



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

**MATLEENA RYTKÖNEN**  
**SUOMEN METSIEN TALOUDELLISEN BIOENERGIAKÄYTÖN JA**  
**MONIMUOTOISUUDEN TURVAAMISEN YHTEENSOVITTAMINEN**  
Diplomityö

Tarkastaja: professori Risto Raiko  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty:  
Luonnontieteiden ja ympäristötekniikan  
tiedekuntaneuvoston kokouksessa  
23. kesäkuuta 2010

# TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma

**RYTKÖNEN, MATLEENA:** Suomen metsien bioenergiakäytön ja monimuotoisuuden turvaamisen yhteensovittaminen

Diplomityö, 52 sivua

Marraskuu 2010

Pääaine: Sähköenergiatekniikka

Tarkastaja: professori Risto Raiko

Avainsanat: Suomen metsävarat, kestävä metsätalous, hakkuutähdehake, kantomurske, kuorimurske, metsien monimuotoisuus, paahtohiili, nestemäinen biopolttoaine, bioenergian keräys

Bioenergian käyttöä ollaan lisäämässä merkittävästi energiantuotannon kotimaisuusasteen nostamisen ja puhtaamman energian tuotannon takia. Asetettu bioenergian lisäystavoite vuoteen 2020 mennessä on nostaa sen osuus 28,5 %:sta 38 %:iin. Pääosin ympäristösyistä halutaan parantaa metsien kestävästä käyttästä sekä niiden monimuotoisuutta. Näiden kahden tavoitteen yhteen sovittaminen on lähitulevaisuuden haaste. Biopolttoaineista hyödynnetään nykyisin prosessitähteitä eli pääosin sahanpurua ja kuorimursketta hyvin. Tavoitteena on lisätä suoraan metsästä kerättävää biopolttoainetta eli hakkuutähdehettä ja harvennushakkuiden puuainesta, joka ei sovellu ainespuuksi. Puupolttoaineen kerääminen metsistä voimalaitoksille on yksi tärkeä kehityskohde.

Suomen metsien pitkä käyttöhistoria ja Suomen kansantalouden edelleen jatkuva riippuvuus metsäklusterista tuovat omat haasteensa. Suomen metsät ovat monikäytössä ja niiden hyödyntäminen on laajaa. Toisaalta Suomessa on Euroopan suurin osuus metsämaasta tiukasti suojeltuja metsiä. Suojelu painottuu Pohjois-Suomeen. Suomessa metsälaki ja luonnonsuojelulaki turvaavat metsien suojelua. Lisäksi Suomessa toimii monia paikallisia ja kansallisia ohjelmia, joista merkittävin on maa- ja metsätalousministeriön Kansallinen metsäohjelma.

Monimuotoisuus on hyvin monialaista, ja sen toteutuminen talousmetsissä on tärkeää kestävä metsätalouden luomiseksi. Monimuotoisuus on biologista monimuotoisuutta, jota voidaan käsitellä lajillisesta, perinnöllisestä ja ekologisesta näkökulmasta. Lajillinen eli taksonominen on yleisimmin käytetty käsittelytapa. Monimuotoisuutta turvataan lailla, mutta silti metsänomistajien halukkuus hoitaa metsiään monimuotoisuutta ylläpitämällä on tärkeää. Monimuotoisuuden turvaaminen on ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti tärkeää. Metsien merkittävin sosiaalinen vaikutus on työllistäminen.

Puupolttoaine luo polttoteknisiltä ominaisuuksiltaan useita haasteita. Biopolttoaineen laadullinen vaihtelevuus sekä korkea kosteus ja tuhkapitoisuus ovat haasteita polttoprosessille. Puupolttoaineiden edelleen jalostus vastamaan ominaisuuksiltaan fossiilisiä polttoaineita on yksi haaste. Etenkin liikennepolttoaineeksi tarvittaisiin biopohjaista nestemäistä polttoainetta korvaamaan bensiiniä ja dieseliä. Tähän käyttötarkoitukseen on kehitteillä biodiesel ja pyrolyysiöljy. Myös kiinteää puuhiiltä kehitellään ja metsäpohjaista biokaasua, jonka kehitys on toisaalta vähäisempää kuin muun metsäbioenergian kaasutuksen kehittäminen.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programmed in Environment and energy technology

**RYTKÖNEN, MATLEENA:** Combining the Economical Utilisation of Finnish Forest Resources for Bioenergy Production and the Sustainment of the Biodiversity of Forests

Master of Science Thesis, 52 pages

November 2010

Major: Electrical Energy Engineering

Examiner: Professor Risto Raiko

Keywords: The Finnish forest resources, sustainable forestry, forest residue chips, crushed stump residue, crushed bark residue, biodiversity of forests, torrefaction coal, liquid biofuel, harvesting bioenergy

Usage of bioenergy is being substantially increased to raise the domestic content and the cleanliness of the production of energy. The target set for increasing the usage of bioenergy by year 2020 is notable. For environmental reasons there is a need to improve the sustainable utilisation and the diversity of forests. Combining these two targets is a challenge in the near future. Of the different biofuels process remnants, mainly the mill waste and sawing waste, are being used efficiently. The target is to use more logging refuse and small trees that are unsuited for the forest industry. Harvesting the wood-based biofuels from forests for power plants is an important target for development.

The long history of exploiting Finnish forests and Finland's national economy's dependence of the forest industry create their own challenges. The Finnish forests are being used versatilely and their usage is widespread. On the other hand Finland has more strictly conserved forest areas than any other country in Europe. The conservation emphasises in the northern Finland. Forestry Act and Nature Conservation Act ensure the conservation of forests. In addition there are many local and national forestry programs in Finland, of which the most significant is Finland's National Forest Programme.

The diversity of forests is a many-sided issue and its implementation in managed forests is vital for creating sustainable forestry. The diversity is biological diversity or biodiversity, which can be divided into species diversity, ecosystem diversity and genetic diversity. Most commonly used is the species diversity a.k.a. taxonomical diversity. Maintaining the biodiversity of the forest usually yields more income from the forest. There are laws to reserve the biodiversity of the forest, but nonetheless the forest owner's own willingness to take care of their forests is very important. Sustaining the diversity of the forests is valuable for ecological, economical and social reasons. The most significant social effect of forestry is employment.

Wood-based fuels involve several challenges because of their combustion-technical qualities. Using logging residue and tree waste in a combustion process is not easy because of the qualitative unsteadiness and high degrees of humidity and ash content. Upgrading wood-based fuels, so that they have equivalent combustion qualities as fossil fuels, is one challenge. Biofuels are especially needed to replace petrol and diesel as transport fuels. For this purpose pyrolysis oil and biodiesel are being developed. Also developing of torrefaction coal and forest-based biogas is underway, although more resources are being directed to developing gasification of biomass.

## ALKUSANAT

Olen tehnyt tämän diplomityöni itsenäisesti kirjallisuuden pohjalta. Olen hakenut ja päässyt diplomityöprosessin aikana Helsingin Yliopistoon lukemaan metsävaratiedettä ja -teknologiaa. Halusin diplomityössäni hyödyntää jo tämän alan luomaa toista näkökulmaa bioenergiaan. Diplomityössäni olen käyttänyt Viikin Tiedekirjaston ja Tampereen Teknillisen Yliopiston Kirjaston kirjallisuutta. Näiden molempien henkilökunta on auttanut minua, joten he ovat kiitoksen ansainneet.

Työni tarkastaja Risto Raiko Energia- ja prosessitekniikan laitokselta oli ainoa ohjaajani. Välillä mahdollisuutta tehdä yrityksen toimenannosta on kaivannut muussakin kun rahallisessa mielessä. Toisaalta työni on täysin julkinen ja olen välttynyt täysin työnsalaamiselta. Myös äiti ja ystävät ovat tukeneet ja neuvoneet projektin eri vaiheissa, joten heitäkin haluan kiittää. Varsinkin niitä ystäviä, jotka ovat lainanneet tai maininneet materiaalilähteitä, jaksaneet lukea työni ja kysyä, miten se edistyy.

Helsingissä 20. lokakuuta 2010

Matleena Rytönen  
matleena.rytkonen@helsinki.fi

## SISÄLLYS

Tiivistelmä.....	II
Abstract .....	III
Alkusanat.....	IV
Termit ja niiden määritelmät .....	VI
1. Johdanto.....	1
2. Kirjallisuuseritys tutkimusvälineenä .....	3
3. Suomen metsien tila ja monimuotoisuus niissä .....	4
3.1 Metsiemme käytön historia .....	5
3.2 Metsien ja niiden hyödyntämisen nykytila .....	6
3.3 Metsiemme käytön tulevaisuus .....	10
3.4 Monimuotoisuuden näkökohdat .....	11
3.5 Metsien merkitys kansantaloudelle .....	16
4. Metsävarojen hyödyntäminen.....	19
4.1 Energiakäyttöön hyödynnettävät .....	19
4.2 Energiapuun korjuu .....	24
4.3 Puupohjaisten polttoaineiden ominaisuudet.....	27
4.3.1 Puupohjaisten polttoaineiden laatuluokitukset.....	28
4.3.2 Lämpöarvo .....	29
4.3.3 Hakkuutähdehakkeen, sahanpurun, kuoren ja kantomurskeen ominaisuudet .....	30
4.4 Kattilan kestävyys ominaisuuksiltaan vaihtelevalla polttoaineella .....	31
5. Metsäbioenergian edelleen jalostus energiakäyttöön.....	34
5.1 Paahtohiili .....	34
5.2 Puupohjainen biodiesel .....	38
5.3 Pyrolyysiöljy .....	39
5.4 Metsäbiomassan kaasutus .....	41
6. Johtopäätökset.....	43
7. Yhteenveto .....	47
Lähteet.....	48

# TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

<b>Biodiversiteetti</b>	Kaikki ekosysteemin elollinen ja fysikaalinen vaihtelu
<b>Bruttokansantuote</b>	Kansantaloudessa tuotettujen tavaroiden ja palveluiden arvonlisäysten summa
<b>Ensiharvennus</b>	Metsikössä tehtävä ensimmäinen harvennus, joka tuottaa myyntikelpoista puuta
<b>Hake</b>	Pieniksi palasiksi hakettua puuta. Hake on yleisnimitys ja se voi olla teollisuuden ainespuuta, ainespuuksi kelpaamatonta, kantoja, pääperäisiä rakennustähteitä tai kierrätyspuuta
<b>Häiriö</b>	Ulkoisesta tekijästä aiheutuva, ennalta arvaamaton tapahtuma. Luonnon tai eläimen aiheuttama.
<b>Polttohake</b>	polttokäyttöön ohjattua haketta. Polttohake on yleensä teollisuuden ainespuuksi kelpaamatonta.
<b>Hakkuutähde</b>	Hakkuun yhteydessä syntyvä ainespuuksi kelpaamaton puun osa. kannot, oksat, latvahukkapuu ja rungon vialliset osat
<b>Hakkuutähdehake</b>	Ainespuunkorjauksen yhteydessä syntynyt hakkuutähde, joka on hakettu
<b>Harvennushakkuu</b>	hakkuun tarkoitus on edistää metsään jäävän puuston kasvua antamalla elintilaa metsään jääville puille ja samalla saadaan kerättyä talteen puuainesta
<b>Huipunkäyttöaika</b>	Tuntimäärä, jona aikana vuoden tuotanto olisi tuotettu voimalan nimellisteholla. Kertoo vertailtavasti voimallituksen käyttötarpeen
<b>Integroitu korjuu</b>	Ainespuun ja energiapuun yhtäaikainen keräys
<b>Kiintokuutiometri</b>	Puutavaralajien mittayksikkö. Kuutiometri umpipuuta
<b>Korroosio</b>	Aineen pinnassa kemiallinen reaktio, joka aiheuttaa aineen hajoamista. Tyypillinen metalleilla matalissa pH:issa
<b>Kosteus</b>	Polttoaineen sisältämä vesimäärä painoprosentteina. Se voidaan esittää joko prosentteina kuiva-aineesta tai koko polttoaineen massasta
<b>Lämpöarvo</b>	Täydellisessä palamisessa syntyvä lämpömäärä aineen massaa kohden tyypillinen yksikkö MJ/kg.
<b>Metsätalousmaa</b>	Metsätalouden käytössä oleva maa, joka jaetaan puuntuottokykynsä mukaan.
<b>Metsätyyppi</b>	Luokittelu maan viljavuuden ja kasvillisuuden mukaan
<b>Ruskeahake</b>	rungoista, kokopuusta tai hakkuutähteistä tehty hake, jossa lehti- ja neulasmassan osuus on vähäinen esim. kuivattamisen takia
<b>Sekametsä</b>	Metsässä kasvaa vähintään kahta eri puulajia.

<b>Säästöpuu</b>	hakkuiden yhteydessä aukealle jätettävät puut, Puut jättävät metsään luonnollisesti lahoavaa ainesta, mikä on tärkeää monille lajeille
<b>Talousmetsä</b>	Metsä, jonka ensisijainen käyttömuoto on puuntuotanto. Luonnon monimuotoisuus turvataan lain ja omistajien toimien avulla.
<b>Tiukasti suojeltu metsä</b>	Lakisääteisesti suojeltu metsä
<b>Tukkipuu</b>	Puutavaralaji, joka valmistetaan rungon järeästä osasta. Käytetään teollisuuden ainespuuna.
<b>Vihreähake</b>	rungoista, kokopuusta tai hakkuutähteistä tehty hake, jossa lehti- ja neulasmassan osuus on suuri, koska ainesta ei ole vielä kuivatettu

# 1. JOHDANTO

”Metsäteollisuus myllää epäonnistuneen strategiansa uuteen muottiin”, uutisoidaan kesäkuun alun Tekniikka ja Talous lehdessä. Samassa artikkelissa uutisoidaan myös: ”Metsä voisi ratkaista maailman energia ongelmat.” Tämän väitteen on esittänyt emeritusprofessori Johan Gullichsen. Hänen mukaansa vain osa maailman metsän kasvusta tarvittaisiin nykyiseen paperin ja kartongintuotantoon, ja lopun voisi käyttää bioenergiantuotantoon, sillä fossiilisten varat eivät enää kauan kestä. Neljä vuotta sitten tehty strategia meni pieleen, sillä siinä ennustettiin kasvua ja todellisuudessa metsäteollisuus laski. Metsäteollisuus nostaa uudessa strategiassaan energian ja kemian keskeisiksi kehittämiskohteiksi. (Ojanperä 2010)

Suomen tavoite on päästä kohti kestäväää metsätaloutta, jossa metsien monimuotoisuuden säilyminen turvataan myös talousmetsien osalta. Metsästä saatavan energian kehitystä lisäävät myös päästöoikeudet ja kotimaisuusasteen lisääminen. Tässä diplomityössä esitetään mahdollisuuksia näiden yhteensovittamiseen sekä kehitteillä olevia metsäbioenergiankäytön lisäämistä mahdollistavia tekniikoita. Puuta tullaan hyödyntämään laajemmin energiakäyttöön eikä vain puutavara- ja metsäteollisuuden sivuvirtatuotteena. Työssä keskitytään lähinnä uusiin ja vanhojen käyttömahdollisuuksien kehittämiseen. Esimerkiksi teollisuuden jäteliemet ja puun pienkäyttö sivutaan.

Työssä aluksi esitellään organisaatiot, joiden tutkimusta on eniten käytetty. Luvussa kolme on kirjallisuuteen pohjautuva Suomen metsien käytön tietoa, monimuotoisuudesta sekä niiden merkityksestä kansantaloudelle. Seuraavassa luvussa eli luvussa neljä on tietoa metsien hyödyntämisistä taloudellisen ja teknillisten menetelmien kannalta. Luvussa esitellään biopolttoaineiden ominaisuuksia ja korjuumenetelmiä. Korjuumenetelmät ovat tärkeä osa koko bioenergiaketjua, siksi ne tuodaan menetelmätasolla esiin tässä työssä. Lisäksi käsitellään niiden soveltuvuuksia ja haittoja polttotekniikan kannalta. Luvussa viisi esitellään kehitteillä olevia tekniikoita. Tekniikoista käsitellään tarkemmin puun hiiltäminen kiinteäksi polttoaineeksi, nestemäisistä polttoaineista puupohjainen biodiesel ja pyrolyysiöljy sekä kaasumainen kaasutettu puubiomassa. Luvussa kuusi esitetään johtopäätökset, jotka sisältävät työn tekijän omia päätelmiä, mutta pohjautuvat aiemmin työssä käsiteltyyn kirjallisuuteen. Johtopäätöksissä pyritään vastaamaan työn otsikon luomiin kysymyksiin, kuinka nämä näkökohdat saataisiin yhteen sovitettua ja voitaisiin puhua todellisesta kestävästä metsätalouden kaudesta. Lopuksi on lyhyt yhteenveto työn keskeisimmistä teorioista.



Nämä teoriat käsittelevät Suomen metsien ainespuuksi kelpaamattoman puun mahdollista käyttöä laajemmin kotimaisena ja uusiutuvana energialähteenä, ja metsien mahdollisuutta säilyä merkittävänä Suomen luonnonvarana sekä samalla suomalaisen teollisuuden kulmakivenä, vaikka metsäteollisuuden tuotanto Suomessa vähentyikin. Suomen metsien käytön mahdollisuutta myös käyttää laajemmin kotimaisena ja uusiutuvana energialähteenä. Lisäksi metsien monimuotoisuus on erittäin tärkeä kriteeri arvioitaessa metsiemme tilaa kestävyuden kannalta. Metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen ja taloudellisen kannattavuuden yhteensovittaminen on yksi lähitulevaisuuden haaste.

## 2. KIRJALLISUUSELVITYS TUTKIMUSVÄL- NEENÄ

Työssä käytetään suomalaista kirjallisuutta, sillä bioenergia ja metsäalaa tutkitaan Suomessa laajalti. Tässä esitellään keskeisimmät lähteenä käytettyjen teoksien julkaisijat. Lisäksi aihe on puhuttanut valtakunnallisissa lehdissä laajalti työn teon aikana. Osat tutkimuslaitoksista ovat hyvin monialaisia ja soveltuvat näin työn lähestymistapoihin luonnon monimuotoisuuden, tekniikan ja talouden näkökannoista. Tässä esitellään keskeisimmät lähteet

### **Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)**

Monipuolista tutkimustyötä ja yhteistyötä muiden kanssa sekä kotimaassa että ulkomailla suunnattuna sekä julkisille että yrityksille. On yksi Pohjois-Euroopan johtavia tutkimusyksiköitä soveltavassa teknologiassa.

### **TEKES-Teknologioiden ja innovaatioiden kehittämiskeskus**

Rahoittaa pääosin yritysten ja yliopistojen tutkimustyötä. Tarjoaa rahoituksen lisäksi asiantuntijapalveluja tukemaan tutkimusta.

### **Ministeriöt: Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) ja Maa- ja metsätalousministeriö (MMM)**

Työ- ja elinkeinoministeriö on muodostettu vuoden 2008 alusta eri ministeriöistä. Siihen on liitetty entinen kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM), jonka alla on toiminut energiaa ja metsätaloutta. Myös työvoimakysymykset liittyvät läheisesti metsätalouteen. Maa- ja metsätalousministeriö hallinnoi Metsäntutkimuslaitosta. Maa- ja metsätalousministeriön tavoitteena on edistää uusiutuvan energian käyttöä.

### **Metsäntutkimuslaitos(Metla)**

Metlan tehtävä on laissa määritelty. Sen tavoitteena on edistää tutkimuksen keinoin metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävää hoitoa ja käyttöä. Se tuottaa monipuolista tieteellistä tietoa metsistä.

### **Yliopistot**

Metsäalan koulutusta ja tutkimusta tekevät Helsingin ja Joensuun yliopistot. Tekniikan alaa, tuotekehitystä ja polttotekniikkaa tutkivat teknilliset yliopistot. Lisäksi Jyväskylän yliopiston kemianlaitos tutkii uusiutuvaa energiaa ja heillä on Kokkolassa tutkimuskeskus.

### 3. SUOMEN METSIEN TILA JA MONIMUOTOISUUS NIISSÄ

Suomi kuuluu boreaaliseen havumetsävyöhykkeeseen aivan eteläisintä Suomea lukuun ottamatta. Boreaalinen havumetsävyöhyke voidaan jakaa etelä-, keski- ja pohjois-boreaaliseen (Annala 1998). Suomen havumetsälle on tyypillistä lajien vähäisyys. Hallitsevat havupuut ovat mänty ja kuusi. Lisäksi lehtipuista koivua, haapa ja leppää kasvaa koko maassa. Luokitustapoja on kolme: pohjoismainen metsätalouden, YK:n elintarvike ja maatalousorganisaation (FAO) sekä maaperän mukaan.

Metsätalouden kannalta metsät jaetaan viljavuuden perusteella. Metsätalouden maahan on laskettu mukaan luonnonsuojelualueet, vaikka näillä ei luonnollisesti metsätaloutta harjoiteta. Metsätalousmaata on 86 % koko Suomen metsäpinta-alasta. FAO:n luokituksessa määritellään metsämaaksi alueet joilla puiden latvukset peittävät vähintään 10 % maanpinnasta. Tällöin Pohjoismaiseen luokitukseen verrattuna metsämaata tulee vähän suurempi osuus koko maa-alasta, koska FAO:n luokituksen mukaan osa kitumaasta luokitellaan metsämaaksi. Kolmas luokittelutapa on kasvupaikan maaperä. (Rantala 2005)

Metsätalouden luokituksen metsätyyppejä on neljä, jotka ovat: metsämaa, kitumaa, joutomaa ja muu metsätalousmaa. Jako on käytössä Pohjoismaissa ja siinä määritellään puuston vuotuinen kasvunopeus. Metsämaa kasvaa näistä nopeimmin, ja sille ehtona on vähintään kuution kasvu hehtaaria kohden 80–100 vuoden kiertoaikana. Kitumaalla on metsämaata heikompi kasvu eli edellä mainitun rajan allittava kasvuvauhti. Kitumaalla tapahtuu kuitenkin pientä kasvua verrattuna joutomaahan, joilla kasvu on lähes olematonta. Esimerkiksi avosuot ovat joutomaata, kun taas karut suot ovat kitumaata. Muuta metsätaloudenmaata ovat metsätalouden tukialat esimerkiksi puunkorjuuta varten olevat tiet ja puun keruupaikat. Myös maa-aineksen keruupaikat eli sorakuopat ja turpeenostopaikat luokitellaan tähän. (Peltola 2009)

Maaperän luokittelu tavassa jaetaan kasvupaikat kivennäismaihin ja soihin. Kivennäismaalla maaperä on ohuen kangashumuksen peittävää kun taas soilla on paksu turvekerros. Soistuma on näiden maaperätyyppien välimuoto. Kankaat taas voidaan jakaa kasvupaikkatyyppeihin, joita ovat: lehdot, lehtomaiset kankaat, tuoret kankaat, kuivahkot kankaat, kuivat kankaat ja karuhkot kankaat. Lehdot ovat näistä uhanalaisimpia ja niillä hallitsevana puulajina ovat lehtipuut. Lehtomaisia kankaita ja tuoreita kankaita hallitsee kuusi. Lopuilla kasvupaikkatyypeistä hallitseva puulaji on mänty. Lisäksi jokaiselle tyyppille on tyypillinen pohjakasvillisuus. (Rantala 2005)

### 3.1 Metsiemme käytön historia

Suomen metsien käytöllä on suhteellisen pitkä historia. Niiden käyttö muuttui merkittävästi teollistumisen myötä. Suomessa on ilmastollisista syistä ollut aina tarvetta lämmitykselle ja merkittävin lämmityksenlähde 1800-luvulta toiseen maailmansotaan asti on ollut polttopuu. Suomen ensimmäisiä vientituotteita on ollut puutavara ja terva, joka myöhemmin on muuttunut puujalosteisiin ja paperiin.

Suomen metsien käytön historia voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen. Aluksi metsiä hyödynnettiin eräkäytössä ja eräviljelyssä. Tällöin metsät olivat yhteiskäytössä. Eräviljelystä aiheutuivat ensimmäiset ihmisen tekemät muutokset metsiin: maiseman monimuotoisuus ja lehtipuiden osuus kasvoivat. Toinen vaihe alkoi 1700-luvulla, ja siihen kuuluivat kaskiviljely ja tervanpoltto. Tervanpoltto oli ensimmäinen metsien kaupallinen hyödyntämisen keino. Kaskeaminen vaikutti paljon metsään, sillä se uudisti niitä hyvin paljon luontaista uudistumista nopeammin. Kolmas vaihe 1870-luvulta lähtien oli harsintametsätalous. Metsää alettiin käyttää teollisuuden raaka-aineena. Suomeen muodostui sahateollisuutta ja puuta myytiin ulkomaille. Aikaa 1950-luvusta eteenpäin voidaan sanoa tehostetun metsätalouden vaiheeksi, mikä kesti 1990-luvun lopulle asti. (Kuuluvainen et al. 2004a)

Suomen puunkäyttöä on tilastoitu ensimmäisen kerran vuonna 1860, silloin tilastoitiin 14 miljoonaa kiintokuutiometriä. Aluksi merkittävin puunkäyttökohde oli lämmitys, joten kaiken tähän käytetyn puun tilastointi oli hankalaa maaseutuvaltaisessa ja harvaan asututussa metsäisessä maassa. Tilastoidusta puunkäytöstä kolme neljäsosaa oli energiakäyttöön eli tuolloin käytettiin puuta huomattavasti enemmän energialähteenä kuin nykypäivänä. Puuta vietiin Suomesta Venäjälle, Britanniaan, Ranskaan ja Saksaan ennen ensimmäistä maailmansotaa. Sodan aikana puuta vietiin vain Venäjälle, mutta hyvin suuria määriä. Vuonna 1909 markkinapuun määrä oli suurempaa kuin kotitarvekäyttö, joka oli pysynyt samalla tasolla. Kotitarvepuun käyttö laski vasta 1960-luvulla, jolloin siirrettiin öljylämmitykseen. Tällöin puun tarve lämmityskäyttöön oli vain 3–4 miljoonaa kiintokuutiometriä. (Kuitto 2005)

Suomen teollistuminen on vaikuttanut puunkäytön lisääntymiseen. Aluksi teollisuus tarvitsi vain paksua tukkipuuta ja keräysmenetelmistä johtuen harsittiin. Aluksi metsän uudistaminen oli vain luonnollista uudistumista eikä se ollut aina riittävää suhteessa keräysmääriin. Suomeen tuli 1860-luvulla kasvavissa määrin höyrystyskoneita ja ensimmäinen puunhiomo. Paperi- ja selluteollisuus alkoivat vain muutama vuosikymmen myöhemmin. Ensimmäinen vaneritehdas aloitti toimintansa vuonna 1912. Suomessa oltiin huolissaan metsien riittävydestä ja niitä varten säädettiin lakeja ja asetuksia, mutta aluksi valvontaa ei saatu toimimaan. (Kuuluvainen et al. 2004a)

Puun käytön ohella puunkeräysmenetelmät ovat kokeneet suuren murroksen. Metsätalouden alkuaikana puuta kerättiin mies ja hevosvoimin ja uitto oli merkittävin kuljetustapa tuhansien järvien maassa. Koneellistuminen muutti metsän hakkuita ja loi suurempaa tarvetta metsiensuojelulle. Koneellistuminen loi myös metsien istuttamisen tarpeen, sillä vain osan puiden karsinnan sijasta alettiin tehdä laajoja avohakkuita.

Suomen oma metsäteollisuus on ollut merkittävä puunkäyttäjä myös energiakäyttöön. Kuorta, purua, prosessin tähteitä, jäteliemiä ja lietteitä on hyödynnetty 1970-luvulta lähtien. Aluksi tämä oli syntyvän jätteen hyötykäyttöä. Nämä muodostivat 60 % silloisesta puuenergian käytöstä. (Kuitto 2005)

Metsähakkeen käyttö on alkanut vasta myöhemmin kuin muiden metsävarojen. Metsähakkeen käytön voidaan laskea alkaneen vuonna 1956, jolloin Suomeen saapui ensimmäinen siirrettävä hakkuri. Aluksi hake oli omaan käyttöön suunnattua. Merkittävimpänä hakkeen käyttäjänä voidaan pitää Valtionrautateiden Polttohaketoimistoa eli Vapoa, joka tuotti haketta 30 000 m<sup>3</sup>. Öljykriisi nosti kiinnostusta kotimaisia polttoaineita kohtaan, johon vaikuttivat sekä öljyn hinta että saatavuus. Hakkeen käyttö väheni 1980-luvulla, metsänkorjuun koneellistumisen myötä, mutta vähäinen käyttö kesti vain 1990-luvun lamaan ja Neuvostoliiton hajoamiseen, joka vaikutti taas öljyn saatavuuden heikentymisellä. Kasvanut tietoisuus kasvihuoneilmästä on nostanut 1990-luvulla metsähakkeen käyttöä paljon ja käytön kasvu on edelleen jatkuvaa. (Kuitto 2005)

### **3.2. Metsien ja niiden hyödyntämisen nykytila**

Suomen metsätaloudessa on menossa viides vaihe eli taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävä metsätalous, joka alkoi 1990-luvulta. Sen merkittävin käynnistäjä oli Rio De Janeiron YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssi vuonna 1992. Euroopan osalta ohjelmaa alettiin käytännössä toteuttaa vuoden 1993 Helsingin metsäministerikonferenssin jälkeen. Sen pohjalta on laadittu useita metsäohjelmia, jotka käsitellään luvussa neljä. (Kuuluvainen et al. 2004a)

Suomessa on 20 miljoonaa hehtaaria metsämaata, mutta metsätalousmaata on jopa 26 miljoonaa hehtaaria (Marttila et al. 2005). Omistuspohja oli vuonna 2009 seuraava: yksityiset metsänomistajat 65 %, yhtiöt ja muut organisaatiot (esimerkiksi kunnat, seurakunnat ja säätiöt) 10 % ja valtio 25 % (Islander [www] 2009). Tästä tilastoidusta metsästä havupuita oli valtaosa, mäntyä oli eniten eli puolet koko puustosta (50 %) ja kuusta oli vajaa kolmannes (31 %). Lehtipuista koivua oli 16 % ja muita lehtipuita vain 3 %, jotka ovat pääosin haapaa ja leppää. Suomessa metsiä hyödynnetään laajalti.

Huomattava osa puuntuotosta on yksityisomistajilla, 61 % puuntuotosta, vaikka metsien kasvusta ei ole sen suurempaa osaa. Tämä selittyy sillä, että valtion metsät ovat monilta osin suojelualueita ja yksityiset metsät kaupallisessa puuntuotannossa. Lisäksi puuston keskitilavuus on kasvanut merkittävästi hehtaaria kohden 1970-luvulta asti. Tehollisen metsätalouden alkuaikoina soita ojitettiin jolloin saatiin joutomaata metsätaloudenmaaksi. Tämä on lopetettu tällä vuosituhannella, sillä suot ovat arvokas kasvuympäristö monelle lajille. (Peltola 2009)

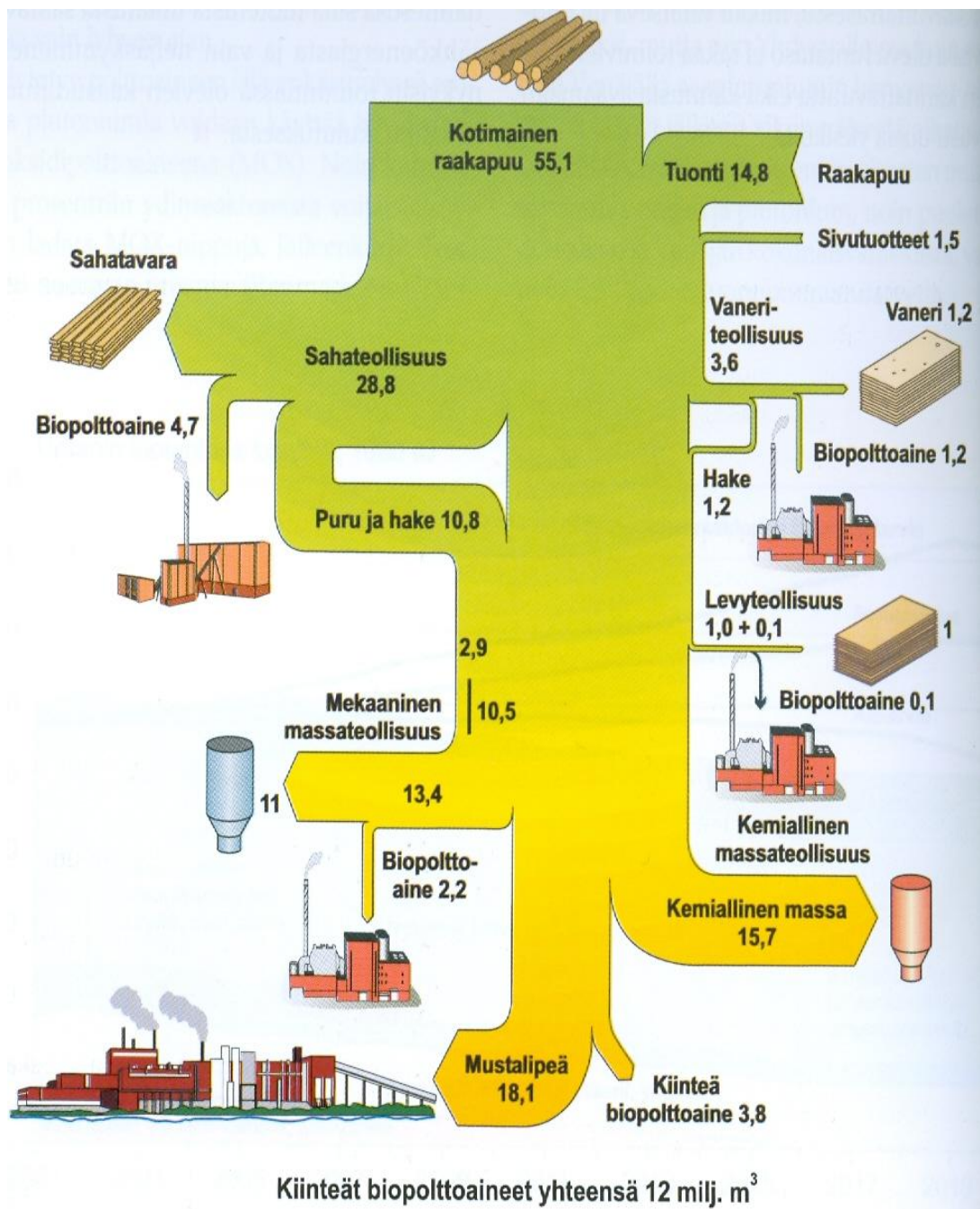
Suomessa metsien hoito on hyvin organisoitua. Metsäpalvelujen tuottajat voidaan jakaa julkisluonteisiin ja yksityisiin. Julkishyödyllisistä merkittävien ovat paikalliset metsänhoitoyhdistykset. Metsänhoitoyhdistysten merkittävin tarkoitus on olla

metsänomistajan etujärjestö. Metsänomistajista enää alle viidesosa on maanviljelijöitä vuonna 2003. Alalle on syntynyt metsäpalveluyrittäjiä.

Suomessa on vain 0,5 % maailman metsävaroista, mutta koko maailman hakkuista 1,5 % tapahtuu Suomessa. Suomen metsäteollisuuden vientivetoisuus on suuri. Maailman metsäteollisuuden tuotannosta vain 5 % tapahtuu Suomessa, mutta Suomessa tuotettu puu muodostaa 10 % maailman metsäteollisuustuotteiden viennistä. Valtaosa eli 21,9 miljoonaa hehtaaria Suomen metsämaasta on sertifikoitua. Suomen oma sertifiointijärjestelmä FFCS (Finish Forest Certification System) on osa yleiseurooppalaista PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes). (Marttila et al. 2005)

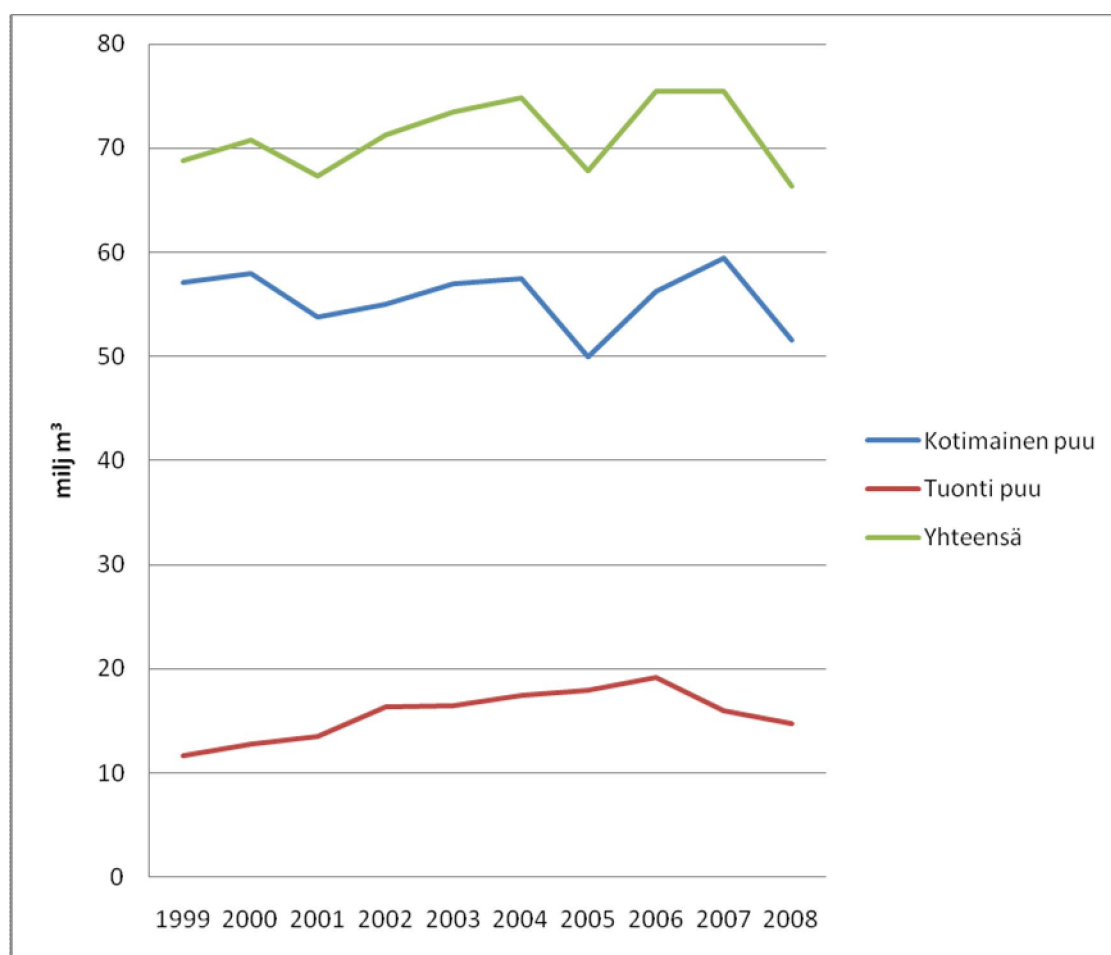
Tällä vuosikymmenellä on käynnistynyt monia merkittäviä bioenergiahankeita ja niihin on löytynyt hakijoita sekä valtion että teollisuuden puolelta. Metsähakkeen käyttö on noussut huomattavasti. Vuonna 1999 sitä käytettiin vain puoli miljoonaa kiintokuutiometriä kun taas vastaava kulutus oli vuonna 2003 jo kaksi miljoonaa kiintokuutiometriä (Kuitto 2005). Vaikka bioenergian käyttö on lisääntynyt, niin aiemmin asetetuista tavoitteista on jääty. Silloin olivat käynnissä useat bioenergian lisäysprojektit kuten myös tällä hetkellä. Niistä merkittävin on Kansallinen metsäohjelma, joka käsitellään luvussa 3.4.

Metsävaroille riittää kysyntää pääosin saha- ja paperiteollisuudesta, mutta myös kemian- ja metalliteollisuuden suunnalta. Jalostetuista puutuotteista on ehdotettu useissa skenaariossa öljyn korvaajaa liikenteen lisäksi kemianteollisuuteen. Monipuoliset käyttökohteet ovat tärkeitä energiankäytön kannalta, koska niitä tulee sivuvirtatuotteena energiakäyttöön soveltuvaa materiaalia. Energiakäyttöön soveltuvaa materiaalia tulee sivuvirtatuotteena Kuvan 3.2.1 mukaisesti.



Kuva 3.2.1. Puunkäyttö Suomessa (Energia Suomessa 2004)

Vuonna 2008 markkinapuuta hakattiin 51,7 miljoonaa kuutiometriä. Vähennystä verrattuna edelliseen vuoteen oli 10 prosenttia, joka vastaa 6,1 milj. m<sup>3</sup>. Eniten hakkuut vähenivät metsäteollisuuden metsissä ja vähiten metsähallituksen metsissä. Yksityismetsissä vähennys oli vain hiukan kokonaisvähennystä suurempi (11 %). Vuonna 2008 pyrittiin ohjaamaan puukauppaa ensimmäisen kerran verohuojennuksilla. Puun vähäiseen kauppaan vaikutti globaali taantuma. Lisäksi pientaloissa käytettiin kuusi miljoonaa kuutiometriä polttopuuta. Suomessa käytettiin vuonna 2008 raakapuuta 72,8 miljoonaa kuutiometriä (kotimainen raakapuu ja tuontipuu). Käyttö väheni edellisvuoden huippulukemista 11 prosenttia. Valtaosa puusta käytettiin metsäteollisuudessa (66,3 miljoonaa kuutiometriä). Tuontipuun määrä väheni kahdeksan prosenttia samana vuonna. Kuvassa 3.2.2 on esitettyä kotimaisen puun ja tuontipuun kehitys edelliseltä kulu-neelta kymmeneltä vuodelta. (Peltola 2009)



**Kuva 3.2.2.** Metsäteollisuuden raakapuun käyttö 1999-2008 (Peltola 2009)

Puunkuljetuksen energiakustannukset ja sitä kautta ympäristöhaitat tulevat nousemaan esiin. Ongelmaksi muodostuvat Etelä- ja Länsi-Suomen suurempi energiantarve kuin lähialueen metsistä olisi saatavilla bioenergiaa käytettäessä ja Itä- ja Pohjois-Suomen käyttämättä jäävä potentiaali. Puunkuljetusetäisyyden kannattavuus



riippuu voimalaitoksen koosta. Pienen lämpöyrittäjän kannattaa kerätä puu lähimetsistä, mutta toisaalta useamman sadan megawatin CHP -voimalaitoksen kuljetusmatkat voivat olla parikin sataa kilometriä. Uitto on uudestaan kiinnostanut taantuman aikana, koska puu säilyy vedessä kuivaa maata paremmin ja uitossa oleva puu on tällöin tavallaan välivarastoituna teollisuutta varten (YLE [www] 2009). Yhdessä uitettavassa tukkilautassa voi olla puuta 20 000 kuutiometriä eli 400 rekkakuorman verran. Tämä on hidas, mutta vähän energiaa vievä kuljetusmuoto.

### 3.3 Metsiemme käytön tulevaisuus

Metsien käyttö tulee kasvamaan ja muuttumaan seuraavina vuosikymmeninä. Metsien harvennustehtävät tullaan keräämään tarkemmin talteen. Metsien energiankeruuseen tulee vaikuttamaan merkittävästi energian hinnan kehitys sekä päästöoikeuden hinnan kehitys. Molempien hinnan oletetaan nousevan niin, että siitä tulisi kannattavaa. Eniten hintakehitykseen vaikuttaa hiilidioksidin päästöjen hinta ja fossiilisten polttoaineiden hinnan kehitys. Metsien käyttö tulee muuttumaan kohti taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävä metsätaloutta. Metsien käytön muutoksen tarvitsevat aina pitkän ajan toteutuakseen, sillä metsien käyttösuunnitelmat tehdään jopa kymmeniksi vuosiksi eteenpäin.

Ilmastonmuutoksella tulee olemaan vaikutusta myös metsien kasvuun, vaikka yleensä metsät ajatellaan ensiksi ilmaston muutosta hillitsevinä. Ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan metsän kasvuun ja pohjakasvillisuuteen. Myös mahdolliset tuhohyönteiset voivat lisääntyä ja puun keruu hankaloitua kelirikkoajan pidentyessä. Metsien sopeuttaminen ilmastonmuutokseen on haastavaa, ja vaikka metsien kasvuvauhti kiihtyy, niin on se edelleen pitkä. Eteläisemmät lajit ovat hankalia, sillä herkässä taimivaiheessa ne joutuisivat vielä sopeutumaan kylmään ilmastoon. Suurimpana ongelmana ovat vähäinen tutkimus ja todelliset lämpenemisen vaikutukset tiedot, sillä sademäärän muutokset on erittäin merkittävä lämpötilan nousun rinnalla. Suomen metsävyöhykkeen rajat tulevat siirtymään sekä pohjoisemmaksi, että Lapissa ylöspäin. Tällöin osa kitumaasta tulee muuttumaan metsämaaksi. Eteläinen Suomi tulee sadan vuoden kuluttua kuulumaan hemiboreaaliseen vyöhykkeeseen, johon kuuluu tällä hetkellä ihan vain eteläisin Suomi. (Marttila et al. 2005)

Suomelle on määritelty kolme erilaista energialiiketoimintaskenaariota vuodelle 2020: BAU, KTM ja TUONTI. BAU -skenaariossa jatkuisi nykytilanne bioenergian hyödyntämisen osalta, KTM- skenaariossa eli kauppa- ja teollisuusministeriön skenaariossa fossiilisen energian hinta nousee, mikä luo paineita uusiutuvien käytölle, ja sen lisäksi uusituvan energian tuottoa tuetaan. TUONTI -skenaariossa taas puun tuonti tippuu, mutta metsäteollisuuden tuotanto pysyy nykyisessä tuotantomäärässä, mikä luo paineita metsien hyödyntämiskäytön tehostamiselle. Skenaariot perustuvat pääosin metsähakkeeseen, koska se on kotimaassa hyvin käytettävissä. (Niskanen et al. 2008)

Edellä esitetyissä skenaariossa on hyvin erilainen hinnank kehitys vuoteen 2020, mutta yhteistä kaikille ovat hinnank kehitys, runkopuun käyttö energiana se, että

tuontipuusta oltaisiin valmiita maksamaan hiukan enemmän. BAU -skenaariossa tapahtuu vain hyvin lievää hinnan nousua metsähakkeen osalta, muuten hinnat pysyisivät vakiona. Tuontiskenaariossa kotimaisen ainespuun ja metsähakkeen hinta kasvaisi voimakkaasti. KTM -skenaariossa tapahtuisi hinnan nousua aluksi vuosina 2005–2010 kaikkien osalta, mutta vain metsähakkeen hinta kasvaisi merkittävästi 2010–2020. (Niskanen et al. 2008)

Mahdollisuudet vientiin ovat hyvät ulkomaiseen uusiutuvan energian hintaan nähden, mutta nykyisen metsähakkeen kuljetuskustannukset ovat suuret. Metsähakkeella ovat merkittävimmät käytönlisäämismahdollisuudet Etelä- ja Pohjois-Savossa, Pohjois-Karjalassa sekä Kainuussa. Laivakuljetukset ovat ainoa järkevä kuljetusmuoto puupolttoaineelle. Puuenergiaa pitäisi edelleen jalostaa, että vienti olisi kannattavaa. Lisäksi kotimainen kysyntä ennustetaan kasvavaksi kaikissa skenaariossa. Puupellettejä viedään jo vähäisiä määriä esimerkiksi Ruotsiin. Siellä ollaan valmiita maksamaan korkeampi hinta biopolttoaineesta (Alakangas et al. 2007). (Niskanen et al. 2008)

Metsäteollisuus tulee kokemaan jo alkaneen muutoksen. Perinteiset paperi- ja selluteollisuus ei ole kannattavia, mutta uusia tuotteita kehitetään jatkuvasti. Erityisesti energia- ja rakennuskäytössä puun merkitys tulee kasvamaan nykyisestä tasosta. Metsää aletaan hyödyntää laajemmin raaka-aineena esimerkiksi kemianteollisuuteen. Teollistuneiden metsäteollisuusmaiden, Suomem, Ruotsin, USA:n ja Kanadan, metsäteollisuuden kehittämisessä voidaan havaita paljon yhteistä. Maat ovat panostaneet uusiin tuotteisiin. Erityisesti panostetaan biopohjaisten liikennepolttoaineiden kehittämiseen. Perinteiset metsäteollisuustuotteiden siirtyessä halvan tuotannon maihin maat panostavat teknologiaosaamisellaan uusiin korkean teknologian metsäteollisuustuotteisiin. (Niskanen et al. 2008)

### **3.4. Monimuotoisuuden näkökohdat**

Metsien hoitoa sitovat kansalliset ja kansainväliset sopimukset. Kansainvälinen yhteistyö kestävän metsätalouden ja monimuotoisuuden kannalta on käynnistynyt 1990-luvun alussa. Merkittävin sopimus on YK:n metsäperiaatteet, jotka koskevat metsien käyttöä, hoitoa ja kestävä kehitystä. Metsäperiaatteet ovat osa laaja kansainvälistä ilmastopopimusta. Metsillä on tärkeä merkitys kansainvälisessä ilmastopolitiikassa. Vuonna 1992 YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssissa (UNCED) Rio de Janeirossa solmittiin ilmastopopimuksen yhteydessä ns. metsäperiaatteet (Parviainen et al. 2007). Ne koskevat metsien käyttöä, hoitoa ja kestävä kehitystä. Suomi toimii metsäperiaatteissa osana EU:ta ja Suomi on hyvin toteuttanut asetettuja metsäperiaatteita. Vuodesta 1997 on ollut metsäministerien metsäfoorumeita, joiden tavoitteena on edistää metsien kestävä käyttöä (Kangas et al. 2001).

Kansallisia metsäohjelmia (KMO) on laadittu YK:n metsäperiaatteiden ratifiointin jälkeen eli vuodesta 1993 lähtien Tällä hetkellä käynnissä on KMO 2015, jonka valtioneuvosto on hyväksynyt periaatepäätöksellään ja josta vastaa Maa- ja

Metsätalousministeriö (MMM). Ohjelma linjaa metsäpolitiikan keskeisimmät asiat. Ohjelman toiminta-ajatus on: lisää hyvinvointia monimuotoisista metsistä. Ohjelman avulla Suomi pyrkii biotalouden edellä kävijäksi. Ohjelma toteuttaa hyvinvointia turvaamalla metsistä saatavan työn ja toimeentulon, jotka ovat merkittäviä Suomelle kokonaiskansantaloudellisestikin. Lisäksi suomalaisille metsien antama virkistys on erittäin tärkeää. Monimuotoisuuden lisäksi metsien elinvoimaisuus on tärkeää. (Kansallinen ... 2008.)

Toiminta-ajatus toteutetaan esimerkiksi laajentamalla metsäpalvelutoimintaa kestäväillä ratkaisuilla. KMO:ssa kestävyys tarkoittaa sekä luonnon että yhteiskunnan kannalta kestäviä ratkaisuja. Tällöin saadaan lisää raaka-ainetta ja työllistetään, mutta säilytetään metsien monimuotoisuus. Ohjelman toteutumista seurataan laatimalla toistuvasti seurantaraportteja ja ulkopuolisten tekemiä väliarviointeja. Ohjelma on rahoitettu usean eri ministeriön taholta, merkittävin rahoitus tulee luonnollisesti Maa- ja metsätalousministeriöltä, muita rahoittajia ovat Ympäristöministeriö, Opetusministeriö, Työ- ja elinkeinoministeriö ja Liikenne ja viestintäministeriö. (Kansallinen ... 2008)

Yksi ohjelman keskeisimmistä pyrkimyksistä on nostaa kotimaisen puun käyttöä 10–15 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Se on huomattavasti enemmän kuin edellisessä KMO:ssa 2010, jossa lisäystavoite oli 5-10 miljoonaa kuutiometriä. Monet muut periaatteet ovat samoja ja niitä on vain täydennetty. KMO 2015 on laadittu myös lyhyemmälle aikavälille kuin KMO 2010, joka laadittiin jo 1999. Keskeisenä keinona asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi mainitaan koulutus. Etelä-Suomessa ohjelman rinnalla toimii METSO –ohjelma, jonka tavoitteena on erityisesti lisätä puun energiakäyttöä. Toteutuessaan ohjelma lisäisi merkittävästi metsäsektorin työllisyyttä. Metsäohjelmassa otetaan myös huomioon metsien virkistyskäyttö, koska sillä on merkittävä vaikutus suomalaisiin. (Kansallinen ... 2008)

Suomen metsien käyttöä säätelevät metsälaki, erämaalaki ja luonnonsuojelulaki. Lisäksi on laki kestävä metsätalouden rahoituksesta ja maankäyttö- ja rakennuslaki, jotka määrittelevät myös metsien käyttöä. Lait määrittelevät yksityiskohtaisesti metsien käytön. Sekä metsälaki että luonnonsuojelulaki nykyisinä versioinaan ovat astuneet voimaan 1.1.1997. Erämaalaki on lisännyt Pohjois-Suomen erämaa-alueitten säilyttämistä erämaa-alueina. Laki rajaa hakkuita niissä.

Metsien monimuotoisuus on osana vuonna 1997 voimaan tullutta metsälakia. Metsälaki on uudistettu edellä esitettyjen ohjelmien myötä. Metsälain tarkoituksena on edistää metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävä hoitoa ja käyttöä siten, että metsät antavat kestävästi hyvän tuoton samalla, kun niiden biologinen monimuotoisuus säilytetään. Metsälakia sovelletaan alueille, joilla harjoitetaan metsätaloutta, kun luonnonsuojelulaki määrittää luonnonsuojelualueiden käytön. Metsälain luku kaksi määrittelee metsän hakkuita ja niiden uudistamisvastuuta. Metsälain luku kolme määrittelee monimuotoisuutta. Luku neljä käsittelee suojametsiä, eli metsäalueita, jotka eivät kuulu luonnonsuojelulain piiriin, mutta joissa metsätalouden kannalta pitää kuitenkin noudattaa tarkempaa hakkuumenettelyä. Näitä alueita sijaitsee pohjoisimmassa Suomessa, jossa suojametsillä halutaan estää metsärajan siirtyminen etelämmäksi ja

saaristossa. Lisäksi laissa on määritelty valvonta ja seuraamukset, erinäiset säädökset ja voimaantulo. (Metsälaki 1996.)

Metsälaissa on määritelty monimuotoisuuden turvaaminen erittäin tärkeäksi seuraavissa kohteissa:

- 1) lähteiden, purojen ja pysyvän vedenjuoksu-uoman muodostavien norojen sekä pienten lampien välittömät lähiympäristöt;
- 2) ruoho- ja heinäkorvet, saniaiskorvet sekä lehtokorvet ja Lapin läänin eteläpuolella sijaitsevat letot;
- 3) rehevät lehtolaikut;
- 4) pienet kangasmetsäsaarekkeet ojittamattomilla soilla;
- 5) rotkot ja kurut;
- 6) jyrkänteet ja niiden välittömät alusmetsät; sekä
- 7) karukkokankaita puuntuotannollisesti vähätuottoisemmat hietikot, kalliot, kivikot, louhikot, vähäpuustoiset suot ja rantaluhdat. (Metsälaki 1996)

Luonnonsuojelulaki säätelee suojeltuja metsiä. Luonnonsuojelulain tavoitteena on: luonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen, luonnonkauneuden ja maisema-arvojen vaaliminen, luonnonvarojen ja luonnonympäristön kestävä käytön tukeminen, luonnontuntemuksen ja yleisen luonnonharrastuksen lisääminen sekä luonnontutkimuksen edistäminen. Luonnonsuojelulaissa luonnonsuojelualueiksi määritellään kansallispuistot, luonnonpuistot ja muut luonnonsuojelualueet. Perustamiselle on tarkat edellytykset, joita ovat uhanalaiset eläinlajit, harvinaiset luonnonmuodostumat tai alueilla harvinaistuvat perinneluontotyypit. (Luonnonsuojelulaki 1996.)

Monimuotoisuus määritellään myös biodiversiditeetin eli biologisen monimuotoisuuden kautta. Monimuotoisuutta voidaan käsitellä kolmesta eri näkökulmasta lajistollisesta, perinnöllisestä tai ekologisesta näkökulmasta. Monimuotoisuuden moninainen ilmentyminen vaikeuttaa sen mittaamista. Yleisin käytettävä mittaamistapa on lajimäärä eli taksonominen mittaustapa, koska sen mittaaminen onnistuu (Kuuluvainen et al. 2004.).

Monimuotoisuuden määrittäminen absoluuttisesti on hankalaa. Asiantuntija-arvioiden pohjalta on kuitenkin laadittu monimuotoisuusindeksi. Monimuotoisuutta voidaan kuvata monimuotoisuusindeksillä:

$$BD=0,33xLAHO+ 0,42x VANHA+0,25x LEHTI$$

Jossa

*LAHO*= on lahopuun osuus asteikolla [0,1]

*VANHA*= Vanhan puuston osuus samalla asteikolla,

*LEHTI*= lehtipuun osuus samalla asteikolla.

Näin indeksi vaihtelee nollan ja yhden välillä. Indeksillä kuvaa monimuotoisuuden tärkeimpiä painoarvoja eli lahopuuta, vanhaa puustoa ja sekapuustoa. (Kangas et al. 2001)

Monimuotoisuutta ylläpidetään metsiensuojelulla, jonka määrittää luonnonsuojelulaki. Monimuotoisuus tarkoittaa ennen kaikkea luonnonmukaista metsänhoitoa ja metsätyypin pitämistä kasvupaikalle luontaisena. Metsien monimuotoisuutta valvotaan viranomaistaholla ja metsistä kerätään tietoja. Ylin vastuu on ympäristöministeriöllä ja osittain maa- ja metsätalousministeriöllä. Paikallisella tasolla toimivat metsänhoitoyhdistykset. Edellä esitetyt lait ovat lähtökohtana monimuotoisuuden turvaamiseksi. Edellä esitetty Kansallinen metsäohjelma toteuttaa osaltaan juuri tätä viranomaisvalvontaa. (Parviainen et al. 2007)

Luonnonläheisyys on noussut 2000-luvulla kansainväliseksi monimuotoisuuden luokitukseksi. Siitä ei ole toistaiseksi tosin kehitetty käyttökelpoista mittaamenetelmää ja luokitusta. Karkea luokitus, joka on Vuonna 2003 metsäministerikokouksessa luotu, jakaa metsät luonnonläheisyytensä mukaan kolmeen luokkaan. Näitä luokkia ovat: 1) koskemattomat luonnonmetsät 2) luonnonmetsien kaltaiset metsät 3) puuviljelmät. Luonnontilaiset metsät sisältävät luontaisia lajeja ja esimerkiksi lahopuun osuus on riittävä. Luokkaan kaksi kuuluvat ne metsät, jotka ei kuulu luokkaan yksi tai kolme. Puuviljelmillä puut on istutettu ja niitä intensiivisesti hoidetaan. Näitä puuviljelmiä ovat Suomessa ainoastaan metsitetyt pellot, joita on vain yksi prosentti metsäalasta. Vaikka metsikkötaloudessakin uudistaminen tehdään usein istuttamalla, mutta ajan kuluessa uudistettuihin metsiköihin ilmestyy luontaisia puita, kuten esimerkiksi haapaa. Suomen metsätalous on luonnonläheistä, koska Suomessa käytetään vain luontaisia puulajeja ja Siperian lehtikuusi ja hybridihaapakin ovat hyvin lähellä suomalaisen metsän luonnollisia puulajeja. (Parviainen. et. al. 2007)

Suomessa on Euroopan suurin osuus metsämaasta tiukasti suojeltua (4,6 % metsämaasta) (Parviainen et al. 2007). Suomen metsien suojelu on hyvin suurta prosentuaalisesti pinta-alasta, mutta valtaosa suojelualueesta on pohjoisen lakialueita, jotka luokitellaan kasvun perusteella kitumaiksi. Toisaalta pohjoisen alueilla virkistyskäyttö ja sen myötä matkailukäyttö ovat niin merkittäviä, että ne ylläpitävät sosiaalisia näkökohtia metsiensuojelun lisäksi.

Suomessa suojellaan sekä metsäalueita että metsälajeja. On eriasteista suojelua molemmille. Tiukkaa suojelua ja rajoitettua hyödyntämistä. Metsien suojelu sijoittuu Suomessa Pohjois-Suomeen. Monet uhanalaiset luontotyypit sijaitsevat Etelä-Suomessa kun taas metsiensuojelu painottuu Pohjois-Suomeen. Merkittävä osa Suomen uhanalaisista lajeista elää metsissä tai suoalueilla. Suomen pohjoisborealisista vyöhykkeestä on suojeltu jopa 16,9 % kun eteläborealisesta 0,7 %, mutta hemiborealisesta, johon juuri lehdot kuuluvat suojeltu on 1,6 %. Myös keski-borealisessa koko alueen suojelu on 2,4 % keskimäärin, mutta itäisen osan suojelu on huomattavasti laajempaa. (Kangas et al. 2001)

Uhanalaiselle luontotyypille on tyypillistä, että se on varsin pienialainen. Suomessa on tehty vuonna 2008 ensimmäinen metsätyyppien uhanalaisluokitus. Suomessa on 400 luontotyyppiä, joista uhanalaisia on 188 (Peltola 2009). Monet näistä alueista ovat uuden metsälain turvaamia alueita. Metsien maamme pohjoisosiin sijoittuvalle suojelulle ovat perusteita esimerkiksi porotalous ja niiden hitaampi kasvu, jolloin niitä on vaikeampi hyödyntää metsätalouteen ja niiltä on pitkät kuljetusmatkat käyttöpaikoille. Toisaalta niiden luoma erämaa on arvokasta virkistyskäytölle.

Metsiensuojelun tärkeimpänä tekijänä ovat itse metsänomistajat. Tärkeää olisi oma-aloitteisuus tehdä kestäviä ratkaisuja eikä ainoastaan viranomaistahon määräyksestä. Monelle metsänomistajalle metsä on monikäytössä, esimerkiksi sitä käytetään myös metsästys- ja marjastuskäyttöön taloudellisen puuntuoton lisäksi. Metsänomistajien koulutusta metsänhoitoasioissa yritetään lisätä. Suomen pienien tilojen vuoksi myös metsänomistajien yhteistyö on tärkeää, sillä moni ekologisesti arvokas alue ei sijaitse vain yhden omistajan alueella. Pienistä tiloista on myös etua, sillä hakkuut rajoittuvat usein tilarajaan, jolloin ei synny laajoja hakkuualueita. (Kuuluvainen et al. 2004b).

Metsien monimuotoisuus vaihtelee metsän kehitysasteen mukaan, sillä vaikka hakkuu vähentääkin metsänlajeja, se lisää myös mahdollisuutta aukealajeille. Jos monimuotoisuutta arvioidaan vain lajien määrän perusteella, on pari vuotta hakkuiden jälkeen lajien määrä alueella suurempi kuin ennen hakkuuta. Monimuotoisuuden vaihtelu on luonnolle ominaista. (Raivio [www] 2010) Monimuotoisuus on yksinkertaisimmillaan pyrkimistä mahdollisimman lähelle metsien luonnonmukaista tilaa. Monimuotoisuus käsittää eri-ikäistä puustoa ja monipuolista ja kasvupaikalle sopivaa pohjakasvillisuutta. Eri-ikäisen puuston ylläpitäminen on hankalaa metsän taloudellisen hyödyntämisen kannalta.

Eräs talousmetsissä toteutettava monimuotoisuuden säilyttämisen keino ovat säästöpuut. Säästöpuut ovat metsään jätettäviä eläviä puita, jotka lahoavat ajan kuluessa muodostaen luonnonmukaista metsäravinnetta. Ne ylläpitävät taimikon kasvaessa eri-ikäistä puustoa. Niiden jättäminen perustuu siihen, että metsiin tulisi jättää monimuotoisuuden säilyttämiseksi lahoavaa puuainesta. Säästöpuiden pitää olla riittävän isoja ja suositeltava määrä on 5-20 kappaletta hehtaarille. Säästöpuiden merkitys on noussut tärkeäksi kestävä metsätalouden kriteereissä. Säästöpuualueita suunnitellaan jo taimikon hoidon yhteydessä. (Heinonen et al. 2010)

Monet monimuotoisuuden ja taloudellisuuden näkökannat ovat yhteneviä, mutta merkittävänä erona ovat häiriöt. Ne parantavat metsän monimuotoisuutta, mutta heikentävät sen taloudellista arvoa. Häiriö on täysin ennalta arvaamaton ja ulkopuolisen tekijän aiheuttama. Häiriöitä ovat esimerkiksi tuulen kaatamat puut ja muut tuhot. Myös sienikasvit ovat osa metsän monimuotoisuutta, vaikka tuhoavat taloudellisesti arvokkaita puita. Myös metsän palaminen on osa metsän uudistumista. Häiriöt saattavat aiheuttaa taloudellisesti mittavat vahingot, mutta ovat tärkeitä monimuotoisuuden kannalta. (Kuuluvainen et al. 2004b)

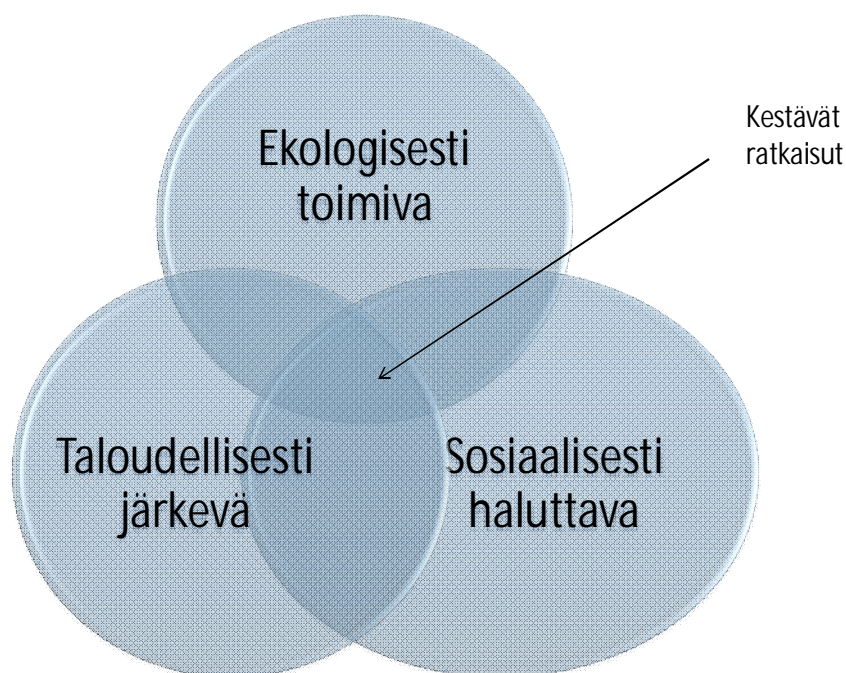
### **3.5 Metsien merkitys kansantaloudelle**

Metsien merkitys kansantaloudellemme on ollut suuri, ja sen merkitys kansantaloudelle tulee vaikuttamaan suuresti bioenergian hyödyntämismahdollisuuksien. Metsäsektorin säilyminen Suomessa vaikuttaa bioenergiaan monialaisesti. Tällä hetkellä valtaosa biopolttoaineesta syntyy metsäteollisuuden sivuvirtatuotteena ja metsäteollisuuden ainepuun hankintahakkuiden yhteydessä, joista päätehakkuut ovat merkittävimmät, joissa jää ainespuuksi kelpaamatonta biomassaa. Myös tarkastellessa Suomen energiankulusta pitää huomioida, että metsäteollisuus kuluttaa siitä suurimman osan. Lisäksi bioenergiaohjelmat ovat työllistäneet ja tulevat työllistämään. Bioenergian käyttöä laajemmin tuetaan valtionvaroin.

Mittari kansantaloudelliselle merkitykselle on prosenttiosuus bruttokansantuotteesta. Vuonna 2005 metsätalouden osuus oli 1,7 % bruttokansantuotteesta. Metsien merkitys vaihtelee suuresti alueellisesti. Suurin merkitys on Kaakkois- ja Itä-Suomessa sekä Kainuussa. Merkitys on vähentynyt 60-luvulta, jolloin metsätalouden osuus oli keskimäärin 7,3 %. Syitä tähän on muidenkin alojen nousu merkittäviksi teollisuuden osa-alueiksi, ja näin kokonaisbruttokansantuotteen nousu, mutta myös metsätalouden absoluuttinen rahamäärä on vähentynyt. Suuri erotus johtuu siis yhteisvaikutuksesta. (Parvianen et. al. 2007)

Metsäteollisuustuotteiden kulutus asukasta kohden kertoo taloudellisen merkityksen lisäksi niiden arvostuksesta ja asemasta yhteiskunnassa. Sahatavarassa Suomi on kärkimaa noin yhden kuutometrin vuosittaisella kulutuksella henkeä kohden. Paperia ja kartonkia kuluu 230 kg henkeä kohden. Metsäteollisuuden vientiaste on ollut korkea, paperituotteissa kymmenen prosenttia ja puuteollisuuden kolmekymmentä prosenttia kotimaassa tuotetusta tavarasta. (Parvianen et. al. 2007)

Monimuotoisuuden ja taloudellisuuden lisäksi metsätalouden ratkaisujen ollakseen kestäviä tulee olla sosiaalisesti järkeviä. Kuvassa 3.5.1 on esitettyä tarkastelukehikko, joka kuvaa sitä, kuinka kestävien ratkaisuiden pitää olla ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestäviä.



**Kuva 3.5.1.** Metsänkäyttöä koskeva tarkastelukehikko. (Kaila et al. 2004)

Metsän tarkastelu tulisi aloittaa ekologisesta tarkastelusta, koska se on kuitenkin tärkein lähtökohta myös taloudelliselle kestävyydelle ja sosiaaliselle kestävyydelle. Ratkaisut ovat kuitenkin metsätalouden harjoittajan ja kuroutuvat sosiaalisesti ja taloudellisesti ja ekologisestikin moniin sidosryhmiin. Sidosryhmiä ovat: sijoittajat, tuotteen ostajat, metsänomistaja, tutkimus ja kehitys, yhteiskunta ja kansalaisjärjestöt. Täten sosiaaliset vaikutukset eivät jää vain alueellisiksi vaan ulottuvat sijoittajien ja tuotteiden ostajien kautta globaalistikin. Metsien hyödyntäminen virkistyskäyttöön on työllisyyden lisäksi merkittävä sosiaalinen näkökohta metsätalouteen. (Kaila et al. 2004)

Merkittävin sosiaalinen vaikutus on työllistävyydessä. Eniten työllistävyyttä voitaisiin lisätä metsähakkeen tuotannossa. Metsähakkeen tuotannon lisäysmahdollisuudet ovat pääosin Itä-Suomessa. Eniten työllistäisivät lämpöyrittäjyys ja pilkekauppa. Lämpövoimalaitosten koko ja määrä on ollut kasvussa viime vuosina.



Vuonna 2005 lämpövoimalaitosten keskimääräinen koko oli 500 kW. Pilkekauppiaita oli vuonna 2001 noin kaksi tuhatta, mutta moni heistä harrastaa muutakin liiketoimintaa. Puunkorjuussa työntekijöitä ja kaukokuljetuksessa työntekijöitä on ollut kahdeksan tuhatta. ( Helynen. et al. 2007)

Suomessa syntyivät ensimmäiset lämpövoimalaitokset ensimmäisen öljykriisin myötä 70-luvun lopulla, mutta öljynhinnan pudotessa takaisin lähtötasolle. Fossiilinen polttoöljy säilyi merkittävänä lämmityslähteenä. Lämpöyrittäjäyys soveltuu jo muutenkin yrittäjähenkisille ihmisille, sillä maaseudun elinkeinorakenteen muuttuessa ihmiset tekevät erittäin monipuolisia töitä. Maaseudulla bioenergian korjuu onnistuu lähialueilta. Lämpövoimalaitokset ovat kooltaan pieniä ja lämmittävät kunnan keskeisimmät rakennukset esimerkiksi koulut ja kunnantalon. (Niskanen. et al. 2008)

Lämpöyrittäjätoiminta on kaikkein yleisin Etelä-Pohjanmaalla, ja vähäisin etelärannikolla, Kainuussa ja Lapissa. Niiden toimintamallit ovat osakeyhtiö, osuuskunta, yritysrenkas tai yrittäjä. Jopa 45 % voimalaitoksista on yksityisten yrittäjien hallinnassa ja heitä oli 150 vuonna 2006 ja määrän uskotaan kasvavan. Pienet alle megawatin voimalaitokset käyttävät pääosin ranka- ja kokopuuhaketta, koska tasalaatuisuutensa vuoksi soveltuu myös pieniin voimalaitoksiin. (Alakangas et al. 2007)

Kannattavan metsätalouden ylläpitäminen on erittäin tärkeää elinvoimaisen maaseudun ylläpitämisen kannalta, sillä metsätalouden luomat työpaikat syntyvät usein maaseudulle. Metsätalous vaatii työvoimaa, vaikka päätehakkuut varsinkin ovat koneellisia, mutta koneet eivät liiku ilman työvoimaa. Kannattavuus on nostettu tärkeäksi osa-alueeksi Euroopan metsäministerikokouksessa. Metsätalouden kannattavuutta haittaavat suuret puun hinnan vaihtelut, jotka johtuvat pääosin paperiteollisuuden suhdannevaihtelusta. Myös kannattavuuserot vaihtelevat alueittain, johtuen merkittävästi eripituisista kuljetusmatkoista. (Parviainen et. al. 2007)

## 4. METSÄVAROJEN HYÖDYNTÄMINEN

Suomen metsissä kasvava puu on hyvin arvokasta, joten sillä on käyttöä puutavara- ja metsäteollisuuden raaka-aineena. Tässä työssä sivuutetaan perinteinen hyödyntäminen ja keskitytään hakkuutähteiden ja tukkipuiksi kelpaamattomien harvennus- ja hakkuutähteiden käyttöön energiana. Energiakäyttöön hyödynnettävät puupohjaiset polttoaineet voidaan jakaa laadun tai alkuperän mukaan. Tässä työssä käytetään laadun mukaan jakotapaa. Alkuperän eli FAO:n luokituksen mukaan jaettuna polttoaineet jaettaisiin ensisijaisiin, toissijaisiin ja kierrätettyihin (Alakangas 2000).

### 4.1 Energiakäyttöön hyödynnettävät

Puuenergiankäytön lisäämisen taustalla ovat EU:n komission asettamat velvoitteet jäsenmailleen. Metsähakkeeksi soveltuvaa bioainesta voidaan kerätä metsästä neljässä eri vaiheessa: energiapuuharvennukset, ensiharvennukset, päätehakkuiden hakkuutähde ja päätehakkuiden juurakot. Metsähake on yleisnimitys metsistä kerättävälle hakkeelle, joka voidaan jakaa hakkuutähde- ranka- ja kantohakkeeseen (Impola 2002). Sivuvirta pienpuun ja metsäteollisuuden kuitu- ja tukkipuun raja on häilyvä (Hakkila 1994).

Hakkuutähdehake on pääosin latvusmassaa, jossa on suuri vihreänhakkeen osuus, jota syntyy päätehakkuiden yhteydessä. Runkohake olisi paremmin soveltuvaa energiakäyttöön, mutta koska se on arvokasta saha- ja massateollisuuden, niin sen hyödyntäminen energiakäyttöön on hyvin vähäistä. Kantohakkeen keräys kuluttaa paljon energiaa ja sen keräämisestä ollaan vielä montaa mieltä. Harvennushakkeen hyödyntämistä energiakäyttöön ollaan lisäämässä. Puun luokittelu energia- vai ainespuuksi vaihtelee sekä ajallisesti että paikallisesti. Siihen vaikuttavia tekijöitä ovat markkinatilanne, leimikon laatu ja sijainti sekä korjuu- ja prosessitekniikka (Hakkila 1994)

Ensiharvennukset ovat erittäin tärkeitä metsänhoidon kannalta. Niistä saatava puumateriaali on vähäistä nykyisillä hyödyntämistavoilla, mutta niistäkin tuleva pieni puu-aines voidaan tulevaisuudessa hyödyntää. Tämän hetkessä hallituksen energiapolitiisessa ohjelmassa on mainittuna risujenkeräyksen tukipaketti. Tällä hetkellä ensiharvennusten tehtävä on ollut jättää metsään elinvoimaisimmat puut ja antaa näille riittävä elintila ja edellytys tuottaa päätehakkuiden yhteydessä riittävä tuotto.

Nykyisin biopolttoaineet ovat merkittävimpiä lämmöntuotannossa, mutta myös sähköntuotannossa, koska merkittävä osa lämmöstä tuotetaan CHP:llä. Bioenergialla, turve mukaan luettuna on täysin mahdollista nostaa bioenergian vuosikäyttö nykyisestä 100 TWh:sta 150 TWh:iin (Finbio [www] 2008). Liikenteen biopolttoaineiden valmistus ja käyttö on kasvamassa. Kiinteitä polttoaineita käytettiin kaikkiaan 14,3

miljoonaa kiintokuutiometriä vuonna 2008. Käyttö lisääntyi edellisvuodesta 1,3 milj. m<sup>3</sup> eli kymmenen prosenttia. Kiinteistä puupolttoaineista kului energialaitoksissa 27 TWh ja pientaloissa 14 TWh. Teollisuuden puunkäyttö on noussut merkittävästi enemmän kun pientalojen. (Ylitalo [www] 2008).

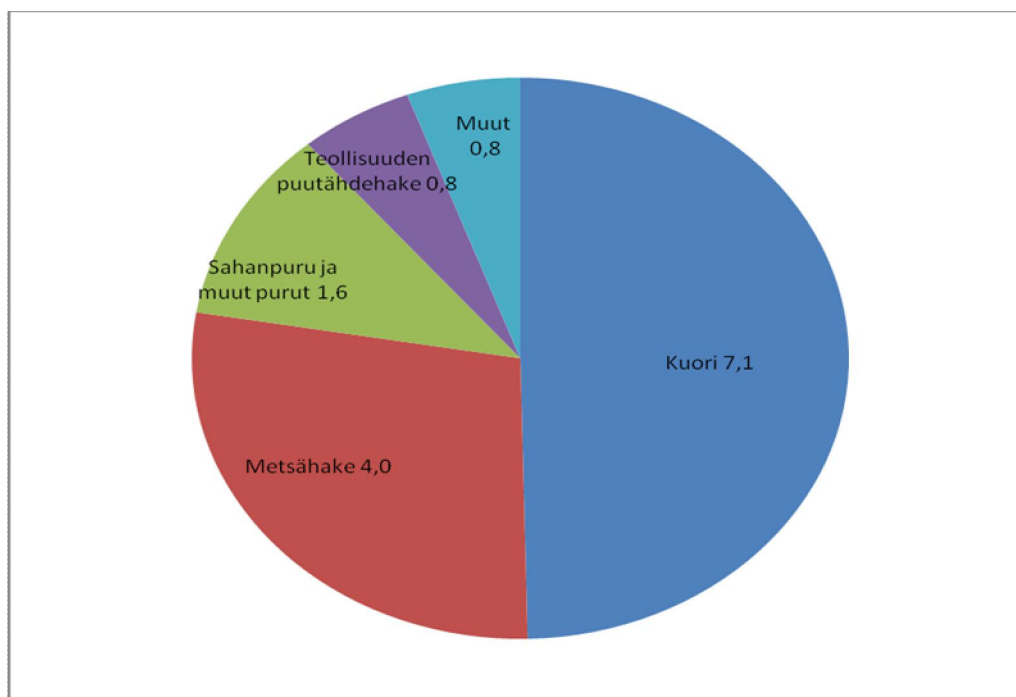
Suomelle EU-komission asettama uusiutuvan energian lisästarve on nostaa osuus 28,5 %:sta 38 %:iin energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä (Finbio [www] 2008). Lisäksi kasvihuonekaasupäästöjä on vähennettävä 16 % päästökauppajärjestelmään kuulumattomilla aloilla vuoteen 2020 mennessä verrattuna vuoden 2005 päästötasoon (Aalto [www] 2010). Liikenteessä uusiutuvista energialähteistä peräisin olevan energian osuus on jokaisessa jäsenmaassa oltava vähintään kymmenen prosenttia liikenteen energian loppukulutuksesta vuonna 2020. Bioenergian lisäys vähentää hiilidioksidipäästöjä ja lisää energiaomavaraisuuttamme 32 %:sta 36 %:niin, sillä bioenergia korvaa tuontipolttoaineita pääosin kivihiiiltä ja mineraaliöljyä (Aalto [www] 2010).

**Taulukko 4.1.1.** Uusiutuvan energian käyttö energialähteittäin ja loppukulutuksessa., TWh. (Aalto [www] 2010)

	2005	2010	2020 A	2020 B
Teollisuuden tuotannosta riippuvat polttoaineet				
Jäteliemet	36,7	43,3	38	38
Teollisuuden tähdepuu	23,1	26,7	22	22
Yhteensä	59,8	70	60	60
Politiikkatoimien kohteena olevat				
A. Ei tukitarvetta				
Vesivoima	13,6	11,3	14	14
Kierrätyspolttoaineet	1,7	1,9	2	3
B. Pieni tukitarve				
Metsähake	5,8	7,2	18	21
Puun pienkäyttö	13,4	13,6	12	13
Puupelletti ja peltobiomassa	0,1	0,1	0,7	3
Lämpöpumput	1,8	2,4	3	5
C. Korkea tukitarve				
Biokaasu	0	0	0,1	0,5
Nestemäiset biopolttoaineet	0	0	6	6
Tuulivoima ja aurinkoenergia	0,2	0,1	1	6
Yhteensä	94,9	102,7	115	128
josta puupolttoaineet yhteensä	19,4	19,3	33	37
Uusiutuvan energian loppukulutus	86	92	106	118

Taulukossa 4.1.1 on esitetty nykyiset toteutuneet uusiutuvan energiankäytön lisääntymiset vuodesta 2005 vuoteen 2010. Vuoden 2010 luku taulukossa on vielä arvio. Vuoden 2020 osalta ensimmäisessä sarakkeessa (2020 A) on nykyisellä kasvulla saatava lisäys ja toisessa sarakkeessa (2020 B) tavoitelisäys. Taulukossa on mukana muutkin uusiutuvat, josta huomataan että bioenergia on merkittävin Suomen uusiutuvan energian kasvunkohde. Eräänä lisäämisen ongelmana on teollisuuden tuotannosta riippuvien bioenergiälähteiden vähentyminen, joka kasvattaa uusien lisäystarvetta.

Merkittävimpiä jo hyödynnettyjä sivuvirtatuotteita ovat metsähake, puru ja kuori, joiden toteutunut käyttömäärä vuonna 2008 on esitettyä Kuvassa 4.1.1.. Kuori ja sahanpuru ovat tuottaneet ennen jäteongelman ja niitä on alettu hyötykäyttämään energiaksi. Niitä muodostuu metsäteollisuudesta sivuvirtatuotteina Kuvan 3.2.1 osoittamissa kohdissa. Niiden polttaminen on ollut pitkään jätteenhävitystä, josta on saatu tuotettua energiaa.



**Kuva 4.1.1.** Kiinteiden puupolttoaineiden käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa 2008 miljoonaa m<sup>3</sup>. (Ylitalo [www]2008)

Päättehakkuun hyödynnettävän hakkuutähteen määrä riippuu metsätyypistä ja hallitsevasta puulajista. Kaikkea energiantuotantoon soveltuvaa hakkuutähdettä ei kerätä metsästä ravinnetasapainon säilyttämiseksi. Kasvupaikan viljavuus vaikuttaa siihen miten suuri osa hakkuutähteestä voidaan kerätä (Hakkila 1994). Etelä-Suomessa männystä saadaan 28 m<sup>3</sup>/ha ja kuuselle 55 m<sup>3</sup>/ha. Näiden energiasisällöt ovat 200 GJ/ha ja 400 GJ/ha. Myös kantojen keräyksellä on suuri ero näiden puulajien välillä, kun kuusikossa kannot jopa kaksinkertaistavat energiansaannin, kun taas männikön lisäys on pienempi. (Energia Suomessa 2004)

Vuoden 2004 korjaustietojen mukaan latvusmassan korjauspotentiaali olisi 6,6 miljoonaa kiintokuutiometriä. Tästä lisäysmäärästä kuuselle oli 4,8 miljoonaa kiintokuutiometriä, joten männyn osuudeksi jää 1,7 miljoonaa kiintokuutiometriä. Kantoja olisi saatu 2,5 miljoonaa kiintokuutiometriä. Suurin keräyspotentiaali on nuoren metsän energiapuulla jopa 6,9 miljoonaa kiintokuutiometriä (Helynen et al. 2007). Latvusmassan keräys päättehakkuiden yhteydessä on erittäin tärkeää metsän uudistamiselle. Latvusmassasta kannattaisi antaa neulasten varista, koska ne tuovat

ravinteita eivätkä haittaa uudistustyötä. Lisäksi neulasen neulasen ovat huonoja polttoteknisesti happamuutensa ja kosteutensa vuoksi.

Kantojen korjuu päätehakkuiden yhteydessä on alkanut kiinnostaa monia, sillä se lisää päätehakkuiden bioenergiaksi soveltuvan puuaineen määrää. Toisaalta niiden keruu hakkuuaukealta vie energiaa. Kantojen korjuulla saadaan edellä esitetyn mukaan lisättyä päätehakkuiden metsähakkeen määrää, koska kantojen keräys edellyttää muunkin hakkuutähteen huolellista hyödyntämistä. Kantojen keräys metsistä vaatii järeitä metsäkooneita. Kantojen hyödyntäminen edellyttää niiden puhdistumista maa-aineksista ja kivistä, joista kuusi on helpompi puhdistaa. Kannoista valmistetun polttihakkeen etuja metsähakkeeseen verrattuna ovat hakkeen tasalaatuisuus, alhaisempi kosteus ja osittain sen myötä korkeampi lämpöarvo. Metsäntutkimuslaitoksen tekemien kokeiden perusteella, kantopuun hinnaksi on saatu kantojen noston kustannus noin 5.9 €/m<sup>3</sup> ja metsäkuljetuksen kustannus 7.5 €/m<sup>3</sup>. (Laitila et al. 2007)

Toisaalta kantojen keruusta löytyy monia niiden keräystä haittaavia tekijöitä. Kantojen keruu köyhdyttää metsää. Kannot jäävät lahoamaan metsään ja lisäävät näin lahoapuun määrää. Lisäksi niiden kerääminen ei ole välttämätöntä niin kuin muun hakkuutähteen metsän uudistuksen kannalta. Vanhojen kantojen juuret ovat arvokas elinympäristö monelle lajille. Varsinkin jyrkissä rinteissä kantojen korjuu voi sateiden yhteydessä saada maa-aineen valumaan, sillä kannot ja suuret juuret sitovat ravinteikasta maa-ainesta. Taimet tarvitsevat juuri ravinteita silloin kun niiden omat juuret eivät vielä ole levittäytyneet tarpeeksi laajalle sitomaan maa-ainesta. Kantojen kuljetus haketuspaikoille on hankalaa ja kallista. Lisäksi kannot tarvitsevat järeämmän haketus koneen kuin muu metsähake.

Yleisempien kiinteiden puupolttoaineiden hintakehitys on esitettyinä taulukossa 4.1.2. Niiden tulevaisuuden hintakehitykseen tulee vaikuttamaan niiden kysyntä. Niiden kysyntä on ollut vähäisempää halpojen ja saatavien muiden polttoaineiden vuoksi. Metsähakkeen käyttö vuonna 2000 oli alle 1,0 miljoona kuutiometriä, kun vuonna 2008 se oli jo noussut 4,0 miljoonaa m<sup>3</sup> (Ylitalo [www] 2008.). Vuonna 2006 metsähakkeen keskihinta oli 12,0 €/MWh.

**Taulukko 4.1.2.** Kuoren, purun ja metsähakkeenhintalaitoksella €/MWh. (Energia Suomessa 2004)

	Kuori	Puru	Metsähake
1995	5,5	5,3	11,0
1999	6,0	6,3	8,8
2000	5,9	6,5	9,0
2001	6,8	6,9	9,4
2002	7,6	7,1	10,2

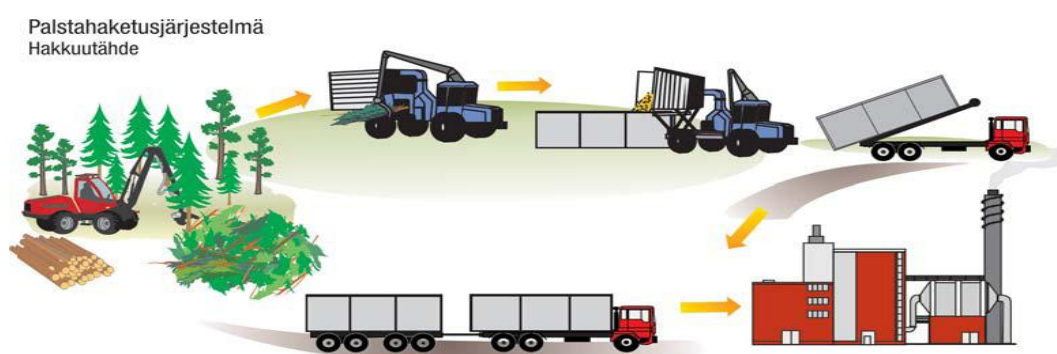
Metsähakkeesta maksettavissa oleva hinta määräytyy metsähakkeen tuotantotuen, korvattavan polttoaineen hinnan ja päästöoikeuden hinnan perusteella. Yleisin korvattava polttoaine on kivihiili. Metsähakkeen tuotantotuki 6,9 €/MWh (Helynen et al. 2007). Metsähakkeen hinta on vaihdellut voimakkaasti metsäteollisuuden mukana, kun taas hiilen hinta on ollut vakaampi. Toisaalta päästöoikeuden hinta vaihtelee myös muutamasta eurosta 30 euroon hiilidioksiditonnia kohden. Hiilen poltosta voidaan laskea syntyvän hiilidioksidia keskimäärin 92,71 g/MJ kohden (Hämäläinen et al. 2006). Kuitupuulle (kosteus 40 %) hinnat olivat 16,0–24,5 €/MWh riippuen puulajista. Suomessa halutaan turvata ensiksi metsäteollisuuden ainespuu ennen energiakäyttöä eikä ainespuun energiakäyttö ole nykyisillä puun ja sähkön hinnoilla kannattavaa. Kuten aiemmin on todettu, näiden välille ei voida vetää selkeää rajaa.

## 4.2 Energiapuun korjuu

Energiapuun korjuutavat ovat tärkeä osa koko bioenergiaketjun kannattavuutta. Bioenergian korjuu ja kuljetus metsästä käyttöpaikalle luovat merkittävän kustannuserän ja näin vaikuttavat suoraan puuenergian kilpailukykyyn. Ne myös luovat suurimman osan bioenergian vähäisistä hiilidioksidipäästöistä, koska kuljetusautot ja keruu vievät energiaa ja niistä syntyy hiilidioksidipäästöjä, koska metsäkoneet ja kuljetus autot toimivat vielä pääosin fossiilisilla polttoaineilla. Nykyisin energiapuun korjuu tapahtuu pääosin päätehakkuun yhteydessä, jolloin kerätään ainespuuksi kelpaamaton puuaines talteen. Tulevaisuuden korjuumuodot tulevat kehittymään. Erityisesti kantojen noston yleistyessä tarvitaan sitä varten omaa kalustoa. Tällä hetkellä kantojen nosto tapahtuu kaivinkoneella, jossa on neljä piikkinen kaivin. Samoin

harvennuspuiden keruu tulee kehittymään, koska sitä ei voida tehdä järeillä koneilla vahingoittamatta tukkipuiksi kasvamaan jäävää metsää. Energiapuun keräyksessä pitää ajatella koko tuotantoketjun kannattavuutta.

Energiapuun korjuuketjulle on erilaisia vaihtoehtoja: Palstahaketus, välivarastohaketus ja käyttöpaikkahaketus sekä välivarasto- ja käyttöpaikkahaketuksen välimuoto terminaalihaketus. Korjausvaihtoehdot ovat esiteltynä seuraavissa kuvissa. Riippuen puun kuljetusmatkasta ja hakettavasta määrästä eri vaihtoehdot ovat kannattavia. Palstahaketuksessa energiapuu haketetaan keräyspaikalla, mutta kuljetaan ensiksi hakkeena tienvarteen ennen maantienkuljetusta. Palstahaketus soveltuu huonosti vaikeakulkuihin maastoon. Sen etuna on, että metsähakkeeseen ei kerry epäpuhtauksia kuljetuksen aikana. Palsta haketusta ei enää käytetä Suomessa. Palstahaketus on esitettynä Kuvassa 4.2.1.



*Kuva 4.2.1. Palsta haketusjärjestelmä (Hakkila 2004)*

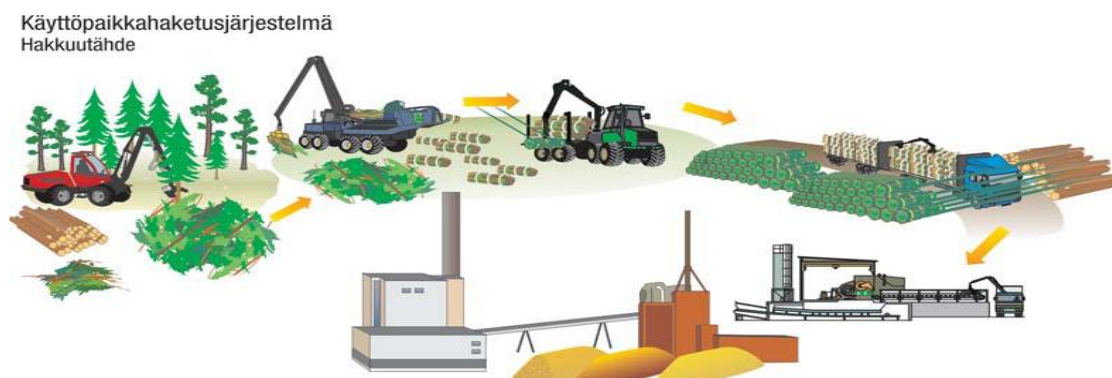
Välivarastohaketuksessa eli tienvarsihaketuksessa energiapuu kuljetetaan tienvarseen, josta hake siirretään kuljetukseen käyttöpaikalle. Välivarastohaketus on esitettynä Kuvassa 4.2.2. Tämä on yleisin käytössä oleva tapa, mutta se vaatii runsaasti tilaa tienvarressa. Tämä soveltuu useimpiin käyttötilanteisiin, sillä monissa maastoissa palstahaketus ei ole mahdollinen. Etuja ovat, että hake saadaan suoraan kuljetusautoon ja kuljetaan vähemmän tilaa vievänä käyttöpaikalle. Välivarastohaketusta voidaan tehdä myös kokopuulle tai käyttää hakkuriautoa, mikä huolehtii sekä haketuksesta että kuljetuksesta.



*Kuva 4.2.2. Välivarastohaketus. (Hakkila 2004)*



Käyttöpaikkahaketuksessa puu vain pakataan kuljetusta varten käyttöpaikalle, jossa se vasta haketetaan. Tämä haketusmuoto on esitettyä Kuvassa 4.2.3. Tällöin energiapuu esimerkiksi paalataan kuljetusta varten. Paalaus ei ole järkevää lyhyillä kuljetusmatkoilla. Nämä paalit sisältävät energiaa yhden megawattitunnin ja painoa niissä on 500–700 kg (Kuitto 2005). Haketus voidaan tehdä joko polttoaineterminaalissa, joka on käytössä suurilla voimalaitoksilla, tai juuri ennen polttoa murskaimessa. (Kiema et al. 2005)



**Kuva 4.2.3.** Käyttöpaikka haketus. (Hakkila 2004)

Terminaalihaketus on käyttöpaikka- ja välivarastohaketuksen yhdistelmä. Siinä hake kuljetetaan terminaaliin. Terminaalit toimivat puskurivarstoina ja niitä voidaan yhdistää turpeentuotannon kanssa. Niiden määrän oletetaan lisääntyvän puun ja turpeen energiakäytön lisääntyessä. Terminaalihaketus toimii erittäin hyvin kantojen haketukseen, missä se on toiseksi yleisin haketusmuoto, yleisin on käyttöpaikka, kantojen suuren koon ja hankalan muodon vuoksi. Siinä hakettava kuljetetaan lyhyehkö matka ja kuljetetaan hakkeena varsinaiselle käyttöpaikalle. Tällä hetkellä VTT:llä on Jyväskylässä menossa tutkimus bioterminaalien tuomista hyödyistä bioenergian käytölle (Bioenergia.fi [www] 2009).

Korjuu kustannukset ovat kalleimpia ensiharvennuksille, josta syntyy pientä puuta, joka ei kelpaa ainespuuksi. Lisäksi oksat vaikeuttavat käsittelyä ja pienkokoinen puu on hyvin oksikasta verrattuna runkomassaan. Nuorien metsien hoito tapahtuu hyvin pitkällä aika välillä ja riippuu hyvin paljon metsänomistajasta. Alkuvaiheen hakkuut tähtäävät enemmän metsänhoidollisiin parannuksiin kuin puun tuotantoon hakkuun yhteydessä. Alkuvaiheen hakkuut lisäävät kumminkin puuntuotantoon myöhemmissä hakkuissa. Usein energia puun hankinta kytkeytyy edelleen teollisuuden puuraaka-aineen hankintaa ja päätehakkuiden hakkuutähde kuljetetaan pois uudistus töiden tieltä. (Korpilahti 1994)

Haketusmuodon valinnan taloudellinen kannattavuus riippuu koosta. Perinteisin välivarastohaketus on kannattavin suurilla bioenergian korjuualoilla. Välivarasto haketuksen välivarastoa kasvattamalla tuottavuus nousee selvästi. Pienillä aloilla odotusajat nousevat kustannuksia ja näin näillä aloilla kannattavin on

monitoimihakkurilla toteutettava palstahaketus. Monitoimihakkurilla voidaan sekä hakettaa että kuljettaa hake. Tällöin kuljetusmatka käyttökohteeseen pitää olla lyhyt. (Ikäheimo & Asikainen 1998)

### 4.3 Puupohjaisten polttoaineiden ominaisuudet

Puun ominaisuuksia voidaan määrittää usealta eri kannalta. Energiakäyttöön hyödyntämisen kannalta tärkeimmät ominaisuusselvitykset ovat teknillinen analyysi, alkuainekoostumus, lämpöarvo ja tuhkan sulamiskäyttäytyminen. Teknisissä analyyseissä selvitetään puun kosteus, kiinteiden aineiden ja tuhkan osuus. Ne ovat tärkeitä polttoaineen laatua määritettäessä. Myös puuaineen alkuainekoostumus sekä pienien raskasmetallien osuuden selvitetään ympäristösyistä. Tuhkan sulamiskäyttäytyminen on tärkeää kattilan kuonaantumisen ja likaantumisen kannalta. (Alakangas 2000)

Puun vesipitoisuuteen vaikuttaa puulaji, kasvupaikka ja puun ikä. Vesipitoisuus vaihtelee merkittävästi eri puuenergiamuotojen välillä. Vesipitoisuus vaikuttaa merkittävästi teholliseen lämpöarvoon ja sitä kautta käyttäytymiseen kattilassa.

Yleisimpien puuenergiamuotojen vesipitoisuudet ovat:

- Kuori 60 %
- Sahanpuru 55 %
- Tuorepuu 50–60 %
- Metsätähde 35–45 %
- Runkopuu 25–40 %
- Pilke 25 %
- Puupuriste 8–10 %. (Alakangas 2000)

### 4.3.1 Puupohjaisten polttoaineiden laatuluokitukset

Puupolttoaine luokitellaan laadullisesti sen energiatiheyden, kosteuspitoisuuden ja partikkelikoon mukaan. Kosteuspitoisuus ja partikkelikoko ovat ne laatuominaisuudet, joihin hakkeen tuottajat ja käyttäjät kiinnittävät huomiota (Impola 2002). Nämä vaikuttavat eniten energiatihyteen irtokuutiometriä kohden. Lisäksi energiahakkeen hinnoitteluperuste on €/MWh. Laatuluokitukset ovat esitettynä Taulukossa 4.3.1.1.

*Taulukko 4.3.1.1. Puupolttoaineiden laatutaulukko (Raiko et al. 2002)*

	Hake	Puru	Kuori
Energiatiheys saapumistilassa MWh/i-m <sup>3</sup> vähintään			
E1	0,9	0,7	0,7
E2	0,8	0,6	0,6
E3	0,7	0,5	0,5
E4	0,6	0,4	0,4
Kosteuspitoisuus % enintään			
K1	40	30	50
K2	50	50	50
K3	60	60	60
K4	65	65	65
Partikkeli koko 95 % < mm			
P1	30	5	60
P2	45	10	100
P3	60	20	200
P4	100	30	repimätön

Metsähakkeen palakoko laitoksilla on usein luokkaa P2, useasti jopa P1. Hakkeen partikkelikoon tasalaatuisuus on parantunut rumpuhakkureiden käyttöönoton myötä. Kosteuspitoisuus vaihtelee vuodenajan mukaan. Pienet laitokset tarvitsevat kosteuslaatuluokitusta K1, mutta satojen megawattien laitokset pystyvät hyödyntämään korkeampiakin kosteuspitoisuuksia. (Impola 2002)

### 4.3.2 Lämpöarvo

Lämpöarvoista voidaan määrittää sekä kalorimetrinen että tehollinen. Kalorimetrinen on ylempi lämpöarvo, jossa veden haihtumiseen kuluva energia ei ole huomioitu kun se taas otetaan huomioon tehollisessa eli alemmassa lämpöarvossa. Polttoaineen lämpöarvo voidaan määrittää sen alkuainekoostumuksen perusteella. Puun, kuoren ja turpeen alkuainekoostumukset ovat esitettyinä Taulukossa 4.3.2.1. Kaavan (1) perusteella kostealle kiinteälle tai nestemäiselle polttoaineelle lämpöarvo (H) on:

$$H = 34,8 \cdot m(C) + 93,8 \cdot m(H_2) + 10,5 \cdot m(S) + 6,3 \cdot m(N_2) - 10,8 \cdot m(O_2) - l \cdot m(H_2O)$$

jossa  $l$  = veden höyrystymislämpö (2443 kJ/kg, kun  $t=15^\circ\text{C}$ )

Kaava on johdettu palavien komponenttien ja hapen välisten reaktioiden reaktiolämmöstä ja sen virhe on alle 2 %. (Huhtinen et al. 1994)

**Taulukko 4.3.2.1.** Puun, kuoren ja turpeen alkuainekoostumukset (Huhtinen et al. 1994)

Polttoaine	C	H <sub>2</sub>	S	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Puu	50,4	6,2	–	42,5	0,5
Kuori(kuusi)	50,6	5,9	–	40,2	0,5
Jyrsinturve	55,0	5,5	0,2	32,6	1,7

Puun tehollinen lämpöarvo on 18,3–20,0 MJ/kg, mikä on pieni verrattuna muihin polttoaineisiin. Tämä selittyy sillä, että puusta 84–88 p-% on haihtuvia ainesosia. Haihtumattomia ainesosia ovat tuhkaaja kiinteä hiili. Kotimaisten puiden (kuusi, mänty ja koivu) koostumus on 40–45 p-% selluloosaa ja 25–40 p-% hemiselluloosaa. Lisäksi puiden sidosainetta eli ligniiniä on havupuilla 24–33 p-% ja lehtipuilla 16–25 p-%. (Alakangas 2000)

### 4.3.3 Hakkuutähdehakkeen, sahanpurun, kuoren ja kantomurskeen ominaisuudet

Hakkuutähdehake on yleensä hakkurilla pilkottua hakkuutähdettä päätehakkuista. Kuten muillekin puupohjaisille polttoaineille merkittävin tekijä on hakkeen kosteus. Hakkeen palakoko vaihtelee merkittävästi. Hakkeelle määriteltävä ominaisuus on tiiveys, joka kuvaa sen tilavuuksien suhdetta eli kiintotilavuuden suhdetta irtotilavuuteen. Palakokoon vaikuttavat hakkurin tai murskaimen monet ominaisuudet ja käytettävä raaka-aine. Hakkuutähdehakkeen kosteuteen vaikuttaa myös merkittävästi korjuun vuodenaika. (Alakangas 2000)

Metsähakkeen ominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi käytetäänkö ruskeahaketta vai vihreähaketta. Vihreähake on kuivaamatonta haketta ja sisältää myös neulaset tai lehdet, joiden polttokäyttäytyminen on ongelma ja joihin on sitoutunut myös suurin osa kosteudesta. Taulukossa 4.3.3.1. on esitettyä vihreähakkeen ja ruskeahakkeen ominaisuudet, ja siitä voidaan huomata, että kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo vaihtelee samalla välillä, mutta tehollisessa lämpöarvossa on huomattava ero. Molemmissa hakelaaduissa esiintyy silti suuria eräkohtaisia vaihteluita. Metsähakkeen käyttöongelma on juuri suuri vaihtelevuus ja sitä kautta prosessin mitoittaminen.

**Taulukko 4.3.3.1. Hakkuutähdehakkeen ominaisuudet. (Kuitto 2005)**

	Vihreähake	Ruskeähake
Koostumus %		
*puuainetta	40	yli 60
*kuorta	23	alle 30
*neulasia	37	alle 10
tyyppikosteus p-%	50–65	30–45
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineesta MJ/kg	18,5–20,5	18,5–20,5
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	6–9	10–15
Irtotiheys saapumistilassa kg/ i-m <sup>3</sup>	250–400	265–300
Energiatiheys MWh/ i-m <sup>3</sup>	0,7–0,9	0,8–1,0

Sahanpurun lämpöarvo on hyvin tasainen kuiva-aineessa, mutta vaihtelee saapumistilassa kosteuden vaihtelun vuoksi. Sahanpuru on hyvin homogeenista verrattuna kuoren ja metsähakkeeseen. Sahanpurulle riittää myös kysyntää puupuristeiden pellettien ja brikettien raaka-aineena. Kuori sisältää luonnostaan enemmän kosteutta kun puuaines. Kuoren lämpöarvo on varsin korkea koska se sisältää

paljon lingiiniä. (Alakangas 2000) Taulukossa 4.3.3.2. on esitettyinä sahanpurun, kuorimurskeen ja kantomurskeen ominaisuudet.

**Taulukko 4.3.3.2.** Sahanpurun, kuorimurskeen ja kantomurskeen ominaisuudet. (Kuitto 2005)

	Sahanpuru	Kuorimurske	Kantomurske
Tyypikosteus p-%	50–60	50–65	35–50
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa MJ/kg	19–19,2	18,5–30	18,5–20
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineesta MJ/kg	6–10		8–13
Irtotiheys kg/i-m <sup>3</sup>	250–300	250–350	180–300
Energiatiheys MWh/i-m <sup>3</sup>	0,4–0,7	0,5-0,7	0,7–1,0
Tuhkapitoisuus ka %	0,4–0,5	1–3	1–3

Kuoren hävikki on kuorinta prosessissa pieni ja lisäksi kuoren sekaan joutuu koneellisessa kuorintaprosessissa puuta. Vähäinen hävikki syntyy puunkorjuussa ja hävikki kuoresta, kun kuoreen sekaan joutuu kattilaan kelpaamattomia aineita esimerkiksi hiekkää. Kuoren kosteus nousee luontaisesta korkeasta kosteudesta mikäli käytetään märkäkuorintaa tai kuorta säilötään ulkona. Kosteuden lisäksi kuoren ongelma polttoprosessin kannalta on kuoren tuhkapitoisuus, joka on puuaineeseen verrattuna moninkertainen. Kuorettomassa puuaineessa tuhkaa on vain 0,4–0,5 %, mutta puhtaassa kuoressa sitä on puulajista riippuen 2–4 %. Käytännössä kuorintatähteestä jäävän laitostuhkan osuus saattaa nousta jopa yli 5 %:n, koska kuori likaantuu tuotantoprosessissa. (Hakkila 2004)

#### 4.4 Kattilan kestävyys ominaisuuksiltaan vaihtelevalla polttoaineella

Biopolttoaineiden poltto käsittelemättömänä luo suuri haasteita kattilamateriaaleille. Biopolttoaineen laatu ja koostumus vaihtelee suuresti. Se aiheuttaa kattilalle ongelmia varsinkin tulistinmateriaalien korroosion sietokyvyssä. Biopolttoaineita on poltettu pääosin polttoaineseoksena, jolloin osa turpeesta tai fossiilisesta polttoaineesta on pyritty korvaamaan biopohjaisella. Myös biopolttoaineiden saatavuus ja ominaisuudet vaihtelevat vuodenajan mukaan. Kostea hakkuutähdehaketta pystytään polttamaan suurissa voimalaitoksissa läpi vuoden, jos kattila on suunniteltu kostealle polttoaineelle (Alakangas 2000).

Tuoreet biopolttoaineet sisältävät paljon alkaleja ja varsinkin ensiharvennuksista saatavan lehtipuun osat sisältävät runsaasti alkaleja. Korkean vesipitoisuuden lisäksi vihreähake tuottaa ongelmaa polttoprosessissa neulasten sisältävien happamien ainesosien vuoksi. Vihreähake aiheuttaa kuonaantumista ja korroosiota kattilamateriaaleissa. Nopeakasvuisuutensa ja ainespuuksi kelpaamattomuutensa vuoksi pajua on kaavailtu tulevaisuuden energiapuuksi. Sen ongelmana ovat sen sisältävät alkalit, jotka aiheuttavat kattilamateriaaleille korroosiota. Biopolttoaineen poltto vaatii kattiloiden kehittymistä ja fossiiliselle ja turpeelle soveltuvia materiaaleja kalliimpia materiaaleja. Seospoltto tulee olemaan aluksi merkittävä. Laajemmalla polttoaineella käytöllä saavutetaan myös huoltovarmuutta.

Biopolttoaineet soveltuvat paremmin leijukerrospoltoon kuin perinteiseen arinapoltoon. Leijukerrospoltto on kehitetty vaihtelevalle palakoolle ja ominaisuuksille, minkä vuoksi se soveltuu hyvin biopolttoaineisiin. Arinapolton soveltumattomuuden suurin este on polttoaineen kosteus. Leijukerroskattilat soveltuvat erittäin hyvin lämmön- ja sähkön yhteistuotantoon ja tällöin saadaan erittäin hyvä kokonaishyötysuhde, vaikka sähkölle saadaankin pienempi hyötysuhde. Teollisuuden kohteiden huipunkäyttöaika on lähes 6000 h kun yhdyskuntien vain 4500 h, johtuen kesäajan pienemmästä lämmöntarpeesta. Yhteiskuntien vaihteleva polttoaineentarve tuo haasteensa polttoaineen hankinnalle. (Hakkila 2004)

Leijupoltto mahdollistaa polttoaineen suuretkin laatuvariaatiot. Leijupoltto voidaan toteuttaa kuplivassa leijukerrossa tai kiertoleijutuksessa. Leijupoltto auttaa hallitsemaan typenoksidien muodostumista ja lisää näin polton ympäristöystävällisyyttä. Leijukattilan lämpötila vaihtelee 750–950 C välillä. Lämpötilan ylärajan on oltava alhaisempi kuin käytettävän polttoaineen tuhkan sulamislämpötila. Leijutuksen eri tyyppien keskeisin ero on leijutusmateriaalien halkaisija ja leijutusnopeus. Kuplivan leijupolton leijutusnopeus on matalampi kuin kiertoleijutuksen leijutusnopeus. Kupliva leijupoltto mahdollistaa myös märän polttoaineen käytön. (Raiko et al. 2002)

Turpeen ja puun yhteispoltoilla voidaan saavuttaa useita etuja. Kun laitoksen käytössä on laaja polttoainevalikoima ja useita polttoainelähteitä, kuljetusetäisyydet ja -kustannukset supistuvat. Metsähaketta käytetään edellä todetusti yhdyskuntien lämmöntuotantoon, jolloin sen laadullisiin vaatimuksiin ja polttoaineen tarpeeseen syntyy ongelma, että metsähakkeen kosteus on usein liian korkea talvella, kun kattilalta vaaditaan täyttä tehoa. Turpeen kosteus on alhaisempi, talvellakin 40–45 %, jolloin sillä on suurempi tehollinen lämpöarvo. Täten kattilatehoa voidaan nostaa lisäämällä turpeen osuutta polttoaineseoksessa. (Hakkila 2004)

Lisäksi seospoltto auttaa hallitsemaan turpeen polton hiilidioksidi- ja rikkipäästöjä sekä metsähakkeen polttoon liittyviä kattilan likaantumista ja kuumakorroosiota. Erityisesti turve soveltuu hyvin seospoltoon sen tuhkan partikkelien reagoidessa metsähakkeen tuhkan kanssa. Tämä vähentää epäsuotuisten yhdisteiden muodostumista kattilassa ja parantaa molempien polttoaineiden käyttömahdollisuuksia. Lisäksi saavutetaan ratkaisu edellä todettuun puupolttoaineiden säilyvyysongelmaan. Tämä parantaa huoltovarmuutta, koska turve soveltuu paremmin säilömiseen. (Hakkila 2004)

Puun, kuoren ja turpeen ominaisuuksia on esitettyä Taulukossa 4.4.1. Käytännössä kuoren polttoa haittaa korkea kosteus ja tuhkapitoisuus. Mutta koska se on syntyvä jäte, sen polttaminen on enemmin jätteen hävitystä kuin energiantuotantoa. Kuoren poltto-ominaisuuksia voidaan parantaa käyttämällä sitä seospoltossa. Myös sahanpuru on syntyvä jäte ja senkin ominaisuudet parantuvat seospoltolla.

**Taulukko 4.4.1** Puun, kuoren ja turpeen ominaisuuksia polttotekniikan kannalta ( Raiko et al. 2002)

Ominaisuus	Puu	Kuori	Turve
Kosteus %	30–45	40–65	40–55
Tuhka %	0,4–0,5	2–3	4–7
Haihtuvat aineet %	84–88	70–80	65–70
Kalorimetrinen lämpöarvo MJ/kg	21	20	21,6
Tehollinen lämpöarvo MJ/kg	19,5	19	20,4
Tuhkan sulamislämpötila °C	1200	1340–1405	1030–1260

Tuhkan sulamislämpötilalla on tärkeä merkitys kattilan kuonaantumiseen ja likaantumiseen. Tuhkan sulamiskäyttäytymiseen vaikuttavat tuhkan koostumus, polttolaitteet ja poltto-olosuhteet mm. paine ja lämpötila. Tuhkan sulamislämpötilan määrittäminen on täysin empiiristä (Raiko et al. 2002). Kuonaantuminen tapahtuu tulipesän säteilyalueella kun likaantuminen puolestaan tuhkaa konvektio-osassa. Konvektio-osan lämpötila on alhaisempi ja siellä tuhka on usein kiinteää. (Alakangas 2000)



## 5. METSÄBIOENERGIAN EDELLEEN JALOSTUS ENERGIÄKÄYTTÖÖN

Tulevaisuudessa fossiilisia korvaavien energialähteiden kysyntä tulee kasvamaan. Tarvitaan nestemäistä polttoainetta korvaamaan öljyä, kaasumaista korvaamaan maakaasun käyttöä ja hyvin säilyvää ja energiasisällöltään tiiviimpää kiinteää polttoainetta korvaamaan hiiltä. Metsäenergiasta kehitteillä olevia teknologiota ovat mm. kaasutus, nestemäiset biopolttonesteet kuten pyrolyysiöljy ja hakkeen paahtaminen paahtohiileksi. Näillä on tarkoituksena saada jalostettu biopolttoaine vastaamaan ominaisuuksiltaan fossiilisia polttoaineita, jolloin niitä voitaisiin käyttää nykyisissä voimalaitoksissa, joissa nyt käytetään fossiilisia polttoaineita. Nestemäisillä polttoaineilla taas tulee riittämään kysyntää liikennepolttoaineena. Biomassan jalostus ei sulje pois sen käyttöä myös jalostamon polttoaineena. Jalostamattoman bioenergian polttaminen on järkevää joissakin käyttökohteissa, kuten hajautetussa lämmöntuotannossa. Jalostus lisää biomassan käyttökohteita.

### 5.1 Paahtohiili

Puun paahtaminen (engl. torrefaction) on yksi kehitteillä olevista tekniikoista. Mikäli sitä pystytään valmistamaan taloudellisesti kannattavasti, on se yksi lupaavimmista tekniikoista hyödyntämään bioenergiaa laajemmin sekä nykyisessä laitoskannassa. Puuhiilellä pyritään pienempään vesipitoisuuteen ja parempaan säilyvyyteen verrattuna puuhun.

Puun jalostamisella paahtohiileksi haetaan puun polttomahdollisuutta jo rakennetuissa kivihiilivoimaloissa ja lisäksi saadaan polttoaineelle parempi säilyvyys ja kuljetettavuus. Paahtohiili eroaa jo jalostettavasta puuhiilestä eli grillihiilestä, että se valmistetaan matalammassa lämpötilassa ja siitä poistetaan vain haihtuvat. Puuhiiltä jalostetaan Suomessa pienessä mittakaavassa kotitalous käyttöön (Alakangas 2000). Tällä hetkellä kivihiili on hyvän säilyvyytensä takia polttoaineena keskitehovoimalaitoksissa. Torrefiointi on termokemiallista aineen ominaisuuksien muuntamista.

Paahtohiilen valmistusta on eniten kehitetty Alankomaissa. Se olisi erittäin lupaava tekniikka Keski-Eurooppaan, jossa sitä voitaisiin polttaa nykyisissä voimalaitoksissa kivihiilen seassa vaihtelevina prosentteina polttoaineesta ja näin vähentää hiilidioksidipäästöjä. Suomen vientiä haittaavat välimatkoista aiheutuvat kuljetuskustannukset Paahtohiilen laivakuljetukset Eurooppaan olisivat mahdollisuus viennille. Oletettavasti Suomessa puuhiilen käyttö jää vähäiseksi, sillä Suomessa on

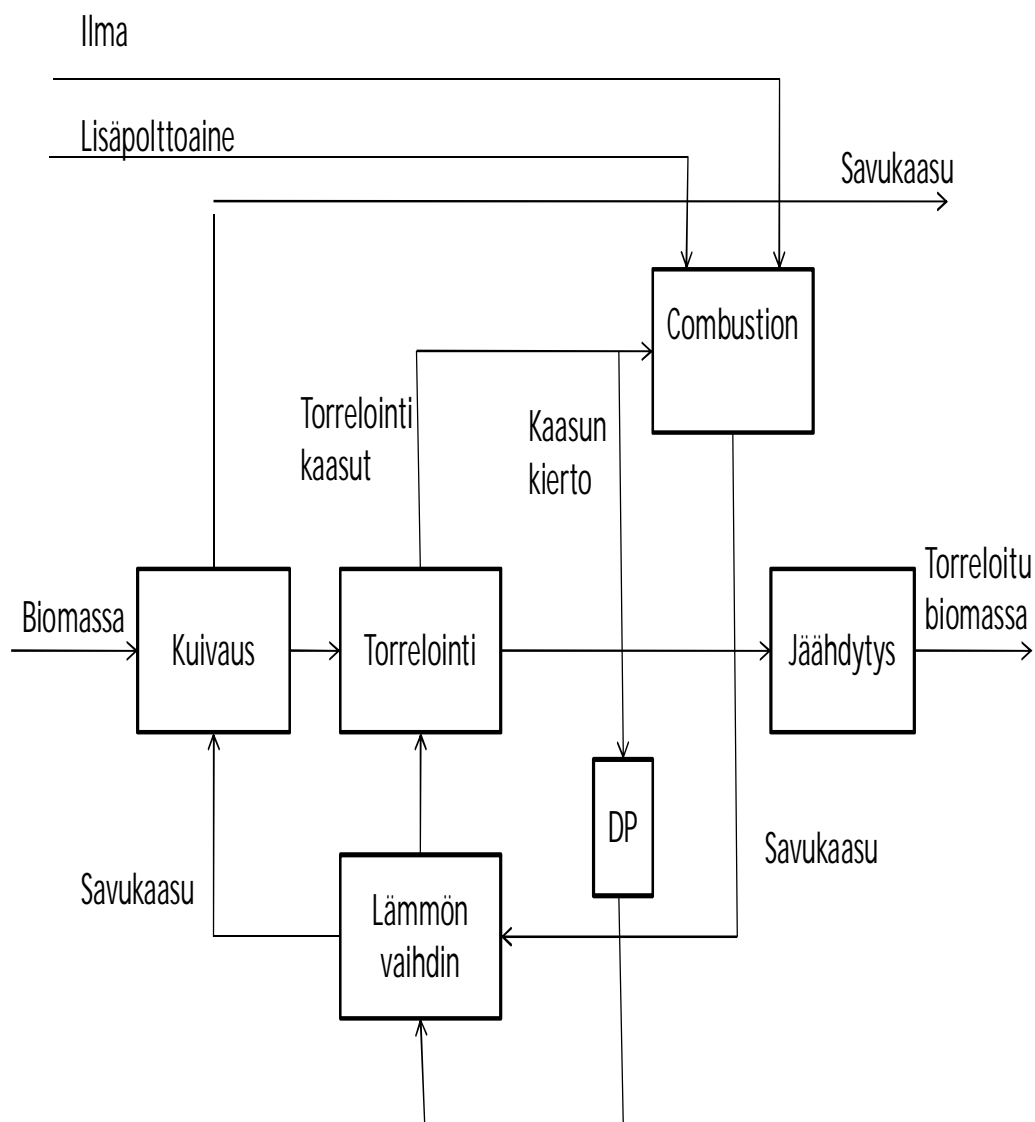
paljon voimalaitoksia, joissa voidaan polttaa ominaisuuksiltaan vaihtelevia polttoaineita.

Puuhiilen tiheyteen vaikuttaa käytetty polttoaine ja palakoko. Kotimaisten puulajien tiheydet hiilenä ovat tyypillisesti:

- Koivun 160–170 kg/m<sup>3</sup>
- Männyn 130–140 kg/m<sup>3</sup>
- Kuusen 110–120 kg/m<sup>3</sup>

Puuhiilen kosteus on yleensä alle kymmenen prosenttia, Tuhkaa on muutama prosentti, mutta jos prosessiin on joutunut epäpuhtauksia, tuhkaa voi olla yli kymmenen prosenttia. Toisaalta se on silti alhainen verrattuna kivihiileen, jonka tuhkapitoisuus on keskimäärin noin viisitoista prosenttia. (Alakangas 2000)

Torrefiointireaktiossa puu lämmitetään 200 ja 270 °C välille, jolloin se menettää merkittävän osan sitomastaan vedestä (Girardet et al. [www] 1984). Näissä lämpötiloissa puun lämpökäsittelyllä muutetaan selluloosan, hemiselluloosan sekä ligniinin välistä sitoutumista (Granö 2009). Raaka-aineena voidaan käyttää erilaisia biomassoja. Erittäin soveltuvia raaka-aineeksi ovat hakkuutähde, kuori ja puru. Myös puuperäisestä jätteestä voidaan valmistaa puuhiiltä. Prosessi on hidas ja sen käsittelyaika riippuu käytetystä raaka-aineesta ja vain hyvin vähän partikkelikoosta. Lisäksi laitteiston ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi lopputuotteen ominaisuuksiin. (Hämäläinen et al.2006).



**Kuva 5.1.1.** Biomassan torrelointiprosessi (Torrefaction...[www] 2008)

Kuvassa 5.1.1 on esitettyä prosessin pääkohdat. Biomassa kuivataan ennen hiiltämistä savukaasulla. Lopuksi lopputuote jäähdytetään. Prosessin lopputuotteen pelletointi on yksi kehitteillä oleva parannus torreloinnin lopputuotteen käytettävyydelle (Bergman & Kiel [www] 2005). Puuhiilen pelletoinnissa yhdistettäisiin puristaminen muuhun prosessiin, jolloin viilennys tapahtuisi vasta tuotteen puristamisen jälkeen, eikä tuotetta tarvitsisi kuumentaa uudelleen tätä varten (Hämäläinen et al. 2006). Tällöin vesipitoisuus tippuisi, mutta ennen kaikkea polttoaineen tiheys kasvaisi. Mikä lisäisi energiasisältöä polttoaineen tilavuutta kohden.

Torrefioitu puu muistuttaa ominaisuuksiltaan kivihiihtä ja sitä voidaan käyttää samoissa murskaimissa sekä kestää ulkosäilytyksen. Kuvassa 5.2.2 on torrefiotuapuuta.



*Kuva 5.2.2. Torrefioutu puu (Torrefaction...[www] 2008)*

Keväällä 2009 oli käynnissä kuusi projektia tuotteen kehittämiseen maailmalla. Yksi projekti on Ruotsissa Uumajassa muun biomassan kehityksen yhteydessä. Toinen on ECN:n, ECOCERNIN:n JA CHEMFO:n yhteisprojekti Euroopassa, joka on pysähtyksissä yleisen taloustilanteen vuoksi. Pohjoismaissa Torrefech Group on alkamassa rakentamaan Pohjoismaissa voimalaitosta, jonka suunniteltu kapasiteetti on 60 000 tonnia valmista polttoainetta vuodessa. Englantilainen yritys Air System Ltd omistaa maailmanlaajuisesti patentoidun tekniikan. American Refining & Biochemical kehittää Pennsylvaniassa myös 60 000 tonnia vuodessa tuottavaa voimalaitosta. Pienenä toimijana on latinalaisesta Amerikasta Bioware. (Granö 2009)

## 5.2 Puupohjainen biodiesel

Biodieselin kehittämiseksi puuenergiasta luo tarvetta Euroopan unionin vaatimus, että vuoteen 2020 mennessä kymmenen prosenttia liikenteen polttoaineista pitää olla biopohjaisia. Fossiilisista polttoaineista mineraaliöljy on kallein ja nopeimmin vähentyvä, joten sille korvaavan polttoaineen löytäminen olisi tärkeää. Nykyiset biopolttoaineet ovat ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita eli niitä valmistetaan elintarviketuotantoon kelpaavista raaka-aineista kuten palmuöljystä. Öljyn korkea maailmanmarkkinahinta nostaa biodieselistäkin maksettavissa olevaa hintaa. Lisäksi liikennesovellukset tulevat toimimaan vielä kauan nestemäisellä polttoaineella.

Suomella on erinomaiset kehittämismahdollisuudet biodieseliin puusta metsävarojen lisäksi, sillä suomalaiset teollisuusyritykset panostavat tuotekehitykseen. Vuonna 2010 on päästy vasta 5,75 % biopohjaista polttoainetta osuus liikenne polttoaineista, joka on vain puolet EU:n tavoitteesta. Puupohjainen biodiesel olisi tähän mahdollisuus, koska se ei ole vielä kaupallisessa käytössä. Biodiesel tulee samaan verohelpotuksia ja investointitukea valtiolta. Biodieseliä ovat kehittämässä teollisuusyrityksistä metsäteollisuusyhtiö UPM Oyj ja öljy-yhtiö Neste Oil Oyj. Biodieselistä kehitetään erityisesti raskaan liikenteen polttoainetta, jossa diesel on yleistynyt. (Pursula [www] 2010)

Varkauteen on rakennettu ensimmäinen yhden megawatin koelaitos. Laitos on Stora Enson ja Neste Oilin yhteistyöhanke. Koelaitoksessa käytetään VTT:n kehittämää kaasutus ja kaasunpuhdistustekniikkaa. Puudieselin etuja olisi, että se ei veisi peltopinta-alaa ruokakasveilta eikä vaatisi palmuöljyn tuontia, joka on nykyisen biodieselin pääraaka-aine. (Raunio 2007)

Toinen käynnisteillä oleva hanke on Metsäliiton ja Vapon yhteistyöhanke. Tällä hetkellä on käynnissä ympäristövaikutusten arviointi Kemissä, Äänekoskella, Jönköpingissä Ruotsissa ja Viron Kundassa. Molemmat toimijat ovat jo vanhoja bioenergia-alalla ja saivat hyvin käyttöönsä tarvittavaa raaka-ainetta. Laitoksella käytettäisiin BtL (Biomass to Liquid) tekniikkaa. Siinä tuotteen reagoivat aluksi vedyksi ja hääksi (CO). Kaasut ohjataan katalysoituun Fischer–Tropsch -reaktoriin, jossa ne muodostavat kemiallisella reaktiolla nestemäistä hiilivetyä. (Bio ... [www] 2009)

### 5.3 Pyrolyysiöljy

Pyrolyysiöljy on kehitteillä oleva toisen sukupolven nestemäinen biopolttoaine eli sen valmistus ei vie peltopinta-alaa ruuan tuotannolta. Sen kehittämisen suurimmat tavoitteet ovat sen ympäristönäkökohdat. Pyrolyysiöljyt ovat keskenään epähomogeenisia, joten niiden aineominaisuudet vaihtelevat paljon eri tuotantoerien välillä. Sen aineominaisuudet eroavat mineraaliöljystä eikä se sekoitu niihin. Pyrolyysiöljyn tuotekehityksen suurimmat haasteet ovat säilyvyys ja alhainen pH. Se ei ole vielä kaupallisessa tuotannossa, mutta sen tuotantoon tarvittava tekniikka ja tuotekehitys ovat jo hyvin pitkällä. Se olisi myös lupaava kemianteollisuuden raaka-aine.

Pyrolyysi on termokemiallista aineen hajoamista. Pyrolyysi on kiinteän aineen muuntuminen lämmöntuonin takia kaasuksi ja tervaksi (Raiko et al. 2002).. Keskeisin piirre pyrolyysille ovat hyvin vähähappiset tai hapettomat olosuhteet. Ennen pyrolyysia aineen lämmitessä siitä haihtuu kosteutta ja kiinteä aines alkaa sulaa. Pyrolyysiin vaikuttavat useat aineominaisuudet. (Pahkala 2005)

Pyrolyysi on tunnettu Suomessa jo esiteollisella ajalla tervan tuotannon yhteydessä. Sen tutkimus on noussut uudestaan 1980-luvulla kehitettäessä öljylle korvaavaa biopohjaista nestemäistä polttoainetta. Kehitys alkoi ensiksi USA:ssa sekä Kanadassa myöhemmin EU:n alueella (Solantausta 1994). Pyrolyysiöljyn kaupallinen tuotanto vaatii vielä paljon tuotekehitystä. Suomessa on eniten tutkittu männyn soveltuvuutta raaka-aineena. Sen tuotanto- ja käyttömahdollisuudet ovat monipuolisia. Sen haittoina ovat epästabiilius, korkea vesipitoisuus ja aineominaisuuksien merkittävä eroavaisuus raakaöljyyn.

Pyrolyysiöljyn ominaisuuksista käyttöä haittaa eniten sen epästabiilius. Tämä ilmenee öljyjen paakkuuntumisena lämpötilan muuttuessa ja ajan kuluessa (Sipilä et al. 1998). Pyrolyysiöljy ei ole homogeeninen tuote. Sen ominaisuudet riippuvat paljon sen raaka-aineesta, viipymisajasta ja lämpötilasta reaktorissa. Siinä on jopa 50 p-% happea, johtuen suuresta vesimäärästä 15–30 p-% (Sipilä et al. 1998).

Pyrolyysiöljyn fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet eroavat täysin fossiilisesta raakaöljystä ja siitä jalostetuiden tuotteiden ominaisuuksista (Solantausta 1994). Se ei myöskään sekoitu näihin, joten sitä ei voida käyttää biolisänä niin kuin monia muita biopohjaisia. Taulukossa 5.3.1 on esitettyä pyrolyysiöljyn ja mineraaliöljyn ominaisuuksia.

**Taulukko 5.3.1. Pyrolyysiöljyjen ja mineraaliöljyjen ominaisuudet (Alakangas 2000)**

	Pyrolyysiöljyt		Mineraaliöljyt	
	Koivu	Mänty	Kevyt	Raskas
Kiinteät p-%	0,06	0,03	–	–
pH	2,5	2,4	–	–
Kosteus, p-%	18,9	17	0,025	<7
Viskositeetti(50 °C), cSt	28	28	6	140–380
Tiheys, kg /dm <sup>3</sup>	1,25	1,24	0,89	0,9–1,02
Tehollinen lämpöarvo MJ/kg	16,5	17,2	40,3	39,5
Tuhka, p%	0,004	0,03	0,01	0,01

Pyrolyysin avulla voidaan muuttaa kiinteitä huonosti säilyviä biopohjaisia polttoaineita, kuten sahanpurua ja metsähaketta nestemäiseksi polttoaineeksi. Toisaalta pyrolyysiöljyn säilyvyys on ongelmallista nykytekniikalla. Nykyisellä teknologialla pyrolyysilla voitaisiin korvata pääosin raskasta polttoöljyä lämmityskäytössä. Se ei ole nykyisellä teknologialla liikennepolttoaine (Häyrynen 2006). Sen käytössä on ollut ongelmana korroosio epästabiiliuden ohella. Käytössä olevista öljypolttimista saadaan pyrolyysiöljylle soveltuvia tekemällä niihin pieniä muutoksia. Polttimien mitoittaminen aineominaisuuksiltaan vaihtelevalle tuotteelle on haastavaa. Öljyn happamuus luo soveltuville materiaaleille rajoitteita, myös pyrolyysiöljyn huono säilyvyys on ongelma moniin öljypoltinsovelluksiin.

## 5.4 Metsäbiomassan kaasutus

Metsäbiomassan kaasutus on myös kehitteillä oleva vaihtoehto luoda kaasumaista polttoainetta. Biomassan kaasutusta kehitellään enemmän muista biomassoista kuin metsän biomassasta. Kaasutustekniikka on myös kehitelty metsäbiomassalle ja mustalipeälle.

Biomassan kaasutus on kiinteän biomassan termokemiallista muuntamista kaasuoletuotoon, rajoittamalla reaktiossa mukana olevaa happea biomassassa ei pala vaan kaasuuntuu korkeassa lämpötilassa. Biokaasutus voidaan jakaa alhaisiin, keskikorkeisiin ja korkeisiin lämpötiloihin. Kaasutuslämpötila vaikuttaa lopputuotteeseen. Alhaisissa lämpötiloissa eli alle tuhannen Celsius asteen lämpötiloissa tuotettua kaasua kutsutaan tuotekaasuksi. Korkeissa lämpötiloissa eli yli 1200 °C lämpötiloissa tuotettua kaasua kutsutaan biosynteesikaasuksi. Korkean lämpötilan kaasu koostuu lähes ainoastaan vedystä ja hiilimonoksidista. Keskikorkeat lämpötilat ovat luonnollisesti näiden väliin jäävät 1000–1200 °C lämpötilat. (Granö 2008b)

Biomassankaasutusta voidaan käyttää sähkötuotannossa pienessä kokoluokassa puolesta megawattista kymmeneen megawattiin. Tällöin ei ole tarkoituksena valmistaa kaasua vaan sähköä ja lämpöä johon kaasu toimii välituotteena, joka heti käytetään. Kaasutuksella saavutetaan korkeampi hyötysuhde kun biomassan polttamisella, mutta investointi on varsin kallis. Kaasutusprosessiin liittyy aina kaasunpuhdistus. Biomassa sisältää fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna vähän epäpuhtauksia ja monet epäpuhtaudet voidaan ajaa prosessin läpi olosuhteita säätämällä. (Energia Suomessa 2004)

Kaasua voidaan polttaa erikokoisissa voimalaitoksissa, sähköksi, lämmöksi tai niiden yhteistuotteeksi. Yhteistuotanto on kannattavinta suuren mittakaavan voimalaitoksissa. Myös kaasunpuhtaus asettaa rajoitteita turbiinivoimalaitoksille. Kaasu voidaan edelleen jalostaa vedyksi tai liikennepolttoaineeksi. Kaasuttimia on kehitetty useita erilaisia ja niidenkin valinta perustuu kaasutettavan tuotteen määrään. Edellä esitetty nestemäinen biodiesel perustuu nykytekniikalla aluksi kaasuksi tuottamiseksi. Biokaasun valmistuksessa suurissa voimalaitoksissa on tyypillisesti kuplapeti, jonka yleisimmät tyypit ovat BFB (Bubbling Fluidized Bed) eli kupliva leijukerros ja CFB(Circulation Fluidized Bed) eli kiertävä leijukerros (Granö 2008a)

Biomassa pitää ennen kaasutusta kuivata. Nykytekniikka vaatii että kaasutukseen menevän biomassassa kosteus on 25–40 %. Kehitteillä on reaktoreita, joissa kosteus voisi olla 45 %, mutta se on silti huomattavasti vähemmän kun tuoreen biomassan kosteus. Biomassaa voidaan kuivata luonnollisesti tai kuivaimella. Yleisimpiä kuivaimia ovat tasapohjakuivain, siilokuivain, rumpukuivain, hihnakuivain ja monihihnakuivain. Kaikki kuivaimet perustuvat lämpimän kuivan ilman syöttöön, mutta biomassan kuljetus ja sijoittelu kuivaukseen vaihtelee kuivaintyyppin mukaan. (Granö 2008c)

Mahdollisuutta mustalipeän kaasutukseen on tutkittu. Mustalipeästä 20–30 % on vettä, jonka määrä riippuu haihdutustekniikasta, joten sen tehollinen lämpöarvo on varsin alhainen 12–13 MJ/ kg kuiva-aineesta (Raiko et al. 2002). Kaasutus parantaisi



huomattavasti sen tehollista lämpöarvoa. Kehitteillä on kaksi eri prosessia korkealämpötila- ja matalalämpötilaprosessit. Korkealämpötilaprosessissa kaasutuslämpötila on yli 950 °C. Matalalämpötilaprosessissa kaasutuslämpötila on 700 °C tai vähemmän. Matalalämpötilaprosessi tapahtuu kierto-leijutuksessa. Korkealämpötilaprosessissa epäorgaaniset yhdisteet poistuvat sulana kun taas matalalämpötilassa kiinteinä. Kaasutuksen etuja soodakattilapoltoon verrattuna ovat hyötysuhteen nouseminen 5–10 %, päästöjen vähentyminen ja turvallisuuden parantuminen räjähdysriskin poistuessa. Eniten on kehitetty Chemrec kaasutinta. (Hepola & Kurkela 2002). Mustalipeän kaasutukseen käytetään yleisimmin EF(Entared Flow)–Kaasutinta (Granö 2008a).

Biokaasun tehollinen lämpöarvo on alhaisempi kuin maakaasun. Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineesta maakaasulle on 35,6 MJ/m<sup>3</sup> ja biokaasun tehollinen lämpöarvo vaihtelee 14,4–21,6 MJ/m<sup>3</sup> välillä (Alakangas 2000). Tämä vaikuttaa käyttöön ja erityisesti säilöntään ja kuljetukseen, koska samaan energiamäärään tarvitaan huomattavasti suurempi tilavuusvirta.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkastelu kulmat olivat lähinnä taloudellisilla ja biologisilla näkökulmilla. niiden tarkastelu näkökulmat ovat sekä yhteneviä että eriäviä. Monimuotoisuuden tarkastelu on tehty lähinnä luonnollisten ravinteiden säilymisen, metsän uusiutumisen ja metsän monimuotoisuuden kannalta. Monimuotoisuuden tarkastelu on hankalampaa kuin taloudellisen käytön tarkastelu. Taloudellisessa tarkastelussa on selkeänä mittarina rahamäärä.

Monimuotoisuus on tärkein osa kestävästä metsätaloudesta, jossa yhdistyy taloudellinen, ekologinen ja sosiaalinen kannattavuus. Sosiaalisista vaikutuksista Suomessa työllisyyttä voidaan pitää merkittävimpänä, mutta myös luonnon käyttöarvo virkistyksessä on suomalaisille tärkeää. Suomen metsäteollisuus elää muutoksen aikaa. Suomessa on vahva teknologinen osaaminen. Suomessa yrityksetkin panostavat tuotekehitykseen. Suomen metsien potentiaalia ja suomalaisten osaamista voitaisiin juuri nyt hyödyntää bioenergian tuottamiseen kehittämiseen.

Metsäbioenergian merkitys primäärienergiälähteenä on merkittävä. Sillä korvataan nykyisin fossiilisia polttoaineita lämmitys- ja liikennekäytössä. Se on liian kallista hyödynnettäväksi lauhdekäyttöön, mutta soveltuu hyvin korvaamaan nykyisten CHP-voimalaitosten fossiilisia polttoaineita. Metsäbioenergia korvaa ensisijaisesti fossiilisia polttoaineita ja toissijaisesti muita sähköntuottomuotoja. Nykyisiä hyötykäyttötapoja voitaisiin parantaa hyötysuhdetta kasvattamalla ja jalostamalla metsän bioenergiälähteistä fossiilisia polttoaineita korvaavia polttoaineita. Esimerkiksi nestemäisen polttoaineen kysyntä liikennesovelluksissa tulee säilymään.

Suomessa on alkanut kestävä metsätalouden kausi. Siirtymäkausi tehostetusta metsätaloudesta kohti kestävästä metsätaloudesta on alkanut 1990-luvun lopulla, sillä muutokset metsissä tapahtuvat hyvin pitkällä aikajänteellä. Metsien muuttumisen kestävämpään suuntaan mahdollistivat uudistetut lait ja Kansallinen metsäohjelma. Lisäksi on ollut käynnissä pienempiäkin ohjelmia, joilla on ollut merkitystä paikallisella tasolla. Metsänomistajien oma halukkuus hoitaa metsiään kestävästi on tärkeä osatekijä, sillä kuten edellä on todettu, Suomen metsistä suurin osa on yksityisomistuksessa, ja hakkuista valta-osa tapahtuu niissä.

Tulevaisuudessa metsienkäyttö tulee olemaan tarkemmin ohjattua ja valvottua. Metsänhoito-yhdistysten merkitys tulee kasvamaan paikallisina toimijoina, koska metsänomistajien kaupunkilaisuus ja koulutustaso tulevat lisääntymään entisestään. Myös eläkeläisten osuus metsänomistajista on ollut kasvava. Jolloin omistajilla ei ole aikaa eikä taitoa hoitaa metsiään, joten ostetut metsänhoitopalvelut tulevat tukemaan metsänsijaintialueen työllistymistä. Metsien tarkoitus on tuottaa omistajalleen voittoa. Kestävä metsätalous nähdään usein tätä vähentävänä tekijänä. Nykyisellään avohakkuu on kannatta-

vin tapa saada uudistamisikään tulleesta metsästä hyvä hinta, sillä nykyisillä hinnoilla tukkipuun hinta on huomattavasti korkeampi kuin kuitu- ja energiapuun hinta. Metsäenergian kysynnän kasvaessa energiapuusta maksettava hinta kasvaa ja näin metsänomistajakin saa myymästään puusta paremman korvauksen. Nykyisin korvaus on pieni ja tuo vain vähän lisätuloja päätehakkuun tukki- ja kuitupuun tuoton lisäksi.

Energiakäyttöön on hyödynnetty ainespuun korjauksesta puuta, joka ei kelpaa ainespuuksi mittojen tai laadun mukaan. Tämä on ollut tavallaan ylijäämä puuta ja sen määrä on ollut riippuvainen metsäteollisuuden puun tarpeesta. Kasvavaan puun energiakäytön koti- ja vientimarkkinoiden tarpeeseen pitää kehittää suoraan metsästä saatavan bioenergian määrää.

Puuenergian lähitulevaisuuden kysymyksiä ovat korjaustuet ja järkevät kuljetusetäisyydet. Keväällä 2010 ydinvoimapäätösten yhteydessä nousivat esiin muut hiilidioksidipäästöttömät energialähteet ja ”risupaketiksi” nimetty bioenergian korjaustuki. Tämä olisi suoraa tukea bioenergian käytön lisäämiselle. Toisaalta valtion tuki energiamuodolle vääristää markkinoiden luonnollista kilpailutilannetta. Kuten työn poltto-osuudessa todettiin puunpolton tarvitsevat polttoteknisiltä kannalta turvetta, on turpeen verotuksen keventäminen osittain hyvä asia bioenergian käytön kannalta. Toisaalta se saattaa johtaa pelkkään turpeen käyttöön. Myös korjauskalustoa pitää kehittää laajempaa korjuuta varten, varsinkin nuorista edelleen kasvatettavista metsistä tapahtuvaa bioenergian korjuuta varten.

Metsäteollisuuden merkitys Suomen vientitaselle on merkittävä. Viennin vähentyessä perinteisten paperituotteiden osalta voidaan jalostetuista biopolttoaineista ja biopolttoaineisiin liittyvästä tietotaidosta ja osaamisesta voidaan tehdä vientituote erikoispaperituotteiden rinnalle. Suomen viennin laajentuessa, perinteisen tavaran viennin rinnalla tiedon ja osaamisen vientiä voidaan kasvattaa erityisesti bioenergiassa ja erikoispaperituotteissa.

Puuenergian sosiaaliset merkittävyydet työllistävyydessä korostuvat, sillä työllisyyden lisävaikutukset tulevat Itä- ja Pohjois-Suomeen. Valtaosa Suomen metsistä, joiden käyttöä energiakäyttöön voitaisiin lisätä, sijaitsevat suurilla työttömyysalueilla eli Pohjois- ja Itä-Suomen haja-asutusalueilla. Varsinkin lämpöyrittäjyys lisää yrittämisen mahdollisuuksia haja-asutusalueilla, eivätkä siihen sidottavat pääomat ole kovin suuria. Lisäksi sosiaalisia vaikutuksia ovat metsistä saatava virkistys ja matkailukäyttö.

Myös yksi lähitulevaisuuden kysymys on: Tulisiko bioenergian edelleen jalostaa vai polttaa suoraan. Kuten tässä työssä on esitetty, niin bioenergian suora poltto kattiloissa ei ole ongelmatonta. Niiden polttotekniikkaa on kehitetty ja kehitetään edelleen esimerkiksi kattilamateriaaleja kestävämpään paremmin korroosiota, sekä polton laajentamista suurempiin kattiloihin, jotka pystyvät paremmin käsittelemään kosteaa polttoainetta. Niiden jalostaminen on kallista ja syö osan energiasta. Jalostuksen etuna on, että vanhaa laitospantaa pystytäisiin käyttämään käyttöään loppuun bioenergialla fossiilisten polttoaineiden sijaan. Lisäksi jalostettu bioenergia olisi helpommin kuljetettavissa ja säilöttävissä. Sillä puupohjaisen bioenergian säilyvyys on huono, luontaisen hajoamisen vuoksi, sekä puuainees pyrkii imemään ilman kosteutta itseensä.

Jalostusmenetelmien kehitys vie aikaa ja vaikka osia on kehitetty jo useiden vuosikymmenien ajan niiden saaminen laajaan kaupalliseen käyttöön vie aikaa. Paahtopuu eli torrefiotu puu on lupaava kivihiilen korvikkeen tuotantomenetelmä, yhtä lailla kuin pyrolyysiöljy ja biodiesel korvaamaan nestemäisiä polttoaineita. Metsästä saatavan bioenergian etuja on, että se ei vie peltopinta-alaa ruuan tuotannolta ja voidaan näin sanoa sen olevan toisen sukupolven biopolttoaine.

Biomassan kaasutus on vähiten tutkittu ja biokaasua voidaan saada myös kaatopaikoilta ja muista käyttökohteista., joten siinä on muitakin vaihtoehtoja kuin metsien bioenergia. Maakaasun korvaaminen ei ole niin pian tuleva ongelma kuin öljyn saatavuus ja hinta ja päästöt. Nestemäisten polttoaineiden korvaaminen liikennekäyttöön on nopeimmin nouseva tarve korvata uusiutuvalla. Kaasutuksen haittoina on vielä hyvin kallis hinta verrattuna maakaasuun se, että maakaasu on alkuainekoostumukseltaan ja täten lämpöarvoltaan varsin homogeenista. Kaasutus on lupaava ratkaisu siirtää metsien bioenergiaa Itä- ja Pohjois-Suomesta rannikon kaupunkeihin. Biokaasun siirtoon voidaan käyttää nykyistä maakaasuverkostoa, mutta tämä on vasta kaukaisessa tulevaisuudessa.

Pienissä voimalaitoksissa, joissa metsähake kerätään lähialueelta, suora poltto tulee varmaankin säilymään. Toisaalta suuret voimalaitokset kestävät paremmin polttoaineen laatuvaihtelut. Pieniä voimalaitoksia puoltaa se, että bioenergia saadaan lähimetsistä suoraan käyttöön. Sen sijaan, että se kuljetettaisiin edelleen jalostettavaksi ja jalostettuna takaisin. Suurissa voimalaitoksissa tulistinmateriaalien jatkokehitys on yksi bioenergian polton mahdollisuuksia lisäävätekijä.

Vaikka talousmetsien käyttö teollisuuden ainespuuna säilyisi merkittävimpanä talousmetsien käyttökohteena, niin yksi energiantuotannon ja monimuotoisuuden yhteensopivia kehitysmahdollisuuksia olisi nuorissa kasvatettavissa metsissä tukkupuiden välissä kasvatettava lehtipuu energiakäyttöön. Nykyinen koneellinen puunkorjuu tapa on tehokas päätehakkuisiin, mutta hakkuutapojen kehitys kasvatusmetsissä suoritettavaan energiapuun keräykseen olisi yksi kehiteltävissä oleva vaihtoehto. Tämä lisäisi metsien monimuotoisuutta eri-ikäisen puuston ja sekametsän muodossa ja loisi mahdollisuuden tehokkaammalle taloudelliselle hyödyntämiselle. Tämä tietenkin edellyttäisi myös, että energiapuusta pystytettäisiin maksamaan hintaa joka kattaisi korjuu ja kuljetuskustannukset ja pienentymisen päätehakkuiden tuotossa.

Toisaalta, jos metsäteollisuus pysyy vahvana riittää ainespuun kysyntää laajemmin ja energiapuun keräys vientiin asti voi olla ongelmallista, jos omiinkaan kasvaneisiin tarpeisiin ei saada tarpeeksi energiapuuksi jäävää puuainesta. Riittävyyden ongelmia ovat mm. kuljetusmatkat, keräys ja se kannattaako metsää köyhdyttää eli keräämällä kaikki, esimerkiksi kantojen keräys on nykyisellä tutkimustiedolla ristiriitaista ja lahopuun jättäminen metsään on monimuotoisuuden kannalta erittäin tärkeää.

Toisaalta, on otettava huomioon vaihtoehto, jossa metsäteollisuus vähentyy vielä merkittävästi Suomessa, jolloin voi syntyä puun ylitarjontaa. Tässä tilanteessa todennäköisesti ekologisesti metsiä hoitaneet metsänomistajat ottavat paremman myyntiaseman markkinoilla. Heillä on mahdollisuus pyytää puusta kunnon hintaa, koska puu on myös

ekologisesti laadukasta. Tämäkin skenaario pitää ottaa huomioon, jos metsäteollisuus vähenee huomattavasti Suomessa.

Monimuotoisuuden ja taloudellisuuden yhteensovittaminen on aloitettu ja alustavat tulokset ovat positiivisia, mutta kehitystarvetta riittää vielä pitkään tulevaisuuteen. Eniten merkitystä on metsänomistajien halukkuudellaan hoitaa metsiään monimuotoisesti. Erityisesti Metso-ohjelman suosio on ollut odotettua suurempaa. Suomen metsien suojelun ongelma on juuri painottuminen taloudellisesti heikommille alueille, aivan Pohjoisimpaan Suomeen. Tällä lisätään myös taloudellisesti arvokkaiden alueiden suojelua. Metsänomistajien pitää nähdä se muutenkin kuin taloudellisessa merkityksessä järkeväksi tavaksi toimia, vaikka Metso-ohjelma perustuu korvauksien antamiseen suojelusta. Toisaalta tämän diplomityön lähtökohta, jossa pari vuotta sitten tehty strategia piti uusia, osoittaa, että alan tulevaisuuden ennustus on hyvin hankalaa.

## 7. YHTEENVETO

Suomen metsissä on suuri bioenergian korjauspotentiaali. Suomen metsäteollisuus on rakennemuutoksessa, mikä tulee vaikuttamaan metsien hyödyntämiseen. Tarvetta bioenergian käytön lisäämiselle tuovat päästöraajat fossiilisille polttoaineille sekä niiden varojen vähentyminen. Metsien bioenergia on hyvä mahdollisuus korvata erityisesti lämmityskäyttöön polttoaineena fossiilisia polttoaineita. Metsäbioenergian etuja ovat sen käytön monipuolisuus ja polttoaineen kotimaisuus ja uusiutuvuus.

Metsien suojeleminen ja sitä kautta monimuotoisuus metsissä on Suomessa kehittymässä hyvin. Metsissä tapahtuvat muutokset ovat pitkäaikaisia eikä näin esimerkiksi lehtipuun määrää saada lisättyä vain parilla kasvukaudella: Myös metsänomistajien tietoisuuden lisääntyminen kestää ja monimuotoisuuden kasvaminen on pitkälti heidän vastuulla. Suomessa toimii monia kansallisia ja paikallisia ohjelmia lisäämään monimuotoisuutta, joista merkittävin on kansallinen metsäohjelma.

Metsistä kerättävän bioenergian suora poltto on ongelmallista vesipitoisuuden ja sen myötä alhaisen tehollisen lämpöarvon vuoksi. Lisäksi bioenergian monivuotinen säilyvyys on huono. Sen vuoksi bioenergiasta yritetään kehittää fossiilisia polttoainetta korvaavia tuotteita, jolloin niitä voitaisiin polttaa samoissa voimalaitoksissa kun nykyisin fossiilisia polttoaineita. Kehitteillä olevia ja vähän testattuja tekniikoita ovat paahtopuuhiili, pyrolyysiöljy, biodiesel ja biomassan kaasutus. Biopolttoaineiden jalostus on kallista investointien ja tuotekehityksen osalta, ja se sitoo osan biopolttoaineesta saatavasta energiasta. Biopolttoaineelle on lupaavia suoria käyttökohteita, joista laajin on lämpöpöyrittäjäys pienissä kunnissa, sillä biomassan korjuualueet sijaitsevat haja-asutusalueilla. Toisaalta poltto suurissa laitoksissa on polttoteknisesti järkevämpää.

## LÄHTEET

- Aalto, A. [www]. 2010. Kansallinen uusiutuvan energian toimintasuunnitelma. 14.4.2010. TEM. 27 s. Saatavissa: [http://www.puuenergia.fi/files/2010\\_14\\_4\\_kansallinen\\_uusiutuvan\\_energian%20toimintasuunnitelma\\_aimo\\_aalto.pdf](http://www.puuenergia.fi/files/2010_14_4_kansallinen_uusiutuvan_energian%20toimintasuunnitelma_aimo_aalto.pdf). [viitattu 10.4.2010]
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. T2045. Espoo. 172s.
- Alakangas, E., Erkkilä, A., Fyktmann, M. Helynen, S., Hillebrand, K., Kallio, M., Lappalainen, I., Marjaniemi, M., Nysted, Å., Oravainen, H., Puhakka, A., Virkkunen, M. 2007. Puupolttoaineen pienkäyttö. Tekes. Helsinki. 80s.
- Annala, E. 1998 Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliraportti. Metsätutkimuslaitos. 335s.
- Bergmann, P., Kiel, J [www]. 2005. Torrefaction for biomass upgrading. 8s. Saatavissa: <http://www.techtp.com/recent%20papers/ECN-Torrefaction%20for%20biomas%20upgrading%20-2005.pdf>. [viitattu 25.3.2010].
- Bio Diesel hanke [www]. 2009. Metsäliitto ja Vapo. Saatavissa: <http://www.biodieselhanke.fi/fi/>. [viitattu 12.5.2010]
- Bioenergia.fi. [www]. 2009. Hankehakemistot. Päivitetty 15.12.2009. Saatavissa: [http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/hankeet\\_ja\\_rahoitus/hankehakemisto/](http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/hankeet_ja_rahoitus/hankehakemisto/) [viitattu 6.7.2010]
- Energia Suomessa. 2004. VTT prosessit. 3. täysin uudistettu painos. Edita. Helsinki 359s.
- Finbio [www] 2008. Bioenergiaa lisää 50 TWh- Nykyisestä 100 TWh-150TWh. 17.6.2008. Saatavissa: <http://www.finbio.fi/default.asp?sivuID=25583&component=/modules/bbsView.asp&recID=12146>. [viitattu 26.4.2010]
- Girard, P, Shah, N [www]. 1984. Develements of Tororrified Wood an Alternative To Charcoal for Redurecting Deferestation. [viitattu 25.3.2010]. Saatavissa: [http://techtp.com/tw%20papers/fao\\_paper.html](http://techtp.com/tw%20papers/fao_paper.html).
- Granö, U-P. 2008a. Uusiutuva energia – Vihreä energia. JY. Projekti info 7. 4 s.

Granö, U-P. 2008b. Fossiilinen kaasu ja biomassasta saatava kaasu. JY. Projekti info 8. 2 s.

Granö, U-P. 2008c. Kaasutukseen tarkoitetun metsähakkeen jälkikuivaus. JY. Projekti info 14. 5 s

Granö, U-P. 2009. Biopolttoaineen torrefiointi. JY. Projekti info 39. 3 s.

Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologia ohjelma 1999–2003. Loppuraportti. VTT prosessit. Helsinki. 135s.

Hakkila, P. 1994. Biomassatase ja energiapuu kertymä. Teoksessa: Bioenergia. VTT. Bioenergia tutkimusohjelma Jyväskylä. ss. 55-65.

Heinonen, P., Karjalainen, H., Kaukonen, M., Kuokkanen, P. 2005. Metsätalouden ympäristöopas. Metsähallitus. 2. painos. Edita. Helsinki. 140s.

Helynen, S. Flyktmann, M. Asikainen, A. Laitila, J. 2007. Metsätalouteen ja metsäteollisuuteen perustuvan energialiiketoiminnan mahdollisuudet. VTT. T2397. Espoo. 72s.

Hepola, J. & Kurkela, E. 2002. Energiatuotannon tehostaminen fossiilisiin ja uusiutuviin polttoaineisiin perustuvassa tuotannossa. VTT Tiedotteita 2155. Espoo. 65.s.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., Pakkanen, H. 1994. Höyrykattilatekniikka. 2. painos. Edita. Helsinki. 304s.

Hämäläinen, E. & Heinimö, J. 2006. Esiselvitys puupolttoaineen jalostamisesta torrefiointitekniikalla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 21s.

Hänninen, R., Sevola, R. 2009. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2009–2010. Metsäntutkimuslaitos. 57s.

Häyrynen, M. 2006. Puu muuttuu nesteeksi ja hajoaa. Metsäntutkimus. 1/2006. ss.22–26.

Ikäheimo, J. Asikainen, A. Puupolttoaineen tuotantomenetelmien tuottavuus ja kustannukset. Bioenergian tutkimusohjelma. Loppuraportti. Joensuu.36s.

Impola, R. 2002. Metsähakkeen laatukartoitus. VTT. T6505. Jyväskylä. 42s.



Islander, A [www]. 2009. e10Suomenmetsävarat. Metsäteollisuus. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu/Tilastokuviotvanhat/Metsavarat/Forms/AllItems.aspx>. [viitattu 21.3.2010].

Kaila, S. Salpakivi-Salonmaa, P. 2004 Metsätalouden toimija ja kestäväkehityksen periaate. Teoksessa: Kuuluvainen, T. Saaristo, L. Keto-Tokoi, P. Kostamo, J. Kuuluvainen, J. Kuusinen, M. Ollikainen, M. Salpakivi-Salonmaa, P. 2004. Metsän kätkoissä-Suomen metsäluonon monimuotoisuus. ss. 210–214. Edita. Helsinki.

Kangas, J. & Kokko, A. 2001. Metsän erikäyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 800. Gummerus Oy. Jyväskylä. 366s.

Kansallinen metsäohjelma 2015. 2008. MMM julkaisuja 3/2008. 43s.

Kiema, M., Pasanen, K., Parviainen, J. 2005. Bioenergian logistiikka. Loppuraportti. 81s. Saatavissa: [http://envi.uku.fi/ienvi2/files/iEnvi2\\_BIOLOG\\_loppuraportti.pdf](http://envi.uku.fi/ienvi2/files/iEnvi2_BIOLOG_loppuraportti.pdf). [viitattu 18.5.2010].

Korpilahti, A. 1994. Tulokset puupolttoaineiden tuotantotekniikan tutkimuksista. Teoksessa: Bioenergia. VTT. Bioenergia tutkimusohjelma Jyväskylä. ss. 33–44..

Kuitto, P. J. 2005. Metsästä biopolttoaineeksi Tuotannon puolivuosisataa. FINBIO. Jyväskylä. 274s.

Kuuluvainen, T. Järppinen, J-P., Kivimaa, T., Rassi, P. Salpakivi- Salomaa, Siitonen, J. 2004a. Ihmisen vaikutus Suomen metsiin. Teoksessa: Kuuluvainen, T. Saaristo, L. Keto-Tokoi, P. Kostamo, J. Kuuluvainen, J. Kuusinen, M. Ollikainen, M. Salpakivi-Salonmaa, P. 2004. Metsän kätkoissä-Suomen metsäluonon monimuotoisuus. ss. 119–141. Edita. Helsinki.

Kuuluvainen, T., Mönkönen, M. Keto-Tokoi, P. Kuusinen, M., Aapala, K., Tukia, H. 2004b. Metsien monimuotoisuuden turvaamisen perusteet. . Teoksessa: Kuuluvainen, T. Saaristo, L. Keto-Tokoi, P. Kostamo, J. Kuuluvainen, J. Kuusinen, M. Ollikainen, M. Salpakivi-Salonmaa, P. 2004. Metsän kätkoissä-Suomen metsäluonon monimuotoisuus. ss.142–191. Edita. Helsinki.

Marttila, V., Grandholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatukia, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R., Paunio, M. 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisu 1/2005.Vammalan kirjapaino. Vammala. 276s.

Metsälaki 12.12.1996/1093.

Niskanen, A., Donner-Amnell, J., Häyrynen, S., Peltola, T. 2008. Metsän uusi aika. Joensuun Yliopisto. Tammerpaino. 272s.

Laitila, J., Ala-Fossi, A., Vartiamäki, T., Ranta, T., Asikainen, A. 2007. Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus Metsäntutkimuslaitos. 26s.

Luonnonsuojelulaki 20.12.1996/1096.

Ojanperä, K. 2010. Metsäteollisuus myllää epäonnistuneen strategiansa uuteen muottiin. Artikkel. Tekniikka ja Talous. 95853 (2010). 21. ss.2–3.

Pahkala, H. 2005. Pyrolyysi-ioniliikkuvuusspektrometrian käyttö bioaineiden detekoinnissa. Diplomityö. 76s.

Parviainen, J., Västilä, S., Suominen, S. 2007. Suomen metsät 2007. Kestävän metsätalouden kriteereihin ja indikaattoreihin perustuen. MMM. 99s.

Peltola, A. 2009. Metsätilastollinen vuosikirja 2009. Metsäntutkimuslaitos. Vammalan kirjapaino. Sastamala. 452 s.

Pursula, T. [www]. 2010. Edelläkävijä markkinat ja innovaatiotoiminta – Puupohjainen biodiesel. Gaia Consulting Oy. Keskustelutilaisuus 17.5.2010. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/27112/Puubiodiesel\\_Tiina\\_Pursula\\_Gaia\\_Consulting.pdf](http://www.tem.fi/files/27112/Puubiodiesel_Tiina_Pursula_Gaia_Consulting.pdf). [viitattu 7.7.2010]

Raiko, R. Saastamoinen, J. Hupa, M. Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. 2.painos. Cummerus Oy. Jyväskylä. 676 s.

Raivio, S [www]. 2010. Mitä on biodiversiteetti?. Metsäteollisuuden tietopalvelu. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/biodiversiteetti/Sivut/default.aspx>. [viitattu 12.4.2010].

Rantala, S. 2005. Metsäkoulu. Metsäkustannus Oy. 2. painos. Karisto Oy. Hämeenlinna. 271s.

Raunio, H. 2007. Biodiesel syntyy myös metsästä. Tekniikka ja talous. 22.3.2007.

Sipilä, K., Oasmaa, A., Arpiainen, V., Nieminen, M., Solantausta, Y. 1998. Pyrolyysiöljyn valmistus, ominaisuudet ja käyttö. Loppuraportti. VTT. 14s+ liitteet.

Solantausta, Y., Gust, S. 1994. Polttonestetuotanto biomassata. Helsinki. KTM. Katsauksia B:185. 118s+liit.11s.

Torrefaction- A New Process In Biomass and Biofuel. [www]. 2008. New Energy and Fuel. 19.11.2008. Saatavissa:

<http://newenergyandfuel.com/http://newenergyandfuel.com/2008/11/19/torrefaction-%E2%80%93-a-new-process-in-biomass-and-biofuels/>. [viitattu 12.5.2010]

YLE [www].2009. Puun uitto käy täysillä 25.06.2009. Saatavissa:

[http://yle.fi/alueet/savo/2009/06/puun\\_uitto\\_kay\\_taysilla\\_826332.html](http://yle.fi/alueet/savo/2009/06/puun_uitto_kay_taysilla_826332.html) [viitattu 18.5.2010.]

Ylitalo, E.[www] 2008. Puun energiakäyttö 2007. Metsäntutkimuslaitos. Metsätilastotiedote 15/2008.Metsätilastollinen tietopalvelu. Saatavissa:

<http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2008/puupolttoaine2007.html> [viitattu 27.4.2010]