

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Pyrolyysiöljyn valmistus Suomessa kotimaisista raaka- aineista

Production of pyrolysis oil using finnish biomass

Työn tarkastaja: Prof. Esa Vakkilainen

Työn ohjaaja: Prof. Esa Vakkilainen

Lappeenranta 9.10.2013

0310090 Lauri Pontela

Ente N

TIIVISTELMÄ

Tekijän nimi: Lauri Pontela

Opinnäytteen nimi: Pyrolyysiöljyn valmistus Suomessa kotimaisista raaka-aineista

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2011

30 sivua, 6 kuvaa, 1 taulukko

Hakusanat: pyrolyysi, öljy, biomassa, Suomi

Keywords: pyrolysis, oil, biomass, Finland

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää pyrolyysiöljyn tuotantomahdollisuuksia metsäbiomassasta Suomessa. Työssä käydään läpi olennaisia tuotantotekniikoita ja pohditaan tuotantolaitoksen mahdollista sijoituspaikkaa. Lisäksi tehdään karkea laskenta yksittäisen laitoksen ideaalisesta vuosikapasiteetista ja verrataan tulosta olemassa olevasta laitoksesta saatuihin tietoihin.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä

SYMBOLILUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
2 PROSESSIEN KUVAUS	5
2.1 HTU-prosessi.....	7
2.2 Flash-pyrolyysi.....	8
2.3 Biomassan kaasutus.....	10
2.3.1 Fischer-Tropsch-menetelmä.....	12
2.3.2 Metanolisynteesi	13
3 TUOTANTOALUEET	15
3.1 Kilpailu raaka-aineesta.....	18
3.2 Metsänkäytön kehittyminen	19
4 TUOTANNON MERKITYS JA MAHDOLLISUUDET	21
4.1 Teoreettinen maksimituotto.....	22
4.2 Käytännön toteutus.....	24
4.3 Päästörajoitteet	25
5 YHTEENVETO	28
Lähdeluettelo	29

SYMBOLILUETTELO

Symboli	Selitys	Suure
A	pinta-ala	m^2
m	massa	kg
Q	energia	J
q	tehollinen lämpöarvo	J/kg
r	säde	m
V	tilavuus	m^3
η	energiatehokkuus	-
Alaindeksit		
pros	prosessi	
id	ideaali	
tot	kokonais	

1 JOHDANTO

Fossiilisten polttoaineiden väheneminen ja maailmanlaajuinen kulutuksen kasvu johtaa jatkuvasti nouseviin polttoaineiden hintoihin. Erityisen ongelmalliseksi tulevaisuudessa muodostuvat nestemäiset polttoaineet, joiden hinnannousu vaikuttaa etenkin kuljetusten hintoihin. Tämä kehitys on erityisen haitallista Suomen kaltaiselle pienelle maalle, jolla ei ole omasta takaa nestemäisten fossiilisten polttoaineiden esiintymiä. Hintojen nousu antaa toisaalta mahdollisuuden tehdä voittoa valmistamalla öljytuotteita bioperäisistä raaka-aineista, mihin Suomessa on erinomaiset mahdollisuudet. Vaikka Suomi ei koskaan tule olemaan suuri öljytuottaja, ovat kotimaiset markkinat riittävän suuret kannattavan toiminnan kannalta. Lisäksi rikkidirektiivin voimaantulo laivaliikenteessä ja kiristyvät päästörajat tulevat jatkossa vähentämään fossiilisten polttoaineiden kannattavuutta biopolttoaineisiin verrattuna. Tämä kehitys tulee varmasti lisäämään bioöljyn käytön kannattavuutta perinteisiin öljytuotteisiin verrattuna.

Tällä hetkellä bioöljyistä puhuttaessa tarkoitetaan enimmäkseen ensimmäisen sukupolven polttoaineita, joiden valmistukseen liittyy huomattavan paljon negatiivisia puolia. Yleisin ensimmäisen sukupolven nestemäisistä biopolttoaineista on etanoli, jota valmistetaan huomattavia määriä polttoainekäyttöön erityisesti Brasiliassa ja Yhdysvalloissa. Etanolin valmistuksen huono puoli on, että sokeriruoko- ja maissipellot tarvitsevat valtavasti viljelyalaa, mikä on suoraan pois ruoantuotannosta. Suomessa tosin St1 on tuottanut etanolia jätteistä, mutta jäte-etanolin tuotanto on täysin riippuvaista jätteiden määrästä, joiden saatavuus on rajallista. Ajoneuvokäytön kannalta ongelmallista on myös se, ettei etanolia voi käyttää useimpien nykyautojen moottoreissa sellaisenaan. Brasiliassa on tosin ollut käytössä täysetanolimoottoreita jo 70-luvulta lähtien, mutta kyse on ollut lähinnä omavaraisuuspolitiikasta, eikä tapa ole levinnyt muihin maihin. Etanolin käytöstä tavanomaisissa moottoreissa johtuva ongelma onkin ratkaistu lisäämällä etanolia moottorien rajoitusten mukaan normaalin bensiinin joukkoon. Markkinoille on tuotu myös FFV(Fuel-Flexible Vehicle) -autoja, joiden tekniikka mahdollistaa hyvin korkean etanoliosuuden käytön, mutta kehitystä rajoittaa kuitenkin autokannan hidaskasvu, sekä FFV-autojen pieni menekki. Paras

ratkaisu onkin kehittää ns. Drop-In Fuel –polttoaineita, jotka sopivat käytettäväksi nykyisellä moottoritekniikalla. Neste Oil valmistaa jo kehittämällään NExBTL - prosessillaan biodieseliä, jota voidaan sekoittaa perinteisen dieselpolttoaineen sekaan tai käyttää sellaisenaan. Tässäkin tapauksessa yhtiötä on tosin syytetty palmuöljyviljelmien ympäristöhaitoista. Ympäristöhaittojen vähentämiseksi onkin erittäin tärkeää kehittää prosesseja, joilla Drop-In Fuel –polttoaineita voitaisiin tuottaa metsäbiomassasta ilman, että ruoantuotannolle soveltuvaa viljelypinta-alaa joudutaan käyttämään polttoaineiden raaka-aineen tuotantoon. (Laurikko, 2011)

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tutkia mahdollisuuksia pyrolyysiöljyn tuottamiseen metsäbiomassasta Suomessa. Työssä perehdytään tällä hetkellä yleisimpiin toisen sukupolven bioöljyjen tuotantotekniikoihin, selvitetään tuotannon kannalta otollisimmat alueet Suomessa, sekä tutkitaan, miten suuren osan koko Suomen kysynnästä yhden laitoksen mahdollinen tuotanto voisi kattaa. Laskenta suoritetaan vain ideaaliselle tapaukselle, joka ei voi toteutua, mutta siitä saa karkean käsityksen tekniikan hyödyntämismahdollisuuksista. Ideaalitapausta voidaan tämän jälkeen verrata esimerkkitapaukseen ja pohtia mitä esteitä suurempi tuotantokapasiteetti mahdollisesti kohtaisi.

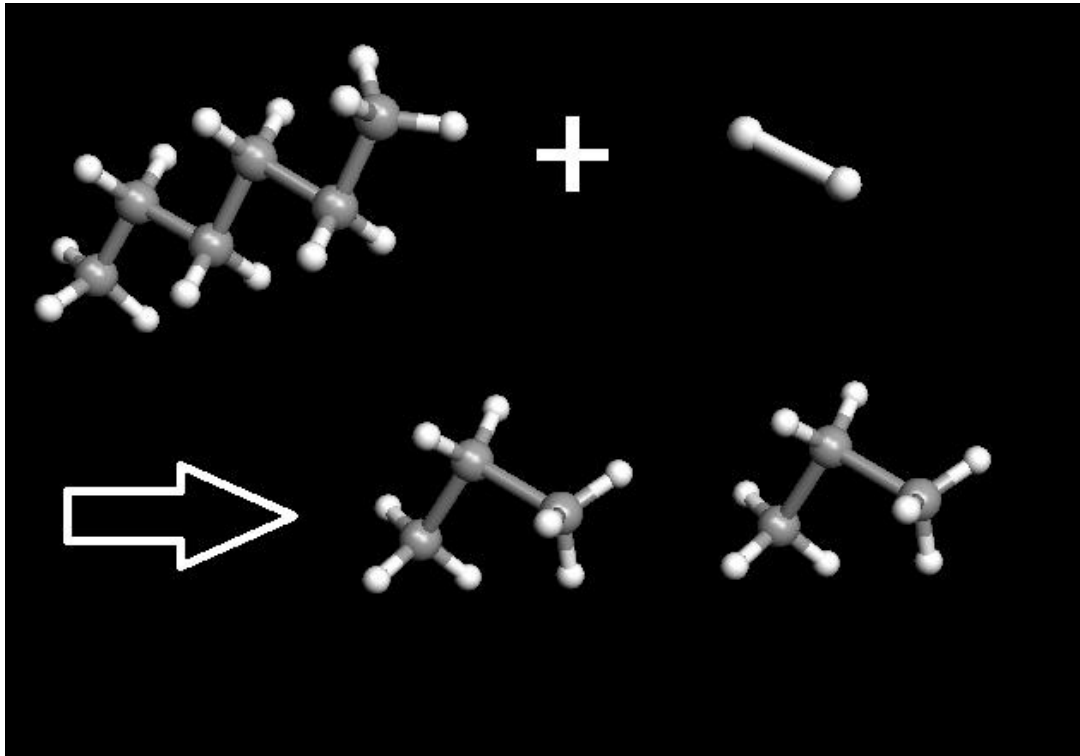
2 PROSESSIEN KUVAUS

Pyrolyysillä tarkoitetaan raaka-aineen hajottamista pienempiin komponentteihin hyödyntäen suurta lämpötilaa ja painetta. Usein käytetään myös katalyytteja prosessin nopeuttamiseksi. Lopputuotteen rakenne riippuu käytetystä prosessista ja se voi vaihdella kirkkaasta nesteestä useita eri yhdisteitä sisältävään tervamaiseen rakenteeseen, joka muistuttaa ominaisuuksiltaan hyvin paljon perinteisiä öljyjä.

Tekniikkaosiossa on keskitytty puumassan lämpökäsittelyyn perustuvaan pyrolyysiin. Lämpökäsittelyyn perustuvat tekniikat ovat looginen ratkaisu, sillä ne tarjoavat mahdollisuuden hyödyntää jonkin toisen prosessin hukkalämpöä. Tekniikkaosiossa ei käsitellä muita tällä hetkellä suosittuja biopolttoaineita kuten esimerkiksi jäte-etanolia tai mäntyöljyä. Jäte-etanoli ja mäntyöljy on jätetty pois käsittelystä, koska ne eivät sovi pyrolyysiöljyjen joukkoon tuotantotapojensa vuoksi. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineisiin lukeutuva jäte-etanoli on jätetty pois, sillä perinteistä tapaa tuottaa alkoholia esimerkiksi maatalouden sivutuotteista ei voida hyödyntää metsäbiomassan käsittelyssä. Mäntyöljy ei puolestaan kelpaa joukkoon, koska kyseessä on selluprosessin sivutuote. Vaikka mäntyöljy on arvokasta ja se kannattaa ehdottomasti kerätä talteen, on sen osuus alkuperäisestä raaka-aineesta hyvin minimaalinen.

Biomassan jalostus nestemäiseen muotoon on hankalaa eloperäisen aineen monipuolisen koostumuksen ja etenkin fossiilisiin raaka-aineisiin verrattuna suuren happipitoisuuden vuoksi. Tästä syystä vakaan lopputuotteen saavuttaminen voi vaatia vedyn lisäämistä ja katalyyttistä krakkaamista, mikä pienentää prosessin hyötysuhdetta.

Krakkaamisella tarkoitetaan prosessia, jossa monimutkaisia yhdisteitä pilkotaan yksinkertaisemmiksi pakottamalla ne reagoimaan vedyn kanssa. Reaktio on endoterminen, joten se vaatii ulkoisen energialähteen. Haluttuun lopputulokseen voidaan päästä säätämällä lämpötilaa ja painetta, mutta katalyyttien käyttö on usein kannattavaa kustannuksien pienentämiseksi ja prosessin nopeuttamiseksi. Tällä tavalla saadaan muutettua kiinteitä aineita nestemäiseen ja edelleen kaasumaiseen muotoon. Hyvä esimerkki on yksinkertaisten hiilivetyketjujen pilkkominen pienemmiksi:



Kuva 1 Esimerkki krakkauksesta (Tässä tapauksessa heksaanin krakkaus propaaniksi: $C_6H_{14} + H_2 \rightarrow 2 C_3H_8$)

Shellin kehittämä HTU-prosessi (HydroThermal Upgrading) tuottaa hyvälaatuista polttoainetta, sillä siinä lopputuotteen happipitoisuus saadaan valmiiksi hyvin pieneksi. Näin lopputuote ei tarvitse niin paljon jatkojalostusta ennen lopullista käyttöä. Huono puoli on, että matalan happipitoisuuden tavoittamiseksi prosessi tarvitsee runsaasti vetyä, minkä vuoksi lopputuote sisältää vain noin puolet alkuperäisen biomassan energiasta.

Flash-pyrolyysillä saavutetaan huomattavasti parempi energiatehokkuus kuin HTU:lla, mutta lopputuotteen happipitoisuus on niin suuri, että sitä voidaan käyttää suoraan vain yksinkertaisissa sovelluksissa, kuten lämmitysöljynä. Jatkojalostamisen ongelmaksi muodostuu tässäkin tapauksessa krakkauksen vaatima suuri vedyn kulutus, joka pienentää energiatehokkuutta alle 40 %:iin.

Paljon käytetty ja luotettava tapa muuntaa biomassaa nestemäiseen muotoon on kaasuttaa sitä alhaisella ilmakertoimella ja muuntaa savukaasuihin jääneet palavat komponentit nestemäiseen muotoon. Tämä menetelmä tosin kuluttaa osan biomassan

sisältämästä hiilestä, ja tuotekaasun nesteyttäminen sekä erotus inerteistä kaasuista ja epäpuhtauksista vaatii lisätoimenpiteitä. Käytetystä raaka-aineesta ja nesteytysprosessista riippuen tällä keinolla voidaan saavuttaa yli 50 %:n energiatehokkuus ja lopputuote sopii hyvin monimutkaisiin sovelluksiin, kuten esim. autojen diesel-moottoreihin. Näin jatkokäsittely yksinkertaistuu huomattavasti, tai se voidaan käyttökohteesta riippuen sivuuttaa kokonaan. (Sipilä ym., 1999)

2.1 HTU-prosessi

HTU (HydroThermal Upgrading) perustuu biomassan kuumentamiseen alikriittisessä vedessä, kunnes raaka-aine alkaa hajota nestemäisiksi ja kaasumaisiksi yhdisteiksi. Veden lämpötila on 280—370 °C ja paine 10—25 MPa, jolloin sitä voidaan käsitellä vielä nestemäisessä olomuodossa. Ylikriittiselle alueelle mentäessä biomassaa hajoaa entistä enemmän kaasumaisiksi yhdisteiksi, mikä ei ole suotavaa nestemäisen lopputuloksen ollessa tavoitteena. Prosessin hyvä puoli on, että tällöin raaka-ainetta ei tarvitse kuivata ennen varsinaista käsittelyä. Tämä vähentää esikäsittelyyn vaadittavia järjestelyjä, ja mahdollisuudet erityyppisten raaka-aineiden käyttöön ovat hyvin laajat.

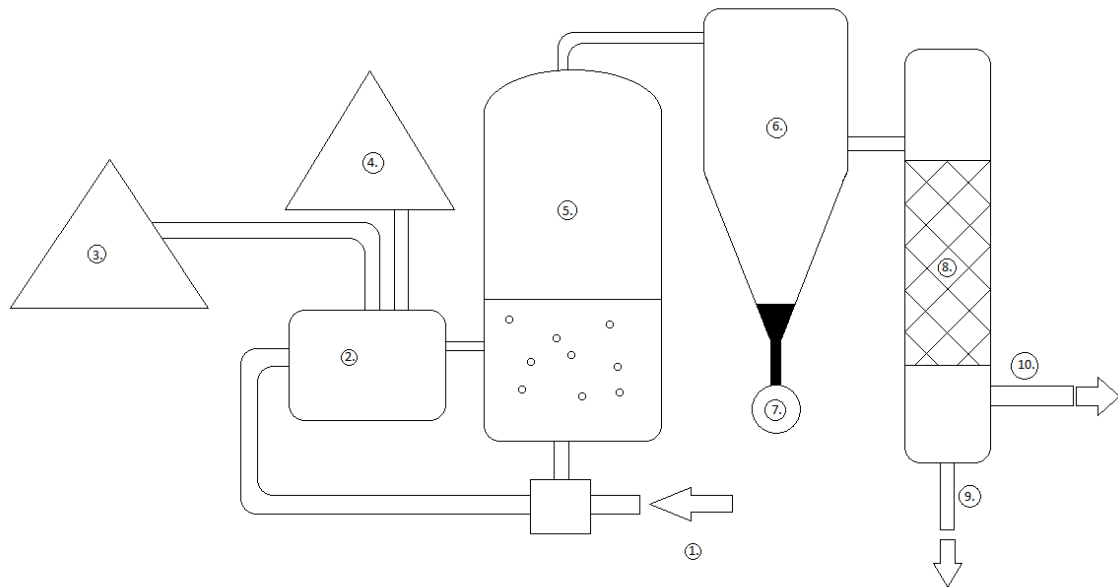
Prosessin lämpötila ja paine pitää valita tarkkaan käytetyn biomassan kuiva-aineen koostumuksen perusteella. Merkittävintä on selluloosan ja ligniinin määrä, sillä ne ovat puuperäisissä materiaaleissa kestävimpiä kemiallisia yhdisteitä. Optimaalisessa tapauksessa selluloosa hajoaa mahdollisimman nopeasti, sillä se muodostaa suurimman osan biomassan kuiva-aineesta. Näin ollen sen hajoamistuotteet muodostavat myös suurimman osan lopputuotteesta. Toisaalta liian voimakas käsittely ei kannata, koska tällöin hemiselluloosa ja muut biomassan sisältämät yhdisteet hajoavat liian nopeasti pienemmiksi yhdisteiksi, kuten glukoosiksi, joka hajoaa ääriolosuhteissa hyvin herkästi pienemmiksi yhdisteiksi. Tällöin on riskinä, että huomattava osuus kuiva-aineesta kaasuuntuu, mikä ei ole hyväksyttävää, kun tavoitteena on nestemäinen lopputulos.

Ligniini hajoaa lähes yhtä hitaasti kuin selluloosa, mutta siitä jää usein jäljelle kiinteitä ainesosia. Monet ligniinin hajoamisesta syntyvät aineet sisältävät bentseenirenkaita, jotka vakautensa vuoksi ovat hyvin hitaasti hajoavia yhdisteitä. Nämä voidaan tietenkin

erottaa jälkikäteen, mutta kiintoaineksen muodostumista voidaan ehkäistä käyttämällä lyhytkuituisia puulajeja, jotka sisältävät vähemmän ligniiniä. Toinen vaihtoehto on käyttää prosessissa sopivia katalyytteja, jolloin lopputuote sisältää vähemmän kiintoainesta. Puuperäisillä raaka-aineilla voidaan hyödyntää katalyytteinä etenkin erinäisiä karbonaatteja, jolloin hyötynä on nimenomaan tuhkan ja kiintoaineksen väheneminen. (Sohail Toor ym., 2011)

2.2 Flash-pyrolyysi

Flash-pyrolyysissä biomassa hajotetaan hapettomissa olosuhteissa suuren lämpötilan avulla. Suurin mielenkiinto on tällä hetkellä kupla- ja kiertopetiteknikassa, jolloin prosessi toimii normaalissa ilmanpaineessa ja näin rakenteet eivät joudu suuren rasituksen alaisiksi. Kantavana kaasuna käytetään yleensä typpeä, joka on halpa, inertti kaasu. Tämä tosin edellyttää, että lämpötila pidetään tarpeeksi alhaisena, koska muuten molekyylylityppi voi reagoida liikaa biomassan sisältämän hapen kanssa. Liian korkea lämpötila johtaa myös kaasumaisten hajoamistuotteiden lisääntymiseen, mikä pienentää lopputuotteen määrää. Toisaalta liian alhaisessa lämpötilassa biomassa ei hajoa tehokkaasti ja tämä johtaa suureen kiintoainemäärään. Jos tavoitteena on maksimoida öljyn määrä, lämpötila kannattaa pitää noin 500 °C:ssa. Tätä korkeammassa lämpötiloissa öljyn osuus alkaa pienentyä ja kaasun osuus kasvaa. Biomassan hajottaminen flash-pyrolyysillä on esitetty kuvassa 2.



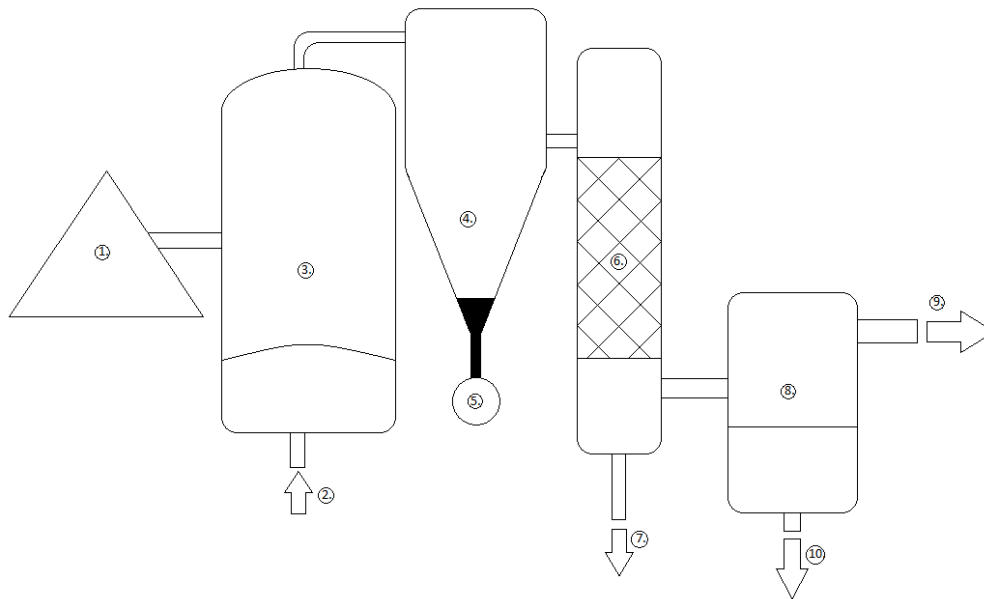
Kuva 2 Flash-pyrolyysin prosessikaavio (Wang ym., 2007)

Reaktoriin saapuva typpivirtaus jaetaan kahteen osaan (1.) ja suurin osa tuestä ohjataan suoraan leijuttamaan petiä. Osa tuestä sekoitetaan (2.) raajan biomassan (3.) ja petimateriaalin (4.) kanssa jolloin raaka-aine saadaan syötettyä tehokkaasti reaktoriin (5.). Reaktioon tarvittava energia kannattaa tuottaa lämmittämällä reaktoriin saapuvaa kaasuvirtaa, sillä reaktoriin saapuu happea ainoastaan polttoaineen mukana. Typpi ja tuotekaasu ohjataan reaktorin jälkeen sykloniin (6.), jolloin petimateriaali ja osa kiintoaineista saadaan erotettua. Erotuksen jälkeen kiintoaine kierrätetään takaisin petimateriaaliksi (7.), aivan kuten kiertopetikattilassa. Tämän jälkeen kaasuvirta ohjataan jäähdyttimeen (8.), jossa bioöljy kondensoituu kaasuvirrasta (9.). Typen mukana kulkeutuu vielä kaasumaisia yhdisteitä (10.), jotka voidaan yrittää kerätä talteen tai polttaa. (Wang ym., 2007)

2.3 Biomassan kaasutus

Kaasutuksessa biomassaa poltetaan hyvin pienellä ilmakertoimella, jolloin epätäydellisen palamisen seurauksena syntyy normaalien inerttien palamistuotteiden lisäksi monia erilaisia palamistuotteita, jotka sopivat edelleen poltettavaksi tai jatkojalostettavaksi. Näistä merkittävimmät ovat hiilimonoksidi ja molekyyliivety, mutta tuotekaasu sisältää myös monimutkaisempia yhdisteitä. Kaasutuksen prosessikaavio on esitetty kuvassa 3.

Aluksi palamisilmaa (1.) ja polttoainetta (2.) syötetään reaktoriin (3.), jossa biomassaa poltetaan ali-ilmakertoimella. Tällöin palaminen on epätäydellistä ja savukaasut sisältävät merkittäviä määriä palavia ainesosia. Tämän jälkeen savukaasut ohjataan sykloniin (4.), jossa suurin osa kiintoaineesta saadaan erotettua. Kiintoaine kierrätetään takaisin petimateriaaliksi (5.) ja tässä vaiheessa se sisältää vielä jonkin verran palamattomia yhdisteitä. Syklonin jälkeen savukaasut kondensoidaan (6.), jolloin virtauksesta erottuu vielä enemmän raskaampia ainesosia. Erottuneet tervayhdisteet voidaan kierrättää takaisin reaktoriin, jotta ne reagoivat loppuun saakka (7.). Nyt savukaasut on saatu puhdistettua melko hyvin ja ne voidaan ohjata syntetisointiin (8.). Savukaasut sisältävät vielä inerttejä kaasuja, jotka voidaan poistaa haluttujen aineiden nesteytyksen jälkeen (9.). Lopputuote on nyt nestemäistä ja se voidaan kerätä talteen syntetisoinnin päätyttyä (10.).



Kuva 3 Kaasutuksen prosessikaavio (Sipilä ym., 1999)

Ensimmäisessä vaiheessa ei ole vielä tarkoituksena hajottaa biomassaa suoraan öljyksi, vaan tavoitteena on muuttaa mahdollisimman suuri osa raaka-aineesta kaasumaiseen olomuotoon. Jatkokäsittelyä helpottaa, jos loppuvaiheessa jäljellä olevat palavat kaasumaiset yhdisteet koostuvat lähinnä hiilimonoksidista ja vedystä. Tämä tekee prosessista yksinkertaisen ja siksi halvan, mutta huono puoli on se, että raaka-aineesta huomattava osa kuluu lämmöntuotantoon ja tehokas kaasutus vaatii suuren lämpötilan. Suuri osa biomassan sisältämästä hiilestä ja vedystä muuttuu hiilidioksidiksi ja vedeksi, ja epätäydellisessä palamisessa syntynyttä hiilimonoksidia ja molekyyliä kuluu NO_x -yhdisteiden pelkistysreaktioissa. Vaikka termisiä NO_x -yhdisteitä pystytään välttämään alhaisen lämpötilan ansiosta, sisältää biomassassa aina niin paljon typpeä, että nämä reaktiot aiheuttavat väistämättä häviöitä. Biomassa sisältää myös runsaasti happea, minkä vuoksi palamisilman tarve on vähäinen. Tämän seikan vuoksi kaasutus muistuttaa flash-pyrolyysiä biomassan osalta. Riittävän kaasuvirtauksen aikaansaamiseksi voidaan joutua käyttämään savukaasujen takaisinkierrätystä.

Toinen ongelma on tuotekaasun puhdistus. Reaktorista poistuva kaasuvirta sisältää suuren määrän erinäisiä yhdisteitä ja inerttien kaasujen ja kuonaantumista aiheuttavien tervan ja tuhkan erotus vaatii omat toimenpiteensä. Kiinteät partikkelit voidaan erottaa syklonilla, mikä on luonnollinen osa prosessia, jos käytössä on kiertopetireaktori. Tarpeen vaatiessa voidaan myös käyttää sähkösuodinta. Raskaat tervayhdisteet aiheuttavat kuonaantumista ja laitteiston kestävyys kannalta ne tulisi saada poistettua kaasuvirtauksen seasta jo aikaisessa vaiheessa. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi kondensoimalla, mutta paras ratkaisu on optimoida prosessi niin, että lopputuote ei sisällä suuria määriä raskaita tervayhdisteitä. Tämän jälkeen virtaus sisältää vielä suuret määrät typpeä ja hiilidioksidia, mutta inerteinä kaasuina ne eivät haittaa jatkojalostusta etenkin, jos se tapahtuu alhaisessa lämpötilassa.

Prosessin toisessa vaiheessa palavat kaasumaiset yhdisteet sisältävät lähinnä vetyä ja hiilimonoksidia, jotka on muokattava nestemäiseen muotoon, jotta niiden käsittely helpottuisi. Tähän on kaksi hyvää keinoa: Fischer-Tropsch-menetelmä ja metanolisynteesi (Sipilä ym., 1999). Erona muihin bioöljyn tuotantotapoihin on, että lopputuote sopii sellaisenaan käytettäväksi useissa eri sovelluksissa. Metanolisynteesissä lopputuotteessa pyritään nimen mukaisesti tuottamaan metanolia, mutta FT-menetelmässä pystytään prosessia muokkaamalla tuottamaan hyvin erilaisia polttoainelaatuja.

2.3.1 Fischer-Tropsch-menetelmä

Fischer-Tropsch-menetelmä on lähes 100 vuotta käytössä ollut menetelmä, jolla kiinteistä polttoaineista on pystytty tuottamaan korkealaatuista nestemäistä polttoainetta. Hyvä esimerkki on toisen maailmansodan aikainen Saksa, jossa tuotettiin öljylähteiden puuttumisen vuoksi polttonestettä hiilestä. Myöhemmin samaa tekniikkaa käytettiin Etelä-Afrikassa apartheidin aikana, kun maa oli julistettu kauppasaartoon. Vaikka biomassa on hiileen verrattuna hyvin monimutkainen raaka-aine, voidaan samalla prosessilla silti tuottaa hyvin liikennekäyttöön sopivaa polttoainetta. Prosessi on hyvin joustava ja lämpötilaa, painetta ja katalyytteja vaihtamalla sitä pystytään säätämään raaka-aineen mukaan sopivaksi.

Fischer-Tropsch on eksoterminen katalyyttinen reaktio, joka toimii lämpötila-alueella 200 – 350 °C (Basu, 2010). Nestemäinen lopputuote ei ole homogeenistä vaan sisältää eripituisten hiilivetyjen lisäksi alkoholeja. Toisin kuin metanolisynteessissä, happi ei sitoudu kokonaisuudessaan palaviin ainesosiin (alkoholeihin), vaan osa reagoi vedyn kanssa vedeksi, joka täytyy erottaa lopputuotteesta.

Vaikka prosessista saatava lopputuote on laadullisesti hyvin vaihtelevaa, on se vielä muihin käytössä oleviin menetelmiin verrattuna erittäin kilpailukykyinen. Prosessi on yksinkertainen ja siitä on käyttökokemusta lähes sadan vuoden ajalta. Lisäksi se on uudempiin menetelmiin verrattuna erittäin halpa, sillä se mahdollistaa rautapohjaisten katalyyttien käytön. Muitakin katalyyttejä voi käyttää riippuen halutusta lopputuotteen koostumuksesta ja raaka-aineen laadusta. (Basu, 2010)

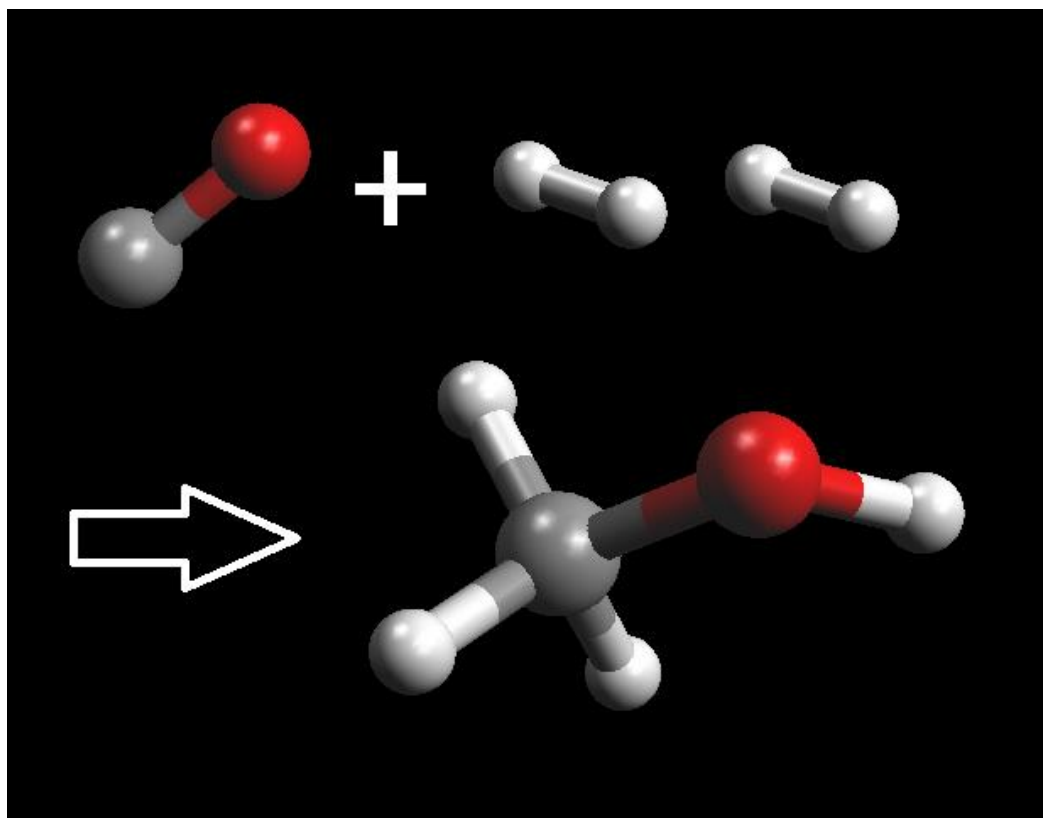
2.3.2 Metanolisynteesi

Metanolisynteesi on yleisnimitys prosessille, jossa kaasumaiset yhdisteet saamaan reagoimaan niin, että lopputuloksena on metanolia, joka on sellaisenaan hyvin puhdas ja monipuolinen polttoaine. (Sipilä ym., 1999) Lähtöaineena voidaan käyttää esimerkiksi hiilidioksidia, vettä tai metaania, mutta biomassan kaasutuksessa kyseessä ovat vety ja hiilimonoksidi (Basu, 2010). Reaktio itsessään on yksiportainen, mikä tekee myös reaktioyhtälöstä hyvin yksinkertaisen: $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ (Basu, 2010).

Metanoli on hyvin monipuolinen aine, joka sopii moniin erilaisiin prosesseihin, ei ainoastaan poltettavaksi. Vaikka sen lämpöarvo on hyvin alhainen esimerkiksi perinteiseen bensiiniin verrattuna, on metanolin etuna sen homogeenisuus ja yksinkertainen molekyyilirakenne. Tämä mahdollistaa sen käytön polttimien ja polttomoottorien lisäksi myös esimerkiksi polttokennoissa. Polttokennoissa ei vielä olemassa olevien katalyyttien rajoitusten vuoksi pystytä käyttämään tehokkaasti metanolia monimutkaisempia yhdisteitä, mikä lisää osaltaan menetelmän houkuttelevuutta. (Stolten, 2011)

Prosessi toimii 50 - 300 barin painealueella lämpötilassa 240 – 400 °C. Synteesi tapahtuu eksotermisesti ja on jo sellaisenaan toimiva, mutta jotta metanolia saadaan

tuotettua tarpeeksi tehokkaasti, on käytettävä myös katalyyttiä. Yleisimmin tässä tapauksessa käytetyt katalyytit pohjautuvat sinkkiin, kupariin, alumiiniin tai kromiin. (Basu, 2010)



Kuva 4 Metanolisynteesin toimintaperiaate (Basu, 2010)

Perinteinen syntetisointi voidaan jakaa korkean ja matalan paineen prosesseihin. Kummassakin tapauksessa reagoivat kaasut puhalletaan paineistamisen jälkeen katalyyttimateriaalin läpi. Tässä hyödynnetään nykyisin kuplapetiteknikkaa, joka mahdollistaa suhteellisen edullisesti toteutettavalla tavalla suuren reaktiopinta-alan. Reaktioaste on vain noin 20 %, joten suurin osa kaasusta joudutaan kierrättämään takaisin. Nykyisin kehitetään myös nestefaasissa tapahtuvaa syntetisointia, mutta sen käyttökelpoisuudesta ei ole vielä varmuutta kehitystyön ollessa kesken. On kuitenkin mahdollista, että sillä voidaan saavuttaa jopa 90 %:n reaktioaste, mikä tehostaisi metanolisynteesiä huomattavasti. (Basu, 2010)

3 TUOTANTOALUEET

Tuotantolaitoksen paikan valinnassa on huomioitu nykyisin olemassa olevat metsäteollisuuden laitokset sekä puuraaka-aineen kysynnän ja tarjonnan suhde. Toinen merkittävä tekijä on logistiikan järjestäminen, mikä on ymmärrettävistä syistä helpompaa eteläisessä Suomessa. Paras vaihtoehto olisi paikka, jossa on suuri puun vuosikasvu, mutta paikallinen kulutus olisi kuitenkin vähäistä. Tässä on mietitty metsäteollisuuden laitosten ja etenkin sellutehtaiden sijoittumista ympäri Suomea, sillä sellunvalmistukseen sopivat raaka-aineet soveltuvat erinomaisesti myös pyrolyysiöljyn tuottamiseen. Näin ollen lähellä toisiaan sijaitsevat laitokset kilpailisivat samoista raaka-aineista.

Tuotantolaitokselle sijoituspaikkaa valitessa oleellisinta on raaka-aineen saannin turvattuus ja logistiikka. Mikäli logistiikassa täytyy turvautua ainoastaan maantiekuljetuksiin, ei matka keruupaikalta laitokselle saisi olla pidempi kuin noin 100 km. Tätä pidemmillä matkoilla maantiekuljetus ei enää välttämättä ole taloudellisesti kannattava vaihtoehto. Keräysaluetta voidaan laajentaa, jos huomattava osa kuljetusmatkasta voidaan tehdä rautateitse tai vesitse. Tämä tosin lisää tuotantoketjun vaatimaa lastausta ja purkamista ja voi siksi olla tilanteesta riippuen jopa maantiekuljetusta kalliimpi vaihtoehto. Yksi vaihtoehto on kerätä puumateriaalia ennen varsinaista kuljetusta väliterminaaleihin, jossa se voitaisiin hakettaa pidempää kuljetusta varten. Tämä on kannattavaa, jos käytettävä materiaali on hyvin huokoista, eli esimerkiksi hakkuujätettä tai kantoja, eikä sitä saada pakattua sellaisenaan tarpeeksi tiiviisti matkaa varten.

Vesitse kuljettaminen on pitkillä välimatkoilla ylivoimaisesti halvin vaihtoehto ja vesikuljetus onkin Suomessa perinteinen kuljetustapa. Ennen vanhaan vesikuljetuksella oli paljon nykyistä suurempi rooli, mutta sitä käytetään nykyisinkin yleisesti toimitettaessa raaka-ainetta selluteollisuuden tarpeisiin. Vedessä puumateriaali myös pehmenee valmiiksi, mikä helpottaa jälkikäsitteilyä. Toisaalta puusta irtoaa kuljetuksen aikana runsaasti kuorimateriaalia veteen ja HTU-prosessia lukuunottamatta biomassan öljyksi jalostaminen edellyttää, että käytössä olisi mahdollisimman kuivaa raaka-ainetta.

Raaka-aineen kannalta täydellisellä alueella olisi suuri puun vuosikasvu, mutta vain alhainen kysyntä. Tällöin puuta olisi tasaisesti tarjolla ympäri vuoden. Ideaalinen alue olisi siis eteläisessä Suomessa alueella, jossa ei ole liikaa muita puuta tarvitsevia teollisuudenaloja. Tarjolla olevan puun laatu riippuu sekä alueesta, että muista käyttäjistä. Pahin kilpailija raaka-aineen suhteen öljyntuotantolaitokselle olisi sellutehdas, kun taas sahan kanssa rinnakkainen toiminta voisi toimia todella hyvin. Saha tarvitsee käyttöönsä runkokuuta, kun taas öljyntuotantoon soveltuu myös heikkolaatuisempi biomassa.

Pohjoinen Suomi on vuosikasvun osalta huomattavasti etelää köyhempi, mutta siihen on kaksi pääsyä. Ensinnäkin suuret kansallispuistot ja luonnonsuojelualueet, joita hoidetaan selvästi vähemmän kuin tuotantometsiä ja se, ettei pohjoisessa ole niin paljon tehotuotantometsää kuin etelässä. Eron huomaa myös, jos vuosikasvun eroavaisuudet jaotellaan omistajaryhmittäin. Yksityisten omistamissa metsissä vuosikasvu on koko maan mittaluokassa noin kaksi kertaa suurempi hehtaaria kohden kuin valtion omistamissa metsissä. Valtion metsien vuosikasvu on heikkoa myös muihin omistajaryhmiin verrattuna. Vertailu ei kuitenkaan ole kovin selkeää, koska valtion omistukseen kuuluvat myös valtavat luonnonsuojelualueet ja kansallispuistot, joihin sitoutunutta biomassa ei ymmärrettävistä syistä voida hyödyntää satunnaisia hoitohakkuuta lukuun ottamatta. (Syrjälä;ym., 1991)

Tehotuotantometsissä toteutuu vain suuri kierto, eli alueen puut ovat samaa ikäluokkaa. Hakkuuseen menevät puut eivät ehdi kasvaa niin vanhoiksi, että niiden kasvu hidastuisi merkittävästi ja siksi vuosikasvu vaikuttaa niin suurelta. Pohjoisessa toteutuu suurimmalta osin pieni kierto, mikä on tavallista luonnonvaraisille metsille. Silloin metsä koostuu eri-ikäisistä puista ja uudistuminen tapahtuu paikoittain vanhojen puiden kuollessa pois uusien tieltä. Periaatteessa siis pohjoisen metsien vuosikasvua voitaisiin vielä huomattavasti lisätä, mutta käytännössä se ei ole yhtä kannattavaa, kuin etelän metsien käytön kehittäminen entisestään.

Taulukossa 1 on esitetty puuston vuosikasvu maakunnittain VMI10:n tulosten perusteella. Vuosikasvussa on esitetty kaikkien puulajien yhteenlaskettu kasvu vuosittain maakuntaa kohden. Tuloksista nähdään, että vuosikasvu on suurinta Hämeessä, Uudellamaalla, Etelä-Savossa ja Kaakkois-Suomessa. Näistä Etelä-Savo on

ainoa, jossa puun kysyntä on valmiiksi suhteellisen vähäistä ja siksi alue olisi sopiva uuden laitoksen perustamisen kannalta. Hämeessä ja Uudellamaalla on valmiiksi niin paljon muita puunkäyttäjiä, että raaka-aineen saatavuudesta ei olisi varmuutta vuoden ympäri ja Kaakkois-Suomessa on niin kehittynyt metsäsektori, ettei uusien toimijoiden ole helppoa tulla markkinoille. Ylä-Lapissa ei tutkita vuosikasvua jokaisella kartoituskerralla, mutta tämä ei toisaalta ole tarvittavaa hyvin pienen vuosikasvun vuoksi.

Taulukko 1 Puun vuosikasvu maakunnittain (Metla / Metinfo / Tilastopalvelu, 2004)

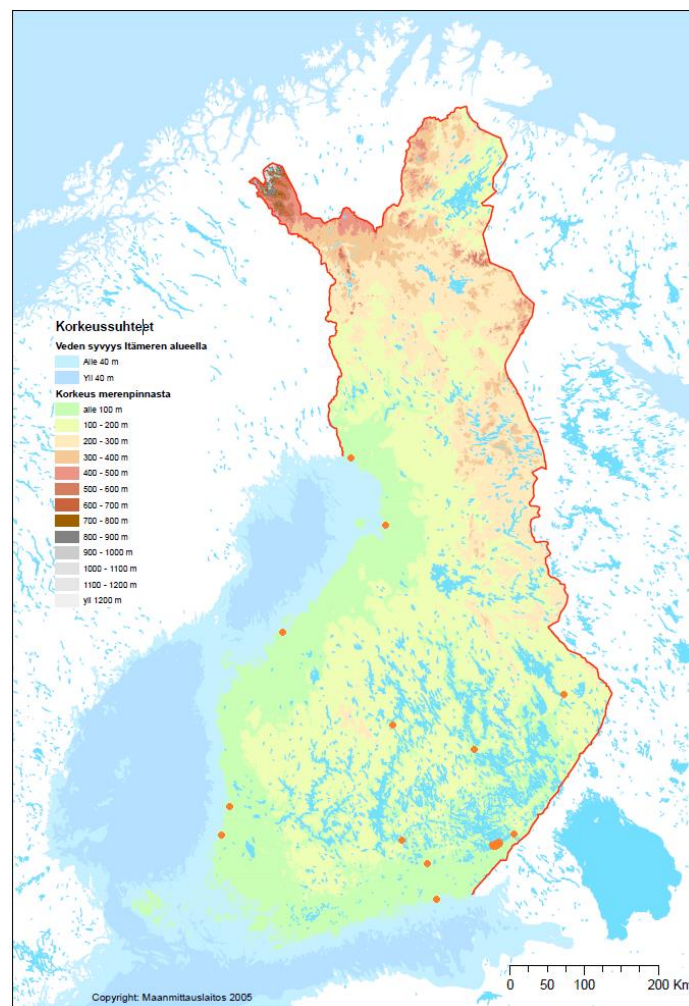
Alue	Metsämaa [m ³ /ha/v]	Kitumaa [m ³ /ha/v]	Metsä- ja kitumaa yhteensä [m ³ /ha/v]
Ahvenanmaa	5.5	1.5	4.4
Rannikko	5.9	1.3	5.5
Etelärannikko	6.2	1.3	5.4
Pohjanmaa	5.7	1.3	5.5
Lounais-Suomi	6.1	1.3	5.8
Häme-Uusimaa	7.3	1.0	7.2
Kaakkois-Suomi	7.2	1.2	7.1
Pirkanmaa	6.4	0.9	6.2
Etelä-Savo	7.3	1.0	7.2
Etelä-Pohjanmaa	4.8	0.9	4.6
Keski-Suomi	6.1	0.9	6.0
Pohjois-Savo	6.5	1.0	6.4
Pohjois-Karjala	5.8	0.7	5.6
Kainuu	3.9	0.7	3.6
Pohjois-Pohjanmaa	4.0	0.8	3.6
Lappi	2.4	0.6	1.9
Etelä-Lappi	2.6	0.7	2.2
Ylä-Lappi
Etelä-Suomi	6.3	1.1	6.1
Pohjois-Suomi	3.1	0.6	2.6
Koko maa	4.9	0.7	4.4

Itä-Suomen osalta on kuitenkin merkille pantavaa huomata, että hakkuita sallitaan vuosittain selvästi vähemmän kuin lännessä. Vuosina 2011-2020 Itä-Suomessa on sallittu noin 24 miljoonan kuution vuotuiset hakkuut, kun lännessä vastaava luku on noin 33 miljoonaa kuutiota. Tämä ero sallittujen hakkuiden määrässä toisaalta selittynee

alueiden kokoeroilla ja sillä että idässä huomattavasti suurempi osuus kokonaispinta-alasta on vettä. (Kara ym., 2003)

3.1 Kilpailu raaka-aineesta

Tuotantolaitoksen paikkaa valitessa, täytyy muistaa että öljyntuotantolaitokset kilpailisivat raaka-aineesta ensisijaisesti sellutehtaiden kanssa. Kuvassa 5 on merkitty karttaan Suomessa tällä hetkellä toiminnassa olevat sellutehtaat. Viime vuosina toimintansa lopettaneet tehtaat ovat olleet pääsääntöisesti pienemmän kapasiteetin laitoksia ja vaikka kapasiteettia on siirtynyt myös ulkomaille, sitä on keskitetty suurempiin yksiköihin Suomen sisällä.



Kuva 5 Tällä hetkellä toiminnassa olevat sellutehtaat Suomessa (Maanmittauslaitos)

Kartasta näkee, että nykyisin toiminnassa olevat sellutehtaat sijaitsevat ulkomaankaupan helpottamiseksi suurimmalta osin rannikkoseudulla. Tämä ei takaa parhaita edellytyksiä kotimaisen raaka-aineen käyttöön, mutta tarjoaa loistavat edellytykset tuotteiden merikuljetuksille. Sellutehtaiden keskittymä Kaakkois-Suomessa taas on selitettävissä erinomaisella mahdollisuudella ostaa raaka-ainetta Venäjältä. Tällöin Pyrolyysiöljyä valmistavan tehtaan ei välttämättä tarvitse sijaita rannikolla, jos tuotantokapasiteetti suuntaantuu kotimaan markkinoille. Olisi tietenkin hyödyllistä sijoittaa tehdas jonkin olemassa olevan öljynjalostamon läheisyyteen, mutta jos halutaan panostaa kotimaiseen raaka-aineeseen, on järkevämpää valita sijoituspaikka läheltä merkittävimpiä puunkorjuualueita. Tällöin rannikko ei luonnollisesti ole paras mahdollinen vaihtoehto.

Täytyy tietenkin ottaa huomioon, että metsäteollisuuden ei tarvitse olla kilpailija öljyntuotannossa. Tälläkin hetkellä selluntuotannossa otetaan talteen sivutuotteena syntyvää mäntyöljyä, mutta sitä saadaan tuotettua vain niin kauan kuin itse selluntuotanto jatkuu. On kuitenkin mahdollista, että sulkeutuvien sellutehtaiden tilalle perustettaisiin öljyntuotantolaitoksia. Tämä on tietenkin loppujen lopuksi täysin riippuvaista rahoituksen löytymisestä.

3.2 Metsänkäytön kehittyminen

Metsien käytön kehittymistä lähitulevaisuudessa on vaikea arvioida, mutta viime vuosina tapahtuneen kehityksen perusteella voi antaa jonkinlaisen arvion. Erityisen merkittävä seikka on paperiteollisuuden merkityksen väheneminen Suomessa, mikä vähentää erityisesti kuitupuun tarvetta. Tällä on osaltaan hintoja laskeva vaikutus, mutta laadukkaan runkopuun hintaan se ei kykene vaikuttamaan erityisen voimakkaasti. Sahojen osalta tilanne on monimutkaisempi, sillä runkopuulle on tasaisesti kysyntää esimerkiksi rakennusteollisuudessa. On epätodennäköistä, että kotimainen sahatavaran tuotanto vähentyisi erityisen paljon huolimatta ulkomaisen sahatavaran tuonnin lisääntymisestä.

Toinen tärkeä seikka on suora energiapuun käyttö kattiloissa. Tämä saattaa kuulostaa hyvältä idealta, mutta ei välttämättä ole jatkojalostukseen verrattuna kannattavuudeltaan yhtä hyvä tapa käyttää puuta. On helppoa ajatella, että puuta kannattaa polttaa sellaisenaan esimerkiksi turpeen ohessa, jotta koko energiasisältö saadaan käytettyä mahdollisimman tehokkaasti. Toisaalta jalostamalla puuta esimerkiksi öljytuotteiksi voidaan lopputuotetta myydä markkinoilla, joiden hinnat jatkavat varmasti nousuaan tulevaisuudessa. Lisäksi pelkän jalostamattoman energiapuun polttamisessa suurimmaksi esteeksi muodostuu suurimittaisessa energiantuotannossa vaadittavat valtavat puumäärät ja helposti liian pitkiksi muodostuvat toimitusmatkat. Kun raaka-aine jalostetaan nestemäiseen muotoon, sen kuljetus on kannattavaa myös pidemmillä matkoilla. Tämä siitäkkin huolimatta, että jalostuksessa osa materiaalista menee väistämättä hukkaan.

Puun käytön lisäämiselle voi kuitenkin tulevaisuudessa olla lisäpaineita, jos turpeen käyttöä pyritään vähentämään pyrittäessä kasvattamaan uusiutuvien energialähteiden osuutta. Ei voida kuitenkaan olettaa, että turpeen käyttö loppuisi kokonaan, sillä puuta poltettaessa suuren kokoluokan kattiloissa täytyy käyttää myös turvetta tai jotain muuta fossiilista polttoainetta kattilatekniikan toimivuuden vuoksi. Täytyy ottaa myös huomioon, että nykyisin biomassaa käyttävissä voimalaitoksissa puuta poltetaan yleensä saatavuuden mukaan. Kun puuta ei saada tarpeeksi, tarvittava määrä korvataan turpeella. Ongelmaksi muodostuu nimenomaan hakkuujäte, joka on mielekkäin vaihtoehto polttoaineeksi sen alhaisen hinnan vuoksi. Suurimmassa osassa kattiloista haketta käytetään vain seospolttoaineena, sillä puun sisältämä kloori ym. epäpuhtaudet aiheuttavat kattilan nopeaa kulumista, mitä voidaan ehkäistä helpoimmin polttamalla ohessa esimerkiksi turvetta. Toinen vaihtoehto olisi käyttää kattilan rakentamisessa paremmin korroosiota kestäviä materiaaleja, mikä nostaa huomattavasti laitoksen hintaa. Näillä näkymin puun käyttö lisääntyy erityisesti pienen kokoluokan voimalaitoksissa, joissa on mahdollista polttaa biomassaa sellaisenaan. (Leino ym., 2007)

Jotta puuta riittää tulevaisuudessa kaikille käyttäjryhmille, täytyy metsäsektorin sisällä tehdä selkeitä sopimuksia puunkäytön suhteen. Jo nyt energiapuusta on paikoittain

pulaa, vaikka kattiloissa pyritään käyttämään vain muuhun käyttöön sopimattomia puunosia, kuten latvuksia ja kantoja.

4 TUOTANNON MERKITYS JA MAHDOLLISUUDET

Kun optimaalinen sijoituspaikka tuotantolaitokselle on valittu, lasketaan keskimääräisen vuosikasvun ja sopivan keräysalueen perusteella puumäärä, joka on vuosittain teoreettisesti kerättävissä. Tämän jälkeen voidaan laskea ideaalinen vuodessa tuotetun pyrolyysiöljyn määrä yhdelle tuotantolaitokselle. Vertaamalla tätä koko Suomen nestemäisten polttoaineiden kulutukseen saadaan selville karkea arvio yhden tehtaan mahdollisesta tuotantokapasiteetista. Lopuksi tuloksen vaikutusta voi verrata nykyisiin päästötavoitteisiin ja miettiä sen merkitystä tulevaisuuden kannalta.

Vuonna 2002 Suomen primäärienergian kulutus oli 389,5 TWh. Tästä 25,9 %, eli 100,9 TWh tuotettiin öljyllä. Tämän osuuden voi odottaa pienentyvän, sillä vaikka öljyn kokonaiskäyttö on vähentynyt viime vuosikymmeninä melko maltillisesti, ovat muut energiantuotantomuodot samaan aikaan selkeästi kasvattaneet osuuttaan. (Kara ym., 2004)

Nykyisin öljyn käyttö keskittyy voiteluaineisiin, lämmitykseen sekä erityisesti liikenteeseen. Voiteluaineissa on siirrytty jatkuvasti enemmän synteettisten aineiden käyttöön ja lämmityksessä öljy ei ole enää pitkään aikaan ollut suosittu vaihtoehto jatkuvasti kasvavan hinnan vuoksi. Liikenteessä on käynnissä suuri muutos yritettäessä vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. Vaikka sähkö on saanut paljon huomiota bensiinin ja dieselin korvaajana, niin paljon todennäköisemmin muutos tapahtuu pitkällä aikavälillä biopolttoaineisiin siirtymällä.

Öljyn maailmanmarkkinahinnan noustessa voidaan olettaa, että öljylämmityksen suosio jatkaa hiipumistaan ja liikenteessäkin aletaan suosia vaihtoehtoisia ratkaisuja. Hintojen nousu johtaa siihen, että entistä monimutkaisemmat laitteistot bioöljyn tuottamiseksi muuttuvat kilpailukykyisiksi perinteisiin tekniikoihin verrattuna, joten jo suhteellisen

pienillä tuotantomäärillä saavutetaan kannattava takaisinmaksuaika. Lisäksi vielä prototyyppeasteella olevien laitteistojen yleistymisellä on oma hintaa laskeva vaikutuksensa.

4.1 Teoreettinen maksimituotto

Teoreettisesti suurin mahdollinen öljyntuotanto on laskettu ottamalla käsittelyyn ympyränmuotoinen alue, jonka säde on 100 km. Käytännön tilanteessa alueen muoto ja koko riippuvat tietenkin tuotantolaitoksen sijainnista ja siihen liittyvistä logistisista järjestelyistä. Suomen kaltaisessa maassa etenkin vesistöjen sijainnilla on suuri merkitys kerättäväksi kelpaavan puun määrässä. Lisäksi täytyy ottaa huomioon, että koko vuosikasvun korjaaminen on käytännössä mahdotonta, sillä vaikka koko alueelle olisi saatu hankittua hakkuuoikeudet, logistiikan järjestäminen tarpeeksi kattavasti olisi mahdotonta ja kaikista varotoimista huolimatta osa kerätystä biomassasta menee aina hukkaan korjuun yhteydessä. Lisäksi alueen vuosikasvu ei ole tasaista vaan se voi vaihdella huomattavan paljon alueen sisällä. Osa alueesta saattaa olla tehotuotantometsää, jolla kasvu on erittäin voimakasta, kun taas osa voi olla kitukasvuista suota. Kysynnän kasvu myös johtaa suoraan entistä suurempiin hintoihin, minkä vuoksi todellisuudessa raaka-ainetta pitäisi tuoda myös kauempaa.

Esimerkissä voidaan kuitenkin ajatella aluetta, jossa ei ole maantiekuljetusten lisäksi muita tapoja kuljettaa raaka-ainetta korjuualueelta laitokselle. Tämä ala on kerrottu alueen keskimääräisellä vuosikasvulla, josta on jo erotettu muiden puunkäyttäjien osuus. Näin saadaan mahdollisesti käytössä olevan puun määrä ja kun puun energiasisältö on noin 8 GJ/m³ (Larjola ym., 2009), voidaan eri prosessien energiatehokkuudesta riippuen laskea lopputuotteiden yhteinen energiasisältö. Ideaalitalanteessa yhden pyrolyysiöljytehtaan vuotuinen maksimituotto saadaan kaavalla:

$$Q = \eta_{pros} \cdot \frac{Q}{V} \cdot A \cdot vuosikasvu \quad (1)$$

$$Q = \text{energia [J]}$$

$$\eta = \text{energiatehokkuus [-]}$$

$$A = \text{pinta-ala [m}^2\text{]}$$

Laskenta ei tietenkään ota huomioon raaka-aineen kuljetuksen kustannuksia, eikä energiasisällön heilahteluja eri puulajien ja kosteuden vaihtelun johdosta. Kosteuden merkitys toisaalta otetaan huomioon jo prosessien energiatehokkuudessa. Puulajeja vertaillen huonoin energiasisältö olisi pajulla ja parhain taas koivulla, mutta suurimman osan käytetystä puusta voidaan Suomen olosuhteissa olettaa olevan mäntyä tai kuusta.

Tehdään esimerkkilaskenta käyttäen Etelä-Savoa sijoituskohteena. Vuosikasvulle käytetään metsä- ja kitumaan yhteistä vuosikasvua. Puun energiasisältö ei ota huomioon vaihtelevaa kosteutta, eikä esikäsittelystä johtuvaa irtokuutioiden tiheyden vaihtelua. Pinta-ala esimerkissä on ympyrän muotoinen ja käytettävä prosessi on kaasutus. Tällöin saavutetaan suuri energiatehokkuus ja tekniikka on varmaa ja testattua:

$$A = \pi \cdot r^2 \tag{2}$$

$$r = \text{säde [m]}$$

$$\frac{Q}{V} = 8 \frac{GJ}{m^3} \text{ (Larjola ym., 2009)}$$

$$\eta_{pros} = 0,5$$

$$\begin{aligned}
 \text{vuosikasvu} &= 7,2 \frac{\text{ha}}{\text{a}} \\
 Q_{id} &= 0,5 \cdot 8 \frac{\text{GJ}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot (100000\text{m})^2 \cdot 7,2 \frac{\text{ha}}{\text{a}} = 90477868,42 \frac{\text{GJ}}{\text{a}} \approx 25,133\text{TWh}
 \end{aligned}$$

Ideaalitilanteessa pystyttäisiin siis yhdessä tehtaassa tuottamaan jopa neljännes Suomen vuoden 2002 öljyntarpeesta, mikä kuulostaa jopa liiankin optimistiselta. Täytyy kuitenkin muistaa, että energiatehokkuudella tarkoitetaan ainoastaan lopputuotteen energiasisältöä verrattuna raaka-aineen energiasisältöön. Prosessit vaativat toimiakseen ulkoista energiaa ja siksi öljyntuotanto olisi ihanteellista jonkin toisen teollisuuden prosessin osana. Tällöin lämmön talteenotto voidaan optimoida tehokkaasti ja kokonaishäviöt pienenevät. Optimitapauksessa tuleekin etsiä kompromissia ideaalitapauksen, väistämättömien häviöiden ja kustannusten välillä.

4.2 Käytännön toteutus

Käytännössä ei tulla koskaan pääsemään lähelle ideaalisen tilanteen arvoja, sillä tuotantoketjuun sisältyy runsaasti häviöitä, joita voidaan pienentää, mutta joita ei voi välttää kokonaan. Suomessa on viime aikoina aloitettu useita erillisiä bioöljyyn liittyviä projekteja, joita yhdistävänä tekijänä on selkeästi raaka-aineen hankinta Suomen lisäksi myös ulkomailta, etenkin Venäjältä. Venäläisen puun käyttö on tietysti järkevää, mutta kotimaisen biomassan käyttö kannattaa silti pitää vaihtoehtona, jos puutullit tai vastaavankaltaiset ongelmat haittaavat tuontia myös jatkossa.

Hyvä esimerkki todellisesta laitoksesta, jossa bioöljyn tuotanto on integroitu osaksi olemassa olevaa prosessia, on Fortumin CHP-voimalaitos (Combined Heat and Power) Joensuussa. Tässä tulee ottaa huomioon todellisen tilanteen rajoitteet ideaalitapaukseen verrattuna. Kun ideaalitapauksessa ainoa rajoittava tekijä on raaka-aineen saatavuus, on

CHP-laitoksen pystyttävä tuottamaan riittävästi sähköä ja lämpöä kaupungin tarpeisiin. Tällöin pyrolyysiin pystytään käyttämään vain yli jäävä lämpöenergia. (Nuutila, 2012)

Laitoksessa on tarkoitus tuottaa puuperäisestä biomassasta noin 50000 tonnia pyrolyysiöljyä joka vuosi. Jos arvioidaan, että lopputuotteena saadun bioöljyn tehollinen lämpöarvo on tyypillisen L 180 –tyypin raskaan polttoöljyn luokkaa, eli 41,2 MJ/kg (Raiko ym., 2002), saadaan laskettua arvio tuotantotavoitteen kokonaisenergiämäärästä ja tätä tulosta voidaan verrata ideaalilanteeseen:

$$Q_{tot} = q_{L180} \cdot m_{tot} = 41,2 \frac{MJ}{kg} \cdot 50000000 \frac{kg}{a} = 2060000 \frac{GJ}{a}$$

$$\frac{Q_{tot}}{Q_{id}} = \frac{2060000 \frac{GJ}{a}}{90477868,42 \frac{GJ}{a}} \approx 2,28\% \quad (3)$$

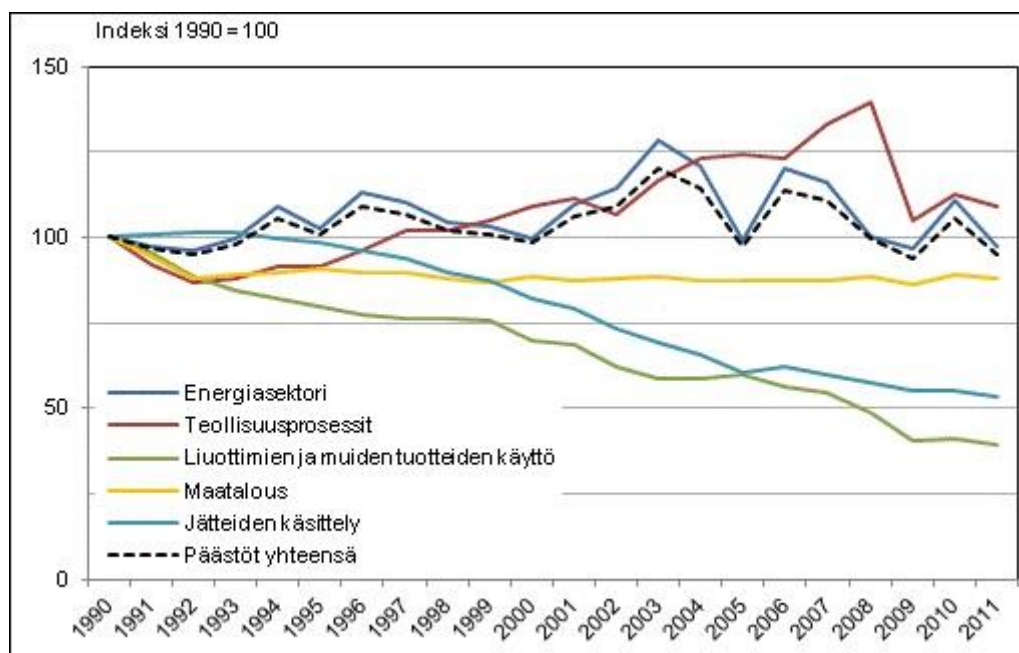
Tuloksesta nähdään, että todellisen laitoksen tuotanto on vain pieni osuus potentiaalisen tuotannon määrästä. Tämä tulos tosin kertoo lähinnä kyseisen laitoksen rajoitteista prosessin tarvitseman energian kannalta. Raaka-aineen osalta potentiaalia olisi vielä runsaasti jäljellä ja paljon laajamittaisempi toiminta olisi mahdollista. On siis mahdollista, että jos Joensuun laitos kannattaa odotusten mukaisesti, öljyntuotantoa tullaan jatkossa lisäämään ja uusia laitoksia rakennetaan muualle Suomeen.

4.3 Päästörajoitteet

Maailman kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisessa uusiutuvalla energialla on keskeinen rooli. Vaikka energiankäytön tehostamisella ja ympäristöystävällisempiin sähköntuotantomenetelmiin panostamalla pystytään saavuttamaan osa tavoitteista, on nestemäisillä polttoaineilla silti jatkossakin olennainen rooli primäärienergiankulutuksessa.

Kioton pöytäkirjan mukaan osallistujamaiden täytyi pystyä vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään keskimäärin 5,2 % vuoden 1990 tasosta vuoden 2012

loppuun mennessä. Suomen vähennystavoite oli 8 %, minkä toteutuminen vaikutti vielä vuosituhanen alkupuolella hyvin epätodennäköiseltä. Vaikka 90-luvun laman negatiivinen vaikutus teollisuuteen ja jätteidenkäsittelyn tehostuminen laskivat kokonaispäästöjä, alkoivat päästöt kasvaa vuosituhanen vaihteessa huomattavasti lamaa seuranneen talouskasvun johdosta, kuten kuvasta 6 näkee.



Kuva 6 Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys sektoreittain vuosina 1990–2011
(Kasvihuonekaasujen inventaario, Tilastokeskus)

Vuonna 2008 alkanut pankkikriisi kuitenkin vähensi huomattavasti vientiä, mikä näkyy kuvaajassa selkeänä teollisuuden päästöjen pienenemisenä. Mikäli tämänhetkistä lamaa seuraa samanlainen talouskasvu, kuin edellistä, on keksittävä uusia keinoja päästöjen pienentämiseksi. Tässä tapauksessa metsäbiomassan hyödyntäminen voi olla erittäin varteenotettava vaihtoehto.

Kioton pöytäkirjassa sovittujen päästörajoitusten takaraja oli vuoden 2012 lopussa. Tällä hetkellä uudesta sopimuksesta ei ole vielä päästy yksimielisyyteen. On kuitenkin odotettavissa, että kun uusi sopimus saadaan aikaiseksi, ovat uudet rajat huomattavasti Kioton protokollaa tiukemmat. Suomi on kuitenkin onnistunut tavoitteissaan melko hyvin, joten rangaistuksia tuskin on odotettavissa.

Suuri osa nestemäisten polttoaineiden hinnasta muodostuu nykyisin verosta ja verottamalla uusiutuvia polttonesteitä kevyemmin, saataisiin kulutusta ohjattua jatkossa ympäristöystävällisempien vaihtoehtojen suuntaan. Vaikka pyrolyysiöljy on vielä alkuvaiheessa huomattavasti fossiilisia vaihtoehtoja heikkolaatuisempaa, on sillä mahdollisuus nousta varteenotettavaksi vaihtoehdoksi öljylämmityksessä, jonka suosio on viime vuosina laskenut perinteisten polttonesteiden hintojen nousun vuoksi.

Biopolttoaineilla tulee fossiilisten polttoaineiden vähentyessä olemaan erittäin merkittävä rooli liikennekäytössä. Vaikka sähköautot ovat olleet viime aikoina runsaan keskustelun kohteena, tulevat ne tulevaisuudessa todennäköisesti muodostamaan vain osan liikenteen kokonaisratkaisusta, sillä akkutekniikalla kestää vielä pitkään kehittyä yhtä monikäyttöiseen ja yksinkertaiseen muotoon, mitä nestemäiset polttoaineet tarjoavat. Muutos fossiilisista polttoaineista biopohjaisiin ei kuitenkaan liikenteessä tapahdu kerralla vaan asteittain. Hyvä esimerkki hitaasta muutoksesta on fossiilisten polttonesteiden jatkaminen bioetanolilla. Kun toisen sukupolven bioöljyjä aletaan ottaa kunnolla käyttöön, alkaa liikenteessä yleistyä myös metsäpohjaisen biomassan käyttö.

5 YHTEENVETO

Biopolttoaineet ovat tällä hetkellä jatkuvan kehityksen kohteena ja pyrolyysiöljy tulee hyvin todennäköisesti löytämään oman sijansa tulevaisuuden polttonestemarkkinoilla. Vaikka metsäbiomassasta lämpökäsittelyllä tuotettu öljy on nykytekniikoilla melko heikkolaatuista fossiilisiin vastineisiin verrattuna, tekniikka kehittyy jatkuvasti ja ennen pitkää bioöljyt ohittavat perinteiset polttonesteet hinta/laatusuhteessa. Kehitys tapahtuu pyrolyysiöljyn osalta todennäköisesti niin, että sitä käytetään aluksi lähinnä lämpökattiloissa, joissa voidaan käyttää myös heikkolaatuisempaa polttoainetta. Valmistusmenetelmien kehittyessä öljystä saadaan ajan myötä entistä laadukkaampaa ja sitä pystytään käyttämään entistä monipuolisemmissa kohteissa. Ennen pitkää toisen sukupolven polttoaineet biopolttoaineet syrjäyttävät ensimmäisen sukupolven myös moottorikäytössä. Polttomoottorien kehitys painottunee myös tulevaisuudessa entistä enemmän uusiutuvien polttoaineiden käyttöön.

Päästörajoitusten kiristyminen luo biopolttoaineille erinomaiset markkinat, varsinkin kun perinteiset polttoaineet muuttuvat jatkuvasti kalliimmiksi. Jo yhdellä tuotantolaitoksella pystytään teoriassa tuottamaan huomattava osuus Suomen nestemäisten polttoaineiden tarpeesta. Vaikka teollinen öljyntuotanto on vasta alkutekijöissä, on siitä saatu jo lupaavia tuloksia. Jos pyrolyysiöljyn tuotannolla pystytään leikkaamaan kasvihuonekaasupäästöjä, merkitsee se suurta kilpailuetua suhteessa maihin, joilla ei ole niin suuria biomassavarantoja, kuin Suomella. Lisäksi on tärkeää hankkia kokemusta alalta, joka tulee varmasti kehittymään nopeasti tulevaisuudessa.

LÄHDELUETTELO

BH40A0100 Uusiutuva Energia [Kirja] / tekijä Larjola Jaakko ja Punnonen Pekka. - Lappeenranta : LUT Energia, 2009.

Biomass Gasification and Pyrolysis, Practical Design and Theory [Kirja] / tekijä Basu Prabir. - [s.l.] : Elsevier Inc., 2010. - Osa/vuosik. I.

Energia Suomessa; Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset [Kirja] / tekijä Kara Mikko [ym.]. - Helsinki : Edita Prima Oy, 2004. - 3.

Energy visions for Finland 2030 [Kirja] / tekijä Kara Mikko [ym.]. - Helsinki : Edita Prima Ltd., 2003. - Osa/vuosik. III.

Flash pyrolysis of biomass particles in fluidized bed for bio-oil production [Online] / tekijä Wang Shurong [ym.] // Elsevier B.V.. - Chinese Society of Particuology and Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, 14. 12 2007. - 3. - 31. 5 2011. - <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S167225150760181X>.

Grundlagen und Technik der Brennstoffzellen [Kirja] / tekijä Stolten Detlef. - Aachen : RWTH Aachen - Fakultät für Maschinenwesen, 2011.

Hydrothermal liquefaction of biomass: A review of subcritical water technologies [Online] / tekijä Sohail Toor Saqib, Rosendahl Lasse ja Rudolf Andreas // Elsevier. - Elsevier Ltd., 31. 3 2011. - 1. - 25. 5 2011. - http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V2S-52HB09M-5-1&_cdi=5710&_user=949867&_pii=S0360544211001691&_origin=search&_coverDate=05%2F31%2F2011&_sk=999639994&view=c&wchp=dGLbVzz-zSkWb&md5=879b38d61ba6feac414bf29d592c9ff6&ie=/sdarticle.pdf.

Maanmittauslaitos [Online]. - Maanmittauslaitos. - 2013. -
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/Korkeusvy%C3%B6hykekartta%20ja%20vesist%C3%B6t.pdf>.

Poltto ja palaminen [Kirja] / tekijä Raiko Risto [ym.]. - Helsinki : Gummerus Kirjapaino Oy, 2002. - Osa/vuosik. II.

Power Production from Biomassa III; Gasification and Pyrolysis; R&D&D for Industry [Kirja] / tekijä Sipilä Kai ja Korhonen Maija. - Espoo : VTT, 1999. - Osa/vuosik. III.

Puupolttoaineiden kysyntä ja tarjonta Suomessa vuonna 2020 -Päivitetty tilannekatsaus [Raportti] / tekijä Leino Pentti [ym.]. - Espoo : Pöyry Energy Oy, 2007.

Tapion taskukirja [Kirja] / tekijä Syrjälä Pertti [ym.]. - Helsinki : Gummerus Kirjapaino Oy, 1991. - 21.

Tekes [Online] / tekijä Nuutila Sanna // Tekes. - Fortum, Metso ja VTT, 10. Toukokuu 2012. - 12. Syyskuu 2013. -
http://www.tekes.fi/fi/community/Asiakkaiden_tuloksia/403/Asiakkaiden_tuloksia/647?name=Biooljyn+valmistus+on+kustannustehokasta.

Uudet biohaasteet [Lehtiartikkeli] / tekijä Laurikko Juhani // Tuulilasi. - [s.l.] : A-lehdet, 2011. - 3.

Valtion metsien inventointi 10 [Raportti] / tekijä Metla / Metinfo / Tilastopalvelu. - [s.l.] : Metsäntutkimuslaitos, 2004.