

VTT Technical Research Centre of Finland

Biohiilen valmistus ja käyttö turvetta korvaavana tukipolttoaineena bioenergian tuotannossa

Korpijärvi, Kirsi; Björnström, Martin; Karlsson, Markku; Raitila, Jyrki; Virkkunen, Matti; Hurskainen, Markus

Published: 31/08/2021

Document Version
Publisher's final version

[Link to publication](#)

Please cite the original version:

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 No. VTT-R-717-21



VTT
<http://www.vtt.fi>
P.O. box 1000FI-02044 VTT
Finland

By using VTT's 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.


TUTKIMUSRAPORTTI

Biohiilen valmistus ja käyttö turvetta korvaavana polttoaineena energiantuotannossa

Esiselvitys

Kirjoittajat: Kirsi Korpijärvi, Martin Björnström, Markku Karlsson,
Jyrki Raitila, Matti Virkkunen ja Markus Hurskainen

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Biohiilen valmistus ja käyttö turvetta korvaavana polttoaineena energiantuotannossa	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Maa- ja metsätalousministeriö Liisa Saarenmaa, apulaisosastopäällikkö puh. 040 7523271	Asiakkaan viite VN/3539/2021-MMM-2
Projektin nimi Biohiilen valmistus ja käyttö turvetta korvaavana tukipolttoaineena bioenergian tuotannossa	Projektin numero/lyhytnimi 129409-MMM BioTur21
Raportin laatija(t) Kirsi Korpjärvi, Martin Björnström, Markku Karlsson, Jyrki Raitila, Matti Virkkunen ja Markus Hurskainen	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 38/-
Avainsanat Biohiili, bioenergia, turve, kuori	Raportin numero VTT-R-717-21
Tiivistelmä Viiden viime vuoden aikana turpeen energiakäyttö on ollut noin 4-5 % maamme kokonaisenergiankulutuksesta. Turvetta käytetään Suomessa erityisesti alueellisten lämpö- ja voimalaitosten polttoaineena ja paikallisesti sen merkitys voi olla varsin huomattava. Kohonneiden päästökaupakustannusten ja muuttuneiden polttoaineverokäytäntöjen tuloksena turpeesta ollaan kuitenkin luopumassa verrattain nopealla aikataululla. Muutoksen on koettu aiheuttavan teknisiä ja logistisia haasteita kaukolämmön tuotannossa ja edelleen jopa useiden kymmenien miljoonien eurojen investointitarpeita suhteellisen lyhyen ajan kuluessa. Tässä esiselvityksessä tarkasteltiin metsäteollisuuden sivuvirroista valmistetun biohiilen tai lämpökäsittelyn puupelletin soveltuvuutta erityisesti turvetta korvaavaksi polttoaineeksi sekä teknis-taloudellisia konsepteja näiden tuottamiseksi ja käyttämiseksi erilaisilla energialaitoksilla, esimerkiksi integroimalla biohiilen tuotanto kaukolämpölaitoksen toimintaan. Turve korvautuu energiantuotannossa todennäköisesti pääosin puubiomassalla, josta metsähake on merkittävien. Hakkeen kasvava tuonti on mahdollista rannikkoseudulla ja itärajan tuntumassa, mutta turpeen suurimmat markkinat ovat Pohjanmaan alueella, mikä voi synnyttää alueellisia haasteita. Metsäteollisuuden tuotanto sijoittuu maantieteellisesti eri alueelle kuin nykyinen turpeen tuotanto ja käyttö, jolloin hakkeesta ja sivuvirroista peräisin oleville polttoaineille syntyvät pidemmät kuljetusmatkat voivat lisätä kiinnostusta tiivistettyjen, helpommin kuljetettavien pellettien tai biohiilen käyttöön. Biohiilen ja lämpökäsitteltyjen pellettien tuotanto voi olla osittainen ratkaisu energiantuotannon päästöjen vähentämiseen. Lämpökäsitteltyjen pellettien ja biohiilen etuja energiantuotannossa ovat muun muassa soveltuvuus pölypolttoon, kustannustehokkaampi kuljetettavuus ja varastoitavuus. Biohiiltä tai lämpökäsitteltyjä pellettejä ei kuitenkaan hyvin todennäköisesti poltettaisi turvetta käyttävissä laitoksissa, vaan ne korvaisivat kivihiilikiellon jälkeen lähinnä öljyä ja kaasua huippu- ja varatehon tuotannossa, sillä turvetta käyttävät laitokset voivat korvata turpeen myös jalostamattomilla puujakeilla. Biohiilen tuottaminen voi edelleen mahdollistaa biohiilen myynnin muuhun kuin energiakäyttöön ja tasaa näin vuodenaikavaihteluiden vaikutusta talouteen ja käyttöasteeseen.	
Luottamuksellisuus	Julkinen
Jyväskylässä 31.8.2021	
Laatija  Kirsi Korpjärvi Erikoistutkija	Tarkastaja  Pertti Koukkari Tutkimusprofessori
	Hyväksyjä  Janne Kärki Tutkimustiimin vetäjä
VTT:n yhteystiedot Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, PL 1000, 02044 VTT, www.vttresearch.com	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaaaja ja VTT	
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.	

Alkusanat

Viimeksi kuluneiden viiden vuoden aikana turpeen energiakäyttö on ollut noin 4-5 % maamme kokonaisenergiankulutuksesta. Turvetta käytetään Suomessa erityisesti alueellisten voimalaitosten polttoaineena ja paikallisesti sen merkitys voi olla varsin huomattava. Kohonneiden päästökauppakustannusten ja muuttuneiden polttoaineverokäytäntöjen tuloksena turpeesta ollaan kuitenkin luopumassa verrattain nopealla aikataululla. Muutoksen on koettu aiheuttavan teknisiä ja logistisia haasteita kaukolämmön tuotannossa ja edelleen jopa useiden kymmenien miljoonien eurojen investointitarpeita suhteellisen lyhyen ajan kuluessa.

Tässä raportissa on tarkasteltu metsätalouden sivu- ja jätevirroista mahdollisesti valmistettavan biohiilen soveltuvuutta turpeen korvaamiseen alueellisilla lämpö- ja voimalaitoksilla. Esiselvitys toteutettiin vuoden 2021 helmikuun ja elokuun välisenä ajanjaksona. Työn toimeksiantajana oli Maa- ja Metsätalousministeriö. Esiselvityksen toteutuksesta vastasi Teknologian tutkimuskeskus VTT ja hankkeen vastuullisena johtajana toimi VTT:n tutkimusprofessori Pertti Koukkari.

Hankesuunnitelman on laatinut tutkimusprofessori Pertti Koukkari, joka myös toimi projektin neuvonantajana. Työn tekemisestä vastasivat Jyrki Raitila (projektipäällikkö), Kirsi Korpijärvi (valmistusteknologiat ja ominaisuudet), Markus Hurskainen (biohiilen tekninen soveltuvuus polttoon) ja Matti Virkkunen (raaka-aineet) VTT:ltä sekä konsultteina toimineet Markku Karlsson (oikeudenmukaisuuskysymykset) ja Martin Björnström (konseptit ja tekniset taloudelliset tarkastelut). Johtoryhmässä toimivat myös Jouni Hämäläinen ja Timo Leino VTT:ltä. Lisäksi saimme arvokasta tietoa alan yrityksiltä.

Kiitämme kaikkia selvityksen tekoon osallistuneita ja yrityksiä hyvästä yhteistyöstä.

Jyväskylä 31.8.2021

Tekijät

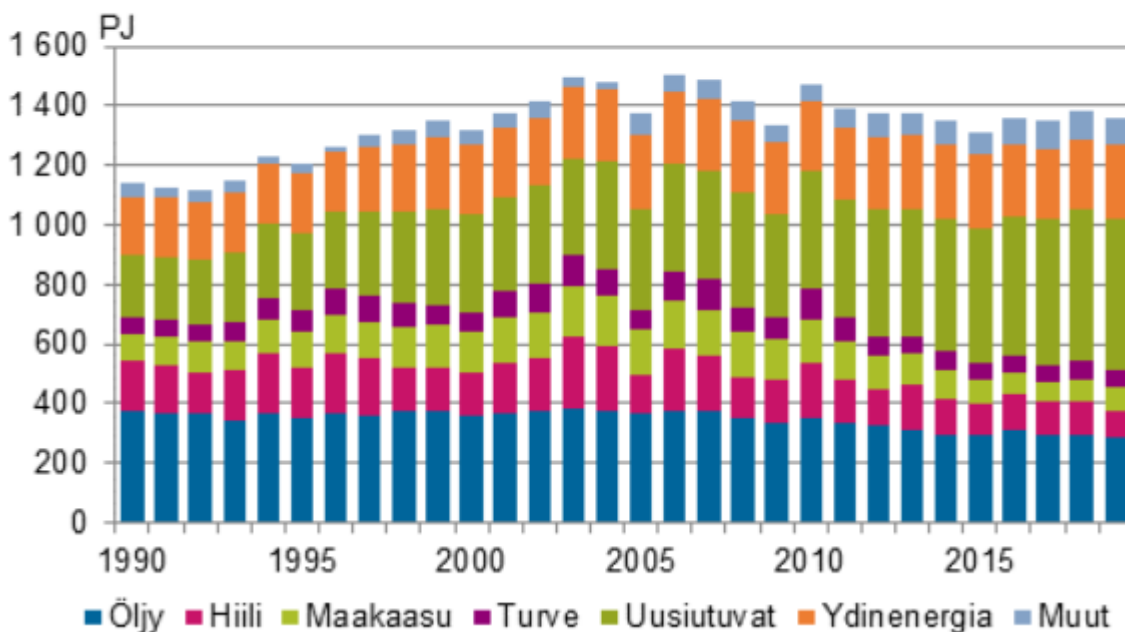
Sisällysluettelo

Alkusanat	2
Sisällysluettelo	3
1. Johdanto.....	4
2. Tavoite.....	6
3. Rajaukset.....	6
4. Biohiilen raaka-aineet	7
5. Valmistusteknologiat, ominaisuudet ja kustannukset.....	12
5.1 Valmistusteknologiat.....	12
5.2 Ominaisuudet	12
5.3 Tuotantokustannus	16
5.4 Varastointi ja käsittely	17
6. Biohiilen ja lämpökäsittelyjen pellettien soveltuvuus lämpö- ja voimalaitoskäyttöön	19
7. Torrefioidun pelletin ja biohiilen sekä polttoturpeen kustannusvertailu	21
7.1 Torrefioidun pelletin ja turpeen kokonaiskustannusvertailu	21
7.2 Lämmöntuotantoon integroitu biohiilen valmistus ja käyttö.....	22
7.3 Taloudellinen tarkastelu turpeen energiakäytön korvaamiseksi biohiilellä	25
8. Teknis-taloudellisia ja oikeudenmukaisuusnäkökohtia turpeen korvaamisessa	30
8.1 Turpeesta luopumisen aikataulu ja vaikutukset.....	30
8.2 Teknis-taloudellisia näkökohtia - tehokas ja puhdas energiantuotanto ja sen käyttöä tukevat innovatiiviset ratkaisut.	32
8.3 Oikeudenmukaisuusnäkökohtia - aluetalouksien monipuolistaminen ja työntekijöiden osaamisen varmistaminen	34
9. Johtopäätökset	36
Lähdeviitteet.....	37

1. Johdanto

Tilastokeskuksen mukaan energian kokonaiskulutus Suomessa vuonna 2019 oli 1,36 miljoonaa terajoulea (378 TWh), mikä vastasi prosentin laskua edellisvuoteen verrattuna. Sähköä käytettiin 86,1 terawattituntia (TWh), mikä oli 2 prosenttia vähemmän kuin edellisenä vuonna. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen kulutus väheni yhteensä 7 prosenttia. Eniten vähenivät hiilen ja turpeen käyttö, 20 ja 8 prosenttia. Turpeen energiakäyttö vuonna 2019 oli 15,7 TWh eli 4,2 % Suomen energian kokonaiskulutuksesta. Polttoaineiden käytön hiilidioksidipäästöt vähenivät vastaavasti 7 prosenttia. Uusiutuvan energian käyttö kasvoi prosentin yltäen aikaisempien vuosien tapaan ennätyskelliselle tasolle. (Tilastokeskus 2021)

Energian kokonaiskulutus 1990–2019



Kuva 1. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin Suomessa 1990-2019.

Puupolttoaineiden käyttö jatkoi kasvuaan jo neljättä vuotta peräkkäin ja niiden kulutus nousi vuonna 2019 jälleen uuteen ennätykseen siten että niiden osuus Suomen energian kokonaiskulutuksesta oli 28 prosenttia. Teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineiden käyttö kasvoi 2 prosenttia vuoteen 2018 verrattuna. Vesitilanteesta riippuvainen vesivoiman tuotanto laski 7 prosenttia. Vesivoiman tuotanto väheni neljättä vuotta peräkkäin, mutta tuulienergian tuotanto jatkoi kasvuaan nousten 3 prosenttia vuoteen 2018 verrattuna. Tuulivoiman vuosituotanto saavutti uuden ennätöksensä, kun vuonna 2019 käynnistyi lähes 80 uutta tuulivoimalaa. Aurinkovoiman käytön 53 prosentin kasvusta huolimatta sen osuus on edelleen pieni, 0,5 promillea energian kokonaiskulutuksesta. (Tilastokeskus 2021)

Uusiutuvilla energialähteillä katettiin lähes 38 prosenttia energian kokonaiskulutuksesta ja 43 prosenttia loppukulutuksesta vuonna 2019. Vielä vuonna 1990 uusiutuvan energian osuus kokonaiskulutuksesta oli vain 18 prosenttia, minkä jälkeen se on kasvanut tasaisesti kasvun ollen 2010-luvulla vielä selkeästi aiempaa nopeampaa. (Tilastokeskus 2021)

Turve luokitellaan fossiiliseksi polttoaineeksi ja sen käytöstä ollaan maassamme luopumassa nopealla aikataululla. Tämä aiheuttaa haasteita kaukolämmön tuotannossa ja samalla uhkaa työpaikkoja turpeen tuotannossa. Energiaturpeen tuotannon vähentyessä myös kasvaturpeen hankinta vaarantuu.

Turvetta pyritään ensisijaisesti korvaamaan puupolttoaineilla, etenkin metsäteollisuuden sivutuotteilla ja metsähakkeella. Niiden saatavuus on kuitenkin rajallista, varsinkin alueellisesti. Voimalaitosten kattilatekniset ominaisuudet asettavat myös tiettyjä rajoitteita, joten turpeen korvaaminen kokonaisuudessaan puulla on haasteellista. Yhtenä kiinteän polttoaineen vaihtoehtona on esitetty metsäteollisuuden sivuvirroista valmistettua biohiiltä tai muuta jalostettua biomassaa.

Teknisen biohiilen kehitystä on onnistuneesti viety eteenpäin VTT:n toimesta vuosina 2017-20 mm. MMM:n tuella PreCoal, CoCarbon, BioCar ja PurCar projekteissa ja sille on esitetty joukko teollisia käyttömahdollisuuksia esimerkiksi metallien jalostuksessa sekä jätevesien ja poistokaasujen puhdistuksessa, jotka ovat parhaillaan toteutumassa. Puhdistuskäytöstä poistuvan biohiilen on todettu soveltuvan edelleen poltettavaksi termisen energian lähteenä.

Tuoreiden puubiomassojen lämpöarvo on verrattain alhainen johtuen niiden suuresta kosteudesta, joka voi vaihdella vuodenajoittain ja toimituserittäin. Lisäksi puubiomassojen epäorgaaniset, tuhkaa muodostavat aineet voivat aiheuttaa käyttö- ja materiaalitekniisiä haasteita voimalaitoksissa, mikäli puupolttoaineita käytetään ainoana polttoaineena. Suomessa biomassoja poltetaan tästä syystä usein seoksena yhdessä turpeen kanssa. Turvetta käytetään tasaamaan puupolttoaineiden laatuvariaatioita, saatavuutta sekä parantamaan kattilan käytettävyyttä. Turpeen sisältämä rikki auttaa pitämään kattilan lämmönsiirtopinnat puhtaina sekä estämään tulistimien korroosion voimalaitoksissa. Erityisesti pienemmissä laitoksissa turvetta saatetaan käyttää myös ylläpitämään riittävää lämpötilaa. Turve on kuitenkin fossiiliseksi luokiteltu polttoaine, jonka käytöstä tulee pyrkiä luopumaan.

2. Tavoite

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli laatia esiselvitys metsäteollisuuden sivuvirroista valmistetun lämpökäsittelyn puupelletin tai biohiilen soveltuvuudesta erityisesti turvetta korvaavaksi tukipolttoaineeksi sekä tarkastella teknis-taloudellisia konsepteja näiden tuottamiseksi ja käyttämiseksi erilaisilla energialaitoksilla, esimerkiksi integroimalla biohiilen tuotanto kaukolämpölaitoksen toimintaan huomioiden muun muassa vuodenaikavaihtelu. Lisäksi pyrittiin kartoittamaan metsähakkeen ja metsäteollisuuden sivuvirtoina muodostuvien kuoren, hakkeen ja sahanpurun saatavuutta Suomessa alueellisesti. Edelleen tavoitteena oli selvittää biohiilen ja lämpökäsittelyjen pellettien valmistuskustannuksia ja verrata niitä turpeen laitoshintaan, jossa on huomioitu päästöoikeuksien hinta ja erilaiset verot. Tavoitteena oli myös alustavasti kartoittaa biohiilen käytön mahdollisia taloudellisia ja teknisiä haasteita sekä niiden ratkaisuvaihtoehtoja. Lisäksi käsiteltiin lyhyesti tavoitellun muutoksen oikeudenmukaisuutta, jos turve korvataan biohiilellä tai lämpökäsittelyillä pelleteillä.

3. Rajaukset

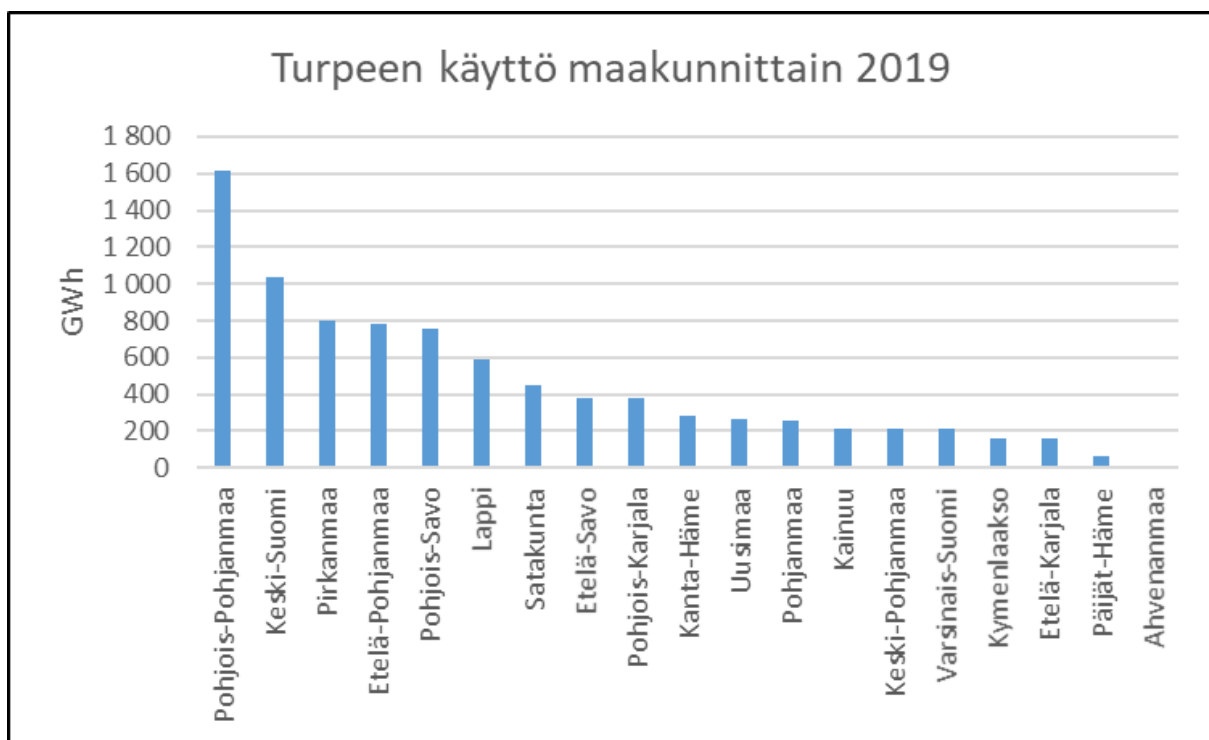
Selvityksessä rajoituttiin tarkastelemaan polttoturpeen mahdollista korvaamista vain pienpuusta, kuoresta ja sahanpurusta valmistetulla biohiilellä sekä vertaamaan sitä lämpökäsittelyihin pelletteihin. Tässä rajallisessa tutkimuksessa ei tehty kokonaisvaltaista vertailua, mitä muita mahdollisia polttoaineita, kuten polttohaketta, voitaisiin käyttää turpeen sijaan. Vaadittavia teknisiä muutoksia ja niiden edellyttämiä kustannuksia energialaitoksissa käsiteltiin vain yleisellä tasolla. Laajempi pohdiskelu energiantuotannon murroksesta ja siirtymisestä muuhun kuin polttamiseen perustuvaan lämmöntuotantoon ei kuulunut tämän toimeksiannon piiriin.

Biohiilen sekä muiden lämpökäsittelyjen pellettien valmistusta ja kustannustarkastelua varten tarvittava tieto kerättiin aiemmista tutkimuksista (mm. PreCoal, CoCarbon, BioCar, PurCar ja SECTOR). Biohiilen tuotannon ja integroinnin kustannuslaskenta tehtiin VTT:n laskentapohjalla. Kustannustarkastelussa oletettiin, että biohiili valmistetaan integroituna voima- tai kaukolämpölaitoksen yhteydessä. Myös käyttö oletettiin tapahtuvan pääasiassa samassa laitoksessa.

4. Biohiilen raaka-aineet

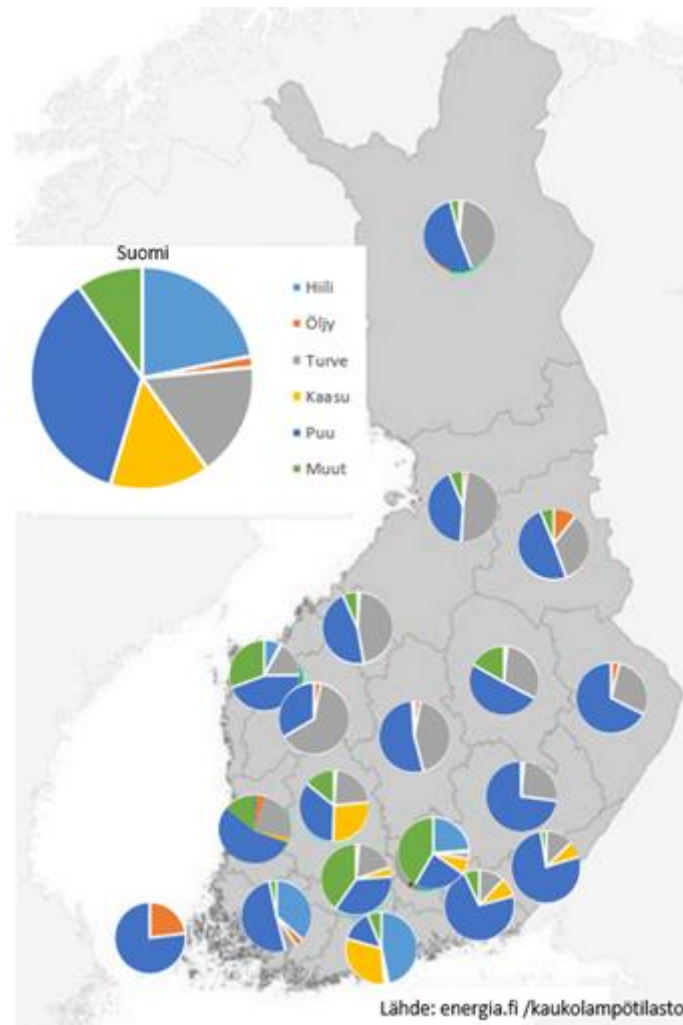
Suomen hallituksen päätös puolittaa turpeen käyttö vuoteen 2030 mennessä lisää biomassan tarvetta korvaavana polttoaineena kiinteän polttoaineen voimalaitoksissa. Vuonna 2019 Suomessa käytettiin turvetta 8,5 TWh kaukolämmöntuotantoon ja 7,1 TWh muuhun energiakäyttöön eli yhteensä 15,6 TWh. Sitran raportissa ”Turpeen rooli ja sen käytöstä luopumisen vaikutukset Suomessa” (2020) arvioidaan, että biomassan lisätarve turpeen korvaamiseksi on 1-6 Mm³ vuodessa riippuen, miten muut polttoa korvaavat teknologiat toteutuvat ja otetaan käyttöön, kuten esimerkiksi lämpöpumppujen kasvava käyttö.

Turvetta käytetään Suomessa eniten Pohjanmaan, Keski-Suomen, Pirkanmaan ja Pohjois-Savon alueilla (Kuva 2). Suhteellisesti eniten kokonaisenergiakäyttöön nähden turvetta käytetään Etelä-, Pohjois- ja Keski-Pohjanmaan alueilla sekä Keski-Suomessa, Lapissa ja Kainuussa (Kuva 3).



Kuva 2. Turpeen käyttö lämmöntuotannossa maakunnittain 2019.

Metsäteollisuuden sivuvirrat muodostavat maassamme merkittävän raaka-ainelähteen ja tarjoavat mahdollisuuksia uusien tuotteiden valmistamiseen. Metsäteollisuudessa syntyy erilaisia sivuvirtoja (kuorta, sahaketta, sahanpurua ym.) yhteensä noin 20 Mm³ vuodessa. Näistä noin 10 Mm³ käytetään uudestaan metsäteollisuuden massantuotannossa ja noin 10 Mm³ (n. 20 TWh) hyödynnetään energiaksi. Metsähakkeen käyttö energialaitoksissa on ollut viime vuosina 7–8 Mm³/v (Taulukko 1). Metsäteollisuudessa syntyvistä sivuvirroista osa, arviolta noin 50 % käytetään oman tehtaan energiatarpeeseen, kuten sahatavaran tai paperin kuivaamiseen tai rakennusten lämmittämiseen. Jäljelle jäänyt osa hyödynnetään pääosin voima- ja lämpölaitoksissa. Mikäli suurempia sivuvirtamääriä ohjataan energiakäyttöön turpeen korvaamiseksi, syntyy ketjureaktio, jossa sivuvirtoja energiantuotannossa käyttävät yksiköt joutuvat etsimään vaihtoehtoisia tapoja polttoaineen hankkimiseksi. Todennäköisin vaihtoehto on biomassan tuonnin lisääminen.



Kuva 3. Turpeen osuus eri maakuntien kaukolämmön tuotannossa (Energiateollisuus ry 2021)

Esimerkiksi sahauksen yhteydessä syntyy vuosittain sivuvirtoina arviolta 3,5 Mm³ purua ja 3,0 Mm³ kuorta, yhteensä noin 20 % Suomen metsäteollisuuden käyttämästä raakapuusta. Havupuukuoren määrä biojalostamoilla, eli sellutehtailla, on vastaavasti noin 2,5 Mm³. Havupuiden kuori on hyvin potentiaalinen biohiilen raaka-aine.

Taulukko 1. Metsäteollisuuden sivutuotteet ja energiapuun käyttö Suomessa 2019 kiintokuutiometreinä ja niiden kokonaisenergiasisältö. (Luke 2019 sekä tekijöiden arviot eri sivuvirtojen määristä)

Sivutuote- ja energiapuun käyttö Suomessa 2019		
Kuori	7 684	k-m ³
Sahanpuru	3 466	k-m ³
Sahahake	7 419	k-m ³
Vaneripuru/purilas	1 408	k-m ³
Metsäteollisuuden sivutuotteet	19 977	k-m³
- josta energiakäyttöön	10 379	k-m ³
Teollisuuden puutähdehake	1 166	k-m ³
Muu sivutuotepuu	152	k-m ³
Puupellettejä ja -brikettejä	216	k-m ³
Kierrätyspuun energiakäyttö	1 068	k-m ³
Metsähaketta	7 567	k-m ³
Kiinteä biomassa energiakäyttöön	20 548	k-m³
Kiinteän biomassan energiasisältö	39,5	TWh

Metsäteollisuuden sivutuotteita voidaan käyttää muun muassa pellettien tai biohiilen valmistukseen. Biohiilen teoreettinen valmistuspotentiaali Suomessa on merkittävä, mikäli kaikki sivuvirrat, joita ei käytetä niitä tuottavan yksikön omaan energiantarpeeseen, voidaan markkinatalouden voimin ohjata biohiilen tuotantoon. Arvio biohiilen valmistuspotentiaalista on esitetty taulukossa 2. Yksikkökohtaiset "oman käytön" osuudet vaihtelevat ja käytetty keskimääräisarvio perustuu eri teollisuuden edustajien kanssa käytyihin keskusteluihin.

Taulukko 2. Suomen metsäteollisuuden sivuvirtojen potentiaalinen määrä biohiilen valmistukseen 2019.

Sivuvirta- jae	Runko- puun käyttö	Kuoren, hakkeen tai purun osuus raakapuusta	Syntyvä kuori, hake, puru	Käyttö yksikön omaan energian- tuotantoon	Sivuvirta- potentiaali biohiilen käyttöön	Biohiili- poten- tiaali
	Mm ³ /v	%	Mm ³ /v	%	Mm ³ /v	1000 t/v
Havupuun kuori	53,5	11,5 %	6,2	50 %	3,1	406
Sahahake	25,4	30 %	7,6	90 %	0,8	128
Sahanpuru	25,4	14 %	3,6	40 %	2,1	386
Yhteensä			17,2		6,0	920
Metsähake			7,5	70 %	2,3	422
Yhteensä			24,7		8,2	1 342
Biohiilen ja tuotannossa syntyvien pyrolyysikaasujen energia, TWh/v						12,9

Metsäteollisuuden toiminta ei ole kuitenkaan keskittynyt maakunnittain samassa suhteessa kuin turpeen energiakäyttö. Näin ollen turpeen korvaaminen biomassalla edellyttää, että metsäteollisuuden sivuvirtoja kuljetetaan nykyistä pidempiä matkoja. Tämä puolestaan aiheuttaa kustannuspainetta ja tarvetta tehostaa logistiikkaketjuja. Jos oletetaan, että 50 % metsäteollisuuden sivuvirroista voidaan ohjata energiakäyttöön turpeen korvaamiseksi, nähdään, että Pohjanmaan ja Pohjois-Suomen alueilla on merkittävä vaje biomassasta (Taulukko 3). Todellisuudessa vaje on tätäkin suurempi, sillä suurin osa sivutuotepuusta käytetään jo nykyisin eri energialaitoksilla. Biomassavirtojen muuttaminen edellyttää, että uusi käyttäjä on valmis maksamaan raaka-aineesta hieman korkeamman hinnan raaka-aineen tuottajalle. Tämän seurauksena kilpailu biomassasta kiihtyy, biomassan hinta nousee ja lisäkustannus siirtyy loppukäyttäjän maksettavaksi.

Taulukko 3. Maakunnat, joissa suurin metsäteollisuuden sivutuotebiomassan vaje turpeen korvaamiseksi.

Maakunta	Turve 2019 GWh	50 % maakunnassa syntyvien metsäteollisuuden sivutuotteiden energiasta GWh	Sivutuote -käyttö GWh/a	Erotus	Tarvittava biomassa 1 000 k-m ³
Pohjanmaa (Vaasan alue)	260		1 292	-100 %	330
Etelä-Pohjanmaa	785	189	458	-76 %	757
Uusimaa	267	82	722	-69 %	236
Pohjois- Pohjanmaa	1 616	604	1 496	-63 %	1 285
Pohjois-Savo	758	470	1 634	-38 %	366
Keski-Suomi	1 038	708	2 726	-32 %	418

Energiapuun saatavuus

Energiapuun vuosittainen saatavuus arvioitiin käyttämällä Luonnonvarakeskuksen Biomassa-atlas -tietokantaa (Biomassa-atlas 2021). Energiapuun kokonaispotentiaali Suomessa vuosille 2025–2034 on tietokannan antamien tulosten mukaan 19,5 Mm³. Potentiaali on laskettu suurimman kestävän hakkuumahdollisuuden perusteella ja laskelman mukainen ainespuukertymän tilavuus oli 80,7 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Energiapuun kokonaispotentiaali sisältää päätehakkuiden latvusmassan ja harvennusten pienpuun (kuitupuuta pienempi ja osin kuitupuuta sisältävä jae). Kantobiomassa rajattiin tarkastelun ulkopuolelle sen pienen käyttömäärän ja vähenevän käytön vuoksi.

Energiapuun korjuupotentiaali kuvaa metsähakkeen raaka-aineiden teknis-taloudellista hankintamahdollisuutta. Raaka-aineina tässä aineistossa on huomioitu 1) ensiharvennusten energiapuun sekä 2) uudistushakkuilta korjattavat hakkuutähteet eli latvusmassa. Teknis-taloudellinen potentiaali tarkoittaa sitä osaa ensiharvennuspuidusta ja latvusmassasta, joka on erilaisten rajoitteiden aiheuttamien vähennysten jälkeen korjattavissa. Tällaisia rajoitteita ovat mm. korjuukohteen hehtaarikohtainen energiapuun vähimmäiskertymä, kasvupaikka ja talteensaantoaste. Tekninen potentiaali ei kuvaa metsähakkeen saatavuutta, joka riippuu mm. metsänomistajan myyntihalukkuudesta ja kilpailutilanteesta. (Biomassa-atlas 2021)

Latvusmassan potentiaali laskettiin seuraavasti: Laskelmasta poimittiin hakkuupoistuman biomassat avohakkuilta runkopuulle ja oksille. Mukaan luettiin korjuuohjeiden mukaisesti vain

kuivahkot kankaat ja niitä viljavammat kivennäismaat sekä vastaavat turvemaat (Koistinen et al. 2016). Latvusmassan poistuma arvioitiin lisäämällä oksabiomassaan runkokuun hukkaosuus. Latvusbiomassa muunnettiin kiintotilavuudeksi jakamalla kunkin jakeen biomassa vastaavalla kuivatuoretiheydellä. Lopulta korjuupotentiaali saatiin vähentämällä edellisestä palstalle suositusten mukaan jätettävä osuus, joka oli latvusmassalla 30 %. (Koistinen et al. 2016) ja kannoilla 16–18 % (Anttila et al. 2013)

Ensiharvennusten energiapuusta osa on mittojensa puolesta materiaalikäyttöön sopivaa ns. kuitupuuta ja osa tätä pienempää eli ns. pienpuuta. Kuitupuun kuorellisena minimiläpimittana käytettiin männyllä 6,3 cm ja kuusella sekä lehtipuilla 6,5 cm. Kuituosan minimipituus oli 2,0 m. Ensiharvennusten energiapuulle laskettiin kokonaispotentiaali sisältäen sekä kuitupuumittaisen että pienemmän puun ja vielä erikseen pienpuun potentiaali. Pienpuupotentiaalit eivät sisällä oksia. (Biomassa-atlas 2021)

Määritetystä teknis-taloudellisesta energiapuupotentiaalista (19,5 Mm³/a) arvioitiin nykyiseen käyttöön tai kysyntä-tarjontatilanteen vuoksi käytännössä tarjonnan ulkopuolelle rajautuvaksi 70% potentiaalista. Näin laskien saadaan ”vapaa potentiaaliksi” 5,86 Mm³. Potentiaalin jakauma maakunnittain on esitetty alla taulukossa 4.

Taulukko 4. Energiapuun teknis-taloudellinen potentiaali maakunnittain ja energiapuun ”vapaa potentiaali” oletetun 70 %:n hyödyntämistason jälkeen.

Alue	Energiapuupotentiaali yhteensä		Vapaa energiapuupotentiaali	
	1000 k-m ³	TWh	1000 k-m ³	TWh
Uusimaa	603	1,20	181	0,36
Varsinais-Suomi	629	1,26	189	0,38
Satakunta	594	1,18	178	0,36
Kanta-Häme	476	0,95	143	0,29
Pirkanmaa	1 092	2,18	328	0,66
Päijät-Häme	508	1,01	152	0,30
Kymenlaakso	439	0,88	132	0,26
Etelä-Karjala	501	1,00	150	0,30
Etelä-Savo	1 603	3,21	481	0,96
Pohjois-Savo	1 737	3,47	521	1,04
Pohjois-Karjala	1 500	3,00	450	0,90
Keski-Suomi	1 673	3,35	502	1,00
Etelä-Pohjanmaa	884	1,77	265	0,53
Pohjanmaa	566	1,13	170	0,34
Keski-Pohjanmaa	343	0,69	103	0,21
Pohjois-Pohjanmaa	2 209	4,42	663	1,33
Kainuu	1 453	2,91	436	0,87
Lappi	2 688	5,38	806	1,61
Ahvenanmaa	63	0,13	19	0,04
Koko maa	19 562	39,12	5 869	11,74

5. Valmistusteknologiat, ominaisuudet ja kustannukset

5.1 Valmistusteknologiat

Biohiiltä tuotetaan pyrolysoimalla (hidas pyrolyysi) biomassaa hapettomassa tilassa 350–800 °C lämpötilassa tuotteen käyttötarkoituksen mukaan. Sivutuotteina muodostuu bioöljyjä tai tisleitä, pyrolyysikaasuja sekä lämpöenergiaa. Energiakäyttöön menevän biohiilen (kutsutaan usein puuhiileksi) tulisi olla kuivaa, hydrofobista ja sopia muilta ominaisuuksiltaan polttoon. Maanparannuskäytössä biohiilen tulisi olla hydrofiilinen, kostea, eikä energiasisällöllä ole merkitystä.

Torrefiointi, jota voidaan kutsua myös paahtamiseksi, on biomassan pyrolysointia alhaisemmassa lämpötilassa, tyypillisesti 250–280 °C:ssa. Alhaisemman lämpötilan vuoksi torrefioidun materiaalin saanto on biohiiltä suurempi.

Höyryräjäytyksessä biomassaa syötetään paineistettuun reaktoriin, jossa se kuumennetaan höyryllä. Kuuma ja pehmenyt biomassaa pusketaan ulos reaktorista venttiilin kautta, jolloin vesi kiehuu paineen alenemisen seurauksena ja biomassaa hajoo mekaanisesti. Höyryräjäytyksessä kiinteän materiaalin saanto on 90–95 % käsiteltävästä materiaalista sekä käsittelyn voimakkuudesta eli lämpötilasta ja viipymäajasta riippuen. Havupuun kuorelle saanto on tyypillisesti 91 % (Björklund 2017). Lämpökäsittelymenetelmiä on vertailtu taulukossa 5.

Taulukko 5. Lämpökäsittelymenetelmien vertailu.

	Hidas pyrolyysi	Torrefiointi	Höyryräjäytys
Raaka-aineen kosteus	Kuiva (kosteus ~10%)	Kuiva (kosteus ~10%)	Raaka-ainetta ei tarvitse kuivata, optimikosteus 8 - 10 %
Käsittelyolosuhteet	350 – 800 °C (tyypillisesti ~500 °C) hapettomassa tilassa, ilmanpaineessa	250 – 280 °C hapettomassa tilassa, ilmanpaineessa	160 – 250 °C 1,5 – 2,5 MPa
Kiinteän materiaalin saanto	30 - 40 p-%,	60 – 70 p-%	90 – 95 p-%
Energian saanto*	50 - 60 %	90 %	90 %
Sivutuotteet	Nestejakeet (25 – 30 p-%) Kaasujae (25 – 35 p-%)	Torrefiointikaasut	

*Kiinteään hiilituotteeseen sitoutuva osuus raaka-aineen energiasisällöstä.

5.2 Ominaisuudet

Kiinteille polttoaineille on erilaisia laatuvaatimuksia käyttäjäryhmästä ja konversioteknologiasta riippuen. Puupolttoaineiden osalta tärkeimmät vaatimukset liittyvät yleensä kosteuteen sekä alkali- ja klooripitoisuuteen. Eräiden puupolttoaineiden lämpöarvoa, kosteutta, irtotiheyttä ja tuhkapitoisuutta on verrattu turpeeseen ja kivihiileen taulukossa 6. Kemiallisten ominaisuuksien vertailu on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 6. Eräiden puupolttoaineiden lämpöarvon, kosteuden ja irtotiheyksien vertailu, sekä vertailu turpeeseen ja kivihiileen. Jyrsinturpeelle esitetyt luvut ovat keskiarvoja. (Alakangas et al. 2016)

Polttoaine	Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg, kuiva-aineessa	Kosteus, p-%	Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg, saapumistilassa	Irtotiheys kg/irto-m ³	Energia-tiheys, MWh/irto-m ³	Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa, p-%
Havupuun kuori	18,5 – 20	50 - 65	5,0 – 9,0	250 - 350	0,50 – 0,70	1,0 – 3,0
Rankahake	18,5 – 20	40 - 55	7,0 – 11,0	250 - 350	0,7 – 0,9	0,5 – 2,0
Hakkuutähdehake	18,5 – 20	50 - 60	6,0 – 9,0	250 - 400	0,7 – 0,9	1,0 – 3,0
Kokopuu-hake	18,5 – 20	45 - 55	7,0 – 10,0	250 - 350	0,7 – 0,9	1,0 – 2,0
Sahanpuru	19,0 – 19,2	45 - 60	2,2 - 10	250 - 350	0,45 – 0,70	0,4 – 0,5
Puupelletit	18,9 - 19,5	6 - 9	7,0 – 18,2	600 - 650	2,8 – 3,3	0,1 – 0,5
Jyrsinturve	20,6	47	9,8	330	0,91	6,3
Kivihiili	27,0 – 28,8	8 - 14	24,3 – 25,1			4,4 - 17

Taulukko 7. Eräiden puupolttoaineiden kemiallisten ominaisuuksien vertailu turpeeseen ja kivihiileen (p-% kuiva-aineessa). (Alakangas et al. 2016)

Polttoaine	Hiili, C	Vety, H	Rikki, S	Typpi, N	Kloori, Cl	Natrium, Na	Kalium, K
Kuori	48 - 52	6,2 – 6,8	< 0,05	0,3 – 0,5	0,01 – 0,05	0,007 – 0,020	0,1 – 0,5
Rankahake	48 - 52	5,4 – 6,0	<0,06	0,3 – 0,5	0,01 – 0,03	0,001 – 0,002	0,02 – 0,15
Hakkuu-tähdehake	48 - 52	6,0 – 6,2	< 0,05	0,3 – 0,5	0,01 – 0,04	0,075 – 0,030	0,1 – 0,4
Kokopuu-hake	48 - 52	5,0 – 6,0	< 0,05	0,3 – 0,5	0,01 – 0,03	0,001 – 0,002	0,02 – 0,15
Sahanpuru	48 - 52	6,2 – 6,4	< 0,05	0,3 – 0,4	0,01 – 0,03	0,001 – 0,005	0,02 – 0,15
Puupelletit	49 - 50	6,0 – 6,1	< 0,007	<0,16	0,01 – 0,03	0,001 – 0,002	0,02 – 0,15
Polttoturpe	52 - 56	5,0 – 6,5	0,05 – 0,3	1,0 – 3,0	0,02 – 0,06	0,007	0,02
Kivihiili	66 - 74	3,5 – 5,0	<0,7	1,2 – 2,1	<0,005	<0,010	<0,003

Puupolttoaineiden alkalipitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa turpeen kanssa. Hakkuutähdehakeessa ja kuoressa alkalipitoisuudet saattavat kuitenkin olla hieman muita puupolttoaineita korkeammat. Puupolttoaineet eivät sen sijaan sisällä rikkiä niin paljon kuin turve tai kivihiili. Turpeen rikki suojaa seospoltossa lämmönsiirtopintoja likaantumiselta ja korroosiolta.

Erilaisilla biomassan lämpökäsittelyprosesseilla pyritään tuottamaan suuremman energiatihedyn omaavia tasalaatuisia kiinteitä biopolttoaineita, joita on helppo kuljettaa, varastoida ja jauhaa. Lämpökäsittely tekee biomassasta vettä hylkivää, mikä mahdollistaa käsitelystä biomassasta valmistettujen pellettien varastoinnin ulkoilmassa katettuna ja joidenkin jalosteiden osalta jopa ilman katetta. Käsitelylämpötilan noustessa hiilipitoisuus kasvaa, haihtuvien aineiden osuudet pienenevät ja kuiva-aineen tuhkapitoisuus nousee, mikä näkyy tuotettavan hiilen tehollisen lämpöarvon nousuna ja kosteuden laskuna. Lämpökäsittelyn jälkeen biomassassa on myös hauraampaa ja helpommin jauhautuvaa. Helppo jauhautuvuus on tärkeää etenkin korvattaessa lämpökäsitellyllä biomassalla kivihiiltä pölypolttokattilassa. Lämpökäsitellyt biomassat yleensä pelletoidaan tai briketoidaan käsitely- ja kuljetusominaisuuksien parantamiseksi.

Torrefioinnissa biomassan kiinteän hiilen osuus kasvaa, koska osa biomassaan kemiallisesti sitoutuneesta vedestä poistuu samoin kuin pieni osa haihtuvista aineista. Torrefioidusta biomassasta valmistettujen pellettien tehollinen lämpöarvo on tyypillisesti hieman yli 20 MJ/kg kuiva-ainetta eli jysinturpeen luokkaa. Föhr et al. (2015) ovat määrittäneet torrefioitujen pellettien energiatiheydeksi 3,34 – 3,61 MWh/i-m³ ja Thrän et al. (2016) 3,33 – 5,28 MWh i-m³ raaka-aineesta riippuen, mikä on tavanomaisia puupolttoaineita, turvetta sekä puupellettejä suurempi. Esimerkkejä torrefioinnin vaikutuksesta biomassojen ominaisuuksiin on esitetty taulukossa 8. Torrefiointiprosessilla ei ole vaikutusta biomassan alkali- ja klooripitoisuuteen, jotka voivat aiheuttaa korroosiota ja likaantumista poltossa. Alkali- ja klooripitoisuuksia voidaan alentaa biomassan pesulla ennen torrefiointia (Hansen et al. 2018). Vaikka torrefiointi edesauttaa biomassan jauhautuvuutta, ei sen ole havaittu laskevan syttymiseen tarvittavaa minimienergiaa, johon suurempi vaikutus on raaka-aineella (Thrän et al. 2016). Torrefiointi ei siis lisää biomassan räjähdysherkkyyttä, eikä täten muutoksia olemassa oleviin turvajärjestelmiin tarvita. Torrefioidut pelletit ovat vähemmän alttiita biologiselle hajoamiselle kuin tavanomaiset puupelletit ja täten riski itsesyttymiseen on pienempi.

Taulukko 8. Torrefioitujen pellettien ja raaka-aineiden ominaisuuksia (Wilén et al. 2013).

Raaka-aine/ Polttoaine	Ominaisuus kuiva-aineessa, p-%					MJ/kg k.a.
	Haihtuvat	Kiinteä hiili	Hiili, C	Vety, H	Typpi, N	Tehollinen lämpöarvo
Kuusenkuori	69,4	27,0	51,9	5,7	0,45	19,22
Torrefioitu 255 °C kuusenkuori	62,4	33,4	56,7	5,2	0,52	20,86
Karsittu harvennuspuu	83,2	15,8	49,5	6,2	0,17	18,62
Torrefioitu 255 °C karsittu harvennuspuu	74,4	23,9	53,6	5,9	0,30	20,59
Hakkuutähde	80,5	17,9	49,8	6,2	0,3	18,86
Torrefioitu 255 °C hakkuutähde	76,3	22,9	53,2	6,0	0,22	20,05

Biohiilen valmistuksessa hitaalla pyrolyysillä käytetään korkeampaa lämpötilaa kuin torrefioinnissa, jolloin hiilipitoisuus edelleen kasvaa ja haihtuvien aineiden määrä hiilituotteessa laskee. Tyypillinen hiiltolämpötila on noin 500 °C. Biohiilen saanto on pienempi kuin torrefioinnissa, koska suurin osa raaka-aineesta poistuu prosessista neste- tai kaasutuotteina. Myös tuhkan ja tuhkaa muodostavien epäorgaanisten aineiden määrä lisääntyy suhteessa hiilen määrään samasta syystä. Biomassan käsittely hidasyrolyysillä ei siis laske polton näkökulmasta mahdollisesti haasteita aiheuttavia alkalimetallien pitoisuuksia, vaan jopa nostaa niitä hieman. Biohiilen ominaisuuksiin vaikuttavat muun muassa raaka-aine, hiiltoprosessi ja -lämpötila. Esimerkkejä eri raaka-aineista valmistettujen biohiilten ominaisuuksista on esitetty taulukossa 9. Samassa taulukossa on havainnollistettu hiiltolämpötilan vaikutusta koivusta valmistetun biohiilen ominaisuuksiin. Biohiilen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa on puuraaka-aineille tyypillisesti 30 – 32 MJ/kg kuiva-aineessa.

Taulukko 9. Biohiilten ja niiden raaka-aineiden ominaisuuksia. (Fagernäs et al. 2014, Siipola et al. 2021, Källi 2016)

Raaka-aine/ Hiili	Ominaisuus kuiva-aineessa, p-%						MJ/kg k.a.
	Haihtuvat	Kiinteä hiili	Hiili, C	Vety, H	Typpi, N	Rikki, S	Tehollinen lämpöarvo
Koivu	84,6	15,0	49,9	5,9	0,1	0,01	18,8
Koivu, hiiltolämpötila 375 °C	30,0	69,3	80,3	3,9	0,3	0,01	29,3
Koivu, hiiltolämpötila 475 °C	17,2	81,8	88,5	3,1	0,3	0,01	32,4
Männynkuori			54,3	5,7	0,2	0	
Männynkuori, hiiltolämpötila 475 °C			76,8	3,0	0,4	0	
Kuusenkuori	75,1	22,3	51,4	5,8	0,3		18,9
Kuusenkuori, hiiltolämpötila 475 °C	19,7	74,6	83,5	3,3	0,7		31,0

Höyryräjäytyksellä voidaan parantaa muun muassa biomassasta valmistettujen pellettien käsittelykestävyyttä kuivana ja märkänä sekä irtotiheyttä, energiatiheyttä ja jauhautuvuutta (Taulukko 10). Höyryräjäytetty biomassaa kuiduttuu niin voimakkaasti, että pelletin sisäinen partikkelikoko sopii pölypolttoon. Kemialliset ominaisuudet eivät juurikaan käsittelyssä muutu (Taulukko 11). Höyryräjäytetty biomassaa kuivataan ennen pelletointia, jos sitä ei ole kuivattu ennen käsittelyprosessia. Kuivaukseen voidaan käyttää matala-arvoisia jätelämpövirtoja. Höyryräjäytetty materiaali pelletoidaan välittömästi käsittelyn jälkeen, koska lämmin materiaali pienentää kitkaa pelletointikoneen matriisissa. Höyryräjäytysprosessin aikana osittain depolymeroitunut ligniini ja vapautuneet sokerit muodostavat pseudoligniiniä, joka yhdessä jäljelle jääneen selluloosan kanssa muodostaa pelletoinnissa vahvan vettähylykivän kerroksen pelletin pinnalle (Joronen et al. 2017). Pelleteiltä vaaditaan hyvää käsittelykestävyyttä, jotta vältetään hienoaineen ja pölyn muodostuminen käsittelyketjun eri vaiheissa. Hyvä käsittelykestävyys märkänä puolestaan kertoo mahdollisuudesta varastoida pellettejä ulko-olosuhteissa. Tavalliset puupellettit hajoavat kastuessaan täysin. Käsittelykestävyyden lisäksi höyryräjäytys parantaa noin 25 % pellettien irtotiheyttä ja noin 20 % energiatiheyttä. Nämä ominaisuudet vaikuttavat muun muassa kuljetuskustannuksiin, joissa saatavan säästön on arvioitu olevan noin 10 % (Björklund 2017).

Taulukko 10. Höyryräjäytyksen vaikutus eräisiin pellettien ominaisuuksiin. (Björklund 2017)

Raaka-aine	Käsittelykestävyys kuivana, %	Käsittelykestävyys märkänä, %	Irtotiheys, kg/m ³	Energiatiheys, MWh/m ³
Havupuu	98	0	617	3,0
Höyry- räjäytetty havupuu	98	94	739	3,7
Kuori	92,7	0	570	3,0
Höyryräjäy- tetty kuori	98,2	98,1	700	3,8

Taulukko 11. Kuusen kuoren kemiallisia ominaisuuksia ennen ja jälkeen höyryräjäytyksen. (Hansen et al. 2018)

Polttoaine	Hiili, C	Vety, H	Rikki, S	Typpi, N	Kloori, Cl
Kuusen kuori	52,92	6,81	0,26	0,39	0,019
Höyryräjäytetty kuusen kuori	56,21	6,80	0,47	0,45	0,021

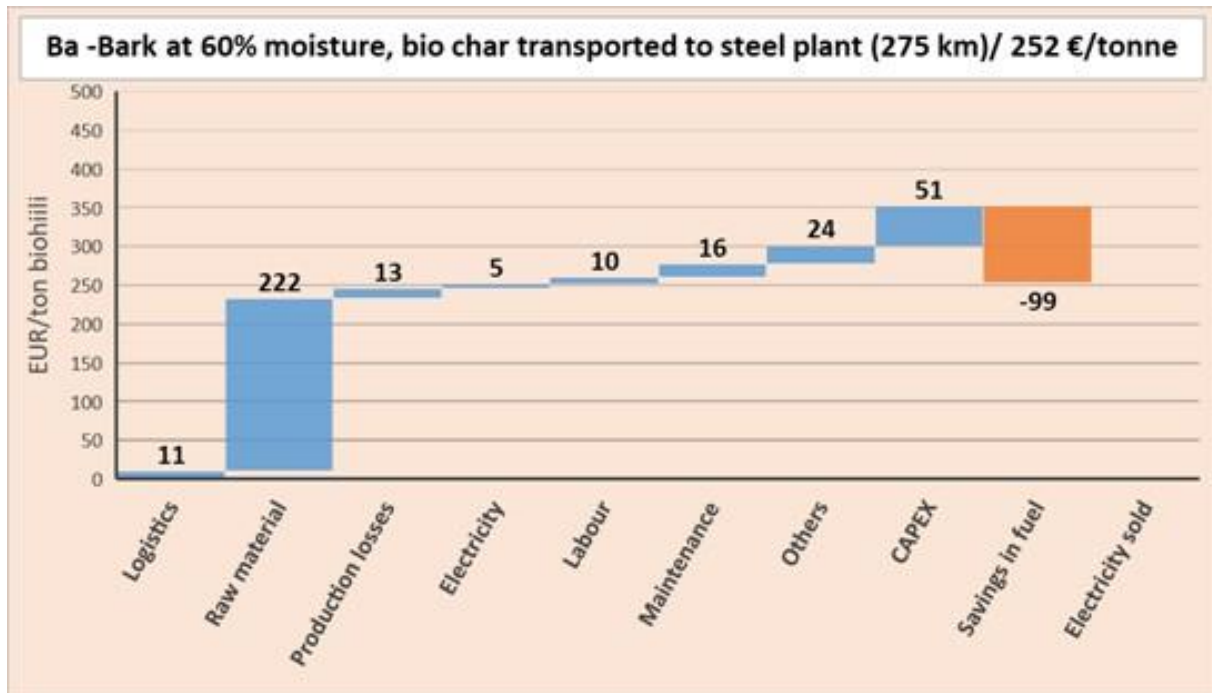
5.3 Tuotantokustannus

Tähän lukuun on kerätty kirjallisuustietoa lämpökäsiteltyjen pellettien ja biohiilen tuotantokustannuksista viimeaikaisista tutkimuksista. Tässä tutkimuksessa tehtyjen laskelmien tulokset on esitetty luvussa 7.

SECTOR-projektissa (Koppejan et al. 2015) torrefioitujen pellettien tuotantokustannuksiksi arvioitiin keskikokoisessa (72 800 t/a), itsenäisessä Euroopassa sijaitsevassa torrefiointilaitoksessa 40 €/MWh. Merkittävä osa näistä kustannuksista muodostui raaka-aineista, 18–25 €/MWh. Suuremmalla valtameren takaisella tuotantolaitoksella (500 000 t/a), jossa käytetään raaka-aineena halvempaa biomassaa (15 €/MWh) tuotantokustannus oli huomattavasti halvempi (29 €/MWh). Integrointi olemassa olevaan CHP-laitokseen ei olennaisesti laskenut kustannuksia, mutta tuotannon integrointi metsäteollisuuden tuotantolaitoksen, kuten sahan, sellun tai paperitehtaan yhteyteen alentaa merkittävästi tuotantokustannuksia. Kustannusten laskun arvioitiin olevan 5–24 % EU:n alueella itsenäisenä toimivaan torrefiointilaitokseen verrattuna. Alhaisempiin kustannuksiin päästään lähinnä suuremman tuotantokapasiteetin ja alhaisempien raaka-ainekustannusten vuoksi (sivutuotteet/ylijäämäjakeet).

Föhr et al. (2015) arvioivat torrefioitujen pellettien tuotantokustannuksia kuvitteellisella Suomen sisämaassa 50 000 tonnin vuosikapasiteetilla toimivalla laitoksella, jonka potentiaalinen pellettiasiakas sijaitsisi rannikolla. Arviossa oletettiin, että pelletit kuljetettaisiin bulkkitavarana maantiekuljetuksena heti pelletoinnin jälkeen eli minimoidaan käsittely ja varastointi laitoksella. Pellettilaitoksen oletettiin olevan omavarainen, jossa biomassakattila käyttää samaa raaka-ainepohjaa kuin torrefiointilaitos. Raaka-aineesta hieno ja karkea jae seulottaisiin erilleen ja käytettäisiin lämmitykseen. Suurimmat kustannukset aiheutuivat raaka-aineesta (56 %), muuttuvien kustannusten osuus oli 20 %, kiinteiden kustannusten 14 % ja logistiikan 10 %. Keskimääräiseksi kustannustasoksi laskettiin 202 €/t, mikä vastasi 39,5 €/MWh. Raaka-aineen hintana arviossa käytettiin 20 €/MWh. Herkkyysanalyysissä raaka-aineen hinnalla todettiin olevan suurin vaikutus kustannuskilpailukyville.

Hakala et al. (2019) ovat tarkastelleet FOR&MET hankkeessa tuotantokustannuksia, kun biohiilen valmistus on integroitu sellutehtaan yhteyteen. Laskelman sellutehtaalla muodostuu sivutuotteena 600 000 tonnia kuorta vuodessa 60 % kosteudessa, joka käytettiin raaka-aineena biohiilen valmistuksessa sen sijaan, että puolet siitä olisi kaasutettu meesauunin polttoaineeksi ja toinen puoli poltettu kuorikattilassa. Biohiilen valmistuksessa muodostuvat pyrolyysikaasut oletettiin hyödynnettävän meesauunin polttoaineena. Kuori kuivattiin ensin 10 % kosteuteen sellutehtaalta saatavan kuumen veden/höyryn avulla ja siitä tuotettiin 96 000 tonnia biohiiltä vuodessa. Biohiili ajateltiin käytettävän 275 km:n etäisyydellä sijaitsevalla terästehtaalla. Tuotantokustannukseksi saatiin 252 €/t biohiiltä, kun laskennassa huomioitiin pyrolyysikaasujen käyttö meesauunin polttoaineena. Suurin kustannuserä muodostuu tässäkin tapauksessa raaka-aineesta, 222 €/t biohiiltä. Kustannusrakenne on esitetty tarkemmin kuvassa 4.



Kuva 4. Tuotantokustannusten rakenne, kun terästeollisuuden käyttöön tarkoitetun biohiilen valmistus on integroitu sellutehtaan yhteyteen ja raaka-aineena käytetään sellutehtaan sivutuotteena muodostuvaa kuorta. (Hakala et al. 2019)

Siipola et al. (2019) kertovat Pohjois-Ruotsissa toimivan Harads Arctic Heatin suunnitelmista rakentaa biopohjaista raaka-ainetta käyttävä, 50 000 tonnia biohiiltä vuodessa tuottava laitos. Raaka-aineen hinnaksi he ovat kertoneet 19 €/MWh (200 SEK/MWh) ja prosessin saannoksi on ilmoitettu 40 %, kun VTT:llä suoritetuissa tutkimuksissa saanto on ollut 35-38 %. Haradsin suunniteltu investointikustannus on noin 24 M€ (250 MSEK) eli 434 k€/MW, mikä vastaa kuvassa esitetyn FOR&MET laskelman kustannusta 50 000 tonnin biohiililaitokselle. Ilmoitetuissa käyttö- ja kiinteissä kuluissa ei myöskään havaittu merkittäviä eroja Suomessa tehtyjen laskelmien kanssa. Haradsin liikevaihtotavoitteen pohjalta oli laskettu myyntihinnaksi 400 SEK/MWh (38 €/MWh) eli noin 350 €/t biohiiltä, mikä vastaa kuoresta valmistetun biohiilen valmistuskustannuksen tasoa (valmistuskustannus + 6–7 % katemarginaali), kun raaka-aineen hinta on noin 20 €/MWh.

Joronen et al. (2017) ovat esittäneet, että höyryräjätettyjen kuoripellettien tuotantokustannuksista noin 45 % muodostuu raaka-aineista, vaikka prosessi olisi integroitu sellutehtaaseen, jonka sivutuotteena kuori syntyy. Käyttökustannusten osuus on 17 % ja pelletointilaitoksen poistokustannukset 15 %. Integrointi sellutehtaaseen pitää sähkön, lämmön ja työntekijöiden käyttökustannukset alhaisina. Todelliset tuotantokustannukset riippuvat paikallisista olosuhteista. Mikäli raaka-aineen hinnaksi oletetaan 20 €/MWh, voidaan esitettyjen kustannusosuuksien pohjalta laskea höyryräjätettyjen kuoripellettien tuotantokustannusten olevan noin 45 €/MWh.

5.4 Varastointi ja käsittely

Voimalaitosten kannalta turve on helppo polttoaine, koska se voidaan varastoida aumoissa turvesuon laidassa ja kuljettaa laitokselle kysynnän mukaan. Laitoksella ei tarvita suuria varastoja, välivarastoina ja annostelijoina toimivat varastosiihot riittävät.

Pellettien ja biohiilen varastologistiikka sen sijaan edellyttää uusia ratkaisuja. Molempia varten on tarpeen rakentaa välivarastosiihot, joiden tarkoituksenmukainen sijoitus pitää harkita paikalliset olosuhteet huomioiden.

Torrefioitujen pellettien varastointikokeet osoittavat, etteivät pelletit sovellu pitkäaikaiseen ulkovarastointiin. Ne kastuvat vähitellen ja menettävät standardin (SFS-ISO/TS 17225-8:2016) edellyttämät ominaisuutensa, joita on muun muassa kosteudelle ja käsittelykestävyydelle, mikäli standardin mukaisia ominaisuuksia käyttökohteessa vaaditaan. Joka tapauksessa kosteuden noustessa torrefioitujen pellettien lämpöarvo heikkenee. On suositeltavaa, että torrefioituja pellettejä varastoidaan ulkosalla vain väliaikaisesti, esimerkiksi siirtojen yhteydessä. (Weatherstone et al. 2015).

Höyryräjätettyjen pellettien etuna on verraten hyvä sään- ja käsittelynkestävyys. Ne voidaan varastoida ja käsitellä ulkona. Erillisiä varastosiloja ei välttämättä tarvita. Kosteus ei juurikaan lisäännä ulkovarastoinnissa, joten niiden lämpöarvo säilyy hyvänä. (Joronen et al. 2017)

Biohiiltä ei välttämättä tarvitse pelletoida polton tai varastoinnin takia, mikäli käyttö tapahtuu tuotantolaitoksen yhteydessä olevassa integraatissa, esimerkiksi CHP- tai arinakattilassa. Huokoinen hiili tosin imee vettä, joten sen varastoiminen ulkona sellaisenaan ei ole suotavaa. Mikäli hiili pelletoidaan, kasvaa sen irtotiheys merkittävästi ja siitä tulee säänkestävää. Tämä myös mahdollistaa kuljetuksen toiseen käyttöpaikkaan. Biohiilipellettien valmistuksesta ei ole tutkimustuloksia, eikä ole kaupallista tuottajaa, joten pelletoinnin laadusta ja onnistumisesta ei ole varmuutta. Kompaktoimattoman biohiilen irtotiheys on noin 200 kg/m^3 (Carbofex 2021), kun taas biohiilipellettien arviolta 700 kg/m^3 (vertailu torrefioituihin pelletteihin, esim. Alakangas et al. 2016).

Jos biohiiltä ei voida tai haluta käyttää tuotantolaitoksen yhteydessä, pitää se kuljetuksen ja käsittelyn takia pelletoida. Pelletoinnilla saavutetaan parempi käsittelykestävyys, lisätään kuljetustehokkuutta ja ehkäistään materiaalin pölyämistä, mikä voi aiheuttaa merkittäviä turvallisuusriskejä muun muassa pölyräjähdysten muodossa. Olettaen, että biohiilen pelletoinnista aiheutuu samansuuruiset kustannukset kuin muiden verrattavien materiaalien pelletoinnista, lisäkustannus on noin 15 €/t (3 €/MWh). Lisäksi kuljetuskustannuksina voidaan arvioida olevan luokkaa 9 €/t/100 km (Kariniemi 2010).

6. Biohiilen ja lämpökäsiteltyjen pellettien soveltuvuus lämpö- ja voimalaitoskäyttöön

Lämpökäsiteltyjen pellettien on lähtökohtaisesti ajateltu olevan mahdollinen kivihiilen korvaaja, sillä lämpökäsittely parantaa pellettien soveltuvuutta kivihiilikattiloihin. Kivihiltä poltetaan pääsääntöisesti suurissa pölypolttokattiloissa, jotka asettavat melko tiukat rajat niissä seospoltettaville biojakeille. Ilman merkittäviä lisäinvestointeja kyseeseen tulevat lähinnä puupelletit, jolloin tosin biojakeiden osuudet jäävät usein pieniksi (<10 %). Mikäli laitokselle investoidaan pelleteille omat vasaramyllyt, syöttölinjat ja polttimet, voidaan tavallisillakin puupelleteillä korvata kivihiihi jopa kokonaisuudessaan. Lämpökäsiteltyjä pellettejä voidaan syöttää suoraan kivihiihimyllyihin merkittävästi suurempia osuuksia verrattuna tavallisiin puupelletteihin parempien jauhautumisominaisuuksien vuoksi. Tämän, yhdessä paremman varastoitavuuden sekä alempien kuljetuskustannusten kanssa, on ajateltu olevan lämpökäsiteltyjen pellettien tärkein etu. Myös biohiili soveltuisi hyvin pölypolttolaitoksille, sillä korkeamman hiiltoasteen vuoksi biohiili on ominaisuuksiltaan (hiilipitoisuus, haihtuvien aineiden määrä) vielä lähempänä kivihiltä kuin torrefioituneet tai höyryräjätetyt pelletit (ks. taulukot luvussa 5.2). Biohiilen käytöstä ei kuitenkaan ole juuri kokemuksia, sillä energiantuotanto ei ole ollut biohiilen osalta ensisijainen käyttökohde.

Valtaosa turpeesta sen sijaan käytetään leijupetiteknologiaan perustuvissa suurissa ja keskikokoisissa laitoksissa (20–500 MWpa), joissa jyrshinturvetta poltetaan yhdessä hakkeen ja muiden bio- ja jätejakeiden kanssa. Koska nämä laitokset on suunniteltu kosteille ja jalostamattomille polttoaineille, merkittävästi kalliimpien lämpökäsiteltyjen pellettien tai biohiilen käyttämisellä ei saavuteta juurikaan hyötyjä. Turpeen lämpöarvon ollessa kuitenkin hieman puupolttoaineita korkeampi, saattaa kattilan huipputeho hieman laskea, mikäli turve korvataan kokonaan puupolttoaineilla. Toisaalta laitokset on nykyisin usein varustettu lämmöntalteenottopestorein, jotka toimivat tehokkaimmin kosteilla polttoaineilla, mikä vähentää polttoaineen kosteuden merkitystä laitoksesta saatavaan kokonaislämpötehoon. Lisäksi on mahdollista pyrkiä hyödyntämään parempilaatuisia puupolttoaineita silloin kuin kattilasta vaaditaan huipputehoa.

Teknisesti turvetta voitaisiin kuitenkin korvata lämpökäsitellyillä pelleteillä tai biohiilellä myös leijupetikattiloissa samaan tapaan kuin hakkeella huomioiden kuitenkin niiden selvästi alempi kosteus. Koska kattilat on suunniteltu kosteille polttoaineille voi myös liian kuivasta polttoaineesta aiheutua ongelmia, vaikka leijupetikattilat ovat joustavia polttoaineen laatuvariaatioille. Lisäksi erityisesti biohiili sisältää selvästi vähemmän haihtuvia aineita kuin puu, mikä vaikuttaa palamisprofiiliin tulipesässä. Biohiilipelletin sisältämä energia vapautuu enemmän peltialueella, jos pelletti sellaisenaan ei jauhaudu helposti pedissä. Kattilat ovat kuitenkin melko joustavia tämänkin suhteen. Lisäksi lämpökäsiteltyjen puupolttoaineiden osuus olisi todennäköisesti kuitenkin melko pieni johtuen niiden korkeasta hinnasta, eikä polttoaineseoksen kokonaiskosteus tai palamisprofiili siten muuttuisi merkittävästi. Jalostus karkeasti kaksinkertaistaa polttoaineen hinnan, millä olisi todella suuri vaikutus tuotetun kaukolämmön ja sähkön hintoihin. Lämpökäsiteltyjä puupolttoaineita voitaisiin mahdollisesti käyttää ns. priimuspolttoaineina silloin, jos hake on liian kostea sekä tasaamaan hakkeen saatavuuden vaihtelua.

On lisäksi huomattava, että lämpökäsitellyt puupolttoaineet eivät – toisin kuin turve – auta kattilan lämmönsiirtopintojen pitämisessä puhtaana, eivätkä ne estä tulistinputkien korroosiota sähköä tuottavissa kattiloissa. Turpeen kattilan käytettävyyttä parantava ja tulistinmateriaaleja suojaava vaikutus perustuu pääasiassa sen sisältämään rikkiin, joka estää puupolttoaineiden poltossa syntyvien haitallisten yhdisteiden muodostumisen. Vanhempiin seospolttokattiloihin jouduttaisiin tekemään käytännössä samat investoinnit (mm. parempiin tulistinmateriaaleihin) kuin korvattaessa turve hakkeella tai vaihtoehtoisesti kattilaan tulisi syöttää rikkiä korroosion estämiseksi. Siirtyminen pelkästään biojakeisiin lisää muun muassa kattilan nuohoustarvetta ja petihiekan poistotarvetta. Mikäli kattilassa poltetaan puhtaiden puuperäisten jakeiden lisäksi myös jätteperäisiä polttoaineita, turpeesta luopuminen aiheuttaa selvästi suuremmat haasteet

kattilan käytettävyydelle ja materiaalien kestävyydelle. Vanhempien CHP-kattiloiden tullessa käyttöikänsä loppuun ne tulevat korvautumaan enenevässä määrin pelkkää lämpöä tuottavilla kattiloilla, jolloin tulistimien korrosio ei ole enää rajoite. Uusimmat kattilat on usein suunniteltu toimimaan myös pelkillä biomassajakeilla.

Lukumäärällisesti turvetta hyödyntäviä kattiloita on eniten pienissä lämpölaitoksissa (<10 - 20 MWpa). Pienet kattilat perustuvat pääosin arinapolttoon ja niissä voidaan usein hyödyntää sekä palaturvetta että metsähaketta. Arinakattilat vaativat yleensä selvästi tasalaatuisempaa polttoainetta kuin leijupetikattilat ja tämä korostuu mitä pienemmästä kattilasta on kyse. Lisäksi polttoaineen kosteuden muutokset näkyvät selkeämmin hyötysuhteessa ja päästöissä. Lämpökäsitellyt puupolttoaineet soveltuvat myös turvetta- ja haketta käyttäviin arinakattiloihin, mutta eivät todennäköisesti ainoaksi polttoaineeksi selvästi matalamman kosteuden vuoksi. Lämpökäsiteltyjen polttoaineiden rooli olisi todennäköisesti priimauspolttoaine. Pienet lämpölaitokset eivät kuitenkaan kuulu päästökauppaan, joten turve säilyy jatkossakin edullisena polttoaineena, eikä turpeen korvaamiselle tällaisissa laitoksissa ole yhtä selvää painetta, ellei päästökauppasääntöjä muuteta tai turpeen käyttöä kielletä kokonaan.

Koska suuret kivihiihlä käyttävät voimalaitokset todennäköisesti pääosin poistetaan käytöstä kivihiihlä käyttökiellon astuttua voimaan, jäänee potentiaalisimmiksi lämpökäsiteltyjen puupolttoaineiden käyttökohteiksi huippu- ja varatehoa tuottavat lämpölaitokset. Nykyisin nämä laitokset käyttävät pääosin öljyä, mutta viime vuosina puupellettiä käyttävien laitosten määrä on kasvanut merkittävästi. Suuremmat pellettiä käyttävät huippu- ja varateholaitokset perustuvat usein pölypolttoteknologiaan. Tällaisille laitoksille lämpökäsitellyt pelletit voisivat soveltua normaaleja pellettejä paremmin paremman jauhautuvuuden ja varastointi- ja kuljetusominaisuuksien vuoksi.

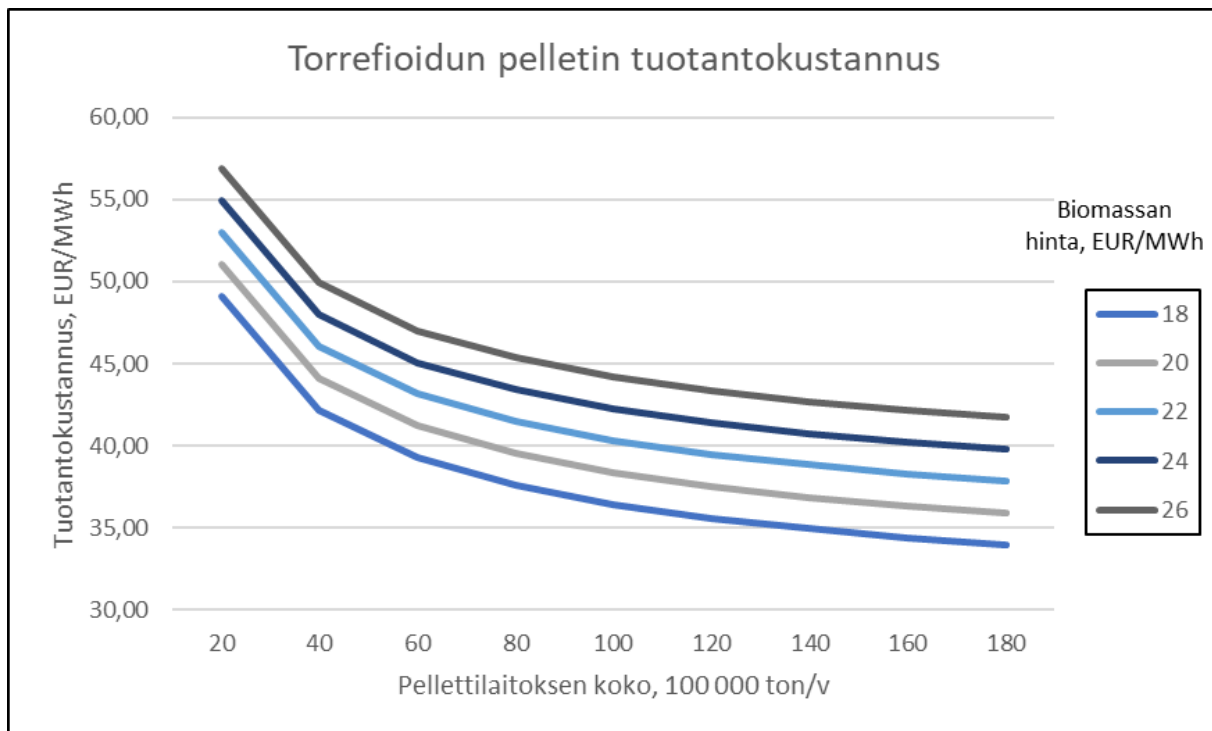
7. Torrefioidun pelletin ja biohiilen sekä polttoturpeen kustannusvertailu

7.1 Torrefioidun pelletin ja turpeen kokonaiskustannusvertailu

Päästöoikeushinnan noustessa torrefioidun pelletin käyttöä polttoaineena arvioitiin kokonaiskustannusten pohjalta. Tarkastelussa ei kuitenkaan huomioitu edellä mainittujen polttoteknisten vaikutusten taloudellisia vaikutuksia, kuten investointitarpeita ja kunnossapitokustannusten muutosten kasvua nuohoustarpeen ja petihiekan poistotarpeen johdosta.

Kustannustarkastelussa käytettiin torrefioinnin parametreinä SECTOR-raportin Base Case-tietoja (Arpiainen & Wilén 2014). Torrefioinnin massa- ja energiansaanto oli 79 % ja energiansaanto noin 90 %. Torrefioidun pelletin lämpöarvo on 22 MJ/kg. Biomassan kuivaukseen käytetään torrefiointiprosessissa muodostuvia kaasuja, torrefiointikaasujen polton savukaasuja sekä ulkoisena lisäenergiana maakaasua. Biomassan ja maakaasun hinnat oletettiin välille 18-26 €/MWh ja 31 €/MWh biomassan (metsähake) päivän hinnan ollessa 23 €/MWh. Samoin päivitettiin pääomakustannuksen korko ja laina-aika, jotka ovat samat kuin biohiilen kustannuslaskelmassa, eli korko 5 % ja 15 vuoden takaisinmaksuaika. Laskelmassa oletettiin tuotannon käyttötuntien olevan 8 000 tuntia vuodessa.

Tuotettujen torrefioitujen pellettien tuotantokustannus riippuu raaka-aineen hinnasta ja pellettilaitoksen koosta (Kuva 5) ja oli 34–57 EUR/MWh valituilla tarkasteluarvoilla.

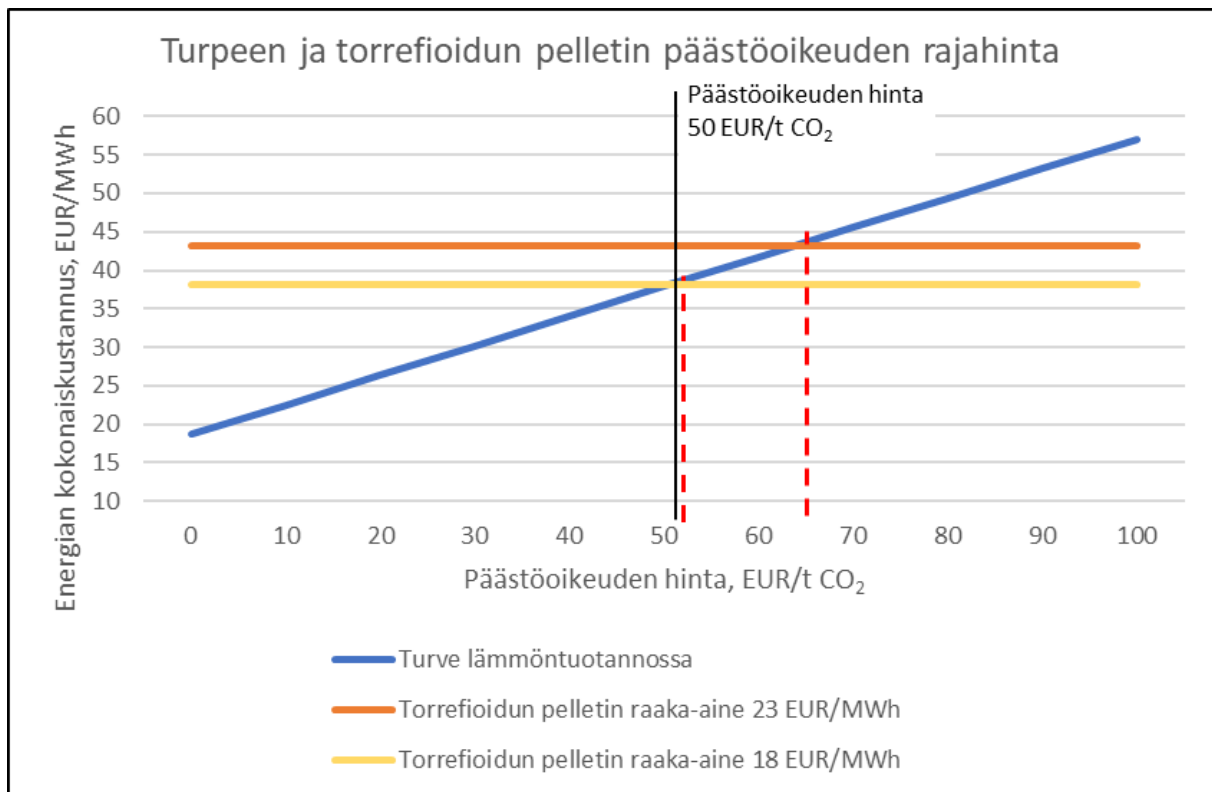


Kuva 5. Torrefioitujen pellettien tuotantokustannukset raaka-aineen ja laitoksen koon funktiona.

Koska turpeen käyttö on kallistunut korotettujen verojen ja voimakkaasti kasvaneen päästöoikeushinnan johdosta, tarkasteltiin, milloin turve olisi kannattavaa korvata torrefioiduilla pelleteillä päästökauppaan kuuluvassa lämpölaitoksessa (Kuva 6). Kuvasta voidaan todeta, että päästöoikeuden nykyhinnalla, noin 50 €/t CO₂, turpeen korvaaminen torrefioiduilla pelleteillä voisi hyvinkin olla vaihtoehtoinen ratkaisu, jos voidaan varmistaa edullinen raaka-aine pellettien valmistukseen ja jos pellettilaitoksen koko olisi riittävä. Nämä taloudellisen

tarkastelun johtopäätökset tulisi arvioida muiden teknisten haasteiden rinnalla. Lisäksi tulisi muodostaa näkemys, mikä olisi päästöoikeushinnan pitkän ajan "trendihinta" kannattavan liiketoiminnan varmistamiseksi.

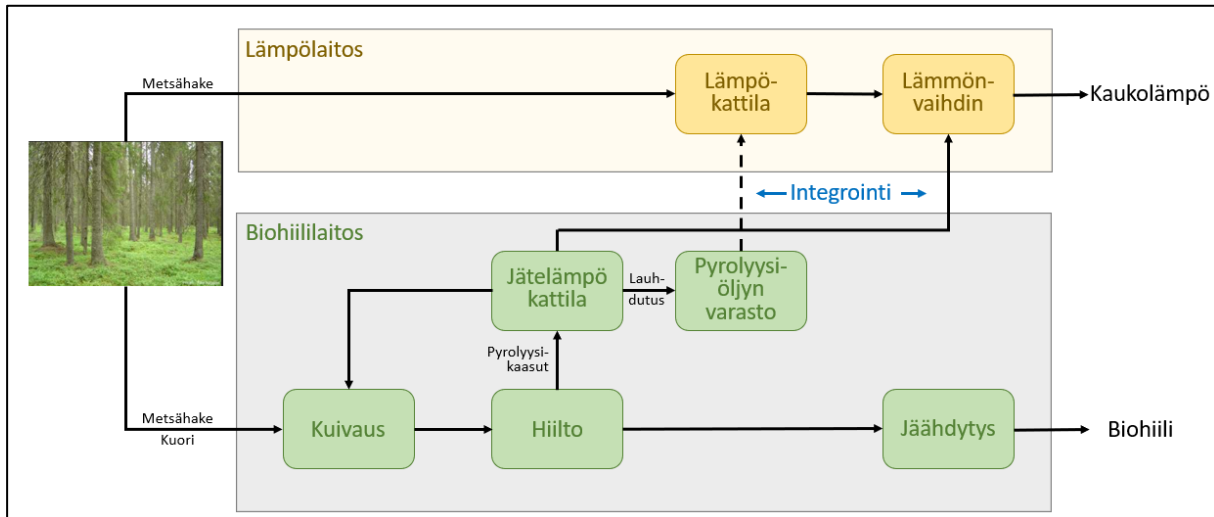
Tässä esitetyt rajahinnat eivät kuvaa suoraan energialaitosten pitkän aikavälin maksukykyä biohiilestä, sillä energiayhtiöt sopeutuvat uuteen markkinatilanteeseen optimoimalla omaa tuotantoaan valitsemalla kustannustehokkaimmat polttoaineet ja teknologiat. Korkeilla päästöoikeuden hinnoilla turve väijäämättä korvataan pääosin biohiiltä selvästi halvemmilla jalostamattomilla puupolttoaineilla. Polton rinnalle tulee myös kasvavissa määrin esimerkiksi lämpöpumppeihin perustuvaa lämmöntuotantoa.



Kuva 6. Torrefioidun pelletin ja biohiilituotannon päästöoikeuden rajahinta lämpölaitoksen energiantuotannossa.

7.2 Lämmöntuotantoon integroitu biohiilen valmistus ja käyttö

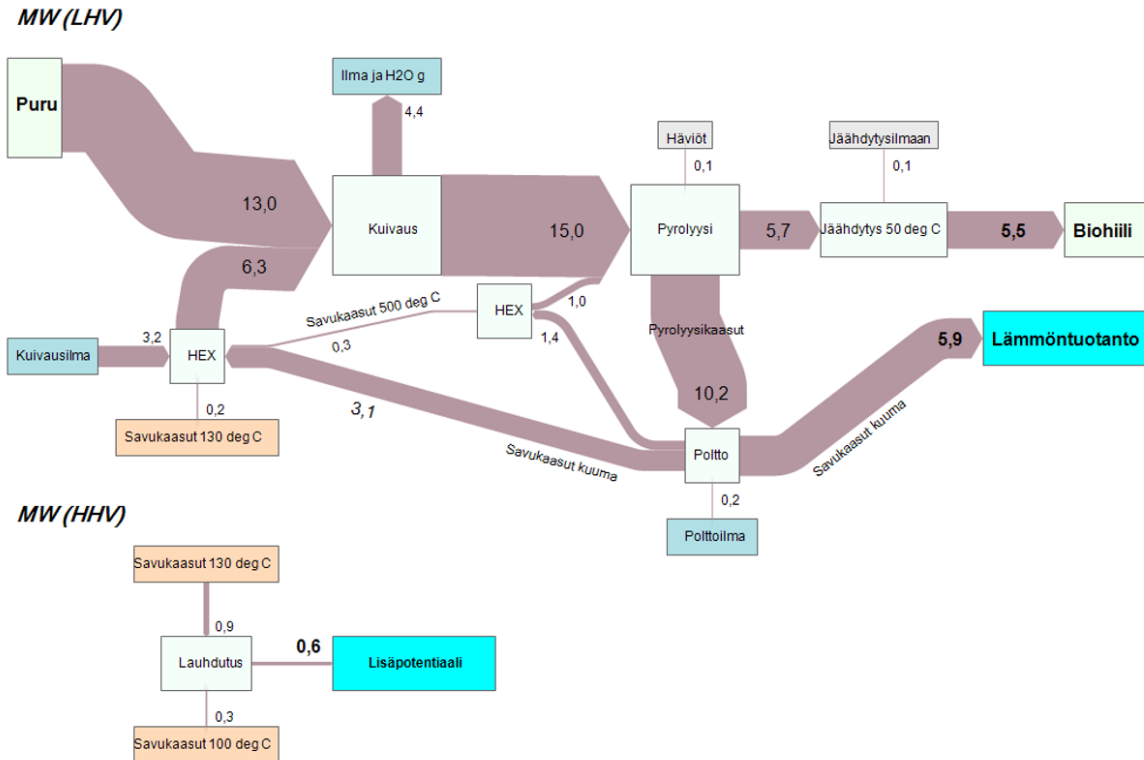
Biomassan samoin kuin turpeen pyrolyysi hiilleytyksi tuotteeksi mukaan lukien pyrolyysikaasun poltto on luonteeltaan eksotermisen prosessi, jonka tuottama ylijäämälämpö on tarkoituksenmukaista hyödyntää laitoksen ulkopuolella. Biohiilen valmistus on siten mahdollista integroida kaukolämmön tuotannon yhteyteen (Kuva 7). Integrointi voi tapahtua hyödyntämällä lämmöntarpeen vaihtelua vuodenaikojen mukaan. Kesäkausina kaukolämmön kulutus jää huomattavasti alhaisemmaksi kuin kylminä vuodeaikoina, joten integroidussa toimintakonseptissa biohiilen rinnakkaisvalmistuksella alhaisen lämmöntarpeen aikoina valmistetaan korkea-arvoinen tuote, joka voidaan toimittaa asiakkaille ympäri vuoden. Pyrolyysikaasusta otetaan samalla talteen kondensaattifraktio, joka voidaan hyödyntää talvella lämpö- tai voimalaitoksen lisäpolttoaineena. Esimerkki tällaisesta integroidusta ratkaisusta on Tampereella toimiva Carbofex Oy (www.carbofex.fi). Biohiilen rinnakkaistuotannon prosessikaavio lämpölaitokseen integroituna on esitetty kuvassa 7.



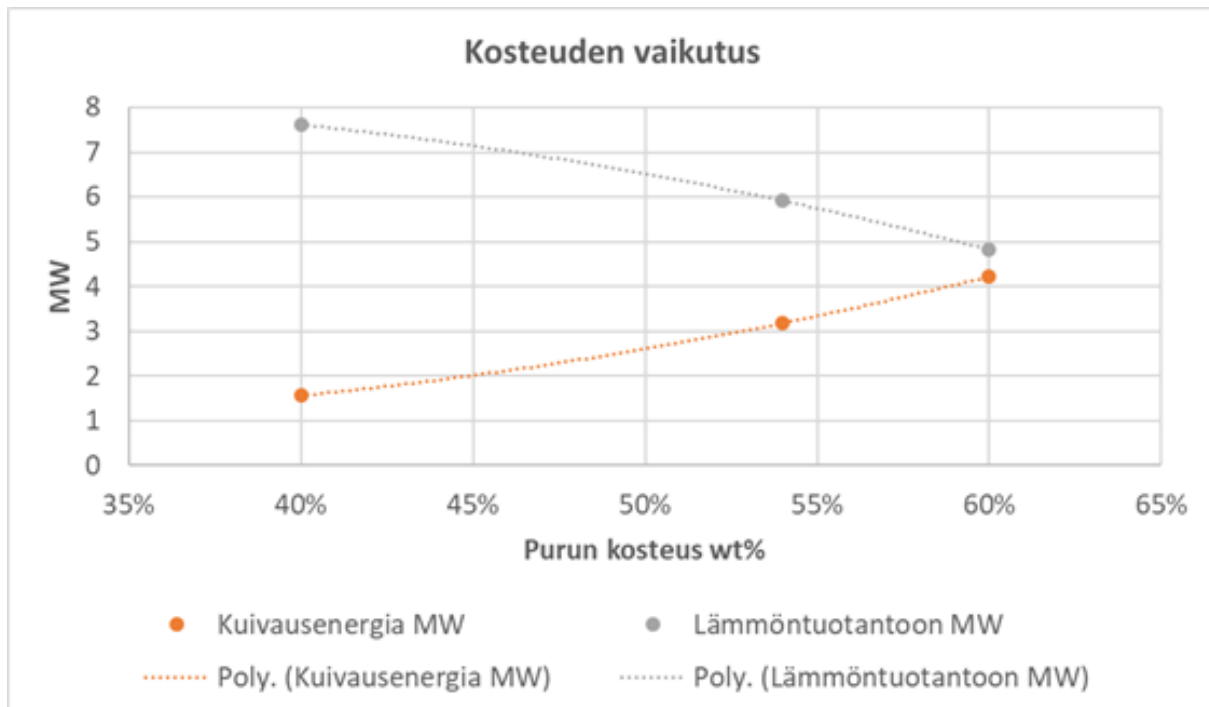
Kuva 7. Biohiilen valmistuksen prosessikuva lämpölaitokseen integroituna rinnakkaistuotantona.

Jatkuvatoimisen integroidun konseptin skemaattinen malli on edelleen esitetty kuvassa 8. Jatkuvatoimisessa integroinnissa prosessi voi koostua biomassan kuivauksesta, pyrolyysiuunista sekä lämmön talteenotto (LTO)- ja savukaasujen käsittely-yksiköistä. Uunin toimiessa osittaisella vastavirtaperiaatteella voidaan autotermisen prosessin kuumien reaktiokaasujen energiaa käyttää pyrolyysin lisäksi kuivaukseen ja edelleen lämpölijäämä hyödyntää tehokkaasti LTO- ja savukaasujen käsittelyvaiheissa. Reaktorin karbonointiosassa biomassasta vapautuvat haihtuvat yhdisteet poltetaan jälkipolttokammiossa ja kuumien savukaasujen energia otetaan talteen LTO-kattilassa. Lämpövirta jakautuu edelleen raaka-aineen kuivaukseen ja ulkoiseen kaukolämpöön. Kaaviokuvassa 8 on esitetty sahanpurua käyttävän integroidun pyrolyysiprosessin konsepti. Tehoarvot (MW) on kuvattu alemman lämpöarvon mukaan, jolloin luvuissa ei näy mahdollinen veden lauhduttaminen. Erikseen on lisäksi tarkasteltu savukaasujen lauhdutusta ylemmän lämpöarvon perusteella. Kuivaus- ja polttoilma on oletettu 1 p-% kosteudessa. Arvot ovat approksimoituja perustuen kuoren pyrolyysiin ja biohiili analyysiin suuremmalla saannolla. Ylijäämäenergiaa on mahdollista kasvattaa huomattavasti, jos kuivaukseen on käytettävissä muualta saatavaa kuumaa vettä tai höyryä ja/tai lauhduttamalla savukaasut. Lisäksi raaka-aineen alempi kosteuspiitoisuus nostaa merkittävästi ylijäämäenergiaa kuivaustarpeen vähentyessä (Kuva 9).

Esimerkki yllä kuvatusta prosessista on Neova Oy:n Ilomantsissa käynnistynyt aktiivihiililaitos, joka tuottaa myös kaukolämpöä. Laitoksen raaka-aineena voidaan käyttää turvetta ja puuta (sahanpurua) (Neova 2019). Edelleen Taaleri Bioteollisuus suunnittelee Joensuuhun v. 2023 valmistuvaa laitosta, jonka raaka-aineena käytetään harvennuspuuta. Laitos keskittyy aluksi torrefioitujen pellettien valmistukseen (kapasiteetti 60 000 t/v). Raaka-aineen kuivaus ja pyrolyysikaasujen poltto on integroitu Savon Voima Oy:n Joensuun voimalaitoksen yhteyteen (Saarno 2021).



Kuva 8. Kaaviokuva integroidusta purun pyrolyysikonseptista (kuivasyöttö 23 000 t/v, kosteus 54 p-%, biohiilisaanto noin 24 p-%). Ylijäämäenergia (5,9 MW) pyrolyysikaasujen poltosta voidaan hyödyntää lämpölaitoksella. Ylijäämäenergiaa on mahdollista kasvattaa erilliskuivauksella (potentiaali noin 3 MW) ja/tai lauhduttamalla savukaasut (0,6 MW).



Kuva 9. Raaka-aineen kosteuden vaikutus lämmöntuotantoon (purun pyrolyysikonsepti).

Koska pyrolyysilaitosten ylijäämlämpö syntyy ennen kaikkea haihtuvien komponenttien palamisesta, jää integroiduissa laitoksissa 40-50 % biomassan hiilestä kiinteään biohiilimateriaaliin. Integroitujen laitosten toiminta-ajatus voi siten perustua kaukolämmöntuotannon ja hiilensidonnan yhdistämiseen. Toteutus kuitenkin edellyttää perinteisiin lämpölaitoksiin verrattuna suurempia investointeja, joten tällaisten laitosten yleistyminen edellyttäisi nykytilannetta kehittyneempiä biohiilimarkkinoita. Esimerkiksi Carbofex valmistaa korkealuokkaista biohiiltä erityisesti kaupunkien maanparannus- ja puutarharakentamiseen, jolloin kannattavuus perustuu sekä kaukolämpöfraktion että biohiilituotteen tuottamaan myyntikatteeseen.

7.3 Taloudellinen tarkastelu turpeen energiakäytön korvaamiseksi biohiilellä

Turpeen kokonaiskustannus (polttoaine, verot ja päästökauppa) energiakäytössä riippuu laitoksen koosta ja tyypistä. Erityisen merkittävää on, kuuluuko laitos päästökauppaan. Lämpöteholtaan alle 20 MW laitokset eivät kuulu päästökaupan piiriin, elleivät ne ole osa kaukolämpöverkkoa, jossa on myös yli 20 MW laitoksia. Tällaisilla laitoksilla turve on edelleen kustannustehokas polttoaine. Myös valmisteveroissa on eroa eri laitosten välillä. CHP-laitoksen keskimääräinen vero on lämpölaitosta alhaisempi, koska sähköntuotannon polttoaineet ovat valmisteverottomia, ja myös lämmöntuotantoon käytettävästä polttoaineesta maksetaan CHP-laitosten tapauksessa hieman matalampaa veroa (Taulukko 12). Pienimmät lämpölaitokset eivät joudu maksamaan veroa lainkaan, sillä tällä hetkellä turpeen käyttö on verotonta 5000 MWh/v asti. Hallituksen riihipäätöksen mukaan turpeen verottoman käytön alaraja myös nousee laitoskohtaisesti 5 000 megawattitunnista 10 000 megawattituntiin vuosina 2022–2026. Päästökauppaan verrattuna valmisteverolla on nykyisin selvästi pienempi vaikutus turpeen kokonaiskustannuksiin.

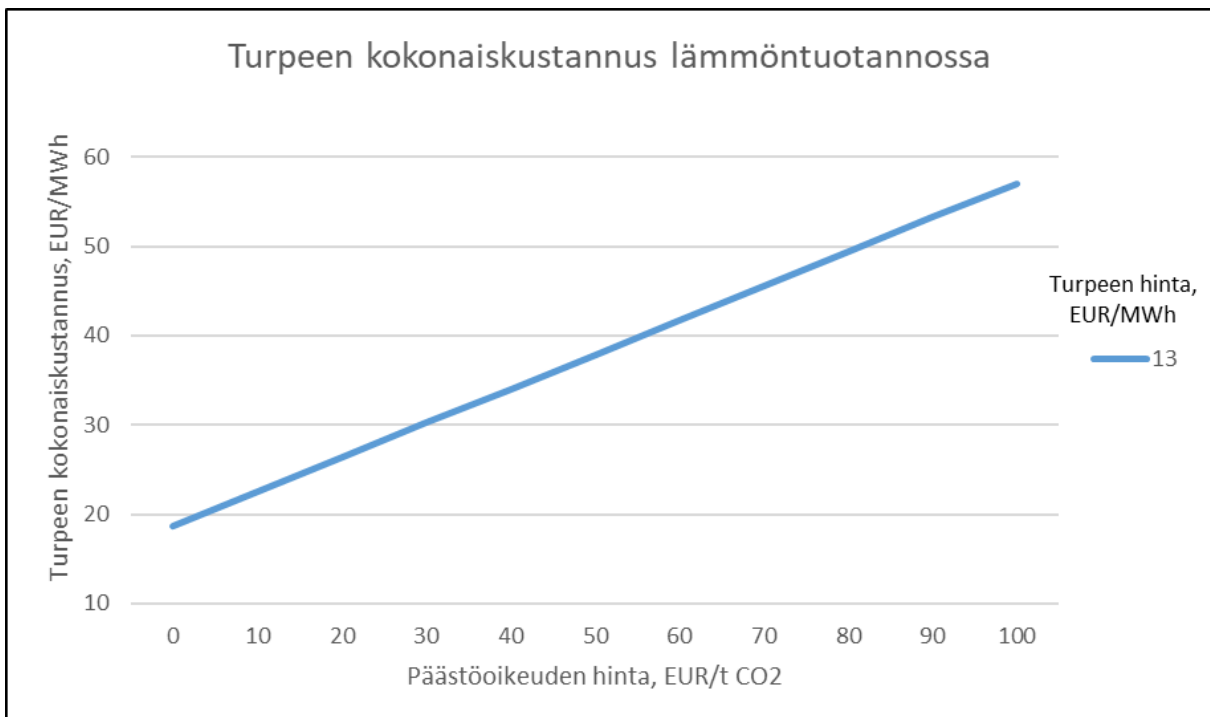
Taulukko 12. Turpeen kokonaiskustannus polttolaitokselle. Päästöoikeuden hinta 50 €/t CO₂ ja turpeen päästökerroin hapetuskerroin huomioiden 0,383 tCO₂/MWh.

Turpeen ”kokonaiskustannus” polttolaitokselle	<1-2 MW lämpölaitos	<20 MW lämpölaitos	>20 MW lämpölaitos	CHP-laitos
Turve, markkinahinta	13,2	13,2	13,2	13,2 €/MWh _{pa}
Vero		5,7	5,7	3,1 €/MWh _{pa}
Päästöoikeus turpeelle, kun päästöoikeuden hinta on 50 €/t CO ₂			19,2	19,2 €/MWh _{pa}
Yhteensä	13,2	18,9	38,1	35,5 €/MWh_{pa}

Päästöoikeuden hinta on noussut voimakkaasti viimeisen vuoden aikana (Kuva 10). Tästä johtuen turpeen kustannus polttoaineena on noussut merkittävästi ja energiantuottajat ovat aktiivisesti etsineet korvaavia polttoainevaihtoehtoja sekä uusia vaihtoehtoisia lämmöntuotantoteknologioita, kuten lämpöpumppuja. Turpeen kokonaiskustannus suurelle lämpölaitokselle tämän hetken veroilla ja päästöoikeuden hinnan ollessa 50 €/t CO₂ on 38 €/MWh ja vastaavasti CHP-laitokselle 35,5 €/MWh. Päästöoikeuden hinnan vaikutus turpeen hintaan on esitetty kuvassa 11.



Kuva 10. Päästöoikeuden hinnan kehitys 2020-2021. (EUA Futures)



Kuva 11. Energiaturpeen kokonaiskustannus päästöoikeuden hinnan funktiona.

Metsäteollisuudessa syntyy paljon sivuvirtoja, joille ei ole löytynyt korkea-arvoista käyttöä ja joiden määriä on arvioitu edellä kappaleessa 3. Biohiilen valmistuksella lämpö- tai voimalaitokseen integroituna voidaan lämpölaitoksen toimintaa tehostaa hyödyntämällä biohiilivalmistuksen ylijäämäenergiaa kaukolämmöntuotannossa sekä polttaa talteen otettu

pyrolyysiöljy lämmöntuotannossa kysyntähuippuina. Biohiilen tuotanto voi lisäksi mahdollistaa voima- tai lämpölaitokselle uuden tuotteen eri loppukäyttöön. Biohiilen valmistuksen integrointi lämmön- tai sähkötuotantoon tasaa vuodenajasta johtuvien lämmöntarpeen kausivaihteluiden vaikutusta ja parantaa näin kokonaisuuden kannattavuutta. Biohiilivalmistuksen integroinnilla voidaan SECTOR-raportin perusteella saavuttaa arviolta noin 5-10 % hyöty biohiilen valmistuskustannuksissa.

Männyn kuoresta valmistetun biohiilen massa- ja energiataseet arvioitiin VTT:n Balas-ohjelmistolla muun muassa prosessin ylijäämäenergian määrittämiseksi. Biohiilen massasaanto oli 40 %. Energiasaanto riippuu pyrolyysikaasujen ja -öljyn hyödyntämisestä energiantuotannossa. Biohiiliprosessin tuottama ylimääräinen energia voidaan käyttää lämpö- ja voimalaitoksessa turpeen korvaamiseksi. Tässä tarkastelussa sekä biohiilen sisältämä energiamäärä, että tuotannon ylijäämäenergia hyödynnetään lämpölaitoksessa. Päästöoikeuden hinnan kasvaessa biohiilen kilpailukyky turpeeseen verrattuna paranee, koska biohiilivalmistuksen kokonaiskustannus, sisältäen päästöoikeuden ja verot, ei muutu.

Biohiilen valmistuskustannus arvioitiin männynkuoresta valmistettuna, kuoren hinnan ollessa toukokuussa 2021 noin 18 €/MWh (Taulukko 13). Laitoksen vuotuiseksi käyttöajaksi on oletettu olevan 8000 h/v.

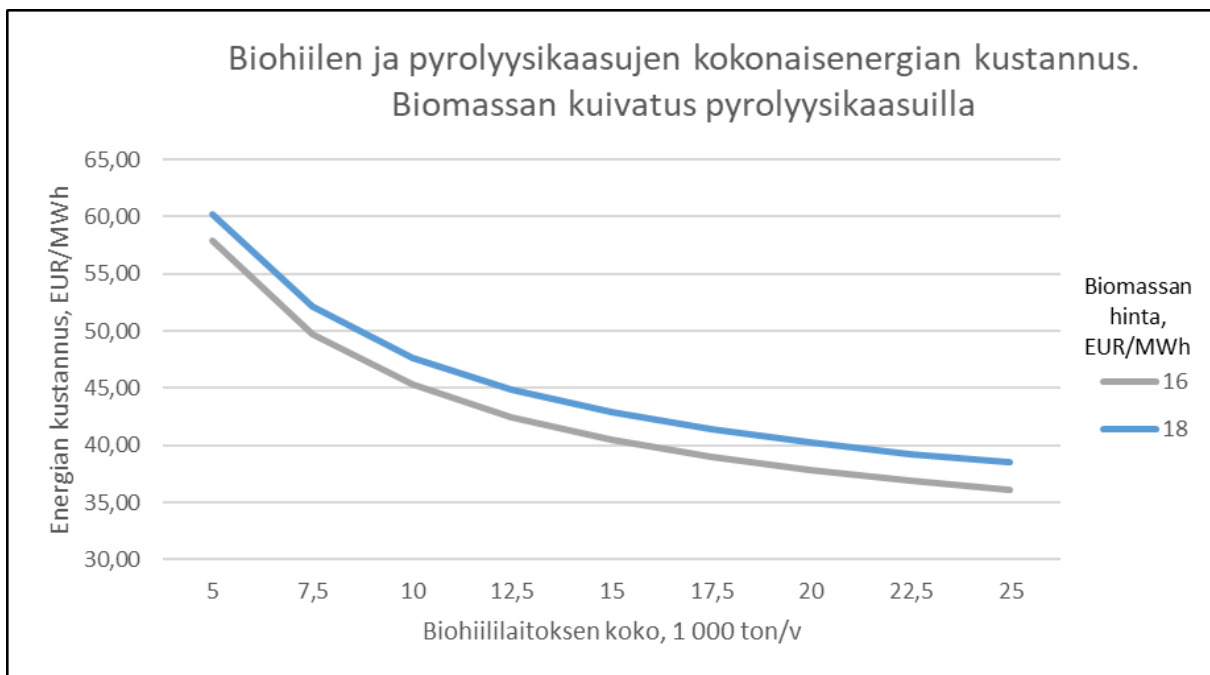
Taulukko 13. Männynkuoresta valmistetun biohiilen kustannusrakenne, kun biohiililaitoksen koko on 10 000 t/v, raaka-aineen hinta 18 €/MWh, raaka-aineen kosteus 60 %, biohiilen massasaanto 40 % ja investointikustannus 850 €/t.

	kEUR/v	EUR/t biohiili	EUR/MWh
Raaka-aine	2 014	201	24,2
Energia	77	8	0,9
Muut muuttuvat	110	11	1,3
Muuttuvat kustannukset	2 201	220	26,4
Palkat	861	86	10,3
Kunnossapito	314	31	3,8
Vakuutus	262	26	3,1
Muut kiinteät	157	16	1,9
Kiinteät kustannukset	1 593	159	19,1
Rahoituskustannus	993	99	11,9
Kokonaiskustannus	4 787	479	57,4

Biohiilen rinnakkaistuotannossa kaasujen poltosta syntyvä ylimääräinen energia voidaan toimittaa lämpölaitokselle, jolloin biohiilivalmistuksen tuottama kokonaisenergia voidaan hyödyntää täysimääräisesti. Jos biohiilen pyrolyysiprosessin kaasut käytetään biomassan kuivaukseen 10 % kosteuteen ennen pyrolyysiä, syntyy biohiilen lisäksi kuumaa pyrolyysikaasua 1,5 MWh biohiilitonnin kohti toimitettavaksi lämpölaitokselle. Biohiilituotannon tuottaman energian kustannus lämpölaitokselle laskee taulukon 13 57 €/MWh:sta 48 €/MWh:iin, jos hyödynnetään sekä biohiilen että pyrolyysikaasun energiasisällöt. Jos biohiililaitoksen lähialueella on ylimääräistä hukkalämpöä käytettävissä raaka-aineen kuivaukseen, suurin osa pyrolyysikaasuista voidaan ohjata lämmöntuotantoon.

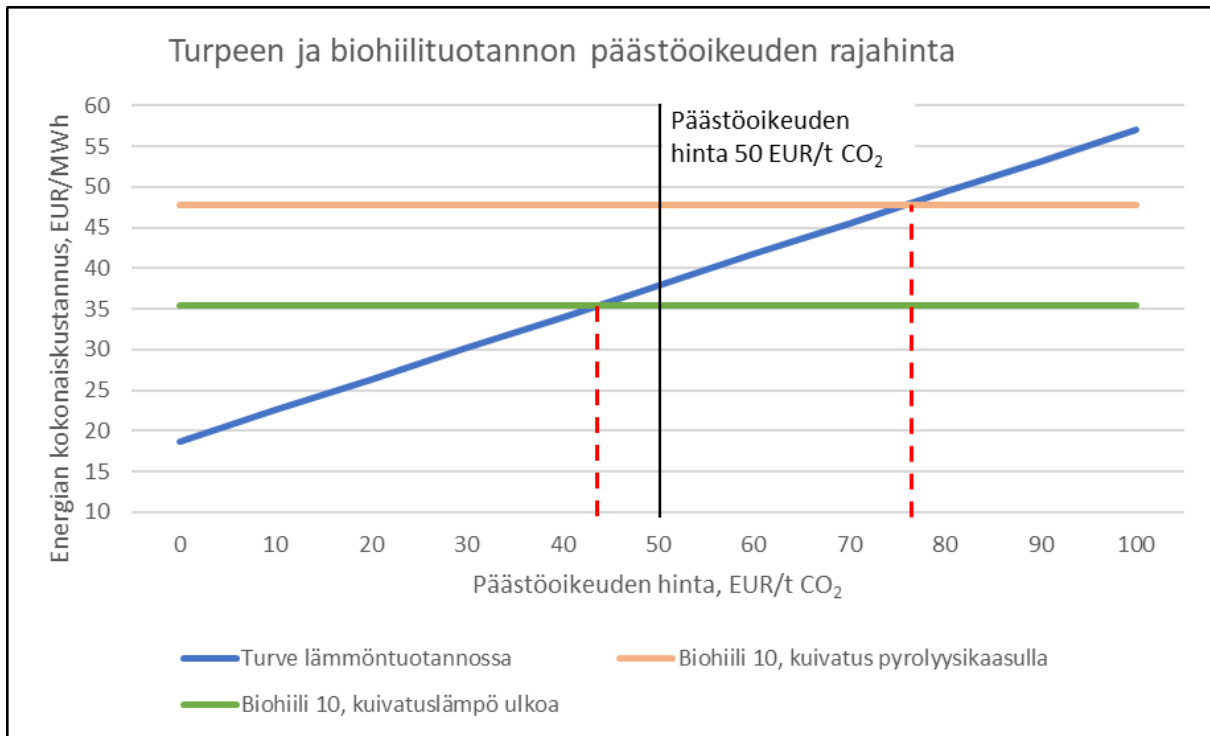
Pyrolyysiprosessissa syntyy vastaavasti 5,0 MWh kuumaa pyrolyysikaasua biohiilitonnia kohti toimitettavaksi lämpölaitokselle. Biohiilituotannon tuottaman energian kustannus lämpölaitokselle laskee vastaavasti taulukon 13 57 €/MWh:sta 35 €/MWh:iin, jos hukkalämpö kuivaukseen on mahdollista käyttää ja se on ilmaista, ja näin ollen suurempi osa pyrolyysikaasuista voidaan hyödyntää kaukolämmöntuotantoon.

Biohiililaitoksen koko vaikuttaa biohiilivalmistuksen kustannuksiin, koska kapasiteetin kasvaessa ominaisinvestointikustannukset laskevat (Kuva 12).



Kuva 12. Biohiilen ja ylijäävän pyrolyysikaasun tuotantokustannus laitoksen koon funktiona.

Yhdistämällä turpeen ja biohiilen kustannustiedot voidaan arvioida, millä päästöoikeuden hinnalla turve kannattaa korvata kuoresta valmistetulla biohiilellä pelkästään taloudellisin perustein (Kuva 13). Tarkastelu on tehty puhtaasti nykyisten valmistus- ja raaka-ainekustannusten pohjalta, joten siinä ei ole huomioitu mahdollisia muutoksia polttoprosessissa, esimerkiksi korroosiovaikutuksia, polttotehon muutosta tai muita polttoteknisiä tekijöitä.



Kuva 13. Turpeen ja biohiilituotannon päästöoikeuden rajahinta lämpölaitoksen energiantuotannossa. Biohiililaitoksen tuotanto 10 000 t/vuosi.

Kuvasta nähdään, että päästöoikeuden hinnalla 50 €/t CO₂ turpeen korvaaminen biohiilellä ja valmistuksessa syntyvillä pyrolyysikaasuilla tulee kannattavaksi, jos ilmaista hukkalämpöä (esim. lähialueen teollisuuslaitoksilta tai jäteveden lämmöstä) on käytettävissä biohiilen raaka-aineen kuivaukseen hankintakosteudesta 60 %, kosteuteen 10 % ennen pyrolyysiä. Mikäli tällaista kuivausenergian lähdettä ei ole käytettävissä, biohiilen ja pyrolyysikaasujen käyttö turpeen korvaajina tulee kannattamattomaksi. Markkinatilanteen ja hintojen muuttuessa turpeen korvaamisen rajahintaa biohiilellä tulisi arvioida pitkän aikavälin kehityksen kannalta. Selvitys kuitenkin osoittaa, että biohiilen käyttö energiantuotannossa voi tapauskohtaisesti osoittautua myös taloudellisesti mielekkääksi.

Edellä esitetyt rajahinnat eivät kuitenkaan kuvaa suoraan energialaitosten pitkän aikajänteen maksukykyä biohiilestä, vaan energiayhtiöt sopeutuvat uuteen markkinatilanteeseen optimoimalla omaa tuotantoaan valitsemalla kustannustehokkaimmat ratkaisut. Korkeilla päästöoikeuden hinnoilla turve tulee korvautumaan pääosin jalostamattomilla puupolttoaineilla ja polttoon perustuvan lämmöntuotannon rinnalle tulee kasvavissa määrin erityisesti lämpöpumppeihin perustuvaa tuotantoa.

8. Teknis-taloudellisia ja oikeudenmukaisuusnäkökohtia turpeen korvaamisessa

8.1 Turpeesta luopumisen aikataulu ja vaikutukset

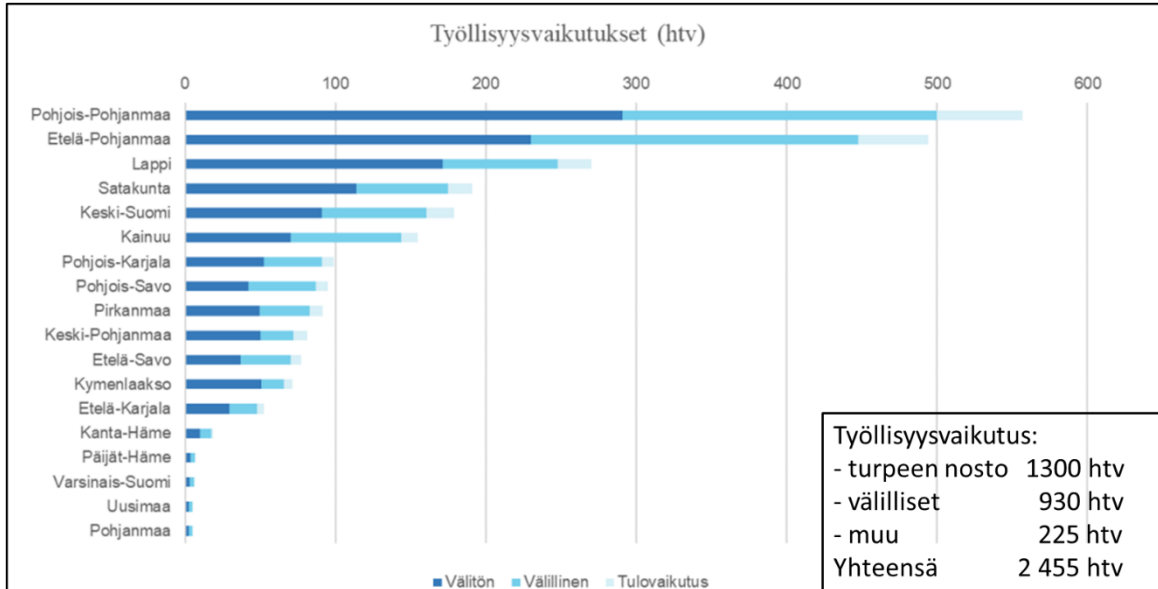
Nykyiseen hallitusohjelmaan sisältyy tavoite turpeen energiakäytön vähintäänkin puolittamisesta vuoteen 2030 mennessä kuitenkin niin, ettei ainespuun polttoa lisätä. Turpeen käyttö on tarkoitus suunnata polton sijasta korkeamman jalostusasteen innovatiivisiin tuotteisiin siten, ettei muutos vaaranna Suomen sähkön ja lämmön toimitus- ja huoltovarmuutta.

Turpeen käytön vähentäminen luo polttoteknisiä haasteita, sillä vanhoissa voimalaitoskattiloissa turvetta tarvitaan seospolttoaineeksi estämään tulistinkorroosiota ja pitämään lämmönsiirtopinnat puhtaina. Turpeen korvaaminen aiheuttaa myös muutoksia polttoaineen logistiikassa ja sitä kautta vaatineen uusinvestointeja voimalaitosinfraan. Turpeen käyttöä voidaan pitää puhtaasti teknisen tarkastelun näkökulmasta perusteltuna. Teknisestä näkökulmasta turpeen käyttöä olisi mahdollista vähentää nykyisestä, sillä monissa voimalaitoksissa turvetta poltetaan suuremmalla osuudella kuin mitä käyttöt teknisesti vaadittaisiin. Lisäksi turvetta käytetään paljon lämpölaitoksissa, joissa korrosio ei ole ongelma.

Turpeen käytön vähentymisellä on huomattava alueellinen vaikutus, etenkin Pohjanmaalla ja Itä-Suomessa. Näillä alueilla korostuu kysymys turpeen alasajon alueellisesta ja sosiaalisesta oikeudenmukaisuudesta, koska vaikutukset alueelliseen infrastruktuuriin ja työllisyyteen ovat merkittäviä, vaikka ympäristötavoitteiden saavuttaminen on sinänsä tavoiteltava asia. Tässä tapauksessa toimenpide kohdistuu eriarvoisesti ja syntyy ”sijaiskärsijöitä”.

Lähtökohtana on kuitenkin toteuttaa päästövähennykset sosiaalisesti ja alueellisesti oikeudenmukaisesti huomioiden yhteiskunnan kaikki osa-alueet. Sosiaalisen oikeudenmukaisuuden mittareina käytetään työllisyys- ja tulonjakovaikutuksia. Toimenpiteiden pitää olla yhteiskunnan kokonaisedun mukaisia ja kansalaisten laajasti hyväksyttävissä.

Turpeen alasajon työllisyysvaikutukset ovat arviolta noin 2000–2500 henkilötyövuotta (Kuva 14).



Kuva 14. Turpeen työllisyysvaikutukset maakunnittain 2015, kun turpeen käyttö oli 16 TWh (SITRA 2020).

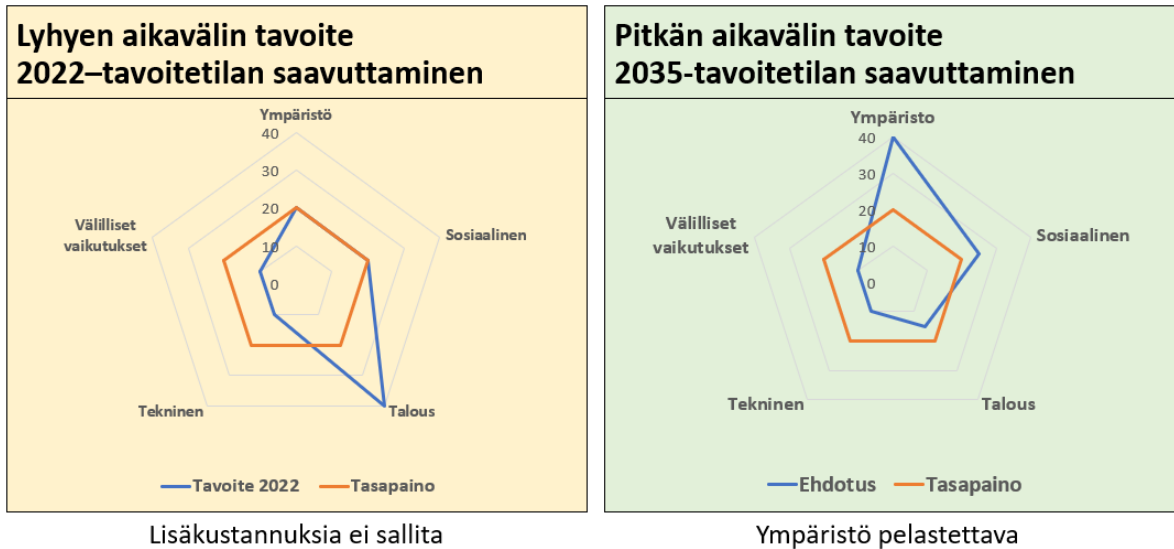
EU:n Green Deal -ohjelmaan kuuluva oikeudenmukaisen siirtymän rahasto (JTF)-rahasto on osa kokonaisuutta, jolla unioni aikoo tukea tavoitetta saavuttaa hiilineutraaliustavoitteensa vuoteen 2050 mennessä. Rahoituksen saaminen edellyttää jäsenvaltioilta hiilineutraalisuussitoutumusta. Suomelle komissio on esittänyt sitoumusta turpeen energiakäytön vähentämisestä.

JTF-rahaston avulla lievitetään siirtymän aiheuttamia sosioekonomisia haittavaikutuksia ja luodaan edellytyksiä uusien työpaikkojen syntymiselle ja turvataan aluetalouksia (VN/2258/2021). Suomen ensisijaisiksi investointitarpeiksi hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi ovat nousseet muun muassa:

- 1) tehokas ja puhdas energiantuotanto ja käyttöönottoa tukevat innovatiiviset ratkaisut,
- 2) aluetalouksien monipuolistaminen ja työtekijöiden osaamisen varmistaminen sekä
- 3) turvetuotannosta vapautuvien alueiden kunnostaminen, ennallistaminen ja käyttötarkoituksen muuttaminen.

Turpeen energiakäytön nopean vähenemisen välittömiä seurauksia ovat muun muassa muun biomassan polton merkittävä kasvu, huoltovarmuuden heikkeneminen, kotimaisen kasvu- ja kuiviketurpeen tuotannon väheneminen ja hinnan nousu.

Haasteena ympäristötavoitteiden saavuttamisessa on löytää oikeudenmukainen tasapaino lyhyen ajan taloudellisten vaikutusten ja pidemmän aikavälin ympäristötavoitteiden välillä (Kuva 15) ja sen pohjalta viedä muutokset läpi alueellisesti ja sosiaalisesti oikeudenmukaisesti. Ympäristötavoitteiden saavuttamiseksi on hyväksyttävä, että kustannukset nousevat ja tulevat viime kädessä asiakkaiden eli kansalaisten maksettavaksi.



Kuva 15. Poliittikkatoimien haasteena on tasapainottaa lyhyen aikavälin taloudellisten tarpeiden ja pitkän aikavälin ympäristötavoitteiden välillä. (Karlsson & Björnström 2021)

8.2 Teknis-taloudellisia näkökohtia

- tehokas ja puhdas energiantuotanto ja sen käyttöä tukevat innovatiiviset ratkaisut.

Turvetta käytetään pääosin kaukolämmön ja teollisuuden energiatuotantoon yhteensä noin 190 kattilassa, joista osassa turpeen käyttö seospolttoaineena on teknisesti välttämätöntä. AFRY:n selvityksessä vuodelta 2020 on arvioitu kattilakannan rajoitteet turpeen käytölle ja ”turve-minimi”, jonka alle ei voida mennä ilman investointeja, koska turvetta käytetään useasti ns. teknisenä apuaineena parantamaan kattilan hyötysuhdetta ja pakkaskaudella riittävän lämpötehon saavuttamiseksi (AFRY 2020).

Kattilamuutoksista aiheutuvat kustannukset ovat sitä suuremmat, mitä nopeammin turpeen käytöstä luovutaan. Nopea muutos merkitsisi 150–250 miljoonan euron investointitarvetta (AFRY 2020).

Päästöoikeuden hinnan ja turveveron nousu synnyttää tarpeen investoida myös olemassa oleviin turvelaitoksiin turpeen käytön vähentämiseksi. Turpeen energiakäytön luopumisen seurauksena korvaavan biomassan hinta nousee, millä on merkittävä vaikutus kaukolämmön hintaan. Biomassan kysynnän kasvulla on myös laaja kansallinen vaikutus koko metsäteollisuudelle aiheuttaen kilpailua samoista metsäbiomassavaroista. Turpeen vähenevä käyttö vaikuttaa myös työllisyyteen. Molemmat vaikutukset ovat Suomen kokonaisetujen mukaisesti perusteltuja, mutta kohdistuvat kansalaisiin eriarvoisesti.

Nykyisistä turpeen energiakäytön noin 2300 henkilötyövuodesta arvioidaan vuonna 2030 olevan jäljellä hieman alle 100–400 henkilötyövuotta eri verotuksen vaihtoehdoilla. Alueellisesti vaikutukset voivat olla merkittäviä (AFRY 2020). Toisaalta biomassan kysynnän kasvu aiheuttaa työvoiman lisätarvetta etenkin metsähakkeen tuotantoketjuihin. Turpeen tuotannossa työskennelleet eivät osaamisensa puolesta automaattisesti sovellu metsäbiomassan hankintaan, sillä nykyäänkin on haasteellista löytää puunkorjuuseen riittävästi ammattitaitoisia työvoimaa.

Käytännössä turpeentuotannon ennakoitua nopeampi alasajo on jo käynnissä johtuen sekä turveverosta, mutta erityisesti CO₂-päästöoikeuden hinnan huomattavasta kallistumisesta lyhyessä ajassa (25 €/t CO₂ → 55 €/t CO₂). Sen seurauksena tarvitaan nopealla aikataululla uusia ratkaisuja turvepolttoaineen tilalle menetettyjen työpaikkojen korvaamiseksi, uusien

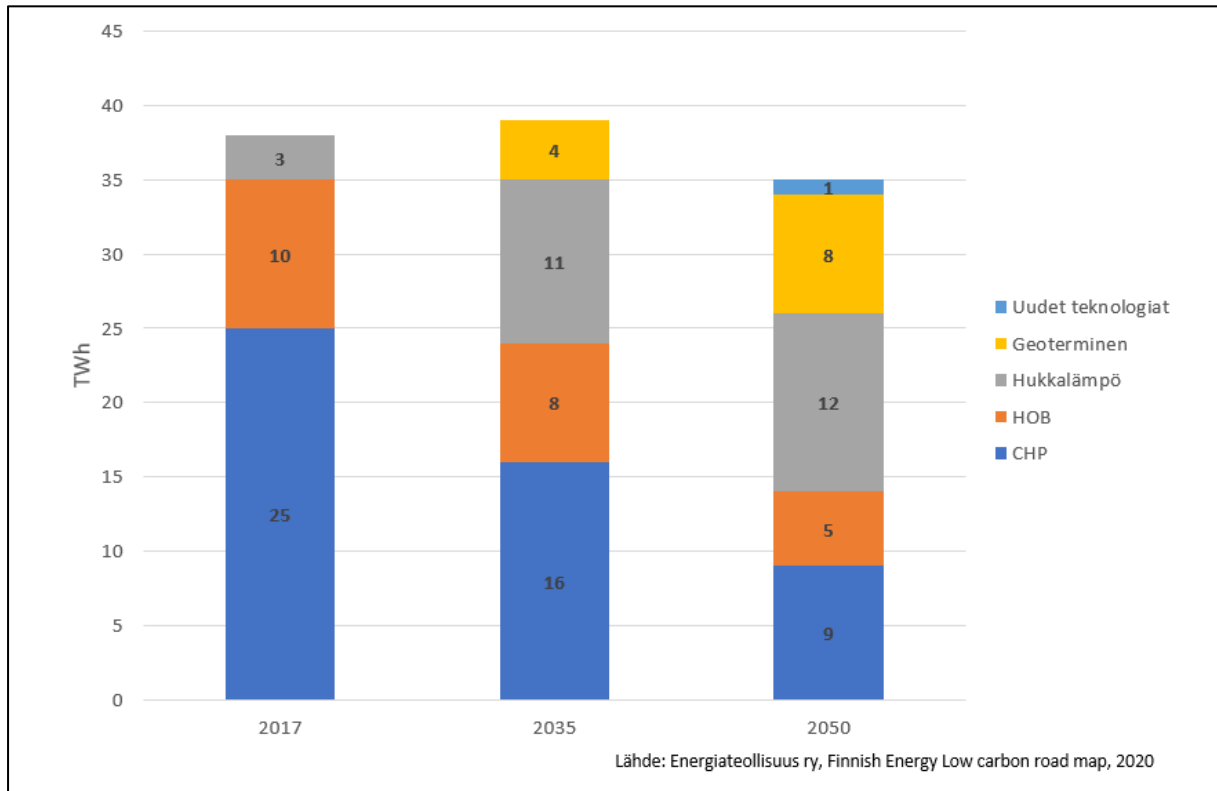
lisäarvotuotteiden ja liiketoimintamallien luomiseksi sekä aluetaloudellisten vaikutusten hallitsemiseksi sosiaalisen ja alueellisen oikeudenmukaisuuden varmistamiseksi.

Voidaan kehittää teknologiaratkaisuja, joiden avulla energiaturve on mahdollista korvata sivuvirtojen tehokkaammalla hyödyntämisellä, esimerkiksi metsäteollisuuden sivuvirroista tai pienpuuhakkeesta valmistetulla biohiilellä, torrefioidulla tai höyryräjäytetyllä pelletillä, joiden avulla nykyisten lämpökattiloiden käyttöä voidaan jatkaa ja paine ainespuun energiakäyttöön ja uusiin kattilainvestointeihin pienenee. Useassa tapauksessa suurien teollisten lämpöpumppujen laajamittainen käyttöönotto ja pellettien/biohiilen tuotanto on vasta pilotointivaiheessa. Tuotantomittakaavan toteutus vaatii aikaa ja näyttöä toimivuudesta. Ratkaisut ovat turpeen käyttöä hinnoiteltavampia ja johtavat kaukolämmön hinnan nousuun, mutta ovat osa toimenpiteitä kohti hiilineutraalisuutta.

On kuitenkin huomattava, että turpeen käyttö voidaan korvata pääosin jalostamattomilla puujakeilla. Suurin haaste on raaka-aineen riittävyys ja saatavuus. Mikäli esimerkiksi metsäteollisuuden sivuvirtojen lämpökäsittelyllä pystytään lisäämään näiden jakeiden tehokasta hyödyntämistä kustannustehokkaasti, saavutetaan niillä lisäarvoa. Esimerkkinä tällaisesta tilanteesta voisi olla sellutehtaan sivuvirrat, joista osa poltetaan nykyisin sähköksi sellutehtaalla, koska niiden kuljettaminen ei ole ollut kannattavaa. Mikäli ne jalostettaisiin lämpökäsitellyiksi pelleteiksi, voitaisiin ne käyttää tehokkaammin lämmöntuotantoon siellä, missä lämmölle on tarvetta.

Edullisin ja nopein vaihtoehto turpeen korvaamiseksi on hakkeen tuonti Baltiasta ja Venäjältä. Tähän liittyy saatavuusriskin lisäksi myös hyönteisriski, koska tuontihaketta ei tarkasteta tuholaisien suhteen, kuten runkopuun osalta tehdään, esimerkiksi mäntypistiäistuhojien estämiseksi. Lisäksi huoltovarmuuden heikentäminen kasvavalla tuonnilla lisää kriisiherkkyyttä.

Tulevaisuudessa polttamiseen perustumattomilla ratkaisuilla on merkittävä rooli kaukolämmön tuotannossa. Hukkalämpöjen talteenotolla lämpöpumppujen avulla ja niiden käyttö kaukolämpöveden lämmityksessä on tärkeä osa energiatehokkuuden parantamista. Tämän ratkaisun arvioidaan olevan merkittävä vaihtoehto turpeen polton korvaamiseksi keskipitkällä aikavälillä (Kuva 16). Vuonna 2035 hukkalämmöllä on arvioitu tuotettavan 11 TWh kaukolämmöstä ja lisäksi 4 TWh tuotettaisiin geotermisellä energialla.



Kuva 16. Kaukolämmön tuotannossa käytettävien teknologioiden ennuste. (Energiategollisuus ry. 2020)

Yhteenvedon voidaan todeta, että käytetyn teknologian oikeudenmukaisuutta turpeesta luovuttaessa, eli että käytetään päästöjen, kustannusten ja toiminnallisten tekijöiden kannalta parasta ratkaisua, on huomioitava päästöjen ja inhimillisten tekijöiden lisäksi:

- Voimalaitosten kattilaratkaisut
 - o kasvavan korroosion hallinta johtaa kasvaviin investointikustannuksiin
 - o tuotantokustannukset ja hyötysuhteiden heikkeneminen siirtyvät asiakkaiden maksettavaksi
- Voimalaitosten logistiikkaratkaisut
 - o paloturvallisuuden ja pölyävyyden hallinta kasvattavat operatiivisia kuluja
 - o raaka-aineen kosteuden hallinta saattaa edellyttää uusia kuljetus- ja varastointiratkaisuja
 - o raaka-aineen vaatimat tekniset ratkaisut kasvattavat pääoma ja operatiivisia kuluja

8.3 Oikeudenmukaisuusnäkökohtia

- aluetalouksien monipuolistaminen ja työntekijöiden osaamisen varmistaminen

Taloudellisessa mielessä ehkä merkittävin kysymys on, miten paljon ollaan valmiita maksamaan, kun luovutaan turpeesta. Tällöin asetetaan vastakkain yhteisesti sovitut päästövähennykset ja työpaikkojen määrä, aluetalous, teknologia ja sosiaalinen oikeudenmukaisuus. Turpeen käytön vähentäminen vaikuttaa negatiivisesti aluekohtaisesti elinkeinotoimintaan ja huonontaa työllisyyttä ja paikkakunnan elinvoimaa. Haitalliset vaikutukset kohdentuvat eri alueilla eri tavoin eikä sosiaalinen ja alueellinen oikeudenmukaisuus toteudu ilman erityisiä toimia.

Sosiaalinen oikeudenmukaisuus on vaikeasti ratkaistavissa Keski-, Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaan syrjäisillä paikkakunnilla, joissa turpeen nosto, logistiikka ja lämmöntuotanto ovat merkittäviä elinkeinoja. Tässä yhteydessä olisi huomioitava ja tarkasteltava maankäyttösektorin ilmastopolitiikan toimenpiteitä, ohjauskeinoja ja kannustimia eettisenä kysymyksenä sekä ottaa huomioon ilmastoetiikka (miten ilmastoa parannetaan ja millä keinoin) ja luoda sen pohjalta kokonaiskestävä liiketoimintamalli. Käytöstä poistuville turvetuotantoalueille tarvitaan uusia kokonaiskestäviä käyttömuotoja, joilla voidaan korvata menetettyjä työpaikkoja ja liiketoimintamahdollisuuksia.

On selvää, että on kehitettävä liiketoimintamalleja, joilla turveyrittäjille luodaan korvaavia liiketoimintamahdollisuuksia ja aluetalouteen uusia työpaikkoja. Tässä on luotava alueellisten toimijoiden kanssa yhteistyössä vaihtoehtoisia käyttömuotoja käytöstä poistuville turpeenottoalueille ja luotava ilmastoeettinen toimintamalli.

Biohiilen tuotanto voi olla osittainen ratkaisu myös energiantuotannon päästöjen vähentämiseen. Tuotantoprosessissa syntyvien kaasujen polton ylijäämäenergia voi korvata kaukolämmön tuotantoa tuotantopaikalla ja biohiili voidaan varastoida ja kuljettaa energiakäyttöön sitä tarvitseville laitoksille. Biohiili on kuitenkin verrattain kallis polttoaine, joten muut kuin energiasovellukset saattavat olla taloudellisesti houkuttelevampia, mutta markkinat vastaavasti haastavampia. Puhtaasti energiakäyttösovelluksiin miedompi lämpökäsittely, kuten torrefiointi, voi olla soveltuvampi prosessi. Tällöin tuotantoprosessista ei saada kaukolämpöä, mutta vastaavasti suurempi osa energiasta saadaan kiinteänä tuotteena, jolla on korkeampi markkina-arvo kuin pyrolyysikaasuilla. Biohiiltä tai lämpökäsiteltyjä pellettejä ei kuitenkaan hyvin todennäköisesti poltettaisi turvetta käyttävissä laitoksissa, vaan ne korvaisivat kivihiilikiellon jälkeen lähinnä öljyä ja kaasua huippu- ja varatehon tuotannossa, sillä turvetta käyttävät laitokset voivat korvata turpeen myös jalostamattomilla puujakeilla.

Lämpölaitosten yhteyteen integroiduissa ratkaisuissa valmistettu biohiili voidaan energiantuotannon lisäksi myös tuotteistaa muihin käyttökohteisiin, kuten esimerkiksi fossiilisen hiilen korvaamiseen pelkistimenä metallurgiassa tai lisäaineena kemian teollisuudessa, jätevesien ja poistokaasujen puhdistamiseen sekä edelleen maaperän parantamiseen, puutarhanhoitoon, eläinten ruokintaan ja niin edelleen. Biohiilen markkinoiden eri sovelluksiin ennustetaan kasvavan ja siten turpeesta luovuttaessa edellytykset korvaavien työpaikkojen luomiseen ovat olemassa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että hallitusohjelman tavoitteiden saavuttamiseksi tulee yhdistää ennakkoluulottomasti tekniikan, liiketalouden ja yhteiskunnallista osaamista. Monialaisen osaamisen yhdistämisellä saavutetaan turpeen energiakäyttöä korvaavia teknologiaratkaisuja ja uusia liiketoimintamalleja pitäen samalla huolta siitä, että systeemiset muutokset toteutetaan alueellisesti ja sosiaalisesti oikeudenmukaisesti. Tässä yhteydessä tulee myös selvittää turpeen energiakäytöstä luopumiseen liittyvien politiikkatoimien eriarvoistavia vaikutuksia ja esittää ratkaisuja niiden lieventämiseen sekä tehdä ehdotus systeemisten muutosten eettisesti oikeudenmukaisesta toimeenpanosta.

9. Johtopäätökset

Turpeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa on perustunut sen alueelliseen saatavuuteen, olemassa olevaan infrastruktuuriin ja helppoon käytettävyyteen sekä edulliseen hintaan. Päästökaupan ja viimeaikaisten polttoaineveropäätösten tuloksena turpeen käyttö energiantuotannossa on nopeasti korvautumassa sekä biopolttoaineilla että muilla energianlähteillä. Erilaiset puupolttoaineet muodostavat lähivuosina joustavimman ratkaisun turpeen ja kivihiilen poistuessa käytöstä. Kehitys edellyttää kuitenkin muutoksia sekä polttotekniikassa että polttoaineen kuljetus- ja varastointiratkaisuissa.

- Turve korvautuu todennäköisesti pääosin puubiomassalla, josta metsähake on merkittävien. Hakkeen kasvava tuonti on mahdollista rannikkoseudulla ja itärajan tuntumassa, mutta turpeen suurimmat markkinat ovat Pohjanmaan alueella, mikä voi synnyttää alueellisia haasteita.
- Turpeen tuotanto ja siten sen käytön nopea väheneminen ei toteudu maantieteellisesti samalla alueella kuin metsäteollisuuden tuotanto ja edellyttää pidempiä kuljetusmatkoja metsähakkeelle ja metsäteollisuuden sivuvirroille.
- Lämpökäsitteltyjen pellettien ja biohiilen mahdollinen käyttö helpottaa kuljetusta ja varastointia energiantuotannossa sekä parantaa polttoaineen soveltuvuutta pölypolttoon. Tämä voi mahdollistaa sivuvirtojen tehokkaamman hyödyntämisen ja lisätä kiinnostusta niiden termiseen jatkokäsittelyyn.
- Biohiilen ja lämpökäsitteltyjen pellettien tuotanto voi olla osittainen ratkaisu myös energiantuotannon päästöjen vähentämiseen. Biohiiltä tai lämpökäsitteltyjä pellettejä ei kuitenkaan hyvin todennäköisesti poltettaisi turvetta käyttävissä laitoksissa, vaan ne korvaisivat kivihiilikiellon jälkeen lähinnä öljyä ja kaasua huippu- ja varatehon tuotannossa, sillä turvetta käyttävät laitokset voivat korvata turpeen myös jalostamattomilla puujakeilla.
- Biohiilen tuottaminen voi edelleen mahdollistaa biohiilen myynnin muuhun kuin energiakäyttöön ja tasata näin vuodenaikavaihteluiden vaikutusta talouteen ja käyttöasteeseen. Uudet toimintamallit voivat synnyttää uusia työpaikkoja ja uutta osaamista. Tämä edistää myös yhdenvertaisuutta turpeen käyttöalueilla.

Vuosina 2019-2020 puupolttoaineet ovat olleet maamme eniten käytetty energianlähde (28 %). Kasvava kilpailu biomassasta synnyttää kuitenkin myös uusia energiaratkaisuja, jotka perustuvat eri lämmönlähteiden integroituun hyväksikäyttöön sekä muuhun kuin polttoon. Uusien teknologioiden käyttöönotto on osa kuluvan vuosikymmenen aikana toteutettavaa energiamurrosta ja voi johtaa myös uusien innovatiivisten liiketoimintamuotojen syntyymiseen kaukolämmön tuotannon yhteydessä.

Lähdeviitteet

- AFRY. 2020. Selvitys turpeen energiakäytön kehityksestä Suomessa. Raportti työ- ja elinkeinoministeriölle. 8/2020.
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Technology 258.
- Arpiainen, V., Wilén, C, 2014. Report on optimisation opportunities by integrating torrefaction into existing industries. Deliverable No. D3.2, Production of Solid Sustainable Energy Carriers from Biomass by Means of Torrefaction (SECTOR) EU FP7 -project, GA no 282826. Saatavilla: https://sector-project.eu/fileadmin/downloads/deliverables/SECTOR_D3.2_VTT_final.pdf
- Biomassa-atlas. Luke. 2021. <https://www.luke.fi/biomassa-atlas/>
- Björklund, P., 2017. Material changes during steam explosion of bark, European Pellet Conference, 1 – 2 March 2017, Wels, Austria.
- Fagnäs, L., Kuoppala, E., Ranta, J., Arpiainen, V., Tiilikkala, K., Kemppainen, R., Hagner, M., Setälä, H., 2014. Hidaspyrolyysituotteiden hyödyntäminen ja tuotannon kannattavuus, Biohiili ja tisle. VTT Technology 182. Saatavilla: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2014/T182.pdf>
- Föhr, J., Seppänen, T., Suikki, J., Soininen, H., Ranta, T., 2015. Torrefioidun biohiilipelletin kirjallisuustutkimus ja koeajot pilottilaitoksessa. LUT Scientific and Expertise publications, tutkimusraportti 46. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Bioenergiateknologian tutkimusryhmä ja Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- Hakala, J., Kangas, P., Penttilä, K., Alarotu, M., Björnström, M., Koukkari, P., 2019. Replacing Coal Used in Steelmaking with Biocarbon from Forest Industry Side Streams. VTT Technology 351. Saatavilla: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2019/T351.pdf>
- Hansen, L., Fendt, S., Janssen, A., Abelha, P., Nanou, P., Joronen, T., Björklund, P., 2018. Performance of biomass pre-treatment (D2.2). Bioefficiency, EU Horizon 2020 project, grant agreement No 727616. Saatavilla: <https://cordis.europa.eu/project/id/727616/results>
- Kariniemi, A. 2010. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2009. Metsätehon katsaus nro 43
- Karlsson, M., Björnström, M. 25.03.2021 MMM Biotalouspäivä, Turpeen korvaaminen energian tuotannossa - teknisiä, taloudellisia ja sosiaalisia näkökohtia.
- Joronen, T., Björklund, P., Bolhär-Nordenkampf, M., 2017. High quality fuel by steam explosion. 25th European Biomass Conference and Exhibition, 12.-15.6.2017, Stockholm, Sweden. Paper DOI: 10.5071/25thEUBCE2017-ICO.8.1
- Koistinen A, Luiro J, Vanhatalo K. 2016. Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas. Tapion julkaisuja
- Koppejan, J., Schaubach, K., Witt, J., Thrän, D., 2015. Production of Solid Sustainable Energy Carriers from Biomass by Means of Torrefaction (SECTOR), Deliverable No. D10.2 Torrefaction Technology and Strategy Report. EU FP7 project, GA no 282826. Saatavilla: https://sector-project.eu/fileadmin/downloads/deliverables/SECTOR_D10.2_Procede_FINAL.pdf

- Luke, 2019. Puun energiakäyttö 2019 tilastot. Saatavilla: https://stat.luke.fi/puun-energiak%C3%A4ytt%C3%B6-2019_fi
- Luke, 2021. Maa- ja metsätalouden sekä koko maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteillä on suuret päästövähennysmahdollisuudet. <https://www.luke.fi/uutinen/maa-ja-metsatalouden-seka-koko-maankayttosektorin-ilmastotoimenpiteilla-on-suuret-paastovahennysmahdollisuudet/>
- Neova, 2019. Ympäristölupahakemus ISAVI/4522/2019. Saatavilla: <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1642635>
- Saarno, T., 2021. Taaleri Biohiili. Biopartnerit webinaari 27.4.2021. Saatavilla: <https://woodjoensuu.fi/wp-content/uploads/2021/03/Tero-Saarno.pdf>
- Siipola, V., Koukkari, P., Hakala, J., Seppälä, O., Björnström, M., Karlsson, M., 2021. Metsäteollisuuden sivuvirroista valmistetun biohiilen käyttö jätevesien puhdistukseen – PurCar. Tutkimusraportti VTT-R-293-21.
- Siipola, V., Källi, A., Wendling, L., Karlsson, M., Björnström, M., Koukkari, P., 2019. Biohiilen valmistus ja käyttö vedenpuhdistukseen – metsäteollisuuden sivuvirtojen jatkojalostus ja hyödyntäminen ei-energiakäyttöön. Co-Carbon loppuraportti VTT-R-05608-18. Saatavilla: https://mmm.fi/documents/1410837/12500944/Siipola+VTT_R_05608_18_CoCarbon.pdf/d91543c8-1c96-c0b4-0b0c-9b8579800c1f/Siipola+VTT_R_05608_18_CoCarbon.pdf
- SITRA, 2020. Soimakallio, S., Sankelo, P., Kopsakangas-Savolainen, M., Sederholm, C., Auvinen, K., Heinonen, T., Johansson, A., Judl, J., Karhinen, S., Lehtoranta, S., Räsänen, S. & Savolainen, S. Turpeen rooli ja sen käytöstä luopumisen vaikutukset Suomessa. SITRA turveraportti. ISBN 978-952-347-186-3 (PDF), [turpeen-rooli-ja-sen-kaytosta-luopumisen-vaikutukset-suomessa-tekninen-raportti.pdf \(sitra.fi\)](https://www.sitra.fi/documents/1410837/12500944/Siipola+VTT_R_05608_18_CoCarbon.pdf/d91543c8-1c96-c0b4-0b0c-9b8579800c1f/Siipola+VTT_R_05608_18_CoCarbon.pdf)
- Thrän, D., Witt, J., Schaubach, K., Kiel, J., Carbo, M., Maier, J., Ndibe, C., Koppejan, J., Alakangas, E., Majer, S., Schipfer, F., 2016. Moving torrefaction towards market introduction – Technical improvements and economic-environmental assessment along the overall torrefaction supply chain through the SECTOR project. Biomass and Bioenergy, Vol. 89, June 2016, pp. 184-200. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.004>
- Tilastokeskus. 2021. Energian hankinta ja kulutus. <https://www.stat.fi/til/ehk/index.html>
- VN/2258/2021 Lausuntopyyntö: Oikeudenmukaisen siirtymän rahaston (JTF) valmistelun ja siihen liittyvän ympäristöarvioinnin aloittamisesta
- Weatherstone, S., Simonsson, N., Karlsson, G., Nader, P., Adell, A., Abelha, P., Carbo, M., 2015. Production of Solid Sustainable Energy Carriers from Biomass by Means of Torrefaction (SECTOR), Deliverable No. D6.7, Final report on bulk tests in existing storage and handling facilities. EU FP7 project, GA no 282826. Saatavilla: https://sector-project.eu/fileadmin/downloads/deliverables/SECTOR_Deliverable_6.7_FINAL.pdf
- Wilén, C., Moilanen, A., Järvinen, T., Sipilä, K., Verhoeff, F., Kiel, J., 2013. Wood torrefaction pilot tests and utilisation prospects. VTT Technology 122. Saatavilla: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2013/T122.pdf>