksessa ja käytössä tulee noudattaa voimassa olevaa regulaatiota:

- Biohiilen kuljetuksissa esim. ”Vaarallisten aineiden kuljetus (VAK)”. Biohiili määritellään UN-luokkaan ”Hiili, eläin tai kasviperäinen (UN 1361)” sekä biohiilestä valmistettu aktiivihiili luokkaan ”Hiili, aktivoitu (UN 1362)”.

- Biohiilen valmistuksessa käytetty prosessi, kuten pyrolyysi, muuttaa raaka-aineen kemiallista koostumusta ja prosessin tuloksena syntyvä aine, kuten biohiili tai pyrolyysiöljy, kuuluu tämän takia REACH-asetuksen soveltamisalaan ja on rekisteröitävä.

Yhteenveto biohiilen raaka-aineista ja prosessoinnista on esitetty alla (Kuva 1).



Kuva 1. Yhteenveto biohiilen raaka-aineista ja prosessoinnista

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

2.1 Biohiilen valmistukseen soveltuvat raaka-aineet

Suomen metsäteollisuuden ja metsätaloudesta syntyvät sivuvirrat kuten kuori, sahanpuru ja metsähake ovat erinomaisia biopohjaisia raaka-aineita biohiilen valmistamiseksi. Sivuvirtojen suuri määrä ja ominaisuudet mahdollistavat niiden hyödyntämisen korkeamman lisäarvon tuotteisiin pelkän polton sijaan.

Biohiilen valmistukseen käytetty puulaji (mänty, kuusi, koivu, paju, kuori, sekapuu, trooppiset puulajit) vaikuttaa tuotetun biohiilen ominaisuuksiin. Tuotetun biohiilen laadun tasaamiseksi raaka-ainepohjan tulisi olla mahdollisimman yhtenäinen ja tasalaatuinen.

Taulukko 1. Arvioita eri raaka-aineiden tiheyksistä ja tuhkapitoisuuksista sekä valmistetun biohiilen laadusta ja esimerkkejä käyttökohteista (Alakangas, 2000; Riikonen, 2019; Siipola ym. 2019; Korpijärvi 2021; Ajien ym. 2023; Handiso ym. 2024)

Raaka-aine	Tiheys (kg/m³)	Tuhka-pitoisuus (%)	Biohiilen hiilipitoisuus (%)	Käyttökohteita*
Mänty (runkopuu)	390–410	0,3–0,5	70–85	Maanparannus, suodatus, hiilensidonta
Kuusi (runkopuu)	380–400	0,3–0,5	70–85	Maanparannus, suodatus, hiilensidonta
Koivu (runkopuu)	490	0,4–0,6	70–85	Maanparannus, grillihiili, aktiivihiili, suodatus
Hakkuutähteet	200–350	0,4–6	60–80	Kompostointi, maanparannus
Sahanpuru	380–480	0,4–1,1	60–90	Maanparannus, suodatus
Kuoret	300–410	1,7–3,4	50–80	Kompostointi, maanparannus
Kookoskuoret	400–600	0,4–3	75–85	Aktiivihiili, maanparannus
Turve	300–400 (bulkkitiheys 40–60 % kosteudessa)	2–10	60–80	Maanparannus, aktiivihiili, tukipolttoaine

*Biohiilen ominaispinta-ala vaihtelee alle kymmenestä jopa satoihin neliömetreihin per gramma hiiltä, ja siihen voidaan vaikuttaa esimerkiksi raaka-ainevalinnalla ja käytetyllä pyrolyysilämpötilalla. Korkeamman huokoisuuden biohiilet omaavat yleisesti korkeamman adsorptiokyvyn, jolloin ne sopivat hyvin esimerkiksi suodatuskäyttöön.

Lisäksi biohiilen raaka-aineena voidaan hyödyntää maatalouden lietteitä ja jätteitä. Näiden materiaalien korkea kosteuspitoisuus tekee kuitenkin perinteisestä pyrolyysistä vähemmän soveltuvan valmistusteknologian. Tällaisissa tapauksissa suositeltavampi teknologia olisi hydroterminen hiiltäminen (HTC, hydrothermal carbonization), jossa biomassa käsitellään 180-260 °C:ssa paineen alaisena. HTC-prosessissa syntyvä hiilimateriaali ei yleensä saavuta yhtä korkeaa hiilipitoisuutta kuin hidaspyrolyysillä tuotettu biohiili. Siitä huolimatta se voi soveltua hyvin esimerkiksi maanparannuskäyttöön, jos tavoitteena on orgaanisen aineksen lisääminen ja maaperän rakenteen parantaminen, ei niinkään korkea hiilensidontakyky. Lisätietoa maatalouden raaka-aineista löytyy mm VTT:n BioCarbonValue-raportista (Siipola ym. 2025).

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

2.2 Biohiilen käyttötarkoitukset ja saavutettavat hyödyt

Biohiili on monikäyttöinen materiaali, joka tarjoaa useita ympäristöllisiä ja taloudellisia hyötyjä. Biohiilen korkea hiilipitoisuus ja huokoinen rakenne mahdollistavat sen hyödyntämisen niin hiilensidontaan kuin fossiilisen hiilen korvaajana. Biohiilen käyttötarkoitus voidaan karkeasti jakaa neljään pääkategoriaan: 1) ilmastonmuutoksen hillintä, 2) maanparannus, 3) jätehuolto ja 4) energia (Mašek, 2013). Kategoriat eivät ole toisiaan poissulkevia, vaan ne osittain limittyvät toistensa kanssa.

Ilmastonmuutoksen hillintä: Hiilensidonta ja fossiilisen hiilen korvaaminen

Biohiili toimii tehokkaana hiilensitojana. Korkeassa lämpötilassa toteutettu pyrolyysiprosessi muuttaa biomassan sisältämän hiilen stabiilimpaan muotoon, joka voi säilyä maaperässä satoja tai jopa tuhansia vuosia (Shyam ym., 2025). Pyrolyysissä jopa noin 50 % biomassaan sitoutuneesta hiilestä jää biohiileen, ja sen käyttö esimerkiksi maanparannuksessa toimii pitkäaikaisena hiilivarastona (Lehmann ym., 2006). Karan ym. (2023) arvion mukaan maailmassa syntyy vuosittain noin 2,4 gigatonnia (Gt) eli 2,4 miljardia tonnia agroperäisiä sivuvirtoja. Jos nämä kaikki hyödynnettäisiin biohiilen tuotantoon, saavutettaisiin noin 1.0 Gt hiilensidontaa vuodessa, mikä vastaa 3.7 Gt hiilidioksidiekvivalenttia (CO_2e). Realistisempi arvio, joka huomioi kestävän biomassan keruun ja eläinten rehukäytön, laskee potentiaalin noin 0,51 Gt C/vuosi (1,9 Gt CO_2e), josta 0,36 Gt C / vuosi (1,3 Gt CO_2e), säilyisi maaperässä 100 vuoden ajan. Yang ym. (2021) elinkaarianalyysin mukaan 599 kg CO_2e voidaan sitoa per tonni peltopohjaista biomassaa biohiilen maaperäkäytön kautta. Mikäli prosessissa syntyvän bioöljyn energia hyödynnetään, kokonaissidontapotentiaali voi nousta yli 920 kg CO_2e per raaka-ainetonni.

Biohiilen valmistaminen ja sen hyödyntäminen maanparannuksessa tai muissa pitkäaikaisissa käyttökohteissa (Biochar Carbon Removal - BCR) luokitellaan hiilenpoistomenetelmäksi. Biohiilellä voidaan myös vähentää päästöjä, mikäli sillä korvataan fossiilista hiiltä esimerkiksi betonin tai teräksen valmistuksessa tai energiantuotannossa. Erityisesti terästeollisuudessa tehdään tällä hetkellä runsaasti tutkimus- ja kehitystyötä päästövähennystavoitteiden edistämiseksi hyödyntämällä biohiiltä eri metallurgisissa prosesseissa. Lisäksi biohiiltä voidaan jatkojalostaa vaihtoehtoinen tuote luonnon grafiitille tai kivihiilestä valmistetulle aktiivihiilelle, jolloin sen käyttöalueet laajenevat entisestään esimerkiksi erilaisiin veden- ja ilmanpuhdistussovelluksiin, jolloin ne voivat tarjota ympäristöystävällisen ja kustannustehokkaan vaihtoehdon fossiilisille hiilille. Biohiilen jatkojalostusta on käsitelty omassa kappaleessaan 2.4

Maanparannus: Kasvuolosuhteiden parantaminen

Biohiilellä on todettu olevan positiivisia vaikutuksia esimerkiksi maaperän rakenteeseen, pH-arvoon ja mikrobitoimintaan, mutta vaikutukset ovat riippuvaisia niin maaperän laadusta kuin käytetyn biohiilen määrästä sekä sen kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista (Li ym., 2018; Soinne ym., 2020). Biohiilet ovat rakenteiltaan huokoisia ja pystyvät pidättämään itsessään ravinteita ja vettä, mikä voi vähentää lannoitteiden käytön tarvetta ja kasvattaa maaperän vedenpidätyskykyä. Biohiilen maaperäkäytöllä on myös vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin (Lehmann ym., 2006), esimerkiksi vähentämällä maaperän N_2O (Borchard ym., 2019) ja CH_4 (Jeffery ym., 2016) emissioita. Biohiilellä on saavutettu positiivisia tuloksia esimerkiksi hiekkamailla lisäämällä niiden vedenpidätyskykyä (Araújo Santos ym., 2022; Li ym., 2018), boreaalisilla savisilla mailla saavutetut edut ovat kuitenkin yleisesti olleet vähäisempiä (esim. Soinne ym., 2020).

Biohiilen käyttö maanparannuksessa liittyy kiinteästi raaka-aineiden kierrätykseen ja hiilensidontaan, erityisesti kun raaka-aineena käytettään esimerkiksi olkitähdettä tai muita maatalouden sivuvirtoja.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Jätehuolto: Raaka-aineiden kierrätys ja hyödyntäminen

Biohiilen tuotanto tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää maatalous- ja metsätalouden sivuvirtoja, kuten sahanpurua, olkia ja oksia, sekä purku- ja kierrätyspuuta. Näin biohiilen tuotanto voi edistää kiertotaloutta ja vähentää jätteen määrää. Biomassan hyödyntäminen biohiilen tuotannossa voi myös vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Biohiiltä voidaan käyttää korvaamaan fossiilisia raaka-aineita ja tuotteita monessa eri loppukäytössä, ja näin voidaan vähentää ympäristöpäästöjä. Erilaisten sivuvirtojen hyödyntämisellä biohiilen tuotantoon on myös vahva kytkös hiilensidontaan ja ilmastonmuutoksen hillintään.

Energia: Biohiilen ja pyrolyysilämmön hyödyntäminen lämmöntuotannossa

Biohiileen liittyvä energiakäyttö perustuu pyrolyysiprosessiin, josta sivujakeina syntyvää bioöljyä ja synteettistä kaasua voidaan hyödyntää lämmön ja sähköntuotannossa. Itse biohiili voi toimia myös kiinteänä polttoaineena tai hiilivarastona. Pyrolyysilämpöä voidaan käyttää suoraan esimerkiksi rakennusten tai teollisuuden lämmityksessä, jolloin prosessi tarjoaa sekä uusiutuvaa energiaa että ympäristöhyötyjä. Biohiiltä voidaan käyttää myös tukipolttoaineena turpeen tai fossiilisten polttoaineiden sijasta erityisesti pölynpoltossa soveltuvuutensa ja hyvän varastoitavuutensa ansiosta (Korpijärvi ym., 2021). Biohiilen tuottaminen ja ylimäärälämmön teollinen integrointi ja hyödyntäminen paikallisissa lämmöntuotantolaitoksissa voi parantaa maaseutukuntien ja -kylien energian omavaraisuutta ja työllisyyttä ja toimia lämmöntarpeen kausivaihtelujen tasaajana.

Biohiilen käyttökohteet ja loppukäyttäjät

Taulukko 2 esittää yllä kuvattujen kategorioiden sisältämiä käyttökohteita ja niiden tyypillisiä loppukäyttäjiä. Osa sovelluksista edellyttää biohiilen jatkojalostusta aktivoimalla, esimerkiksi useat vesien- ja kaasujenpuhdistussovellukset edellyttävät aktiivihiiltä. Biohiili ilman jatkokäsittelyä soveltuu myös hyvin useaan sovellukseen kuten maanparannukseen, rakennusmateriaaleihin tai metallurgiseen käyttöön. Biohiili voi toimia sellaisenaan myös vesien puhdistuksessa, esimerkiksi mikromuovien poistamisesta on saatu lupaavia tuloksia (Siipola ym., 2020, 2022).

Taulukko 2 Biohiilien ja biopohjaisten aktiivihiilien nykyiset ja potentiaaliset käyttötarkoitukset

Käyttökohde	Esimerkkejä sovelluksista	Tyypilliset loppukäyttäjät
Maanperän ja kasvuolosuhteiden parannus (biohiili)	Maaperän rakenteen parantaminen, vedenpidätyskyvyn lisääminen Mikrobitoiminnan tukeminen, satojen lisääminen	Viljelijät, puutarhaviljelijät, luomutuottajat, hiilikrediittien hyödyntäjät
Metallienjalostus (biohiili)	Fossiilipohjaisten pelkistimien korvaaminen metallintuotannossa	Metallinjalostusteollisuus (teräksen ja ferroseosten valmistajat)
Rakennusmateriaalit (biohiili)	Sementin osittainen korvaaminen, lisäaineena betonissa	Rakennusmateriaalivalmistajat, kiertotalousrakentajat
Suodatus (bio- ja aktiivihiili)	Raskasmetallien ja orgaanisten yhdisteiden sitominen vedenpuhdistuksessa; ilmanpuhdistus, teollisten kaasujen puhdistus, biokaasun puhdistus (esim. rikkivedyn ja siloksaanien poistaminen)	Vedenpuhdistamot, kunnalliset jätehuoltoyksiköt, teollisuuslaitokset (prosessiteollisuus, kemianteollisuus, petrokemian laitokset), biokaasulaitokset, elintarvike- ja lääketeollisuus, kaupalliset ja kunnalliset toimijat (kiinteistöjen ilmanpuhdistus, muut kunnalliset hajunhallintaratkaisut)
Energian varastointi (aktiivihiili, kovahiili)	Anodimateriaalina litium- tai natriumioniakuissa, superkondensaattoreiden elektrodimateriaali	Akkuteollisuus, elektroniikkateollisuus

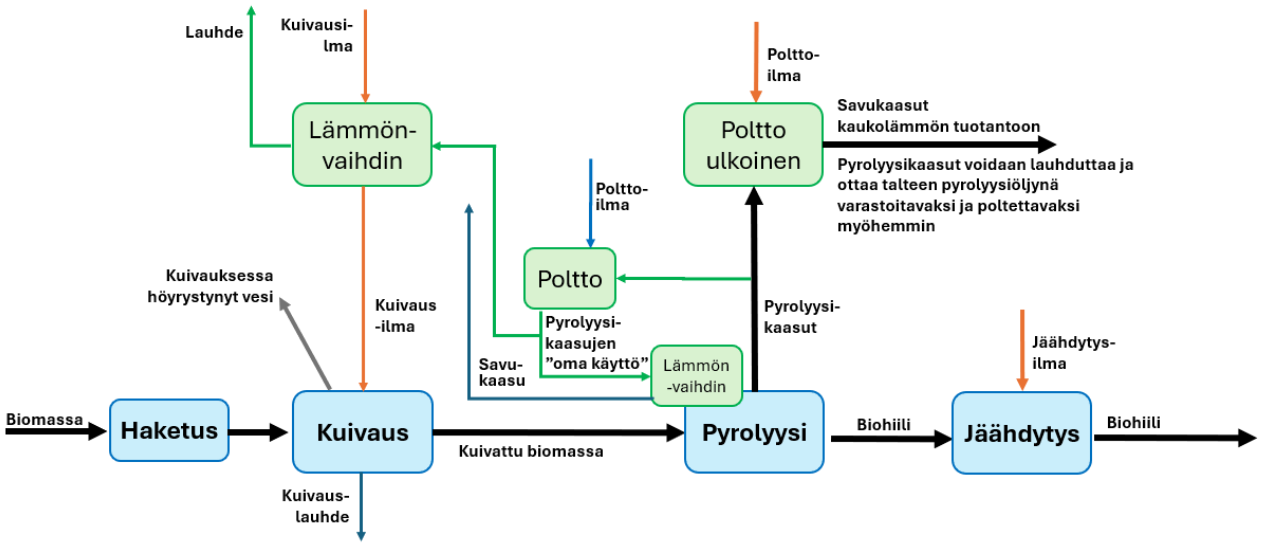
Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

2.3 Biohiilen valmistusprosessit

Biohiili valmistetaan pääasiassa kahdella menetelmällä: hidaspyrolyysillä tai vaihtoehtoisesti HTC-menetelmällä.

2.3.1 Hidaspyrolyysi

Hidaspyrolyysi on kuiva termokemiallinen prosessi, jossa orgaanista raaka-ainetta kuumennetaan hapettomissa olosuhteissa tyypillisesti 400–700°C lämpötilassa (Kuva 2). Prosessin päätuote on biohiili, jota muodostuu noin 30–40 % raaka-aineen massasta. Lisäksi syntyy kaasujae (25–35 %) ja nestejae (25–30 %). Prosessiolosuhteita säätämällä voidaan vaikuttaa näiden jakeiden suhteisiin. Nestejae koostuu pääasiassa pyrolyysikaasuista kondensoituneesta vedestä ja tervasta. Kondensoitumattomat kaasut – kuten vety (H_2), hiilidioksidi (CO_2), häkä (CO) ja metaani (CH_4) – voidaan hyödyntää esimerkiksi pyrolyysireaktorin lämmityksessä, biomassan kuivauksessa tai muussa energiakäytössä.



Kuva 2 Biohiilen valmistusprosessi hitaalla pyrolyysillä

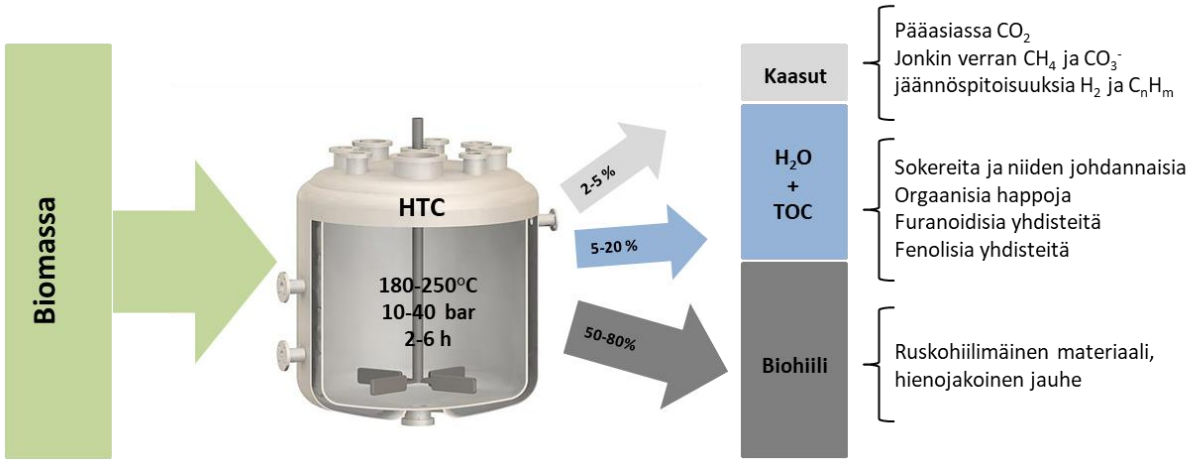
Biohiilen laatuun voidaan vaikuttaa useilla tekijöillä, joista keskeisimpiä ovat raaka-aineen valinta ja esikäsittely (esim. haketus), sekä käytetty prosessilämpötila ja -aika. Prosessiolosuhteet määrittävät biohiilen hiilipitoisuuden, huokoisuuden ja kemialliset ominaisuudet, mutta ne vaikuttavat myös siihen kuinka suuri osa raaka-aineesta muuttuu biohiileksi (saanto) ja kuinka paljon syntyy pyrolyysikaasua ja -nesteitä.

Hidaspyrolyysin etuihin kuuluu joustava skaalattavuus eri tuotantomittakaavoihin, joustavuus raaka-aineiden suhteen ja mahdollisuus tuottaa halutun laatuista biohiiltä reaktorityyppiä tai olosuhteita valitsemalla. Operointikustannukset ovat myös kohtuulliset johtuen prosessien automatisoinnista ja omavaraisuudesta. Hidaspyrolyysissa syntyville jakeille (hiili, öljy, kaasu) on kaikille jo olemassa sovelluskohde, esimerkiksi energian tuotannossa tai maanviljelyssä. Syntyvä pyrolyysikaasu voidaan käyttää raaka-aineen esikuivaukseen ennen pyrolyysiä ja ylimääräinen pyrolyysikaasu voidaan hyödyntää, esim. lämmöntuotannossa. Biohiilivalmistuksen integrointi ulkoiseen lämmöntarpeeseen tulisi hyödyntää.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

2.3.2 HTC-prosessi (märkähiilto)

HTC-prosessi tai märkähiilto, on termokemiallinen prosessi, jossa veden länsä ollessa orgaanisesta raaka-aineesta valmistetaan ruskohiiltä muistuttavaa kiinteää ainetta, jota kutsutaan HTC-hiileksi (tai märkähiili, HTC-biohiili, hydrohiili). Prosessi tapahtuu tyypillisesti 180–250 °C lämpötilassa kyllästetyn höyryn paineessa useiden tuntien ajan. Sitä voidaan käyttää monenlaisten biomassojen, kuten selluloosan, ligniinin, puun ja turpeen, käsittelyyn. HTC vähentää biomassan happi- ja vetypitoisuutta pääasiassa dehydraation ja dekarboksylaation kautta (Funke & Ziegler, 2010, Nyström 2016; Child 2014.). HTC-prosessin päätuotteena syntyy kiinteää hiiltä noin 50–80 %, nestefaasia 5–20 % sekä pieni, 2–5 %:n, kaasufraktio (Kuva 3). HTC-prosessin etuja ovat sen matalat prosessivaatimukset, stabiili ja myrkytön lopputuote sekä soveltuvuus hajautettuihin, pienimuotoisiin sovelluksiin. Lisäksi prosessilla on mahdollisuus käsitellä suhteellisen korkean kosteuspitoisuuden omaavia materiaaleja, kuten lietteet, ilman erillistä kuivausta.



Kuva 3 HTC-prosessin kuvaus. (kuva muokattu: Funke ym. (2010)

2.3.3 Muut prosessit

Yksi merkittävimmistä eroista lämpökäsittelyprosessien välillä liittyy pää- ja sivutuotteisiin sekä niiden saantoihin. Hidaspyrolyysin tavoitteena on tuottaa biohiiltä päätuotteena ja maksimoida sen saanto, kun taas bioöljyä ja synteesikaasua syntyy sivutuotteina. Vastaavasti nopeassa pyrolyysissä pyritään maksimoimaan bioöljyn saanto ja kaasutuksessa synteesikaasun saanto. Näissä prosesseissa voidaan haluttaessa ottaa talteen myös sivutuotteena syntyvä biohiili. Tyypillisesti hiilijaetta ei kuitenkaan kerätä erikseen, vaan se kiertää prosessissa ja palaa energiaksi.

Biohiilen markkinakehitys on kuitenkin mahdollistanut sen, että biohiilen talteenotto näistä prosesseista voi olla taloudellisesti kannattavaa. Kiinteää hiiltä syntyy myös vedyntuotannon sivutuotteena, kun metaania pyrolysoidaan. Mikäli metaanin pyrolyysissä käytetään biometaania, voidaan syntyvää kiinteää hiilijaetta rinnastaa biohiileen. Edellisten lisäksi on niin kutsuttu torrefiointi eli biohiilen ”paahtaminen”, jonka päätuotteena syntyy hiilipitoista kiinteää ainesta. Sitä voidaan hyödyntää tietyissä sovelluksissa biohiilen tavoin.

Taulukossa 3 on esitelty eri lämpökäsittelyprosessien tyypillisiä eroja biohiilen valmistuksen näkökulmasta.

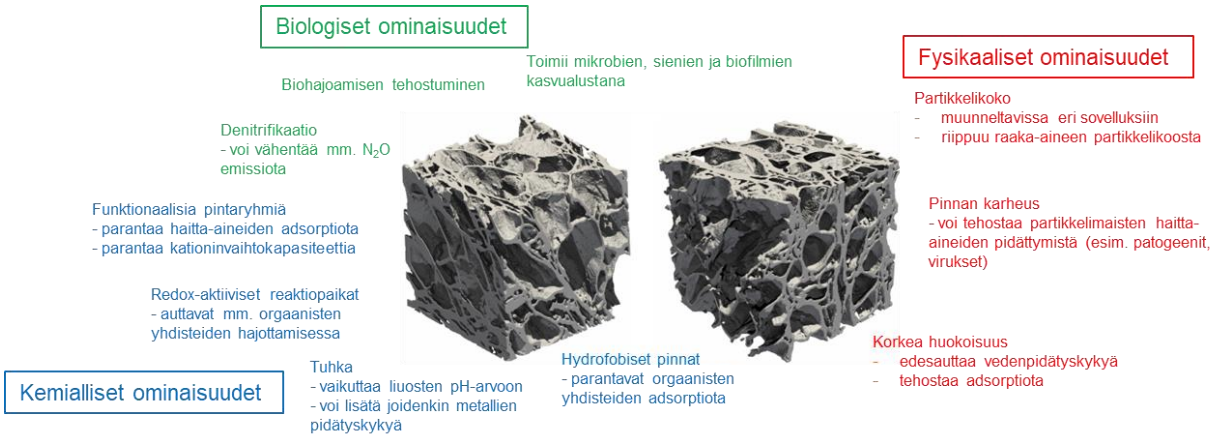
Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Taulukko 3 Termokemiallisten prosessien tyypillisiä olosuhteita ja päätuotteiden saantoja (muokattu lähteestä Libra et al. 2011)

Prosessi	Lämpötila (°C)	Tyypillinen viipymäaika	Päätuote (tyypillinen saanto raaka-aineesta, %)
Hidaspyrolyysi	~400–700	Jatkuvatoimisessa 10-60 min Panostoimisissa tunteja	Biohiili (25–40 %)
Nopeapyrolyysi	~500–800	Millisekunneista sekunteihin	Bioöljy (60–75 %)
Kaasutus	~800–1200	Sekunneista kymmeniin minuutteihin	Kaasu (70–85 %)
Torrefiointi	~200–330	Kymmeniä minuutteja	Torrefioitu biomassa (70–80 %)
Hydroterminen karbonisaatio (HTC)	~180–250	Tunteja	HTC-hiili (50–80 %)
Metaanin pyrolyysi	~800–1300	Millisekunneista sekunteihin	Vety

2.4 Biohiilen jatkojalostus aktiivihiileksi tai kovahiileksi (akkuhiili)

Biohiilen aktivointi on keskeinen vaihe sen jatkojalostuksessa, jolla pyritään parantamaan hiilen huokoisuutta, pinta-alaa ja adsorptio-ominaisuuksia. Aktivointi voidaan toteuttaa joko fysikaalisesti tai kemiallisesti. Valittu menetelmä vaikuttaa merkittävästi lopputuotteen ominaisuuksiin ja käyttökohteisiin (Kuva 4). Fysikaalista aktivointia kutsutaan myös termiseksi aktivoinniksi.



Kuva 4 Biohiilen ominaisuuksia ja niiden vaikutuksia haitta-aineiden poistossa. Kuva mukailtu (Mohanty ym., 2018). Kuvassa biohiilen (vasemmanpuoleinen kuva) ja aktiivihiilen (oikeanpuoleinen kuva) 3D-mallit (Siipola ym., 2018).

Aktivoinneissa käytetään aktivointikaasuja tai kemikaaleja biohiilen huokostilavuuden lisäämiseksi. Fysikaalisessa aktivoinnissa aktivointikaasuilla on ratkaiseva rooli huokoisuuden muodostumisessa. Vesihöyry ja CO_2 ovat yleisimpiä reaktiokaasuja, kun taas typpi toimii usein suojakaasuna. Kemiallinen aktivointi voidaan suorittaa erilaisia happoja, emäksiä tai suoloja käyttämällä, kuten fosforihappo, kaliumhydroksidi tai sinkkikloridi. Fysikaalisessa aktivoinnissa aktivointilämpötila ja -aika vaikuttavat suoraan saantoon ja huokoisuuden kehittymiseen: korkeampi lämpötila ja pidempi aika lisäävät huokoisuutta, mutta voivat alentaa saantoa. Toisaalta liian pitkä aktivointiaika voi romahduttaa hiilen huokosrakenteen alentaen tuotteen ominaispinta-alaa (Lopes ym., 2021). Kemiallisessa aktivoinnissa vaikuttaa lisäksi käytetty kemikaali ja sen annostusmäärä. Suurilla

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

kemikaalimäärillä voidaan saavuttaa erittäin suuria (>2000 m^2/g) pinta-aloja, mutta sillä voi olla negatiivinen vaikutus aktiivihiilen saantoon.

Aktivointimenetelmän valinta riippuu aktiivihiilen sovelluskohteen asettamista laatuvaatimuksista. Fysikaalisesti aktivoitua hiiltä hyödynnetään laajasti eri sovelluksissa. Aktiivihiilimarkkinoita käsittelevissä raporteissa aktiivihiili määritellään yleisesti fysikaalisesti aktivoiduksi, mikä osoittaa tämän valmistusmenetelmän merkittävän aseman alan käytännöissä (BCC Research, 2018). Myös kemiallista aktivointia käytetään kaupallisten aktiivihiilien valmistukseen. Aktivointimenetelmien todellista suhdetta on kuitenkin vaikea arvioida, koska yritykset eivät yleensä raportoi millä menetelmällä aktiivihiili on valmistettu.

2.4.1 Aktivointiprosessit

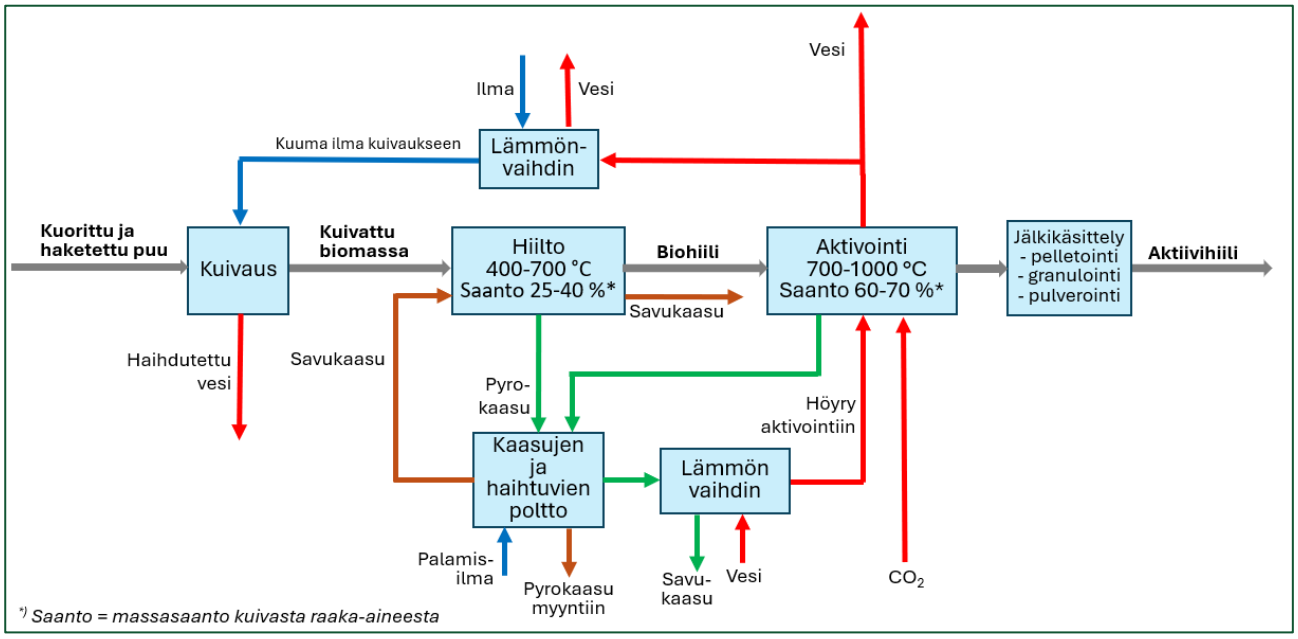
Fysikaalinen aktivointi

Fysikaalisessa aktivoinnissa (Kuva 5) biohiili kuumennetaan korkeaan lämpötilaan (yleensä 700–1000 °C) hapettomassa ympäristössä, minkä jälkeen siihen johdetaan aktivointikaasuja, kuten vesihöyryä tai hiilidioksidia. Nämä kaasut reagoivat hiilen kanssa muodostaen huokosrakenteen, jonka laajuus riippuu käytetystä kaasusta. Happea tai ilmaa voidaan myös käyttää, mutta niiden korkea reaktiivisuus tekee prosessin hallinnasta haastavaa ja voi heikentää hiilen saantoa ja rakennetta (Sevilla & Mokaya, 2014). Aktivointikaasuja voidaan käyttää myös seoksina, kuten vesihöyryn ja hiilidioksidin yhdistelmänä.

Aktiivihiilen huokosrakenne vaikuttaa sen tehokkuuteen esimerkiksi puhdistussovelluksissa. Siihen voidaan vaikuttaa valitsemalla sopiva aktivointikaasu tai niiden yhdistelmä, sekä optimoimalla käytettävä retentioaika ja aktivointilämpötila. Sekä CO_2- että vesihöyryaktivoinnilla on saavutettu vesienpuhdistukseen hyödyllinen mesohuokoinen rakenne (2–50 nm) isokokoisempien organisten väriainemolekyylien tai lääkeaineiden poistamiseksi (Lawtae & Tangsathitkulchai, 2021; Siipola ym., 2025). Mikrohuokostilavuus (< 2 nm) on tärkeä erityisesti pienikokoisten molekyylien pidättämisessä, kuten kaasun- ja ilmanpuhdistuksessa (Mochizuki ym., 2025). Joissain tapauksissa aktiivihiili vaatii lisäkäsittelyä, jos haitta-aineen pidättyminen perustuu kemialliseen reaktioon hiilen pinnalla.

Fysikaalisen aktivoinnin prosessietuja ovat sillä saavutettava korkea huokoisuus ja suuri spesifinen pinta-ala käyttäen kemialliseen aktivointiin nähden edullisempia aktivaattoreita, kuten vettä. Fysikaalisesti aktivoidut hiilet soveltuvat hyvin ympäristösovelluksiin, kuten veden ja ilman puhdistukseen, joissa käytettävien aktiivihiilien määrät ovat suuria ja siten edellyttävät mahdollisimman halpoja valmistusmenetelmiä.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218



Kuva 5 Aktiivihiilen valmistus fysikaalisella aktivoinnilla. Lähde: Koukkari ym. 2017

Kemiallinen aktivointi

Kemiallisessa aktivoinnissa biohiili tai biomassa käsitellään kemikaaleilla, kuten fosforihapolla tai kaliumhydroksidilla, ennen kuumennusta. Reaktio kemikaalin ja hiilen välillä voi muodostaa huokoisen rakenteen jo alhaisemmissa lämpötiloissa (450–900 °C) (Sevilla & Mokaya, 2014), mikä tekee prosessista energiatehokkaamman. Kemiallinen aktivointi ei vaadi erillistä reaktiokaasua, se suoritetaan hapettomissa olosuhteissa, esimerkiksi typpi-ilmakehässä, mutta vaatii huolellista jäännöskemikaalien poistamista lopputuotteesta.

Kemiallisella aktivoinnilla voidaan tuottaa aktiivihiileen erilaisia huokoskokojakaumia ja erittäin suuria ominaispinta-aloja (>2000 m^2/g) ja aktiivihiilien ominaisuuksia voidaan tarpeen mukaan joustavasti säätää käyttämällä erilaisia kemikaaleja ja prosessiolosuhteita (Sevilla & Mokaya, 2014). Kemiallisesti aktivoidut hiilet omaavat yleensä korkean hiilipitoisuuden yhdistettynä alhaiseen tuhkapitoisuuteen ja soveltuvat siten korkeiden laatuvaatimusten hiilisovelluksiin, kuten esimerkiksi superkondensaattorien anodihiilien valmistuksessa.

Kemiallisen aktivoinnin etuihin kuuluu aktiivihiilien räätälöitävyys eri kemikaaleja käyttäen, sekä usein fysikaalista aktivointia korkeammat tuotesaannot. Lisäksi kemiallisen aktivoinnin prosessietuja ovat alhaisempi energiankulutus johtuen matalammista lämpötiloista sekä nopea huokoisuuden kehittyminen. Kemiallinen aktivointi edellyttää kuitenkin jäännöskemikaalien poistamisen tuotetusta aktiivihiilestä mikä vaatii lisäprosesseja (pesuprosessi sekä kemikaalien kierrätys/hävittäminen). Lisäksi kemikaalien käsittelyssä on huolehdittava mahdollisista ympäristö- ja työturvallisuusriskeistä.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Monivaiheiset prosessit sekä aktiivihiilen regenerointi

Aktiivihiilen valmistus voidaan toteuttaa joko yksivaiheisesti tai kaksivaiheisesti (Bergna ym., 2018). Yksivaiheisessa prosessissa hiilto- ja aktivointi on yhdistetty ja biomassasta valmistetaan suoraan aktiivihiiltä. Kaksivaiheisessa prosessissa biomassa hiilletään ensin hidaspyrolyysillä biohiileksi, jonka jälkeen se ohjataan erilliseen aktivointiprosessiin. Kaksivaiheinen prosessi mahdollistaa paremman kontrollin aktivointiin, koska molemmat prosessit on mahdollista optimoida erikseen, mutta laitteistoinvestointi on kalliimpi. Prosessivaiheita voi olla myös useampia kuin kaksi, esimerkiksi biohiilen pelletointi apuaineita käyttäen voi edellyttää lämpökäsittelyä pelletin stabiloimiseksi ennen aktivointiprosessiin siirtymistä. Kemiallinen aktivointi on yksivaiheinen prosessi, jos kemikaalikäsittely tehdään suoraan biomassalle. Jos biohiilelle tehdään kemikaalikäsittely, tarvitaan kaksivaiheinen prosessi. Kemikaalien teho riippuu käsittelyvaiheesta, esimerkiksi fosforihappo ja metallisuolat toimivat hyvin biomassan kanssa (J. Fu ym., 2023; Siipola ym., 2018)., kun taas alkalikemikaalit, kuten KOH, voivat olla tehokkaampia jos lähtöaine on biohiili (Fu ym., 2019; Siipola ym., 2018).

Aktiivihiilien käyttöikä puhdistussovelluksissa voidaan pidentää palauttamalla niiden adsorptiokyky regeneroinnin avulla, jolloin niihin sitoutuneet haitta-aineet poistetaan ja aktiivihiili palautetaan uudelleen käyttöön. Regenerointi voidaan suorittaa joko termisesti tai kemiallisesti. Terminen regenerointi tehdään korkeassa, 600–900 °C lämpötilassa joko inertissä tai hapettavassa atmosfäärissä käyttämällä esimerkiksi pieniä määriä happea kaasuvirtauksessa tai vesihöyryä. Tämän prosessin aikana haihtuvat yhdisteet desorboituvat ja palavat tai haihtuvat pois aktiivihiilestä. Aktiivihiilen regenerointi on mahdollista myös liuottimilla tai hapoilla pesemällä, mutta tämä tuottaa hävitettävää kemikaalijätettä. Muita menetelmiä ovat näiden lisäksi esimerkiksi mikroaaltoja, mikrobeja tai sähkökemiaa hyödyntävät menetelmät (Márquez ym., 2022), mutta teollisessa mittakaavassa terminen regenerointi on yleisin käytetty tapa (Radic ym. 2017). Aktiivihiilen valmistuksessa käytetty raaka-aine ja käyttökohde vaikuttaa miten hyvin, eli kuinka monta kertaa, aktiivihiili voidaan regeneroida. Nykytilanteessa regeneroidaan pääasiassa fossiilisesta hiilestä tai kookospähkinän kuorista valmistettuja aktiivihiiliä. Tieteellistä tutkimusta ja kokemusta biopohjaisten aktiivihiilien regenerointipotentiaalista tarvitaan lisää panostuksia.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

2.4.2 Kovahiili ja aktiivihiili

Kovahiili (engl. hard carbon) ja aktiivihiili ovat molemmat hiilipohjaisia materiaaleja, mutta niiden valmistusprosessit, rakenteet ja käyttötarkoitukset eroavat toisistaan (Taulukko 4). Kovahiili syntyy pyrolyysireaktion seurauksena, kun biomassaa kuumennetaan hapettomassa tilassa tyypillisesti yli 1000 °C lämpötilassa. Yleisesti kovahiilen valmistuksessa ei käytetä aktivointikaasuja tai -kemikaaleja, mutta on mahdollista käyttää katalyyttejä (esimerkiksi rautaa) halutun rakenteen aikaansaamiseksi. Kovahiilen rakenne on amorfinen sisältäen epäjärjestäytyneitä grafiittisia kerroksia sekä mikrokiteisiä alueita. Lämpökäsittelyn tavoitteena on lisätä grafiittisuutta, edesauttaa hiilirakenteen järjestäytymistä ja jossain määrin myös pienentää epäpuhtauksien määrää hiilessä (Okabe ym., 2025). Kovahiili soveltuu erityisesti energiavarastointisovelluksiin, kuten litium- ja natriumioniakkujen anodimateriaalina, koska sen sisäinen rakenne mahdollistaa Na- tai Li-ionien tehokkaan interkalaation ja diffuusion hiilen sisällä (Fan ym., 2024; Xie ym., 2021). Kovahiilet akkusovelluksissa eivät vaadi suuria ominaispinta-aloja ja ne ovatkin aktiivihiiliä huomattavasti alhaisempia, esimerkiksi Na-ioniakuilla pinta-alat ovat yleensä 1-10 m^2/g. Aktiivihiiliä käytetään myös energianvarastointisovelluksissa, esimerkiksi superkondensaattoreissa, joissa vaaditaan suurempia ominaispinta-aloja (>1000 m^2/g). Superkondensaattorihiilille käytetään usein kemiallista aktivointia johtuen niiden tarkoista pinta-ala- ja huokoskokovaatimuksista, jotka voidaan paremmin saavuttaa kemiallisia menetelmiä käyttämällä.

Stora Enso kehittää yhdessä ruotsalaisen Altrisin kanssa kestävän natriumakkuioniteknologian, jossa Stora Enson biopohjainen anodimateriaali Lignode yhdistetään Altrisin akkuteknologiaan. Hanke on edennyt pilottimittakaavan validointiin. Akkujen kysynnän odotetaan kasvavan 14-kertaiseksi vuoteen 2030 mennessä (Stora Enson tiedote 11.8.2025).

Taulukko 4 Kovahiilen ja aktiivihiilen eroja yleisellä tasolla

Ominaisuus	Kovahiili	Aktiivihiili
Valmistuslämpötila	>1000 °C	Kemiallinen aktivointi >400 °C Fysikaalinen aktivointi >800 °C
Aktivointi	Ei aktivoitu / inertti kaasu	Fysikaalinen tai kemiallinen aktivointi
Rakenne	Epäjärjestynyt, kerroksellinen	Mikro- ja mesohuokoinen
Pinta-ala	1–200 m²/g	500– yli 2000 m²/g
Tyypillisiä käyttökohteita	Akut	Puhdistussovellukset, katalyysi, superkondensaattorit

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

3 Bio- ja aktiivihiilen markkina

3.1 Torrefioitu biomassa

Torrefiointi tarkoittaa biomassan lämpökäsittelyä ~200–330 °C:n lämpötilassa. Sen ensisijainen käyttökohde on kivihiilen korvaaminen energiantuotannossa, mutta myös muita sovelluksia kehitetään. On tärkeää huomata, että torrefioitu biomassa eroaa pyrolyysin avulla tuotetusta biohiilestä, minkä vuoksi sitä ei erikseen käsitellä tässä raportissa. Mainittakoon kuitenkin, että kesäkuussa 2025 Joensuu Biocoal Oy (2025) käynnisti Joensuussa merkittävän torrefioidun biomassan tuotannon, jonka ilmoitettu tuotantokapasiteetti on 60 000 tonnia vuodessa ja tavoitteena tuottaa myös korkeamman jalostusasteen materiaalia sekä skaalata tuotanto kansainvälisesti. Onnistuessaan tämä on malliesimerkki skaalautuvasta kaupallistamisesta (skaalautuva päästöjä vähentävä valmistus ja liiketoimintakonsepti, pääoman kokoaminen, investointipäätös laiteratkaisuineen, konseptin referenssilaitoksen käyttöönotto ennen kansainvälistymistä).

3.2 Biohiilen markkina

Biohiilen markkinoista on toistaiseksi saatavilla rajallisesti tietoa ja olemassa olevien markkinaraporttien tulkinnassa on oltava kriittinen. Tämä johtuu siitä, että tietoa on kerätty vaihtelevin menetelmin eikä biohiilen määritelmä ole raporteissa yhtenäinen. Osassa raporteista tarkastellaan ainoastaan biohiilimarkkinoita hiiltä varastoivissa käyttökohteissa, kuten maanparannuksessa, jolloin muut merkittävät sovellukset kuten terästeollisuus tai biohiilen jatkojalostus aktiivihiileksi jäävät kokonaan huomioimatta. Virallisissa vienti- ja tuontitilastoissa biohiili sisältyy luokkaan “Hiili, eläin- tai kasviperäinen”. Sama luokka sisältää myös perinteisen puuhiilen, jota valmistetaan kokopuusta ja jonka maailmanmarkkinoiden arvo on noin 5 miljardia euroa (Researchandmarkets, 2025), puuhiilen tuonti Eurooppaan oli noin 300M€ tai 600 000 tonnia (WITS, 2021). Puuhiiltä käytetään pääasiassa grillaukseen, mutta myös metallinjalostuksessa ja aktiivihiilen valmistuksessa. Koska biohiilen osuutta ei tilastoida erikseen, sen markkinakoko perustuu muihin arviointimenetelmiin, kuten kyselytutkimuksiin ja asiantuntija-arvioihin.

BCC Research (2023), IBI & USBI:n (2023) sekä Biochar Europen (2025) markkinaraporttien perusteella biohiilen globaali markkina hiiltä sitovissa käyttökohteissa vuonna 2023 oli noin 200 M€ ja biohiilen tuotanto 350 kt, kasvuennuste vuodelle 2028 on 354 M€, biohiilen tuotannon ollessa 620 kt. Biohiilen kasvuennusteet vaihtelevat kuitenkin merkittävästi eri lähteiden perusteella, esimerkiksi SuperCritical (2024) arvioi biohiilen tuotantomäärän ylittävän 11 000kt vuoteen 2028 mennessä, josta merkittävä osa (88%) olisi heidän omien kriteereittensä mukaan matalalaatuista. Koska eri markkinaraporteissa esitetyt tiedot ovat puutteellisia, eikä samasta raportista selviä sekä tuotantovolyymi, että markkinankokoa on raporttien eri tietoja yhdistelty tuotantomäärien saamiseksi, tiedot on esitetty taulukossa 5. IBI & USBI (2023) ja BCC Research (2023) tietojen perusteella saatiin globaaliksi tilastolliseksi biohiilen keskihinnaksi 571 €/t, jota on käytetty ainoastaan tuotantomäärien arvioimiseksi (Taulukko 5). Hintaan vaikuttaa todennäköisesti Euroopan ulkopuolella tuotetut volyymit ja raaka-aineiden hintataso sekä Euroopassa edulliset agropohjaiset raaka-aineet.

Euroopan osuudeksi arvioidaan noin 40 M€ (75 000 tonnia) ja Pohjoismaiden osuudeksi noin 10 M€ (18 000–21 000 tonnia). Liikevaihtoarviot on muunnettu euroiksi käyttäen valuuttakurssia 1,1 USD/EUR. Biochar Europen (2025) mukaan Euroopan biohiilituotanto kasvoi 75 000 tonnista vuonna 2023 noin 84 000 tonniin vuonna 2024, ja sen ennustetaan nousevan 114 000 tonniin vuonna 2025.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

IBI & USBI (2023) teettämän kyselytutkimuksen mukaan yleisin raaka-aine biohiilen valmistukseen on metsäpohjaiset sivuvirrat, jonka osuus biohiilen tuotannosta on Euroopassa 48 %, Pohjois-Amerikassa 45 % ja Oseaniassa 58 %. Toiseksi yleisin raaka-aine biohiilen valmistuksessa on maatalouden sivuvirrat. Biohiilen tuotannon ja markkinan ollessa vielä suhteellisen pienimuotoista, tutkimus- ja selvitystyö on toistaiseksi keskittynyt pääasiassa raaka-ainepotentiaalin arviointiin, ei niinkään toteutuneeseen raaka-aineiden käyttöön. Myöskään biohiilen kauppamuodoista ei ole vielä kattavasti saatavilla tietoa. Biohiiltä toimitetaan kuitenkin jo eri muodoissa, kuten sellaisenaan, seulottuna haluttuun raekokoon, pelletoituna tai granuloituna. Lisäksi biohiileen voidaan lisätä esimerkiksi lannoitteita tai muita lisäaineita, jotka parantavat sen käytettävyyttä ja soveltuvuutta eri loppukäyttökohteissa.

Taulukko 5 Biohiilen globaali markkina vaihtokurssilla 1,1 USD/EUR ja olettamus, että biohiilen hinta on keskimääräin 571 EUR/tonni biohiiltä. (Taulukon tiedot muokattu lähteistä BCC Research 2023, IBI & USBI 2023, Biochar Europe 2025)

Biohiilen markkina	2023 MEUR	2028 MEUR	Kasvu %/v	2023 Arvio kt	2028 Arvio kt	Osuus markkinoista 2023
Eurooppa	44	75	11 %	75	131	22 %
Pohjois-Amerikka	116	206	12 %	203	361	58 %
Asia-Tyynimeri	33	61	13 %	58	107	16 %
Muu maailma	7	12	11 %	14	21	4 %
Yhteensä	**200**	**354**	**12 %**	**350**	**620**	**100 %**

Euroopassa Saksa on suurin yksittäinen markkina biohiilelle, mutta biohiilen käyttö Pohjoismaissa on myös kehittymässä.

Taulukko 6 Biohiilen markkina Euroopassa, vaihtokurssi 1,1 USD/EUR ja olettamus, että biohiilen hinta on keskimääräin 571 EUR/tonni biohiiltä. (Taulukon tiedot muokattu lähteistä BCC Research 2023, IBI & USBI 2023, Biochar Europe 2025)

Biohiilen markkina	2023 MEUR	2028 MEUR	Kasvu %/v	2023 Arvio kt	2028 Arvio kt	Osuus markkinoista 2023
Saksa	15	23	10 %	26	40	33 %
Pohjoismaat	10	18	12 %	18	32	23 %
Muu Eurooppa	19	34	12 %	33	60	44 %
Yhteensä	**44**	**75**	**11 %**	**77**	**132**	**100 %**

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Biohiiltä käytetään selvityksen mukaan pääasiassa maanparannussovelluksissa (Taulukko 7). Tähän kategoriaan on myös luettava infrarakentaminen. Toisaalta biohiilimarkkinan kasvupotentiaali on merkittävä myös muissa loppukäytöissä kuten metallienjalostuksessa ja betoninvalmistuksessa.

Taulukko 7 Biohiilen globaali markkina eri loppukäytöissä, vaihtokurssi 1,1 USD/EUR ja olettamus, että biohiilen hinta on keskimäärin 571 EUR/tonni

Markkina käyttökohteittain	2023 MEUR	2028 MEUR	Kasvu %/v	2023 Arvio kt	2028 Arvio kt	Osuus markkinoista 2023
Maatalous/maanparannus	171	299	12 %	300	524	85 %
Muu käyttö*	29	55	13 %	51	96	15 %
Yhteensä	**200**	**354**	**12 %**	**351**	**620**	**100 %**

** Muu käyttö sisältää mm. biohiilen hyödyntämisen jätevedenpuhdistuksessa, rakennusmateriaaleissa, tekstiileissä sekä jätevesien ja maaperän puhdistuksessa.*

Vaikka biohiilen markkina on edelleen suhteellisen alhainen, tuotannon vuotuinen kasvu Euroopassa mahdollistaa tuntuvan kasvun markkinoilla. Euroopassa raportoitiin vuoden 2024 lopussa olevan 203 rakennettua biohiilen tuotantolaitosta, joista 185 oli tuotannossa. Eurooppaan perustetaan vuosittain noin 50 uutta laitosta ja vuoden 2025 loppuun mennessä arvioidaan laitoksia olevan yhteensä noin 250. EBI:n mukaan lähes 80 % Euroopan biohiilen tuotantokapasiteetista vuonna 2024 perustui laitoksiin, joiden vuosittainen tuotantokapasiteetti oli 500–2000 tonnia (Biochar Europe 2024). Laitosten maantieteellistä jakautumista ei ole tarkemmin raportoitu, mutta voidaan arvioida että Keski-Euroopassa (erityisesti Saksa, Itävalta ja Sveitsi) on lukumäärällisesti eniten laitoksia, mutta niiden tuotantokapasiteetti on tyypillisesti pienempi (alle 500 t/v), kun taas Pohjois-Euroopassa tuotantolaitoksia on lukumäärällisesti vähemmän, mutta tuotantokapasiteetin ollessa suurempi.

Yksi biohiilimarkkinoiden kehittymistä hidastava tekijä on alan standardien puute. Euroopassa on ollut käytössä lähinnä vapaaehtoisuuteen perustuva European Biochar Certificate (EBC) -sertifiointijärjestelmä. Viime vuosina on kuitenkin käynnistynyt kansainvälinen standardointityö ISO:n teknisessä komiteassa 238 (Solid Biofuels and Pyrogenic Biocarbon). Suomessa biohiileen liittyvää standardointia koordinoi Kemesta ry:n organisoima Kiinteät biopolttoaineet ja biohiilet -työryhmä, joka osallistuu sekä CEN- että ISO-standardointiin. Suomen rooli on ollut tässä työssä merkittävä, sillä maa toimii myös yhden ISO/TC 238 -työryhmän puheenjohtajamaana.

Standardien tavoitteena on yhdenmukaistaa tuotteiden määritelmiä, ominaisuuksia ja mittausmenetelmiä siten, että biohiilen laatu ja turvallisuus voidaan varmistaa kansainvälisesti vertailukelpoisella tavalla. Tämä luo yhteisen kielen valmistajille, ostajille, viranomaisille ja tutkijoille. Standardointi helpottaa lainsäädännön soveltamista, lisää kaupankäynnin läpinäkyvyyttä ja varmistaa, että tuotteet täyttävät yhtenäiset laatukriteerit. Vahvat standardit tukevat tunnetusti markkinakehitystä.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

3.3 Aktiivihiilen markkinat

Aktiivihiilimarkkinat kasvavat maailmanlaajuisesti 9,3 % vuosittain ja Euroopassa 7,4 % (BCC Research, 2025). Vuonna 2024 aktiivihiilimarkkinoiden arvoksi arvioitiin 6,6 miljardia dollaria maailmanlaajuisesti (6 mrd. EUR) ja Euroopassa 1,5 miljardia dollaria (1,3 mrd. EUR). Markkinoiden ennustetaan kasvavan 10 miljardiin dollariin globaalisti (ja 2 miljardiin Euroopassa) vuoteen 2029 mennessä (Taulukko 8). Aktiivihiilen kokonaismarkkinavolyymi on kasvanut 2,0 miljoonasta tonnista vuonna 2017 3,2 miljoonaan tonniin vuonna 2024, ja sen ennustetaan nousevan 4,8 miljoonaan tonniin vuoteen 2029 mennessä, eli n. 8 % vuodessa. Aktiivihiilen hintataso vaihtelee merkittävästi sen ominaisuuksista ja käyttötarkoituksista riippuen, BCC Research (2025) tilastollinen hintataso on 1800-2300€ /t markkina-alueesta riippuen.

Taulukko 8. Aktiivihiilen globaali markkina, MUSD. (Muokattu lähteestä: BCC Research 2025). Muokattu euroiksi vaihtokurssilla 1,1 USD/EUR.

Alue	2024 MEUR	2029 MEUR	Kasvu % 2024-2029	Arvioitu markkina 2024, 1 000 t	Arvioitu markkina 2029, 1 000 t	Osuus kysynnästä
Pohjois-Amerikka	1 543	2 361	9 %	838	1 232	26 %
Asia-Tyynimeri	2 418	4 147	11 %	1 400	2 290	43 %
Eurooppa	1 320	1 883	7 %	652	896	21 %
Muu maailma	676	911	6 %	313	399	10 %
Yhteensä	**5 957**	**9 302**	**9 %**	**3 203**	**4 817**	**100 %**

Euroopassa aktiivihiilen vuosittainen kokonaismarkkinavolyymi on noin 650 000 tonnia (BCC Research 2025). Euroopan tärkeimmät aktiivihiilimarkkinat sijaitsevat Saksassa, Ranskassa, Isossa-Britanniassa, ja Italiassa (Taulukko 9).

Eurooppaan tuotiin vuonna 2023 vajaat 200 000 tonnia aktiivihiiltä, yhteisarvoltaan 443 MUSD (n. 400 MEUR) keskihinnaltaan n. 2 000 USD/ton (World Integrated Trade Solution, WITS, 2025). On tärkeää huomioida, että aktiivihiiltä voidaan regeneroida ja käyttää uudelleen, minkä vuoksi uuden aktiivihiilen kysyntä on pienempi kuin aktiivihiilen todellinen kulutus ja käyttö. Euroopan tuotiin aktiivihiiltä seuraavasti: Kiina (87 856 tonnia), Intia (31 493 tonnia), Yhdysvallat (14 542 tonnia), Filippiinit (14 192 tonnia) ja Australia (13 750 tonnia).

Taulukko 9 Aktiivihiilen kysyntä Euroopassa.

Maa	Kysyntä, 1 000 t	Osuus markkinoista
Saksa	183	28 %
Ranska	111	17 %
Iso-Britannia	93	14 %
Italia	73	11 %
Muu Eurooppa	190	29 %
Yhteensä	**650**	**100 %**

Vaikka aktiivihiilellä on monta loppukäyttöä tärkeimmät loppukäytöt ovat vesien- ja ilmanpuhdistus, jotka yhteensä edustavat > 50 % globaalista aktiivihiilimarkkinoista. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 10) on esitetty aktiivihiilen globaali markkina-arvo ja arvioitu vuotuinen kasvu eri loppukäytöissä sekä loppukäyttöjen osuudet kysynnästä sekä globaalisti että EU:ssa.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Taulukko 10 Aktiivihiilen globaali markkina loppukäytöittäin (Arvioitu BCC Research 2025 tutkimuksesta, USD = 1,1 EUR)

Loppukäyttö	2024 MEUR	2029 MEUR	Osuus %	Vuosikasvu %	Markkina-arvio 2024 1 000 t	Markkina-arvio 2029 1 000 t
Vesienpuhdistus	1 944	3 199	32 %	10 %	1 100	1 740
Ilmanpuhdistus	1 293	1 994	22 %	9 %	693	1 030
Elintarvike teollisuus	888	1 315	15 %	8 %	450	639
Elohopean poisto	625	1 154	10 %	13 %	315	568
Lääketeollisuus	608	855	10 %	7 %	280	372
Kaivosteollisuus	320	429	6 %	6 %	201	263
Muut loppukäytöt	279	357	5 %	5 %	163	205
Yhteensä	**5 957**	**9 303**	**-**	**9 %**	**3 202**	**4 817**

Yleisin raaka-aine aktiivihiilen valmistuksessa on fossiilinen hiili ja kookospähkinän kuoret. Aktiivihiilistä n. 51 % on valmistettu puusta tai fossiilisesta hiilestä, 41 % kookospähkinän kuorista ja 8 % muista raaka-aineista (BBC Research, 2025). Koska BBC Research tutkimuksessaan yhdisti puu- ja hiilipitoiset aktiivihiilet, on hankala arvioida puupitoisten aktiivihiilien osuutta. Toisaalta toisessa tutkimuksessa on arvioitu fossiilisen hiilen osuudeksi n. 42 % markkinasta (Research Nester, 2025), mikä indikoi, että puupitoisten raaka-aineiden osuus aktiivihiilistä on n. 8-10 %. Aktiivihiilien valmistuksessa käytettyjen raaka-aineiden osuudet on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11 Raaka-aineet aktiivihiilen valmistuksessa ja niiden arvioidut osuudet.

Aktiivihiilen raaka-aineet	Osuus
Hiili (fossiilinen)	42 %
Kookospähkinän kuoret	41 %
Puulähtöinen raaka-aine	9 %
Muut raaka-aineet, ml. ligniitti	8 %
Yhteensä	100 %

Lähde: BBC Research (2025), Research Nester (2025)

Tuotettu aktiivihiili jatkojalostetaan ja muokataan asiakkaan prosessiin soveltuvaan muotoon, eli aktiivihiili jauhetaan, granuloidaan, pelletoidaan, pintakäsitellään tai muokataan halutun muotoiseksi. Fossiilisen hiilen korvaaminen luo hyvän potentiaalin biopohjaiselle aktiivihiilelle. Taulukko 12 esittää eri toimitusmuotojen osuudet aktiivihiilen markkinasta.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

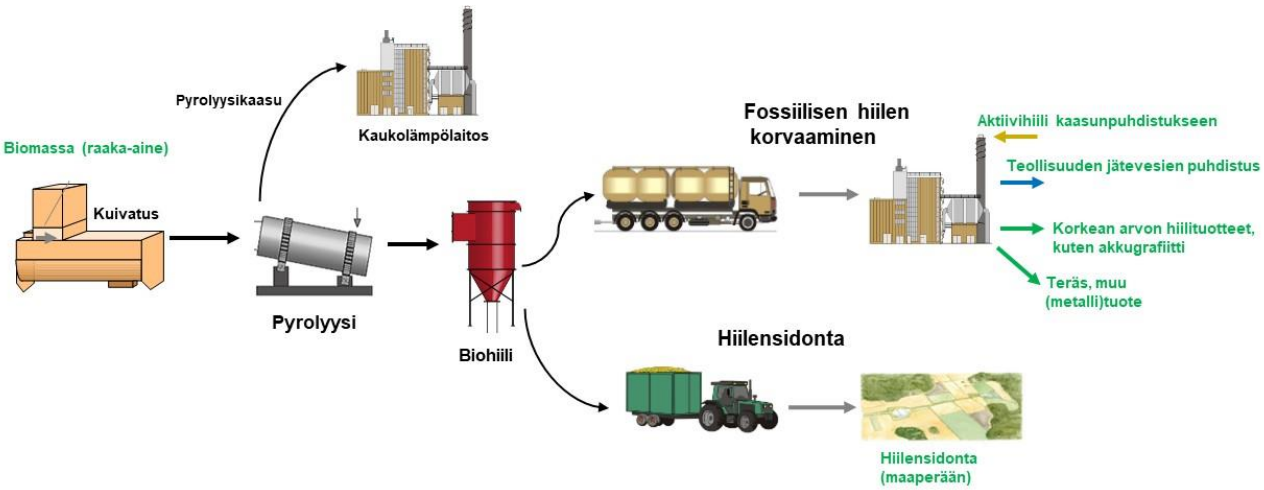
Taulukko 12 Aktiivihiilen eri kauppamuodot ja osuudet aktiivihiilen markkinoista. (Lähde: BCC Research 2025)

Kauppamuodot	Tyypillinen loppukäyttö	Osuus markkinasta
Pulverimainen aktiivihiili, (Powdered Activated Carbon, PAC)	Vedenpuhdistus, ruoka- ja juomateollisuus, ilmanpuhdistus ja lääketeollisuus	55 %
Granulaarinen aktiivihiili (Granular Activated Carbon, GAC)	Kunnallinen vedenpuhdistus, teollinen jätevesien puhdistus, ilman- ja kaasujenpuhdistus	32 %
Muut muodot, esim. pelletoitu, pintakäsitelty aktiivihiili	Muut loppukäytöt, edellisten lisäksi, loppukäytön vaatimusten mukaan	13 %

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

4 Biohiilen liiketoimintapotentiaali

Biohiilen tuotantomahdollisuudet Suomessa ovat hyvät, koska biomassaa on runsaasti (kuvattu kohdassa 4.1) ja koska Suomella on kattava kaukolämpöverkosto, jossa biohiilen valmistuksen yhteydessä syntyvä pyrolyysikaasu voidaan hyödyntää (Kuva 6). Vuodenajan syklisyys lämmöntarpeessa voidaan huomioida biohiilen valmistuksessa. Esimerkiksi, kun lämpöä tarvitaan enemmän, tehdään korkealaatuisia bio-/aktiivihiiliä alhaisemmalla saannolla, jolloin syntyy enemmän pyrolyysikaasuja.



Kuva 6 Biohiilen valmistuksen arvoketju ja integrointi lämmöntuotantolaitokseen.

Biohiilen valmistuksessa yhdistyvät polttoprosessin ja metsäteollisuuden teknologiaosaaminen. Molemmilta alueilta Suomesta löytyy vankkaa osaamista. Teknologia voidaan soveltaa myös muille raaka-aineille ja muilla markkinoilla, eli mahdollisuuksia teknologian vientiin on.

4.1 Kotimaisen biomassan saatavuus

Luonnonvarakeskus on tilastoinut, että vuonna 2024 metsähaketta käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa yhteensä 10,5 Mm^3, josta runko- ja kokopuuta 7,6 ja hakkuutähteitä 2,7 Mm^3. Kantojen käyttö on viime vuosina jatkuvasti vähentynyt ja oli enää 0,2 Mm^3. Erilaista metsäteollisuuden kiinteää sivutuotepuuta poltettiin yhteensä 10,1 Mm^3. Tästä kuorta 6,1 Mm^3, teollisuuden puutähdehaketta 1,2 Mm^3, erilaista purua ja kutterinlastua 2,7 Mm^3 sekä erittelemättömiä teollisuuden puutähdeseoksia 0,2 Mm^3. Lisäksi kierrätyspuuta poltettiin 1,1 Mm^3.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Taulukko 13 Kiinteiden puupolttoaineiden energiakäyttö Suomessa vuonna 2024 (Luonnonvarakeskus 2025a).

Metsähake, 1000 m^3		**Metsäteollisuuden sivuvirat,1000 m^3**	
Pienpuu	6 687	Kuori	6 054
Järeä runkopuu	922	Puru, kutterilastu	2 734
Hakkuutähteet	2 653	Puutähteet	1 163
Kannot	219	Muut tähteet ja seokset	172
Metsähake yhteensä	**10 481**	**Sivuvirrat yhteensä**	**10 123**
Kierrätyspuu	**1 075**	**Kaikki yhteensä**	**21 679**

Teoriassa, mikäli puun polttamisesta siirryttäisiin muihin energiantuotantomuotoihin esim. sähkön käyttöön, koko edellä mainittu määrä olisi käytettävissä esimerkiksi biohiilen valmistukseen. Tämä on kuitenkin epärealistista ja siksi tarjolla olevaa biomassapotentiaalia on huomattavasti rajattu. Lisäksi tarkasteluun on karkealla tasolla otettu peltoviljelyn, lähinnä viljakasvien korjuun yhteydessä muodostuvat sivuvirrat, jotka ovat mahdollisia biohiilen raaka-aineita.

Potentiaalisia biomassoja arvioitaessa useimmiten viitataan raaka-ainevolyymiin, joka voidaan hankkia tiettyjen teknologisten ja taloudellisten rajoitteiden piirissä. Lisäksi monesti huomioidaan toiminnan kestävyyteen liittyviä seikkoja. Nämä kaikki vähentävät teoreettista maksimipotentiaalia, joka tietyllä alueella on saatavilla. Käytännössä bioraaka-aineille on myös vaihtoehtoista kysyntää eli niistä on kilpailua. Näin ollen on tarkoituksenmukaisempaa puhua raaka-aineiden saatavuudesta tai taseesta kuin esimerkiksi teknistaloudellisesta potentiaalista. Siksi tässä raportissa arvioidaan potentiaalisten biomassojen saatavuutta tasetarkasteluna, jolloin kyseisten raaka-aineiden nykykäyttö on vähennetty kokonaispotentiaalista. Biohiilen valmistukseen tarvitaan n. 6-10 m^3 puuta per tuotettu biohiilitonni saannosta ja puulajista riippuen.

4.1.1 Metsähake

Luonnonvarakeskus on tehnyt lukuisia arvioita, kuinka paljon metsähakkeen raaka-ainetta olisi vielä enemmän saatavilla, mikäli nykyinen energiakäyttö pysyisi nykyisellä tasolla. Anttilan ym. (2021) tekemässä laskelmassa huomioidaan turpeen käytön voimakkaan vähenemisen ja korvautumisen pääasiassa metsähakkeella. Nykyisellä ainespuun hakkuutasolla ja metsähakkeen energiakäytöllä metsähaketaseeksi muodostuu 3,7 Mm^3. Suurimman ylläpidettävän hakkuutason ollessa kyseessä tase kasvaisi 9,2 Mm^3. Näissä luvuissa on mukana vain ranka- ja kokopuu sekä hakkuutähteet, sillä ei ole nähtävissä, että kantopuuta alettaisiin korjata merkittävissä määrin energia- tai muuhun käyttöön kestävyysnäkökulmien takia.

Turpeen energiakäytöstä luopuminen sekä puun tuonnin loppuminen Venäjältä lisäävät painetta kotimaisen metsähakkeen käyttöön. Toisaalta vaatimukset kasvattaa metsän hiilinielua voivat rajoittaa metsähakkeen hankintamahdollisuuksia. Myös lämmöntuotannon sähköistyminen ja muiden energiantuotantomenetelmien yleistyminen vaikuttavat metsähakkeen käyttöön. Niinistö ym. (2025) arvioivat laitoskyselytutkimuksensa perusteella, että metsähakkeen käyttö lisääntyy hieman, noin 11,4 Mm^3:iin vuoteen 2026 mennessä, mutta alkaa laskea sen jälkeen niin, että vuonna

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

2033 se olisi enää 9,7 Mm^3 vuodessa. Tämä lisäisi tässä raportissa olevaa metsähakepotentiaalia n. 1,7 Mm^3.

4.1.2 Metsäteollisuuden sivuvirrat ja kierrätyspuu

Suomessa metsäteollisuuden sivuvirrat käytetään tehokkaasti hyväksi. Merkittävä osa hyödynnetään jo metsäteollisuuslaitoksilla ja loput yleensä energiantuotannossa polttolaitoksilla tai polttoaineen valmistukseen. Tilastojen ja asiantuntija-arvioiden perusteella arvioimme, että n. 20 % nykyiseen puunkäyttöön perustuvasta sivuvirrasta ja kierrätyspuusta olisi käytettävissä biohiilen tuotantoon ilman merkittävää raaka-ainekilpailua energiateollisuuden kanssa. Jos polttoon perustumattoman energiantuotannon trendi jatkuu ja 20 % polttoon menevästä sivutuotepuusta voidaan ohjata biohiilen valmistukseen sekä hyödyntää vielä käyttämätön metsähakepotentiaali, voidaan laskelman oletuksilla tuottaa biohiiltä 900 000 tonnia vuodessa (Taulukko 15). Jos tästä määrästä merkittävä osa voidaan käyttää korvaamaan fossiilista hiiltä tai sitomaan hiiltä maaperään voidaan samalla merkittävästi vaikuttaa Suomen hiilitaseeseen ja päästöjen määrään.

4.1.3 Muut biopohjaiset raaka-aineet

Agrobiomassat

Helpoimmin ja edullisimmin maataloudesta peräisin olevia biomassoja olisi saatavilla viljakasvien korjuun sivuvirroista. S2Biom (2017)-projektista on saatavilla hyvin kattava arvio Euroopan eri maiden saatavilla olevista biomassavaroista aina vuoteen 2030 asti. Olki on volyymiltään kaikkein potentiaalisin. Kyseisessä tilastossa käytettävissä olevan oljen määrä on laskettu vilja-olki –suhteen mukaisesti, käyttäen suhdelukua 0,9. Käytännössä olkea halutaan jättää maahan maanparannusaineeksi ja lisäämään orgaanista ainesta ja ravinteita. Siksi saatavilla olevan oljen määrästä on huomioitu vain 40 %. Se on silti huomattava, koska olkea ei juuri hyödynnetä. Oljen energiakäyttö ei ole yleistynyt Suomessa kuten esimerkiksi Tanskassa. Näin ollen raaka-ainepotentiaali on huomattava mahdollistaen yli 400 000 biohiilitonnin valmistuksen (Taulukko 14).

Taulukko 14 Oljen ja viljan kuorien sekä niistä valmistetun biohiilen potentiaali Suomessa kuiva-ainetonneina (S2Biom 2017).

Olki, kt	Viljan kuoret, kt	Yhteensä, kt	Biohiili-potentiaali, kt
1 672	513	2 185	437

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Taulukko 15 Arvio biohiilen raaka-ainepotentiaalista perustuen metsäteollisuuden sivuvirtoihin, kierrätyspuuhun ja metsähakkeen raaka-aineisiin. (Lähteet: Anttila ym. 2021 ja Luonnonvarakeskus 2025)

2023	Raaka-puuta	Kuorta	Hake/puru/lastu	Sivuvirrat yhteensä	Sivuvirta raaka-aineeksi	Sivuvirta energiaksi	Biohiilen raaka-aine-potentiaali	Biohiilen potentiaali
	Mm³	Mm³	Mm³	Mt/v	Mt/v	Mt/v	kt/v**)	kt (saanto 30%)
Sahat	23,8	2,8	10,6	5,1	3,4	1,7	336	101
Muu puutuoteteollisuus	2,5	0,3	1,2	0,6		0,6	122	37
Selluteollisuus	29,5	2,9		1,1		1,1	214	64
Paperi- ja kartonkiteollisuus	5,3	0,4		0,2		0,2	31	9
Sivuvirrat yhteensä	**61,2**	**6,4**	**11,7**	**6,9**	**3,4**	**3,5**	**703**	**211**

	Metsä-hake*)	Kiertopuu	Muu biomassa	Energiaksi	Biohiilen raaka-aine-potentiaali	Biohiilen potentiaali
	Mm³	Mm³	Mt	Mt/v	kt/v	kt
Muu biomassa	14,7	1,1	6,1	0,5	2299	688
Metsäteollisuuden sivuvirrat, metsähake ja kiertopuu yhteensä			**13**	**7**	**3002**	**901**

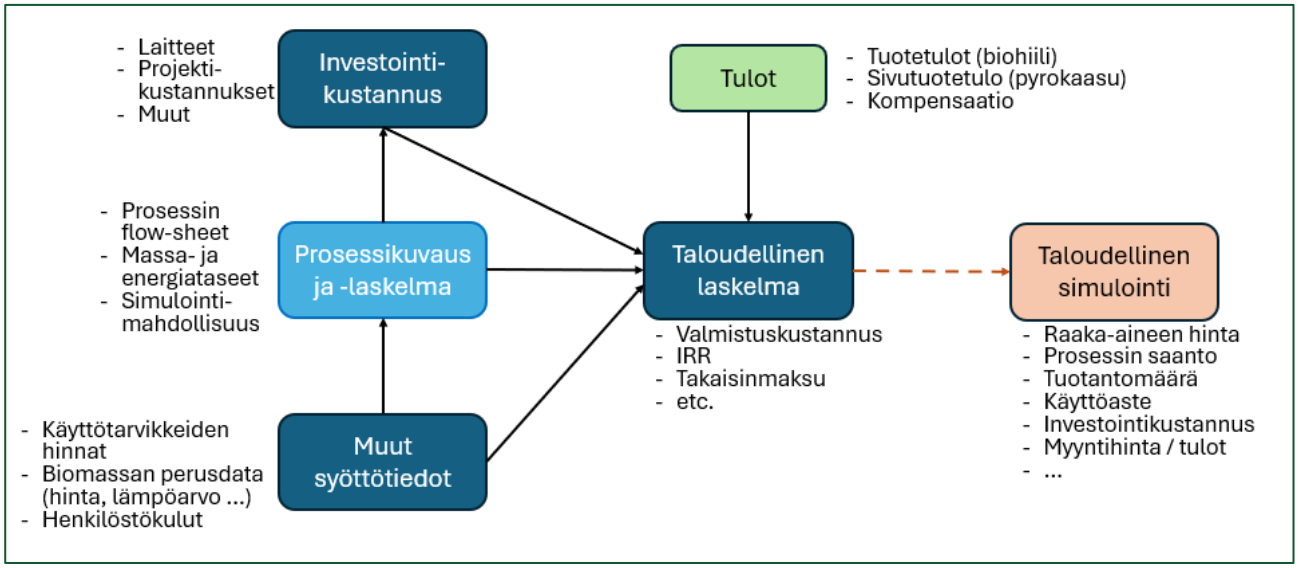
*) Sisältää hakkuutähteet, kokopuu- ja rankahakkeen. Käyttämätön metsähakepotentiaali 3,7 Mm³ ja mahdollinen energiakäytön väheneminen 1,7 Mm³ huomioitu biohiilen potentiaalissa

**) Biohiilen raaka-ainepotentiaaliksi on arvioitu 20 % energiaksi menevästä sivuvirtamäärästä. Edellyttää lämmön tuottamista muilla energiamuodoilla, esim. sähköllä. Kiertopuun määrästä 20% on arvioitu biohiilen valmistuksen potentiaaliksi.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

4.2 Tuotannon kustannus- ja kannattavuusmallinnus

Biohiilen kustannusarvioinnissa käytettiin alla olevan kuvan 7 mukaista prosessia, eli laadittiin biohiilen valmistusprosessille massa- ja energiataseet, arvioitiin biohiililaitteiston investointikustannukset, arvioitiin biohiilestä ja pyrolyysikaasusta saatavat tulot, jonka pohjalta laadittiin tuloslaskelma. Jos biohiili käytetään maanparannuskäyttöön, voidaan lisäksi myydä hiilikrediittejä, josta liiketoiminnalle syntyy tuloja (Kuva 8) VTT:n Balas-ohjelman pohjalta tehdyllä excel-mallilla simuloitiin biohiilen valmistuskustannus eri muuttujille, kuten raaka-aineen hinnalle, laitoksen koolle, prosessin saannolle ja investointikustannukselle. Laskelmat perustuvat oletuksiin, jotka eivät välttämättä toteudu sellaisenaan käytännössä, mutta antavat kuitenkin edustavan kuvan kustannuksista, kustannusrakenteesta sekä kustannusmuutosten vaikutuksista biohiilen kokonaiskustannukseen.



Kuva 7 Biohiilen kustannus- ja kannattavuuslaskelman menetelmä.

Biohiilen kustannusrakenteeseen vaikuttavat eniten biomassan hinta, laitoksen koko, biohiilen saanto ja investointikustannukset. Pyrolyysikaasusta saatava tulo integroimalla laitos kaukolämpöverkkoon vaikuttaa myös merkittävästi kustannusrakenteeseen.

Tärkeimmät kustannusoletukset biohiilen kustannusrakenteen arviossa ovat:

- Biomassan hinta: 35 EUR/MWh, eli n. 65-70 EUR/m^3
- Biomassan saanto, 30 %
- Biohiililaitoksen koko, 7 500 t/v biohiiltä
- Investointikustannus, 27 MEUR
- Pyrolyysikaasun myyntihinta perustuu vaihtoehtoisen lämmöntuotannon raaka-aineen, eli kuoren, hintaan 32 EUR/MWh,
- Henkilöstökulut arviossa ovat 7 operatiivista ja 2 hallinnollista henkilöä á 75 000 EUR/hlö/v.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Biohiilen liiketoiminnalla on kolme potentiaalista tulolähdettä (Kuva 8):

1 Biohiilen myynnistä saatava tulo,

2 Valmistusprosessissa syntyvän ylimääräisen pyrolyysikaasun myynti. Kaasun hintana voidaan käyttää joko vaihtoehtoisen raaka-aineen hankintahintaa, jos asiakasyrityksellä on jo sopimus lämmöntuotannosta (n. 37 EUR/MWh), tai kaukolämmön hintaa (n. 100 EUR/MWh), jos biohiilen toimittaja on uusi toimittaja kaukolämpöverkkoon.

3 Vapaaehtoisten hiilikrediittien myyntitulot, jos biohiili käytetään loppukäyttöön, joka oikeuttaa hiilikrediittiin. Krediittien hinta on viime aikoina ollut n. 140 EUR/ton CO_2.

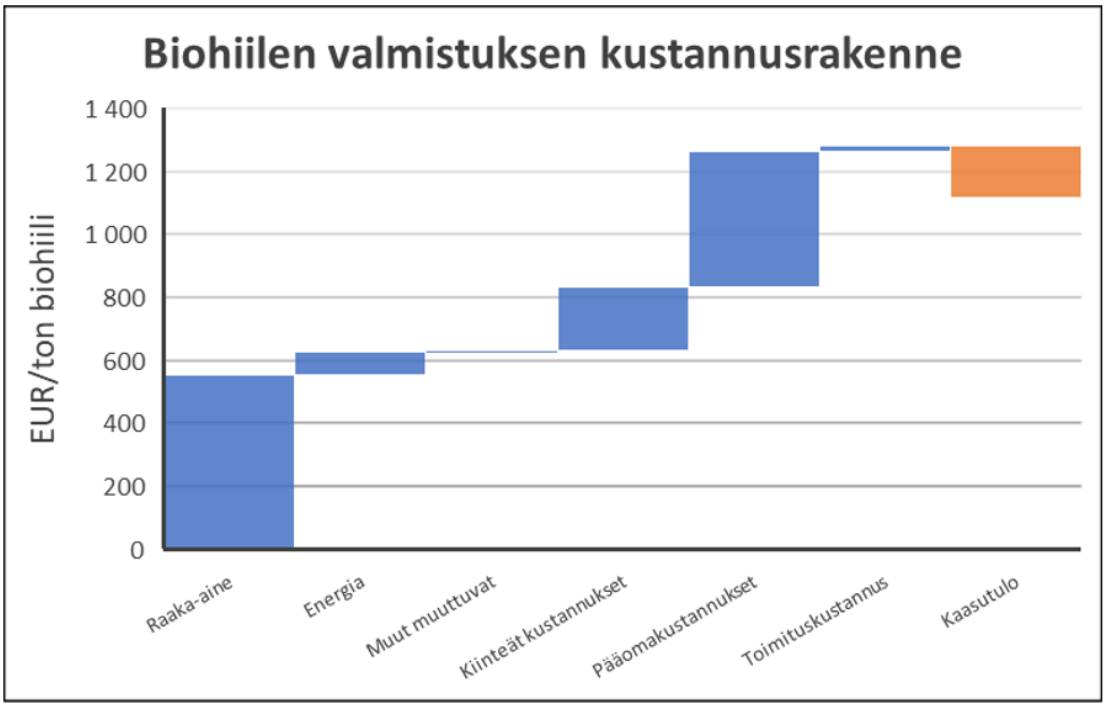
Kuva 8 Biohiilen liiketoiminnalla on 2-3 tulolähdettä - biohiili, kaasu ja biohiilen loppukäytöstä riippuen hiilikrediitti.

Esimerkki biohiilen kustannusrakenteesta on esitetty kuvassa 9, josta näkee biomassan kustannuksen (43 %) sekä investointikustannusten (33 %) merkittävä osuus sekä kaasutuloista saatava vaikutus (-13 %) kokonaisnettokustannukseen 1 114 EUR/ton.

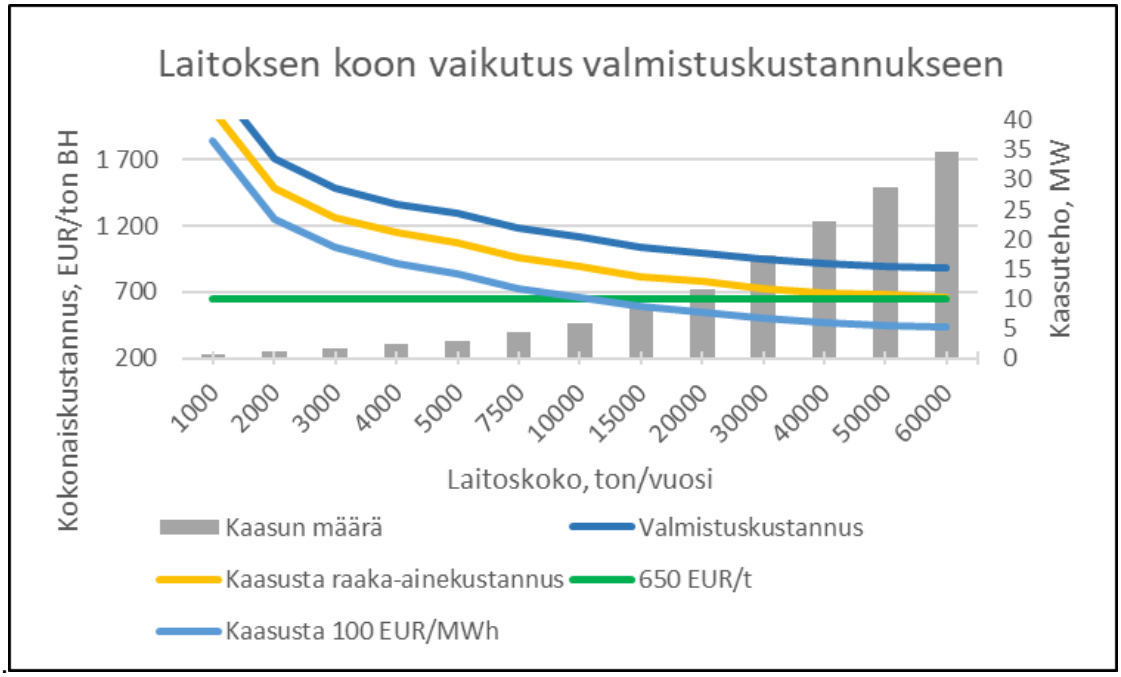
Kiinteiden kustannusten osuus on pienemmässä laitoksessa suhteellisesti suurempi. Tästä syystä suuremmalla laitoksella on alhaisemmat valmistuskustannukset/tuotettu tonni, mikä on tärkeätä huomioida, kun pyritään korvamaan eri loppukäyttöjen nykyisiä tuotteita. Haastattelujen pohjalta on arvioitu että, jos biohiilen hinta olisi n. 600-650 EUR/ton, nykyisten tuotteiden (osittainen) korvaaminen olisi kaupallisesti mahdollista. Tehdyillä oletuksilla (kappale 4.3.2, kuvat 13-15) laitoksen koon kasvattaminen ei ole yksinään riittävä saavuttamaan valmistuskustannusta 650 EUR/tonnia vaan tarvitaan myös edullisempaa raaka-ainetta esimerkiksi käyttämällä eri raaka-aine jakeita. Lisäksi investointikustannusten tulisi laskea nykyisestä, kun laitoksia skaalataan ja monistetaan. Liitteissä 1-4 on esitetty biohiilen valmistuskustannuksen herkkyysanalyysi tarkemmin.

Uuden teknologian ja laitteiston käyttöönottoon liittyy selvä riski – mitä suurempi laitos sen kilpailukykyisempi tuote, mutta samalla uuden teknologian käyttöönoton ja liiketoiminnan riskit sekä tarvittavat myyntimäärät kasvavat. Koska laitetoimittajia ei ole runsaasti tarjolla, laitteistoille ei ole markkinahintaa ja investointikustannus voi vaihdella merkittävästi. Tästä syystä tuottajat joutuvat investointipäätöksissään arvioimaan teknologia- ja laitetoimittajien etuja ja haittoja sekä laadullisesti, hinnallisesti että toimitus- ja tuotantovarmuuden pohjalta.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218



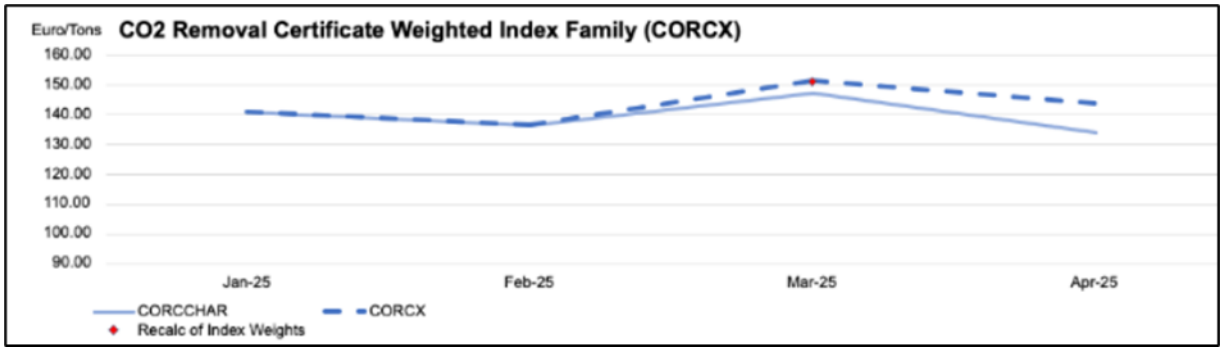
Kuva 9 Biohiilen kustannusrakenne tehdyillä oletuksilla.



Kuva 10 Biohiililaitoksen koon vaikutus valmistuskustannukseen.

Jos biohiili myydään maanparannuskäyttöön, voidaan lisäksi myydä hiilikrediitti, joiden hinta on vaihdellut viime aikoina 120-150 EUR/t CO_2 (Puro.earth, 2025). Koska biohiilen nettosidontapotentiaali on keskimäärin 2,8 CO_2/kg biohiiltä (riippuen saannosta ja hiilipitoisuudesta sekä valmistus- että logistiikkaan liittyvistä päästöistä), krediiteistä saatava korvaus vaikuttaa biohiilen valmistuskustannuksiin n. 300-400 EUR/t biohiiltä.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218



Kuva 11 Hiilidioksidin päästökrediitin hintakehitys. (Lähde: Puro.earth 2025)

Oletetuilla kustannustiedoilla ja tuloilla biohiililiiketoiminnan tunnuslukuja on esitetty taulukossa 16. Laskelmasta nähdään, että biohiilen myyntihintaan vaikuttaa merkittävästi biohiililaitoksen kokonaiskapasiteetti sekä kaasusta saatava myyntitulo että hiilikrediiteistä saatava tulo.

Jos pyrolyysikaasusta saadaan kaukolämmön hinta 100 EUR/MWh, kaasusta saatava tulo kolminkertaistuu ja voisi olla 20-50 % biohiilen valmistuskustannuksesta.

Taulukko 16 Biohiililiiketoiminnan tunnuslukuja esimerkkilaskelmassa ja aikaisemmin mainituilla oletuksilla. Biohiilen saantoprosentti kaikissa laskelmissa 30 %.

Investoinnin kuvaus	**Laitoskoko I**	**Laitoskoko II**	**Laitoskoko III**
Tuotantokapasiteetti, t/v	**2000**	**7500**	**20000**
Investointikustannus, MEUR	10,8	27,3	54,3
Investointikustannus, EUR/t	5400	3640	2715
Ylijäämäenergia, MW	1,2	4,3	11,5
Ylijäämäenergia, GWh	9	34	90
Energian investointikustannus kEUR/MW	9375	6321	4714
Biohiilen operatiiviset kustannukset, EUR/t - sis. muuttuvat ja kiinteät kustannukset	1204	834	738
Biohiilen kokonaiskustannukset, brutto, EUR/t	**1860**	**1282**	**1076**
Kaasun myyntitulo, EUR/ton biohiiltä - kaasun myyntihinta 37 EUR/MWh	167	167	167
Kaasun osuus kokonaiskustannuksista	9 %	13 %	16 %
Biohiilen kokonaiskustannukset, netto, EUR/t	**1693**	**1115**	**909**
CO_2-krediittien hinta, EUR/t biohiiltä -krediitin hinta 140 EUR/t CO_2	314	314	314
Krediittitulon osuus kokonaiskustannuksista	17 %	24 %	29 %
Nettokustannukset (ei voittomarginaalia), EUR/t - jos loppukäyttö oikeuttaa CO_2 - krediittiin	**1379**	**801**	**595**
Käyttötunnit vuodessa, h/v	7824	8724	8724
Käyntiaste, %	89 %	89 %	89 %

Taulukosta 16 nähdään, että kaasun myyntitulo ja krediitistä saatava tulo vaikuttavat merkittävästi biohiilen valmistuksen omakustannushintaan. Kaasun myyntitulo, riippuen kaasusta saatavasta hinnasta, ja biohiilituotannon saannosta on luokkaa 100–200 EUR/t biohiiltä ja hiilikrediittien hinta, riippuen hinnasta ja biohiilen hiilidioksidin pidätyskyvystä, on n. 300-350 EUR/t biohiiltä, yhteensä

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

siis n. 400-550 EUR/t biohiiltä. Lisäksi biohiilen valmistukseen käytetyn biomassan hinta vaikuttaa voimakkaasti biohiilen valmistuskustannukseen. Esimerkiksi biomassan hinnan ollessa 20 €/MWh biohiilen valmistuskustannus laskee n. 230 € /tonni kun laitoskoko on 7500 t/v (ks. Liite 3, Kuva 1)

Haastatteluaineiston sekä kivihiilen, päästöoikeuksien, lannoitteiden ja muiden maanparannustuotteiden hintatason tarkastelun perusteella arvioitiin, että biohiilen hinnan tulisi olla n. 600–650 EUR/t, jotta se olisi hinnan näkökulmasta houkutteleva vaihtoehto laajamittaiseen käyttöön. Toisaalta on kuitenkin mahdollista, että toimijat ovat valmiita tulevaisuudessa maksamaan kestävästi tuotetusta hiilestä. Lisäksi esimerkiksi kivihiilen ja päästöoikeuksien hintatason nousu voi puolestaan nostaa myös biohiilen hyväksyttävää hintatasoa.

Optimoimalla biohiilen valmistuksen tärkeimmät kustannustekijät: biomassan hinta, prosessin saanto, investointikustannus ja laitoksen koko voidaan saavuttaa kilpailukykyinen hinta biohiilelle. Taulukossa 17 on arvio valmistuskustannuksesta perustuen raportin oletuksiin biomassan hinnan muuttuessa eri kokoisille biohiilen valmistuslaitoksille. Taulukosta nähdään miten ylimääräkaasusta saatava tulo ja mahdollisesta hiilikrediitistä saatava tulo vaikuttaa biohiilen valmistuksen omakustannushintaan. Taulukossa on oletettu, että prosessin saanto on 30 % ja että investointikustannus laskee nykyisestä, kun pyrolyysilaitteistoja toimitetaan enemmän. Jos biohiilen valmistuskustannus on laskelmassa 650–750 EUR/t, on arvioitu, että biohiilen hinta olisi ”taloudellisesti harkitsemisen arvoinen vaihtoehto” asiakkaalle (keltainen alue). Laskelma perustuu kuitenkin olettamuksiin ja siinä esitettyjä tietoja voidaan pitää indikatiivisena.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Taulukko 17 Biohiilen valmistuskustannus sekä kaasutulon ja hiilikrediittitulon vaikutukset arvioituun potentiaaliin käyttää biohiiltä metallinjalostusteollisuudessa ja maanparannuksessa. Taulukossa on käytetty biohiilelle 30 % saantoa ja kaasun hintana 37 € /MWh kaikissa laskelmissa.

Biohiilen kokonaisvalmistuskustannus, EUR/t biohiiltä													
Biomassan hinta, €/MWh	Valmistuskustannus ilman kaasu- ja krediittituloa					Laitoskoko, t/v							
	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	7 500	10 000	15 000	20 000	30 000	40 000	50 000	60 000
20	2 063	1 472	1 253	1 133	1 056	943	879	806	764	714	684	664	648
25	2 142	1 551	1 331	1 212	1 135	1 022	958	885	843	793	763	743	727
30	2 221	1 630	1 410	1 291	1 214	1 101	1 037	964	922	872	842	821	806
35	2 300	1 709	1 489	1 369	1 292	1 180	1 116	1 043	1 000	951	921	900	885
40	2 378	1 787	1 568	1 448	1 371	1 258	1 195	1 122	1 079	1 029	1 000	979	964

Biomassan hinta, €/MWh	Ylimääräkaasun tulot huomioitu 167 EUR/t												
20	1 968	1 377	1 158	1 038	961	848	784	711	669	619	589	569	553
25	2 023	1 432	1 212	1 093	1 016	903	839	766	724	674	644	624	608
30	2 078	1 487	1 267	1 148	1 071	958	894	821	779	729	699	678	663
35	2 133	1 542	1 322	1 202	1 125	1 013	949	876	833	784	754	733	718
40	2 187	1 596	1 377	1 257	1 180	1 067	1 004	931	888	838	809	788	773

Biomassan hinta, €/MWh	Ylimääräkaasun tulot ja hiilikrediitti huomioitu				Hiilikrediitin hinta 140 €/t, josta kulujen jälkeen 314 €/t biohiiltä								
20	1 654	1 063	844	724	647	534	470	397	355	305	275	255	239
25	1 709	1 118	898	779	702	589	525	452	410	360	330	310	294
30	1 764	1 173	953	834	757	644	580	507	465	415	385	364	349
35	1 819	1 228	1 008	888	811	699	635	562	519	470	440	419	404
40	1 874	1 283	1 064	944	867	754	691	618	575	525	496	475	460

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

4.3 Biohiilimarkkinoiden kehitysnäkymiä ja vientipotentiaalin arviointi

Biohiilimarkkinoita käsittelevät raportit tarkastelevat usein ainoastaan biohiilen uusia markkinoita kuten maanparannusta ja perustuvat pienten valmistajien luovuttamiin näkemyksiin markkinan kasvusta. Raporteissa ei huomioida esimerkiksi fossiilisen hiilen nykyisiä markkinoita ja että biohiilellä on rooli niiden korvaamisessa. Biohiilen nykyiseksi globaaliksi markkinakooksi on arvioitu 200 MEUR (BCC Research, 2023), joka on pieni verrattuna muihin hiilen markkinoihin. Biohiilen markkina on kuitenkin nopeasti kasvava ja sillä on merkittävä potentiaali tulevaisuudessa.

Biohiilet ja muut biomassasta valmistetuttujen hiilituotteiden kokonaismarkkina onkin haasteellista määritellä koska siihen liittyy sekä uusia että fossiilisia hiilituotteita korvaavia käyttökohteita. Lisäksi eri hiilituotteista käytetään useita termejä, ja ne luokitellaan eri markkinasegmentteihin. Esimerkiksi terästeollisuudelle menevä kivihiili on oma markkinansa, jonka arvo on n. 500 mrd €. Muita merkittäviä hiilen markkinoita on esitelty alla (Taulukko 18). Kaikilla edellä mainituilla tuoteryhmillä on omat sovelluksensa ja vaatimukset hiilien ominaisuuksille.

Taulukko 18 Esimerkkejä hiilien nykyisistä globaaleista markkinoista.

Tuote	Pääkäyttökohde	Markkina globaali mrd €	Vuosikasvu %	Markkina EU mrd €	Lähde
Biohiili	Maanparannus	0,2	12 %	<0,1	BCC Research (2023)
Aktiivihiili	Veden- ja ilman puhdistus	6	6 %	1	BCC Research (2025)
Hiilimusta	Renkaiden ja muiden kumituotteiden täyteaine	20	4,8 %	3,3	Grand View Research (2023)
Hiilikuitu	Ilmailu, auto, tuulivoima, teolliset komposiitit	5	10,9 %	1,6	Grand View Research (2025a)
Sähköä johtavat hiilipohjaiset aineet	Akkujen elektrodit (johtavuuslisä), elektroniikka	1	15,3 %	<0,1	Chen (2021)
Grafiitti	Akkujen anodimateriaalit	11	7,6 %	1,7	Grand View Research (2025b)
Kivihiili terästeollisuudelle	Sisältää ainoastaan terästeollisuuden käytön	500	8,6 %	70	BCC Research (2022)

Biohiilen vientipotentiaalin arviointi on haastavaa, sillä markkinakoko on huomattava ja hiililaatuja sekä jalostettuja hiilituotteita on useita. Lisäksi eri raaka-aineista tuotetut hiilet eroavat ominaisuuksiltaan toisistaan. Suuntaa antavaa kuvaa markkinan mittakaavasta voidaan kuitenkin antaa. Aikaisemmassa kappaleessa sekä taulukoissa 13-15 on esitelty biohiilen valmistukseen soveltuvia sivuvirtoja ja niiden potentiaalia. Puupohjaisista biomassoista voitaisiin tuottaa arviolta noin 900 kt/vuosi biohiiltä ja agropohjaisista raaka-aineista noin 450 kt/vuosi. Tämä vastaa yhteensä noin 1 350 kt/vuosi, jonka markkina-arvo vuositasolla olisi noin miljardin euron.

Potentiaalia voivat kasvattaa myös tässä tarkastelussa huomioimattomat raaka-aineet (esim. neitseellinen puu, ligniini) sekä raaka-aineiden saatavuuden mahdollinen lisääntyminen tulevaisuudessa. Mikäli biohiiltä käytetään maaperän parannuksessa (tai muussa hiiltä varastoivassa käytössä), on arvioitu, että yhtä biohiilitonnia kohden voitaisiin poistaa noin 2,8 t CO_2

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

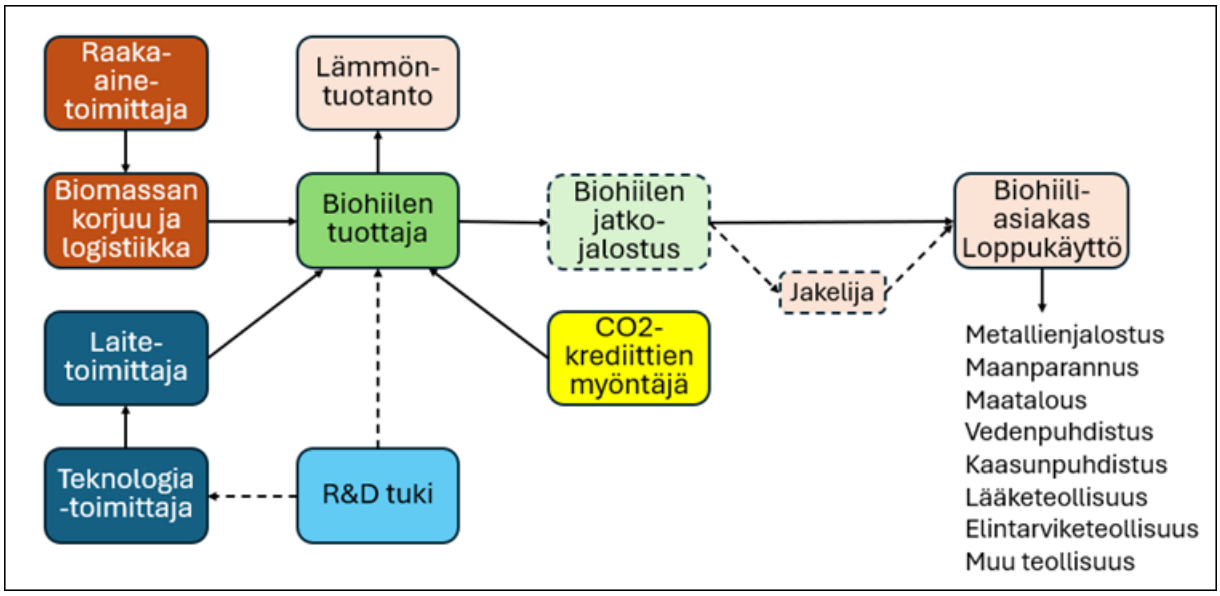
(luvusta on jo vähennetty biohiilen valmistuksesta ja käytöstä aiheutuneet päästöt). Tällöin 1 338 kt biohiiltä vastaisi noin 3,75 Mt CO_2 pysyviä poistoja vuodessa, tämä vastaisi noin 9 % Suomen kasvuhuonepäästöistä (38,8 miljoonaa CO_2-ekv - Tilastokeskus, 2025). On kuitenkin syytä korostaa, että edellä esitetyt laskelmat ovat teoreettisia ja niiden tarkoituksena on havainnollistaa, että biohiilen liiketoimintapotentiaalilla voidaan saavuttaa huomattavia taloudellisia ja ilmastollisia hyötyjä yhteiskunnalle.

Biohiilen valmistuksessa käytettävän pyrolyysiteknologian markkina- ja vientipotentiaalin osalta on huomioitava, että pyrolyysiteknologian markkina ei rajoitu ainoastaan biomassan käsittelyyn, vaan biohiilen valmistus on vain yksi sovellus pyrolyysiteknologialle. Pyrolyysiä voidaan soveltaa laajasti eri raaka-aineisiin ja käyttötarkoituksiin. Biomassan lisäksi pyrolyysiä voidaan hyödyntää esimerkiksi muovi-, tekstiili- ja kumijätteiden kierrätyksessä. Pyrolyysiteknologian markkinaan liittyy epävarmuuksia, jotka voivat merkittävästi vaikuttaa markkinan kasvuun. Useissa analyyseissa pyrolyysilaitteiden markkinoiden koosta on esitetty vaihtelevia arvioita. Joidenkin raporttien mukaan markkinan arvo vuonna 2024 olisi noin 450 MEUR, ja sen odotetaan nousevan noin 1 100 MEUR vuoteen 2033 mennessä, vuosikasvun ollessa noin 10,5 % (Market Research Intellect 2025). IBI & USBI (2023) raportin mukaan biohiililaitteistojen globaali markkinakoko oli vuonna 2023 noin 210 MEUR, ja sen ennustetaan nousevan noin 860 MEUR vuoden 2025 loppuun mennessä. Euroopassa otetaan käyttöön vuosittain n. 30-50 uusia biohiiltä tuottavia laitoksia (48 laitosta v. 2023), pääasiassa pieniä yksiköitä.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

4.3.1 Biohiilialan arvoverkko

Biohiilen liiketoiminnan kehittäminen edellyttää kattavaa ja toimivaa arvoverkkoa, joka ulottuu raaka-aineiden hankinnasta aina jatkojalostukseen, jakeluun ja loppukäyttöön saakka. Arvoverkkoon kuuluu myös investointivaiheessa yrityksiä, joilla on syvällinen osaaminen teknologioista sekä valmiudet suunnitella ratkaisuja teolliseen mittakaavaan. Alla on kuvattu biohiilen arvoverkon kannalta tärkeitä toimijoita. Suomessa biohiilen toimialajärjestönä toimii Bioenergia ry (2025), joka ylläpitää biohiiliverkostoa edistäen aktiivisesti biohiilen kehitystä, tuotantoa ja käyttöä. Lisäksi tarvitaan laitteiston tai sen osien valmistukseen erikoistuneita toimijoita (Kuva 12).



Kuva 12 Biohiililiiketoiminnan arvoverkko

Raaka-aineet, logistiikka ja esikäsittely
Suomessa on erinomainen osaaminen metsäpohjaisen biomassan hankinnasta, logistiikasta ja esikäsittelystä sekä niihin liittyvistä prosesseista. Raaka-aineen tarjonta on runsasta Suomen metsävaroista ja suuresta metsäteollisuudesta johtuen. Samoin korjuu- ja logistiikkatarjontaa on runsaasti tarjolla. Biomassan saatavuus biohiilen valmistukseen riippuu metsäteollisuuden kysynnästä ja volyymistä sekä sivuvirtojen ja lämmöntuotantoon menevän metsähakkeen loppukäyttäjien ”puustamaksukyvystä”.

Hankkeiden suunnittelu ja toteutus
Suomessa toimii useita kansainvälisiä insinööritoimistoja, jotka ovat jo osallistuneet useisiin biohiilihankkeisiin ja joilla on keskeinen rooli biohiilituotannon mahdollistamisessa. Ne vastaavat prosessi- ja laitoksen layout-suunnittelusta, kustannus- ja kannattavuusarvioista sekä ympäristölupadokumentaatiosta.

Laite- ja teknologiatoimittajat
Biohiilen tuotanto koostuu useista teollisista prosesseista, joista suurin osa perustuu tunnettuun ja saatavissa olevaan teknologiaan, kuten kuljettimet, kuivuri, raaka-ainesiilot, lämpökattila ja lämmönvaihdin. Varsinainen kehityksen kohde on pyrolyysireaktori sekä siihen liittyviin oheisprosesseihin kuten pyrolyysikaasujen käsittelyyn. Suomessa pyrolyysireaktoreita kehittävät ja tarjoavat pääasiassa pienet yritykset. Suomessa toimii myös tunnettuja laitetoimittajia, joilla olisi mahdollisuudet suuren kokoluokan biohiililaitosten toimittamiseen. Useampi suurempi yritys seuraa kuitenkin aktiivisesti alan kehitystä ja on mukana T&K toiminnassa.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Bio- ja aktiivihiilen tuotanto
Biohiilen valmistus ja käyttö Suomessa on vielä toistaiseksi vähäistä, ja siihen liittyvät arvoketjut kehittymässä. Biohiiltä on pitkään valmistaneet pääasiassa pienet yritykset, mutta viimeisten vuosien aikana myös suuret yritykset ovat tulleet mukaan markkinakehitykseen. Tällä hetkellä Suomessa on vähintään 9 laitosta, jotka valmistavat erilaisia hiilipohjaisia lopputuotteita (Taulukko 19). Suurin osa laitoksista on pilottilaitteita ja osa kaupallisista laitteista on vasta rakennettuja eikä vielä kaupallisessa tuotannossa. Toteutunut biohiilen tuotanto on siis hyvin rajallista vielä toistaiseksi. Suomessa on ainutlaatuinen kaukolämpöverkko, joka voisi toimia biohiilituotannon ylijäämäenergian käyttäjänä. Tämä kuitenkin edellyttää kehitystä yli toimialarajojen (metsäteollisuus, biohiilen tuottaja, laitetoimittaja ja kaukolämpö).

Tutkimus ja kehitystoiminta
Suomessa VTT, Luke sekä useat yliopistot ja ammattikorkeakoulut yhteistyössä yritysten kanssa edistävät aktiivisesti T&K toimintaa. Suomessa biohiilen T&K toiminta on monipuolista. Esimerkiksi VTT, Aalto, Oulun ja Jyväskylän yliopisto sekä XAMK kehittävät ligniinistä ja muista metsä- ja peltopohjaisista biomassoista aktivoituja hiiliä ja akkumateriaaleja. Maaperäkäytön kuten biohiilen vaikutuksia pelloilla, viherrakentamisessa, kasvihuoneissa on tutkittu Luke:lla ja Helsingin yliopistolla. Lisäksi Luke on tutkinut ja kehittänyt biohiilipohjaisia ratkaisuja kaivannaisjätteiden peittomateriaaleissa. Oulun yliopisto on lisäksi tutkinut biohiilen soveltuvuutta masuunissa ja valokaariuuneissa. Yritysyhteistyön edistämiseksi Business Finland rahoitus on tarpeellista.

Loppukäyttö:
Nykyinen biohiilen tuotanto suuntautuu pääasiassa maanparannuskäyttöön, kuten kuluttajille sekä kunnille ja kaupungeille viherrakentamiseen. Maataloudessa biohiilen käyttö on toistaiseksi ollut lähinnä kokeilu- ja tutkimusperusteista, eikä käyttöönotto ole viime vuosina edennyt merkittävästi taloudellisten kannattavuushaasteiden vuoksi. Kaupungeilla ja kunnilla on kiinnostusta skaalata biohiilen käyttöönottoa osana ilmastotavoitteita kuten Helsingin kaupungilla. Maaperäkäyttöön liitettävien hiilikrediittien on toivottu keventävän kustannuspainetta ja lisäävän kiinnostusta biohiilen hyödyntämiseen. Lisäksi EU valmistelee uutta hiilenpoistomekanismia (CRCF), jonka odotetaan vauhdittavan biohiilen käyttöä erityisesti hiilivarastojen kasvattamisessa. Biohiilen käyttöönotto maataloudessa edellyttää, että lannoitus- ja elintarvikealan yritykset lähtisivät edistämään biohiilen käyttöönottoa viljelijäverkostojensa kautta.

Aktiivihiilen käyttö Suomessa on verrattain vähäistä, arviolta noin 3 000–5 000 tonnia vuodessa. Suurimmat käyttökohteet liittyvät juoma- ja jätevedenpuhdistukseen (esim. HSY, Tampereen Vesi ja Turun Seudun Vesi), jätevoimaloiden kaasunpuhdistukseen (mm. Vantaan Energia ja Tammervoima) sekä biokaasulaitosten prosesseihin. Lisäksi aktiivihiiltä hyödynnetään kosmetiikka-, lääke-, juoma- ja elintarviketeollisuudessa. Aktiivihiilen käytön odotetaan kasvavan lähivuosina EU:n uudistetun jätevesidirektiivin seurauksena, sillä direktiivi velvoittaa mikroepäpuhtauksien, kuten PFAS-yhdisteiden, seurantaan ja käsittelyyn.

Biohiilen käyttöä metallinjalostusprosesseissa fossiilisen hiilen korvaajana on tutkittu ja pilotoitu usean vuoden ajan metalliteollisuudessa. Haasteena on ollut laitosten tekniset haasteet, tuottajien rajalliset resurssit sekä metallinjalostukseen tarvittavan biohiilimäärään saatavuus ja kilpailukykyinen hintataso. Biohiilen käyttöönottoon fossiilisen hiilen korvaajana vaikuttavat ilmaisten päästöoikeuksien määrä, päästöoikeuksien ja metallurgisen koksin hinnat sekä yritysten ilmasto- ja ympäristötavoitteet. Suomessa biohiilen käyttöpotentiaali metallurgiassa on n. 150 000–250 000 t/v.

Tällä hetkellä näyttää siltä, että laitetoimittajat odottavat markkinan kehittymistä, kun taas markkinan kehittyminen riippuu osittain siitä, ettei ole biohiilen toimittajia. Näin ollen tarvitaan yhteistyötä teknologiakehityksen, tuottajien, laitevalmistajien ja loppukäyttäjien kesken. Alla oleva taulukko 19 esittelee Pohjoismaissa toimivia keskeisiä yrityksiä ja yhdistyksiä, jotka ovat mukana biohiilen ja aktiivihiilen kehitystyössä.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Taulukko 19 Esimerkkejä biohiilialan tuottajista (tiedot kerätty julkisista lähteistä)

Yritys	Sijainti	Tuote/pääloppukäyttö	Kapasiteetti* (t/v)	Status
Carbofex	Nokia	Biohiili / maanparannus	2 000 t/v	Käynnistynyt 2017
Neova	Ilomantsi	Aktiivihiili / suodatus - turvepohjainen	5 000 t/v	Käynnistynyt 2023
GRK	Utajärvi	Biohiili / infra- ja viherrakentaminen	3 000 t/v	Käynnistynyt 2023
PUHI	Hämeenlinna	Maanparannus, metallurgia	2 500 t/v	Käynnistymässä
Carbo Culture	Kerava	Biohiili	1 000 t/v	Koelaitos
Outokumpu	Tornio	Biohiilen briketöintilaitos	25 000 t/v	Käynnistymässä
	Sassnitz, Saksa	Biohiili	15 000 t/v	Suunnitelussa (tavoitteena 2026)
Joensuun Biocoal	Joensuu	Torrefioitu biomassa / kivihiilen korvaus teollisissa käytöissä	60 000 t/v	Käynnistynyt 2025
Karelian Paju	Kontiolahti	Biohiili	4 600 t/v	Käynnistymässä
Xylogas	Inkoo	Biohiili + synteesikaasua	Koelaitos	Käynnistynyt
Stora Enso & CarbonScape	Kotka	Kovahiili / akkuihin	Koelaitos	Kovahiilen valmistusta on kehitetty ja pilotoitu jo useiden vuosien ajan, ja kaupallisen tuotannon on tarkoitus käynnistyä vuonna 2027.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

4.3.2 Bio- ja aktiivihiilen käyttö Suomessa

Biohiilen mahdollisuus korvata nykyisiä tuotteita eri loppukäytöissä on arvioitu seuraavissa kappaleissa. Osa tiedoista on saatu haastattelemalla alan toimijoita.

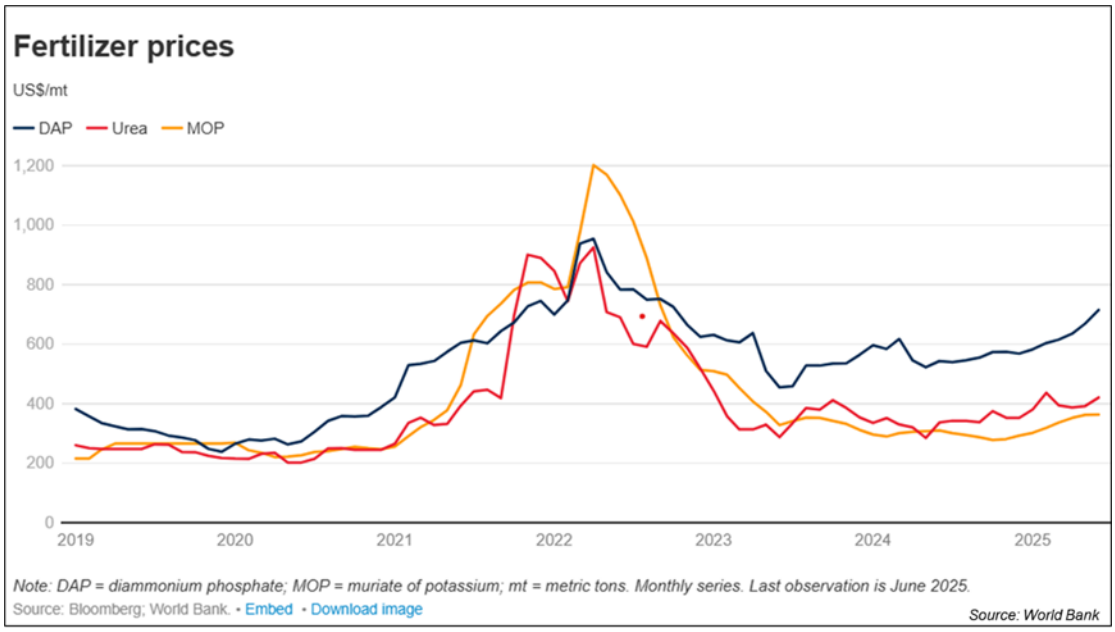
Maanparannus

Suomessa biohiilen maanparannuskäyttö suuntautuu pääasiassa kuluttajille sekä viherrakentamiseen kunnissa ja kaupungeissa

Maataloudessa biohiilen käyttö on toistaiseksi ollut lähinnä kokeilu- ja tutkimusperusteista. Biohiilen käyttöönotto maataloudessa ei ole kehittynyt. Tilannetta on pyritty helpottamaan ottamalla biohiili mukaan vapaaehtoisen päästökaupan piiriin. Tavoitteena on, että biohiilen valmistaja voi hankkia lisätuloa myymällä hiilikrediittejä, jolloin edellytykset alhaisemmalle biohiilen hinnalle syntyisi. Tämä on parantanut tilannetta monissa maissa, mutta ei toistaiseksi Suomessa tai muissa Pohjoismaissa.

Biohiilen käyttö viherrakentamisessa on kiinnostanut kuntia ja kaupunkeja, sillä kaupunkialueilla kasveilla ja katupuilla on usein rajallinen kasvualusta, ja kasvualustan halutaan myös pidättävän tai suodattavan hulevesiä, lisäksi biohiiltä on käytetty mm. viherkatoilla. Suomessa jo yli 30 kuntaa tai kaupunkia on tehnyt biohiilikokeiluja (jo ennen vuotta 2018). Lisäksi Viherympäristöliitto (2023) on julkaissut biohiilioppaan, jossa on esimerkkejä biohiilen käytöstä. Biohiilen käyttö kaupungeissa onkin lupaavassa kehityksessä mikä tukee kaupunkien ilmastotavoitteita.

Biohiilen nykyinen hinta maanparannuskäytössä on tällä hetkellä noin 150–300 EUR/m³ tai 1000–2000 EUR/t. Merkittävän maanparannustuotteita valmistavan suomalaisyrityksen mukaan biohiilen hinnan tulisi olla alle 100 EUR/m³ tai alle 650 EUR/t, jotta kysyntä kasvaisi merkittävästi nykyisestä. Biohiili ei maanparannuskäytössä korvaa olemassa olevaa tuotetta, paitsi tietyissä tapauksissa keinotekoisia kastelukiteitä. Toisaalta, mikäli biohiileen lisätään ravinteita tai se valmistetaan ravinteita sisältävistä raaka-aineista siten että ravinteet säilyvät biohiilessä kasveille käyttökelpoisina se voisi korvata tavanomaisia lannoitteita. Lannoitteiden hinta on ollut n. 350–600 EUR/t (Kuva 13).

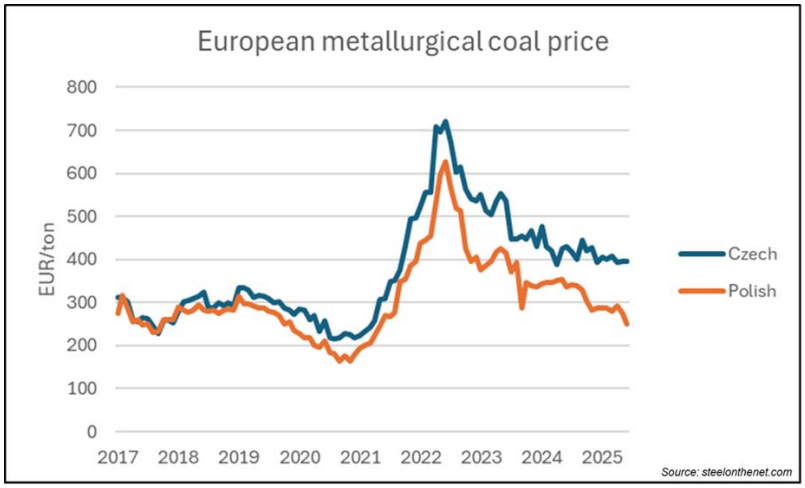


Kuva 13 Lannoitteiden hintakehitys.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Metallinjalostus

Biohiili voidaan käyttää metallienjalostuksessa pelkistimenä. Kaikki Suomen metallienjalostustehtaat ovat selvittäneet tai ovat selvittämässä biohiilen käyttöä vaihtoehtona päästöjensä vähentämiseksi EU:n ilmaisten päästöoikeuksien asteittaisen poistumisen johdosta. Tuotannollisissa koeajoissa on todettu, että fossiilinen hiili voidaan korvata osittain biohiilellä. Metallurgisen koksin hinta tällä hetkellä on n. 300–400 EUR/t (Kuva 14) ja EU:n päästöoikeuden hinta n. 75 EUR/t CO_2 (Kuva 15), jolloin metallurgisen koksin käytön kokonaishinnaksi tulee n. 500–600 EUR/t, jos ilmaisia päästöoikeuksia ei ole. EU:n ympäristötavoitteiden ja ilmaisten päästöoikeuksien luopumisen aikataulu vaikuttavat kuitenkin metalliteollisuuden päätöksiin hankkia korvaavia valmistusmenetelmiä. Biohiilen käyttö pelkistimenä edellyttää, että biohiili voidaan sopivalla tavalla syöttää, joko injektoimalla tai sekoittamalla koksin sekaan, prosessiin sekä että biohiili reagoi kemiallisesti metallienjalostusprosessissa sopivalla ja hallittavalla tavalla. Metallinjalostusprosessit ovat tehdaskohtaista ja näin ollen biohiili täytyy muokata asiakaskohtaisesti.



Kuva 14 Metallurgisen koksin hintakehitys.

Kuva 15 EU:n päästöoikeuksien hintakehitys.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Aktiivihiilen kasvupotentiaali

Aktiivihiilen käyttö Suomessa on arviolta noin 3 000–5 000 tonnia vuodessa. Suurimmat käyttökohteet liittyvät juoma- ja jätevedenpuhdistukseen. Lisäksi aktiivihiiltä käytetään esimerkiksi jätevoimaloiden kaasunpuhdistukseen ja biokaasulaitoksissa sekä kosmetiikka-, lääke-, juoma- ja elintarviketeollisuudessa. Aktiivihiilen käytön odotetaan kasvavan lähivuosina EU:n 2024 hyväksymän ja uudistetun jätevesidirektiivin seurauksena, jossa erityisesti suurten puhdistamoiden velvoitteet laajentuvat haitta-aineiden, eli nk. mikroepäpuhtauksien (ml. PFAS) poistamiseen. Direktiivissä esitetään myös laajennettua tuottajavastuuta lääke- ja kosmetiikkateollisuudelle, joiden käytön myötä yhdyskuntajätevesiin päätyy mikroepäpuhtauksia. Mikroepäpuhtauksien poistoon käytettävien teknologiavaihtoehtoihin kuuluu aktiivihiilen käyttö, joko granuloituna tai jauheena. Tämä tulee todennäköisesti kasvattamaan aktiivihiilen käyttöä jätevesien puhdistuksessa Suomessa ja muualla Euroopassa.

Aktiivihiilen tuonti Suomeen vuonna 2024 oli n. 4 500 tonnia ja tuonnista n. 75 % tuli Aasiasta (Taulukko 20). Tuonnin keskimääräinen hinta oli hieman alle 2 000 EUR/tonni aktiivihiiltä. Samanaikaisesti aktiivihiilen vienti Suomesta oli n. 5 000 tonnia. Lukuihin voi sisältyä mm. Neovan aktiivihiilen vientiä sekä varastoitujen aktiivihiilien myyntiä. Esimerkiksi vuosina 2021 ja 2022 aktiivihiilen tuonti Suomeen oli 9–10 000 t/a. Suurempi kysyntä johtui todennäköisesti koronan aiheuttamasta kasvusta hengityssuojainten kysynnässä.

Taulukko 20 Aktiivihiilen tuonti ja vienti Suomeen 2024 (Lähde: Uljas tullitilasto).

Aktiivihiilen tuonti Suomeen 2024		
Tuontimaa	**Tonneja**	**EUR/t**
Kiina	1 093	2 045
Sri Lanka	1 013	1 457
Intia	826	1 325
Belgia	531	1 667
Saksa	329	1 307
Filippiinit	132	1 076
Indonesia	121	2 051
Puola	70	3 725
Ruotsi	67	1 766
Alankomaat	47	5 119
Yhdysvallat	41	3 733
Italia	27	3 698
Iso-Britannia	26	9 799
Muut maat	23	16 021
Yhteensä	**4 346**	**1 843**

Aktiivihiilen vienti Suomesta 2024		
Vientimaa	**Tonneja**	**EUR/t**
Alankomaat	1 992	1 630
Saksa	981	748
Ruotsi	750	1 770
Ranska	253	1 738
Italia	239	1 197
Yhdysvallat	185	1 719
Viro	65	1 643
Sri Lanka	46	1 651
Turkki	45	712
Liettua	33	1 409
Iso-Britannia	26	1 270
Espanja	21	1 494
Muut maat	2	9 917
Yhteensä	**4 637**	**1 444**

Aktiivihiilituotteita on lukuisia ja markkina hyvin pirstoutunut loppukäytön vaatimusten mukaan. Loppukäytön laatuvaatimukset ovat tyypillisesti yritys-/tapauskohtaisia, koska prosessi on usein räätälöity loppukäyttökohtaisesti.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Bio- ja aktiivihiilen markkinapotentiaali Suomessa

Yhteenvetona edellisestä on taulukossa 21 esitetty arvio valikoiduista bio- ja aktiivihiilen kysynnästä Suomessa. Luvut perustuvat haastatteluihin ja nykyisten toimijoiden esittämiin arvioihin.

Taulukko 21 Arvio aktiivi- ja biohiilen nykymarkkinoista Suomessa sekä loppukäyttöjen kasvupotentiaalista.

Loppukäyttö	Markkina kt/v	Kasvupotentiaali kt/v	Yhteensä kt/v	Tuote
Tuorevedenpuhdistus	0,2–0,5	0,1–0,3	0,3–0,8	Aktiivihiili
Kunnallinen jätevedenpuhdistus	2–3	1–2	3–4	Aktiivihiili
Savukaasujen puhdistus	1–2	0,2–0,4	1–2	Aktiivihiili
Elintarvike- ja juomateollisuus	0,5	0,2	0,7	Aktiivihiili
Muu teollinen puhdistus	0,8–1,2	0,2–0,4	1–2	Aktiivihiili
Aktiivihiili yhteensä	**4,5–7**	**1,7–3,3**	**6–10**	
Metalliteollisuus		150–200	150–200	Biohiili
Maanparannus (kuluttajat ja viherrakentaminen)	2 – 3	4 – 5	6 - 8	Biohiili
Biohiili yhteensä	**2 - 3**	**154 – 205**	**156 - 208**	

4.3.3 Tilannekatsaus Pohjoismaista

Pohjoismaissa biohiilen tuotanto ja käyttö ovat kehittyneet eri painotuksin, mutta kaikille yhteistä on markkinoiden varhainen vaihe ja vahva potentiaali osana ilmastopolitiikkaa, kiertotaloutta ja teollisuuden päästövähennystavoitteita. Alla on kuvattu ajankohtaisia tietoja Pohjoismaisista markkinoista sekä alan yrityksistä. Lähteenä on hyödynnetty Nordic Biochar Network (2025) saatua esitystä ”*Production and use of biochar in the Nordics, status 2023*”. Lisäksi taulukossa 22 on esitetty biohiilialan arvoketjun toimijoita eri Pohjoismaista.

Suomi

Outokumpu on ollut viime aikoina yksi näkyvimmistä toimijoista biohiilialalla. Outokumpu on investoinut Torniossa noin 30 miljoonaa euroa rakentaakseen 25 000 t/v biohiiltä briketoivan tehtaan, jonka on arvioitu käynnistyvän vuoden 2025 aikana. Lisäksi yritys on hankkinut 20 % osuuden ruotsalaisesta Envigasista, jonka kanssa suunnitelmana on käynnistää 25 000 t/v biohiiltä tuottava tehdas vuoden 2026 aikana ja kasvattaa tuotantoa 150 000 t/v:ssa vuoteen 2030 mennessä. Outokumpu on myös tehnyt 40 miljoonan euron investoinnin Saksan Sassnitzxiin rakennettavaan 15 000 t/v jätepuuta raaka-aineena käyttävään biohiililaitokseen, jonka on tarkoitus käynnistyä vuoden 2026 alussa (Lähde: Outokummun tiedotteet).

Kemira on laajentanut vedenkäsittelyn liiketoimintaansa aktiivihiilimarkkinaan ostamalla Noritin aktiivihiilen uudelleenaktivointiliiketoiminnan Isossa-Britanniassa (Purton Carbons Limited) vuonna

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

2024. Lisäksi Kemira (2025) valmistelee uuden aktiivihiilen uudelleenaktivointilaitoksen rakentamista Helsingborgiin ja laitoksen arvioidaan olevan toiminnassa vuoden 2027 jälkipuoliskolla, mikäli lupa- ja investointipäätökset etenevät suunnitellusti.

Neova on käynnistänyt aktiivihiilen tuotannon Ilomantsissa vuonna 2023. Ensimmäisen tuotantolinjan kapasiteetti on noin 5 000 t/v, ja tuotantoa on tarkoitus vaiheistaa laajentamalla kapasiteettia sekä mahdollisesti perustamalla uusia tuotantolaitoksia esimerkiksi Seinäjoelle ja Haapavedelle. Neovan mukaan aktiivihiili kuuluu sen uusiin turvepohjaisiin biotuotteisiin, joilla haetaan kasvua perinteisen energiaturpeen liiketoiminnan jälkeen.

Carbo Culture on puolestaan yksi merkittävimmistä suomalaislähtöisistä biohiilen ja hiilensidontaratkaisujen startup-yrityksistä. Yhtiö keräsi noin 18 miljoonan dollarin (n. 16–17 M€) Series A -rahoituksen marraskuussa 2023 kaupallistamisen ja ensimmäisen teollisen mittakaavan laitoksen kehittämiseksi. Carbo Culture siirtyi vuonna 2025 kaupallisten laitosten toteutusvaiheeseen, ja sen tavoitteena on saavuttaa kymmenien tuhansien tonnien CO_2-poistokapasiteetti vuositasolla. Yritys avasi vuonna 2023 myös pilottilaitoksen Keravalla.

Ruotsi

Ruotsi on biohiilen kehityksessä Pohjoismaiden edelläkävijä erityisesti kaupunkien viherrakentamisessa. Tukholman kaupunki on vuodesta 2009 lähtien käyttänyt biohiiltä laajasti mm. puiden kasvualustoissa, ja malli on sittemmin levinnyt muihin kuntiin. Ruotsissa kysyntä ylittää nykyisen tarjonnan, minkä vuoksi biohiiltä tuodaan myös Suomesta ja Saksasta. Ruotsissa toimii sekä pieniä maatilakohtaisia pyrolyysiyksiköitä että suurempia teollisia laitoksia. Merkittäviä tuottajia ovat mm. Envigas, NSR AB sekä useat maatilat, jotka valmistavat biohiiltä pienessä mittaluokassa. Biohiiltä käytetään kaupunkipuutarhanhoidon lisäksi mm. terästeollisuudessa, vedenpuhdistuksessa ja uusissa tuotteissa kuten biohiililisätyissä betonituotteissa.

Norja

Norjan biohiilimarkkinat keskittyvät erityisesti metallurgiseen teollisuuteen fossiilisen hiilen korvaamiseksi. Alan johtava toimija VOW Green Metals rakentaa parhaillaan yhtä Euroopan suurimmista tuotantolaitoksista (ensimmäisessä vaiheessa 10 000 t/v biohiiltä metallurgiseen käyttöön). Lisäksi WAI Environmental Solutions tähtää 10 000 tonnin vuosituotantoon ja useat pienemmät toimijat, kuten OBIO, JordPro ja Sandnesin kaupunki, tuottavat biohiiltä paikallisiin tarpeisiin. Tutkimus keskittyy erityisesti metallurgisiin sovelluksiin, pyrolyysiprosessien mallinnukseen sekä ympäristövaikutusten arviointiin. Norjassa toimii kansallinen biohiiliverkosto Norsk Biokullnettverk, joka yhdistää alan toimijoita ja vahvistaa tutkimuksen, teollisuuden ja kaupunkien yhteistyötä.

Tanska

Tanskassa biohiili on noussut osaksi kansallista ilmastostrategiaa. Vuonna 2024 hallitus ja teollisuus käynnistivät yli miljardin euron ohjelman maatalouden päästöjen vähentämiseksi biohiilen avulla. Tavoitteena on saavuttaa 1,8–2 miljoonan CO_2-tonnin vähennykset vuoteen 2030 mennessä. Koska maassa ei ole merkittävästi puupohjaista biomassaa, biohiilituotanto perustuu erityisesti maatalouden sivuvirtoihin, kuten olkeen, lantaan ja jätevesilietteeseen. Vaikka tuotanto on toistaiseksi pääosin pilottivaiheessa, useita suuria laitoksia on rakenteilla. Merkittäviä toimijoita ovat mm. Stiesdal/SkyClean, AquaGreen (jätevesiliete), Frichs Pyrolysis (kanalanta, biokaasujäännökset), Organic Fuel Technology (mikroaaltopyrolyysi) ja Dall Energy

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Taulukko 22 Esimerkkejä Pohjoismaisista yrityksistä, jotka toimivat biohiilen ja aktiivihiilen alalla

Maa	Yritys	Toimiala
Suomi	Biolan	Tuottaja / välittäjä
	Carbo Culture	Tuottaja / pilottivaihe
	Carbofex	Tuottaja / teknologian myynti
	GRK	Tuottaja / käyttäjä
	Karelian Paju	Tuottaja
	Neova	Tuottaja, aktiivihiili
	Outokumpu	Tuottaja (Saksa), käyttäjä
	PUHI	Tuottaja
	SoilCare	Tuottaja / teknologian myynti
	Xylogas	Tuottaja
	Stora Enso	Akkuhiilen kehitys
	Kemira	Aktiivihiilen regenerointi
	Carbon Balance	Laitetoimittaja
	Carbons Finland	Välittäjä / myynti
	Torrec	Teknologian kehitys ja myynti
	Elementic	Käyttäjä
Ruotsi	Envigas	Tuottaja
	Bussme Energy	Tuottaja
	ECOERA	Tuottaja
	NSR	Tuottaja
	Skånefrö	Tuottaja
	Waila	Tuottaja
	Ecotopic	Konsultti, teknologia ja käyttö
	Jacobi Carbons AB	Aktiivihiilen myynti
	MEVA energy	Teknologian myynti
Norja	VOW Asa	Tuottaja / teknologia- ja laitetoimittaja
	OBIO	Tuottaja
	ØRAS	Tuottaja
	StandardBio	Tuottaja
	WAI Solutions	Tuottaja
	Elkem	Käyttäjä
Tanska	Stiesdal/SkyClean	Tuottaja / teknologia- ja laitetoimittaja
	Dall Energy	Tuottaja
	Mash Makes	Tuottaja
	Aquagreen	Teknologian myynti

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

5 Johtopäätökset ja suositukset

Biohiilen markkina on kehittymässä nopeasti, mutta on vielä varhaisessa kaupallistamisvaiheessa. Biohiilen globaali kysyntä hiiltä varastoivissa käyttökohteissa on vielä alhainen, n. 200 MEUR vuonna 2023, mutta markkina on 2021–25 kasvanut 20–30 %/v ja odottaa todellista läpimurtoa. Aktiivihiilen markkina v. 2024 oli n. 6 mrd EUR. Aktiivihiilen markkina on kypsä ja kasvaa tasaisesti 5–10 %/v lisäsääntelyn sekä veden- ja ilmanpuhdistuksen tarpeiden ajamana.

Ilmastonmuutoksen haasteet toimivat biohiilimarkkinan kasvun ajurina. Ympäristöpäästöjä voidaan vähentää korvaamalla fossiilista hiiltä biohiilellä esim. metallinjalostusteollisuudessa ja sitomalla hiiltä biohiilen muodossa maaperään sekä tulevaisuudessa voidaan myös lisätä biohiiltä betoniin. Tässä raportissa arvioiduista puu- ja agropohjaisista sivuvirroista voitaisiin tuottaa noin 1,3 miljoonaa tonnia biohiiltä vuodessa, mikä vastaisi euroissa miljardiluokan liikevaihtoa ja esimerkiksi maanparannuskäytössä 3,8 Mt CO_2:n pysyviä poistoja eli noin 9 % Suomen päästöistä. Tämä edellyttäisi kuitenkin merkittäviä investointeja ja markkinamuutoksia.

Raaka-ainepotentiaali biohiilen valmistamiseksi Suomessa on hyvä. Biohiilen kysyntää ei rajoita raaka-aineen saanti vaan markkinan kehittyminen. Edellytys markkinan kasvulle on, että biohiili on kustannusmielessä kilpailukykyinen vaihtoehto. Tämä edellyttää, että voidaan hyötyä suuruuden ekonomiasta ja nykyiseen verrattuna isoista biohiililaitoksista. Uuden investoinnin teknologisen ja taloudellisen riskin vähentämiseksi olisi suotavaa, että erityisesti pilotti- ja demolaitoksille voidaan myöntää investointiavustuksia. Kehityksen alkuvaiheessa tulisi pystyä toteamaan, että tuote ja teknologia toimii, sekä tuotannollisesti että loppukäytössä ja näin saada hyvä referenssilaitos. Hyödyntämällä pyrolyysissä syntyvä pyrolyysikaasu Suomen ainutlaatuisessa kuntakeskusten kaukolämpöverkostossa antaa suomalaiselle toimittajalle kilpailuetua ja mahdollistaa kilpailukykyisen vientituotteen myynnin.

Biohiililiiketoiminnan kehittämiseksi tarvitaan yhteistyötä arvoketjun toimijoiden välillä ml. yritykset ja tutkimuslaitokset, jotta biohiilen laatu saadaan vastaamaan loppukäyttövaatimuksia (metallinjalostus, maanparannus, suodatuskäyttö ja rakennusmateriaalit). Suomeen on hyvät edellytykset perustaa biohiileen perustuvaa liiketoimintaa olemassa olevien biotalouden arvoketjujen osaksi, ne täytyisi vain saada aktivoitua ja toimimaan yhdessä sekä varmistaa että arvoketju on skaalattavissa ja että arvoketjussa on vahva veturiyritys.

Aktiivihiilen markkinan kasvu on 5–10 % ja kasvaa uuden vesienpuhdistusdirektiivin myötä. Jotta Suomi voisi hyötyä markkinan kasvusta tulisi ensisijaisesti panostaa tuotekehitykseen ja kehittää suomalaisen biomassan soveltuvuutta aktiivihiilen eri käyttökohteisiin. Aktiivihiilen markkina on vakiintunut, päinvastoin kuin biohiilimarkkina. Fossiilisen aktiivihiilen korvaaminen luo potentiaalia biopohjaiselle aktiivihiilelle.

Suurin lisäarvo voidaan todennäköisesti saavuttaa akkuhiilen loppukäytöissä, mutta laatuvaatimukset akkuhiilen loppukäytöissä ovat hyvin vaativia. Haasteet biopohjaisen akkuhiilen markkinan kasvulle ovat mm. korvaavan tuotteen luotettavuus, tasalaatuisuus, toimivuus ja hinta verrattuna fossiiliseen hiileen sekä tästä syystä asiakkaan valmius vaihtaa nykyisen käytetyn akun rakennetta biopohjaiseen akkuhiileen.

Määrätietoisella lähestymistavalla Suomi voi biohiililiiketoiminnalla tuottaa merkittävää lisäarvoa biotalouteen ja luoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Suomella on potentiaalia saavuttaa johtava asema biohiilen teknologiassa, valmistuksessa, käytössä ja viennissä.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Suosituksia biohiilimarkkinoiden kehittämiseksi

Taloudelliset kannustimet ja T&K
Biohiilen tuotannon alkuinvestointeja voitaisiin helpottaa tuntuvalla ja määräaikaisella investointituella, joka nopeuttaisi teknologian käyttöönottoa ja madaltaisi investointipäätöksiä. Lisäksi valtion takaamat lainat (1–10 MEUR) tukisivat erityisesti pk-yrityksiä. T&K rahoitusta tulisi painottaa tutkimukseen matalan TRL-tason hankkeisiin ja kehitykseen korkean TRL-tason hankkeisiin ja pilotointiin.

Sääntelyn kehittäminen
Nykyinen kemikaali- ja jätelainsäädäntö rajoittaa biohiilen tuotantoa ja kasvattaa kustannuksia. Biohiili tulisi vapauttaa REACH-sääntelystä ja biohiilen tuotanto tunnistaa omaksi laitosluokaksi. Luvitusta tulisi joustavoittaa, esimerkiksi vapauttamalla pienet laitokset ympäristöluvituksesta biomassakattiloiden tapaan. Biohiilelle tulisi luoda yhtenäiset end-of-waste-kriteerit, jotta jätepohjaisia raaka-aineita voidaan hyödyntää tehokkaasti laadukkaan biohiilen tuotannossa.

CO_2-päästöjen hinnoittelu ja EU-vaikuttaminen
Biohiilen kilpailukykyä voidaan parantaa ottamalla käyttöön sisäinen hiilidioksidin hinta myös EU ETS -järjestelmän ulkopuolisille sektoreille, esimerkiksi julkisissa hankinnoissa. EU:ssa on käynnissä useita hiilenpoistoon liittyviä aloitteita, joista biohiilen kannalta keskeisin on CRCF. Suomen etu olisi varmistaa teknologianeutraali lähestymistapa, jossa biohiili tunnistetaan tasavertaiseksi ratkaisuksi muiden hiilenpoistoteknologioiden rinnalla.

Biohiilimarkkinoiden kehittäminen
Biohiilen kysyntää voidaan vauhdittaa sekoitevelvoitteella lannoite- ja kasvualustatuotteissa, joissa se korvaa turvetta ja lisää hiilivarastoja. Rakennusmateriaaleissa (betoni, asfaltti) biohiilen käyttöönottoa ja siihen liittyvää TKI toimintaa tukea. Lisäksi Suomen osallistumista kansainväliseen standardointityöhön (ISO TC238) tulisi tukea.

Raaka-aineet
Lainsäädännön tulisi ohjata vähäisen energiasisällön syötteet, kuten jätevesiliete ja mädätysjäännös, polton sijaan pyrolyysiin. Tämä tukisi ravinteiden kierrätystä ja hiilivarastojen rakentamista. Erityisesti jätevesilietteen pyrolyysi ansaitsee tukea, sillä prosessi hajottaa haitallisia aineita, edistää ravinteiden talteenottoa ja tuottaa lietehiiltä, joka on jo hyväksytty lannoitelainsäädännössä.

Kaupungit ja kunnat
Kaupungit ja kunnat ovat keskeisiä toimijoita biohiilen käytön edistämisessä osana ilmastotavoitteita, joiden työtä voisi tukea strategisesti (maankäyttö / luvitus).

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

6 Lähdeviitteet

Ajien A, Idris J, Md Sofwan N, Husen R, Seli H. Coconut shell and husk biochar: A review of production and activation technology, economic, financial aspect and application. Waste Manag Res. 2023 Jan;41(1):37-51. doi: 10.1177/0734242X221127167.

Alakangas, E. (2000). Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2016/T258.pdf

Anttila, P., Nivala, V., Hirvelä, H., Laitila, J. & Sikanen, L. (2021). Metsähakkeen riittävyys energiaturpeen korvaajana. Luonnonvarakeskus. Loppuraportti.

Araújo Santos, J., Isidoria Silva Gonzaga, M., Melo dos Santos, W., & José da Silva, A. (2022). Water retention and availability in tropical soils of different textures amended with biochar. CATENA, 219, 106616. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106616

Basu, P. (2013). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. Elsevier Science & Technology. https://doi.org/10.1016/C2011-0-07564-6

BCC Research (2022). Coal: Global markets (Report Code: AVM230A). BCC Publishing.

BCC Research (2023). Global Biochar Market. Haettu osoitteesta https://corporate.bccresearch.com/market-research/advanced-materials/biochar-market.html

BCC Research. (2025). Activated carbon: Types and global markets. Haettu osoitteesta https://corporate.bccresearch.com/market-research/advanced-materials/activated-carbon-types-and-global-markets-report.html

Bergna, D., Varila, T., Romar, H., & Lassi, U. (2018). Comparison of the Properties of Activated Carbons Produced in One-Stage and Two-Stage Processes. C, 4(3). https://doi.org/10.3390/c4030041

Biochar Europe. (2025). European biochar market report 2024/2025. Haettu 14.9.2025 osoitteesta https://www.biochareurope.eu/resources/4th-european-biochar-market-report-2024-2025

Bioenergia. (2025). Bioenergia ry: Biohiili. Haettu osoitteesta https://www.bioenergia.fi/biohiili/

Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M. L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizábal, T., Sigua, G., Spokas, K., Ippolito, J. A., & Novak, J. (2019). Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N2O emissions: A meta-analysis. Science of The Total Environment, 651, 2354–2364. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.060

Chen, J. (2021). Advanced conductive agents: Global markets (Report Code: NAN067A). BCC Publishing.

Child, M., Industrial-scale hydrothermal carbonization of waste sludge materials for fuel production, Master Thesis, Lappeenranta University of Technology, 2014. https://www.researchgate.net/publication/264197007

EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EU) 2024/1252, annettu 11 päivänä huhtikuuta 2024, puitteiden vahvistamisesta kriittisten raaka-aineiden turvatun ja kestävän tarjonnan varmistamiseksi ja asetusten (EU) N:o 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 ja (EU) 2019/1020 muuttamisesta. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401252

Fan, X., Kong, X., Zhang, P., & Wang, J. (2024). Research progress on hard carbon materials in advanced sodium-ion batteries. Energy Storage Materials, 69, 103386. https://doi.org/10.1016/j.ensm.2024.103386

Fu, J., Kang, Q., Ao, W., Wahab, N., Mao, X., Ran, C., Liu, Y., Liu, G., Ellis, N., & Dai, J. (2023). Comparison and analysis of one- and two-step activation for preparation of activated carbon from furfural residues. Biomass Conversion and Biorefinery, 13(6), 4681–4694. https://doi.org/10.1007/s13399-021-01439-4

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Fu, Y., Shen, Y., Zhang, Z., Ge, X., & Chen, M. (2019). Activated bio-chars derived from rice husk via one- and two-step KOH-catalyzed pyrolysis for phenol adsorption. Science of the Total Environment, 646, 1567–1577. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.423

Funke, A., & Ziegler, F. (2010). Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 4(2), 160–177. https://doi.org/10.1002/bbb.198

Grand View Research. (2023). Carbon black market size, share & growth report, 2030 (Report ID: 978-1-68038-802-2). Haettu osoitteesta https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/carbon-black-market

Grand View Research. (2025a). Global carbon fiber market size & outlook, 2024–2030. Haettu osoitteesta https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/carbon-fiber-market-size/global

Grand View Research. (2025b). Graphite market size, share & trends: Industry report, 2033 (Report ID: GVR-4-68040-142-0). Haettu osoitteesta https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/graphite-market-report

Handiso, B., Pääkkönen, T., & Wilson, B. P. (2024). Effect of pyrolysis temperature on the physical and chemical characteristics of pine wood biochar. Waste Management Bulletin, 2(4), 281-287. https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.11.008

Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., Kammann, C., & Abalos, D. (2016). Biochar effects on methane emissions from soils: A meta-analysis. Soil Biology and Biochemistry, 101, 251–258. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.07.021

Joensuu Biocoal Oy. (2025). Yrityksen kotisivu. https://www.joensuubiocoal.fi/

Karan, S. K., Woolf, D., Azzi, E. S., Sundberg, C., & Wood, S. A. (2023). Potential for biochar carbon sequestration from crop residues: A global spatially explicit assessment. GCB Bioenergy, 15(12), 1424–1436. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcbb.13102

Korpijärvi, K., Björnström, M., Karlsson, M., Raitila, J., Virkkunen, M., & Hurskainen, M. (2021). Biohiilen valmistus ja käyttö turvetta korvaavana tukipolttoaineena bioenergian tuotannossa. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti VTT-R-717-21. https://doi.org/VTT-R-717-21

Koukkari, P., Arpiainen, V., Wendling, L., Karlsson, M., Björnström, M. Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen kilpailukyvyn lisäämiseksi ja kannattavuuden parantamiseksi – PreCoal. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. VTT tutkimusraportti VTT-R-6377-17

Lawtae, P., & Tangsathitkulchai, C. (2021). The Use of High Surface Area Mesoporous-Activated Carbon from Longan Seed Biomass for Increasing Capacity and Kinetics of Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solution. Molecules (Basel, Switzerland), 26(21). https://doi.org/10.3390/molecules26216521

Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). Biochar for environmental management: Science, technology and implementation (2nd ed.). Routledge.

Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 11(2), 403–427. https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5

Li, C., Xiong, Y., Qu, Z., Xu, X., Huang, Q., & Huang, G. (2018). Impact of biochar addition on soil properties and water-fertilizer productivity of tomato in semi-arid region of Inner Mongolia, China. Geoderma, 331, 100–108. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.06.014

Libra, J. A., Ro, K. S., Kammann, C., Funke, A., Berge, N. D., Neubauer, Y., Titirici, M.-M., Fühner, C., Bens, O., Kern, J., & Emmerich, K.-H. (2011). Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. Biofuels, 2(1), 71–106. https://doi.org/10.4155/bfs.10.81

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Lopes, G. K. P., Zanella, H. G., Spessato, L., Ronix, A., Viero, P., Fonseca, J. M., Yokoyama, J. T. C., Cazetta, A. L., & Almeida, V. C. (2021). Steam-activated carbon from malt bagasse: Optimization of preparation conditions and adsorption studies of sunset yellow food dye. Arabian Journal of Chemistry, 14(3), 103001. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103001

Luonnonvarakeskus. (2025a). Puun energiakäyttö vuonna 2024. https://www.luke.fi/fi/tilastot/puun-kaytto/puun-energiakaytto-2024-ennakko

Luonnonvarakeskus. (2025b). Puun kulkuvirrat 2023. https://www.luke.fi/fi/tilastot/puun-kulkuvirrat/puun-kulkuvirrat-2023

Market Research Intellect. (2025). Global Pyrolysis Equipment Market Size (Raportti ID 1072111). Haettu osoitteesta https://www.marketresearchintellect.com/product/pyrolysis-equipment-market/

Mašek, O. (2013). Biochar and Carbon Sequestration. Teoksessa Fire Phenomena and the Earth System (ss. 309–322). https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118529539.ch16

Mochizuki, Y., Bud, J., Byambajav, E., & Tsubouchi, N. (2025). Pore properties and CO2 adsorption performance of activated carbon prepared from various carbonaceous materials. Carbon Resources Conversion, 8(1), 100237. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crcon.2024.100237

Mohanty, S. K., Valenca, R., Berger, A. W., Yu, I. K. M., Xiong, X., Saunders, T. M., & Tsang, D. C. W. (2018). Plenty of room for carbon on the ground: Potential applications of biochar for stormwater treatment. Science of The Total Environment, 625, 1644–1658. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.037

Niinistö, T., Anttila, P., Sikanen, L., Kärhä, K. & Routa, J. (2025). Estimating future consumption of forest chips based on insights from energy producers: a case study for Finland. Scandinavian Journal of Forest Research, DOI:10.1080/02827581.2025.2491450

Nordic Biochar Network. (2025). Nordic Biochar Network. Haettu osoitteesta https://www.nordicbiochar.org/

Nyström, M., Mobile biomass HTC-processing unit, Master Thesis, Aalto University, 2016. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/23643/master_Nystr%c3%b6m_Max_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Okabe, J., Fang, Y., Moriguchi, I., & Furó, I. (2025). Structural evolution by heat treatment of soft and hard carbons as Li storage materials: A joint NMR/XRD/TEM/Raman study. Journal of Materials Chemistry A, 13(19), 13962–13975. https://doi.org/10.1039/D4TA08096C

P. Márquez, A. Benítez, A.F. Chica, M.A. Martín, A. Caballero, Evaluating the thermal regeneration process of massively generated granular activated carbons for their reuse in wastewater treatments plants, Journal of Cleaner Production, Volume 366, 2022, 132685, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132685.

Prabowo, J., Lai, L., Chivers, B., Burke, D., Dinh, A. H., Ye, L., Wang, Y., Wang, Y., Wei, L., & Chen, Y. (2024). Solid carbon co-products from hydrogen production by methane pyrolysis: Current understandings and recent progress. Carbon, 216, Article 118507. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2023.118507

Puro.earth. (2025). CORC Carbon Removal Price Indexes. Haettu 29. syyskuuta 2025, osoitteesta https://puro.earth/corc-carbon-removal-indexes

Radić, D. B., Stanojević, M. M., Obradović, M. O., & Jovović, A. M. (2017). Thermal analysis of physical and chemical changes occurring during regeneration of activated carbon. Thermal Science, 21(6), 2487–2502. https://doi.org/10.2298/TSCI150720048R

Research Nester. 2025. Activated Carbon Market Overview. Haettu 14.9.2025 osoitteesta: https://www.researchnester.com/reports/activated-carbon-market/4492

Research Nester. 2025. Activated Carbon Market Overview. Haettu 29. syyskuuta 2025, osoitteesta https://www.researchnester.com/reports/activated-carbon-market/4492

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Researchandmarkets. (2025). Charcoal Market – Global Forecast 2025-2032 [Markkinaraportti]. Research and Markets. Haettu 14.9.2025 osoitteesta https://www.researchandmarkets.com/report/charcoal?srsltid=AfmBOopmQ3z8FHXPiBDJIswL1mN2OYQ4w5GVwrZeDhDyX49lNuzLFkeP

Riikonen, A. (2019). Biohiili ja sen käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa. Helsingin kaupunki. https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-19-19.pdf

Rodríguez-Reinoso, F. (2002). Production and Applications of Activated Carbons. Teoksessa Handbook of Porous Solids (s. 1766–1827). https://doi.org/10.1002/9783527618286.ch24a

S2Biom. (2017). Database. https://www.s2biom.eu/en/about-s2biom.html

Sevilla, M., & Mokaya, R. (2014). Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage. Energy & Environmental Science, 7(4), 1250–1280. https://doi.org/10.1039/C3EE43525C

Shyam, S., Ahmed, S., Joshi, S. J., & Sarma, H. (2025). Biochar as a Soil amendment: implications for soil health, carbon sequestration, and climate resilience. Discover Soil, 2(1), 18. https://doi.org/10.1007/s44378-025-00041-8

Siipola, V., Pflugmacher, S., Romar, H., Wendling, L., & Koukkari, P. (2020). Low-Cost Biochar Adsorbents for Water Purification Including Microplastics Removal. Applied Sciences, 10(3), 788. https://doi.org/10.3390/app10030788

Siipola, V., Romar, H., & Lassi, U. (2022). 10 - Microplastic removal from water and wastewater by carbon-supported materials (D. Mohan, C. U. Pittman, & T. E. B. T.-S. B. for W. and W. T. Mlsna, Toim.; ss. 361–393). Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822225-6.00007-5

Siipola, V., Sorsamäki, L., Koukkari, P., Karlsson, M., & Björnsröm, M. (2019).: Metsäteollisuuden sivuvirtojen lisäarvon luonti ja liiketoimintapotentiaali. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. VTT tutkimusraportti VTT-R-1290-19

Siipola, V., Tamminen, T., Källi, A., Lahti, R., Romar, H., Rasa, K., Keskinen, R., Hyväluoma, J., Hannula, M., & Wikberg, H. (2018). Effects of biomass type, carbonization process, and activation method on the properties of bio-based activated carbons. Bioresource, 13(3), 5976–6002.

Soinne, H., Keskinen, R., Heikkinen, J., Hyväluoma, J., Uusitalo, R., Peltoniemi, K., Velmala, S., Pennanen, T., Fritze, H., Kaseva, J., Hannula, M., & Rasa, K. (2020). Are there environmental or agricultural benefits in using forest residue biochar in boreal agricultural clay soil? Science of The Total Environment, 731, 138955. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138955

Supercritical. (2024). Boom or Bust? 2024 Biochar Market Outlook [Raportti]. Haettu 14.9.2025 osoitteesta: https://climate.gosupercritical.com/biochar-report/

Tilastokeskus. (2025, 22. toukokuuta). Energiasektorin päästöt laskivat lähes 7 % vuonna 2024 – maankäyttösektori merkittävä päästölähde [Verkkotiedote]. https://stat.fi/julkaisu/cm193ucyn9cjn08w9tbxx6jdn

Viherympäristöliitto. (2023). Biohiiliopas – viher- ja ympäristösuunnitteluun, -rakentamiseen ja kunnossapitoon. https://www.vyl.fi/tietoa-ja-tyokaluja/ohjeet/biohiiliopas-2/

WITS. (2021). European Union – wood charcoal imports, HS 440200 [Trade data]. WITS – World Integrated Trade Solution. Haettu 14.9.2025 osoitteesta https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/EUN/year/2021/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/440200

WITS. (2021). European Union – wood charcoal imports, HS 440200 [Trade data]. WITS – World Integrated Trade Solution. Haettu 14.9.2025 osoitteesta https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/EUN/year/2021/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/440200

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

World Integrated Trade Solution (WITS). (2025). Haettu osoitteesta: https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2023/tradeflow/Imports/partner/WLD/product/380210

Xie, L., Tang, C., Bi, Z., Song, M., Fan, Y., Yan, C., Li, X., Su, F., Zhang, Q., & Chen, C. (2021). Hard Carbon Anodes for Next-Generation Li-Ion Batteries: Review and Perspective. Advanced Energy Materials, 11(38), 2101650. https://doi.org/10.1002/aenm.202101650

Yang, Q., Mašek, O., Zhao, L., Nan, H., Yu, S., Yin, J., Li, Z., & Cao, X. (2021). Country-level potential of carbon sequestration and environmental benefits by utilizing crop residues for biochar implementation. Applied Energy, 282, 116275. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116275

Viitatut tiedotteet:

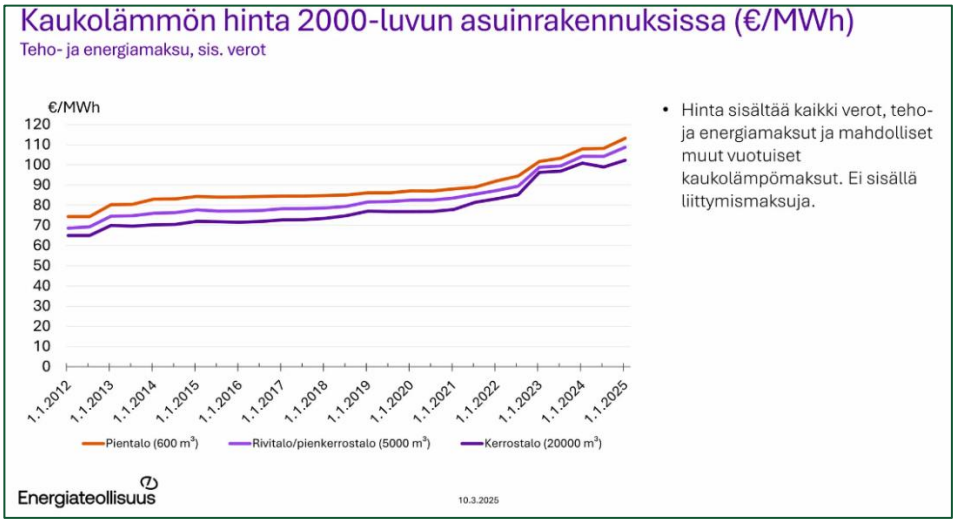
Outokummun tiedote 4.12.2024: https://www.outokumpu.com/fi-fi/news/2024/outokumpu-investoi-biohiilitehtaaseen-saksassa-vahentaakseen-entisestaan-suoria-paastojaan-3524652

Stora Enson tiedote 11.8.2025: https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/news/2025/8/stora-enso-ja-altris-kehittavat-vastuullisia-natriumioniakkuja

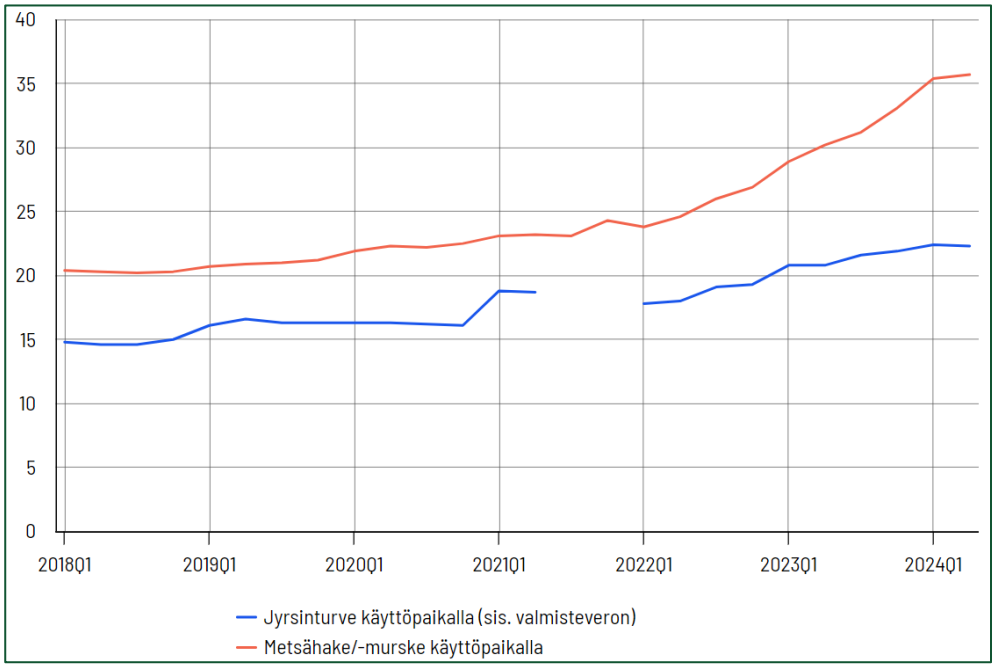
Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

7 Liitteet

Liite 1. Kaukolämmön hintakehitys



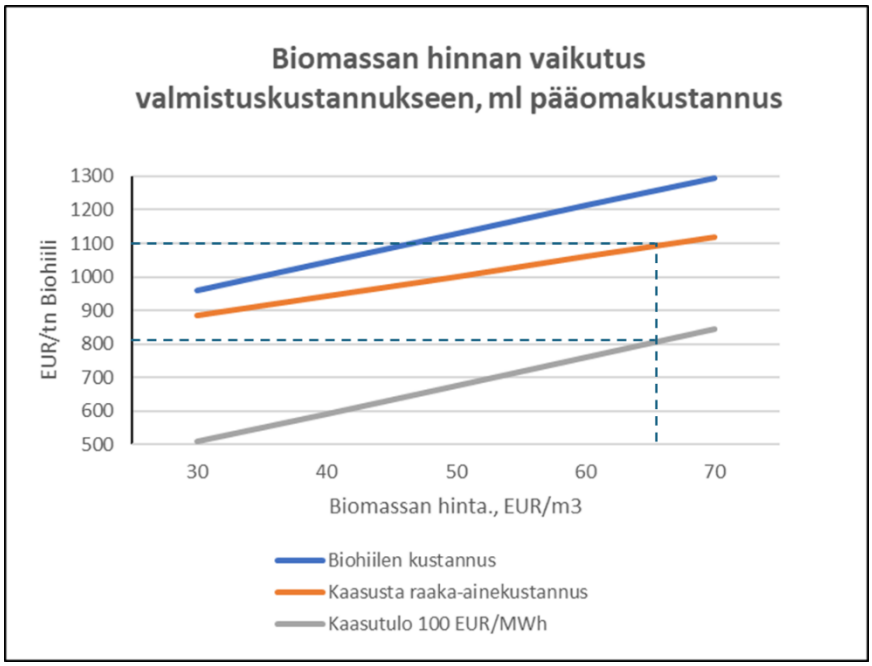
Liite 2. Puupolttoaineiden hintojen kehitys.



Yllä olevista kuvista (Liite 1 ja 2) näkyy kaukolämmön hinnan kehitys ja käytettyjen kotimaisten polttoaineiden hintojen kehitys. Kuten huomataan, lämmöntuotannossa metsähakkeelle muodostuu arvonlisää noin 70 euroa tuotettua megawattituntia kohden eli noin 35 euroa metsähakekuutiota kohden.

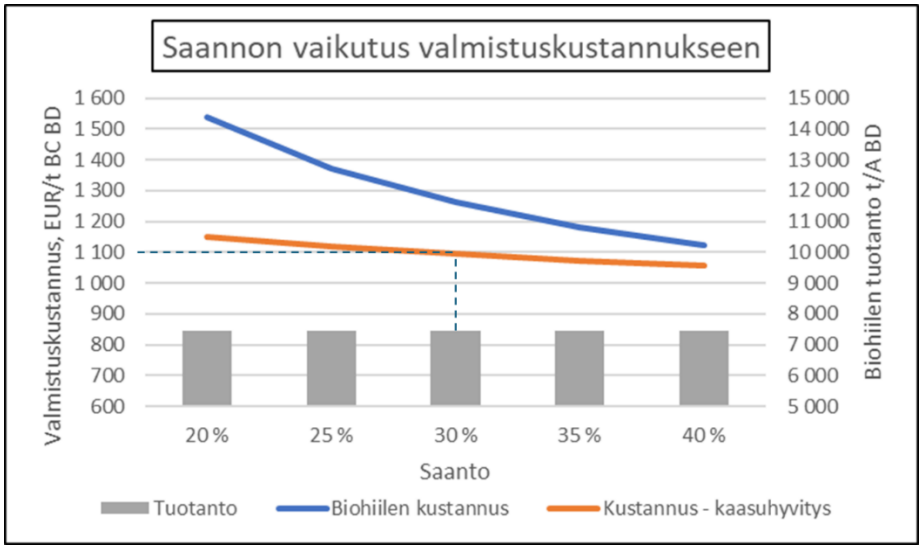
Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Liite 3. Biohiilen valmistuskustannusten herkkyysanalyysi



Kuva 1. Biomassan hinnan vaikutus biohiilen valmistuskustannukseen.

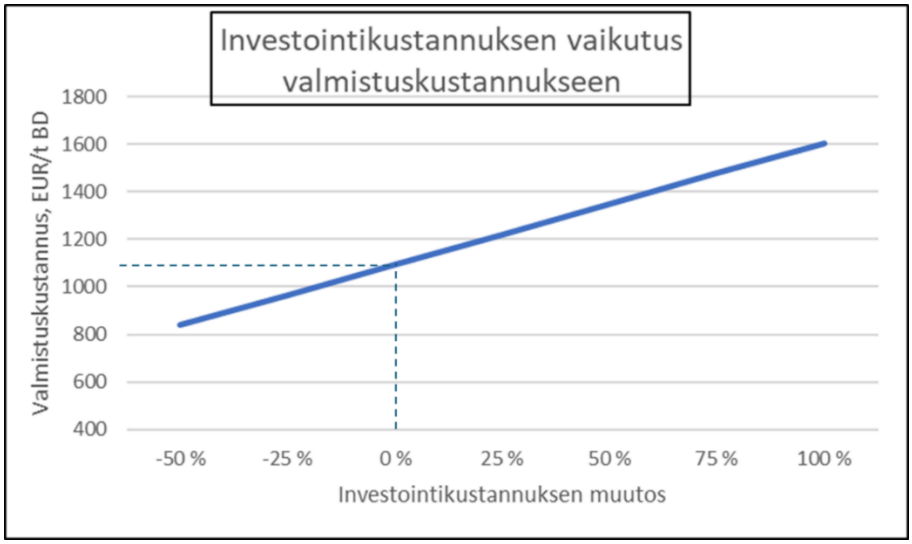
Biomassan hinta on suurin yksittäinen biohiilen valmistuksen kustannustekijä. Tästä syystä on tärkeätä valita mahdollisimman edulliset loppukäytön laatuvaatimukset täyttävä raaka-ainelähde. Biohiilen laatuun voidaan myös vaikuttaa prosessin saannolla.



Kuva 2. Saannon vaikutus biohiilen valmistuskustannukseen.

Biohiilen saannolla on suuri vaikutus valmistuskustannukseen. Alhaisempi saanto edellyttää, että joudutaan käyttämään enemmän raaka-ainetta saman biohiilimäärän tuottamiseksi. Toisaalta alhaisempi saanto johtaa suurempaan pyrolyysikaasun määrään, jolloin pyrolyysikaasun taloudellinen merkitys lämmöntuotannossa korostuu. Saanto vaikuttaa myös biohiilen laatuun.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

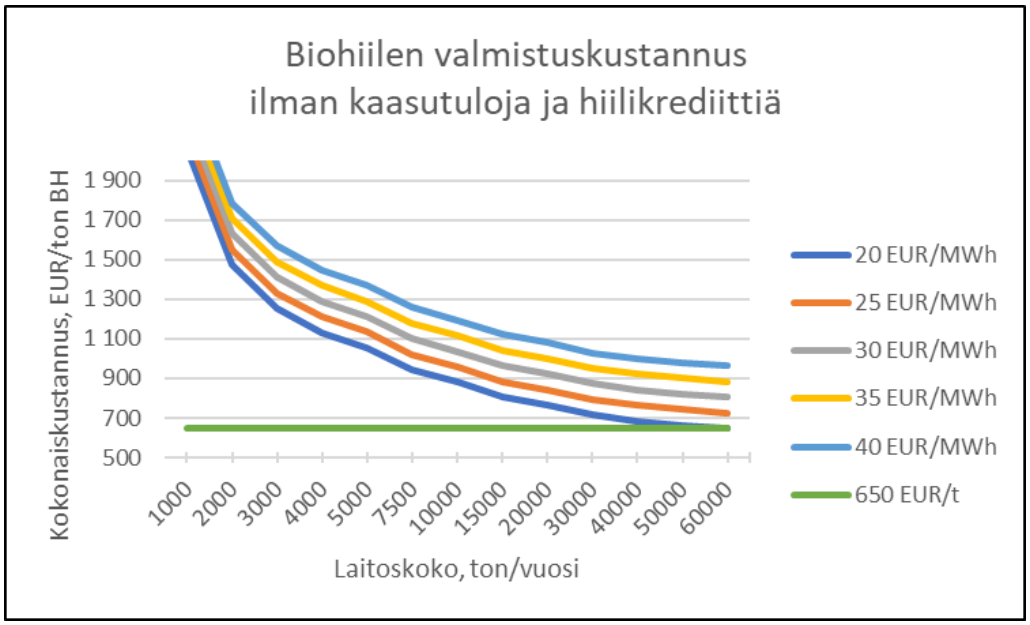


Kuva 3. Investointikustannuksen vaikutus valmistuskustannukseen.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

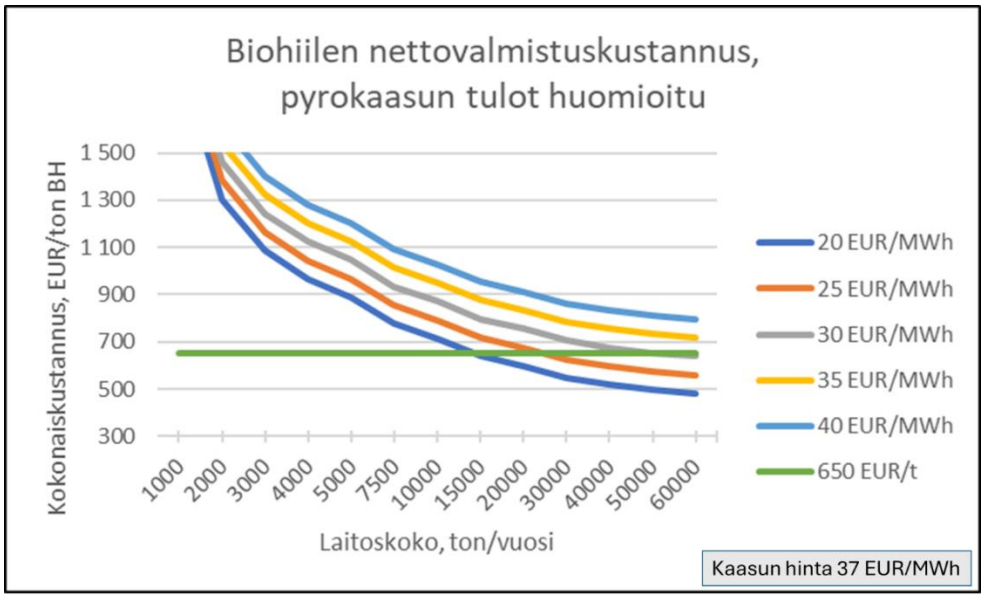
Liite 4. Biohiilen valmistuskustannuksen herkkyysanalyysi

Biohiilen tuotantolaitoksen koolla ja biomassan hinnalla on merkittävä vaikutus biohiilen valmistuskustannuksiin (Kuva 1). Mikäli biomassan hintataso laskee tai voidaan käyttää edullisempia biomassajakeita, biohiilen valmistuskustannus voi laskea 100-200€. Suuremmalla laitoksella on selvästi pienemmät kiinteät- ja pääomakustannukset.



Kuva 1. Biohiilen kokonaisvalmistuskustannus biomassan eri hinnoilla ja arvioitu korvauspotentiaali metalliteollisuuteen ja maanparannuskäyttöön ilman kaasuhyvitystä tai hiilikrediittiä.

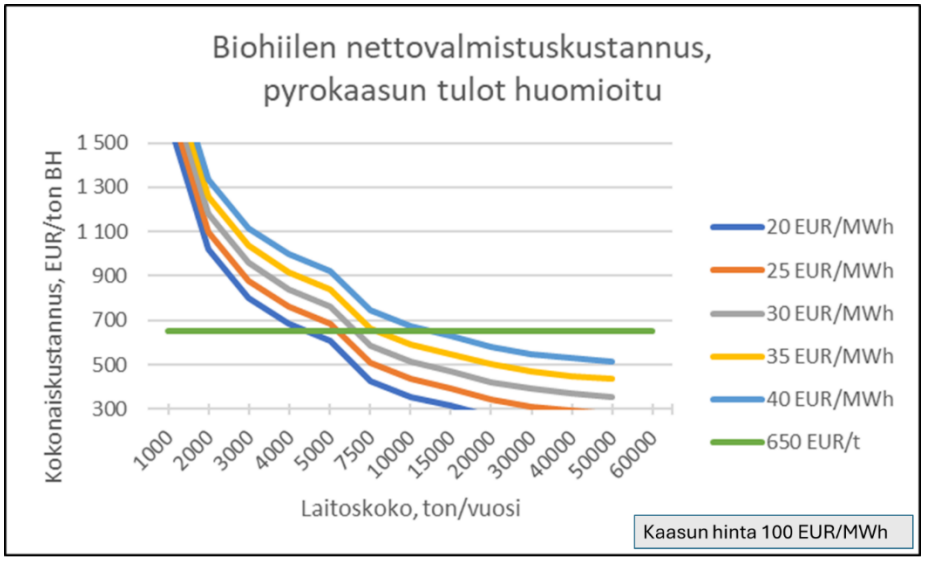
Biohiilen nettovalmistuskustannus laskee, kun huomioidaan ylimääräisen pyrolyysikaasun myynnistä saatavat tulot ja vaihtoehtoisen raaka-aineen kustannukset säästyvät (Kuva 2) .



Kuva 2. Biohiilen nettovalmistuskustannus kun pyrolyysikaasusta saadut tulot huomioidaan.

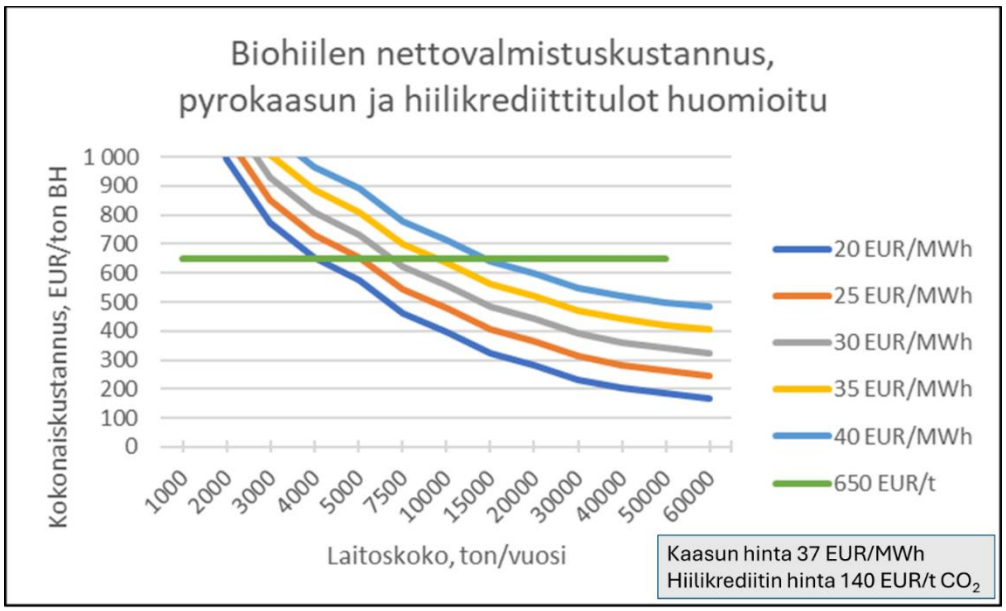
Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Jos pyrolyysikaasusta saadaan kaukolämmön hinta 100 EUR/MWh, tämä laskee biohiilen nettovalmistus-kustannusta tuntuvasti, mikä näkyy kuvasta 3.



Kuva 3. Biohiilen nettovalmistuskustannus kun pyrolyysikaasusta saadut tulot huomioidaan.

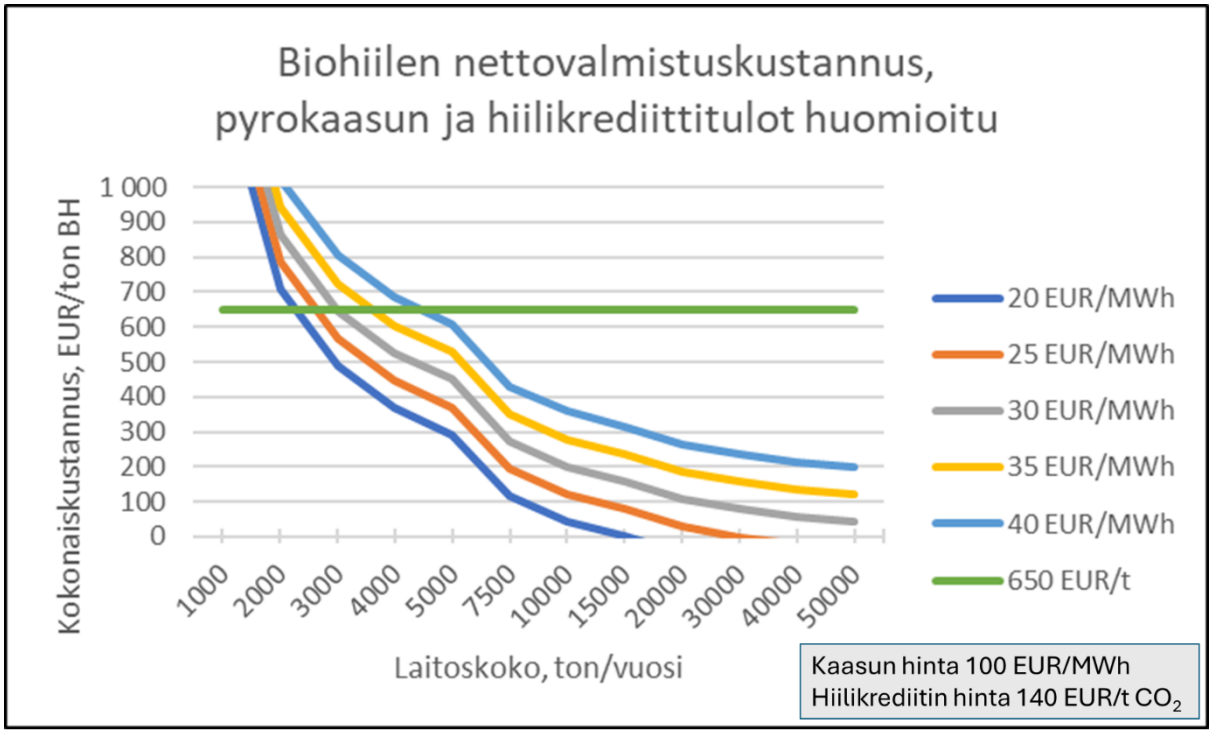
Kun sekä kaasun myynnistä saadut tulot 37 EUR/MWh ja hiilikrediitit huomioidaan biohiilen nettovalmistuskustannus laskee tuntuvasti (kuva 4).



Kuva 4. Biohiilen nettovalmistuskustannus, kun sekä pyrolyysikaasusta saadut tulot 37 EUR/MWh ja hiilikrediiteistä saatu tulo huomioidaan.

Docusign Envelope ID: 545BCF02-6BB4-402F-81BE-184462F7E218

Kun sekä kaasun myynnistä saadut tulot 100 EUR/MWh ja hiilikrediitit huomioidaan, biohiilen nettovalmistuskustannus laskee edelleen tuntuvasti (kuva 5).



Kuva 5. Biohiilen nettovalmistuskustannus biomassan eri hinnoilla. Kaasun hinta vastaa kaukolämmön hintaa 100 EUR/MWh. Vihreä viiva kuvaa biohiilen arvioitua kilpailukykyistä hintatasoa metalliteollisuudelle tai maanparannuskäyttöön.