

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Energiatekniikan koulutusohjelma
BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

**YDINVOIMAN ROOLI KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN
VÄHENTÄJÄNÄ SUOMESSA**

**THE ROLE OF NUCLEAR POWER IN LIMITING EMISSIONS OF
GREENHOUSE GASES IN FINLAND**

Lappeenrannassa 4.5.2009

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNELUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
2 ENERGIANTUOTANTO JA KASVIHUONEPÄÄSTÖT SUOMESSA.....	4
2.1 Nykyinen energiantuotanto.....	5
2.2 Nykyiset ydinvoimalaitokset	8
2.3 Kasvihuonekaasupäästöt energiantuotannossa	11
3 SUOMEN ILMASTO- JA ENERGIASTRATEGIA.....	14
3.1 Vuoden 2008 Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia.....	14
3.2 Kansainvälinen ilmastopolitiikka	15
3.3 Sähkötarpeen kasvu sekä kaukolämpötuotannon kehitys.....	18
3.4 Poistuvan energiantuotannon korvaaminen	20
4 YDINVOIMA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄJÄNÄ	21
4.1 Ydinvoiman käytöllä vältetyt hiilidioksidipäästöt.....	23
4.2 Suunnitellut ydinvoimahankkeet	25
4.3 Ydinvoiman taloudellisuus	27
4.4 Ydinvoiman tulevaisuus	28
5 YHTEENVETO	30
6 LÄHDELUETTELO	32

LYHENNELUETTELO

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor, kehittynyt kiehutusvesireaktori
ATS	Suomen Atomiteknillinen Seura ry
EK	Elinkeinoelämän keskusliitto
EPR	European Pressurized Water Reactor, eurooppalainen painevesireaktori
ET	Energiateollisuus ry
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, Hallitustenvälinen ilmastopaneeli
OL	Olkiluoto
SWR	Special Water Reactor (Nykyään Kerena). Erikoisvesireaktori
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
TVO	Teollisuuden Voima Oyj
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change, YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus
CO ₂	hiilidioksidi
HFC	hydro-fluoro-carbon, osittain fluoratut hiilivedyt
MW	megawatti, 1 MW = 10 ⁶ W = miljoona wattia
PFC	perfluorinated compound, perfluorihiiilivedyt
TWh	terawattituntia, 1 TWh = 1 000 000 MWh
U-235	uraanin polttoainekäyttöön soveltuva isotooppi

1 JOHDANTO

Ilmaston lämpeneminen on hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n mukaan tieteellisten havaintojen perusteella kiistaton tosiasia ja se johtuu suurella todennäköisyydellä merkittävästi ihmiskunnan aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä. Merkittävä osa näistä päästöistä aiheutuu energiantuotannossa. Osa energiantuotannosta on kuitenkin kasvihuonepäästötöntä, kuten tässä kandidaatintyössä otsikon mukaisesti tarkasteltu ydinvoima. Kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää korvaamalla saastuttavat energiantuotantomuodot kasvihuonekaasupäästövapaalla energiantuotannolla.

Valtaosa ilmakehään vapautuvista kasvihuonekaasupäästöistä energiasektorin piirissä aiheutuu fossiilisten polttoaineiden käytön seurauksena. Näiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi on tehty useita kansainvälisiä sopimuksia, kuten YK:n ilmastopöytäkirja, Kioton pöytäkirja sekä EU:n päästökauppajärjestelmä. Näissä sopimuksissa määriteltyihin maakohtaisiin tavoitetasoihin päästökseen niihin sitoutuneiden jäsenmaiden tulee tehdä merkittäviä, kalliita ja kauaskantoisia päätöksiä.

Valtioneuvosto toimitti 6.11.2008 eduskunnalle Suomea koskevan uuden ilmasto- ja energiastrategian, joka käsittelee ilmasto- ja energiapolitiittisia toimenpiteitä kymmeniksi vuosiksi eteenpäin. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia sisältää keskeiset ohjaukset Suomea sitovien ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Strategiatyöryhmän laskelmien mukaan sähköenergian riittävyyden varmistamiseksi tarvittaisiin jo lähivuosina ydinenergiain mukainen periaatepäätös ydinvoiman lisärakentamisesta. Ydinvoimalla korvattaisiin vanhentuvia kasvihuonepäästöjä aiheuttavia energiantuotantolaitoksia ja samalla parannettaisiin huomattavasti Suomen energiantuotannon omavaraisuutta.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää tarkemmin ydinvoiman roolia Suomen kasvihuonepäästöjen vähentäjänä tänä päivänä, sekä tulevaisuudessa ilmasto- ja energiastrategian mukaisena pitkän aikavälin energiaratkaisuna.

2 ENERGIANTUOTANTO JA KASVIHUONEPÄÄSTÖT SUOMESSA

Energiantuotannon yhteydessä kasvihuonekaasuilla tarkoitetaan käytännössä hiilidioksidia, sillä metaanin ja muiden kasvihuonekaasujen (dityppioksidi, HFC- ja PFC-yhdisteet, vesihöyry ja otsoni) osuus energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöissä on häviävän pieni, noin 0,030 – 0,080 promillea, verrattuna hiilidioksidipäästöihin (Tilastokeskus 2008, 7). Usein kasvihuonekaasut muunnetaan yhteismitallisiksi käyttämällä suuretta CO₂-ekvivalentti, missä muut kasvihuonekaasut on suhteutettu hiilidioksidiin tietyllä tarkastelujaksolla niiden ilmastoja lämmittävän vaikutuksen perusteella.

Energiantuotannossa hiilidioksidipäästöt syntyvät polttoaineen polttoprosessissa. Polttoprosessissa hiilipohjainen polttoaine, kuten hiili tai öljy, muuttuu palaessaan lämpöenergiaksi, tuhkaksi ja savukaasuiksi. Savukaasut koostuvat pääasiassa vesihöyrystä ja hiilidioksidista, jota syntyy hapen yhtyessä polttoaineessa olevaan hiileen. Savukaasut poistuvat ympäristöön ohjatusti yleensä savupiipun kautta, kuten kuvassa 1 on esitetty.



Kuva 1. Hiilidioksidipäästöt vapautuvat ilmakehään mm. energiantuotannon savukaasuista. (EPA / All Over Press)

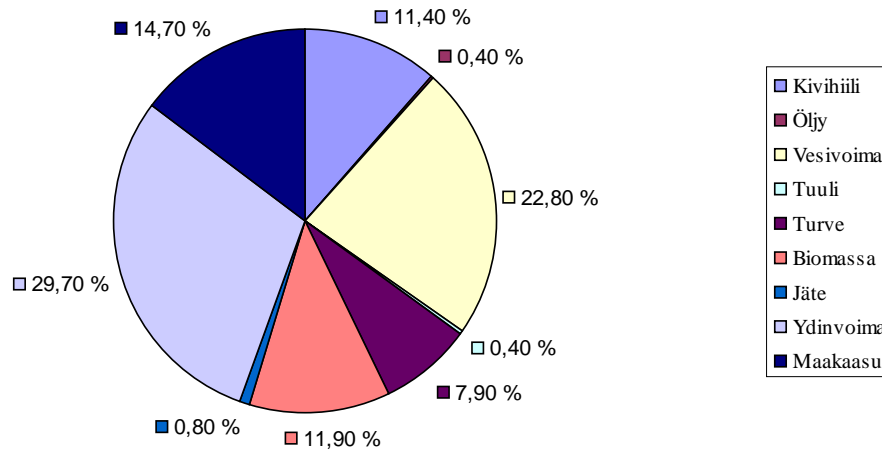
Energiantuotantomuodot, joissa energiantuotto ei tapahdu polttoainetta polttamalla, eivät tuota hiilidioksidia. Näihin hiilidioksidivapaisiin tuotantomuotoihin lukeutuu myös ydinvoima, joissa polttoaineen eli uraanin U-235-isotoopin lämpöenergia vapautuu voimalaitosprosessiin ydinreaktioiden seurauksena – ei palamisprosessissa.

Myös erinäiset ulkoiset vaiheet energiantuotannossa ja erityisesti polttoainehuollossa (esimerkiksi polttoaineen louhinta ja kuljetus) tuottavat epäsuorasti hiilidioksidipäästöjä. Nämä päästöt on kuitenkin rajattu tilastoissa ja kansainvälisissä sopimuksissa energiantuotannossa syntyvien maakohtaisten päästöjen ulkopuolelle, sillä käytännössä ne syntyvät mm. liikenteen ja kaivostoiminnan piirissä.

2.1 Nykyinen energiantuotanto

Energiantuotannolla tarkoitetaan päätoimista sähkön ja lämmön tuotantoa. Suomessa on noin 400 voimalaitosta, joista yli puolet on vesivoimalaitoksia. Loput ovat mm. tuulivoimaloita, kivihiihivoimalaitoksia, maakaasuvoimalaitoksia sekä ydinvoimalaitoksia. Suomen energiantuotannon rakenne on moneen muuhun maahan verrattuna erittäin monipuolista ja hajautettua, minkä ansiosta energiantuotannon toimintavarmuus on hyvä.

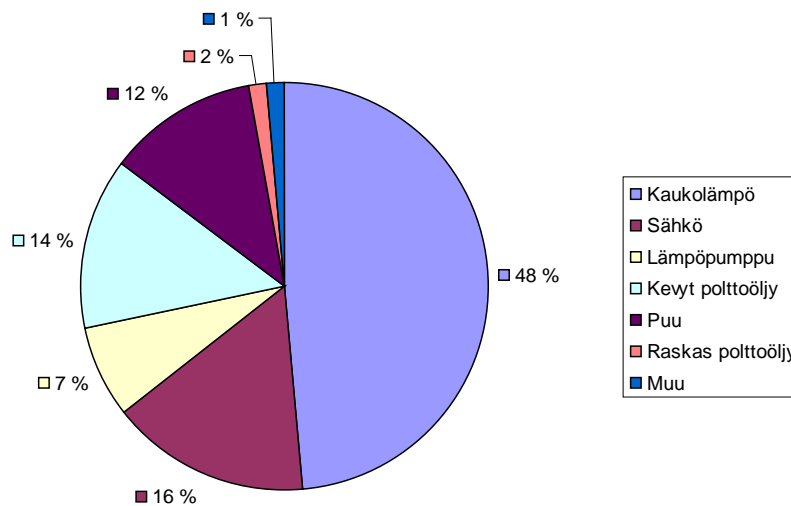
Vuonna 2008 Suomi käytti sähköä 86,9 TWh ja tuotti sitä 74,1 TWh. Tuontisähköä kulutettiin siis 12,8 TWh. Sähköstä lähes kolmannes tuotetaan yhteistuotantona lämmöntuotannon yhteydessä, jolloin jopa 90 % polttoaineen energiasisällöstä saadaan hyödynnettyä. Suomen sähköntuotantoon käytetyt energianlähteet on esitetty kuvassa 2. (Energiateollisuus, Sähkövuosi 2008.)



Kuva 2. Sähkön tuotanto energialähteittäin vuonna 2008. (ET, sähkövuosi 2008)

Kaukolämpöä tuotettiin Suomessa vuonna 2008 31,9 TWh ja sen piiriin kuului 2,6 miljoonaa asukasta. Asiakkaille lämpö siirretään kaukolämpöverkossa kiertävän kuuman veden avulla. Menojohdon kuuma vesi luovuttaa asiakkaan lämmönsiirtimen välityksellä lämpöä talon lämmitys- ja lämpimän käyttöveden verkkoihin. Kaukolämpövesi ei kierrä talojen lämmitys- ja käyttövesiverkoissa. (Energiateollisuus, kaukolämpövuosi 2008.)

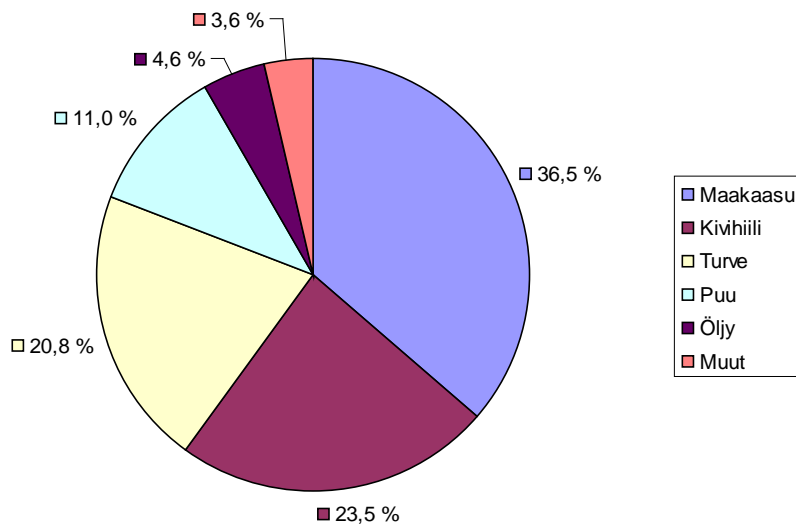
Suomessa noin puolet (kuva 3) ja suurissa kaupungeissa jopa 90 % rakennuskannasta kuulu kaukolämpölämmityksen piiriin. Lisäksi noin 16 % lämmityksestä hoidetaan valtakunnallisesti tuotetulla sähköllä. Näiden tekijöiden ansiosta Suomen lämmitys on varsin tehokasta ja vähäpäästöistä tuotettuun lämpöenergiaan suhteutettuna, varsinkin verrattuna muihin Euroopan maihin, joissa lämmitys hoidetaan usein kiinteistökohtaisesti. (Energiateollisuus, kaukolämpövuosi 2008.)



Kuva 3. Lämmityksen markkinaosuudet Suomessa vuonna 2007. (Tilastokeskus)

74 % kaukolämmöstä saatiin lämmön ja sähkön yhteistuotannossa. Loput 26 % tuotettiin yksinomaan kaukolämpönä eli näissä tuotantolaitoksissa ei ollut sähköntuotantoa lainkaan. Lämmön ja sähkön yhteistuotannossa säästyy kolmasosa polttoainetta verrattuna siihen, että nämä tuotettaisiin erikseen. Hiilidioksidipäästöt ovat kolmasosan vähemmän, mitä ne olisivat erillistuotantoa käytettäessä. (Energieollisuus, Kaukolämpövuosi 2008.)

Kuten kuvasta 4 ilmenee, valtaosa Suomen kaukolämpöenergiasta tuotetaan maakaasulla. Kaikki Suomessa käytettävä maakaasu tulee Venäjältä. Suomella ei ole minkäänlaista maakaasun varmuusvarastoa, joten maakaasuun perustuva energiantuotanto on altis mahdollisille maamme ulkopuolisille toimitushäiriöille. Tähän mennessä maakaasun kanssa ei ole ollut toimitushäiriöitä ja kaukolämmön tuotannon toimintavarmuus onkin ollut erinomainen, keskimäärin 99,98 %. (Energieollisuus, kaukolämpövuosi 2008.)



Kuva 4. Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytetyt polttoaineet vuonna 2008. Polttoaine-energiaa kului lämmitykseen 2008 yhteensä 54,8 TWh. (ET, Kaukolämpövuosi 2008)

2.2 Nykyiset ydinvoimalaitokset

Suomessa on neljä käytössä olevaa ydinvoimalaitosta. Eurajoella Rauman lähellä Olkiluodon saarella (kuva 5) sijaitsee tällä hetkellä kaksi nettoteholtaan 850 megawatin kiehutusvesityypin (BWR) yksikköä ja Loviisassa (kuva 6) kaksi 488 megawatin painevesireaktorityypin (PWR) yksikköä. Nämä ydinvoimalaitokset tuottavat yhdessä 25–30 % Suomessa tuotetusta sähköstä. (ATS 2006, 6.)

Olkiluodossa on rakenteilla myös uusi EPR-tyypin (European Pressurized Water Reactor) ydinvoimalayksikkö OL3. Valmistuessaan uusi yksikkö, joka on esitetty kuvan 5 vasemmassa reunassa, tulee olemaan maailman modernein ja sen on tarkoitus tuottaa nettosähköä 1600 MW. Sähköntuotannon oletetaan alkavan vuonna 2012, mikä on noin kolme vuotta alkuperäisestä aikataulusta myöhässä. (ET 2007, 28.)



Kuva 5. Olkiluodon ydinvoimalayksiköt. Vasemmalla havainnekuva tulevasta OL3 yksiköstä. (TVO)

Loviisan ydinvoimalassa ensimmäinen yksikkö Loviisa 1 aloitti kaupallisen tuotannon vuonna 1977 ja toinen yksikkö Loviisa 2 vuonna 1981. Olkiluodossa ensimmäinen yksikkö OL1 otettiin kaupalliseen käyttöön vuonna 1979 ja toinen yksikkö OL2 vuonna 1982. Voimassa olevien suunnitelmien mukaan Loviisan molempien laitousyksiköiden käyttöikä on ainakin 50 vuotta ja Olkiluodon yksiköiden 60 vuotta. (ATS 2006, 6.)



Kuva 6. Loviisan ydinvoimalaitos Hästholmenin saarella Loviisassa (Fortum)

Suomen ydinvoimalaitoksissa polttoaineena käytettävä uraani louhitaan ja rikastetaan voimalakäyttöön sopivaksi ulkomailla. Olkiluotoon ydinpolttoaine hankitaan pitkäaikaissopimuksilla pääasiassa Kanadasta ja Australiasta. Uraani väkevöidään

Venäjällä ja EU-alueella. Olkiluotoon toimitettavat polttoaineniput valmistetaan Saksassa, Espanjassa ja Ruotsissa. Loviisan laitokselle polttoaine on hankittu pitkäaikaisilla sopimuksilla Venäjältä. Vuodesta 2001 alkaen puolet polttoaineesta on hankittu Iso-Britannialaiselta valmistajalta. (ATS 2006, 6.)

Vuoden 1994 ydinenergilain muutoksen jälkeen kaikki radioaktiiviset ydinjätteet, jotka ovat syntyneet Suomessa tapahtuneen ydinenergian käytön yhteydessä tai seurauksena, on käsiteltävä, varastoitava ja sijoitettava pysyväksi tarkoitetulla tavalla Suomeen (Ydinenergilaki, 6 b §). Ydinpolttoaineen huollosta Suomessa vastaa Posiva Oy. Sekä Loviisan että Olkiluodon tuottama käytetty korkea-aktiivinen ydinpolttoaine tullaan sijoittamaan Olkiluotoon rakenteilla oleviin loppusijoitustiloihin (ATS 2006, 15).

Tällä hetkellä Suomen ydinvoimalayksiköt tuottavat ainoastaan sähköä noin 34 %:n hyötysuhteella eli reaktorien tuottamasta kokonaislämpöenergiasta saadaan hyödynnettyä sähköksi noin kolmasosa. Loput kaksi kolmasosaa lämpöenergiasta kulkeutuu jäädytyksessä käytettävän meriveden mukana mereen. (ATS 2006.)

Tätä hukkaenergiaa ei ole hyödynnetty taloudellisista, maantieteellisistä ja poliittisista syistä johtuen. Olkiluodon sekä Loviisan ydinvoimalat sijaitsevat kaukana suurista asutuskeskuksista (kuva 7), joten niiden liittäminen kaukolämpöverkkoon ei ole tähän mennessä ollut kannattavaa. Pitkät etäisyydet aiheuttavat lämpöhäviöitä kaukolämpösiirtoihin ja ydinvoimalan sähköntuotantokapasiteetti heikkenee kaukolämpökäytön seurauksena. Kaukolämpömahdollisuutta on kuitenkin suunniteltu Fortumin uuden Loviisa 3 ydinvoimalaitosyksikön periaatelupahakemuksessa, mikä on esitelty tarkemmin kappaleessa 4.2.

Ydinvoiman kaukolämpömahdollisuutta on selvitelty energiayhtiöiden lisäksi myös eduskunnassa, missä on pohdittu ydinvoiman lauhdeveroa. Tämä saattaisi toteutuessaan kannustaa energiayhtiöitä panostamaan entistä enemmän kaukolämpöratkaisuihin tulevien

ydinvoimahankkeiden yhteydessä. Tämä lisäisi energiatehokkuutta huomattavasti ja vähentäisi muun kaukolämpötuotannon tarvetta, mutta olisi energiayhtiöille varsin kova menoerä. (HS 2009, D 6.)

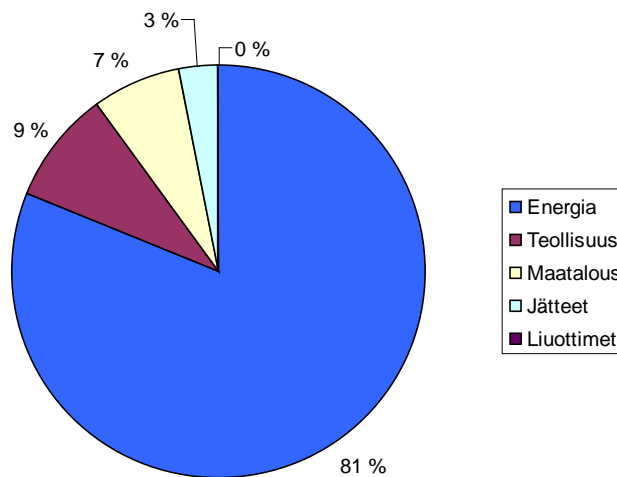


Kuva 7. Kaukolämpötunnelin ja –putkiston rakentaminen Loviisasta Helsinkiin maksaisi noin 10 miljoonaa euroa per kilometri eli noin 700 miljoonaa euroa. Helsingin Energian kaukolämpötunneli (kuvassa) Vuosaaresta länteen on 30 kilometrin pituinen. (Loviisan sanomat, 2007)

2.3 Kasvihuonekaasupäästöt energiantuotannossa

Vuonna 2007 Suomen kokonaiskasvihuonepäästöt olivat 78,50 miljoonaa tonnia CO₂-ekvivalenttia. Näistä päästöistä oli hiilidioksidia 66,29 miljoonaa tonnia eli noin 85 % (Tilastokeskus 2008).

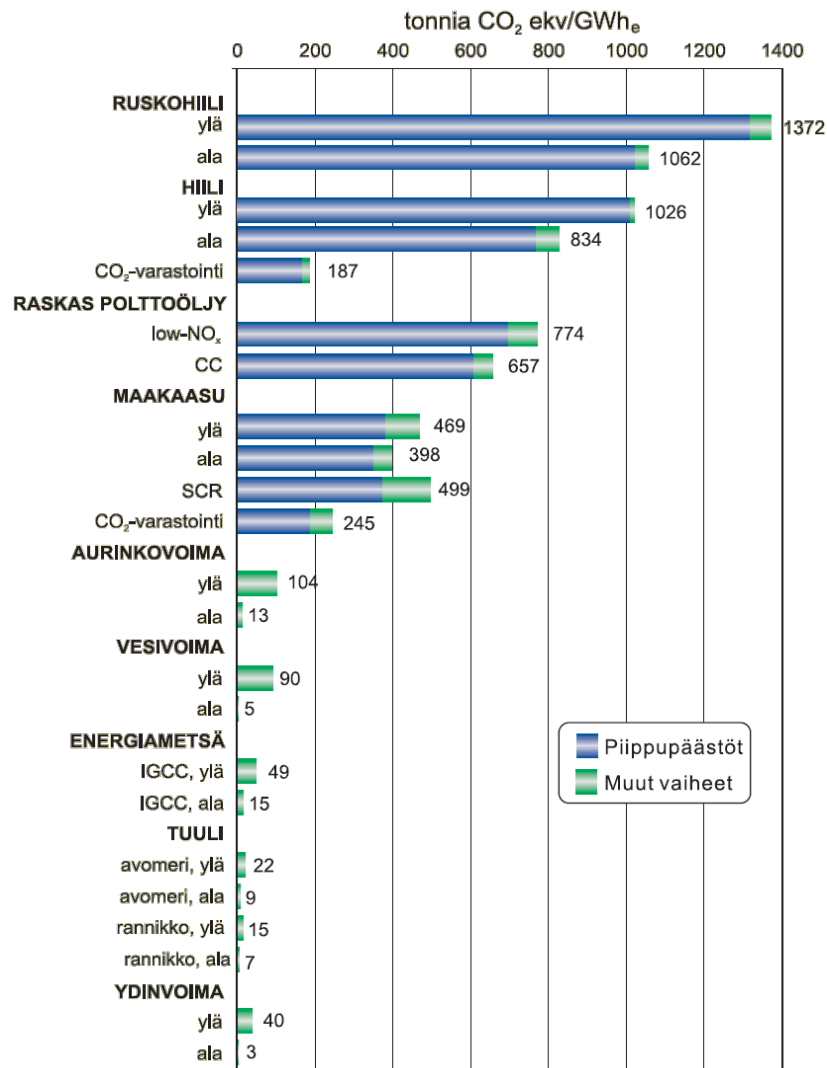
Energiasektorin (päätoiminen sähkön ja lämmön tuotanto, teollisuuden oma energiantuotanto, liikenne ja kotitaloudet) piirissä syntyi 2007 yhteensä 63,80 miljoonaa tonnia CO₂-päästöjä, mikä vastasi 81 %:a Suomen kokonaiskasvihuonepäästöistä, kuten kuvassa 8 on esitetty. Päätoimisessa sähkön ja lämmön tuotannossa syntyi 27,15 miljoonaa tonnia CO₂-päästöjä. (Tilastokeskus 2008, 5.)



Kuva 8. Suomen kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain v. 2007. Liuottimien osuus oli pienempi kuin 0,5 %. (Tilastokeskus 2008)

Suomessa tuotettu sähkö oli vuonna 2008 66-prosenttisesti kasvihuonekaasupäästötöntä (60 % vuonna 2007). Hiilidioksidipäästöt sähköntuotannossa tuotettua kilowattituntia kohti olivat viime vuonna 168 grammaa (Energiateollisuus, Sähkövuosi 2008). Keskimääräiset hiilidioksidipäästöt kaukolämpötuotannossa olivat 224 g/kWh (Energiateollisuus, kaukolämpövuosi 2008). Euroopan sähköntuottajien ominaispäästöjen keskiarvo on ollut viime vuosina lähes 400 g/kWh. (Eurprog 2008.)

Kuvassa 9 on esitetty sähköntuotannon energialähteiden aiheuttamat suorat ja epäsuorat hiilidioksidipäästöt niiden koko käyttöiän ajalta. Perinteiset fossiiliset polttoaineet kuten hiili, öljy ja maakaasu aiheuttavat huomattavia suoria hiilidioksidipäästöjä. Puhtaat energianmuodot kuten tuulivoima, vesivoima, aurinkovoima sekä ydinvoima aiheuttavat epäsuorasti jonkin verran hiilidioksidipäästöjä käyttöaikanaan, esimerkiksi voimalaitoksen rakennusvaiheen aikana sekä polttoainekuljetusten yhteydessä. Nämä päästöt ovat kuitenkin fossiilisiin energiantuotantomuotoihin verrattuna häviävän pieniä, eikä niitä lasketa esimerkiksi päästökaupparektorin piiriin. Täysin hiilidioksidivapaata energianlähdettä ei nykyteknologialla ole mahdollista toteuttaa, sillä pienikin rakennustyö tai kuljetus aiheuttaa jonkin verran hiilidioksidipäästöjä.



Kuva 9. Eri energiantuotantomuotojen kasvihuonekaasupäästöt erillisessä sähköntuotannossa hiilidioksidiekvivalentteina tuotettua sähköenergiaa kohti (t/GWh ↔ g/kWh). (World Energy Council 2004)

Valtaosa eli noin 40 % energiasektorin kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu valtakunnallisessa energiantuotannossa, erityisesti kivihiilivoimalaitoksissa. Muita merkittäviä päästölähteitä ovat liikenne ja teollisuuden oma energiantuotanto (Tilastokeskus 2008, 6).

3 SUOMEN ILMASTO- JA ENERGIASTRATEGIA

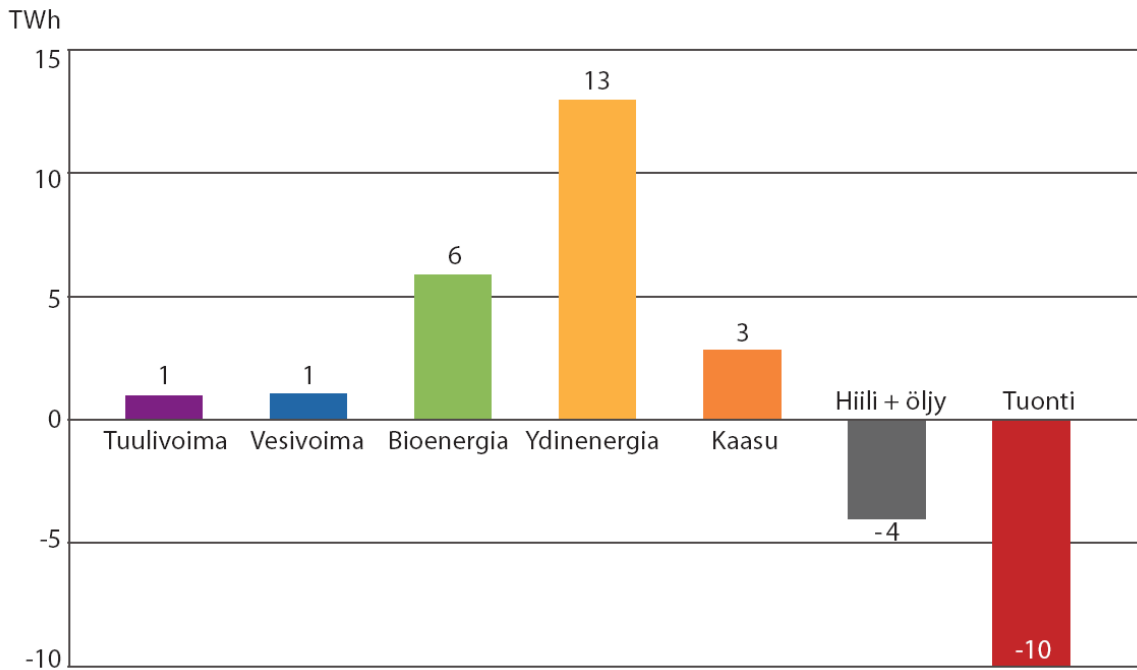
Suomi on Euroopan Unionin jäsenvaltiona sitoutunut noudattamaan EU:n yhteistä ilmasto- ja energiapolitiikkaa. Tämän lisäksi Suomi on ratifioinut myös YK:n ilmastosopimuksen. Näiden kansainvälisten velvoitteiden, Suomen ennustetun sähköntarpeen kasvun sekä vanhan poistuvan energiantuotantokapasiteetin korvaustarpeen takia valtioneuvosto on valmistellut yhtenäistä ilmasto- ja energiastrategiaa, jossa määriteltyjen ohjauskeinojen mukaisesti Suomen energiahuolto tulevaisuudessa tullaan pääsääntöisesti hoitamaan.

3.1 Vuoden 2008 Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia

Valtioneuvosto sai valmiiksi marraskuussa 2008 uuden ilmasto- ja energiastrategian, joka määrittelee Suomen ilmasto- ja energiapolitiikan keskeiset tavoitteet ja keinot osana Euroopan unionia ja sen tavoitteita vuoteen 2020 ja viitteenomaisesti aina vuoteen 2050 asti. Strategiassa kuvataan kansainvälisessä toimintaympäristössä tapahtuneita muutoksia, sekä esitetään valtioneuvoston linjaukset tulevien vuosien energia- ja ilmastopolitiikalle ja ehdotukset keskeisimmiksi toimenpiteiksi, joilla EU:n tavoitteet uusiutuvan energian edistämiseksi, energiankäytön tehostamiseksi ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi voidaan saavuttaa. Tämä Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia on lähetetty selontekona eduskunnalle. Selonteko on valmisteltu hallituksen ilmasto- ja energiapoliittisen ministerityöryhmän ohjauksessa. (TEM 2008, 2.)

Kotimaisen energian ja erityisesti uusiutuvan energian osuus tulee strategian mukaan kasvamaan huomattavasti nykyisestä. Fossiilisten polttoaineiden, kuten hiilen ja öljyn sekä tuontisähkön käyttöä tullaan vähentämään, kuten kuvassa 10 on esitetty. Ydinenergian osuus lisääntyy, sillä maahamme tarvitaan lähivuosina sähköenergian riittävyyden takaamiseksi ainakin yksi uusi ydinvoimala. Strategian tavoitteina ovat kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksen lisäksi energiajärjestelmän monipuolisuuden

parantaminen, sekä mahdollisten tuontisähköön liittyvien riskien (esimerkiksi ulkopuoliset energiakriisit) välttäminen. (TEM 2008, 2.)



Kuva 10. Sähköntuotannon pääpiirteiset lisäykset ja vähennykset eri energialähteittäin Suomen mallin mukaan vuoteen 2025 mennessä. Laskelmassa on otettu huomioon jo tehdyt investointipäätökset. Sähköntuotannon kokonaismäärä vuonna 2025 pohjautuu työ- ja elinkeinoministeriön tekemään arvioon. (EK 2006)

3.2 Kansainvälinen ilmastopoliittikka

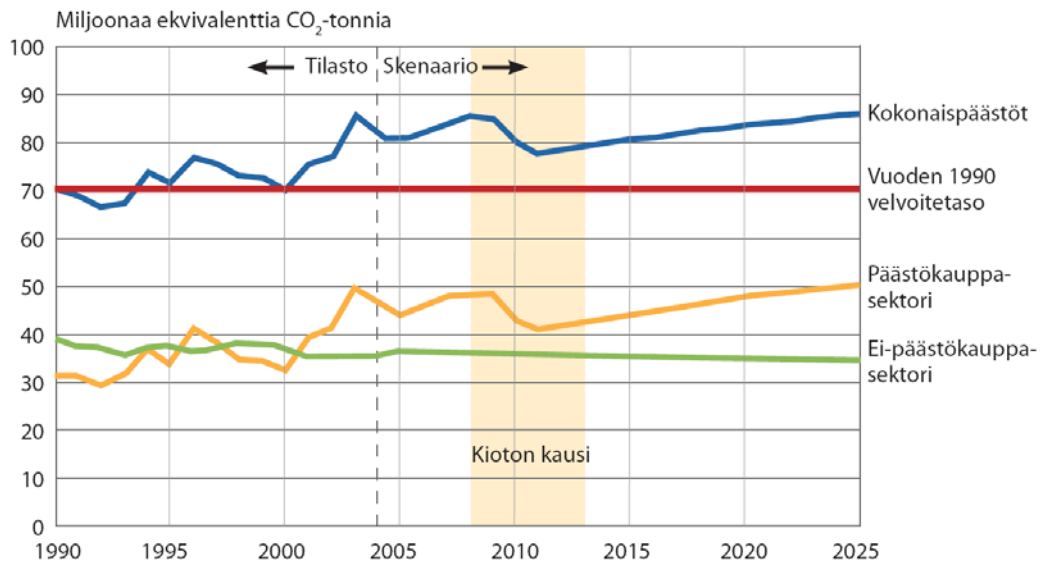
Ilmastonmuutosta vastaan on tehty sopimuksia, joiden avulla voidaan valvoa ja hillitä kasvihuonekaasupäästöjä aiempaa tarkemmin ja tehokkaammin kansainvälisellä tasolla. Sopimuksilla on pyritty korostamaan päästöjen vähennyksen tärkeyttä sekä ilmaston lämpenemisen aiheuttamien seurausten vakavuutta.

Tärkein näistä ilmastonmuutoksen hillitsemiseen liittyvistä kansainvälisistä sopimuksista on YK:n ilmastopöimus (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), joka tunnetaan myös nimellä Ilmastonmuutoksen yleissopimus. Tämän Rio de

Janeirossa vuonna 1992 YK:n Ympäristö- ja kehityskonferenssissa hyväksytyn sopimuksen tavoitteena on ilmakehän kasvihuonekaasujen vakiinnuttaminen vaarattomalle tasolle. Vaarattomalla tasolla ilmakehän ihmisen aiheuttamat kasvihuonekaasut eivät aiheuta ilmastoon vaarallisia muutoksia, kuten maapallon keskilämpötilan nousua. Sopimuksen allekirjoittaneet maat tunnustavat virallisesti ilmastomuutoksen olevan vakava ongelma. Tähän mennessä sopimuksen on ratifioinut 192 valtiota. Suomi ratifioi sopimuksen 31.5.1994. (UNFCCC 2009, artikla 2)

Vuonna 2005 voimaan tullut Kioton pöytäkirja on YK:n ilmastosopimuksen täydennys. Sen tarkoituksena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vuosina 2008–2012 viisi prosenttia vuoden 1990 tasosta. EU:n tavoite on -8 %, joka on jaettu jäsenvaltioille taakanjako- sopimuksen mukaisesti. Kuvassa 11 on esitetty Suomen Kioton pöytäkirjan mukainen vähentämisvelvoite. Pöytäkirjan on ratifioinut 14.1.2009 mennessä 183 maata sekä Euroopan Talousyhteisö EEC. (UNFCCC 2009)

Jos ilmastosopimukseen sitoutunut osapuoli ei toteuta sille asetettuja päästövähennysvelvoitteita, tulee tälle rangaistuksena alkuperäisten päästövähennysvelvoitteiden täyttäminen sekä tämän lisäksi ylimääräinen 30 % päästövähennysvelvoite. Osapuolen tulee tehdä toimintasuunnitelma vähennysvelvoitteiden täyttämiseksi eikä se saa tehdä päästöoikeuskauppaa ennen kuin osapuolen on katsottu täyttäneen velvoitteensa. (UNFCCC 2009)



Kuva 11. Suomen toteutuneet ja arvioidut kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990–2025. (ET 2007, 13)

Ennusteiden mukaan Suomen päästöt ovat ylittämässä velvoitetason noin 15 %:lla jo toteutetusta energiapolitiikasta huolimatta. Velvoitetason ylittävät päästöt johtuvat Suomen odotettua paremmasta talouskasvusta, minkä myötä energiankulutus on kasvanut odotettua enemmän. Kuvassa 11 näkyvä vuoden 2010 tienoilla tapahtuva odotettu päästöjen alennus johtuu OL3 ydinvoimalayksikön sähköntuotannon aloittamisesta. Tämän uuden puhtaan sähkökapasiteetin myötä Suomi voi luopua osasta päästöjä tuottavasta sähköntuotantokapasiteetista. (Energiateollisuus 2007, 13.)

EU:n hiilidioksidipäästöjen päästökauppajärjestelmä käynnistyi vuoden 2005 alussa. Järjestelmän tarkoituksena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja täyttää Kioton pöytäkirjan velvoitteet sekä jäsenmaiden että koko EU:n osalta. Päästövähennysvelvoite jaetaan päästökaupan piirissä olevien toimintojen ja järjestelmän ulkopuolella olevien toimintojen kesken. Järjestelmässä jokainen kasvihuonepäästöjä tuottava taho on velvoitettu omistamaan tuottamansa päästömäärän verran päästöoikeuksia. Päästöoikeudet täytyy ostaa ja niitä voi myydä edelleen muille toimijoille. Päästöoikeuksia myönnetään vähemmän kuin mitä toimijat tarvitsevat, jolloin syntyy pakote vähentää päästöjä. Päästöoikeudet myöntää päästökauppaviranomainen. Suomessa tätä virkaa toimittaa

Energiamarkkinavirasto. Päästökauppasektorin ulkopuolelle jäävät muun muassa liikenne, maatalous ja talojen lämmitys. Päästökauppa on kohottanut osaltaan sähkön tukkumarkkinahintaa pohjoismaisilla markkinoilla, sillä energiayhtiöiden tuotantokustannukset ovat kasvaneet. (KTM 2006, 27.)

Kausi 2008–2012 on toinen päästökauppakausi. Päästöoikeuksia annetaan EU:ssa noin 10 % (200 miljoonaa tonnia CO₂-ekv./vuosi) vähemmän kuin ensimmäiselle kaudelle 2005–2007. Päästöjä aiheuttavat toimijat joutuvat joko vähentämään päästöjään tai ostamaan muilta yrityksiltä päästöoikeuksia. Kokonaisuudessaan päästöt kuitenkin vähenevät tällä määrällä. Suomessa päästökauppasektorin toimijat saavat vuodessa noin 8 miljoonaa tonnia CO₂-ekv. vähemmän päästöoikeuksia kuin vuosille 2005–2007. (TEM 2008, 2.)

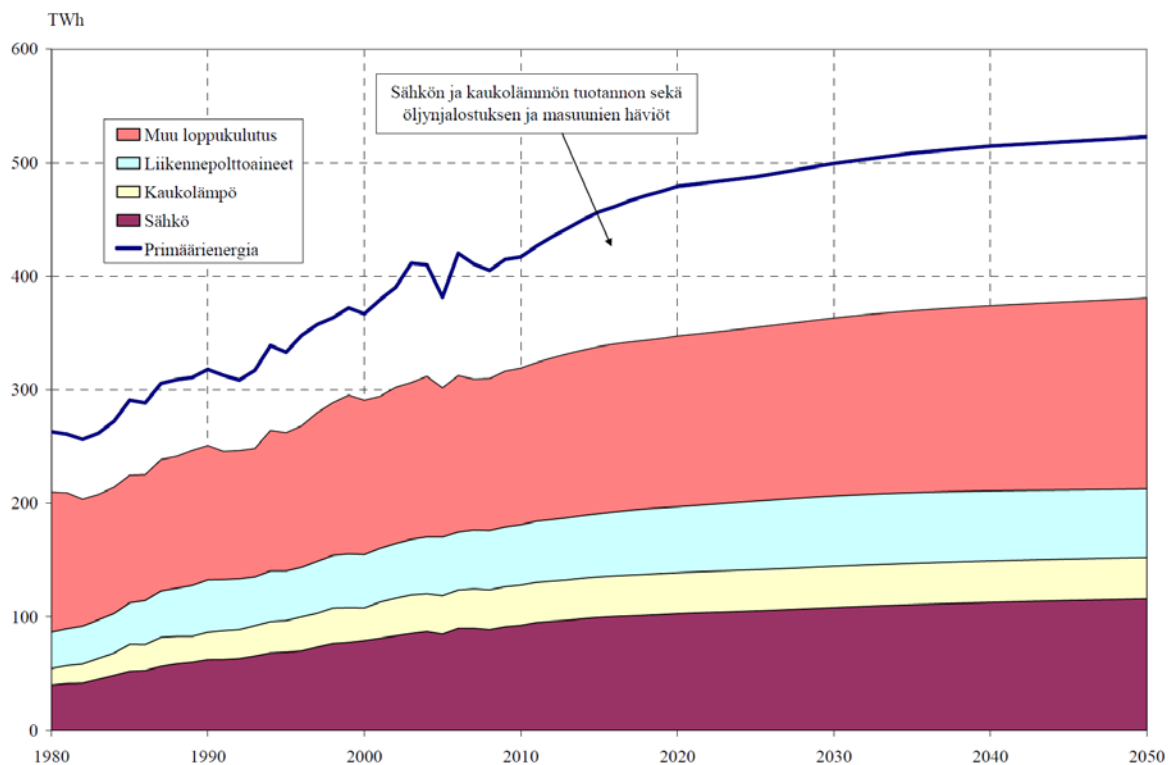
Edellä mainittujen sopimusten lisäksi Euroopan Unioni on hyväksynyt joulukuussa 2008 ns. ”20–20–20”-energia- ja ilmastopakettin, jossa sovitaan EU:n yhteisestä tavoitteesta vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä vuoteen 2020 mennessä 20 prosentilla vuoteen 1990 verrattuna. Tämän lisäksi uusiutuvien energialähteiden osuus nousee keskimäärin 20 % EU:n energian loppukulutuksesta, sekä energiatehokkuutta lisätään keskimäärin 20 prosentilla peruskehitykseen verrattuna vuoteen 2020 mennessä. Liikenteen biopolttoaineiden osuus nostetaan 10 prosenttiin. (TEM 2008, 26.)

3.3 Sähköntarpeen kasvu sekä kaukolämmön tuotannon kehitys

Energiateollisuus ry ja Elinkeinoelämän keskusliitto julkaisivat marraskuussa 2007 arvion Suomen sähkön kysynnästä tulevien vuosikymmenien aikana. Tämän ennusteen mukaan vuotuinen sähkönkulutus tulee olemaan vuonna 2020 106,5 TWh ja 2030 114,6 TWh.

Vuoden 2005 kansallisen energia- ja ilmastostrategian pohjalta tehdyn kulutusennusteen mukaan kaukolämpöä tullaan kuluttamaan vuonna 2020 32,3 TWh ja 2025 33,4 TWh (Pöyry, 2008, 6). Arvioita vastaavat ennustekäyrät on esitetty kuvassa 12. (TEM, 2008, 28.)

Tämän arvion perustana on kansantalouden kehitys ja kasvu sekä oletus siitä, että Suomen teollisuuden toimintaedellytyksiin ei kohdistu tulevaisuudessa vakavia häiriötekijöitä. Esimerkiksi metsäteollisuuden kehitysarvioiden osalta on lähdetty siitä, että metsäteollisuuden kilpailukyky säilyy ja sitä edistetään mm. energiapoliittisilla ratkaisuilla. Tämän lisäksi arvioon vaikuttavat energian maailmanmarkkinahinnat sekä päästöoikeuksien hinta-arviot. Teknologisen kehityksen sekä jossakin määrin poliittisen ohjauksen myötä energiatehokkuus tulee kuitenkin paranemaan, mikä osallaan edesauttaa sähkön käytön kasvun hidastumista aiempaan verrattuna. (Pöyry, 2008, 6; TEM, 2008, 25.)

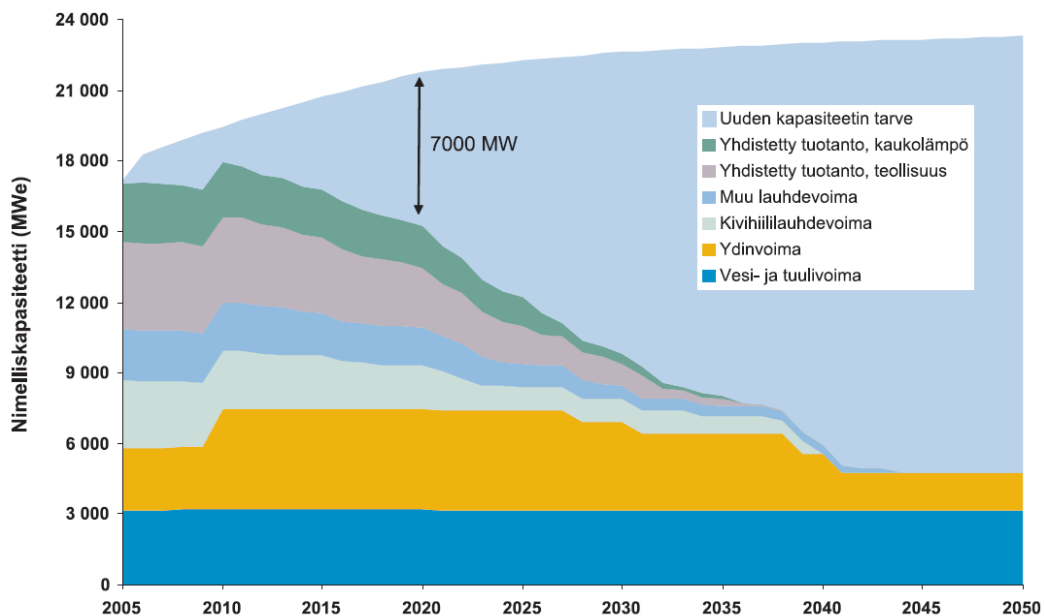


Kuva 12. Energiatuotteiden loppukulutus ja primäärienergia vuosina 1980–2007 sekä arvio vuosien 2008–2050 kulutuksesta. (TEM, 2008)

3.4 Poistuvan energiantuotannon korvaaminen

Kuvassa 13 on esitetty havainnollisesti lähivuosina vanhentuvan ja käytöstä poistuvan sähköntuotantokapasiteetin aiheuttama sähköntuotantovaje. Vajeessa on huomioituna jo tehdyt energiainvestoinnit, joista näkyvin on rakenteilla oleva OL3 ydinvoimalayksikkö.

Uuden kapasiteetin tarve syntyy pääosin vanhentuvien, erityisesti sähkön erillistuotantokäyttöön tarkoitettujen kivihiilivoimalaitosten käytön lopettamisen johdosta. Vajetta tullaan tämän lisäksi täyttämään uuden ilmasto- ja energiastrategian mukaisesti kotimaisella uusiutuvalla energialla eli tuulivoimalla, bioenergialla (jätteidenpoltto, puu ja biokaasu) sekä ydinvoimalla. (TEM, 2008, 8-9.)



Kuva 13. Vanhojen voimalaitosten poistuessa käytöstä Suomi tarvitsee korvaavaa sähköntuotantokapasiteettia 7000 MW vuonna 2020. Uusi Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitosyksikkö tuottaa sähköä 1600 MW. Todellisuudessa OL3:n kapasiteetti saadaan käyttöön alustavasti vasta vuonna 2012. (Energy Visions 2030 for Finland, VTT)

Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian mukaan uutta voimalaitoskapasiteettia tulisi saada vuoteen 2020 mennessä merkittävästi lisää kulutuksen kasvun kattamiseksi sekä korvaamaan sähkön nettotuontia. Rakenteilla olevan 1600 MW:n OL3 ydinvoimalaitosyksikön lisäksi Suomessa on valmiita rakentamispäätöksiä 300 MW:n edestä. Voimalaitosten poistumaan vaikuttaa myös uusien savukaasudirektiivien uudistaminen, joiden mukanaan tuomiin velvoitteisiin eivät vanhat voimalaitokset pysty eikä niiden uudistaminen ole enää kannattavaa. (TEM 2008)

Nykyiset ydinvoimalaitokset poistuvat todennäköisesti käytöstä viimeistään 2030- tai 2040-luvulla. Niiden käyttöluvut ovat voimassa tällä hetkellä seuraavasti: Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 vuoteen 2018, Loviisa 1 vuoteen 2027 ja Loviisa 2 vuoteen 2030 saakka. Jos näiden laitosten toimintaluvat jätetään uusimatta, poistuu sähköntuotannosta 2018–2030 välillä tuotantokapasiteettia noin 2700 MW, vuosituotantona noin 22 TWh. (TEM, 2008, 48.)

Poistuvan energiantuotannon ja kasvavan sähköntarpeen aiheuttama energiavaje tulee kaventumaan jonkin verran jo tehtyjen investointipäätösten ansiosta. Vaje tulee kuitenkin seuraavan vuosikymmenen aikana kasvamaan vauhdikkaasti, joten uuden energiantuotantokapasiteetin rakennustarvetta tulisi tarkastella jo lähivuosina. Suomen ilmastopoliittisten velvoitteiden takia mahdolliset energiantuotantomuodot korvaamaan tätä vajetta ovat käytännössä ainoastaan tuulivoima, biovoima, vesivoima sekä ydinvoima.

4 YDINVOIMA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄJÄNÄ

Kuten edellä kappaleessa 2.3 on todettu, ydinvoima on käytännössä hiilidioksidipäästötön energiantuotantomuoto ja se on tasainen sekä luotettava energianlähde. Suomen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt alenivat merkittävästi, kun ydinvoima otettiin käyttöön 1980-luvun vaihteessa. Sähköntuotannon osuus hiilidioksidipäästöistä on vaihdellut vuodesta 1990 lähtien 17 – 37 % välillä. Vaihtelu johtuu pääosin vesitilanteen ja sitä kautta vesivoiman käytön vuotuisesta vaihtelusta. (Energieollisuus 2007, 26.)

Suomen ydinvoimaloiden käyttökertoimet ovat muihin maailman ydinvoimaloihin verrattuna erinomaisia, esimerkiksi Loviisan yksiköiden kumulatiiviset käyttökertoimet olivat vuonna 2005 85,5 % (Loviisa 1) ja 88,1 % (Loviisa 2) sekä Olkiluodossa 91,7 % (OL1) ja 92,9 % (OL2) (ATS 2006, 6). Kasvihuonekaasupäästöjen merkityksen korostuttua viime vuosien aikana, on myös ydinvoiman potentiaali mahdollisena hiilidioksidivähentäjänä noussut esille.

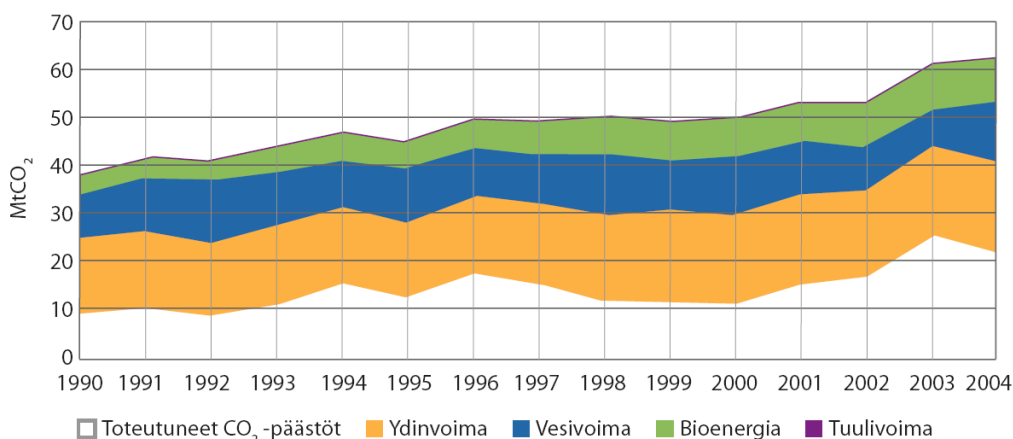
Nykyinen ja tuleva ydinvoimakapasiteetti ei luonnollisesti pysty vähentämään jo aiheutettuja kasvihuonepäästöjä tai neutralisoimaan aiheutuvia päästöjä. Laskennallisesti pystytään kuitenkin tarkastelemaan kuinka paljon hiilidioksidipäästöjä on vältetty ja kuinka paljon voidaan tulevaisuudessa välttää käyttämällä fossiilisten polttoaineiden sijaan ydinenergiaa sähkö- ja kaukolämpötuotannossa. Näiden laskelmien avulla saadaan selkeämpi kuva ydinenergian käytön tärkeydestä ilmastonmuutoksen välttämiseksi.

Kuten edellä kappaleessa 3.1 mainitaan, on uudessa ilmasto- ja energiastrategiassa esitetty, että sähköenergian riittävyyden kannalta ydinenergian mukainen periaatepäätös ydinvoiman lisärakentamisesta tulisi tehdä lähivuosina eli jo nykyisen hallituskauden aikana. Uudella ydinvoimakapasiteetilla korvattaisiin vanhentuvaa ja päästöjä aiheuttavaa

lauhdutusvoimakapasiteettia. Strategian mukaan uutta ydinvoimaa ei kuitenkaan rakenneta Suomeen pysyvää sähkön vientiä varten.

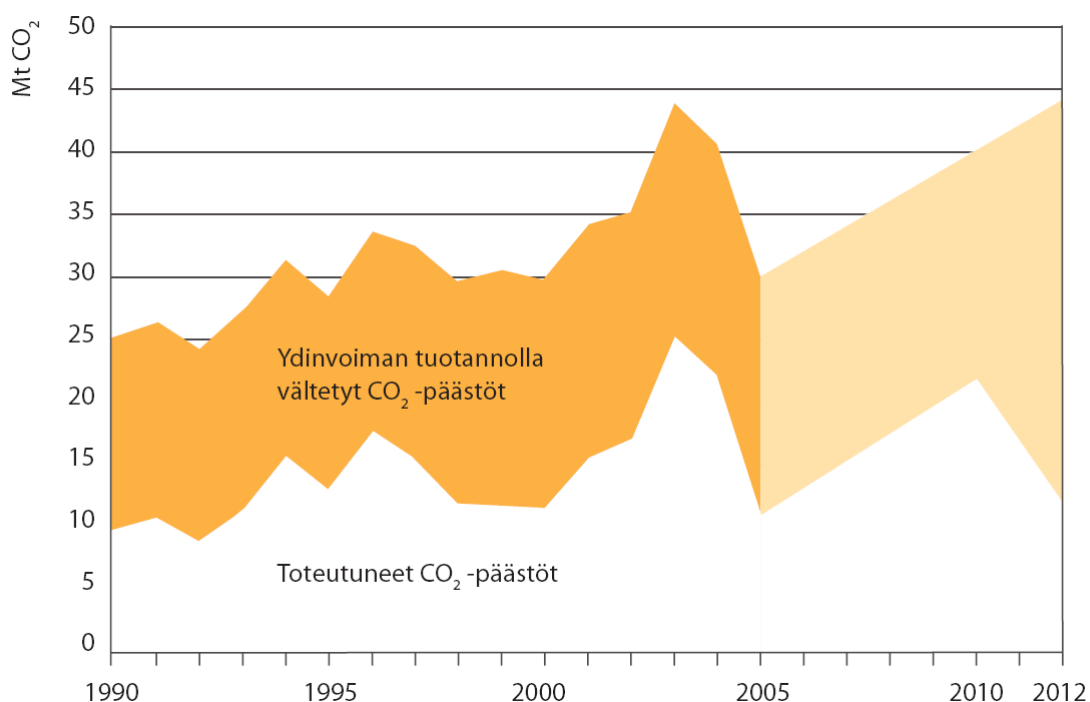
4.1 Ydinvoiman käytöllä vältetyt hiilidioksidipäästöt

Ydinvoiman ja muiden päästövapaiden energiantuotantomuotojen käytöllä vältettyjen hiilidioksidipäästöjen määrää voidaan arvioida yksinkertaisesti: Kun oletetaan näiden energiantuotantomuotojen vastaavaan hiilidioksidipäästöiltään esimerkiksi keskimääräistä kivihiilituotantoa, saadaan vuotuisen hiilidioksidivapaan sähköntuotannon ja keskimääräisten kivihiilivoimalaitosten hiilidioksidipäästöjen avulla laskettua vuodessa aiheutuvat hypoteettiset hiilidioksidipäästöt. Alla olevassa kuvassa 14 on laskettu Suomen hiilidioksidivapailla sähköntuotantomuodoilla välttämät hiilidioksidipäästöt vuosina 1990–2004. Jos ydin-, vesi- ja biovoiman sijaan olisi käytetty kuvaajan mukaisesti hiilivoimaa, Suomen vuotuiset sähköntuotannon päästöt olisivat olleet lähes kolminkertaiset. Kuvaajat sekä arviot tosin eivät ole täysin yksiselitteisiä, sillä todellisuudessa ydinvoiman tilalla käytettäisiin kaikkia muita energiantuotantomuotoja pelkän hiilivoiman sijaan. Täten seuraavissa kuvaajissa on esitetty vältetyt maksimaaliset hiilidioksidipäästöt. Käytännössä hypoteettiset päästömäärät olisivat pienempiä mm. maakaasun käytöstä johtuen.



Kuva 14. Suomen hiilidioksidivapailla sähköntuotantomuodoilla välttämät kasvihuonekaasupäästöt. Arviossa käytetty hiilivoiman hiilidioksidipäästöarvoja. (ET 2007, 14)

Kuten kuvasta 14 näkyy, vesi- ja biovoimaan verrattuna ydinvoiman osuus kasvihuonekaasujen välttämässä on ollut merkittävä, varsinkin kun otetaan huomioon bio- ja vesivoimaloiden suuri lukumäärä Suomessa. Ilman Suomen neljää ydinvoimalaa Loviisassa ja Olkiluodossa, hiilidioksidipäästöt olisivat vuodessa 4-20 miljoonaa tonnia suuremmat. Uuden OL3 ydinvoimalaitosyksikön käyttöönoton myötä vuoden 2012 tienoilla hiilidioksidipäästöt alenevat 2-10 miljoonalla tonnilla vuodessa. Yksinomaan ydinvoiman tuotannolla vältetyt päästöt on esitetty tarkemmin kuvassa 15. Kuvassa on oletettu, että OL3 ydinvoimalaitosyksikön sähköntuotanto alkaa vuonna 2010, mikä on kuitenkin todellisuudessa rakennustöiden viivästymisestä johtuen epätodennäköistä. (ET 2007, 26.)



Kuva 15. Toteutuneet ja arvioidut hiilidioksidipäästöt sekä ydinvoiman tuotannolla vältetyt päästöt vuosina 1990–2012. (ET 2007, 26)

Tällä hetkellä ydinvoimasähköä tuotetaan vuodessa 22 TWh ja OL3:n valmistuttua 35 TWh. Seuraavalla vuosikymmenellä OL3 yksikön valmistuttua Suomi tulee välttämään em. laskutavalla laskettuna ydinvoiman ansiosta vuosittain noin 30 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt, jos oletetaan että ydinvoiman sijaan käytössä olisi yksinomaan

hiilivoimaa. Jos hiilidioksidipäästöarvon oletetaan vastaavan pelkän hiilivoiman sijaan esimerkiksi Suomen sähköntuotannon keskimääräisiä CO₂-päästöjä (168 g/kWh vuonna 2008), olisivat vältetyt päästöt noin 5,9 miljoonaa tonnia. Vertailun vuoksi vuonna 2007 Suomen päätoimisessa sähkön ja lämmön tuotannossa syntyi yhteensä 27,15 miljoonaa tonnia CO₂-päästöjä. (Tilastokeskus 2008, 5.)

Tämän työn kirjoittamishetkellä huhtikuussa 2009 EU:n päästökauppajärjestelmän mukainen päästöoikeuden hinta on 14,03 euroa hiilidioksiditonnilta (PointCarbon, 15.4.2009). Suomi säästäisi tämän hinnan mukaisesti laskettuna ydinvoimatuotannon ansiosta ensi vuosikymmenellä päästöoikeuksia vuosittain noin 83–420 miljoonan euron arvosta (tällä hetkellä noin 51–280 miljoonan euron arvosta). Määrä vaihtelee sen mukaan, mitä hiilidioksidipäästöarvoa laskelmissa käytetään, alkaen 168 g/kWh:sta eli Suomen sähköntuotannon keskimääräisestä CO₂-päästöarvosta päättyen hiilivoiman CO₂-päästöarvoon 857 g/kWh. Käytetyt päästöarvot vaihtelevat maittain ja tapauskohtaisesti.

4.2 Suunnitellut ydinvoimahankkeet

Kuten edellä kappaleessa 3.1 on esitetty, Suomi tulee lähivuosina tarvitsemaan arvioidun sähkönkulutuksen kasvun ja poistuvan sähköntuotantokapasiteetin johdosta ainakin yhden uuden ydinvoimalaitoksen. Kirjoittamishetkellä huhtikuussa 2009 valtioneuvostolle on jätetty kolme periaatepäätöshakemusta uusien ydinvoimalayksiköiden rakentamiseksi. Hakijat ovat Teollisuuden Voima Oyj, Fortum Power and Heat Oy sekä Fennovoima.

Teollisuuden Voima Oyj:n hakemuksessa esitetään, että Eurajoen Olkiluotoon rakennettaisiin uusi laitosyksikkö jo toimivien (Olkiluoto 1 ja 2) ja rakenteilla olevan Olkiluoto 3:n läheisyyteen. TVO:n periaatepäätöshakemuksen kohteena on lämpöteholtaan enintään 4600 MW:n kevytvesireaktorilla varustettu sähköteholtaan 1000 - 1800 MW oleva voimalaitosyksikkö. Uuden yksikön rakentaminen ajoittuu 2010-luvulle ja sen on suunniteltu tulevan käyttöön vuosikymmenen loppupuolella. (TVO 2009)

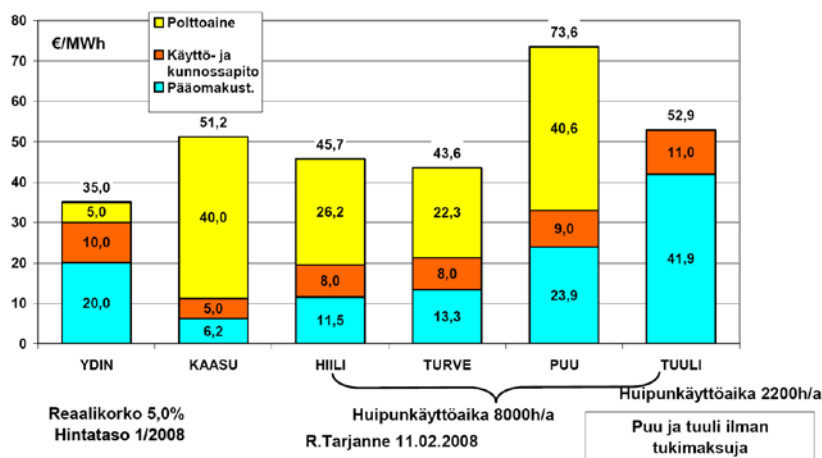
Fortum Power and Heat Oy:n hakemuksessa esitetään, että Loviisan Hästholmeniin rakennettaisiin uusi laitosyksikkö Loviisa 3 jo toimivien (Loviisa 1 ja 2) läheisyyteen. Laitosyksikön sähköteho olisi noin 1000–1800 MW ja lämpöteho noin 2800–4600 MW. Rakentaminen on suunniteltu aloitettavan 2010-luvulla ja laitosyksikkö voisi olla käytössä vuonna 2020. Fortumin hakemuksessa on otettu esiin varsin yksityiskohtaisesti ydinvoiman mahdollinen käyttö kaukolämpötuotannossa (Fortum 2009). Periaatepäätöshakemuksen mukaan pääkaupunkiseudun nykyinen kaukolämmön kulutus on noin 11 TWh. Sähkön ja kaukolämmön tuotannon hiilidioksidipäästöt pääkaupunkiseudulla ovat vastaavasti noin 6 miljoonaa tonnia vuodessa. Mikäli uuden ydinvoimalaitosyksikön tarjoamaa kaukolämpöä hyödynnetään maksimaalisesti, voidaan 1000 MW:n kaukolämpöteholla välttää vuosittain noin 4 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt. Tämän vaihtoehdon toteutuminen vähentäisi pääkaupunkiseudun sähkön ja kaukolämmöntuotannon hiilidioksidipäästöjä yli 60 %:lla ja Suomen hiilidioksidipäästöjä noin 6 %:lla. Sähköä ja kaukolämpöä tuottava ydinvoimalaitosyksikkö tarjoaa parhaan mahdollisuuden vähentää energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä. Lisäksi paikallinen lämpökuormitus mereen voimalaitospaikan läheisyydessä laskee merkittävästi (Fortum 2009, 27).

Fennovoiman hakemuksessa on esitetty sähköteholtaan 1500–2500 megawatin ydinvoimalan rakentamista. Hakemuksessa on määritelty kolme vaihtoehtoista sijaintipaikkaa, jotka ovat Pyhäjoen Hanhikivi, Ruotsinpyhtään Gäddbergsö ja Simon Karsikko. Vaihtoehtona on rakentaa joko yksi iso ydinreaktori tai kaksi pienempää reaktoria. Fennovoiman laitosvaihtoehdot ovat Arevan EPR (rakenteilla olevan OL3:n laitostyyppi) ja Kerena (aikaisempi väliaikainen nimitys SWR 1000) sekä Toshiba ABWR. Kaikki laitosvaihtoehdot voidaan rakentaa tuottamaan sähkön lisäksi kaukolämpöä. Vaikka Fennovoima on uusi tekijä Suomen energiamarkkinoilla, on sillä pääomistaja E.ON:in ja muiden teollisten osakkaidensa kautta tarvittava asiantuntemus ja voimavarat laitoksen toteuttamiseksi suunnitellulla tavalla. Fennovoima ei ole Posiva Oy:n osakas, joten sen täytyy hoitaa käytetyn polttoaineen loppusijoitus itsenäisesti. Fennovoiman tavoitteena on aloittaa sähköntuotanto vuonna 2020 mennessä. (Fennovoima 2009)

4.3 Ydinvoiman taloudellisuus

Taloudellisuus on tärkeä tekijä energiatuotantomuotoja vertailtaessa. Sähkön tuotantokustannukset vaikuttavat suoraan sähkön hintaan ja sitä kautta valtiontalouden kehitykseen. Sähkön tuotantokustannukset koostuvat neljästä eri tekijästä: Pääomakustannuksista, käyttö- ja kunnossapitokustannuksista, polttoainekustannuksista sekä päästökauppa-oikeuksista. Pääomakustannukset koostuvat alkuinvestoinnin takaisinmaksuun kuluvista annuiteettimenetelmällä lasketuista vuotuisista maksueristä. Näillä erillä maksetaan investointi korkoineen takaisin tasaerinä laitoksen taloudellisen eliniän loppuun mennessä. (Tarjanne & Kivistö 2008, 7)

Kuvassa 16 on esitetty eri voimalaitostyyppien sähkön tuotantokustannukset ilman päästökauppa-oikeuksia. Päästökauppa-oikeuksien hinnat muuttuvat paljon ja ovat vaihdelleet 10 - 50 €/t välillä. Kirjoitushetken päästökauppahinnalla 14,03 euroa hiilidioksiditonnilta (PointCarbon, 15.4.2009) esimerkiksi hiilen tuotantokustannukset olisivat noin 11 €/MWh suuremmat. Ydin- ja tuulivoima ovat hiilidioksidivapaita sähköntuotantomuotoja ja puuvoiman hiilidioksidipäästöt on määritelty kasvihuoneneutraaleiksi, sillä hiilidioksidi sitoutuu nopeasti uuteen kasvuun tai vapautuisi joka tapauksessa esimerkiksi hakkuutähteiden lahotessa. Täten näiden energiantuotantomuotojen tuotantokustannuksiin ei päästökauppa vaikuta.



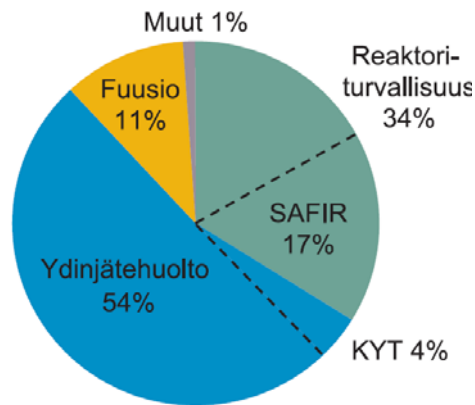
Kuva 16. Eri voimalaitostyyppien sähkön tuotantokustannukset, ilman päästökauppa. (Tarjanne & Kivistö 2008, 8)

Kullekin voimalaitostyypille on laskettu sähkön omakustannehinta ilman liikevoittoa ja siitä aiheutuvaa veroa, jolloin tulokseksi saadaan sähköntuotantokustannus. Lappeenrannan Teknillisessä Yliopistossa vuonna 2008 tehdyn sähkön tuotantokustannusvertailun mukaan ydinvoiman tuotantokustannukset ovat 35 €/MWh. Muihin sähköntuotantomuotoihin verrattuna (varsinkin jos ottaa huomioon päästöoikeudet) ydinvoima on selvästi edullisin. Toisen merkittävän kasvihuonekaasujen vähentäjän eli tuulisähkön hinnaksi muodostuu 52,9 €/MWh, mikä on yli 50 % suurempi kuin ydinvoimalla. Suuri hinta selittyy tuulivoiman varsin matalalla käyttökertoimella (huipunkäyttöaika vuodessa noin 2200 tuntia, riippuu tuulitilanteesta) ja pienellä energiantuotantokapasiteetilla. (Tarjanne & Kivistö 2008, 9)

Ydinsähkön tuotantokustannukset koostuvat pääosin pääomakustannuksista (johtuen suuresta alkuinvestoinnista eli voimalaitoksen rakentamisesta) eivätkä ne ole juurikaan sidoksissa polttoaineen hintaan. Jos esimerkiksi uraanin hinta nousisi 50 %, ydinsähkön tuotantokustannukset nousisivat vain 2,5 €/MWh. Maakaasun tapauksessa vastaava tuotantokustannusten kasvu olisi 20 €/MWh. (Tarjanne & Kivistö 2008, 12)

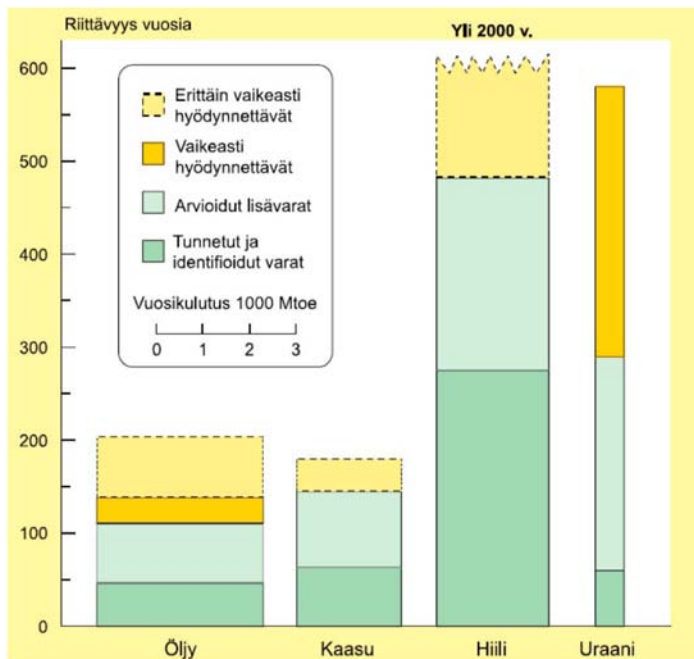
4.4 Ydinvoiman tulevaisuus

Lopuksi tarkastellaan lyhyesti ydinvoiman tulevaisuuden näkymiä. Vaikka ydinvoima on ollut ihmiskunnan käytössä jo yli 50 vuotta, on ydinvoimassa vielä tänä päivänä paljon parantamisen varaa. Ydinvoimaloiden tuottaman ydinjätteen loppusijoitus, reaktoriturvallisuus, säteilysuojelu sekä fuusioenergia ovat kaikki tärkeitä tutkimusalueita, joiden kautta voidaan ydinenergiasta tehdä tulevaisuudessa entistä turvallisempaa ja tehokkaampaa. Kuvassa 17 on esitetty Suomen ydinenergiatutkimuksen rahoituksen jakautuminen eri osa-alueille. Tutkimusten päätavoite on tuottaa korkeatasoista asiantuntemusta ja tutkimustuloksia ydinvoimalaitosten sekä ydinjätehuollon ja loppusijoituksen turvallisuudesta sekä tukea viranomaisten toimintaa. Tutkimusohjelmien hankkeissa voidaan alalle kouluttaa uusia asiantuntijoita ja edistää teknologian ja tiedon vaihtoa. (ATS 2006, 18.)



Kuva 17. Ydinenergiatutkimuksen rahoituksen jakautuminen eri osa-alueille. Tutkimusrahoituksen kokonaissumma on 28,5 miljoonaa euroa. Osuuteen ”muut” sisältyvät ympäristövaikutukset ja säteilysuojelu. SAFIR = Kansallisen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimusohjelma, KYT = Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma. (VTT)

Ydinvoimalaitosten polttoaineena käytettävän uraanin ja muiden energianlähteiden riittävyyttä on kuvattu alla kuvassa 18. Uraania riittää maapallolla arvioiden mukaan ainakin seuraavaksi 300 vuodeksi, joten ydinvoimaa voidaan pitää suhteellisen pitkäikäisenä energiantuotantoratkaisuna.



Kuva 18. Maailman käytettävissä olevat energiavarat ja niiden riittävyys nykykulutuksella. (VTT, Energia Suomessa 2004)

5 YHTEENVETO

Työssä on tarkasteltu ydinvoiman roolia Suomen energiantuotannossa ekologisesta, taloudellisesta, poliittisesta sekä teknologisesta näkökulmasta. Tämän lisäksi työssä on esitetty tulevien vuosikymmenien ilmastovelvoitteet, sähkönkulutuksen arvioitu kasvu sekä poistuvan sähköntuotantokapasiteetin aiheuttama energiantuotantovaje.

Työn otsikon mukaisesti pääpaino tarkasteluissa on ollut kasvihuonekaasupäästöissä sekä niiden vähentämisessä. Energiantuotantomuotojen taloudellisuusvertailut ovat kuitenkin oleellisia, sillä niiden avulla voidaan vertailla ydinvoimaa muihin ilmasto- ja energiastrategiassa määriteltyihin puhtaisiin energiantuotantomuotoihin kuten tuulivoimaan. Taloudellisuusvertailujen kautta voidaan tarkastella, kuinka kyseisten tuotantomuotojen käytön lisääminen tulevaisuudessa tulee vaikuttamaan sähkön hintaan sekä valtiontalouteen. Ydinvoima on taloudellisesti tarkasteltuna erittäin kilpailukykyistä eikä se tarvitse valtiolta tukia ollakseen kannattavaa. Ydinsähkön hinta on sidoksissa pääosin investointikustannuksiin sekä korkotasoon, eikä siihen vaikuta merkittävästi polttoaineen hinnanvaihtelut.

Ydinvoima on Suomen tärkein sähköntuotantomuoto ja sen avulla on vältetty huomattava määrä hiilidioksidipäästöjä jo 1970-luvun loppupuolelta lähtien. Tänä päivänä Suomi välttää ydinvoiman ansiosta vuosittain laskutavasta riippuen 4-20 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt, mikä kasvaa noin 6-30 miljoonaan tonniin OL3 ydinvoimalaitosyksikön valmistuttua. Täten voidaan todeta, että ydinvoiman rooli kasvihuonekaasujen vähentäjä on tänä päivänä erittäin merkittävä ja se tulee olemaan lähivuosina vielä merkittävämpi.

Suomen on tulevana vuosikymmeninä luovuttava runsaasti kasvihuonepäästöjä tuottavien energianlähteiden kuten kivihiiilen, maakaasun ja turpeen käytöstä, jos se aikoo täyttää sille YK:n ilmastopimuksessa sekä Euroopan Unionin energiapaketissa asetetut

ilmastovelvoitteet. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian mukaan Suomeen tullaan lähivuosien aikana rakentamaan ainakin yhden uuden ydinvoimalaitosyksikön lisäksi runsaasti lisää tuuli- ja biovoimakapasiteettia sekä jonkin verran vesivoimaa.

Tähän mennessä valtioneuvostoon on toimitettu kolme periaatepäätöshakemusta seuraavan ydinvoimalaitoshankkeen toteuttamiseksi. Valtioneuvosto alistaa mahdollisen myönteisen periaatepäätöksen eduskunnan vahvistettavaksi, jos se kokee laitoksen rakentamisen olevan yhteiskunnan kokonaisedun mukaista.

Se, hyväksyykö valtioneuvosto hakemukset ja vahvistaako eduskunta näistä hakemuksista vain yhden vai mahdollisesti jopa kaikki, tulee olemaan merkittävä poliittinen kysymys. Tässä työssä esitettyihin ennusteisiin vedoten voidaan kuitenkin perustellusti todeta, että kaikille kolmelle mahdolliselle ydinvoimalalle tulisi kyllä olemaan runsaasti käyttöä seuraavien vuosikymmenien aikana.

6 LÄHDELUETTELO

Kirjallisuuslähteet

Henriksson, Arto. 2007. Loviisan uuden ydinvoimalan hukkalämmöllä lämmittäisi koko Helsingin. Loviisan sanomat, 19.10.2007.

Kara, Mikko et al. 2004. Energia Suomessa: tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. 3. painos. Helsinki: Edita. 396 s. ISBN: 951-37-4256-3 (sid.)

Kauppa- ja teollisuusministeriö (TEM). 2006. Lähiajan energia- ja ilmastopoliitiikan linjauksia: kansallinen strategia Kioton pöytäkirjan toimeenpanemiseksi. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö: Edita Publishing, 2006. 138 s. KTM julkaisuja ISSN 1459-9376; 2006, 4. ISBN: 951-739-966-9 (nid.)

L 11.12.1987/990. Ydinenergialaki.

Perkiö, Sanna. 2009. Ympäristöveroilla voitaisiin kerätä miljardi valtion kassaan. Helsingin Sanomat, 2009: 11.4.2009. D 6.

Savolainen, Ilkka. 2008. Teknologiapolut 2050: teknologian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen syvien rajoittamistavoitteiden saavuttamiseksi Suomessa: taustaraportti kansallisen ilmasto- ja energiastrategian laatimista varten. Espoo: VTT. 215 s. VTT tiedotteita 2432. ISBN: 978-951-38-7207-6 (nid.)

Säteilyturvakeskus. 2003. Voimalaitosjätteiden loppusijoitus. 2., uud. p. Helsinki: Säteilyturvakeskus. 7 s. ISBN: 951-712-760-X (nid.)

Tarjanne, Risto & Kivistö, Aija. 2008. Sähkön tuotantokustannusvertailu. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 24 s. LTY, Tutkimusraportti. B; 175. ISBN: 978-952-214-543-7

Sähköiset lähteet

Energiateollisuus ry. 2007. Energia ja ilmasto – Suomen malli vuoteen 2025 [PDF-julkaisu]. Elinkeinoelämän keskusliitto, Suomen Ammattiliittojen Keskusjärjestö ja Sähköalojen Ammattiliitto ry. Energiateollisuus ry:n julkaisu. 36 s. Saatavissa:

[<http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/julkaisut%20ja%20tutkimukset/liitteet/energia%20ja%20ilmasto%20.pdf>]

[viitattu 26.3.2009].

Energiateollisuus ry. 2009. Energiavuosi 2008 Kaukolämpö. [Lehdistötiedote]. 10 s.

Saatavissa:

[<http://www.energia.fi/fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/energiavuosi%202008%20s%C3%A4hk%C3%B6.html>]

[viitattu:8.4.2009].

Energiateollisuus ry. 2009. Energiavuosi 2008 Sähkö. [Lehdistötiedote]. 29 s.

Saatavissa:

[<http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/ajankohtaista/lehdist%C3%B6tiedotteet/energiavuosi%202008%20kaukol%C3%A4mp%C3%B6.html?SectionUri=%2fffi%2fajankohtaista%2flehdistotiedotteet>]

[viitattu:8.4.2009].

Eurprog. 2004. Statistics and prospects for the the European electricity sector (1980-1990, 2000-2020) [PDF-julkaisu]. 284 s.

Saatavissa:

[<http://www.eurelectric.org/CatPub/Document.aspx?FolderID=1540&DocumentID=11712>]
] [viitattu 8.4.2009]

Fennovoima. 2009. Ydinvoimalan periaatepäätöshakemus. [PDF-julkaisu]. 330 s.

Saatavissa:

[http://www.fennovoima.fi/user_data/doc/PAP-materiaali/PAP_suomi_lowres.pdf]

[viitattu 8.4.2009]

Fortum Power and Heat Oyj. 2009. Loviisa 3 Periaatepäätöshakemus [PDF-julkaisu]. 140 s. Saatavissa:

[http://www.loviisa-3.fi/filebank/63-Fortum_2009_Loviisa3_PAP-hakemus.pdf]

[viitattu 8.4.2009]

Pöyry Energy Oy. 2008. Sähköntuotantoskenaariot vuoteen 2030 [PDF-julkaisu]. Espoo: Pöyry Energy Oy:n Konsultointiyksikkö. Energiateollisuus ry:n selvitys. 44 s. ISBN 978-952-5615-21-0.

Saatavissa:

[<http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/julkaisut%20ja%20tutkimukset/liitteet/s%C3%A4hk%C3%B6ntuotantoskenaariot%20vuoteen%202030.pdf>]

[Viitattu: 8.4.2009]

Suomen Atomiteknillinen seura. 2006. Ydinenergia ja Suomi.[Verkkajulkaisu]. 24 s.

Saatavissa:

[http://www.ats-fns.fi/archive/Ydinenergia_ja_Suomi_netti.pdf] [Viitattu: 6.3.2009].

Tilastokeskus. 2008. Kasvihuonekaasut 2007 [PDF-julkaisu]. Tilastokeskuksen julkaisu. 14 s. ISBN 978-952-467-941-1 (pdf)

Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/khki/2007/khki_2007_2008-12-12_fi.pdf] [viitattu 26.3.2009]

Teollisuuden Voima Oy. 2008. Ydinvoimalaitosyksikön rakentamista koskeva periaatepäätöshakemus – Olkiluoto 4 [PDF-julkaisu]. 124 s.

Saatavissa: [http://www.tvo.fi/uploads/File/2008/Periaatepaatoshakemus_OL4_lukittu.pdf]

[viitattu 8.4.2009]

Työ- ja Elinkeinoministeriö. Energiaosasto. 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008. [Verkkajulkaisu]. 130 s.

Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf]

[Viitattu:8.4.2009]

Työ- ja Elinkeinoministeriö. Energiaosasto. 2008. Valtioneuvoston päätös laitoskohtaisten päästöoikeuksien myöntämisestä [Verkkajulkaisu]. 58 s. Saatavissa:

[[http://www.energia.fi/content/root_content/energiateollisuus/fi/ympäristö ja energiansäätö/päästökauppa/myontamispaatos.pdf](http://www.energia.fi/content/root_content/energiateollisuus/fi/ymparisto_ja_energiansaastö/päästökauppa/myontamispaatos.pdf)] [Viitattu:8.4.2009].

UNFCCC. Essential background [nettietokanta]

Saatavissa:[http://unfccc.int/kyoto_protocol/compliance/introduction/items/3024.php]

[viitattu 8.4.2009]