

**Pro gradu -tutkielma**

**Energiaskenaariot – Keski-Suomen  
energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen kehitys ja  
siihen vaikuttavat tekijät**

**Kirsi Sivonen**



**Jyväskylän yliopisto**

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede

11.06.2007

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede

SIVONEN KIRSI, H.: Energiaskenaariot – Keski-Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen kehitys ja siihen vaikuttavat tekijät  
 Pro gradu: 104 s.  
 Työn ohjaajat: Yliassistentti Pedro Aphalo, Yliassistentti Ari Lampinen ja Yliassistentti Margareta Wihersaari  
 Tarkastajat: Professori Jukka Rintala, Yliassistentti Margareta Wihersaari  
 11.06.2007

---

Hakusanat: Energiaskenaariot, hiilidioksidipäästöt, energiantuotanto

### TIIVISTELMÄ

Ihmisen toiminta on lisännyt ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksia, mikä on voimistanut kasvihuoneilmiötä ja johtanut ilmastonmuutokseen. Hiilidioksidi on vesihöyryn ohella merkittävin kasvihuonekaasu ja EU:n alueella hiilidioksidipäästöistä noin 80 prosenttia ovat energiaperäisiä. Energiantuotannolla onkin merkittävä potentiaali vaikuttaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Energiantuotannon investoinnit ovat pitkäaikaisia ja tämän päivän päätöksillä on vaikutuksia kymmeniä vuosia eteenpäin.

Energiaskenaarioiden avulla voidaan tutkia, mitkä päätöksen tukevat parhaiten ilmastonmuutoksen torjumista. Energiaskenaarioita voidaan tuottaa erityyppisillä malleilla. Mallien rakenne vaikuttaa osaltaan siihen, millaisia tuloksia skenaarioista saadaan. Skenaariot sisältävät oletuksia, jotka muuttuvat ajan myötä. Skenaariot eivät ole tarkkoja ennusteita vaan arvioita siitä, minkä suuntaisia vaikutuksia erilaisilla ratkaisuilla voi olla.

Energiansäästö ja uusiutuvan energian lisääminen ovat tehokkaita keinoja vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Useat uusiutuvan energian ja energiansäästön teknologiat eivät vielä ole hinnaltaan kilpailukykyisiä perinteisiin energiateknikoihin verrattuna. Hallinnollisilla keinoilla voidaan tukea uuden teknologian tutkimusta, tuotekehitystä ja käyttöönottoa. Markkinapohjaisilla keinoilla voidaan lisätä tuotteisiin haitallisten ympäristövaikutusten hinta, jolloin puhtaampien teknologioiden on helpompi kilpailla hinnalla.

Tämän pro gradu-tutkielman tavoitteena oli tutkia Keski-Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen kehitystä vuosina 2000-2030. Tätä varten rakennettiin malli Keski-Suomen energiantuotannosta ja -kulutuksesta LEAP-ohjelmaan (Long-range Energy Alternatives Planning System). Hiilidioksidipäästöjen kehitystä tutkittiin neljän skenaarion avulla. Skenaarioihin asetettiin oletuksia mm. väestön ja teollisuuden tuotannon muutoksista, energian käytön tehostumisesta, energiantuotannon polttoainevalinnoista sekä energiantuotantomuodoista.

Skenaarioissa, joissa panostettiin energiansäästöön ja hajautettuun energiantuotantoon, ei tarvittu uutta suurta CHP-laitosta. Energiansäästön myötä maakunnan ulkopuolelta ostettavan sähkön tarve väheni. Kun turvetta ja fossiilisia polttoaineita korvattiin uusiutuvalla energialla, CO<sub>2</sub>-päästöt laskivat alle Euroopan Unionin asettamien päästötavoitteiden. Merkittävimmät uusiutuvan energian muodot skenaarioissa olivat biomassaa kuten puuta, teollisuuden lietteitä ja peltobiomassaa. Aurinkoenergian ja tuulivoiman merkitys oli suhteellisen pieni vuoteen 2030 mennessä, mutta potentiaalia kasvulle on teknologian kehittymisen myötä.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science

Department of Biological and Environmental Science  
Environmental Science

SIVONEN KIRSI, H.: Energy scenarios – Energy production’s carbon dioxide emissions and it’s evolution in Central Finland  
 Master of Science Thesis: 104 p.  
 Supervisors: Associate professor Pedro Aphalo, Associate professor Ari Lampinen and Associate professor Margareta Wihersaari  
 Inspectors: Professor Jukka Rintala, Associate professor Margareta Wihersaari  
 11.06.2007

Key Words: Energy scenarios, carbon dioxide, energy production

### ABSTRACT

Global climate change is due to human induced greenhouse gas (GHG) concentrations growth in the atmosphere. After water vapor carbon dioxide is the most important GHG. Energy production has large potential to reduce greenhouse gas emissions. Energy product investments are long term investments and the decisions we make today affect for decades.

Energy scenarios are tools that help to research which decisions are the best to reduce climate impacts. There are different kinds of models that can produce energy scenarios. Depending on the model results can be substantially different. Scenarios consist of assumptions that change through time. Scenarios aren’t precise prediction. They give assessments of how different decisions can affect on the result.

Saving energy and renewable energies are effective way to reduce GHG emissions. Several energy saving and renewable energy technologies aren’t yet competitive with traditional energy technologies. There are various administrative means to support R&D and adoption of new technologies. Market based means use taxation or other means to ad the price of harmful environmental effects on the product, so cleaner technologies may become more competitive.

The aim of this master’s thesis is to research the carbon dioxide emission of energy production in the county of central Finland. The time scale is from year 2000 to 2030. Model of central Finland’s energy production and consumption was build with LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System). Four scenarios were built to research the evolution of CO<sub>2</sub> emissions. Scenario assumptions were among other things about population, progress of industry, energy intensity, fuel choices and mode of energy production.

New large CHP power plant became unnecessary at the scenarios where energy savings and decentralized energy production were invested in. Energy savings reduced the need of imported energy outside of the county. In scenarios, where peat and fossil fuels were replaced with renewable energy, CO<sub>2</sub> emissions declined under EU’s emission reduction aims. The most important source of renewable energy was biomass like wood, black liquor, crop residues and energy plants. The amount of solar energy and wind power was relatively small, but further in the future with technology development they probably will become more significant.

## Sisältö

<b>1.</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>ENERGIAMALLIT</b> .....	<b>7</b>
2.1.	Energiamallien jaottelu .....	7
2.1.1.	Bottom-up ja Top-down -mallit.....	8
2.1.2.	Tasapainomallit .....	9
2.1.3.	Optimointi- ja simulaatiomallit .....	10
2.1.4.	Hybridimallit .....	10
2.2.	Mallien ominaisuuksia .....	11
2.2.1.	Aika- ja alueskaala.....	11
2.2.2.	Sisäiset ja ulkoiset parametrit.....	12
<b>3.</b>	<b>SKENAARIOT</b> .....	<b>12</b>
3.1.	Vaikuttavat tekijät.....	13
3.1.1.	Väestö .....	14
3.1.2.	Taloudellinen ja sosiaalinen kehitys .....	14
3.1.3.	Politiikka ja teknologia .....	15
<b>4.</b>	<b>HALLINNOLLISET KEINOT KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEKSI</b> .....	<b>15</b>
4.1.	Markkinapohjaiset keinot .....	16
4.1.1.	Verot .....	16
4.1.2.	Päästökauppa.....	17
4.1.3.	Tuet ja muut kannustimet sekä palautukset.....	18
4.2.	Hallinnollinen sääntely.....	19
4.2.1.	Päästölupajärjestelmä ja standardit.....	19
4.2.2.	Vapaaehtoiset sopimukset.....	19
4.3.	Muita keinoja.....	20
4.3.1.	Tiedon tuottaminen sekä tutkimus ja kehitys .....	20
4.3.2.	Kansainväliset sopimukset .....	20
4.4.	Energian hinta.....	21
4.4.1.	Energian hinnan muodostuminen .....	21
4.4.2.	Vaikutukset .....	21
<b>5.</b>	<b>TEKNOLOGIA JA UUSIUTUVAT ENERGIAT HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISESSÄ</b> .....	<b>22</b>
5.1.	Teknologian kehitys.....	22
5.1.1.	Uuden teknologian esteet ja mahdollisuudet .....	23
5.2.	Uusiutuvat energiamuodot ja hajautettu tuotanto .....	25
5.2.1.	Aurinkoenergia .....	26
5.2.2.	Tuulivoima .....	27
5.2.3.	Vesivoima .....	30
5.2.4.	Biomassa .....	31
5.2.5.	Biokaasu.....	32
5.2.6.	Lämpöpumput .....	33
5.2.7.	Yhdyskuntajäte.....	34
5.2.8.	Muita uusiutuvia energianlähteitä.....	35
5.2.9.	Pienimuotoinen CHP .....	36
5.3.	Muu energiantuotanto .....	36
5.3.1.	Ydinvoima.....	37
5.3.2.	Fossiiliset polttoaineet .....	38

5.3.3.	Turve.....	39
5.4.	Energian kulutuksen vähentäminen .....	40
5.4.1.	Teollisuus .....	40
5.4.2.	Rakennukset .....	41
5.4.3.	Maatalous .....	43
5.5.	Hiilinielut sekä hiilidioksidin sieppaus .....	43
5.5.1.	Hiilidioksidin sieppaus ja varastointi.....	44
<b>6.</b>	<b>AINEISTO JA MENETELMÄT.....</b>	<b>45</b>
6.1.	Skenaarioiden kuvaukset .....	47
6.1.1.	Kehitys ilman poliittista painetta.....	47
6.1.2.	Bioenergiastrategian mukainen kehitys .....	47
6.1.3.	Uusiutuvien energioiden skenaario.....	47
6.1.4.	Tehokkaan kulutuksen skenaario.....	48
6.2.	Skenaarioiden lähtötiedot ja oletukset.....	48
6.2.1.	Väestö .....	49
6.2.2.	Energian kulutus .....	49
6.2.3.	Kotitaloudet .....	49
6.2.4.	Julkiset tilat ja palvelurakennukset .....	52
6.2.5.	Teollisuus .....	53
6.2.6.	Maatalous .....	54
6.2.7.	Energiansiirto .....	55
6.2.8.	Energiantuotanto.....	55
6.2.9.	Polttoaineiden ominaisuudet ja päästökertoimet .....	58
6.2.10.	Polttoainevarat.....	59
6.2.11.	Polttoaineiden käyttö energiantuotannossa .....	61
<b>7.</b>	<b>TULOKSET .....</b>	<b>65</b>
7.1.	Kulutus .....	65
7.2.	Energian tuotanto .....	71
7.3.	Polttoaineiden riittävyys.....	72
7.4.	Hiilidioksidipäästöt .....	73
7.5.	Herkkyystarkastelu.....	74
<b>8.</b>	<b>TULOSTEN TARKASTELU.....</b>	<b>76</b>
<b>9.</b>	<b>JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>78</b>

## Liitteet

LIITE I KOTITALOUKSIEN LÄHTÖTIETOJA .....	90
LIITE II KOTITALOUKSIEN SÄHKÖLAITTEIDEN OLETUKSIA .....	91
LIITE III KOTITALOUKSIEN VALAISTUKSEN OLETUKSIA.....	96
LIITE IV ASUNTOJEN LÄMMITYS.....	97
LIITE V JULKISTEN TILOJEN JA PALVELURAKENNUSTEN LÄMMITYS .....	99
LIITE VI TEOLLISUUDEN LÄHTÖTIETOJA .....	100
LIITE VII TEOLLISUUDEN JALOSTUSARVOT .....	101
LIITE VIII MAATALOUS .....	102
LIITE IX SÄHKÖN SIIRTO JA TUOTANTO .....	103
LIITE X POLTTOAINEET.....	104

## 1. JOHDANTO

Hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) ja muut kasvihuonekaasut kuten, vesihöyry ( $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ ) metaani ( $\text{CH}_4$ ), typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ) ja kloorifluorihilivedyt (CFC) pidättävät lämpöä ilmakehässä estäen sen karkaamista avaruuteen. Tätä kutsutaan kasvihuoneilmiöksi, jota ilman maapallo olisi niin kylmä, ettei elämän synty olisi ollut mahdollista. Esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden käyttö ja maan käytön muutokset kuten metsien hävittäminen ovat johtaneet ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksien kasvuun. Lisääntyneet kasvihuonekaasut voimistavat kasvihuoneilmiötä. Ilmakehän hiilidioksidi- ja metaanipitoisuudet ovat tällä hetkellä korkeammalla kuin 650 000 vuoteen. Maapallon lämpötila on kohonnut  $0,6 \pm 0,2$  °C vuodesta 1860 (Meadows ym. 2005). On jo erittäin varmaa, että ihmisen toiminta on nostanut säteilypakotetta vuodesta 1750 lähtien keskimäärin  $1,6 \text{ W/m}^2$  vuodessa (IPCC 2007). On kuitenkin epävarmaa, miten paljon ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan lämpötiloihin, tuuliin, sadantaan, merivirtoihin tai ekosysteemeihin. Eräs epävarma tekijä on luonnon omat palauteketjut. Hiilen ja energian kierrot maapallolla ovat monimutkaisia eikä niitä tunneta tarkasti. Ne sisältävät negatiivisia palauteketjuja, jotka tasaavat hiilidioksidipitoisuutta ja lämpötilaa, mutta ne sisältävät myös positiivisia palauteketjuja, jotka voimistavat ilmaston lämpenemistä.

Hiilidioksidi on vesihöyryn ohella merkittävin ilmakehän kasvihuonekaasu. Ilmastonmuutoksen torjumisessa energiantuotannon rakenteen muutoksella on suuri osuus. Energiaperäiset hiilidioksidipäästöt muodostavat 80 % EU:n kasvihuonepäästöistä (Euroopan yhteisöjen komissio 2007). Siirtyminen fossiilisista polttoaineista uusiutuvaan energiaan on väistämättä edessä. Siirtymävaiheessa fossiilisten polttoaineiden tehokas käyttö ja energian säästö tulevat olemaan merkittäviä keinoja vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Yksi tärkeä päästöjen kehitykseen vaikuttava tekijä on teknologian kehitys. Mitä nopeammin kehitetään tehokasta, puhdasta ja kilpailukykyistä teknologiaa sekä saadaan nämä teknologiat markkinoille ja käyttöön sitä nopeammin niiden vaikutukset näkyvät päästöissä.

Tulevaisuuden kasvihuonekaasujen päästötasot ovat monimutkaisen, huonosti tunnetun dynaamisen systeemin tuote, jonka takana olevia tekijöitä ovat väestön kasvu sekä sosioekonominen ja teknologinen kehitys. Siksi päästöjen tarkka ennustaminen on mahdotonta. Kuitenkin lähiaikojen ratkaisuilla on pitkäaikaisia vaikutuksia ilmastoon. Niinpä päätöksen tekijät tarvitsevat yhteenvedon siitä, mitä ymmärretään tulevaisuuden mahdollisista kasvihuonekaasupäästöistä. Skenaariot ovat työkaluja, joilla voidaan vetää yhteen nykyinen ymmärrys tärkeistä vaikuttavista tekijöistä ja niihin liittyvistä epävarmuuksista. Energia- ja päästömallien sekä niillä tuotettujen skenaarioiden avulla pyritään tutkimaan, mitkä toimet tukevat parhaiten ilmastonmuutoksen torjumista.

Vaikka ilmastonmuutos on globaali ongelma, myös paikallisilla ratkaisuilla on suuri merkitys ilmastonmuutoksen torjunnassa. Tämän pro gradu- tutkielman tavoite on tutkia, miten erilaiset poliittiset päätökset ja tekniset ratkaisut voisivat vaikuttaa Keski-Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöihin vuoteen 2030 mennessä. Tutkimusvälineenä käytetään energiaskenaarioita, joilla kuvataan erilaisia suuntia, joihin energian tuotanto ja kulutus sekä hiilidioksidipäästöt voivat kulkea.

## 2. ENERGIAMALLIT

Malli on oikean systeemin korvike. Malleja käytetään kun oikealla systeemillä kokeileminen on hankalaa tai mahdotonta. Järjestelmät ovat yleensä niin monimutkaisia, että niitä on mahdoton mallintaa täysin, siksi mallit ovat yksinkertaisempia kuin todelliset systeemit. Malleihin kuitenkin pyritään sisällyttämään kaikki tärkeimmät suhteet eri tekijöiden välillä. Näin voidaan pyrkiä ennustamaan systeemin tulevaa käyttäytymistä ja oppia ymmärtämään paremmin sen nykyistä käyttäytymistä (Ford 1999). Järjestelmät, jotka tunnetaan hyvin ja joista on tarvittavat tiedot saatavilla, voidaan mallintaa jonkinlaisella tarkkuudella, jolloin myös ennustaminen on mahdollista. Fyysiset mallit ovat usein tällaisia. Kuitenkin monia fyysisiä ja sosiaalisia järjestelmiä tunnetaan vähän ja tietoja useista muuttujista puuttuu, jolloin niitä voidaan pyrkiä ymmärtämään vain intuition avulla ja tuoda esille kuvien ja tarinoiden kautta (IPCC 2000).

Erilaisilla malleilla tuotettujen skenaarioiden avulla voidaan kuvata erilaisia tulevaisuuksia ja nähdä, minkä suuntaisia vaikutuksia nykyisillä ja tulevilla poliittisilla ratkaisuilla on lähitulevaisuudessa. Malleja ja skenaarioita rakennetaan päätöksenteon avuksi (IEA 1998, IPCC 2000). Mallit ovat olleet kansallisen energiasuunnittelun työkaluja 1970-luvun puolivälistä saakka. Silloin niiden avulla pyrittiin löytämään keinoja selvittää ensimmäisestä öljyn kauppasulusta. Nykyisin ilmaston lämpeneminen ja ympäristön turvallisuus ovat aiheita, jotka kannustavat käyttämään malleja päätöksenteon apuna. Fysikaalisilla malleilla voidaan ennustaa lisääntyneen hiilidioksidin vaikutuksia ilmastoon. Energia-ekonomisilla malleilla voidaan kuvata erilaisten päästövähennys vaihtoehtojen ekonomiset ja mallista riippuen myös tekniset vaikutukset (Nakata 2004).

Mallinnettaessa energiajärjestelmiä tärkeimmät kiinnostuksen kohteet ovat energian kulutus ja hinta sekä eri energialähteiden määrät ja saatavilla olevien resurssien jako kilpailevien käyttötarkoitusten kesken. Endogeenisten eli sisäisten muuttujien ja eksogeenisten eli ulkoisten muuttujien välisten toiminnallisten suhteiden mallintamisessa käytetään useita eri tapoja, jotka ovat sopivia vaihtoehtoisten oletusten tai hallituspolitiikan tutkimiseen. Parametrien arvot ja toiminnalliset kaavat, jotka määrittävät endogeeniset suhteet, määräytyvät käyttäytymistekijöiden ja talouden perimmäisen rakenteen mukaan. Parametrien suhteita kuvataan energiaa kuluttavien laitteiden, peruspääoman, resurssien jakamisen ja siihen liittyvien kehityskustannusten, hallituksen väliintulon (esim. verot ja avustukset), liikenteen infrastruktuurin, demograafisten tekijöiden, sosiopoliittisen suuntautuneisuuden (markkinat vastaan suunnitelmatalous) ja ympäristöllisten tai muiden säätelevien pakotteiden avulla (Kydes ym. 1995). Muita tärkeitä tekijöitä ovat teknologiset innovaatiot ja tehokkuuden paraneminen, jotka tulisi sisällyttää myös malliin. Energiamallien kaksi tärkeintä tekijää ovat energian tarve ja tuotanto. Niihin vaikuttavat kaksi olennaista tekijää: energian määrä ja hinta (Nakata 2004).

### 2.1. Energiamallien jaottelu

Energiamallit ottavat eri tavalla huomioon eri tekijöitä. Toiset mallit keskittyvät lähes täysin energiasektoriin, kun toiset ottavat paremmin huomioon suhteet muuhun talouteen. On myös olemassa fyysisiä malleja, joiden avulla voidaan laskea esimerkiksi kasvavan hiilidioksidipitoisuuden vaikutuksia ilmastoon. Malleja voidaan jaotella eri tavoin eikä jako eri mallityyppien välillä ole aina selvä. Tässä kappaleessa on jaoteltu malleja, jotka käsittelevät energiaa, talouteen ja ympäristöön liittyviä parametreja. Esimerkiksi IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ja IEA (International Energy Agency) käyttävät esitettyä jaottelua.

### 2.1.1. Bottom-up ja Top-down -mallit

Bottom-up ja top-down -mallit lähestyvät samaa asiaa eri näkökulmista (Taulukko 1). Bottom-up -mallit keskittyvät teknologisiin sekä poliittisiin vaihtoehtoihin. Top-down -mallit taas keskittyvät käsittelemään makroekonomiaa eli kansantalouden kokonaissuureita kuten kysyntää, tarjontaa, kulutusta, säästämistä ja investointia sekä hintatasoa (IPCC 2001). Nämä kaksi mallityyppiä ovat kuitenkin lähestymässä toisiaan kun kumpikin saa ominaisuuksia toisesta tyypistä. Näin syntyy niin sanottuja hybridimalleja (IEA 1998, IPCC 2001).

Top-down -mallit käyttävät ryhmiteltyä tietoa ja bottom-up mallit ryhmittelemätöntä tietoa. Top-down nimitys tulee tavasta, jolla mallintajat soveltavat makrotaloudellista teoriaa ja ekonometrisiä tekniikoita historialliseen tietoon mm. kulutuksesta, hinnoista ja tuloista. Näitä tietoja käytetään hyväksi mallinnettaessa tavaroiden ja palvelujen tarvetta sekä pääsektoreiden kuten energiasektorin, liikenteen, maatalouden ja teollisuuden tarjontaa. Tuloksena saadaan arvio kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen taloudellisista vaikutuksista (Capros ym. 1999). Top-down malleista puuttuu bottom-up mallien teknologinen yksityiskohtainen tieto. Top-down -mallit ovat kuitenkin yksityiskohtaisia, mutta eri tavalla kuin bottom-up -mallit. Ne sisältävät useita teollisuuden sektoreita ja taloustyyppisiä sekä monia rakentamistarvefunktioita, jotka laskevat talouksien kuluja laskemalla yhteen yksilöiden tarvefunktioita (IPCC 2001).

Bottom-up mallit pyrkivät löytämään vaihtoehtoisia keinoja tuottaa energiaa. Malleissa käytetään tietoa sekä tuotanto- että kulutussektoreista kuten pääoma- ja käyttökustannuksista, polttoaineen tarpeesta, laitteiden käyttöiästä ja -alasta, tuotantokapasiteetista, tekniikoiden tehokkuudesta sekä ympäristövaikutuksista. Mallia rakennettaessa valitaan lupaavat energiatekniikat ja niiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen kustannukset arvioidaan. Itse analyysissä otetaan huomioon politiikka, arvioidaan kauppapolosuhteita ja tuotetaan arvio. Uusien ja parannettujen teknologiaratkaisuiden markkinoille pääsy on tärkeässä osassa laskettaessa päästövähennysten kustannuksia. Bottom-up malleista puuttuu usein palaute talouteen ja kansainvälisten energiamarkkinoiden kautta syntyvät vaikutukset (IEA 1998, Capros ym. 1999).

Bottom-up -mallit tuottavat usein suhteellisen pieniä kustannuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi kun taas top-down -mallit tuottavat suhteellisen suuria kustannuksia. Tämä ero johtuu niiden perimmiltään erilaisesta tavasta esittää teknologiaa (IPCC 2001). Top-down mallit kantavat menneiden suuntausten taakkaa mukanaan ja olettavat, että saatavilla on vain rajoitettu määrä parempaa teknologiaa ja kustannustehokkaita mahdollisuuksia. Top-down mallit myös olettavat, että energiamarkkinat toimivat tehokkaasti ja energiansäätöä tapahtuu vain, kun se pienentää kustannuksia. Bottom-up mallit sisältävät oletuksen, että on olemassa laaja skaala teknisiä mahdollisuuksia, joita talous voi käyttää hyödykseen heti ja pienin kustannuksin. Tämä mahdollistaa energian kulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen ilman lisäkustannuksia (IEA 1998, Capros ym. 1999).



Taulukko 1. Top-down ja bottom-up -mallien ominaispiirteet (Nakata 2004).

<b>Top-down mallit</b>	<b>Bottom-up mallit</b>
Taloudellinen lähestymistapa	Teknologinen lähestymistapa
Ei pysty selkeästi esittelemään tekniikoita	Mahdollistaa tekniikoiden yksityiskohtaisen käsittelyn
Kuvastaa saatavilla olevia tekniikoita	Kuvastaa teknistä potentiaalia
Käyttää yhdisteltyä tietoa ennustus-tarkoituksiin	Käyttää yhdistelemätöntä tietoa tutkimus-tarkoituksiin
Perustuu havaittuun markkinakäyttäytymiseen	Itsenäinen havaitusta markkinakäyttäytymisestä
Ei ota huomioon teknisesti kaikkein tehokkaimpia saatavilla olevia tekniikoita, aliarvioi tehokkuuden parantamispotentiaalia	Ei ota huomioon markkinakynnystä, piilokustannuksia ja muita esteitä, koska yliarvioi tehokkuuden parantamispotentiaalia
Määrittää energian tarpeen yhdisteltyjen taloudellisten indeksien (BKT, hinnan muutokset) avulla, mutta energian tuotannon käsittely vaihtelee	Esittelevät tuotantotekniikat yksityiskohtaisesti käyttäen yhdistelemätöntä tietoa, mutta energian kulutuksen käsittely vaihtelee
Muuttavat käyttäytymissuhteet sisäisiksi	Arvioi suoraan teknologisten vaihtoehtojen kustannukset
Oletuksena historiallisten suuntausten jatkuvuus	Oletuksena energiasektorin ja muiden sektorien vuorovaikutukset merkityksellömyys

### 2.1.2. Tasapainomallit

Tasapaino- eli CGE-mallit (Computable general equilibrium) käsittelevät talouselämää kokonaisuudessaan. Ne yhdistävät energian tarpeen ja tuotannon muun talouselämän kanssa. Nämä mallit keskittyvät keskipitkiin ja pitkiin ilmastopoliittikan vaikutusten analyysiin. CGE-mallit pyrkivät löytämään tasapainon hinnan tasausten avulla. Ne sisältävät selkeän erittelyn kaikkien merkittävien taloudenpitäjien kuten tuottajien ja muiden kaupallisten yritysten, kotitalouksien ja hallitusten käyttäytymisestä (Kydes ym. 1995, Capros ym. 1999, IPCC 2001). Tasapainomallit soveltavat käyttäytymissuhteita, jotka ovat peräisin talouksien etujen maksimoinnista ja yritysten pyrkimyksestä hintojen minimointiin. Näin energiasektori ja muu talouselämä saadaan yhdistettyä. Tällaisia suhteita syntyy, koska energian tarve johtuu muiden hyödykkeiden ja palvelujen tarpeesta. Energian tuotanto vuorostaan tarvitsee pääomaa, työvoimaa ja muita hyödykkeitä. Näiden tekijöiden selkeä yhdistäminen antaa tietoa kuinka poliittiset toimet tai teknologinen muutos vaikuttavat hintoihin ja resurssien jakamiseen. Tasapainomalleissa tuotanto jaetaan erillisiin hyödykeryhmiin. Hyödykeryhmät sisältävät useita eri primäärisiä ja sekundäärisiä energialähteitä. Tällainen kokonaisuuden jakaminen hyödykeryhmiin sallii energiaintensiivisten tuotteiden hintalähtöisen korvaamisen, joka johtuu luonnon varojen vähenemisestä tai poliittisista välineistä kuten hiiliverosta (Kydes ym. 1995).

Malleissa tasapainotila saavutetaan muuttamalla tuotteiden ja tekijöiden hintoja (Kydes ym. 1995):

- Hinnat mukautuvat niin, että jokaisen teollisuuden tuotteen tarve on yhtä suuri kuin sen tuotto.
- Palkat mukautuvat niin, että tuotantosektorin työvoiman tarve on yhtä suuri kuin kotitalouksien tarjonta.

- Korkokannat mukautuvat niin, että yritysten pääoman tarve (investoinnit) on yhtä suuri kuin pääoman tarjonta (säästöt).
- Hallituksen lopulliset vaatimukset saadaan julkisen sektorin tuotto-odotuksista (tulot + budjettialijäämä = menot).

Tasapainomallit sopivat hyvin pitkäaikaisten ratkaisujen löytämiseen, sillä ne pystyvät jakamaan resurssit uudelleen, kun päästörajoituspolitiikan mukanaan tuomat toimet otetaan käyttöön (IEA 1998). CGE-mallit pystyvät kiteyttämään poliittiset vaikutukset sekä näyttämään vuorovaikutukset energia- ja ei-energia-sektoreiden välillä. Nämä mallit eivät kuitenkaan pysty käsittelemään yksityiskohtaista tietoa energiasektorin rakenteesta (Frei ym. 2003).

### 2.1.3. Optimointi- ja simulaatiomallit

Optimointimalleissa (dynamic energy optimization models) keskitytään energiasektoriin ja -teknologiaan. Niitä kutsutaan myös osittaisiksi tasapainomalleiksi (partial equilibrium models). Ne ovat hyödyllisiä arvioitaessa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen potentiaalia ja kustannuksia. Energian tarve määritetään näissä malleissa kokonaisuudessaan ulkoisena talousjärjestelmästä. Mallit etsivät ratkaisuja, miten energian tarve tyydytetään mahdollisimman pienin kustannuksin. Uudemmissa versioissa hinnan muutokset vaikuttavat energian tarpeeseen. Kustannukset sisältävät kaikkien sektoreiden investointi- ja käyttökustannukset. MARKAL (the acronym for MARKET ALlocation) ja MESSAGE ovat laajalti tunnettuja ja käytettyjä optimointimalleja (IEA 1998, IPCC 2001).

Simulaatiomallit (Integrated energy-system simulation models) ovat bottom-up -malleja, jotka sisältävät yksityiskohtaista tietoa energian tarpeesta ja tuotantotekniikoista. Energiasektoriin keskittyminen mahdollistaa enemmän yksityiskohtaista tietoa alueista ja energialähteistä kuin muissa malleissa. Energiasektoriin keskittyminen on taas mahdollista jättämällä energiasektorin ulkopuolinen toiminta abstraktiksi (Kydes ym. 1995). Ulkoiset skenaarion oletukset ohjaavat energian tarvetta ja teknologian kehitystä, jotka on usein linkitetty teknologisiin malleihin ja ekonometrisiin ennusteisiin. Energian tarve on jaettu mm. teollisuuden sektoreihin ja prosesseihin, asumisen ja palvelun kategorioihin sekä eri liikennemuotoihin. Tämä mahdollistaa kehityksen suuntien arvioinnin teknologisten kehitysskenaarioiden avulla. Simulaatiomallit soveltuvat lyhyisiin ja keskipitkiin tutkimuksiin, joissa yksityiskohtainen teknologinen tieto auttaa selittämään tärkeimmät energian tarpeet (IPCC 2001).

### 2.1.4. Hybridimallit

Hybridimallit pyrkivät yhdistämään top-down ja bottom-up näkökulmat ja käyttämään hyväkseen niiden molempien vahvuudet. Molempien vahvuudet ja puutteet ovat suhteessa toiseen näkökulmaan, jolloin ne täydentävät toisiaan ja niiden yhdistäminen luo monipuolisen analyyttisen työkalun. Top-down ja bottom-up -malleja voidaan yhdistää kahdella tavalla. Pehmeässä yhdistämisessä kahta mallia käytetään itsenäisesti vierekkäin, jolloin toisesta voidaan ottaa näkemyksiä toiseen tuloksien parantamiseksi. Kovassa yhdistämisessä korvataan molempien mallien tärkeitä parametreja toisen mallin parametreilla, jolloin mallien erillinen käyttö estyy (IEA 1998). Mallien yhdistäminen ei kuitenkaan ole ongelmatonta. Mallien yhdistämisen ongelmat voidaan jakaa neljään kategoriaan (Kydes ym. 1995):

- Mallien rakenteen, tiedon tai määrittelyn eroista johtuen syntyvät epä johdonmukaisuuksia mallien päällekkäisissä kohdissa. Mallista saadaan johdonmukainen poistamalla tai jättämällä huomiotta toinen päällekkäisistä edustuksista, jotta vain merkittävämpi käsittely jää jäljelle.

- Yhdistämättömien mallien erot soveltamisalassa ja rakenteessa suljetaan pois yksinkertaisesti muuttamalla toisen mallin tuloksia täysin sellaiseen muotoon kuin toinen malli tarvitsee.
- Muuttujien vaihtelevuus ja määrä toisessa mallissa voi ylittää toisen mallin rajat.
- Tiedon esittämisessä voi olla eroja kuten yksiköt (brittiläinen vs. metrinen), alueskaala (valtio vs. paikallinen), tiheys (neljännesvuosi vs. vuosi) tai aikaskaala.

Vaikka mallit saataisiin teknisesti sovitettua yhteen, voi mallien läpinäkyvyys ja joustavuus kärsiä ja suurempi yhdistetty malli voi pysäyttää parannukset mallien suorituskyvyssä (Kydes ym. 1995).

## 2.2. Mallien ominaisuuksia

### 2.2.1. Aika- ja alueskaala

Skenaarioiden aikaskaala riippuu paljon siitä, mitä mallinnetaan, mutta myös alueskaalasta. Mallinnettaessa ilmastoa ja analysoitaessa ilmastovaikutuksia skenaarioiden on oltava vähintään 100 vuotta pitkiä, koska ilmastojärjestelmän vasteet ovat hitaita. Toisaalta poliittisia analyysejä tehdään 20 – 50 vuoden tähtäimillä (IPCC 2000). Fearnsidein (2002) mukaan tehtäessä globaaleja laskelmia ilmaston muutoksen lieventämiseen liittyvistä seikoista on aikaskaalan oltava sata vuotta.

Aikaskaala voidaan jakaa kolmeen eri pituuteen: lyhyt aikainen (0 - 2 vuotta), keskipitkä (2 - 25 vuotta) ja pitkäaikainen (25 - 50 vuotta sekä pidemmät). Mallin aikaskaala vaikuttaa rakenteellisten muutosten kuvaamiseen sekä siihen, mitkä eksogeeniset muuttujat ovat merkittäviä. Eksogeeniset muuttujat voidaan jakaa niihin, joilla on huomattavaa lyhytaikaista vaihtelua (esimerkiksi sää) ja niihin jotka ovat vakaita lyhyellä aikavälillä ja noudattavat pitkäaikaisia suuntauksia kuten väestö. Koska talouden rakenne ja tuotannon kapasiteetti ovat muuttumattomia lyhyellä aikavälillä, lyhyen aikaskaalan malleissa hinnan muutokset syntyvät eksogeenisten muuttujien kausiluontoisesta heilahtelusta tai hetkellisistä tapahtumista kuten poliittisista konflikteista, ankarasta säästä, lakoista jne. Lyhytaikaisen ennustamisen haasteena onkin, ettei sellaisia tapahtumia voi ennustaa (Kydes ym. 1995).

Pidempien ennusteiden painotus siirtyy kohti markkinoiden selvittämistä ja eksogeenisten muuttujien suhteellisen vakaita suuntauksia. Keskipitkä aikaskaala ulottuu niin kauas, että merkittäviä innovaatioita voi tapahtua joillakin sektoreilla, mutta saatavilla oleva teknologia, energiankulutuslaitteistot ja demograafiset mallit voidaan ennakoida suhteellisen varmasti (EIA 1991). Vaikka uutta teknologiaa syntyy koko ajan, niiden markkinoille pääsy on epävarmaa. Vaiheittainen pääoman vaihtuvuus kertoo, että suurin osa laitteistoista, joita tullaan käyttämään keskipitkällä aikaskaalalla, ovat jo käytössä tai juuri tulossa markkinoille. Energiasektorin sisällä tapahtuva rakenteellisten suhteiden kehitys voidaan siksikin arvioida lähihistorian suuntausten avulla. Pitkäaikainen mallintaminen keskittyy tärkeimpien eksogeenisten muuttujien pitkäaikaisiin polkuihin (Taulukko 2). Vaikka keskipitkän ja pitkäaikaisen analyysin kronologiseksi muutospisteeksi on valittu 25 vuotta, on tämä raja todellisuudessa hämärä, sillä pitkäaikaisen analyysin prosessit on laitettu alulle jo keskipitkän aikajakson aikana (Kydes ym. 1995).

Taulukko 2. Pitkäaikaisen energiantuotannon ja -kulutuksen mallintamisen tärkeimmät oletukset (Kydes ym. 1995).

<b>Teknologinen muutos</b>	<b>Energian tuotannon muutokset</b>	<b>Energia – talous vuorovaikutukset</b>
Uusien tekniikoiden markkinoille pääsy: vaikutukset hankintakustannuksiin, energiankulutukseen ja työn tuottavuuteen	Uusiutumattomien luonnonvarojen loppuun käyttäminen – kannattavuuden loppuminen ja talteenoton fyysiset rajat	Makroaktiivisuuden vaikutukset energian kulutukseen ja muutokset BKT:n mukautuvuudessa energian tarpeeseen.
Polttoaineiden korvaaminen ja energiansäästö (työvoiman, pääoman tai materiaalien korvaaminen energialla)	Kilpailu nykyisin marginaalisista lähteistä (liuskeöljy tai tuuli) kun tavallisten lähteiden hinnat nousevat	Energian hinnan vaikutukset pitkäaikaiseen taloudelliseen kasvuun ja pääoman muodostumiseen
Muut rakenteelliset muutokset	Uusien lähteiden ilmaantuminen	

Aikaskaalan valitseminen vaikuttaa paljon siihen, mitkä ilmastonmuutoksen lievennysvaihtoehdot näyttävät toimivilta. Valittaessa erittäin pitkä aika, esimerkiksi 2000 vuotta näyttäisivät pysyvät muutokset, kuten fossiilisen polttoaineen käytön vähenemisestä syntyvät päästövähennykset olevan toimivia ilmastonmuutoksen lievennyskeinoja. Jos valitaan lyhyt aika, kuten 25 vuotta saadaan tuloksia, jotka suosivat vaihtoehtoja joista saadaan nopeita voittoja, kuten metsien kaatamisen välttäminen ja nopeasti kasvavien kasvilajien kasvattaminen (Fearnside 2002).

Mallien ja skenaarioiden aluekaala voi vaihdella yhdestä kylästä koko maailmaa käsittävään alueeseen. Mallinnettaessa pientä aluetta voidaan malliin sisällyttää enemmän tarkkoja yksityiskohtia, mutta toisaalta alueen ulkopuoliset alueeseen kuitenkin vaikuttavat tekijät joudutaan jättämään ulkopuolisiksi eli eksogeenisiksi tekijöiksi. Tehtäessä globaaleja malleja joudutaan yhdistelemään paljon tietoa, jolloin esimerkiksi alueellisia vaihteluita ei pystytä ottamaan täysin huomioon.

### 2.2.2. Sisäiset ja ulkoiset parametrit

Energiataloudessa tapahtuvien muutoksien voidaan katsoa johtuvan sekä energiatalouden kannalta endogeenisistä ja eksogeenisistä tekijöistä. Myös malleissa käytetään tätä jaottelua. Endogeeniset tekijät sisällytetään malliin kun taas eksogeeniset parametrit kuvataan esimerkiksi skenaarioiden tarinoiden avulla. Endogeenisia tekijöitä voivat olla esimerkiksi muutokset kuluttajien polttoaine- ja teknologiavalinnoissa sekä kulutustottumuksissa ja muutokset teknologisessa kehityksessä. Energiatalouteen vaikuttava poliittinen ohjaus on tyypillinen eksogeeninen tekijä (Vehmas ym. 1997). Endogeenisten ja eksogeenisten parametrien jaottelu on lähinnä määrittelykysymys ja erilaisissa malleissa jako voi olla erilainen.

## 3. SKENAARIOT

Skenaariot ovat kuvauksia siitä, miltä tulevaisuus voisi näyttää. Skenaarioiden sarja voi auttaa ymmärtämään monimutkaisen järjestelmän mahdollisia tulevaisuuksia. Skenaariot ovat yhdistäviä työkaluja, jotka liittävät toisiinsa kvalitatiiviset kertomukset ja

kuvaukset tulevaisuudesta sekä muodolliseen mallintamiseen perustuvat kvantitatiiviset muotoilut. Näin ne parantavat ymmärrystä järjestelmän toiminnasta, käyttäytymisestä ja kehityksestä. Skenaariot ovat hyödyllisiä työkaluja niin tieteellisessä arvioinnissa, jossa pyritään ymmärtämään monimutkaisen järjestelmän käyttäytymistä kuin politiikan teossa (Jefferson 1983, Davis 1999). Tieteellisessä arvioinnissa skenaariot perustuvat yleensä sisäisesti johdonmukaisiin ja uudelleentuotettaviin oletuksiin tai teorioihin tärkeimmistä suhteista ja muutosta ajavista voimista, jotka juontavat juurensa historian ja nykytilanteen ymmärtämisestä. Skenaariot muotoillaan yleensä numeeristen tai analyyttisten muodollisten mallien avulla (IPCC 2000). Skenaariot sisältävät oletuksia erilaisten tekijöiden muutoksista. Tällaisia tekijöitä ovat mm. taloudellinen kasvu, päästöihin vaikuttavat politiikat kuten poliittiset päätökset, jotka vaikuttavat energian kulutukseen sekä metsien hakkuiden määrät, CFC-yhdisteiden tuotantomäärät jne. (Lashof 1991). Ne eivät ole ennusteita vaan uskottavia, merkittäviä ja haastavia vaihtoehtoisia tulevaisuuksia. Tarkoituksena ei ole ennustaa tulevaisuutta tarkasti vaan löytää tekijät, jotka voivat vaikuttaa tutkittujen tekijöiden tulevaisuuteen (Nakata 2004).

Skenaariot voidaan jakaa normatiivisiin ja kuvaileviin skenaarioihin. Normatiiviset eli preskriptiiviset skenaariot perustuvat täysin arvoihin ja ovat teleologisia eli tiettyä tarkoitusta tavoittelevia. Nämä skenaariot etsivät reittejä, joko toivottuun tai epätoivottuun loppupisteeseen. Kuvailevat skenaariot ovat evolutiivisia ja avoimia. Ne tutkivat polkuja tulevaisuuteen (IPCC 2000).

Skenaariot voidaan jakaa kahteen luokkaan myös sen mukaan ovatko ne ilmastopoliittisia vai ei-ilmastopoliittisia. Ilmastopoliittisen skenaariot (CP climate policy) sisältävät avoimen politiikan tai selkeän päämäärän kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Skenaariot, joissa ei puhuta ilmastopoliitikasta eikä päämääristä voivat olla ilmastopoliittisia, jos niissä käytetään kasvihuonekaasulähteiden muutoksia tiettyjen ilmastollisten päämäärien saavuttamiseksi. Tällaisia päämääriä voivat olla esimerkiksi tietty kasvihuonekaasupäästöraja, lämpötila tai merenpinnan nousun yläraja. CP-skenaarioihin tehdään yleensä vertailuskenaario, joka on muuten samanlainen kuin muut mutta siinä ei ole otettu huomioon ilmaston muutoksen torjumista. NCP -skenaariot (no-climate-policy) eli ei-ilmastopoliittiset skenaariot eivät sisällä ilmastopoliittisia tavoitteita, mutta voivat silti vaikuttaa kasvihuonekaasupäästöihin. Esimerkiksi energiatehokkuus- ja maankäyttöpoliitikalla on ilmastovaikutuksia, silti ne ovat erillään ilmastopoliitikasta (IPCC 2001).

Tutkittaessa alueen hiilidioksidipäästöjen kehitystä luodaan yleensä perusskenaario (business as usual BAU), jossa energian kulutus, tuotanto ja hinnat seuraavat nykyisiä trendejä. Sen rinnalle tehdään skenaarioita, joissa pyritään eri tavoin päästöjen vähennyksiin. Bau-skenaario toimii tällöin vertailukohteena, johon muiden skenaarioiden kehitystä voidaan verrata.

### 3.1. Vaikuttavat tekijät

Tärkeimpiä kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavia tekijöitä ovat toiminnalliset tekijät (väestön muutos, kaupungistuminen, esim. talojen ominaisuudet, tuotteiden valmistus), taloudelliset tekijät (BKT, palkat ja hinnat), energiaintensiteetin trendit (energiaa käyttävien laitteiden energiaintensiteetti) ja hiili-intensiteetti (Lynn ym. 1998). Skenaarioissa väestö ja talous vaikuttavat luonnonvarojen käyttöön sekä päästöihin. Usein käytetään ns. IPAT-kaavaa (Impact, Population, Affluence, Technology) (Kaava 1) näiden päästöihin vaikuttavien voimien kuvaamiseen.

$$\text{Vaikutus} = \text{Väestö} * \text{Hyvinvointi} * \text{Teknologia}$$

*Kaava 1.*

Hyvinvointia kuvataan tuloilla henkeä kohti, joka saadaan jakamalla bruttokansantuote väestömäärällä (Kaava 2). Teknologian tasoa kuvataan päästöjen määrällä tuloyksikköä kohden (IPCC 2000).

$$\text{CO}_2 \text{ päästöt} = \text{väestö} * (\text{BKT}/\text{väestö}) * (\text{energia}/\text{BKT}) * (\text{CO}_2/\text{Energia}) \quad \text{Kaava 2.}$$

Price ym. (1998) ovat käyttäneet samaa kaavaa, mutta hieman eri muodossa (Kaava 3). Tätä kaava voi soveltaa eri energian käytön sektoreihin. Esimerkiksi toiminnalliset tekijät liittyvät lähinnä väestöön, mutta teollisuussektorissa siihen voi liittää hyödykkeiden tuotannon, asumissektorilla ihmisten määrän asuntoa kohden ja liikennesektorilla ajoneuvojen määrän.

$$\text{CO}_2 \text{ päästöt} = \text{toiminnalliset tekijät} * \text{taloudelliset tekijät} * \text{energia-intensiteetti} * \text{hiili-intensiteetti} \quad \text{Kaava 3.}$$

Päästöihin vaikuttavat voimat vaihtelevat sekä alueellisesti että ajassa. Skenaarioissa tehdään oletuksia kuinka nämä vaikuttavien voimien muuttumisesta.

### 3.1.1. Väestö

Väestö on yksi tärkeimmistä toiminnallisista tekijöistä. Se vaikuttaa eri sektoreiden aktiivisuuteen ja sitä kautta hiilidioksidipäästöihin. Maan väestö kasvaa nopeasti. Vuosina 1970-1990 kasvu oli keskimäärin 1,8 % vuodessa.

Väestöennusteet ovat tärkeä osa kasvihuonekaasupäästöjä kuvaavia skenaarioita. Väestöennusteet ovat aikaskaalaltaan pitkiä, 100 vuotta tai enemmän, ja niihin otetaan mukaan sosiaalisia ja taloudellisia näkökohtia sekä niihin liittyy epävarmuustekijöitä kuten kasvihuone-kaasupäästöskenaarioihinkin. Väestöennustamisen tärkeimmät tekijät ovat hedelmällisyys, kuolleisuus ja väestön muuttonopeus. Viime vuosina koko maapallon kattavia väestöennusteita ovat tehneet Yhdysvaltojen väestönlaskenta virasto USCB (United States Census Bureau), Maailman pankki WB (World Bank), Yhdistyneet kansakunnat YK ja IIASA (The International Institute for Applied Systems Analysis). Niiden ennusteissa on jonkun verran eroja, mutta keskiennusteet ovat hyvin yhteneviä seuraavan sadan vuoden ajalla. Korkean syntyvyyden ja matalan syntyvyyden ennusteet eroavat selkeästi (IPCC 2000).

Väestön kehitys reagoi monella tavalla sosiaaliseen ja taloudelliseen kehitykseen. Hedelmällisyyden ja kuolleisuuden suuntaukset riippuvat mm. koulutuksesta, tuloista, sosiaalisista normeista ja terveystilanteista. Toisaalta nämä määräävät väestön koon ja ikäjakauman. Näitä tekijöitä pidetään välttämättöminä selittämään pitkän aikavälin tuottavuutta, taloudellista kasvua, talouden rakennetta ja teknologista muutosta (Barro 1997). Teollistuneissa valtioissa väestön kasvu on lähes pysähtynyt ja päästöjen kehitys on seurannut lähinnä talouden kasvua tai laskua. Kehitysmaissa taas väestön ja tulojen kasvu vaikuttavat merkittävästi päästöjen kehitykseen (IPCC 2000).

### 3.1.2. Taloudellinen ja sosiaalinen kehitys

Kehitys on vaikea käsite määritellä. YK:n määritelmän mukaan kehitys edistää ihmisten valinnan mahdollisuuksia. Kuitenkin, ennen kuin valintoja voidaan tehdä, täytyvät perustarpeet olla tyydytettynä. Köyhyys vähentää ihmisten valinnan vapautta ja on merkki epätyytyttävästä talouden kehityksestä (IPCC 2000, UNDP 2004). Tulot eivät ole itse päämäärä, mutta ne auttavat mahdollistamaan ihmisten valinnat. Siksi bruttokansantuotetta (BKT) käytetään taloudellisen kehityksen arvioinnissa. Usein BKT korreloi monien sosiaalisten indikaattorien ja ulottuvuuksien kuten kuolleisuuden ja ravitsemuksen kanssa. BKT ei kuitenkaan kerro monia tärkeitä asioita kehityksestä. Siitä ei

voi esimerkiksi päätellä tulojen jakoa, terveydenhuollon ja koulutuksen tasoa eikä saatavuutta jne. Siksi YK on kehittänyt oman inhimillisen kehityksen indeksin (human development index). BKT ei ole täydellinen myöskään talouden kehityksen kuvaajana, sillä se kuvaa vain rahavirtoja, ei esimerkiksi pääomaa. Myös harmaa talous jää BKT:n ulkopuolelle, mikä voi olla iso osa taloutta etenkin kehitysmaissa. Skenaarioissa BKT on yleensä tärkein ja usein ainut kehityksen indikaattori (IPCC 2000).

Talouden kehitykseen vaikuttaa merkittävästi saatavilla oleva työvoiman määrä ja sen osaaminen. Työvoiman määrään taas vaikuttaa väestön kasvun lisäksi institutionaaliset ja sosiaaliset tekijät kuten työaikojen säättely, naisten osallistuminen työvoimaan ja koulutus. Talouden kasvun vaikutukset väestönkasvuun ovat selviä, mutta vaikutukset toisinpäin ovat epäselviä. Neo-klassisen teorian mukaan väestön kasvun nopeudella ei ole vaikutuksia pitkäaikaiseen tulojen kasvun nopeuteen. Väestön vanhenemisella on merkittävä vaikutus talouden kasvun nopeuteen. Vanhenevan väestön työvoima vähenee ja sosiaaliturva- sekä eläkekustannukset kasvavat. Kuitenkaan dramaattisia negatiivisia vaikutuksia ei ole odotettavissa, sillä työvoiman määrään vaikuttaa muitakin tekijöitä, kuin väestön kasvu. Sosiaalisia ja institutionaalisia prosesseja on hankala arvioida ja ne ovat usein subjektiivisia. Taloudelliset ja tekniset prosessit taas ovat usein arvioitavissa ja niitä voidaan arvioida suhteellisen objektiivisesti (IPCC 2000).

Kansainvälinen kauppa on tärkeä taloudellisten hyötyjen lähde. Se mahdollistaa uuden teknologian ja käytäntöjen leviämisen sekä tarjoaa mahdollisuuden vertailuun. Kansainväliseen kauppaan liittyy olennaisesti globalisaatio. Globalisaatiota ei ole tarkoin määritelty, mutta yleensä sillä tarkoitetaan markkinoiden vapauttamista. Neo-klassisen mallin mukaan globalisaatio hyödyttää kaikkia tasavertaisesti, mutta maailma on oikeasti monimutkaisempi kuin Neo-klassisen mallin maailma. Esimerkiksi Dosi ym. (1990) ovat tutkineet vapaita markkinoita ja huomanneet, etteivät vapaat markkinat ja vapaa tiedon kulku hyödytä kaikkia tasapuolisesti (IPCC 2000).

### 3.1.3. Poliitiikka ja teknologia

Riippuen käytettävästä mallista voi teknologian kehityksen tai politiikan sisällyttäminen skenaarioihin olla hankalaa. Tällöin näitä tekijöitä voidaan käsitellä mallin eksogeenisina tekijöinä skenaarioiden tarinoissa. Energian käytön, lähteiden ja teknologian tulevaisuuden kehityksellä on kriittisen tärkeä osuus tulevaisuuden päästöihin. Teknologian roolia hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä käsitellään kappaleessa 5. Uudet teknologiat tarvitsevat usein poliittisia keinoja taustalle, jotta niitä voitaisiin kehittää ja jotta ne pääsisivät markkinoille. Poliittisia keinoja vähentää hiilidioksidipäästöjä käsitellään kappaleessa 4.

## 4. HALLINNOLLISET KEINOT KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEKSI

Valtioilla on vaihtoehtoisia välineitä ja keinoja, joilla ne voivat vähentää hiilidioksidipäästöjä ja lisätä hiilidioksidinieluja. Tällaisia ovat energia- ja hiiliverot, päästökauppa, tuet, palautukset, vapaaehtoiset sopimukset, päästöluvat, teknologia- ja suoristuskykystandardit, tuote kiellot sekä valtion suora rahankäyttö ja investoinnit. Neljää ensimmäistä vaihtoehtoa kutsutaan markkinapohjaisiksi välineiksi. Valtio tai ryhmä valtioita voi käyttää yhtä tai usean eri välineen yhdistelmiä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi (IPCC 2001).

#### 4.1. Markkinapohjaiset keinot

Markkinapohjaiset keinot ovat hallinnollisia keinoja, jotka vaikuttavat suoraan tuotteiden kuten energian tai energiaa säästävien laitteiden hintaan (IPCC 2001). Hinta taas vaikuttaa hyödykkeiden kulutukseen, jolloin kulutusta voidaan ohjata oikeaan suuntaan.

##### 4.1.1. Verot

Ensimmäiset ajatukset ympäristönsuojelusta teollistuneissa maissa esitettiin jo 1920-luvulla, jolloin Arthur Pigou esitti veroja ongelmien ratkaisemiseksi (Uimonen 1991). Ympäristöveroilla pyritään korjaamaan markkinoissa syntyvää virhettä, joka johtaa ympäristöongelmiin. Veroja kohdistetaan toimintoihin, joilla on negatiivisia vaikutuksia ympäristöön. Ne vaikuttavat markkinahintoihin ja sisällyttävät tuotteisiin ja palveluihin maksun ympäristön hyväksikäytöstä. Verolla voidaan nostaa energian hintaa, jolloin se kannustaa joko vähentämään ja tehostamaan sen käyttöä, vähentämään sen käytöstä aiheutuvia haittoja tai siirtymään sellaisiin energialähteisiin, joita ei veroteta. Ympäristöveroilla on kolmenlaisia tehtäviä: kannustus, tulojen korvamerkintä ja korvaaminen. Kannustavat verot pyrkivät juuri aiemmin mainittuun hintojen korjaukseen ja sitä kautta päästöjen vähentämiseen. Korvamerkityistä veroista saadut tulot käytetään rahoittamaan päästöjen rajoittamistoimia sekä korjaamaan päästöistä aiheutuneita haittoja (Vehmas ym. 1997, Capros 1999). Korvaavat ympäristöverot korvaavat muita veroja. Niistä saadut tulot siirretään muihin kuin ympäristön suojele tarkoituksiin vähentäen näin muita kuin ympäristöveroja (OECD 1997).

Päästövero on maksu, joka kerätään tiettyä yksikköä kohti. Koska käytännössä kaikki fossiilisten polttoaineiden hiilestä muuttuu lopulta hiilidioksidiksi, peritään hiiliveroa, joka on sama kuin maksu polttoaineen hiilipitoisuudesta tai poltosta syntyneestä päästöstä. Hiiliveron nostaessa polttoaineiden hintaa talouselämän on sopeuduttava tilanteeseen joko vähentämällä kallistuneiden polttoaineiden käyttöä tai korvaamalla tuotteita ja palveluja vähemmän päästöjä aiheuttavilla vaihtoehdoilla (Huntington & Weyant 2002). Näin hiilivero vähentää energian kysyntää ja sitä myöten päästöjä sekä tuottaa innovaatioita. Energiavero taas perustuu polttoaineiden sisältämään energian määrään. Se vähentää energian kysyntää ja siten fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja hiilidioksidipäästöjä (IPCC 2001).

Hiilivero ei ota huomioon sitä kuinka tehokkaasti polttoainetta käytetään. Vero on samanlainen tehokkaille ja vähemmän tehokkaille laitoksille. Borchellini ym. (2000) ja Massardo ym. (2003) ovat tutkineet hiiliveron muuttamista niin, että se kannustaisi energiavarojen tehokkaaseen käyttöön ja rankaisisi tehotonta käyttöä. Tutkimuksessa tultiin johtopäätökseen, että tavallinen hiilivero ei välttämättä kannusta ottamaan käyttöön tehokkaampia kalliita laitoksia. Heidän mukaansa on mahdollista määrittää hiilidioksidipäästöille verotus, joka ottaa huomioon energiavarojen tehokkaan käytön. Tämän kaltainen vero suosii tehokkaita laitoksia. Massardo ym. (2003) ovat sitä mieltä, että uudenlainen hiilivero olisi energiapolitiikan voimakas väline, joka edistäisi eteenkin erittäin tehokkaiden, vähäpäästöisten, edistyksellisten energialaitosten rakentamista, jopa silloin kun komponentit ovat erittäin kalliita.

Suomi oli ensimmäinen maa joka otti käyttöön polttoaineen hiilidioksidiveron. Polttoaineen hiilisisällön mukainen vero otettiin käyttöön vuonna 1990. Veroa ei peritty uusiutuvista polttoaineista. Verotusta uusittiin kuitenkin pian. Vuonna 1994 otettiin käyttöön EU:n komission ehdottama hiilidioksidiveron ja energiaveron yhdistelmä, jossa osa verosta määräytyi hiilidioksidisisällön ja osa energiasisällön mukaan. Energiaverojärjestelmää päätettiin kuitenkin muuttaa, koska sen katsottiin heikentävän



uuden kotimaisen sähköntuotantokapasiteetin rakentamisen edellytyksiä ja haittaavan energiaintensiivisen teollisuuden kilpailukykyä. Vuonna 1997 poistettiin käytöstä kaikki sähköntuotantoon suunnatut verot ja ne korvattiin sähkön kulutusverolla. Tämä heikensi merkittävästi uusiutuvien energialähteiden asemaa sähköntuotannossa. Tämän vuoksi uusiutuvalla energialla tuotettavaa sähköä päätettiin tukea (Vehmas ym. 1997). Vuoden 2003 alusta energiaveroa korotettiin ja uusiutuvien energioiden tukea laajennettiin koskemaan kierrätyspolttoaineita ja biokaasua. Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotantoa kannustettiin muuttamalla CHP-laitosten (Combined heat and power) verotettavien polttoaineiden laskutapaa, mistä saatiin lisätukea CHP tuotannolle (IEA 2004).

#### 4.1.2. Päästökauppa

Päästökauppa perustuu käytäntöön, jossa tietylle alueelle, esimerkiksi valtiolle, päätetään suurin sallittu päästöjen yhteismäärä. Lupavelvotteisilla päästölähteillä on oltava päästölupa, joka on yhtä suuri kuin lähteen todelliset päästöt. Haluttu päästöraja saavutetaan kun lupia jaetaan tämän päästö määrän verran. Lupavelvolliset voivat keskenään vaihtaa tai käydä kauppaa päästöluvilla. Päästökauppa systeemi voi olla joko myötävirta (downstream) tai vastavirta (upstream) järjestelmä. Myötävirtasysteemissä lupa pitää olla niissä pisteissä, joissa päästöt ilmaan tapahtuvat. Tällöin jopa autonomistajilla ja talouksilla pitäisi myös olla omat luvat. Voidaan kuitenkin asettaa rajat, miten suuret päästölähteet tarvitsevat luvan. Koska hiilidioksidipäästöt johtuvat fossiilisten polttoaineiden käytöstä, vastavirtasysteemissä polttoaineiden tuottajien ja maahan tuojien pitää saada lupa, joka on yhtä suuri kuin polttoaineen sisältämä hiilimäärä. Päästökauppajärjestelmää pidetään kustannustehokkaana, jos vaihtamiskustannukset eivät ole korkeita eivätkä lupamarkkinat ole epätäydellisiä. Jos järjestelmässä on paljon lupavelvollisia ja erityisesti jos käytetään vaihtamiseen tarkoitettua toimielintä, vaihtamiskustannukset putoavat (Uimonen 1991, IPCC 2001).

Luvat voidaan jakaa joko ilmaiseksi tai huutokauppaamalla. Jos jakaminen hoidetaan ilmaiseksi, tarvitaan sääntö, joka varmistaa että lupien jako hoituu tasapuolisesti. Voi olla kuitenkin hankalaa tehdä sääntöjä, jotka olisivat tasapuolisia kaikille. Huutokauppa nostaa luvista saatavia tuloja, mutta ne voidaan myös palauttaa lupavelvollisille kuitenkin niin, että niille jää taloudellinen hyöty päästöjen vähentämisestä. Huutokaupasta saadut tulot voidaan käyttää myös muihin tarkoituksiin kuten hyvitysten maksamiseen teollisuudelle ja kotitalouksille, jotka saavat suuren osan vaikutuksista tai vääristyneiden verojen vähentämiseen ja siten vähentää päästöjen vähentämisen kustannuksia (IPCC 2001).

Päästökaupan piiriin kuuluvan tulee seurata omia päästöjensä ja raportoida niistä. Jos päästöt ylittävät omat päästöoikeudet, on laitoksen joko vähennettävä päästöjä tai ostettava markkinoilta lisää päästölupia. Jos laitoksen päästöt alittavat päästöoikeudet voi laitos säästää päästöoikeuksia seuraavalle vuodelle tai kaupata niitä markkinoilla. Päästökauppa on kustannustehokasta toimintaa, sillä markkinoiden ohjaamana päästöjen vähennys tapahtuu siellä, missä se on edullisinta (EC 2005 a, Ympäristöministeriö 2006).

Joidenkin kasvihuonekaasulähteiden kuten karjasta tulevan metaanin ja pienien lähteiden päästöjä on hankala arvioida ja siksi niitä on hankala liittää päästökauppajärjestelmään. Näitä päästölähteitä varten on oltava muita säätelykeinoja. Tästä johtuen päästökauppajärjestelmässä jaettujen lupien on oltava vähemmän kuin haluttu päästöraja. Jos oletetaan, että lupia ja rajoituksia noudatetaan, päästökauppa on varmempi keino kuin verot saavuttaa kansalliset päästörajat. Lisäksi päästökauppajärjestelmä, jossa luvat huutokaupataan tarjoaa todennäköisemmin tehokkaan hinta opasteen kuin valtion asettama veroprosentti (IPCC 2001).

Euroopan unionin päästökauppadirektiivi (Säädös 87/2003) julkaistiin syksyllä 2003 ja se pantiin täytäntöön vuoden 2005 alussa. EU:n päästökauppadirektiivin tavoitteena on päästä Kioton sopimuksen hiilidioksidipäästöjen vähennys tavoitteisiin. Hiilidioksidin päästökauppa toteutetaan EU:n sisäisenä. Päästökauppa koskee 20 megawattia suurempien polttolaitosten ja eräiden teräs-, mineraali- ja metsäteollisuuslaitosten ja prosessien hiilidioksidipäästöjä. Suomi ulottaa päästökaupan myös osaan pienistä kaukolämpölaitoksista (EC 2005a, Ympäristöministeriö 2006).

Toteutus tehdään kahdessa vaiheessa: vuosina 2005–2007 ja 2008–2012. Valtioneuvosto hyväksyi laitoskohtaiset päästöoikeudet ensimmäiselle kaudelle vuosiksi 2005–2007. Suomessa päästölupaa haetaan energiamarkkinavirastolta. Ensimmäiset päästöluvat jaettiin Suomessa ilmaiseksi, vaikka 5 % päästöluvista olisi voinut huutokaupata. Toisen kauden päästöluvista voidaan huutokaupata 10 % (KTM 2004a). Toisella kaudella 2008–2012 päästökauppaa saatetaan ryhtyä käymään myös metaanilla, dityppioksidilla sekä nk. fluorikaasuilla. Lisäksi päästökauppaa saatetaan laajentaa koskemaan esimerkiksi kemian- ja alumiiniteollisuutta sekä liikennettä (EC 2005a, Ympäristöministeriö 2006).

Euroopan komissio on tutkinut alkaneen päästökaupan vaikutuksia kyselyllä, jossa selvitettiin yritysten, valtion hallinnon elimien, teollisuuden järjestöjen ja kansalaisjärjestöjen mielipiteitä alkaneen päästökaupan vaikutuksista (EC 2005b). Kyselyn mukaan lähes puolet yrityksistä määritteli jo tällä hetkellä hiilidioksidipäästöille hinnan ja noin 70 % aikoi tehdä niin tulevaisuudessa. Noin puolet yrityksistä piti päästökauppaa yhtenä päätekijöistä pitkäaikaisissa päätöksissä. Toinen puoli piti sitä yhtenä tekijänä muiden joukossa.

#### 4.1.3. Tuet ja muut kannustimet sekä palautukset

Tuki on suora maksu valtiolta kohteelle tai kohteen verohelpotus. Tukea maksetaan tai verohelpotuksia myönnetään kohteelle, joka harjoittaa valtion toivomaa toimintaa kuten tuottaa vähäpäästöistä energiaa. Kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää myös alentamalla olemassa olevia tukia, jotka todellisuudessa kasvattavat päästöjä kuten fossiilisten polttoaineiden tai turvetuotannon tuet. Toisaalta voidaan tukea toimia, jotka vähentävät päästöjä tai parantavat hiilinieluja kuten talojen tiivistäminen ja puiden istuttaminen. Teoriassa tuet ja päästövero tuottavat lyhyellä tähtäimellä aivan samanlaisen lopputuloksen. Yleensä kuitenkin päästövero vähentää kasvihuonekaasupäästöjä tehokkaammin kuin tuet (IPCC 2001).

Tuet voidaan jakaa tuotantotukeen ja investointitukeen. Suoraa tuotantotukea voidaan maksaa mm. tuotetun energia- tai sähkömäärän perusteella. Investointiavustukset voidaan taas jakaa julkisen sektorin rahoitusosuuksiin ja rahoitusjärjestelyihin. Rahoitusosuus tarkoittaa, että julkinen sektori maksaa tietyn osuuden investointikustannuksista. Rahoitusjärjestelyssä julkinen sektori myöntää lainaa edullisin ehdoin, osallistuu korkokustannuksiin tai takaa markkinoilta otettavan lainan (Vehmas ym. 1997).

Uusiutuvan energian käyttöä ja tuottoa voidaan yrittää kannustaa vihreän energian politiikalla. Silloin määrätään, että tietty osa energian tuotannosta täytyy tuottaa uusiutuvilla lähteillä. Tätä energiaa markkinoidaan vihreänä energiana hieman kalliimmalla hinnalla. Palautusjärjestelmässä tietynlaisen toiminnan harjoittajalle maksetaan takaisin joko pantti tai maksu kuten vero. Tämä palautus toimitetaan joko suoraan palautuksena tai ostohyvityksenä (IPCC 2001).

Suomessa ryhdyttiin maksamaan verotukea uusiutuvalla energialla, kun hiilidioksidivero muutettiin sähköveroksi vuonna 1997. Vuoden 2003 alusta verotuet on jaettu kolmeen eri luokkaan energian lähteen mukaan: tuulivoima ja metsähake 0,69 c/kWh, kierrätyspolttoaine 0,25 c/kWh ja muut uusiutuvat 0,42 c/kWh (KTM 2006). Energiavaltainen teollisuus saa palautuksia maksamastaan sähköverosta. Myös yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon verotuksen laskentasäännöt voidaan katsoa tueksi. Kauppa- ja teollisuusministeriö myöntää tukia myös investointeihin ja selvityksiin, joissa pyritään vähentämään energiatalouden ympäristövaikutuksia. Tukea voivat hakea yritykset ja yhteisöt.

## 4.2. Hallinnollinen sääntely

Säätävät keinot kohdistuvat ja vaikuttavat suoraan päästöjä aiheuttavien toimintaan säätelemällä prosesseja, kieltämällä tuotteita tai rajoittamalla tiettyjä päästöjä. Kiellot voivat koskea esimerkiksi tiettyjä energiantuotanto- ja käyttömuotoja. Erilaisilla lupamenettelyillä voidaan säädellä energiantuotantolaitosten ja muun infrastruktuurin rakentamista. Sääntely voi sisältää myös velvoitteita. Eräs esimerkki on useissa maissa käytössä oleva uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön ostovelvoite sähköyhtiöille. Sääntelyn tärkein ominaisuus on, että määrätään päästöille tai sen vähentämiselle tietyt rajat (OECD 1994, Vehmas ym. 1997).

Yksi merkittävä keino edistää uusiutuvan energian käyttöä on ollut sähkömarkkinoiden vapauttaminen. Jokaisella energiantuottajalla ei ole mahdollisuutta luoda omaa jakeluverkostoaan, joten siirto- ja jakeluverkoston haltijat on velvoitettu siirtämään myös kilpailijoiden toimittamaa sähköä. Näin myös pienillä sähkön toimittajilla on mahdollisuus päästä markkinoille (Vehmas ym. 1997).

### 4.2.1. Päästölupajärjestelmä ja standardit

Päästölupajärjestelmä on samankaltainen kuin päästökauppajärjestelmä. Jokaisella päästölähteellä on oltava päästölupa. Päästöluvilla ei voi kuitenkaan käydä kauppaa, jolloin jokaisen päästölähteen on pidettävä päästönsä alle annettujen raja-arvojen (IPCC 2001).

Teknologia- ja suorituskykystandardit määrittävät tuotteille tai prosesseille vähittäisvaatimukset, jotta kasvihuonekaasupäästöjä saataisiin vähennettyä joko tuotteiden tuotannossa, käytössä tai prosesseissa. Teknologiastandardista esimerkkinä voi olla vaatimus parhaasta saatavilla olevasta tekniikasta (best available technique BAT). Suorituskyky standardit voivat vaatia esimerkiksi tiettyä energiatehokkuustasoa sähkölaitteilta (Capros ym. 1999). Tuotekiellot estävät tiettyjen tuotteiden käytön tietyissä tarkoituksissa, jotka lisäävät kasvihuonekaasupäästöjä. Tällainen kieltä kieltää esimerkiksi HFC-yhdisteiden käytön jääkaapeissa (IPCC 2001).

### 4.2.2. Vapaaehtoiset sopimukset

Vapaaehtoinen sopimus on sopimus hallitusvallan ja yhden tai useamman yksityisen osapuolen kesken sekä yksipuolinen sitoutuminen, jonka valtiolta tunnustaa. Sopimukset sisältävät usein yleisiä lupauksia esimerkiksi tutkimuksesta ja kehitystyöstä, päästöjen raportoinnista tai energiatehokkuudesta. Joskus sopimukset sisältävät myös tarkkoja kvantitatiivisia päämääriä kuten päästötavoitteita. Useimmat sopimuksista eivät ole oikeudellisesti sitovia. Vapaaehtoiset sopimukset ovat uusi ympäristöpolitiikan keino, mutta ne saavuttavat koko ajan lisää suosiota etenkin teollisuudessa. Yksin EU:ssa oli vuonna 1996 yli 300 vapaaehtoista sopimusta. Vapaaehtoisten sopimusten ongelmana ovat vapaamatkustajat, jotka ottavat sopimuksen tuomat hyödyt, mutta eivät maksa

kustannuksia. Valtiot voivat kuitenkin pyrkiä estämään vapaamatkustamista järjestämällä kannustimia kuten merkkien käyttölupia ja muita markkina etuja (IPCC 2001).

Yleisiä vapaaehtoisia sopimuksia ovat ympäristöasioiden hallintajärjestelmät. Suomessa usein käytettyjä ovat EU:n EMAS-asetuksen (Eco-Management and Audit Scheme, Säädös 761/2001) mukaiset järjestelmät tai kansainvälisen standardointijärjestön (International Organization for Standardization) ISO 14 001 standardin mukaiset järjestelmät. Ympäristöhallintajärjestelmät sisältävät yleisesti ajatuksen jatkuvasta parantamisesta. Yritys asettaa itselleen tavoitteita, jotka saavutettuaan asettaa uudet tavoitteet. Mukana olevat yritykset auditoidaan eli tarkastetaan säännöllisesti. Kansainvälisellä kauppakamarilla (ICC) on oma kestävä kehityksen peruskirja (The Business Charter for Sustainable Development). Allekirjoittaneet sitoutuvat noudattamaan peruskirjassa määriteltyä 16 ympäristöjohtamisen periaatetta. Suomessa 62 yritystä on kirjallisesti sitoutunut peruskirjan periaatteisiin (Berninger 1995, ICC Finland 2006).

### 4.3. Muita keinoja

#### 4.3.1. Tiedon tuottaminen sekä tutkimus ja kehitys

Informaation tuottaminen on yksi poliittinen keino vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Luotettava tieto onkin päätöksenteon perusedellytys. Tiedon tuottaminen nostaa tietoisuutta ilmaston muutoksesta, mikä parantaa kasvihuonekaasupäästöjä vähentävien poliitikoiden hyväksyntää. Hallitus tukee tutkimusta, joka analysoi ilmastokysymyksiä ja tuottaa sopeutumiseen ja lieventämiseen sopivia keinoja. Informaation tuottaminen lisää näiden keinojen kuten uusien tekniikoiden ja uusiutuvan energian käyttöönottoa. Eräs tehokas informaation keino on tuotteiden energia- ja ympäristömerkinnät. Näillä merkinnöillä on vaikutusta kuluttajien käyttäytymiseen sekä uusien tekniikoiden esilletuomiseen (IPCC 2001).

Julkisen sektorin tutkimus- ja kehittämistoiminta on kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen keskeinen edellytys. Tutkimusohjelmien ja tutkimusrahoituksen lisäksi tuetaan myös pilot- ja demonstraatiolaitosten rakentamista (Vehmas ym. 1997). Uusiutuvan energian edistämishjelmassa (KTM 2003) asetetaan tavoitteeksi ohjata suurempi osa tutkimus- ja kehitystoiminnan rahoituksesta uusiutuvan energian tutkimukseen.

#### 4.3.2. Kansainväliset sopimukset

Ilmastonmuutos on globaali ongelma ja sitä pyritään estämään kansainvälisillä sopimuksilla, sillä mikään valtio tai ryhmittymä ei pysty yksinään torjumaan sitä. Otsonikerrosta suojelevat Wienin yleissopimus ja Montrealin pöytäkirja ovat hyviä esimerkkejä siitä, miten kansainvälisillä sopimuksilla pystytään tehokkaasti vähentämään globaalia ympäristöhaittaa. Rioissa vuonna 1992 YK:n ympäristö ja kehityskonferenssissa solmittiin ilmastonmuutosta koskeva puitesopimus (Framework Convention on Climate Change, FCCC). Sopimuksen tarkoituksena oli saada kasvihuonekaasupäästöt tasolle, jolla estetään ihmistoiminnan haitallinen vaikutus ilmastoon. Sopimus on kuitenkin suurelta osin ihmiskeskeinen ja painotti ihmiskunnan hyvinvointia. Sopimus tuli voimaan vuonna 1994. Puitesopimuksen osapuolet kokoontuivat ensimmäistä kertaa Berliinissä vuonna 1995. Silloin todettiin tarve lisätä sopimukseen arvioita tarvittavista toimenpiteistä ja määrällisiä tavoitteita päästöjen vähentämiseksi. (Berninger 1995, Keskitalo 2005).

Kioton ilmastokokouksessa vuonna 1997 asetettiin ensimmäistä kertaa määrällisiä ja laillisesti sitovia tavoitteita kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Kokouksessa

sovittiin, että Euroopan unioni vähentää kasvihuonekaasupäästöjä kahdeksan, Yhdysvallat seitsemän ja Japani kuusi prosenttia vuoden 1990 päästöistä vuosiin 2008–2012 mennessä. Suomi ratifioi tämän sopimuksen muiden EU-maiden kanssa vuonna 2002. Sopimuksen tavoitteet eivät sido kehitysmaita ja siten ei myöskään Kiinaa. Kioton pöytäkirja sisältää kuitenkin joustomekanismeja kuten päästökaupan ja yhteishankkeet kehitysmaiden kanssa. Näin pyritään vähentämään päästöjä siellä, missä se on halvinta ja näin toimet voivat kohdistua myös kehitysmaihiin (Berninger 1995, IPCC 2001, Keskitalo 2005).

Kansainvälisten sopimusten yhtenä ongelmana on saada tarpeeksi valtioita sitoutumaan. Tämä varmistetaan usein ehdolla, jossa määritetään minimi osallistujamäärä. Kioton sopimuksen voimaantulon ehtona oli, että vähintään 55 maata ratifioi sen ja että mukana olevien maiden päästöt edustavat 55 prosenttia vuoden 1990 läntisten teollisuusmaiden ja Itä-Euroopan entisten sosialististen maiden kasvihuonekaasupäästöistä. Yhdysvaltojen osuus yksinään on 36 % noista päästöistä. Kun yhdysvallat ja sen lisäksi Australia kieltäytyivät ratifioimasta, sopimuksen voimaantulo oli vaakalaudalla. Kuitenkin Venäjän ratifioitua sopimuksen se astui voimaan helmikuussa 2005 (Berninger 1995, IPCC 2001, Keskitalo 2005). EU jakoi päästöjen vähennystaakkaansa valtioittain ja teki päästökauppadirektiivin, josta on kerrottu kappaleessa 4.1.2. Suomen velvoite on pitää päästöt vuosina 2008–2012 vuoden 1990 tasolla (Ympäristöministeriö 2007).

#### **4.4. Energian hinta**

##### **4.4.1. Energian hinnan muodostuminen**

Energiantuotannossa investoinnit ovat usein suuria ja pitkäaikaisia, joten hinnan laskennassa pääomakustannuksilla on suuri osuus. Energian tuotannon kustannukset voidaan jakaa ajan mukaan käyttöä edeltäviin investointikustannuksiin sekä käytönaikaisiin ja -jälkeisiin kustannuksiin. Kustannukset voidaan jakaa myös luonteen mukaan kiinteisiin kustannuksiin, joiden suuruus ei riipu tuotannon määrästä ja muuttuviin kustannuksiin, jotka ovat likimäärin verrannolliset tuotannon määrään. Kiinteistä kustannuksista suurimman osan muodostavat pääomakustannukset. Muut kiinteät käyttökustannukset koostuvat pääosin kiinteistä käyttökuluista, joita ovat henkilökunnan palkkakustannukset, vuosihuollot, vakuutukset, polttoaineen varastointikustannukset jne. Muuttuvat kustannukset syntyvät laitoksen varsinaisesta käytöstä energiantuotannossa ja ovat käytön määrään verrannollisia. Suurin kuluerä on yleensä polttoainekustannus, joihin vaikuttavat laitoksen hyötysuhde ja polttoaineen hinta. Kustannuksia syntyy energian tuotannon ohella energian siirrosta. Siirtoon liittyviä kustannuksia syntyy energian tai polttoaineen jakeluverkon rakentamisesta, käyttö- ja ylläpitokustannuksista sekä siirron aikaisesta hävikistä (VTT Energia 1999).

Energian tuotannon kustannukset riippuvat usein laskentatavasta ja siitä, mitä niihin sisällytetään mukaan. Nykyisin ympäristö- ja terveyshaittoja ei lasketa mukaan energian hintaan. Esimerkiksi ympäristöperusteisilla veroilla tällaiset kustannukset voitaisiin sisällyttää tuotannon hintaan ja tulot voitaisiin käyttää haittojen korjaamiseen ja korvaamiseen. Myös erilaiset tuet voivat vääristää kuluttajahintoja. Usein tuilla pyritään säilyttämään vanhoja rakenteita, jolloin uusien puhtaampien energiamuotojen on vaikea näyttäytyä edukseen hintakilpailussa (IPCC 2001).

##### **4.4.2. Vaikutukset**

Lähes kaikki edellä mainitut hallinnolliset keinot vaikuttavat suorasti tai epäsuorasti energian hintaan. Energian hinnalla on suuri vaikutus energian kulutukseen sekä energian tuotannon rakenteisiin. Energian hinnan nousu nopeuttaa halua vaihtaa

energiatehokkaampiin ja pienempipäästöisiin laitteistoihin. Vanhat vähemmän tehokkaat laitokset jäävät vähitellen pois markkinoilta uudempien tehokkaiden laitosten tieltä. Kuluttajat reagoivat hinnan nousuun lyhyellä aikavälillä pienentämällä energian kulutusta esimerkiksi vähentämällä asuntojen lämmitystä ja autolla ajoa tai ottamalla käyttöön tehokkaampia laitteita, jotka ennen hintojen nousua oli katsottu liian kalliiksi. Vähitellen kuluttajat vaihtavat vaihtoehtoisiiin polttoaineisiin ja lopulta teknologian kehittyessä uusiin laitteisiin, jotka käyttävät vähemmän polttoainetta ja vähemmän hiiltä sisältäviä polttoaineita (Huntington & Weyant 2002). Esimerkiksi Martinsenin ym. (2007) tutkimuksen mukaan Saksassa energian hinnan nousu laski energiankulutusta, öljyn ja hiilen käyttöä sekä nosti uusiutuvan energiakäyttöä.

Energiaintensiivinen teollisuus voi kärsiä energian hinnan noususta. Teollisuudella on kuitenkin monta tapaa sopeutua tilanteeseen. Yritykset voivat siirtyä kivihiilen käytöstä kaasuun, tuottaa itse sähkönsä, muuttaa prosesseja ja tuotteita energiaa säästäviksi tai muuttaa tuotevalikoimaansa. Varsinkin energiaa paljon käyttävä teollisuus ja yritykset joutuvat nostamaan tuotteidensa hintaa, mikä taas vaikuttaa kuluttajien elämisen kustannuksiin (IPCC 2001).

Energian hinnalla on suuri merkitys laskettaessa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen kustannuksia. Näiden kustannusten laskeminen on vaikeaa, sillä energian hinnan nousun taloudelliset vaikutukset ovat monimutkaisia. Hintaodotukset ovat kriittinen tekijä taloudellisessa päätöksenteossa. Se vaikuttaa voimakkaasti energiantuotannon ja käyttölaitteiston investointeihin. Energiamalleissa käytetään kahta täysin vastakkaista ennustusoletusta tuottamaan odotettua hintaa. Lyhytnäköisen ennustusoletuksen mukaan edustajat yksinkertaisesti odottavat sen hetkisten hintojen, muttei välttämättä määrien, vallitsevan joskin suurpiirteisesti. Täydellinen ennustusoletus taas vakuuttaa, että markkinoiden osapuolet käyttävät mallia itseään hintojen ennustamiseen. Tämä eroavaisuus voi vaikuttaa arvioituihin politiikan muutoksiin, koska edustajat, joilla on ennuste, voivat pehmentää muutosta säätämällä kulutustaan, tuotantoon ja investointipäätöksiään ennustusten mukaan (Kydes ym. 1995).

## **5. TEKNOLOGIA JA UUSIUTUVAT ENERGIAT HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISESSÄ**

### **5.1. Teknologian kehitys**

Teknologian kehitys on erittäin merkittävä tekijä hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Teollistuneissa maissa kuten myös Suomessa teknologian kehitys on yritysten innovaation ja valtion tukeman tuotekehityksen tulosta. Teknologian kehitys on usein reagointia hallinnolliseen säätelyyn (IPCC 2001)

Teknologian tutkimisen, löytämisen, kehittämisen, levittämisen ja parantamisen prosessi on kietoutunut läheisesti yhteen muiden taloudellisten ja sosiaalisten prosessien kanssa. Monimutkainen yhteys kulttuurin, talouden ja teknologian kesken johtaa arvaamattomiin tuloksiin. Tämä monimutkaisuus ja arvaamattomuus on johtanut siihen, että taloudellista ja teknologista kehitystä pidetään malleissa eksogeenisinä muuttujina, jotka kuvataan juonien kautta eikä muodollisen mallintamisen kautta. Teknologian muutokset ovat seuranneet näkyviä kuvioita ja juonien pitäisi sisältää nykyinen ymmärtämys näistä kuvioista (Michaelis 1998).

Teknologian muutoksen ja taloudellisen kehityksen välinen suhde on kiistanalainen. Keskustelua käydään ilmastonmuutoksen lieventämisen vaihtoehtoista ja siitä, ovatko

teknologian kehitystä lisäävät politiikat hyväksi vai pahaksi taloudelle ja johtavatko ne kasvihuonekaasupäästöjen vähennykseen vai kasvuun. Uudet teknologiat, tuotteet ja käytännöt voivat johtaa uusiin markkinoihin ja taloudelliseen kasvuun, mistä voi seurata ennalta arvaamatonta lisäystä energian tarpeeseen. Toisaalta ne voivat vähentää energian tarvetta parantamalla tehokkuutta ja vähentää kasvihuonekaasupäästöjä mahdollistamalla korvaamisen vaihtoehtoisella teknologialla tai energiamuodoilla (Michaelis 1998).

Pyrittäessä päästötavoitteisiin on otettava huomioon olemassa olevan laitteiston elinikä ja aika, mikä menee sen korvaamisen uudella teknologialla. Sähkön tuotantolaitoksen tyypillinen käyttöikä on noin 30-50 vuotta. Monet laitokset ovat olleet käytössä pidempäänkin. Kilpailun kasvaessa sähkömarkkinoilla, on tärkeätä saada kaikki mahdollinen irti olemassa olevasta kapasiteetista. Vaikka uusi teknologia on tehokkaampaa kuin vanha, yritysten täytyy saada takaisin uusiin investointeihin kuluneet varat, kun taas vanhat laitokset ovat jo täysin maksettuja ja niihin liittyy vain käyttö- ja ylläpitokustannuksia. Tuotanto- ja teollisuuslaitosten ikä vaihtelee paljon teollisuuden sektorin, tuotteiden ja laajuuden mukaan, mutta keskimääräinen ikä on 10-30 vuotta. Tuotantolaitoksia parannellaan koko ajan, jotta pysyttäisiin mukana kilpailussa. Uusia tuotantotekniikoita ei kuitenkaan oteta välttämättä nopeasti käyttöön, jos niistä saatava taloudellinen hyöty ei ole suurempi kuin vaihtamisesta johtuvat kustannukset. Lisäksi täysin uusia tuotantotekniikoita syntyy harvoin, joten muutokset tuotantotekniikoissa ovat usein hyvin pieniä. Auton omistajat käyttävät autoaan yhä pidempään. Useat omistajat vaihtaessaan autoaan ostavat suuremman kulkuneuvon. Suuntaus ostaa isoja autoja eikä pieniä polttoainetta säästäviä on nähtävissä lähes kaikissa OECD-maissa. Busseja ja rekkoja voidaan käyttää jopa 20-30 vuotta, lentokoneita jopa pidempään. Myös laivoilla on erittäin pitkä käyttöikä. Rakennusten käyttöikä on noin 20-80 vuotta. Käytön aikana voidaan tehdä paljon korjauksia kuten vaihtaa ikkunat, parantaa eristystä sekä uusia lämmitys ja valaistus järjestelmät (Reinstein 2004).

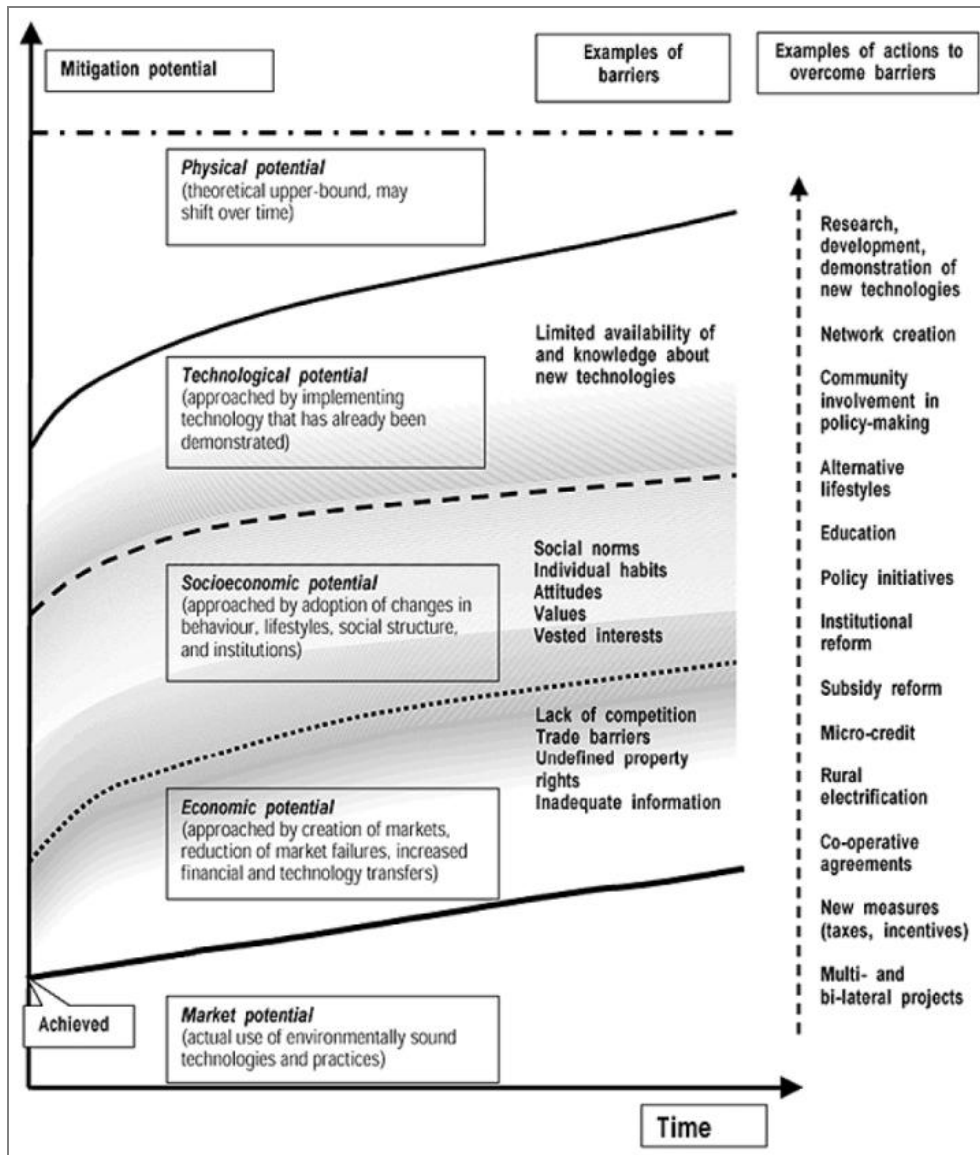
### 5.1.1. Uuden teknologian esteet ja mahdollisuudet

Uusien vähäpäästöisten ja tehokkaampien tekniikoiden leviämisen ja käyttöönotolle voidaan määritellä eritasoisia potentiaaleja, joiden toteutumisen tiellä on erilaisia esteitä (Kuva 1). Näiden esteiden ylittämiseksi täytyy tehdä toimenpiteitä. Yhdellä toimenpiteellä voidaan ylittää useampia esteitä.

Markkinapotentiaali on jo saavutettu potentiaali. Se saavutetaan ilman uusia poliittisia päätöksiä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Taloudellinen potentiaali tarkoittaa energiateknologian määrää, jonka käyttöönotto on taloudellisesti kannattavaa. Taloudellinen potentiaali voidaan saavuttaa, kun poistetaan poliittisin keinoin markkinoilla ja instituutioissa olevia esteitä. Sosioekonominen potentiaali kuvaa yksilöiden ja yhteiskunnan hyväksyntää eri tekniikoita kohtaan. Erilaiset kulttuuriin ja tapoihin liittyvät seikat voivat estää teknologian leviämistä. Näitä esteitä voidaan ylittää mm. informaation avulla. Tekninen potentiaali kuvaa suurinta mahdollista rajaa hyödyntää tiettyä lähdettä tekniikan puitteissa. Teknologian kehittyessä tämä potentiaali voi vielä kasvaa. Fysikaalinen potentiaali on teoreettinen yläraja, mikä kuvaa tietyn energianlähteen saatavuutta maassa (IPCC 2001, Lampinen & Jokinen 2006).

Teknologian leviämisen esteet ja mahdollisuudet muuttuvat ja syntyvät eri toimenpiteiden vaikutuksesta. Poliittisilla päätöksillä voidaan murtaa esteitä ja luoda lisää mahdollisuuksia. Tukemalla eri tavoin tutkimusta ja opetusta voidaan saada aikaan teknologisia innovaatioita. Niiden kautta voi syntyä tehokkaampia, vähäpäästöisempiä teknologioita ja niiden hinta voi pudota. Teknologisten innovaatioiden perinteisenä pyrkimyksenä on ollut nostaa kilpailukykyä. Ympäristöystävällisyyteen tähtäävien

strategioiden on jopa pelätty vähentävän sitä. Yhtenä innovaatioiden esteenä on ollut kannustimien puute. Kannustettaessa kasvihuonekaasujen päästövähennyksiin kannustetaan samalla löytämään keinoja kuinka päästöjä voitaisiin vähentää kustannustehokkaasti (IPCC 2001).



Kuva 1. Uuden teknologian esteet ja potentiaalit. Markkinapotentiaalista kohti fysikaalista potentiaalia (IPCC 2001).

Useat uusiutuvat energiamuodot vaativat suuret alkuinvestoinnit. Niiden käyttökustannuksen ovat kuitenkin pienet ja ne maksavat itsensä takaisin. Monet kuluttajat ja yritykset kiinnittävät huomiota alkuinvestointeihin unohtaen käyttökustannukset, jolloin uusiutuvat energiat vaikuttavat kalliilta vaihtoehdoilta. Käyttäjillä on myös usein hankaluuksia saada investointirahoitusta. Yksityiset rahoittajat keskittyvät sijoitustensa riskeihin ja takaisinmaksuun, jolloin valtion rahoituksen tulisi ottaa huomioon myös laajemmat yhteiskunnalliset ja ympäristöhyödyt (IPCC 2001).

Uusien höytsuhteeltaan parempien teknologioiden leviämistä voi haitata valtioiden erilaiset tullimaksut ja ulkomaisia yrityksiä koskevat rajoitukset. Myös tuottajien ja kuluttajien suhde vaikuttaa teknologian leviämiseen. Tuottajilla ei välttämättä ole halua



ylittää markkinaesteitä ja luoda markkinoita energiatehokkaille tuotteille. Infrastruktuurin puute asettaa tietyille tuotteille rajoituksia. Tuotteen kysyntä voi olla pientä tarvittavan infrastruktuurin puutteen vuoksi ja infrastruktuuria ei rakenneta, koska sen kysyntää ei ole tarpeeksi. Kuluttajien vaatimia nopeita takaisinmaksuaikoja voidaan lyhentää tukemalla uusiutuvien polttoaineiden käyttöä (IPCC 2001).

Teknologian leviämistä voi hidastaa useat institutionaaliset esteet. Kannustimet voidaan kohdistaa väärin. Esimerkiksi vuokranantajaa ei kiinnosta koneiden sähkökulutus vaan vuokralaista joka maksaa sähkölaskun. Teknologian hinnan ollessa kohdallaan voi tuotteen kaupankäyntiin liittyvät kulut olla kohtuuttomat. Koulutetun työvoiman puute voi myös hidastaa uusien tekniikoiden leviämistä. Myös valtion tukipolitiikka saattaa olla epävarmaa (IPCC 2001).

Tiedon puute on yksi merkittävä este teknologioiden leviämislle. Kuluttajat eivät pysty tekemään hyviä päätöksiä valitessaan energiaa käyttäviä teknologioita, jos heillä ei ole tarpeellista tietoa. Yleinen tieto erilaisten teknologioiden saatavuudesta ja suorituskyvystä voi olla yleishyödyllistä. Se voi hyödyntää sekä kuluttajia että tuottajia. Tietoa teknologioista siirtyy myös käyttöönoton kautta. Ihmiset näkevät tekniikoita käytössä tai kuulevat niistä muilta käyttäjiltä. Informaatiokin voi kohdistua väärin, kuten edellisessä kappaleessa mainitussa kannustimien väärin kohdistumisessa. Kuluttajien käyttäytyminen voi olla myös irrationaalista tai perustua väärään tietoon (IPCC 2001).

Ehkä suurimmat esteet ja toisaalta mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen liittyvät sosiaalisiin, kulttuuri- ja käyttäytymisnormeihin sekä haluihin. Ihmiset eivät välttämättä kuluta arvojensa mukaan tai he eivät osaa käyttää saamaansa informaatiota. Myös tiedon lähteellä on merkitystä. Ystäviin ja sukulaisiin luotetaan enemmän kuin teollisuuteen, myyjiin tai valtioon (Anderson & Claxton 1982, Stern 1986, Komor & Wiggins 1988, IPCC 2001). Yksi suurimmista haasteista kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä on fakta, että suurimmalle osalle ihmisistä energiansäästäminen tai kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ei ole tärkeää (Gritsevich 2000). Kuluttajien päätökset energian käytöstä perustuvat enemmän mukavuuteen kuin kulujen pienentämiseen (Wilhite ym. 2000).

## **5.2. Uusiutuvat energiamuodot ja hajautettu tuotanto**

Uusiutuva energia voidaan määritellä energiaksi, jota saadaan jatkuvasta tai toistuvasta luonnossa uusiutuvasta energiavirrasta (Twidell & Weir 1986). Sørensenin (2000) määritelmän mukaan ne ovat energiavirtoja, jotka korvaantuvat yhtä nopeasti kuin niitä käytetään. Suurin osa uusiutuvasta energiasta on peräisin auringosta. Niiden käytön kasvihuonekaasupäästöt ovat erittäin pieniä verrattuna muihin energiamuotoihin. Päästöjä syntyy lähinnä laitteiston valmistuksesta ja kuljetuksista. Uusiutuvat energiat ovat myös muidenkin ympäristölle haitallisten aineiden suhteen vähäpäästöisiä eikä niistä myöskään synny haitallisia terveysvaikutuksia tai jätteitä.

Uusiutuvan energian tuotanto on usein hajautettua energiantuotantoa. Paikallinen energiantuotanto vähentää sähkön siirrossa syntyvää hävikkiä ja polttoaineiden kuljetusmatkoja. Hajautettu energiantuotanto voi luoda työpaikkoja ja lisäelinkeinoja maaseudulle. Yleensä energian tuotannon investoinnit ja kustannukset pienenevät, mitä suuremmassa yksikössä energiaa tuotetaan. Pienimuotoisella ja hajautetulla energiantuotannolla on kuitenkin omat hyötynsä ja laitteiden massatuotannon myötä myös kustannukset tulevat alenemaan.

### 5.2.1. Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on tärkein uusiutuvan energian lähde. Sen potentiaalinen teho on paljon suurempi kuin minkään muun uusiutuvan energianlähteen. Auringossa tapahtuvasta fuusiosta vapautuvasta energiasta maapallolle tulee 170 PW, mikä on noin 20 000 kertaa koko maapallon teollisuuden ja lämmityksen käyttämä teho. Ongelmana vain on, että auringon säteilyn tehotiheys on pieni eli säteily tulee hajallaan koko maapallon pinnalle ja sen kerääminen vaatii paljon pinta-alaa. Suomessa säteilyenergiaa on parhaiten saatavilla silloin kun energiaa tarvitaan vähiten eli kesällä. Olisi tarpeellista kehittää teknologiaa, jolla energiaa voidaan varastoida pimeitä ja kylmiä vuodenaikoja varten (Erat ym. 2001, Keskitalo 2005).

Aurinkoenergiaa voidaan käyttää passiivisesti ja aktiivisesti. Passiivisella aurinkoenergian käytöllä tarkoitetaan säteilyn käyttöä ilman varsinaisia keräilylaitteita. Käytettäessä auringon säteilyenergiaa passiivisesti hyväksi rakennus kerää energiaa ja lämpö varastoituu sen rakenteisiin. Hyödyntämällä päivänvaloa voidaan säästää valaistukseen kuluva energia. Kaikki rakennukset varastoivat aurinkoenergiaa, mutta rakennuksen oikealla sijoittamisella, suuntauksella, muodoilla, ikkunoiden sijoittamisella ja koolla sekä rakennusmateriaaleilla voidaan lisätä lämmön varastoitumista. Rakennuksen kokonaislämmöntarvetta voidaan pienentää viidesosa hyödyntämällä passiivista aurinkoenergiaa (Erat ym. 2001). Rakennusten passiivisen aurinkoenergian käytölle on muutamia perussääntöjä (Boyle 2004).

- Talo tulee eristää hyvin lämmön hukkan vähentämiseksi
- Talon lämmitysjärjestelmä tulisi olla hyötysuhteeltaan hyvä
- Talon suuntauksen tulisi olla etelään. Ikkunoiden ja tärkeimpien olohuoneiden tulisi keskittyä tälle puolelle.
- Tulisi välttää toisten talojen varjoon jäämistä, jotta voidaan hyödyntää auringonsäteilyä myös talvella.
- Talon tulisi olla massiivinen, jotta vältetään ylikuumenemiselta kesällä

Aktiivisessa aurinkoenergian käytössä kerätään auringonsäteilyä ja muutetaan se joko lämmöksi tai sähköksi. Aurinkokeräin muuttaa auringonsäteilyn lämmöksi, joka kuljetetaan ilman tai nesteen avulla joko lämpövarastoon kuten varaajaan tai suoraan käyttöön. Aurinkokeräimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin. Keskittämissä keräimissä säteily keskitetään heijastavien pintojen avulla absorboivalle viivamaiselle tai pistemäiselle alueelle. Tasokeräimissä koko pinta absorboi säteilyä muuttamatta sen tiheyttä. Keskittävät keräimet pystyvät hyödyntämään pääasiassa vain suoraa auringonsäteilyä kun tasokeräimet pystyvät hyödyntämään myös hajasäteilyä. Pohjoisessa Euroopassa noin puolet auringonsäteilystä on hajasäteilyä (Boyle 2004). Suomessa aurinkolämpöä on käytännöllisintä hyödyntää käyttökohteisiin, joissa on lämmön tarvetta myös kesällä. Tavallisesti tämä tarkoittaa lämmintä käyttövettä (Erat ym. 2001).

Aurinkoenergiasta tuotetaan sähköä aurinkopaneeleilla, jotka muodostuvat aurinkokennoista. Yleisimmin kennot on valmistettu kiteisestä, monikiteisestä tai amorfisesta piistä, mutta tulevaisuudessa myös muut materiaalit ovat mahdollisia. Aurinkokenno koostuu kahdesta tasaisesta puolijohdekerroksesta, joita erottaa rajapinta. Rajapinnan toisella puolella on n-tyyppinen (negative) ja toisella p-tyyppinen (positive) puolijohde. N-tyyppinen puolijohde on valmistettu niin, että se sisältää pieniä määriä epäpuhtauksia, siten että materiaali sisältää ylimääräisiä elektroneja. P-tyyppinen puolijohde taas sisältää epäpuhtauksia, jotka johtavat elektroniaukkoihin. Näin kennoon syntyy sähkökenttä. Auringonvalon fotonit antavat energiansa materiaalin elektroneille, jolloin ne vapautuvat ja voivat kuljettaa sähkövirtaa. Aurinkokenno tuottaa tasasähköä,

mutta epäsäännöllisesti virtaa. Aurinkosähköjärjestelmä vaatiikin yleensä energian varastointia, joka nykyisin vielä tarkoittaa akustoa. Energian varastoinnin lisäksi akusto tasaa paneeliston jännitevaihteluja ja mahdollistaa suuria hetkellisiä kuormatehoja. Aurinkosähköä voidaan tuottaa myös suoraan sähköverkkoon (Erat ym. 2001, Boyle 2004).

Aurinkopaneelien hyötysuhde on tällä hetkellä yksikide- ja monikidekennoissa noin 14-15,5 %. Ohutkalvomoduulien hyötysuhde on noin 6-8 %. Aurinkopaneelien ja -keräinten hyötysuhteiden parantuessa tarvitaan vähemmän pinta-alaa aurinkoenergian tuottamiseen. Aurinkoenergiajärjestelmien pääomakustannukset ovat suuret, mutta käyttökustannukset pienet. Aurinkopaneelien- ja keräinten massatuotanto laskisi latteiden hintaa. Aurinkopaneelien hinta on laskenut yli 20 % tuotannon kaksinkertaistuessa (Boyle 2004).

Tulevaisuudessa aurinkosähkön varastointikeinona tullaan käyttämään vetyä. Sähköllä aikaansaadulla elektrolyysillä voidaan pilkkoa vettä hapeksi ja vedyksi. Vety voidaan varastoida ja käyttää myöhemmin polttoaineena. Vety itsessään on päästötön polttoaine. Sen päästöt riippuvat siitä, miten se on tuotettu. Tällä hetkellä vedyn varastointi ja kuljettaminen on vielä ongelmallista. Kaasumaisena se vie runsaasti tilaa ja nesteytys on vaikeaa ja kallista, sillä vedyn kiehumispiste on  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teknisiä ratkaisuja kehitetään koko ajan. Mahdollisuutena on sitoa tai imeyttää vety sopiviin materiaaleihin (Keskitalo 2005, Hennicke & Fishedick 2006).

Suomen uusiutuvan energian edistämishjelmassa 2003–2006 (KTM 2003) aurinkosähkön tuoton tavoitteeksi on asetettu 50 GWh vuoteen 2010 mennessä ja visioksi 500 GWh vuoteen 2025. Aurinkolämmön käytön tavoitteeksi on asetettu 47 GWh vuoteen 2010 ja visioksi 470 GWh vuoteen 2025. Uusiutuvan energia edistämishjelman vuoden 2010 tavoitteeseen pääsy edellyttää nykyisen käytön 100-kertaistamista. Nykyisin kalliin hintansa vuoksi aurinkosähköä käytetään lähinnä syrjäisissä kohteissa kuten kesämökeillä, mutta muutamia verkkoon kytkettyjä järjestelmiä jo löytyy. Aurinkolämmön passiivinen ja aktiivinen hyödyntäminen on sen sijaan halvempaa mm. aurinkokeräinten paremman hyötysuhteen vuoksi. Suomen maatilojen energiatuotantopotentialit raportissa on laskettu pelkästään Keski-Suomen maatilojen aurinkoenergiantuotannon ekologiseksi potentiaaliksi 214 GWh lämpöä tai 64 TWh sähköä. Ekologinen potentiaali ottaa huomioon kestävä kehityksen. Esimerkiksi aurinkoenergian ja tuulivoiman osalta ekologinen potentiaali on suurempi kuin markkinapotentiaali (Lampinen & Jokinen 2006).

### 5.2.2. Tuulivoima

Tuuli on ilmassojen liikettä, joka johtuu ilmanpaineen eroista. Ilmanpaineen erot johtuvat erilaisista auringon säteilymääristä eri alueilla maapalloa. Päiväntasaajalla saadaan auringonsäteilyä pinta-alaa kohden enemmän kuin korkeilla leveysasteilla. Lämmin ilma nousee ja aiheuttaa matalapaineen, joka pyrkii täyttymään vetämällä puoleensa kylmää ilmaa (Boyle 2004).

Tuulivoima on perinteinen energian tuotantotapa. Sitä on käytetty myllyjen pyörittämiseen, veden pumppaamiseen ja muihin mekaanisiin tarkoituksiin tuhansia vuosia. Nykyiset tuulivoimalat muuttavat tuulen kineettisen energian siipien pyörimisliikkeeksi ja siitä edelleen generaattorilla sähköksi. Tuuliturbiineja on useita erityyppisiä. Ne voidaan jakaa vaaka- ja pystyakselisiin tuuliturbiineihin. Vaaka-akselisilla turbiineilla on yleensä kaksi tai kolme lapaa tai lukuisia lapoja, mutta myös yksilapaisia turbiineja on rakennettu. Pystyakseliset tuuliturbiinit pystyvät käyttämään tuulen mistä suunnasta hyvänsä, kun vaaka-akselinen on suunnattava kohti tuulta. Pystyakseliset

tuuliturbiinit eivät ole vielä kilpailukykyisiä perinteisten vaaka-akselisten turbiinien kanssa (Boyle 2004).

Yleisimmät tuulivoimalaitokset ovat vaaka-akselisia ja kolmilapaisia. Niissä ilmavirtauksen aikaansaama nostevoima pyörittää roottoria. Teoriassa tuuliturbiini pystyy hyödyntämään 60 % tuulen liike-energiasta, mutta käytännössä hyötysuhde on 50 %. Tuulivoimalaitos käynnistyy tuulennopeuden ollessa noin 3-5 m/s. Tuulennopeuden kasvaessa tehon tuotto kasvaa nopeasti. Nopeuden ollessa 15–25 m/s tehoa rajoitetaan säästöillä ja myrskyssä, kun tuulen nopeus ylittää 25 m/s, laitos pysäytetään vaurioiden estämiseksi. Tästä muodostuu jokaiselle tuulivoimalaitokselle ominainen tehokäyrä, josta nähdään voimalaitoksen teho eri tuulennopeuksilla (VTT Prosessit 2004, Suomen tuulivoimayhdistys ry & VTT Energia 2006).

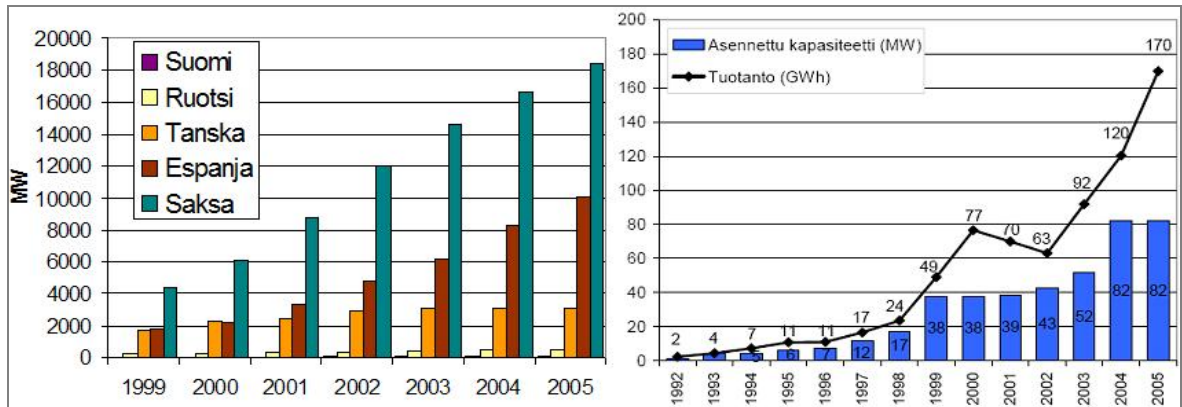
Tuulivoimalaitoksen tuotanto riippuu voimakkaasti sijoituskohteen tuulioloista. Kymmenen prosentin lisäys keskituulennopeudessa parantaa tuulivoimalan tuotantoa 20-25 %. Kohteessa, jossa keskituulennopeus on 7,5 m/s, tuulivoimala tuottaa yli kaksi kertaa enemmän kuin kohteessa, jossa keskituulennopeus on 5 m/s. Suomessa tuuliolosuhteet ovat suotuisat etenkin rannikolla ja Lapin tuntureilla. Suomi on kuitenkin useimpiin tuulivoimaa laajasti hyödyntäviin maihin verrattuna metsäinen maa. Laajat, tasaiset, avoimet laidun- ja peltomaat, joille tuulivoimaa pääasiassa rakennetaan esim. Keski-Euroopan rannikkoseuduilla, puuttuvat Suomesta käytännössä kokonaan. Tällä hetkellä tuulivoiman tuottaminen on kannattavaa rannikolla aivan rantaviivassa sekä sisämaassa riittävän korkeiden tunturien ja vaarojen huipuilla. Myös suurten järvien rannat ja saaret sekä rannikkojen peltoaukeat ovat tuuliolosuhteiltaan suotuisia (Suomen tuulivoimayhdistys ry & VTT Energia 2006).

Suuri tuulivoiman tuotantopotentiaali on merellä offshore laitoksissa. Merellä tuuliolosuhteet ovat huomattavasti paremmat heti rantaviivasta poistuttaessa. Suomessa matalien merialueiden tuotantopotentiaalia ei ole kattavasti arvioitu. Tuotantomahdollisuudet riippuvat lähinnä tuotantokustannusten kehittymisestä, sillä merellä rakentaminen tuottaa lisäkustannuksia. Merellä kaapelointimatka pitenee ja aaltojen sekä jään aiheuttaman kuormituksen vuoksi perustukset ovat vaativammat kuin maalla. Suomessa ei ole rakennettu offshore-laitoksia, kun Tanskassa, Ruotsissa ja Hollannissa niitä on jo rakennettu (Holttinen ym. 1998, Helynen ym. 2002, Holttinen 2006).

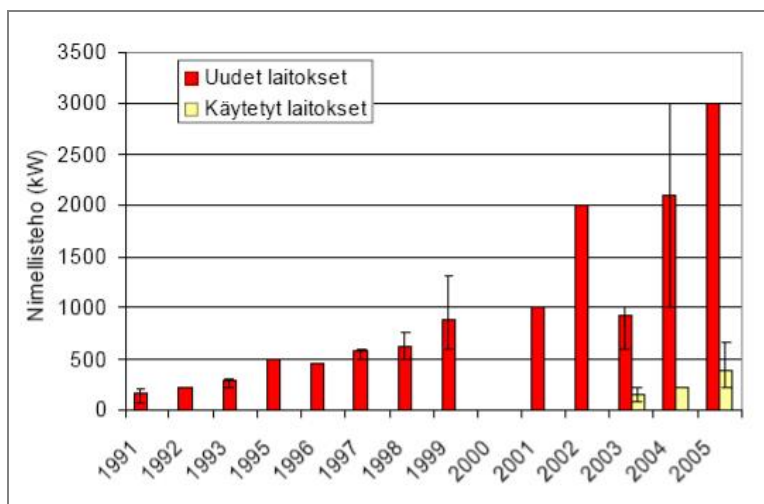
Tuulivoimalaitoksen tuotanto riippuu myös tuulen satunnaisvaihteluista. Se vaatiiko tuulivoima vara- ja säätötehoa, on kiistanalainen kysymys. Tuulivoimaa tuotetaan eniten talvella, jolloin myös tarve on suurin ja sähkön hinta korkeimmillaan. Talvellakin tuuliolosuhteet voivat olla vaihtelevia. Kuitenkin tunturien huipuilla on usein tuulista kun alavilla mailla on kova pakkanen ja tyyntä. Voidaankin olettaa ettei tuulivoimalaitos tarvitse varatehoa koko nimellistehonsa vertaa. Suomi on maantieteellisesti laaja alue ja tuotannon jakautuessa suurelle alueella on epätodennäköistä, että koko alueella on tyyntä yhtä aikaa (Suomen tuulivoimayhdistys ry & VTT Energia 2006).

Tuulivoimalaitosten hinnat ovat pudonneet tasaisesti suurempien ja kustannustehokkaampien laitosten tullessa markkinoille. Suurempia laitospaketteja käytettäessä ja rakennettaessa suurempia tuulipuistoja investointikustannukset kilowattia kohti ovat todennäköisesti alhaisemmat kuin pienten ja yksittäisten laitosten kohdalla. Vuotuiset käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat pienet, noin 1,5-2,5 % investoinneista. Kustannusten pieneneminen ja voimalaitosten tekninen luotettavuus ovat johtaneet tuulivoiman käytön kasvuun. Tuulivoiman kapasiteetin kasvu oli 1990-luvulla 22,2 % vuodessa IEA-maissa (International Energy Agency). Tuulivoiman käyttö on kuitenkin

yleistynyt vain tietyissä maissa ja esimerkiksi Suomessa käytön kasvu on hidasta, jos verrataan Euroopan johtaviin tuulivoimamaihin (Kuva 2). Tuulivoimalaitosten teho on kasvanut 1990-luvun alusta ja vuonna 2004 rakennettiin Suomen ensimmäinen 3 MW:n tuulivoimalaitos (Kuva 3) (IEA 2004, Holttinen 2006, Suomen tuulivoimayhdistys ry & VTT Energia 2006).



Kuva 2. Muutamien Euroopan maiden tuulivoimakapasiteetin kehitys 1990-luvulla sekä asennetun kapasiteetin ja tuulivoiman tuotannon kehitys Suomessa (Holttinen 2006).



Kuva 3. Suomen vuosittain asennetun tuulivoimakapasiteetin keskitetyn kehitys ja kapasiteetin koonvaihtelu vuosina 1991–2005 uusille ja käytettyinä ostetuille laitoksille (Holttinen 2006).

Uusiutuvan energian edistämishjelmassa (KTM 2003) tuulivoiman tavoitteeksi on asetettu 500 MW vuoteen 2010 mennessä ja visioksi 2000 MW vuoteen 2025. EWEA:n ja Greenpeacen julkaisemassa raportissa Wind Force 12 (2005) asetetaan tavoitteeksi tuottaa koko maailman sähköntarpeesta 12 % tuulivoimalla vuoteen 2020 mennessä. Raportin mukaan enää ei ole teknisiä tai taloudellisia esteitä toteuttaa tätä tavoitetta. Suomen nykyisestä sähkönkulutuksesta 10 % on noin 8 TWh. Tämä tarkoittaisi noin 3 500 MW:n tuulivoimakapasiteettia (Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2005). Suomen maatilojen energiatuotantopotentialit raportissa on laskettu pelkästään Keski-Suomen maatilojen teknologiseksi ja ekologiseksi potentiaaliksi 65 TWh tuulisähköä (Lampinen & Jokinen

2006). Teknologinen potentiaali tarkoittaa tunnetulla teknologialla teoriassa tuotettavissa olevaa maksimipotentialia.

### 5.2.3. Vesivoima

Kuten useimmat uusiutuvat energiat myös vesivoima on peräisin auringosta. Lähes neljäsosa auringon maahan osuvasta energiasta kuluu veden haihduttamiseen. Ilman vesihöyry sisältääkin paljon potentiaalienergiaa. Suurin osa tästä energiasta kuitenkin vapautuu lämpönä ilmakehään veden kondensoituessa ja säteilee lopulta avaruuteen. Vain 0,06 % energiasta säilyy ja laskeutuu sateen mukana mäille ja vuorille. Ylängöille satava vesi sisältää potentiaalienergiaa, mikä voidaan hyödyntää, kun se muuttuu liike-energiaksi veden kulkeutuessa puroja ja jokia pitkin meriin. Liike-energia saadaan hyödynnettyä turbiineilla, joita vesi pyörittää. Turbiinien liike muutetaan sähköksi generaattoreilla. Turbiineja on paljon erimuotoisia ja kokoisia. Nykyiset turbiinit ovat erittäin tehokkaita. Ne voivat optimaalisissa olosuhteissa saavuttaa jopa 95 prosentin hyötysuhteen. Optimaalisia olosuhteita ei kuitenkaan voida aina säilyttää, sillä energiantarpeen muuttuessa veden virtausta säädelään. Sopivan turbiinin tyyppiin vaikuttavat mm. putouksen korkeus, veden määrä ja tarvittava energian määrä (Boyle 2004).

Veden virtausta voidaan säädellä patojen ja tekojärvien avulla. Näin vesivoimaa voidaan käyttää säätövoimana esimerkiksi huippukulutuksen aikana. Veden määrä vaihtelee usein vuodenaikojen mukaan. Padot ja tekojärvet mahdollistavat myös vuodenaikojen välisen sääntelyn. Suuret vesivoimalaitokset patoineen ovatkin yksiä maailman suurimmista rakennelmista. Vesivoiman suurimmat kasvihuonekaasupäästöt tulevat juuri rakennusvaiheessa, kun tekojärvet peittävät alleen suuria alueita ja kasvimassat alkavat hajota veden alla. Kun normaalisti kasvimassa hajotessaan tuottaa hiilidioksidia, veden alla hajotessaan se muuttuu metaaniksi, jonka kasvihuonevaikutus on 23 kertaa suurempi kuin hiilidioksidin. Tästä syntyy nettopäästöjä, jotka voimistavat ilmaston muutosta. Vesivoiman rakentamisella on myös muita ympäristövaikutuksia. Suuret tekojärvet voivat lisätä merkittävästi veden haihtumista, jolloin vesivarat hupenevat. Padot voivat estää lohien pääsyn kutualueille tai ravinnepitöisen liejun kulkeutumisen virran mukana, jolloin sitä ei voida käyttää lannoitteena pelloilla. Voimalaitosrakenteet muuttavat myös maisemaa merkittävästi. Veden säännöstely voi kuluttaa rantapengertä ja haitata mm. vesilintujen pesintää. Tekojärvet peittävät alleen suuria alueita, joilla yleensä on myös asutusta. On arvioitu, että Kiinassa puolen vuosisadan aikana noin 10 miljoonaa ihmistä on joutunut muuttamaan muualle tekojärvien alta. Padon alapuolella asuville pato voi tuoda turvaa tulvilta. Toisaalta sattuu myös onnettomuuksia ja padot voivat sortua. Padon sortuminen voi aiheuttaa katastrofin ja vaatia suuria uhrimääriä. 1900-luvulla Kiinan ulkopuolella pato-onnettomuuksien arvellaan vaatineen noin 10 000 henkeä. Kiinassa luvut ovat paljon suurempia (Oksanen 1992, Boyle 2004).

Suomen vesivoimavaroista suurin osa on jo rakennettu. Rakentamattomista joista osa on joko suojeltu voimalaitosrakentamiselta tai ne ovat rajajokia. Vesivoiman määrää voidaan lisätä uusimalla ja laajentamalla nykyisiä voimalaitoksia sekä rakentamalla pienimuotoista vesivoimaa. Olemassa olevien rakenteiden hyödyntäminen vähentää pienvesivoiman ympäristövaikutuksia. Pienvesivoimalaitos voidaan toteuttaa myös ilman patoa, mikäli luonnollinen putous on keskittynyt riittävän lyhyelle matkalle. Tällöin koko virtaama tai osa siitä voidaan johtaa kanavan tai putken kautta koneasemalle. Koneasemaan ei kohdistu suuria vedenpaineita, jolloin se voi olla hyvin kevytrakenteinen. Suomessa riittäviä putouskorkeus eroja ei lyhyiltä matkoilta oikein löydy (Oksanen 1992, KTM 2004 b).

Niin kuin monen muunkin uusiutuvan energian myös pienvesivoiman kustannukset keskittyvät rakennusvaiheeseen. Käyttökustannuksen ovat pienet, sillä voimalaitoksen käyttöä ohjataan automatiikalla ja tuotantoa voidaan valvoa kauko-ohjauksella. Pienvoimala investointi saadaan yleensä maksettua takaisin alle kymmenessä vuodessa (Pienvesivoimayhdistys ry 2003).

Keski-Suomessa vesivoimalaitokset ovat suhteellisen pieniä alle 10 MW:n laitoksia (KTM 2004 b). Laitosten yhteisteho on 38 MW (Helynen ym. 2003), mikä on pieni osuus Suomen nykyisestä rakennetusta kapasiteetista. Suuria rakentamattomia koskia ei ole, joten Keski-Suomessa vesivoimaa voidaan lisätä uusimalla nykyisiä laitoksia ja rakentamalla pienvesivoimaa.

#### 5.2.4. Biomassa

Myös biomassan sisältämä energia on peräisin auringosta. Biomassat ovat eloperäisiä fotosynteesissä syntyneitä kasvimassoja. Fotosynteesissä kasvit käyttävät auringon energiaa valmistaakseen hiilidioksidista ja vedestä sokereita, tärkkelystä, selluloosa ja muita hiiliyhdisteitä, mitä ne käyttävät kasvaakseen. Aurinkoenergian sitominen bioenergiaksi on kuitenkin erittäin tehotonta. Kasviin osuvasta auringon energiasta vain noin 5,3 % muuttuu bioenergiaksi ja koko auringon säteilyenergiasta vain noin 0,64 % muuttuu bioenergiaksi. Aurinkokennot ovat siis paljon tehokkaampia kuin kasvit (Boyle 2004).

Biomassan poltosta ei synny hiilidioksidipäästöjä, sillä luonnossa hajotessaan kasvit vapauttaisivat saman määrän hiilidioksidia kuin poltossa vapautuu. Hiilidioksidin nettolisäystä ei synny, jos kasvillisuuden pinta-ala pysyy samana. Poltossa vapautunut hiili sitoutuu tällöin kasvavaan biomassaan. Nettolisäystä ilmakehän hiilidioksidin syntyyn vain polttoaineen viljelystä, energian tuotannon ja jalostuksen laitteiden valmistuksesta sekä niiden käyttämisestä fossiilisista polttoaineista.

Puupolttoaineet ovat merkittävien bioenergian lähde Suomessa. Puupolttoaineena käytetään metsästä saatua käsittelemätöntä puuta sekä käsiteltyä jätetuuta. Metsäteollisuudessa syntyy paljon puutähteitä kuten sahanpurua, kuorta ja muuta käsittelemätöntä puutähdettä. Metsäteollisuuden puuraaka-aineesta lähes 40 % päätyy energiantuotantoon. Puutähteillä tuotetaan 18 % kotimaisesta energiasta. Kotitalouksissa käytetään mm. halkoja ja pilkkeitä sekä pellettejä, joka on jalostettu puupolttoaine. Metsissä polttoaineeksi sopivaa puuta ovat mm. latvusmassa, kannot, hukkarunkopuu ja pieniläpimittainen kokopuu. Kaikki saatavilla oleva puupolttoaine ei kuitenkaan ole vielä kustannuksiltaan kilpailukykyistä. Tehokkaimmat tuotantomenetelmät yhdistävät teollisuuden puuraaka-aineen ja energiapuun hankinnan (VTT Prosessit 2004, Finbio ry 2005).

Metsäteollisuudessa sellun valmistuksessa käytetään sulfaattimenetelmää. Menetelmässä poistetaan epäorgaanisten keittokemikaalien avulla suurin osa raaka-ainepuun selluloosakuituja toisiinsa sitovasta ligniinistä. Noin puolet puun kuiva-aineesta liukenee keittoliemeen keiton aikana. Tästä syntyvää musta- ja sulfaattilipeää on ryhdytty käyttämään polttoaineena 1950-luvun puolivälissä. Lipeä väkevöidään haihduttamalla ja poltetaan soodakattilassa. Mustalipeän kuiva-ainetasoa on nostettu merkittävästi, mikä lisää kattilan hyötysuhdetta ja alentaa rikkipäästöjä. Soodakattilasta saatava energiamäärä riittää koko sellun tuotantoprosessin tarpeeseen ja joskus energiaa riittää myös myytäväksi. Mustalipeää saadaan vain sen verran kuin sitä selluntuotannossa syntyy ja prosessi käyttää tuotetun energian lähes kokonaan. Mustalipeän käytöllä pystytään vaikuttamaan lähinnä vain selluntuotannon hiilidioksidipäästöihin. Tulevaisuudessa korvaamalla soodakattilat

kaasutustekniikalla voitaisiin mustalipeän hyödyntämistä tehostaa (Alakangas 2000, VTT Prosessit 2004).

Peltobiomassaa saadaan keräämällä viljan viljelyssä sivutuotteena syntyvää olkea tai kasvattamalla siihen tarkoitettuja kasvilajeja kuten ruokohelpeä. Energiakasvien viljelylle sopivia alueita ovat elintarviketuotannosta vapautuvat pellot, kesannot ja vanhat turpeentuotantoalueet. Peltobiomassaa voidaan käyttää kiinteänä polttoaineena tai siitä voidaan jalostaa kaasumaisia tai nestemäisiä polttoaineita. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa 2003–2006 asetetaan peltoenergian käyttötavoitteeksi 6 TWh vuoteen 2010 ja 1,4 TWh vuoteen 2025 mennessä (KTM 2003). Korvaamalla viljan viljelyä monivuotisilla energiakasveilla vähennetään maanmuokkausta ja siten siihen liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Peltobiomassan käytöllä voidaankin korvata fossiilisia polttoaineita ja vähentää maankäytöstä syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä (Tuomisto 2005, Lampinen & Jokinen 2006).

Kaikkea biomassaa voidaan hyödyntää kaasuttamalla. Kaasutuksessa polttoaine reagoi kaasuttavan aineen kanssa korkeassa lämpötilassa ja muodostaa polttokaasuseoksen. Kaasuttavana aineena voi olla mm. ilma, happi tai vesihöyry. Prosessiin ei saa kuitenkaan tuoda yhtä paljoa happea kuin täydellinen palaminen edellyttää, jotta polttokaasuseos on palamiskelpoista. Polttokaasuseos voidaan käyttää joko sellaisenaan tai puhdistettuna. Kaasutuksessa voidaan käyttää monipuolisesti eri polttoaineita ja luoda monenlaisia eri kokoluokan energiantuotantoprosesseja. Kaasutuksella on mahdollista nostaa energiantuotannon hyötysuhdetta ja vähentää päästöjä (VTT Energia 1999, VTT Energy 2003).

Suomen maatilojen energiantuotantopotentiaalit raportissa (Lampinen & Jokinen 2006) on laskettu potentiaalit myös bioenergian tuotannolle. Keski-Suomen maatalouden bioenergian kemialliseksi potentiaaliksi on saatu 14 TWh lämpöä, 8,7 TWh sähköä tai 11 TWh liikenteen polttoaineita. Kemiallinen potentiaali on polttoaineen teoreettisesti saatavissa oleva energiamäärä kemiallisissa, lämpökemiallisissa ja muissa konversioprosesseissa. Potentiaalit ovat pienet aurinko- tai tuulienergian potentiaaleihin verrattuna.

#### 5.2.5. Biokaasu

Biokaasua muodostuu mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa. Mikrobit hajottavat orgaanisen aineen ensin sokereiksi ja sitten erilaisiksi hapoiksi sekä lopulta kaasuksi. Jäljelle jää mädätetty biomassa. Biokaasu sisältää tavallisesti 40–70 % metaania ja 30–60 % hiilidioksidia sekä erittäin pieniä pitoisuuksia rikkiyhdisteitä. Biokaasua voidaan hyödyntää lämmön ja sähkön tuotannossa sekä ajoneuvojen polttoaineena (Boyle 2004, Biokaasukeskus ry 2005).

Kaatopaikoilla hajoava orgaaninen aines muodostaa kaatopaikkakaasua. Valtioneuvoston päätös (Säädös 861/1997) on edellyttänyt kaatopaikkakaasun talteenottoa vuoden 2002 alusta lähtien. Vuonna 2004 kerättiin Suomessa 96,8 miljoonaa m<sup>3</sup> kaatopaikkakaasua, mikä on lähes puolet kaatopaikoilla syntyvästä kaasusta. Siitä käytettiin sähkön ja lämmön tuotantoon 37 %, jolla tuotettiin 154,5 GWh energiaa (Biokaasukeskus ry 2005). Kaatopaikkakaasun keräyslaitteisto sisältää jätetäyttöön sijoitettavat putkistot, imujärjestelmän, kaasupumppaamon sekä hyötykäyttölaitteiston tai soihtupolton. Putkistot voivat olla imukaivoja tai salaojia. Imukaivot soveltuvat korkeille kaatopaikoille ja salaojat matalille. Pienillä kaatopaikoilla, jossa kaasua syntyy vähän, voidaan kaasu käsitellä passiivisesti kaatopaikan pintaan rakennettavien biosuotimien avulla (Väisänen & Salmenoja 2006).



Biokaasua voidaan tuottaa siihen tarkoitetuissa reaktoreissa. Raaka-aineeksi käytetään lähes mikä tahansa orgaaninen aines. Yleisesti käytetään mm. lantaa, jäteveden puhdistamojen lietteitä, peltobiomassaa tai elintarviketeollisuuden jätteitä. Reaktorissa pyritään luomaan anaerobiselle hajoamiselle ideaaliset olosuhteet. Mesofiilinen hajoaminen tapahtuu 30–35 °C lämpötilassa ja se kestää noin 15–30 päivää. Termofiilinen hajoaminen tapahtuu noin 55 °C lämpötilassa ja on nopeampaa. Hitaamman hajoamisen takia mesofiilinen reaktorin on oltava suurempi, mutta toisaalta hajoaminen ei ole niin altis erilaisille häiriöille kuin termofiilinen. Termofiilinen hajoaminen tuottaa paremmin kaasua ja tuhoaa paremmin patogeenejä. Anaerobinen hajoaminen tuottaa lämpöä vain vähän ja reaktorit vaativat lämmitystä. Termofiilinen prosessi vaatii enemmän energiaa lämmitykseen kuin mesofiilinen prosessi (AD-Nett 2005).

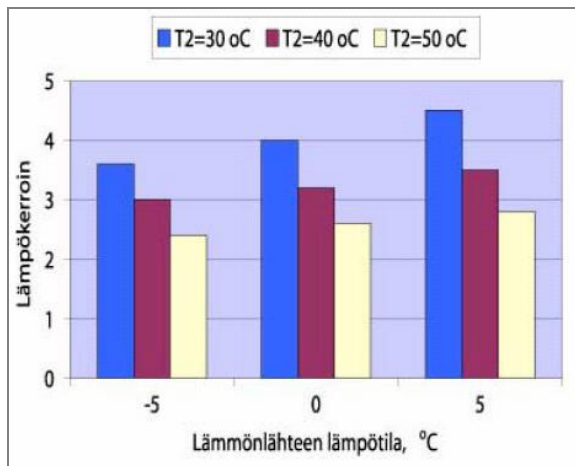
Biokaasun tuottamisella on paljon hyötyjä. Sen käytöllä voidaan korvata fossiilisia polttoaineita ja kaatopaikkakaasun kerääminen ja polttaminen vähentää suoraan kasvihuonekaasupäästöjä. Anaerobinen käsittely säilyttää biomassan ravinteet toisin kuin poltto. Käsitelty biomassaa voidaan käyttää edelleen lannoitteena, jolloin keinotekoisien lannoitteiden tarve vähenee. Lannan käsittely anaerobisesti vähentää hajuhaittoja voi tappaa taudinaiheuttajia. Se myös parantaa lannan käsittelyä, jolloin vesistöhaitat vähenevät (AD-Nett 2005).

Maatilakohtainen biokaasureaktori voi olla taloudellisesti kannattavaa toimintaa. Jos käsitellään pelkästään lantaa, on tilakoon oltava suuri. Pienemmilläkin tiloilla voi tuotanto olla kannattavaa, jos reaktorissa käsitellään maksusta tilan ulkopuolisia jättemateriaaleja tai lisäksi käytetään tilan omaa kasvimassaa. Biokaasun tuotannolle maksetaan investointitukea. Jos investointituen lisäksi biokaasun tuotannosta maksettaisiin lisähintaa, tulisi energiantuotannosta merkittävästi kannattavampaa ja maatalousyrittäjän kannalta kiinnostavampaa. Lisähinta voisi olla maksu kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä (Hagström ym. 2005, Kalmari 2006).

#### 5.2.6. Lämpöpumput

Auringon lämpöenergiaa sitoutuu maahan ja vesistöihin, jotka toimivat suurina lämpövarastoina. Suomenkin olosuhteissa lämpövarastoja voidaan käyttää rakennusten lämmittämiseen. Maan lämpötila on kuitenkin niin alhainen, ettei sitä voida käyttää suoraan vaan tarvitaan lämpöpumppu. Sen toimintaperiaate on samanlainen kuin jääkaapin, mutta päinvastainen. Lämpöpumppu jäähdyttää matalassa lämpötilassa olevaa lämmön lähdeä ja saatu lämpö siirretään sisälle rakennukseen. Tämän mahdollistaa laitteessa kiertävä neste, joka kiehuu alhaisessa lämpötilassa. Putkistoissa höyrystynyt neste puristetaan suurempaan paineeseen kompressorissa, jolloin sen lämpötila kohoaa ja höyry tiivistyy nesteeksi. Paineistettu lämmin höyry kondensoituu lauhduttimessa, jolloin sen sisältämä energia vapautuu. Lauhduttimen läpi virtaa nestettä tai ilmaa, joka siirtää lämmön eteenpäin lämmitysjärjestelmässä. Lämpöpumpussa kiertävä neste palautetaan paisuntaventtiilin kautta takaisin putkistoon, jolloin paine laskee (Erat ym. 2001, SULPU ry 2006).

Lämpöpumppu vaatii lisäenergiaa kompressorissa kaasun puristamiseen, kylmäaineen kierrättämiseen sekä säätölaitteisiin. Lisäenergiana käytetään sähköä. Lämpöpumpun lisäenergian käytön tehokkuutta ilmaistaan lämpökertoimella. Lämpökerroin on lämmitystehon suhde tarvittavaan sähkötehoon eli kuinka monta kW:a lämpöä tuottaa yhdellä sähkö kW:lla. Lämpökerroin liikkuu yleensä kolmen molemmilla puolilla. Lämpötilakertoimeen vaikuttaa vahvasti lämmön lähteen lämpötila sekä lämmitysjärjestelmän vaatima lämpötila (Kuva 4).



Kuva 4. Lämmönlähteen ja käyttölämpötilan vaikutukset lämpöpumpun lämpökertoimeen. T2 on lämmönkäytön esim. lämmitysverkoston veden lämpötila (SULPU ry 2006).

Lämpöpumppu voi ottaa lämpöä pintamaasta, kalliosta, vesistöistä, ulkoilmasta tai ilmastoinnin poistoilmasta. Pintamaasta lämpöä kerätään usean sadan metrin pituisella noin metrin syvyyteen sijoitettavalla vaakaputkistolla. Kalliosta lämpöä kerätään kallioon porattuun reikään sijoitetulla pystyputkistolla. Vedestä lämpöä kerätessä putkisto ankkuroidaan vesistön pohjaan. Lämpöä voidaan kerätä myös ulkoilmasta, mutta lämpötilan laskiessa alle  $-15$  -  $-10^{\circ}\text{C}$  pienenee pumpun lämpökerroin niin paljon, ettei ulkoilmalämpöpumpun käyttö ole enää kannattavaa. Suomen oloissa tarvitaan siis lisälämmitys näitä tilanteita varten. Poistoilmalämpöpumppu hyödyntää koneellisen ilmastoinnin poistoilman lämpöä. Poistoilmalämpöpumppu vähentää rakennuksen lämmön hävikkiä, mutta toimiakseen se vaatii jatkuvan ilmavirran. Tällöin ilmastoinnin on oltava jatkuvasti päällä (Aittomäki ym. 1999, SULPU ry 2006).

Maalämpöpumpulla voidaan säästää lämmitykseen kuluva energiaa 65–70 %. Poistoilmalämpöpumppu voi tuottaa säästöä 40–55 % suoraan sähkölämmitykseen verrattuna. Ulkoilmalämpöpumppu on mielekäs vaihtoehto lähinnä suoran sähkölämmityksen täydentäjänä. Tällöin 40–50 % säästö on saavutettavissa (Aittomäki 2001). Pientalo, joka kuluttaa 20 MWh vuodessa voi maalämpöpumpulla säästää sähkölämmitykseen verrattuna 914 €/ja öljylämmitykseen verrattuna 693 €(Taulukko 3).

Taulukko 3. Vertailu pientalon lämmityskustannuksista eri lämmitysjärjestelmillä. Polttoaineiden hinnat ovat vuoden 2005 keskihintoja (Tilastokeskus 2005c) ja lämmön kulutus 20 MWh vuodessa.

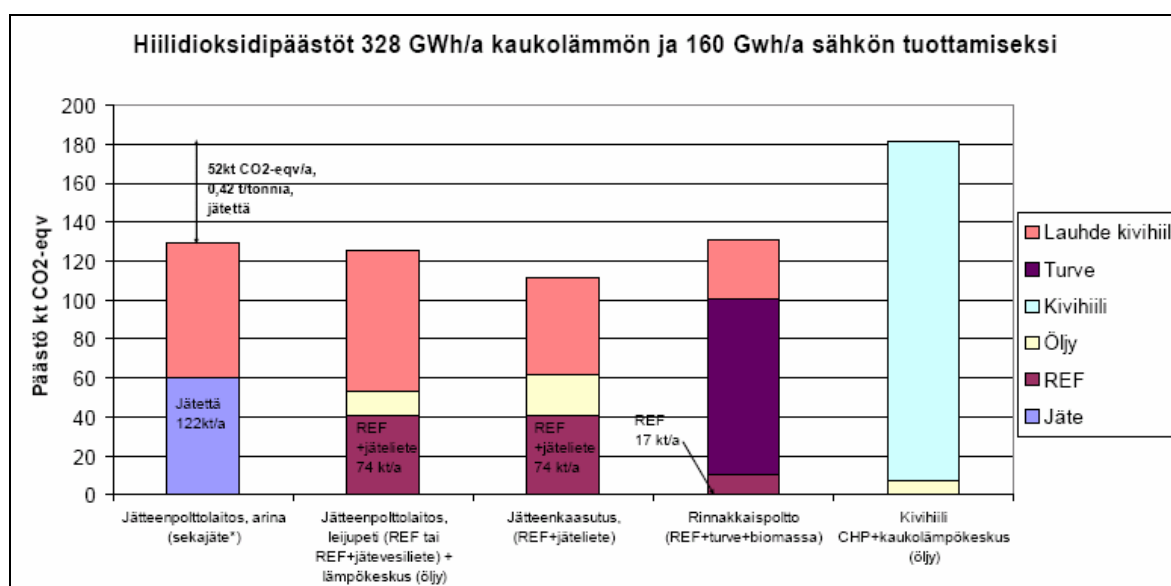
	Energialähde	Hinta c/kWh	Kulut vuodessa €
<b>Sähkölämmitys</b>	Sähkö	6,86	1371,20
<b>Öljylämmitys</b>	Kevyt polttoöljy	5,75	1150,00
<b>Maalämpö</b>	Sähkö	6,86	457,07

### 5.2.7. Yhdyskuntajäte

Jätelain ensisijaisena tavoitteena on jätteen synnyn vähentäminen. Seuraavana tavoitteena on materiaalin kierrätys ja lopuksi sen energian hyötykäyttö. Hyötykäyttöön kelpaamaton jäte sijoitetaan kaatopaikalle. Suomessa jätehuolto perustuu jätteiden syntypistelajitteluun (VTT Prosessit 2004). Biojätteet kerätään yleisesti omaksi jakeeksi ja kompostoidaan tai käsitellään anaerobisesti. Anaerobinen käsittely mahdollistaa

energiantuotannon biojätteistä ja mädätettyä lietettä voidaan vielä käyttää hyödyksi. Jätteiden mädätys ja biokaasun käyttö joko sähkön ja lämmöntuotantoon tai liikennepolttoaineeksi tuottaa merkittäviä vähennyksiä kasvihuonekaasupäästöihin, kun kompostoinnista ei ole vastaavanlaista hyötyä (Dahlbo ym. 2006)

Keski-Euroopassa ei käytetä yleisesti syntypistelajittelua ja jätteen poltto on sekajätteen massapolttota. Suomessa syntypistelajittelu mahdollistaa kierrätyspolttoaineiden valmistuksen, joita voi käyttää CHP-voimaloiden tai kaukolämpökattiloiden polttoaineena (VTT Prosessit 2004). Jätteiden poltossa nettohiilipäästöjä aiheuttavat fossiilista alkuperää olevat jätteet kuten muovi. Jätteiden poltto vähentääkin kasvihuonekaasupäästöjä, jos sillä korvataan fossiilisia polttoaineita, poltossa on hyvä hyötysuhde ja tuotettu energia käytetään (Kuva 5). Kuitenkin muovijätteen kierrätys muovin raaka-aineeksi tuottaa huomattavia kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä. Muovin kierrätyksessä on kuitenkin vielä teknologisia haasteita (Dahlbo ym. 2006).



Kuva 5. Eri polttotekniikoiden aiheuttamat hiilidioksidipäästöt saman energiamäärän tuottamisessa (Dahlbo ym. 2006).

Valtioneuvosto on tehnyt jätteen polttamisesta asetuksen (Säädös 362/2003), joka perustuu EU:n jätteenpolto direktiiviin (Säädös 76/2000). Se asettaa uusia rajoituksia jätteen energiakäytölle. Vaatimuksia on mm. poltto-olosuhteista, savukaasupäästöjen raja-arvoista sekä mittaus- ja tarkkailuvelvoitteista. Käytössä olleille jätteiden poltto- tai rinnakkaispolttolaitoksille asetus astui voimaan vuoden 2005 lopussa. Asetuksen vaatimukset ovat niin tiukat, että käytännössä joudutaan rakentamaan uusia jätteenpoltoille suunniteltuja laitoksia. Keski-Suomessa on tavoitteena nostaa jätteiden hyötykäyttö 70–80 prosenttiin (Yli-Kauppi & Niemi 2003). Tämä tarkoittaa, että jätettä on käytettävä myös energiana joko keskisuomalaisessa polttolaitoksessa tai maakunnan ulkopuolella sijaitsevassa polttolaitoksessa.

#### 5.2.8. Muita uusiutuvia energianlähteitä

Geoterminen energia on maapallon sisään varastoitunutta lämpöä. Globaali geotermisen energian potentiaali on 140 000 000 eksajoulea. On arvioitu, että tästä olisi taloudellisesti käytettävissä seuraavien parin vuosikymmenen aikana 500 EJ. Tämäkin ylittää vuotuisen globaalin primaarienergian tarpeen. Kuten muutkin uusiutuvat energiat

myös geoterminen energia hajaantuu laajoille alueille. Sitä on helpommin saatavilla vulkaanisilla alueilla, joissa lämpötilat ovat suuremmat ja lähempänä maan pintaa. Käyttömahdollisuudet määrättyvätkin teknologian ei energian määrän mukaan (WEA 2000). Suomessa geotermistä energiaa voitaisiin hyödyntää kuumasta graniitista hot dry rock -tekniikalla (kuumat ja kuivat kivimuodostelmat), missä maan sisällä olevaa lämpöä siirretään maan pinnalle kierrättämällä vettä kuumissa kivimuodostelmissa. Keski-Suomen maatilojen ekologiseksi sähköntuotantopotentiaaliksi on laskettu 9 TWh, jos porausvyvyys on 6 km. Taloudellista potentiaalia ei kuitenkaan vielä ole (Lampinen & Jokinen 2006).

Aalto- ja vuorovesivoimalla on myös merkittävä globaali potentiaali. Myös tämä energia jakautuu laajoille alueille ja sen käytön edellytyksenä on teknologian kehitys. Suomessa ja varsinkin Keski-Suomessa ei ole merkittävää aalto- tai vuorovesivoimapotentiaalia.

### 5.2.9. Pienimuotoinen CHP

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto voidaan toteuttaa myös pienimuotoisesti. Tällöin voidaan hajauttaa energiantuotantoa ja säästetään mm. polttoaineen ja energian siirtokustannuksissa. Pienimuotoisella CHP:lla voidaan myös lisätä kauko- tai aluelämmön tuotantokapasiteettia kulutuksen kasvaessa. Valittavana on useita tekniikoita ja polttoaineita (Taulukko 4).

Taulukko 4. Pienimuotoisen CHP:n teknologiat ja niille soveltuvat polttoaineet (Vartiainen ym. 2002).

	<b>Kaasu- ja dieselmoottorit</b>	<b>Mikroturbiinit</b>	<b>Stirlingmoottorit</b>	<b>Polttokennot</b>	<b>Höyryturbiinit ja -koneet</b>
<b>hiili</b>			*		***
<b>turve</b>			*		***
<b>REF</b>	** (K)	** (K)	*	* (K)	***
<b>biomassa</b>	** (K)	** (K)	**	* (K)	***
<b>dieselöljy</b>	***	***	***		*
<b>bensiini</b>	*	**	**	**	*
<b>raskas polttoöljy</b>	***	*	*		*
<b>metanoli</b>	*	**	**	**	*
<b>etanoli</b>	*	**	**	**	*
<b>bioöljyt</b>	**	**	**		*
<b>LPG</b>	**	***	**		*
<b>vety</b>	**	**	**	***	*
<b>maakaasu</b>	***	***	***	***	*
<b>biokaasu</b>	***	**	**	**	*

\*\*\* Kaupallisesti merkittävä polttoaine CHP-laitteissa

\*\* Mahdollisesti tulevaisuudessa kaupallisesti merkittävä polttoaine

\* Teknisesti mahdollinen, mutta todennäköisesti ei kaupallisesti merkittävä

(K) Polttoaineen kaasutus

REF = Recovered fuel, kierrätyspolttoaine

LPG = Liquefied petroleum gas, nestekaasu

Tuotannon hiilidioksidipäästöt riippuvat polttoaineesta ja energian tuotannon hyötysuhteesta, jolloin päästövähennyksiä syntyy lähinnä uusiutuvilla polttoaineilla. Tällä hetkellä kilpailukykyisimpiä tekniikoita ovat kaasu- ja dieselmoottorit. Tulevaisuudessa, vedyn käytön yleistyttyä, polttokennoilla tulee olemaan suuri merkitys. Kaikkien näiden teknologioiden yleistymistä rajoittaa polttoaineen hinta ja saatavuus. Valitsemalla sopivaa

teknologiaa voidaan pienimuotoisella CHP:lla tuottaa energiaa mm. pientalojen, hotellien ja kylpylöiden, teollisuuden tai kauko- ja aluelämmön tarpeisiin. Kaasu- ja dieselmoottorit soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa on suhteellisen tasainen sähkön ja lämmön tarve. Pienet kaasuturbiinit soveltuvat kohteisiin, joissa tarvitaan korkeata lämpötilaa tai höyryä esim. teollisuuteen. Stirling-koneet soveltuvat pienempiin kohteisiin kuten pientaloihin. Polttokennot ovat monikäyttöisiä ja soveltuvat niin pieniin kuin isoihin sekä liikkuviin kohteisiin. Höyryturbiinit ja koneet soveltuvat myös paremmin teollisuuskohteisiin tai kauko- ja aluelämmön tuotantoon (Vartiainen ym. 2002).

### 5.3. Muu energiantuotanto

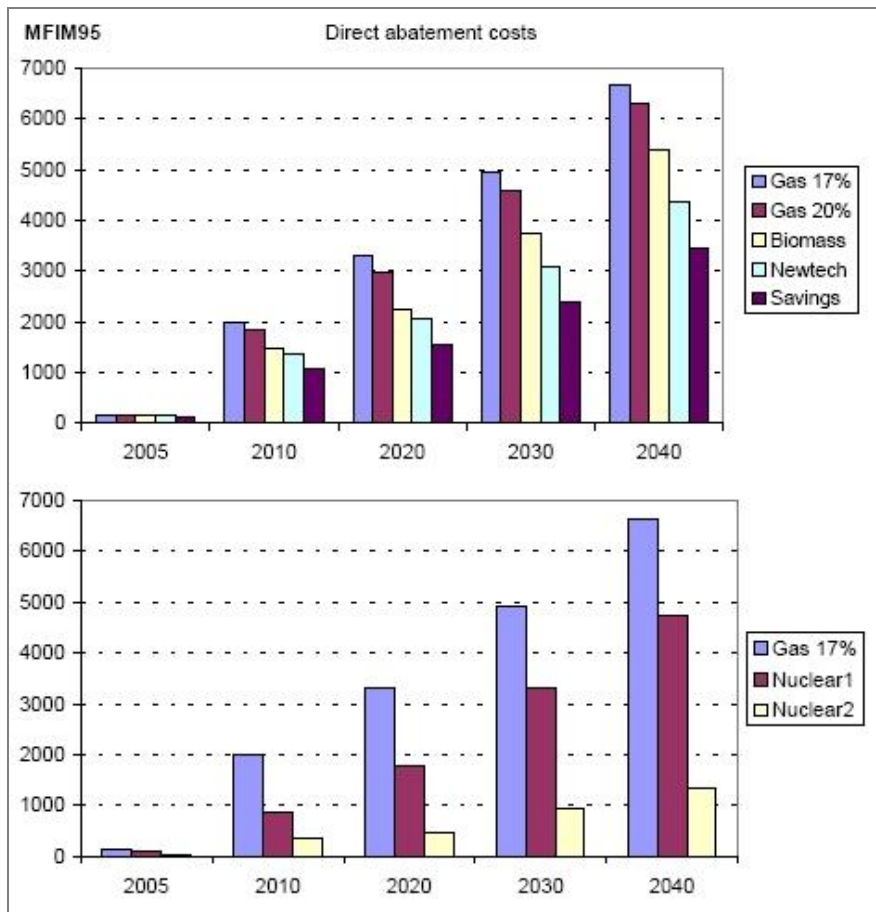
Tässä kappaleessa on esitetty energiantuotantomuotoja ja polttoaineita, jotka eivät ole uusiutuvia. Myös uusiutumattomien polttoaineiden käytössä on mahdollisuuksia vähentää kasvihuonekaasupäästöjä lähinnä tehokkaamman teknologian avulla.

#### 5.3.1. Ydinvoima

Nykyisin ydinvoima perustuu fissioon eli atomin halkeamiseen. Halkaistavina ytiminä käytetään uraanin ja plutoniumin tiettyjä isotooppeja. Ydinvoimalaitokset eivät tuota kasvihuonekaasupäästöjä, mikä on kasvattanut niiden kannatusta. Ydinvoimalla on kuitenkin elinkaarensa aikana paljon negatiivisia ympäristövaikutuksia. Uraanin louhiminen ja rikastaminen tuottaa suuret määrät radioaktiivista maa-ainesta ja radonkaasua, jotka ovat aiheuttaneet kaivoksien lähistön asukkaille terveysongelmia. Reaktoreita pidetään varmoina, mutta niiden turvallisuusriskit kasvavat voimaloiden vanhetessa ja materiaalien kuluessa (Pohjonen ym. 1999, VTT 2004).

Suomen ydinreaktorit tuottavat korkea-aktiivista jätettä noin 60 tonnia vuodessa. Ydinjätteiden loppusijoitusta ei ole toteutettu vielä missään, mikä tekee jätteistä merkittävän ratkaisemattoman ongelman. Myöskään loppusijoituksen hintaa ei voida tietää. Suomessa ollaan loppusijoittamassa ydinjätettä kallioperään ensimmäisenä maailmassa. Sijoitukseen liittyy kuitenkin merkittäviä ongelmia ja sen ympäristövaikutusten arviointia on kritisoitu. Jätekapselien korrosio, kallioperän murtumat ja siirtymät, pohjavesien käyttäytyminen sekä jääkausien jääpeitteen painon vaikutus tuovat riskitekijöitä ydinjätteen loppusijoittamiseen (Pohjonen ym. 1999).

VTT:n (Lehtilä & Tuhkanen 1999) tutkimustuloksissa ydinvoiman lisärakentaminen (Nuclear 1) ei ollut halvempi keino vähentää kasvihuonekaasupäästöjä kuin energian säästäminen (Savings) tai uudet teknologiat ja uusiutuvat energiat (Newtech) (Kuva 6). Uusiutuvat energiat myös työllistävät enemmän kuin ydinvoima.



Kuva 6. VTT:n skenaarioiden (Lehtilä & Tuhkanen 1999) kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen hinta eri keinoilla. Julkaisun kuvassa (alempi) ydinvoima vaihtoehtoja on verrattu ainoastaan kaikkein kalleimpaan (Gas 17 %) vaihtoehtoon.

### 5.3.2. Fossiiliset polttoaineet

Fossiiliset polttoaineet öljy, hiili ja maakaasu ovat uusiutumattomia luonnonvaroja, joiden poltossa vapautuu maaperään varastoitunutta fossiilista hiiltä. Kaikki fossiilisten polttoaineiden käytössä vapautunut hiili tuottaa nettolisäystä ilmakehään. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyviä päästöjä voidaan vähentää lisäämällä laitosten hyötysuhdetta. Tehokkaammat laitokset ja siirtyminen yhdistettyyn lämmön ja sähkön tuotantoon nostaa hyötysuhdetta ja vähentää päästöjä. Yksi keino on siirtyminen vähemmän hiiltä sisältäviin polttoaineisiin. Kivihiilestä syntyy eniten hiilidioksidipäästöjä ja maakaasusta vähinten. Fossiilisista polttoaineista voidaan poistaa hiiltä, jolloin syntyy vetypitoista polttoainetta, jota voidaan käyttää mm. polttokennoissa. Eroteltu hiilidioksidi voidaan varastoida (katso kappale 5.5.).

Fossiilisten polttoaineiden maanalaiset varannot hupenevat koko ajan. Löytymättömiä varantoja voi olla paljon, mutta ne ovat silti rajallisia ja uusiutumattomia. Fossiilisten polttoaineiden riittävydestä on esitetty erilaisia arvioita. Öljyn varannot ehtyvät todennäköisesti ensimmäisenä ja riittävät noin 50–80 vuotta, jos öljyä kulutetaan vuosittain yhtä paljon kuin vuonna 2000. Maakaasun ja hiilen varantojen oletetaan kestävän kauemmin. Vaikutukset ilmastonmuutokseen tulevat nopeuttamaan muutosta pois fossiilisten polttoaineiden käytöstä jo ennen varantojen ehtymistä (Meadow ym. 2005).

### 5.3.3. Turve

Turvetta muodostuu soilla, missä kasvimassaa syntyy nopeasti, mutta hajoaminen on hitaampaa. Suomen kostea ja lauhkea ilmasto on tälle otollinen. Suomen maa-alasta 30 % on ollut luonnontilaisia soita. Suopinta-alasta yli puolet eli 5,5 miljoonaa hehtaaria on ojitettu metsämaaksi. Pelloiksi on raivattu 0,7 miljoonaa hehtaaria ja turveteollisuuden tarpeisiin on varattu 0,5 miljoonaa hehtaaria. Suurin osa soiden hyötykäytöstä on tehty Suomen eteläosissa. Tuotantokelpoisena pidetään turvekerrostumaa, jonka paksuus on yli kaksi metriä ja joka on yli 50 hehtaarin kokoinen yhtenäinen esiintymä. Tällaisen turvekerrostuman syntymiseen kuluu vähintään 2 000 vuotta (Salonen ym. 2002). IPCC:n (2006) ohjeiden mukaisesti turve luokitellaan omaan luokkaansa fossiilisten polttoaineiden ja biopolttoaineiden väliin. Suomen kansallisessa ilmastostrategiassa turve luokitellaan hitaasti uusiutuvaksi, muttei kuitenkaan uusiutuvaksi, luonnonvaraksi (Anonyymi 2001).

Luonnontilainen suo on hiiltä sitova ekosysteemi. Korkea vedenpinta ja hapettomat olosuhteet hidastavat hajotusta, jolloin hiiltä sitoutuu turpeeseen. Suurin osa suon kasvillisuuden sitomasta hiilestä (80–95 %) hajoaa aerobisesti suon hapellisessa pintakerroksessa ja vapautuu ilmakehään. Pitkän ajan keskimääräinen hiilensitoutumisnopeus on Suomen luonnontilaisilla soilla ollut keskimäärin 15–30 g C/m<sup>2</sup>a, mutta vaihtelu on suurta (Taulukko 5). Veden kyllästävässä hapettomassa turvekerroksessa hajotusprosessit ovat hitaita. Niissä syntyy metaania, joka on hiilidioksidia 21 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu (Hillebrand & Wihersaari 1993, Wihersaari 1996).

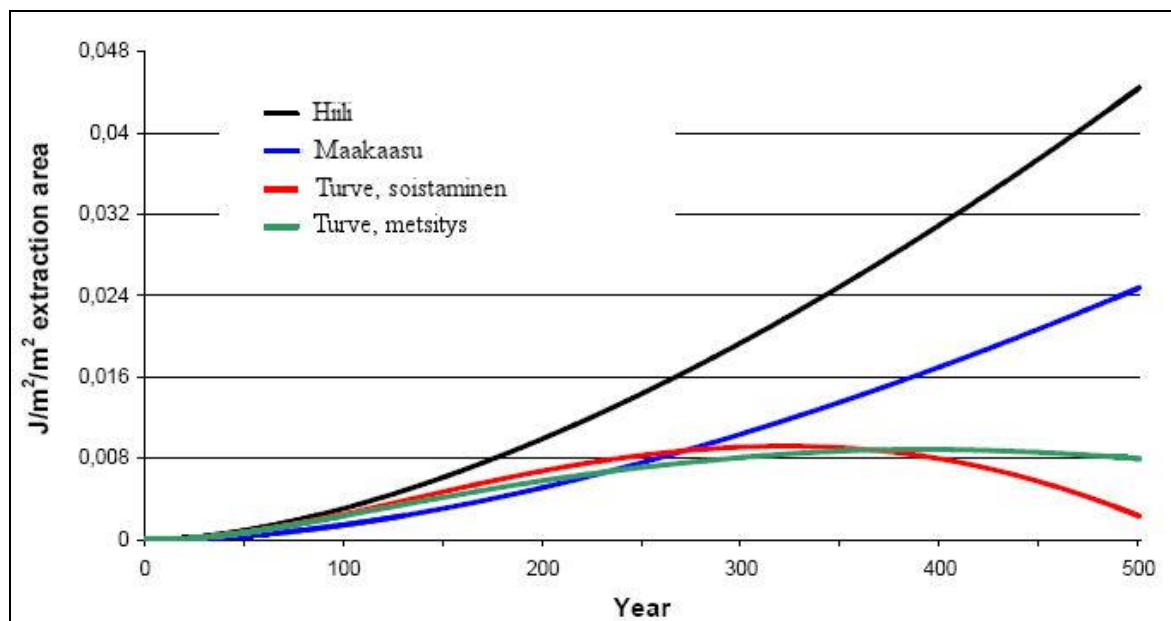
Taulukko 5. Vertailu ruotsalaisessa ja suomalaisessa tutkimuksessa saaduista soiden hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduulin päästöistä kahdella erilaisella suolla (Holmgren ym. 2006).

<b>Kaasu</b>	<b>Ruotsi</b> g/m <sup>2</sup> a	<b>Suomi</b> g/m <sup>2</sup> a	
<b>Luonnontilainen aapasuo</b>			
CO <sub>2</sub>	-51	-147 - 0	
CH <sub>4</sub>	6-23	15-31	
N <sub>2</sub> O	0,02	0	
<b>Metsitys käyttöön ojitettu suo</b>			
CO <sub>2</sub> päästöt	0-2 300	0-448	Turpeen hajoamisesta vapautuva
CO <sub>2</sub> sitominen	231-347	-	Puuston sitoma
CH <sub>4</sub>	0	0	
N <sub>2</sub> O	0,08-0,9	0	

Kun suo otetaan energiakäyttöön, sen kasvillisuus raivataan ja se ojitetaan. Ojituksen seurauksena suon veden pinta laskee ja aerobinen pintakerros kasvaa. Seurauksena on hajotuksen huomattava nopeutuminen ja hiilidioksidin vapautuminen. Ojitetuilla soilla hiilidioksidin tuotanto on huomattavasti suurempi kuin luonnontilaisella (Hillebrand & Wihersaari 1993). Turpeen poltosta syntyy myös hiilidioksidipäästöjä. Jos lasketaan yhteen turvetuotantoalueen, turpeen läjityksen ja polton yhteiset päästöt, turpeen hiilidioksidin päästökerroin on 127 g CO<sub>2</sub>/MJ (Wihersaari 1996). Turpeen käytöllä on myös muita ympäristövaikutuksia. Ojituksella on rehevöittävä vaikutus vesistöihin ja turpeen kerääminen tuhoaa suon ekosysteemin.

Turvetuotantoalueita voidaan ennallistaa tai jälkikäyttää eri tavoin. Jos tuotantoalueen suo ennallistetaan, se voi toimia hiilinieluna jo parin vuoden jälkeen ennallistamisesta (Tuittila ym. 1999). Hillebrand ja Wihersaari (1993) ovat arvioineet, että

metsitetyn suon ensimmäinen puusukupolvi sitoo 100 vuoden aikana vain noin 10 % alueelta turpeen polttamisen seurauksena vapautuneesta hiilestä. Jos halutaan sitoa turvetuotannossa nostettu hiilimäärä sadassa vuodessa, tarvitaan noin 20–30 kertaa niin suuren alueen metsittäminen (Wihersaari 1996). Soistaminen näyttäisi olevan paras ennallistamismuoto, kun katsotaan käytön ja ennallistamisen kokonaiskasvihuonevaikutusta pitkällä aikavälillä (Kuva 7). Ennallistamisesta huolimatta turpeen käytöllä on pitkäaikaiset kasvihuonevaikutukset.



Kuva 7. Ojitetun suon turpeen 300 vuoden aikaisesta energiakäytöstä kertyvä säteilypakote. Vertailu suon ennallistamisen ja metsittämisen välillä sekä hiilen ja maakaasunkäyttöön verrattuna (Nilsson & Nilsson 2004).

## 5.4. Energian kulutuksen vähentäminen

Energiansäästö voi olla edullinen keino vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Osa säästöistä voi tulla lähes ilmaiseksi kuluttajien tietoisuuden kasvun ja käyttäytymisen muuttumisen myötä. Osa säästöistä vaatii investointeja, jotka maksavat itsensä takaisin. Energiansäästö on kustannustehokas keino vähentää energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä (Clinch ym. 2001, IPCC 2001). Energiansäästöllä voi olla myös muita positiivisia vaikutuksia. Esimerkiksi kotitalouksissa energiansäästöön tehtävät investoinnit voivat parantaa mukavuutta ja sisäilmaa, mistä seuraa positiivisia terveysvaikutuksia (Clinch & Healy 2001). Erityisesti metsäteollisuudella on suurena energiankuluttajana myös suuri potentiaali vaikuttaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen (Möllersten ym. 2003, Nyström & Cornland 2003).

### 5.4.1. Teollisuus

Teollisuus on monimuotoinen sektori, joka sisältää luonnonvarojen oton, niiden muuttamisen raaka-aineiksi ja valmiiksi tuotteiksi valmistamisen. Viisi energia-intensiivistä alasektoria (rauta- ja teräs-, kemian-, sellu- ja paperi-, sementtiteollisuus sekä öljyn jalostus) käyttävät noin 45 % koko teollisuuden energiankulutuksesta. Nämä teollisuuden sektorit tuottavat raaka-aineista käyttöaineita ja tuotteita taloudelle. Teollisuuden tuotantoa voidaan arvioida käyttämällä joko taloudellisia tai fysikaalisia



indeksejä. Yleisesti teollinen tuotanto on kasvanut useimmissa talouksissa (Price ym. 1998).

Teollisuuden energiankulutukseen vaikuttaa kolme keskeistä tekijää: tuotannon määrä sekä rakenteen ja energiantensiteetin muutokset. Suomessa teollisuuden energiankulutus kasvaa energiantensiteetin muutoksesta huolimatta (Taulukko 6). Teollisuuden hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää parantamalla energiatehokkuutta, vaihtamalla polttoaineita vähemmän hiiltä sisältävään, siirtymällä uusiutuvaan energiaan, tehostamalla materiaalien käyttöä ja käyttämällä hiilidioksidin sieppausta. Energian käytön tehostaminen on tärkeä mahdollisuus vähentää teollisuuden energian kulutusta. Tekniset mahdollisuudet tähän ovat laajat. Esimerkkeinä mm. paperiteollisuuden mustalipeän kaasutus sekä impulssikuivatuksen käyttö veden poistoprosessissa paperin valmistuksessa (IPCC 2001).

Taulukko 6. Vuosittainen teollisuuden energiankäytön muutokset (%) Suomessa sekä tuotannon määrän, teollisuuden rakenteen muutoksen sekä energiantensiteettien muutoksen vaikutukset siihen (IPCC 2001).

	<b>Energian käytön kehitys</b>	<b>Tuotannon määrän vaikutus</b>	<b>Rakenteen muutoksen vaikutus</b>	<b>Energiantensi- teetin muutoksen vaikutus</b>
<b>1973-1986</b>	1,7	2,9	-0,1	-2,0
<b>1986-1990</b>	3,3	3,3	0,3	-0,2
<b>1990-1994</b>	1,8	1,6	1,6	-1,5

Keski-Suomessa metsäteollisuus on suurin teollisuuden ala ja energiankuluttaja. Metsäteollisuudella on myös suuri energiansäästöpotentiaali. Mekaanista massaa valmistetaan kuumahierreteknikalla (thermo-mechanical pulp TMP), jossa syntyy hukkalämpöä. Lämpö voidaan muuttaa höyryksi ja hyödyntää esimerkiksi paperinvalmistuksessa kuivaamisessa. Hukkalämmön tehokkaampi hyödyntäminen vähentää muuta höyryntuotannon tarvetta. Kuumahierrelaitos käyttää paljon sähköä, mutta vähemmän sähköä kuluttavia tekniikoita on kehitteillä. Kemiallisessa sellun tuotannossa syntyvää mustalipeää voidaan hyödyntää soodakattiloita tehokkaammin kaasuttamalla, jolloin yhteistuotannosta saadaan enemmän sähköä. Kaasuttaminen mahdollistaa myös metanolin valmistuksen. Mustalipeän kaasutus ei ole vielä käytössä olevaa teknologiaa ja vaatii vielä tutkimusta. Myös paperinvalmistusprosessia on mahdollista yksinkertaistaa ja tehostaa (VTT Energia 1999, Nyström & Cornland 2003, VTT Energy 2003).

#### 5.4.2. Rakennukset

Rakennusten energian kulutus vaihtelee, mikä johtuu ilmastosta, rakennusten rakentamiskäytännöistä, koneiden ja laitteistojen yleisyydestä sekä yleisestä energian kulutuksen määrästä. Rakennusten energian kulutus riippuu rakennuksen suojaavista ominaisuuksista kuten eristystasosta ja ikkunoiden energiatehokkuudesta sekä energiaa käyttävien laitteiden määrästä, laitteiden käyttötavoista ja niiden energiatehokkuudesta. Myös monet demografiset seikat vaikuttavat rakennuksien energian kulutukseen. Asumisrakennuksien energian kulutukseen vaikuttavat väestön ikäjakauma, talouksien tulot, talouksien määrä ja koko sekä ihmisten määrä taloudessa. Kaupallisten rakennusten energian kulutukseen vaikuttavia demograafisia seikkoja ovat väestö eli kaupallisia palveluja käyttävien ihmisten määrä ja työvoiman määrä (Price 1998).

Suuri potentiaalinen energiansäästö on rakennusten laitteistossa. Tällaisia rakennusten laitteita ovat mm. lämmitys- ja ilmastointilaitteistot, jääkaapit ja pakastimet, pesukoneet ja

kuivausrummut, valaistus, elektroniikkalaitteistot sekä uunit ja hellat. Vaihtamalla teknologiaa energiatehokkaampaan voi taloudellisesti kannattavaa energian säästöä tulla tuotteesta ja energianhinnasta riippuen noin 10–70 %. Tyypillisesti säästöt ovat 30–40 % (Watson ym. 1996). Esimerkiksi parantamalla jääkaapin tai pakastimen eristystä voidaan säästää jopa 17 % (Mellinger & Downs 1992) ja lisäksi käyttämällä tehokkaampia kompressoreita näiden laitteiden energiakulutus vähenee 30–43 % (Turiel ym. 1997). Useat elektroniset laitteet käyttävät energiaa ollessaan valmiustilassa tai sammutettuina. Valmiustilassa olevien laitteiden arvioidaan kuluttavan hieman alle viisi prosenttia Euroopan maiden asuinnoissa käytetystä energiasta. On todettu, että tämä hävikki voitaisiin tiputtaa laskea yhteen wattiin suurimmassa osassa massatuotetuista laitteista (Meier ym. 1998). Esimerkiksi television valmiustilan kulutus voi vaihdella välillä 0,1–20 W (Työtehoseura 2007).

Ilmastosta riippuen rakennuksissa käytetään energiaa joko lämmitykseen tai jäädytykseen. Lämmityksellä ja jäädytyksellä pyritään korvaamaan lämmön siirtymistä ulos tai sisälle rakennuksen pintojen kuten lattian, seinien, ikkunoiden ja katon läpi. Rakennuksen järjestyksen, paremman eristämisen, tehokkaiden ikkunoiden ja ilmastoon sopivan rakennuksen albedon avulla voidaan lämmön siirtymistä ja samalla energian tarvetta vähentää huomattavasti (Turiel ym. 1997).

Vuonna 1997 koko rakennuskannan lämmittämiseen kului noin 22 % Suomessa käytetystä energiasta ja siitä noin 70 % asuinrakennusten lämmittämiseen (VTT Energia 1999). Lämmitystä voidaan tehostaa pienentämällä häviöitä ja tehostamalla ilmaisenergioiden käyttöä. Teknisiä ratkaisuja tähän ovat mm.

- Rakennuksen ulkovaipan lämmönhäviöiden pienentäminen: ulkoseinien, katon, lattian ja ovien eristäminen sekä tehokkaammat ikkunat
- Ilmanvaihdon hallinta ja lämmön talteenotto ilmanvaihdon poistoilmasta
- Sisäisten ja ulkoisten lämpökuormien (ilmaista energiaa) tehokas hyödyntäminen.
- Veden kulutuksen hallinta ja vesijärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen
- Huolellinen rakentaminen, jolloin ulkopinnasta saadaan tuulenpitävä ja kylmäsillaton
- Rakenteiden lämmönvarauskyvyn hyödyntäminen lämmitykseen ja viilennykseen
- Valoa läpäisevät lämmöneristeet
- Atrium- ja viherhuoneratkaisut

Ikkunalla on rakennuksen ulkovaipan osista heikoin lämmöneristävyys (Saarimaa ym. 1993), siksi niiden paremmat ominaisuudet voivat tuoda suuria säästöjä.

Suomessakin on mahdollista säästää huomattavasti lämmitysenergian tarpeesta. Esimerkiksi kahdessa Espooseen rakennetussa matalaenergiapientalossa lämmön kulutus oli noin 60 kWh/m<sup>2</sup> eli noin puolet tavanomaisen uuden pientalon kulutuksesta. Matalaenergiatalot pystyttiin toteuttamaan yksinkertaisilla, jokaiselle rakentajalle sopivilla ratkaisuilla ja kokonaiskustannuksiltaan kilpailukykyisesti (Laine & Saari 1998). Matalaenergiataloissa on mahdollista päästä 75 prosentin energiansäästöihin. Kysymys onkin vain kustannuksista. Myös vanhojen rakennusten korjauksilla voidaan päästä huomattaviin säästöihin. Pääasialliset korjaukset liittyvät ulkovaipan ja ilmastoinnin lämpöhäviöiden pienentämiseen.

### 5.4.3. Maatalous

Maataloudessa käytetään kaupallista energiaa välineisiin, kasteluun, kuivatukseen, puutarhanhoitoon ja karjan kasvatukseen. Lannoitteiden ja torjunta-aineiden valmistamiseen käytetty energia ei kuulu tähän sektoriin vaan teollisuuden sektoriin. Maataloudessa käytetään myös paljon ei-kaupallista energiaa. Maatalouden energian käyttö on lisääntynyt kasvavien tuotantovaatimusten myötä (Price ym. 1998).

Maatalouden kulutusta voidaan vähentää vaihtamalla vähemmän kuluttaviin tuotantotapoihin ja tehokkaampiin laitteisiin. Esimerkiksi traktoreiden kulutusta voidaan vähentää siirtymällä viljelytapoihin, jotka vaativat vähemmän kyntöä ja maan muokkausta. Traktorin hyvä kunto ja optimaalinen koko sekä kuljettajan koulutus voi säästää polttoainetta ja pidentää laitteiston ikää (Sims ym. 1998). Kastelun säätäminen niin, että kastellaan vain silloin kun se on tarpeellista vähentää sekä pumppujen energian että veden käyttöä (Schimtz & Sourell 1998). Kasvihuoneiden kulutus pienenee, mitä suurempi osa tilasta on viljelykäytössä ja mitä paremmin lämmitystä ja ilmanvaihtoa säädellään (CAE 1996). Maatalouden sivutuotteista ja jätteistä on myös mahdollista tuottaa monin keinoin uusiutuvaa sähköä ja lämpöä sekä polttoaineita.

## 5.5. Hiilinielut sekä hiilidioksidin sieppaus

Hiilinielujen avulla voidaan hillitä ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvua. Maaekosysteemit tarjoavat merkittävän potentiaalın kerätä ja pidättää hiiltä. IPCC:n (1996 a) toisessa arviointiraportissa arvioidaan, että noin 60-80 Gt hiiltä voitaisiin säilyttää tai eristää metsiin vuoteen 2050 mennessä. Toiset 23-44 Gt hiiltä voitaisiin sitoa maatalousmaihin. Biologiselle hiilensitomiselle on kolme strategiaa.

- Suojeleminen: Nykyisten hiilinielujen suojeleminen estää niihin varastoituneen hiilen vapautumista ilmakehään.
- Lisääminen: Nykyisten hiilinielujen koon lisääminen sitoo ilmakehästä hiilidioksidia
- Korvaaminen: Korvaamalla fossiilisia polttoaineita ja energiaintensiivisiä tuotteita biologisilla tuotteilla vähennetään hiilidioksidin päästöjä

Useimpien ekosysteemien hiilinielut eivät pysty sitomaan hiiltä loputtomasti vaan saavuttavat maksimitason. Kun nielu saavuttaa maksimitasonsa siitä tulee hiilivarasto, jota tulisi suojella häiriöltä kuten metsäpaloilta, hakkuilta ja maatalouskäytöltä. Aiemmin häiriöitä kokeneilla ekosysteemeillä on suuri potentiaali kerätä hiiltä, koska ne ovat kaukana maksimitasosta (IPCC 2001).

Biologiset hiilinielut joutuvat kilpailemaan muun maankäytön kanssa. Toimenpiteitä voidaan kuitenkin yhdistellä niin, että metsä- ja maatalous sekä muu maankäyttö ottaa huomioon hiilen varastoinnin. Esimerkiksi Kanadassa (Meng ym. 2003) on tutkittu metsätalouden ja hiilensitomisen yhdistämistä hakkuusuunnitelmia tehtäessä. Laskelmien mukaan metsätaloudessa oleva metsä ei sido niin paljon hiiltä kuin koskematon metsä, mutta nämä kaksi tavoitetta voidaan kuitenkin yhdistää. Biologisilla hiilinieluilla on myös muita positiivisia ympäristövaikutuksia. Ekosysteemien suojeleminen ja laajeneminen vaikuttaa positiivisesti biodiversiteettiin. Metsät voivat estää eroosiota sekä vaikuttavat vesivarojen laatuun ja määrään (IPCC 2001).

Myös merten ekosysteemit sitovat hiiltä. Onkin ehdotettu, että meriä lannoitettaisiin levätuotannon lisäämiseksi. Asiaa on tutkittu, mutta lannoituksesta mahdollisesti syntyviä arvaamattomia sivuvaikutuksia ei tunneta (Keskitalo 2005).

### 5.5.1. Hiilidioksidin sieppaus ja varastointi

Energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä voidaan estää ennen kuin ne pääsevät ilmakehään. Hiilidioksidin sieppaus sopii lähinnä suuriin päästölähteisiin kuten voimalaitoksiin ja suuriin teollisuuslaitoksiin. Sieppauksen jälkeen hiilidioksidi konsentroidaan, kuljetetaan ja varastoidaan pitkäaikaiseen varastoon ilmakehän ulottumattomiin. Tämä pienentää fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöjä merkittävästi ja käytettäessä biopolttoaineiden kanssa nettopäästöt olisivat negatiiviset (IPCC 2005).

Hiilidioksidin sieppaus on jo käytössä maakaasun käsittelyssä ja ammoniakkin valmistuksessa. Suurissa voimalaitoksissa hiilidioksidin sieppausta ei ole vielä käytetty. Hiilidioksidi voidaan erotella savukaasuista ennen polttoa tai polton jälkeen. Polton jälkeen tapahtuvassa erottelussa käytetään yleensä orgaanista nestemäistä liuotinta, joka sitoo hiilidioksidin savukaasusta. Ennen polttoa tapahtuvassa erottelussa polttoaine käsitellään reaktorissa höyryn, ilman tai hapen kanssa, jotta saadaan lähinnä häkää (CO) ja vetyä (H) sisältävää seosta. Toisessa reaktorissa häkä reagoi höyryn kanssa, jolloin syntyy vetyä ja hiilidioksidia, jotka voidaan erotella erikseen. Vetyä voidaan varastoida ja käyttää polttoaineena. Polton jälkeinen erottelu on monimutkaisempi ja kalliimpi prosessi kuin ennen polttoa tapahtuva erottelu. Eräs erottelukeino on polttaa alkuperäinen polttoaine lähes puhtaassa hapessa, jolloin syntyy lähinnä vesihöyryä ja hiilidioksidia sisältävää kaasua. Vesi voidaan kondensoida pois ja jäljelle jää hiilidioksidi. Tämä tekniikkaa vaati hapen erottamisen ilmasta ja jäljelle jäävä kaasu voi sisältää epäpuhtauksia, jotka joudutaan erottelemaan ennen varastointia (IPCC 2005, Keskitalo 2005).

Hiilen sieppaus vaatii suuren määrän energiaa, jolloin laitosten hyötysuhde pienenee. Lisääntynyt polttoaineen käyttö lisää muita ympäristölle haitallisia päästöjä. Hiilen sieppaus lisää myös usein kemikaalien käyttöä. Hiilen sieppaus lisää energiantuotannon kustannuksia 35-70 %. On kuitenkin arvioitu, että nykyisin käytössä olevien tekniikoiden kehityksellä hiilen sieppauksen hinta voi laskea 20-30 % seuraavan kymmenen vuoden aikana (IPCC 2005).

Jos voimalaitosta ei ole sijoitettu hiilidioksidin varastointipaikan päälle, on kaasu kuljetettava varastointiin. Hiilidioksidia voidaan kuljettaa putkistoissa tai se voidaan tiivistää nesteeksi ja kuljettaa laivalla, junalla tai autolla. Putkistoja on jo käytössä hiilidioksidin kuljettamiseen. Pitkillä matkoilla tai merien yli kuljetettaessa laivan käyttö voisi olla taloudellisempi vaihtoehto. Junalla tai autolla kuljettaminen olisi taloudellista vain pienimuotoisessa kuljetuksessa. Kuljetuksen kustannukset riippuvat kuljetusmatkasta ja kuljetettavasta määrästä (IPCC 2005).

Eräs hiilidioksidin varastointimahdollisuus on pumpata sitä geologisiin varastoihin. Huokoiset kivet, jotka pystyvät pidättämään maakaasua, öljyä tai suolavettä ovat potentiaalisia hiilidioksidivarastoja. Tällaisia ovat mm. öljy- ja kaasuesiintymät, syvät suolaiset muodostumat sekä kaivamattomat hiilikerrostumat. Kaikissa tapauksissa hiilidioksidi ruiskutetaan syvälle maan alle. Sopivana syvyytenä pidetään yli 800 metriä. Siellä lämpötila ja paine ovat niin suuret, että hiilidioksidi on nesteenä. Sopivia varastoja voi löytyä myös merenpohjan sedimenteistä. Geologisen varaston päällä täytyy olla tiivistä kiveä, joka estää hiilidioksidin karkaamisen. Varastossa hiilidioksidia pidättävät fysikaaliset esteet kuten tiivis päälliskerros ja huokosten kapillaarivoimat. Maassa esiintyy myös kemiallisia tekijöitä, jotka pidättävät hiilidioksidia. Hiilidioksidi reagoi sekä veden että kiven kanssa (IPCC 2005).

Geologista varastointia käytetään jo esimerkiksi pohjanmeren maakaasukentällä, jossa erotettu hiilidioksidi pumpataan hiekkakiveen vajaan kilometrin merenpohjan

alapuolelle. Siellä pumppaaminen näyttää onnistuneen, mutta epäilyksiä tulevista vuodoista kuitenkin on. Hiilidioksidia on myös mahdollista varastoida syvälle mereen yli 1 000 metrin syvyyteen. Siellä se pysyy varastoituna useita satoja vuosia. Kuitenkin ajan kanssa siitä tulee osa hiilenkiertoa. Hiilidioksidin varastointi mereen happamoittaa syvää merta ja vahingoittaa sen elämää. Tästä syntyvät seurauksen voivat olla arvaamattomia. Hiilidioksidia voidaan myös sitoa kemiallisten reaktioiden avulla epäorgaaniseksi karbonaateiksi. Esimerkiksi magnesium- tai kalsiumoksidi ( $MgO$ ,  $CaO$ ) reagoivat hiilidioksidin kanssa muodostaen magnesium- ja kalsiumkarbonaattia ( $MgCO_3$ ,  $CaCO_3$ ). Näiden mineraalien kaivaminen ja kemialliset reaktiot vaativat kuitenkin niin paljon energiaa ettei se ole taloudellista nykytekniikalla. Hiilidioksidia voidaan käyttää myös erilaisissa teollisuuden prosesseissa kuten urean valmistuksessa. Näissä prosesseissa käytetty hiilidioksidi ei kuitenkaan varastoidu pitkiksi ajoiksi vaan voi vapautua jo muutamien päivien jälkeen. Tällainen käyttö ei ole ilmastonmuutoksen torjumisen kannalta merkityksellistä (IPCC 2005, Keskitalo 2005).

## 6. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tässä tutkielmassa Keski-Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen kehitystä tutkittiin rakentamalla neljä erilaista skenaarioita energian tuotannon ja kulutuksen muutoksista vuosina 2000–2030. Skenaarioiden avulla on tarkoitus selvittää, miten eri poliittiset ja tekniset ratkaisut vaikuttavat Keski-Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöihin. Tarkastelussa on keskitytty pelkästään energiantuotannon päästöihin ja ulkopuolelle on jätetty mm. liikenne, mikä on merkittävä hiilidioksidin päästölähde. Neljä rakennettua skenaariota ovat:

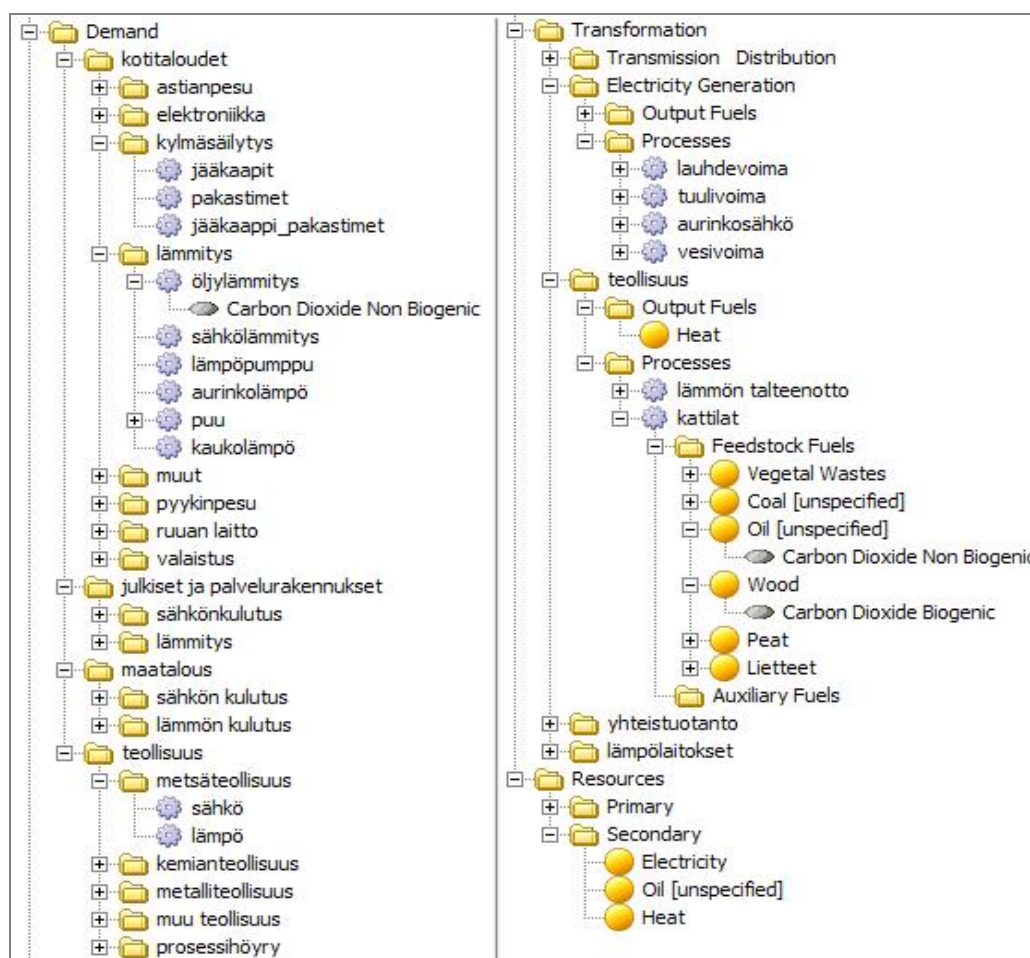
1. Kehitys ilman poliittista painetta, Bau (business as usual)
  - 1.1 Keski-Suomen bioenergiastrategian mukainen skenaario, Bio
2. Uusiutuvien energioiden skenaario, Ue
  - 2.1 Tehostuva kulutus, Teho

Bio-skenaario periytyy Bau-skenaariosta ja Ue-skenaario Teho-skenaariosta. Periytyvä skenaario perii oletukset ylemmästä skenaariosta, jos sitä ei erikseen muuteta. Tässä tutkimuksessa periytyvien skenaarioiden yhteisiä oletuksia on mm. talouden kehityksestä.

Skenaariot toteutettiin LEAP-ohjelmalla (Long-range Energy Alternatives Planning System). LEAP-ohjelman on kehittänyt The Boston Centre of the Stockholm Environment Institute (SEI-Boston) yhdessä viiden kansainvälisen tutkimuslaitoksen kanssa. LEAP-ohjelma perustuu skenaarioihin, joiden avulla pyritään kuvaamaan, miten tietty energijärjestelmä voisi kehittyä valittuna ajanjaksona. Skenaarioiden perustietoihin kuuluvat energian kulutus, sen siirto, jakelu ja tuottaminen sekä polttoainevarat. Oletuksia voi kuitenkin lisätä mm. väestöstä, taloudellisesta kasvusta, tekniikasta ja hinnoista. Ohjelmassa on joustava rakenne, joten siihen voi lisätä tietoa suhteellisen vapaasti omien tarpeiden mukaan. LEAP ei laske vaikutuksia bruttokansantuotteeseen tai työllisyyteen kuten makroekonomiset mallit eikä se automaattisesti tuota optimointi tai tasapainoskenaarioita.

Keski-Suomen energiaskenaariomalliin tehtiin neljä kulutussektoria (demand): kotitaloudet, julkiset ja palvelurakennukset, teollisuus sekä maatalous (Kuva 8).

Energiantuotanto ja -siirto ovat yhteisessä sektorissa (transformation), jossa kuvataan energian muuttamista muodosta toiseen. Energian siirto ja jakelu ovat omassa alasektorissaan (transmission & distribution), jossa kuvataan sekä sähkön että lämmön siirtohävikkiä. Energian tuotanto jaettiin neljään sektoriin: sähkön tuotanto (electricity generation), teollisuuden energian tuotanto, yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP) ja lämpölaitokset. Polttoainevarojen sektori (Resources) jakautuu kahteen: primäärisiin ja sekundäärisiin energian lähteisiin. Primäärisiä polttoaineita käytetään suoraan sähkön ja lämmön tuotantoon, kun taas sekundäärisiä syntyy energiantuotannon tai jalostuksen prosesseissa. Jokainen sektori jakautuu edelleen kulutuksen ja tuotannon prosesseihin ja teknologioihin, joille määritetään tiedot mm. yleisyydestä, energian tai polttoaineen kulutuksesta, tehokkuudesta ja tehosta.



Kuva 8. LEAP-ohjelmassa tieto järjestetään puumaiseen ketjuun, jossa ylimpänä on energian kulutus. Kuva on tähän tutkimukseen tehdystä rakenteesta.

LEAP-ohjelma laskee ensin kulutussektorin mukaan energiantarpeen. Sen jälkeen se siirtyy puussa alaspäin energian siirron kautta energiantuotantoon. Tuotantosektorissa lasketaan, miten paljon mallinnetuilla prosesseilla pystytään tuottamaan energiaa ja prosessien polttoaineiden kulutus. Jos energia ei riitä kulutuksen tarpeisiin, se tuodaan muualta ja jos energiaa voidaan tuottaa ylimäärin, se voidaan myydä muualle. Laskeminen jatkuu vielä puuta alaspäin polttoainevaroihin, missä lasketaan polttoaineiden riittävyys ja niiden tuonnin tarve.

## 6.1. Skenaarioiden kuvaukset

Tutkimuksen neljä skenaariota ovat kuvauksia siitä, miten erilaiset tekijät voisivat muuttua ja vaikuttaa Keski-Suomen energiankulutukseen ja tuotantoon ja sitä kautta hiilidioksidipäästöjen kehitykseen. Näitä tekijöitä ovat erityisesti hallinnolliset ja teknologiset tekijät, joista on kerrottu enemmän kappaleissa 4 ja 5.

### 6.1.1. Kehitys ilman poliittista painetta

Kehitys ilman poliittista painetta on ns. business as usual -skenaario (Bau). Siinä energiajärjestelmien kehitys kulkee vanhojen trendien mukaisesti eikä suuria rakenteellisia muutoksia tapahdu. Energiantuotannon ja -kulutuksen muutoksille ei luoda poliittisia paineita ja näin muutokset ovat markkinavoimien ohjaamia. Myöskään teollisuuden rakenteet eivät muutu merkittävästi. Näin siis sekä kotitalouksien että teollisuuden energian kulutus lisääntyy edelleen ja laitteiden tehokkuus paranee hitaasti. Uudet energiamuodot lisääntyvät hitaasti ja perinteisten polttoaineiden käytön tukemista jatketaan. Energiankulutuksen oletetaan kasvavan, jolloin uutta tuotantokapasiteettia tarvitaan. Turvetta pidetään merkittävänä paikallisena energianlähteenä.

### 6.1.2. Bioenergiastrategian mukainen kehitys

Keski-Suomi ei voi rakentaa omaa lainsäädäntöään luodakseen painetta muuttaa energiajärjestelmää monipuolisemmaksi ja ympäristöystävällisemmäksi. Maakunta on kuitenkin asettanut tavoitteita, joita ovat energiankäytön tehokkuus ja energian säästö, energian saannin häiriöttömyys sekä kestävä kehityksen mukainen toiminta. Pitkän aikavälin tavoitteena on myös merkittävässä määrin fossiilisista polttoaineista vapaa maakunta. Tavoitteet pyritään toteuttamaan erilaisten kehitysprojektien avulla, joihin on suunnattava riittävästi rahoitusta.

Bioenergiastrategian mukainen skenaario (Bio) pyrkii noudattamaan Keski-Suomen bioenergiastrategia 2010 ja 2025 -raportin tavoitteita (Määttä & Paananen 2005). Strategian suurimpana tavoitteena on kasvattaa puun ja turpeen käyttöä. Strategian tarkoituksena on sitouttaa Keski-Suomen bioenergia-alan toimijat samoihin tavoitteisiin ja sitä kautta lisätä ja kehittää bioenergia-alan koulutusta, tutkimusta, asiantuntemusta, tuotekehitystä sekä liiketoimintaa. Näin halutaan varmistaa maakunnan polttoaineiden saantia fossiilisten polttoaineiden hinnan nousun ja vähenevien varojen myötä.

Bio-skenaariossa talouskasvu ja energiankulutus jatkavat kasvuaan samalla lailla kuin Bau-skenaariossa. Bioenergian tuotannon ja käytön kehitys on kuitenkin nopeaa ja fossiilisia polttoaineita pyritään korvaamaan puulla ja turpeella.

### 6.1.3. Uusiutuvien energioiden skenaario

Uusiutuvien energioiden -skenaariossa (Ue) kansainväliset sopimukset ja Euroopan Unionin energiapolitiikka ohjaavat vahvasti myös Suomen energiapolitiikan kehittymistä. Kioton sopimukselle saadaan jatkoa, mikä tuo tiukempia päästöjen vähennystavoitteita. Energiaverotus muutetaan Suomessa takaisin hiiliveroksi, mikä kannustaa vähäpäästöisten polttoaineiden käyttöä energiantuotannossa.

Investointitukia ja halpakorkoisia lainoja annetaan uusiutuvan energian tuotantoinvestointeihin myös yksityisille henkilöille, mikä lisää maalämmön, aurinkolämmön ja -sähkön sekä biopolttoaineiden käyttöä kotitalouksissa. Investointituet kannustavat myös hajautetun energian tuotantoon mm. maatiloilla. Koulutuksen ja tiedottamisen sekä rakennusmääräysten myötä rakentamisessa otetaan huomioon

passiivisen aurinkoenergian hyödyntäminen ja ulkovaipan lämmönhäviöiden pienentämiseen panostetaan yhä enemmän.

Taloudelliset kannustimet nopeuttavat tekniikan kehittymistä ja fossiilisten polttoaineiden ja turpeen korvaamista uusiutuvilla polttoaineilla. Keski-Suomessa biokaasun tuotanto kasvaa voimakkaasti ja ruokohelven viljely sekä oljen keräys aloitetaan. Rauhalahden voimalaitokselle rakennetaan savukaasupesuri, joka tuottaa lämpöä ilman lisäpolttoaineentarvetta ja mahdollistaa kierrätyspolttoaineen käytön. Kierrätyspolttoaine tuotetaan MBT-laitoksessa (mechanical and biological treatment). Kierrätyspolttoaineella korvataan turpeen käyttöä.

Päästöjen rajoittaminen hidastaa talouskasvua vain hieman Bau- ja Bioskenaarioiden talouskasvuun verrattuna. Teollisuuden rakenteet muuttuvat hieman pois energiaintensiivisestä metsäteollisuudesta kohti tietoteollisuutta ja sähkötekniistä teollisuutta. Uusiutuvien energioiden tuotanto lisää työpaikkoja ja elävöittää maaseutua. Päästöjen rajoittamistoimenpiteet nostavat energian hintaa, mikä nopeuttaa energiatehokkaamman teknologian käyttöönottoa kaikilla kulutuksen sektoreilla.

#### 6.1.4. Tehokkaan kulutuksen skenaario

Tehokkaan kulutuksen skenaariossa (Teho) energian tuotanto ja teollisuuden rakenne kehittyvät samalla tavoin kuin Ue-skenaariossa. Teho-skenaariossa taloudelliset ohjaukset kohdistuvat voimakkaasti myös energian kulutukseen ja energiankulutusta pyritään tehostamaan voimakkaasti. Sähkön hinnan nousun myötä kiinnostus energian tehokkaaseen käyttöön kasvaa. Yhä tehokkaammille kotitalouksien koneille otetaan käyttöön uusia energiamerkintöjä. Tiedottamalla vaikutetaan kuluttajien asenteisiin ja käyttäytymiseen. Teollisuudelta poistetaan vähitellen sähköveronpalautukset, mikä johtaa sähkön käytön tehostumiseen. Myös teollisuuden vapaaehtoiset sopimukset lisääntyvät. Vapaaehtoiset sopimukset yleistyvät myös muissakin kuin teollisuusyrityksissä kuten palveluissa. Kunnat säästävät julkisten palvelujen kustannuksissa panostaessaan energiansäästöön.

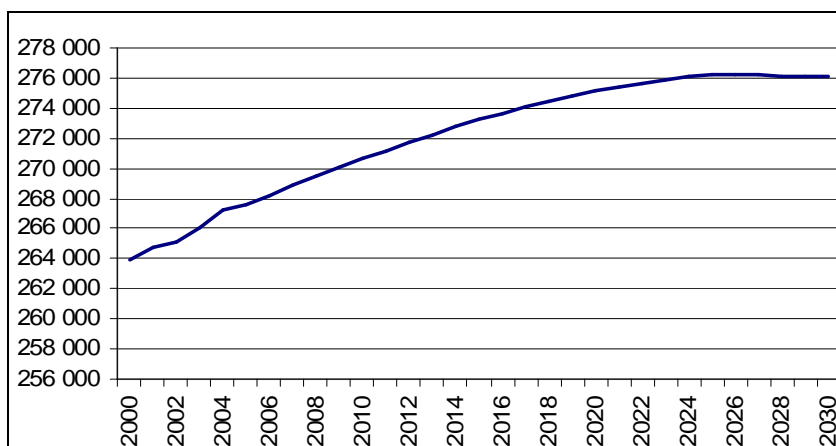
## 6.2. Skenaarioiden lähtötiedot ja oletukset

Skenaarioiden aloitusvuodeksi määritettiin vuosi 2000. Kaikille skenaarioille yhteisinä lähtötietoina käytettiin tietoa Keski-Suomen vuoden 2000 energiankulutuksesta ja -tuotannosta. Skenaariossa on myös joitakin yhteisiä ajan mittaan muuttuvia oletuksia. Tällaisia oletuksia on mm. väestönkasvuun ja asumiseen liittyvät oletukset. Skenaarioiden oletukset muuttuvat ajan mukaan. Oletukset voivat vaihdella eri skenaariossa. Näiden oletusten avulla pyritään mallintamaan skenaarioiden kuvauksissa kerrottujen olosuhteiden muutoksia. Tässä kappaleessa kerrotaan skenaarioiden lähtötiedot ja oletukset sekä miten ne muuttuvat.



### 6.2.1. Väestö

Vuonna 2000 Keski-Suomen väestömäärä oli 263 886 henkeä (Tilastokeskus 2005 a) ja sen ennustetaan kasvavan vähitellen. Kaikissa skenaarioissa käytetään samaa väestönmuutos ennustetta (Kuva 9). Sen mukaan Keski-Suomen väestö on vuonna 2030 276 076 henkeä (Tilastokeskus 2004).



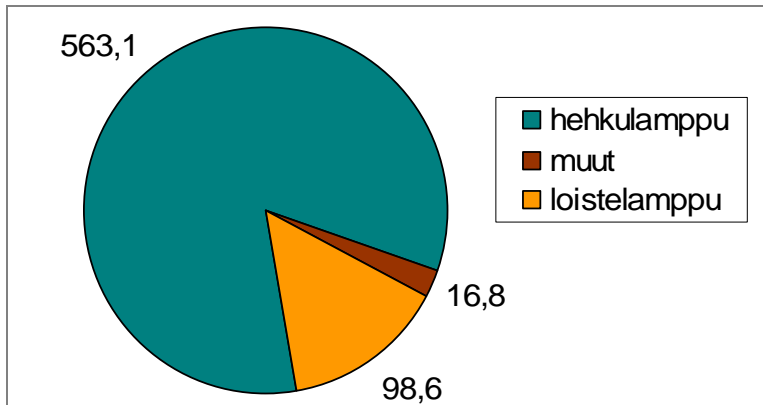
Kuva 9. Keski-Suomen väestöennuste (Tilastokeskus 2004).

### 6.2.2. Energian kulutus

Keski-Suomen energian kulutus mallinnettiin LEAP-ohjelmaan neljään eri sektoriin: kotitaloudet, julkiset tilat ja palvelurakennukset, teollisuus sekä maatalous. Kotitalouksien kulutusta on mallinnettu tarkemmin eri laitteiden osalta, kun taas muiden sektorien kulutus on jaettu sähkön ja lämmön kulutukseen. Jokaiselle kulutuksen sektorille on määritetty tietty aktiivisuuden yksikkö, johon kaikki energiaa kuluttavat prosessit suhteutetaan. Kotitalouksilla se on asuntojen määrä, julkisilla ja palvelurakennuksilla kerrosala, teollisuudella jalostusarvo ja maataloudella viljelty peltoala. Kulutussektorien alle on määritetty itse prosessit, jotka kuluttavat energiaa. Niitä ovat tässä mallissa esimerkiksi hehkulamppu, jääkaappi tai sähkölämmitys (Kuva 8). Jokaiselle prosessille määritetään yleisyys. Yleisimmän se on osuus sektorin aktiivisuuden yksiköstä tai esimerkiksi laitteiden määrä aktiivisuuden yksikköä kuten asuntoa kohden. Yleisyys on 100 prosenttia, jos sitä ei erikseen mainita. Jokaiselle prosessille on määritetty myös energiaintensiteetti, joka on energiayksikköä sektorin aktiivisuus yksikköä kohden esimerkiksi kWh/asunto tai kWh/kerros-m<sup>2</sup>. LEAP-ohjelma kertoo energiaintensiteetin sen yleisyydellä, jolloin saadaan tietyn prosessin energian kulutus.

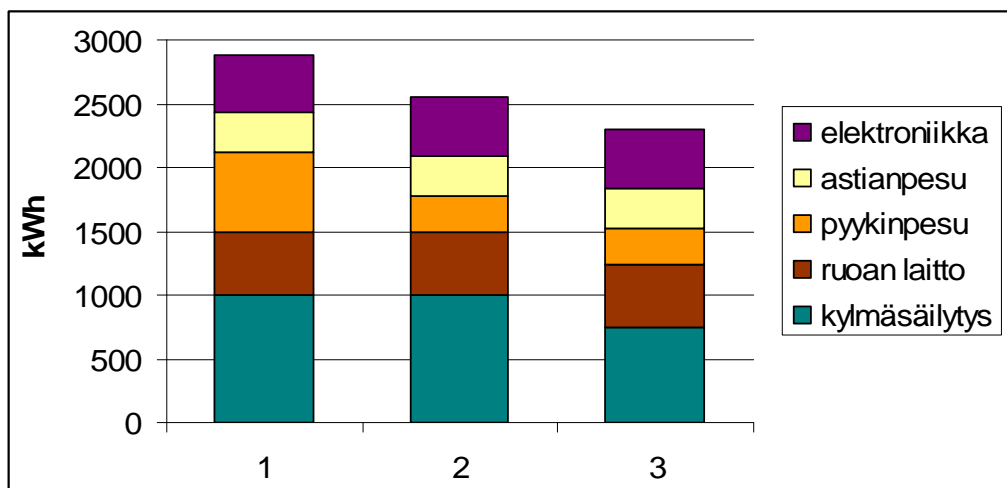
### 6.2.3. Kotitaloudet

Kotitalouksien energiankulutus on jaettu eri käyttötarpeisiin: astianpesu, kodin elektroniikka, kylmäsäilytys, lämmitys, pyykinpesu, ruuanlaitto, valaistus sekä muu sähkön kulutus (Kuva 8). Valaistuksen sähkön kulutusta on arvioitu käyttämällä yleisyytenä asunnon keskimääräistä lamppujen määrää ja energiaintensiteettinä käytetään lamppujen keskikulutusta, joka on laskettu lampun keskimääräisestä tehosta ja käyttöajasta (Liite I). Keskimääräisen asunnon valaistuksen vuosikulutus on näiden oletusten pohjalta 678 kWh vuodessa (Kuva 10).



Kuva 10. Keskimääräisen asunnon valaistuksen energiankulutus (kWh) vuonna 2000.

Kodinkoneiden sähkönkulutusta on arvioitu käyttämällä niiden yleisyyttä kotitalouksissa prosentteina ja keskimääräistä sähkönkulutusta vuodessa (Liite I). Elektroniikan sähkönkulutus on jaettu kahteen prosessiin: valmiustila ja laitteiden käyttö. Elektroniikan vuoden 2000 kulutukseksi on arvioitu käytön osalta 229 kWh ja valmiustilojen osalta 224 kWh asuntoa kohti vuodessa (Korhonen ym. 2002). Kodinkoneiden ja elektroniikan kokonaiskulutus riippuu kodin laitteistosta (Kuva 11).



1. jääkaappi, pakastin, sähköliesi, mikroaaltouuni, pyykinpesukone, kuivausrumpu ja astianpesukone
2. jääkaappi, pakastin, sähköliesi, mikroaaltouuni, pyykinpesukone ja astianpesukone
3. jääkaappi-pakastin, sähköliesi, mikroaaltouuni, pyykinpesukone ja astianpesukone

Kuva 11. Kolme esimerkkiä kodinkoneiden ja elektroniikan sähkön kulutuksesta erilaisissa kodeissa vuonna 2000 työtehoseuran kulutusarvioiden (Korhonen ym. 2002) pohjalta laskettuna.

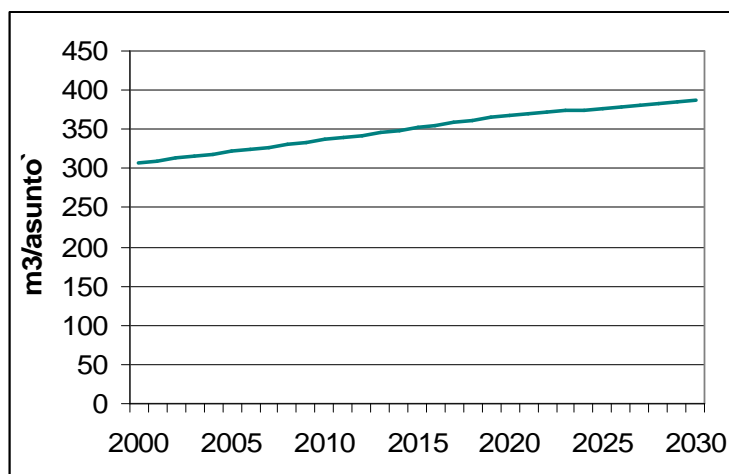
Muuta sähkönkulutusta kotitalouksissa ovat mm. sähkökiukaat, LVI-laitteet, ilmanvaihto, autonlämmitys yms. Tämän kulutuksen suuruudeksi on arvioitu noin 1 900 kWh vuodessa asuntoa kohti vuonna 2000.

Työtehoseura on tehnyt arvioita ja skenaarioita kodinkoneiden yleisyydestä ja energian kulutuksesta vuosille 2000–2010 (Korhonen ym. 2002). Näitä trendiviivoja jatkettiin vuodesta 2010 vuoteen 2030 käyttämällä lineaarista tai eksponentiaalista regressiota (Liite II). Kodinkoneiden yleisyyksien muutokset ovat samat kaikissa skenaarioissa, mutta niiden keskimääräinen vuosittainen kulutus vaihtelee eri skenaarioissa (Liite I). IIASA on arvioinut OECD:n maiden energiaintensiivisyyden tehostuvan 1,1 %

vuodessa ilman poliittisia paineita ja poliittisen päätöksen myötä 1,9 % (Nakićenović ym. 1998a). Kotitalouksien muun sähkön kulutuksen oletetaan muuttuvan tämän arvioin mukaan, niin että Bau-, Bio- ja Ue-skenaarioissa energian käyttö tehostuu 1,1 % vuodessa ja Teho-skenaariossa 1,9 % vuodessa.

Valaistuksen energiankulutuksen arviointiin käytettiin myös työtehoseuran skenaarioita (Korhonen ym. 2002). Työtehoseuran skenaarioita jatkettiin vuodesta 2010 vuoteen 2030 asti sekä yleisyyksien että keskimääräisen kulutuksen osalta. Kulutuksen osalta käytettiin lineaarista regressiota (Liite III) ja yleisyyksien osalta vuosien 2000–2010 trendiä jatkettiin lineaarisesti (Liite I).

Asuntojen lämmitettävä tila arvioidaan laskemalla kaikkien pien-, rivi- ja kerrostaloasuntojen yhteinen keskimääräinen tilavuus. Koko lämmitettävä tilavuus on laskettu kertomalla keskimääräinen asumisväljyys  $37,7 \text{ m}^2/\text{henkilö}$  (Helynen ym. 2003) väestömäärällä. Tästä saatu huoneistoala on muutettu kerrosalaksi kertoimella 1,25 ja tilavuudeksi tilavuuskertoimella 3,2 metriä. Tästä laskettiin keskimääräinen asunnon tilavuus jakamalla koko lämmitettävä tilavuus asuntojen määrällä (Kuva 12). Vuoden 2000 keskimääräinen asunnon tilavuus on  $307,63 \text{ m}^3$ . Asuntojen määrä on saatu jakamalla väestömäärä keskimääräisellä asuntokunnan koolla, joka vuonna 2000 oli 2,04. VTT:n (Prosessit 2004) ennusteiden mukaan se tulee olemaan noin 2 vuonna 2020. Asuntokunnan koon oletetaan vielä laskevan 1,9 henkilöön per asunto vuoteen 2030 mennessä. Asumisväljyyden oletetaan kasvavan prosentin vuosivauhdilla.



Kuva 12. Asunnon keskimääräisen tilavuuden (kerros- $\text{m}^3$ ) kehitys.

Asuntojen lämmitys on jaettu eri lämmitystyyppeihin ja niille on määritetty osuudet kotitalouksista vuoden 2001 tilanteen mukaan (Taulukko 7). Yhden asunnon lämmitykseen kuluva energia laskettiin kertomalla lämmön ominaiskulutus kuutiometriä kohden ja keskimääräinen asunnon tilavuus. Lämmön ominaiskulutus oli vuonna 2000 Keski-Suomessa  $45,1 \text{ kWh}/\text{m}^3$  (Helynen ym. 2003).

Taulukko 7. Eri lämmitystapojen osuudet (%) kotitalouksista vuonna 2001 (Helynen ym. 2003).

Sähkö-lämmitys	Kauko-lämpö	Puun pienpoltto	Öljy lämmitys	Lämpöpumput	Aurinkolämpö
13,8	28,7	21,6	35,9	0,0	0,0

Eri lämmitystavat käyttävät eri polttoaineita. Sähkölämmitys käyttää sähköä, kaukolämpö lämpölaitoksissa tuotettua lämpöä, puu lämmitys puuta, öljylämmitys öljyä ja lämpöpumput sähköä. Puupolttoaine voi olla joko halkoja tai pellettejä. Aurinkolämpöä käyttävien asuntojen oletetaan tuottavan 20 % lämmön tarpeesta aurinkolämmöllä ja loput puulla. Lämpökeräimet ja puukattila voivat käyttää tällaisissa talouksissa yhteistä varaajaa. Lämpöpumppujen lämpökertoimen oletetaan olevan 3, jolloin ne kuluttavat sähköä kolmasosan lämmön tarpeesta.

Teknologianohjelman Puun polton pienhiukkaspäästöt loppuraportissa on tutkittujen kiukaiden, tulisijojen ja pienkattiloiden höytysuhteeksi saatu 63 %, 77 % ja 80-85 % (Tissari ym. 2005). Näitä arvoja käyttäen oletetaan, että Keski-Suomen koko laitekannan keskimääräinen höytysuhde on 77 %. Tutkimuksessa öljykattiloiden keskimääräisen höytysuhteen arvioitiin olevan 80 %. Puuta käyttävien tulisijojen ja kattiloiden sekä öljykattiloiden höytysuhteen oletetaan kasvavan 0,5 % vuodessa kaikissa skenaarioissa. Aurinkolämpöä käyttävien asuntojen lämpökerääjistä saatavan lämmön osuuden oletetaan kasvavan aluksi 0,5 % vuodessa ja nousevan tästä vuonna 2010 1 prosenttiin vuodessa. Teho-skenaariossa osuuden kasvu nopeutuu vuonna 2020 1,5 prosenttiin.

Asuntojen lämmityksen ominaiskulutuksen oletetaan laskevan kaikissa skenaarioissa. Bau- ja Bio-skenaarioissa on käytetty KTM:n (1997) skenaarioiden arvoja. Ue- ja Teho skenaarioissa oletetaan matalaenergiatalojen lisääntyvän ja sitä kautta ominaiskulutuksen pienentyvän nopeammin. Myös lämmitystapojen osuuksissa oletetaan tapahtuvan muutoksia. Asuntojen lämmitykseen liittyviä oletuksia on esitetty liitteessä IV.

#### 6.2.4. Julkiset tilat ja palvelurakennukset

Julkisten tilojen ja palvelurakennusten lämmön ja sähkön kulutusta on arvioitu rakennusten kerrosalaa kohden. Näiden rakennusten kerrosala oli vuonna 2001 hieman yli 4 miljoonaa m<sup>2</sup> ja sen ennustetaan kasvavan vuoteen 2030 noin 4,8 miljoonaan neliometriin. Vuonna 2000 näiden tilojen lämmityksen energiantarve oli 812 GWh (Helynen ym. 2003), josta lämmityksen ominaiskulutukseksi on laskettu 203 kWh/kerros-m<sup>2</sup> vuodessa. Lämmitystapojen osuuksien on oletettu olevan samat kuin koko Suomen palvelurakennusten vuonna 2002 (Taulukko 8). Myös sähkön kulutus on arvioitu kerrosalaa kohden. Julkisten tilojen ja palvelurakennusten sähkön kulutus oli vuonna 2000 547 GWh (Adato Energia Oy 2001), josta saadaan ominaiskulutus 136,8 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa.

Taulukko 8. Palvelurakennusten lämmönlähteet Suomessa vuonna 2002 (VTT Prosessit 2004).

		Kaukolämpö	Sähkölämmitys	Öljylämmitys	Puu
<b>Kulutus</b>	PJ	37	5	5	3
<b>Osuus</b>	%	74	10	10	6

Bau-, Bio- ja Ue-skenaarioissa sähkön ominaiskulutus laskee IIASA:n (Nakićenović ym. 1998a) arvioiden mukaisesti 1,1 % vuodessa ja Teho-skenaariossa 1,9 % vuodessa. Lämmön ominaiskulutus laskee samassa suhteessa kuin kotitalouksien ominaiskulutus. Julkisten ja palvelurakennusten lämmitystapojen osuuksissa ei oleteta tapahtuvan suuria muutoksia. Kaukolämmön osuus pysyy kaikissa skenaarioissa suurena. Bio-skenaariossa puun osuus kasvaa ja Ue- ja Teho-skenaarioissa öljy ja sähkölämmitystä korvataan puun lisäksi lämpöpumpuilla ja aurinkolämmöllä. Lämmön ja sähkön ominaiskulutuksien sekä lämmitystapojen muutokset on esitetty liitteessä V.

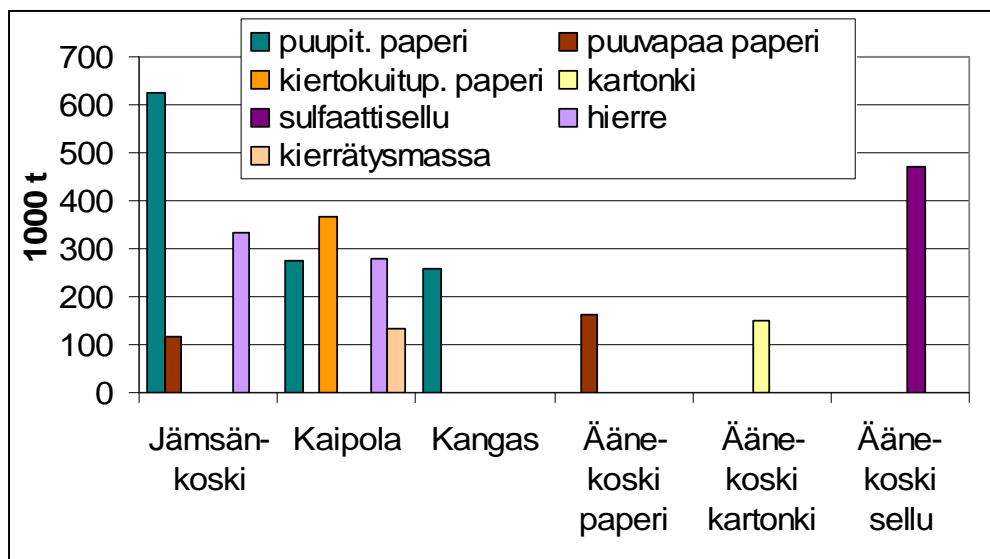
## 6.2.5. Teollisuus

Teollisuus on jaettu metsä-, kemian -, metalli- ja muuhun teollisuuteen. Teollisuuden energiankulutusta on arvioitu jalostusarvoa eli euroa kohti (Taulukko 9). Jokaiselle teollisuuden alalle on määritetty osuus koko Keski-Suomen teollisuuden jalostusarvosta. Lähtötietoina on käytetty vuoden 2000 jalostusarvoja sekä sähkön- ja lämmönkulutusta (Liite VI). Prosessihöyryn käyttö on arvioitu erikseen, sillä sen käyttöä ei ole mukana sähkön ja lämmön kulutusta kuvaavissa tilastoissa. Prosessihöyryn kulutuksen määräksi vuonna 2000 on arvioitu 1 500 GWh.

Taulukko 9. Teollisuuden alojen osuudet koko teollisuuden jalostusarvosta sekä sähkön ja lämmön kulutus (Tilastokeskus 2005b) euroa kohti vuonna 2000.

		Metsät.	Kemiant.	Metallit.	Muu t.	Prosessihöyry
<b>Jalostusarvo</b>	%	47,6	5,1	32,1	15,2	100
<b>Sähkönkulutus</b>	MJ/€	18,9	5,3	1,4	1,7	-
<b>Lämmönkulutus</b>	MJ/€	13,5	12,6	0,5	0,5	0,9

Massa- ja paperiteollisuus on Keski-Suomen suurin teollisuuden ala. Jämsänkosken ja Kaipolan paperitehtaissa valmistetaan hierrettä ja siitä paperia (Kuva 13). Kankaan ja Äänekosken paperitehtaat käyttävät pääosin ulkopuolelta tulevaa sellua. Paperin tuotannon energiankulutus riippuu valmistettavasta paperista ja tuotantomenetelmästä. Hierteen valmistaminen kuluttaa paljon sähköä kun sellun tuotanto on yleensä lähes omavaraista energiantuotannon suhteen. Hierteen ja paperintuotanto kuluttaa noin kaksi kolmasosaa Keski-Suomen teollisuuden energiankulutuksesta (Taulukko 10).



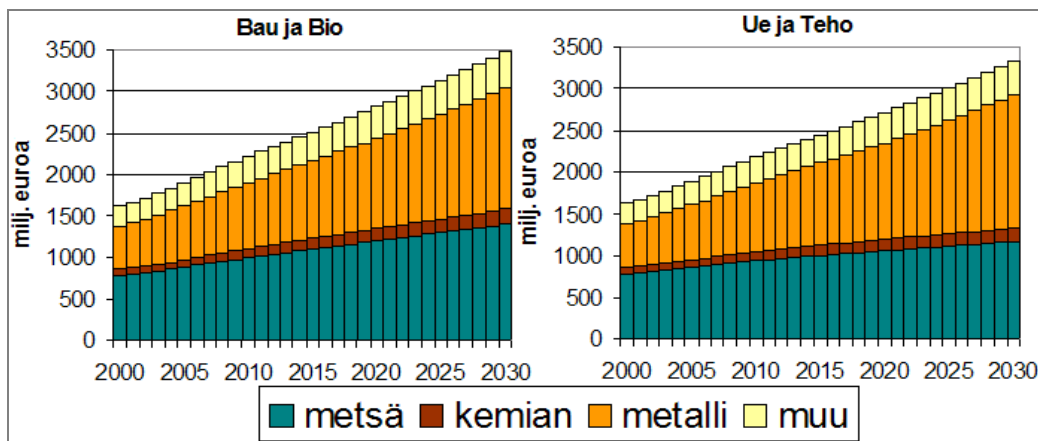
Kuva 13. Keski-Suomen suurimpien massa- ja paperiteollisuuslaitosten paperin ja massan tuotantomääriä vuodelta 2004 (Metsäteollisuus ry 2005).

Taulukko 10. Keski-Suomen suurimpien paperitehtaiden energian ominaiskulutus paperitonnia kohden sekä kokonaisenergiankulutus.

	Sähkö MWh/tp	Lämpö MWh/tp	Sähkö GWh	Lämpö GWh	Vuosi	Lähde
Jämsänkoski	2,39	1,4	1807	1146	2002	1
Kaipola	2,38	1,7	1380	1007	2002	1
Äänekoski Paper	1,1	1,3	138	180	2003	2

M-real Kangas	0,8	1,8	180	341	2000	3
1) UPM-Kymmene Oyj 2003	2) Kovanen, Vitikainen & Säfsten 2004					
3) Kovanen, Heiskanen & Säfsten 2004						

VTT:n skenaarioissa (VTT Energia 1999) on esitetty arviot eri teollisuuden alojen kasvusta. Näiden kasvuennusteiden avulla laskettiin eri teollisuusalojen jalostusarvon muutokset Keski-Suomessa ja saatiin niiden osuudet koko teollisuuden jalostusarvosta (Liite VII). Bau- ja Bio-skenaarioissa on käytetty VTT:n Markkinat ohjaavat -skenaarion mukaisia sekä Ue- ja Teho-skenaarioissa Suuret suunnitelmat -skenaarion mukaisia talouden kasvun arvioita (Liite VI ja VII). Molemmissa skenaarioissa teollisuuden kasvu jatkuu (Kuva 14). Suuret suunnitelmat -skenaariossa teollisuuden tuotannon kasvu on hitaampaa ja metsäteollisuuden osuus pienenee kun metalliteollisuuden osuus kasvaa.



Kuva 14. Teollisuuden jalostusarvon kehitys eri skenaarioissa.

Kaikkien teollisuuden alojen sähkön ja lämmön käytön energiatehokkuuden oletetaan tehostuvan IIASA:n (Nakićenović ym. 1998a) arvioiden mukaisesti. Bau-, Bio- ja Ue-skenaarioissa sähkön, lämmön ja prosessihöyryn käyttö tehostuu 1,1 % ja Teho-skenaariossa 1,9 % vuodessa.

#### 6.2.6. Maatalous

Maatalouden sähkön- ja lämmönkulutus on arvioitu pelto- ja puutarhahehtaareja kohti. Keski-Suomessa oli vuonna 2000 92 672 hehtaaria pelto- ja puutarha-alaa (Tike 2006) ja maatalouden sähkönkulutus oli 106 GWh (Adato Energia Oy 2001). 2000-luvun alkupuolen maatalouden sähkönkulutuksista ja hehtaarimääristä laskettiin sähkönkulutukset hehtaaria kohti (Liite VIII). Vuosien 2000, 2001 ja 2002 keskiarvoksi saatiin 1,19 MWh/ha. Maatalouden lämmönkulutusta on arvioitu koko Suomessa tilanteen mukaan. Vuonna 2004 Suomen maatalouden lämmön kulutus oli 6 450 GWh (Lampinen & Jokinen 2006) ja pelto- ja puutarha-ala 2 211 759 hehtaaria (Tike 2006). Tästä saatiin lämmön kulutukseksi 2,92 MWh/ha vuodessa. Vuoden 2000 lämmönlähteiden osuudet on laskettu vuoden 2002 koko Suomen tilanteen mukaan (Taulukko 11).

Taulukko 11. Maatalousrakennusten lämmönlähteet vuonna 2002 (VTT Prosessit 2004).

		Kaukolämpö	Sähkölämmitys	Öljylämmitys	Puu
<b>Kulutus</b>	PJ	0,5	2	6	5
<b>Osuus</b>	%	3,7	14,8	44,4	37,0

Vaikka maatilojen määrä vähenee vähitellen, peltopinta-ala kasvaa. Peltojen ja puutarhojen pinta-alan oletetaan kasvavan lineaarisesti 2000-luvun alun mukaisesti ja olevan vuonna 2030 110 000 hehtaaria (Liite VIII). Sähkön ja lämmön ominaiskulutukset laskevat Bau-, Bio- ja Ue-skenaarioissa 1,1 % vuodessa ja Teho-skenaariossa 1,9 % vuodessa (Nakićenović ym. 1998a). Bau-skenaariossa maatalousrakennusten lämmitystavoissa ei tapahdu suuria muutoksia. Kaikissa skenaariossa öljylämmitystä pyritään korvaamaan puulla ja muulla uusiutuvalla energialla (Liite VIII).

#### 6.2.7. Energiansiirto

Energiaa siirrettäessä syntyy hävikkiä. LEAP-ohjelmassa siirron aikana syntynyttä hävikkiä kuvataan osuutena siirretystä energiasta. Kaukolämmön siirtohäviö on Energiateollisuus ry:n (2005) mukaan keskimäärin alle kymmenen prosenttia. Skenaarioissa on käytetty VTT:n (Prosessit 2004) arviota kaukolämpöjärjestelmän häviöstä, joka on 7 % tuotetusta lämmöstä. Sähkön siirron häviöt olivat Suomessa vuonna 2000 2 752 GWh ja kokonaiskulutus 79 158 GWh (Adato Energia Oy 2001). Tästä saadaan siirron hävikiksi noin 3,5 %.

Sähkön siirron ja jakelun hävikin muuttumista on arvioitu historiallisen tiedon (Adato Energia 2001) perusteella LEAP-ohjelman eksponentiaalisella ennustustyökalulla (Liite IX). Näin arvioituna sähkön siirron hävikki laskee 3,5 %:sta 2,0 %:in vuoteen 2030 mennessä. Lämmön siirron hävikin oletetaan pienenevän 0,5 % vuodessa.

#### 6.2.8. Energiantuotanto

Mallissa energiantuotanto on jaettu sähkön tuotantoon, sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantoon (CHP), teollisuuden energiantuotantoon ja lämpölaitoksiin. Näille tuotantotavoille on määritetty omat prosessinsa, joille ilmoitetaan polttoaineet ja niiden osuudet. Polttoaineille määritettiin niiden hiilidioksidin päästökertoimet. Prosesseille määritettiin lähtövuoden tuotanto, teho, hyötysuhde, maksimi käyttöaika sekä tarvittaessa sivutuotteen höytysuhde.

Sähköntuotannon prosesseja ovat vesivoima, tuulivoima, aurinkosähkö ja lauhdevoima. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon prosesseja ovat CHP, kaasumoottori, mikro-CHP ja Rauhalahden savukaasupesuri. Lähtötilanteessa energiaa tuotetaan vain CHP prosessissa. Teollisuuden energiantuotanto on jaettu kattiloiden sähkön ja lämmön tuotantoon sekä hiertämöiden lämmön talteenottoon. Lämpölaitokset on jaettu öljykattiloihin ja kiinteän polttoaineen kattiloihin.

Vesivoimalla, tuulivoimalla ja aurinkosähköllä on jokaisella yksi selkeä energianlähde. Polttoon perustuvilla energiantuotanto tavoilla on useita polttoaineita, joille määritettiin osuudet (Taulukko 12).

Taulukko 12. Energiantuotannon prosessien polttoaineiden osuudet (%) vuonna 2000.

	Sähkö	Yhteistuotanto	Teollisuus	Lämpölaitokset	
	lauhdevoima <sup>1</sup>	CHP	kattilat	öljykattilat	puu/turvekattilat
<b>Hiili</b>	55	2,7	1,2	-	-
<b>Öljy</b>	15	2,0	12,6	100	1
<b>Puu</b>	-	17,7	31,4	-	59
<b>Turve</b>	30	75,2	14,6	-	40
<b>Liemet</b>	-	-	40,2	-	-
<b>REF</b>	-	2,4	-	-	-

<sup>1</sup> KTM 1997

Sähkön ja lämmön yhteistuotannon sekä lämpölaitoksien polttoaineiden osuuksia on arvioitu Sähkö ja kaukolämpö 2001 -raportissa (Jylhä ym. 2002) esitettyjen Keski-Suomen kaukolämmön ja yhteistuotantosähkön tuotannossa käytettyjen polttoaineiden määrien avulla. Lisäksi on käytetty tietoja suurimpien voimalaitosten, kuten Rauhalahden ja Savelan polttoaineiden käyttötietoja. Polttoaineiden kokonaiskäyttöä ja niiden suhteita on verrattu vuoden 2000 ilmalupavollisten teollisuuslaitosten polttoainetietoihin (Liite IX).

Yhdistetyn lämmön ja sähkön tuotanto on mallinnettu niin, että lämpö on pääasiallinen tuote ja sähkö sivutuote. LEAP-ohjelmaan määritetään jokaiselle energiantuotannon prosessille vuoden 2000 tuotanto (Taulukko 13), jolloin tuotannon simulointi lähtee vuodesta 2001. Prosesseille määritetään myös tuotannon teho, hyötysuhde sekä maksimi käyttöaika. Hyötysuhde määritellään erikseen pää- ja sivutuotteelle. Maksimi käyttöaika tarkoittaa vuoden aikana tuotetun energiamäärän suhdetta energiamäärän, joka pystyttäisiin tuottamaan, jos laitos toimisi täydellä teholla ympäri vuoden.

Taulukko 13. Energiantuotantoprosesseille määritetyt lähtötiedot.

		Tuotanto		Teho	Hyötysuhde	Maksimi käyttöaika
		Lämpö GWh	Sähkö GWh	MW	%	%
<b>Yhteis- tuotanto</b>	CHP	765 <sup>1</sup>	423 <sup>2</sup>	220	55+30	40
	Kaasumoottori	0	0	0	45+35	80
	RL-Savukaasupesuri	0	-	0	100	40
	Mikro-CHP	0	0	0	45+30	80
<b>Teollisuus</b>	Kattilat	4240	598 <sup>2</sup>	520	75,5+10,5	94
	Lämmön talteenotto	870	0	150	100	66,5
<b>Lämpö- laitokset</b>	Öljykattilat	220 <sup>1</sup>	-	275	86	10
	Puu/turvekattilat	265 <sup>1</sup>	-	60	86	55
<b>Sähkön tuotanto</b>	Lauhdevoima	-	2 <sup>2</sup>	0,5	35	60
	Tuulivoima	-	0		50	30
	Aurinkosähkö	-	0		15	10
	Vesivoima	-	147 <sup>2</sup>	38 <sup>3</sup>	100	45

1) Jylhä ym. 2002

2) Adato Energia Oy 2001 3) Helynen ym. 2003

Vuoden 2000 yhteistuotannon ja lämpölaitoksien lämmöntuotannossa on jouduttu käyttämään vuoden 2001 tietoja. Muita tietoja on arvioitu käyttämällä suurimpien laitosten ympäristöluvista, ympäristöselonteista ja -raporteista saatuja tietoja. Savukaasupesurin, lämmön talteenoton ja vesivoiman hyötysuhteeksi on laitettu epärealistisesti 100 %, sillä näiden tekniikoiden kohdalla ei ole arvioitu saatavilla olevaa polttoaineen määrää ja sitä hyödyntävää tekniikkaa vaan suoraan tuotettua energian määrää. Todellisuudessa minkään energiantuotantoprosessin hyötysuhde ei ole 100 % termodynamiikan lakien vuoksi.

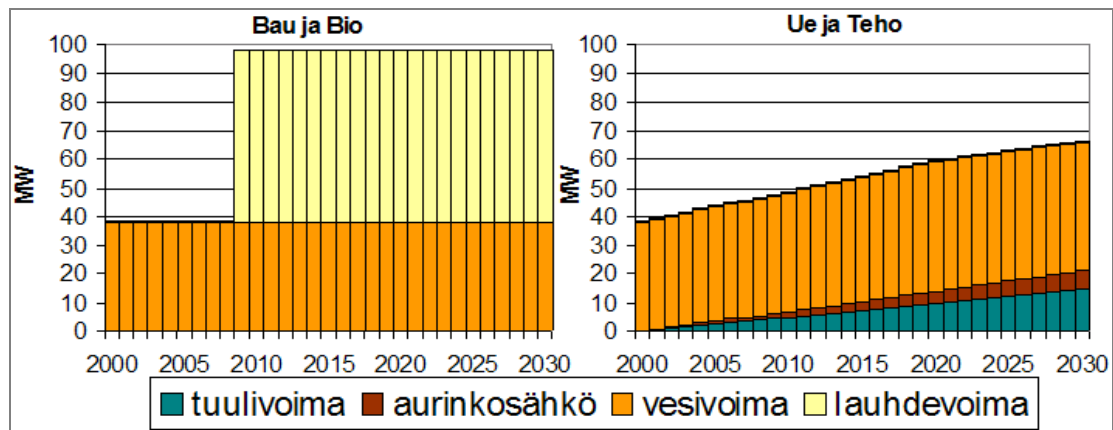
Keski-Suomen **vesivoimalaitosten** tehon ei oleteta kasvavan Bau- ja Bioskenaarioissa (Kuva 15). Kauppa- ja teollisuusministeriön raportissa (Helynen ym. 1999) on arvioitu, että Suomen vesivoimalaitosten tehoa voidaan nostaa vanhojen voimalaitosten uusimisella ja kunnostamisella noin 585 MW. Tämä on noin 20 % raportin aikaisesta Suomen kokonaiskapasiteetista (2 959 MW). Ue- ja Teho-skenaarioissa oletetaan, että myös Keski-Suomen vesivoimalaitosten tehoa nostetaan 20 % vuoteen 2020 mennessä.

**Tuulivoiman ja aurinkosähkön** käytön oletetaan kasvavan vain Ue- ja Teho-skenaariossa. Suomen uusiutuvan energian edistämishjelmassa 2003–2006 (KTM 2003) aurinkosähkön kapasiteetin tavoitteeksi on asetettu 40 MW vuoteen 2010 mennessä ja



visioksi 500 MW vuoteen 2025. Keski-Suomen osuudeksi arvioitiin tästä 5 % eli 2 MW vuonna 2010 ja 25 MW vuonna 2025. Tuulivoiman kansallinen tavoite on 500 MW vuoteen 2010 mennessä ja visio 2 000 MW vuoteen 2025. Tuulivoiman tuotanto keskittyy kuitenkin rannikkoseudulle. Keski-Suomen osuudeksi oletetaan tästä tavoitteesta 1 % eli 5 MW vuonna 2010 ja 20 MW vuonna 2025 (Kuva 15).

**Lauhdesähkön** tuotanto nousee Bau- ja Bio-skenaarioissa Jyväskylään rakennettavan uuden voimalaitoksen myötä, josta kerrottu sivulla 58.



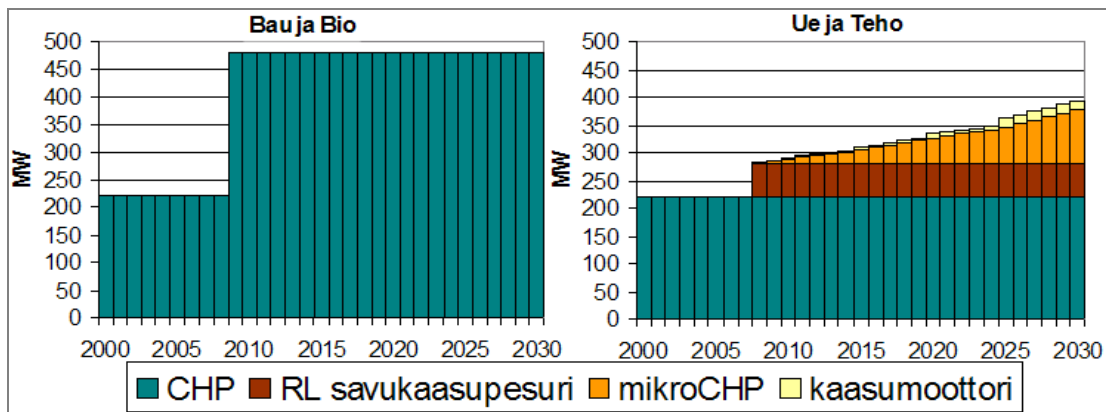
Kuva 15. Sähkön tuotantotehon muutokset eri skenaarioissa

Vuonna 2002 valmistui Äänekoskelle ja Jämsänkoskelle paperiteollisuuden tehtaiden yhteyteen kuplivat leijupetikattilat, jotka mahdollistivat öljyn korvaamisen biopolttoaineilla kuten puulla ja lietteellä. Nämä kaksinkertaistivat Keski-Suomen **teollisuuden sähkön- ja lämmöntuotannon** kapasiteettia 520 MW:sta 900 MW:iin. Tämän kapasiteetin oletetaan pysyvän samana vuoteen 2030.

Jyväskylässä on meneillään Jyväskylän energian voimalaitoshanke, jonka tavoitteena on rakentaa turve- ja puupolttoaineita käyttävä **CHP-voimalaitos**. Laitoksen suunniteltu kaukolämpöteho on 265 MW ja nettosähköteho on 180 MW. Voimalaitos tuottaa kaukolämpöä noin 500–1 100 GWh/a, vastapainesähköä 250–600 GWh/a ja lauhdesähköä noin 350–700 GWh/a. Laitoksen oletetaan valmistuvan vuoden 2008 aikana ja energiantuotannon alkavan vuonna 2009 (Jyväskylän energia Oy 2005). Bau- ja Bio-skenaarioissa oletetaan, että laitos rakennetaan Jyväskylän energian suunnitelmien mukaisesti (Kuva 16).

Ue- ja Teho-skenaariossa Jyväskylään ei rakenneta uutta laitosta. Sen sijaan Rauhalahden voimalaitokselle rakennetaan vuonna 2008 **savukaasupesuri**, jolla pystytään tuottamaan 300 GWh lämpöä ilman lisäpolttoaineiden tarvetta (McNiven 2006). Savukaasupesuri pienentää polton päästöjä ja näin mahdollistaa kierrätyspolttoaineen käytön. Näissä skenaarioissa rakennetaan myös kahdeksan 2 MW:n **kaasumoottori** CHP-laitosta, jotka käyttävät polttoaineenaan kaatopaikka- ja biokaasua. Vuonna 2008 käynnistetään projekti, jonka myötä maaseudulle rakennetaan kokonaisteholtaan 1–5 MW:n **mikro-CHP** -laitoksia, jotka käyttävät polttoaineenaan kaasutettua puuta ja peltobiomassaa (Kuva 16). Laitoksia rakennetaan useita kymmeniä vuoteen 2030 mennessä.

Kaikissa skenaariossa oletetaan, ettei Keski-Suomeen rakenneta lisää lämpölaitoskapasiteettia.



Kuva 16. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon lämmön tuotantotehojen muutokset eri skenaarioissa

Euroopan Komission (EC 2004) Energian ja liikenteen pääosasto on tehnyt skenaarioita Euroopan energian kulutuksen ja tuotannon kehityksestä. Skenaarioissa on arvioitu termisen energiantuotannon höytysuhteiden kehitystä (Liite IX). Keski-Suomen laitosten höytysuhteet ovat jo suhteellisen hyvät, joten skenaarioissa oletetaan höytysuhteiden kasvun olevan komission skenaarioita hitaampaa. Yhdistetyn sähkön ja kaukolämmön tuotannossa vain sähkön tuotannon höytysuhde paranee. Lämpölaitoksien höytysuhde nousee 90 prosenttiin Bau- ja Bio-skenaarioissa sekä 92 prosenttiin Ue- ja Teho-skenaarioissa.

Tuulivoimalaitoksen teoreettinen höytysuhde on tällä hetkellä 60 prosenttia. Skenaarioissa oletetaan, että tämä höytysuhde saavutetaan käytännössä vuonna 2020. Aurinkosähkön höytysuhteen nousun odotetaan olevan suhteellisen nopeaa, 1,5 prosenttia vuodessa, sillä teknologia on uutta ja kehittyä nopeasti.

Sähköntuotannon kaikkien prosessien maksimikäyttöaikojen oletetaan pysyvän samoina kaikissa skenaarioissa. Teollisuuden kattiloiden maksimikäyttöaika laskee vuonna 2002, sillä uusien kattiloiden myötä vanhoja kattiloita käytetään vain varakattiloina. Myös sähkön ja lämmön yhteistuotannon maksimi käyttöaika laskee Bau- ja Bio-skenaarioissa uuden voimalaitoksen valmistumisen myötä. Muiden prosessien maksimikäyttöajat pysyvät suhteellisen tasaisina. Maksimi käyttöaikojen muutokset ovat liitteestä IX.

#### 6.2.9. Polttoaineiden ominaisuudet ja päästökertoimet

Hiilidioksidipäästöjä arvioitaessa tarvitaan tietoa polttoaineista ja polttotekniikoista. Eri polttoaineiden sisältämä energia ja hiilimäärä vaihtelevat huomattavasti. Polttoaineiden ominaisuudet vaihtelevat myös eri alueilla, siksi tulisikin käyttää paikallista tietoa, jos mahdollista. On myös otettava huomioon, että kaikki polttoaineen sisältämä hiili ei hapetu hiilidioksidiksi vaan osa jää tuhkaan (IPCC 1996 b).

Polttoaineiden tehollisen lämpöarvon ja hiilipitoisuuden avulla voidaan laskea niille päästökertoimet (Kaava 4).

$$\text{Päästökerroin (t CO}_2\text{/TJ)} = (1000/Q) * C * \text{FCO} * M_{\text{CO}_2}/M_C$$

*Kaava 4*

Missä:

- 1000, tekijällä muunnetaan GJ:t TJ:iksi 1 TJ = 1000 GJ
- Q on polttoaineen tehollinen lämpöarvo GJ/t
- C on polttoaineen hiilipitoisuus % kuiva-aineesta
- FCO hapettuvan hiilen osuus %

- $M_{CO_2}$  on 44,01 kg/kmol ja  $M_C$  on 12,01 kg/kmol, hiilidioksidin ja hiilen molekyylipainojen suhteella muutetaan hiilipäästöt hiilidioksidipäästöiksi

Polttoaineen teholliseen lämpöarvoon vaikuttaa polttoaineen kosteus (Kaava 5).

$$Q_{ar} = Q_d * ((100 - M_{ar}) / 100) - 0,02443 * M_{ar} \quad \text{Kaava 5}$$

Missä:

- $Q_{ar}$  on tehollinen lämpöarvo vakioaineessa saapumistilassa GJ/t
- $Q_d$  on kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo vakioaineessa GJ/t
- $M_{ar}$  on polttoaineen kosteus p-%, märkápainosta
- 0,02443 on veden höyrystymislämpö vakioaineessa +25°C lämpötilassa GJ/t / 1 p-% kosteutta kohti

Suomessa on määritelty viralliset päästökertoimet, joita käytetään mm. päästökauppaan liittyvässä päästöjen tarkkailussa (Taulukko 14). Liitteessä X on esitetty polttoaineiden keskimääräisiä ominaisuuksia. Näistä ominaisuuksista lasketut päästökertoimet eroavat virallisesti käytetyistä päästökertoimista, sillä niissä on käytetty keskimääräisistä ominaisuuksia ja niissä ei ole otettu huomioon polttoaineen kosteutta, mikä voi vaihdella. Tämän mallin hiilidioksidipäästöt lasketaan virallisten päästökertoimien mukaan.

Taulukko 14. Nettohiilidioksidipäästöjä aiheuttavien polttoaineiden viralliset hiilidioksidin päästökertoimet (Syke 2005, Tilastokeskus 2006). Öljylle käytettiin keskiarvoa 75,5 t CO<sub>2</sub>/TJ.

Polttoaine	Kivihiili	Öljy	Turve	REF
<b>Päästökertoimen t CO<sub>2</sub>/TJ</b>	94,6	74–77	106	31,8

Leap-ohjelmassa polttoaineiden hiili määritellään joko uusiutuvasta tai uusiutumattomasta alkuperästä tulevaksi. Uusiutuvien polttoaineiden ilmastonmuutos potentiaaliksi määritellään nolla. Muualta tuodulle energialle ei määritellä päästöjä, sillä tässä selvityksessä keskitytään Keski-Suomen sisäisen energiantuotannon päästöihin.

#### 6.2.10. Polttoainevarat

Leap-ohjelma jakaa polttoainevarat primaarisiin ja sekundaarisiin energianlähteisiin. Primaarisiin polttoaineisiin kuuluvat sekä fossiiliset että uusiutuvat luonnonvarat. Fossiilille ja uusiutumattomille polttoaineille määritetään alueen koko olemassa oleva varanto ja uusiutuville energiavaroille vuosittainen saatavilla oleva energiamäärä. Sekundaariset energianlähteet syntyvät joko energiantuotannon prosesseissa tai esimerkiksi öljyn jalostuksessa.

Keski-Suomessa ei ole **fossiilisten polttoaineiden** esiintymiä eikä myöskään öljyn jalostustoimintaa. Öljy ja kivihiili tuodaan maakunnan ulkopuolelta. Käyttökelpoisia **turvevaroja** on arvioitu olevan Keski-Suomessa 1 109 miljoonaa m<sup>3</sup> eli noin 97 Mt (Virtanen ym. 2000). Vuonna 2002 tuotantokunnossa olleelta turvetuotantoalalta saadaan noin 2 735 GWh energiaa vuosittain (Helynen ym. 2003). Turvevarannot kuluvat käytön mukaan eikä turpeen määrä lisääny skenaarioissa käytetyllä aikajaksolla. Kaikki turvevarat eivät ole kerralla käytössä, sillä kaikki käyttökelpoiset suot eivät ole vielä käytössä eikä niille ole tarvittavia ympäristölupia. Tuotantokunnossa olevaa pinta-alaa oli vuonna 2002 4 700 ha (Helynen ym. 2003).

Taloudellisesti kerättävissä olevia **energiapuuvaroja** syntyy Keski-Suomen metsissä yhteensä noin 786 000 kiintokuutiometriä eli 1 564 GWh vuodessa (Kauppinen 2006).

Teollisuuden sivutuotteena syntyvää haketta, purua ja kuorta sekä muita puupolttoaineita kuten pellettejä on käytetty 2000-luvun alkupuoliskolla Keski-Suomessa keskimäärin 1 145 000 m<sup>3</sup> eli noin 2 133 GWh vuodessa (Liite X). Kotitalouksien puupolttoaineiden käytöksi on arvioitu 485 000 m<sup>3</sup> raaka- ja jättepuuta vuodessa (Peltola 2003, 2004), mistä saadaan kertoimella 2,1 MWh/m<sup>3</sup> noin 969 GWh. Puuta on siis saatavilla yhteensä noin 2 389 000 m<sup>3</sup> vuodessa, joka energiaksi muutettuna on 4 666 GWh.

**Mustalipeää** syntyy selluloosan keittoprosessissa. Sen saanto on siis täysin riippuvainen selluloosan valmistuksesta. Vuonna 2000 mustalipeällä ja muilla teollisuuden liemillä on tuotettu energiaa 2 266 GWh (Helynen ym. 2003), mikä on ollut myös sen vuoden varanto.

Puupolttoaineiden saannon oletetaan lisääntyvän kaikissa skenaarioissa. Teollisuuden jättepuun määrä kasvaa samassa suhteessa kuin metsäteollisuuden tuotanto. Teknologian kehittyminen kasvattaa taloudellisesti korjuukelpoisen energiapuun määrää Bau-skenaariossa 0,5 % vuodessa ja muissa skenaarioissa 1 % vuodessa. Mustalipeän määrän oletetaan kasvavan metsäteollisuuden kasvun mukaisesti.

**Peltobiomassavarat** ovat arvioitu nollassi vuonna 2000, sillä niiden käyttöä ei vielä näy tilastoissa. Ruokohelven kuiva-aine saannoksi on arvioitu 4,5 t/ha (Flyktman & Paappanen 2005). Normaalin viljan viljelyn sivutuotteena syntyvää olkea saadaan noin 3 tonnia hehtaarilta (Tuomisto 2005). VTT:n arvion mukaan ruokohelven enimmäispinta-ala Keski-Suomessa vuonna 2010 olisi 20 000 hehtaaria (Flyktman & Paappanen 2005). Peltobiomassan tuotannon ja keräämisen oletetaan kasvavan runsaasti Ue- ja Teho-skenaarioissa. Oljen keräämisen oletetaan saavuttavan 60 % viljaa viljeltävästä peltoalasta vuoteen 2030. Ruokohelven viljely saavuttaa arvioidun 20 000 ha vuonna 2010 ja kasvaa tästä 30 000 hehtaariin vuoteen 2030 mennessä.

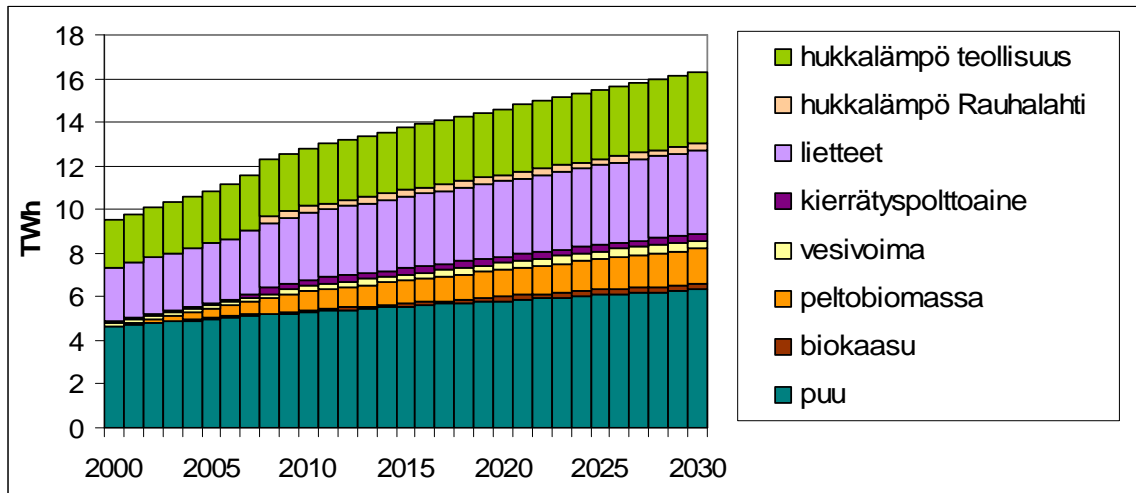
Vuonna 2000 **kierrätyspolttoainetta** käytettiin Rauhalahden voimalaitoksessa 6 041 tonnia (Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2004). Jätteenpoltostrategiatyöryhmän loppuraportissa (Heikkilä ym. 2004) arvioidaan, että Keski-Suomessa voitaisiin tuottaa kierrätyspolttoainetta vuonna 2008 MBT-laitoksessa 51 300 tonnia ja MT-laitoksessa (mechanical treatment) 57 400 tonnia. Ue- ja Teho-skenaarioissa oletetaan, että Keski-Suomeen rakennetaan vuonna 2008 MBT-laitos, joka tuottaa 51 300 tonnia kierrätyspolttoainetta vuodessa (Kuva 17).

Jyväskylän seudun jäteveden puhdistamolla vuonna 2000 tuotettiin **biokaasua** 1 160 m<sup>3</sup>. Tästä hyödynnettiin 77 prosenttia eli noin 6 500 MWh ja 2 000 MWh jäi hyödyntämättä (Uusi-Penttilä 2004). Kaatopaikkakaasun keräys aloitettiin Mustankorkean kaatopaikalla vuonna 2001. Jyväskylän seudun biokaasun maksimituotantomääräksi on arvioitu 129 GWh (Uusi-Penttilä 2004). Koko Keski-Suomen alueella tuotantopotentiaali on suurempi. Oletetaan, että 129 000 MWh:n tuotanto saavutetaan Keski-Suomessa vuonna 2015. Tästä tuotannon oletetaan vielä kasvavan 250 000 MWh:in vuoteen 2030.

**Aurinko** säteilee maan pinnalle noin 1 000 kWh/m<sup>2</sup>. Saatavilla olevan energian määrä on erittäin suuri, mutta energian keräämiseen tarvitaan myös suhteellisen paljon pinta-alaa keräinten ja paneelien alhaisen hyötysuhteen vuoksi. Suomessa auringonpaiste keskittyy lähinnä kesäaikaan ja talvella sitä on saatavilla suhteellisen vähän. Aurinkokeräimet ja -paneelit sijoitetaan yleensä rakennuksien katoille tai muihin rakenteisiin. Aurinkoenergian saannoksi onkin laskettu 1 000 kWh/m<sup>2</sup> kerrottuna rakennuspinta-alalla. Myös **tuulienergiaa** on runsaasti saatavilla. Kysymys onkin aurinkoenergian ja tuulivoiman käyttämisen kannattavuudesta ja taloudellisesta kilpailukyvyistä. **Vesivoiman** määrä taas riippuu vesitilanteesta. Vuonna 2000 toiminnassa

olevilla vesivoimalaitoksilla pystyttiin tuottamaan 150–200 GWh sähköä vuodessa. Lähtötilanteessa vesivoimalla tuotettiin sähköä 147 GWh (Helynen ym. 2003).

Malliin on myös lisätty kaksi hukkalämmön lähdettä, joista saatavat hukkalämmöt on ohjelmoitu omiksi polttoaineikseen. Metsäteollisuudessa käytetään hiertämöiden hukkalämpöä mm. kuivatuksessa ja Rauhalahdessa olisi mahdollisuus käyttää savukaasujen lämpöä kaukolämmön tuotantoon. Kummankaan lämmön lähteen käyttö ei lisää polttoaineiden käyttöä eikä tuota hiilidioksidipäästöjä. Niiden käyttö tehostaa polttoaineista saatavaa höytysuhdetta. LEAP-ohjelmassa niiden käyttö oli helpointa ohjelmoida niin kuin ne olisivat omia polttoaineitaan.



Kuva 17. Arvioidut polttoaineiden vuosittaiset tuotannot Keski-Suomessa. Aurinkoenergian ja tuulivoiman määrät on jätetty pois niiden eri kokoluokan vuoksi.

#### 6.2.11. Polttoaineiden käyttö energiantuotannossa

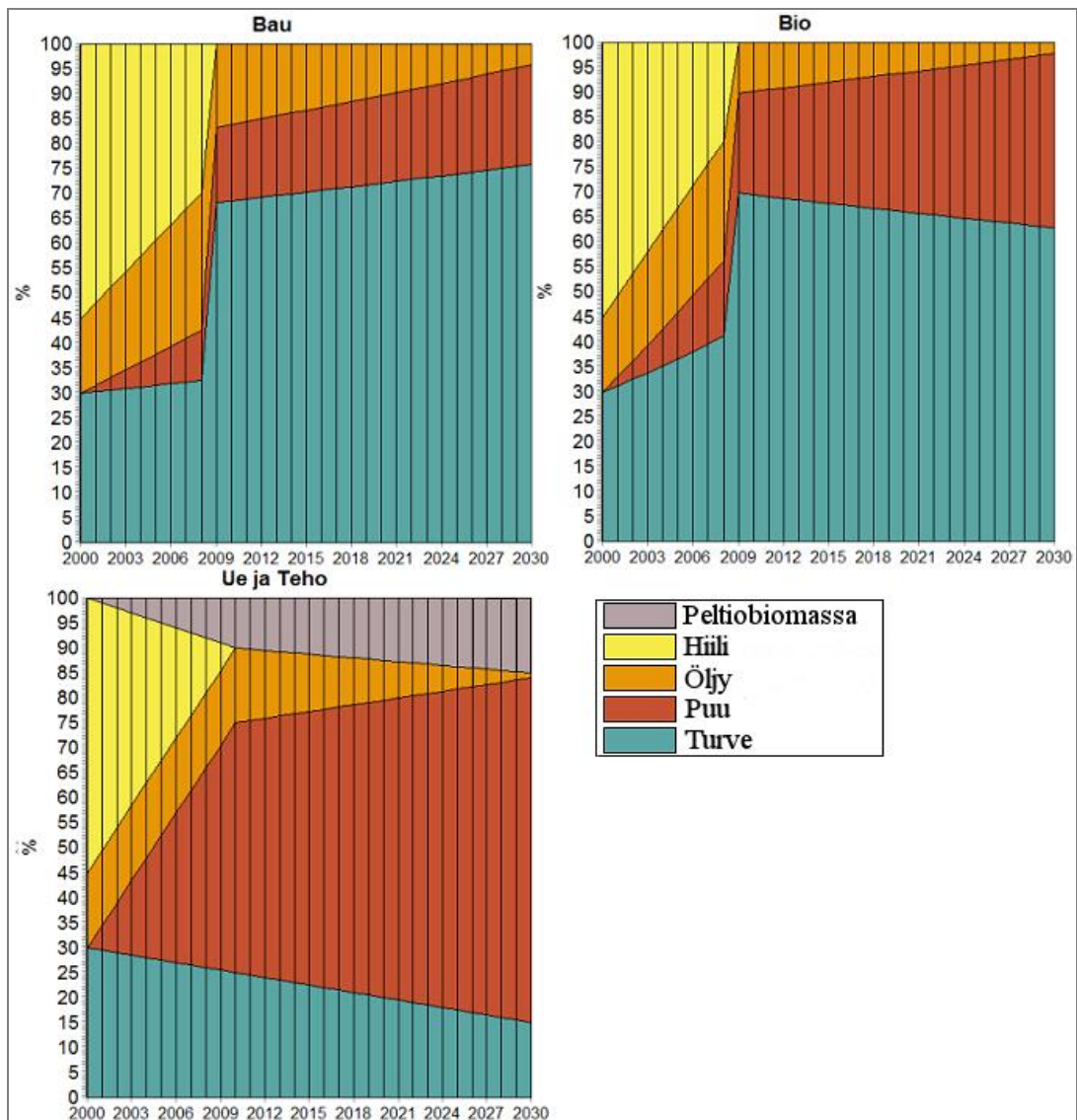
Poltolla tapahtuvan energiantuotannon hiilidioksidipäästöihin vaikuttaa voimakkaasti käytetyt polttoaineet. Keski-Suomessa kehitys on kulkenut suuntaan, jossa hiilen ja öljyn käyttöä korvataan turpeella ja puulla. Jyväskylään suunniteltu voimalaitos lisää merkittävästi etenkin turpeen osuutta käytetyissä polttoaineissa. Bau-skenaariossa turpeen osuus kasvaa edelleen. Bio-skenaariossa puu kasvattaa selkeämmin osuuttaan. Ue- ja Teho-skenaariossa puun lisäksi käytetään biokaasua ja peltobiomassaa.

**Lauhdevoiman** polttoaineiden käytön suhteet muuttuvat voimakkaasti Jyväskylän uuden voimalaitoksen myötä, joka käyttää lähinnä turvetta (Kuva 18). Kaikissa skenaarioissa hiilen käytöstä luovutaan vuoteen 2010 mennessä. Uuden voimalaitoksen myötä myös öljyn osuus vähenee. Bio-skenaariossa fossiilisia polttoaineita ja turvetta korvataan puulla, Ue- ja Teho-skenaarioissa myös peltobiomassalla. Peltobiomassan osuus polttoaineista nousee nopeasti 10 prosenttiin. Peltobiomassan alhaisesta tiheydestä ja kosteuspitoisuudesta johtuen sen osuus ei voi olla suurempi nykyisellä syöttö- ja polttotekniikoilla (Flyktman & Paappanen 2005). Skenaarioissa kuitenkin oletetaan, että tekniikan kehittymisen myötä peltobiomassan osuus polttoaineista voi kasvaa 15 %:iin.

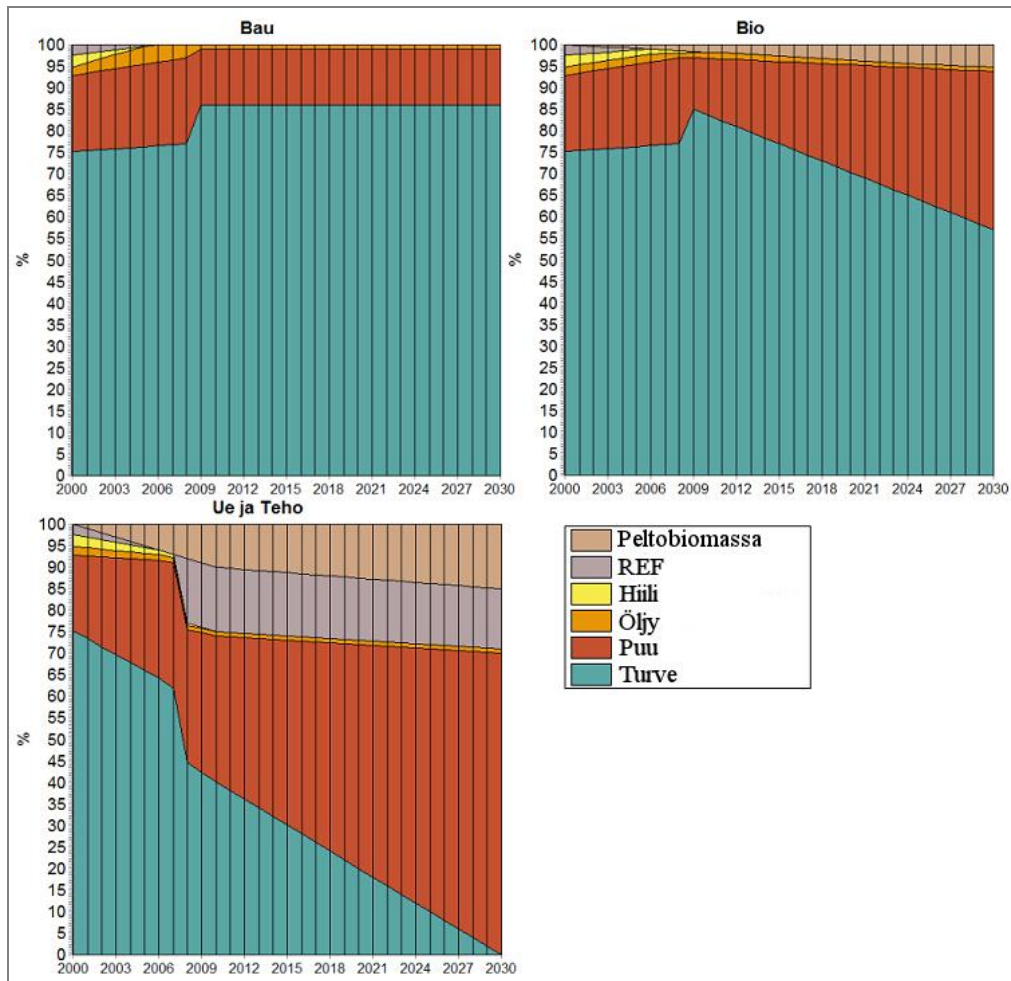
Bau- ja Bio-skenaarioissa **sähkön ja lämmön yhteistuotannon** polttoaineiden käyttöön vaikuttaa paljon vuonna 2009 valmistuva voimalaitos. Sen pääasialliseksi polttoaineeksi on suunniteltu turvetta. Turpeen osuus kasvaakin uuden voimalaitoksen myötä ja fossiilisten polttoaineiden osuus pienenee (Kuva 19). Bio-skenaariossa turvetta korvataan vähitellen puulla ja peltobiomassalla. Bio-skenaariossa peltobiomassan käytön

oletetaan kasvavan bioenergiastrategian mukaan. Vuonna 2010 peltobiomassalla tuotetaan energiaa 50 GWh, vuonna 2025 150 GWh. Käytön kasvun oletetaan olevan samanlaista vuoteen 2030 asti. Bau- ja Bio-skenaarioissa jätteen energiakäyttö loppuu vuonna 2006 uuden jätteenpolttolain (Säädös 362/2003) tullessa voimaan.

Ue- ja Teho-skenaariossa uutta voimalaitosta ei rakenneta. Fossiilisia polttoaineita sekä turvetta korvataan voimakkaasti puulla ja peltobiomassalla. Savukaasunpesuri mahdollistaa kierrätyspolttoaineen (REF) käytön, jolla myös pyritään korvaamaan turvetta.

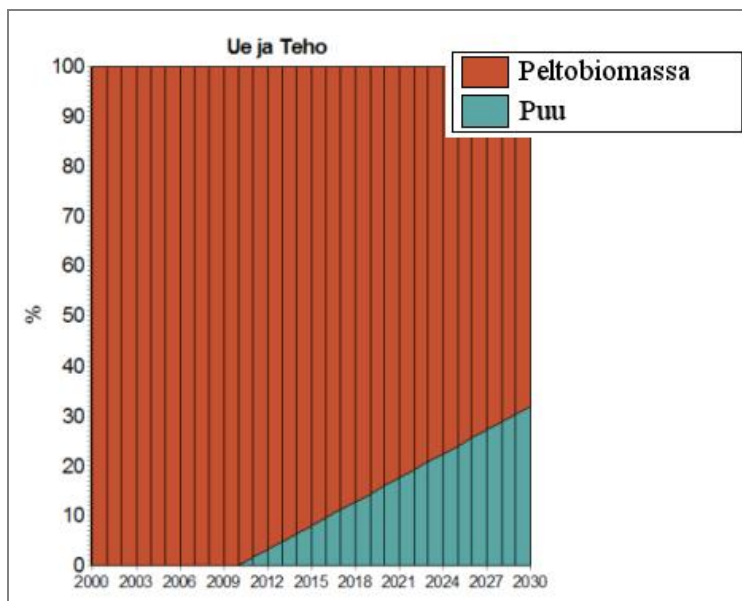


Kuva 18. Lauhdevoiman polttoaineiden suhteiden muutokset eri skenaarioissa.



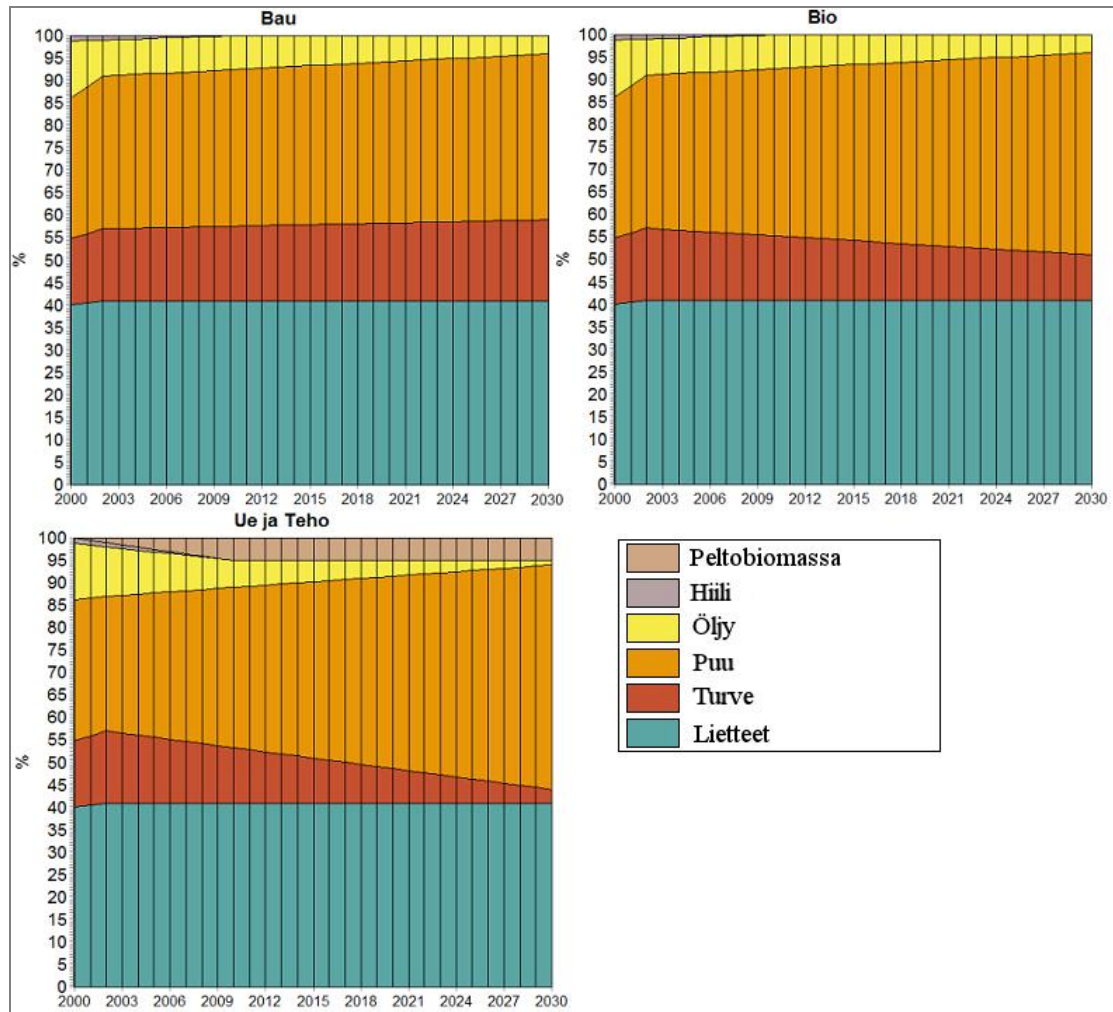
Kuva 19. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon (CHP) polttoaineiden osuudet eri skenaarioissa.

**Mikro-CHP** laitoksissa käytetään aluksi polttoaineena vain peltobiomassaa. Vuonna 2010 ryhdytään käyttämään myös puuta (Kuva 20). Kaasumoottoreiden polttoaineena käytetään vain kaatopaikka- ja biokaasua.



Kuva 20. Mikro-CHP:n polttoaineiden osuudet.

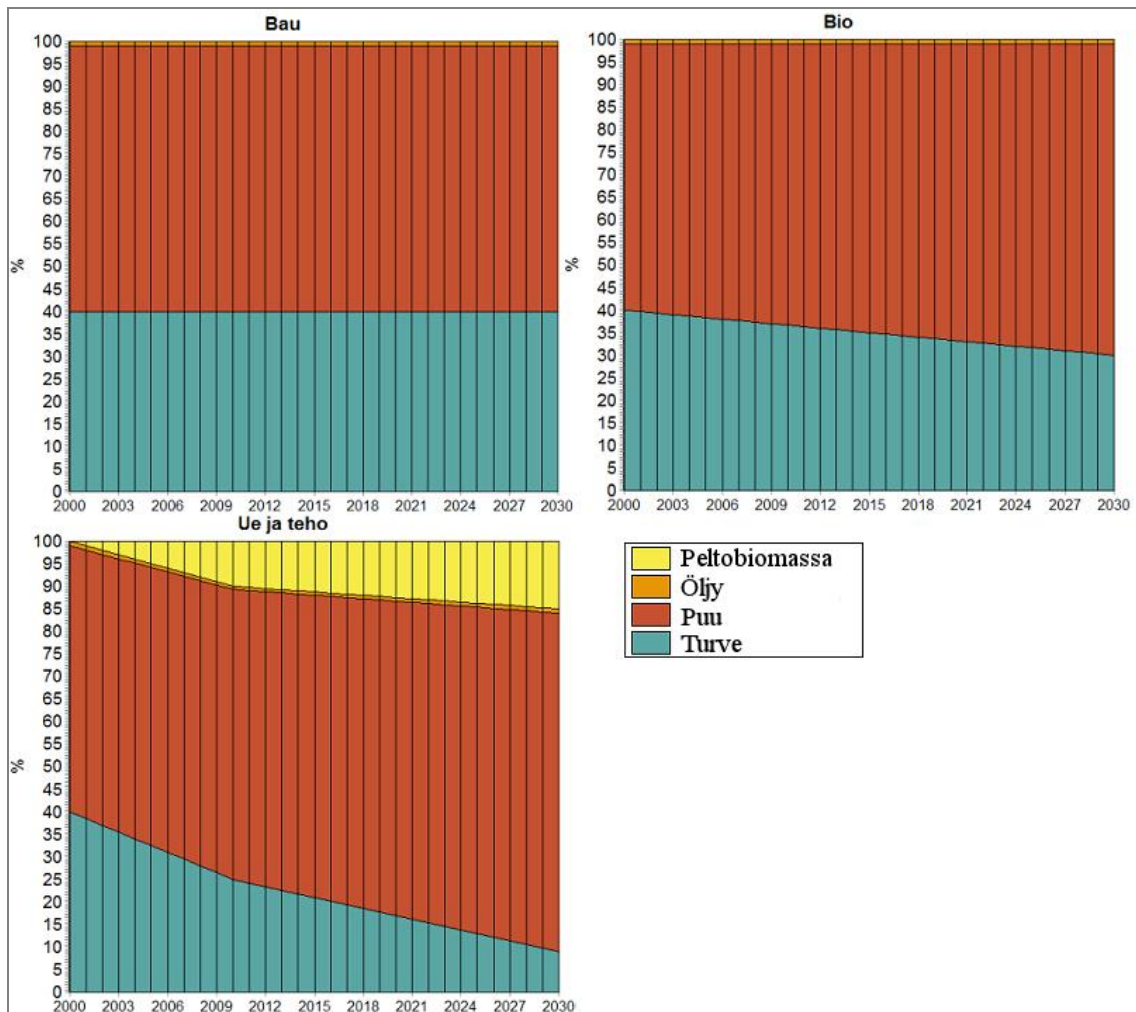
**Teollisuuden sähkön ja lämmön yhteistuotannossa** mustalipeän ja muiden lietteiden osuus pysyy tasaisena kaikissa skenaarioissa (Kuva 21). Vuonna 2002 valmistuneet kattilat pienentävät fossiilisten polttoaineiden osuutta. Bau- ja Bio-skenaarioissa öljyä pyritään korvaamaan puulla ja turpeella. Ue- ja Teho-skenaarioissa myös turpeen osuus vähenee selkeästi.



Kuva 21. Teollisuuden vastapaineen polttoaineiden osuudet eri skenaarioissa.

**Lämpölaitokset** on jaettu öljykattiloihin ja pääasiassa puuta ja turvetta käyttäviin kiinteän polttoaineen kattiloihin. Öljykattiloissa käytetään polttoaineena vain öljyä. Puuta ja turvetta käyttävissä kattiloissa polttoaineiden suhde pysyy Bau-skenaariossa samana. Bio-skenaariossa turvetta pyritään korvaamaan puulla, Ue- ja Teho-skenaariossa myös peltobiomassalla (Kuva 22). Peltobiomassan osuus kasvaa samalla tavoin kuin lauhdevoimassa.





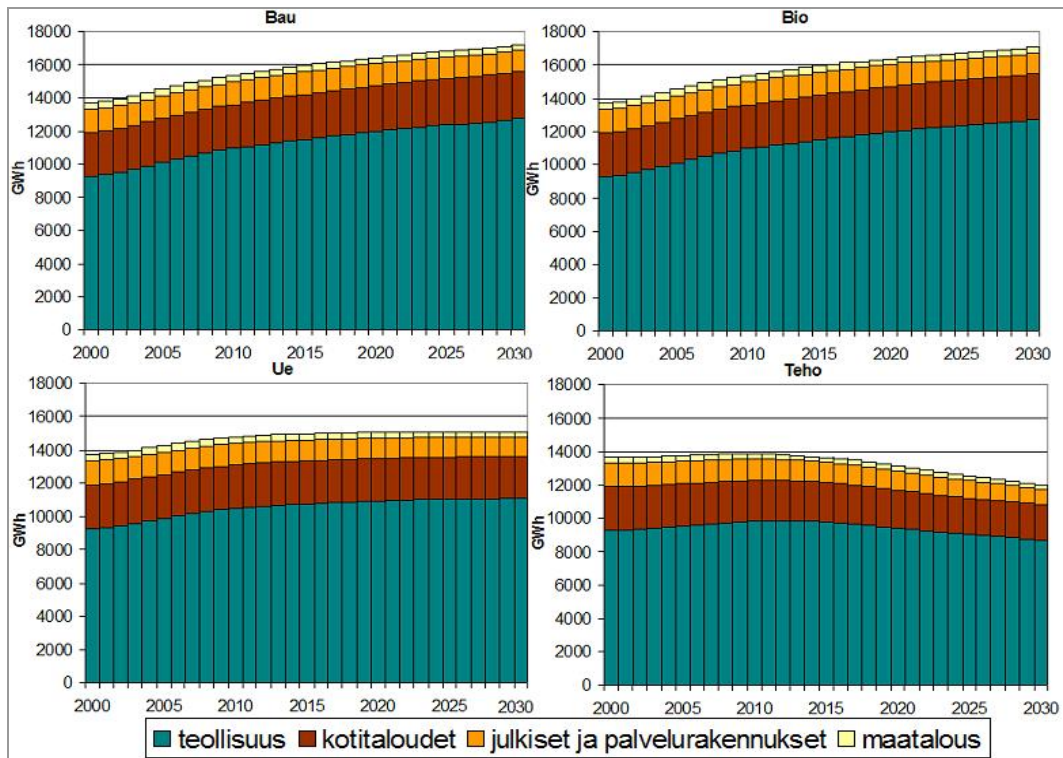
Kuva 22. Lämpölaitoksien puu ja turvekattiloiden polttoaineiden osuudet eri skenaarioissa.

## 7. TULOKSET

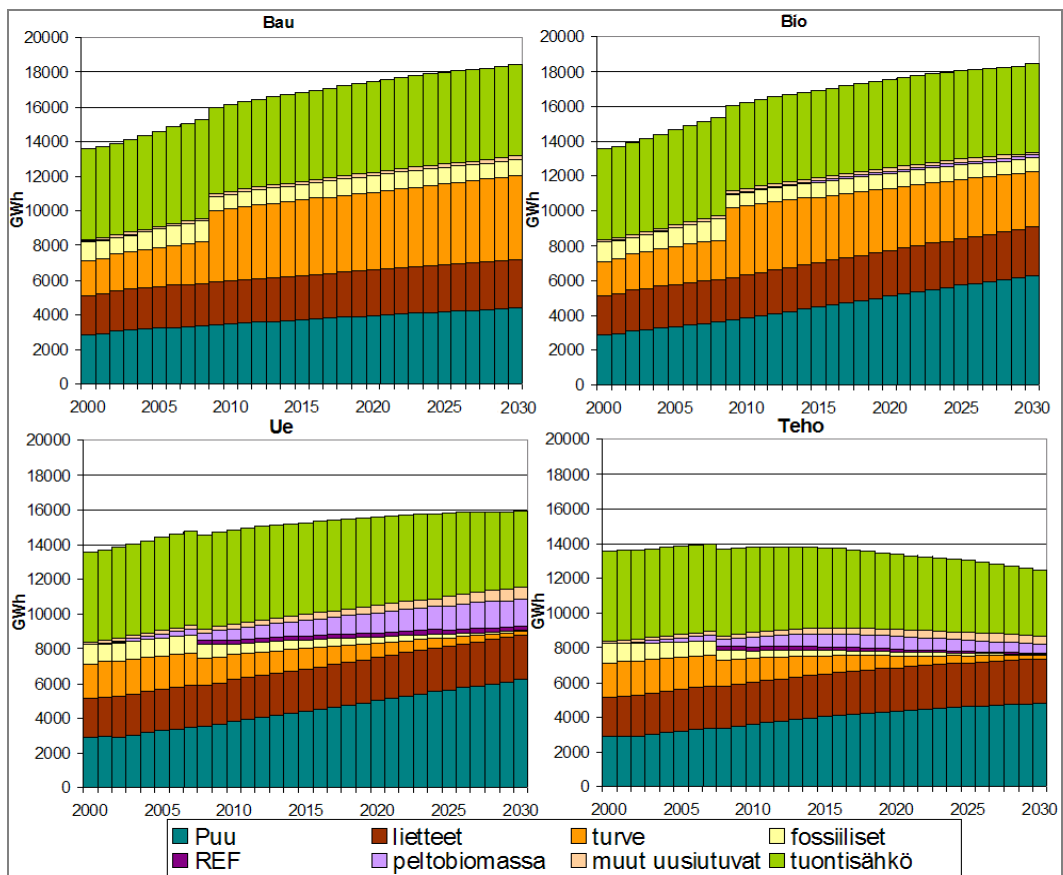
Tässä kappaleessa esitetään LEAP-ohjelmalla kappaleen 6.2 lähtötietojen ja oletuksien pohjalta lasketut tulokset. Ensin esitetään energiankulutuksen kehitys eri sektoreilla ja skenaarioissa. Seuraavaksi käsitellään energiantuotannon määriä ja polttoaineiden kulutusta sekä hiilidioksidipäästöjä. Lopuksi tarkastellaan muutaman muuttujan vaikutuksia tuloksiin herkkyystarkastelun avulla.

### 7.1. Kulutus

Keski-Suomen energian kokonaiskulutus lähtee laskuun vain Teho-skenaariossa (Kuva 23). Teollisuus on alueen merkittävin energian kuluttaja ja sen energiankulutuksen väheneminen tuo selkeitä muutoksia kokonaiskulutukseen. Myös kotitalouksien osuus on merkittävä. Puu, teollisuuden lietteet ja turve ovat merkittävimpiä primäärienergian lähteitä (Kuva 24). Vaikka Ue- ja Teho-skenaarioissa lisätään mm. tuulivoiman ja aurinkoenergian käyttöä, niiden osuus koko primäärienergian käytöstä on edelleen marginaalinen. Turvetta ja fossiilisia polttoaineita voidaan kuitenkin korvata puulla ja peltobiomassalla. Ue- ja Teho skenaarioissa energian kulutuksen laskun ja tuotannon muutoksien myötä tuontisähkön tarve pienenee, jolloin energiaomavaraisuus kasvaa.

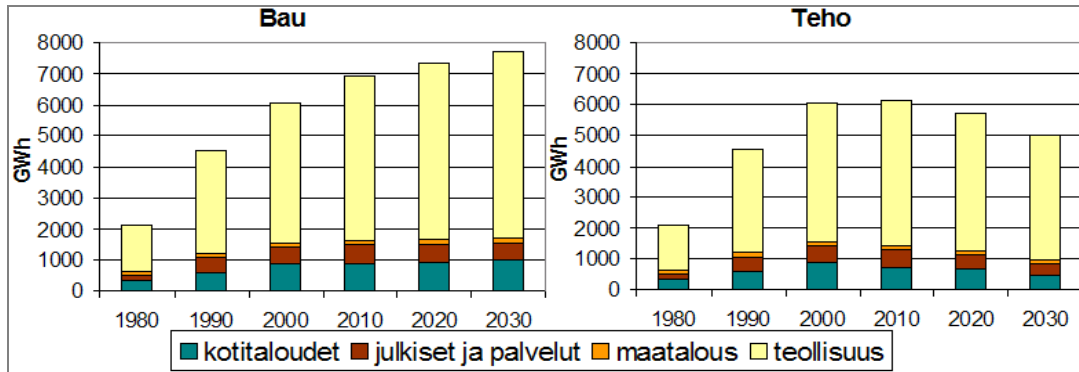


Kuva 23. Eri kulutussektoreiden energian kokonaiskulutuksen muutokset skenaarioissa.



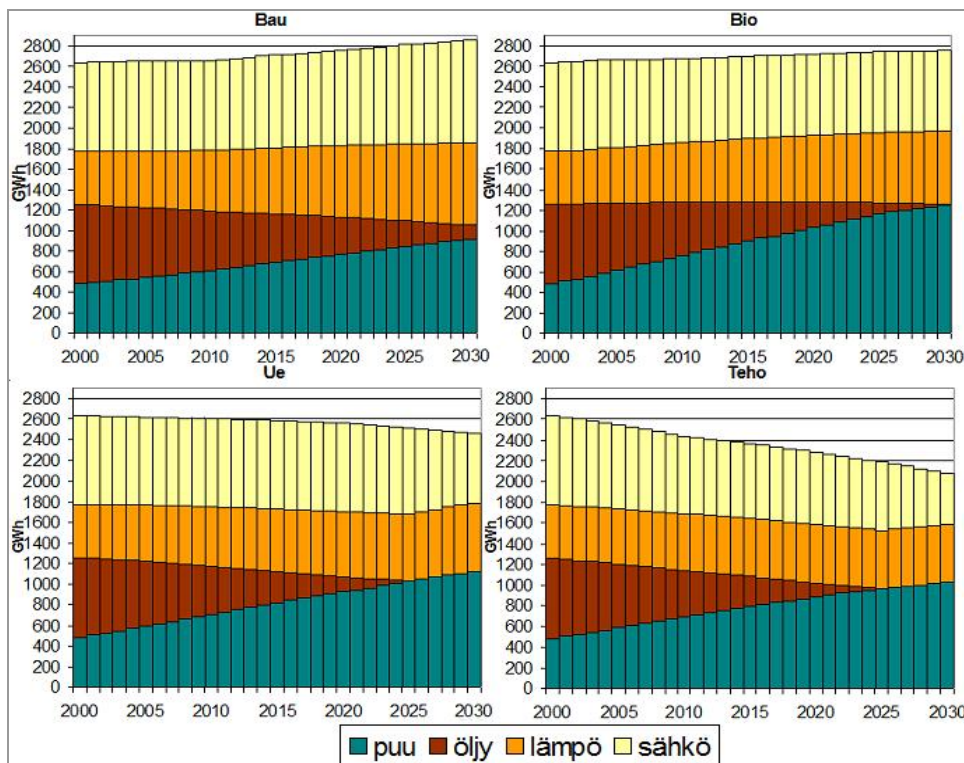
Kuva 24. Primäärienergian ja tuontisähkön kulutus skenaarioissa. Muut uusiutuvat ryhmä sisältää lämpöpumppujen maasta, ilmasta tai vedestä ottaman lämmön, aurinkoenergian, tuuli- ja vesivoiman sekä biokaasun. Fossiilisia polttoaineita ovat hiili ja öljy.

Verrattaessa Bau- ja Teho-skenaarioiden sähkön kulutuksen kehitystä historialliseen kehitykseen nähdään, että Bau-skenaariossa sähkön kulutuksen kasvu on hitaampaa kuin viime vuosikymmeninä. Sähkön kulutuksen trendi lähtee Teho-skenaariossa päinvastaiseen suuntaan kuin Bau-skenaariossa vuoden 2010 jälkeen (Kuva 25).

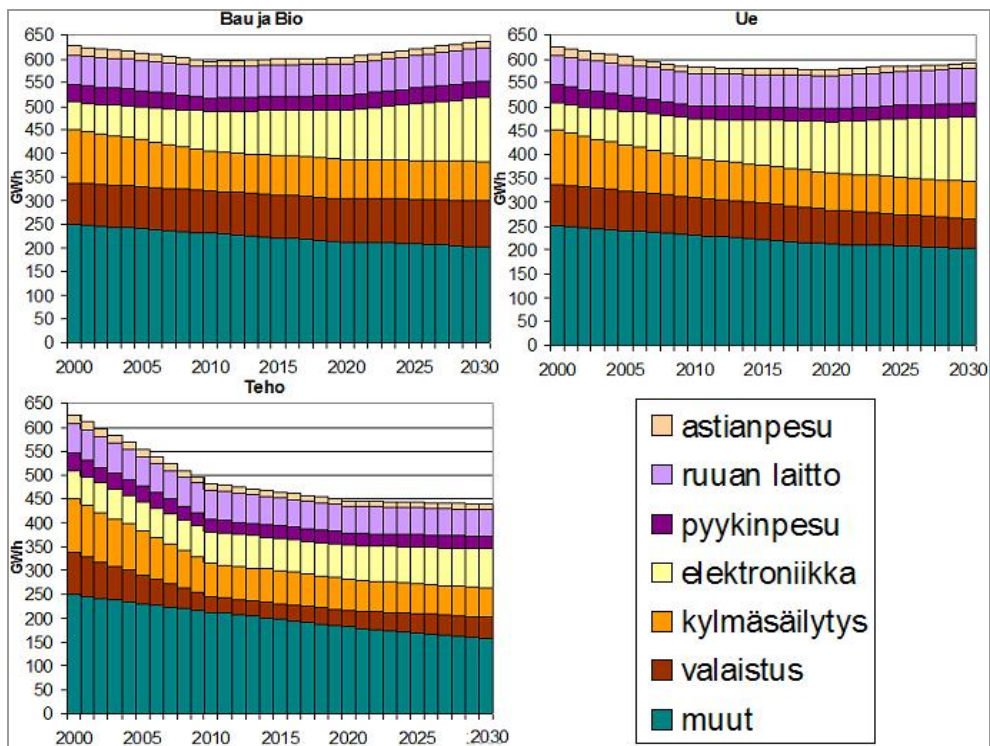


Kuva 25. Sähkön kulutus vuosina 1980, 1990 ja 2000 sekä kahdessa eri skenaariossa arvioitu kulutuksen kehitys.

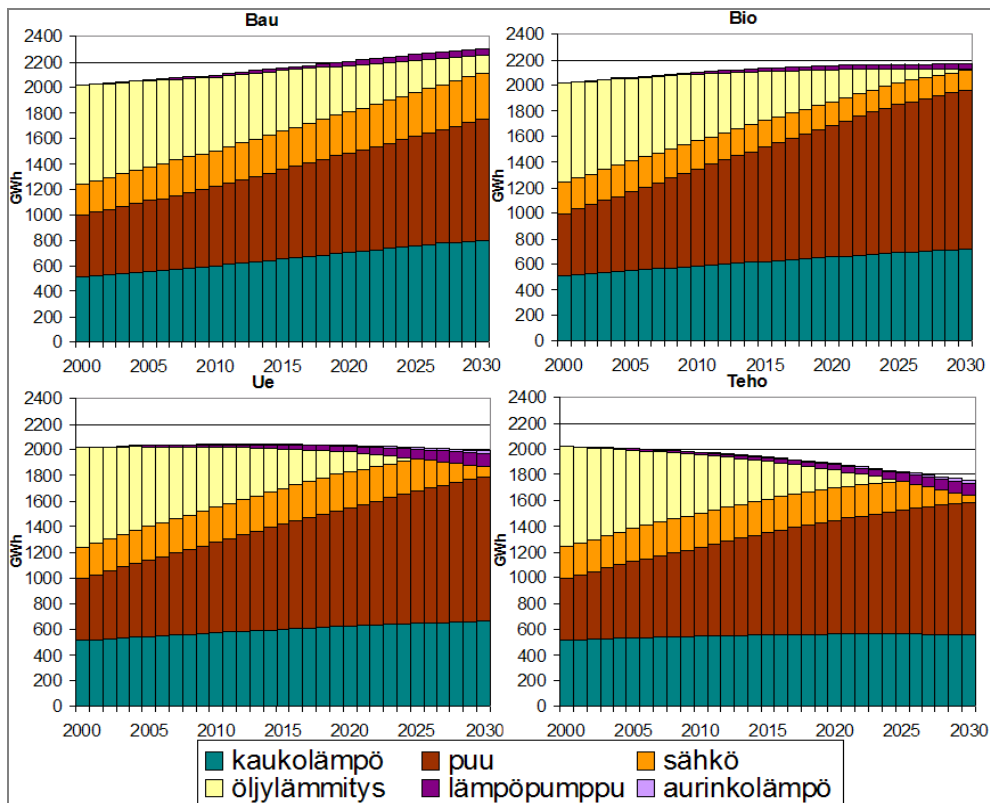
Kotitalouksien energiankulutus pienenee Ue- ja Teho-skenaarioissa (Kuva 26). Bau- ja Bio-skenaarioissa se kasvaa kotitalouksien määrän kasvun myötä. Kotitalouksien sähkölaitteiden energiankulutuksessa valaistus ja kylmäsäilytys vievät suuren osan, mutta niiden kulutus pienenee erityisesti Teho-skenaariossa (Kuva 27). Elektroniikan merkitys sähkönkulutuksessa kasvaa kaikissa skenaarioissa. Kotitalouksien energiankulutuksesta lämmitys vie selkeästi suurimman osan. Lämmityksen energian tarve vähenee Ue- ja Teho skenaarioissa (Kuva 28). Näissä skenaarioissa sähkö- ja öljylämmitys korvataan kaukolämmöllä ja uusiutuvilla energioilla.



Kuva 26. Kotitalouksien polttoaineiden ja energian kulutus eri skenaarioissa. Polttoaineet ovat primäärienergiaa, lämmön ja sähkön osalta on esitetty kulutetut määrät.

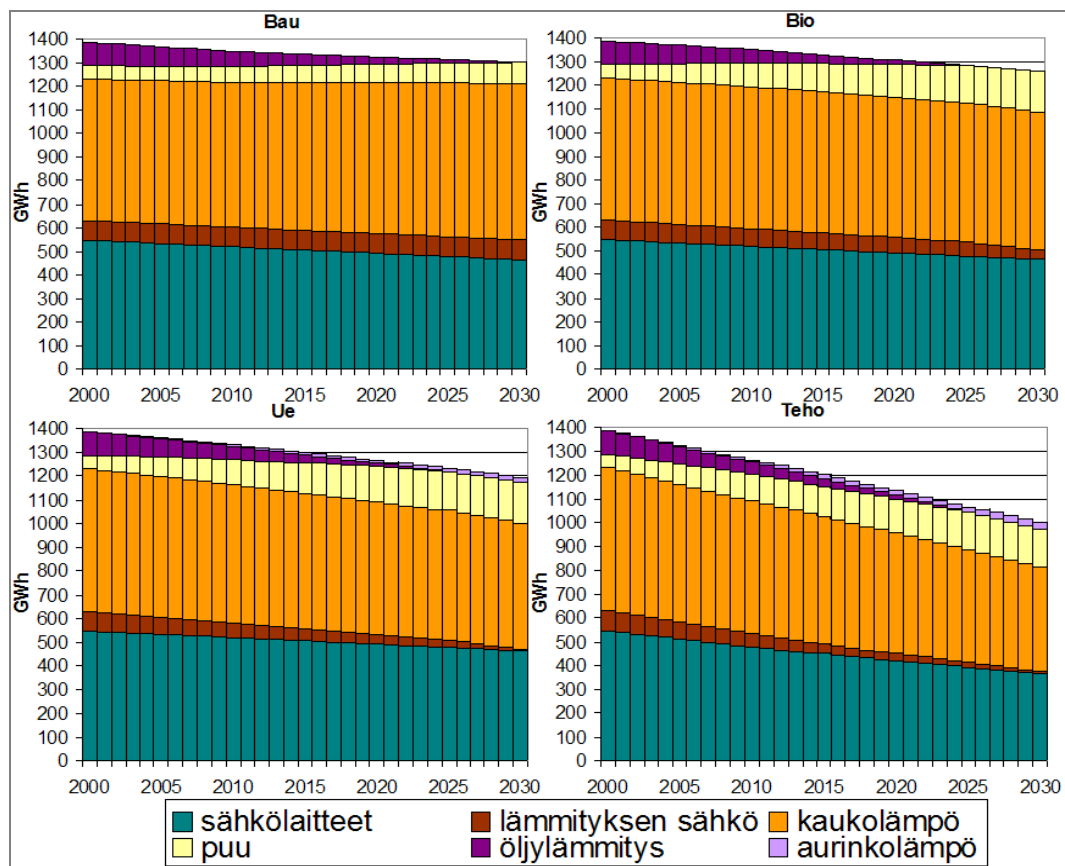


Kuva 27. Kotitalouksien eri toimintojen sähkönkulutus skenaarioissa. Lämmityksen sähkön kulutus on kuvassa 28

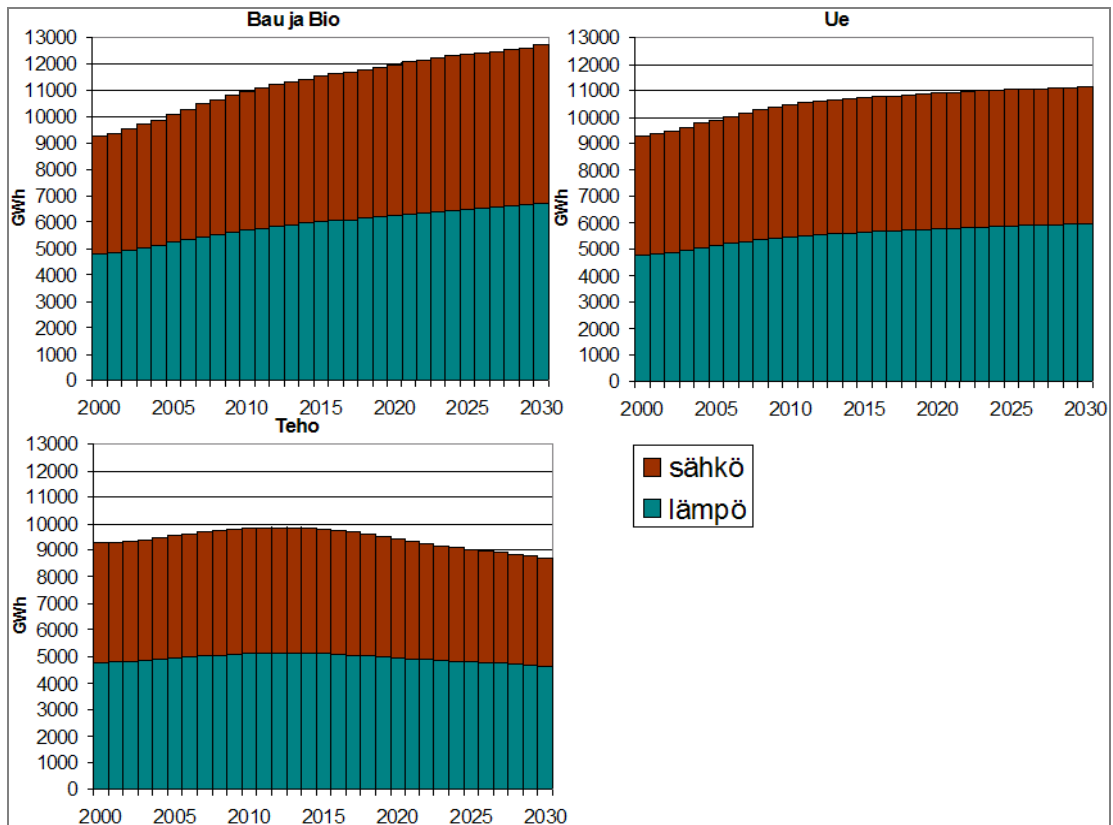


Kuva 28. Kotitalouksien lämmityksen energiankulutus (GWh) eri skenaarioissa. Sähkön kulutus sisältää sähkölämmityksen ja lämpöpumppujen kuluttaman sähkön. Lämpöpumppu sisältää maasta, ilmasta tai vedestä otetun lämmön. Sähkön ja kaukolämmön osalta on esitetty kulutettu energiamäärä, muut ovat primäärienergiaa.

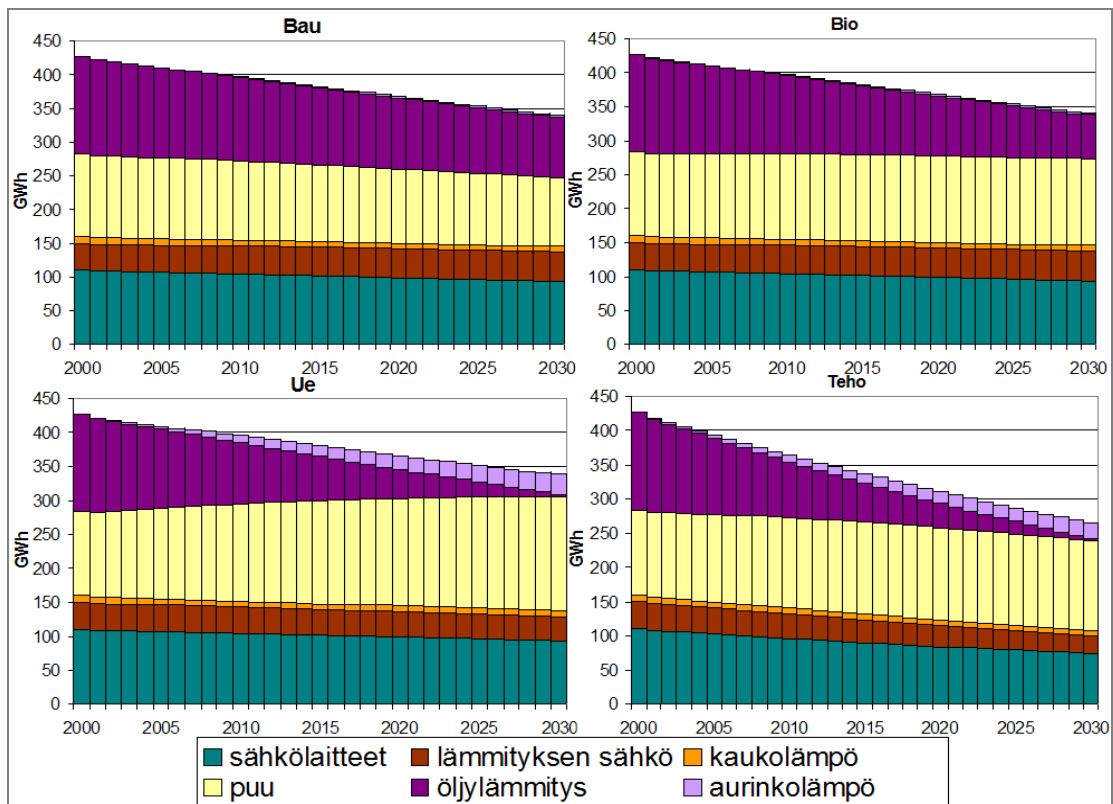
Julkisten tilojen ja palvelurakennusten energiankäyttö laskee kaikissa skenaarioissa (Kuva 29). Energiamuotojen suhteet eivät muutu tällä sektorilla merkittävästi eri skenaarioissa. Teollisuuden energiankulutus laskee vain Teho-skenaarioissa (Kuva 30). Teollisuus kuluttaa kulutussektorin puolella vain lämpöä ja sähköä, sillä polttoaineiden kulutus on tässä mallissa energian tuotannon puolella teollisuuden energiantuotannossa. Myös maatalouden energiankulutus laskee kaikissa skenaarioissa (Kuva 31). Myös maataloudessa lämmityksen energiankulutuksen osuus on suuri.



Kuva 29. Julkisten ja palvelurakennusten sähkön ja lämmityksen energiankulutus (GWh) eri skenaarioissa. Lämmityksen sähkö sisältää sähkölämmityksen ja lämpöpumppujen kuluttaman sähkön. Aurinkolämpö sisältää lämpöpumpuilla ja aurinkokeräimillä kerätyn aurinkolämmön. Sähkön ja kaukolämmön osalta on esitetty kulutettu energiamäärä, muut ovat primäärienergiaa.



Kuva 30. Teollisuuden energian kulutus eri skenaarioissa

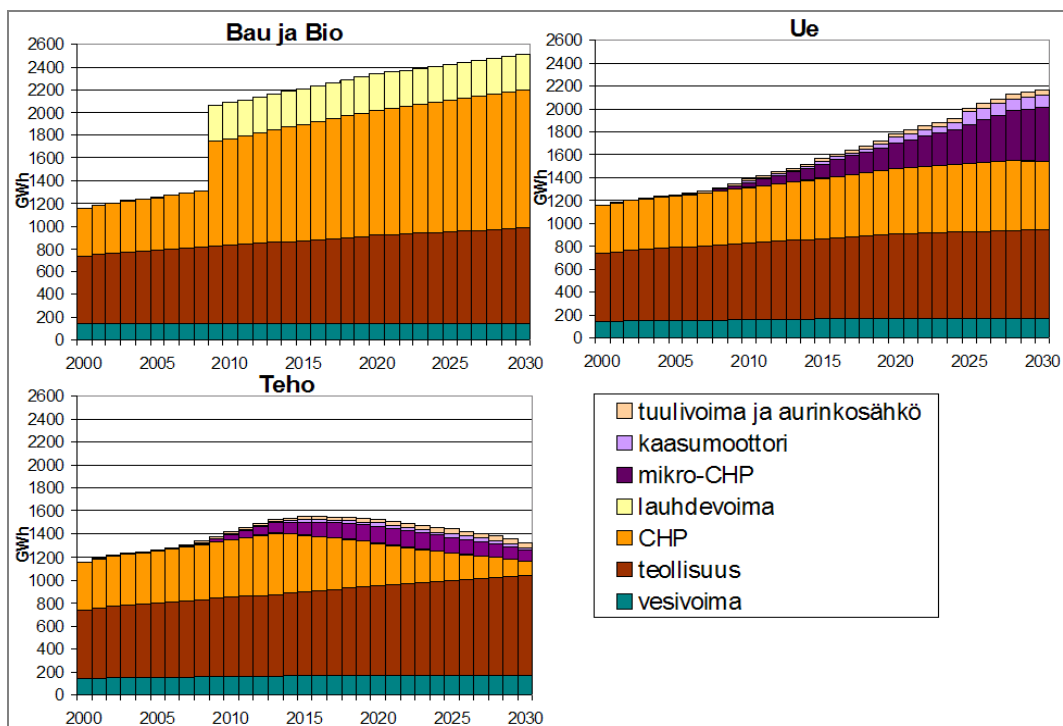


Kuva 31. Maatalouden energiankulutus eri skenaarioissa. Lämmityksen sähkö kuvaa sähkölämmityksen ja lämpöpumpujen sähkön kulutusta. Aurinkolämpö sisältää

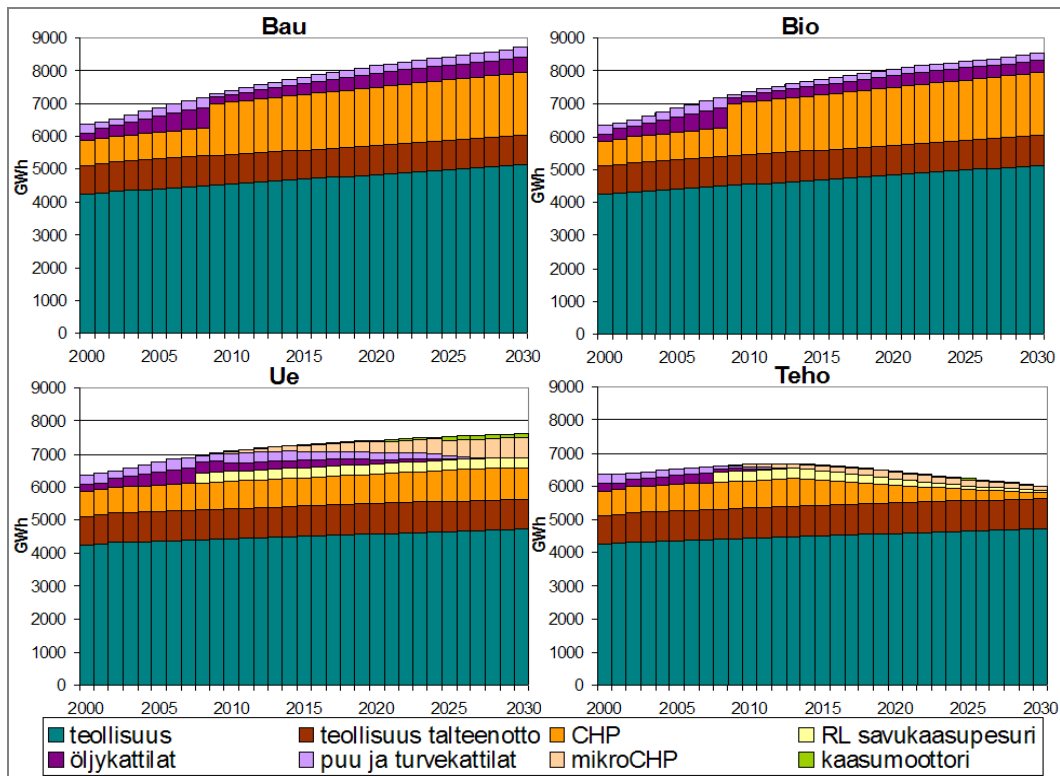
lämpöpumpuilla ja aurinkokeräimillä kerätyn aurinkolämmön. Sähkön ja kaukolämmön osalta on esitetty kulutettu energiamäärä, muut ovat primäärienergiaa.

## 7.2. Energian tuotanto

Energiatuotantosektorien sähkön ja lämmön tuotanto vaihtelee huomattavasti eri skenaarioissa (Kuva 32 ja 33). Suurimmat erot tuotannossa aiheuttaa Bau- ja Bio-skenaarioissa rakennettava uusi CHP-voimalaitos, jota ei ole Ue- ja Teho-skenaarioissa. Teho-skenaariossa energiansäästön myötä yhteistuotannon ja lämpölaitoksien energiantuotanto vähenee ja lämpölaitoksien tuotanto loppuu kokonaan. Tämä johtuu LEAP-ohjelman tavasta laskea energiantuotannon tarve ketjussa alaspäin. Teollisuus on mallinnettu ketjuun ensimmäisenä, jolloin sen tuottama energia täyttää tarpeen lähes kokonaan Teho-skenaarion loppupuolella. Tilanne ei välttämättä vastaa todellisuutta. Todennäköisesti energiantuotanto laskisi tasaisemmin eri tuotantomuodoissa. Lämmön tarpeen täytyessä keskityttäisiin sähkön tuotantoon, jota joudutaan tuomaan maakunnan ulkopuolelta. Lämpökattiloita käytetään huippukulutuksen aikana, mitä tässä tutkielmassa ei ole mallinnettu, vaan kulutuksen oletetaan olevan tasaista. Todennäköisesti lämpölaitoksien kattiloiden käyttö ei loppuisi vaan jatkuisi huippukulutuksen aikoina.



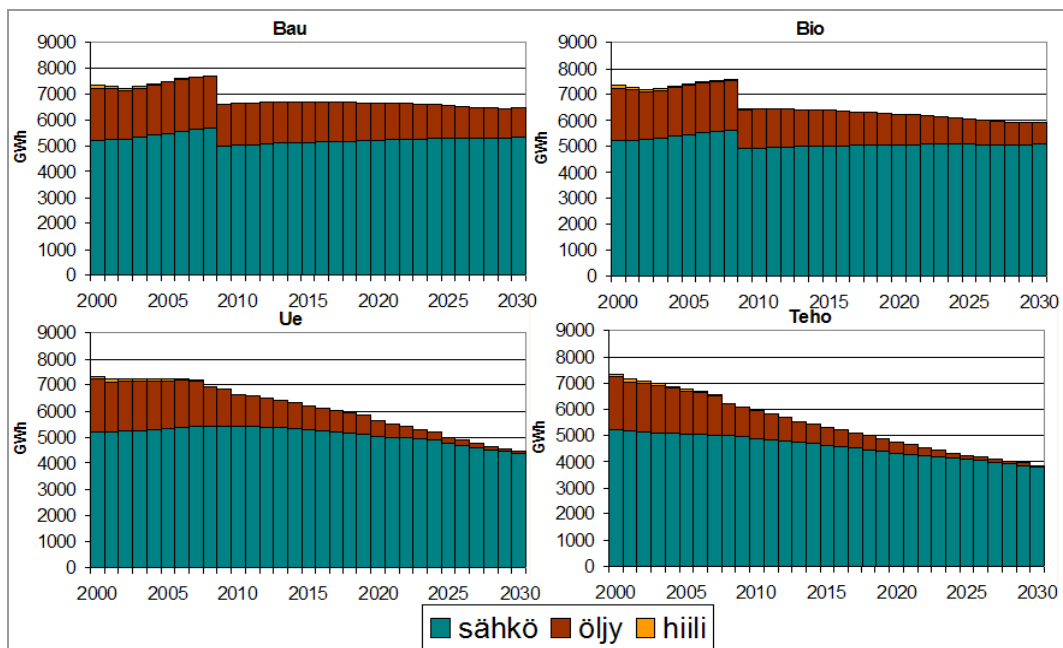
Kuva 32. Sähkön tuotanto (GWh) eri skenaarioissa



Kuva 33. Lämmön tuotanto (GWh) eri skenaarioissa.

### 7.3. Polttoaineiden riittävyys

Skenaarioissa arvioitiin Keski-Suomen omia polttoaineiksi soveltuvia energiavaroja. Skenaarioiden tavoitteena oli myös arvioida energiaomavaraisuutta. Kaikki skenaarioissa käytetyt polttoaineet pystytään arvioiden mukaan tuottamaan Keski-Suomessa. Ulkopuolelta tarvitsee tuoda vain fossiilisia polttoaineita ja sähköä (Kuva 34). Näidenkin tuonti pienenee Ue- ja Teho-skenaarioissa.

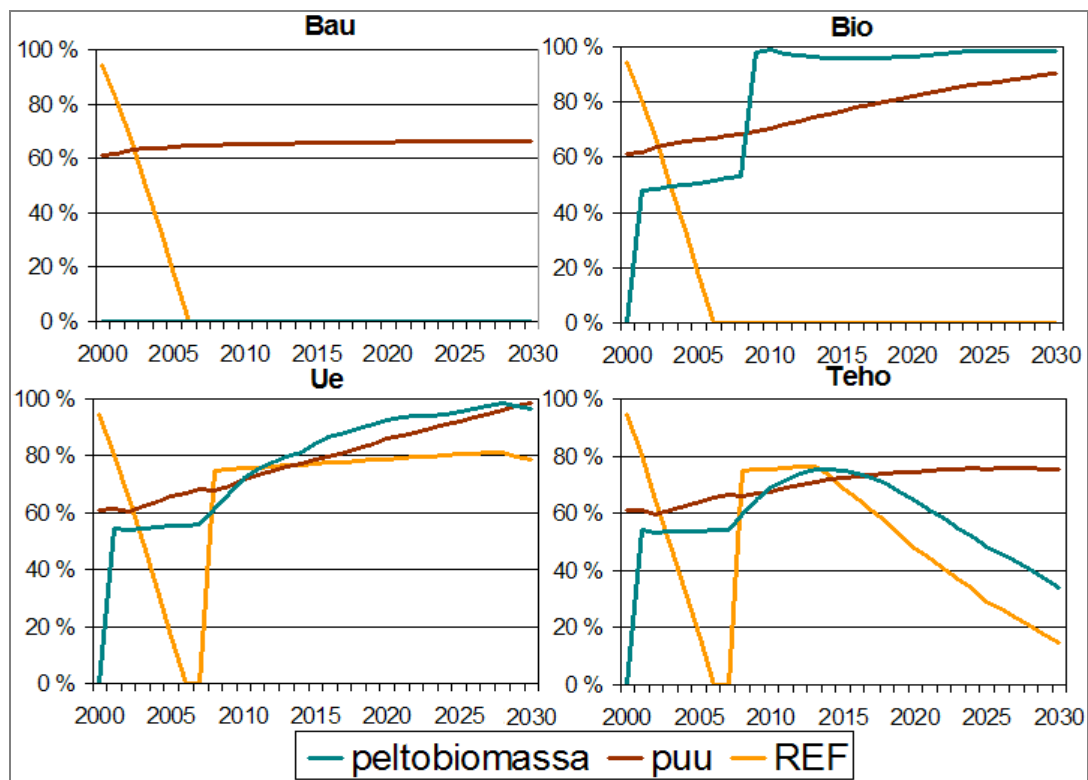


Kuva 34. Polttoaineiden ja energian tuonti eri skenaarioissa



Bau- ja Bio-skenaarioissa uuden voimalaitoksen myötä turpeen kulutus lähes kaksinkertaistuu ja ylittää vuoden 2002 vuosittaisen saannon 2 735 GWh. Jotta tämä turvemäärä voitaisiin tuottaa Keski-Suomessa, on tehtävä uusia aluevarauksia ja saatava turvetuotannolle tarvittavat ympäristöluvut.

Kuvassa 35 on esitetty muutaman merkittävän Keski-Suomessa tuotettavan polttoaineen kulutuksen osuus koko polttoainepotentiaalista. Ue-skenaariossa, jossa energian kulutus ei vielä lähde merkittävään laskuun ja biomassan käyttöä lisätään, puun ja peltobiomassan kulutus lähes saavuttaa vuosittaisen saannon. Teho-skenaariossa kierrätyspolttoaineen ja peltobiomassan tarve näyttää laskevan, mikä johtuu energian tarpeen ja sitä kautta energiantuotannon pienenemisestä. Energiantuotanto ei välttämättä käyttäytyisi tällä tavalla (katso kappale 7.2) ja polttoaineita voitaisiin myydä maakunnan ulkopuolelle.

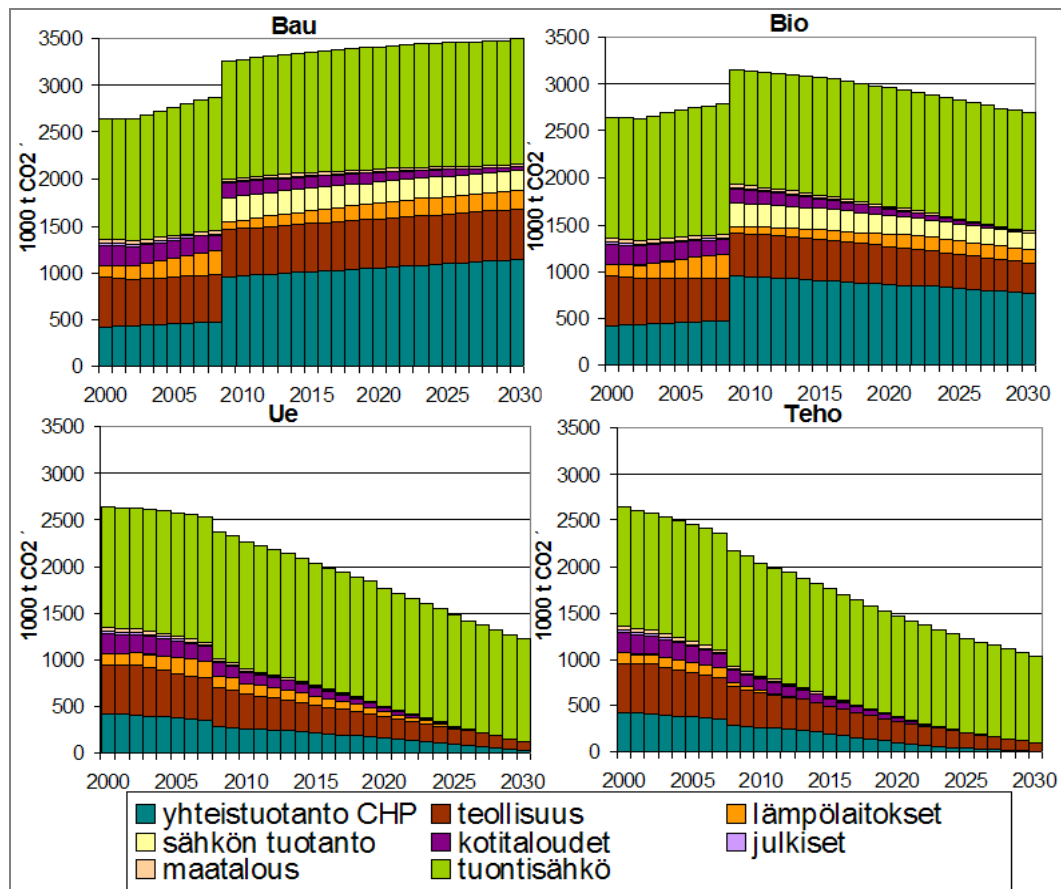


Kuva 35. Polttoaineiden käytön osuus koko potentiaalista eri skenaarioissa.

#### 7.4. Hiilidioksidipäästöt

Keski-Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöt vähenevät merkittävästi Ue- ja Teho skenaarioissa (Kuva 36). Bio-skenaariossa ne laskevat lähes vuoden 2000 päästötasolle, vaikka uusi CHP-voimalaitos rakennetaan. Ue- ja Teho-skenaarioiden päästöjen vähennys on moninkertainen Bau- ja Bio-skenaarioihin verrattuna. Keski-Suomen päästöistä yhteistuotannon ja teollisuuden energiantuotannon päästöt ovat suurimmat. Näissä sektoreissa tuotetaan myös eniten energiaa ja käytetään turvetta. Kuvassa 32 on arvioitu myös maakunnan ulkopuolelta tuodun sähkön hiilidioksidipäästöjä. VTT:n tiedotteessa (Mäkinen ym. 2006) on arvioitu Suomessa tuotetun sähkön päästöjen vaihteluväliksi 200-300 g CO<sub>2</sub>/kWh. Kuvassa 36 oletetaan tuontisähkön päästöiksi 250 g CO<sub>2</sub>/kWh. Ue- ja Teho-skenaarioissa tuontisähkön päästöt nousevatkin erittäin merkittäväksi päästölähteeksi. Todennäköisesti kuitenkin muuallakin Suomessa

energiantuotannon hiilidioksidipäästöt laskevat, kun tässä päästötason oletetaan pysyvän samana.



Kuva 36. Hiilidioksidipäästöt polttoaineiden käyttökohteissa eri skenaarioissa sekä tuontisähkön arvioidut päästöt.

### 7.5. Herkkyystarkastelu

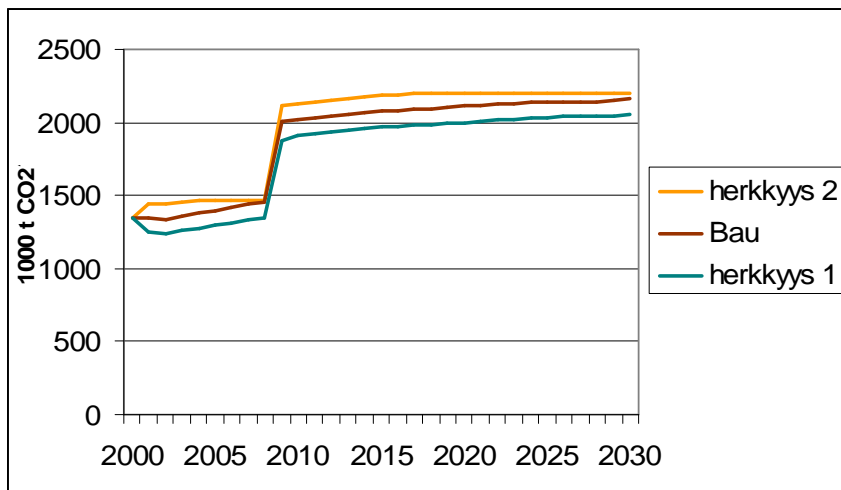
Malleista saatavat tulokset riippuvat mm. skenaarioiden oletuksista. Oletukset eivät aina vastaa todellisuutta. Siksi on hyvä tehdä herkkyystarkastelua, jolla saadaan selville, miten herkkiä tulokset ovat eri oletusten muutoksille. Kaikki tässä esitetyt herkkyystarkastelut on tehty Bau-skenaariolle.

Yleisesti ottaen väestön muutos on yksi olennaisimmista oletuksista. Tässä mallissa väestö ei kuitenkaan vaikuta kuin kotitalouksien määrään. Todellisuudessa väestön muutos vaikuttaisi kaikkiin kulutussektoreihin: julkisiin tiloihin ja palvelurakennuksiin, maatalouteen ja teollisuuteen. Niinpä kahdessa ensimmäisessä herkkyystarkastelussa vaikutetaan näiden sektoreiden aktiivisuuden määreisiin: väestöön, julkisten ja palvelurakennusten kerrosalaan, pelto- ja puutarha-alaan sekä teollisuuden kokonaisjalostusarvoon. Herkkyys 1 tarkastelussa nämä määreet ovat 5 % pienemmät kuin Bau-skenaariossa ja Herkkyys 2 -tarkastelussa 5 % suuremmat. Näiden tekijöiden vaikutukset kulutukseen ja päästöihin näyttävät olevan suoria (Kuva 37). Herkkyys 2 -tarkastelussa päästöt eivät nouse aivan samassa suhteessa kuin Bau-skenaariossa, sillä alueen energiantuotantokapasiteetti tulee vastaan ja energian tuonti lisääntyy.

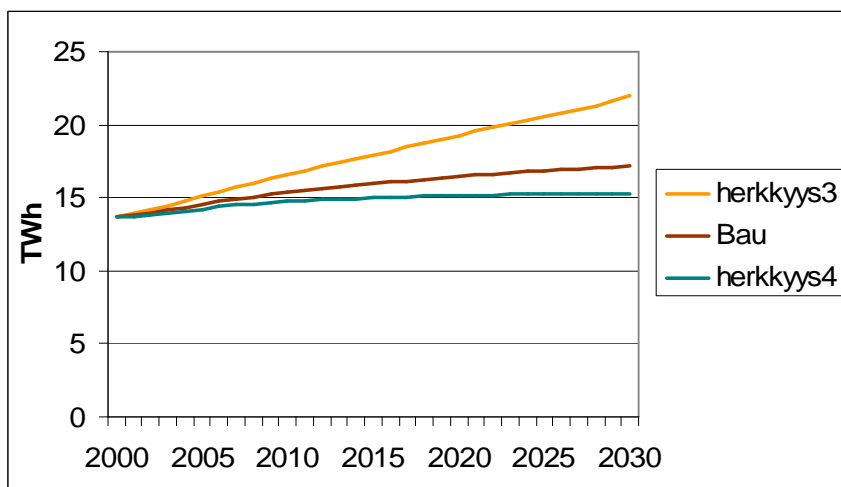
Teollisuus on Keski-Suomessa merkittävin energiankuluttaja ja metsäteollisuus merkittävin teollisuuden ala. Bau-skenaariossa teollisuuden energiankäytön oletetaan

tehostuvan 1,1 % vuodessa. Herkkyys 3 ja 4 -tarkasteluissa selvitetään metsäteollisuuden energiankäytön tehostumisen vaikutuksia energiankulutukseen. Herkkyys 3 -tarkastelussa energiankäyttö tehostuu 0,3 % vuodessa ja Herkkyys 4 -tarkastelussa 1,9 % vuodessa. Herkkyys 4 -tarkastelun tehostumisen nopeus vastaa Teho-skenaariota. Pienempi energiatehokkuuden parannus kasvattaa energiakulutusta voimakkaasti, sillä teollisuuden tuotannon kasvu ylittää energiankäytön tehostumisesta saatavan hyödyn (Kuva 38).

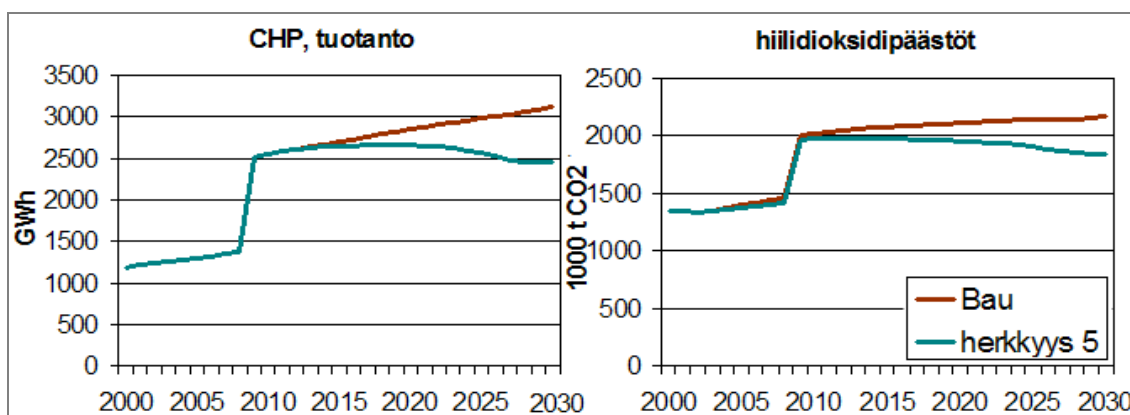
Tuotantosektorin puolelta herkkyystarkasteluun otettiin teollisuuden energiantuotannon maksimi- eli huipun käyttöaika. Herkkyys 5 -tarkastelussa teollisuuden energiantuotannon kattiloiden maksimikäyttöaika nousee 80 %:in, kun Bau-skenaariossa se nousee 65 %:in. Näin teollisuuden energiantuotanto lisääntyy ja se korvaa mallin rakenteessa alempana olevan yhteistuotanto- ja lämpölaitossektorien tuotantoa (Kuva 39). Näin myös päästöt vähenevät, koska teollisuus käyttää energiantuotannossa vähemmän öljyä ja turvetta kuin alemmat sektorit. Tämä kertoo myös siitä, että mallinnetulla tuotantolaitosten järjestyksellä on myös merkitystä skenaarioiden tuloksiin.



Kuva 37. Herkkyystarkastelu väestön, julkisten tilojen ja palvelurakennusten kerrosalan, pelto ja puutarha-alan sekä teollisuuden kokonaisjalostusarvon muutoksien vaikutuksista hiilidioksidipäästöihin. Herkkyys 1 -tarkastelussa määreet ovat 5 % pienemmät ja Herkkyys 2 -tarkastelussa 5 % suuremmat kuin Bau-skenaariossa.



Kuva 38. Metsäteollisuuden energiankäytön tehostumisen muutoksien vaikutus energian kokonaiskulutukseen



Kuva 39. Teollisuuden energiantuotannon maksimikäyttöajan vaikutus sähkön ja lämmön yhteistuotannon energiantuotanto määrään ja koko alueen hiilidioksidipäästöihin.

## 8. TULOSTEN TARKASTELU

Tässä tutkielmassa tutkittiin Keski-Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen kehitystä vuosina 2000-2030 neljän skenaarion avulla. Tarkastelujakson aikana Bau- ja Bio-skenaarioissa energiankulutus jatkaa kasvuaan tasaisesti kun Ue-skenaariossa energiankulutus tasaantuu vuoden 2010 jälkeen. Energiankulutuksen kasvu lakkaa tarkastelujakson aikana vain Teho-skenaariossa, jossa energiatehokkuuden paraneminen ylittää energiaa kuluttavien tekijöiden kasvunopeuden. Bau- ja Bio-skenaarioissa tuontisähkön tarve pienenee Jyväskylän uuden CHP-voimalaitoksen myötä, mutta pysyy sen jälkeen tasaisena. Ue- ja Teho-skenaarioissa energiansäästön myötä tuontisähkön tarve laskee ja omavaraisuus kasvaa. Omavaraisuus kasvaa näissä skenaarioissa myös öljyn käytön vähenemisen myötä. Bau- ja Bio-skenaarioissa Jyväskylän uuden voimalaitoksen turpeen polton päästöt nostavat hiilidioksidipäästöjä. Bau-skenaariossa päästöt jatkavat kasvua koko tarkastelujakson ajan kun Bio-skenaariossa päästöt laskevat takaisin vuoden 2000 tasolle. Ue- ja Teho skenaarioissa hiilidioksidipäästöjen lasku on nopeaa, vaikka mm. teollisuuden jalostusarvon ja palvelujen kehityksen oletetaan olevan lähes yhtä nopeaa kuin Bau- ja Bio-skenaarioissa. Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on mahdollista, vaikka talous jatkaa kasvuaan (Shimada ym. 2007)

Ue- ja Teho-skenaarioiden mukaisella kehityksellä on useita muita positiivisia vaikutuksia kuin hiilidioksidipäästöjen laskeminen. Ue- ja Teho-skenaariossa energiantuotantoon otetaan mukaan uutta teknologiaa ja hajautettu energiantuotanto lisääntyy. Niiden myötä energiaturvallisuuden ja varmuuden voidaan olettaa paranevan. Biomassan ja muun uusiutuvan energian tuotannon lisääminen luo usein myös uusia työpaikkoja (Mæng ym. 1999, Ziegelmann ym. 2000, Sims 2003, Hillebrand ym. 2006, Moreno & López 2006). Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen vaikuttaa myös paikallisten ilmansaasteiden päästöihin. Hiilen ja öljyn korvaaminen vähentää suoraan SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjä. Kasvihuonekaasujen vähentämiseen suunnatut toimet vähentävät SO<sub>x</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöjen vähentämisen kustannuksia (Lehtilä ym. 2005). Puun pienpolton lisääntyminen kuitenkin lisää pienhiukkas- ja VOC-päästöjä. Tämän vuoksi uusille tulisijoille täytyisikin asettaa päästöstandardit, jotta nämä päästöt saadaan hallittua (Syri ym. 2001 ja 2002, Lehtilä ym. 2005).

Useat tekijät luovat epävarmuutta skenaarioiden tuloksiin. Tällaisia ovat mm. lähtötietojen puutteet ja oletukset (Kann & Weyant 2000). Alueellisen tiedon löytäminen on usein vaikeampaa kuin esimerkiksi valtion tasoisen (Shimada ym. 2007). Tässä

tutkimuksessa esimerkiksi energiantuotannon lähtötiedoissa on ollut puutteita ja tuotannon kapasiteettia ja polttoaineiden osuuksia on jouduttu osittain arvioimaan. Näiden arvioiden merkitys lopullisiin hiilidioksidipäästötuloksiin on todennäköisesti suhteellisen pieni. Oletusten oikeellisuutta ei voida tietää. Osa oletuksista perustuu vanhojen trendien jatkamiseen, toisissa kehityksen oletetaan muuttavan. Tässä tutkimuksessa oletetaan mm. teollisuuden jalostusarvon kasvun ja tuotannon muutoksien olevan tasaista, vaikka tuotannossa voi tapahtua hyppäyksiä esimerkiksi uuden tehtaan rakentamisen tai vanhan tehtaan lakkauttamisen myötä. Myös LEAP-ohjelmaan mallinnettu energiantuotannon rakenne ja laitosten mallinnettu järjestys näytti vaikuttavan skenaarioiden tuloksiin. Erityisesti Teho-skenaarioiden loppuvaiheessa mallin rakenne vaikutti energiantuotannon määriin. Teho-skenaariossa energiankulutuksen ja -tuotannon muutokset olivat sen verran suuria, että se olisi vaatinut suurempia muutoksia mallinnettuun energiantuotannon rakenteeseen. Todellisuudessa energialaitosten tuotantojärjestys määräytyisi energiantuotannon kustannusten ja kannattavuuden mukaan. Tässä tutkimuksessa energiantuotannon ja -kulutuksen kustannukset on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

Merkittävimpiä tekijöitä, jotka vaikuttavat Keski-Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöihin tämän tutkimuksen skenaarioissa, ovat energiankulutuksen muutokset ja polttoainevalinnat. Näihin tekijöihin taas vaikuttavat teknologian ja energiaintensiivisyyden kehittyminen, teollisuuden tuotannon määrät sekä energiantuotannon polttoainevalinnat. Nakićenović ym. (1998b) keräsivät useita satoja energiaskenaarioita ja tutkivat niiden ominaisuuksia. Näiden skenaarioiden yhteisiä merkittävimpiä hiilidioksidipäästöihin vaikuttaneita tekijöitä olivat fossiilisten polttoaineiden osuus ja hiilipitoisuus sekä taloudellinen kehitys.

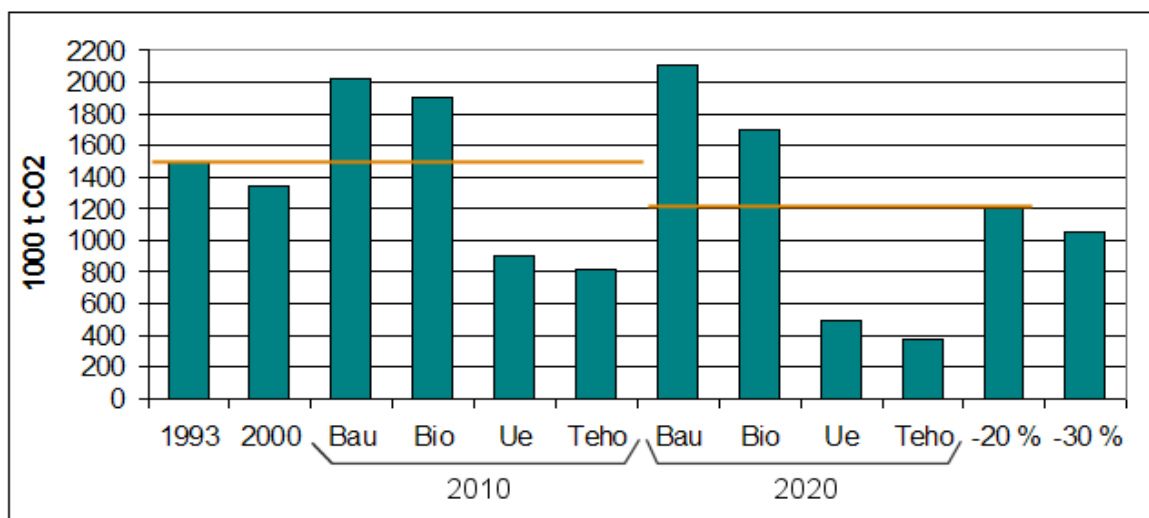
Puu, teollisuuden liemet ja turve ovat merkittävimpiä energiantuotannon polttoaineita Keski-Suomessa tällä hetkellä. Ue- ja Teho-skenaarioissa turpeen käyttö vähenee merkittävästi ja biomassan osuus kasvaa. Biomassan lisääntynyt käyttö edellyttää tehokkaampia energiapuun keräysmenetelmiä metsästä sekä laaja-alaista peltobiomassan hyödyntämistä. Arvioidut biomassan vuosittaiset saannot kuitenkin riittivät kaikissa skenaarioissa maakunnan energiantuotannon tarpeisiin. Biomassalle ja biokaasulle voi kuitenkin olla vaihtoehtoisia käyttökohteita kuten liikenteen polttoaineet, jolloin niiden riittävyys energiantuotantoon voi vaarantua. Vaikka aurinkoenergian ja tuulivoiman hyödyntämistä lisätään, jää niiden osuus näissä skenaarioissa ja tällä aikajaksolla pieneksi. Voidaan kuitenkin olettaa niiden käytön kasvun jatkuvan ja teknologian kehityksen myötä kasvun myös nopeutuvan.

Jätteiden poltto on tällä hetkellä ajankohtainen ja kiistanalainen kysymys. Keski-Suomen energiantuotannon primäärienergiankäytöstä kierrätyspolttoaineen käyttö jää näissä tarkasteluissa suhteellisen pieneksi, jolloin sen vaikutukset hiilidioksidipäästöihinkään eivät ole kovin suuret. Ruotsissa vertailtiin jätteiden polttoa ja kierrätystä energian saannon kannalta. Kierrätys säästää materiaaleja ja energiaa kun jätteiden poltto tuottaa energiaa. Tässä tutkimuksessa tultiin tulokseen, että energian saannon kannalta biojäte ja kartonki kannattaa polttaa kun paperi ja muovi kannattaa kierrättää (Holmgren & Henning 2004). Jätteiden poltolla voi olla negatiivisia vaikutuksia jätehuollon ratkaisuihin. Jätteiden polttolaitos vaatii tasaisen ja suuren jätevirran, mikä voi viedä pohjan jätteiden synnyn ehkäisyltä ja kierrätykseltä.

Turpeen käyttö vaikuttaa merkittävästi skenaarioiden hiilidioksidipäästöihin. Tässä tutkimuksessa kuten myös päästökaupassa turpeelle on määritetty yksi päästökerroin, joka ottaa huomioon vain poltosta syntyvät hiilidioksidipäästöt. Turpeen energiakäytössä syntyy päästöjä myös turpeen tuotantoalueilla ja ne riippuvat voimakkaasti käytetystä suosta ja

suon ennallistamistavasta. Turpeen energiakäytöstä syntyvä säteilypakote voi vaihdella hakkuutähteitä vastaavasta hiiltä vastaavaan riippuen alkuperäisen suon metaanipäästöistä, suon ennallistamistavasta sekä metsitetyn suon metsän kasvunopeudesta (Schilstra 2001, Zetterberg ym. 2004). Todelliset turpeen käytön päästöt saataisiin, jos polton lisäksi otettaisiin huomioon suon ojituksen ja turpeen otosta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ja käytettäisiin suokohtaisia päästökertoimia. Turve on suhteellisen kosteaa polttoainetta. Sen hiilidioksidipäästökerrointa voidaan laskea käyttämällä kuivempaa turvetta.

Suomen veloitteena on Kioton sopimuskaudella 2008-2012 pitää kasvihuonekaasupäästöt vuoden 1990 tasolla. Euroopan komissio on ehdottanut, että Kioton pöytäkirjan päästövelvoitekausien jälkeen teollisuusmaiden tulisi sitoutua vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 30 % vuoden 1990-tasosta ja EU sitoutuisi joka tapauksessa vähentämään hiilidioksidipäästöjään 20 % vuoteen 2020 mennessä (Euroopan yhteisöjen komissio 2007). Jotta valtio voisi päästä päästötavoitteisiin, on niihin päästävä myös alueellisella tasolla. Näin voidaan olettaa, että Keski-Suomen veloitteet ovat samat kuin Suomen veloitteet. Tämän tutkielman Ue- ja Teho-skenaariossa energiantuotannon hiilidioksidipäästöt vähenevät selkeästi alle Kioton pöytäkirjan ja EU:n tavoitteiden (Kuva 40). Bau- ja Bio-skenaariossa ei tavoitteisiin päästä. Jos Keski-Suomen energiantuotannon päästöt kasvavat, on päästövelvoitteisiin pääsemiseksi tehtävä monin verroin enemmän päästöjen vähennystä liikenteen osalta. Liikenteen energiansäästö ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen vaatii enemmän ponnisteluja ja on kalliimpaa kuin energiantuotannossa (IPCC 2001, Blesl ym. 2007)



Kuva 40. Keski-Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöt vuonna 1993 (VTT Energia 1996) ja 2000, ennustetut päästöt vuonna 2010 ja 2020 neljässä eri skenaariossa sekä EU:n komission tavoitteiden mukaiset päästöt. (Vuoden 2010 päästövähennys on laskettu vuoden 1993 tasosta, joka on mahdollisesti pienempi kuin vuoden 1990-taso, sillä laman aikana energiantuotanto on laskenut.)

## 9. JOHTOPÄÄTÖKSET

Keski-Suomen energiantuotannon hiilidioksidipäästöt voivat kehittyä erilaisiin suuntiin riippuen energiantuotannon ratkaisuista ja energiansäästöstä. Jos suunnitteilla oleva uusi voimalaitos rakennetaan Jyväskylään ja se käyttää pääasiassa turvetta polttoaineenaan, energiantuotannon hiilidioksidipäästöt kasvavat voimakkaasti, kuten Bau- ja Bio-skenaariossa on ennustettu. Toisaalta, jos panostetaan energiansäästöön ja

uusiutuvan energian käytön lisäämiseen, voivat Keski-Suomen energiantuotannon päästöt laskea huomattavasti kuten Ue- ja Teho-skenaariossa. Skenaarioiden epävarmuustekijöistä huolimatta voidaan nähdä, että Bau- ja Bio-skenaarioiden mukainen kehitys on lähes päinvastainen kuin Ue- ja Teho-skenaarioiden mukainen kehitys.

Teho-skenaariossa päästöt laskivat lähes 90 % vuoden 2000 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Tämän mahdollistaa teknologian kehitys, joka lisää biopolttoaineiden ja muun uusiutuvan energian saantoa ja vähentää energian kulutusta, jolloin erittäin suuri uusiutuvan energian osuus on mahdollinen. Tällainen päästövähennys tuntuu radikaalilta, mutta skenaario näyttää, että energiatehokkuuden ja uusiutuvan energian käyttö voi tuottaa erittäin suuria päästövähennyksiä.

Jatkossa tulisi päästötarkastelussa tutkia hiilidioksidin lisäksi myös muiden kasvihuonekaasujen päästöjä. Kasvihuonekaasupäästöjä syntyy muistakin toiminnoista kuin energiantuotannosta. Kasvihuonekaasupäästötarkasteluun tulisikin ottaa mukaan mm. liikenteen, maatalouden, jätehuollon ja maankäytön kasvihuonekaasupäästöt. Tässä tutkielmassa ei ole myöskään käsitelty kustannuksia, joiden sisällyttäminen tarkasteluun voisi helpottaa päätöksentekoa eri teknologisten ratkaisujen välillä.

## KIRJALLISUUS

- Adato Energia Oy 2001: Sähkö ja kaukolämpö 2000. - Adato Energia Oy, Energia-alan keskusliitto ry, Suomen kaukolämpö ry, Sähköenergialiitto ry. 60 s.
- AD-Nett 2005: The European Anaerobic Digestion Network homepage. AD Basics. - <<http://www.adnett.org/index.html>> 14.6.2006
- Aittomäki, A., Kianta, J., Haapalainen, H. & Simppala, M. 1999: Pientalolämpöpumppujen toiminta käyttökohteissa. – Tampereen teknillinen korkeakoulu, Energia- ja prosessiteknikka. 35 s. <<http://www.tut.fi/units/me/ener/julkaisut/LP-Rap.pdf>> 13.6.2006
- Aittomäki, A. 2001: Lämpöpumppulämmitys. – Suomen lämpöpumppuyhdistys ry, Tampere. 22 s.
- Alakangas, E. 2000: Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. – VTT tiedotteita 2045, Espoo. 196 s.
- Anderson, C.D. & Claxton, J.D. 1982: Barriers to Consumer Choice of Energy Efficient Product. – Journal of Consumer Research 9 s. 1163-1168 (Ref. IPCC 2001)
- Anonyymi 2001: Kansallinen ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle. - VNS 1/2001 vp. 96 s. <[http://ktm.elinar.fi/ktm\\_jur/ktmjur.nsf/All/58DF3F554AE83273C2256A1C00240943/\\$file/selonteko\\_1503\\_lopullinen.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/58DF3F554AE83273C2256A1C00240943/$file/selonteko_1503_lopullinen.pdf)> 7.6.2007
- Bacman, R., Hupa, M. & Söderhjelm, L. 1996: Mustalipeän polttotekniset ominaisuudet. - Åbo Akademi, Turku. 71 s.
- Barro, R.J. 1997: Determinants of economic growth: a cross-country empirical study. – The MIT Press, Cambridge. 145 s.
- Berninger, K. 1995: Energia ja muuttuva ympäristölainsäädäntö. Yhteenveto energia-alaan vaikuttavista kansallisista ja kansainvälisistä ympäristösäädöksistä ja –sopimuksista sekä yritysten vapaaehtoisista toimista. - Teollisuuden energialiitto, Helsinki. 148 s.
- Biokaasukeskus ry 2005: Biokaasu. Puhdasta uusiutuvaa energiaa. – esite <<http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/docs/esite2005.pdf>> 14.6.2006
- Blesl, M., Das, A., Fahl, U. & Remme, U. 2007: Role of energy efficiency standards in reducing CO<sub>2</sub> emissions in Germany: An assessment with TIMES. - Energy Policy 35 s. 772-785
- Borchiellini, R., Massardo, A.F. & Santarelli, M. 2000: Analytical procedure for carbon tax evaluation. - Energy Conversion & Management 41 s. 1509-1531
- Boyle, G. (edit.) 2004: Renewable energy, Power for sustainable future. – Oxford University Press, Glasgow, 452 s.
- CAE 1996: Energy Efficiency, a guide to current and emerging technologies vol. 2. Industry and Primary production: Transport. - Centre for Advanced Engineering (CAE), University of Canterbury, New Zealand, 488 s. (ref. IPCC 2001)
- Capros, P., Georgakopoulos, P., Van Regemorter, D., Proost, S., Schmidt, T.F.N., Koschel, H., Conrad, K. & Vouyoukas, E.L. 1999: Climate Technology Strategies 2, the macro-economic cost and benefit of reducing greenhouse gas emissions in the European Union. -Physica-Verlag Heidelberg, Germany, 224 s.
- Clinch, J.P. & Healy, J.D. 2001: Cost-benefit analysis of domestic energy efficiency. - Energy Policy 29 s. 113-124
- Clinch, J.P., Healy, J.D. & King, C. 2001: Modelling improvements in domestic energy efficiency. - Environmental Modelling & Software 16 s. 87-106
- Dahlbo, H., Myllymaa, T., Tohka, A. & Tenhunen, J. 2006: Jätteen poltto vai kierrätys. Energia- ja materiaalihyödyntämisen vahvuudet ja heikkoudet ympäristön kannalta. - Suomen



- ympäristökeskus Valtsu seminaari 9.5.2006. 21 s.  
<<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=51712&lan=fi>> 14.6.2006
- Davis, G.R. 1999: Foreseeing a refracted future. - Scenario & Strategy Planning, 1 s. 13-15. (Ref. IPCC 2000)
- Dosi, G., Pavitt, K. & Soete, L. 1990: The economic of technical change and international trade. - BPC Wheatons Ltd., Iso-Britannia. 303 s.
- EC 2004: European energy and transport: scenarios on key drivers. - European commission Directorate-General for Energy and Transport, Luxembourg. 262 s.
- EC 2005a: EU action against climate change, EU emission trading an open scheme promoting global innovation. - European commission, Belgium. 20 s.
- EC 2005b: Review on EU Emissions Trading Scheme, Survey Highlights. - European Commission Directorate-General for Environment, McKinsey & Company, Ecofys. 22 s.  
<[http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/highlights\\_ets\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/highlights_ets_en.pdf)> 6.7.2006
- EIA 1991: Near-Term, Midterm and Long-term Forecasting in the National Energy Modeling System. - NEMS Project Office, Washington, DC. (Ref. Kydes ym. 1995)
- Energiategollisuus ry 2005: Energiategollisuus ry:n kotisivu. Kaukolämpö Suomessa, jakelu - <<http://www.energia.fi/page.asp?Section=3622>> 29.11.2005
- Erat, B., Erkkilä, V., Löfgren, T., Nyman, C., Peltola, S. & Suokivi, H. 2001: Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. – Aurinkoteknillinen yhdistys ry, Nurmijärvi. 219s.
- Euroopan yhteisöjen komissio 2007: Energiapolitiikka Euroopalle. - Komission tiedonanto Eurooppa-neuvostolle ja Euroopan parlamentille, Bryssel. 31 s.  
<[http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/com/2007/com2007\\_0001fi01.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/com/2007/com2007_0001fi01.pdf)> 29.1.2007
- EWEA & Greenpeace 2005: Wind force 12. A blueprint to achieve 12 % of the world's electricity from wind power by 2020. - Global Wind Energy Council, 47 s.  
<[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/publications/WF12/wf12-2005.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WF12/wf12-2005.pdf)> 19.2.2007
- Fearnside, P.M. 2002: Why a 100- year time horizon should be used for global warming mitigation calculation. - Mitigation and adaptation strategies for global change 7 s. 19-30.
- Finbio ry 2005: Bioenergia Suomessa. - <<http://www.finbioenergy.fi/>> 5.6.2006
- Flyktman, M. & Paappanen, T. 2005: Ruokohelven käyttökapasiteetti selvitys. - VTT Prosessit, Tutkimuslaskutus PRO 2105/06, Jyväskylä. 28 s.
- Ford, A. 1999: Modeling the environment an introduction to system dynamics models of environmental systems. – Island Press, Washington DC. 395 s
- Fortum Oyj 2002: Raskaan polttoöljyn käyttöopas - <<http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,63,310,355,1759>> 2.2.2006
- Frei, C.W., Haldi, P.-A. & Sarlos, G. 2003: Dynamic formulation of a top-down and bottom-up merging energy policy model. - Energy Policy 31 s.1017–1031
- Gritsevich, I. 2000: Motivation and Decision Criteria in Private Households, Companies and Administration on Energy Efficiency in Russia. - Proceeding of the IPCC Expert Meeting on Conceptual Frameworks for Mitigation Assessment from the Perspective of Social Science, 21.-22. March 2000, Karlsruhe (Ref. IPCC 2001)
- Hagström, M., Vartiainen, E. & Vanhanen, J. 2005: Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys. Loppuraportti. – Gaia Group Oy, Helsinki. 77 s.
- Hakkila, P. & Heiskanen, V. 1978: Puun ja puutavaran ominaisuuksia. - Teoksessa Tapion taskukirja 18. painos. Keskusmetsälautakunta Tapio, Jyväskylä. s. 448-459 (Ref. Taipale 1996)

- Heikkilä, I., Ahokas, M., Pekkarinen, S., Pyyppönen, E., Mikkonen, P., Ryymin, R., Ryyppö, M., Kuisma, T., Mäki, J., Tissari, V., Karvonen, M., Martikainen, E., Puuronen, M. & Luukkonen, P. 2004: Jätteenpolttto Keski-Suomessa. - Jätteenpoltttostrategiatyöryhmän loppuraportti. Keski-Suomen Liitto, Jyväskylä Science Park. 25 s.
- Helynen, S., Lindh, T. & Vesterinen, P. 2003: Keski-Suomen energiasuunnitelma 2003 - Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Keski-Suomen liitto 2003, Jyväskylä.
- Helynen, S., Sipilä, K., Peltola, E. & Holttinen, H. 2002: Uusiutuvat energianlähteet vuoteen 2030 Suomessa. - Eduskunnan kanslian julkaisu 6/2002, Helsinki. 51 s.
- Helynen, S., Holttinen, H., Lund, P., Sipilä, K., Wolff, J. & Alakangas, E. 1999: Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman taustaraportti. - Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 24/1999, Helsinki. 112 s.
- Hennicke, P. & Fishedick M. 2006: Towards sustainable energy systems: the related role of hydrogen. - Energy Policy 34 s. 1260-1270
- Hillebrand, K. & Wihersaari, M. 1993: Turpeen tuotannon ja käytön kasvihuonevaikutukset. - Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Katsauksia B:143, Helsinki. 57 s.
- Hillebrand, B., Buttermann, H.G., Behringer, J.M. & Bleuel, M. 2006: The expansion of renewable energies and employment effects in Germany. - Energy Policy 34 s. 3484-3494
- Holmgren, K. & Henning, D. 2004: Comparison between material and energy recovery of municipal waste from energy perspective, a study of two Swedish municipalities. - Resources, Conservation and Recycling 43 s. 51-73
- Holmgren, K., Kirkkinen, J & Savolainen, I. 2006: The climate impact of energy peat utilization - Comparison and sensitivity analysis of Finnish and Swedish results. - Swedish environmental research institute Ltd. (IVL), Report B1681, Stockholm. 48 s.  
<<http://www.ivl.se/rappporter/pdf/B1681.pdf>> 8.6.2007
- Holttinen, H., Liukkonen, S., Furustam, K.-J., Määttänen, M., Haapanen, E. & Holttinen, E. 1998: Offshore-tuulivoima Perämeren jääolosuhteissa. - Valtion teknillinen tutkimuskeskus, julkaisuja 828. 188 s.
- Holttinen, H. 2006: Tuulivoiman tuotantotilastot, vuosiraportti 2005. - Valtion teknillinen tutkimuskeskus Working Papers 55, Espoo. 37 s.  
<<http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W55.pdf>> 16.1.2007
- Huntington, H.G. & Weyant, J.P. 2002: Modeling energy markets and climate change policy. - Energy Modeling Forum, Occasional Papers 52.
- ICC Finland 2006: ICC Business Charter. - Kansainvälisen kauppakamarin suomalaiset kotisivut  
<<http://www.iccfin.fi/peruskirja.asp>> 18.8.2006
- IEA 1998: Mapping the energy future energy modelling and climate change policy. Energy and environment policy analysis series. - IEA Publications, Pariisi. 83 s
- IEA 2004: Renewable Energy, Market & Policy Trends in IEA Countries. - Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), International Energy Agency (IEA), France. 668 s.
- IPCC 1996a: Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific-Technical Analyses. - Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmenta Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 878 s.
- IPCC 1996b: The Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. - <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm>> 19.2.2007
- IPCC 2000: Special Report on Emissions Scenarios. -  
<<http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>> 12.7.2004

- IPCC 2001: Climate Change 2001: Mitigation. - Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge university press, 752 s.
- IPCC 2005: Carbon Dioxide capture and storage – IPCC Special Report , Cambridge university press, Canada. 431 s.  
<[http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages\\_media/SRCCS-final/IPCCSpecialReportonCarbonDioxideCaptureandStorage.htm](http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/IPCCSpecialReportonCarbonDioxideCaptureandStorage.htm)> 21.6.2006
- IPCC 2006: 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. - IPCC national greenhouse gas inventories programme, Hayama, Japan
- IPCC 2007: Climate change 2007: The Physical Science Basis. Summary of policymakers - Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneve, 18 s. <<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>> 19.2.2007
- Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2004: Rauhalahden voimalaitoksen ympäristölupa ja veden johtamista Jyväsjärvestä voimalaitokselle koskeva vesitalouslupa - Päätös nro 84/04/1
- Jefferson, M. 1983: Economic uncertainty and business decision-making. – teoksessa: Wiseman, J. (ed.): Beyond Positive Economics?, Macmillan Press, London. s. 122-159. (Ref. IPCC 2000)
- Jylhä, T., Kalevi, J., Kangas, H., Savolainen, T. & Tiitinen, M. 2002: Sähkö ja kaukolämpö 2001, vuosikirja. - Adato Energia Oy, Energia-alan keskusliitto ry, Suomen kaukolämpö ry, Sähköenergialiitto ry, Rauma. 64 s.
- Jylhä, T., Kalevi, J., Kangas, H., Savolainen, T. & Tiitinen, M. 2003: Sähkö ja kaukolämpö 2002, vuosikirja - Adato Energia Oy, Energia-alan keskusliitto ry, Suomen kaukolämpö ry, Sähköenergialiitto ry, Rauma. 64 s
- Jyväskylän energia Oy 2005: Jyväskylän voimalaitoshanke, Ympäristövaikutusten arviointiselostus. - Enprima Oy, 125 s.
- Kalmari, J. 2006: Maatilakohtaisen biokaasulaitosinvestoinnin kannattavuus suomalaisella sikatilalla. - Helsingin yliopisto, taloustieteen laitos, selvityksiä nro 42. 70 s.  
<<http://www.honeybee.helsinki.fi/mmtal/abs/selv42.pdf>> 19.2.2007
- Kann, A. & Weyant, J.P. 2000: Approaches for performing uncertainty analysis in large-scale energy/economic policy models. – Environmental Modeling and Assessment 5 s. 29-46
- Kauppinen, V-P. 2006: Keski-Suomen metsävarat, metsäenergiavarat, kuntayhteenvedot. - <<http://www.kase.fi/metsakeskukset/ks/metsavarat/energiapuuvarat/valikkosivu.php?docId=1>> 14.2.2006.
- Keskitalo, J. 2005: Maapallon muuttuva ilmasto. - Tammi, Helsinki. 255 s.
- Komor, P.S. & Wiggins, L.L. 1988: Predicting conservation choice: beyond the cost-minimization assumption. - Energy 13(8) s. 633-645 (Ref. IPCC 2001)
- Korhonen, A., Pihala, H., Ranne, A., Ahponen, V. & Sillanpää, L. 2002: Kotitalouksien ja toimitilojen laitesähkön käytön tehostaminen.- Työtehoseuran julkaisuja 384, Helsinki. 158 s.
- Kovanen, U.-M., Heiskanen, U. & Säfsen, K. (edit.) 2004: EMAS Statement 2003-2005, Information about how M-real Kangas registers, manages and develops environmental compatibility. - M-Real Kangas, F.G. Lönnberg, 22 s.
- Kovanen, U.-M., Vitikainen, M.-L. & Säfsen, K. (toim.) 2004: EMAS Ympäristöselonteko 2003-2005, Keskeiset tiedot ympäristövaikutuksista ja ympäristönsuojelun tason kehittymisestä. - M-Real Äänekoski Paper, F.G. Lönnberg, 22 s.  
<[http://ec.europa.eu/environment/emas/pdf/es\\_library/21\\_1fi\\_m\\_realkangas03\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/emas/pdf/es_library/21_1fi_m_realkangas03_en.pdf)> 5.2.2007

- KTM 1997: Energiatalous 2025: Skenaariotarkasteluja. - Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja, Energiaosasto, Helsinki. 95 s.
- KTM 2003: Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003-2006. Työryhmän ehdotus. - Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 5/2003 Energiaosasto. 56s.  
<[http://ktm.elinar.fi/ktm\\_jur/ktmjur.nsf/All/4B1BDE137F9B5121C2256CE5002B3AC1/\\$file/tyto5eos.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/4B1BDE137F9B5121C2256CE5002B3AC1/$file/tyto5eos.pdf)> 1.6.2006
- KTM 2004a: Hiilidioksidipäästöjen ja päästöoikeuksien jakoperusteet Suomessa vuosille 2005-2007 sekä eräitä suuntaviivoja vuosille 2008-2012. - EY:n päästökauppadirektiivin mukaisten päästöoikeuksien laskentaperusteita valmistelleen työryhmän mietintö, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Helsinki, 48 s.  
<[http://www.ktm.fi/files/13629/kriteerityOryhmAn\\_mietintO.pdf](http://www.ktm.fi/files/13629/kriteerityOryhmAn_mietintO.pdf)> 15.2.2007
- KTM 2004b: Vesivoimatuotannon määrä ja sen lisäämismahdollisuudet Suomessa. - Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Helsinki. 31s.  
<[http://ktm.elinar.fi/ktm\\_jur/ktmjur.nsf/0/6638e6ebaa886908c225701900465f55/\\$FILE/334642004.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/0/6638e6ebaa886908c225701900465f55/$FILE/334642004.pdf)> 9.2.2007
- KTM 2006: Kauppa- ja teollisuusministeriön kotisivut, Energia, Energiaverot. -  
<<http://www.ktm.fi/index.phtml?s=193>> 4.7.2006
- Kydes, A.S., Shaw, S.H. & McDonald, D.F. 1995: Beyond the horizon: recent directions in long-term energy modeling. - Energy 20(2) s. 131-149
- Laine, R. & Sahrman, K. 1985: Puupolttoaineiden ominaisuudet ja hinnotteluperustelut. - Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 513. Turku. 68 s.
- Laine, J. & Saari, M. 1998: ESPI-matalaenergiapientalot. - Valtion teknillinen tutkimuskeskus rakennustekniikka, Espoo. 76 s.
- Lampinen, A. & Jokinen, E. 2006: Maatilojen energiantuotantopotentiaalit. Ekologinen perspektiivi - Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 84. 126 s.
- Lashof, D.A. 1991: EPA's Scenarios for future greenhouse gas emissions and global warming. - Energy Journal 12(1) s. 125-147
- Lehtilä, A. & Tuhkanen, S. 1999: Integrated cost-effectiveness analysis of greenhouse gas emission abatement. The case of Finland. - Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Publications 374, Espoo. 145 s.
- Lehtilä, A., Savolainen, I. & Syri, S. 2005: The role of technology development in greenhouse gas emissions reduction: The case of Finland - Energy 30 s. 2738-2758
- Lynn, P., Michaelis, L., Worrel, E. & Khrushch, M. 1998: Sectoral trends and driving forces of global energy use and greenhouse gas emissions. - Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 3 s.263-319
- Martinsen, D., Krey, V. & Markewitz, P. 2007: Implication of high energy prices for energy system and emissions - The response from an energy model for Germany. - Energy Policy (2007) (in press)
- Massardo, A.F., Santarelli, M. & Borchiellini, R. 2003: Carbon exergy tax (CET): its impact on conventional energy system design and its contribution to advanced systems utilisation. - Energy 28 s. 607-625
- McNiven, U. 2006: Voimalaitoksien käyttäjän ja kunnossapitäjän näkökulma Jyväskylän energiaratkaisuun. - Jyväskylän energiaratkaisut -SCOMA seminaari 16.8.2006 Jyväskylä
- Meadows, D., Randers, J. & Meadows, D. 2005: Kasvun rajat. 30-vuotta myöhemmin - Gaudeamus, Tampere. 334 s.
- Meier, A., Huber, W. & Rosen, K. 1998: Reducing leaking electricity to 1 watt. - Washington DC. (Ref. IPCC 2001)

- Mellinger, G. & Downs, K. 1992: Development and application of vacuum insulation technology to refrigerators. - Int. Conf. CFC and Halon alternatives, Washington DC. (Ref. Turiel ym. 1997)
- Meng, F.-R., Bouque, C., Oldford, S.P., Swift, D.E. & Smith H.C. 2003: Combining carbon sequestration objectives with timber management planning. - Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 8 s. 371-403
- Metsäteollisuus ry 2005: Ympäristönsuojelun vuosikirja 2005. Massa- ja paperiteollisuus, puutuoteteollisuus. Tilastot vuodelta 2004. - Metsäteollisuus ry, Helsinki. 28 s.
- Michaelis, L. 1998: Economic and technological development in climate scenarios. - Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 3(2-4) s. 231-261.
- Moreno, B. & López, A.J. 2006: The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain). - Renewable and Sustainable Energy Reviews 2007 (in Press)
- Motiva 2004: Maalämmön käyttö Suomessa. - <http://www.motiva.fi/fi/kirjasto/uusiutuvatenergialahteetsuomessa/maalampo/maalammonkayttosuomessa.html> 2.1.2007
- Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pahkala, K. & Mikkola, H. 2006: Liikenteen biopolttonaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. - Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 2357, Espoo. 134 s.
- Määttä, T. & Paananen, M. 2005: Keski-Suomen bioenergiastrategia 2010 ja 2025. - [www.contim.fi/files/KSbioenergiastrategia\\_raportti2005.pdf](http://www.contim.fi/files/KSbioenergiastrategia_raportti2005.pdf) 20.2.2006
- Möllersten, K., Yan, J. & Westermark, M. 2003: Potential and cost-effectiveness of CO<sub>2</sub> reductions through energy measures in Swedish pulp and paper mills. - Energy 28 s. 691-710
- Mæng, H., Lund, H. & Hvelplund, F. 1999: Biogas plants in Denmark: technological and economic developments. - Applied Energy 64 s. 195-206
- Nakićenović, N., Grübler, A. & McDonald, A. (toim.) 1998a: Global energy perspectives. - IIASA, World energy council, Cambridge. 299 s.
- Nakićenović, N., Victor, N. & Morita, T. 1998b: Emissions scenarios database and review of scenarios. - Mitigation and Adaptation of Global Change 3 s. 95-120
- Nakata, T. 2004: Energy-Economic models and the environment. - Progress in Energy and Combustion Science 30 s. 417-475
- Nilsson, K. & Nilsson M. 2004: The climate impact of energy peat utilisation in Sweden - the effect of former land-use and after-treatment. - Swedish environmental research institute IVL, Report B1606, Stockholm. 91 s. < <http://www.ivl.se/rapporter/pdf/B1606.pdf> > 8.6.2007
- Nyström, I. & Cornland, D.W. 2003: Strategic choices: Swedish climate intervention policies and the forest industry's role in reducing CO<sub>2</sub> emissions. - Energy Policy 31 s. 937-950
- OECD 1994: Managing the Environment. The Role of economic instruments. - Organisation for Economic Co-operation and Development, Pariisi. (Ref. Capros ym. 1999)
- OECD 1997: Evaluating economic instruments for environmental policy. - Organisation for Economic Co-operation and Development, Pariisi. (Ref. Capros ym. 1999)
- Oksanen, S. (toim.) 1992: Pienvesivoima ja sen kehittämismahdollisuudet. - Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Katsauksia B:113, Helsinki. 55 s.
- Pellikka, J. & Saviharju, K. 1983: Kuoren ja puujätteen poltto. - Teoksessa: Puumassan valmistus II osa 2. Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja, Turku. s. 1519-1982. (Ref. Taipale 1996)

- Peltola, A. (toim.) 2002: Metsätilastollinen vuosikirja 2002. - Metsäntutkimuslaitos, Helsinki. 378 s.
- Peltola, A. (toim.) 2003: Metsätilastollinen vuosikirja 2003. - Metsäntutkimuslaitos, Helsinki. 388 s.
- Peltola, A. (toim.) 2004: Metsätilastollinen vuosikirja 2004. - Metsäntutkimuslaitos, Helsinki. 416 s.
- Peltola, A. (toim.) 2005: Metsätilastollinen vuosikirja 2005. - Metsäntutkimuslaitos, Helsinki. 424 s.
- Pienvesivoimayhdistys ry 2003: Pienvesivoima on puhdasta uutta energiaa – esite. 2 s.  
<[http://server.perlasoft.fi/vesivoima/DOMINAR/Images\\_vesi/PVV\\_ESITE.pdf](http://server.perlasoft.fi/vesivoima/DOMINAR/Images_vesi/PVV_ESITE.pdf)> 23.8.2006
- Pohjonen, V., Lammi, H., Lampinen, A., Vehmas, J. & Kyllönen, S. (toim.) 1999: Uusiutuva energiapolitiikka. Vertailevia skenaarioita Kauppa- ja teollisuusministeriön Energiatalous 2025 –skenaariotarkasteluihin. - Dodo, Greenpeace Pohjola, Luonto-Liitto, Maan ystävät, Natur och Miljö, Suomen luonnonsuojeluliitto ja Suomen WWF. 31 s.
- Price, L., Michaelis, L., Worrel, E. & Khrushch, M. 1998: Sectoral trends and driving forces of global energy use and greenhouse gas emissions. - Mitigation and adaptation strategies for global change 3 s. 263- 319.
- Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. (toim.) 2002: Poltto ja palaminen. - International Flame Research Foundation, Suomen kansallinen komitea, Gummerus, Jyväskylä. 750 s.
- Reinstein, R. 2004: A Possible way forward on climate change. - Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 9 s. 245-309
- Saarimaa, J., Hyttinen, R. & Immonen, K. 1993: ETRR Energiataloudelliset rakennukset ja rakennusosat. Energiatutkimusohjelman loppuraportti 1988-1992. - Kauppa- ja teollisuusministeriö Energiaosasto, Katsauksia B:162, Helsinki. 197 s.
- Salonen, V-P., Eronen, M. & Saarnisto, M. 2002: Käytännön maaperägeologia. - Kirja-Aurora, Turku. 237 s.
- Schilstra A.J. 2001: How sustainable is the use of peat for commercial energy production? - Ecological Economics 39 s. 285-293
- Schimtz, M. & Sourell, H. 1998: Efficient use of water for irrigation – Teoksessa Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry. James and James Ltd., Lontoo. s. 311-314 (ref. IPCC 2001)
- Shimada, K., Tanaka, Y., Gomi, K. & Matsuoka, Y. 2007: Developing a long-term local society design methodology towards a low-carbon economy: an application to Shiga prefecture in Japan. – Energy Policy (2007) (in press)
- Sims, R.E., Martin, G.A. & Young, J.V. 1998: Tractor efficiency and fuel conservation - Agricultural Engineering 43 s. 12 (ref. IPCC 2001)
- Sims, R.E. 2003: Bioenergy to mitigate for climate change and meet the needs of society, the economy and the environment. – Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 8 s. 349-370
- Sørensen, B. 2000: Renewable energy: its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects - Academic Press, San Diego. 912 s.
- Stern, P.C. 1986: Blind Spots in Policy Analysis: What Economics Doesn't Say About Energy Use. - Journal of Policy Analysis and Management 5 s. 200-227 (Ref. IPCC 2001)
- SULPU ry 2006: Yleistä lämpöpumpuista. -  
<[http://212.50.144.76/sulpu/PDFfiles/yleista\\_lampopumpuista.pdf](http://212.50.144.76/sulpu/PDFfiles/yleista_lampopumpuista.pdf)> 13.6.2006

- Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2005: Faktaa tuulivoimasta. -  
<<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/sisalto/tietoa/faktaa/index.htm>> 29.5.2006
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry & VTT Energia 2006: Tuulivoima. - ALTENER-ohjelma, European Energy Network (EnR), Kauppa- ja teollisuusministeriö.  
<<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/sisalto/tietoa/altener/index.htm>> 29.5.2006
- Syke 2005: Päästötietojen tuottamismenetelmät. Energiantuotanto. - Suomen ympäristökeskus, Ympäristön suojelu. 103 s.
- Syri, S., Amann, M., Capros, P., Mantzos, L., Cofala, J. & Klimont, Z. 2001: Low-CO2 energy pathways and regional air pollution in Europe. - Energy Policy 29 s. 871-884
- Syri, S., Karvosenoja, N., Lehtilä, A., Laurila, T., Lindfors, V. & Tuovinen, J.-P. 2002: Modeling the impacts of Finnish climate strategy on air pollution. - Atmospheric Environment 36 s. 3059-3069
- Säädös 861/1997: Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista. VN 861/1997
- Säädös 76/2000: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi jätteenpoltosta 2000/76/EY
- Säädös 761/2001 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus organisaatioiden vapaaehtoisesta osallistumisesta yhteisön ympäristöasioiden hallinta- ja auditointijärjestelmään 761/2001/EY
- Säädös 87/2003: Euroopan Unionin päästäkauppadirektiivi. 2003/87/EY
- Säädös 362/2003: Valtioneuvoston asetus jätteiden poltosta. VN 362/2003
- Söderhjelm, L., Hupa, M. & Noopila, T. 1989: Combustibility of black liquors with different rheological and chemical properties. - Journal of Pulp and Paper Science 15 s. 117-121 (Ref. Alakangas 2000)
- Taipale, R. 1996: Kiinteiden polttoaineiden ominaisuudet. - Jyväskylän yliopisto, pro gradu - tutkielma. 138 s.
- Tike 2006: Matilda. – Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, maataloustilastojen sähköinen tietopalvelu. Maatilarekisteri.  
<[http://matilda.mmm.fi/servlet/page?\\_pageid=125,140,193&\\_dad=portal30&\\_schema=PORTAL30](http://matilda.mmm.fi/servlet/page?_pageid=125,140,193&_dad=portal30&_schema=PORTAL30)> 16.3.2006
- Tike 2005: Käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2005 työvoima- ja elinkeinokeskuksittain. - Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus  
<[http://www.mmmtike.fi/attachments/58pwSI1Fg/5c9d3tQem/Files/CurrentFile/051129\\_kaytossa\\_oleva\\_\\_maatalousmaa\\_TE.pdf](http://www.mmmtike.fi/attachments/58pwSI1Fg/5c9d3tQem/Files/CurrentFile/051129_kaytossa_oleva__maatalousmaa_TE.pdf)> 14.4.2006
- Tilastokeskus 2001: Rakennukset, asunnot ja asuinolot. - Asuminen 2001, Helsinki.
- Tilastokeskus 2004: Väestöennuste alueittain vuoteen 2040. - Statfin tilastopalvelu  
<<http://statfin.stat.fi/StatWeb/start.asp?LA=fi&lp=home>> 20.10.2006
- Tilastokeskus 2005a: Väestömuutokset alueittain 1980-2004. - Statfin tilastopalvelu  
<<http://statfin.stat.fi/StatWeb/start.asp?LA=fi&lp=home>> 20.10.2006
- Tilastokeskus 2005b: Teollisuus ja rakentaminen 1995-2003. - Statfin tilastopalvelu  
<<http://statfin.stat.fi/StatWeb/start.asp?LA=fi&lp=home>> 20.10.2006
- Tilastokeskus 2005c: Energiatilasto 2004. - Energia 2005:2, Helsinki. 153 s.
- Tilastokeskus 2006: Polttoaineluokitus ja päästökertoimet 2006 -  
<[http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html)> 20.10.2006
- Tissari, J., Raunemaa, T., Jokiniemi, J., Sippula, O., Hytönen, K., Linna, V., Oravainen, H., Pyykönen, J., Tuomi, S., Vesterinen, R., Taipale, R., Kolsi, A., Nuutinen, I., Kouki, J. & Vuorio, K. 2005: Puun polton pienhiukkaspäästöt. Loppuraportti. - Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitosten monistesarja 2/2005. 125 s.

- Tuittila, E.-S., Komulainen, V.-M., Vasander, H. & Laine, J. 1999: Restored cut-away peatlands as a sink for atmospheric CO<sub>2</sub>. - *Oecologica* 120 s. 563-574 (Ref. Nilsson & Nilsson 2004)
- Tuomisto, H. 2005: Biokaasun ja peltoenergian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset. - Maa- ja metsätalousministeriö. 41 s.  
<[http://www.mmm.fi/julkaisut/muut/SELVITYYS2005\\_Peltoenergian\\_ymparistovaikutukset.pdf](http://www.mmm.fi/julkaisut/muut/SELVITYYS2005_Peltoenergian_ymparistovaikutukset.pdf)> 15.4.2006
- Turiel, I., Atkinson, B., Goghosian, S., Chan, P., Jennings, J., Lutz, J., McMahon, J., Pickle, S. & Rosenquist, G. 1997: Advanced technologies for residential appliance and lighting market transformation. - *Energy and Buildings* 26 s. 241-252
- Twidell, J. & Weir, A. 1986: *Renewable Energy Resources*. - London (Ref. Boyle 2004)
- Työteho-seura 2007: Kodin energiaopas internetsivusto. -  
<<http://www.tts.fi/kodinenergiaopas/viihde-elektroniikka/valmiustila.htm>> 8.6.2007
- Uimonen, S. 1991: Yhteiskunnallinen päätöksenteko ja ympäristönsuojelun ohjauskeinot. - Teoksessa Tahvonen, O. (toim.) 1991: Ympäristö, hyvinvointi ja talous. teknillisten tieteiden akatemia, gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä. s. 76- 106
- UNDP 2004: What is human development. - <<http://hdr.undp.org/hd/>> 11.8.2004
- UPM-Kymmene Oyj 2003: Jämsänkoski ja Kaipola, Ympäristöselonteko 2002. - Hämeen kirjapaino Oy, Tampere. 43 s.
- Uusi-Penttilä, P. 2004: Biokaasun liikennekäyttö Jyväskylän seudulla. Esiselvitys. - Jyväskylä Science Park. 60 s.
- Vartiainen, E., Luoma, P., Hiltunen, J. & Vanhanen, J. 2002: Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO<sub>2</sub>-päästöt. - Gaia Group Oy, Helsinki. 90 s.
- Vehmas, J., Malaska, P., Luukkanen, J. & Kaivo-oja, J. 1997: Ympäristöpoliittiset ohjauskeinot uusiutuvien energianlähteiden käytön edistämiseksi. - Suomen ympäristö 148, Ympäristöministeriö, Helsinki. 66 s.
- Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R.-L., Vartiainen, S., Herranen, T. & Jokisaari, R. 2000: Suomen turvevarat 2000. - Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 156, Espoo. 101 s.  
<[http://www.gsf.fi/info/publications/tr156/tr156\\_screen.pdf](http://www.gsf.fi/info/publications/tr156/tr156_screen.pdf)> 15.11.2006
- VTT Energia 1996: Keski-Suomen energihuollon ympäristövaikutukset. - Keski-Suomen liitto Julkaisu B 62, Jyväskylä. 56 s.
- VTT Energia 1999: Energia Suomessa, tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. - Edita, Helsinki. 368 s.
- VTT Energy 2003: *Energy visions 2030 for Finland*. - Edita, Helsinki. 237 s.
- VTT Prosessit 2004: Energia Suomessa, tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. - Edita, Helsinki. 396 s.
- Väisänen, P. & Salmenoja, J. 2006: Biokaasun muodostuminen ja sen hallittu käsittely kaatopaikoilla. - <<http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/docs/kaatgas.pdf>> 14.6.2006
- Watson, R.T., Zinyowera, M.C. & Moss, R.H. (Eds.) 1996: *Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change*. - IPCC Technical Paper I, Geneva. 84 s.
- WEA 2000: *World Energy Assessment: Energy and the challenge of sustainability*. - United Nations Development programme, United Nations Department of Economics and Social Affairs, World Energy Council, New York. 508 s.
- Wihersaari, M. 1996: Biopolttoaineet ja ympäristö, Loppuraportin luonnos. - Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 17/1996, Energiaosasto. 164 s.



- Wilén, C., Kurkela, E. & Moilanen, A. 1996: Biomass feedstock analyses. - VTT Energy, VTT publication 282, Turku. 25 s. (Ref. Taipale 1996)
- Wilhite, H., Shove, E., Lutzenhiser, L. & Kempton, W. 2000: After twenty years of “demand side management” (DSM) we know a little about individual behaviour but next to nothing about energy demand. - Teoksessa Jochem, E., Bouille, D. & Sathaye, J. (toim.): Society, Behavior, and Climate Change Mitigation. Proceedeng of the IPCC Expert Meeting Karlsruhe. (Ref. IPCC 2001)
- Ympäristöministeriö 2006: Euroopan unionin päästökauppa. - Ympäristöministeriön internetsivusto <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=81079&lan=fi>> 5.7.2006
- Ympäristöministeriö 2007: Kioton pöytäkirja. - Ympäristöministeriön internetsivusto <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=161800&lan=fi>> 6.2.2007
- Yli-Kauppila, H. & Niemi, A. 2003: Keski-Suomen alueellisen jätesuunnitelman tarkistus. - Keski-Suomen ympäristökeskus, Jyväskylä. 226 s.
- Zetterberg, L., Uppenberg, S. & Aehman, M. 2004: Climate impact from peat utilisation in Sweden - Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 9 s. 37-76
- Ziegelmann, A., Mohr, M. & Unger, H. 2000: Net employment effects of an extension of renewable-energy systems in the Federal Republic of Germany - Applied Energy 65 s. 329-338

## LIITE I KOTITALOUKSIEN LÄHTÖTIETOJA

Erilaisten lamppujen yleisyydet asunnoissa (kpl/asunto) sekä niiden teho (W), polttoaika (h/a) ja energian kulutus vuonna 2000 (kWh/a/kpl) (Korhonen ym. 2002)

	<b>Hehku-lamppu</b>	<b>Halogeeni-lamppu</b>	<b>Loiste-lamppu</b>	<b>Yksikanta-loistelamppu</b>
<b>Yleisyys</b>	19	0,5	3	1
<b>Keskimääräinen teho</b>	58	21	36	10
<b>Polttoaika</b>	511	730	913	913
<b>Energian kulutus</b>	29,64	15,33	32,87	9,13

Eri lampputyypin yleisyys kotitalouksissa (kpl/asunto) ja niiden keskimääräinen kulutus vuodessa lamppua kohti (kWh/a) eri skenaariossa.

	<b>Hehku-lamppu</b>		<b>Halogeeni-lamppu</b>		<b>Loiste-lamppu</b>		<b>Yksikanta-loistelamppu</b>	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2010	2030
<b>Yleisyys</b>								
<b>Bau, Bio</b>	19	19	1	2	3,5	4,5	2	4
<b>Ue</b>	15	7	1	2	3,5	4,5	6	16
<b>Teho</b>	0	0	1	2	3,5	4,5	21	23
<b>Kulutus</b>								
<b>Bau, Bio</b>	27,6	23,8	15,3	15,3	32,9	32,9	9,1	9,1
<b>Ue</b>	23,3	14,2	15,3	15,3	32,9	32,9	7,7	5,4
<b>Teho</b>	23,3	14,2	15,3	15,3	32,9	32,9	5,1	5,1

Kodinkoneiden yleisyydet asunnoissa (%) vuosina 2000 ja 2030 sekä keskimääräiset kulutukset (kWh/a) eri skenaarioissa vuosina 2000 ja 2030 sekä kulutuksen muutosprosentti. Lähtötiedot Korhonen ym. 2002.

	<b>Yleisyys</b>		<b>2000</b>	<b>2030</b>					
	2000	2030		<b>Bau, Bio</b>	<b>muutos</b>	<b>Ue</b>	<b>%</b>	<b>Teho</b>	<b>muutos</b>
<b>Astianpesukone</b>	44	52	315,0	174,5	-45	164,4	-48	149,9	-52
<b>Elektroniikka</b>									
<b>Käyttö</b>	100	100	229,0	461,0	101	461,0	101	461,0	101
<b>Valmius</b>	100	100	224,0	476,7	113	476,7	113	103,9	-54
<b>Jääkaappi</b>	78	78	461,0	240,4	-48	229,0	-50	184,1	-60
<b>Pakastin</b>	50	43	577,0	353,3	-39	330,0	-43	249,5	-57
<b>Jk-pakastin</b>	35	53	740,0	444,8	-40	411,4	-44	337,9	-54
<b>Pyykinpesukone</b>	84*	91	285,0	175,3	-38	161,1	-43	132,7	-53
<b>Kuivausrumpu</b>	8	19	362,0	278,1	-23	204,2	-44	204,2	-44
<b>Kuivauskaappi</b>	4	4	400,0	400,0	0	400,0	0	400,0	0
<b>Sähköhellä</b>	100	100	429,0	421,8	-2	421,8	-2	354,6	-17
<b>Mikroaaltouuni</b>	78*	97	71,0	71,0	0	71,0	0	33,8	-52

\* Tilastokeskus 2001

## LIITE II KOTITALOUKSIEN SÄHKÖLAITTEIDEN OLETUKSIA

sivu 1/5

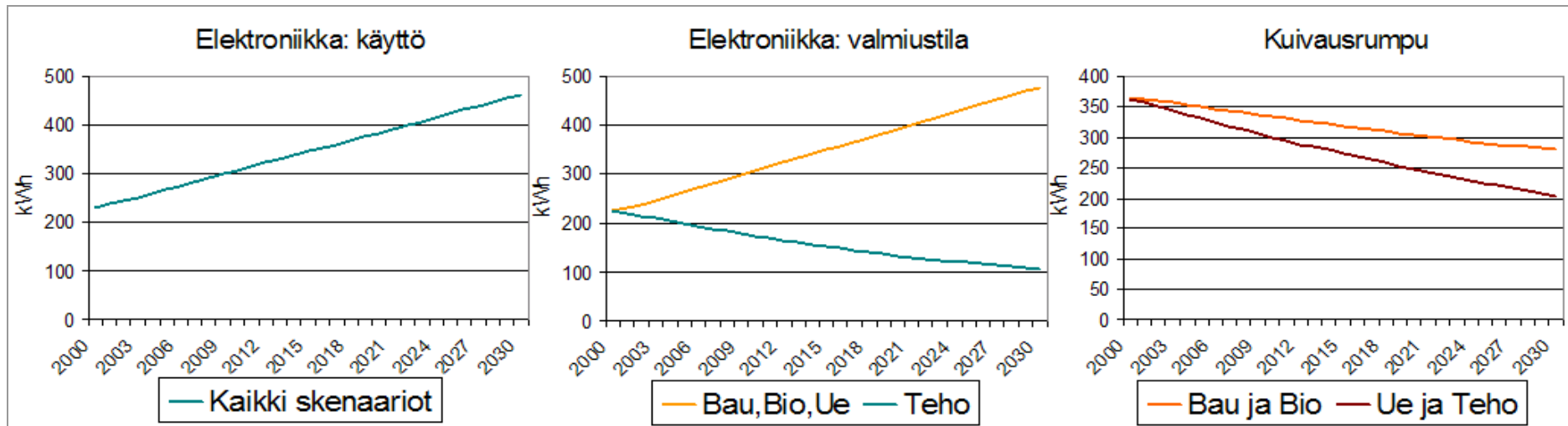
Tässä liitteessä on esitetty kodinkoneiden yleisyyttä (%) ja keskimääräistä vuosittaista kulutusta (kWh/laite) koskeissa lineaarisissa ja eksponentiaalisissa regressioissa käytetyt aikasarjat taulukkoina sekä niiden tulokset kuvina. Taulukoissa on myös esitetty regression selitysaste  $R^2$  ja keskihajonta. Lähtötietoina käytetyt aikasarjat ovat työtehoseuran tekemistä skenaarioista (Korhonen ym. 2002).

## Elektroniikka

	Skenaario	2000	2002	2006	2010	Funktio	$R^2$	Hajonta
<b>Käyttö</b>	Bau, Bio, Ue	229	245	275	307	lineaarinen	1,0	0,532
	Teho	229	240	275	312	lineaarinen	0,995	3,357
<b>Valmiustila</b>	Bau, Bio, Ue	224	240	270	308	lineaarinen	0,997	2,538
	Teho	224	214	194	174	eksponent.	1,0	0,0

## Kuivausrumpu

	Skenaario	2000	2002	2004	2006	2008	2010	Funktio	$R^2$	Hajonta
<b>Kulutus</b>	Bau, Bio	362	358	353	347	340	333	eksp.	0,989	1,27
	Ue, Teho	362	350	337	325	312	300	eksp.	1,0	0,29



## LIITE II Sivu 2/5

Kylmäsäilytyslaitteiden, pyykinpesukoneen ja astianpesukoneen energiankulutuksen lasku on Työtehoseuran skenaariossa (Korhonen ym. 2002) erittäin nopeaa. Tämän tutkielman skenaariossa sen oletetaan hidastuvan uuden tekniikan käyttöönoton jälkeen. Taulukoissa on esitetty Työtehoseuran skenaarioiden mukaiset laitteiden energiankulutukset (kWh/a) vuosina 2000-2010 ja arvioitu vuosien 2010-2030 aikana tapahtuva vuosittainen energiankulutuksen tehostuminen (%).

<b>Jääkaappi</b>		<b>Tehostuminen</b>								
	<b>Skenaario</b>	<b>2000</b>	<b>2002</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2008</b>	<b>2010</b>	<b>2011-2020</b>	<b>2021-2030</b>
<b>Kulut</b>	Bau, Bio	416	391	366		339	311	283	1%	0,5%
	Ue	416	389		348		307	280	1%	1%
	Teho	416	380	345		309	274	238	2%	1%

<b>Pakastin</b>		<b>Tehostuminen</b>								
	<b>Skenaario</b>	<b>2000</b>	<b>2002</b>	<b>2004</b>	<b>2006</b>	<b>2008</b>	<b>2010</b>	<b>2011-2020</b>	<b>2021-2030</b>	
<b>Kulut</b>	Bau,Bio	577	546	514	479	442	404	1%	0,5%	
	Ue	577	536	496	455	415	374	1%	0,5%	
	Teho	577	528	479	430	382	333	2%	1%	

<b>Jääkaappipakastin</b>		<b>Tehostuminen</b>								
	<b>Skenaario</b>	<b>2000</b>	<b>2002</b>	<b>2004</b>	<b>2006</b>	<b>2008</b>	<b>2010</b>	<b>2011-2020</b>	<b>2021-2030</b>	
<b>Kulut</b>	Bau,Bio	740	698	654	608	559	508	1%	0,5%	
	Ue	740	693	645	598	547	503	1%	1%	
	Teho	740	682	625	567	510	452	2%	1%	

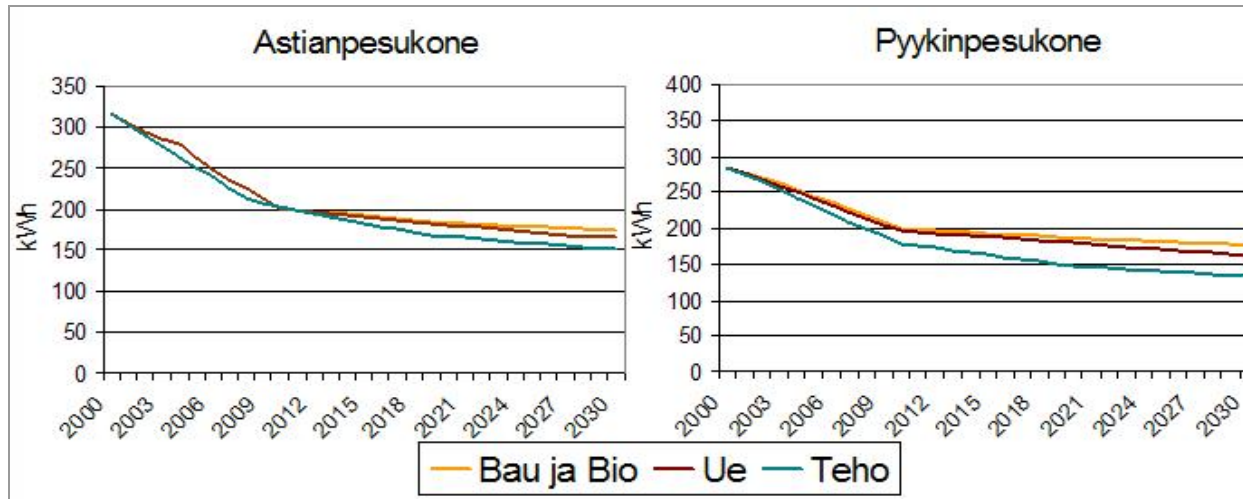
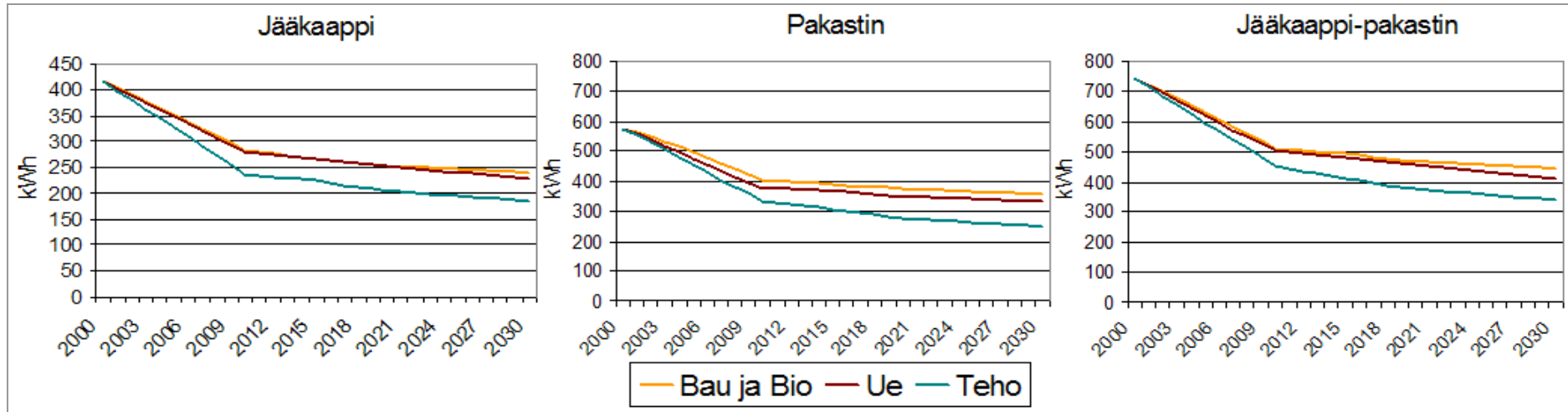
  

<b>Pyykinpesukone</b>		<b>Tehostuminen</b>								
	<b>Skenaario</b>	<b>2000</b>	<b>2002</b>	<b>2004</b>	<b>2006</b>	<b>2008</b>	<b>2010</b>	<b>2011-2020</b>	<b>2021-2030</b>	
<b>Kulut</b>	Bau, Bio	285	269	253	236	218	199	1%	0,5%	
	Ue	285	267	250	232	214	197	1%	1%	
	Teho	285	264	242	221	199	178	2%	1%	

<b>Astianpesukone</b>		<b>Tehostuminen</b>								
	<b>Skenaario</b>	<b>2000</b>	<b>2002</b>	<b>2004</b>	<b>2006</b>	<b>2008</b>	<b>2010</b>	<b>2011-2020</b>	<b>2021-2030</b>	
<b>Kulut</b>	Bau, Bio	315	293	279	247	225	201	1%	0,5%	
	Ue	315	293	279	247	225	201	1%	1%	
	Teho	315	290	264	239	213	188	2%	1%	

LIITE II Sivu 3/5



## LIITE II Sivu 4/5

Kylmäsäilytyslaitteiden, pyykinpesukoneen ja astianpesukoneen yleisyyden (%) skenaarioita (Korhonen ym. 2002) on jatkettu lineaarisella regressiolla. Vuoden 2030 arvot löytyvät liitteestä I.

## Pakastimet

	Skenaario	1993	1995	1997	1999	2000	2002	2005	2008	2010	Funktio	R <sup>2</sup>	Hajonta
<b>Yleisyys</b>	kaikki	52	51	50	50	50	49	49	48	48	lineaarinen	0,928	0,38

## Jääkaappipakastimet

	Skenaario	1993	1995	1997	1998	2000	2002	2005	2008	2010	Funktio	R <sup>2</sup>	Hajonta
<b>Yleisyys</b>	kaikki	29	30	32	34	35	36	37	39	40	lineaarinen	0,971	0,685

## Pyykinpesukone

	Skenaario	2000	2002	2004	2006	2008	2010	Funktio	R <sup>2</sup>	Hajonta
<b>Yleisyys</b>	kaikki	84	84	84	85	85	86	lineaarinen	0,848	0,384

## Kuivausrumpu

	Skenaario	2000	2002	2004	2006	2008	2010	Funktio	R <sup>2</sup>	Hajonta
<b>Yleisyys</b>	kaikki	8	9	10	10	11	12	lineaarinen	0,996	0,29

## Astianpesukone

	Skenaario	2000	2002	2004	2006	2008	2010	Funktio	R <sup>2</sup>	Hajonta
<b>Yleisyys</b>	kaikki	44	45	45	46	46	47	lineaarinen	0,938	0,293

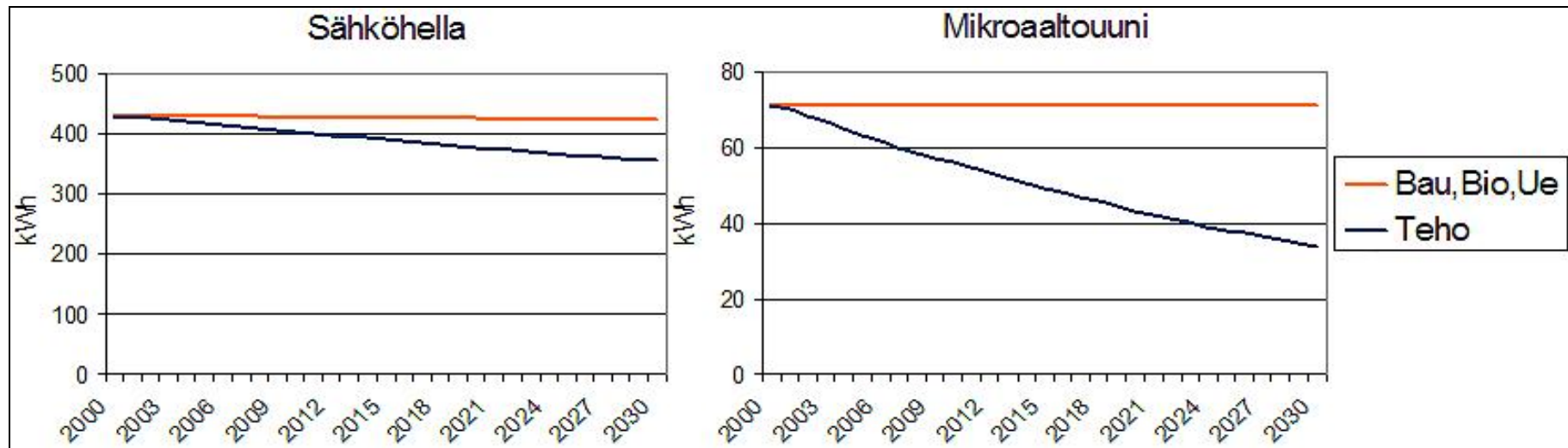
## LIITE II Sivu 5/5

## Sähköhella

	Skenaario	2000	2002	2004	2006	2008	2010	Funktio	R <sup>2</sup>	Hajonta
<b>Kulutus</b>	Bau, Bio, Ue	429	429	428	428	427	427	eksponentiaalinen	0,914	0,29
	Teho	429	424	419	414	408	403	eksponentiaalinen	0,999	0,32

## Mikroaaltouuni

	Skenaario	1995	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	Funktio	R <sup>2</sup>	Hajonta
<b>Yleisyys</b>	kaikki	72	74	78	78					84	lineaarinen	0,901	1,67
<b>Kulutus</b>	Teho				71	68	65	62	59	55,5	eksponentiaalinen	0,999	0,173



## LIITE III KOTITALOUKSIEN VALAISTUKSEN OLETUKSIA

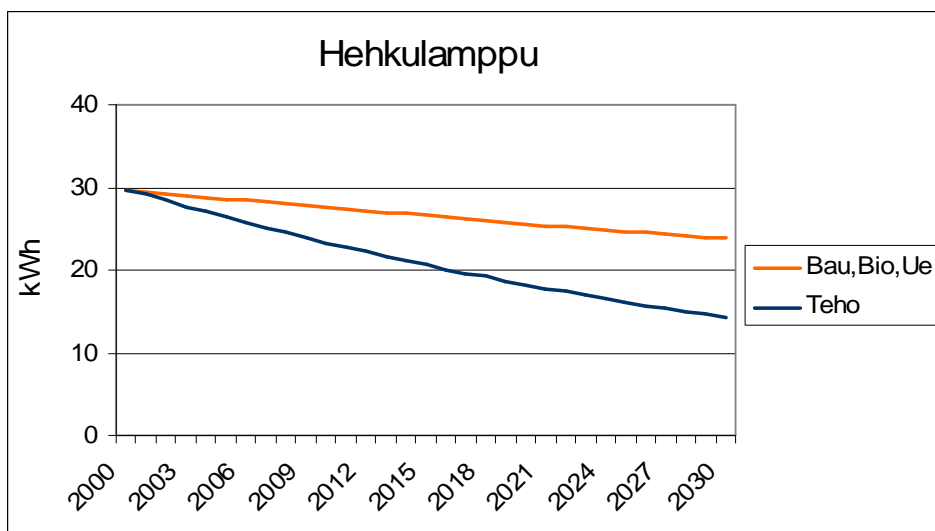
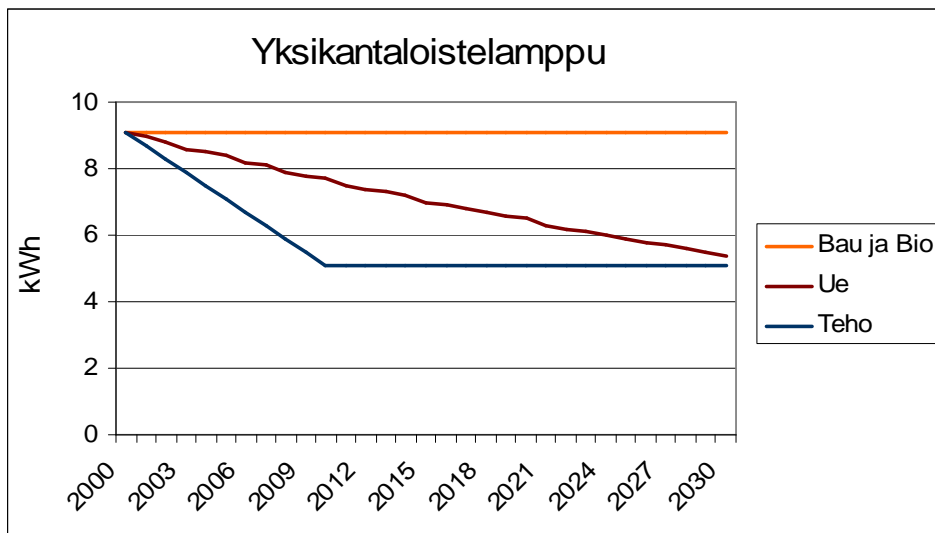
Hehkulampun ja yksikantaloistelampun keskimääräistä kulutusta koskevissa lineearisissa ja eksponentiaalisissa regressioissa käytetyt aikasarjat taulukkoina sekä niiden tulokset kuvina. Taulukoissa on myös esitetty regression selitysaste  $R^2$  ja keskihajonta. Lähtötietoina käytetyt aikasarjat on saatu työtehoseuran tekemistä skenaarioista (Korhonen ym. 2002).

## Hehkulamppu

	Skenaario	2000	2002	2004	2010	Funtio	$R^2$	Hajonta
<b>Kulutus</b>	Bau, Bio	29,6	29,2	28,8	27,6	eksponent.	1,0	0,01
	Ue, Teho	29,6	28,4	27,1	23,3	eksponent.	1,0	0,00

## Yksikantaloistelamppu

	Skenaario	2000	2002	2004	2010	Funktio	$R^2$	Hajonta
<b>Kulutus</b>	Ue	9,13	8,8	8,5	7,7	eksponent.	0,999	0,03

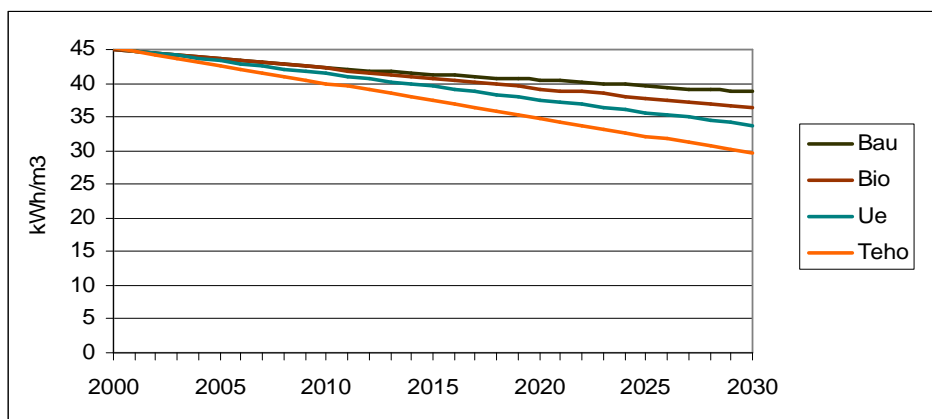




## LIITE IV ASUNTOJEN LÄMMITYS

Sivu 1/2

Bau- ja Bio-skenaarioissa lämmön kulutus tehostuu KTM:n (1997) EMS- ja EPO-skenaarioiden mukaan. Ue- ja Teho-skenaarioissa oletetaan, että vuoden 2007 alusta lähtien kaikki uudet asuinrakennukset ovat matalaenergiataloja, joiden lämmönkulutus on puolet vuoden 2000 tasosta. Ue-skenaariossa puolet ennen vuotta 2000 rakennetuista rakennuksista korjataan vuoteen 2030 mennessä, jolloin niiden lämmön käyttö tehostuu 40 %. Teho-skenaariossa vanhoista rakennuksista korjataan 70 %.



Asuntojen ominaislämmönkulutuksen (kWh/m<sup>3</sup>) muutokset eri skenaarioissa

Lämmön ominaiskulutus (kWh/m<sup>3</sup>) KTM:n EMS ja EPO skenaarioissa (KTM 1997) ja laskettu vuosittainen ominaiskulutuksen tehostuminen (%) sekä Bau- ja Bio-skenaarioissa käytetyt arvot.

	1995	2010	2025	1995-2010	2010-2025	2000-2010	2010-2030
	kWh/m <sup>3</sup>			%	%	%	%
<b>EMS</b>	53	48	45	0,66	0,43	<b>Bau</b>	0,66
<b>EPO</b>	53	48	43	0,66	0,73	<b>Bio</b>	0,7

Lämmön ominaiskulutukset vuonna 2030 korjatuissa ja korjaamattomissa ennen vuotta 2000 rakennetuissa asunnoissa, uusissa matalaenergiataloissa ja vuosina 2000-2006 rakennetuissa asunnoissa.

	Asunnot	Osuus	Tehostu-	Kulutus	Painotettu
Ue-skenaario	kpl	kaikista %	minen %	kWh/m <sup>3</sup>	kWh/m <sup>3</sup>
vanhat 50 % korjatut	58124,5	37,9	40	27,1	10,28
vanhat 50 % ei korjatut	58124,5	37,9	0	45,2	17,13
uudet matalaenergia	29051	18,9	50	22,6	4,28
uudet 2000-2006	8076	5,3	14*	38,8	2,04
<b>Yhteensä</b>	153376	100,0			<b>33,7</b>
Teho-skenaario					
vanhat 70 % korjatut	92999,2	60,6	40	27,1	16,44
vanhat 30 % ei korjatut	23249,8	15,2	0	45,2	6,85
uudet matalaenergia	29051	18,9	50	22,6	4,28
uudet 2000-2006	8076	5,3	14*	38,8	2,04
<b>Yhteensä</b>	153376	100,0			<b>29,6</b>

\* Vuosina 2000-2006 rakennetuissa taloissa oletetaan lämmön käytän tehostumisen olevan samanlaista kuin Bau-skenaariossa.

Bau-skenaariossa 15 % uusista asunnoista valitsee lämmitystavaksi lämpöpumpun (Motiva 2004). Tämä tarkoittaa, että vuonna 2030 3,6 % taloista käyttää maalämpöä. Bau-skenaariossa oletetaan lämmitystapojen jatkavan lineaarisesti 1990-luvun trendejä.

## LIITE IV Sivü 2/2

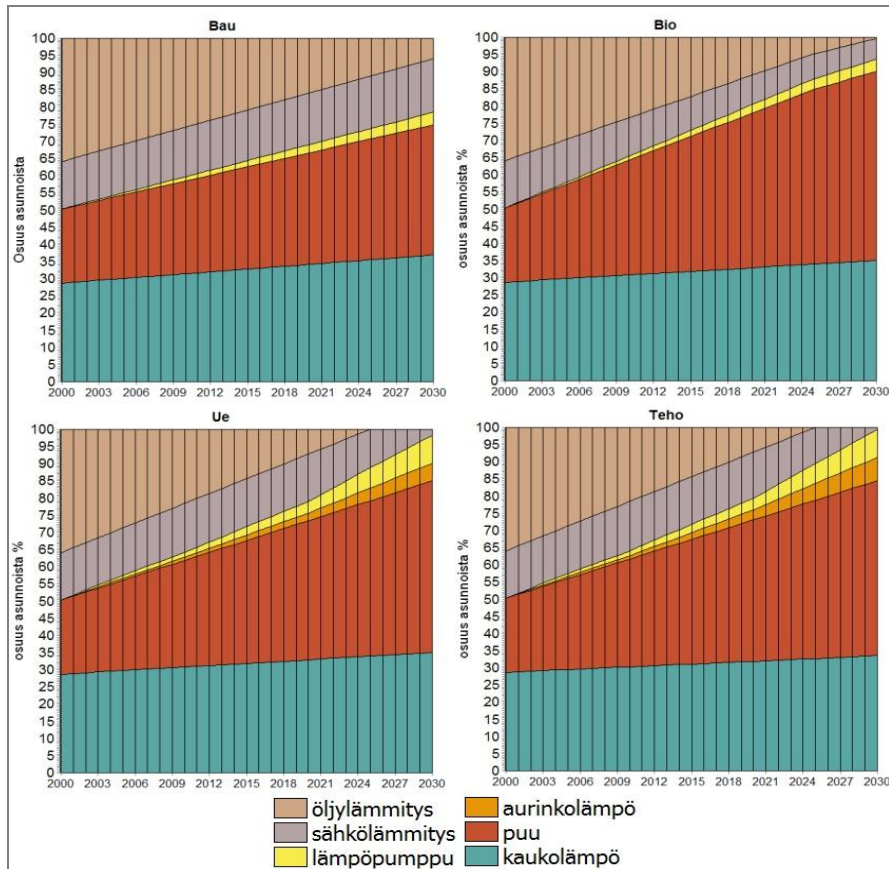
Bau-skenaariossa asuntojen lämmitysmuotojen lineaarisessa regressiossa käytetty aikasarja (Helynen ym. 2003), regression selitysaste  $R^2$  ja keskihajonta.

		1993	1995	1997	2000	Funktio	$R^2$	Hajonta
<b>Osuus asunnoista</b>	sähköl.	13,4	13,5	13,6	13,8	lineaarinen	1,0	0,00
	kaukol.	26,8	27,3	27,9	28,7	lineaarinen	1,0	0,00
	puu	17,8	18,9	19,9	21,6	lineaarinen	1,0	0,01

Keski-Suomen bioenergiastrategiassa (Määttä & Paananen 2005) on tavoitteena nostaa polttopuun käyttöä 1050 GWh:in ja pellettien käyttöä 300 GWh:in vuonna 2025. Tämä on noin 50 prosenttia kotitalouksien ja julkisten sekä palvelurakennuksien lämmitysenergian tarpeesta. Bio-skenaariossa puun ja pelletin käytön kasvun oletetaan jatkuvan tästä vielä jatkossakin.

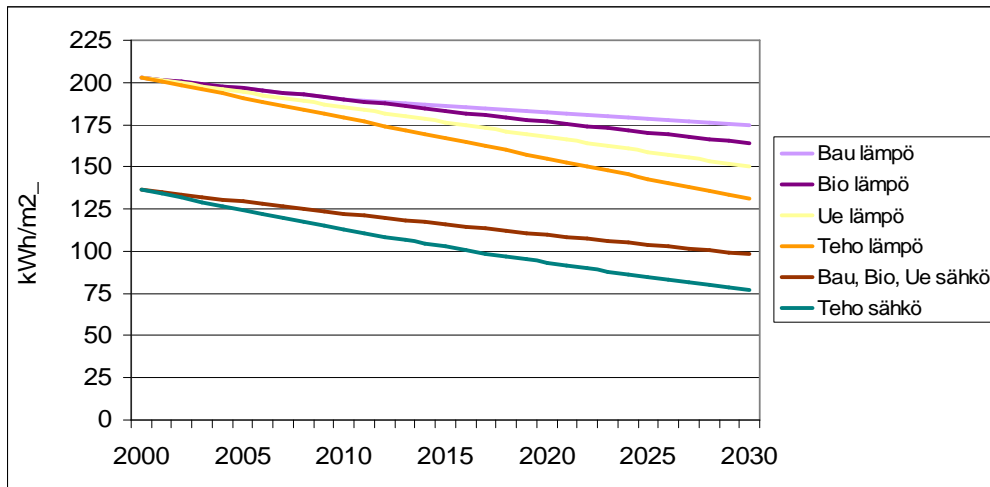
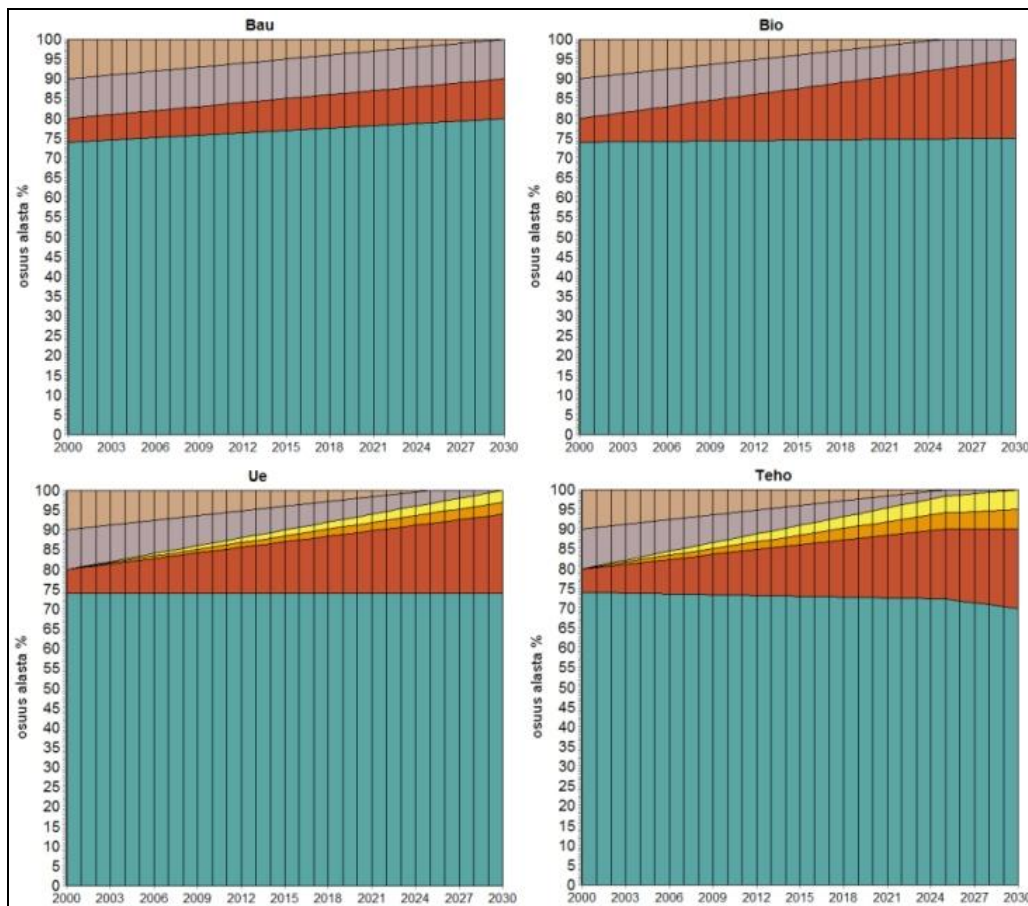
Ue-skenaariossa uusien rakentajien lämpöpumppujen osuus kasvaa vuonna 2010 30 prosenttiin ja vuonna 2020 osuus on jo puolet. Skenaariossa oletetaan, että rakentajista 10 % valitsee aurinkolämmön ja puun yhdistelmän lämmitysmuodokseen. Vuonna 2010 osuus kasvaa 20 prosenttiin ja vuonna 2020 30:neen. Ue-skenaariossakin kaukolämmön käyttö kasvaa vähitellen ja puun käyttö kasvaa lähes yhtä nopeasti kuin Bio-skenaariossa. Öljylämmitys korvataan kokonaan vuoteen 2025 mennessä. Myös sähkölämmitys korvataan lähes kokonaan.

Teho-skenaariossa lämpöpumppujen käyttöönotto on samanlaista kuin Ue-skenaariossa. Uusista pientalon rakentajista valitsee lämmitystavaksi aurinkolämmön ja puun yhdistelmän aluksi 10 % vuonna 2010 30 % ja vuonna 2020 40 %. Myös Teho-skenaariossa kaukolämmön ja puun käyttö kasvaa, kun sähkö- ja öljylämmitys korvataan vähitellen.



Lämmitystapojen osuudet (%) kotitalouksissa eri skenaarioissa.

## LIITE V JULKISTEN TILOJEN JA PALVELURAKENNUSTEN LÄMMITYS

Sähkön ja lämmön ominaiskulutuksien (kWh/m<sup>2</sup>) muutokset eri skenaarioissa

Julkisten ja palvelurakennusten lämmitystapojen osuudet (%) eri skenaarioissa.

## LIITE VI TEOLLISUUDEN LÄHTÖTIETOJA

Teollisuuden eri alojen jalostusarvot sekä sähkön ja lämmön kulutus Keski-Suomessa vuonna 2000 (Tilastokeskus 2005b) sekä niistä lasketut ominaiskulutukset jalostusarvoa kohti.

	<b>Jalostus- arvo</b> €	<b>Sähkön kulutus</b> MWh	<b>Lämmön kulutus</b> GJ	<b>Sähkö</b> MJ/€	<b>Lämpö</b> MJ/€
<b>Metsäteollisuus</b>	771867	4048171	10383984	18,9	13,5
<b>Kemianteollisuus</b>	82995	123215	1049566	5,3	12,6
<b>Metalliteollisuus</b>	519436	202873	264444	1,4	0,5
<b>Muu teollisuus</b>	245666	116844	124633	1,7	0,5
<b>Yhteensä</b>	1619964	4491103	11822627		

## LIITE VII TEOLLISUUDEN JALOSTUSARVOT

VTT:n (1999) markkinat ohjaavat ja Suuret suunnitelmat -skenaarioiden vuosittaiset kasvuarviot eri teollisuuden aloille. Eri teollisuusalojen- ja kokonaisjalostusarvon muutokset on laskettu kasvuarvioiden mukaan ja esitetty taulukossa viiden vuoden välein. Taulukossa on myös esitetty eri teollisuusalojen jalostusarvon osuudet kokonaisjalostusarvosta viiden vuoden välein.

**Markkinat ohjaavat**

	<b>Metsäteollisuus</b>			<b>Kemian teollisuus</b>			<b>Metalliteollisuus</b>			<b>Muu teollisuus</b>			<b>Yhteensä</b>
	kasvu %/a	jalostusarvo €	osuus %	kasvu %/a	jalostusarvo €	osuus %	kasvu %/a	jalostusarvo €	osuus %	kasvu %/a	jalostusarvo €	osuus %	jalostusarvo €
<b>2000</b>		771 867	47,6		82 995	5,1		519 436	32,1		245 666	15,2	1 619 964
<b>00-05</b>	2,7	881 850	46,3	2,9	95 748	5,0	4,5	647 312	34,0	2,5	277 949	14,6	1 902 858
<b>05-10</b>	2,6	1 002 609	45,3	2,9	110 460	5,0	4,0	787 554	35,6	2,4	312 942	14,1	2 213 565
<b>10-15</b>	1,9	1 101 545	43,9	2,9	127 433	5,1	3,5	935 367	37,2	2,1	347 211	13,8	2 511 556
<b>15-20</b>	1,8	1 204 318	42,7	2,4	143 477	5,1	3,2	1 094 915	38,8	1,6	375 891	13,3	2 818 601
<b>20-25</b>	1,5	1 297 393	41,4	2,4	161 541	5,2	3,0	1 269 307	40,5	1,6	406 940	13,0	3 135 180
<b>25-30</b>	1,5	1 397 661	40,1	2,4	181 879	5,2	2,9	1 464 345	42,0	1,6	440 553	12,6	3 484 438

**Suuret suunnitelmat**

vuodet	<b>Metsäteollisuus</b>			<b>Kemian teollisuus</b>			<b>Metalliteollisuus</b>			<b>Muu teollisuus</b>			<b>Yhteensä</b>
	kasvu %/a	jalostusarvo €	osuus %	kasvu %/a	jalostusarvo €	osuus %	kasvu %/a	jalostusarvo €	osuus %	kasvu %/a	jalostusarvo €	osuus %	jalostusarvo €
<b>2000</b>		771 867	47,6		82 995	5,1		519 436	32,1		245 666	15,2	1 619 964
<b>00-05</b>	2,1	856 389	45,2	2,9	95 748	5,1	5,0	662 948	35,0	2,5	277 949	14,7	1 893 032
<b>05-10</b>	2,0	945 523	43,5	2,4	107 802	5,0	4,2	814 361	37,4	2,1	308 385	14,2	2 176 072
<b>10-15</b>	1,3	1 008 601	41,3	2,2	120 194	4,9	3,8	981 305	40,2	1,6	333 858	13,7	2 443 957
<b>15-20</b>	1,1	1 065 308	39,2	1,9	132 055	4,9	3,4	1 159 863	42,7	1,4	357 892	13,2	2 715 117
<b>20-25</b>	1,0	1 119 649	37,2	1,7	143 668	4,8	3,3	1 364 295	45,3	1,3	381 767	12,7	3 009 379
<b>25-30</b>	0,9	1 170 948	35,2	1,6	155 535	4,7	3,2	1 597 007	47,9	1,3	407 236	12,2	3 330 725

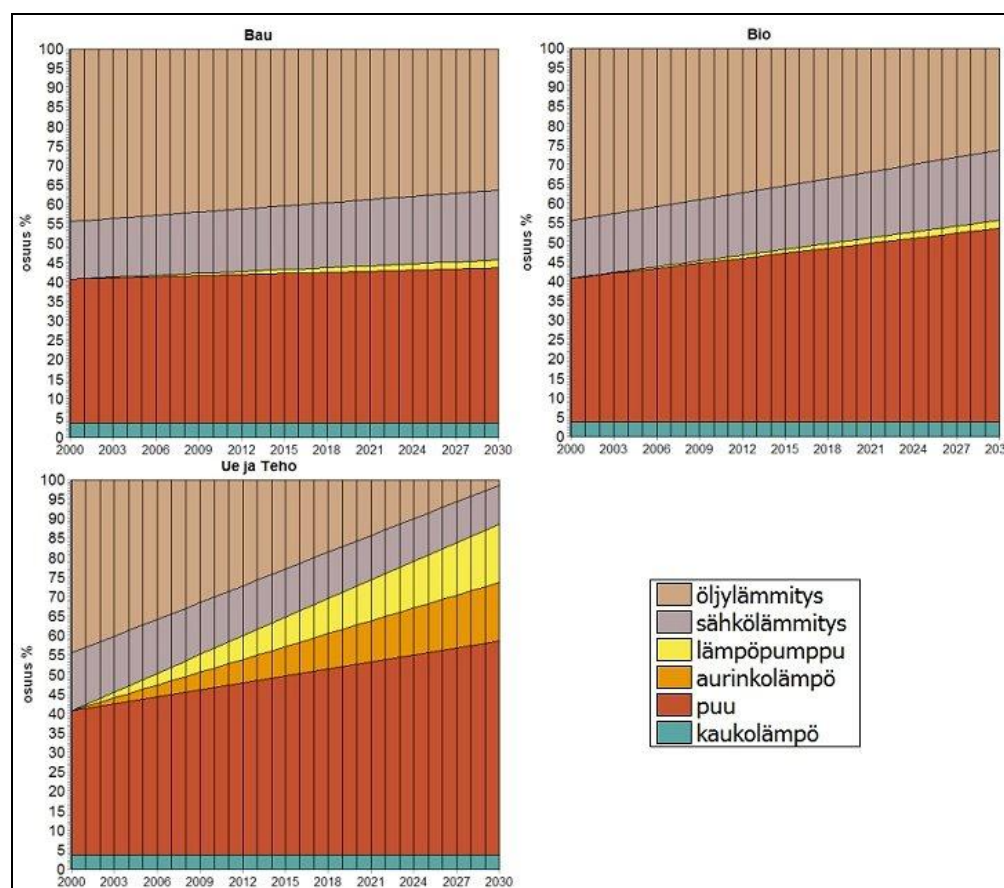
## LIITE VIII MAATALOUS

Keski-Suomen pelto- ja puutarha-ala sekä maatalouden sähkön ja lämmön kulutus 2000-luvun alussa (Adato Energia Oy 2001; Jylhä ym. 2002 ja 2003, Tike 2005).

Vuosi	Pelto- ja puutarha-ala ha	Sähkön kulutus GWh	Sähkön kulutus MWh/ha
2000	92672	106	1,14
2001	92914	112	1,21
2002	93228	115	1.23
	<b>keskiarvo</b>		<b>1,19</b>

Pelto ja puutarha-alan (ha) lineaarisessa regressiossa käytetty aikasarja (Tike 2006), regression selitysaste  $R^2$  ja keskihajonta.

	Skenaario	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Funktio	$R^2$	Hajonta
Ala	kaikki	92672	92914	93228	93518	93742	95660	lineaar.	0,781	560,1



Maatalouden lämmitystapojen osuuksien muutokset

## LIITE IX SÄHKÖN SIIRTO JA TUOTANTO

Sähkön siirron hävikkiä kuvaavaassa eksponentiaalisessa regressiossa käytetty aikasarja (Adato Energia 2001), regression selityssaste  $R^2$  ja keskihajonta.

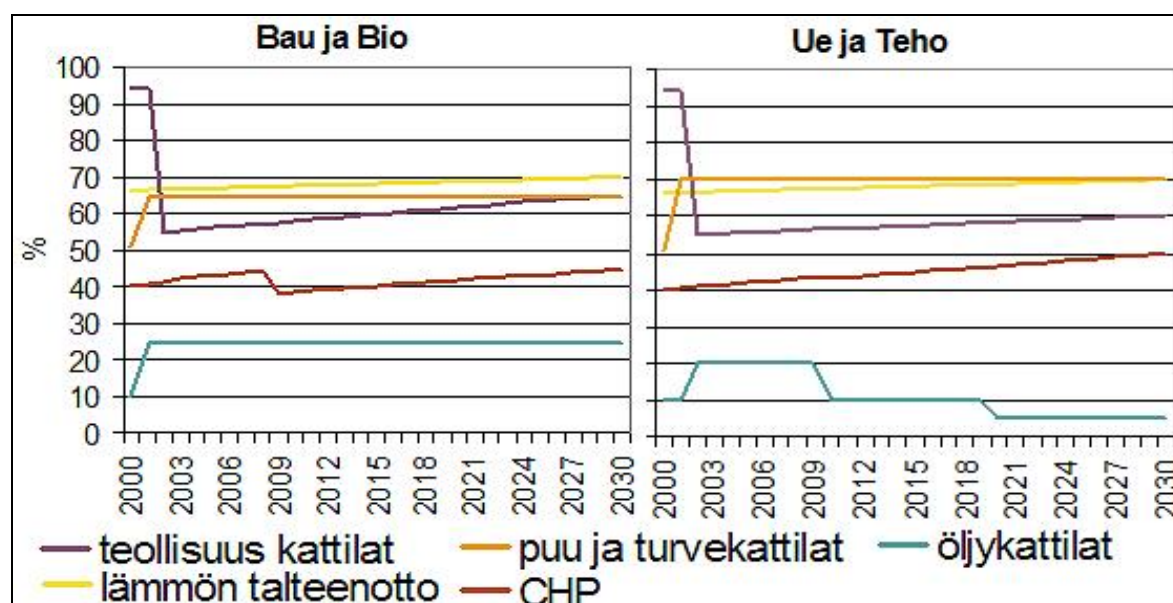
	Skenaario	1970	1980	1990	1995	1998	2000	Funktio	$R^2$	Hajonta
<b>Osuus</b>	kaikki	6,9	5,8	4,5	4,4	3,7	3,5	eksponent.	0,986	0,174

Polttoaineiden käyttö energiantuotannossa vuonna 2000 (GWh). Vertailu LEAP-ohjelman laskemien tietojen ja tilastojen välillä (Helynen, Lindh & Vesterinen 2003).

	Kaikki ilmalupavelvolliset		LEAP %	Tilasto %	Erotus %
	LEAP GWh	Tilasto GWh			
<b>Hiili</b>	108	105	1,4	1,4	0,0
<b>Öljy</b>	995	995	13,2	13,2	0,0
<b>Turve</b>	1990	1979	26,4	26,3	0,1
<b>Puu</b>	2190	2191	29,0	29,1	0,0
<b>Liemet</b>	2258	2266	29,9	30,1	-0,1
<b>Yhteensä</b>	7541	7536	100,0	100,0	
	erotus	5 GWh	0,1 %		

Termisen energiantuotannon hyötysuhteiden vuosittainen kasvu prosentteina kolmena vuosikymmenenä (EC 2004)

Euroopan komission skenaario	Lauhdevoima			CHP		
	00–10	11–20	21–30	00–10	11–20	21–30
<b>Baseline</b>	1,5	0,9	0,3	1,3	0,7	0,2
<b>12 % renewables share in 2010</b>	1,4	0,9	0,3	1,0	0,7	0,2
<b>Energy efficiency and 12 % renewables share in 2010</b>	1,8	1,0	0,6	1,6	1,0	0,7
<b>Tutkimuksen skenaario</b>	00–10	11–20	21–30	00–10	11–20	21–30
<b>Bau, Bio ja Ue</b>	0,9	0,9	0,3	0,7	0,7	0,2
<b>Teho</b>	1,0	1,0	0,3	0,7	0,7	0,2



Energiantuotannon prosessien käyttöaikojen muutokset.

## LIITE X POLTTOAINEET

Suomessa käytettyjen polttoaineiden keskimääräisiä ominaisuuksia ja IPCC:n (1996b) ohjeiden mukaiset hapettuvan hiilen osuudet. Taulukossa on esitetty sekä polttoaineiden keskimääräisistä ominaisuuksista lasketut päästökertoimet että päästökaupassa käytetyt hiilidioksidin päästökertoimet (lihavoituna). Kierrätyspolttoaineen (REF) virallisessa päästökertoimessa on otettu huomioon vain fossiiliista alkuperää oleva hiili. Öljylle käytetään päästökertoimena keskiarvoa 75,5 t CO<sub>2</sub>/TJ.

Polttoaine	Tehollinen	Hiilipitoisuus	Hapettuneen	Päästö-	Päästö-	Uusiu-
	lämpöarvo					
	GJ/t	%-kuiva-ain.	%	tCO <sub>2</sub> /TJ	tCO <sub>2</sub> /TJ	
<b>Kivihiili</b>	27,9 <sup>1</sup>	71,5 <sup>1</sup>	98	92,1	<b>94,6<sup>8</sup></b>	ei
<b>Öljy</b>	41,2 <sup>6</sup>	88,4 <sup>3</sup>	99	77,8	<b>74–77<sup>8</sup></b>	ei
<b>Turve</b>	21,0 <sup>1</sup>	54,6 <sup>1</sup>	99	94,0	<b>106<sup>8</sup></b>	hitaasti
<b>Puu</b>	19,5 <sup>4</sup>	52,0 <sup>1</sup>	99	97,8	<b>109,6<sup>8</sup></b>	on
<b>Liemet</b>	12,4 <sup>7</sup>	33,9 <sup>5</sup>	99	87,9	<b>109,6<sup>9</sup></b>	on
<b>REF</b>	21,0 <sup>2</sup>	50,3 <sup>2</sup>	99	86,9	<b>31,8<sup>9</sup></b>	osittain
<b>Biokaasu</b>	18 Mj/m <sup>3</sup>				<b>56,1<sup>9</sup></b>	on
<b>Peltobiomassa</b>	17,4 <sup>2</sup>	45,8 <sup>2</sup>	99	96,1	<b>109,6<sup>9</sup></b>	on

1) Taipale 1996

2) Alakangas 2000

3) Fortum Oyj 2002

4) Hakkila &amp; Heiskanen 1978, Pellikka &amp; Saviharju 1983, Laine &amp; Sahrman 1985, Wilén ym. 1996

5) Söderhjelm ym. 1989

6) Raiko ym. 2002

7) Bacman ym. 1996

8) Syke 2005

9) Tilastokeskus 2006

Teollisuuden sivutuotteiden ja muiden puujätteiden käyttö Keski-Suomessa 2000-luvun alussa (1000 tonnia) (Peltola 2002, 2003, 2004, 2005).

	Teollisuuden puutähdehake		Sahanpuru		Kuori		Muu		Yhteensä	
	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	GWh	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	GWh	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	GWh	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	GWh	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	GWh
<b>2001</b>	123	246	167	334	696	1252,8	24	48	1010	1881
<b>2002</b>	91	182	182	364	827	1488,6	19	38	1119	2073
<b>2003</b>	177	354	193	386	785	1413	68	136	1223	2289
<b>2004</b>	148	296	195	390	847	1524,6	39	78	1229	2289
									Keskiarvo	1145 2133

- Teollisuuden puutähdehake, sahanpuru ja muu 2,0 MWh/m<sup>3</sup>- Kuori 1,8 MWh/ m<sup>3</sup>