



Teknillinen tiedekunta/Energia- ja ympäristötekniikan osasto  
En2010200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

## **BIOENERGIAN JA TUULIVOIMAN ROOLI KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN RAJOITTAMISEKSI**

Lappeenrannassa                      25.4.2007  
Pasi Tainio    0261592                      Ente3

# SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	3
2 TAUSTAA.....	4
2.1 Ilmaston lämpeneminen.....	5
2.2 Kioton pöytäkirja ja YK:n ilmastopimus.....	6
2.3 Päästökauppa.....	7
3 ENERGIAN TUOTANTO JA KULUTUS.....	7
3.1    Energian tuotanto Suomessa.....	8
3.1.1 Sähkön erillistuotanto.....	8
3.1.2 Lämmön tuotanto.....	8
3.1.3 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto.....	8
3.2 Energian kulutus.....	9
4 BIOENERGIA.....	10
4.1 Liikenteen biopolttoaineet.....	10
4.2 Puupolttoaineet.....	11
4.3 Peltobiomassa.....	12
5 KIERRÄTYSPOLTTOAINEET.....	12
5.1 Kotitalousjäte.....	12
5.2 Teollisuusjäte.....	13
6 BIOENERGIAN NYKYINEN KÄYTTÖ JA LÄHITULEVAISUUDEN NÄKYMÄT.....	13
6.1 Bioenergia Suomessa.....	13
6.2 Bioenergia Euroopassa.....	14
6.3 Bioenergia muualla maailmassa.....	15
7 TUULIVOIMA.....	16
7.1 Tuulivoiman nykyinen käyttö ja lähitulevaisuuden näkymät.....	16
7.1.1 Tuulivoima Suomessa.....	16
7.1.2 Tuulivoima Euroopassa.....	17
7.1.3 Tuulivoima muualla maailmassa.....	18
8 PALJONKO BIOENERGIALLA JA TUULIVOIMALLA ON SAAVUTETTAVISSA?.....	19
8.1 Bioenergian edut ja haitat.....	19
8.2 Bioenergian mahdollisuudet.....	19
8.3 Tuulivoiman mahdollisuudet.....	20

8.4 Kasvihuonekaasupäästöt .....	21
9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET.....	24

## LÄHDELUETTELO

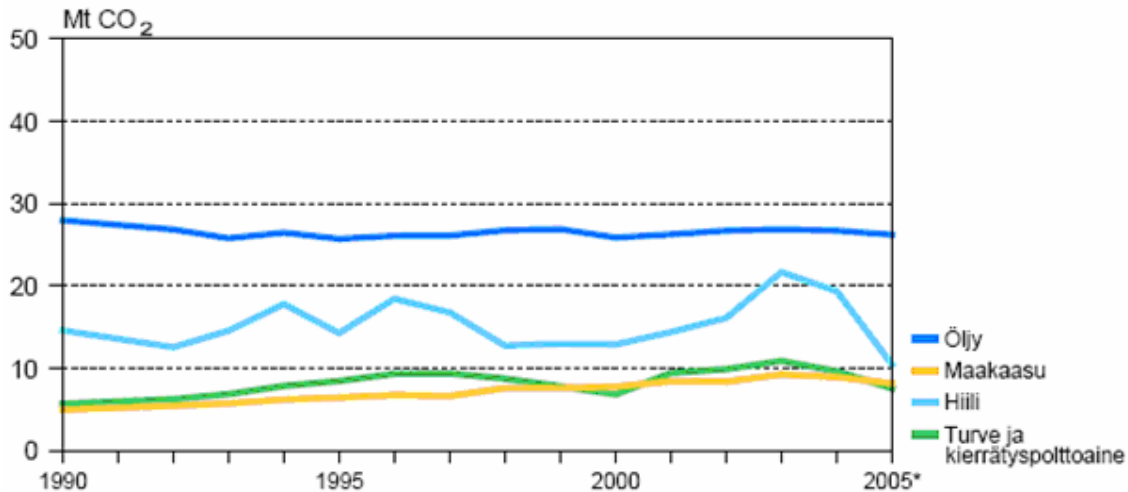
Liite 1. Eräiden polttoaineiden ominaisuuksia

# 1 JOHDANTO

Koko maailmassa on nyt herätty ilmaston lämpenemiseen ja sen tuomiin riskeihin. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa tuhansien eliölajien sukupuuttoon kuolemista, koska niiden elinympäristö kokee ihmisten toimien seurauksena valtavia muutoksia. Suurilta taloudellisilta haittavaikutuksiltakaan ei voida välttyä hirmumyrskyjen, napajäätiköiden sulamisien aiheuttaman merenpinnan nousun sekä merkittävien meri- ja ilmavirtausten muuttumisen takia.

Ilmaston lämpenemisen syynä on kasvihuoneilmiön voimistuminen kasvihuonekaasupäästöjen lisääntymisen myötä. Kasvihuoneilmiö on kaikelle elämälle välttämätön ja tarkoittaa sitä, kun ilmassa olevat kaasut estävät auringon lämpöenergian karkaamista avaruuteen. Ihmisen toimien seurauksena kasvihuoneilmiö on kuitenkin voimistunut niin paljon, että maailman keskilämpötila on alkanut nousta. Tämän seurauksena napajäätiköt ovat alkaneet sulaa sekä on alkanut aiheutua meri- ja ilmavirtausten muuttumista. Nämä taas aiheuttavat hirmumyrskyjä ja voivat kääntää mm Pohjoismaille elintärkeän Golf-virran suuntaa.

Pahimpien kasvihuonekaasujen käyttöä on jo pitkään rajoitettua ja esim. freonin käyttö kylmäkoneiden kylmäaineena kokonaan kiellettykin. Nyt pitää puuttua tavallisempiin kasvihuonekaasuihin kuten hiilidioksidiin ja metaanin päästöjen rajoittamiseen. Näitä päästöjä syntyy etenkin energian tuotannossa. Kuvassa 1 on esitetty energiantuotannon hiilidioksidipäästöt polttoaineittain. Energian käytön vähentäminen olisi ehkä tehokkain tapa hillitä päästöjen syntymistä, mutta koska se on erittäin vaikeaa ja koska energiaa tarvitaan kuitenkin, tulisi energia tuottaa mahdollisimman vähin päästöin. Tapoja on hyvin paljon, joista tässä työssä keskitytään bioenergiaan ja tuulivoimaan.



**Kuva 1.** Energiantuotannon hiilidioksidipäästöt polttoaineittain 1990-2005 (Tilastokeskus 2006a)

Rajaan työni käsittelemään bioenergian ja tuulivoiman roolia kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiseksi lähinnä Suomen mittakaavassa, mutta sivuan työssäni myös Eurooppaa ja hieman koko maailmaa. Tavoitteenani on pohtia minkälaisia mahdollisuuksia ja missä mittakaavassa biopolttoaineilla ja tuulivoimalla on kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiseksi ja minkälaisiin toimiin olisi ryhdyttävä.

Turve olisi yksi mahdollinen ase suomalaisilla, mutta se on päätetty luokitella hitaasti uusituvaksi, joten sitä ei voi laskea biopolttoaineisiin. Ajan myötä uusiutuvat energialähteet ovat kuitenkin ainoa tapa hoitaa maailman energian tarve.

## 2 TAUSTAA

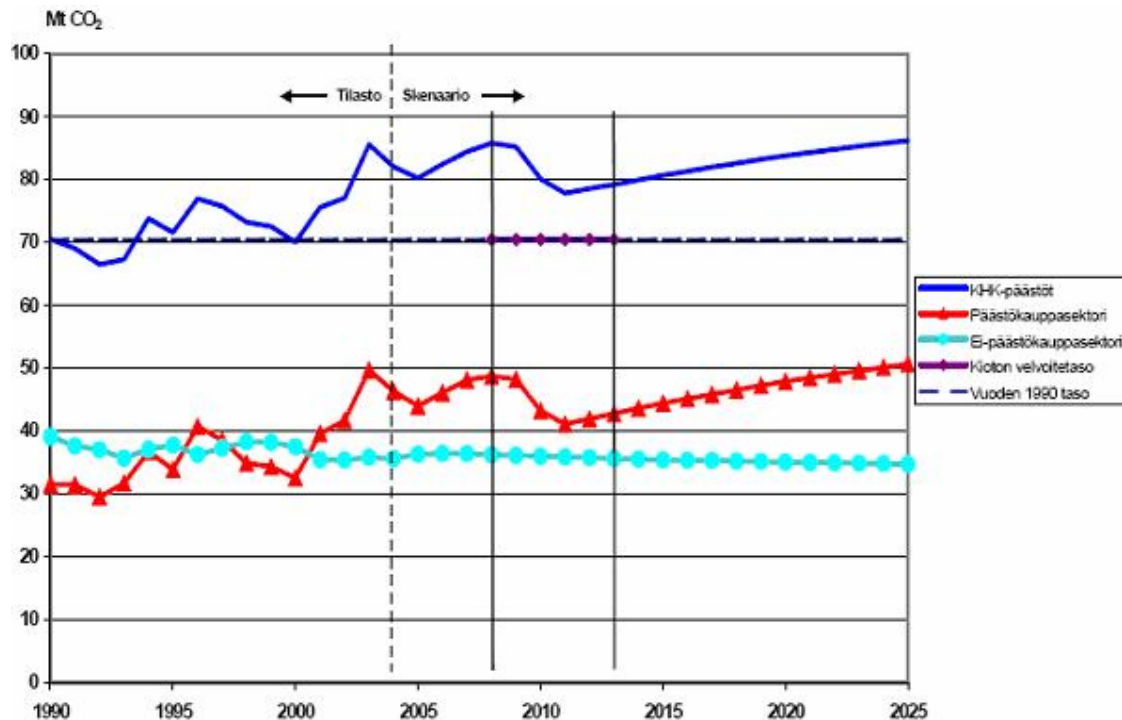
Bioenergian paremmuus fossiilisiin verrattuna perustuu siihen ajatukseen, että bioenergiaan sitoutunut hiili kuuluu hiilen nopeaan kiertoon. Joten biopolttoaineita poltettaessa ilmaan vapautuu yhtä paljon hiilidioksidia kuin niiden kasvaessa niihin on varastoitunut. Fossiilisissa polttoaineissa oleva hiilihän on ollut varastoituneena maankuoreen miljoonia vuosia. Biopolttoaineita kasvatettaessa on vain muistettava, että nettoenergian tuotto pysyy reilusti plussan puolella, sillä biopolttoaineiden tuottaminen kuluttaa fossiilisia polttoaineita monessa vaiheessa.

Tuulivoimassa tuotannossa energia on ilmaista, mutta tuulivoimaloiden rakentaminen on hyvin kallista ja voimaloiden takaisinmaksuaika onkin pitkä. Tuulivoiman käyttö ei rasita ympäristöä muilla kuin maisemallisella tavalla, sekä muutamilla satunnaisilla onnettomilla linnuilla. Tuulivoiman käyttöä rajoittaa myös soveltuvien olojen rajallisuus. Tuulta pitää olla riittävästi, mutta ei liikaa.

## ***2.1 Ilmaston lämpeneminen***

Kasvihuoneilmiö tarkoittaa sitä, kun ilmassa olevat kasvihuonekaasut ja vesihöyry rajoittavat lämmön karkaamista maanpinnalta avaruuteen. Kasvihuoneilmiö on kaikelle elämälle elintärkeä, mutta ihmisen toimien aiheuttama kasvihuoneilmiön voimistuminen kiihdyttää ilmaston lämpenemistä, mikä voi johtaa ennalta arvaamattomiin seurauksiin. Ilmaston lämpenemisen on jo nyt arvioitu aiheuttaneen viime vuoden pahimmat hirmumyrskyt, kuivuudet ja tulvat. Ilmaston lämpeneminen myös sulattaisi napajäätiköitä, mikä aiheuttaisi merenpinnan kohoamista ja sitä kautta ongelmia alueille alueille. Tästä johtuen on ilmaston lämpenemisen pääsyyllisiä, pahimpia kasvihuonekaasupäästöjä alettava rajoittamaan voimakkaasti.

Ilmasto lämpeni 1900-luvulla 0,6 °C ja on arvioitu että se lämpenee kuluvan vuosisadan aikana lisää 1,4 °C - 5,8 °C. (Fagnäs, L., et al. 2006) Suomessa kasvihuonekaasupäästöt ovat lisääntyneet, siten että ne olivat vuosina 2000-2004 jopa 20 % korkeammat vuoteen 1990-vertaamalla, kuten kuvasta 2 ilmenee .



**Kuva 2:** Suomen kasviuonekaasupäästöt vuosina 1990-2025, vuodet 1990-2004 toteutunut kehitys ja vuoteen 2025 saakka WM-skenaarion (With Measures) mukainen kehitys, Mt CO<sub>2</sub>-ekv. (KTM. 2005)

## 2.2 Kiotoon pöytäkirja ja YK:n ilmastopöytäkirja

Kiotoon ilmastopöytäkirjan ratifioineet maat ovat sitoutuneet rajoittamaan päästönsä tietyn rajan alle. Päästörajoitukset koskevat CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>-, N<sub>2</sub>O-, SF<sub>6</sub>-, HFC- ja PFC-päästöjä. Teollisuusmaiden on laskettava päästönsä 5 ja Euroopan unionin 8 prosenttia vuoden 1990 tason alapuolelle vuosien 2008 - 2012 aikana. Suomen velvoitteeksi on nk Euroopan taakanjakosopimuksessa määritetty vuoden 1990 taso. Jatkossa olisi tarkoitus lähteä alentamaan näitä Kiotoon pöytäkirjan päästörajoja, mutta pöytäkirjan tulevaisuus on vaakalaudalla, sillä se vääristää kilpailua, koska kaikki maat, kuten Yhdysvallat eivät ole ratifioineet sitä. USA:n lisäksi Monaco ja Australia ovat vielä ratifioimatta sopimusta. Nämä alue- ja maakohtaiset päästöjen rajoittamistavoitteet on erittäin vaikea asettaa tasapuolisesti. Esimerkiksi Suomessa on jo kauan käytetty hyvin energiatehokkaita menetelmiä, joista on Suomen kaltaisen hyvin energiantensiivisen teollisuuden erittäin vaikea lähteä laskemaan päästöjään. CFC-yhdisteiden ja muiden klooria ja bromia sisältävien haloneiden valmistusta ja käyttöä

on rajoitettu Montrealin sopimuksella. Tästä johtuen ne on suljettu YK:n ilmastopöytäkirjan ulkopuolelle.

## 2.3 Päästökauppa

Päästökaupalla pyritään rajoittamaan haitallisten kasvihuonekaasujen päästöjä. Päästökauppa alkoi vuoden 2005 alusta ja siihen kuuluvat kaikki EU:n 27 valtiota. Suomessa päästökauppa koskee noin 500 energiantuotanto- ja teollisuuslaitosta ja Euroopassa 12 000:tta. Ensimmäisessä vaiheessa (vuosina 2005-2007) päästökauppa koskee 20 MW:ia suurempia poltto- sekä eräiden muiden laitosten hiilidioksidipäästöjä. Jatkossa päästökaupan olisi tarkoitus ulottua myös muihin kasvihuonekaasupäästöihin. Päästökaupan piiriin kuuluvien laitosten on annettava lupa päästöihin Energiamarkkinavirastolta ja pysyttävä sen sallimien päästörajojen sisällä. Mikäli päästokiintiöt eivät riitä, voi yritys ostaa lisää päästöoikeuksia muilta päästökauppaa harjoittavilta yrityksiltä. Vastaavasti mikäli päästöoikeuksia jää käyttämättä, voi yritys myydä ne tai säästää seuraavaan vuoteen. Päästöoikeuden hinta on ollut keskimäärin 15-30 €/t CO<sub>2</sub>. (Ympäristöministeriö 2007)

## 3 ENERGIAN TUOTANTO JA KULUTUS

Vuonna 2005 Suomen kokonaisenergiankulutus laski seitsemän prosenttia edellisestä vuodesta ollen 1366 PJ. Sähkö kulutus laski 3,3 %, mikä oli suurin lasku sitten vuoden 1970. Sähkön kulutus oli 84 TWh. Energian kokonaiskulutuksen lasku johtui pääosin siitä, että lauhdesähkön tuotanto laski kolmasosaan edellisvuodesta ja nettosähköntuonti oli ennätyskorkealla Pohjoismaiden hyvän vesitilanteen johdosta. Myös metsäteollisuuden työselkkaus pienensi energiankulutusta. Kokonaisenergiankulutukseen on laskettu mukaan tuotannon ja jalostuksen häviöt. EU25:n energiankulutus vuonna 2004 oli 73 143 PJ. (Tilastokeskus 2006a). Lähteissä käytetyt energiayksiköt on muutettu vastaamaan toisiaan taulukon 1 avulla.

**Taulukko 1.** Eri energiayksikköjen väliset muuntokertoimet (Tilastokeskus 2006a)

	toe	MWh	GJ
toe	1	11,63	41,868
MWh	0,086	1	3,6
GJ	0,0239	0,2778	1



### **3.1 Energian tuotanto Suomessa**

On arvioitu että sähkön käyttö kasvaa siten, että kapasiteetin tarve kasvaa vuosittain noin 200 MW:lla vuoteen 2015 asti ja sen jälkeenkin vielä 100 MW:lla. (KTM 2005).

#### **3.1.1 Sähkön erillistuotanto**

Vuonna 2005 sähkön erillistuotantoon käytettiin kivihiltä 27,5 PJ, mutta koska vuosi 2005 oli poikkeuksellisen hyvä vesivuosi Pohjoismaissa eikä lauhdesähköä tuotettu läheskään normaalilla tasolla, niin otan tässä tarkasteluun vuoden 2004. Vuonna 2004 sähkön erillistuotantoon käytettiin kivihiltä 124,2 PJ, öljyä 3,9 PJ ja maakaasua 57,9 PJ. Puupolttoaineita käytettiin 52,1 PJ. Tuulivoiman osuus oli 0,4 PJ ja muiden uusiutuvien osuus 1,2 PJ. (Tilastokeskus 2006a). Sähkön erillistuotanto on siis hyvin pitkälti kivihillellä tuotetun lauhdesähkön varassa. Vuonna 2004 sähkön erillistuotannon kuluttaman kivihilen (124,2 PJ) hiilidioksidipäästöiksi voidaan liitteenä olevan taulukon arvoilla laskea 11,7 Mt CO<sub>2</sub>.

#### **3.1.2 Lämmön tuotanto**

Lämmön erillistuotantoon vuonna 2005 kului 87,9 PJ polttoaineita, joista öljyä oli 28,9 PJ, puupolttoaineita 12,8 PJ ja muita energialähteitä (jotka sisältävät vedyn, sähkön sekä teollisuuden reaktio- ja sekundäärilämmön) 20,5 PJ. (Tilastokeskus 2006b). Lämmön tuotannossa käytetään siis vielä toistaiseksi melko paljon öljyä, mutta tilanne on muuttumassa etenkin öljyn kallistumisen ja päästökaupan ansiosta. Osaltaan asiaa auttaa myös öljyllä lämpiävien pientalojen siirtyminen ympäristöystävällisempiin lämmitysmuotoihin, kuten kaukolämpöön, lämpöpumppuihin ja pelleteihin. Lämmön erillistuotannon kuluttaman öljyn päästöiksi voidaan laskea noin 2,2 Mt CO<sub>2</sub>.

#### **3.1.3 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto**

Vuonna 2005 sähkön ja lämmön yhteistuotantoon käytettiin polttoaineita yhteensä 427,6 PJ. Tästä huomattava osuus oli maakaasulla (106,6 PJ), hiilen osuus oli 54,7 PJ ja öljyn 10,7 PJ. Bioenergiasta metsäteollisuuden jäteliemiä käytettiin 127,6 PJ ja muita puupolttoaineita 65,0 PJ. Muita uusiutuvia polttoaineita käytettiin 3,7 PJ (Tilastokeskus 2006b). Metsäteollisuuden jäteliemien kulutus riippuu metsäteollisuuden

tuotannosta, joten niiden osuus on todennäköisesti kääntymässä laskuun tuotannon supistusten myötä.

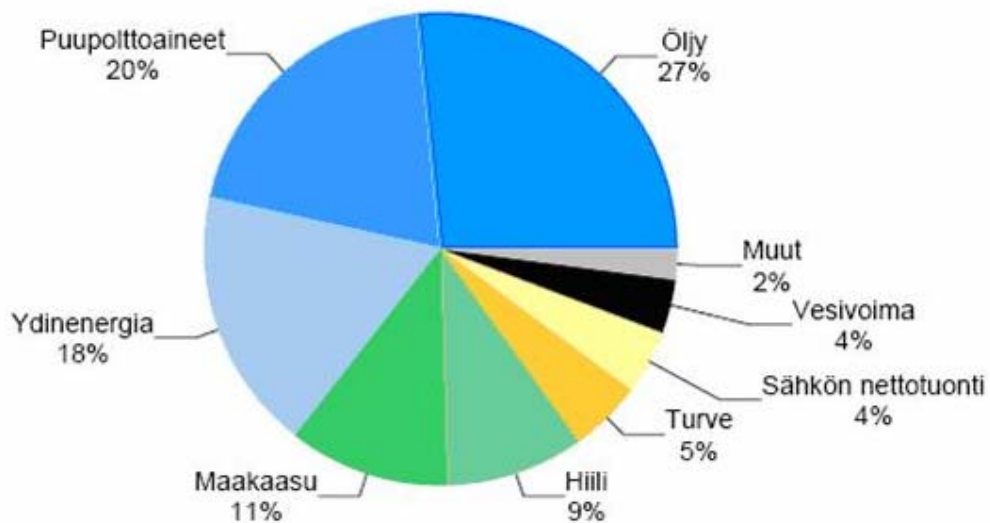
### **3.2 Energian kulutus**

Suomessa teollisuus vie suurimman osuuden energiankulutuksesta. Teollisuuden kokonaisenergiankulutus vuonna 2005 oli 671,8 PJ. Energian loppukäyttö oli 432,2 PJ, josta raskaan polttoöljyn osuus oli 36,7 PJ ja kevyen 7,2 PJ. Maakaasua käytettiin 68,2 PJ, kivihiiltä 14,7 PJ ja koksia 23,4 PJ. Masuuni- ja koksikaasun osuus oli 24,3 PJ. Biopolttoaineista metsäteollisuuden jäteliemiä käytettiin 132,1 PJ sekä puupolttoaineita 66,5 PJ. (Tilastokeskus 2006a) Varsin suuri osuus katetaan siis jo nyt muilla kuin kaikkein saastuttavimmilla polttoaineilla. Energiankokonaiskulutus Suomessa on esitetty kuvassa 3.

Valtaosa liikenteestä kulkee fossiilisilla polttoaineilla, mutta muospaineet ovat kovat. EU-direktiivi biopolttoaineista, huoli ilmastosta ja halu eroon öljyriippuvuudesta ovat saneet mediankin huomaamaan muut mahdolliset liikennepolttoaineet. Liikenteen kokonaisenergiankulutus vuonna 2005 oli 196,1 PJ. Energian loppukulutus oli 181,1 PJ, josta ylivoimaisesti suurin osa katettiin moottoribensiinillä (78,1 PJ) sekä dieselillä (86,2 PJ). (Tilastokeskus 2006a). Liikenteen hiilidioksidipäästöiksi voidaan laskea 13,5 Mt CO<sub>2</sub>. EU:n on asettanut liikenteen biopolttoaineille tavoitteeksi 5.75 prosentin osuuden liikenteen polttoaineista vuodelle 2010. Tämä tulee vähentämään fossiilisten polttoaineiden osuutta liikennepolttoaineista, mutta näyttää siltä, että autot kulkevat vielä pitkään pääosin perinteisellä bensiinillä ja dieselillä.

Rakennusten lämmitykseen vuonna 2005 kului 281,6 PJ:n edestä energiaa. Energian loppukäytöstä puun pienpolton osuus oli 43,3 PJ, raskaan polttoöljyn 3,6 PJ, kevyen polttoöljyn 35,0 PJ ja maakaasun osuus 2,6 PJ. (Tilastokeskus 2006a). Kevyen polttoöljyn käytön hiilidioksidipäästöiksi voidaan laskea 2,6 Mt CO<sub>2</sub>. Rakennusten lämmityksessä pitäisi pyrkiä eroon öljykattiloista esim. lämpöpumpuilla tai vaihtamalla öljykattilat pellettikattiloihin.

Muiden kun edellä mainittujen osuus oli 216,9 PJ. Näissä on mukana mm maatalouden käyttämä kevyt polttoöljy (19,0 PJ), sekä rakennustoiminta (12,8 PJ). (Tilastokeskus 2006a)



**Kuva 3.** Energian kokonaiskulutus Suomessa 2005 (Tilastokeskus 2006a)

## 4 BIOENERGIA

Biomassa on ainoa uusiutuva energialähde, joka on helppo muuntaa soveltumaan sähkön ja lämmön tuotannon sekä liikenteen tarvitsemaan muotoon. Lähdettyessä hyödyntämään bioenergiaa, tulee keskeisenä ajatuksena olla biopolttoaineen kestävä hyödyntäminen. Suomi on poikkeuksellisen hyvässä asemassa puhuttaessa biopolttoaineista. Suomen etuja ovat mm iso pinta-ala, valtavat bioenergiavarat etenkin metsissä sekä pitkä kokemus bioenergian hyödyntämisestä monella eri sektorilla. Näitä eri sektoreita ovat esimerkiksi puun pienpoltto sekä metsäteollisuus. Biopolttoaineita on käytetty myös liikenteessä jo sota-aikana häikäpöntön muodossa.

### 4.1 Liikenteen biopolttoaineet

Liikenteen biopolttoaineista on ollut viime aikoina erittäin paljon puhetta. Eniten huomiota saaneet ovat biodiesel ja bioetanoli. Biodieseliä valmistetaan öljykasveista, kuten rypsiä tai esimerkiksi käytetystä paistorasvasta tai eläinrasvoista ja sillä voi-

daan korvata fossiilinen diesel autojen polttoaineena. Rypsimetyyliesterin tuotantopotentiaali Suomessa olisi noin 45 milj. litraa, jos rypsiä viljeltäisiin 70 000 hehtaarilla. (Helynen, S., et al. 2002). Bioetanolia valmistetaan bensiinin korvikkeeksi tai lisäaineksi viljakasveista. Ainakaan toistaiseksi vielä ei bioetanolin valmistus ole osoittautunut kovin kannattavaksi Suomen oloissa, mutta useita projekteja on käynnissä. Ruotsissa ollaan bioetanolin käytössä reilusti Suomea edellä, mutta siellä käytettävä bioetanoli tuodaankin Brasiliasta asti.

Myös biokaasua voidaan käyttää liikennepolttoaineena. Biokaasua voidaan tuottaa jätevedenpuhdistamoiden ja kaatopaikkojen kaasuista, sekä mistä tahansa biomassasta ja -jätteistä. Biokaasua syntyy hapettomissa olosuhteissa anaerobisen hajotuksen kautta ja sitä voidaan käyttää kuten maakaasua esimerkiksi autojen polttoaineena, mutta myös sähkön ja lämmön tuotannossa, yleensä pienissä yksiköissä. (FINBIO – Suomen bioenergiayhdistys ry. 2005)

## **4.2 Puupolttoaineet**

Puupolttoaineiden hyödyntämisessä on Suomella pitkät perinteet. Tärkein puupolttoaine Suomen energiataseelle on metsäteollisuuden jäteliemet. Metsäteollisuuden jäteliemet ovat pääasiassa mustalipeää, jota syntyy paperiteollisuudessa sulfaattiselun keitossa ja se koostuu pääosin ligniinistä. Se otetaan talteen massan pesuvaiheessa ja väkevöidään moniosaisessa haihduttamossa. Tämän jälkeen mustalipeä poltetaan soodakattilassa. Paperiteollisuus saa mustalipeänpoltosta tarvitsemansa prosessihöyryn, sekä suuren osan tarvitsemastaan sähköstä. Toinen merkittävä puupolttoaine, jota syntyy teollisuudessa, on metsäteollisuuden sivutuotepuu. Se koostuu pääosin kuoresta (noin kolme neljäsosaa), sahan- ja kutterinpurusta ja hiontapölystä (noin yksi viidesosa) sekä puutähdehakeesta (vajaa 10 %).

Teollisuudelle kelpaamattomasta puuaineksesta voidaan valmistaa metsähaketta. Energiantuotantoon on tarjolla valtava määrä hukkarunkopuuta, latvusmassaa ja ohutta runkopuuta, jolle ei ole muuta käyttöä. Tästä voidaan valmistaa myös pellettejä tai brikettejä. Puupelletit tehdään yleensä kuivasta (kosteus n. 15 %) sahan- tai kutterinpurusta. Pellettien puristuksessa syntyvä lämpö pehmittää puun ligniinin hetkeksi, jolloin pelletti saa muotonsa ja kovuutensa. (Helynen, S., et al. 2002)

Kotitaloudet ovat Suomessa kautta-aikain lämmenneet pilkkeillä ja se on edelleen hyvin yleinen tapa lämmittää talo varsinkin maaseutujen haja-asutusalueilla. Kuivat pilkkeet, riittävä ilmamäärä, nykyaikainen tulisija ja säännöllinen nuohous pitävät päästötkin kurissa. Muista puupolttoaineista ehkä merkittävin on pyrolyysiöljy, mikä valmistetaan kaasuttamalla ja nesteyttämällä puusta. Sitä käytetään pienissä kaukolämpökattiloissa ja moottorivoimalaitoksissa. (FINBIO – Suomen bioenergiayhdistys ry. 2005)

### **4.3 Peltobiomassa**

Peltobiomassaa voidaan käyttää joko sellaisenaan, tai siitä voidaan jalostaa erilaisia kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita. Pellot tulisi kuitenkin ensisijaisesti valjastaa ruuan tuotantoon, mutta esimerkiksi kesannolla olevat tai muuten ruuan tuotantoon soveltumattomat pellot voi olla hyvinkin kannattavaa hyödyntää energiantuotannossa. Etelä-Ruotsissa ja Keski-Euroopassa peltobiomassan hyödyntämisessä ollaan reilusti Suomea edellä.

## **5 KIERRÄTYSPOLTTOAINEET**

Jäte pitää ensisijaisesti pyrkiä kierrättämään. Kierrätykseen kelpaamaton jäte tarjoaa kuitenkin valtavat potentiaaliset energiavarat. Jätteen energiakäyttö myös vähentää kaatopaikkojen ympäristölle aiheuttamaa kuormitusta. Kierrätyspolttoaineet ovat syntypaikkalajittelusta yhdyskuntajätteestä tai siihen rinnastettavasta kauppojen ja teollisuuden jätteestä valmistettua polttoainetta. Kierrätyspolttoaineiden biohajoavaksi osuudeksi lasketaan 60 %. Muiden sekapolttoliikenteiden biohajoavaksi osuudeksi lasketaan 40 %. Näitä ovat erilaiset tuotannon jäte- ja sivutuotteet, jotka sisältävät myös fossiilista hiiltä. Purkupuun, johon luetaan käytöstä poistetut ratapölkkyt sekä muu rakennus- ja purkutoiminnan jäte, biohajoavaksi osuudeksi lasketaan 90 %. (Tilastokeskus 2006a)

### **5.1 Kotitalousjäte**

Vuodelle 2016 on asetettu tavoitteeksi EU:n sisällä, että korkeintaan 35 % kotitalousjätteestä viedään kaatopaikalle. (Fagernäs, L., et al. 2006) Tällä hetkellä Suomessa kaatopaikalle viedään arviolta 60 % jätteestä. Kotitalousjätteen hyödyntämistä energiantuotannossa hidastavat päästörajat. Jätteistä suuri osa on fossiilista alkuperää, jolloin niiden laskennalliset päästöt kohoavat suuriksi. Eloperäisenkään jätteen poltto

ei ole ongelmattonta, sillä sen käsittely vetää puoleensa tuhoeläimiä, kuten rottia. Myös hajuhaitat nousevat helposti ongelmaksi.

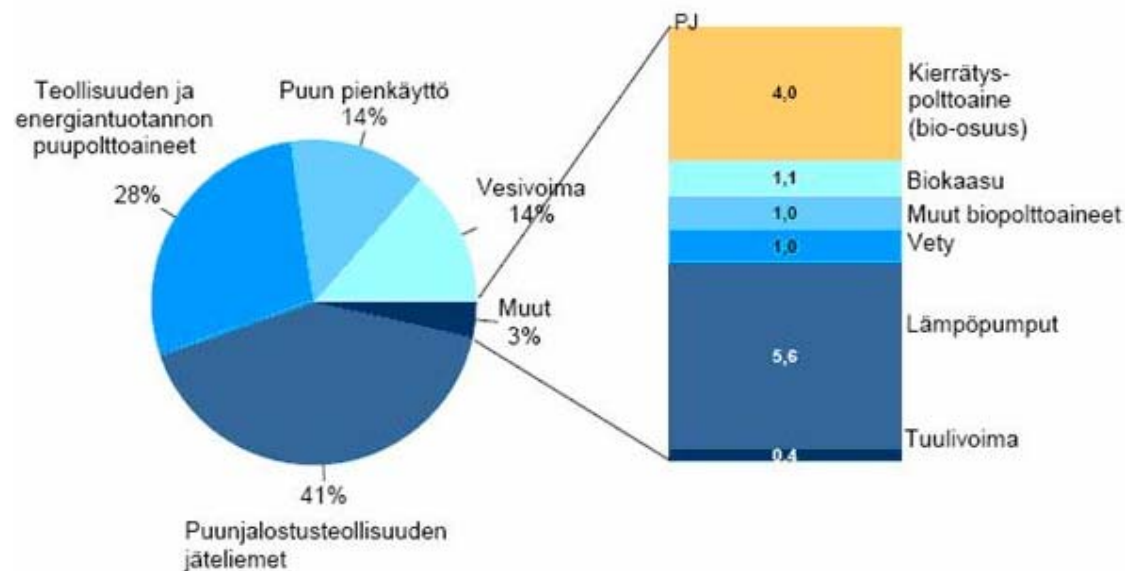
## 5.2 Teollisuusjäte

Energiakäyttöön soveltuva kuiva biohajoava teollisuusjäte yleensä murskataan rouheeksi, joka sitten poltetaan teollisuuskattiloissa yhdessä jonkin muun polttoaineen, kuten hiilen, turpeen tai puun kanssa. Jätteen kaasutus on myös yleistymässä, etenkin muille kuin kuiville jätteille. Jätteen energiakäytölle suurin este on poliittinen tahto. Myös kalliit laitteet ja päästöjen hallinta sekä kilpailu kierrätyksen kanssa vaikeuttavat jätteiden energiakäyttöä. (Fagnäs, L., et al. 2006)

# 6 BIOENERGIAN NYKYINEN KÄYTTÖ JA LÄHITULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

## 6.1 Bioenergia Suomessa

Suomen kokonaisenergiakulutuksesta noin 20 % katettiin puupolttoaineilla vuonna 2005, mikä on enemmän kuin missään muussa EU-maassa. Valtaosan puupolttoaineista tuottaa ja käyttää metsäteollisuus. Uusiutuvien energialähteiden suhteelliset osuudet on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Uusiutuvien energialähteiden käyttö Suomessa 2005 (Tilastokeskus 2006a)

Vuonna 2005 metsäteollisuuden jäteliemiä käytettiin 132 PJ. Teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineiden kulutus oli 95 PJ ja puun pienkäyttö 48 PJ. Kierrätyspolttoaineen biohajoavan osuuden kokonaiskulutus oli 4,5 PJ, muun bioenergian kulutus 0,8 PJ ja biokaasun kulutus 1,7 PJ. Liikenteen bioetanolin kulutusta ei ole tilastoitu vuodelta 2005, mutta vuonna 2004 se oli hieman alle 0,2 PJ. (Tilastokeskus 2006a). Suomen energiastrategiassa pyritään lisäämään merkittävästi kaiken uusiutuvan energian käyttöä. Metsätähdehakkeen, peltobiomassan, biokaasun ja kierrätyspolttoaineiden käyttöä pyritään lisäämään vuoden 2004 noin kahdesta prosentista yli kuuteen prosenttiin seuraavan 15 – 20 vuoden aikana. (KTM 2005)

## **6.2 Bioenergia Euroopassa**

Bioenergian tuotanto EU25:n (25 vanhimman EU-maan) alueella vuonna 2004 oli 2996 PJ. (Tilastokeskus 2006a) Vuodelle 2010 on bioenergian käytölle asetettu tavoitteeksi 5660 PJ. Puuperäisten osuus tästä olisi 4200 PJ ja nestemäisten biopolttoaineiden osuus 760 PJ. Vuoden 2010 tavoitteet on vielä mahdollista saavuttaa Euroopan alueelta saatavalla biomassalla ja biojätteellä, mutta tämän jälkeen voidaan joutua biomassaa tuomaan Euroopan ulkopuolelta. (Fagernäs, L., et al. 2006)

Peltobiomassalle on arvioitu löytyvän EU15 alueelta 5 milj. ha tällä hetkellä käyttämättömää maata. Vuodessa pellolta saadaan miljoonaan hehtaaria kohden 210-250 PJ kiinteää polttoainetta, joka vastaa nestemäiseksi biopolttoaineeksi muutettuna 33-50 PJ. (Fagernäs, L., et al. 2006)

Nestemäisiä liikenteen biopolttoaineita tuotettiin EU25:n alueella 2,4 Mt vuonna 2004. näistä 2,0 Mt oli biodieseliä, jonka suurimmat tuottajamaat olivat Saksa (1,0 Mt), Ranska (0,35 Mt) ja Italia (0,32 Mt). Bioetanolia tuotettiin 460 000 t, suurimman tuottajan ollessa Espanja (190 000 t) ja seuraavien Ranska (100 000 t) ja Ruotsi (50 000 t). Tavoite (5,75 %) näyttää jäävän toteutumatta. EU:ssa käytettiin liikenteessä biopolttoaineita vuonna 2004 84 PJ, mikä vastaa 0,7 %:ia liikenteen polttoaineista. (Fagernäs, L., et al. 2006). Suomessa suurimmat suunnitelmat biopolttoaineiden valmistuksesta ovat Neste Oililla, jonka Porvoon jalostamolle rakenteilla olevien laitosten yhteenlaskettu kapasiteetti olisi 340 000 t/a biodieseliä.

Biokaasua tuotettiin Euroopassa 179 PJ vuonna 2004 ja suurimmat tuottajat olivat Iso-Britannia (62 PJ) sekä Saksa (54 PJ). Biokaasulle asetettu tavoite vuodelle 2010 (630 PJ) näyttää jäävän kauas, sillä on ennustettu, että osuus nousee vain 360 PJ:een. (Fagernäs, L., et al. 2006)

Politiikalla on suuri rooli bioenergian käytön lisäämisessä. Erilaisilla periaatepäätöksillä on pyritty lisäämään ja helpottamaan biopolttoaineiden käyttöä, mutta politiikka on monessa tapauksessa edelleenkin vain este. Useassa maassa suoja-aineilla käsiteltyä biomassaa, kuten paperia, jätevedestä erotettua lietettä, mustalipeää (esim. Itävalta ja Saksa) ja puuta ei lueta biomassaksi, mikä vaikeuttaa niiden hyödyntämistä energiantuotannossa. Etenkin jätteenpoltolle erilaisten lupien hakeminen voi olla vuosia kestävä prosessi. Ongelmia tuo myös epätieto Kioton sopimuksen jatkosta, erilaiset jätteenkäsittelymenetelmät, päästöoikeuksien jaon tasapuolisuus sekä päästöjen laskenta. Uusissa jäsenmaissa ongelmana on usein rahoituksen ja teknologian puute. (Fagernäs, L., et al. 2006). Suomessa ongelmaksi voisi ajatella turpeen, jota ei lueta biomassaksi sen hitaan uusiutuvuuden takia.

Vuodelle 2010 EU on asettanut uusiutuvalla energialle tavoitteeksi 12 % (7540 PJ) osuuden kokonaisenergiankulutuksesta. Tästä suurin osa (5660 PJ) pitäisi kattaa bioenergialla ja loppuosassa tuulivoimalla olisi tarkoitus olla suuri rooli. On arvioitu että tavoitteesta jäädyään hieman ja todellisuudessa päästään noin 10 %:iin. Vuonna 2002 uusiutuvan energian osuus oli vasta 6 %. Uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön osuuden pitäisi kasvaa vuoden 1997 14 %:sta 22 %:iin vuoteen 2010 mennessä. Tämänkään osalta tavoite ei näytä täyttyvän, sillä vuoteen 2005 asti osuus on pysynyt kutakuinkin samana. (KTM 2005). Suomessa KTM:n uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa marraskuulta 1999 on asetettu tavoitteeksi lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä vuodesta 1995 vuoteen 2010 mennessä 125 PJ, josta 90 % olisi tarkoitus kattaa bioenergialla. (Fagernäs, L., et al. 2006)

### **6.3 Bioenergia muualla maailmassa**

Energian loppukulutuksesta maailmassa noin 14 % tulee bioenergiasta. Tästä noin 25 % on teollistuneissa maissa ja loput 75 % kehitysmaissa. Kehitysmaissa bioenergialla tuotetaan keskimäärin 33 % energiantarpeesta ja monissa maissa jopa yli 90 %. Biomassasta poltetaan suoraan arviolta  $38000 \pm 10000$  PJ, kun modernilla tekno-



logialla tuotetaan 7000 PJ. On laskettu, että vuonna 2050, biomassalla voitaisiin tuottaa 38 % maailman suorasta polttoainekäytöstä ja 17 % sähköstä. Tämä tarkoittaa bioenergian käytön nousua 205 900 PJ:een. Tällöin Latinalainen Amerikka ja Afrikka voisivat muodostua suuriksi polttoaineen viejiksi. Toisen arvion mukaan mahdollisuuksia olisi 103 800 PJ:een. Kolmannen selvityksen mukaan määrä on välillä 33 000 – 1 135 000 PJ. (Fagernäs, L., et al. 2006). Viimeinen arvio varmastikin pitää paikkansa.

Maailmanlaajuisesti bioenergialla on samat ongelmat kuin Euroopassakin. Eri maiden eri määritelmät bioenergiasta sekä lupienhakuprosessit hidastavat laitosten rakentamista. Bioenergiankäyttöön vaikuttavat myös erilaiset tukitoimet, verotus ja poliittinen haluttomuus. Pienin ongelma ei myöskään ole bioenergian kilpailu ruuan tai teollisuuden raaka-aineiden kanssa.

## **7 TUULIVOIMA**

Tuulivoiman ympäristöä kuormittavat tekijät rajoittuvat lähinnä tuulivoimalan valmistuksessa ja asennuksessa syntyviin päästöihin, siksi tuulivoima on erittäin puhdasta energiaa. Tuulivoimalan kokonaishiilidioksidipäästöiksi voidaan laskea 10 gCO<sub>2</sub>/kWh. Jos tuulivoimalla korvataan vanhoja hiiltä polttavia sähkölaitoksia, vähenevät hiilidioksidipäästöt 800-900 gCO<sub>2</sub>/kWh ja kaasuvoimaloitakin korvattaessa 400-600 gCO<sub>2</sub>/kWh. Päästöjen väheneminen on vaikeampaa laskea, jos korvataan tuontisähköä. Tuulivoimalat ovat nykyään nimellisteholtaan jopa 5 MW ja tuulipuistojen kapasiteetti nousee usein yli 100 MW:iin. (Holtinen, H. 2004)

### **7.1 Tuulivoiman nykyinen käyttö ja lähitulevaisuuden näkymät**

#### **7.1.1 Tuulivoima Suomessa**

Vuonna 2006 Suomeen pystytettiin kaksi uutta tuulivoimalaa. 1 MW:n laitos Luotoon ja 3 MW:n laitos Poriin. Näin ollen Suomen tuulivoimakapasiteetti kohosi 86 MW:iin. Tuulivoimalla tuotettiin noin 0,2 % Suomen sähkönkulutuksesta. Vuonna 2005 tuotettiin 170 GWh (mikä vastaa 612 TJ:a) ja selvästi keskimääräistä tyynempänä vuonna 2006 tuotettiin 154 GWh. (VTT 2006). Vuoden 2005 tuotetun 170 GWh ja silloisen

kapasiteetin 82 MW avulla voidaan laskea tuulivoiman keskimääräinen käyttökerroin kapasiteettiin nähden Suomen oloissa

$$\eta = \frac{170000 \text{ MWh/a}}{82 \text{ MW} \cdot 360 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d}} = 0,24. \quad (1)$$

Suunnitelmat kuluvalle ja ensi vuodelle ovat kuitenkin huomattavasti suuremmat. Tänä vuonna tuulivoimakapasiteetin kasvu olisi 44 MW ja ensi vuonna 124 MW. (VTT 2007) Voidaan myös olettaa että uuden tuulivoiman hyötysuhde olisi vanhan keskiarvoa parempi. Näin ollen tuulivoimalla tuotetun sähkön määrä tulee noin kolminkertaistumaan Suomessa seuraavan kahden vuoden aikana.

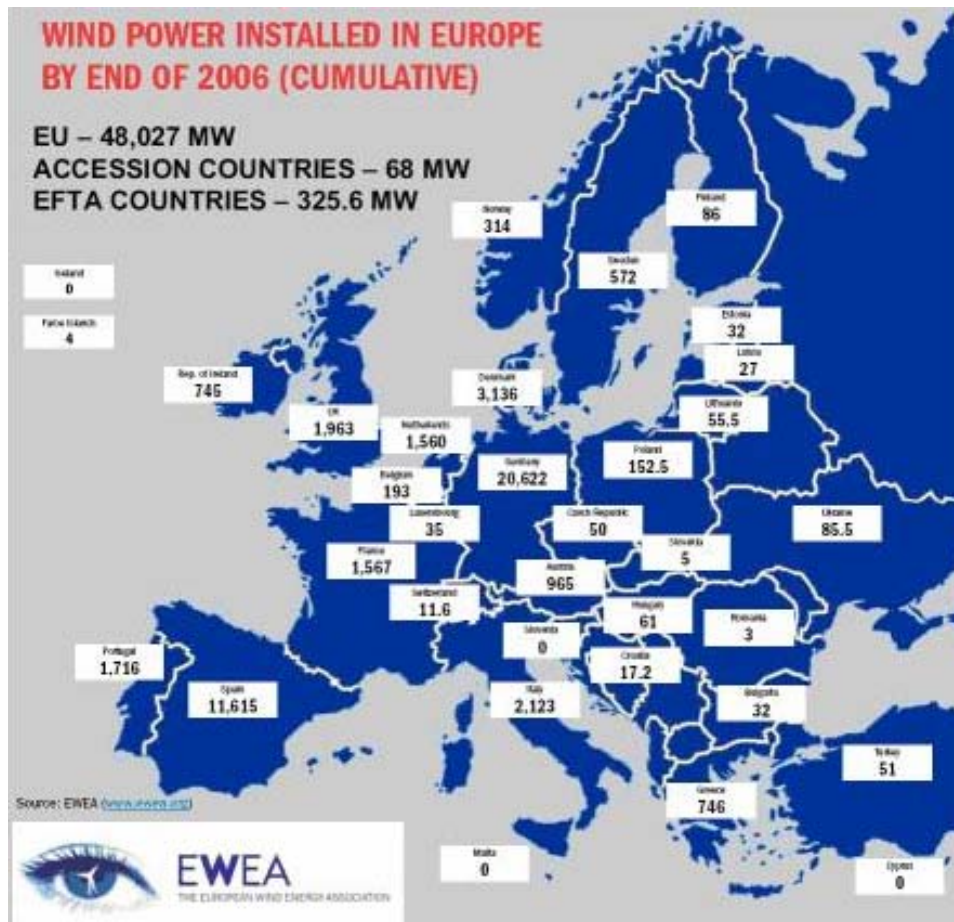
Suomen olosuhteissa tuulivoimalla voitaisiin korvata etenkin tuontia, mutta myös kaasuvoimaloita, jolloin hiilidioksidipäästöjen vähennys olisi noin 300 gCO<sub>2</sub>/kWh. (Holtinen, H. 2004). Yhtälöstä (1) saadun käyttökerroimen avulla voidaan laskea kapasiteetin lisäyksen tuottama energia

$$Q = (44 + 124) \text{ MW} \cdot 360 \text{ d} \cdot 24 \text{ h/d} \cdot 0,24 = 350 \text{ GWh}. \quad (2)$$

Kaasuvoimaloita korvattaessa hiilidioksidipäästövähennys olisi 105 000 t CO<sub>2</sub>.

### **7.1.2 Tuulivoima Euroopassa**

Tuulivoiman käyttö on kasvanut Euroopassa viimeiset kahdeksan vuotta noin 20 %:n vuosivauhdilla. Yhteenlaskettu kapasiteetti on nyt yli 48000MW ja sillä tuotetaan keskimääräisenä tuulivuonna 3,3 % koko Euroopan sähkönkulutuksesta. Suurimmat tuulivoimamaat Euroopassa ovat Saksa ja Espanja, jotka olivat myös suurimmat tuulivoiman lisääjät vuonna 2006: Saksa 2194 MW ja Espanja 1587 MW. (Tuulivoimayhdistys 2005). Euroopan maiden tuulivoimakapasiteetti käy ilmi kuvasta 5.



**Kuva 5.** Euroopan tuulivoimakapasiteetti vuoden 2006 lopussa. (Tuulivoimayhdistys 2005)

Vuonna 2004 tuulivoimalla tuotettiin 210,7 PJ EU25:n alueella. (Tilastokeskus 2006a). Eurooppa on asettanut tavoitteekseen uusiutuvien energiamuotojen osuuden kasvattamisen 12 %:iin ja vihreän sähkön osuuden kasvattamisen 21 %:iin vuodelle 2010. (Fagernäs, L., et al. 2006)

### **7.1.3 Tuulivoima muualla maailmassa**

Koko maailman yhteenlaskettu tuulivoimakapasiteetti oli vuoden 2006 lopussa 73,9 GW. Tästä kasvua edelliseen vuoteen oli 25 %. Tuulivoimalla katetaan nyt yli prosentti maailman sähkönkulutuksesta. Suurin tuulivoiman lisääjä oli USA, joka asensi 2454 MW uutta kapasiteettia, nostaen kokonaiskapasiteetin 11615 MW:iin. Myös Intia ja Kiina lisäsivät tuulivoimakapasiteettiaan reilusti, Intia 1840 MW ja Kiina 1145 MW. Voimakkain kasvuprosentti oli kuitenkin Brasiliassa, joka nosti kapasiteettiaan 208 MW:lla, päästen 237 MW:iin. World Wind Energy Association odottaakin vuoden

2010 loppuun mennessä päästävän 160 GW:iin. (World Wind Energy Association 2006)

## **8 PALJONKO BIOENERGIALLA JA TUULIVOIMALLA ON SAAVUTETTAVISSA?**

### ***8.1 Bioenergian edut ja haitat***

Siirryttäessä käyttämään puuta fossiilisten polttoaineiden sijaan voi haittana olla koston teamman polttoaineen aiheuttama polttoaineen massavirran ja savukaasujen lisääntyminen, mikä huonontaa laitoksen hyötysuhdetta ja pienentää maksimitehoa. Myös nuohoustarve lisääntyy. Lisäksi metsähakkeet ja muut klooria sisältävät polttoaineet aiheuttavat kerrostumia tulistipinnoille. Etuina puupolttoaineista on esim. puupolttoaineiden alkalien rikin sitominen, jolloin alkalien käyttötarve vähenee. Myös typenoksidien määrä voi vähentyä puupolttoaineiden vaikuttaessa palamislämpötiloihin. (Helynen, S., et al. 2002)

### ***8.2 Bioenergian mahdollisuudet***

Bioenergian käyttöä voitaisiin nykyisissä ja suunnitteilla olevissa laitoksissa lisätä 326,6 PJ:een vuoteen 2010 mennessä. Hiilidioksidipäästöjen vähennys olisi tällöin 2,8-3,7 Mt verrattuna vuoteen 1999 korvattaessa bioenergialla fossiilisia polttoaineita. Pienillä lisäinvestoinneilla nykyisiin laitoksiin ja käyttämällä hieman kalliimpia biopolttoaineita voitaisiin käyttöä lisätä jopa 397,7 PJ:een. Tällöin hiilidioksidipäästöjen vähennys olisi 7,4-10,9 Mt. (Helynen, S., et al. 2002)

Uusista jäsenmaista Puolalla on suurimmat potentiaaliset bioenergiavarat (yli 400 PJ), jotka olisi helppo valjastaa energiantuotantoon lyhyellä aikavälillä. Muista Unkarilla ja Tšekillä on molemmilla vajaa 100 PJ ja loppuilla ehkä yhteensä reilu 100 PJ. (Fagernäs, L., et al. 2006)

Puupolttoaineiden käyttöä voisi Suomessa lisätä melko reilustikin, sillä metsän vuosikasvu ylitti vuonna 2005 poistuman noin 20 miljoonalla kuutiometrillä, kasvun ollessa 87 ja poistuman 67 milj. m<sup>3</sup>. (Tilastokeskus 2006a) Koska puu kuitenkin ensisijaisesti

tulee käyttää raaka-aineena, voisi tämä tarkoittaa esimerkiksi parempia raaka-aineita metsäteollisuuden käyttöön. Ongelmaksi voisi kuitenkin nousta puun hinnan kohoaminen. Kun lasketaan että 1 milj. m<sup>3</sup> puuta vastaa energiaksi muutettuna 7,2 PJ:a (Fagernäs, L., et al. 2006) voitaisiin siis teoriassa puupolttoaineiden käyttöä lisätä 144 PJ, mikä vastaa lähes kymmentä prosenttia energian kokonaiskulutuksesta. Kasvihuonekaasupäästöjä tämä vähentäisi 12 Mt CO<sub>2</sub>, kun lasketaan keskimääräisen päästövähennyksen olevan 300 g/kWh. Valitettavasti asia ei vain ole näin yksioikoista.

Bioenergialla voitaisiin korvata teollisuudessa, energiantuotannossa ja lämmityksessä käytettäviä fossiilisia polttoaineita. Korvattavia polttoaineita olisivat esim. kevyt polttoöljy, jonka kulutus vuonna 2005 oli 88,9 PJ sekä kivihiili, jonka kulutus oli 81,5 PJ. Muita mahdollisesti biopolttoaineilla korvattavia fossiilisia polttoaineita olisivat raskaspolttoöljy (jonka käyttö vuonna 2005 oli 57,9 PJ), koksi (23,4 PJ) sekä masuuni- ja koksikaasu (24,3 PJ). (Tilastokeskus 2006a). Vuonna 2005 käytetyn kevyen polttoöljyn aiheuttamat hiilidioksidipäästöt olivat 6,6 Mt CO<sub>2</sub> ja kivihiilen päästöt 7,7 Mt CO<sub>2</sub>.

Liikenteessä biopolttoaineilla olisi myös suuria mahdollisuuksia. Bioetanolilla ja biodieselillä voitaisiin korvata fossiilista etanolia ja dieseliä. Liikenteen moottoribensiinin kokonaiskulutus vuonna 2005 oli 80,3 PJ (sisältää huviveneiden bensiinin kulutuksen) ja dieselin 86,2 PJ. Luvuissa on mukana moottoribensiiniin sekoitettu bioetanol, jonka osuus ei kuitenkaan ole kovin suuri. Muita fossiilisia polttoaineita liikenteessä kulutettiin 14,5 PJ. (Tilastokeskus 2006a). Nestemäisiin biopolttoaineisiin siirryttäessä pitää kuitenkin muistaa että nettoenergiantuotanto pysyy reilusti positiivisena.

Maailmassa liikenteen polttoaineiden kulutus on noin 74 000 PJ. 35 %:n hyötysuhteella muutettuna maailmassa voitaisiin tuottaa vuosittain 12 000 – 455 000 PJ nestemäisiä polttoaineita. (Fagernäs, L., et al. 2006)

### **8.3 Tuulivoiman mahdollisuudet**

Tuulivoiman suurimpana miinuksena vielä melko korkean hinnan lisäksi on pieni huipunkäyttöaika, sekä sen vaihtelevuus ja huono ennustettavuus. Esimerkiksi ydinvoimalan huipunkäyttöaika on noin 7000-8000 h/a, mutta tuulivoimalla keskimäärin Poh-

joismaissa vain 1800-3500 h/a. Joillakin erittäin hyvillä paikoilla voi huipunkäyttöaika nousta jopa 5000 tuntiin vuodessa. Investointikustannukset tuulivoimalla ovat keskimäärin 800-1200 €/kW ja käyttö- ja ylläpitokustannukset 8-12 €/MWh. Näistä tuotantokustannuksiksi muodostuu 20 vuoden aikajaksolla ja viiden prosentin tuotto-odotuksella 30-70 €/MWh, riippuen tuuliolosuhteista ja investointikustannuksista, jotka riippuvat rakennuspaikasta. (Holtinen, H. 2004)

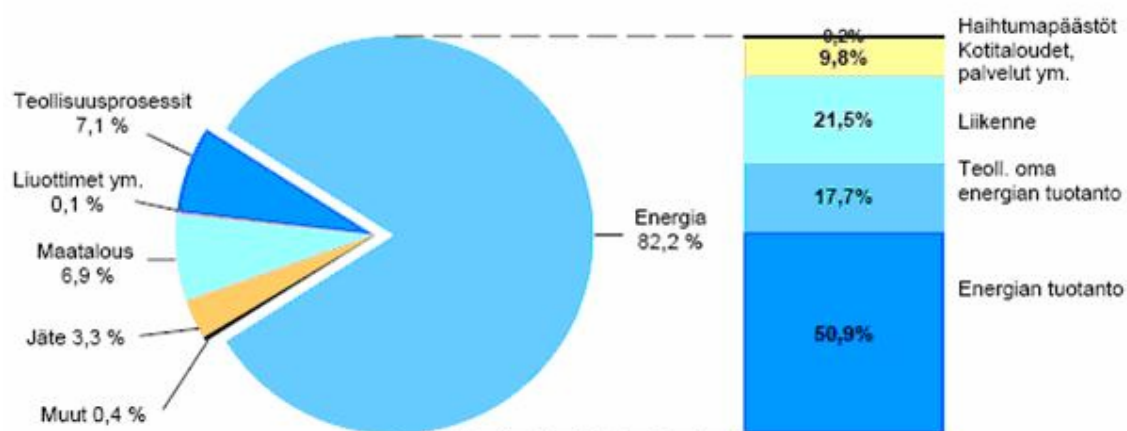
Tuulivoimakapasiteetti on joitain erikoistapauksia lukuun ottamatta aina monta kertaa suurempi kuin tuotettu energiamäärä. Tästä johtuen tuulivoimantuotannon noustessa 20 %:iin vuosittaisesta kokonaissähköntuotannosta jollain eristetyllä alueella, kuten pienellä saarivalttiolla, voi tuulivoima kattaa hetkittäin koko alueen sähköntuotannon. Kun tuulivoimantuotanto ylittää määrän, joka voidaan turvallisesti ja verkon tasapainoa horjuttamatta ottaa talteen, joudutaan osa tuotetusta energiasta laskemaan hukkaan. On laskettu että 10 % vuosittaisesta energiantuotannosta on raja, minkä jälkeen osa tuotetusta energiasta menee hukkaan. Kun tuotanto nousee 20 %:iin, jää tuotetusta energiasta hyödyntämättä noin 10 %. Tuulivoiman vaihtelevuuden saa tasoitettua melko hyvin kytkemällä tuulivoima monikansalliseen verkkoon, jolloin päästään hyödyntämään alueellisia tuulieroja. (Holtinen, H. 2004)

Suomen kaltaisessa kylmässä maassa tuulivoiman käyttö on aina jokseenkin hankalaa, sillä silloin kun sähköä tarvittaisiin eniten, eli korkeapaineen vallitessa talven koviilla pakkasilla, ovat tuulivoimalat täysin pysähdyksissä. Näin ollen tuulivoima ei voi kunnolla soveltua perusenergiaksi, sillä se tarvitsee aina jonkin muun energianlähteen varalle. Pohjoismaiden yhteinen sähköverkko tasoittaa kuitenkin vaihteluita siten, että tuulivoiman valtaisakaan lisärakentaminen ei vaaranna sähkön saantia edes kovimmilla pakkasilla.

#### **8.4 Kasvihuonekaasupäästöt**

Kuvasta 6 nähdään kasvihuonekaasujen suurimmat aiheuttajat. Suurin osa Suomen kasvihuonekaasupäästöistä syntyy energiantuotannosta. Uusiutuvien energiamuotojen käytössä laskennallisia kasvihuonekaasuja ei synny, toisin kuin fossiilisia polttoaineita poltettaessa. Kasvihuonekaasuja käsitellään tässä yhteismitallisina, eli eri kasvihuonekaasujen vaikutukset kasvihuoneilmiön voimistumiseen on muutettu vas-

taamaan vastaavan vaikutuksen aiheuttaman hiilidioksidin määrää. Vuonna 2005 yhteismitalliset kasvihuonekaasupäästöt Suomessa olivat 69,32 Mt CO<sub>2</sub> ekv., kun ne vuonna 2004 olivat 81,10 Mt CO<sub>2</sub> ekv. Näin Suomi pääsi ensimmäistä kertaa sitten 1990-luvun alun Kioton tavoitetason alle. Tähän pudotukseen syynä eivät kuitenkaan valitettavasti ole päästövähennystoimet, vaan poikkeuksellisen hyvä vesivuosi. Suomi sai tuoda ennätysmäärän vesivoimalla tuotettua energiaa Pohjoismaisilta sähkömarkkinoilta ja näin lauhdesähkön tuotanto laski. Myös metsäteollisuuden työmarkkinakiista laski päästöjä. (Tilastokeskus 2007)



Ilman maankäytön muutoksia ja metsätalousssektoria

**Kuva 6.** Suomen kasvihuonekaasupäästöjen osuudet lähteittäin vuonna 2004 (Tilastokeskus 2006a)

Suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä syntyy energiantuotannossa fossiilisten polttoaineiden ja turpeen poltosta. Vuonna 2005 fossiilisten polttoaineiden ja turpeen energiantuotannon hiilidioksidipäästöt olivat 21,5 Mt CO<sub>2</sub> ja teollisuuden 11,6 Mt CO<sub>2</sub>. Liikenteen hiilidioksidipäästöt olivat 13,5 Mt CO<sub>2</sub>. (Tilastokeskus 2007) Yhteensä fossiilisten polttoaineiden ja turpeen hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2005 52,4 Mt CO<sub>2</sub>. Tässä on laskua edelliseen vuoteen 19 %. (Tilastokeskus 2006a)

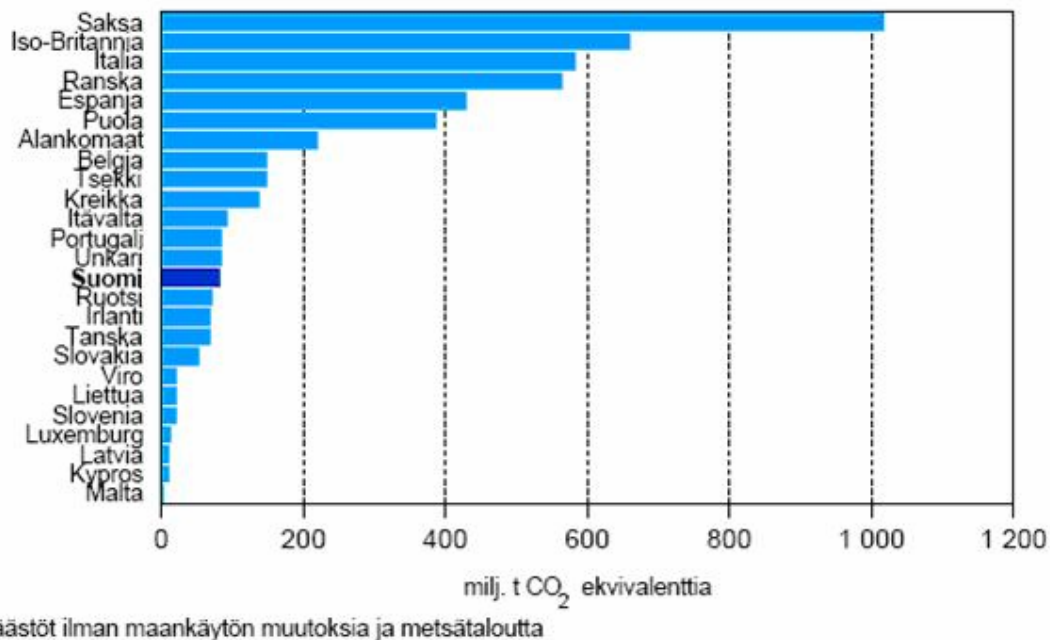
Muista päästöistä dityppioksidipäästöt olivat vuonna 2005 6,9 Mt CO<sub>2</sub> ekv, joista 3,7 Mt CO<sub>2</sub> ekv on peräisin maataloudesta. Ne ovat vähentyneet lähinnä typpilannoituksen vähenemisen vuoksi. Metaanipäästöt koostuvat pääosin jätteiden käsittelystä 2,3 Mt CO<sub>2</sub> ekv, sekä kotieläinten ruuansulatuksen päästöistä (maatalouden kokonaismetaanipäästöt 1,9 Mt CO<sub>2</sub> ekv). Metaanipäästöjä on pienentänyt jätteiden kaato-

paikkasijoituksen väheneminen, kaatopaikkakaasujen talteenoton lisääntyminen sekä karjatalouden vähentyminen. (Tilastokeskus 2007)

Määrältään pienin kasvihuonekaasuryhmä on F-kaasut. F-kaasut ovat yleinen nimitys HFC- ja PFC-yhdisteille sekä rikkiheksafluoridille, joita käytetään jäähditys ja ilmastointilaitteissa, ja niiden päästöt ovat selkeässä kasvussa. (Tilastokeskus 2007)

Rikkipäästöjä aiheutuu eniten raskaasta polttoöljystä (16500 t) ja toiseksi eniten teollisuus prosesseista (13700 t). Pahimmat typen oksidien päästöt aiheutuvat liikenne polttoaineista (59700 t) ja toiseksi pahimmat kevyestä polttoöljystä (41100 t). Hiilidioksidipäästöjen pahin aiheuttaja on myös liikennepolttoaineet (12,7 Mt) ja toiseksi pahin on maakaasu (8,2 Mt). (Tilastokeskus 2006a)

EU-maista ylivoimaisesti suurin kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttaja on Saksa. Suomi kuuluu pienen kokonsa johdosta hieman keskikastin alapuolelle päästöjen aiheuttamisessa. EU-maiden päästöjä on verrattu kuvassa 7.



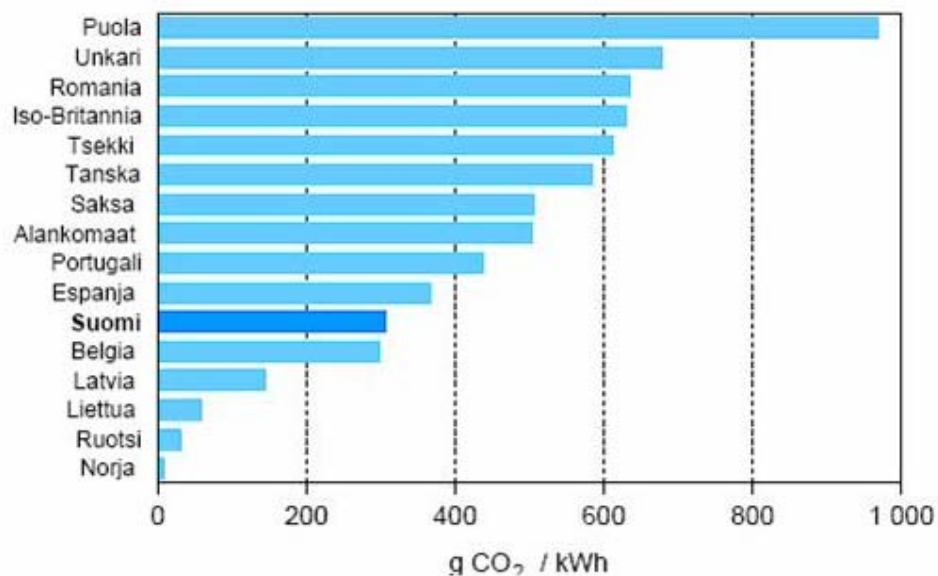
**Kuva 7.** Kasvihuonekaasupäästöt EU-maissa 2004 (Tilastokeskus 2006a)

EU25:n yhteismitalliset kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2004 olivat 4980 Mt CO<sub>2</sub> ekv. Vuonna 2003 päästöt olivat 4961 Mt CO<sub>2</sub> ekv, joista polttoaineperäisiä hiilidiok-



sidipäästöjä oli 3852 Mt. (Tilastokeskus 2006a). Euroopan komission ehdotus on, että kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään vähintään 20 % vuoteen 2020 mennessä. (Euroopan komissio 2007). Tuulivoiman lisärakentaminen vaikuttaa suoraan kasvihuonekaasupäästöjen määrään. Pohjoismaissa hiilidioksidipäästöjen vähennys olisi noin 700 gCO<sub>2</sub>/kWh, kunnes tuulivoima ylittää 10 % kokonaissähkötuotannosta. Tämän jälkeen päästövähennys olisi noin 620 gCO<sub>2</sub>/kWh. (Holtinen, H. 2004)

Kuvasta 8 nähdään esimerkiksi Puolan sähköntuotannon ominaishiilidioksidipäästöjen olevan lähes 1000 g CO<sub>2</sub>/kWh, mikä vastaa 278 g CO<sub>2</sub>/MJ. Suomessa sähköntuotannon ominaishiilidioksidipäästöt näyttävät olevan noin 300 g CO<sub>2</sub>/MJ, mikä on 83 g CO<sub>2</sub>/MJ.



**Kuva 8.** Eräiden EU-maiden sähköntuotannon ominaishiilidioksidipäästöt (Tilastokeskus 2006a)

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Bioenergian ja tuulivoiman, kuten muidenkin uusiutuvien energiamuotojen käytössä ollaan menossa oikeaan suuntaan, mutta muutos on hidas ja byrokratia hyvin kankeaa. Erilaisilla taloudellisilla ohjauskeinoilla, kuten syöttötariffeilla ja verohelpoituksilla voitaisiin niin halutessa saavuttaa lähes kaikki bioenergian ja tuulivoiman käytön lisäämiselle asetetut tavoitteet sekä kasvihuonekaasujen vähentämistavoitteet. Tällä

hetkellä tavoitteista näytetään jäävän kauas, ellei ilmaston lämpeneminen vähennä sähkön ja lämmön tarvetta ja sitä kautta energiankulutusta. Etenkin Suomi on tyytynyt liian hyvin metsäteollisuuden aikaansaamaan bioenergian merkittävään osuuteen energiantuotannosta. Kotitalouksille pitäisi informoida paremmin eri lämmitysjärjestelmien eduista ja haitoista. Teollisuusyrityksille pitäisi tehdä kannattavaksi vaihtaa fossiiliset polttoaineet biopolttoaineisiin ja uusien ympäristöystävällisempien laitosten rakentamista pitäisi tukea.

Yksi tapa lisätä bioenergian käyttöä voisi olla hajautetun energiantuotannon valtava lisäys. Hajautetun energiantuotannon etuina olisivat mm kuljetuskustannusten sekä energian jakelu ja siirtohäviöiden pieneneminen. Tämä olisi myös hyvä ase kokoon kuivuville kunnille. Kunnan oma energialaitos toisi kunnalle halvempaa energiaa, sekä lisää työpaikkoja. Energia laitokseen saataisiin omista metsistä sekä omilta pelloilta. Mikäli laitoksessa voitaisiin polttaa jätettä taloudellisesti, vähenisi myös kaatopaikkojen kuormitus. Tätä ennen on kuitenkin kierrätyspolttoaineita koskeva lainsäädäntö saatava suosimaan jätteen polttoa.

Mielestäni turpeen lukemista uusiutuviin energiamuotoihin tulisi miettiä uudelleen, sillä se kuitenkin uusiutuu. Maailman mittakaavassa energian tuotannossa ja kasvihuonekaasupäästöjen torjunnassa turpeella ei olisi kovinkaan suuri merkitys suuntaan tai toiseen. Mutta miksi ei Suomi voisi hyötyä omasta rikkaudestaan, vähentää omia laskennallisia päästöjään, lisätä kilpailukykyään ja vallata paikan maailman johtavana bioenergiamaana. Lisäksi jotkin turvesuot ovat jo nykyisellään hiilidioksidin lähteitä.

Energian säästö olisi myös yksi osa-alue johon kannattaisi kiinnittää enemmän huomiota. Teollisuus pyrkii tähän tietysti kilpailun kautta, mutta etenkin julkisella sektorilla potentiaalia olisi huomattavasti. Esimerkiksi joukkoliikennettä pitäisi mielestäni kehittää Suomen kaltaisessa hyvinvointivaltiossa erittäin isoin harppauksin. EU:n olisi mahdollista säästää energiankulutuksestaan kustannustehokkaasti jopa 20 % vuoteen 2020 mennessä (Fagernäs, L., et al. 2006).

## LÄHDELUETTELO

Euroopan komissio. 2007. EU:n uusi energiasuunnitelma: puhtaampaa energiaa entistä varmemmin [verkkajulkaisu]. Päivitetty 10.1.07, [viitattu 16.4.07] Saatavissa: [http://ec.europa.eu/news/energy/070110\\_1\\_fi.htm](http://ec.europa.eu/news/energy/070110_1_fi.htm)

Fagernäs, L., et al. 2006. Bioenergy in Europe. VTT research notes 2357. Helsinki, Valopaino Oy. 118s. ISBN-951-6815-X

FINBIO - Suomen bioenergiayhdistys ry. 2005. Bioenergia [verkkajulkaisu]. [viitattu 5.3.2007]. Saatavissa: <http://www.finbioenergy.fi/default.asp?init=true&initID=456;9166>

Helynen, S., et al. 2002. Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. VTT tiedotteita 2145. Helsinki, Edita Prima Oy. 110s. ISBN-951-38-6054-X

Holttinen, H. 2004. The Impact of large scale wind power production on the Nordic electricity system. VTT publications 554. Espoo, Otamedia Oy. 82s +taul. 111s. ISBN-951-38-6427-8

KTM. 2005. Lähiajan energia- ja ilmastopolitiikan linjauksia – kansallinen strategia Kioton pöytäkirjan toimeenpanemiseksi [e-document]. [viitattu 11.03.07]. Saatavissa: [http://www.ktm.fi/files/15789/Strategia\\_211105\\_.pdf](http://www.ktm.fi/files/15789/Strategia_211105_.pdf)

KTM. 2006. uusiutuvat energialähteet ja turve 2003 [verkkajulkaisu]. Päivitetty 10.3.2006, [viitattu 11.03.07]. Saatavissa: <http://www.ktm.fi/index.phtml?s=179>

Tilastokeskus. 2006a. Energiatilasto, vuosikirja 2006. Helsinki, Yliopistopaino. 151s. ISBN 952-467-637-0

Tilastokeskus. 2006b. Sähkön ja lämmön tuotanto väheni 17 prosenttia vuonna 2005 [verkkajulkaisu]. Päivitetty 28.12.2006, [viitattu 5.3.2007]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/salatuo/2005/salatuo\\_2005\\_2006-12-28\\_tie\\_001.html](http://www.stat.fi/til/salatuo/2005/salatuo_2005_2006-12-28_tie_001.html)

Tilastokeskus. 2007. Vuoden 2005 kasvihuonekaasupäästöt alle Kioton tason [verkkajulkaisu]. Päivitetty 16.1.2007, [viitattu 24.03.07]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/khki/2005/khki\\_2005\\_2007-01-16\\_tie\\_001.html](http://www.stat.fi/til/khki/2005/khki_2005_2007-01-16_tie_001.html)

Tuulivoimayhdistys. 2005. [verkkajulkaisu]. [viitattu 24.03.07]. Saatavissa: [http://www.tuulivoimayhdistys.fi/index\\_fi.htm](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/index_fi.htm)

VTT. 2006. Suomen tuulivoimatilastot [verkkajulkaisu]. [viitattu 24.03.07]. Saatavissa: [http://www.vtt.fi/palvelut/cluster7/topic7\\_9/Tuulivoiman\\_tuotanto-\\_ja\\_vikatilastot.jsp](http://www.vtt.fi/palvelut/cluster7/topic7_9/Tuulivoiman_tuotanto-_ja_vikatilastot.jsp)

VTT. 2007. Tuulivoimaloiden hankelista tammi 2007 [e-document]. [viitattu 24.03.07]. Saatavissa: [http://www.vtt.fi/liitetiedostot/cluster7\\_energia/Tuulivoimaloiden%20hankelista%20tammi%202007.pdf](http://www.vtt.fi/liitetiedostot/cluster7_energia/Tuulivoimaloiden%20hankelista%20tammi%202007.pdf)

World Wind Energy Association. 2006. [verkkajulkaisu]. [viitattu 24.02.07]. Saatavissa: <http://www.wwindea.org/home/index.php>

Ympäristöministeriö. 2007. Euroopan unionin päästökauppa [verkkajulkaisu]. Päivitetty 28.3.07, [viitattu 15.3.07]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=5289&lan=fi>

Liite 1. Eräiden polttoaineiden ominaisuuksia (Tilastokeskus 2006a)

Polttoaine	Mittayksikkö	Tehollinen lämpöarvo		Ominaispäästökerroin
		GJ	Toe	g CO <sub>2</sub> /MJ
Raakaöljy	t	41,87	1,00	71,3-78,8
Raskas polttoöljy	t	40,61	0,97	78,8
Kevyt polttoöljy	t	42,71	1,02	74,1
Dieselöljy	t	42,71	1,02	73,6
Moottoribensiini	t	43,12	1,03	72,9
Kivihili	t	25,54	0,61	94,6
Koksi	t	29,31	0,7	108
Maakaasu	1000 m <sup>3</sup> (0°C)	36,01	0,86	55,04
Masuunikaasu	1000 m <sup>3</sup>	3,77	0,09	ei tietoja
Koksikaasu	1000 m <sup>3</sup>	16,75	0,4	ei tietoja
Puupelletit	t	16,5-17,6	0,39-0,42	ei päästöjä
Kuori, puru ja hakkeet	t	6-10	0,14-0,24	ei päästöjä