

# Skenaarioita ilmastopolitiikan vaikutuksista energiatalouteen

Juha Forsström & Antti Lehtilä

VTT Prosessit

ISBN 951-38-6586-X (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)  
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT Prosessit, Lämpömiehenkuja 3, PL 1606, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 6538

VTT Processer, Värmemansgränden 3, PB 1606, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 6538

VTT Processes, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1606, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 6538

Tekijä(t) Forsström, Juha & Lehtilä, Antti		
Nimeke <b>Skenaarioita ilmastopolitiikan vaikutuksista energiatalouteen</b>		
Tiivistelmä Työssä on analysoitu kansallisen ilmasto- ja energiastrategian valmistelun tueksi skenaarioita päästöjen rajoittamisen vaikutuksista Suomen energiatalouteen. Tarkastelut jakaantuvat keskipitkän tähtäimen skenaarioihin, jotka ulottuvat vuoteen 2025 saakka, sekä pitkän tähtäimen skenaarioihin, jotka ulottuvat vuoteen 2050 asti. Vaikutusanalyysit on tehty kahdella laajalla koko Suomen energiajärjestelmän osittaistasapainomallilla.  Vuoteen 2025 ulottuvien skenaarioiden keskeisenä tavoitteena on arvioida päästöjen rajoittamisen aiheuttamia taloudellisia vaikutuksia sekä muutoksia eri energialähteiden ja tekniikoiden keskinäisessä kilpailukyvyssä. Tärkeimmäksi toteutusmekanismiksi on tällöin oletettu päästöoikeuksien kauppa, jonka piiriin kuuluu energian tuotanto ja pääosa energiaintensiivisistä prosessiteollisuudesta. Pitkän tähtäimen skenaarioiden avulla haarukoidaan puolestaan mahdollisuuksia tuntuviin päästöjen vähennyksiin kotimaisin toimin.  Tulosten mukaan Kioton periodilla päästöjen vähentämisen marginaalikustannukset olisivat Suomessa noin 25 €/tonni (CO <sub>2</sub> -ekv.), mikäli vähennykset toteutettaisiin kokonaan kotimaisin toimin. Suomalaisten yritysten kannattaisi siten ostaa runsaasti päästöoikeuksia, jos niiden hinta jää selvästi tätä tasoa alhaisemmaksi. Suorat vuosikustannukset olisivat Kioton periodilla kotimaisin toimin runsaat 200 M€, mutta päästöoikeuksien hinnan jääminen 10 €:n tasolle vähentäisi kustannuksia lähes kolmanneksen.  Vuoteen 2050 mennessä Suomessa olisi teknisesti mahdollista vähentää päästöjä tulosten mukaan ainakin 50 % vuoden 1990 tasosta. Tämä edellyttäisi kuitenkin monien uusien tekniikoiden kaupallistumista, joista merkittävimpiä ovat hiilidioksidin erotusteknologia ja lähes päästötön, esimerkiksi polttokennoihin perustuva liikenteen ajoneuvoteknologia. Ilman uusia tekniikoita tai laajaa joustomekanismien käyttöä päästötavoitteiden kiristyminen johtaisi hyvin nopeaan kustannusten kasvuun Kioton periodin jälkeen.		
Avainsanat climate policy, greenhouse gas emissions, energy economy, energy system models, emission reduction		
Toimintayksikkö VTT Prosessit, Energia ja ympäristö		
ISBN 951-38-6586-X (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Projektinumero C5SU00467
Julkaisuaika Heinäkuu 2005	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 71 s. + liitt. 9 s.
Projektin nimi Ilmastostrategian vaikutusarviot	Toimeksiantaja(t) Kauppa- ja teollisuusministeriö	
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )	Julkaisija VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Published by



Series title, number and  
report code of publication

VTT Working Papers 36  
VTT-WORK-36

Author(s) Forsström, Juha & Lehtilä, Antti		
Title <b>Scenarios for the impacts of climate policy on energy economy</b>		
Abstract <p>The impacts of the national energy and climate strategy on the energy economy are analysed by using scenarios calculated by comprehensive partial equilibrium models for the national energy system. The perspective is both on the medium term until 2025 and on the long-term until the year 2050.</p> <p>The main objective of the medium-term scenarios is to assess the economic impacts of emission reduction policies and measures as well as the changes induced in the energy system. The analysis is based on the assumption that emission trading will be the primary mechanism for achieving emission reductions. Technical potential for substantial domestic emission reductions is the focus of the longer-term scenarios.</p> <p>According to the results, the marginal costs of emission reductions would be about 25 €/tonne (CO<sub>2</sub>-eq.) during the Kyoto period, if the reductions were to be achieved by domestic measures only. Considerable purchases of emission allowances would thus be a very favourable option for the Finnish industries, should the prices remain well below this level. The total direct costs entailed by the emission reductions would be around 200 M€ per annum in the Kyoto period.</p> <p>In the longer term, emission reductions of at least up to 50 % compared to the 1990 level were found to be technically feasible in Finland, provided that many new low-emission technologies will enter the market around 2030. Without new technologies in energy conversion and transportation the costs of more stringent emission targets would increase rapidly in Finland after the Kyoto period.</p>		
Keywords climate policy, greenhouse gas emissions, energy economy, energy system models, emission reduction		
Activity unit VTT Processes, Energy and Environment		
ISBN 951-38-6586-X (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Project number CSSU00467
Date July 2005	Language Finnish, engl. abstr.	Pages 71 p. + app. 9 p.
Name of project Climate strategy impact analysis	Commissioned by Ministry of Trade and Industry	
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )	Publisher VTT Information Service P.O. Box 2000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

# Alkusanat

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan ilmastopolitiikan vaikutuksia Suomen energiatalouteen skenaarioanalyysin keinoin. Tavoitteena on ensinnäkin analysoida, miten Suomen energiatalous kehittyy vuoteen 2025 mennessä, kun EU:n päästökauppajärjestelmän oletetaan pysyvän keskeisimpänä päästöjen rajoittamisen ohjausmekanismina. Kioton periodin jälkeen Suomen päästötavoitteen oletetaan joko pysyvän ennallaan tai kiristyvän vuoteen 2025 mennessä 10–30 % vuoden 1990 päästötason alapuolelle.

Tutkimuksen toisen osan keskeisenä tavoitteena on tarkastella pidemmän aikavälin mahdollisuuksia kasvihuonekaasujen päästöjen tuntuvaan rajoittamiseen Suomessa. Tällöin ei siis enää tarkastella joustomekanismien käyttöä, vaan analysoidaan puhtaasti kotimaisin toimin saavutettavaa päästöjen rajoituspotentiaalia. Näkökulma on tällöin pääosin teknisissä mahdollisuuksissa, koska uusien tekniikoiden kustannusarviot sisältävät huomattavia epävarmuuksia.

Tutkimuksen tilasi ja rahoitti kauppaja teollisuusministeriö (KTM). Työtä valvoi ylitarkastaja Pekka Tervo KTM:stä. Työn varsinaisina tekijöinä olivat tutkijat Juha Forsström ja Antti Lehtilä VTT:stä. Projektipäällikkönä toimi Antti Lehtilä. Tekijät esittävät tilaajan edustajille lämpimät kiitokset työhön saaduista kommentteista ja lähtötiedoista.

# Sisällysluettelo

Alkusanat.....	5
1. Johdanto .....	8
2. Tarkastelumenetelmä .....	9
3. Energiataloudelliset lähtökohdat.....	10
3.1 Talouden kehitys .....	10
3.2 Muut yhteiset oletukset.....	11
4. Tarkastellut skenaariot .....	12
5. Vaikutusarviot vuoteen 2025 .....	13
5.1 Energian kokonaiskulutus .....	13
5.1.1 Primaarienergia .....	13
5.1.2 Bioenergia ja kotimaiset energialähteet .....	16
5.1.3 Eräiden polttoaineiden käyttö sektoreittain.....	19
5.2 Sähkön hankinta ja kulutus.....	25
5.3 Energian loppukäyttö.....	29
5.3.1 Teollisuus .....	29
5.3.2 Rakennusten lämmitys .....	31
5.3.3 Liikenne.....	34
5.4 Kasvihuonekaasujen päästöt ja päästökauppa .....	36
5.4.1 Kasvihuonekaasujen päästötase .....	36
5.4.2 Päästöjen kehitys eri sektoreilla .....	41
5.4.3 Päästökaupan tase.....	43
5.5 Päästöjen vähentämisen suorat kustannukset .....	46
6. Pitkän aikavälin skenaariot vuoteen 2050.....	49
6.1 Energian kokonaiskulutus .....	49
6.1.1 Primaarienergia .....	49
6.1.2 Bioenergia ja kotimaiset energialähteet .....	51
6.2 Sähkön hankinta .....	53
6.2.1 Sähkön hankinnan kokonaisrakenne .....	53
6.2.2 Erillisen sähköntuotannon rakenne .....	54
6.2.3 Kaukolämpövoiman tuotanto .....	55
6.2.4 Teollisuuden yhteistuotanto .....	56
6.3 Energian loppukäyttö.....	57
6.3.1 Sähkön kokonaiskulutus.....	57

6.3.2	Teollisuuden polttoainekäyttö.....	59
6.3.3	Rakennusten lämmitys .....	60
6.3.4	Liikenne.....	61
6.4	Kasvihuonekaasujen päästöt.....	63
6.4.1	Päästöt kaasuittain.....	63
6.4.2	Päästöt sektoreittain .....	63
6.4.3	Päästövähennykset .....	65
6.5	Päästöjen vähentämisen suorat kustannukset.....	67
7.	Yhteenveto.....	68
	Lähdeluettelo .....	70
	Liite: Tulostaulukoita vuoteen 2025 ulottuvista skenaarioista	

# 1. Johdanto

Teollisuusmaat ovat Kioton pöytäkirjan mukaan sitoutuneet rajoittamaan kasvihuonekaasupäästöjä vuoden 1990 tasolta keskimäärin 5 % vuosien 2008–2012 viisivuotiskaudella (ns. Kioton periodi). Euroopan yhteisön yhteinen vähennystavoite on 8 %, ja EU:n taakanjakoneuvotteluissa Suomelle asetettiin tavoite, jonka mukaan Suomen kasvihuonekaasupäästöt eivät saa olla Kioton periodilla vuoden 1990 tasoa suuremmat. Kioton pöytäkirja jättää sopimusvaltioiden itsensä päätettäväksi, millä keinoin ne velvoitteensa täyttävät. Valtiot voivat halutessaan täydentää kotimaisia vähennystoimia niin sanottujen joustomekanismien avulla. Tällöin ne voivat lukea hyväkseen kansainvälisillä yhteishankkeilla aikaansaatuja päästövähennyksiä tai ne voivat hankkia itselleen kansainvälisen päästökaupan avulla lisää päästöoikeuksia.

Suomen tavoitteen toteuttamiseksi vuonna 2001 eduskunnalle annettiin selonteko kansallisesta ilmastostrategiasta. Strategian valmistelutyötä ohjasi ministerityöryhmä, jota avusti laaja eri ministeriöiden edustajista koostuva Kioto-yhdysverkko. Viime vuosina tarve strategian uudistamiseksi on osoittautunut välttämättömäksi. Energian kokonaiskulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet vuoden 2001 strategiassa arvioitua nopeammin. Vuoden 2005 alusta astui toisaalta voimaan EU:n päästökauppajärjestelmä, jolla on keskeinen osa EU-maiden ilmastopolitiikan toteuttamisessa. Lisäksi EU:n piirissä on alettu keskustella yhä laajemmin myös Kioton periodin jälkeisistä päästörajoitustavoitteista ja niiden toteuttamisesta. Vuonna 2004 käynnistettiinkin strategian päivitystyö, jonka tuloksena valmistuva selonteko uudesta kansallisesta ilmasto- ja energiastrategiasta on tarkoitus antaa eduskunnalle syksyllä 2005.

Tämä tutkimusraportti esittelee ilmasto- ja energiastrategian valmistelun taustaksi tehtyjä energiataloudellisia skenaariolaskelmia. Pääosin energian tuotantoon ja käyttöön painotuvat skenaariolaskelmat tehtiin VTT:n kehittämällä ja käyttämällä, koko energiajärjestelmää kuvaavilla TIMES- ja POLA-malleilla. Vastaavanlaisia mallitarkasteluja tehtiin myös vuoden 2001 strategiaa valmisteltaessa (Kemppi et al. 2001). Tässä uudessa tarkastelussa ei ole kuitenkaan otettu mukaan kokonaistaloudellisia vaikutuksia, sillä niitä on arvioitu erikseen Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen (VATT) käytössä olevilla tasapainomalleilla.

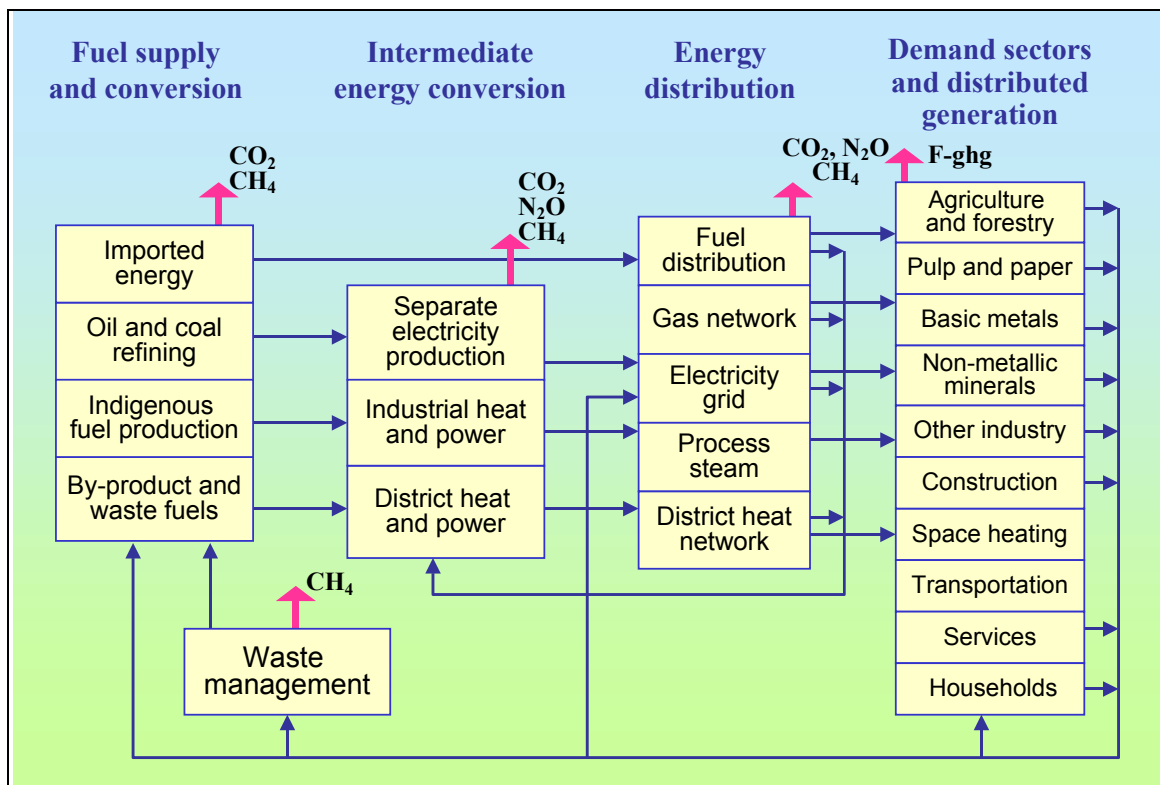
Yksi tutkimuksen päätarkoituksista on ilmastostrategian toteuttamisen suorien taloudellisten vaikutusten arviointi, sillä strategian keskeisiin lähtökohtiin on kuulunut se, että Suomen ilmastopoliittiset tavoitteet tulee saavuttaa mahdollisimman alhaisin yhteiskuntataloudellisin kustannuksin. Energiajärjestelmämalleilla voidaan arvioida, miten tavoitteet voitaisiin saavuttaa mahdollisimman pienin suorin kustannuksin. Tarkastelumenetelmä tukee siten hyvin strategian perustavoitteita, mutta sen rinnalla tarvitaan myös kokonaistaloudellisia tarkasteluja. Toisena päätavoitteena on päästöjen rajoitusmahdollisuuksien analysointi pidemmällä tähtäimellä käyttäen samaa lähestymistapaa.



## 2. Tarkastelumenetelmä

Skenaariotarkastelussa käytettiin kahta VTT:n kehittämää ja käyttämää Suomen energiajärjestelmämallia, jotka ovat TIMES- ja POLA-malli. TIMES-malli pohjautuu IEA:n Energy Technology Systems Analysis Programme -ohjelmassa vuodesta 1997 alkaen kehitettyyn TIMES-mallinnusympäristöön (Loulou et al. 2005). POLA-malli on puolestaan kehitetty kokonaan VTT:ssä yleiskäyttöisessä kaupallisessa What's Best-mallinnusympäristössä (Forsström 2004). Kumpikin malli on luonteeltaan lineaariseen optimointiin perustuva ns. osittaistasapainomalli, jossa voidaan kuvata yksityiskohtaisesti suuri määrä erilaisia energiatekniikoita niin energian tuotannon kuin kulutuksen sektoreilla. Erityisesti VTT:n TIMES-mallissa on kuvattu varsin suuri määrä eri tekniikoita, ja se onkin POLA-mallia huomattavasti laajempi (yhtälöiden määrä noin viisinkertainen).

Kuvassa 1 on havainnollistettu TIMES-mallin perusrakennetta. Malli sisältää kuvassa esitettyä huomattavasti tarkemman sektorijaottelun, joten malli sopii varsin hyvin päästökaupan sektorikohtaisten vaikutusten tarkasteluun. Esimerkiksi teollisuuden kuvaus sisältää erillisinä sektoreina rauta- ja terästeollisuuden, muut perusmetallit, rakennusaineteollisuuden, kemiallisen ja mekaanisen metsäteollisuuden, kemian teollisuuden ja öljynjalostuksen. Myös teollisuuden oma sähkön ja lämmön tuotanto on jaettu vastaavalla tavalla teollisuudenaloittain.



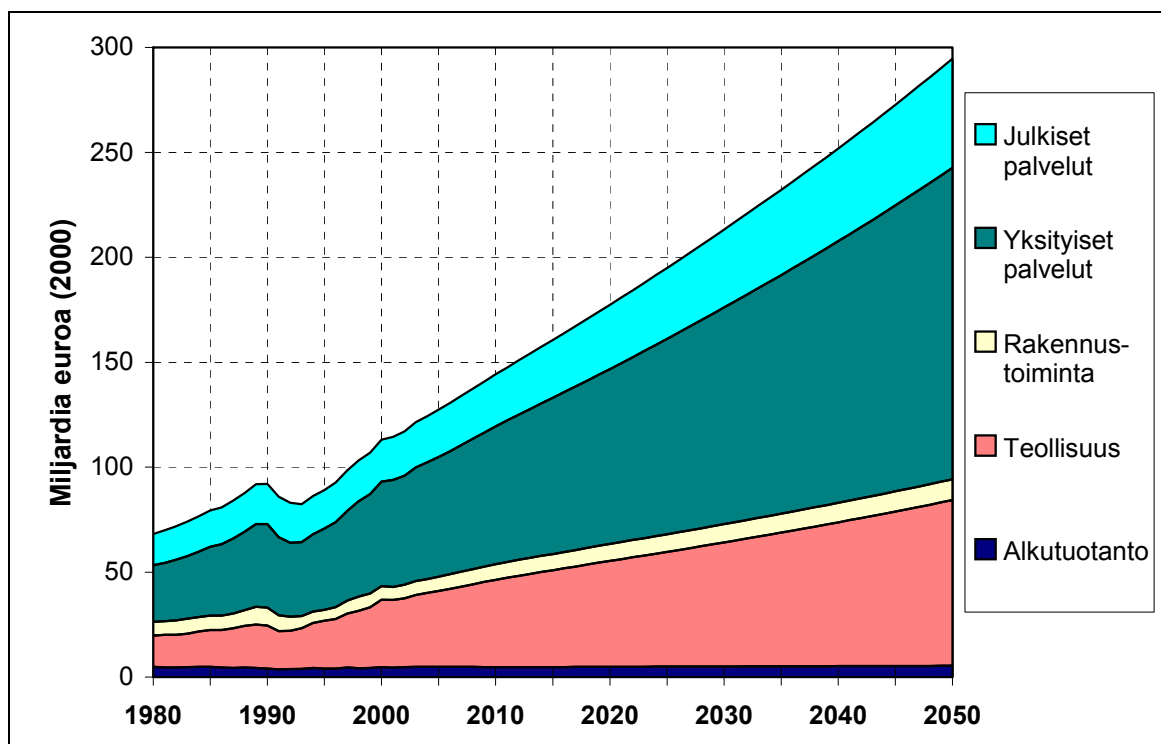
Kuva 1. TIMES-mallin rakenteen yksinkertaistettu periaatteellinen rakennekaavio.

## 3. Energiataloudelliset lähtökohdat

### 3.1 Talouden kehitys

Energiajärjestelmän kehityksen tärkeimpänä veturina toimii TIMES-järjestelmämallissa hyötyenergian kysyntä. Kysynnän kehitys puolestaan määräytyy mallissa suurelta osin bruttokansantuotteen sektorikohtaisista kehitysarvioista. Nämä arviot perustuvat kauppa- ja teollisuusministeriöltä (KTM) vuoden 2005 alussa skenaariotyötä varten saatuihin yksityiskohtaisiin arvioihin. Koska työssä tarkasteltiin myös pitkän tähtäimen skenaarioita kasvihuonekaasujen rajoittamiseksi, talouden kehittymisestä tarvittiin vuoteen 2050 saakka ulottuvat arviot. Oletettu pidemmän tähtäimen talouskehitys noudattelee arvioita, joita käytettiin vuonna 2005 valmistuneessa selvityksessä ilmastonmuutoksen kansallisesta sopeutumisstrategiasta (Marttila et al. 2005). Kuvassa 2 on esitetty skenaarioissa oletettu talouskasvun kehitys päätoimialoittain.

Energian käytön ja päästöjen kannalta keskeisillä sektoreilla talouden kehitysarviot on kuvattu yksityiskohtaisemmin. Esimerkiksi prosessiteollisuuden toimialoilla on arvioitu suoraan tärkeimpien tuotteiden tuotannon kehitys. Metsäteollisuuden ja metallien valmistuksen kehitysarviot vuoteen 2025 saakka saatiin kauppa- ja teollisuusministeriöltä. Vuoden 2025 jälkeen tuotannon arvioitiin kasvavan näillä toimialoilla noin prosentin vuodessa, mikä on sopusoinnussa sopeutumisstrategiaa koskevan selvityksen kanssa.



Kuva 2. Skenaarioissa käytetty bruttokansantuotteen kehitysarvio vuoteen 2050.

## 3.2 Muut yhteiset oletukset

Laskelmisa käytetyt energian tuontihintojen kehitysarviot perustuvat IEA:n julkaisemiin arvioihin vuodelta 2004. Oletukset sähkön tuonti- ja vientihintojen kehityksestä ja vuoden sisäisestä vaihtelusta puolestaan perustuvat VTT:n sähkömarkkinamallin tuottamiin tuloksiin (Kekkonen & Pursiheimo 2005). Päästökaupan vaikutus markkinahintojen kehitykseen on kuvattu mallissa kertoimina, jotka kuvaavat markkinasähkön hintaan sisältyvän keskimääräisen päästöoikeuksien määrän. Myös nämä kertoimet perustuvat sähkömarkkinamallin tuloksiin.

Skenaarioissa käytetyt oletukset tekniikoiden kehittymisestä ja uusien tekniikoiden kustannuksista ovat perusarvioita eli verraten konservatiivisia. Poikkeuksena ovat ehkä tuulivoimatekniikoiden kehitysarviot, jotka ovat tuulivoima-asiantuntijoilta saatuja ja joissa perusarviotkin sisältävät oletuksia tuntuvasta kustannusten alenemisesta. Työn teknologiaoletukset ovat suurelta osin samoja kuin Climtech-ohjelman skenaariotarkasteluissa käynteet perusarviot (Lehtilä & Syri 2003, Savolainen et al. 2001).

Turpeen vuotuisen kestävä käytön ylärajaksi skenaarioissa oletettiin 95 PJ. Turpeen käytölle asetettiin myös tarkasteluvuodesta riippuva alaraja (54 PJ vuonna 2010, 38 PJ vuonna 2025). Bioenergian tuotantopotentiaaleja koskevat oletukset perustuvat VTT:n päästökauppaselvitysten yhteydessä laatimiin asiantuntija-arvioihin (Koljonen et al. 2004). Koska potentiaaleista on kuitenkin esitetty hieman eri perustein tehtyjä arvioita, työssä pyrittiin käyttämään nimenomaan perusarvioita, jotka ovat jonkin verran suurimpia esitettyjä arvioita (ns. maksimiskenaarioita) pienempiä.

Ydinvoimakapasiteetin oletettiin pysyvän uuden laitoksen valmistuttua vakiona vuoteen 2025 saakka. Vesivoiman tuotannon enimmäismääräksi oletettiin 13.4 TWh vuonna 2010, 14,5 TWh vuonna 2025 ja 16 TWh vuonna 2050. Tuotannon lisäyspotentiaalista suurin osa on pienvesivoimaa. Tuulivoiman tuotannon enimmäismääräksi oletettiin vastaavasti vajaat 0,7 TWh vuonna 2010, jonka jälkeen tuotannon oletettiin voivan kasvaa varsin ripeästi enimmillään 8,5 TWh:n määrään vuonna 2025 ja noin 20 TWh:n määrään vuonna 2050. Vuoden 2010 enimmäismäärä perustuu Eloktrouwatt-Ekonon selvitykseen ja sen jälkeiset tuulivoiman potentiaalit VTT:n asiantuntija-arvioihin.

Päästökauppaskenaarioissa jouduttiin tekemään myös skenaarioluonteinen päästökiiintiöiden kansallinen jakosuunnitelma. Koska päästökiiintiöt tulisi pyrkiä asettamaan mahdollisimman tasapuolisesti ja kansallisen päästötavoitteen kannalta oikealle tasolle, päästökaupan piiriin kuuluvien sektorien päästökiiintiöt asetettiin työssä yhtä suuriksi kuin pelkästään kotimaisiin toimiin perustuvien vähennysskenaarioiden tuloksena saadut päästömäärät.

## 4. Tarkastellut skenaariot

Työssä tarkasteltiin kansallisen ilmasto- ja energiastrategian vaikutuksia TIMES- ja POLA-energiajärjestelmämallien avulla skenaarioanalyysin keinoin. Skenaariot jaettiin kahteen sarjaan, joista ensimmäisessä keskitytään tarkastelemaan keskipitkän ajan kehitystä vuoteen 2025 saakka ja toisessa pidemmän tähtäimen kehitystä aina vuoteen 2050 saakka. Järjestelmämalleilla yksityiskohtaisia tuloksia saadaan valituista tarkasteluvuosista, joiden välillä kehitys oletetaan lineaariseksi. Työn tärkein osa oli nimenomaan keskipitkän aikavälin tarkastelu, jossa mallin laskentavuosiksi valittiin vuodet 2005, 2010, 2015, 2020, 2025 ja 2030. Tuloksia käsitellään jäljempänä kuitenkin vain vuoteen 2025 saakka. Pitkän tähtäimen skenaarioissa laskentavuosina olivat edellisten lisäksi vuodet 2040 ja 2050, ja tuloksia tarkastellaan kymmenen vuoden välein.

Tarkastellut skenaariot koostuvat perusuraskenaariosta (Base) ja kasvihuonekaasujen päästöjen rajoitusskenaarioista. Päästöjen rajoitusskenaarioina tarkasteltiin sekä päästökauppaskenaarioita (10 ja 20 €/n hinnoin) että puhtaasti kotimaisten toimien päästörajoitusskenaarioita. Perusskenaariota lukuun ottamatta kaikissa skenaarioissa oletetaan Kioton pöytäkirjan ja EU:n taakanjaon mukainen kasvihuonekaasujen päästötavoite. Perusskenaario vastaa ns. "With measures" -skenaariota (WM), kun taas kukin kasvihuonekaasujen rajoitusskenaario edustaa erästä mahdollista "With additional measures" -skenaariota. Perusskenaariota voidaan siten pitää muiden skenaarioiden vertailukohtana arvioitaessa päästöjen vähentämisen vaikutuksia.

Taulukossa 1 on esitetty skenaarioiden yhteenveto. Jäljempänä esitettävissä tuloskuviissa rajoitusskenaarioista käytetään lyhenteitä *R-xx%*, jossa *xx* on taulukon 1 mukainen päästöjen vähennystavoite, joka on pitkän tähtäimen skenaarioissa vuoden 2050 tavoite.

*Taulukko 1. Yhteenveto tarkasteltujen skenaarioiden perusoletuksista.*

	<b>Päästöoikeuksien hinta, €/tonni</b>	<b>Päästöjen vähennystavoitteet 1990–2025</b>	<b>Päästöjen vähennystavoitteet 1990–2050</b>
WM-skenaario (Base)	–	Ei	Ei
Kotimaiset toimet vuoteen 2025	–	0 %, 10 %, 20 %, 30 %	–
Päästökauppa 1	10	0 %, 10 %, 20 %, 30 %	–
Päästökauppa 2	20	0 %, 10 %, 20 %, 30 %	–
Pitkän tähtäimen skenaariot	–	0 %, 10 %, 20 %, 30 %	20 %, 30 %, 40 %, 50 %

# 5. Vaikutusarviot vuoteen 2025

## 5.1 Energian kokonaiskulutus

### 5.1.1 Primaarienergia

Suomen primaarienergian kokonaiskulutus nousee perusskenaariossa noin 1 580 PJ:n määrään vuonna 2010. Määrä on jokseenkin sama kuin ministeriöiden vuoden 2005 alussa ilmasto- ja energiastategiaa varten laatimassa WM-skenaariossa. Vuonna 2020 kulutus on perusskenaariossa noin 1 660 PJ, joka sekkin on varsin tarkkaan sama kuin ministeriöiden WM-skenaariossa.

Kuvassa 3 on esitetty primaarienergian kulutuksen kehitys kotimaisten toimien skenaarioissa vuoteen 2025 saakka, mitä voidaan pitää vertailukohtana tarkasteltaessa päästökauppaskenaarioiden vastaavia tuloksia. Päästökauppaskenaarioiden mukainen primaarienergian kulutuksen kehitys on esitetty kuvissa 4 ja 5, joista ensin mainitussa päästöoikeuksien hinnaksi on oletettu 10 € ja jälkimmäisessä 20 €. Energian kokonaiskulutus ja muita keskeisiä tuloksia esitetään myös liitteessä taulukkoina.

Primaarienergian kokonaiskulutuksen jakaumassa energialähteittäin on skenaarioiden välillä vuoteen 2015 mennessä vain varsin pieniä eroja. Tämä johtuu energijärjestelmän kehitykseen liittyvistä monista hitaustekijöistä, joista lyhyellä tähtämellä merkittävin on olemassa oleva laitoskanta.

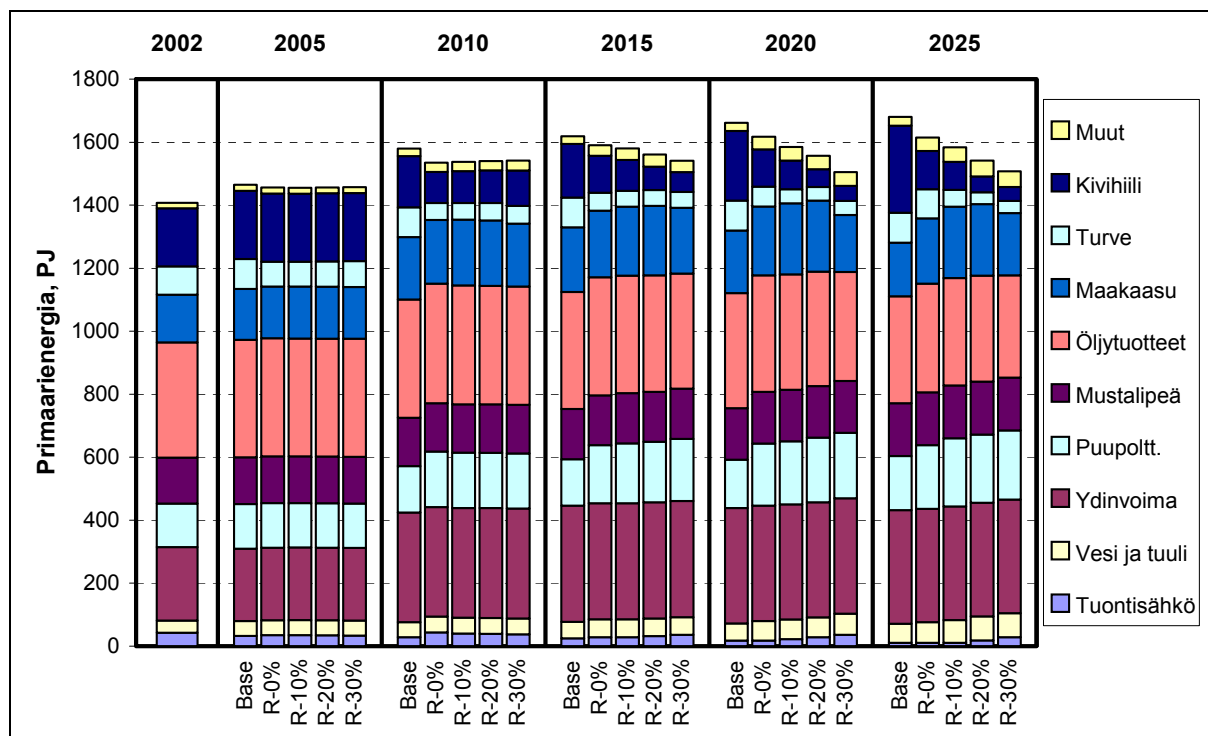
**Kivihiilen** kokonaiskäyttö vähenee päästöjen rajoitusskenaarioissa vuoteen 2010 mennessä 100–140 PJ:n määrään, ja sen jälkeen kulutus joko edelleen vähenee tai alkaa hitaasti kasvaa sen mukaan, miten päästöjen rajoitukset kehittyvät. Hiilen kulutuksen vähennys on luonnollisesti voimakkainta pelkästään kotimaisiin toimiin perustuvissa rajoitusskenaariossa. Perusmetallien jalostuksessa käytettävän metallurgisen kivihiilen ja koksen käyttö sen sijaan kasvaa tasaisesti, sillä nykyinen tuotantotekniikka ei tarjoa sille juuri vaihtoehtoja.

**Maakaasun** kokonaiskäyttö kasvaa eri skenaarioissa 200–210 PJ:n määrään vuonna 2010. Vuoteen 2020 mennessä kulutus kasvaa edelleen 220–230 PJ:n määrään, kun perusuralla kulutus jää 200 PJ:n tasolle. Vaikka maakaasun kulutus kasvaa kaikissa skenaariossa merkittävästi nykyisestä, kulutus kääntyy muita polttoaineita nopeamman hinnan nousun vuoksi laskuun vuoden 2020 jälkeen. Pitkän tähtäimen skenaarioissa (ks. kohta 6.1.1) kaasun kulutus laskeekin perusuralla vuoteen 2050 mennessä alle nykytason, mutta pysyy tiukimmissa rajoitusskenaarioissa yli 200 PJ:n määrässä.

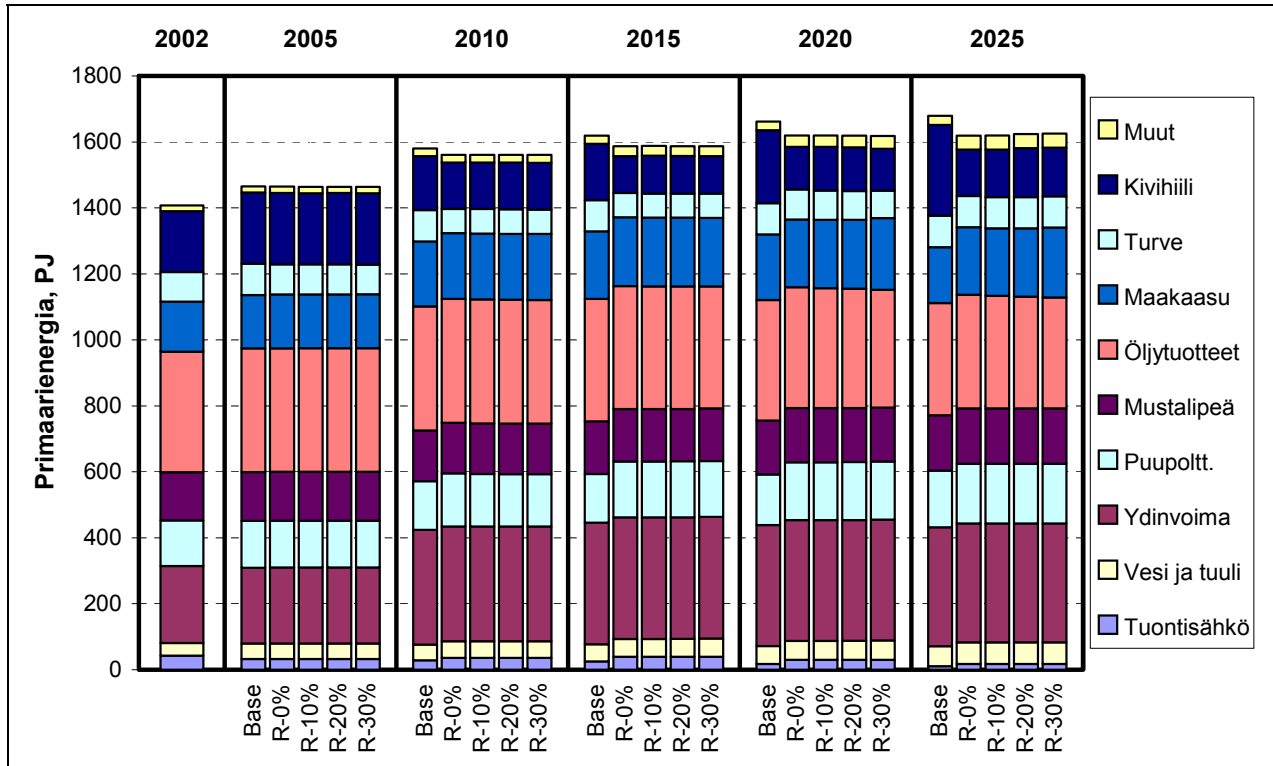
**Polttoturpeen** käyttö vähenee rajoitusskenaarioissa tuntuvasti verrattuna perusskenaarioon. Vuonna 2010 turpeen kokonaiskulutus laskee lähes asetetulle alarajalleen (54 PJ) kaikissa muissa päästöjen rajoitusskenaarioissa paitsi 10 €/n päästökauppa-skenaariossa, jossa kulutus laskee noin 75 PJ:n tasolle. Turpeen kulutus pysyy varsin alhaisella tasolla myös vuoden 2010 jälkeen perusuraskenaariota ja 10 €/n päästökauppa-skenaarioita lukuun ottamatta.

**Öljyn** kokonaiskäyttö kasvaa kaikissa skenaarioissa hieman vuoteen 2010 mennessä mutta laskee sen jälkeen hitaasti siten, että vuonna 2025 kulutus on jo selvästi nykytason alapuolella. Päästöjen rajoitusskenaarioissa öljyn kulutuksen väheneminen on jonkin verran perusuraa nopeampaa.

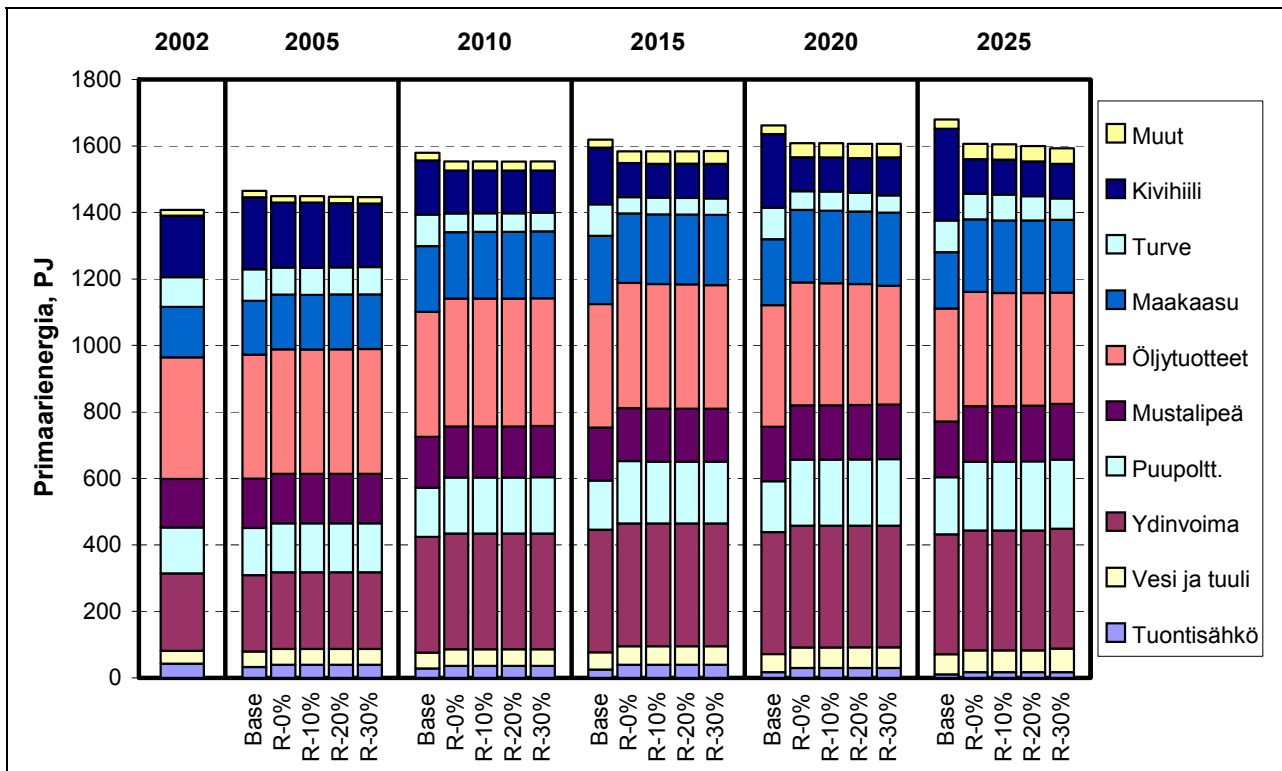
**Bioenergian** hyödyntäminen kasvaa kokonaisenergiataseessa määrällisesti eniten. Puupolttoaineita käytetään vuoteen 2025 mennessä 20–60 prosenttia enemmän kuin vuonna 2002, kun mustalipeää ei lasketa mukaan. Kaikissa päästöjen rajoitusskenaarioissa jätettä hyödynnetään energiaksi huomattavasti runsaammin kuin nykyisin. Vuoteen 2020 mennessä jätteen energiakäyttö nousee useimmissa tapauksissa 20 PJ:n tuntumaan. Myös vesi- ja erityisesti tuulivoimaa hyödynnetään vuoteen 2025 mennessä tuntuvasti nykyistä enemmän.



Kuva 3. Primaarienergian kokonaiskulutuksen rakenne ja kehitys kotimaisten toimien skenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 4. Primaarienergian kokonaiskulutus 10 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 5. Primaarienergian kokonaiskulutus 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.

### 5.1.2 Bioenergia ja kotimaiset energialähteet

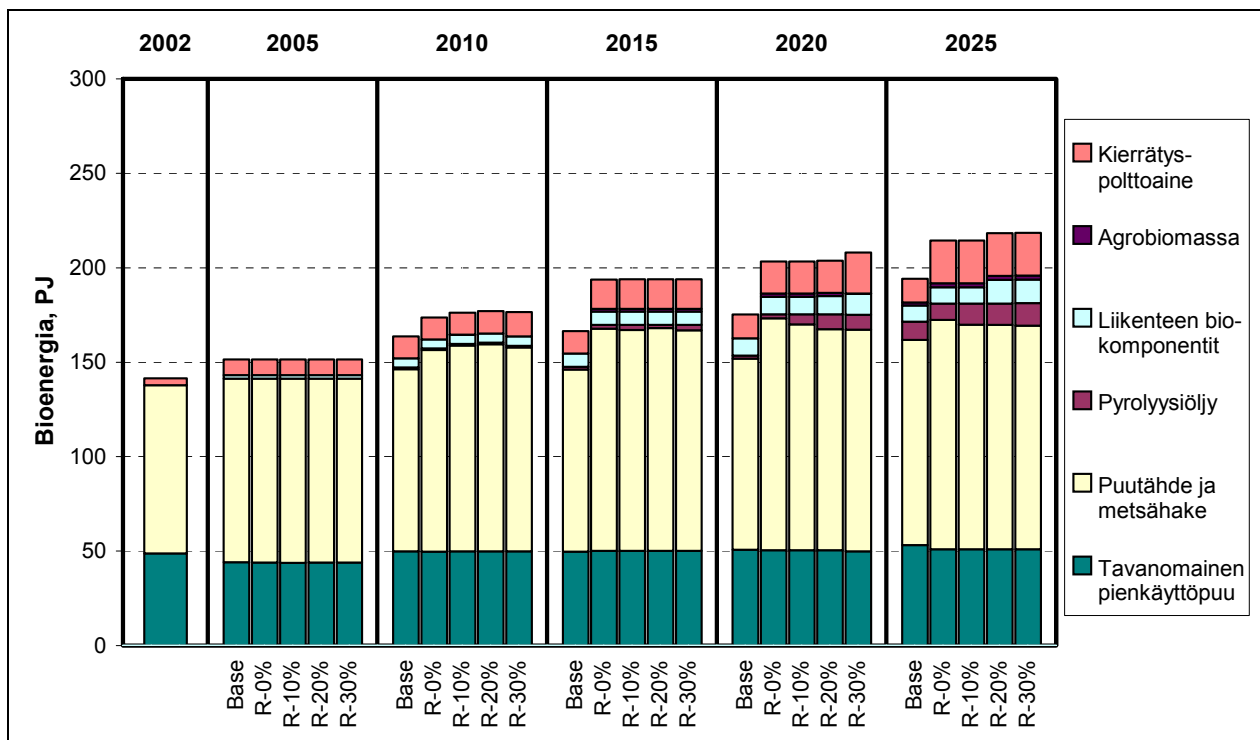
Bioenergian ja muiden uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen kasvaa päästöjen rajoitusskenaarioissa varsin ripeästi. Bioenergian kokonaiskäyttö kasvaa vuoteen 2010 mennessä päästökauppaskenaarioissa 330–340 PJ:n määrään ja kotimaisten toimien skenaarioissa noin 350 PJ:n määrään. Lisäykset vastaavat melko hyvin esitettyjä tavoitteita, joista esimerkkinä voidaan mainita Uusiutuvan energian edistämishjelmassa (KTM 2003) bioenergian käytölle asetettu tavoite 349 PJ vuonna 2010. Pelkästään kotimaisten toimien skenaarioissa bioenergian käytön lisäystavoitteet saavutetaan kaikkiaan hyvin ja myös korkeamman päästöoikeuksien hinnan skenaariossa päästään lähelle samoja käyttötasoja. Tavoitteista toteutumatta jää erityisesti puun pienkäytön lisäys, sillä esimerkiksi edistämishjelman tavoitteena oli nostaa pienkäyttö peräti 72 PJ:n määrään vuonna 2010. Päästöjen rajoitusskenaarioissa pienkäyttö jää suurimmillaankin runsaan 50 PJ:n tasolle. Pienkäytössä erityisesti puupellettien käyttö kasvaa tuntuvasti vuoden 2003 määrästä (0,25 PJ), mutta sen markkinaosuus jää skenaarioissa silti verrattain pieneksi. Metsähakkeen tuotanto nousee vuoteen 2010 mennessä päästökauppaskenaariossa 30–40 PJ:n tasolle vuonna 2010. Kuvissa 6–7 on havainnollistettu bioenergian ja kierrätyspolttoaineiden käytön kehitystä eri skenaarioissa.

**Kotimaisten energialähteiden** hyödyntäminen kasvaa verrattain tasaisesti kaikissa skenaarioissa, kuten voidaan nähdä kuvista 8–9. Vuoteen 2015 saakka bioenergian ja kierrätyspolttoaineiden käytössä on ylivoimaisesti merkittävin kotimaisen energian hyödyntämisen lisäyspotentiali. Vuodesta 2020 lähtien kuitenkin myös tuulivoima ja maalämpö voivat saada jo näkyvämmän sijan kotimaisina energialähteinä.

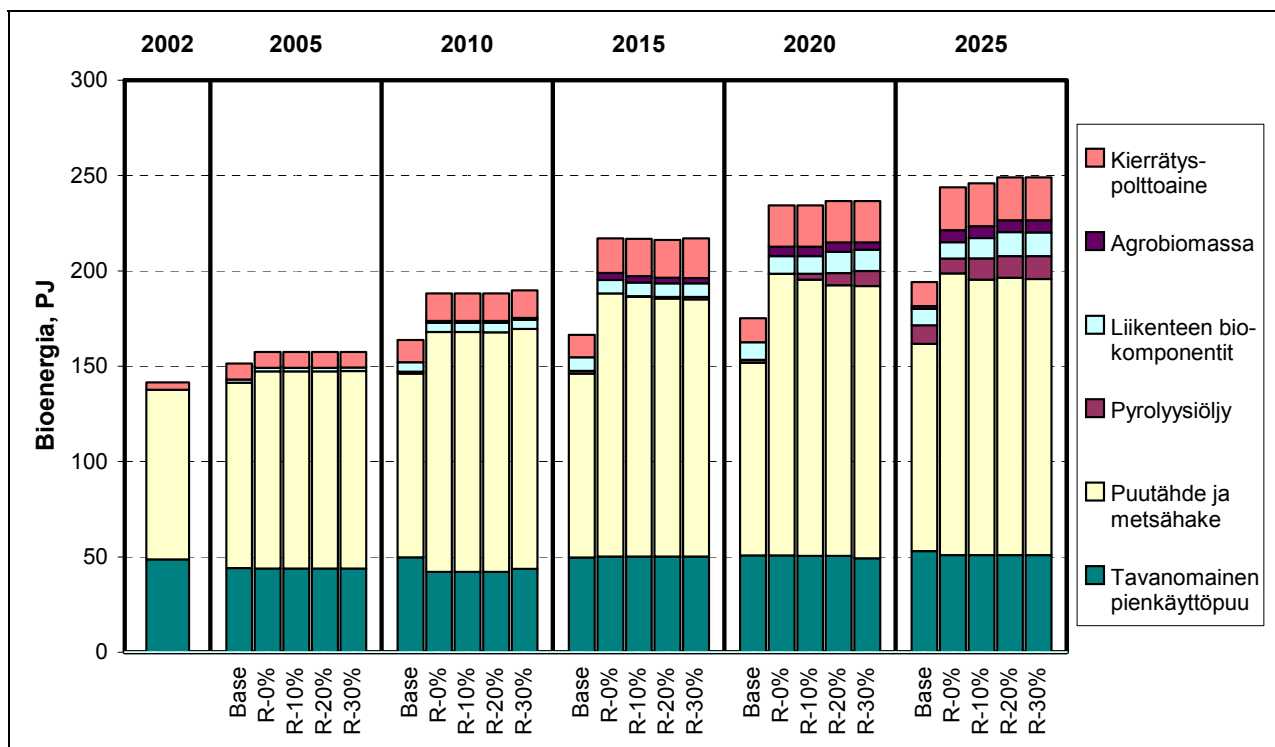
Tuulivoiman tuotantotavoite on uusiutuvan energian edistämishjelmassa 1,1 TWh vuonna 2010 ja 5,1 TWh vuonna 2025. Nykynäkymin vuoden 2010 tavoitetta ei kuitenkaan ehditä saavuttaa, minkä vuoksi skenaarioissa tuulivoimakapasiteetin ylärajaksi asetettiin noin 300 MW vuonna 2010. Tämä kapasiteetti myös rakennetaan kaikissa päästöjen rajoitusskenaarioissa, ja vuoden 2010 jälkeen tuulivoiman lisäys jatkuu suunnilleen eri ohjelmien tavoitteiden mukaisena. Vesivoiman tavoitteelliseksi tuotantopotentialiksi on esitetty 14,5 TWh vuonna 2010 ja peräti 16 TWh vuonna 2025 (KTM 2003). Lisäyksestä suurin osa koskee pienvesivoimaa. Tarkastelluissa skenaarioissa vesivoiman määrä rajoitettiin ministeriöiden WM-skenaariion mukaisesti, joten suurimpien arvioiden mukaista tuotantoa ei skenaarioissa ollut mahdollista saavuttaa. Vuoteen 2025 mennessä vesivoiman tuotanto kasvaa kuitenkin kaikissa skenaarioissa noin 14,5 TWh:n määrään ja vuoteen 2050 mennessä 16 TWh:n tasolle.

Kotimaisten energialähteiden yhteenlaskettu osuus primaarienergian kokonaiskulutuksesta pysyy perusuralla lähes vakiona eli noin 30 %:ssa. Päästöjen rajoitusskenaarioissa osuus kasvaa nykyisestä suurimmillaan noin 37 %:iin vuonna 2025.

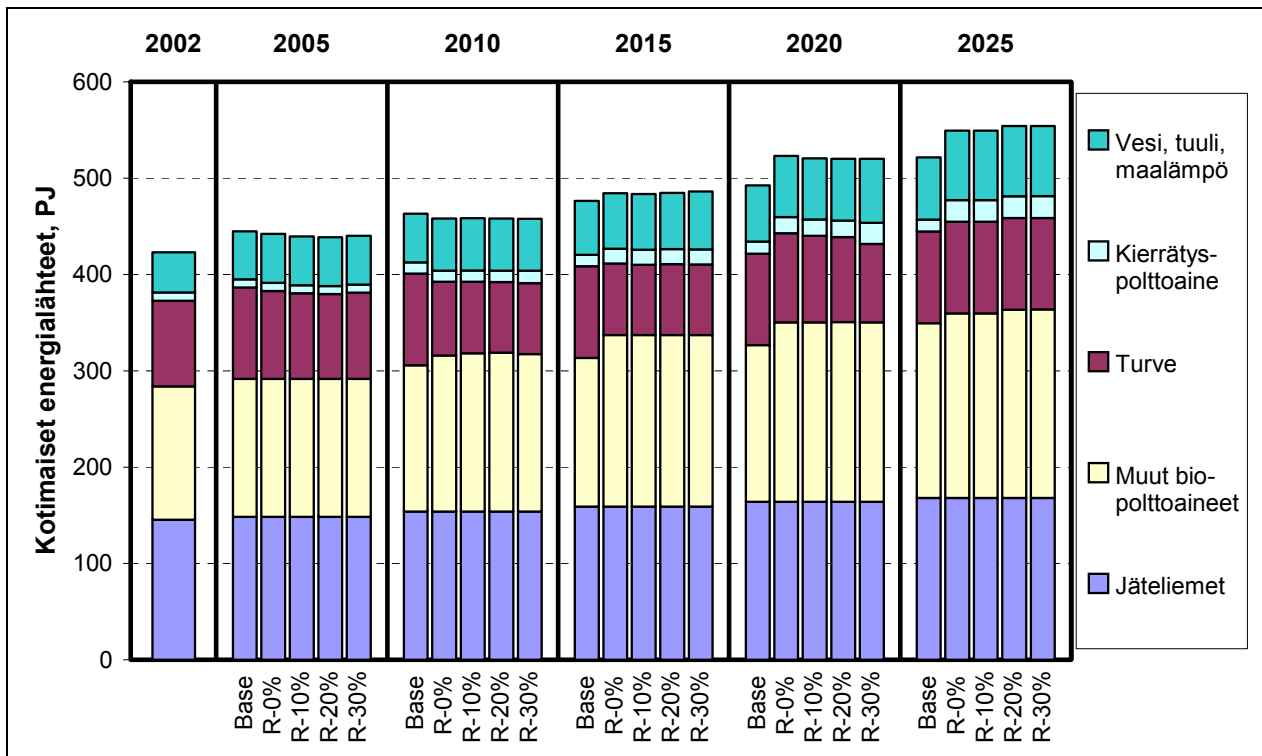




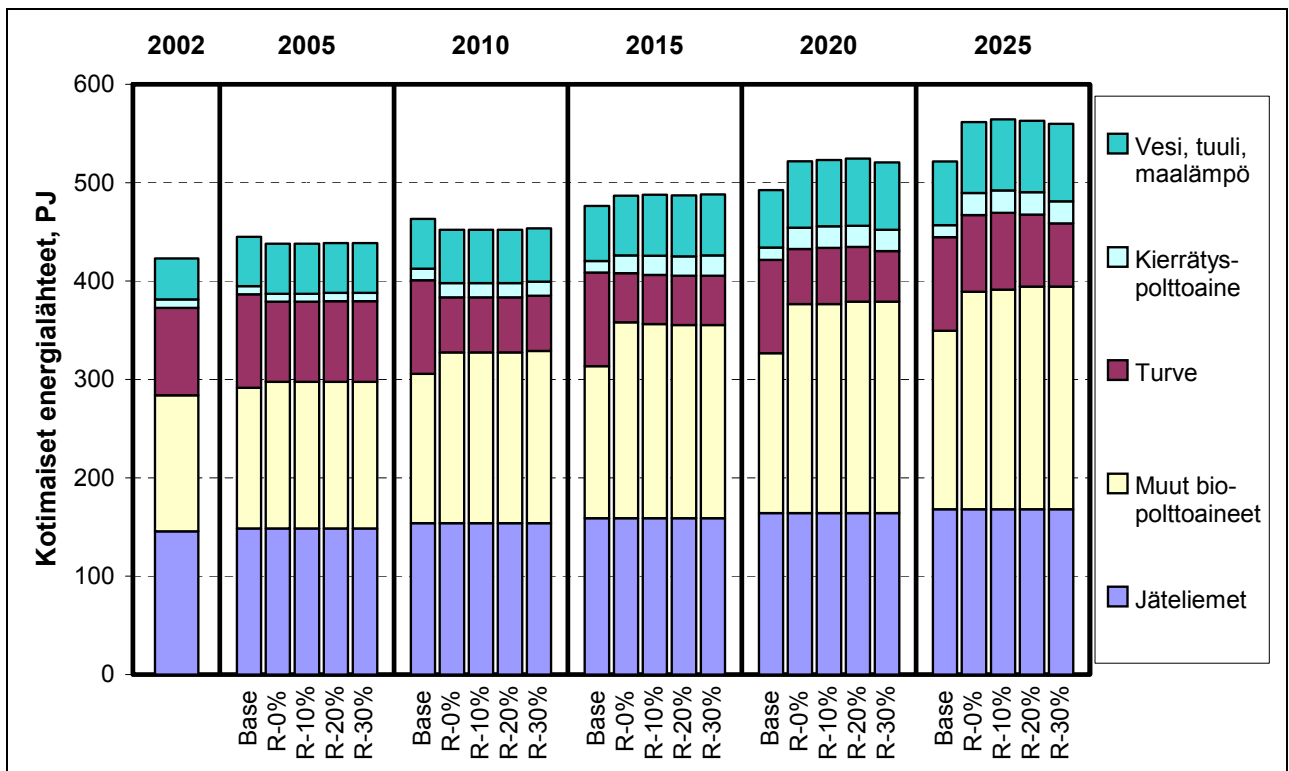
Kuva 6. Bioenergian ja kierrätyspolttoaineiden kokonaiskäyttö (ilman puunjalostuksen jäte-  
liemiä) 10 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 7. Bioenergian ja kierrätyspolttoaineiden kokonaiskäyttö (ilman puunjalostuksen jäte-  
liemiä) 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 8. Kotimaisten energialähteiden kokonaiskulutus 10 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 9. Kotimaisten energialähteiden kokonaiskulutus 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.

### 5.1.3 Eräiden polttoaineiden käyttö sektoreittain

Markkinamekanismien tuella tehtävä kasvihuonekaasujen päästöjen vähentäminen vaikuttaa luonnollisesti eri energialähteiden kilpailukykyyn sen mukaan, kuinka paljon niiden käyttö aiheuttaa joko suoraan tai välillisesti päästöjä. Päästöjen vähentämisen kustannukset siirtyvät tällöin täysimääräisesti päästöjä aiheuttavan tuotannon kustannuksiin ja eri tuotantopanosketjujen kautta lopulta kaikkien tuotteiden hintoihin. Tiukoissa kotimaisten toimen skenaarioissa muutokset eri polttoaineiden kilpailukyvyssä ja sektorikohtaisissa käyttömäärissä voivat olla epärealistisen suuria. Tämän vuoksi seuraavassa sektorikohtaisia tuloksia esitetään vain päästökauppaskenaarioista.

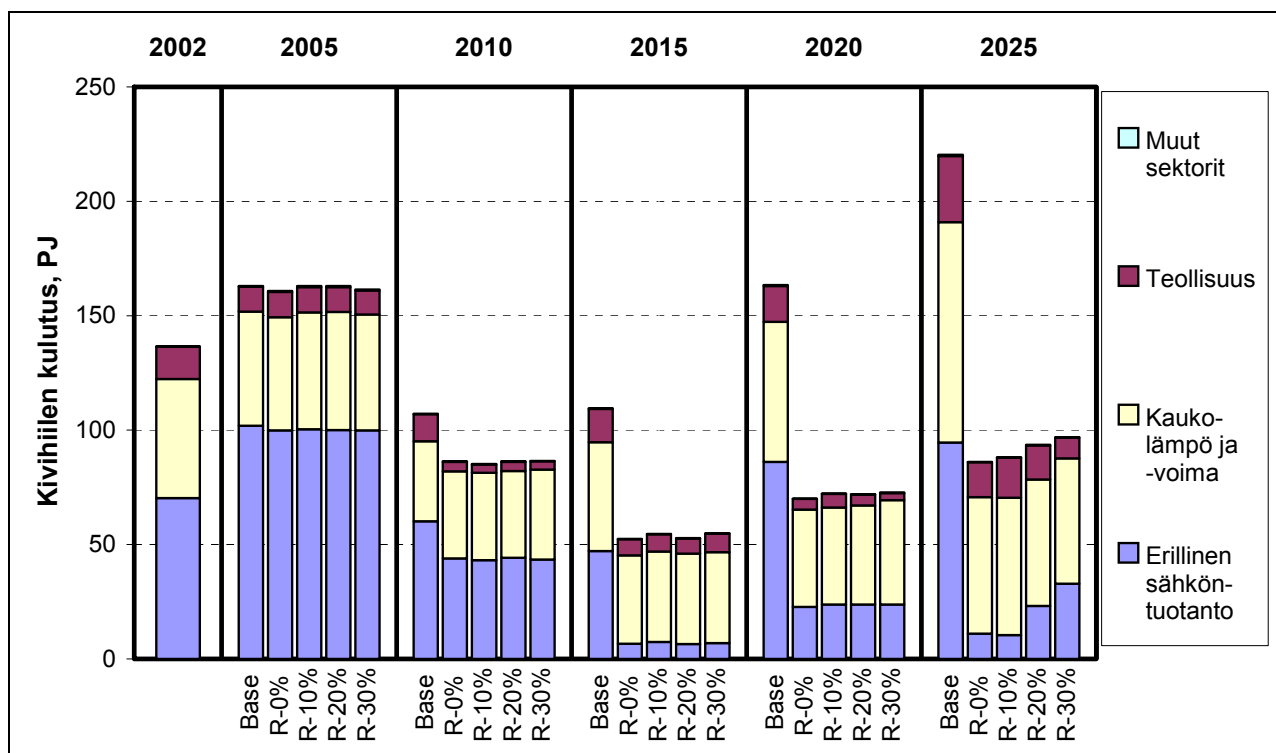
**Kivihiilen** kulutukseen päästöjen vähentäminen vaikuttaa hyvin voimakkaasti. Hiilen kulutuksen kehitystä eri sektoreilla on havainnollistettu kuvissa 10 ja 11. Lauhdevoiman tuotannossa kivihiilen käyttö laskee kaikissa skenaarioissa vuoden 2005 jälkeen uuden ydinvoimalaitoksen tullessa käyttöön. Perusuralla hiilen käyttö lauhdetuotantoon alkaa uudelleen kasvaa vuoden 2015 jälkeen, mutta kaikissa päästökauppaskenaarioissa kulutus pysyy vuoden 2015 jälkeenkin vuoden 2010 tasoa pienempänä. Kaukolämmön tuotannossa hiilen kulutus laskee kaikissa skenaarioissa vuonna 2010 noin 40 PJ:n tasolle. Perusuraskenaariossa ja 10 €/n päästökauppaskenaarioissa hiilen kulutus kääntyy uudelleen nousuun vuoden viimeistään 2020 jälkeen, mutta 20 €/n skenaarioissa hiilen kulutus jää pysyvästi suunnilleen vuoden 2010 tasolle.

**Maakaasun** kulutus eri sektoreilla on esitetty vastaavasti kuvissa 12 ja 13. Kaasun kulutus kasvaa vuoteen 2010 mennessä kaikissa skenaarioissa noin 200 PJ:n tasolle eli noin 30 % vuoden 2002 kulutusta suuremmaksi. Kasvusta suuri osa johtuu öljynjalostuksessa vedyn valmistukseen käytettävän kaasun määrän noususta. Vuoden 2010 jälkeen maakaasun kulutuksen kasvu jatkuu tasaisena kaikissa päästökauppaskenaarioissa, mutta perusuralla kaasun käyttö kääntyy selvään laskuun vuoden 2020 jälkeen. Maakaasun kilpailukyvyyn heikkeneminen perusuraskenaariossa johtuu kaasun hinnan muita polttoaineita nopeammasta noususta sekä siitä, että osa maakaasuverkon infrastruktuurista on vuoteen 2020 mennessä jo uusimisen tarpeessa. Kulutuksen jakaantumisessa tapahtuu vuoden 2015 jälkeen muutos siten, että yhä suurempi osa kaasusta kulutetaan teollisuudessa. Lauhdevoiman tuotantoon käytetyn kaasun määrä pysyy kaikissa skenaarioissa alle 10 PJ:n vuodessa.

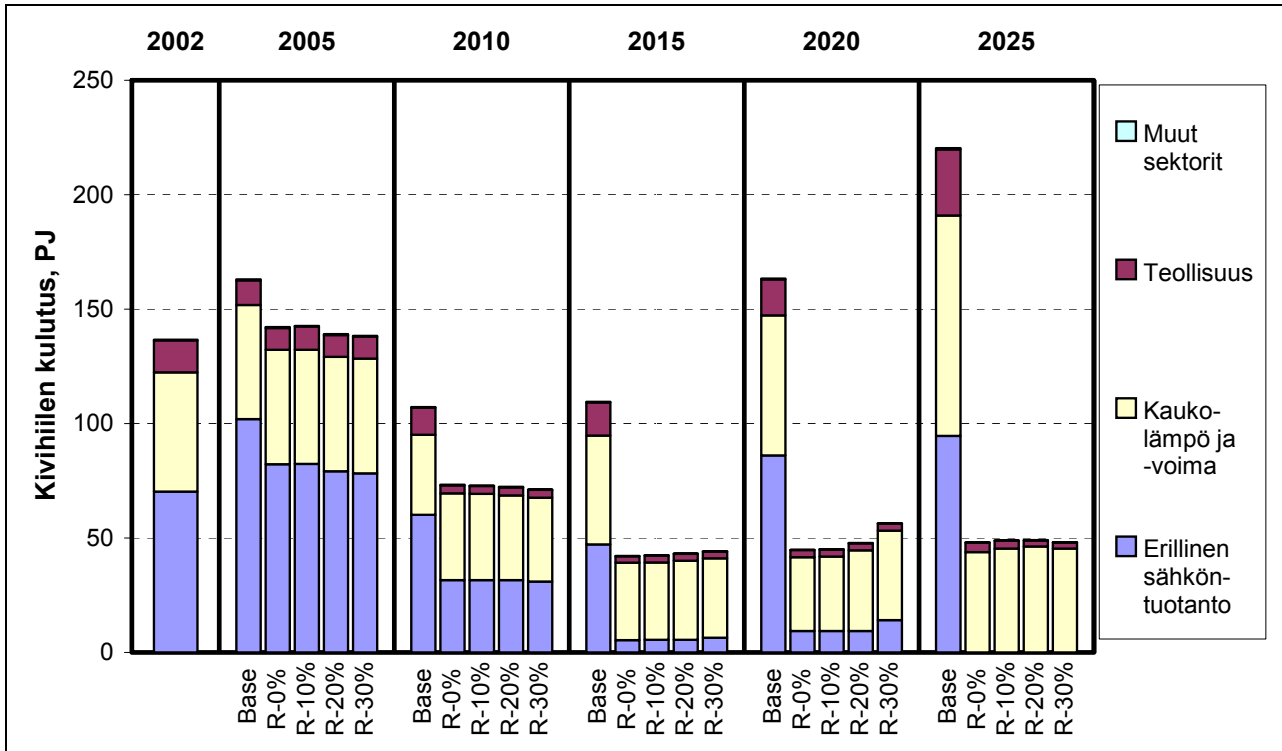
**Turpeen** kulutusta eri sektoreilla on havainnollistettu kuvissa 14 ja 15. Päästöoikeuksien hintataso vaikuttaa tulosten mukaan voimakkaasti turpeen kulutuksen kehitykseen. Jos hinta pysyy kohtuullisen matalana, turpeen kulutus voi pysyä Kioton periodillakin yli 70 PJ:n tasolla ja vuoden 2015 jälkeen se voi kääntyä jo kasvuun. Jos taas hinta on korkea, turpeen kulutus putoaa paljon voimakkaammin. Kulutuksen heilahtelut näkyvät

voimakkaimpina lauhde- ja kaukolämmön tuotannossa. Sen sijaan teollisuudessa turpeen käyttö saattaa tulosten mukaan päästökaupasta huolimatta jopa hieman kasvaa.

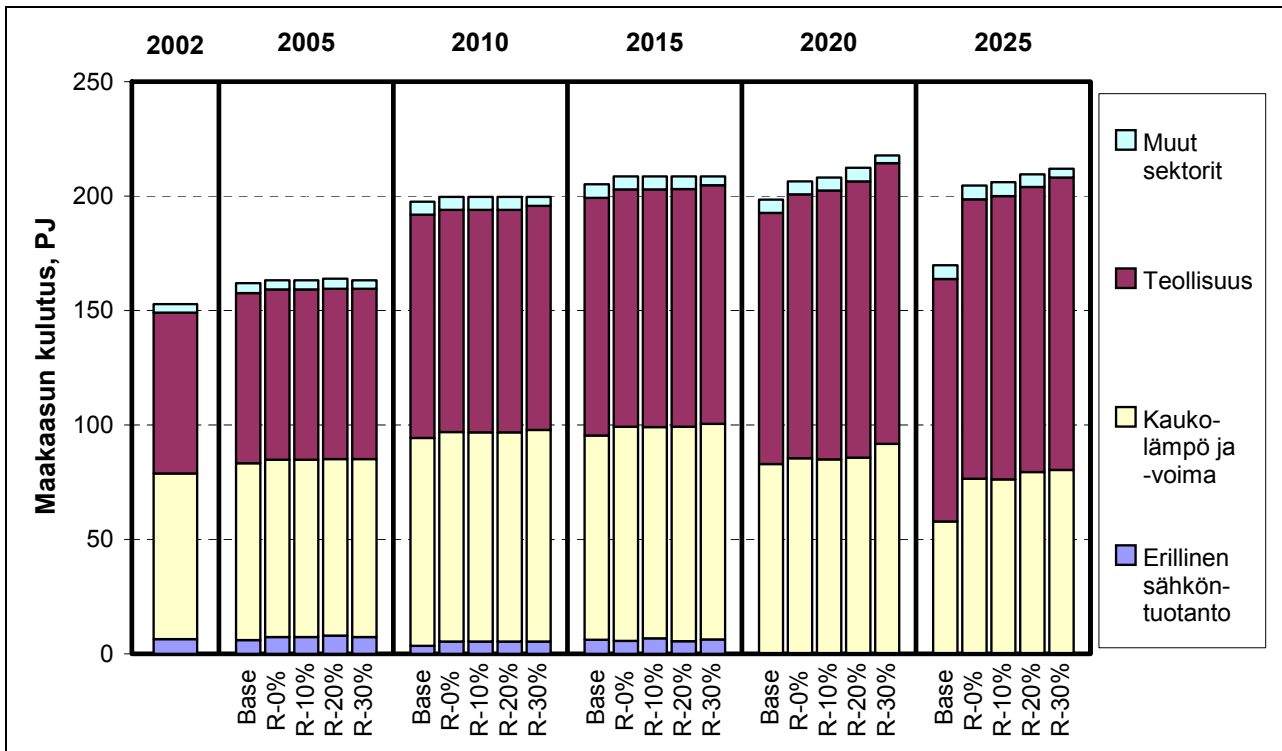
**Puupolttoaineiden** kulutuksen kehitys pääsektoreittain on esitetty kuvissa 16 ja 17. Kuvissa ei ole mukana jätehiemien energiakäyttöä. Perusuraskenaariossa puupolttoaineiden kulutus pysyy noin 150 PJ:n tasolla vuoteen 2020 saakka, jonka jälkeen kulutus alkaa jälleen kasvaa. Uuden ydinvoimalaitoksen vaikutus energiamarkkinoihin näkyy tuloksissa osittain tällä tavoin. Päästökauppaskenaarioissa puun kilpailukyky paranee niin paljon, että kulutus kasvaa sekä kaukolämpösektorilla että teollisuudessa. Alhaisilla päästöoikeuksien hinnoilla kasvu painottuu teollisuuteen, mutta 20 €/n hinnalla kasvusta noin puolet suuntautuu kaukolämpösektorille. Puun käytön kasvu pienpoltossa supistuu tulosten mukaan jonkin verran päästöoikeuksien hinnan noustessa. Tämä johtuu puun voimakkaammasta ohjautumisesta päästökauppasektorille.



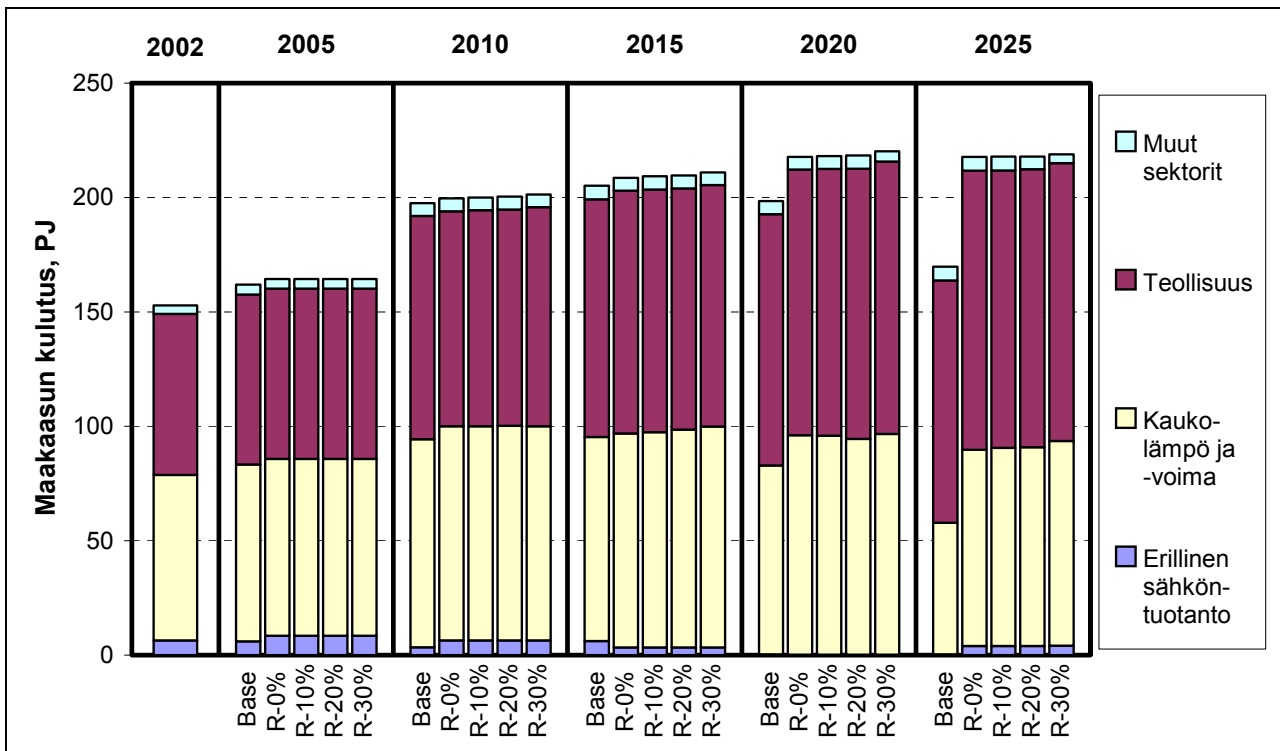
Kuva 10. Kivihiilen kulutus sektoreittain 10 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



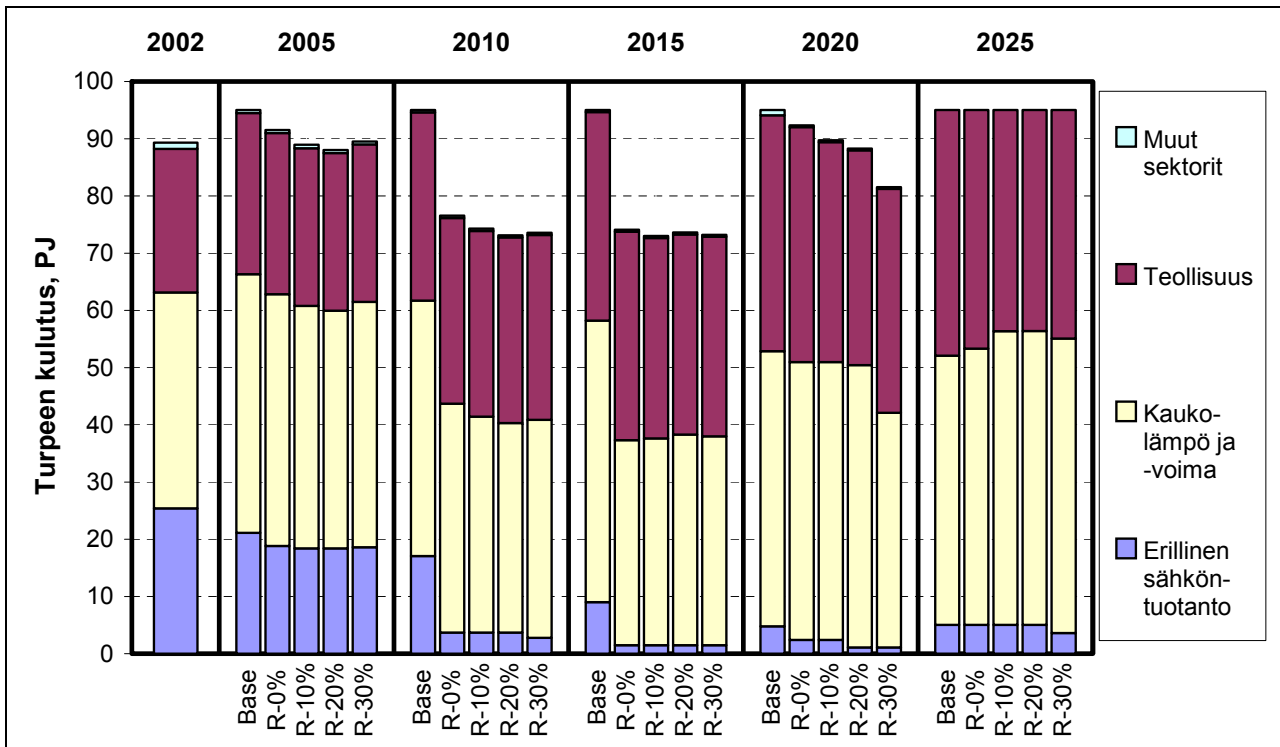
Kuva 11. Kivihiilen kulutus sektoreittain 20 €:n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



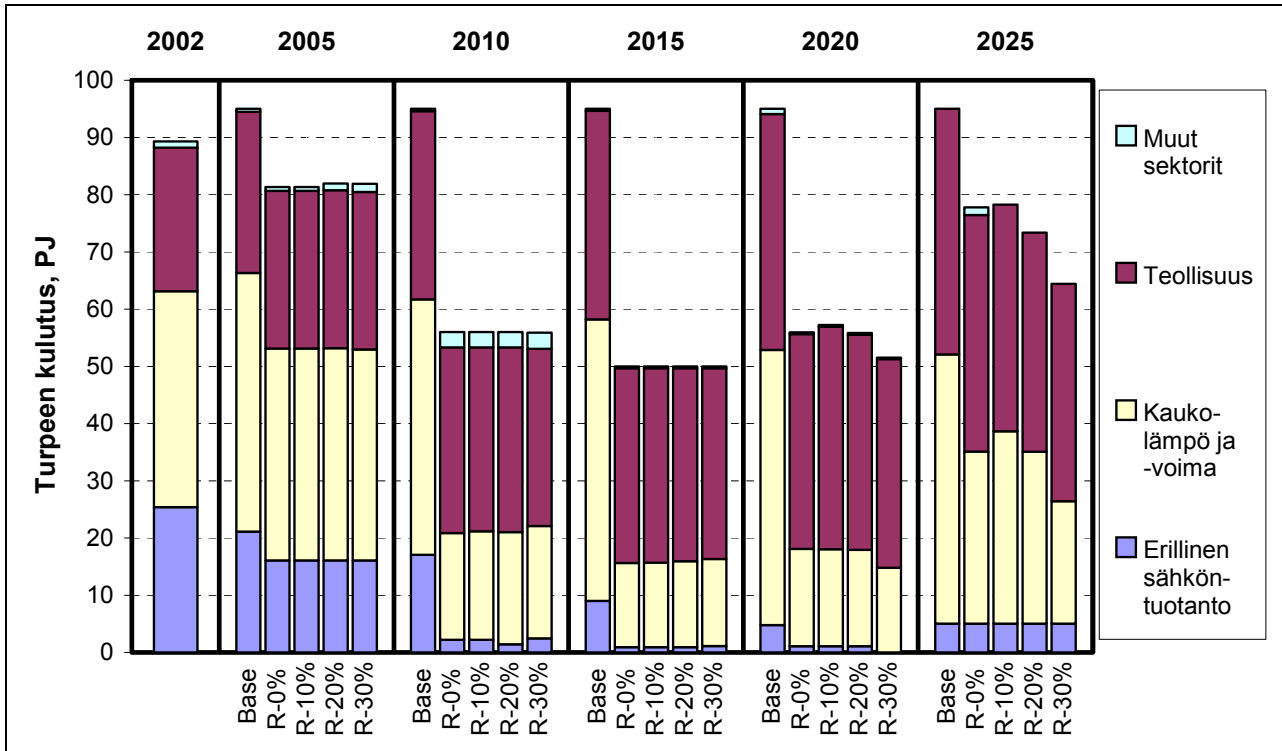
Kuva 12. Maakaasun kulutus sektoreittain 10 €:n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



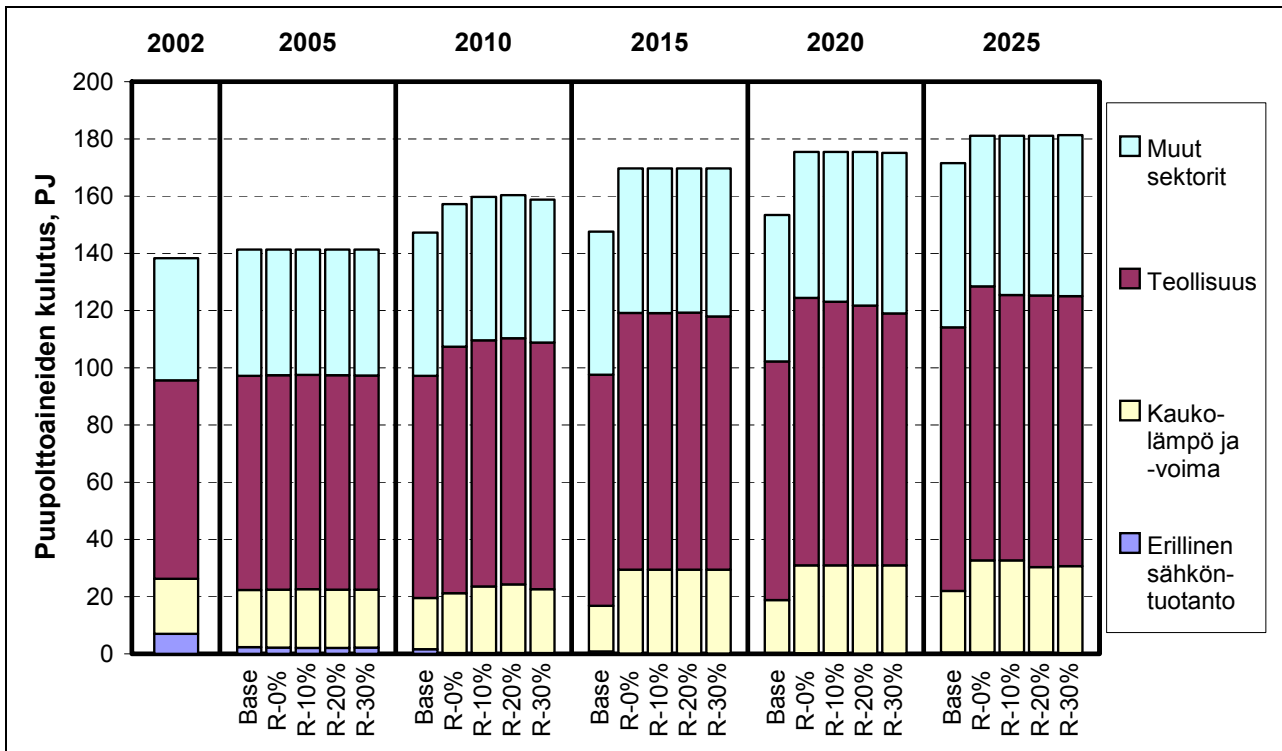
Kuva 13. Maakaasun kulutus sektoreittain 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



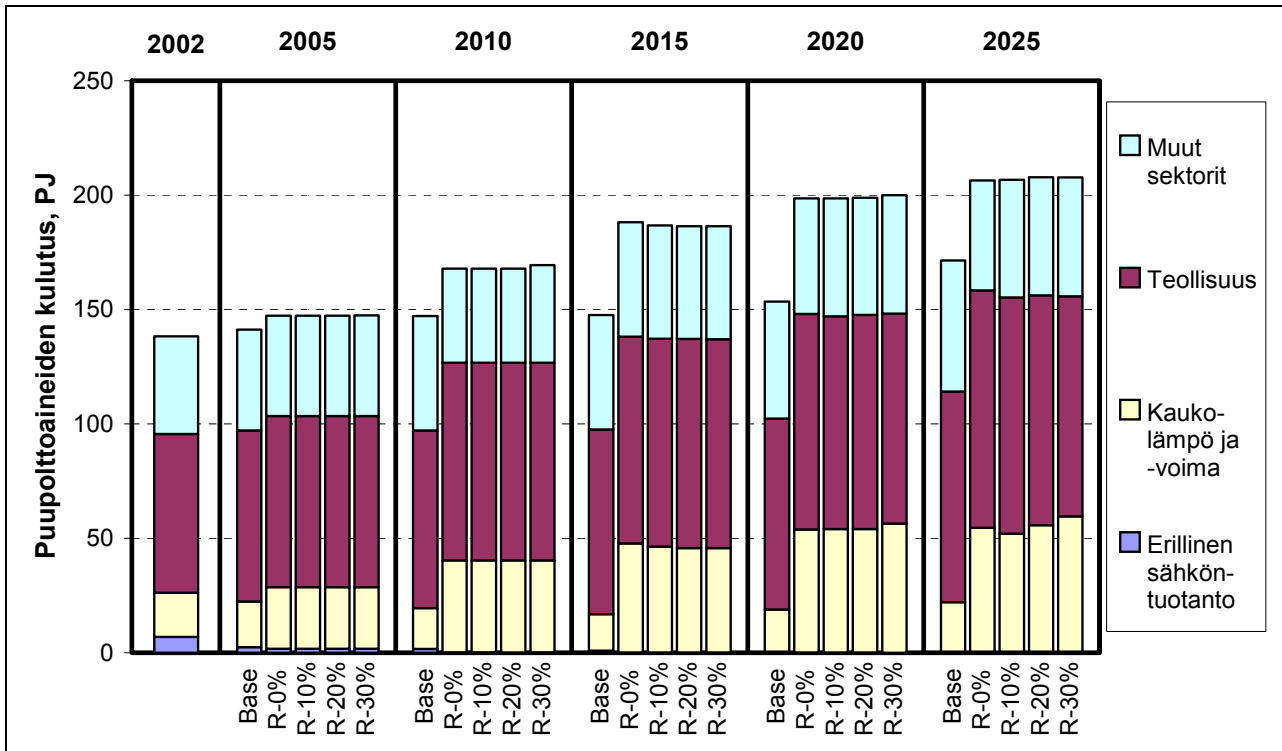
Kuva 14. Polttoturpeen kulutus sektoreittain 10 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 15. Polttoturpeen kulutus sektoreittain 20 €:n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 16. Puupolttoaineiden kulutus sektoreittain 10 €:n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 17. Puupolttoaineiden kulutus sektoreittain 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



## 5.2 Sähkön hankinta ja kulutus

Sähköenergian kokonaiskulutus kasvaa perusskenaariossa vuonna 2010 noin 96 TWh:n määrään, kun ministeriöiden päivitetystä WM-skenaariossa kulutus on 95,5 TWh. Kokonaiskulutus on siten tarkastelluissa skenaarioissa hieman WM-skenaariota suurempi. Ero johtuu lähinnä perusskenaariossa korkeana pysyvistä suoran sähkölämmityksen suosioista uusien pientalojen lämmitystapavalinnoissa. Kuvissa 18–19 on esitetty sähkön kokonaishankinnan rakenteen kehitys eri skenaarioissa.

Ydinvoiman tuotanto lisääntyy vuonna 2009 valmistuvan uuden 1 600 MW:n voimalaitoksen ansiosta. Vuonna 2010 laitoksen käyttökerroin on kuitenkin oletettu sisäänajovaiheen vuoksi vielä hieman normaalia pienemmäksi. Vuodesta 2010 vuoteen 2025 ydinvoimakapasiteetin on oletettu pysyvän vakiona. Ennen vuotta 2010 tarvitaan kaikissa skenaarioissa kohtuullisen runsaasti kivihiili- ja turvelauhdevoiman tuotantoa. Päästöjen rajoitusskenaarioissa hiili- ja turvelauhdevoiman tuotanto supistuu vuodesta 2010 lähtien hyvin vähäiseksi. Myös maakaasulauhdevoiman merkitys jää kaikissa skenaarioissa marginaaliseen rooliin koko tarkasteluajavälillä.

Yhteistuotannon määrä kasvaa kaikissa skenaarioissa tasaisesti nykyisestä. Vuonna 2010 tuotanto on 32–34 TWh, kun se oli vuonna 2003 noin 28 TWh. Vasta vuoden 2010 jälkeen yhteistuotannon määrä alkaa jälleen kasvaa nopeammin. Lisäys kohdistuu tällöin voimakkaimmin teollisuuden yhteistuotantoon, jossa rakennusasteen nostamisen potentiaali on huomattava. Suurimmaksi yhteistuotanto kasvaa kotimaisten toimien *R-0%*-skenaariossa sekä kaikissa päästökauppaskenaarioissa, joissa yhteistuotanto nousee vuonna 2025 noin 45 TWh:n määrään. Kotimaisten toimien tiukemmissa rajoitusskenaarioissa yhteistuotanto kasvaa vuoden 2010 jälkeen hitaammin, sillä tällöin sähkön käytön tehostaminen, tuulivoiman lisäys sekä sähkön tuonnin kasvattaminen tulevat kannattavammiksi ja supistavat yhteistuotannon lisäyspotentiaalia.

Rakennettava uusi yhteistuotantokapasiteetti on päästöjä rajoitettaessa kaukolämpösektorilla vuoteen 2020 saakka maakaasualueella suurelta osin maakaasukombiteknikkaa sekä Itä- ja Pohjois-Suomessa leijukerrostekniikkaa. Näiden lisäksi pienen kokoluokan laitoksissa voisi tulla käyttöön kaasutusmoottoriteknologiaa, jossa kiinteän polttoaineen kaasutin on integroitu moottorivoimalaitokseen. Vuodesta 2020 lähtien käyttöön tulee myös varsinaisia IGCC-laitoksia. Myös teollisuudessa maakaasukombilaitoksia otetaan vuoteen 2020 mennessä entistä laajemmassa mitassa käyttöön. Massa- ja paperiteollisuudessa otetaan tiukoissa skenaarioissa lisäksi jo vuodesta 2015 alkaen käyttöön puubiomassan kaasutukseen perustuvia IGCC-laitoksia sekä vuodesta 2020 alkaen jäteliemen kaasutuslaitoksia. Kemian teollisuudessa ja öljynjalostuksessa kaasuturbiiniteknologiat säilyttävät asemansa. Muussa teollisuudessa kaasutusmoottoriteknologialla näyttäisi olevan jonkin verran edullista päästöjen vähennyspotentiaalia.

Tuulivoiman tuotanto ei kasva perusuralla vuoteen 2010 mennessä merkittävästi, mutta vuoteen 2020 mennessä saavutetaan 0,9 TWh:n tuotantotasoa. Sen sijaan kaikissa päästöjen rajoitusskenaarioissa tuotanto kasvaa jo vuonna 2010 oletettuun enimmäismäärään, joksi arvioitiin vajaat 0,7 TWh Elektrowatt-Ekonon laatiman selvityksen perusteella. Vuonna 2020 tuotanto on rajoitusskenaarioissa jo 1,7–4,5 TWh skenaarion tiukkuudesta riippuen. Päästökauppaskenaarioissa tuulivoiman tuotanto nousee vuonna 2020 enimmillään 3 TWh:n määrään. Pelkästään kotimaisiin toimiin perustuvissa skenaarioissa tuotanto nousisi noin 5 TWh:n määrän vuonna 2020.

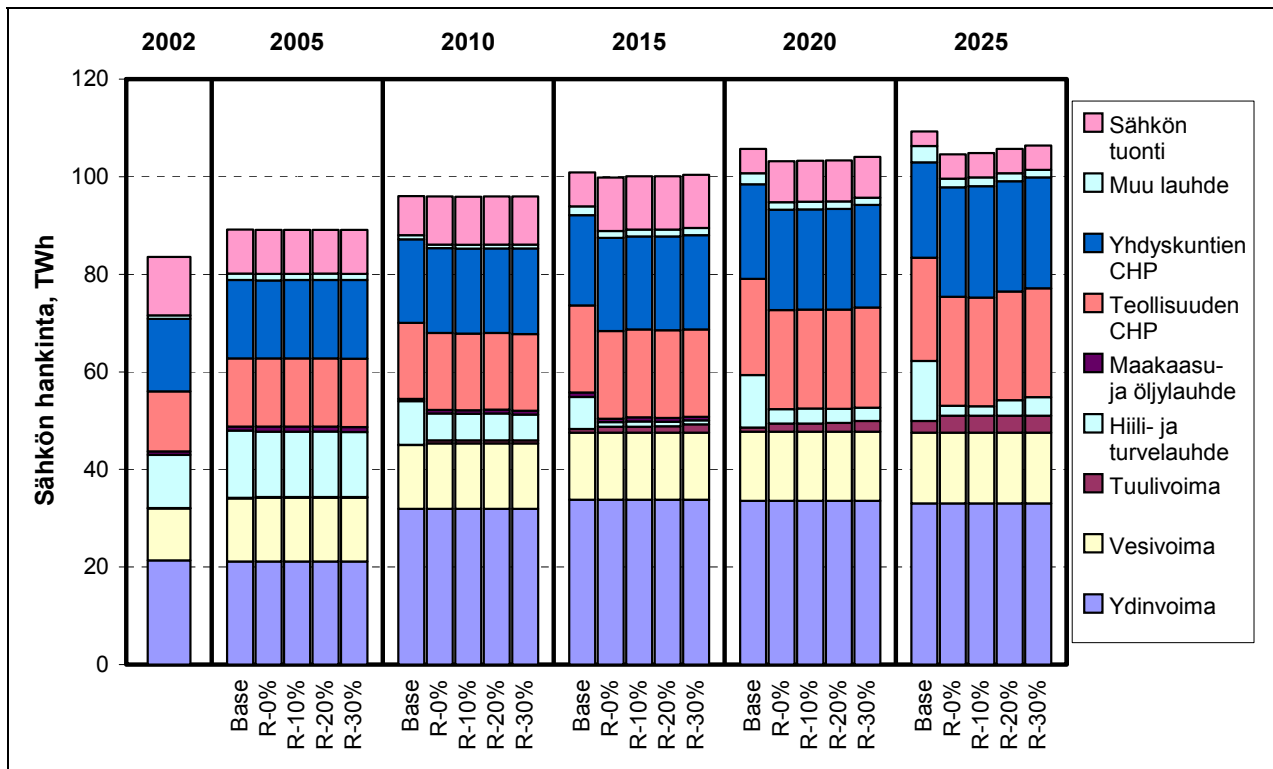
Sähkön nettotuonnin merkitys sähkön kokonaishankinnassa on ollut viime vuosina keskimäärin varsin suuri, mutta myös vuotuiset vaihtelut ovat olleet suuria. Järjestelmämallissa voitaisiin antaa sähkön tuonnin ja viennin määräytyä vapaasti arvioitujen markkinahintojen mukaan. Tarkastelluissa skenaarioissa sähkön nettotuonnille asetettiin kuitenkin kullekin tarkasteluvuodelle kiinteä alaraja, joka perustuu VTT:n sähkömarkkinamallin tuloksiin (Kekkonen & Pursiheimo 2005). Nämä skenaarioissa käytetyt sähkön tuontimäärien alarajat on esitetty taulukossa 2. Ilman näitä rajoituksia sähkön nettotuonti olisi TIMES-mallissa ollut jonkin verran sähkömarkkinamallin tuloksia pienempi. Eroa selittää se, että TIMES-mallissa Venäjän tuontihintojen on oletettu yhdenmukaistuvan pohjoismaisen markkinahinnan kanssa.

Sähkön kokonaiskulutuksen kehitys sektoreittain voidaan nähdä kuvista 20–21. Kuten edellä mainittiin, vuonna 2010 kokonaiskulutus on perusuralla noin 96 TWh, mutta rajoitusskenaarioissa kulutus jää 1–2 TWh pienemmäksi. Erotus johtuu sekä säästötoimista että sähkölämmityksen markkinaosuuden eroista eri skenaarioiden välillä.

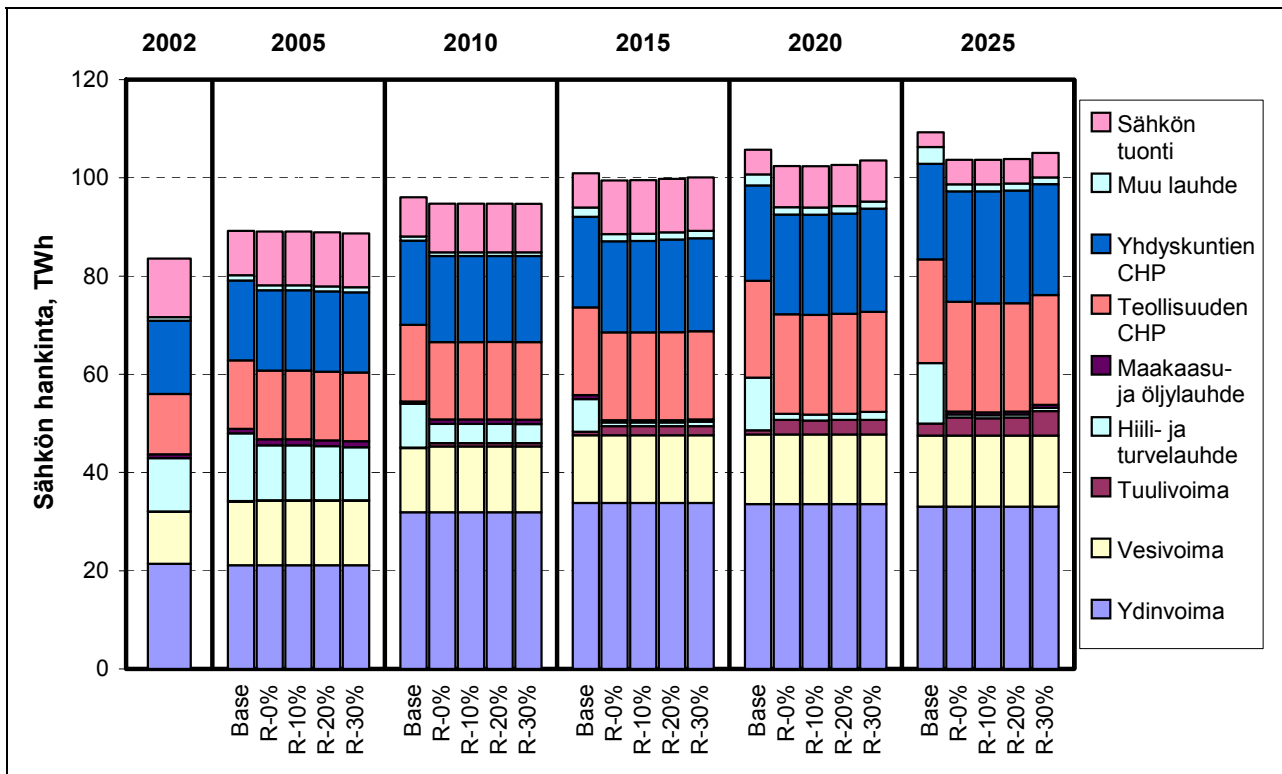
Vuoteen 2025 mennessä erot perusuran ja rajoitusskenaarioiden välillä luonnollisesti kasvavat, sillä sekä tehostustoimien potentiaali että uuden laite- ja rakennuskannan määrä on huomattavasti suurempi. Perusurassa kulutus on vuonna 2025 noin 109 TWh, mutta kotimaisten toimien 30%:n skenaariossa vain 99 TWh. Päästökauppaskenaarioissa kulutus asettuu näiden ääripäiden välille. Tällöin suurin osa kulutuksen vähennyksestä johtuu tehostustoimista. Tuntuvimmat säästöinvestoinnit toteutetaan metsäteollisuudessa ja palveluissa, mutta myös kotitalouksissa ja muussa teollisuudessa on tiukoissa rajoitusskenaarioissa kustannustehokkaaksi tulevaa säästöpotentiaalia.

*Taulukko 2. TIMES-mallissa oletetut sähkön nettotuonnin alarajat VTT:n sähkömarkkinamallin tulosten mukaisesti.*

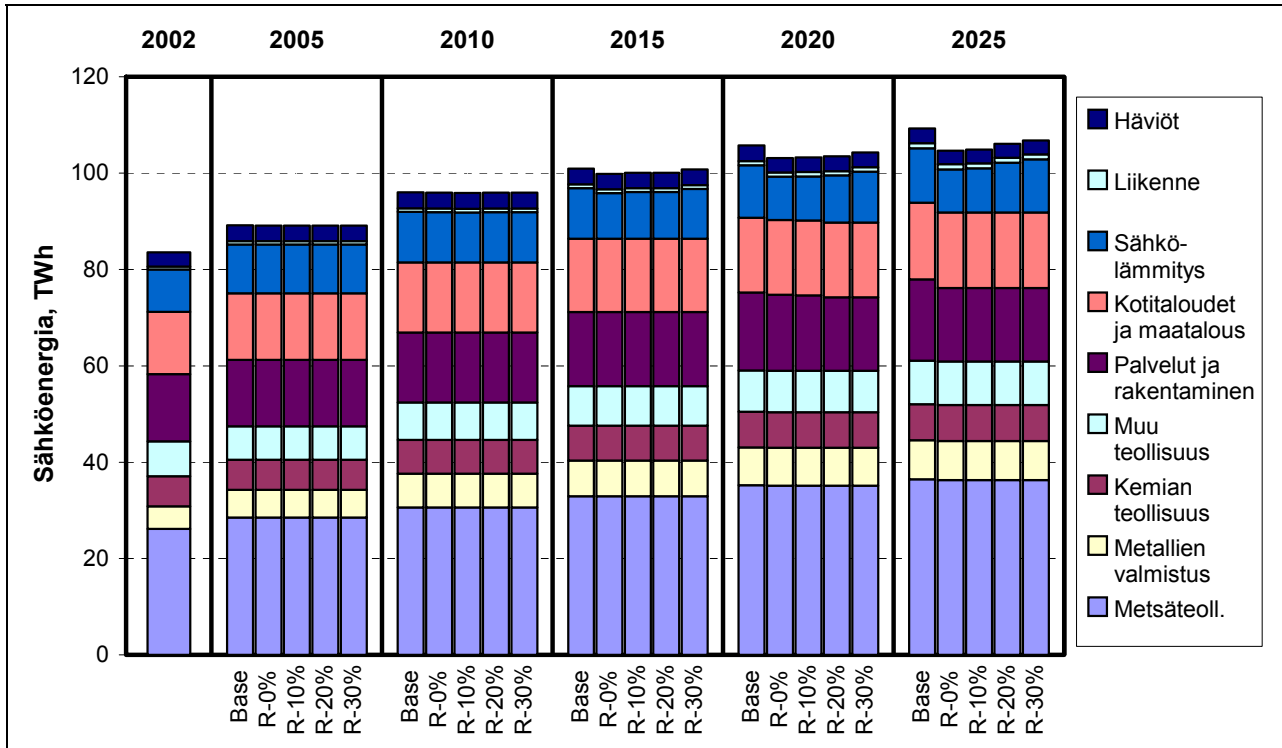
TWh	2005	2010	2015	2020	2025
Ei päästökauppaa	10	8	7	5	3
Päästökauppa	12	10	11	8.5	5



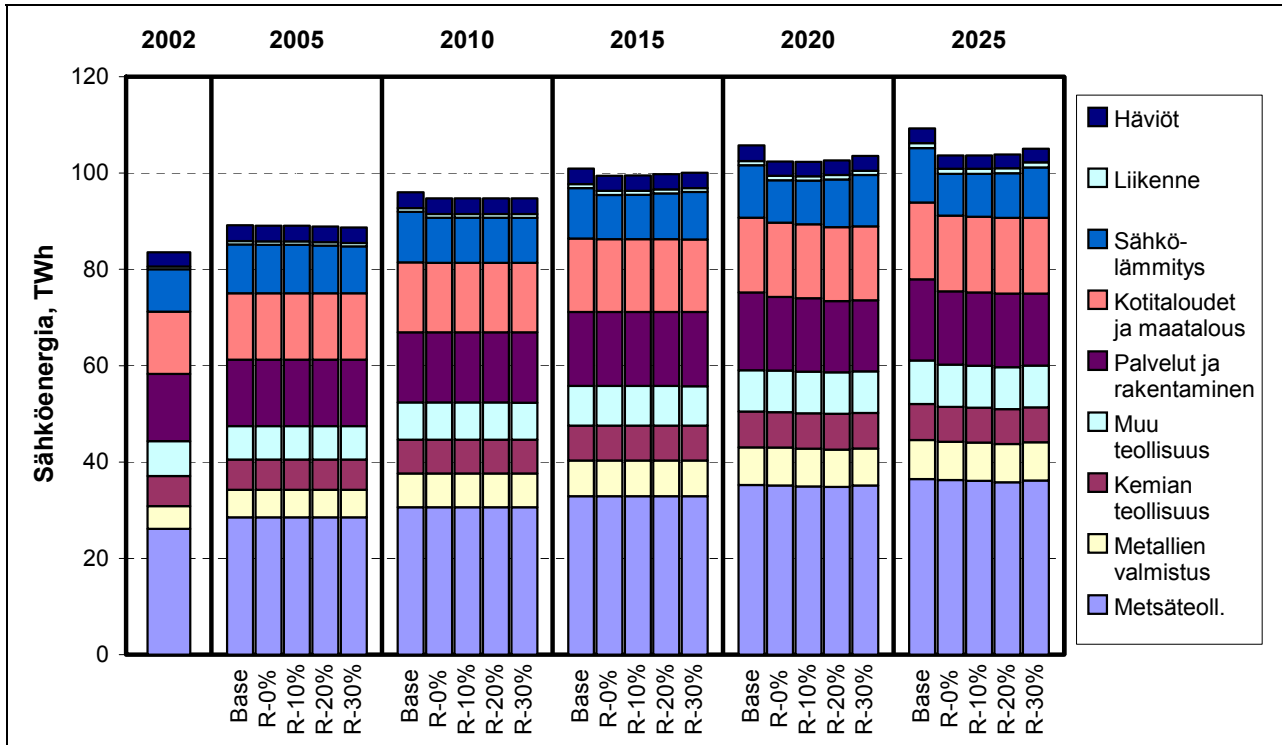
Kuva 18. Sähkön kokonaishankinnan rakenne 10 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 19. Sähkön kokonaishankinnan rakenne 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 20. Sähkön kokonaiskulutus 10 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 21. Sähkön kokonaiskulutus 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.

## 5.3 Energian loppukäyttö

### 5.3.1 Teollisuus

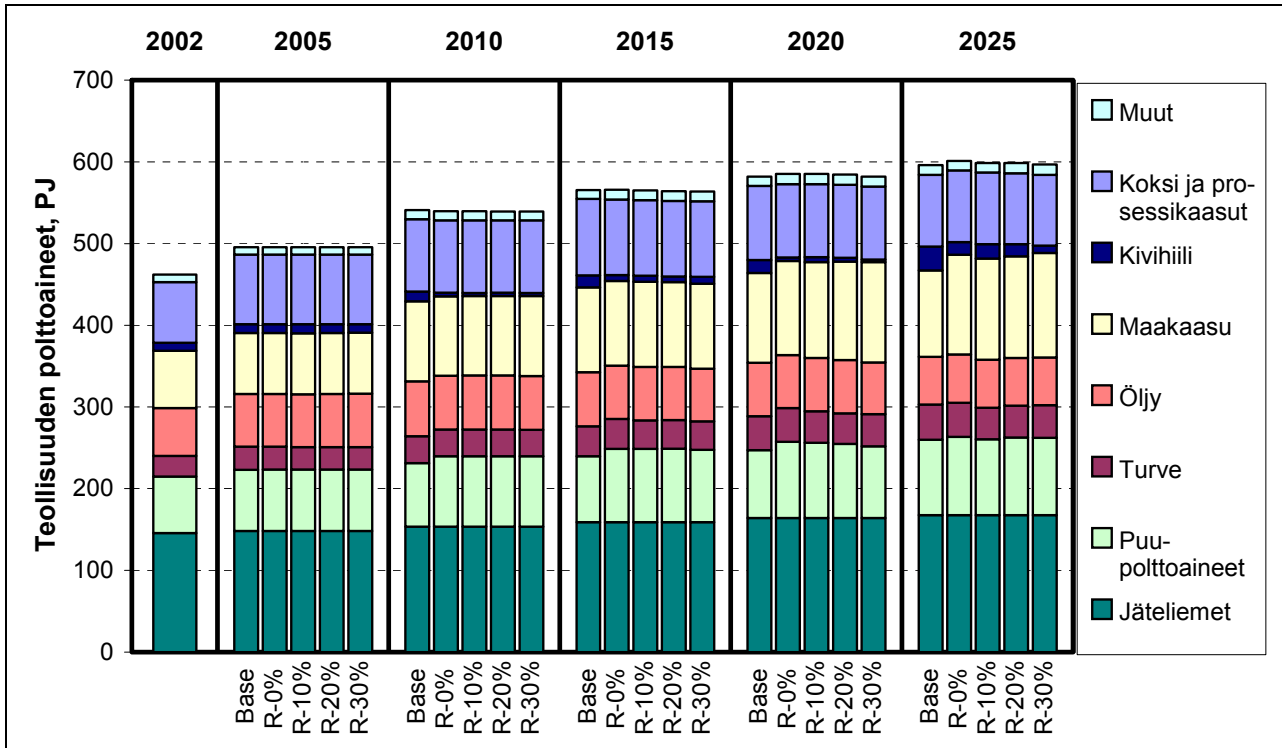
Teollisuuden polttoaineiden kulutuksen kehitys perusura- ja päästökauppaskenaarioissa on esitetty kuvissa 22–23. Perusurassa öljytuotteita ja rauta- ja terästeollisuuden prosessipolttoaineita lukuun ottamatta kaikkien polttoaineiden kulutus kasvaa teollisuudessa tasaisesti vuoteen 2020. Öljytuotteiden kulutus pysyy lähes vakiona, ja myös terästeollisuuden polttoaineiden kulutuksen kasvu tasaantuu noin vuonna 2015 tuotannon kasvun hidastumisen myötä.

Päästöjä rajoitettaessa selvimpiä muutoksia perusuraan verrattuna ovat seuraavat:

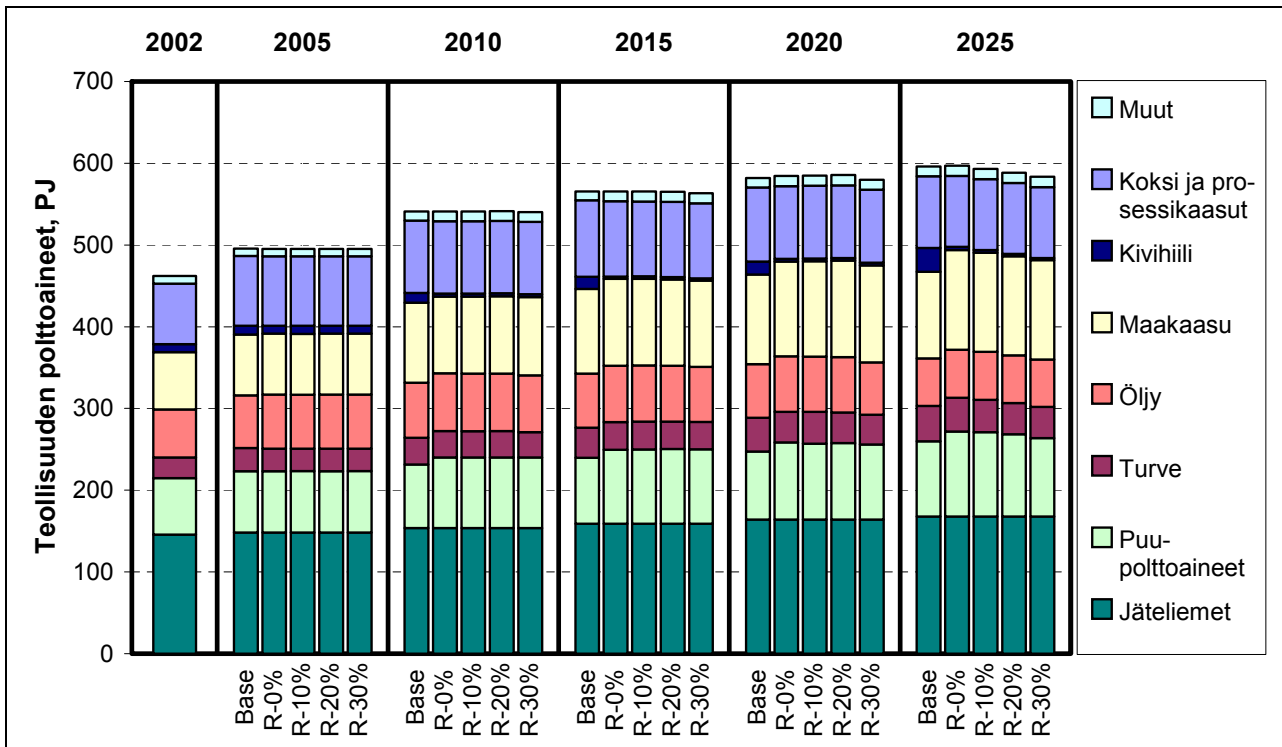
- Kivihiilen kulutus on kaikissa rajoitusskenaarioissa tuntuvasti pienempi.
- Maakaasun kulutus on rajoitusskenaarioissa 10–20 % perusuraa suurempi vuonna 2025.
- Puupolttoaineiden kulutus on rajoitusskenaarioissa 5–20 % perusuraa suurempi vuonna 2025.
- Turpeen kulutus on rajoitusskenaarioissa 3–60 % perusuraa pienempi vuonna 2025. Voimakkaat turpeen käytön vähennykset koskevat kuitenkin vain kotimaisten toimien skenaarioita.
- Polttoaineiden kokonaiskulutus on rajoitusskenaarioissa 0–13 % perusuraa pienempi vuonna 2025.

Muutokset perusuraan verrattuna ovat 10 €:n päästökauppaskenaarioissa luonnollisesti lievempiä kuin 20 €:n skenaarioissa. Kummassakin päästökauppatapauksessa muutokset jäävät kuitenkin pienemmiksi kuin kotimaisiin toimiin perustuvissa skenaarioissa (ks. kohta 6.3.2), joissa erityisesti turpeen käyttö vähenee paljon voimakkaammin.

Polttoaineiden kokonaiskulutuksen pieneneminen johtuu toisaalta teollisuuden pienemmästä CHP-tuotannon kasvusta tiukoissa rajoitusskenaarioissa ja toisaalta tuntuista säästötoimista, jotka tulevat tiukoissa rajoitusskenaarioissa kannattaviksi päästöjen vähentämisen korkeiden marginaalikustannusten takia. Marginaalikustannukset nousevat vuonna 2020 suurimmillaan peräti noin 100 €/t(CO<sub>2</sub>) tasolle kotimaisten toimien 30 %:n vähennysskenaariossa. Skenaarion tiukkuutta kuvastaa se, että Raahen koksaamo kannattaa varsin vähäisen päästövaikutuksen takia sulkea vuoden 2015 jälkeen, jolloin raudan ja teräksen valmistuksessa tarvittava koksi on tuotava kokonaan ulkomailta.



Kuva 22. Teollisuuden polttoaineiden kulutus 10 €:n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 23. Teollisuuden polttoaineiden kulutus 20 €:n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.

### 5.3.2 Rakennusten lämmitys

Suomessa on vuoden 2001 ilmastostrategian mukaisesti otettu käyttöön entistä tiukempia rakennusmääräyksiä. Lokakuusta 2003 lähtien voimaan astuneiden määräysten mukaan kaikkien uusien ympärivuotiseen käyttöön tarkoitettujen uudisrakennusten tulisi kuluttaa 25–30 % vähemmän lämmitysenergiaa aiempaan määräystasoon verrattuna. Lisäksi korjausrakentamiseen on mahdollista saada tukea. Näiden tekijöiden ansiosta sekä uusien että vanhojen rakennusten ominaiskulutukset pienenevät. Vaikka sekä asuin- että palvelurakennuskannan oletetaan kasvavan merkittävästi, rakennusten lämmitysenergian kokonaiskulutus pysyy skenaariotulosten mukaan suunnilleen aiemmalla tasolla tai kääntyy jopa hienoiseen laskuun. Rakennusten lämmitysenergian käytön kehitystä tarkastelluissa skenaarioissa on havainnollistettu kuvissa 24–25.

Oheislämpöjen hyödyntämisen ansiosta ominaiskulutusten pieneneminen vähentää lämmityslaitteilla tuotettavan lämmön määrää suhteellisesti vielä enemmän. Kiinteiden kustannusten suuren osuuden vuoksi lämmityksen yksikkökustannukset kuitenkin tällöin samalla nousevat. Lämmönkulutuksen huipputeho ei myöskään vähene yhtä paljon kuin lämmityslaitteilla tuotettavan lämmön vuotuinen tarve. Sekä pienemmät yksikkökoot että huipunkäyttöajan pieneneminen merkitsevät lämmityslaitteiden investointikustannusten nousua tuotettua lämpöenergiayksikköä kohti. Pääomavalttaisten lämmitystekniikoiden markkina-asema siten heikkenee ja sähkölämmitystekniikoiden asema paranee ominaiskulutusten pienentyessä.

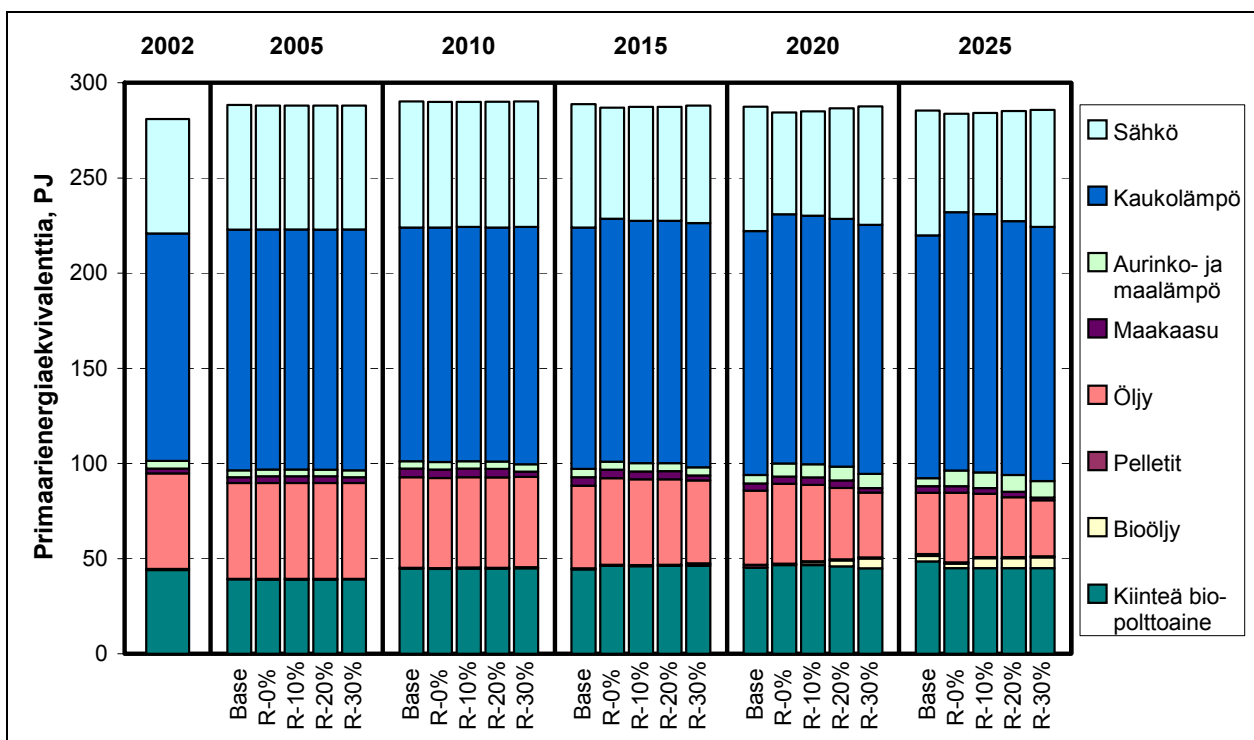
Tulosten mukaan useimmissa skenaarioissa niin kauko- ja sähkölämmityksen kuin puuperäisten polttoaineiden markkinaosuudet kasvavat hieman vuoteen 2025 mennessä. Puupolttoaineisiin on tällöin luettu perinteisten puupolttoaineiden lisäksi pyrolyysiöljy sekä puupelletit. Puupellettien markkinoille tulon ansiosta biopolttoaineiden lämmityskäytöllä on aiempaa suurempi lisäyspotentiaali, sillä niihin perustuvien lämmitysjärjestelmien käyttö on perinteisiin puujärjestelmiin nähden vaivatonta. Skenaarioissa käytettyjen melko varovaisten hintakehitystä koskevien perusarvioiden mukaan puupelletit eivät kuitenkaan tule niin kilpailukykyisiksi, että ne saavuttaisivat Suomessa merkittävää markkinaosuutta. Automaattisyyttöisten kattiloiden ja takkojen kehityksellä voidaan kuitenkin joka tapauksessa arvioida olevan varsin suuri merkitys puupolttoaineiden markkinaosuuden kasvupotentiaalille.

Tavanomainen öljylämmitys on tulosten mukaan lämmitysmuotojen markkinaosuuksissa ainoa selvä häviäjä. Öljyn kilpailukyky heikkenee jo perusurassa lähinnä maailmanmarkkinahintojen nousun myötä. Päästöjä rajoitettaessa vähäpäästöisten lämmitysmuotojen asema vahvistuu, ja tulosten mukaan erityisesti pyrolyysiöljykattiloiden tulevalle kehitystyöllä saattaa olla merkitystä mineraaliöljyn käytön ja siitä aiheutuvien päästöjen vähentämisessä. Skenaarioissa käytettyjen verraten varovaisten oletusten

mukaan pyrolyysiöljy tulisi kilpailukykyiseksi lämmitysenergian lähteeksi suunnilleen vuoden 2020 tienoilla. Pitkän tähtäyksen skenaarioissa pyrolyysiöljy saa näkyvän markkinaosuuden noin vuonna 2030.

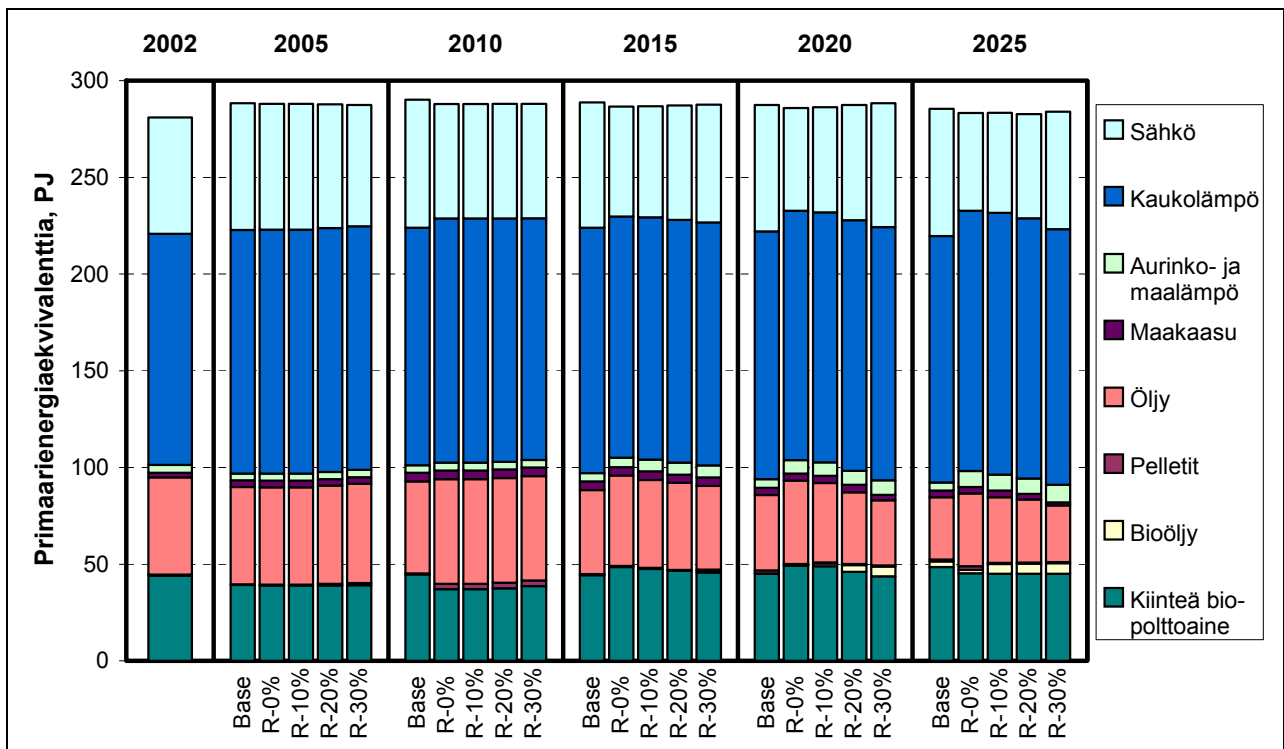
Lämpöpumpputeknologioista ilmalämpöpumppujen markkinat kasvavat kaikissa skenaarioissa maalämpöpumppuja nopeammin. Tähän vaikuttaa osaltaan edellä mainittu lämmitysjärjestelmien pääomakustannusten merkityksen korostuminen, joka heikentää varsin kalliiden porakaivon perustuvien lämpöpumppujärjestelmien kilpailukykyä. Tulevaisuudessa ilmalämpöpumppujärjestelmien kilpailukykyä parantaa myös niiden hyödyntäminen sekä lämmitykseen että jäähdytykseen. Toisaalta on huomattava, että sekä lämpöpumppu- että aurinkoenergiajärjestelmien osalta skenaarioissa käytetyt teknologian kehitysarviot olivat melko konservatiivisia.

Ilmaston lämpenemisen odotetaan vähentävän tuntuvasti lämmitysenergian tarvetta Suomessa. Jäähdytystarpeen kasvu toisaalta suurenee jonkin verran, mutta siitä huolimatta rakennusten lämpöjärjestelmien ominaisenergiankulutuksen voidaan arvioida kokonaisuutena huomattavasti pienenevän. Vaikka pitkän tähtäyksen skenaariot ulottuivat vuoteen 2050 saakka, skenaariolaskelmissa ei otettu lämpenemisen aiheuttamaa lämmitystarpeen pienenemistä huomioon.



Kuva 24. Asuin- ja palvelurakennusten lämmityksen energialähteiden kulutus 10 €:n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.





Kuva 25. Asuin- ja palvelurakennusten lämmityksen energialähteiden kulutus 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.

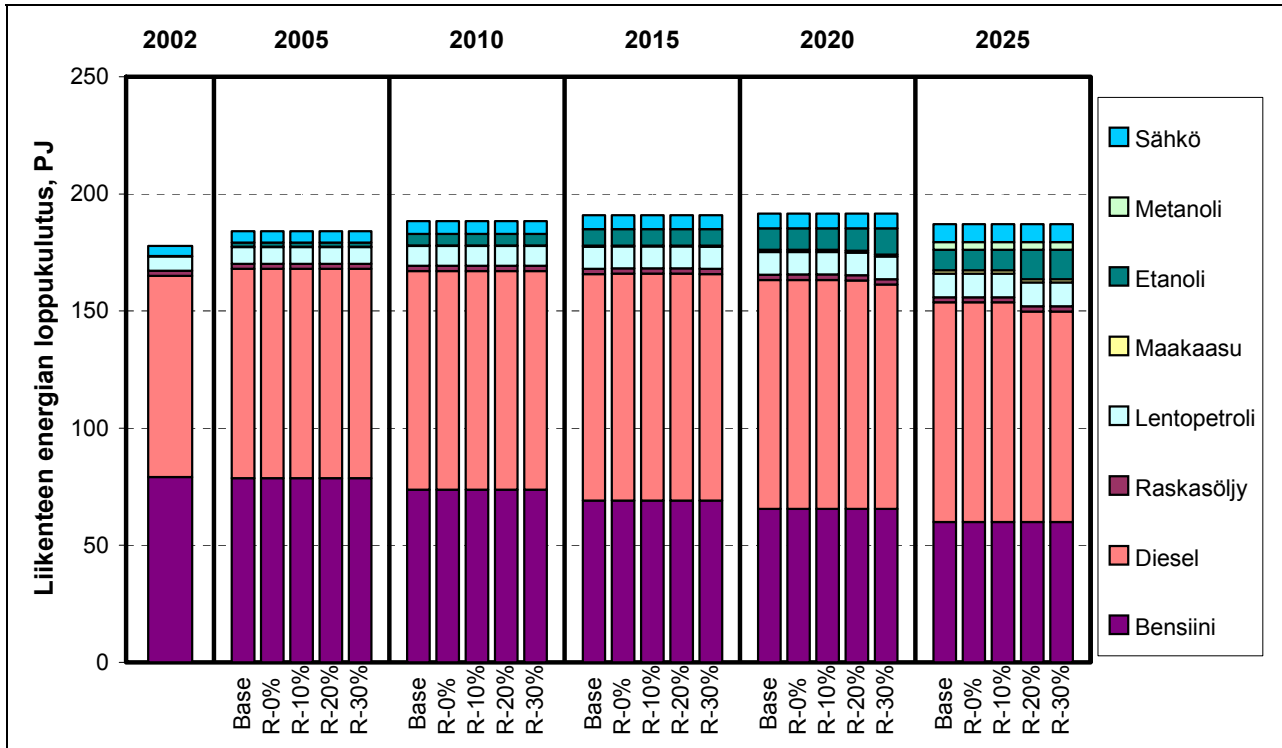
### 5.3.3 Liikenne

Liikenteen sektorilla kasvihuonekaasujen kehitykseen voivat vaikuttaa merkittävästi paitsi teknologian kehittyminen myös eri liikennemuotojen markkinaosuudet sekä muutokset yhdyskuntarakenteessa. Työssä tehdyissä skenaariotarkasteluissa sekä liikennemuotojen osuuksien että yhdyskuntarakenteen kehittymisestä käytettiin kuitenkin kiinteitä skenaarioita, joten skenaariot eroavat ainoastaan kunkin liikennemuodon sisäisen teknologian kehityksen ja markkinaosuuksien osalta. Skenaariotulosten mukainen liikenteen energialähteiden kulutuksen kehitys on esitetty kuvissa 26–27.

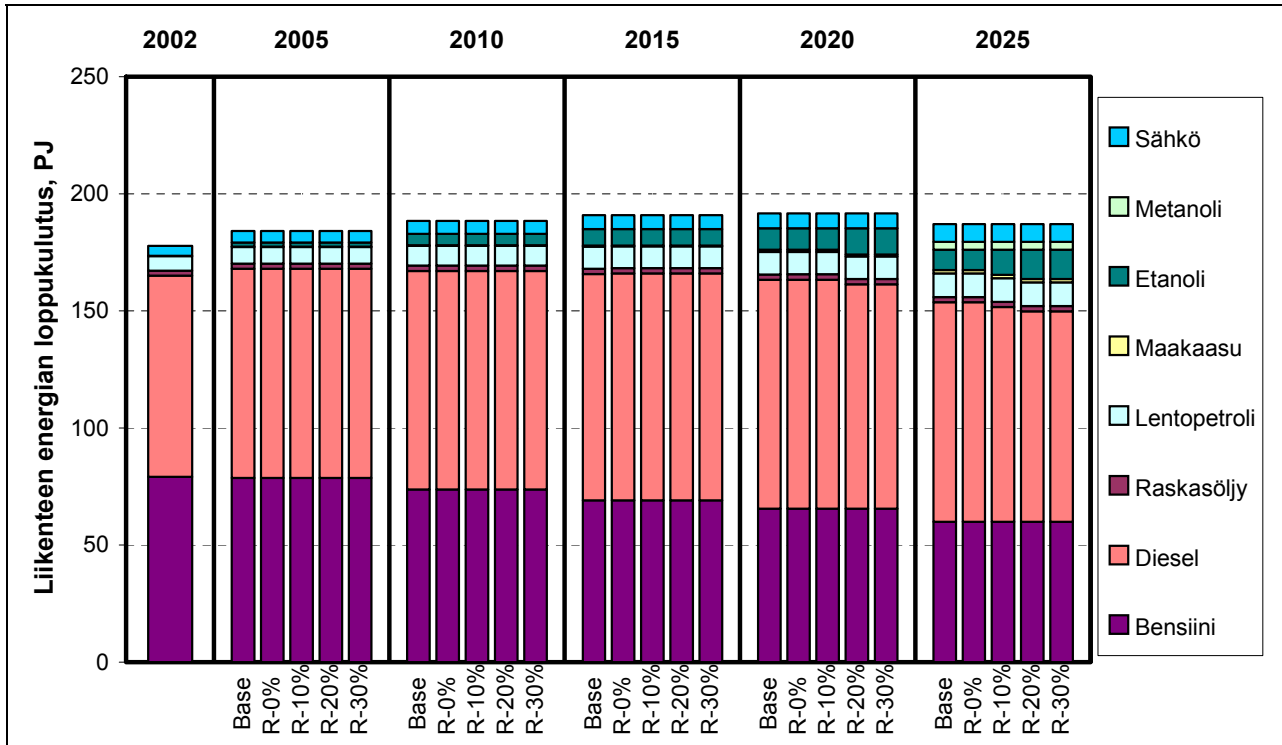
Skenaarioissa oletetut tieliikennesuoritteiden kasvun kehitysarviot ovat samankaltaisia kuin VTT:n LIPASTO-mallilla tehdyissä laskelmissa. Kaikissa skenaarioissa oletettiin tavanomaisen ottomootoritekniikan kehittyvän EU:n autonvalmistajien kanssa tekemän sopimuksen vaatimuksia hitaammin. Uusien henkilöautojen keskimääräisen polttoainekulutuksen alenemisen tavoitteeksi asetetulle 5 l/100 km tasolle oletettiin viivästyvän noin vuoteen 2020 saakka. Dieselhenkilöautojen osuuden oletettiin nousevan vuoteen 2020 mennessä noin 20 %:iin koko henkilöautokannasta. Näiden oletusten tuloksena saatu liikenteen energiankäytön perusura vastaa varsin hyvin ministeriöiden WM-skenaarion mukaisia kehitysarvioita.

Tavanomaistenkin liikennepolttoaineiden kulutuksen aiheuttamia kasvihuonekaasujen nettopäästöjä voidaan pienentää lisäämällä polttoaineisiin metanoli- tai etanolipohjaisia biokomponentteja. Skenaarioissa biokomponenttien käytön lisääntyminen oletettiin kiinteänä skenaariona, jonka mukaan sekä bensiini- että dieselpolttoaineiden sisältämä biopohjainen osuus nousee vuoteen 2010 mennessä noin 3 %:iin ja vuoteen 2020 mennessä 5,5 %:iin. Nämä osuudet ovat suunnilleen samat kuin uusiutuvan energian edistämishjelmassa asetetut tavoitteet (KTM 2003) mutta selvästi pienempiä kuin biokomponentteja koskevan EU-direktiivin mukaiset tavoitteet.

Joko suoraan tai välillisesti vedyn käyttöön perustuvilla polttokennoajoneuvoilla voitaisiin vähentää liikenteen kasvihuonekaasujen päästöjä hyvin merkittävästi. Pitkän tähtäimen skenaarioissa tämä teknologiavaihtoehto tulee oletusten mukaisen teknisen kehityksen ansiosta laajaan käyttöön. Vuoteen 2050 mennessä jo suurin osa ajoneuvokannasta olisi vetypolttokennoautoja. Tätä pidemmän aikavälin potentiaalia liikenteen päästöjen vähentämiseksi tarkastellaan työn toisessa osassa (ks. kohta 6.3.4).



Kuva 26. Liikenteen energialähteiden kulutus 10 €:n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 27. Liikenteen energialähteiden kulutus 20 €:n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.

## 5.4 Kasvihuonekaasujen päästöt ja päästökauppa

### 5.4.1 Kasvihuonekaasujen päästötase

Mallilaskelmien yhtenä keskeisenä tuloksena saadaan Suomen kasvihuonekaasujen päästöjen kokonaistase tarkasteluvuosittain. Päästöjen laskennan lähtökohtana käytettiin vuoden 2005 keväällä tarkistettua päästöinventaaria, jonka mukaan päästöjen kokonaismäärä oli vuonna 1990 noin 70,4 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalentteina.

Päästöjen rajoittamista koskevien tulosten vertailukohdaksi kuvassa 28 on esitetty päästöjen kehitys pääluokittain kotimaisten toimien skenaarioissa. Tarkempi päästöjen kehitys vuoteen 2020 saakka on esitetty WM-skenaarion osalta taulukossa 3 ja Kioton tavoitteeseen jäävien päästönvähennysskenaarioiden (*R-0%*) osalta taulukoissa 4–6 kaasuittain ja päälähteittäin. Taulukoissa esitettyjen päästöjen rajoitusskenaarioiden voidaan nykytilanteessa parhaiten ajatella edustavan ns. WAM-skenaariota. Päästökauppaskenaarioiden mukaista päästöjen kehitystä on lisäksi havainnollistettu kuvissa 29–30 pääluokittain.

Jos kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämiseksi ei tehtäisi Suomessa erityisiä lisätoimia, päästöjen kokonaismäärä kasvaisi mallilaskelmien mukaan vuoden 1990 70,4 miljoonasta tonnista vuoteen 2010 mennessä noin 80 miljoonaan tonniin. Vuonna 2025 päästöt olisivat jo noin 85 miljoonaa tonnia. Tässä perusuraskenaariossa on otettu huomioon vuonna 2009 valmistuvaksi suunniteltu uusi 1 600 MW:n ydinvoimalaitos.

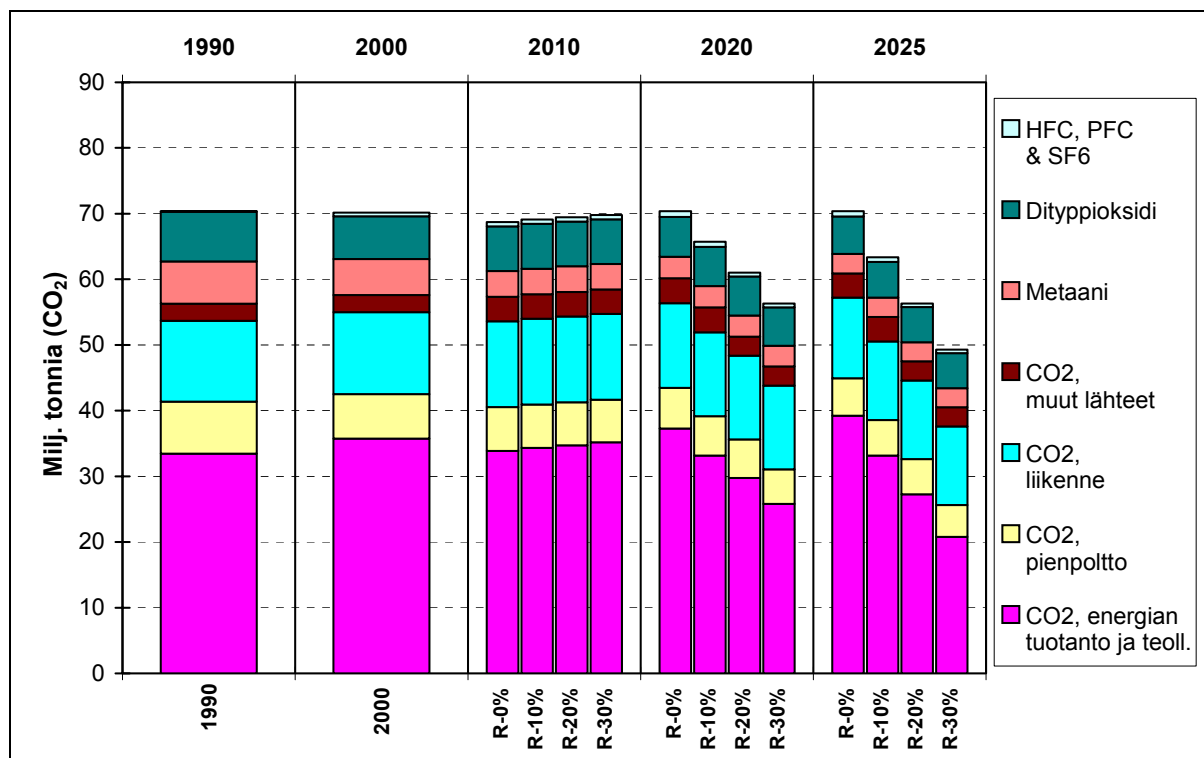
Uusi ydinvoimalaitos hidastaa tuntuvasti päästöjen kasvua mutta ei riittävästi asetettujen päästötavoitteiden kannalta. Kioton periodilla lisävähennyksiä tarvitaan siis tulosten mukaan runsaat 9 miljoonaa tonnia. Energian tuotannossa on myös suurin paine päästöjen lisäykseen vuoden 2010 jälkeen, kuten voidaan nähdä Kioton tavoitteeseen jäävien rajoitusskenaarioiden tuloksista (*R-0%*). Tiukempien päästötavoitteiden skenaarioissa päästöt sen sijaan alkavat vähentyä myös energian tuotannossa.

Metaanipäästöjä ja pienpolton hiilidioksidipäästöjä voidaan tulosten mukaan kivuttomimmin vähentää vuoden 1990 tasosta. Vuoteen 2010 mennessä uuden ydinvoimalaitoksen käyttöönotto on kuitenkin Kioton tavoitteen saavuttamisen kannalta keskeisin yksittäinen toimi. Kioton periodin jälkeen mitään vastaavan suuruisia päästönvähennyksiä aikaan saavia, helposti kohdennettavia keinoja ei ole välittömässä näköpiirissä. Metaanipäästöjä voidaan silti edelleen edullisesti vähentää jätehuollon kehittämisen keinoin. Toinen merkittävä ja kokonaistaloudellisesti edullinen yksittäinen päästöjen vähennykskohde on typpihapon valmistus, jossa N<sub>2</sub>O-päästöjä voidaan rajoittaa katalyyttisin menetelmin arviolta noin 80 %.

Tulosten mukaan myös fluorattujen kaasujen (HFC, PFC, SF6) päästöjen tuntuva rajoittaminen on kokonaistaloudellisesti edullista. Jo vuoteen 2010 edullista vähennys-potentiaalia on noin 40 % perusuran mukaisesta määrästä, ja saman suuruinen osuus päästöistä kuuluu edullisimman potentiaalin piiriin myös vuoteen 2020. Tiukimmassa kotimaisten toimien skenaarioissa (30 %:n vähennys) fluorattujen kaasujen päästöjä kannattaisi vähentää vuoteen 2025 mennessä noin 65 % perusurasta.

Liikenteen päästöjen kasvu taittuu tulosten mukaan kaikissa skenaarioissa vuoteen 2015 mennessä, eikä skenaarioiden välillä ole merkittävää eroa päästöjen kehityksessä. Tämä johtuu siitä, että lisäkeinoja liikenteen päästöjen vähentämiseksi on malliteknisesti melko vaikea kuvata. Kotimaisia mahdollisuuksia päästöjen rajoittamiseksi on toki olemassa, mutta niiden toteutumiseen vaaditaan yleensä vaikuttamista kuluttajien käyttäytymiseen.

Päästökauppaskenaarioissa todelliset päästöt poikkeavat luonnollisesti asetetusta tavoite-tasosta joko ylös- tai alaspäin sen mukaan, onko päästöoikeuksien hinta tavoitetason mukaisia marginaalikustannuksia alempi vai korkeampi. Tulosten mukaan 10 €/n päästö-oikeuksien hinnalla Suomi on oikeuksien netto-ostaja koko tarkasteluajavälin. Sen sijaan 20 €/n hinnalla suomalaisten yritysten kannattaisi osin myös myydä päästö-oikeuksia.



Kuva 28. Kasvihuonekaasujen päästöt pääluokittain kotimaisten toimien skenaarioissa.

Taulukko 3. Kasvihuonekaasujen päästöt WM-skenaariossa vuoteen 2020.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
<b>CO2 Emissions</b>							
Energy	41993	44680	43184	54694	50854	51377	55227
Transport	12316	11679	12460	12997	13043	13034	12895
Industrial processes	1346	1007	1238	1343	2266	2309	2353
Other	640	699	730	830	846	861	877
Total	56296	58066	57611	69864	67008	67582	71352
<b>CH4 Emissions</b>							
Energy	389	477	446	564	569	561	550
Transport	103	85	70	64	66	66	66
Industrial processes	9	14	15	14	15	15	18
Agriculture	2100	1868	1807	1643	1558	1484	1409
Waste	3832	3771	3140	2554	1842	1571	1351
Total	6433	6216	5479	4839	4050	3698	3393
<b>N2O Emissions</b>							
Energy	730	1021	721	1301	1311	1305	1349
Transport	173	278	432	592	679	672	649
Industrial processes	1595	1394	1321	1405	1371	1325	1344
Agriculture	4844	4247	3843	3579	3448	3364	3282
Waste	141	126	110	104	103	102	100
Other	91	69	76	76	76	76	76
Total	7575	7136	6504	7057	6987	6844	6801
<b>PFCs, HFCs, SF6</b>							
Total	94	98	576	920	1220	1370	1450
<b>Total GHG Emissions</b>	70398	71515	70169	82680	79266	79494	82996
<b>Average emissions in Kyoto period</b>	<b>79703</b>						

Taulukko 4. Kasvihuonekaasujen päästöt kotimaisten toimien R-0%-skenaariossa.

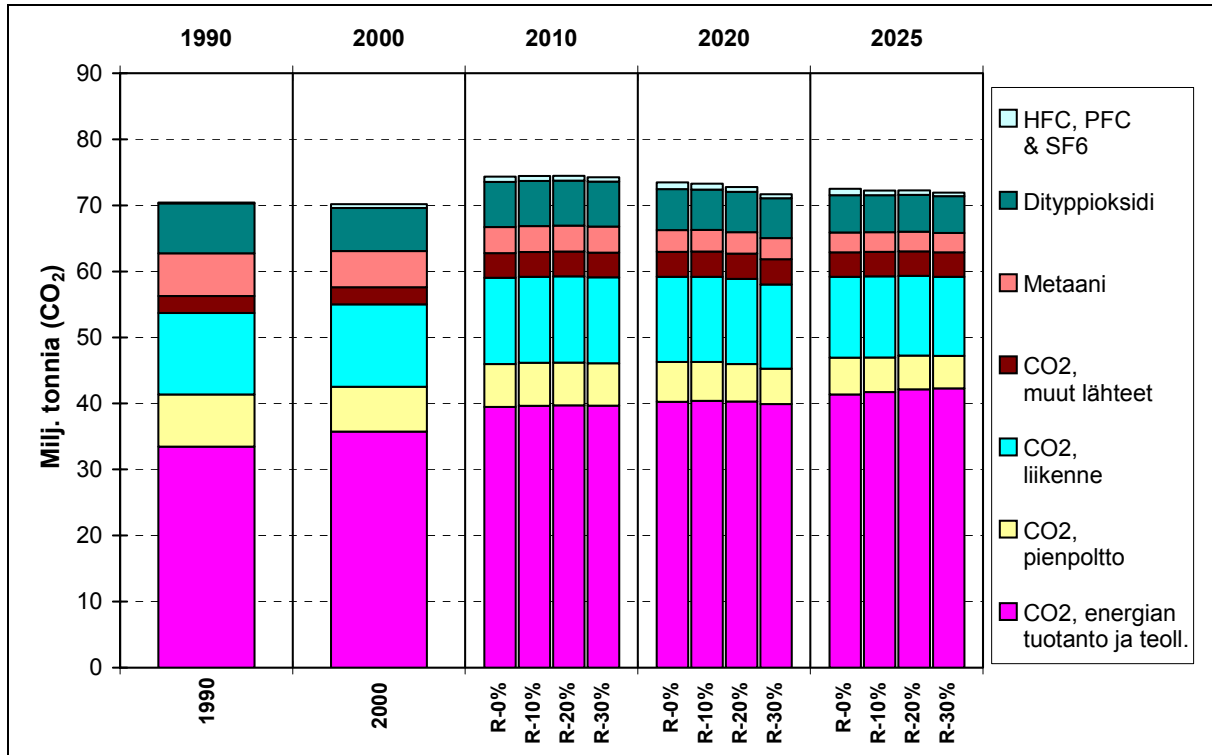
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
<b>CO2 Emissions</b>							
Energy	41993	44680	43184	53186	41185	43291	44058
Transport	12316	11679	12460	12997	13043	13037	12895
Industrial processes	1346	1007	1238	1343	2266	2309	2353
Other	640	699	730	830	846	861	877
Total	56296	58066	57611	68356	57340	59499	60184
<b>CH4 Emissions</b>							
Energy	389	477	446	563	572	584	584
Transport	103	85	70	64	66	66	66
Industrial processes	9	14	15	14	15	17	19
Agriculture	2100	1868	1807	1643	1558	1484	1409
Waste	3832	3771	3140	2448	1689	1406	1174
Total	6433	6216	5479	4732	3900	3557	3252
<b>N2O Emissions</b>							
Energy	730	1021	721	1227	1139	1163	1206
Transport	173	278	432	592	679	671	649
Industrial processes	1595	1394	1321	1405	1371	1146	755
Agriculture	4844	4247	3843	3579	3448	3364	3282
Waste	141	126	110	104	103	102	100
Other	91	69	76	76	76	76	76
Total	7575	7136	6504	6983	6816	6523	6068
<b>PFCs, HFCs, SF6</b>							
Total	94	98	576	920	669	819	894
<b>Total GHG Emissions</b>	70398	71515	70169	80992	68725	70398	70398
<b>Average emissions in Kyoto period</b>	<b>70398</b>						

Taulukko 5. Kasvihuonekaasupäästöt 10 €:n päästökauppaskenaariossa (R-0%).

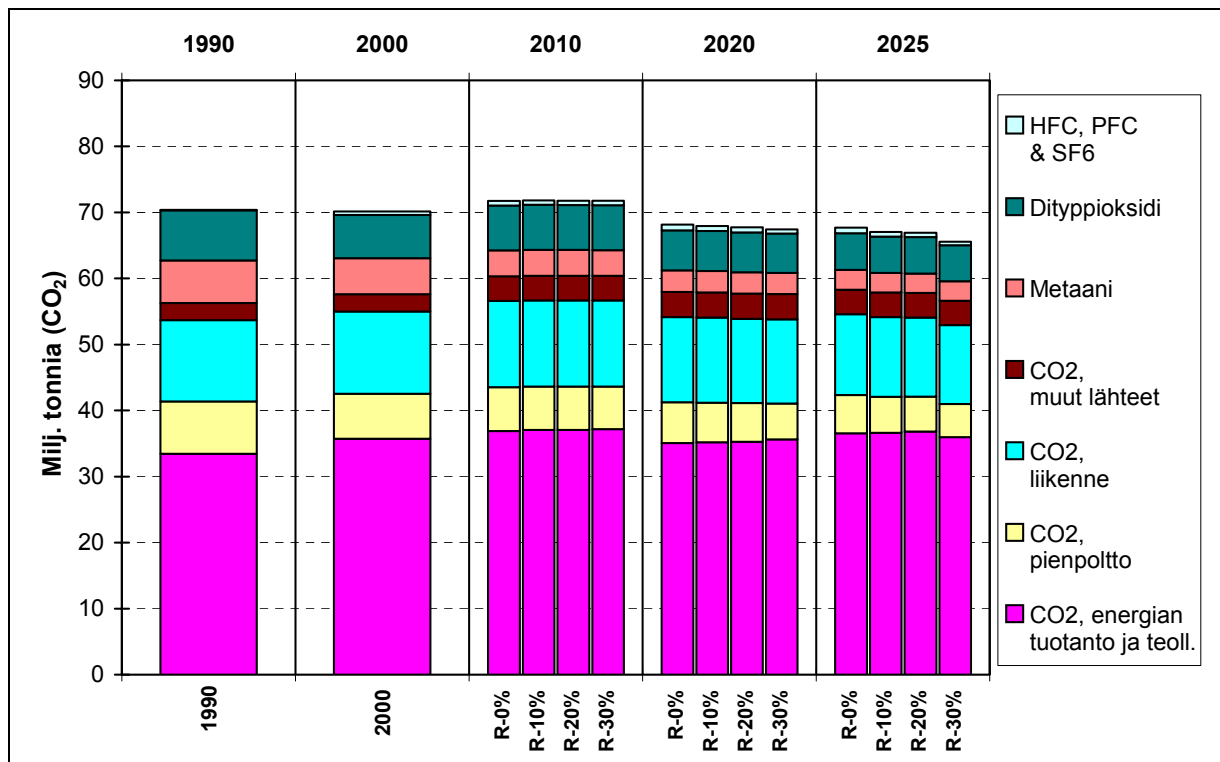
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
<b>CO2 Emissions</b>							
Energy	41993	44680	43184	54407	46601	44114	46854
Transport	12316	11679	12460	12997	13043	13037	12895
Industrial processes	1346	1007	1238	1343	2266	2309	2353
Other	640	699	730	830	846	861	877
Total	56296	58066	57611	69578	62756	60322	62980
<b>CH4 Emissions</b>							
Energy	389	477	446	565	573	579	559
Transport	103	85	70	64	66	66	66
Industrial processes	9	14	15	14	15	17	20
Agriculture	2100	1868	1807	1643	1558	1484	1409
Waste	3832	3771	3140	2534	1728	1450	1229
Total	6433	6216	5479	4820	3940	3596	3282
<b>N2O Emissions</b>							
Energy	730	1021	721	1273	1162	1176	1249
Transport	173	278	432	592	679	671	649
Industrial processes	1595	1394	1321	1405	1371	1149	827
Agriculture	4844	4247	3843	3579	3448	3364	3282
Waste	141	126	110	104	103	102	100
Other	91	69	76	76	76	76	76
Total	7575	7136	6504	7029	6838	6539	6183
<b>PFCs, HFCs, SF6</b>							
Total	94	98	576	920	840	929	1009
<b>Total GHG Emissions</b>	70398	71515	70169	82346	74374	71385	73455
<b>Average emissions in Kyoto period</b>	<b>74972</b>						

Taulukko 6. Kasvihuonekaasupäästöt 20 €:n päästökauppaskenaariossa (R-0%).

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
<b>CO2 Emissions</b>							
Energy	41993	44680	43184	51513	44166	41069	41836
Transport	12316	11679	12460	12997	13043	13037	12895
Industrial processes	1346	1007	1238	1343	2266	2309	2353
Other	640	699	730	830	846	861	877
Total	56296	58066	57611	66684	60321	57277	57962
<b>CH4 Emissions</b>							
Energy	389	477	446	567	575	595	589
Transport	103	85	70	64	66	66	66
Industrial processes	9	14	15	14	15	16	18
Agriculture	2100	1868	1807	1643	1558	1484	1409
Waste	3832	3771	3140	2501	1706	1425	1189
Total	6433	6216	5479	4789	3920	3586	3271
<b>N2O Emissions</b>							
Energy	730	1021	721	1226	1145	1155	1186
Transport	173	278	432	592	679	671	649
Industrial processes	1595	1394	1321	1405	1371	1143	751
Agriculture	4844	4247	3843	3579	3448	3364	3282
Waste	141	126	110	104	103	102	100
Other	91	69	76	76	76	76	76
Total	7575	7136	6504	6982	6822	6512	6045
<b>PFCs, HFCs, SF6</b>							
Total	94	98	576	920	679	829	894
<b>Total GHG Emissions</b>	70398	71515	70169	79375	71742	68204	68172
<b>Average emissions in Kyoto period</b>	<b>72233</b>						



Kuva 29. Kasvihuonekaasujen päästöt päluokittain 10 €:n päästökauppaskenaarioissa.



Kuva 30. Kasvihuonekaasujen päästöt päluokittain 20 €:n päästökauppaskenaarioissa.

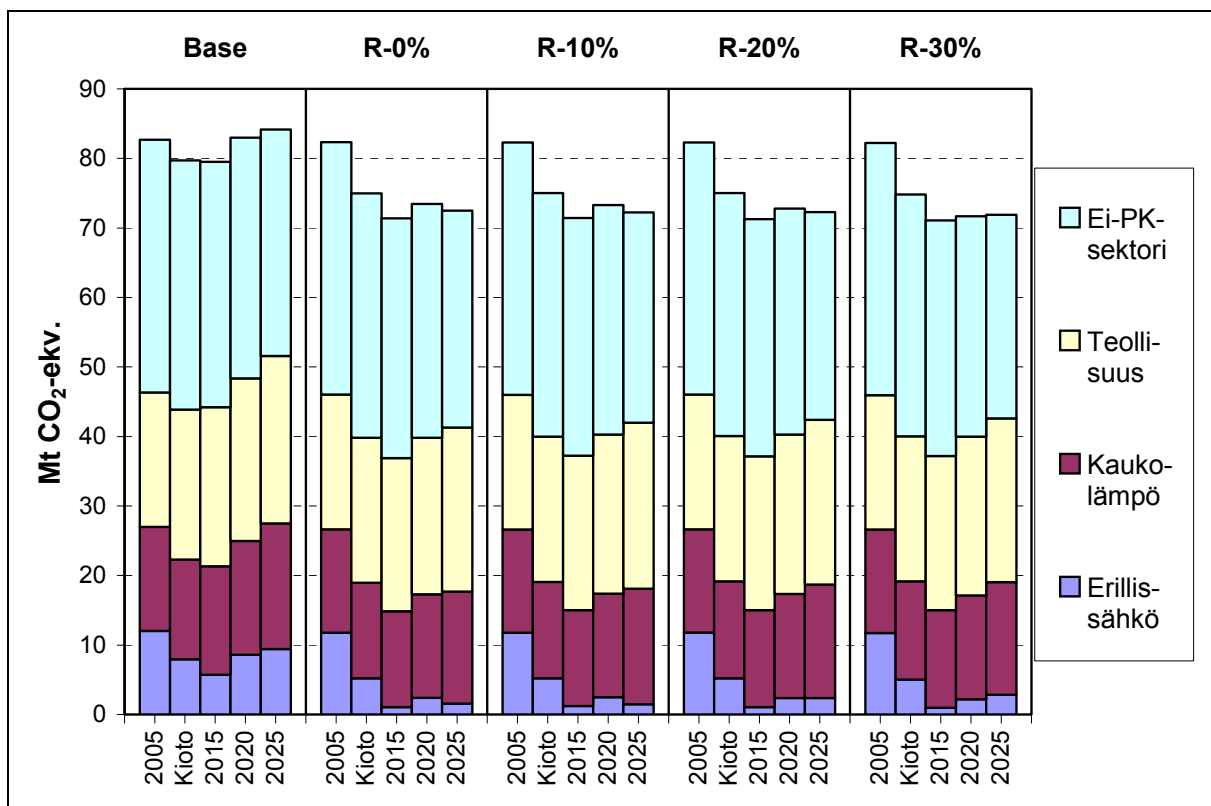


## 5.4.2 Päästöjen kehitys eri sektoreilla

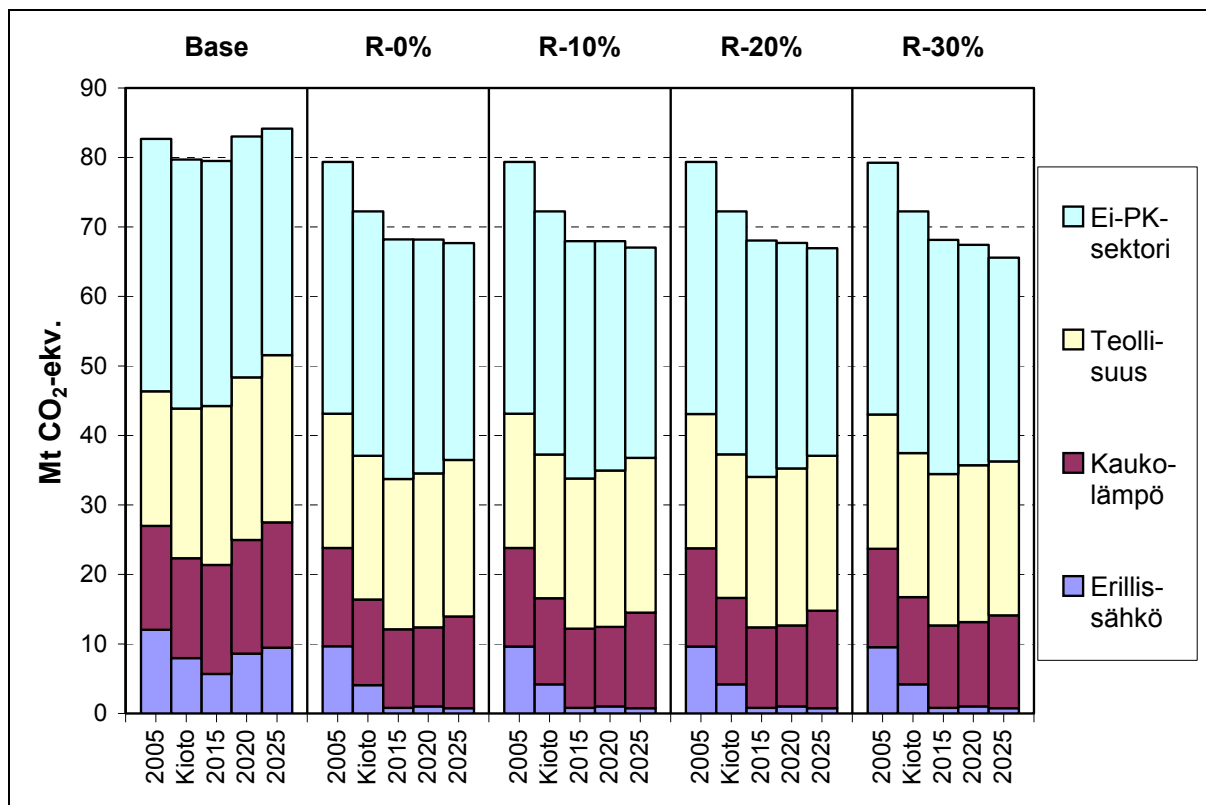
Kasvihuonekaasupäästöjen kehityksessä eri sektoreilla on varsin huomattavia eroja. Tällä on merkitystä erityisesti päästökaupan kannalta. Päästöjen kehitystä päästökaupan piiriin kuuluvilla ja sen ulkopuolelle jäävillä sektoreilla on havainnollistettu kuvissa 31–32.

Erillisessä sähköntuotannossa päästöjen suhteelliset muutokset ovat suurimpia. Ilman päästökauppaa tavanomaisiin polttoaineisiin perustuva lauhdevoiman tuotanto jouduttaisiin supistamaan Kioton periodista lähtien käytännössä minimitasolle eli vain huippuja varavoimaksi. Päästökauppaskenaarioissa vältytään näin voimakkailta muutoksilta, mutta lauhdevoiman tuotannon hiilidioksidipäästöjä on edullista vähentää 5 Mt:n tason alapuolelle. Vuodesta 2015 lähtien 20 €/n päästöoikeuksien hinnalla lauhdevoiman päästöt vähenisivät vain 1 Mt:n tasolle.

Päästökaupan vaikutus kaukolämmön ja kaukolämpövoiman. päästöihin jää tulosten mukaan melko pieneksi. Myös päästökaupan piiriin kuuluvan teollisuudessa päästöjen rajoituksilla näyttäisi tulosten valossa olevan vain vähän vaikutusta. Kummassakin tapauksessa on kuitenkin otettava huomioon sähkön ja lämmön yhteistuotannon



Kuva 31. Kasvihuonekaasujen päästöt päästökaupan piiriin kuuluvilla ja sen ulkopuolisilla sektoreilla 10 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 32. Kasvihuonekaasujen päästöt päästökaupan piiriin kuuluvilla ja sen ulkopuolisilla sektoreilla 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.

volyymien muutokset. Yhteistuotannon kasvu näillä sektoreilla vähentää välillisesti erillisen sähköntuotannon volyymia ja päästöjä. Päästökaupan vaikutukset teollisuuteen ja kaukolämpösektoriin ovat siten suurempia kuin sektorikohtaisten päästöjen perusteella voisi suoraan päätellä.

Rakennusten lämmityksessä ja maataloudessa pienpolton hiilidioksidipäästöjen väheneminen jatkuu kaikissa skenaarioissa vuoden 2010 jälkeenkin. Vähennykset johtuvat erityisesti öljyn käytön vähenemisestä sekä kaukolämmön ja biopolttoaineiden markkinaosuuden kasvusta. Liikenteen päästöjen määrä kasvaa tulosten mukaan hieman vuoteen 2010 mennessä mutta alkaa sen jälkeen vähentyä vuoteen 2025 mennessä kaikissa skenaarioissa. Vuoden 2025 jälkeen polttokennoajoneuvojen nopea markkinoille tulo kääntää liikenteen päästöt jyrkkään laskuun.

Metaanipäästöjen väheneminen jatkuu kaikissa skenaarioissa sekä ennen että jälkeen Kioton periodin. Koska jätehuoltoa koskevat säännökset johtavat joka tapauksessa jätteen kaatopaikkasijoituksen merkittävään vähenemiseen, skenaarioiden välillä ei ole metaanipäästöissä kovin suuria eroja. Maatalous on toinen merkittävä metaanipäästöjen lähde, mutta siellä päästöjen vähennyskeinojen kustannustehokas potentiaali on pieni.

Prosessiteollisuudessa oletettiin lisäksi joitakin päästöjen kannalta edullisia prosessikonsepteja voivan tulla käyttöön, mutta niihin liittyvän uuden teknologian oletettiin yleensä kaupallistuvan aikaisintaan vuoden 2020 tienoilla. Mekaanisen massan valmistuksessa otettiin huomioon biotekniset menetelmät, joiden avulla voidaan parhaimmillaan päästä 30 %:n vähennykseen sähkön ominaiskulutuksessa. Raudan valmistuksessa puolestaan oletettiin masuunit uusittavan vuoden 2020 jälkeen siten, että niissä voidaan käyttää hiili-injektointia. Hiili-injektoinnin ansiosta masuunien reduktanttien kulutusta voidaan huomattavasti pienentää.

### 5.4.3 Päästökaupan tase

Jotta päästökauppa toimisi päästöjen vähentämisen kannalta mahdollisimman kustannustehokkaalla tavalla, eri sektoreilla päästöjen vähentämisen marginaalikustannusten tulisi olla yhtä suuria. Päästöjen kokonaismäärän tulee olla korkeintaan Suomen kokonaispäästötavoite ostettujen päästöoikeuksien määrällä lisätynä.

Eräs selkeä tapa määrittää päästokiintiöt päästökaupan piiriin kuuluville sektoreille ja vastaavat tavoitekiintiöt siihen kuulumattomille sektoreille on asettaa päästökaupan piiriin kuuluvien sektorien päästokiintiöt yhtä suuriksi kuin pelkästään kotimaisiin toimiin perustuvassa päästöjen vähennyksessä. Tällöin päästöjen vähentämisen marginaalikustannukset olisivat eri sektoreilla yhtä suuret, mikäli myös päästöoikeuksien hinta asettuisi tuolle samalle tasolle. Jos päästöoikeuksien hinta poikkeaa pelkkien kotimaisten toimien marginaalikustannuksista, päästökauppaa käyvät sektorit saavat erotukseen verrannollisen hyödyn. Jos kaikki toimijat olisivat päästökaupan piirissä, tämä olisikin ilmeisesti selvästi paras kiintiöiden lähtökohta.

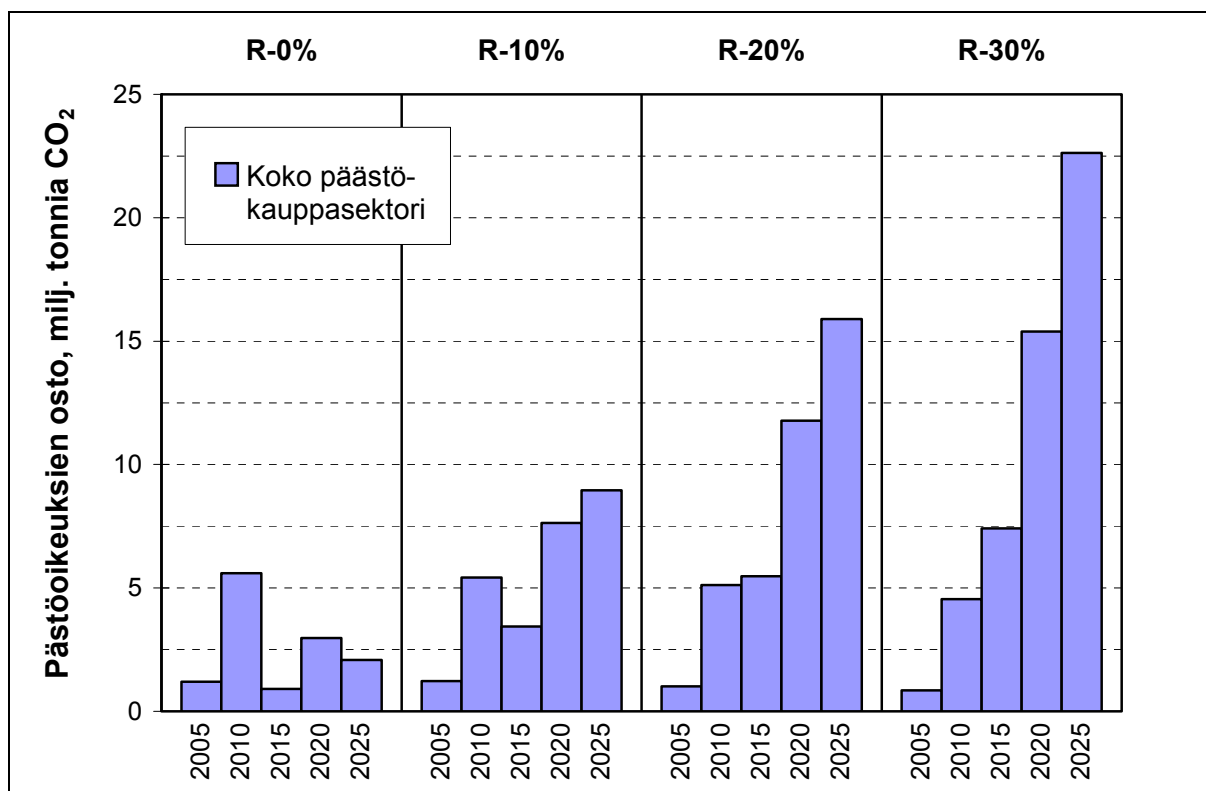
Toinen tapa määrittää päästokiintiöt olisi asettaa päästökaupan ulkopuolelle jäävien sektorien tavoitekiintiöt tasolle, jossa näiden sektorien marginaalikustannukset olisivat päästöoikeuksien hinnan kanssa samalla tasolla. Tämä menettely edellyttäisi tietoa päästöoikeuksien hinnasta. Tällöin kuitenkin päästökaupan ulkopuolelle jäävät sektorit joutuisivat kärsimään päästökaupasta siinä tapauksessa, että päästöoikeuksien hinta on suurempi kuin pelkkien kotimaisten toimien marginaalikustannukset. Tällaista laskentamenettelyä voisi siten pitää tavallaan päästökaupan hengen vastaisena. Työssä lasketuissa päästökauppaskenaarioissa käytettiin kiintiöiden pohjana yksinomaan kotimaisiin toimiin perustuvien päästönvähennysten optimaalista jakautumista.

Kotimaisten toimien skenaariolaskelmien mukaan päästöjen kustannusoptimaaliset tavoitetasot jakaantuvat Kioton periodilla siten, että päästökaupan piiriin kuuluville sektoreille tulisi 35,3 miljoonaa tonnia ja päästökaupan ulkopuolisille sektoreille jäisi suunnilleen sama määrä, 35,1 miljoonaa tonnia. Tämä koskee tosin vain Kioton tavoitteessa pysyvää skenaariota, mutta optimaalisen jakauman erot eri vähennys-

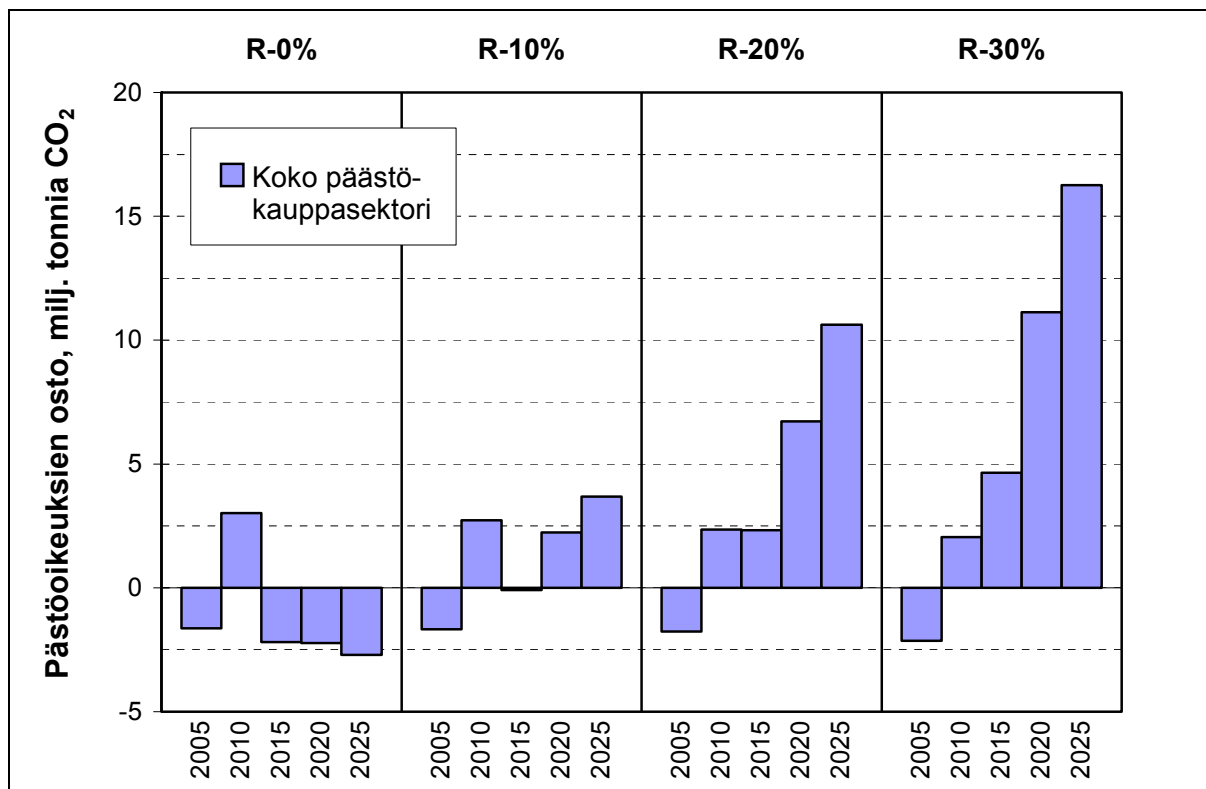
skenaarioiden välillä ovat pieniä. Ei-päästökauppasektorille kohdistuva päästöjen vähennystavoite jää tulosten mukaan varsin pieneksi, vajaaseen 1 Mt:n määrään vuonna 2010.

Päästökauppaskenaarioiden tulosten mukainen päästöoikeuksien kauppa on esitetty kuvissa 33 ja 34. Alhaisempaan, 10 €/n hintaan perustuvan skenaarion tulosten mukaan Suomi olisi päästöoikeuksien netto-ostaja koko tarkasteluaikavälin 2005–2025. Kioton periodilla päästöoikeuksia kannattaisi ostaa noin 5 miljoonaa tonnia vuodessa. Mikäli päästötavoite pysyisi Kioton periodin jälkeenkin vuoden 1990 tasolla, vuoden 2015 tilanteessa ostotarve vähenisi noin 1 miljoonaan tonniin mutta kasvaisi vuosina 2020–2025 jälleen 2–3 miljoonaan tonniin vuodessa. Jos kuitenkin päästötavoitteita tiukennettaisiin, päästöoikeuksia kannattaisi ostaa enimmillään jopa reilusti yli 20 miljoonaa tonnia vuonna 2025.

Korkeamman, 20 €/n päästöoikeuksien hinnan skenaariossa Suomi olisi Kioton periodilla päästöoikeuksien kaupassa kokonaisuutena lähes tasapainossa, ja vuonna 2010 ostotarve olisi muutama miljoonaa tonnia. Kioton periodin jälkeen Suomi voisi jopa myydä jonkin verran päästöoikeuksia, jos päästötavoite pysyisi ennallaan. Tiukentuvien päästötavoitteiden tapauksessa päästöoikeuksien ostotarve kasvaisi kuitenkin jälleen tuntuvasti, enimmillään yli 16 miljoonaan tonniin vuonna 2025.



Kuva 33. Hiilidioksidin päästöoikeuksien kaupan nettotase Suomessa 10 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 34. Hiilidioksidin päästöoikeuksien kaupan nettotase Suomessa 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.

## 5.5 Päästöjen vähentämisen suorat kustannukset

Kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamisen aiheuttamia suoria kustannuksia voidaan arvioida vertaamalla kunkin päästötavoitteita sisältävän skenaarion kustannuksia perusuraskenaarion eli WM-skenaarion kustannuksiin. Kuvissa 35–37 on esitetty suorat vuosittaiset lisäkustannukset tarkastellussa skenaariossa verrattuna perusuraan. Suorat kustannukset sisältävät kaikki energijärjestelmässä kuvattujen tuotantolaitosten ja käyttötekniikoiden investointi-, käyttö-, polttoaine- ja raaka-ainekustannukset sekä päästöoikeuksien kaupasta aiheutuvat kustannukset tai tuotot. Varsinaisten kustannusten lisäksi kuvissa on esitetty energijärjestelmän eri toimijoiden vuosittain maksamien energiaverojen ja vastaanottamien tukien kokonaismäärän muutos verrattuna perusuraskenaarioon. Tukien summa on tällöin vähennetty maksettujen verojen summasta.

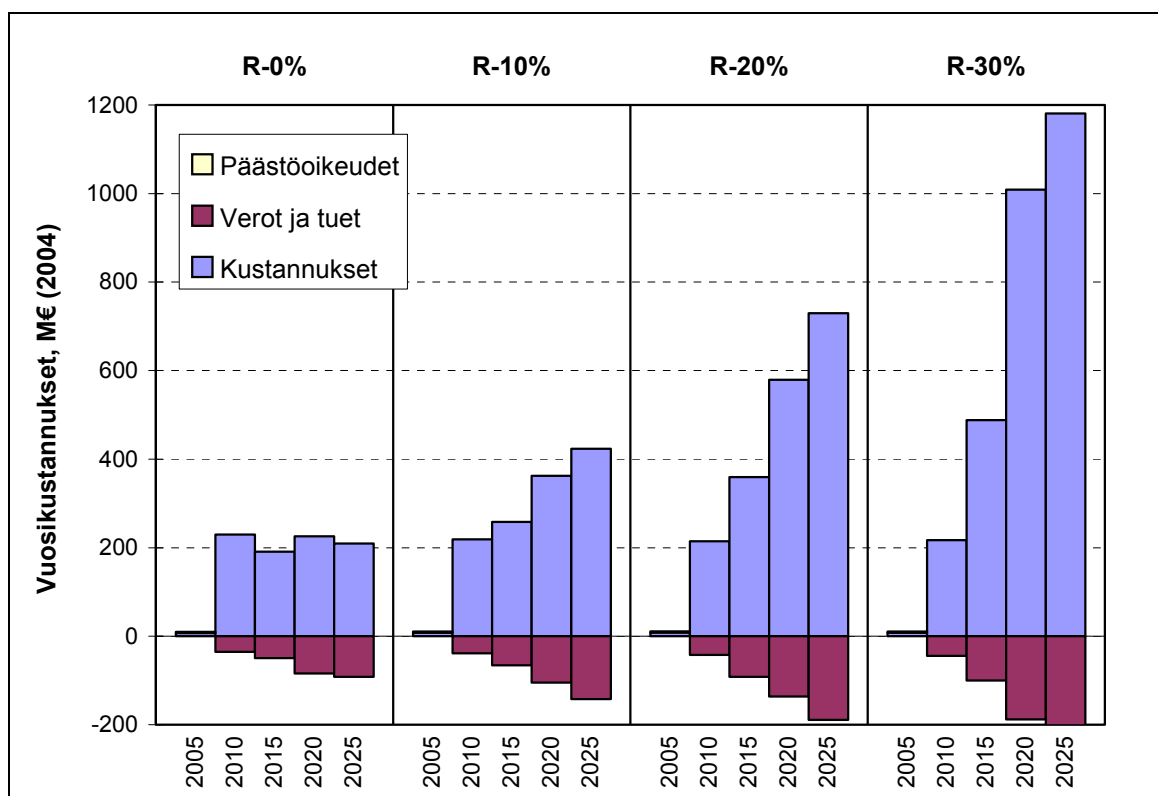
Lisäkustannusten lähtökohtana voidaan pitää kotimaisten toimien skenaariota, jossa joustomekanismeja ei ole käytössä. Suorat kustannukset ovat tällöin tulosten mukaan Kioton periodista lähtien kaikissa tapauksissa vähintään 200 miljoonaa euroa vuodessa. Varovaisimmassa, *R-0%*-vähennysskenaariossa kustannukset pysyvät runsaan 200 M€:n tasolla koko tarkasteluajan vuoteen 2025 saakka. Kun vuoden 2025 vähennystavoite on 10 %, vuosikustannukset nousevat vähitellen runsaan 400 M€:n määrään vuonna 2025. Vuosikustannukset nousevat 20 %:n rajoituskenaariossa runsaan 700 M€:n määrään, ja tiukimmassa, 30 %:n skenaariossa kustannukset ovat vuonna 2025 jo lähes 1 200 M€.

Päästökauppa sellaisenaan johtaa teoriassa Pareto-parannukseen, eli se joko vähentää kaikkien kaupan osapuolten kustannuksia tai pitää ne vähintään ennallaan. Käytännössä näin ei kuitenkaan välttämättä käy, sillä päästökauppa vaikuttaa välillisesti eri tuotteiden hintaan, erityisesti energiaintensiivisten tuotteiden ja sähkön ja lämmön hintaan. Niinpä sellaiset kaupan osapuolet, jotka ovat käyttäneet runsaasti esimerkiksi markkinasähköä, joutuvat päästökaupassa välillisesti maksamaan päästöoikeuksista, vaikka eivät tuottaisi lainkaan päästöjä.

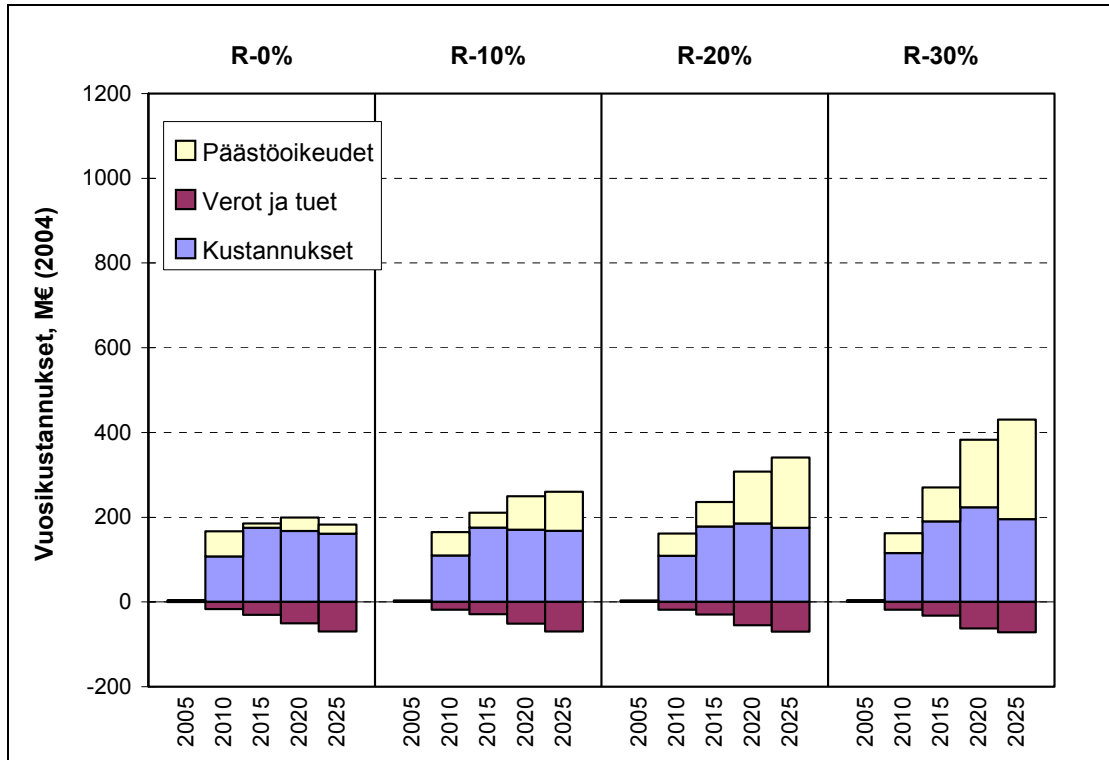
Päästökauppaskenaaroiden aiheuttamia lisäkustannuksia on havainnollistettu kuvissa 35 ja 37. Vielä 10 €:n päästöoikeuden hinnalla lisäkustannukset jäävät kaikissa skenaarioissa vastaavaa kotimaisten toimien skenaariota alemmiksi, mutta 20 €:n tasolla lisäkustannukset nousevat alhaisimmilla päästötavoitteilla (0 % ja 10 %) kotimaisten toimien skenaariota suuremmiksi. Tämä johtuu suurelta osin päästöoikeuksien hinnan siirtymisestä tuontisähkön hintaan, mikä johtaa ylimääräiseen kustannusrasitteeseen.

Suorien kustannusten lisäksi päästöjen rajoittaminen aiheuttaa tuntuvan nousun sähkön marginaalihinnoissa, mikä siirtyy sähkön kuluttajien maksettavaksi. Mikäli marginaalihintojen nousu siirtyy täysimääräisenä kuluttajahintoihin, päästökauppaskenaaroiden tulosten mukaan kuluttajien sähkölasku nousisi Kioto-periodilla 400–800 miljoonaa

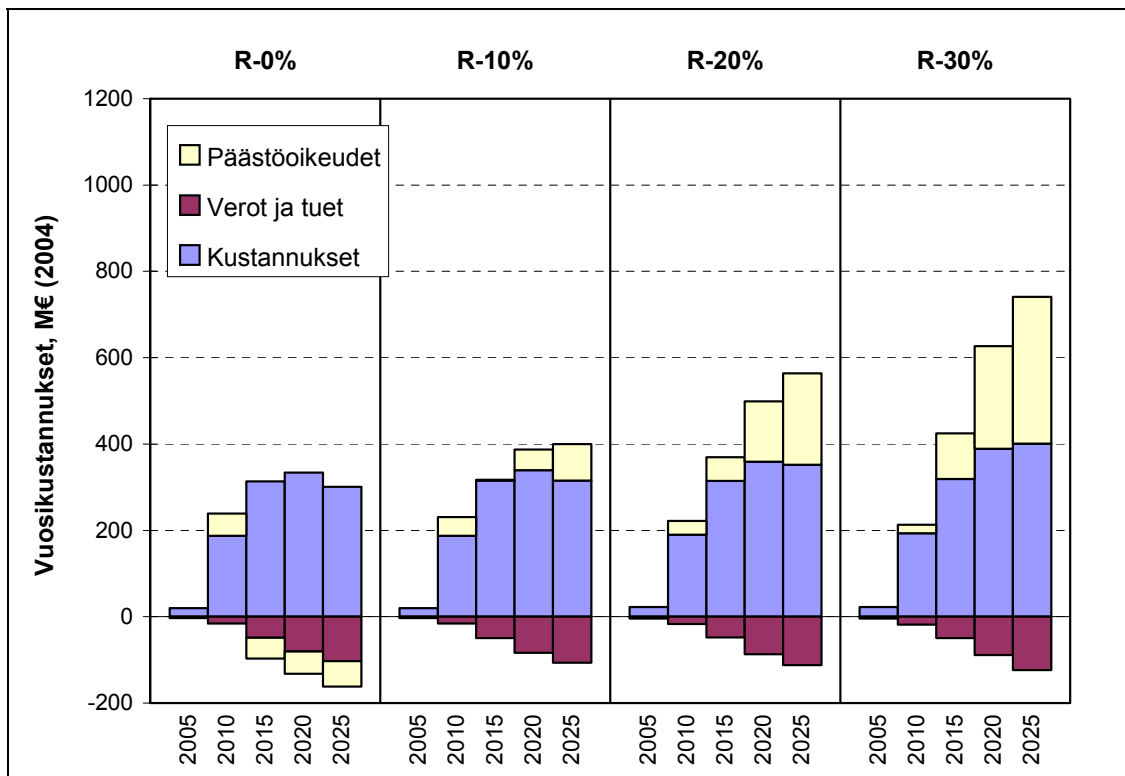
euroa vuodessa ja suunnilleen saman verran vuosina 2020–2025. Kaikkiaan kuluttajien energialasku saattaisi siten nousta noin miljardi euroa vuodessa Kioto-periodilla. Tulokset vastaavat tältä osin melko hyvin VTT:n sähkömarkkinamallin tuottamia arvioita sähkön hinnan vuosikeskiarvon noususta (Koljonen et al. 2004). Sähkömarkkinamallin tulosten mukaan yhden euron suuruinen päästöoikeuden hinnan nousu aiheuttaa pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla noin 0,7 €/MWh nousun sähkön hinnassa. Esimerkiksi 20 €:n hintatasolla ja 90 TWh:n kulutustasolla vaikutus kaikkien kuluttajien vuosittaiseen kokonaissähkölaskuun olisi siten runsaat miljardi euroa.



Kuva 35. Päästöjen rajoittamisen aiheuttamat suorat vuotuiset lisäkustannukset kotimaisten toimien skenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 36. Päästöjen rajoittamisen aiheuttamat suorat vuotuiset lisäkustannukset 10 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



Kuva 37. Päästöjen rajoittamisen aiheuttamat suorat vuotuiset lisäkustannukset 20 €/n päästökauppaskenaarioissa vuoteen 2025.



## 6. Pitkän aikavälin skenaariot vuoteen 2050

### 6.1 Energian kokonaiskulutus

#### 6.1.1 Primaarienergia

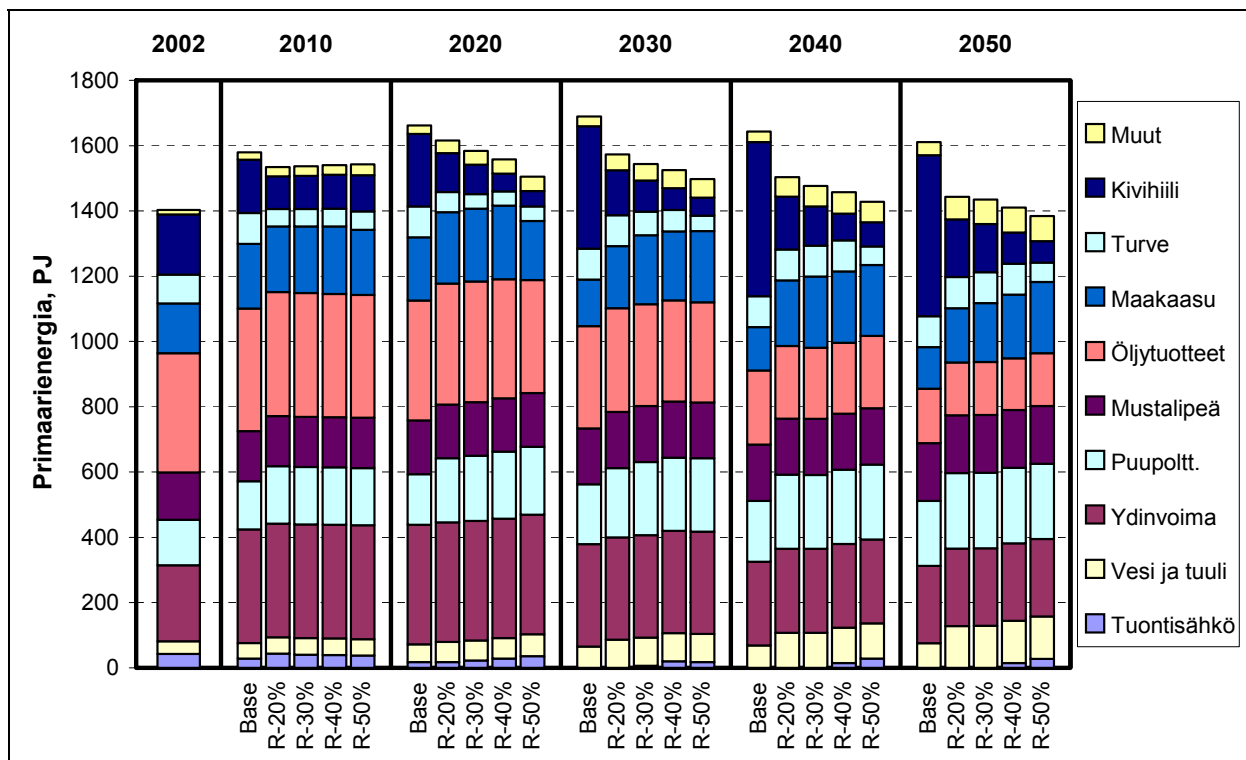
Suomen primaarienergian kokonaiskulutus nousee perusskenaariossa korkeimmillaan noin 1 700 PJ:n määrään vuonna 2030. Tästä huippulukemasta se laskee hiljalleen perusurassa noin 1 600 PJ:n tasolle vuonna 2050. Primaarienergian kulutuksen kääntymistä laskuun edesauttaa osaltaan oletettu ydinvoiman tuotannon vähittäinen pieneeminen vuoden 2025 jälkeen, sillä ydinvoiman laskennallinen primaarienergiahyötysuhde oletetaan tilastoinnissa 33 %:ksi. Kuvassa 38 on esitetty primaarienergian kulutuksen kehitys eri skenaarioissa pitkällä aikavälillä.

Päästöjen rajoitusskenaarioissa primaarienergian kulutus kääntyy selvästi nopeammin laskuun jo vuoden 2020 tienoilla. Pelkästään päästötavoitteen pysyminen Kioton periodin tasolla vuoteen 2025 saakka johtaisi tulosten mukaan primaarienergian kulutuksen kasvun tasaantumiseen noin 1 600 PJ:n tasolla vuonna 2020, jonka jälkeen kulutus kääntyisi laskuun. Kaikissa rajoitusskenaariossa uusien tekniikoiden oletettu kaupallistuminen vuoden 2025 jälkeen johtaa kokonaiskulutuksen palautumiseen vuonna 2050 lähes vuoden 2002 tasolle, tiukimmassa skenaariossa jopa hieman sen alle.

**Kivihiiilen** kokonaiskäyttö kasvaa perusuralla koko tarkastelujakson ajan. Päästöjen rajoitusskenaarioissa vuoden 2010 jälkeen käyttö on suorassa suhteessa vähennyksen ankaruuteen. Perusmetallien jalostuksessa käytettävän metallurgisen kivihiiilen ja koksen käyttö sen sijaan kasvaa tasaisesti, sillä nykyinen tuotantotekniikka ei tarjoa sille juuri vaihtoehtoja.

**Maakaasun** kokonaiskäyttö kasvaa eri skenaarioissa 200–210 PJ:n määrään vuonna 2010. Maakaasun kulutus kääntyy muita polttoaineita nopeamman hinnan nousun vuoksi laskuun vuoden 2020 jälkeen. Kulutus laskee perusuralla vuoteen 2050 mennessä alle nykytason mutta pysyy tiukimmissa rajoitusskenaarioissa yli 200 PJ:n määrässä.

**Polttoturpeen** käyttö vähenee tuntuvasti tarkastelujakson alussa rajoitusskenaarioissa perusskenaarioon verrattuna. Vuonna 2010 turpeen kokonaiskulutus laskee lähes asetetulle alarajalleen (54 PJ). Turpeen kulutus kääntyy vuoden 2020 jälkeen nousuun. Tämä on mahdollista tiukoista päästöjen rajoitustavoitteista huolimatta, sillä skenaarioissa otetaan käyttöön CO<sub>2</sub>-erotuksella varustettuja kaasutusvoimalaitoksia, joissa turve voidaan hyödyntää lähes päästöttömästi.



Kuva 38. Primaarienergian kokonaiskulutus vuoteen 2050.

**Öljyn** kokonaiskäyttö kasvaa kaikissa skenaarioissa hieman vuoteen 2010 mennessä mutta laskee sen jälkeen hitaasti siten, että vuonna 2030 kulutus on nykytason alapuolella. Lasku jatkuu tarkastelujakson loppuun saakka. Vuoteen 2050 mennessä maailman öljyvarojen onkin arvioitu hupenevan siinä määrin, että raakaöljyn kokonais-tuotanto on jo kääntynyt laskuun.

**Bioenergian** hyödyntäminen kasvaa vuoteen 2020 saakka kokonaisenergiataseessa määrällisesti eniten päästöjä rajoitettaessa. Puupolttoaineita käytetään vuoteen 2025 mennessä 20–60 % enemmän kuin vuonna 2002, kun mustalipeää ei lasketa mukaan. Puun käytön lisäpotentiaalia on kuitenkin vuoden 2030 jälkeen vain hyvin rajoitetusti. Myös jätteen energiakäytön kasvun rajat saavutetaan vuoteen 2030 mennessä. Vesi- ja erityisesti tuulivoiman hyödyntämisen lisäämismahdollisuuksien merkitys korostuu siten vuoden 2030 jälkeen, ja etenkin tuulivoimatuotannon kasvu jatkuu vuoden 2030 jälkeen voimakkaana.

## 6.1.2 Bioenergia ja kotimaiset energialähteet

Bioenergian ja kierrätyspolttoaineiden hyödyntämisen kehitystä on havainnollistettu kuvassa 39. Kuvasta on jätetty pois mustalipeän käyttö, jonka määrä on varsin suoraan verrannollinen kemiallisen massan tuotantoon. Muiden puuperäisten polttoaineiden hyödyntämisen lisäysmahdollisuudet tyrehtyvät skenaarioissa käytettyjen oletusten mukaan noin 230 PJ:n tasolla. Tiukimmissa rajoitusskenaarioissa käytännössä koko tuotantopotentiaali otetaan käyttöön vuoteen 2030 mennessä. On tosin huomattava, että skenaarioissa käytetyt potentiaaliarviot eivät edusta arvioitua maksimiskenaariota. Kokonaispotentiaalın rajallisuuden takia uudet puupolttoainejalosteet, kuten pyrolyysiöljy, eivät saa merkittävää kilpailuetua päästöjen rajoittamisesta.

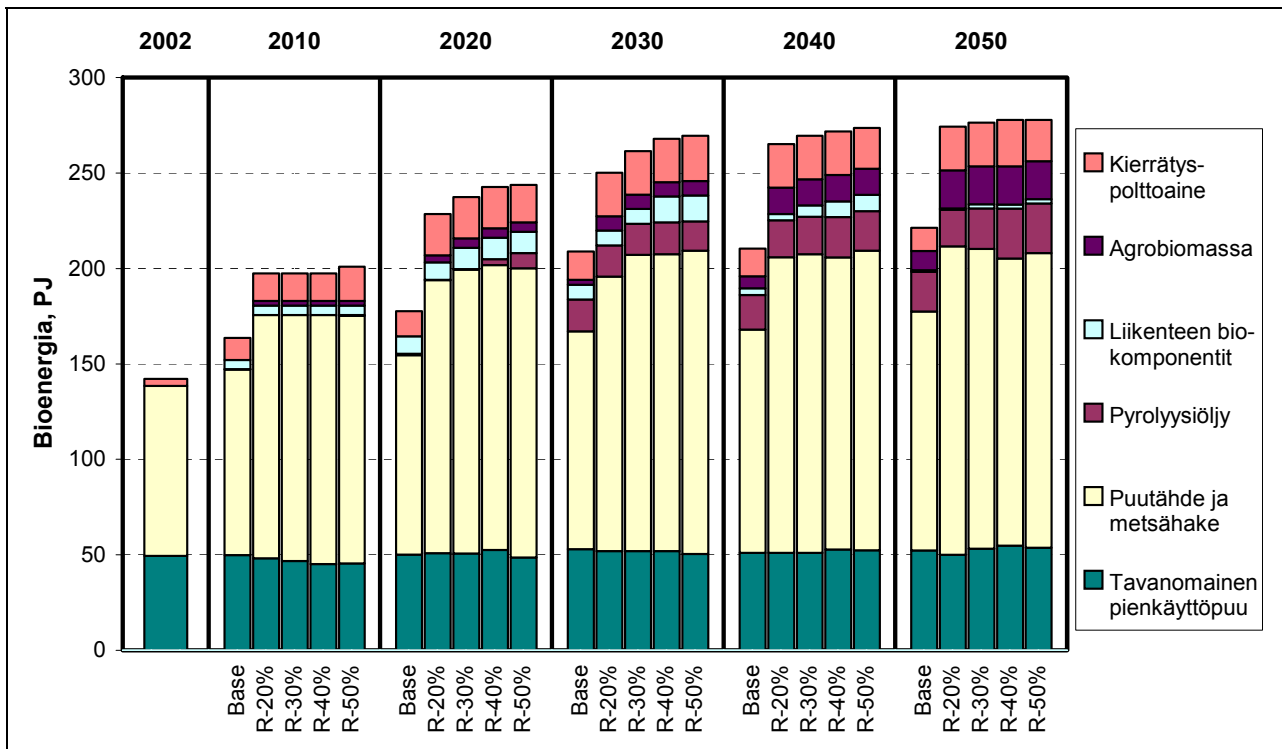
Kierrätyspolttoaineiden hyödyntämisen enimmäismäärä saavutetaan rajoitusskenaarioissa tulosten mukaan jo noin vuonna 2020, jonka jälkeen jätteen energiakäyttö pysyy suunnilleen samalla tasolla vuoteen 2050 saakka.

Kaikkien kotimaisten energialähteiden kokonaiskulutus on esitetty kuvassa 40. Vuoteen 2015 saakka bioenergian ja kierrätyspolttoaineiden käytössä on ylivoimaisesti merkittävin kotimaisen energian hyödyntämisen lisäyspotentiaali. Vuodesta 2020 lähtien tuulivoima ja maalämpö voivat saada jo näkyvämmän sijan kotimaisina energialähteinä.

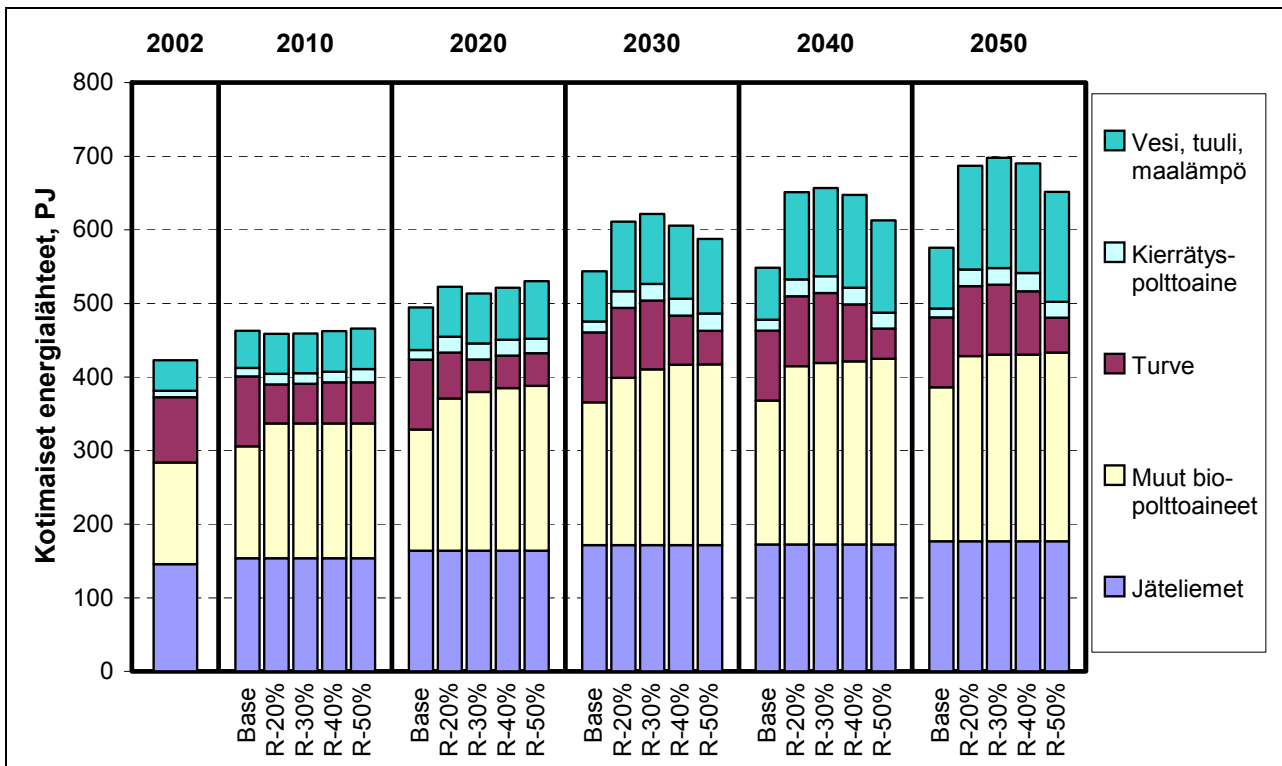
Tuulivoimakapasiteetin ylärajaksi asetettiin noin 300 MW vuonna 2010. Tämä kapasiteetti myös rakennetaan kaikissa päästöjen rajoitusskenaarioissa, ja vuoden 2010 jälkeen tuulivoiman lisäys jatkuu vakaana. Vuonna 2050 tuulivoimatuotannon enimmäispotentiaaliksi oletettiin lähes 20 TWh, joka kannattaa tulosten mukaan hyödyntää kaikissa päästöjen rajoitusskenaarioissa.

Vesivoiman tuotanto kasvaa vuoteen 2025 mennessä noin 14,5 TWh:n määrään ja vuoteen 2050 mennessä 16 TWh:n tasolle. Nämä vastaavat oletettuja enimmäismääriä vesivoimakapasiteetin kasvulle, josta suurin osa koostuu minivesivoiman lisäyksestä. Lisäyspotentiaalın oletettiin skenaarioissa siten voivan realisoitua hieman vuonna 2002 tarkistettua uusiutuvan energian edistämishjelmaa hitaammin, sillä ohjelmassa 16 TWh:n tuotantotaso asetettiin jo vuoden 2025 tavoitteeksi.

Kotimaisten energialähteiden hyödyntämisen kasvu taittuu vuoden 2030 jälkeen puun niukkuuteen. Kotimaisten energialähteiden kasvu painottuu tällöin suurelta osin tuulivoimaan, agrobiomassaan ja maalämpöön. Kaikissa päästöjen rajoitusskenaarioissa kotimaisen energian osuus kasvaa vuonna 2050 lähelle 50 %:n tasoa, kun perusuralla jäädään 35 %:iin.



Kuva 39. Bioenergian ja kierrätyspolttoaineiden kokonaiskäyttö (ilman puunjalostuksen jäteliemiä) vuoteen 2050.



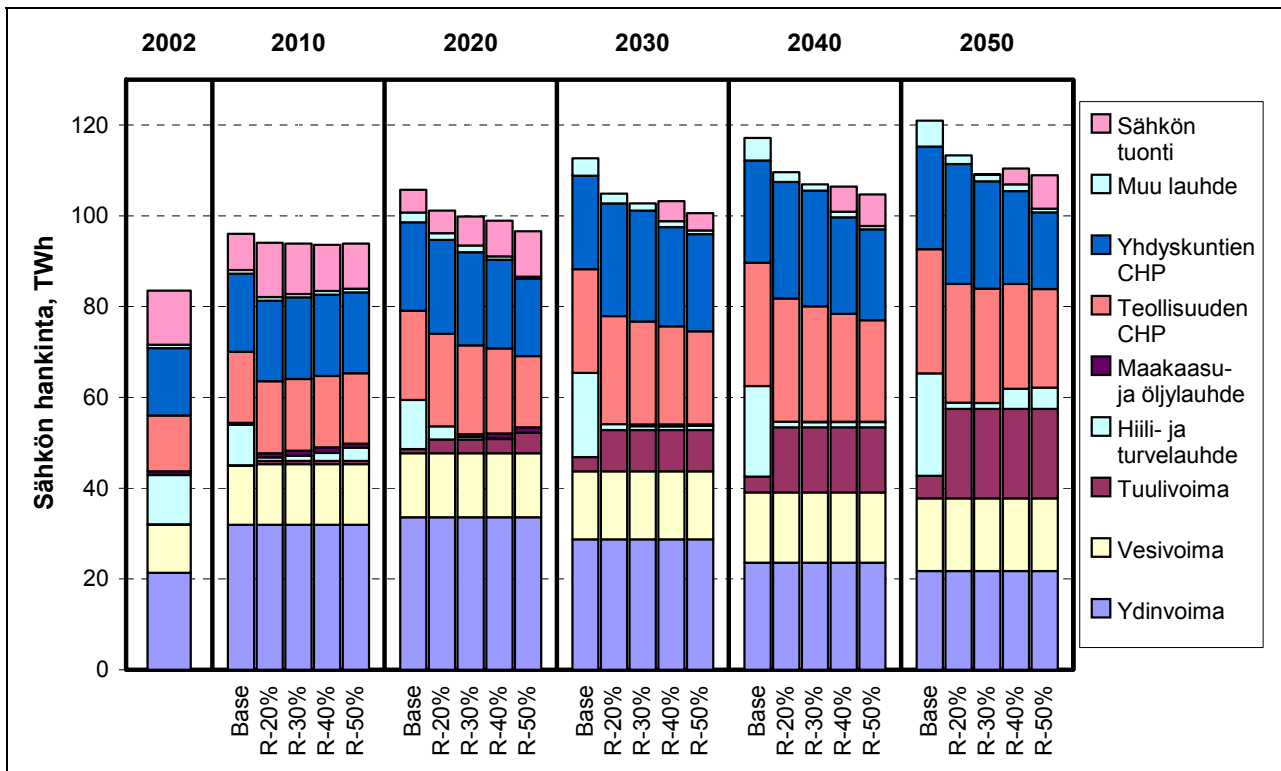
Kuva 40. Kotimaisten energialähteiden kokonaiskulutus vuoteen 2050.

## 6.2 Sähkön hankinta

### 6.2.1 Sähkön hankinnan kokonaisrakenne

Ydinvoiman tuotanto säilyy vuodesta 2010 vuoteen 2025 vakiona. Vuoden 2025 jälkeen oletetaan, että ydinvoimakapasiteetti palautuu vuoteen 2050 mennessä vuoden 2000 tasolle (Loviisan laitokset ja toinen Olkiluodon vanhoista yksiköistä ovat poistuneet käytöstä). Oletukset vastaavat tilannetta, jossa uusia ydinvoimalaitoksia ei enää rakenneta eikä vanhoihin tehdä tehonkorotuksia.

Vuosina 2030–2050 perusrassassa tuotetaan väliottolauhdevoimaa (kuvassa 41 "Muu lauhde"), joka on päästöjen rajoitusskenaarioissa kannattamatonta. Pitkän ajan rajoitusskenaarioissa oletettiin merkittävänä uusina tekniikoina markkinoille tulevan myös CO<sub>2</sub>-erotuksella varustetut kaasutus-, maakaasukombi- ja polttokennovoimalaitokset sekä lauhdevoiman että kaukolämpövoiman tuotantoon. Tulosten mukaan nämä tekniikat tulevat päästöjä rajoitettaessa myös laajassa mitassa käyttöön.

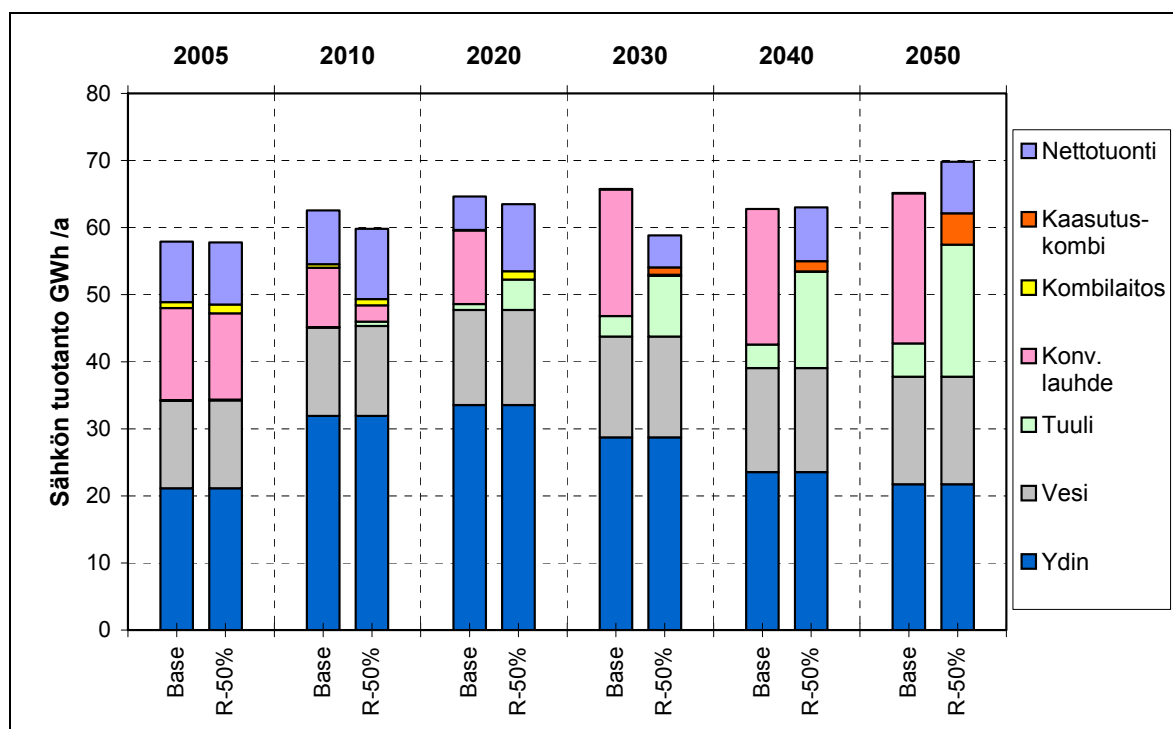


Kuva 41. Sähkön kokonaishankinnan rakenne vuoteen 2050.

## 6.2.2 Erillisen sähköntuotannon rakenne

Ydinvoiman ja vesivoiman tuotanto on käytännössä sama sekä perusurassa että päästöjen rajoitusskenaarioissa, minivesivoimatuotannon kasvun pieniä eroja lukuun ottamatta. Skenaariot eroavat selkeästi toisistaan tuulivoiman, lauhdevoiman ja sähkön tuonnin osalta. Kuvassa 42 on esitetty erillisen sähköntuotannon rakenne perusurassa ja 50 %:n rajoitusskenaariossa. Konventionaalinen lauhdutusvoima laajentaa markkinaosuuttaan perusuralla, kun se rajoitusskenaariossa menettää täysin kilpailukykinsä. Rajoitusskenaariossa tuulivoima, tuonti ja kiinteän polttoaineen (turpeen) kaasutus yhdistettynä kombiteknikkaan korvaavat perusuran perinteisen lauhdutustuotannon.

Tuulivoiman tuotannon oletettiin voivan nousta vuonna 2050 jopa 20 TWh:n määrään eli lähes 20 %:iin koko sähkön hankinnasta. Näin suuri tuotanto voidaan selvitysten mukaan sisällyttää nykyisenkaltaiseen sähköjärjestelmään ilman merkittäviä lisäkustannuksia säätö- ja varavoimajärjestelmiin (Holttinen 2004). Määrä on sopusoinnussa myös tuotantopotentiaaleja koskevien asiantuntija-arvioiden kanssa. Esimerkiksi ympäristöministeriön Pohjanlahden tuulivoimapotentiaalin kartoituksessa arvioitiin, että pelkästään Merenkurkun ja Perämeren alueilla on ympäristörajoitukset huomioidenkin tuuliolosuhteiltaan edullista tuulivoiman rakennuspotentiaalia noin 5 400 MW, mikä vastaa suunnilleen 15 TWh:n vuosituotantoa (YM 2004). Perusskenaariossa tuulivoiman tuotanto jää 5 TWh:n tasolle vuonna 2050. Vastaavasti tavanomaisen lauhdevoiman tuotanto on rajoitusskenaarioissa noin 20 TWh pienempi kuin perusurassa.



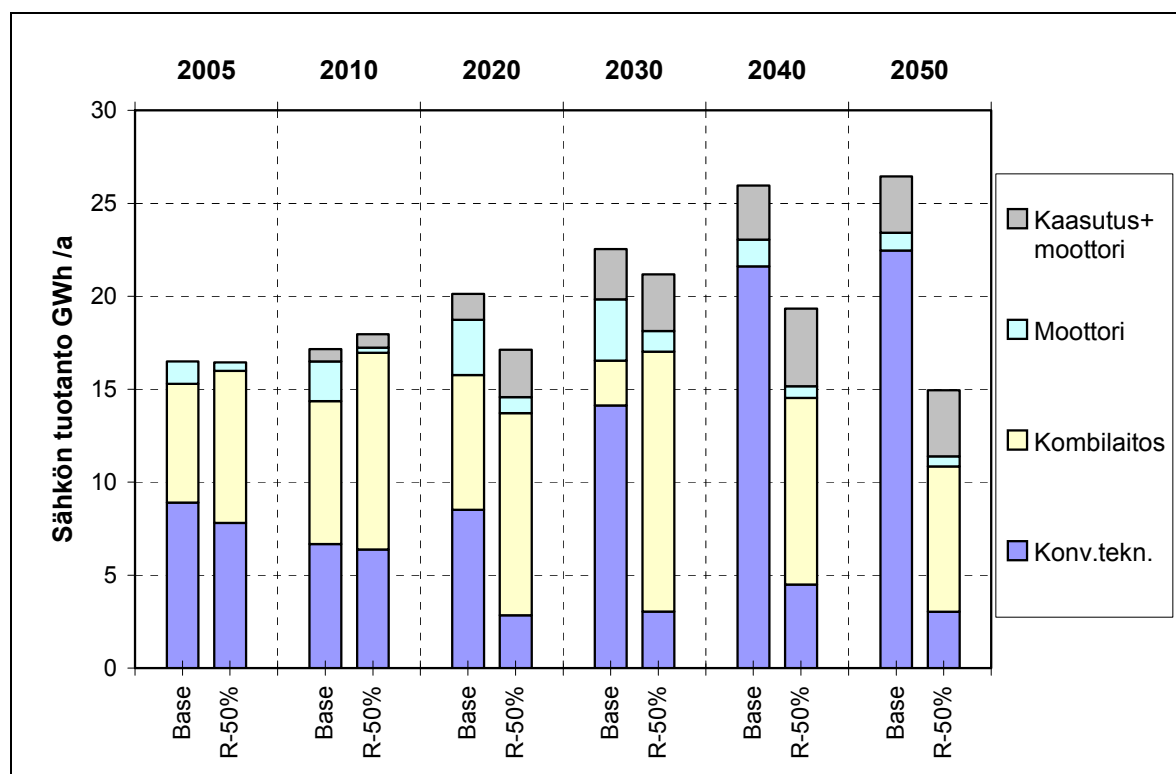
Kuva 42. Erillisen sähköntuotannon rakenteen kehitys vuoteen 2050.

### 6.2.3 Kaukolämpövoiman tuotanto

Yhteistuotannon määrä tulee kasvamaan nykyisestä. Perusuralla kasvu jatkuu tarkastelujakson loppuun asti mutta rajoitustapauksessa kasvu taittuu vuoden 2030 jälkeen. Yhteistuotannon kasvun kannattavuuteen vaikuttavat sähkön käytön tehostaminen, tuulivoiman lisäys sekä sähkön tuonnin kasvattaminen.

Päästöjä rajoitettaessa rakennetaan uutta yhteistuotantokapasiteettia vuoteen 2020 saakka Etelä-Suomessa suurelta osin maakaasukombi- ja kaasumootoriteknoologiaan perustuen ja Itä- ja Pohjois-Suomessa leijukerros- ja kaasutusmootoritekniikkaa soveltaen. Vuodesta 2020 lähtien käyttöön otetaan myös kaasutukseen perustuvia kombivoimalaitoksia (IGCC). Kuva 43 havainnollistaa tärkeimpiä rakennemuutoksia kaukolämpövoiman tuotannossa.

Perusuralla perinteinen lämmitysvoimalaitostekniikka säilyttää asemansa, mutta rajoitustapauksissa sen osuus kutistuu varsin pieneksi. Maakaasukombitekniikan tulevaisuus on juuri päinvastainen: perusuralla maakaasun hinnannousun vuoksi se menettää markkinaosuutensa kokonaan, kun taas rajoitusskenaariossa sen asema säilyy vahvana. Puun kaasutus yhdistettynä polttoon kaasumootorissa on molemmissa skenaarioissa toteutuva teknologiamuutos.



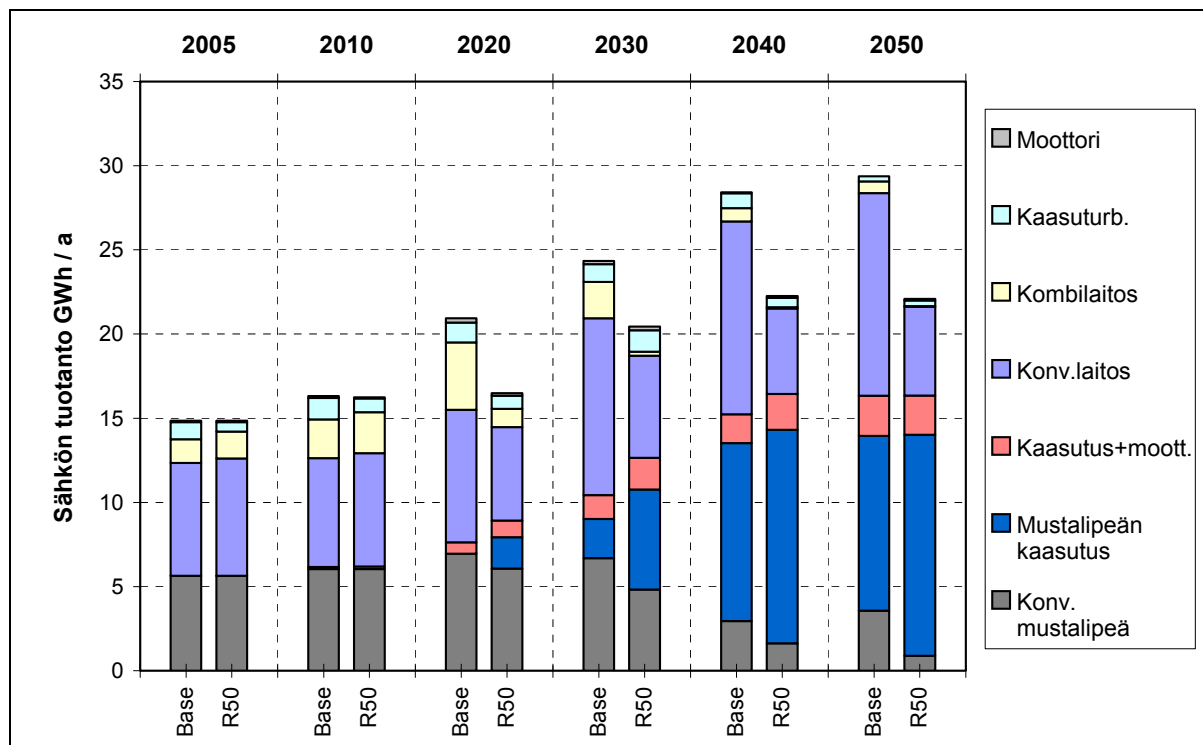
Kuva 43. Kaukolämpövoiman tuotannon rakenteen kehitys vuoteen 2050.

## 6.2.4 Teollisuuden yhteistuotanto

Teollisuudessa perusuralla maakaasukombilaitoksia otetaan vuoteen 2020 mennessä entistä laajemmin käyttöön. Tarkastelujakson loppupuolella niiden osuus kuitenkin vähenee oleellisesti mustalipeän kaasutuksen tullessa teknis-taloudellisesti kilpailukykyiseksi. Perinteinen vastapainelaitostekniikkakin säilyttää asemansa, kuten kuvasta 44 voidaan nähdä.

Massa- ja paperiteollisuudessa otetaan tiukoissa skenaarioissa käyttöön jo vuodesta 2020 alkaen jäteliemen kaasutuslaitoksia. Kemian teollisuudessa ja öljynjalostuksessa kaasuturbiinitekniikat säilyttävät asemansa. Muussa teollisuudessa kaasutusmoottoritekniikalla näyttäisi olevan edullista päästöjen vähennyspotentiaalia.

Merkittävin tulevaisuuden tekninen muutos on siis siirtyminen mustalipeän kaasutukseen. Se tapahtuu perusuraa nopeammin voimakkaan päästörajoituksen tapauksessa. Hiilidioksidin talteenotto puubiomassan kaasutuksen yhteydessä antaisi jopa mahdollisuuden hiilidioksidinielun synnyttämiseen, mutta tätä mahdollisuutta ei skenaarioissa tarkasteltu. Toinen niin perusuralla kuin rajoitusskenaarioissa käyttöön tuleva tekniikka on kiinteän polttoaineen kaasutus moottorivoimalaitoksissa. Myös tämä tekniikka tuottaa suuren sähkösaaliin perinteiseen vastapainetekniikkaan verrattuna.



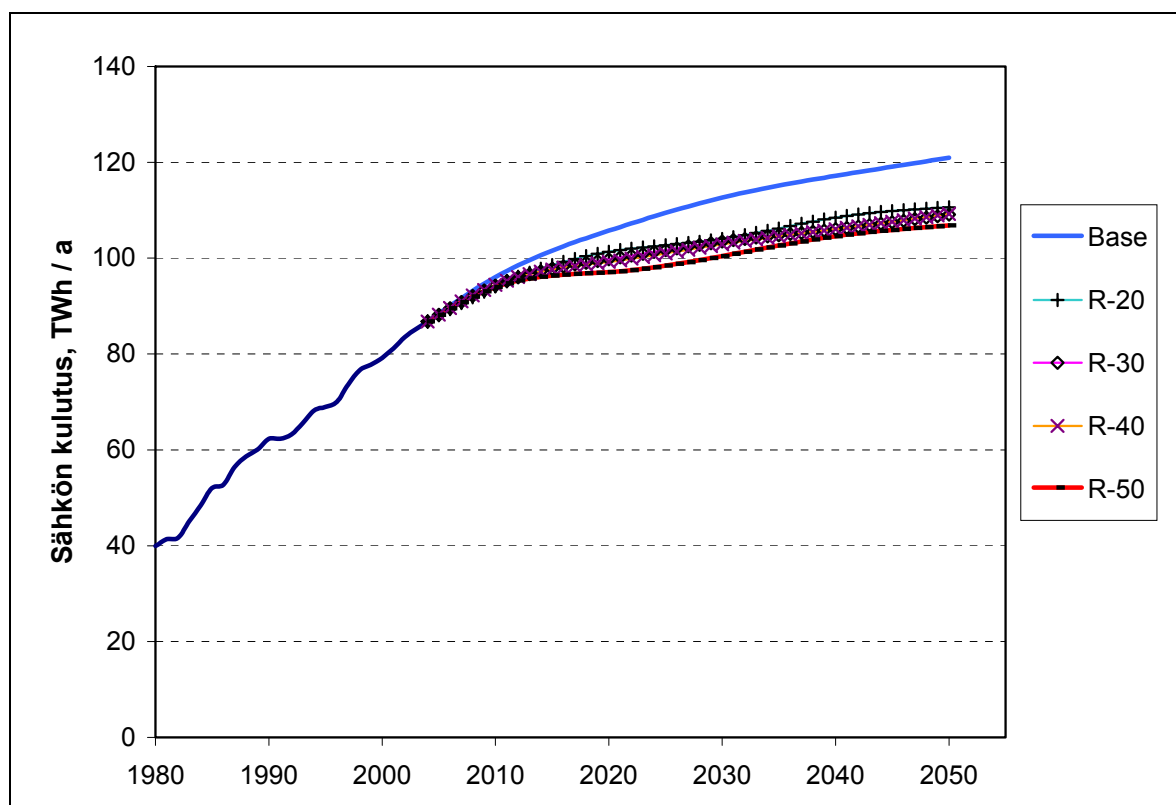
Kuva 44. Teollisuuden sähkön yhteistuotannon rakenteen kehitys vuoteen 2050.



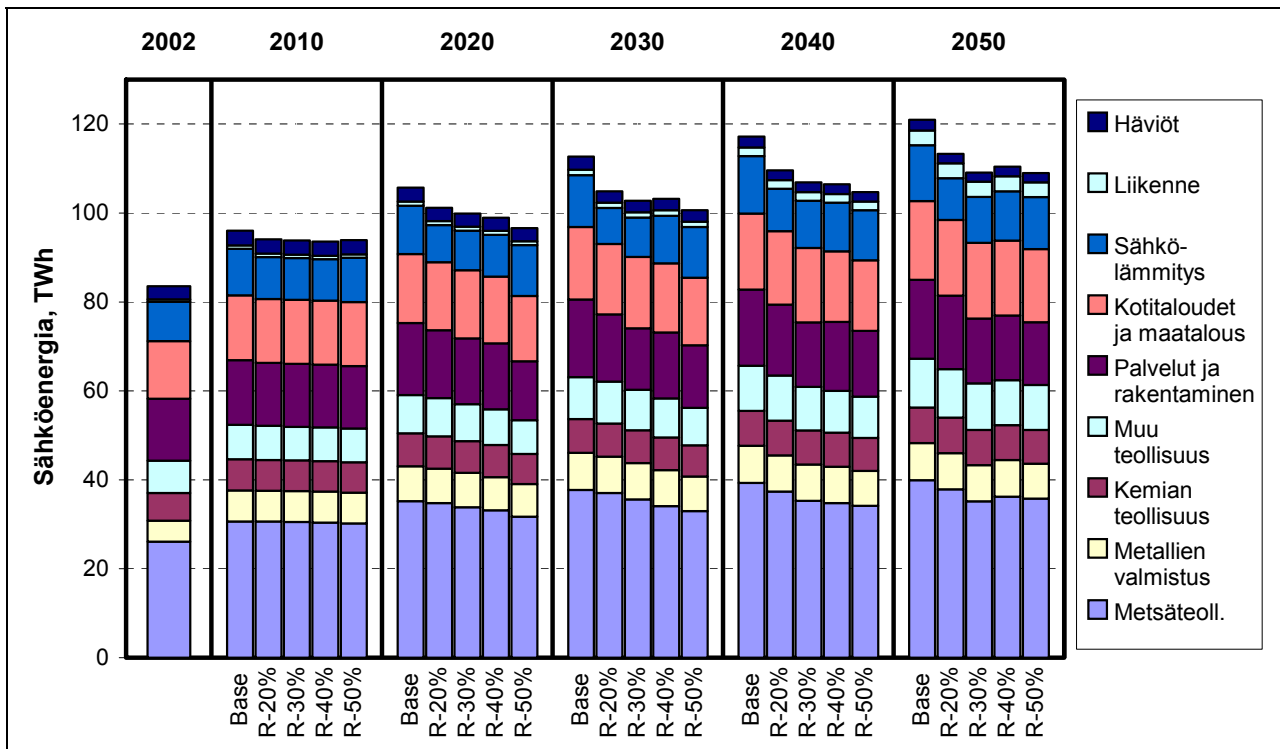
## 6.3 Energian loppukäyttö

### 6.3.1 Sähkön kokonaiskulutus

Sähkön kulutuksen historia vuodesta 1980 nykypäivään ja skenaariot vuoteen 2050 saakka on esitetty kuvassa 45. Sähkön säästö vähentää energian käyttöä ja siten osaltaan helpottaa päästöjen vähentämisen tavoitteiden saavuttamista. Tekniikan kehittyminen koskee niin energian käyttötekniikkaa kuin energian tuotannon tekniikkaa. Voimakkain tehostuminen kohdistuu rajoitusskenaarioissa vuosien 2020 ja 2025 välille, sillä uuden tekniikan oletettu kaupallistuminen vuoden 2025 jälkeen vähentää päästöjen vähentämisen korkealle kohonneita marginaalikustannuksia.



Kuva 45. Sähkön kulutus 1980-luvulta vuoteen 2050 saakka.



Kuva 46. Sähkön kokonaiskulutus vuoteen 2050.

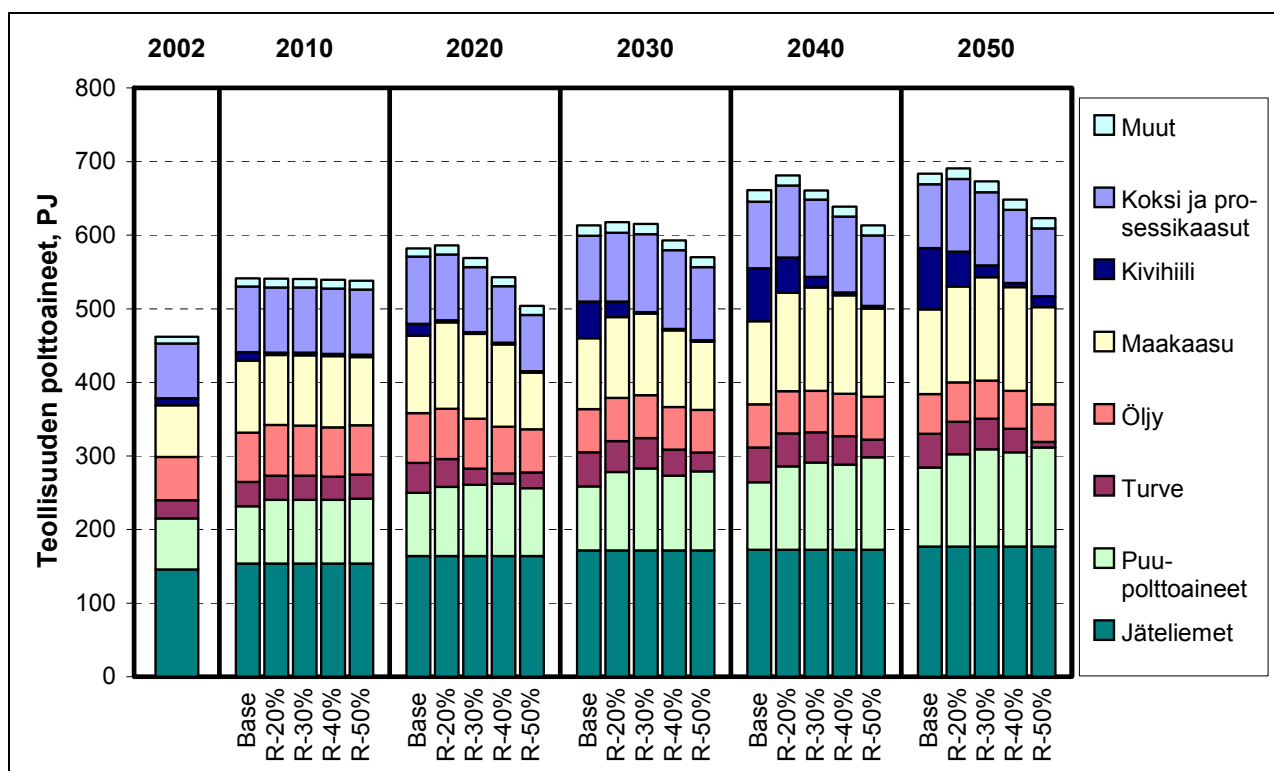
Sähkön kokonaiskulutuksen kehitys sektoreittain skenaariotarkasteluissa voidaan nähdä kuvasta 46. Tuntuvimmat säästöinvestoinnit toteutetaan metsäteollisuudessa ja palveluissa, mutta myös kotitalouksissa ja muussa teollisuudessa on tiukoissa skenaarioissa kustannustehokkaaksi tulevaa säästöpotentiaalia. Vuoteen 2050 mennessä ero perusuran ja tiukimman skenaarion sähkön kulutuksessa kasvaa enää verraten vähän, noin 12 TWh:n määrään. Koska säästöpotentiaalien kehitystä on varsin vaikea arvioida näin pitkälle tulevaisuuteen, mallissa ei oletettu merkittävää tehostumisen lisäpotentiaalia vuoden 2025 jälkeen.

### 6.3.2 Teollisuuden polttoainekäyttö

Pitkän tähtäyksen skenaarioiden mukainen teollisuuden polttoaineiden kulutuksen kehitys on esitetty kuvassa 47.

Kivihiilen käyttö teollisuuden energian tuotannossa kasvaa perusuralla tuntuvasti vuoden 2020 jälkeen. Tiukemmissa rajoitusskenaarioissa hiilen käyttö jäisi suunnilleen nykytasolle. Maakaasun kulutus kääntyy rajoitusskenaarioissa vuoden 2030 jälkeen jälleen selvään kasvuun, mutta tämä johtuu lähinnä metanolin ja vedyn valmistuksesta liikenteen polttokennoajoneuvojen tarpeisiin. Puupolttoaineiden koko tuotantopotentiaali joudutaan ottamaan käyttöön tiukimmissa skenaarioissa, jolloin puun käyttö kasvaa vuoteen 2050 mennessä 40 % vuoden 2020 määrästä.

Vuonna 2050 teollisuuden polttoaineiden kokonaiskulutus on perusuralla runsaat 680 PJ ja tiukimmissa rajoitusskenaarioissa runsaat 620 PJ. Ero johtuu toisaalta yhteistuotannon laajuudesta ja siinä käytettävistä tekniikoista sekä toisaalta energian käytön tehostustoimista.



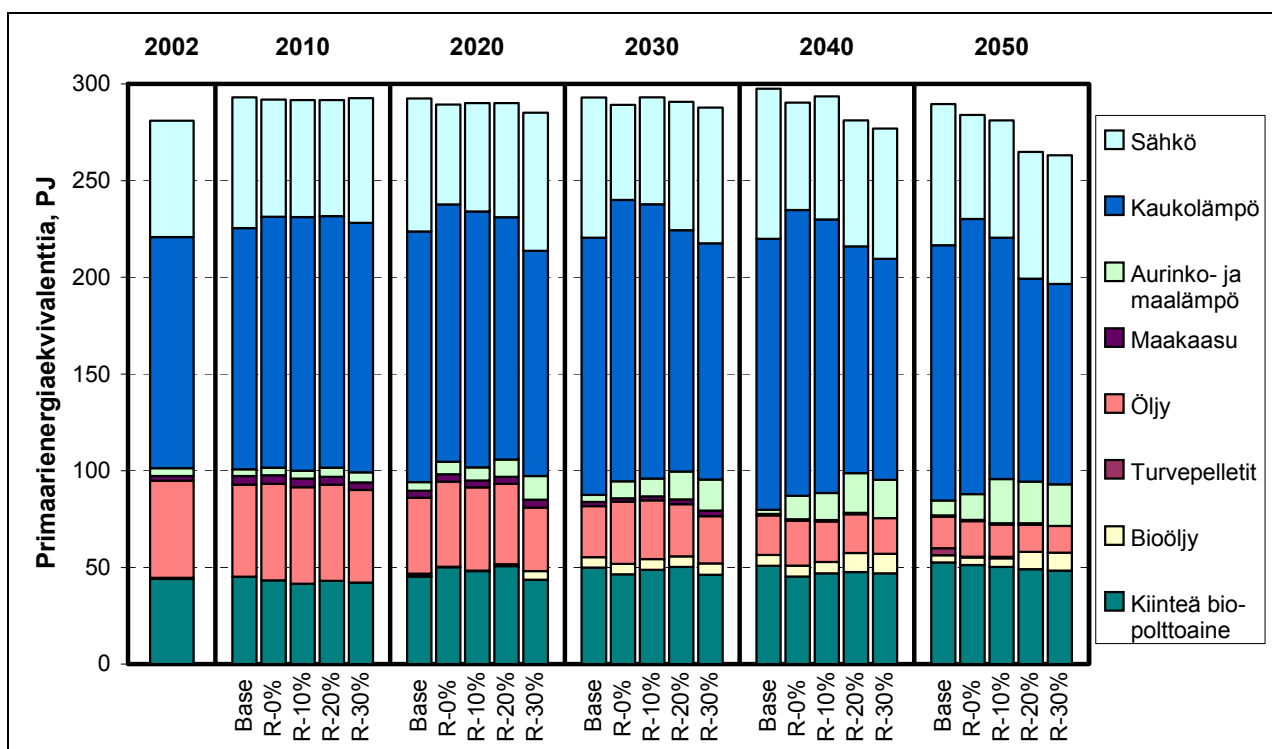
Kuva 47. Teollisuuden polttoaineiden kulutus vuoteen 2050.

### 6.3.3 Rakennusten lämmitys

Tavanomainen öljylämmitys on tulosten mukaan lämmitysmuotojen markkinaosuuksissa ainoa selvä häviäjä. Erityisesti pyrolyysiöljykattiloiden tulevalla kehitystyöllä saattaa olla merkitystä mineraaliöljyn käytön ja siitä aiheutuvien päästöjen vähentämisessä. Skenaarioissa käytettyjen verraten varovaisten oletusten mukaan pyrolyysiöljy tulisi kilpailukykyiseksi lämmitysenergian lähteeksi suunnilleen vuoden 2020 tienoilla (ks. kuva 48).

Lämpöpumpputeknologioista ilmalämpöpumppujen markkinat kasvavat kaikissa skenaarioissa maalämpöpumppuja nopeammin. Tähän vaikuttaa ominaiskulutuksen pienenemisestä johtuva pääomakustannusten merkityksen korostuminen, mikä heikentää varsin kalliiden porakaivoon perustuvien lämpöpumppujärjestelmien kilpailukykyä.

Ilmaston lämpenemisen odotetaan vähentävän tuntuvasti lämmitysenergian tarvetta Suomessa. Vaikka pitkän aikavälin skenaariot ulottuivat vuoteen 2050 saakka, skenaariolaskelmissa ei otettu lämpenemisen aiheuttamaa lämmitystarpeen pienenemistä huomioon.



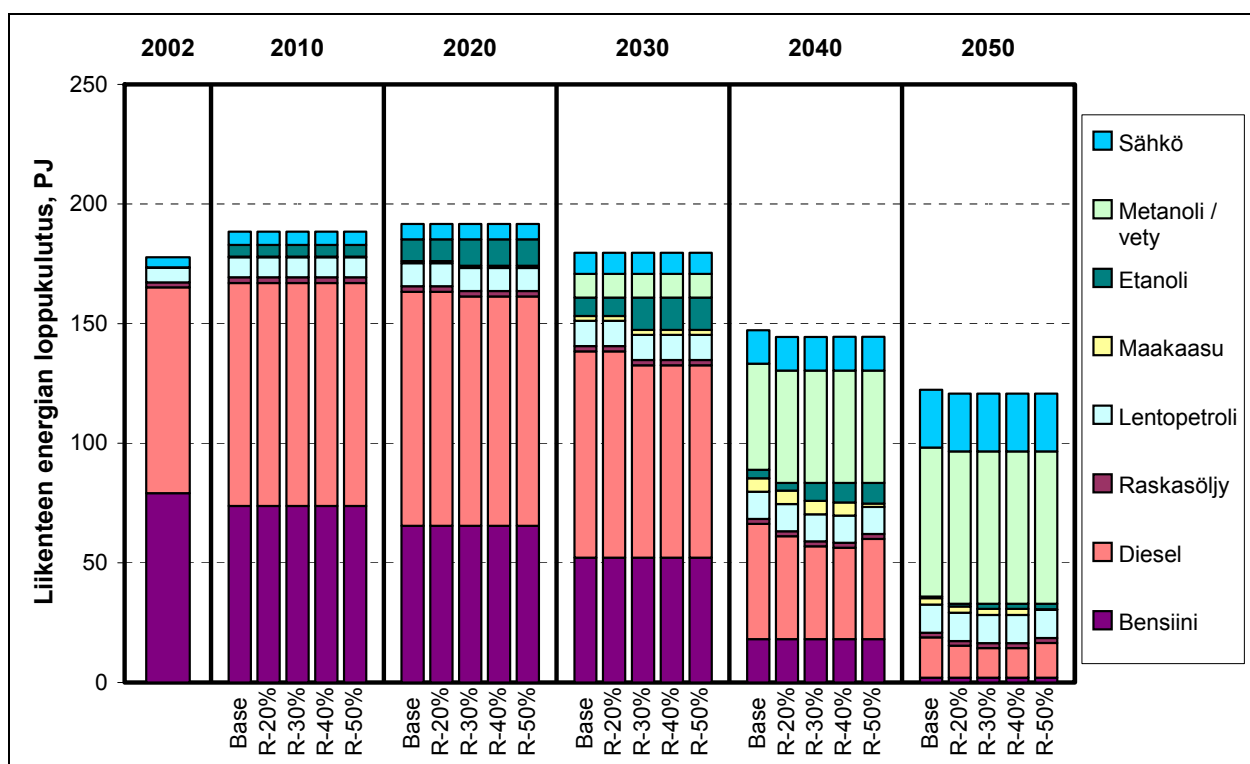
Kuva 48. Asuin- ja palvelurakennusten lämmityksen energialähteiden kulutus vuoteen 2050.

### 6.3.4 Liikenne

Pitkällä aikavälillä liikenteen energiankäytössä oletettiin voivan tapahtua tavanomaisen tekniikan paranemisen lisäksi hyvin perustavanlaatuisia teknologisia muutoksia (ks. kuva 49). Lähes koko autokannassa valtateknologia voi arvioiden mukaan vaihtua bensiinikäyttöisestä ottomoottorista polttokennopohjaiseen ajoneuvotekniikkaan. Sähköautojen kaupallisen kilpailukyvyyn oletettiin keskittyvän henkilöautojen sijasta taajamien paketti-autokuljetuksiin. Nykykäsitysten mukaan oletettu polttokennoajoneuvojen kaupallistuminen vuoden 2020 jälkeen näyttää jopa täysin mahdolliselta.

Polttokennoajoneuvojen energialähteenä skenaarioissa oletettiin voitavan käyttää joko metanolia tai puhdasta vetyä. Uusiutuvista energialähteistä valmistetun metanolin tai vedyn korkeiden kustannusten vuoksi molemmat oletettiin valmistettavan maakaasusta. Valmistukseen käytetyn maakaasun hiilisisältö on laskelmissa otettu huomioon Suomen kasvihuonekaasujen päästöissä, vaikka käytännössä metanolia ei ehkä valmistettaisi Suomessa.

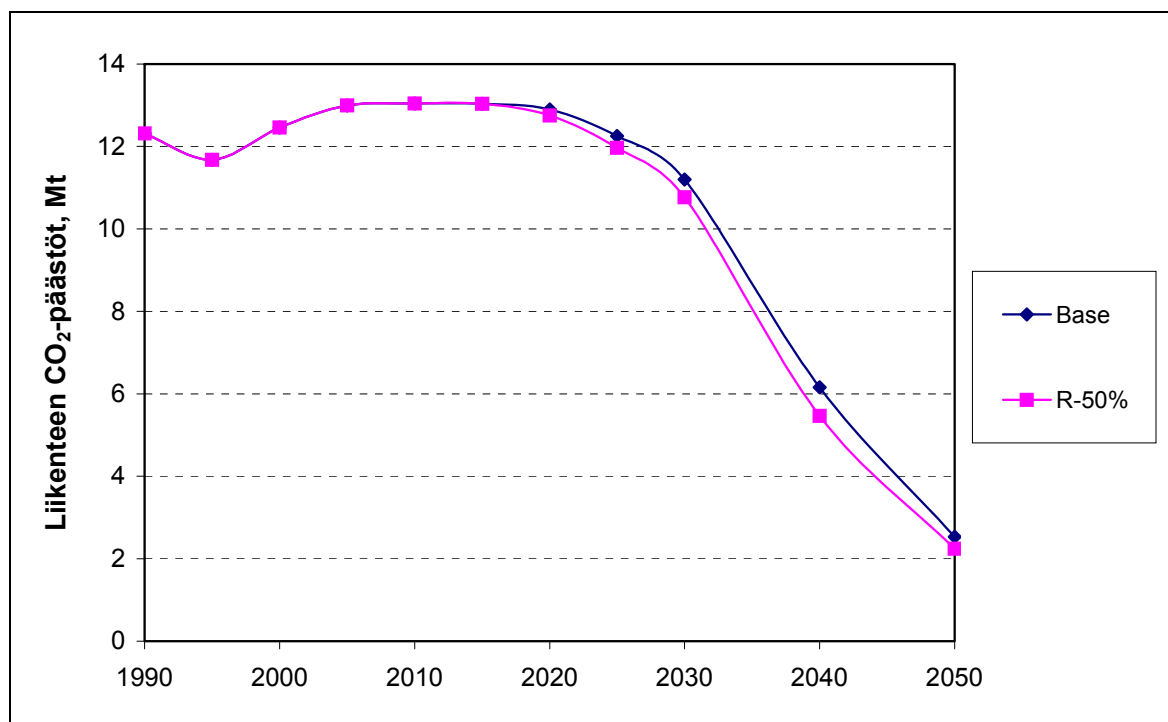
Maakaasun käyttö raaka-aineena luonnollisesti pienentää polttokennoautojen käyttöönotolla aikaan saatavaa hiilidioksidipäästöjen vähennystä. Vähennys olisi tällöin vain 5–10 % tavanomaisten bensiinikäyttöisten henkilöautojen päästöihin verrattuna. Tämän



Kuva 49. Liikenteen energialähteiden kulutus vuoteen 2050.

vuoksi laskelmissa otettiin huomioon myös CO<sub>2</sub>-erotus vedyn valmistuksen yhteydessä, mikä on jo nykyisin käytössä olevaa tekniikkaa. Vetykäyttöisillä polttokennoajoneuvoilla voitaisiin näin vähentää liikenteen kasvihuonekaasujen päästöjä hyvin merkittävästi. Pitkän tähtäimen päästöjen rajoitusskenaarioissa tämä teknologiavaihtoehto tulee oletusten mukaisen teknisen kehityksen ansiosta kilpailukykyiseksi ja sen myötä laajaan käyttöön. Vuoteen 2050 mennessä jo suurin osa ajoneuvokannasta olisi vetypoltto-kennoautoja.

Liikenteen uusien ajoneuvotekniikoiden kustannusten oletettiin kehittyvän siten, että ne alkavat tulla kilpailukykyisiksi vuoden 2025 tienoilla. Koska esimerkiksi tieliikenteen kokonaiskustannuksiin verrattuna päästöjen hinnan vaikutus polttoainekustannuksiin on lopulta varsin pieni, päästöjen rajoittaminen vaikuttaa ajoneuvotekniikoiden kilpailukykyyn vain vähän. Tästä syystä myös erot perusuran ja rajoitusskenaarioiden välillä ovat hyvin pienet, kuten kuvassa 50 on havainnollistettu. Liikenteessä on siis merkittävää päästöjen vähennyspotentiaalia, mutta päästötavoitteen tiukkuudella ei ole kovin merkittävää vaikutusta uusien ajoneuvotekniikoiden kilpailukykyyn.



Kuva 50. Liikenteen suorat hiilidioksidipäästöt perusurassa sekä 50 %:n rajoitusskenaariossa.

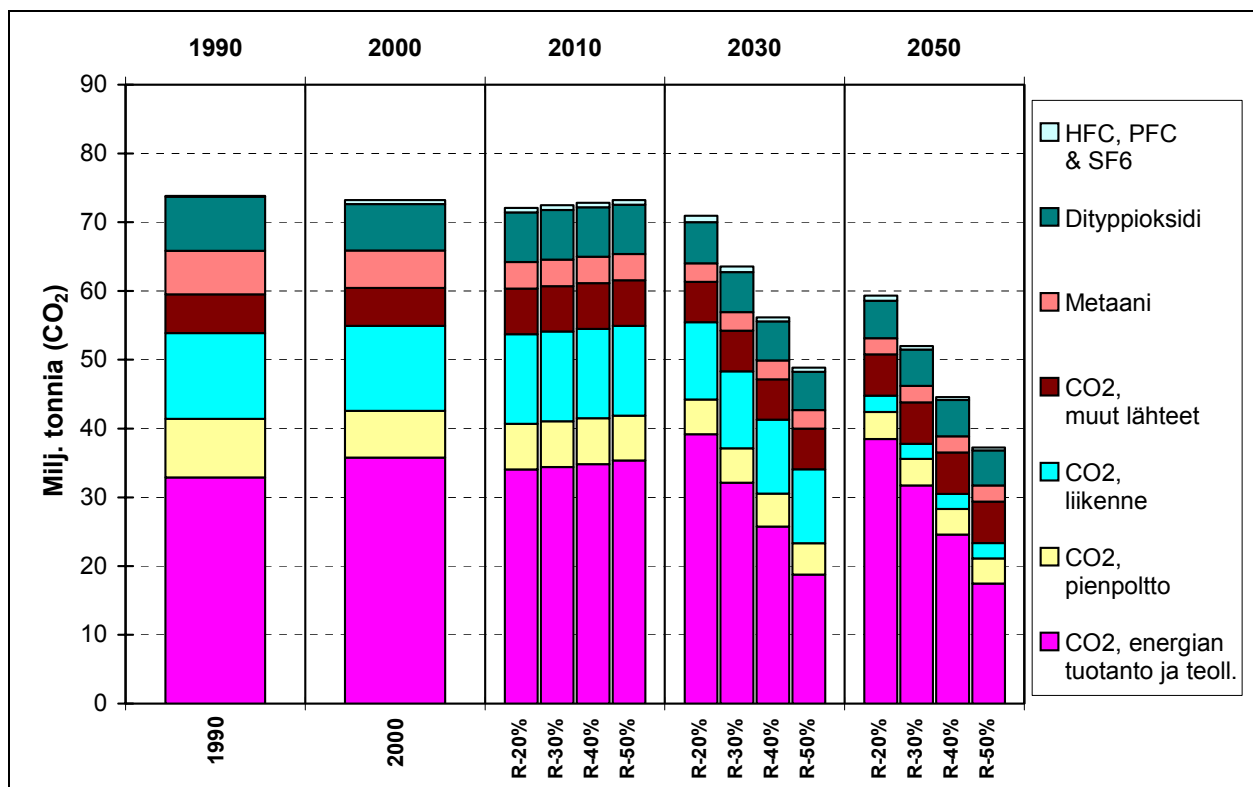
## 6.4 Kasvihuonekaasujen päästöt

### 6.4.1 Päästöt kaasuittain

Päästöjen kehitystä on havainnollistettu kuvassa 51 kaasun tyyppin mukaan. Hiilidioksidipäästöjen vähennykset ovat merkittävimmät siellä, missä päästöjä syntyy eniten, siis energian tuotannossa ja liikenteessä.

### 6.4.2 Päästöt sektoreittain

Päästöjä voidaan vähentää merkittävästi uusilla tekniikoilla, joiden kaupallistumisen on oletettu tapahtuvan vasta vuoden 2020 jälkeen. Sähkön ja lämmön tuotannossa vähennyksiä voidaan saada hiilidioksidin erotustekniikan käyttöönoton avulla ja liikenteessä polttokennoajoneuvojen avulla. Hiilidioksidin erotustekniikkaa oletettiin laskelmissa voitavan käyttää paitsi suurissa voimalaitoksissa myös masuunikaasun polton CO<sub>2</sub>-puhdistukseen sekä vedyn valmistuksessa maakaasun höyryreformoinnilla. Vetyä oletettiin voitavan käyttää liikenteen polttokennoajoneuvojen ohella myös kauko-  
lämpökattiloissa. Kondenssikattiloissa vedystä voidaan saada jopa 18 % suurempi



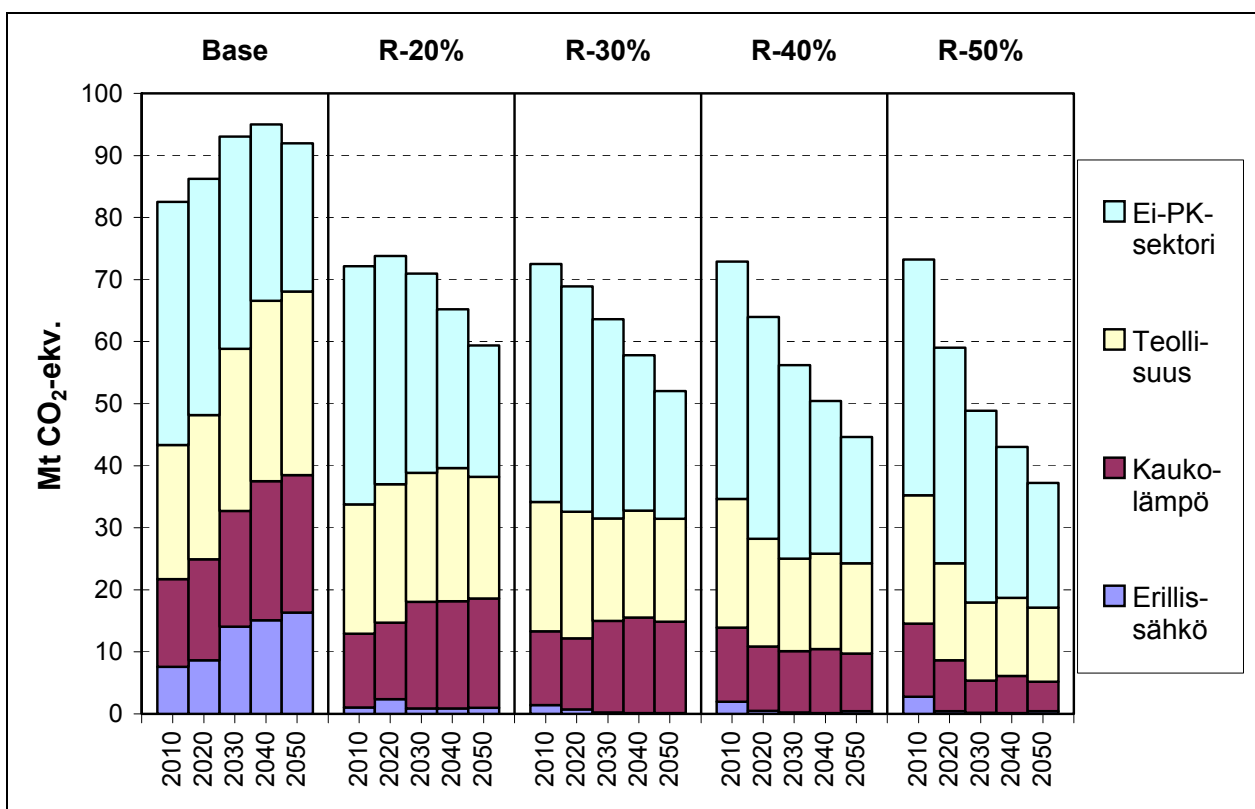
Kuva 51. Kasvihuonekaasujen päästöt pääluokittain vuoteen 2050.

hyötysuhde kuin esimerkiksi matalan lämpötilan polttokennoissa. Maakaasu-reformoinnilla tuotettua vetyä (hyötysuhde noin 80 % LHV) käyttävän kattilan kokonais-hyötysuhde voisi siten olla jopa 95 % maakaasun alemmasta lämpöarvosta lähtien laskettuna.

Prosessiteollisuudessa oletettiin lisäksi joitakin päästöjen kannalta edullisia prosesseja voivan tulla käyttöön. Mekaanisen massan valmistuksessa otettiin huomioon biotekniset menetelmät, joiden avulla voidaan parhaimmillaan päästä 30 %:n vähennykseen sähkön ominaiskulutuksessa. Raudan valmistuksessa puolestaan oletettiin masuunit uusittavan vuoden 2020 jälkeen siten, että niissä voidaan käyttää hiili-injektointia. Hiili-injektoinnin ansiosta masuunien reductanttien kulutusta voidaan huomattavasti pienentää.

Rakennusten lämmityksessä ja maataloudessa pienpolton hiilidioksidipäästöjen vähennykset johtuvat erityisesti öljyn käytön vähenemisestä sekä kaukolämmön ja biopolttoaineiden markkinaosuuden kasvusta.

Kuvassa 52 on esitetty yhteenveto päästöjen kehityksestä päästökaupan piiriin kuuluvilla ja sen ulkopuolelle jäävillä sektoreilla.



Kuva 52. Kasvihuonekaasujen päästöt päästökaupan piiriin kuuluvilla ja sen ulkopuolisilla sektoreilla vuoteen 2050.



### 6.4.3 Päästövähennykset

Pitkän tähtäimen skenaarioissa päästöjä voidaan vähentää merkittävästi uusilla tekniikoilla, joiden kaupallistumisen on oletettu tapahtuvan vasta vuoden 2020 jälkeen. Kaikkiaan päästöjä vähentävät muutokset voidaan luokitella seuraavasti:

- energian käyttötekniikan kehitys
- energian tuotantotekniikan muutokset
- polttoaineiden käyttömuutokset
- hiilidioksidin talteenotto ja loppusijoitus.

Mallilaskelmissa käytetään kaikkia päästövähennysmahdollisuuksia edullisuusjärjestyksessä. Toimenpiteet ovat vuorovaikutuksessa keskenään, ja niiden nettovaikutus kussakin tilanteessa vaihtelee. Kahden ensimmäisen tekijän vaikutus realisoituu polttoaineiden käytön määrän muutoksina. Hiilidioksidin erotus palamiskaasuista on selkeästi määriteltävissä ja laskettavissa. Energian käytön vähentyminen muuttaa samalla tuotannon rakennetta. Jos jokin tietty energiaa säästävän tekniikan käyttöönotto on ainoa tapahtuva muutos, sen vaikutukset voidaan yksikäsitteisesti laskea. Mutta käytännössä energian säästökin toteutuu lukuisten toimenpiteiden yhteisvaikutuksena. Kun niiden lisäksi toteutuu muitakin muutoksia, lähinnä uuden tuotantotekniikan käyttöönottoa, ei kokonaisvaikutuksesta voi erottaa yksittäisten toimenpiteiden vaikutuksia.

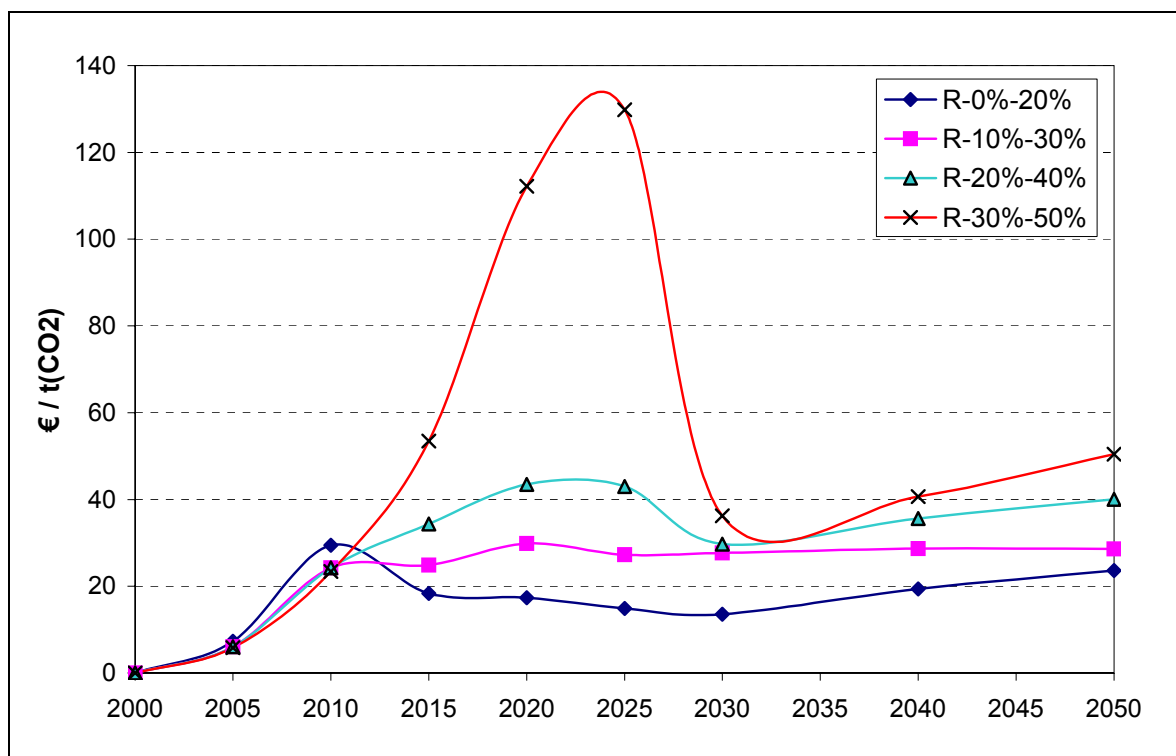
Vuoden 2050 tilanteessa on tarkasteltu enimmillään 50 %:n vähennystä vuoden 1990 päästömäärästä. Toimenpiteiden vaikutukset jaetaan tarkastelussa kolmeen ulottuvuuteen. Kunkin luokan tonnimääräiset vähennykset ja suhteelliset osuudet ovat taulukon 7 mukaiset.

*Taulukko 7. Hiilidioksidin vähennykset toimenpideluokittain. Tonnimääräiset vähenemät on laskettu perusuran vastaavista luvuista.*

Toimenpideluokka	Vähennys, Mt	Osuus
Hiilidioksidin erotus	18	36 %
Liikenne	11	22 %
Energian käyttö- ja tuotantotekniikka- muutokset	21	42 %
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>

Hiilidioksidin erotustekniikkaa on oletettu käytettävän suurissa voimalaitoksissa, masuunikaasun käyttökohteissa ja vedyn valmistuksessa maakaasun höyryreformoinnilla. Liikenteen vähennyspotentiaali on taulukon 7 mukaan huomattava, mutta sen edellytyksenä on nykyisestä täysin poikkeava, lähinnä polttonoajoneuvoihin perustuva liikennejärjestelmä. Vain reilu kolmannes koko vähennyksestä toteutuu hyvin laajan toimenpidejoukon yhteisvaikutuksesta. Siihen sisältyy niin säästötoimenpiteitä eri sektoreilla kuin energian tuotantotekniikan muutoksiakin. Tätä luokkaa voidaan kutsua vaikkapa energiajärjestelmän pitkän aikavälin joustavuudeksi.

Kasvihuonekaasujen vähentämisen marginaalikustannusten kehitys eri skenaarioissa on esitetty kuvassa 53. Tulosten mukaan Kioton periodilla marginaalikustannus on 23–29 €/tonni(CO<sub>2</sub>-ekv.). Sen jälkeen marginaalikustannus laskee R-0%-skenaariossa hieman alle 20 €:n, mutta tiukempien tavoitteiden skenaarioissa se voi nousta jopa 100 €:n tasolle vuosina 2020–2025. Vuonna 2030 marginaalikustannus jää kaikissa skenaarioissa kuitenkin jälleen alle 40 €/t, sillä uusien, päästöjä vähentävien tekniikoiden oletettiin tuolloin kaupallistuvan laajalla rintamalla. Pitkän aikavälin marginaalikustannukset ovat luonnollisesti varsin epävarmoja juuri uusien tekniikoiden kehityksen osalta. Tekniikoiden kustannusarviot perustuvat toki kuitenkin julkaistuihin kotimaisiin ja kansainvälisiin selvityksiin, joten niillä on kohtuullisen hyvät perusteet.



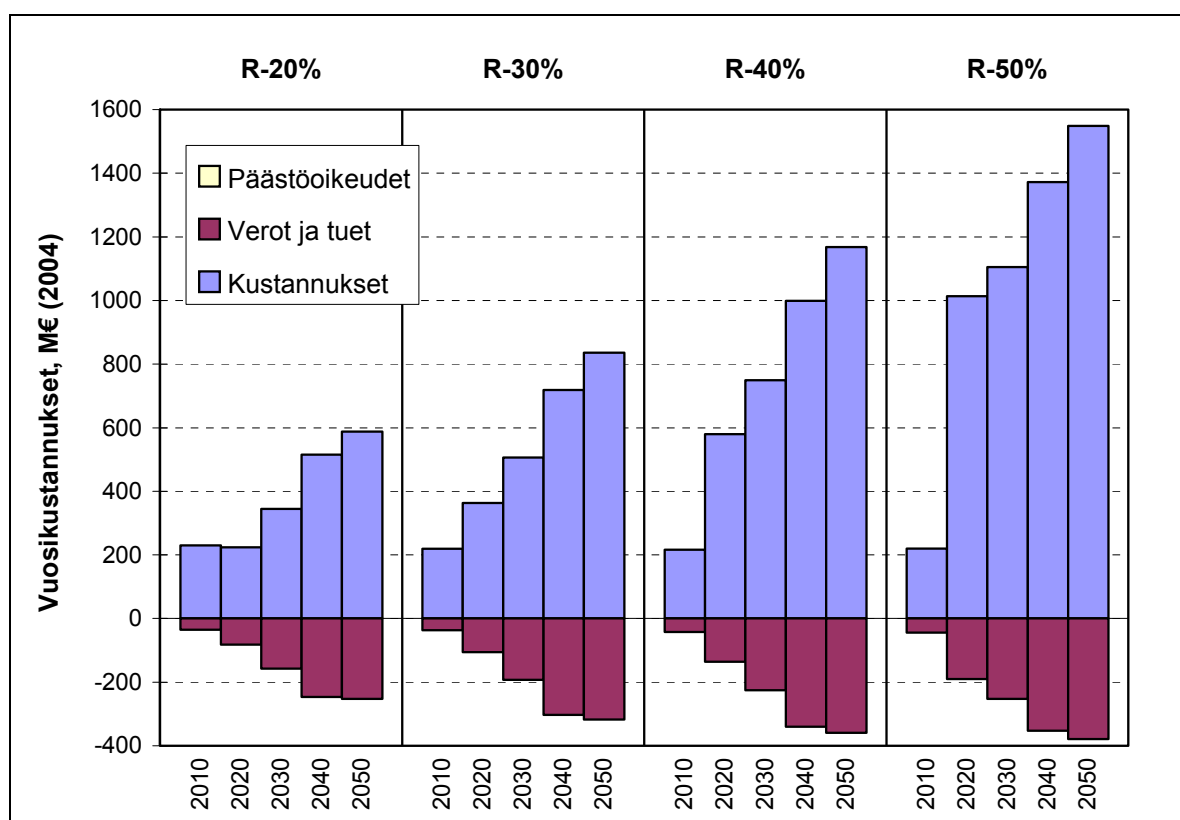
Kuva 53. Kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisen marginaalikustannusten kehitys eri päästöjen vähennystavoitteilla vuoteen 2050.

## 6.5 Päästöjen vähentämisen suorat kustannukset

Kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamisen aiheuttamia suoria kustannuksia arvioidaan vertaamalla kunkin päästötavoitteita sisältävän skenaarion kustannuksia perusuraskenaarion eli WM-skenaarion kustannuksiin.

Kuvassa 54 on esitetty mallilaskelmien mukaiset suorat vuosittaiset lisäkustannukset verrattuna perusuraskenaarioon. Suorat kustannukset sisältävät kaikki energiajärjestelmässä kuvattujen tuotantolaitosten ja käyttötekniikoiden investointi-, käyttö-, polttoaine- ja raaka-ainekustannukset. Varsinaisten kustannusten lisäksi kuvassa on esitetty energiajärjestelmän eri toimijoiden vuosittain maksamien energiaverojen ja vastaanottamien tukien kokonaismäärän muutos verrattuna perusuraskenaarioon. Tukien summa on tällöin vähennetty maksettujen verojen summasta.

Tulosten mukaan jopa 50 %:n vähennys kotimaisissa päästöissä olisi periaatteessa mahdollinen vuoteen 2050 mennessä. Pelkät suorat vuosikustannukset kuitenkin nousisivat tällöin noin 1 500 M€:n tasolle vuonna 2050. Maltillisempi 20 %:n vähennystavoite johtaisi noin 600 M€:n vuosikustannuksiin vuonna 2050.



Kuva 54. Päästöjen rajoittamisen aiheuttamat suorat vuotuiset lisäkustannukset vuoteen 2050.

## 7. Yhteenveto

Työssä tarkasteltiin ilmastopolitiikan vaikutuksia Suomen energiajärjestelmään keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä. Kioton periodin ja sitä seuraavia päästörajoituksia pyrittiin tarkastelemaan mahdollisimman realistisesti, välttämättä optimismeja tekniikan kehitystä tai uusiutuvien energialähteiden potentiaalia koskevissa arvioissa. Pidemmän aikavälin tarkastelussa haarukoitiin tuntuvampaa päästöjen kotimaista rajoituspotentiaalia olettaen, että moni päästöjä merkittävästi vähentävä teknologia kaupallistuu.

Tulosten mukaan Kioton periodilla tarvittaisiin perusuraan eli WM-skenaarioon verrattuna päästöjen lisävähennyksiä noin 9,5 miljoonaa tonnia, jotta Suomi saavuttaisi EU:n taakanjaon mukaisen päästötavoitteen. Mikäli vähennykset tehtäisiin kotimaisin toimin, päästöjen vähentämisen marginaalikustannukset olisivat Suomessa 23–29 €/t(CO<sub>2</sub>-ekv.). Jos päästöoikeuksien markkinahinta pysyisi tätä alempana, suomalaisten yritysten tai Suomen valtion kannattaisi tällöin ostaa lisää päästöoikeuksia eikä pyrkiä vähentämään kotimaisia päästöjä kiintiöiden mukaiselle tasolle.

Mikäli päästöoikeuksien hinta jää noin 10 €/n tasolle, Suomessa kannattaisi käyttää päästökaupan tarjoamaa joustoa keskimäärin 5 Mt vuodessa Kioton periodilla. Hinnan ollessa 20 €/n tasolla vastaava keskimääräinen päästöoikeuksien kannattava nettotuonti jäisi noin 2 Mt:n määrään. Kotimaisilla toimilla saavutettaisiin siten noin 5 Mt:n vähennykset 10 €/n hinnalla ja lähes 8 Mt:n vähennykset 20 €/n hinnalla. Ylivoimaisesti suurin osa kotimaisista päästöjen vähennystoimista kannattaa kohdistaa päästökauppa-sektorille. Ei-päästökauppa-sektorille vähennyksestä kohdistuisi tulosten mukaan Kioton periodilla vain vajaat 1 Mt vuodessa.

Päästöjen vähentämisen suorat vuosikustannukset olisivat tulosten mukaan Kioton periodilla runsaat 200 M€ vuodessa, jos vähennykset tehtäisiin puhtaasti kotimaisin toimin. Päästöoikeuksien alhainen hinta vähentää kustannuksia, mutta korkea hinta voi jopa suurentaa niitä erityisesti sähkön pohjoismaisen markkinahinnan nousun kautta. Päästökauppa vaikuttaa kuitenkin kuluttajien energialaskuun vielä huomattavasti enemmän kuin energiajärjestelmän suoriin kokonaiskustannuksiin. Laskelmien marginaalihintoja koskevien tulosten mukaan pelkästään kuluttajien sähkölasku saattaisi nousta 20 €/n päästöoikeuksien hintatasolla noin 800 M€ vuodessa perusuraa suuremmaksi.

Tulokset viittaavat vahvasti myös siihen, että Kioton periodin jälkeen tuntuvien lisävähennysten saavuttaminen kotimaisissa päästöissä vuoteen 2025 mennessä olisi hyvin vaikeaa ja kallista ilman uusien tekniikoiden nopeaa kaupallistumista ja käyttöönottoa. Sitä osoittavat päästöjen vähentämisen marginaalikustannukset, jotka nousevat 30%:n vähennysskenaariossa vuonna 2020 yli 100 €/t tasolle. Päästökaupassa suorat vuosikustannukset voisivat nousta 600 M€:n tuntumaan vuosina 2020–2025.

Suomen energiajärjestelmä on tunnetusti tehokas, minkä vuoksi sen lisäjoustomahdollisuudet ovat verraten vähäiset. Työssä tehdyt pitkän aikavälin skenaariolaskelmat tukevat tätä näkemystä, sillä rajoitettaessa kotimaisia päästöjä 50 % vuoteen 2050 mennessä vain 40 % vaaditusta päästövähennyksestä toteutuu energian säästötoimin, polttoainemuutoksin ja energian tuotannon ja käytön erilaisin tekniikkamuutoksin. Noin 60 % muutoksista toteutuu hiilidioksidin erotuksella voimalaitosten poistokaasuista ja liikenteen käyttövoiman täydellisellä muutoksella. Molempien toimenpiteiden laajamittainen käyttöönotto edellyttää vielä merkittävää teknistä kehitystyötä.

Sähkön tuotantotekniikan muutokset ovat keskeisiä energiajärjestelmän muutoksia. Erillisessä sähköntuotannossa tuulivoiman tuotannon kasvu lähes 20 %:iin koko tuotannosta on suurin yksittäinen muutos. Tehtyjen tutkimusten mukaan tämän suuruinen tuulivoimaosuus on vielä mahdollinen ilman merkittäviä säätö- ja varavoiman lisäkustannuksia. Toinen merkittävä tekniikka on kiinteän polttoaineen kaasutus ja tuotekaasun käyttö kombivoimalaitoksissa, mikä takaa mahdollisimman korkean sähköntuotannon hyötysuhteen. Fossiilisia polttoaineita käytettäessä tämä teknologia edellyttää hiilidioksidin erotusta ollakseen kilpailukykyinen. Myös yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa kaasutustekniikka on merkittävä sähkösaaliin kasvattamisen vuoksi. Kaasutus soveltuu sekä suuriin yksiköihin, jolloin tuotekaasu käytetään kaasuturbiineissa, että pieniin yksiköihin, jolloin kaasu voidaan hyödyntää kaasumoottoreissa esimerkiksi pienen taajaman kaukolämmön tuotantoon.

Skenaariossa ennakoitu liikenteen suuri rakennemuutos edellyttää polttokennotekniikan kehittymistä siten, että se pystyy korvaamaan nykyiset polttomoottorit autojen voimalllähteenä. Polttokennojen tarvitsema vety oletettiin laskelmissa tehtävän maakaasusta. Ilman hiilidioksidin erotusta ei siirtyminen vetyautoihin ole ympäristön kannalta edullista, jos maakaasu on vedyn lähteenä. Jos taas vety valmistetaan esim. veden elektrolyytillisellä hajottamisella, edellytyksenä on tällöin hiilidioksidia päästämätön sähkön tuotantotekniikka, esim. aurinko-, tuuli- tai ydinvoima.

Lähi vuosikymmeninä on odotettavissa tarve maakaasun tuonnin voimakkaaseen kasvatamiseen Venäjältä paitsi koko Eurooppaan myös Pohjois-Amerikkaan, mikä tulee näkymään maakaasun hintakehityksessä. Merkittävä osa maakaasun kulutuksesta suuntautuukin skenaarioissa vuoden 2025 jälkeen liikennepolttoaineiden tuotantoon, eikä kaasun kokonaiskäyttö enää kasva tulosten mukaan Suomessa vuoden 2025 jälkeen.

Hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen tekee puusta varsin houkuttelevan polttoaineen. Puun niukkuus nouseekin laskelmissa sen polttoainekäyttöä rajoittavaksi tekijäksi. Puun ohjautumisesta kilpaileviin käyttöihin voi olettaa tulevan todellinen ongelma lähi vuosikymmeninä. Päästörajoituksia tiukennettaessa turpeen laajan käytön jatkamisen edellytyksenä on puolestaan pidemmällä aikavälillä hiilidioksidin talteenotto.

## Lähdeluettelo

Forsström, J. 2004. POLA – Malli energiapolitiikan arviointiin. Dokumentti ja käyttö-opas. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Julkaisematon käsikirjoitus.

Holtinen, H. 2004. The impact of large scale wind power production on the Nordic electricity system. VTT Publications 554. Espoo: VTT. 82 s. + liitt. 111 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2004/P554.pdf>

Kekkonen, V. & Pursiheimo, E. 2005. Selvitys sähkön tuontimahdollisuuksista Suomeen pohjoismaisilta sähkömarkkinoilta. VTT Working Papers 16. Espoo: VTT. 39 s. + liitt. 53 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2005/W16.pdf>

Kemppi, H., Perrels, A. & Lehtilä, A. 2001. Suomen kansallisen ilmasto-ohjelman taloudelliset vaikutukset. Helsinki: Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 75. 134 s. <http://www.vatt.fi/julkaisut/tutkimus.asp?id=285>

Koljonen, T., Kekkonen, V., Lehtilä, A., Hongisto, M. & Savolainen, I. 2004. Päästökaupan merkitys energiasektorille ja terästeollisuudelle Suomessa. VTT Tiedotteita 2259. Espoo: VTT. 89 s. + liitt. 3 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2259.pdf>

KTM 2003. Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003–2006. Työryhmän ehdotus. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, työryhmä- ja toimikuntaraportteja 5/2003.

Lehtilä, A. & Syri, S. 2003. Suomen energiajärjestelmän ja päästöjen kehitysarvioita – Climtech-ohjelman skenaariotarkastelu. VTT Tiedotteita 2196. Espoo: VTT. 62 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2196.pdf>

Loulou, R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtilä, A. & Goldstein, G. 2005. Documentation for the TIMES Model. Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP), April 2005. <http://www.etsap.org/documentation.asp>

Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatukia, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R. & Paunio, M. 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö, MMM:n julkaisuja 1/2005. 272 s. <http://www.mmm.fi/sopeutumisstrategia/Sopeutumisstrategialopullinen.pdf>

Savolainen, I., Tuhkanen, S. & Lehtilä, A. (toim.) 2001. Teknologia ja kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen – Taustatyö kansallista ilmasto-ohjelmaa varten. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö, Julkaisuja 1/2001. 198 s.

YM 2004. Tuulivoimatuotantoon soveltuvat alueet Merenkurkussa ja Perämerellä.  
Helsinki: Ympäristöministeriö, Suomen Ympäristö 666. 146 s.  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=111226&lan=fi>





# Liite: Tulostaulukoita vuoteen 2025 ulottuvista skenaarioista

## PÄÄSTÖKIINTIÖIDEN ISOJAKO

Milij.tonnia CO2-ekvivalenttia

WM-TIMES	2005	2010	2015	2020	2025
Erillisähkö	12.0	8.0	5.7	8.6	9.5
Kaukolämpö	15.0	14.4	15.6	16.4	18.1
Teollisuus	19.4	21.6	22.9	23.4	24.1
Ei-PK-sektori	36.3	35.8	35.3	34.6	32.6
Yhteensä	82.7	79.7	79.5	83.0	84.2

### KOTIMAISET TOIMET

0 %	2005	2010	2015	2020	2025
Erillisähkö	10.6	2.2	2.0	2.4	1.1
Kaukolämpö	14.8	12.3	12.2	12.1	14.8
Teollisuus	19.4	20.8	21.8	22.4	23.3
Ei-PK-sektori	36.2	35.2	34.5	33.6	31.2
Yhteensä	81.0	70.4	70.4	70.4	70.4

10 %	2005	2010	2015	2020	2025
Erillisähkö	10.7	2.6	1.1	0.8	0.7
Kaukolämpö	14.7	12.2	11.5	11.4	11.4
Teollisuus	19.4	20.7	21.3	20.5	21.0
Ei-PK-sektori	36.2	35.0	34.2	33.0	30.3
Yhteensä	81.0	70.4	68.1	65.7	63.4

20 %	2005	2010	2015	2020	2025
Erillisähkö	10.7	2.9	0.6	0.5	0.5
Kaukolämpö	14.8	12.0	10.7	10.4	9.1
Teollisuus	19.3	20.5	20.4	17.6	16.9
Ei-PK-sektori	36.2	35.0	34.0	32.5	29.9
Yhteensä	81.0	70.4	65.7	61.0	56.3

30 %	2005	2010	2015	2020	2025
Erillisähkö	11.0	3.3	0.5	0.4	0.5
Kaukolämpö	14.8	11.9	10.2	8.2	3.8
Teollisuus	19.3	20.4	19.1	15.9	15.7
Ei-PK-sektori	36.2	34.8	33.5	31.7	29.3
Yhteensä	81.3	70.4	63.4	56.3	49.3

### PÄÄSTÖKAUPPA 10 €

2005	2010	2015	2020	2025
11.8	5.2	1.1	2.4	1.6
14.9	13.8	13.8	14.9	16.1
19.4	20.9	22.1	22.5	23.6
36.3	35.2	34.5	33.6	31.2
82.3	75.0	71.4	73.5	72.5

2005	2010	2015	2020	2025
11.8	5.2	1.2	2.5	1.5
14.9	13.9	13.8	14.9	16.6
19.4	20.9	22.2	22.9	23.8
36.3	35.0	34.2	33.0	30.3
82.3	75.0	71.4	73.3	72.2

2005	2010	2015	2020	2025
11.8	5.2	1.1	2.4	2.4
14.9	13.9	13.9	15.0	16.4
19.4	20.9	22.1	23.0	23.7
36.3	35.0	34.1	32.5	29.9
82.3	75.0	71.3	72.8	72.3

2005	2010	2015	2020	2025
11.7	5.1	1.0	2.2	2.8
14.9	14.1	14.1	14.9	16.2
19.4	20.9	22.2	22.8	23.5
36.2	34.8	33.9	31.7	29.3
82.2	74.8	71.1	71.7	71.9

### PÄÄSTÖKAUPPA 20 €

2005	2010	2015	2020	2025
9.7	4.1	0.8	1.0	0.8
14.2	12.3	11.3	11.4	13.2
19.3	20.7	21.6	22.1	22.5
36.2	35.2	34.5	33.6	31.2
79.4	72.2	68.2	68.2	67.7

2005	2010	2015	2020	2025
9.6	4.2	0.8	1.0	0.8
14.2	12.4	11.4	11.5	13.8
19.3	20.7	21.6	22.5	22.3
36.2	35.0	34.2	33.0	30.3
79.3	72.3	68.0	67.9	67.0

2005	2010	2015	2020	2025
9.6	4.2	0.8	1.0	0.8
14.2	12.4	11.6	11.7	14.0
19.3	20.7	21.7	22.6	22.3
36.2	35.0	34.0	32.5	29.9
79.4	72.3	68.0	67.7	66.9

2005	2010	2015	2020	2025
9.5	4.2	0.8	1.0	0.8
14.1	12.5	11.9	12.1	13.3
19.3	20.7	21.8	22.6	22.2
36.2	34.8	33.7	31.7	29.3
79.2	72.2	68.1	67.4	65.6

## KASVIHUONEKAASUJEN PÄÄSTÖT PÄÄSTÖLAJEITTAIN

Milj.tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia

WM-TIMES	2005	2010	2015	2020	2025
CO <sub>2</sub> , energian tuotanto	47.37	43.71	44.56	48.79	51.58
CO <sub>2</sub> , pienpolitto	6.68	6.52	6.21	5.84	5.22
CO <sub>2</sub> , liikenne	13.00	13.04	13.03	12.90	12.25
CO <sub>2</sub> , muut lähteet	2.81	3.74	3.78	3.82	3.81
Metaani	4.84	4.05	3.70	3.39	3.13
Dityppioksididi	7.06	6.99	6.84	6.80	6.69
HFC, PFC & SF6	0.92	1.22	1.37	1.45	1.47
Yhteensä	82.68	79.27	79.49	83.00	84.16

### KOTIMAISET TOIMET

0 %	2005	2010	2015	2020	2025
CO <sub>2</sub> , energian tuotanto	45.80	33.89	36.29	37.28	39.23
CO <sub>2</sub> , pienpolitto	6.74	6.68	6.40	6.18	5.72
CO <sub>2</sub> , liikenne	13.00	13.04	13.04	12.90	12.25
CO <sub>2</sub> , muut lähteet	2.81	3.74	3.78	3.82	3.72
Metaani	4.73	3.90	3.56	3.25	2.95
Dityppioksididi	6.98	6.82	6.52	6.07	5.68
HFC, PFC & SF6	0.92	0.67	0.82	0.89	0.85
Yhteensä	80.99	68.72	70.40	70.40	70.40

10 %	2005	2010	2015	2020	2025
CO <sub>2</sub> , energian tuotanto	45.82	34.33	34.19	33.16	33.18
CO <sub>2</sub> , pienpolitto	6.69	6.60	6.33	6.01	5.37
CO <sub>2</sub> , liikenne	13.00	13.04	13.04	12.75	11.97
CO <sub>2</sub> , muut lähteet	2.81	3.74	3.78	3.82	3.72
Metaani	4.78	3.90	3.54	3.23	2.95
Dityppioksididi	6.98	6.81	6.48	5.97	5.47
HFC, PFC & SF6	0.92	0.67	0.69	0.76	0.69
Yhteensä	81.01	69.09	68.05	65.70	63.36

### PÄÄSTÖKAUPPA 10 €

	2005	2010	2015	2020	2025
	47.06	39.47	37.17	40.24	41.37
	6.71	6.50	6.33	6.02	5.55
	13.00	13.04	13.04	12.90	12.25
	2.81	3.74	3.78	3.82	3.72
	4.82	3.94	3.60	3.28	2.99
	7.03	6.84	6.54	6.18	5.66
	0.92	0.84	0.93	1.01	0.96
	82.35	74.37	71.39	73.45	72.50

	2005	2010	2015	2020	2025
	47.01	39.65	37.35	40.40	41.73
	6.71	6.50	6.28	5.88	5.26
	13.00	13.04	13.04	12.90	12.25
	2.81	3.74	3.78	3.82	3.72
	4.82	3.94	3.59	3.27	2.97
	7.03	6.83	6.53	6.10	5.59
	0.92	0.75	0.86	0.89	0.70
	82.30	74.44	71.42	73.27	72.22

### PÄÄSTÖKAUPPA 20 €

	2005	2010	2015	2020	2025
	44.16	36.92	34.10	35.07	36.57
	6.71	6.62	6.36	6.18	5.77
	13.00	13.04	13.04	12.90	12.25
	2.81	3.74	3.78	3.82	3.72
	4.79	3.92	3.59	3.27	2.97
	6.98	6.82	6.51	6.04	5.56
	0.92	0.68	0.83	0.89	0.85
	79.38	71.74	68.20	68.17	67.69

	2005	2010	2015	2020	2025
	44.14	37.06	34.09	35.18	36.61
	6.70	6.58	6.28	5.99	5.44
	13.00	13.04	13.04	12.90	12.10
	2.81	3.74	3.78	3.82	3.72
	4.79	3.92	3.58	3.26	2.95
	6.98	6.81	6.50	6.04	5.53
	0.92	0.67	0.69	0.76	0.69
	79.35	71.81	67.97	67.95	67.04

**KASVIHUONEKAASUJEN PÄÄSTÖT PÄÄSTÖLAJEITTAIN**  
 Milj. tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia

WM-TIMES	2005	2010	2015	2020	2025
CO <sub>2</sub> , energian tuotanto	47.37	43.71	44.56	48.79	51.58
CO <sub>2</sub> , pienpoltto	6.68	6.52	6.21	5.84	5.22
CO <sub>2</sub> , liikenne	13.00	13.04	13.03	12.90	12.25
CO <sub>2</sub> , muut lähteet	2.81	3.74	3.78	3.82	3.81
Metaani	4.84	4.05	3.70	3.39	3.13
Dityppioksidi	7.06	6.99	6.84	6.80	6.69
HFC, PFC & SF6	0.92	1.22	1.37	1.45	1.47
Yhteensä	82.68	79.27	79.49	83.00	84.16

**KOTIMAISET TOIMET**

20 %	2005	2010	2015	2020	2025
CO <sub>2</sub> , energian tuotanto	45.90	34.73	31.98	29.75	27.28
CO <sub>2</sub> , pienpoltto	6.66	6.57	6.24	5.86	5.33
CO <sub>2</sub> , liikenne	13.00	13.04	13.03	12.75	11.97
CO <sub>2</sub> , muut lähteet	2.81	3.74	3.78	2.92	2.92
Metaani	4.78	3.90	3.52	3.21	2.91
Dityppioksidi	6.98	6.81	6.45	5.94	5.36
HFC, PFC & SF6	0.92	0.67	0.69	0.59	0.54
Yhteensä	81.05	69.46	65.70	61.01	56.32

30 %	2005	2010	2015	2020	2025
CO <sub>2</sub> , energian tuotanto	46.12	35.19	30.02	25.81	20.77
CO <sub>2</sub> , pienpoltto	6.71	6.50	6.16	5.26	4.88
CO <sub>2</sub> , liikenne	13.00	13.04	12.95	12.75	11.97
CO <sub>2</sub> , muut lähteet	2.81	3.74	3.78	2.92	2.92
Metaani	4.78	3.89	3.50	3.15	2.89
Dityppioksidi	6.93	6.77	6.38	5.84	5.32
HFC, PFC & SF6	0.92	0.67	0.57	0.59	0.54
Yhteensä	81.27	69.79	63.36	56.32	49.28

**PÄÄSTÖKAUPPA 10 €**

2005	2010	2015	2020	2025
47.04	39.72	37.22	40.27	42.13
6.71	6.49	6.28	5.70	5.12
13.00	13.04	13.04	12.90	12.06
2.81	3.74	3.78	3.82	3.72
4.79	3.94	3.59	3.26	2.97
7.03	6.82	6.52	6.08	5.57
0.92	0.74	0.83	0.76	0.69
82.30	74.48	71.26	72.78	72.27

2005	2010	2015	2020	2025
46.99	39.68	37.26	39.90	42.31
6.67	6.40	6.09	5.35	4.90
13.00	13.04	13.03	12.75	11.97
2.81	3.74	3.78	3.82	3.72
4.78	3.93	3.58	3.23	2.94
7.02	6.80	6.51	6.04	5.53
0.92	0.67	0.82	0.59	0.54
82.19	74.25	71.07	71.68	71.91

**PÄÄSTÖKAUPPA 20 €**

2005	2010	2015	2020	2025
44.13	37.05	34.16	35.28	36.83
6.73	6.57	6.26	5.85	5.27
13.00	13.04	13.04	12.75	11.97
2.81	3.74	3.78	3.82	3.72
4.79	3.92	3.56	3.23	2.95
6.98	6.81	6.51	6.03	5.52
0.92	0.67	0.73	0.76	0.69
79.35	71.80	68.03	67.73	66.94

2005	2010	2015	2020	2025
44.03	37.17	34.52	35.64	35.97
6.73	6.45	6.08	5.42	4.99
13.00	13.04	13.04	12.75	11.97
2.81	3.74	3.78	3.82	3.72
4.78	3.90	3.53	3.20	2.92
6.98	6.81	6.49	6.00	5.47
0.92	0.67	0.69	0.59	0.54
79.25	71.77	68.13	67.41	65.58

**PRIMAARIENERGIAN KOKONAISKULUTUS, PJ**

WM-TIMES	2005	2010	2015	2020	2025
Sähkön tuonti	32	29	25	18	11
Vesi ja tuuli	47	47	52	54	61
Ydinvoima	230	348	369	366	360
Puupolttoaine	141	147	148	153	171
Mustalipeä	148	154	159	164	168
Öljytuotteet	374	377	372	365	340
Maakaasu	162	197	205	198	170
Turve	95	95	95	95	95
Kivihili	216	163	170	221	275
Muut	19	23	25	26	28
<b>Yhteensä</b>	<b>1466</b>	<b>1580</b>	<b>1619</b>	<b>1662</b>	<b>1679</b>

**PAASTOKAUPPA 10 €**

0 %	2005	2010	2015	2020	2025
Sähkön tuonti	32	36	39	30	18
Vesi ja tuuli	48	51	54	57	65
Ydinvoima	230	348	369	366	360
Puupolttoaine	141	161	170	175	181
Mustalipeä	148	154	159	164	168
Öljytuotteet	374	375	372	366	344
Maakaasu	163	200	209	206	205
Turve	92	73	74	92	95
Kivihili	216	141	111	129	141
Muut	19	23	30	34	42
<b>Yhteensä</b>	<b>1464</b>	<b>1561</b>	<b>1587</b>	<b>1619</b>	<b>1619</b>

**10 %**

	2005	2010	2015	2020	2025
Sähkön tuonti	32	36	39	30	18
Vesi ja tuuli	48	51	54	57	65
Ydinvoima	230	348	369	366	360
Puupolttoaine	141	159	170	175	181
Mustalipeä	148	154	159	164	168
Öljytuotteet	375	375	372	364	341
Maakaasu	163	200	209	207	205
Turve	91	75	73	89	95
Kivihili	216	141	115	132	144
Muut	19	24	30	34	42
<b>Yhteensä</b>	<b>1464</b>	<b>1561</b>	<b>1588</b>	<b>1620</b>	<b>1619</b>

**PAASTOKAUPPA 20 €**

	2005	2010	2015	2020	2025
Sähkön tuonti	40	36	39	30	18
Vesi ja tuuli	49	51	56	61	65
Ydinvoima	230	348	369	366	360
Puupolttoaine	147	173	189	199	206
Mustalipeä	148	154	159	164	168
Öljytuotteet	376	381	376	369	344
Maakaasu	164	200	209	218	218
Turve	79	53	50	56	76
Kivihili	197	132	102	103	106
Muut	19	27	35	42	46
<b>Yhteensä</b>	<b>1450</b>	<b>1554</b>	<b>1583</b>	<b>1608</b>	<b>1607</b>

	2005	2010	2015	2020	2025
Sähkön tuonti	40	36	39	30	18
Vesi ja tuuli	49	51	56	61	65
Ydinvoima	230	348	369	366	360
Puupolttoaine	148	173	188	199	207
Mustalipeä	148	154	159	164	168
Öljytuotteet	376	379	373	366	341
Maakaasu	164	201	210	219	218
Turve	79	53	50	57	75
Kivihili	197	134	103	103	106
Muut	19	27	36	42	46
<b>Yhteensä</b>	<b>1449</b>	<b>1555</b>	<b>1583</b>	<b>1608</b>	<b>1604</b>

**PRIMAARIENERGIAN KOKONAISKULUTUS, PJ**

WM-TIMES	2005	2010	2015	2020	2025
Sähkön tuonti	32	29	25	18	11
Vesi ja tuuli	47	47	52	54	61
Ydinvoima	230	348	369	366	360
Puupolttoaine	141	147	148	153	171
Mustalipeä	148	154	159	164	168
Öljytuotteet	374	377	372	365	340
Maakaasu	162	197	205	198	170
Turve	95	95	95	95	95
Kivihili	216	163	170	221	275
Muut	19	23	25	26	28
<b>Yhteensä</b>	<b>1466</b>	<b>1580</b>	<b>1619</b>	<b>1662</b>	<b>1679</b>

**PAASTOKAUPPA 10 €**

20 %	2005	2010	2015	2020	2025
Sähkön tuonti	32	36	39	30	18
Vesi ja tuuli	48	51	54	58	65
Ydinvoima	230	348	369	366	360
Puupolttoaine	141	158	170	175	181
Mustalipeä	148	154	159	164	168
Öljytuotteet	375	375	371	362	339
Maakaasu	163	200	209	209	207
Turve	91	75	73	87	95
Kivihili	216	142	114	132	148
Muut	19	23	30	35	43
<b>Yhteensä</b>	<b>1464</b>	<b>1561</b>	<b>1587</b>	<b>1619</b>	<b>1624</b>

**30 %**

	2005	2010	2015	2020	2025
Sähkön tuonti	32	36	39	30	18
Vesi ja tuuli	48	51	56	59	65
Ydinvoima	230	348	369	366	360
Puupolttoaine	141	158	170	176	181
Mustalipeä	148	154	159	164	168
Öljytuotteet	375	375	369	357	336
Maakaasu	163	200	209	217	212
Turve	90	74	74	83	95
Kivihili	216	142	113	127	148
Muut	19	24	30	38	42
<b>Yhteensä</b>	<b>1464</b>	<b>1561</b>	<b>1587</b>	<b>1618</b>	<b>1626</b>

**PAASTOKAUPPA 20 €**

	2005	2010	2015	2020	2025
	40	36	39	30	18
	49	51	56	62	65
	230	348	369	366	360
	147	173	187	199	207
	148	154	159	164	168
	376	379	373	364	339
	164	201	210	219	218
	79	53	50	57	77
	197	134	103	105	106
	19	27	38	42	46
<b>Yhteensä</b>	<b>1449</b>	<b>1555</b>	<b>1583</b>	<b>1608</b>	<b>1604</b>

	2005	2010	2015	2020	2025
	40	36	39	30	18
	49	51	56	62	66
	230	348	369	366	360
	148	174	187	200	208
	148	154	159	164	168
	376	377	372	358	336
	164	201	211	219	218
	79	53	50	56	70
	196	135	105	110	104
	19	27	36	41	47
<b>Yhteensä</b>	<b>1449</b>	<b>1556</b>	<b>1584</b>	<b>1607</b>	<b>1596</b>

## KOTIMAISET ENERGIALÄHTEET, PJ

WM-TIMES	2005	2010	2015	2020	2025
Jäteliemet	148	154	159	164	168
Muut biopolttoaineet	143	152	155	162	181
Polttoaine	95	95	95	95	95
Kierrätyspolttoaine	8	12	12	13	12
Vesi, tuuli, maalämpö	50	51	56	58	65
Yhteensä	445	463	476	492	521

### PÄÄSTÖKAUPPA 10 €

0 %	2005	2010	2015	2020	2025
Jäteliemet	148	154	159	164	168
Muut biopolttoaineet	143	165	178	186	192
Polttoaine	92	73	74	92	95
Kierrätyspolttoaine	8	12	16	17	23
Vesi, tuuli, maalämpö	51	54	58	63	72
Yhteensä	442	458	485	522	549

10 %	2005	2010	2015	2020	2025
Jäteliemet	148	154	159	164	168
Muut biopolttoaineet	143	164	178	186	192
Polttoaine	91	75	73	89	95
Kierrätyspolttoaine	8	12	16	17	23
Vesi, tuuli, maalämpö	51	54	58	63	72
Yhteensä	442	458	483	520	550

20 %	2005	2010	2015	2020	2025
Jäteliemet	148	154	159	164	168
Muut biopolttoaineet	143	163	178	186	194
Polttoaine	91	75	73	87	95
Kierrätyspolttoaine	8	12	16	17	23
Vesi, tuuli, maalämpö	51	54	58	64	73
Yhteensä	442	457	484	519	553

30 %	2005	2010	2015	2020	2025
Jäteliemet	148	154	159	164	168
Muut biopolttoaineet	143	163	178	187	196
Polttoaine	90	74	74	83	95
Kierrätyspolttoaine	8	12	16	22	23
Vesi, tuuli, maalämpö	51	54	60	66	73
Yhteensä	441	457	486	522	554

### PÄÄSTÖKAUPPA 20 €

2005	2010	2015	2020	2025
148	154	159	164	168
149	179	199	213	221
79	53	50	56	76
8	14	18	22	23
52	54	61	67	72
437	455	487	522	560

2005	2010	2015	2020	2025
148	154	159	164	168
149	179	199	213	224
79	53	50	57	75
8	14	18	22	23
52	54	62	68	73
437	454	488	523	562

2005	2010	2015	2020	2025
148	154	159	164	168
149	179	198	215	225
79	53	50	57	77
8	14	20	22	23
52	54	62	68	73
437	454	488	525	566

2005	2010	2015	2020	2025
148	154	159	164	168
149	179	195	215	227
79	53	50	56	70
9	14	21	22	23
52	54	62	68	74
437	455	487	525	561

## SÄHKÖN HANKINTA, TW/h

WM-TIMES	2005	2010	2015	2020	2025
Ydinvoima	21.1	31.9	33.8	33.6	33.0
Vesivoima	13.0	13.1	13.8	14.2	14.5
Tuulivoima	0.1	0.1	0.8	0.9	2.4
Hiihi- ja turvelauhde	13.8	9.0	6.6	10.8	12.3
Maakaasu-lauhde	0.9	0.5	0.9	0.0	0.0
Teollisuuden CHP	14.0	15.6	17.9	19.7	21.1
Yhdyskuntien CHP	16.1	17.1	18.5	19.4	19.6
Muut	1.3	0.8	1.8	2.3	3.3
Sähkön tuonti	9.0	8.0	7.0	5.0	3.0
Yhteensä	89.2	96.0	100.9	105.7	109.3

### PÄÄSTÖKAUPPA 10 €

0 %	2005	2010	2015	2020	2025
Ydinvoima	21.1	31.9	33.8	33.6	33.0
Vesivoima	13.1	13.4	13.8	14.2	14.5
Tuulivoima	0.1	0.7	1.2	1.7	3.5
Hiihi- ja turvelauhde	13.4	5.5	1.0	2.9	2.0
Maakaasu-lauhde	1.0	0.8	0.7	0.0	0.0
Teollisuuden CHP	14.0	15.7	18.0	20.3	22.3
Yhdyskuntien CHP	16.0	17.4	19.1	20.6	22.4
Muut	1.3	0.8	1.4	1.6	1.8
Sähkön tuonti	9.0	9.9	10.9	8.4	5.0
Yhteensä	89.1	96.0	99.8	103.2	104.6

### 10 %

10 %	2005	2010	2015	2020	2025
Ydinvoima	21.1	31.9	33.8	33.6	33.0
Vesivoima	13.1	13.4	13.8	14.2	14.5
Tuulivoima	0.1	0.7	1.2	1.7	3.5
Hiihi- ja turvelauhde	13.4	5.4	1.0	3.1	1.9
Maakaasu-lauhde	1.0	0.8	0.9	0.0	0.0
Teollisuuden CHP	14.0	15.7	18.0	20.3	22.3
Yhdyskuntien CHP	16.1	17.4	19.1	20.5	22.8
Muut	1.3	0.8	1.4	1.6	1.8
Sähkön tuonti	9.0	9.9	10.9	8.4	5.0
Yhteensä	89.1	95.9	100.1	103.3	104.9

### PÄÄSTÖKAUPPA 20 €

2005	2010	2015	2020	2025
21.1	31.9	33.8	33.6	33.0
13.1	13.4	13.8	14.2	14.5
0.4	0.7	1.9	2.9	3.5
10.9	4.1	0.7	1.2	0.6
1.2	0.9	0.5	0.0	0.6
14.0	15.7	17.9	20.3	22.3
16.1	17.6	18.8	20.3	22.6
1.3	0.7	1.4	1.5	1.4
11.0	9.9	10.9	8.4	5.0
89.1	94.9	99.6	102.3	103.6

2005	2010	2015	2020	2025
21.1	31.9	33.8	33.6	33.0
13.1	13.4	13.8	14.2	14.5
0.4	0.7	1.9	2.9	3.6
10.9	4.3	0.7	1.2	0.6
1.2	0.9	0.5	0.0	0.6
14.0	15.7	17.9	20.4	22.2
16.1	17.7	18.9	20.4	22.9
1.2	0.7	1.4	1.5	1.4
11.0	9.9	10.9	8.4	5.0
89.1	95.2	99.7	102.5	103.9

## SÄHKÖN HANKINTA, TW<sub>h</sub>

WM-TIMES	2005	2010	2015	2020	2025
Ydinvoima	21.1	31.9	33.8	33.6	33.0
Vesivoima	13.0	13.1	13.8	14.2	14.5
Tuulivoima	0.1	0.1	0.8	0.9	2.4
Hiihi- ja turvelauhde	13.8	9.0	6.6	10.8	12.3
Maakaasu-lauhde	0.9	0.5	0.9	0.0	0.0
Teollisuuden CHP	14.0	15.6	17.9	19.7	21.1
Yhdyskuntien CHP	16.1	17.1	18.5	19.4	19.6
Muut	1.3	0.8	1.8	2.3	3.3
Sähkön tuonti	9.0	8.0	7.0	5.0	3.0
Yhteensä	89.2	96.0	100.9	105.7	109.3

### PÄÄSTÖKAUPPA 10 €

20 %	2005	2010	2015	2020	2025
Ydinvoima	21.1	31.9	33.8	33.6	33.0
Vesivoima	13.1	13.4	13.8	14.2	14.5
Tuulivoima	0.1	0.7	1.3	1.8	3.5
Hiihi- ja turvelauhde	13.4	5.5	0.9	2.9	3.1
Maakaasu-lauhde	1.0	0.8	0.8	0.0	0.0
Teollisuuden CHP	14.0	15.7	18.0	20.3	22.3
Yhdyskuntien CHP	16.1	17.4	19.2	20.6	22.6
Muut	1.3	0.8	1.4	1.6	1.6
Sähkön tuonti	9.0	9.9	10.9	8.4	5.0
Yhteensä	89.1	96.0	100.1	103.4	105.7

### 30 %

30 %	2005	2010	2015	2020	2025
Ydinvoima	21.1	31.9	33.8	33.6	33.0
Vesivoima	13.1	13.4	13.8	14.2	14.5
Tuulivoima	0.1	0.7	1.7	2.2	3.5
Hiihi- ja turvelauhde	13.3	5.3	0.8	2.7	3.8
Maakaasu-lauhde	1.0	0.8	0.8	0.0	0.0
Teollisuuden CHP	14.0	15.7	17.9	20.6	22.3
Yhdyskuntien CHP	16.1	17.6	19.3	21.0	22.7
Muut	1.3	0.8	1.5	1.5	1.5
Sähkön tuonti	9.0	9.9	10.9	8.4	5.0
Yhteensä	89.1	96.0	100.4	104.1	106.4

### PÄÄSTÖKAUPPA 20 €

2005	2010	2015	2020	2025
21.1	31.9	33.8	33.6	33.0
13.1	13.4	13.8	14.2	14.5
0.4	0.7	1.9	3.0	3.7
10.9	4.3	0.8	1.2	0.6
1.2	0.9	0.5	0.0	0.6
14.0	15.7	17.9	20.4	22.3
16.1	17.8	19.0	20.5	22.9
1.2	0.7	1.4	1.5	1.4
11.0	9.9	10.9	8.4	5.0
89.1	95.3	99.8	102.7	104.0

2005	2010	2015	2020	2025
21.1	31.9	33.8	33.6	33.0
13.1	13.4	13.8	14.2	14.5
0.4	0.7	1.9	3.0	3.9
10.8	4.3	0.8	1.2	0.6
1.2	0.9	0.5	0.0	0.6
14.0	15.7	17.9	20.3	21.9
16.1	18.1	19.3	21.0	22.8
1.2	0.7	1.4	1.5	1.5
11.0	9.9	10.9	8.4	5.0
89.0	95.6	100.2	103.1	103.7



**PÄÄSTÖJEN RAJOITTAMISEN SUORAT VUOSIKUSTANNUKSET**

Milj. Euroa (2004) vuodessa

**KOTIMAISET TOIMET**

0 %	2005	2010	2015	2020	2025
Suorat kustannukset	13	236	197	232	209
Verot ja tuet	-1	-37	-51	-86	-93
Päästöoikeudet	0	0	0	0	0
Kustannukset yhteensä	13	236	197	232	209

10 %	2005	2010	2015	2020	2025
Suorat kustannukset	11	226	263	360	415
Verot ja tuet	0	-35	-68	-103	-150
Päästöoikeudet	0	0	0	0	0
Kustannukset yhteensä	11	226	263	360	415

20 %	2005	2010	2015	2020	2025
Suorat kustannukset	11	219	355	565	693
Verot ja tuet	0	-36	-86	-134	-186
Päästöoikeudet	0	0	0	0	0
Kustannukset yhteensä	11	219	355	565	693

30 %	2005	2010	2015	2020	2025
Suorat kustannukset	12	220	478	950	1140
Verot ja tuet	0	-39	-100	-185	-220
Päästöoikeudet	0	0	0	0	0
Kustannukset yhteensä	12	220	478	950	1140

**PÄÄSTÖKAUPPA 10 €**

2005	2010	2015	2020	2025
3	108	175	167	161
-1	-17	-31	-51	-70
1	59	10	32	22
4	167	185	199	183

2005	2010	2015	2020	2025
1	109	175	171	168
1	-19	-29	-52	-69
1	56	35	79	92
3	165	210	249	260

2005	2010	2015	2020	2025
1	109	178	185	175
1	-18	-30	-55	-70
1	53	58	122	166
3	161	236	308	341

2005	2010	2015	2020	2025
2	115	190	223	195
1	-18	-32	-62	-72
1	47	80	160	235
3	162	271	383	431

**PÄÄSTÖKAUPPA 20 €**

2005	2010	2015	2020	2025
26	210	312	333	295
-5	-26	-49	-82	-103
-2	63	-46	-46	-56
24	273	266	287	238

2005	2010	2015	2020	2025
26	211	320	340	312
-5	-26	-53	-86	-106
-2	57	-2	47	77
24	267	318	386	389

2005	2010	2015	2020	2025
26	211	320	349	318
-5	-27	-53	-87	-108
-2	49	48	140	221
24	260	368	488	539

2005	2010	2015	2020	2025
26	216	319	368	360
-6	-27	-50	-88	-117
-2	42	99	231	339
24	258	418	598	699

## VTT WORKING PAPERS

### VTT PROSESSIT – VTT PROSESSER –VTT PROCESSES

- 2 Pingoud, Kim & Soimakallio, Sampo. Puuperäisten tuotteiden ja bioenergian kasvihuonekaasutaseet. 2004. 14 s.
- 5 Monni, Suvi. Uncertainties in the Finnish 2002 Greenhouse Gas Emission Inventory. 2004. 31 p. + app. 18 p.
- 12 Pipatti, Riitta, Korhonen, Riitta & Savolainen, Ilkka. Wood in peat fuel - impact on the reporting of greenhouse gas emissions according to IPCC Guidelines. 2004. 25 p.
- 16 Kekkonen, Veikko & Pursiheimo, Esa. Selvitys sähkön tuontimahdollisuuksista Suomeen pohjoismaisilta sähkömarkkinoilta. 2005. 39 s. + liitt. 53 s.
- 36 Forsström, Juha & Lehtilä, Antti. Skenaarioita ilmastopolitiikan vaikutuksista energiatalouteen. 2005. 71 s. + liitt. 9 s.