

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Energia- ja ympäristötekniikan osasto  
Tutkimusraportti EN B-170

## **Esiselvitys puupolttoaineen jalostamisesta torrefiointitekniikalla**

Essi Hämäläinen

Jussi Heinimö

2006

ISBN 952-214-243-3 (paperback)  
ISBN 952-214-244-1 (PDF)  
ISSN 1459-2630

Copyright © Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2006

## JULKAISIJA

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
PL 20  
FI-53851 Lappeenranta  
Puh.. +358 5 621 11  
fax. +358 5 621 2350

Tämä julkaisu on saatavilla PDF-muodossa Internetistä osoitteesta [www.doria.fi/lutpub](http://www.doria.fi/lutpub).

# TIIVISTELMÄ

Hämäläinen, Essi & Heinimö, Jussi: Esiselvitys puupolttoaineen jalostamisesta torrefiointiteknikalla

Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja ympäristötekniikan osasto  
Tutkimusraportti EN B-170  
Joulukuu 2006  
21 sivua, 6 kuvaa ja 1 taulukko

ISBN 952-214-243-3 (paperback)  
ISBN 952-214-244-1 (PDF)  
ISSN 1459-2630

Hakusanat: torrefiointi, torrefioitu puu, biomassa, bioenergia

Fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä pyritään vähentämään EU:ssa mm. päästökaupan avulla. Uusiutumattomien polttoaineiden tilalle kehitetään biopolttoaineita, joita voidaan hyödyntää olemassa olevien voimalaitosten polttolaitteistoilla. Biopolttoaineiden etuna on, että niiden ei katsota lisäävän hiilidioksidipäästöjä, koska biomassa sitoo itseensä kasvaessaan poltossa vapautuvan määrän hiiltä. Eräs kiinnostavimmista jalostetuista biopolttoaineista on torrefioitu puu, joka vastaa useimmilta ominaisuuksiltaan kivihiiltä ja jota voidaan käyttää hiilivoimalaitoksissa ilman laitteistomuutoksia.

Torrefiointi on puun eräänlaista paistamista hapettomissa olosuhteissa 250-270°C:ssa, jolloin siitä saadaan poistettua vesi ja osa haihtuvista aineista. Puun väri muuttuu suklaanruskeaksi, se kevenee, ei savuta poltettaessa, hylkii vettä, jauhautuu hyvin sekä sillä on pienet hiukkaspäästöt. Käsitellyn puun ominaisuudet muuttuvat säilyvyydeltään ja käyttöominaisuuksiltaan merkittävästi raaka-aineeseen verrattuna. Torrefioinnilla saavutetaan puulle polttoainekäytön kannalta myös paremmat ja kestävämmät ominaisuudet kuin hiiltämällä.

Torrefiointiprosessia on tutkittu jonkin verran ja torrefioidun biomassan polttoa voimalaitosmittakaavassa on kokeiltu pienessä mittakaavassa. Torrefioitu materiaali on alhaisen tiheydensä vuoksi hankalaa ja kallista kuljettaa, joten sen tiheyttä tulee nostaa kuljetuksia varten tiivistämällä esim. pelletöimällä. Torrefiointi yhdistettynä pelletöintiin on parhaimmillaan kilpailukykyinen vaihtoehto, kun kivihiiltä korvaavaa biomassaa jalostetaan kaukana käyttöpaikasta ja kuljetetaan irtotavarana aluskuljetuksina. Torrefioitua puuta on tiettävästi poltettu vain hollantilaisessa voimalaitoksessa. Tässä esiselvityksessä kootun tiedon perusteella torrefioidun puupolttoaineen tuottamiseen Suomen olosuhteissa arvioidaan olevan teknis-taloudellisia mahdollisuuksia. Kuitenkin torrefiointiprosessin soveltaminen suomen olosuhteisiin ja kotimaisiin raaka-aineisiin vaatii panostusta jatkotutkimukseen ennen varsinaiseen toteutusvaiheeseen siirtymistä.

## ABSTRACT

Hämäläinen, Essi & Heinimö, Jussi: Preliminary study about refining wood fuel with torrefaction

Lappeenranta University of Technology, Department of Energy and Environmental Technology  
Research Report EN B-170

December 2006

21 pages, 6 figures, 1 table

ISBN 952-214-243-3 (paperback)

ISBN 952-214-244-1 (PDF)

ISSN 1459-2630

Key words: torrefaction, torrefied wood, wood, biomass, bioenergy

The EU has started to reduce greenhouse gases which are the result of using fossil fuels. One way to do this is emission trade. There are plans to generate biofuels to replace non-renewable fuels. These biofuels can be processed with the old equipment in power plants. The advantage of biofuels is that their emission factor of carbon dioxide is agreed to be zero because wood consumes the same amount of carbon dioxide while it grows as it releases in combustion. One of these refined biofuels is torrefied wood. Its characteristics mostly correspond to coal, and it can be used in coal-fired power plants without changing equipment.

Torrefaction means, in a manner of speaking, roasting wood in 250-270 °C in oxygen-free conditions. In this process all the water is removed, as well as some of the volatile gases. The colour of the wood changes to chocolate brown, it gets lighter, does not smoke in combustion, repels water, is pulverized easily and releases only small amounts of particulate emissions. The durability and operating properties of torrefied wood are significantly different compared to the raw material. Torrefied wood also has better properties than e.g. wood coal.

Torrefaction has been studied a little, and its combustion on the power plant scale has been tested on a small scale. Torrefied material is difficult and expensive to transport because of its properties, so its density must be raised for transporting, e.g. by pelleting. Torrefaction combined with pelleting is, at its best, would be a competitive alternative when biomass, substituting coal, is processed off-site and transported in bulk by sea. Based on the data collected in this preliminary study it can be estimated that producing torrefied wood fuel in Finland has technical-economical possibilities. However, the application of the torrefaction process to Finnish conditions and domestic raw material demands investment in further studies before moving on to the actual implementation phase.

## ALKUSANAT

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi asetettujen kansainvälisten tavoitteiden myötä on kiinnostus bioenergian käyttöön kasvanut merkittävästi. Fossiilisia polttoaineita korvaavia energialähteitä tutkitaan ja kehitetään jatkuvasti. Erityisesti huomio on kohdistunut nestemäisiin ja kiinteisiin biopolttoainetalosteisiin. Kiinteitä biopolttoainetalosteita, kuten pellettejä ja brikettejä biopolttoaineisiin voidaan käyttää monissa käyttökohteissa.

Tämä raportti on tehty alustavasti kartoittamaan erityisesti puusta lämpökäsittelymenetelmällä (torrefiointi) jalostetun polttoaineen tuotanto- ja käyttömahdollisuuksia. Uuden käsittelymenetelmän tutkiminen ja sen valmistuksen ja käytön alustava tarkastelu ovat keskeisessä osassa tätä esiselvitystä. Tutkimuksen on rahoittanut Suur-Savon Energiasäätiö. Tutkimusta on ohjannut professori Tapio Ranta Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta. Tutkimustyön on toteuttanut DI Essi Hämäläinen ja DI Jussi Heinimö on avustanut raportin kirjoittamisessa.

Tutkimustyön tavoitteena on ollut selvittää torrefiointin tekniikkaa, siihen soveltuvia raaka-aineita sekä lopputuotteen ominaisuuksia. Lisäksi on selvitetty torrefiointin kustannuksia sekä sen mahdollisuuksia Etelä-Savossa ja muualla Suomessa.

Tahdomme kiittää kaikkia yhteistyötahoja Suomessa ja ulkomailla. Keskustelut eri tahojen kanssa toivat runsaasti uusia näkökulmia ja tietoa torrefioinnista sekä energiantuotannosta ja sen kustannuksista. On toivottavaa, että torrefiointin ja sen sovellusten tutkiminen kansainvälisten yhteistyötahojen kanssa jatkuu tulevaisuudessa tavalla tai toisella.

Mikkeli, joulukuu 2006

Tekijät

# SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	7
2	TAUSTAA.....	8
3	TORREFIOINTI.....	10
3.1	Raaka-aine.....	11
3.2	Menetelmä.....	12
3.3	Lopputuote .....	15
4	TORREFIOINNIN TUTKIMUS .....	16
4.1	Historiaa.....	16
4.2	Nykypäivää .....	16
4.3	Tulevaisuutta.....	16
5	TORREFIOIDUN POLTTOAINEEN KÄYTTÖKOKEMUKSIA .....	17
6	TORREFIOIDUN PUUN VALMISTUKSEN KUSTANNUKSET .....	18
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	19
	LÄHDELUETTELO.....	21

# 1 JOHDANTO

Fossiilisten polttoainevarojen vähetessä kiinnostus korvaavien polttoaineiden löytämiseksi lisääntyy. Uusiutuvat biopolttoaineet tarjoavat energianlähteen, jota ei osata vielä riittävästi hyödyntää. Siksi tarvitaan lisää tutkimusta erilaisten vaihtoehtojen selvittämiseksi ja niiden käyttöönoton helpottamiseksi.

Suomi on yksi johtavista puuta energiantuotannossa hyödyntävistä maista laajan metsäteollisuussektorin ansiosta. Metsäteollisuuden prosessien sivutuotteena syntyvää, kuorta ja purua sekä metsänhoitotöiden yhteydessä metsätähteestä ja teollisuudelle kelpaamattomasta puusta tuotettavaa metsähaketta hyödynnetään Suomessa energialaitoksissa vaihtelevanlaatuisille polttoaineille soveltuvissa leijukerroskattiloissa. Muualla Euroopassa kiinteiden puupolttoaineiden polttoon soveltuvia voimalaitoksia on vähän ja puupolttoaineiden hyödyntäminen voimalaitoksissa on ollut vähäistä. Kuitenkin kasvihuonekaasujen vähentämistavoitteiden saavuttamiseksi käyttöön otetut edistämistoimet, kuten energiaverotus, sähköntuotannon tuet ja päästökauppa tekevät biopolttoaineiden käytön entistä kiinnostavammaksi ja kannattavammaksi korvaamaan fossiilisia polttoaineita. Euroopassa on satoja kivihiiiltä polttoaineenaan käyttäviä voimalaitoksia, jotka ovat kiinnostuneita lisäämään biopolttoaineiden käyttöä. Puupellettejä voidaan rajoitetusti käyttää pölypolttokattiloissa, joka on hallitseva tekniikka kivihiiivoimalaitoksissa. Ilman voimalaitoksen polttotekniikkaan tehtäviä muutoksia voi puupellettien osuus olla muutamia prosentteja kokonaispolttoainemäärästä. Olemassa olevien kivihiiivoimalaitosten uusiminen vaihtelevanlaatuiselle ja kostealle biomassapolttoaineille soveltuviksi vaatisi huomattavia investointeja ja voimalaitoskannan uusiminen olisi jopa vuosikymmeniä kestävä prosessi. Lisäksi energiapoliittisesta päätöksenteosta riippuvainen ja monessa tapauksessa lyhytaikaisesti tiedossa olevat uusiutuvien energialähteiden tukitoimet laskevat energiayhtiöiden investointihalukkuutta uusiin biovoimalaitoksiin. Sen sijaan voimalaitokset ovat kiinnostuneita kivihiiiltä korvaavista biopolttoainejalosteista, joita voitaisiin käyttää voimalaitoksissa ilman suurempia muutostöitä ja investointeja. Jotta puuta voitaisiin käyttää yhä useammassa olemassa olevassa voimalaitoksessa, on järkevää etsiä uusia keinoja jalostaa polttoainetta soveltumaan poltettavaksi pölypolttokattiloissa. Esiselvityksen tavoitteena on selvittää puun torrefiointin hyödyt ja sen edellytyksiä Suomessa sekä kartoittaa mahdolliset kansainväliset yhteistyökumppanit.

## 2 TAUSTAA

YK:n ilmastopöytäkirjään liittyvän Kioton pöytäkirjan tultua voimaan, ovat päästövähennyspainot teollisuusmaita kohtaan kasvaneet. Kioton pöytäkirja velvoittaa teollisuusmaat vähentämään kuuden kasvihuonekaasun päästöjä yhteensä keskimäärin 5,2 % vuoden 1990 tasosta vuosien 2008-2012 velvoitekaudella. Vähennettäviä kaasuja ovat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihiiilivedyt, perfluorihiiilivedyt sekä rikkiheksafluoridi. (Suomen Ympäristökeskus, 2006)

EU sitoutui Kioton sopimuksessa vähentämään kasvihuonekaasujen päästöjä 8 %:lla vuoden 1990 tasosta vuosien 2008–2012 velvoitekaudella. EU:n jäsenvaltiot ovat jakaneet EU:n tavoitteen maakohtaisesti. Alla on esitetty esimerkkinä eräiden jäsenvaltioiden maakohtaisia kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämissitoumuksia vuoden 1990 tasosta:

• Suomi	+ 0 %
• Ruotsi	+ 4 %
• Tanska	- 21 %
• Alankomaat	- 6 %
• Saksa	- 21 %
• Iso-Britannia	- 12,5 %
• EU:n yhteinen tavoite	- 8 %

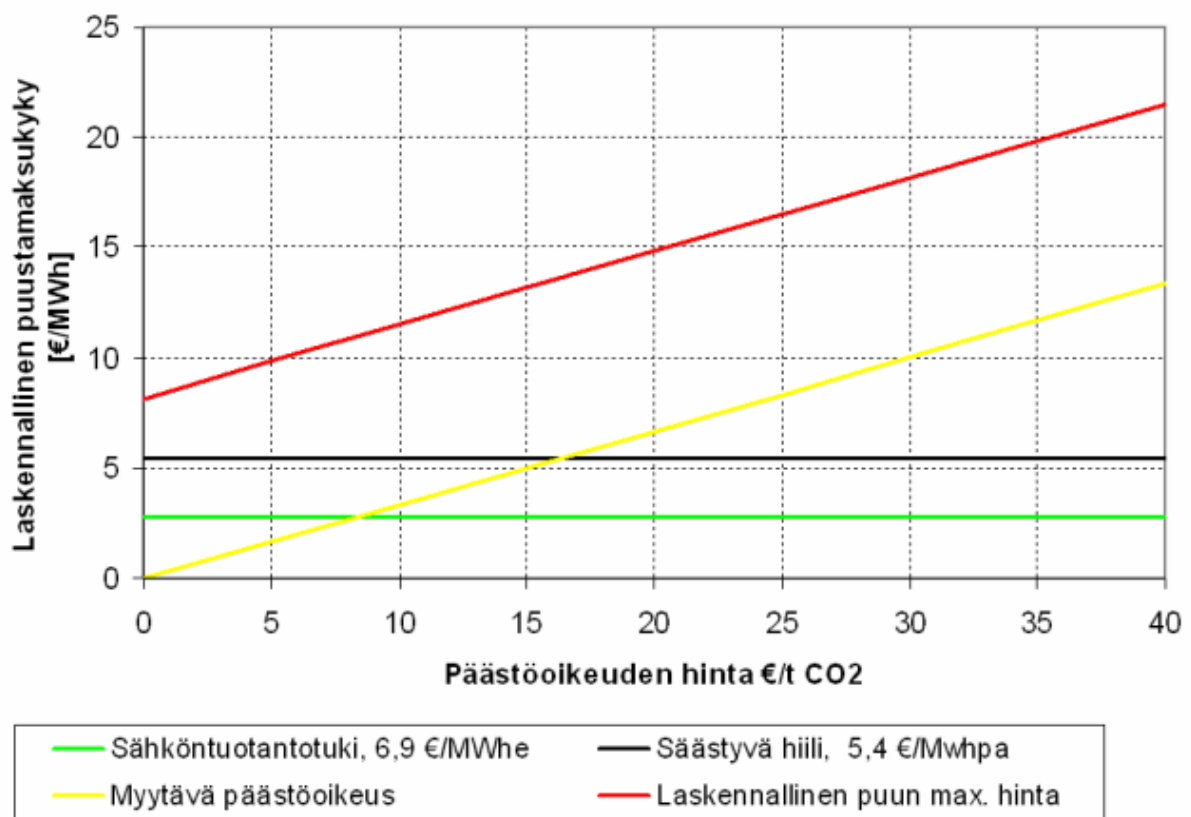
EU:ssa on ilmastonmuutoksen hillintään liittyen laadittu mm. seuraavia direktiivejä ohjaamaan kehitystä ilmastopöytäkirjan sitoumusten täyttämiseksi:

- RES-E direktiivi (uusiutuvien energialähteiden sähködirektiivi)
- CHP – direktiivi (sähkön ja lämmön yhteistuotannon sähködirektiivi)
- päästökauppadirektiivi
- linkkidirektiivi (päästökaupan yhteys Kioton pöytäkirjan hankemekanismeihin)

EU:n jäsenvaltioilla on vahva rooli energiapolitiikassa ja kukin jäsenvaltio harjoittaa itsenäistä energiapolitiikkaa maakohtaiseen Kioton tavoitteeseen ja EU direktiiveissä asetettuihin tavoitteisiin pääsemiseksi. Kukin jäsenvaltio soveltaa maakohtaisesti erilaisia uusiutuvien energialähteiden edistämistoimia ja tukimuotoja kuten energiaverotusta, energiantuotannon ja -investointien tukia. EU:n kattavana yhteisenä kasvihuonekaasujen vähentämistoimena toimii hii-



lidioksidin päästökauppa, joka alkoi EU:ssa vuonna 2005. Päästökaupassa jokaiselle maalle jaetaan tietty määrä päästöoikeuksia, jotka maa edelleen jakaa päästökaupan piirissä oleville energiantuotanto- ja teollisuuslaitoksille. Mikäli laitoksen päästöt jäävät alle laitoksen saamien päästöoikeuksien määrän, se voi käydä kauppaa ylimääräisellä osuudella. Mikäli laitos ei pääse tavoitteeseen, sen on ostettava tarvittava määrä lisää päästöoikeuksia. Päästöoikeuksien hinta määräytyy päästöoikeusmarkkinoilla kysynnän ja tarjonnan mukaan. Päästökaupan pyrkimyksenä on ohjata päästöjen vähentämistä kustannustehokkaampiin kohteisiin. Kuvassa 1 on havainnollistettu sähköntuotannon tukien vaikutusta suomalaisen kivihiiltä käyttävän lauhdevoimalaitoksen puustamaksukykyyn.



Kuva 1. Päästökaupan vaikutus suomalaisen kivihiililauhdevoimalaitoksen puustamaksukykyyn. Esimerkkivoimalaitoksen sähköntuotannon hyötysuhteeksi on oletettu 40%. Sähköntuotannon tuki vastaa metsähakkeelle maksettavaa tukea. Kivihiilen päästökertoimena on käytetty 92,71 g<sub>CO<sub>2</sub></sub>/MJ<sub>pa</sub>.

Päästökaupassa on määritelty päästökertoimia eri polttoaineille niiden poltosta tulevien päästöjen mukaan. Biomassalle, johon puukin kuuluu, on kuitenkin määritelty päästökertoimeksi nolla (Euroopan yhteisöjen komissio 2004, s. 14), sillä biomassan katsotaan sitovan kasvaessaan poltossa vapautuvan määrän hiilidioksidia. Päästökaupan ja muiden uusiutuvien energialähteiden tukimekanismien, kuten energiaverotuksen ja sähköntuotannon tukien, vuoksi puun kilpailukyky fossiilisiin polttoaineisiin nähden on parantunut ja tämän vuoksi kiinnostus käyttää biomassaa

polttoprosesseissa joko pää- tai lisäpolttoaineena on kasvanut viime vuosina. Erityisesti biopolttoaineet, joilla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita voimalaitoksen laitteistoja muuttamatta, ovat tulleet entistä kiinnostavimmiksi. Esimerkkinä torrefioitu puupolttoaine, jolla voidaan korvata kivihiltä pölypolttokattiloissa.

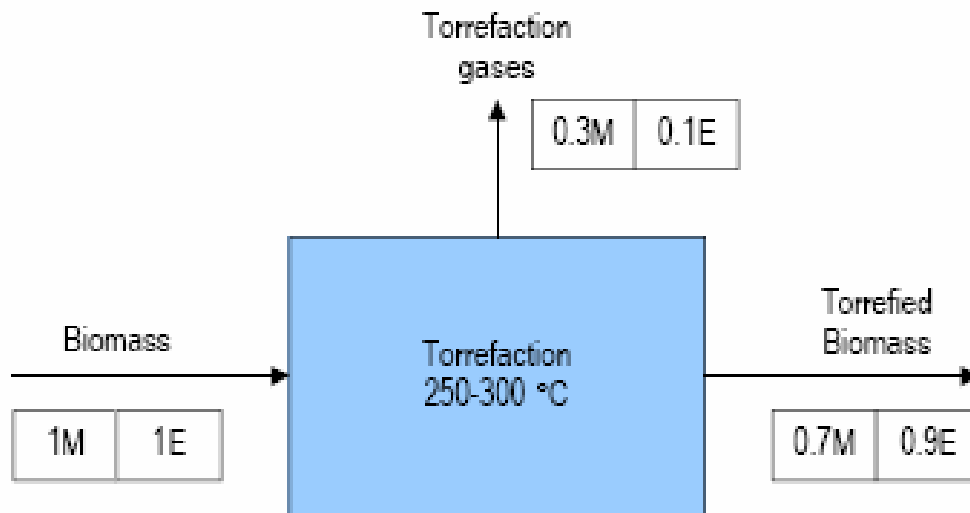
Biomassaa käytetään runsaasti polttoaineena erityisesti leijupetikattiloissa, joita mm. Suomessa on paljon. Tähän on osasyynä se, että suurin osa Suomessa käytettävistä teollisuuden puupolttoaineista syntyy sivutuotteina metsäteollisuudessa. Lisäksi Suomessa on pyritty huoltovarmuussyistä lisäämään kotimaisten polttoaineiden käyttöä. Kotimaiset polttoaineet ovat käytännössä biopolttoaineita. Suomessa turve luokitellaan hitaasti uusiutuvaksi biopolttoaineeksi. Kansainvälisesti turve tosin on kiistanalainen tässä suhteessa.

### 3 TORREFIOINTI

Puuta lämmitettäessä tapahtuu seuraavia reaktioita eri lämpötilatasoilla:

- 100-200°C, vesi höyrystyy ja poistuu puusta
- 200-280°C, puun sisältämä hemiselluloosa kaasuuntuu ja kemiallisissa sidoksissa ollut vesi sekä osa helpoiten haihtuvista aineista vapautuvat
- Yli 280°C, reaktioista tulee eksotermisiä ja kaikki haihtuvat aineet poistuvat materiaalista, puu hiiltyy

Torrefioinniksi kutsutaan biomassan käsittelyä 250-270°C lämpötilassa hapettomissa olosuhteissa. siten, että siitä haihtuvat vesi sekä osa haihtuvista aineista. Näin puulle saadaan ominaisuuksia, joita ei tuoreella puulla ole. Torrefiointiprosessin energiatase on esitetty kuvassa 2. Tavallisesti 70 % raaka-aineen kuiva-aineen massasta jää kiinteään muotoon ja se sisältää 90 % lähtöaineen lämpöarvosta. Biomassa kuivuu täydellisesti torrefioinnin aikana ja sen jälkeen kosteuden imeytyminen tuotteeseen on hyvin vähäistä.



Kuva 2. Torrefiointin energiatase (Bergman 2005, s. 12).

### 3.1 Raaka-aine

Torrefioitua polttoainetta voidaan valmistaa monenlaisista biomassoista, mutta silti saavuttaa lopputuotteelle samat ominaisuudet. Suurin syy tähän on se, että puu- ja kasviperäinen biomassa koostuvat samanlaisista rakennusaineista, suurimpana yksittäisenä aineena polymeerit eli selluloosa. Kemialliset muutokset näihin kuituihin ovat kaikilla biomassoilla samat, jolloin vastaavasti saadaan samat materiaalimuutokset. Kuitenkaan samat käsittelyolosuhteet eivät automaattisesti tuota samanlaista lopputuotetta kaikille materiaaleille. Eri materiaalien ominaisuudet vaativat eripituisia käsittelyaikoja. Torrefiointia varten on testattu mm. pyökkiä, pajua, olkea ja lehtikuusta ja niille on määritelty kullekin oma ”resepti”, jolla saavutetaan sopiva torrefiointi lopputulos. (Bergman & Kiel 2005, s. 5)

Torrefiointiprosessi on melko hidaskäyttöinen. Siihen ei niinkään vaikuta käsiteltävän materiaalin palakoko kuin esim. sitä vastaavaan pyrolyysiin, jossa pyrolyysi tapahtuu materiaalin palakoosta riippuen hyvin lyhyessä ajassa, muutamissa sekunneissa, jolloin käsiteltävä biomassa nesteytyy. Torrefiointilla yleisimmin käsiteltävä puupartikkelit ovat paksuudeltaan enintään noin 2 cm, jolloin ne voidaan torrefioida ilman lämmönsiirrollisia rajoitteita. Tähän tosin vaikuttaa suuresti torrefiointilaitteiston ominaisuudet. (Bergman & Kiel s. 5)

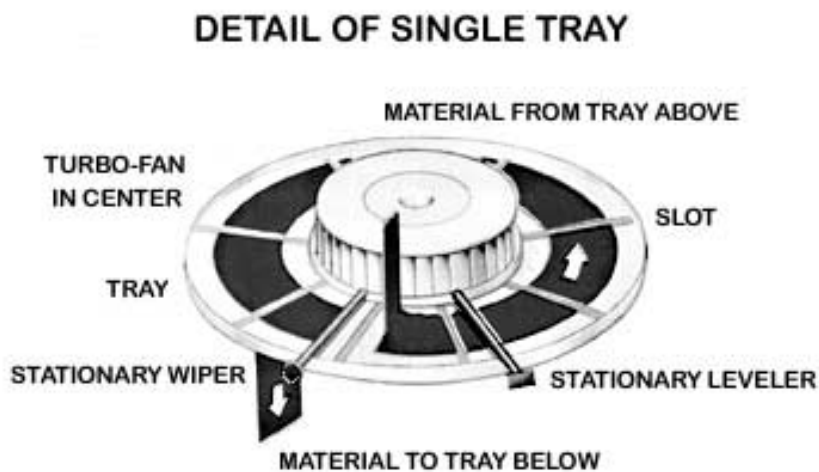
Torrefiointiprosessin raaka-aineena voidaan erityisesti käyttää mm. metsänhoidosta ja metsäteollisuuden prosesseista sivutuotteina saatavaa puumateriaalia kuten hakkuutähdettä, kuorta ja pürää. Myös rakennusteollisuudesta saatavaa purkujätettä voidaan hyödyntää torrefiointissa. Rajoi-

tuksena tälle on kuitenkin puun aikaisempi käsittely. Kyllästysaineet sekä tietyt maalit vapauttavat korkeissa lämpötiloissa myrkyllisiä kaasuja, jotka ovat haitallisia sekä ihmisille että ympäristölle.

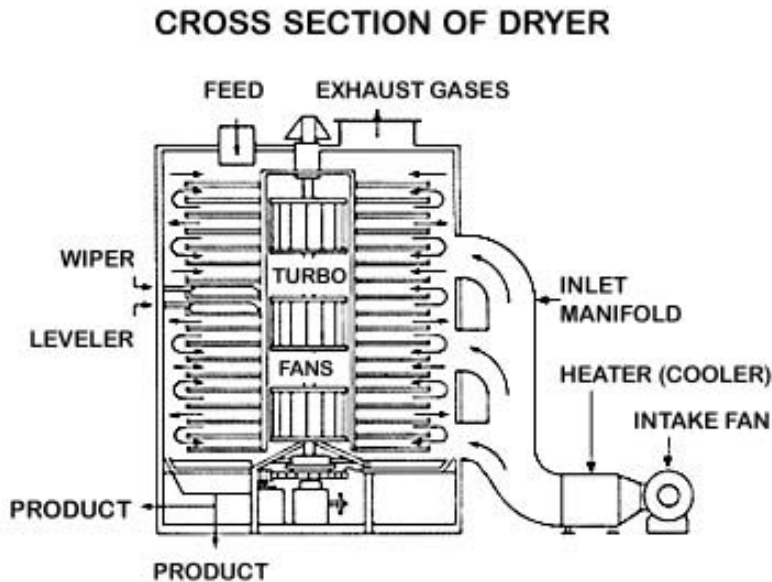
### 3.2 Menetelmä

Torrefiointi voidaan tehdä joko panostyyppisesti tai jatkuvatoimisella menetelmällä. Laitteistovalintaan vaikuttavat torrefiointimäärät sekä tilaratkaisut. Lisäksi investoinnin osuus on varsin merkittävä. Panostyyppisen torrefiointilaitteiston rakenne vastaa sahatavara-kuivaamoa, mutta panostyyppisenä sen kapasiteetti jää pieneksi verrattuna jatkuvatoimiseen prosessiin, eikä se siten ole varteenotettava vaihtoehto energiantuotannossa käytettävän polttoaineen valmistamiseksi.

Jatkuvatoimisen torrefiointin voi tehdä esim. Wyssmont Company Inc.:in Turbo-Dryerilla. Laite koostuu metallilieriöstä, jonka sisällä on keskipisteensä ympäri pyöriviä eräänlaisia tarjottimia (kuva 3). Kuivattava puuhake syötetään lieriön yläosasta päällimmäiselle tarjottimelle. Kuivausilma/kaasu syötetään lieriön kyljestä (kuva 4). Tarjottimen pyöriessä, kuivahtaneet lastut putoavat alla olevalle tarjottimelle. Tämä tarjotin puolestaan taas pyöriessään pudottaa kuivaa materiaalia seuraavalle. Tämä jatkuu, kunnes alimmalta tarjottimelta kuivattu materiaali poistetaan ja siirretään varastoon. Turbo-Dryerin etuna on pieni tilantarve, sillä pystyasennossa toimiva laite tarvitsee tilaa lähinnä ylöspäin. Kuivaimen lisäksi laitteen yhteyteen on asennettava annostelija ja torrefioitun puun varastoon siirtoon tarkoitettu laitteisto.



Kuva 3. Wyssmont Companyn torrefiointilaitteen yksittäisen tarjottimen toimintaperiaate. (Wyssmont 2006)



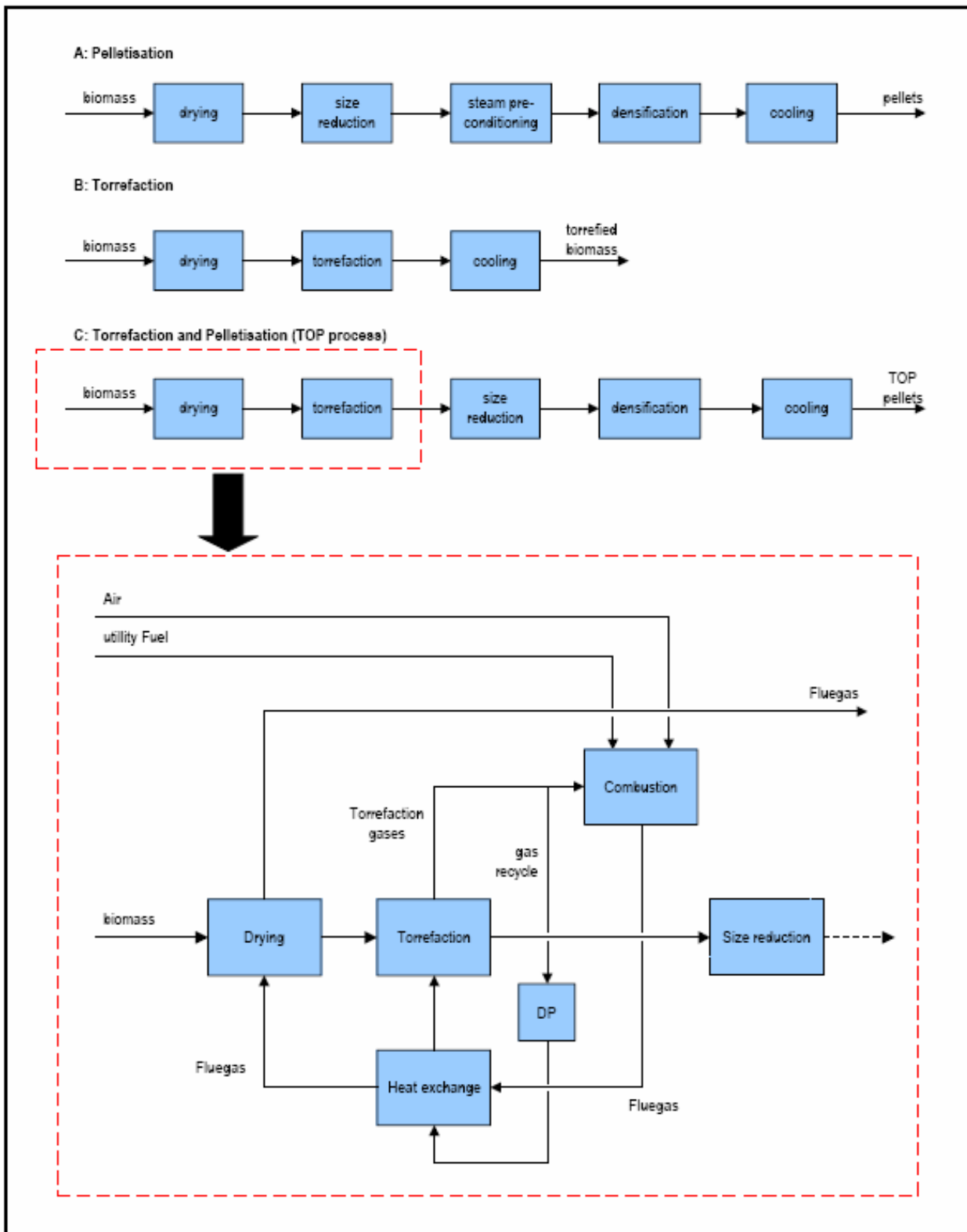
Kuva 4. Wyssmont Companyn torrefiontilaitteiston toimintaperiaate ja virtaukset. (Wyssmont 2006)

Toinen esimerkki jatkuvatoimisesta torrefiontilaitteistosta on Airless Systems LP:n kuivauslaitteisto (kuva 5). Laitteisto toimii kolmessa jaksossa: kuivaus, torrefiointi ja jäähdytys. Kuivaus suoritetaan hyvin kuumalla höyryllä, jolloin materiaali lämpenee. Höyry ei kuumuudestaan joutuessaan kostuta materiaalia, vaan sen kuumuudessa materiaalia, höyrystää siinä olevan veden mukanaan. Torrefioinnissa materiaalia kuumennetaan noin 250°C:een. Torrefioinnin jälkeen materiaali jäähdytetään ja varastoidaan.



Kuva 5. Airless Systems LP:n kuivauslaitteisto. (Bovey 2006)

Alankomaalainen ECN tutkimuslaitos on tutkinut ja kehittänyt yhdistettyä torrefiointi- ja pelletöintiprosessia biomassalle, jota kutsutaan TOP-prosessiksi (**t**orrefication and **p**elletisation). Prosessi tuottaa torrefioidusta puusta valmistettuja pellettejä (kuva 6).



Kuva 6. Pelletöinnin, torrefiointin ja TOP-prosessin prosessikaaviot. (Bergman 2005, s. 14)

### 3.3 Lopputuote

Torrefioitu puu on tuotteena tuoreen puun ja hiilen välimuoto. Torrefioinnilla saavutetaan polttoaine, jonka tehollinen lämpöarvo on käsittelemätöntä puuainesta korkeampi. Torrefioinnilla saavutetaan myös paremmin säilyvää polttoainetta, sillä torrefioitu puu hylkii rakenteensa vuoksi vettä eikä siinä siten kasva esim. sienirihmastoa. Vettähyllivän ominaisuutensa vuoksi torrefioitua puupolttoainetta voidaan säilyttää ulkona kivihillen tapaan. Käsittelyssä puusta poistuu myös osa muista haihtuvista aineista. Käsittelyn avulla puusta tulee hauraampaa ja helposti jauhautuvaa ja se käyttäytyy poltettaessa melko samoin kuin hiili ja siksi sitä voidaan käyttää sellaisenaan esim. hiilivoimalaitosten polttoaineena laitteistoa muuttamatta. Käsittelyn jälkeen se ei myöskään houkuttele enää puulle ominaisia tuhohyönteisiä. Käsittelemättömän puupolttoaineen, torrefioidun puun, puupellettien ja TOP –pellettien ominaisuuksia on vertailtu taulukossa 1.

*Taulukko 1. Käsittelemättömän ja torrefioidun puun ominaisuuksien vertailua irtotavarana ja pelletöitynä (Bergman 2005, s. 18)*

	<b>Puu (hake)</b>	<b>Torrefioitu biomassa</b>	<b>Puupelletit</b>	<b>TOP-pelletit</b>
<b>Kosteus [%]</b>	35	3	7	1
<b>Tehollinen lämpöarvo [MJ/kg] (kosteaa)</b>	10,5	19,9	16,2	21,6
<b>Tehollinen lämpöarvo [MJ/kg] (kuiva)</b>	17,7	20,4	17,7	22,7
<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>	550	230	650	850

Tehtyjen pilot-kokeiden mukaan TOP-prosessilla tuottamien pellettien irtotiheys on 750-850 kg/i-m<sup>3</sup>, tehollinen lämpöarvo 19-22 MJ/kg ja energiatiheys irtotavarana 14-18,5 MJ/m<sup>3</sup>. TOP pellettien etuna perinteisiin puupelletteihin nähden on korkeampi energiatiheys, mikä tekee TOP pellettien kuljettamisen puupellettejä edullisemmaksi. Puupellettien energiatiheys irtotavarana on tyypillisesti 7,8 - 10,5 MJ/m<sup>3</sup>. (Bergman 2005, Bergman & Kiel 2005)

## 4 TORREFIOINNIN TUTKIMUS

### 4.1 Historiaa

Torrefiointia tutkittiin ensimmäisenä Ranskassa 1930-luvulla. Aihe otettiin myöhemmin uudeleen tutkinnan alle ja 1980-luvun alussa perustettiin testilaitos, jossa torrefioitiin neljää eri lauhkean ja trooppisen ilmaston puulajia. Tulokset olivat tyydyttäviä, joten 1987 rakennettiin Ranskassa jatkuvatoiminen torrefiointilaitos, jonka lopputuotetta käytettiin pelkistykseen metalliteollisuudessa. Laitos lakkautettiin kuitenkin jo 1990-luvun alkupuolella taloudellisista syistä. Tämä on tällä hetkellä pisimpään toiminut torrefiointilaitos maailmassa. (Weststeijn 2006)

Torrefiointia ja etenkin torrefioidun polttoaineen ominaisuuksia on tutkittu myöhemmin enemmänkin eri tutkimuslaitosten toimesta mm. Asian Institute of Technology Bangkokissa on tutkittu 1990-luvun alussa torrefioidun materiaalin ominaisuuksia.

### 4.2 Nykypäivää

Tällä hetkellä torrefiointin tutkimus on keskittynyt torrefiointiin prosessina ja torrefioidun puun ominaisuuksiin sekä sen varsinaiseen polttoainekäyttöön. Viime vuosina torrefiointia ovat tutkineet Patrick Bergman, Arjen Boersma ja Jacob Kiel Energy Research Centre of the Netherlands:ssa (ECN) Alankomaissa sekä Paul Tan Universal Renewable Industry:ssa Malesiassa.

Torrefiointiin liittyviä aiempia tutkimustuloksia ja kokemuksia torrefioidun polttoaineen käytöstä on koottu mm. Transnational Technology LLC:ssä USA:ssa James R. Arcaten toimesta. Myös Tom Reed, professori, joka myöhemmin on ollut tiiviisti mukana Biomass Energy Foundation:issa, jossa tutkitaan biomassaa käyttöä energiantuotantoon, on syventynyt torrefiointiin ja kehitellyt siihen liittyen erilaisia sovelluksia ja keksintöjä.

### 4.3 Tulevaisuutta

ECN:ssä on jatkokehitetty torrefiointiprosessia ja tutkittu pelletöinnin yhdistämistä prosessiin TOP-tutkimushankkeessa. Pellettimuodossa torrefioidun puun uskotaan houkuttelevan hyvien energiaominaisuuksiensa vuoksi erityisesti voimalaitosasiakkaita, mutta myös pientaloasiakkaita esim. Pohjoismaissa, Saksassa ja Itävallassa, sillä ne ovat helppokäyttöisiä. Pelletöidyn polttoaineen suurin etu on sen suuri energiatiheys, mikä mahdollistaa edulliset kuljetukset pitkiäkin mat-



koja, jopa mantereiden välillä. Kuljetuksen kustannuksista lastaaminen ja maantiekuljetukset satamiin vievät huomattavan osan. Varsinainen merikuljetus on varsin edullista.

## 5 TORREFIOIDUN POLTTOAINEEN KÄYTTÖKOKEMUKSIA

Torrefioidun puupolttoaineen voimalaitoskäyttöä on kokeiltu Alankomaissa Essent Energie B.V.:n Borsseleen voimalaitoksessa vuonna 2003. Torrefioitua puuta sekoitettiin aluksi noin 9 % pitoisuuteen hiilimyllyyn ja polttoa tutkittiin. Asteittain pitoisuutta nostettiin ja vertailtiin polton käyttäytymistä. Testauksen aikana ei saavutettu seoskattoa, jossa torrefioidun hakkeen polttaminen olisi ollut haitallista prosessin kannalta. Borsseleen voimalaitos on toistaiseksi tiettävästi ainut laitos Euroopassa, jossa on testattu torrefioidun puun polttoa hiilen seassa. Voimalaitoksen koon vuoksi testaukseen varattu 20 tonnia torrefioitua puuta kului hyvin nopeasti. Vaikka testituloksia saatiin vähän, oli silti merkittävää todeta, että torrefioitua puuta voidaan ja kannattaakin polttaa kivihiilen seassa, jotta voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä.

Testikäytön jäädessä vähäiseksi, ovat samat yhteistyökumppanit rakentamassa uutta hanketta torrefioidun puun polton testaamiseksi. Tavoitteena on tuottaa useita tuhansia tonneja torrefioitua haketta, jolloin voidaan testata sekä tuotannon tehokkuutta että polton käyttäytymistä asteittain. Testausta tukee SenterNovem, joka on Hollannin valtiovarainministeriön alainen mm. energia- ja ympäristöteknologiaan keskittynyt kehittämiskeskus (BGP Engineers, s. 3). Suomessa TEKES toimii vastaavassa asemassa. Mielenkiinto torrefiointiin esikäsittelymenetelmänä polton ja kaasutuksen sovelluksiin on ollut olemassa, mutta mikään yritys ei ole toistaiseksi jatkokehittänyt sitä pidemmälle ja vienyt sitä kaupalliselle tasolle. Torrefioidun puupolttoaineen käyttöä kiinteistökokoluokan kattiloissa ei tiettävästi ole tutkittu eikä testattu.

Torrefiointia on tutkittu paljon, mutta torrefioidun puun energiakäytön tarkastelu on ollut vielä melko vähäistä. Aihetta on kuitenkin paperitasolla mietitty paljonkin ja suunnitelmia testaukseen on muutamia ympäri maailmaa. Ainoan toimivan, mutta tosin lyhytaikaisen kokeilun perusteella asiantuntijat ovat päätelleet, että siitä huolimatta, että tuloksia on kovin vähän, torrefioitua puuta kannattaa polttaa. Torrefioidun polttoaineen tuotanto ja tuotannon siirtäminen kaupalliselle tasolle ovat kuitenkin olleet ongelma. Jatkotutkimukset ja testipoltot antavat tärkeää tutkimustietoa ja käyttökokemuksia.

## 6 TORREFIOIDUN PUUN VALMISTUKSEN KUSTANNUKSET

Torrefioidun polttoaineen valmistuksen mahdollisuuksia Etelä-Savon alueella voi tarkastella raaka-ainevarojen puolesta sekä mahdollisten torrefioidun puun loppukäyttökohteiden kannalta. Saimaan vesistöalueella on runsaat metsävarat, joita hyödynnetään tehokkaasti metsäteollisuuden raaka-aineena. Vaikka alueella on useita puupolttoaineita, ja erityisesti metsähaketta käyttäviä energiantuotantolaitoksia, alueen metsiin jää silti runsaasti hyödyntämätöntä polttoaineeksi soveltuvaa ainesta. Vuonna 2005 YTI-tutkimuskeskuksessa toteutetussa paikkatietoanalyysin perustuvassa tutkimuksessa havaittiin, että Saimaan vesistöalueella on runsaasti hyödyntämätöntä metsäpolttoainetta, jolle lähitulevaisuudessa, vuoteen 2010 mennessä, ei näyttäisi olevan käyttöä alueen sisällä. Saimaan vesistöalue tarjoaa mahdollisuuden lopputuotteen kuljettamiseen aluskuljetuksina Saimaan kanavan kautta alueen ulkopuolelle. Kymmenelle metsäpolttoaineen laivaukseen parhaiten sopivalle lastauspaikalle tehdyissä tarkasteluissa arvioitiin metsäpolttoaineen saatavuuden 50 km:n ajoetäisyydellä olevan vuonna 2010 yhteensä noin 8 PJ/a (hakuutähde 3 PJ/a, kannot 2 PJ/a, pienpuu 3 PJ/a) (Jäppinen et. al, 2006).

Tuotantokapasiteetiltaan 60 000 t/a TOP-teknologiaan perustuvan tuotantolaitoksen investointikustannuksiksi 5,5-7,5 M€ riippuen raaka-ainesta. TOP pellettien tuotantokustannusten on laskettu olevan 1,8-2,3 €/GJ (6,5 - 8,3 €/MWh), eli 40-50 €/t ilman raaka-ainekustannuksia (Bergman, 2005). ECN:ssä tarkasteltu tarkemmin ketjua, jossa TOP-pellettien tuotanto tapahtuisi Etelä-Afrikassa ja pelletit kuljetettaisiin loppukäyttöön Eurooppaan esim. Rotterdamiin. Laivakuljetuskustannuksiksi TOP-pelleteille (ilman satamakäsittelyjä ja -varastointia) on arvioitu 28 €/t (1,34 €/GJ). Saman tuotanto- ja toimitusketjun kokonaiskustannuksiksi on vastaavasti arvioitu (ilman raaka-ainetta) yhteensä noin 95-99 €/t, eli noin 4,3-4,5 €/GJ.

Suomessa kiinteiden puupolttoaineiden hinta voimalaitoksille toimitettuna on vuonna 2006 ollut noin 3 €/GJ (11 €/MWh) (Energiatilasto 3/2006), joten torrefioidun polttoaineen käyttö ei ole kannattava Suomessa voimalaitoksille. Suomessa puupellettien hintataso toimitettuna yli 4 tonnin erissä on ollut vuoden 2005 alussa noin 110 €/t (alv. 0 %), eli 6,6 €/GJ (European Pellet Centre, 2006).

Joissakin Euroopan maissa voimalaitosten biopolttoaineesta maksukyky on huomattavasti Suomen voimalaitoksia korkeampi johtuen huomattavan korkeasta tuotantotuesta uusiutuvilla energialähteillä tuotetulle sähkölle. Tämä on myös nostanut voimalaitosten maksukykyä biopolttoai-

neista. Esim. Alankomaissa kivihiihivoimalaitoksissa käytettävien pellettien hintataso oli vuonna 2004 7-7,5 €/GJ, eli 25,27,0 €/MWh (van Sambeek et al., 2004).

Arvioitaessa torrefioidun puupolttoaineen valmistusmahdollisuuksia Etelä-Savon alueella luonnollisena raaka-aineena olisi metsähake ja TOP pellettien tuotanto voisi tapahtua logistisesti optimaalisessa paikassa, esim. jonkin Saimaan syväsataman yhteydessä. Olettamalla raaka-aineen hinnaksi 3 €/GJ ja TOP pellettien valmistuksen termiseksi hyötysuhteeksi 95 % voisi TOP pellettien tuotantokustannukset ilman kuljetuksia olla noin 5-5,5 €/GJ, mikä olisi kilpailukykyinen hinta puupellettien kotimaiseen hintatasoon nähden. Olettamalla Saimaalta Itä- tai Pohjanmeren alueella sijaitsevalle käyttökohteelle tapahtuvan kuljetuksen kustannusten vastaavan ECN:n arvioimia kuljetuskustannuksia Etelä-Afrikasta Eurooppaan näyttäisi TOP-pellettejä olevan mahdollista toimittaa Euroopassa satamissa sijaitseville noin 7-8 €/GJ hintaan. Tulkittaessa edellä esitettyä alustavaa kustannustarkastelua on syytä huomioida, että siihen liittyy useita epävarmuustekijöitä ja oletuksia, joten kustannukset Suomen olosuhteissa voivat poiketa ECN:n tekemästä tarkastelusta. Lisäksi TOP prosessi on vielä pilotointiasteella ja kaupallisesti toteutettavan tuotantoprosessin todelliset investointikustannukset voivat poiketa ECN:n raporteissa esitetyistä arvioista.

## **7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET**

Torrefioidun puupolttoaineen valmistus ja käyttö korvaamaan fossiilisia polttoaineita on eräs vastaus kasvaviin paineisiin vähentää energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä. Torrefiointi on varsin kallis käsittelymenetelmä ja se nostaa polttoaineen tuotantokustannuksia. Torrefioinnin edut tulevat kuitenkin esille kun polttoainetta joudutaan kuljettamaan pitkiä matkoja irtotavarana, koska torrefioidusta puusta valmistettujen pellettien energiatiheys kuljetuksessa on käsittelemättömä biomasaa ja puupellettejä suurempi. Lisäksi torrefioitua puuta voidaan käyttää pölypoltolla varustetuissa kivihiihivoimalaitoksissa suurinakin seossuhteina ilman tarvetta tehdä muutoksia laitosten polttotekniikkaan.

Suomessa fossiilisten polttoaineiden, etenkin kivihiihien, käyttö on vuosikausia väistynyt pikkuhiljaa erilaisten bioenergiaratkaisujen tieltä ja laitteistokantaa on muutettu uusia polttoaineita vastaaviksi. Torrefioidulle puupolttoaineelle ei nykyisellään ole markkinoita voimalaitoskokoluokassa Suomessa. Syynä tähän on maassa olemassa oleva suuri vaihtelevanlaatuisille kiinteille

biopolttoaineille soveltuva leijukerroskattilakapasiteetti sekä Suomen moniin Euroopan maihin nähden huomattavan alhainen uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tukitaso. Alustavan tarkastelun perusteella torrefioidusta puusta valmistetut pelletit voisivat olla hinnaltaan kilpailukykyisiä perinteisiin pienkäyttäjille myytäviin puupelletteihin nähden Suomen olosuhteissa. Torrefioidun puupolttoaineen potentiaalisimmat loppukäyttäjät ovat EU:n alueella erityisesti suurimpia sähköntuotannon tukija myöntävissä maissa sijaitsevat kivihiihivoimalaitokset.

Torrefiointi mahdollistaa pellettien raaka-ainepohjan laajentamisen kosteisiin ja huonompilaatuisiin raaka-aineisiin kuten kuoren ja metsähakkeeseen, jota Itä-Suomen alueella on arvioitu jäävän yli alueen voimalaitosten lähivuosien arvioidusta käyttötarpeesta. Tähän selvitykseen käytävissä olleet resurssit ovat olleet huomattavan rajalliset, joten tutkimustyö on jouduttu tekemään varsin karkealla tasolla. Tämä tulee ottaa huomioon tutkimuksen tulokisa arvioitaessa. Tutkimustyön aikana on arvioitu torrefioinnin tarjoavan yhden mahdollisuuden lisätä metsistä saatavan biomassan hyödyntämis- ja jalostusmahdollisuuksia. Torrefiointiin liittyvän tarkemman jatkotutkimuksen ja kehitystyön sisällöksi ehdotetaan:

- TOP-prosessin tarkempi tarkastelu sisältäen: tuotantolaitoksen investointikustannusten ja käyttökustannusten määrittämisen käytettäessä raaka-aineena metsähaketta tai turvetta
- TOP-prosessilla tuotettujen pellettien soveltuvuuden testaaminen puupelleteille suunnitelluissa kiinteistökokoluokan polttolaitteissa
- TOP pellettien käyttömahdollisuuksien selvittäminen toisen sukupolven nestemäisten biopolttoaineiden raaka-aineena

## LÄHDELUETTELO

- Bergman, Patrick C. A.. 2005. Combined torrefaction and pelletisation. The TOP process. Energy Research Centre of the Netherlands. ECN-C--05-073. 29 p. Saatavissa:  
<http://www.techtp.com/recent%20papers/TOP%20Process.pdf>.
- Bergman, Patrick C.A. & Kiel, Jacob H.A.. Torrefaction for biomass upgrading. Published at 14<sup>th</sup> European Biomass Conference & Exhibition. Paris, France. 17-21 October 2005. Ei päivitystietoja [viitattu: 10.5.2006]. Saatavissa: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/rx05180.pdf>
- BGP Engineers. ”Torrefied Wood” from biomass. Julkaisematon materiaali.
- Bird, Graham. Airless Process Systems Ltd. Esimerkkitarjouslaskelma 1.12.2004.
- Borré, Robert. Wyssmont Company Inc. Tarjouslaskelma 5.6.2006.
- Bovey, Richard. BioThermic C&TE S.A. Airless Process Systems Ltd.:n edustaja. Sähköpostikeskustelu kesäkuu 2006.
- Euroopan yhteisöjen komissio. Komission päätös. Tehty 29.1.2004. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2003/87/EY mukaisten ohjeiden vahvistamisesta kasviuonepäästöjen tarkkailua ja raportointia varten. EU:n virallinen lehti nro L 059, 26.2.2004. s. 0001-0074. Ei päivitystietoja [viitattu: 15.5.2006]. Saatavissa: [http://europa.eu.int/eur-lex/pri/fi/oj/dat/2004/l\\_059/l\\_05920040226fi00010074.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/fi/oj/dat/2004/l_059/l_05920040226fi00010074.pdf).
- European Pellet Centre. 2006. "Pellet Price Index - Price development of wood pellets in Finland". Retrieved 31 October 2006 from <http://www.pelletcentre.info/CMS/site.asp?p=955>.
- Heinimö J. 2004. Päästökaupan hallinnan seminarian diaesitys 26.4.2004.
- Jäppinen, E., Heinimö, J., Orava, H. & Mäkelä, L. 2006. Metsäpolttoaineen saatavuus, tuotanto ja laivakuljetusmahdollisuudet Saimaan alueella. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Tutkimuksia ja raportteja 11. ISBN 951-588-173-0. 128 s.
- Li, Jingge & Gifford, John. Evaluation of Woody Biomass Torrefaction. Forest Research, Rotoua, New Zealand. Ei päivitystietoja [viitattu 21.9.04]. Saatavissa:  
<http://www.techtp.com/recent%20papers/TW%20New%20Zealand.htm>.
- MEC Torréfaction. Products. Päivitetty 2005 [viitattu 6.6.2006]. Saatavissa:  
<http://www.mectorrefaction.com/index.html>.
- Suomen ympäristökeskus. Kioton pöytäkirja. Päivitetty 2.6.2006 [viitattu 5.6.2006]. Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1885&lan=fi>.
- van Sambeek, E. J. W., de Vries, H. J., Pfeiffer, A. E. & Cleijne, J. W. 2004. Onrendabele toppen van duurzame elektriciteitsopties. Advies ten behoeve van de vaststelling van de MEP-subsidies voor de periode juli tot en met december 2006 en 2007 ECN-C--04-101. November 2004. 38 p.
- Weststeijn, Andries. EPZ. Sähköpostikeskustelu 16.5.2006.