



# Päästökauppaan kuulumattomien sektoreiden päästövähennykset ja niiden kustannustehokkuus

Kirjoittajat: Tommi Ekholm

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Päästökauppaan kuulumattomien sektoreiden päästövähennykset ja niiden kustannustehokkuus		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Ympäristöministeriö Kasarmikatu 25, PL 35, 00023 VALTIONEUVOSTO  Magnus Cederlöf, magnus.cederlof@ymparisto.fi, +358-50-361 6439		Asiakkaan viite Ympäristöministeriön projektinnumero: YTF226.  D.nro: YM 40/481/2009
Projektin nimi Kansainväliset ja EU:n ilmastopoliittiset taustaselvitykset – valmistautuminen Kööpenhaminan ilmastokokoukseen ja EU:n ilmastotavoitteiden tiukentumiseen, jatkohanke		Projektin numero/lyhytnimi COP15VALM2
Raportin laatija(t) Tommi Ekholm		Sivujen/liitesivujen lukumäärä 19/-
Avainsanat Ilmastonmuutoksen hillintä, kansallinen päästötavoite, kustannustehokkuus		Raportin numero VTT-R-02783-10
Tiivistelmä Tässä raportissa tarkastellaan Suomen ei-päästökauppasektorin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiskeinoja ja niiden kustannustehokkuutta. Raportti esittelee tutkimushankkeessa muodostetun päivitetyn perusuran, jossa huomioidaan jo voimassaolevat tavoitteet ja toimet. Päivitetyn perusuran päästöt olivat 3,6 Mt CO <sub>2</sub> -ekv. pienemmät kuin Ilmasto- ja Energiastrategian perusurassa (TEM, 2008), ja siten selkeästi lähempänä Suomen vuoden 2020 päästövähennystavoitetta 29,7 Mt CO <sub>2</sub> -ekv. Kustannustehokkuustarkastelun perusteella tavoite olisi saavutettavissa oletetulla perusuralla ja päästövähennystoimien kustannuksilla noin 60 €/t CO <sub>2</sub> marginaalikustannuksilla. Sekä perusuraan että kustannuksiin kuitenkin liittyy merkittäviä epävarmuuksia, joita ei arvioitu tässä tutkimuksessa. Alle 100 €/t CO <sub>2</sub> rajakustannuksilla olisi tehtyjen oletusten valossa mahdollista saavuttaa vähintään 28,8 Mt CO <sub>2</sub> -ekv. päästötaso vuonna 2020.		
Luottamuksellisuus	Julkinen	
Espoo, 1.4.2010		
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Tommi Ekholm, Tutkija	Ilkka Savolainen, Tutkimusprofessori	Sampo Soimakallio, Erikoistutkija, tiimipäällikkö
VTT:n yhteystiedot: Osoite: PL 1000, 02044 VTT • Puhelin: 020 722 111 • Faksi: 020 722 7001 • info@vtt.fi		
Jakelu Ympäristöministeriö, VTT		
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>		

## Alkusanat

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan EU:n parlamentin päätöksen Nro. 406/2009/EC, ts. päästökauppaan kuulumattomien sektoreiden päästövähennysvelvoitteiden, täyttämistä Suomen kannalta vuonna 2020, keskittyen erityisesti eri päästövähennystoimien kustannustehokkuuteen. Työ on ensimmäinen tarkastelu koko ei-päästökauppasektorin päästövähennystoimien kustannustehokkuudesta, ja sitä tullaan jatkamaan ja syventämään myöhemmissä tutkimuksissa.

Työ esittää tulokset Ympäristöministeriön VTT:ltä tilaamasta tutkimushankkeesta ”Kansainväliset ja EU:n ilmastopoliittiset taustaselvitykset jatko hanke – valmistautuminen EU:n ilmastotavoitteiden tiukentumiseen sekä Kööpenhaminan ilmastokokoukseen”. Tutkimus toteutettiin joulukuussa 2009 – maaliskuussa 2010. Tutkimuksen toteutti tutkija Tommi Ekholm tutkimusprofessori Ilkka Savolaisen ja erikoistutkija Sampo Soimakallion ohjauksessa. Ympäristöministeriön puolesta työtä ohjasivat neuvotteleva virkamies Magnus Cederlöf, ympäristöneuvos Jaakko Ojala sekä neuvotteleva virkamies Harri Laurikka.

Espoo 1.4.2010

Tommi Ekholm

## Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1 Johdanto.....	4
2 Vuoden 2005 päästöarvio .....	5
3 Liikenne .....	7
4 Lämmitys .....	8
5 F-kaasut.....	8
6 Maatalous .....	9
7 Jätehuolto .....	10
8 Biopolttoaineet .....	12
9 Vähennyskeinojen yhteenveto.....	15
Lähdeviitteet .....	18

## 1 Johdanto

Tässä tutkimusmuistiossa tarkastellaan päästökauppaan kuulumattomien sektoreiden (ei-PK-sektorit) päästövähennyksiä Suomessa ja vähennystoimien kustannustehokkuutta. Muistiossa päivitettiin kansallisessa Ilmasto- ja Energiastrategiassa (I&E -strategia) esitetty perusraskenaario liikenteen, jätehuollon ja F-kaasujen osalta siten, että uudessa perusrassassa huomioidaan:

- EU:n uusien henkilöautojen polttoainetehokkuus- ja biopolttoainetavoitteet
- Valtakunnallinen jätesuunnitelma (Huhtinen ym., 2007)
- EU:n F-kaasusäädös ja direktiivi ajoneuvojen ilmastointilaitteista

Päivitetyn perusrassan mukaiset päästöt vuonna 2020 ovat selkeästi alemmat kuin I&E -strategian esittämä arvio, ja siten lähempänä Suomen ei-PK-sektorin päästötavoitetta.

Muistiossa tarkastellaan potentiaalisia päästövähennyskeinoja eri ei-PK-sektoreilla, ja erityisesti niiden päästövähennyspotentiaalia suhteessa perusrassan päästöihin sekä vähennysten kustannuksia. Mahdollisia vaikutuksia PK- tai LULUCF-sektorin päästöihin, esimerkiksi kasvavan sähkönkulutuksen kautta, ei ole huomioitu, sillä tällaisten päästövaikutusten voidaan kustannusmielessä ajatella sisältyvän esimerkiksi kulutetun sähkön hintaan. Lisäksi Suomen ollessa vain tekijä osa EU:n päästökauppaneuvon mekanismeissa, lisääntyvän sähkönkulutuksen vaikutuksen päästöoikeuksien hintoihin voidaan olettaa olevan hyvin pieni.

Päästövähennysten yhteenvedona muistiossa esitetään arvio ei-PK-sektorin päästövähennysten marginaalikustannuskäyrästä, ja tarkastellaan Suomen ei-PK-sektorin päästövähennysvelvoitteen täyttämisen kustannustehokkuutta.

Osalle päästövähennyskeinoista sekä vähennyspotentiaali että kustannukset ovat hyvin epävarmoja. Lisäksi päästövähennyksiä voi olla mahdollista saavuttaa myös muilla keinoin kuin tässä muistiossa tarkastelluilla toimenpiteillä, esimerkiksi vaikuttamalla kaavoituksella yhdyskuntarakenteeseen ja kysynnän ohjauksella. Tällaisten vähennyskeinojen potentiaalien ja kustannusten kvantitatiivinen arvioiminen on kuitenkin erittäin haastavaa. Myös merkittävimmillä ei-PK-sektoreilla, liikenteessä ja maataloudessa, voi olla teknisiä vähennyskeinoja joita ei ole toistaiseksi tunnistettu tai jotka katsotaan toistaiseksi liian epävarmoiksi. Siten tutkimusta tulisi suunnata näiden epävarmuuksien pienentämiseksi ja mahdollisten uusien vähennyskeinojen tunnistamiseksi.

## 2 Vuoden 2005 päästöarvio

Taulukko 1 esittää sektoreittain I&E -strategiassa (TEM, 2008) laaditut ei-PK-sektorin perus- ja tavoiteurat vuodelle 2020, sekä päästöarviot vuosille 2005 ja 2006.

*Taulukko 1. Ilmasto- ja Energiastrategian perus- ja tavoiteurat ei-PK-sektoreille [Mt CO<sub>2</sub>-ekv.]. Viimeinen sarake kertoo I&E -strategian tavoiteurassa toteutuvan päästövähennyksen suhteessa perusuraan, ja siten eri sektoreiden välisten päästövähennystavoitteiden suhteista.*

Sektorit	2005	2006	2020		Vähennys vs. perusura
			Perusura	Tavoite-ura	
Liikenne	13.4	13.6	14.2	11.4	-20 %
Lämmitys	3.1	3	2.6	1.2	-54 %
Maatalous	5.6	5.6	5.5	4.9	-11 %
F-kaasut	0.9	0.8	1	0.7	-30 %
Jätehuolto	2.4	2.5	1.8	1.7	-6 %
Työkoneet	2.6	2.6	3	2.8	-7 %
Muut lähteet	7.4	7.4	7.9	6.9	-13 %
<b>Yhteensä</b>	<b>35.4</b>	<b>35.5</b>	<b>36</b>	<b>29.7</b>	<b>-18 %<sup>1</sup></b>

Tässä työssä tehtiin uusittu arvio vuoden 2005 päästöjen jakautumisesta eri päästökaupan ulkopuoleisille sektoreille. Arvio perustuu Suomen vuoden 2008 inventaariin sekä Tilastokeskuksen laskelmiin ei-päästökauppasektorin päästöistä sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä muutoin päästökauppasektoriin kuuluvilla teollisuudenaloilla. Arvio on esitetty taulukossa 2, jossa on vertailun vuoksi myös alkuperäinen I&E -strategian arvio.

Eroja arvioiden välillä on luokissa ”Lämmitys” ja ”Muut”, jotka ovat uusitussa arviossa jaoteltu inventaarin pohjalta tarkemmin kuin aiemmin I&E -strategiassa. On kuitenkin hyvä huomata, että ”Lämmitys” -päästöluokkaan on uudessa arviossa sisällytetty kaikki kotitalouksien, palveluiden ja instituutioiden sekä maa- ja metsätalouden päästöt, pl. maa- ja metsätalouden työkoneiden päästöt. Kyseisten päästöluokkien päästöt syntyvät lähes yksinomaan polttonesteiden käytöstä, mutta eivät välttämättä perustu täysin polttoaineiden käyttöön lämmityksessä.

On myös hyvä huomata, että typpihapon valmistuksen N<sub>2</sub>O-päästöt on sijoitettu taulukossa ei-PK-sektorille. Tämä päästöluokka kuitenkin siirtyy päästökaupan alaiseksi vuoden 2013 alusta, joten se ei ole relevantti Suomen ei-PK-sektorin päästövähennysten kannalta. Päästöluokka on kuitenkin sisällytetty muistion taulukoissa ei-PK -sektorille vertailtavuuden säilyttämiseksi I&E-strategiaan nähden.

Taulukosta 2 on myös hyvä huomata arvioiden väliset erot kokonaispäästöissä ja PK-sektorin päästöissä. Ei-PK-sektorilla on arvioiden välillä 0,2 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. ero. Suomen PK-sektorin todennetut päästöt vuonna 2005 olivat 33,1 Mt, mikä on 0,5 Mt

<sup>1</sup> -18 % päästövähennys perusurasta vastaa EU:n asettamaa -16 % vähennystä vuodesta 2005.

vähemmän kuin I&E -strategiassa ilmoitettu luku. Siten I&E -strategiassa arvioidut ei-PK-sektorin päästöt ovat myös arvioitu 0,5 Mt liian pieniksi.

Päästöinventaaareja laaditaan vuosittain, ja uusissa päästöinventaaareissa toisinaan myös päivitetään aiempina vuosina laadittuja inventaareja. Molemmat arviot on tehty vuonna 2008 laaditusta inventaarista vuodelle 2005, jonka mukaiset vuoden 2005 kokonaispäästöt ovat 69,0 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. Vuonna 2009 laadittu inventaario on kuitenkin päivittänyt vuoden 2005 päästöarvion hieman alemmas, arvoon 68,7 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.

Taulukko 2. Arvio vuoden 2005 päästöistä ei-päästökaupparektorilla Ilmasto- ja Energiastrategian sekä tässä työssä tehdyn arvion mukaan [Mt CO<sub>2</sub>-ekv.].

I&E-strat.		VTT
<b>13.4</b>	<b>Liikenne</b>	<b>13.4</b>
<b>3.1</b>	<b>Lämmitys</b>	<b>4.5</b>
	<i>Palvelut &amp; instituutiot</i>	1.1
	<i>Kotitaloudet</i>	2.4
	<i>Maatalous</i>	1.0
<b>5.6</b>	<b>Maatalous</b>	<b>5.6</b>
	<i>Eläimet</i>	2.4
	<i>Maaperä</i>	3.2
<b>0.9</b>	<b>F-kaasut</b>	<b>0.9</b>
<b>2.4</b>	<b>Jätehuolto</b>	<b>2.4</b>
<b>2.6</b>	<b>Työkoneet</b>	<b>2.6</b>
	<i>Rakennus</i>	1.0
	<i>Maa- &amp; metsätalous</i>	0.9
	<i>Muut</i>	0.7
<b>7.4</b>	<b>Muut</b>	<b>6.4</b>
	<i>PK-sektori<sup>2</sup></i>	0.6
	<i>Polttoainetuotanto</i>	0.4
	<i>Teollisuus (ei-PKS)</i>	1.7
	<i>Muu energiakäyttö</i>	1.4
	<i>Muut lähteet</i>	0.6
	<i>Teollisuuspros. N<sub>2</sub>O<sup>3</sup></i>	1.6
35.4	Ei-PKS yhteensä	35.9
33.6	Päästökaupassa	33.1
<b>69.0</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>69.0</b>

Eri sektoreilla tehtävissä olevia päästövähennyskeinoja on listattu sektoreittain taulukossa 3.

<sup>2</sup> Luokka ”PK-sektori ” sisältää kokonsa vuoksi päästökauppaan kuulumattomat sähkö- ja lämpölaitokset, sekä PK-sektorin CH<sub>4</sub> ja N<sub>2</sub>O -päästöt.

<sup>3</sup> Typpihapon valmistuksessa syntyvät N<sub>2</sub>O -päästöt siirtyvät päästökauppaan 2013 alkaen.

Taulukko 3. Ei-PK-sektorilla tehtävissä olevia päästövähennyskeinoja.

Liikenne	Polttoainetehokkuuden paraneminen Maakaasu raskaassa kaupunkiliikenteessä Biopolttoaineet (etanoli, biodiesel) Sähköautot
Lämmitys	Öljykattiloiden korvaaminen Bioöljy öljykattiloissa
Maatalous	Märehtijöiden päästövähennykset mm. ruokavalion kautta Lannan mädätys tai kompostointi Tehokkaampi typpilannoitteiden käyttö Typensitojakasvit Suorakylvö
F-kaasut	F-kaasuja korvaavat aineet (mm. CO <sub>2</sub> ) kylmlaitteissa
Jätehuolto	Biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoituksen vähentäminen Metaanin talteenotto
Työkoneet	Biopolttoaineet (biodiesel)

### 3 Liikenne

Liikenteen päästöille luotiin uusi perusraskenaario, perustuen Liikenne ja Viestintäministeriön ennusteisiin liikennesuoritteiden kehityksestä (LVM, 2009) sekä EU:n tavoitteisiin henkilöautojen polttoainetehokkuudesta ja biopolttoaineiden käytöstä. Perusraskenaariossa oletettiin uusien henkilöautojen saavuttavan EU:n päästötavoitteet, 140 g CO<sub>2</sub>/km vuonna 2012 ja 95 g CO<sub>2</sub>/km vuonna 2020 ja biopolttoainetavoitteen täyttämisen vähentävän liikenteen kokonaispäästöjä 10 % vuonna 2020. Henkilöautojen käyttöäksi oletettiin 20 vuotta. Näillä oletuksilla liikenteen päästöiksi vuonna 2020 ilman ylimääräisiä vähennystoimia saatiin 11.6 Mt CO<sub>2</sub>, ts. 2.6 Mt CO<sub>2</sub> vähemmän kuin I&E -strategian perusrassassa.

Raskaassa kaupunkiliikenteessä (kuorma-autot ja bussit) on mahdollista korvata osa kalustosta maakaasukäyttöisillä ajoneuvoilla maakaasun jakeluverkon alueella. Mikäli vuoteen 2020 mennessä vanheneva raskas kaupunkiliikennekalusto korvattaisiin maakaasukalustolla, olisi vähennysvaikutus noin 0.25 Mt CO<sub>2</sub>. Toimen marginaalikustannus on oletettavasti pieni, perustuen siihen että maakaasua käytetään jo nykyisellään osassa raskasta liikennekalustoa, ja riippuvainen maakaasun ja dieselin hintakehityksistä. Kaikkea kaupunkiliikenteen raskasta kalustoa tuskin todellisuudessa kuitenkaan voidaan korvata, johtuen mm. jakeluverkon kattavuudesta ja rajatusta käyttökohteista maakaasujoneuvojen vuotoriskin vuoksi, minkä perusteella toimen todellinen vähennyspotentiaali on todennäköisesti pienempi kuin yllä mainittu 0.25 Mt CO<sub>2</sub>.

Sähköautot voivat pidemmällä aikavälillä osoittautua hyvin potentiaaliseksi päästövähennyskeinoksi, etenkin tarkasteltaessa pelkkää ei-PK-sektoria. Sähköautojen tekniikka on kuitenkin vielä kehitysvaiheessa, ja merkittävin epävarmuustekijä sähköautojen yleistymisessä on akkutekniikan ja sen myötä akkujen hinnan kehitys. Erilaisilla oletuksilla hintakehityksestä saadaan sekä hyvin erilaisia skenaarioita sähköautojen yleistymisestä että erittäin paljon vaihtelevia päästövähennyskustannuksia. Karkean arviolaskelman perusteella



vähennyskustannus voi vaihdella negatiivisesta positiiviseen -370 €/t CO<sub>2</sub> ja 800 €/t CO<sub>2</sub> välillä. Siten sähköautojen markkinoille tulon ennustettavuus on hyvin huono. Yksi varovainen arvio (Nylund ym., 2009) on kuitenkin, että noin 4 – 5 % ajoneuvokilometreistä ajettaisiin vuonna 2020 sähkökäyttöisesti.

Vuoteen 2020 ulottuvissa skenaarioissa sähköautojen merkitys on kuitenkin oletettavasti vähäinen, sillä sähköautojen kustannusten arvioitiin pysyvän merkittävästi polttomoottoriautoja korkeamana seuraavan kymmenen vuoden ajan.

Biopolttoaineita on käsitelty omana lukunaan, niiden koskettaessa kolmea eri ei-PK-sektoria.

## 4 Lämmitys

Lämmityksen päästöt syntyvät polttoöljyn käytöstä. Päästöjen perusrana käytettiin I&E -strategian perusuraa. Vähennyskeinoja lämmityksen päästöille on välillä 2010 – 2020 uusittavien öljykattiloiden korvaus muilla lämmitysmuodoilla (sähkölämmitys, maalämpö, pelletit, kaukolämpö), uudempien öljykattiloiden ennaikainen korvaus, sekä biopolttoaineet, joita on käsitelty erikseen jäljempänä. Öljylämmityksen korvaaminen muilla lämmitysmuodoilla voidaan katsoa vähentävän päästöjä täysimääräisesti ei-PK-sektorilla, mutta lisäävän päästöjä PK-tai LULUCF-sektorilla. Tätä päästölisää muilla sektoreilla ei ole kuitenkaan huomioitu, vaan sen on ajateltu PK-sektorin osalta sisältyvän kulutetun sähkön tai kaukolämmön hintaan.

Jos oletetaan öljykattilan käyttöikäksi 20 vuotta ja nykyisen laitekannan ikäjakauma tasaiseksi, puolet öljykattiloista tullaan uusimaan ennen vuotta 2020. Öljykattiloiden muunlaisella järjestelmällä korvaamisen puhtaasti taloudelliset kustannukset arvioitiin pieniksi. Jäljellä olevaa laitekantaa voidaan uusida ennaikaisesti, jolloin joudutaan aikaistamaan investointeja 1-10 vuotta. Ennaikaisen korvaamisen aiheuttama päästövähennyskustannus, huomioiden vähennykset koko korvattavan laitteen lopulta elinajalta, arvioitiin olevan välillä 56 – 69 €/t CO<sub>2</sub>.

## 5 F-kaasut

F-kaasujen päästövähennyksistä Suomessa on tehty rajoitetusti tutkimuksia, ja olemassa olevat skenaariot perustuvat pääasiassa Oinosen ja Soimakallion (2001) työhön. Uudempia käyttökokemuksia ja ulkomaisia tuloksia on kuitenkin hyödynnetty mm. vuoden 2009 YK:n ilmastopöytäkirjalle toimitetussa maaraportissa (Alaja, 2009; National Communication, 2009).

Alajan (2009) kokoamien arvioiden mukaan päästövähennysten kustannukset vaihtelevat tärkeimmissä päästölähteissä (kauppojen ja teollisuuden kylmäkoneissa sekä rakennusten ja ajoneuvojen ilmastointilaitteissa) 19 €/t CO<sub>2</sub>-ekv. säästön ja n. 150 €/t CO<sub>2</sub>-ekv. kustannuksen välillä. Näissä lähteissä päästöjen lähes täydellinen vähentäminen on mahdollista vaihtoehtoisten kylmäaineiden käytön, mm. hiilidioksidin, avulla. Kauppojen ilmastointilaitteissa, jotka muodostavat n. 50 % F-kaasupäästöistä, vaihteluväli oli -19 – 57 €/t CO<sub>2</sub>-ekv. Kustannuksiin vaikuttavat mm. kylmälaitteiden koko (suuremmassa järjestelmässä pienemmät vähennyskustannukset), ja kustannussäästöjä on joissain tapauksissa mahdollista saavuttaa parantuneen energiatehokkuuden kautta. Taulukko 4 esittää tärkeimpien

lähteiden vähennyskustannuksia sekä osuuden vuoden 2020 F-kaasupäästöistä 2009 WM-skenaariossa (Alaja, 2009).

Vuoden 2009 maaraportin esittämässä WM-skenaariossa, joka huomioi EU:n F-kaasumääräykset ja ajoneuvojen ilmastointilaitteita koskevan direktiivin vaikutukset, F-kaasujen päästöt alenevat nykyisestä n. 0.9 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. noin 0.6 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuoteen 2020 mennessä. WM-skenaarion päästöt ovat siis myös selkeästi pienemmät kuin I&E -strategian perusuran 1.0 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. päästöprojektiio.

Vastaavassa WAM-skenaariossa, jossa HFC-aineiden käyttö kiellettiin uusissa kylmälaitteissa vuoden 2015 jälkeen, vuoden 2020 päästöt olivat 250 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. ja stabiloituvat 120 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. tasolle 2030 mennessä. Taulukossa 4 on esitetty tärkeimpien päästölähteiden vähennysprosentti WM- ja WAM-skenaarioiden välillä.

*Taulukko 4. Arvio tärkeimpien F-kaasulähteiden vähennyskustannuksista ja niiden osuus vuoden 2020 F-kaasupäästöistä WM-skenaariossa, ja päästövähennys WAM-skenaariossa (Alaja, 2009).*

	Vähennyskustannus €/t CO <sub>2</sub> -ekv	Osuus päästöistä WM, 2020	Päästövähennys WAM, 2020 kt CO <sub>2</sub> -ekv.
Kaupan kylmälaitteet	-19 – 57	50 %	260
Ilmastointi ja lämpöpumput	-3 – 150	17 %	36
Teollisuuden kylmälaitteet	24 – 68	12 %	30
Ajoneuvojen ilmastointi	11 – 158	10 %	5

## 6 Maatalous

Maataloussektorin päästöt koostuvat maatalousmaiden N<sub>2</sub>O-päästöistä, märehijöiden CH<sub>4</sub>-päästöistä sekä lannankäsittelyn CH<sub>4</sub>- ja N<sub>2</sub>O-päästöistä, joista selkeästi merkittävin on maaperän N<sub>2</sub>O. Päästövähennyksiä ja niiden kustannuksia on arvioitu Suomen osalta aiemmin, mutta ei kovin kattavasti. Tämän vuoksi päästövähennyskustannuksiin ja -potentiaaleihin keskittyvä lisätutkimus maatalouden päästövähennyksistä, esimerkiksi typpilannoitteen, suorakylvön tai typensitojakasvien käytöstä, olisi tärkeää.

Bionova Engineeringin (2008) raportissa kustannusten osalta tarkasteltiin maatalouden raportointisektorilta ainoastaan peltojen N<sub>2</sub>O-päästöjä. Bionovan tarkastelussa kuitenkin oli lähtöoletuksena, että kustannushaarukassa 10 – 40 €/t CO<sub>2</sub>-ekv. lähtökohtaisesti saavutetaan ei-PK-sektorin tavoitteen mukainen 16 % päästövähennys, ja raportissa esitetty kustannusarvio käsitti ainoastaan maatalojen lisäkustannuksesta syntyvät epäsuorat kustannukset. Mitään arvioita siitä, mitä vähennyskeinot käytännössä voisivat olla, tai mitkä niiden päästö- ja tuottavuusvaikutukset sekä kustannukset olisivat, ei Bionova Engineeringin (2008) raportissa kuitenkaan tehty.

Muita, kvalitatiivisia tarkastelukohteita olivat mm. lannankäsittely ja märehijöiden ruokavalion muutos, joista jälkimmäisestä raportissa virheellisesti todettiin että mahdollisia päästövähennyksiä ei ole mahdollista huomioida inventaarissa. Kummallekaan ei annettu kvantitatiivista arviota kustannuksista tai päästövähennyspotentiaalista.

Lannankäsittelyn kustannuksia on tarkasteltu lyhyesti selvityksessä lietteenkäsittelyn nykytilasta (Pöyry Environment Oy, 2007), jonka mukaan lietteen mädätyksen ja kompostoinnin investointi- ja käyttökustannukset laskevat noin tasolta 80 €/t

märkälietettä tasolle 35 €/t vuosittain käsiteltävän lietemäärän kasvaessa. Mikäli oletetaan tällä saavutettavan täydellinen päästövähennemä lannankäsittelyn päästöistä, olisi päästövähennyskustannus 730 – 1600 €/t CO<sub>2</sub>-ekv, riippuen tilan koosta. Maatilojen vähäisen lietteentuotannon vuoksi suurempien laitostokojen hyödyntäminen vaatisi usean maatilan lietteiden kokoamista yhteen, minkä myötä syntyisi myös kuljetuskustannuksia. Toisaalta käyttämällä yksinkertaisempia prosessivaihtoehtoja investointikustannuksia voidaan mahdollisesti pienentää<sup>4</sup>. Mikäli tuotetusta biokaasusta saadaan tuottoa 10 – 15 €/MWh (Pöyry Environment Oy, 2007), laskee kustannus arviolta tasolle 580 – 1500 €/t CO<sub>2</sub>-ekv., kun biokaasun saanto on 0,8 MWh/t märkälietettä<sup>5</sup>. Tällöin tulee maatilalla kuitenkin olla joko yhteys maakaasuverkkoon tai mahdollisuus myydä tuottamansa sähkö tai lämpö.

Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvityksessä (Hagström ym., 2005) tarkasteltiin pääasiallisena tapauksena biokaasun tuotannon kannalta edullista tapausta, suurikokoista sikatilaa. Tarkastelussa olleen tilan koko oli 65 % keskimääräistä tilakokoa suurempi, minkä lisäksi biokaasun saanto sianlannasta on selkeästi suurempi kuin naudanalannasta. Selvityksen perustapauksen kannattavuuslaskelman päästövähennyskustannus 4 % korkokannalla olisi 100 €/t CO<sub>2</sub>-ekv. Tämäntyyppinen tapaus on siten selkeästi kustannustehokkaampi kohde päästövähennyksille kuin maatalouden lietteenkäsittely keskimäärin.

Kansainvälisesti maatalouden vähennyspotentiaaleja on tutkinut mm US-EPA (2006). Tutkimuksessa huomioitiin useita vähennyskeinoja sekä lannankäsittelyssä, märehitijöiden metaanintuotannossa ja maaperän N<sub>2</sub>O-päästöissä. Tuloksena EU-15 -alueelle päästövähennykseksi perusurasta raportoitiin 30 \$/t CO<sub>2</sub>-ekv. kustannukseen asti noin 12 %, 60 \$/t CO<sub>2</sub>-ekv. kustannuksella noin 15 %. Maaperän N<sub>2</sub>O-päästövähennykset (lannoitustason vähentäminen) tosin johtivat osin myös tuotantotason pienenemiseen. Mikäli tätä arviota vähennyspotentiaalista kuitenkin sovelletaan suoraan Suomen päästöihin, olisi vähennys 2020 perusurasta 0,6 Mt-CO<sub>2</sub>-ekv. 37 €(2005)/t kustannuksella ja 0,8 Mt-CO<sub>2</sub>-ekv. 74 €(2005)/t kustannuksella.

## 7 Jätehuolto

Jätesektorin päästöille laskettiin uusi perusuraskenaario, käyttäen kotitalousjätteen käsittelylle inventaarilaskennan menetelmää sekä huomioiden Valtakunnallisen jätesuunnitelman (Huhtinen ym., 2007) projektiot jätteen hyödyntämiselle. Muiden jäteluokkien päästöjen oletettiin kehittyvän historiallisen kehityksen mukaisesti, ja näille luokille skenaarion projektiot ovat ekstrapoloituja arvoja historiallisista trendeistä. Kerätyn kaatopaikkakaasukapasiteetin arvioitiin pysyvän vuoden 2007 tasolla. Skenaariossa jätesektorin päästöt laskevat kuvan 1 mukaisesti vuonna 2020 tasolle 1.3 Mt CO<sub>2</sub>-ekv, eli 0.5 Mt CO<sub>2</sub>-ekv alemmaksi kuin I&E -strategian perusura.

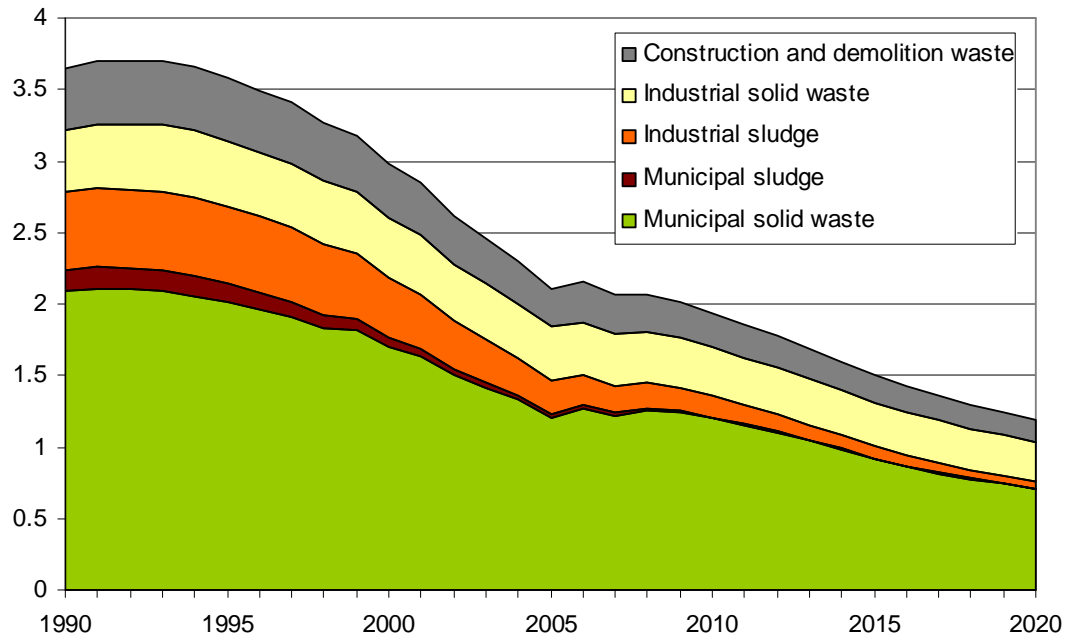
I&E -strategian taustalla olevaan sektoriselvitykseen (YM, 2008) verrattuna kuvan 1 skenaariossa ja Valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa on oletettu pienempi taso sekä

---

<sup>4</sup> Pöyryn pääasiallinen tarkastelukohde oli jätevesilietteen hyödyntäminen, jossa kokoluokka sekä toimintatavat poikkeavat selkeästi maatalouksien lietteiden käsittelystä.

<sup>5</sup> Hagström ym. (2005) perusteella arvioituna saanto vaihtelee välillä 0,2 - 0,9 MWh/t.

jätteen synnylle että kaatopaikkasijoitetulle osuudelle (jättesuunnitelmassa 21 %, sektoriselvityksessä 32 %). Kuvan 1 esittämässä skenaariossa on myös oletettu jäteveden käsittelystä syntyvien päästöjen vähenevän kohtalaisesti perustuen vuosien 1990 – 2007 väliseen trendiin. Sektoriselvityksessä näiden on oletettu pysyvän vuoden 2005 tasolla.



Kuva 1. Jättesektorin päästöt [Mt CO<sub>2</sub>-ekv.] Valtakunnallisen jättesuunnitelman huomioivalla uudella perusuralla vuoteen 2020.

Jätehuollon päästöjä voidaan vähentää etupäässä joko pienentämällä kaatopaikalle vietävän jätteen määrää, tai vaikuttamalla metaanin vapautumiseen talteenoton tai hapettamisen avulla. Keinot ovat päällekkäisiä, ja vähentämällä jätteen kaatopaikkasijoitusta muodostuvan metaanin määrä pienenee ja siten nostaan talteenoton tai hapettamisen päästövähennyskustannusta vähennettyä metaanitonnia kohti.

Kaatopaikkakaasun talteenotto soveltuu käytettäväksi suuremmilla kaatopaikoilla, ja sen päästövähennyskustannuksien on arvioitu vaihtelevan välillä 2.5 – 5 €/t CO<sub>2</sub>-ekv (Tuhkanen, 2002). Talteenoton saanto on noin 70 % syntyvästä metaanista. Pienemmillä kaatopaikoilla pintakerroksessa tapahtuvan metaanin hapetuksen kustannus olisi arviolta noin 15 – 20 €/t CO<sub>2</sub>-ekv., ja vähennys noin puolet syntyvästä metaanista (Tuhkanen, 2002).

Biohajoavan kotitalousjätteen kaatopaikkasijoitusta voidaan vähentää syntypaikkalajittelun ja lajittelemattoman jätteen polton avulla. Mroueh ym. (2007) arvioivat jätteenpolton ja energian hyötykäytön päästövähennyskustannusten pelkän kaatopaikkametaanin osalta olevan pääosin alle 20 €/t CO<sub>2</sub>-ekv. Toisaalta koska jätteenpoltoon perustuva energiantuotanto on myös kannattavaa liiketoimintaa, voidaan vähennyskustannuksen katsoa olevan negatiivinen koko kansantalouden kannalta. Päästövähennysten saavuttamiseksi ei-PK-sektorilla tämän vähennyspotentiaalin hyödyntäminen kuitenkin vaatii massapolton osalta massapolton siirtämistä PK-sektorin alaisuuteen.

Kuvan 1 esittämässä skenaariossa, joka vastaa Valtakunnallista jättesuunnitelmaa kotitalousjätteen käsittelyn osalta, kotitalousjätteestä sijoitettiin enää vain 21 %

kaatopaikoille vuonna 2015. Mikäli kaatopaikkasijoituksen osuus lasketaan nolnaan vuoteen 2015 mennessä, vuoden 2020 päästöt vähenevät kuvan 1 skenaariosta 0.27 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuodessa. Tällaisella täyskiellolla on kuitenkin pitkäaikaisia vaikutuksia jätteiden hitaan hajoamisen vuoksi, ja biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoituksen täyskiellosta syntyvä päästövähennys nouseekin 0.43 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. tasolle vuonna 2030, kun vertailukohtana on 21 %:n kaatopaikkasijoitettava osuus vuodesta 2015 eteenpäin. Mikäli täyskiellon lisäksi oletetaan hyödynnettäväksi metaanin talteenoton ja hapetuksen täysi teknistaloudellinen potentiaali (Tuhkanen, 2002), saadaan aikaan 0.16 Mt CO<sub>2</sub>-ekv lisävähennys, ja päädytään 1.1 Mt CO<sub>2</sub>-ekv kokonaispäästöihin jätesektorilla. Tällöin kuitenkin talteenoton kustannukset nousevat Tuhkasen (2002) arvioista karkeasti arvioituna noin tasolle 6 – 12 €/t CO<sub>2</sub>-ekv. ja hapetuksen noin 35 – 47 €/t CO<sub>2</sub>-ekv. tasolle.

## 8 Biopolttoaineet

Biopolttoaineet voidaan jakaa tätä tarkastelua varten neljään ryhmään:

- peltobiomassapohjainen etanoli tai diesel
- puubiomassapohjainen (hakkuutähteet) diesel
- jättejakeista valmistettu etanoli
- tuontibiomassapohjainen palmuöljydiesel tai etanoli

**Kotimaiseen peltobiomassaan** perustuvista biopolttoaineista on tehty tutkimuksia (mm. Soimakallio ym. 2009a; Soimakallio ym. 2009b), joissa on arvioitu biopolttoaineen tuotannon ja käytön lisäävän suurella todennäköisyydellä kokonaispäästöjä, kun biopolttoaineen ajatellaan korvaavan fossiilista polttoainetta. Merkittäviä tekijöitä ovat mm. tuotettuun energiamäärään nähden suuret maaperän ja lannoitteiden N<sub>2</sub>O-päästöt, joiden arviot ovat myös hyvin epävarmoja. Tämän lisäksi epävarmuuksia syntyy eri hyödykkeiden korvausvaikutuksista. Epäsuotuisan päästötaseen ja suurten epävarmuuksien vuoksi kotimaiseen peltobiomassaan perustuvat biopolttoaineet ovat ei-PK-sektorin päästövähennyskeinona hyvin kyseenalaisia.

**Puubiomassaan** perustuvan biodieseltuotannon voidaan etupäässä ajatella hyödyntävän hakkuutähteitä, joita ei muutoin hyödynnettäisi. Erään arvion mukaan tällaista, energiakäyttöön hyödynnettävissä olevaa biomassaa oli vuonna 2006 n. 50 TWh (Pöyry Energy, 2009). Jos oletetaan biodiesel-tuotannon saannoksi 60 % (McKeough ja Kurkela, 2008), tämä vastaisi energiasisällöltään 108 PJ biodieseliä, mikä on 60 % Suomen bensiinin ja dieselin kokonaiskulutuksesta. Olettaen hakkuutähteen korjuukustannukseksi 3.75 €/GJ keskimääräisellä 150 km kaukokuljetusmatkalla (Pöyry Energy, 2009), saadaan biodieselin kustannukseksi 16.1 €/GJ (McKeough ja Kurkela, 2008), mikä on noin 80 % suurempi kuin dieselin markkinahinnan keskiarvo vuonna 2009. Tämän perusteella metsähakedieselin päästövähennyskustannukseksi saadaan 92 €/t CO<sub>2</sub>.

Mikäli biodieseliä valmistetaan metsäbiomassasta, korjattu biomassa vähentää kuitenkin maaperän hiilitasetta, ja aiheuttaa siten nettopäästön LULUCF -sektorilla.

LULUCF -päästöjen laskentatavat ja tavoitteet ovat toistaiseksi vielä määrittelemättömiä, mikä hankaloittaa metsähakedieselin arvioimista päästövähennyskeinona. On arvioitu, että hiilitaseen kannalta tonni metsäbiomassaa korvaisi stand-alone -tuotantolaitoksella 0,3 – 0,4 tonnia hiiltä fossiilisissa polttoaineissa (Harlin ym, 2010). Mikäli oletetaan että tulevaisuudessa LULUCF- ja ei-PK-sektorin päästöillä on kustannuksiltaan verrattavissa oleva päästövähennysvelvoite, ja hyödynnettävä metsäbiomassa lasketaan LULUCF-tavoitteelle täysimääräisenä, olisi metsähakedieselin käyttö lyhyen aikavälin tavoitteiden mukaisena päästövähennyskeinona hyvin epäedullinen, sillä nielun vähenemä olisi noin kolme kertaa suurempi kuin fossiilisesta polttoaineesta saavutettava päästövähennys.

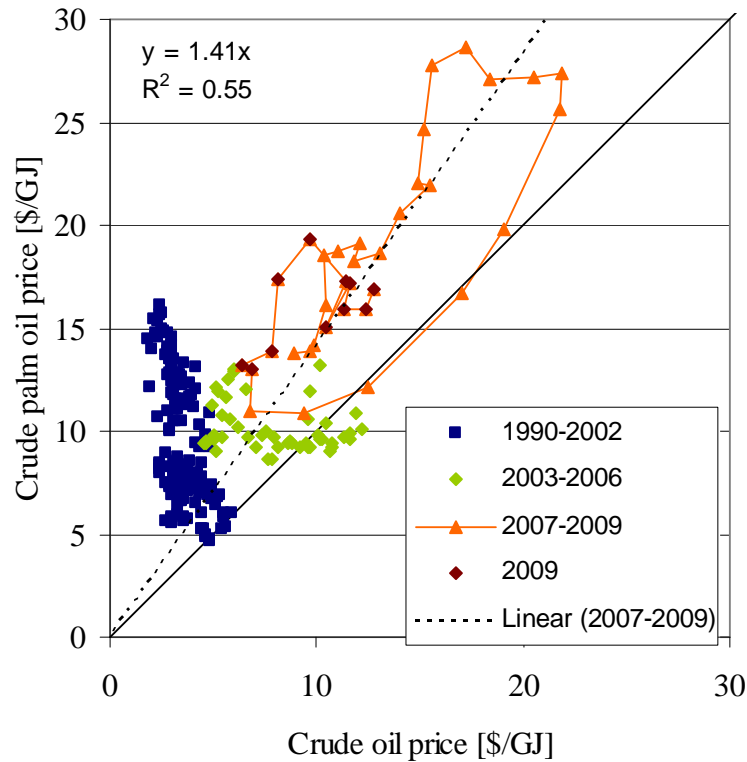
**Jätebiomassasta** valmistettu etanoli voi hyödyntää elintarviketeollisuuden jätteitä, erilliskerättyä biojätettä tai mahdollisesti pakkausjätettä ja olkea, jolloin raaka-ainekustannuksia voidaan vähentää. St1 on ottanut tavoitteekseen rakentaa näihin raaka-aineisiin perustuvaa etanolintuotantokapasiteettia 300 mln. l/a vuoteen 2014 mennessä. Yhtiö on arvioinut teoreettisen jäte-etanolin potentiaalisen olevan noin 500 – 600 mln. l/a, mikä vastaisi 12 PJ energiamäärää ja 6 % oletetusta liikennepolttoaineiden kulutuksesta Suomessa vuonna 2020. Tämän teoreettisen potentiaalisen tuoma päästövähennys olisi siten enintään 0,8 Mt CO<sub>2</sub>. Potentiaalista 87 % perustuu kuitenkin etanolituotantoon seka- ja pakkausjätteestä sekä oljesta, ja näitä jättejakeita hyödyntäviä laitoksia ei ole vielä toiminnassa, ja potentiaalisen realisoituminen on myös siten epävarmaa. Tuotannon kustannuksista ei ole tietoa.

Muistiossa ylempänä esitetyssä päivitettyssä liikenteen perusraskenaariossa oletettiin täytettäväksi EU:n 10 % biopolttoainetavoite. Mikäli jätebiomassapohjaisen etanolin tuotantokustannukset alittavat metsätähteestä tai tuontibiomassasta tuotetun biodieselin kustannukset, voidaan katsoa kaiken tuotettavan jätebiomassaetanolin sisältyvän jo perusuran biopolttoainetavoitteeseen, eikä sitä siten voida käsitellä perusuralle lisäisenä päästövähennyskeinona.

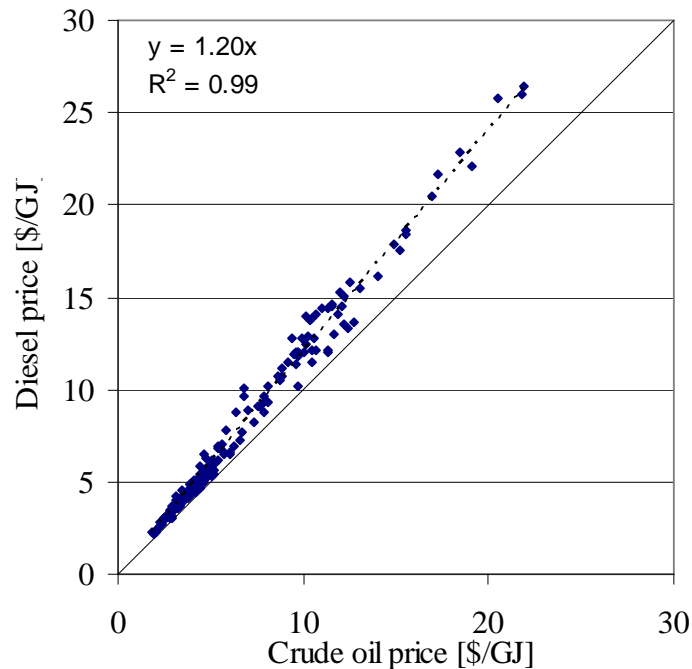
**Tuontibiomassaa** hyödyntävä biopolttoainetuotanto voisi perustua pääasiassa joko palmuöljyyn tai tuontietanoliin, joista tässä muistion luonnosversiossa käsitellään vain ensimmäistä. Laskennassa on oletettu että tuontiraaka-aineesta tuotettu biopolttoaine on Suomen päästölaskennassa päästöneutraalia, mutta sen soveltuvuutta EU:n biopolttoainetavoitteeseen ei tässä tarkasteltu.

Tarkastelussa oletettiin että rajoitteita palmuöljyn tuomiselle ei ole, jolloin määrääväksi tekijäksi nousee tuotettavan biopolttoaineen kustannus, tarkemmin ottaen kustannusero fossiiliseen dieseliin. Suomi voi pienenä maana ostaa palmuöljyä rajatta vaikuttamatta sen markkinahintaan. Palmuöljydieselin tuotantokustannuksen arvioitiin olevan 4,80 €/GJ (OECD, 2008).

Tarkasteltaessa raakaöljyn ja raakapalmuöljyn markkinahintojen historiaa, voidaan kuvasta Kuva 2 huomata että hinnat eivät ole korreloineet välillä 1990-2006, mutta vuodesta 2007 eteenpäin hintojen korrelaatio on ollut kohtalainen (R<sup>2</sup> = 55%), ja energiasisällöltään raakapalmuöljy on ollut keskimäärin 40 % raakaöljyä kalliimpaa. Dieselin ja raakaöljyn hintojen välinen korrelaatio (Kuva 3) on ymmärrettävästi korkea (R<sup>2</sup> = 99%), dieselin ollessa keskimäärin 20% raakaöljyä kalliimpaa.



Kuva 2. Raakaöljyn ja raakapalmuöljyn hintojen suhde 1990-2009.



Kuva 3. Raakaöljyn ja dieselin markkinahintojen suhde 1990-2009.

Mikäli vuosina 2007-2009 havaitun raakaöljyn ja raakapalmuöljyn hintojen kytkeytymisen oletetaan jatkuvan, voidaan raakaöljyn hintaprojektion perusteella arvioida palmuöljydieselin tuotantokustannuksen ero dieselin hintaan. Oletettaessa IEA:n World Energy Outlook 2008 -raportin mukainen raakaöljyn hinta,

108 \$(2005)/bbl (IEA, 2008), kustannusero on 12.6 €/GJ ja vastaava päästövähennyskustannus 170 €/t CO<sub>2</sub>.

## 9 Vähennyskeinojen yhteenveto

Tässä muistiossa päivitettiin eri ei-PK-sektoreiden päästöjen perusuraskenaario vuodelle 2020. Päivitetystä perusurassa on huomioitu jo tällä hetkellä olemassa olevina politiikkatoimina

- EU:n uusien henkilöautojen polttoainetehokkuus- ja biopolttoainetavoitteet<sup>6</sup>
- Valtakunnallinen jätesuunnitelma (Huhtinen ym., 2007)<sup>7</sup>
- EU:n F-kaasusäädös ja direktiivi ajoneuvojen ilmastointilaitteista<sup>8</sup>

Uusi perusura, sekä I&E -strategian perus- ja tavoiteurat, on esitetty taulukossa 5. Kuten taulukosta voidaan havaita, päivitetty liikenteen, jätehuollon ja F-kaasujen perusurat ovat selkeästi pienemmät verrattuna I&E -strategian perusurassa, ja jätehuollon ja F-kaasujen tapauksessa pienemmät myös verrattuna I&E -strategian tavoiteuraan. Täten tarvittava päästövähennys päivitetystä perusurasta EU:n asettamaan Suomen ei-PK-sektorin tavoitteeseen, 29.7 Mt -CO<sub>2</sub>-ekv., on selkeästi pienempi, vain 2.7 Mt -CO<sub>2</sub>-ekv.

Taulukko 5. Ilmasto- ja Energiastrategian perusura sekä muistiossa osin uusittu perusura vuodelle 2020 [Mt CO<sub>2</sub>-ekv.].

	I&E-strategia		VTT
	Perusura	Tavoite-ura	Perusura
Liikenne	14.2	11.4	11.6
Lämmitys	2.6	1.2	2.6
Maatalous	5.5	4.9	5.5
F-kaasut	1	0.7	0.6
Jätehuolto	1.8	1.7	1.2
Työkoneet	3	2.8	3.0
Muut lähteet <sup>9</sup>	7.9	6.9	7.9
<b>Yhteensä</b>	<b>36</b>	<b>29.7</b>	<b>32.4</b>

Päivitetty perusuraskenaario perustuu eri sektoreilta tehtyihin selvityksiin vuosilta 2007 – 2009, eikä siten huomioi kattavasti nykyisen taloudellisen taantuman vaikutuksia. Toisaalta tehtäessä projektioita nykyhetkestä kymmenen eteenpäin,

<sup>6</sup> Uusien henkilöautojen päästöt 140 g CO<sub>2</sub>/km vuonna 2012 ja 95 g CO<sub>2</sub>/km vuonna 2020, perustuen asetuksen 443/2009/EC tavoitteisiin. Polttoaineesta 10 % on oletettu päästöttömäksi (direktiivi 2009/28/EC).

<sup>7</sup> Yhdyskuntajätteestä 21 % osuus oletettu kaatopaikkasijoitettavaksi vuodesta 2016 alkaen.

<sup>8</sup> Säädös 842/2006/EC ja direktiivi 2006/40/EC.

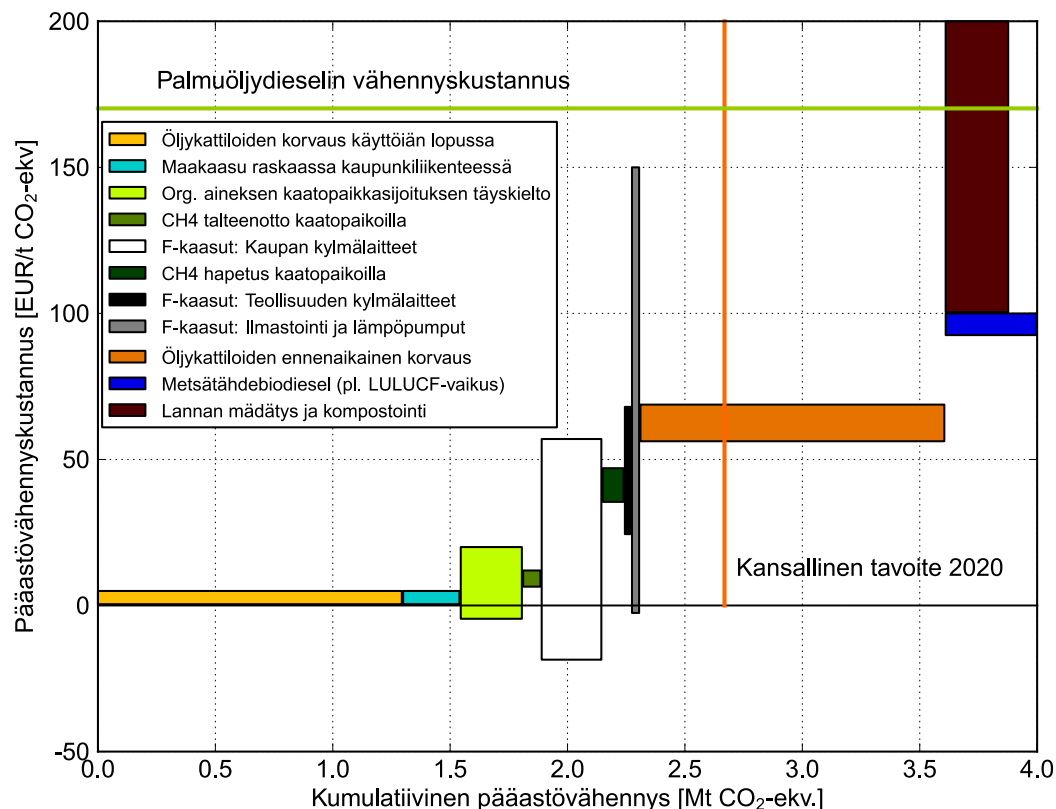
<sup>9</sup> Luokka ”Muut lähteet” sisältää teollisuuden N<sub>2</sub>O-päästöt, jotka siirtyvät 2013 alkaen päästökaupan piiriin. Tämä kuitenkin huomioidaan myös Suomen ei-PK-sektorin päästötavoitteessa, eikä siten vaikuta päästövähennysten absoluuttisten tonnimäärien tarkasteluun.



talouden suhdannevaihtelut välillä 2010 – 2020 tasoittavat nykyisen matalasuhdanteen vaikutusta vuoden 2020 projektioihin. Siten oletusarvoinen perusura voisi olla hieman taulukon 5 esittämää arviota pienempi, mutta myös suuremmat perusurapäästöt ovat projektion epävarmuuden valossa hyvin mahdollisia.

Muistiossa tarkasteltiin kultakin sektorilta erilaisia päästövähennyskeinoja ja esitettiin aiempien tutkimusten pohjalta niille päästövähennyspotentiaaleja sekä arvioita päästövähennysten kustannuksista. Useimpien päästövähennyskeinojen kustannuksiin liittyy kuitenkin suuria epävarmuuksia, ja systemaattista tutkimusta päästövähennyskustannusten selvittämiseksi ei ole useassa tapauksessa ole tehty. Merkittäviä taustatekijöitä ovat mm. hintaprojektiot (esim. öljy, sähkö, raakapalmuöljy, metsähake), investointikustannukset, vähennyskeinojen tehokkuus sekä päästölähteiden kokojakauma (esim. maatalojen tai kaatopaikkojen koko). Tässä muistiossa ei kuitenkaan arvioidu näiden tekijöiden epävarmuuksien vaikutusta tehtyihin kustannusarvioihin.

Kuva 4 esittää tarkasteltujen päästövähennyskeinojen kustannustehokkuutta. Kuvaajaan on merkitty osalle vähennyskeinoista kirjallisuuslähteiden antama kustannusten vaihteluväli, perustuen esim. F-kaasun osalta jäähdytyslaitteiston kokoon. Eri taustaoletusten tuomaa epävarmuutta ei ole huomioitu kuvaajassa. Kuvan 4 mukaisia päästövähennyskeinoja ja marginaalikustannustasoja on myös taulukoitu taulukossa 6.



Kuva 4 Arvioitujen päästövähennyskeinojen kumulatiiviset päästövähennykset sekä marginaaliset vähennyskustannukset. Vähennyskeinoille, joille kirjallisuudessa on annettu kustannusten vaihteluväli, on tämä väli merkitty keinojen kustannustasoksi.

Taulukko 6. Raportissa muodostetun perusuran päästöt, sekä neljä esimerkki päästötasoa, niiden vaatimat vähennykset perusurasta ja aiheutuvat marginaalikustannukset.

	VTT perusura	Päästövähennysskenaario			
	Päästöt	32.4	31	30.4	29.7
Vähennys perusurasta	-	1.4	2.0	2.7	3.9
Marginaalikustannus	-	5	57	69	100

Kuvasta 4 voidaan huomata, että ei-PK-sektorin tavoitteen täyttämiseksi tarvittavissa päästövähennyksissä marginaalikustannus nousee noin 60 €/t CO<sub>2</sub> -tasolle, mikä on selkeästi korkeampi kuin useat ennusteet päästökaupparektorin päästöoikeuksien hintakehityksestä vuodelle 2020 (esim. 25 €/t EU:n Komissiolle lasketussa PRIMES-09 -skenaariossa). Raportissa kuvatulla perusuralla nykyisen tavoitteen täyttämiseksi tarvittavat, kustannustehokkaiksi arvioidut vähennyskeinot käsittävät

- Öljyn korvaaminen muilla lämmitysmuodoilla; ml. noin kolmanneksen vielä 2020 muuten käytössä olevasta kapasiteetista ennenaikainen korvaaminen,
- Orgaanisen aineksen kaatopaikkasijoituksen täyskielto,
- Kaatopaikkakaasun talteenotto tai oksidointi kaatopaikan pintakerroksessa,
- HFC-yhdisteiden korvaaminen kaupan ja teollisuuden kylmälaitteissa sekä rakennusten ilmastoinnissa sekä lämpöpumpuissa,
- Maakaasun lisääminen raskaassa kaupunkiliikenteessä,

ja niiden toteuttamisen vaikutukset päästöihin on esitetty sektoreittain taulukossa 7.

Taulukko 7. Tässä raportissa uusittu perusura sekä kuvan 4 mukaisen, Suomen päästövähennysveloitteen kustannustehokkaasti täyttävät päästöt vuodelle 2020 [Mt CO<sub>2</sub>-ekv.].

	VTT		Vähennys perusurasta
	Perusura	Tavoite-ura	
Liikenne	11.6	11.3	-2 %
Lämmitys	2.6	0.9	-64 %
Maatalous	5.5	5.5	0 %
F-kaasut	0.6	0.3	-54 %
Jätehuolto	1.2	0.8	-37 %
Työkoneet	3.0	3.0	0 %
Muut lähteet <sup>10</sup>	7.9	7.9	0 %
Yhteensä	32.4	29.7	-8 %

Mikäli oletetaan päästöoikeuksien hinnan nousevan korkeammalle 60 €/t tasolle vuonna 2020, ei-PK-sektorilla olisi mahdollista tehdä arviolta vielä noin

<sup>10</sup> Luokka "Muut lähteet" sisältää teollisuuden N<sub>2</sub>O-päästöt, jotka siirtyvät 2013 alkaen päästökaupan piiriin. Tämä kuitenkin huomioidaan myös Suomen ei-PK-sektorin päästötavoitteessa, eikä siten vaikuta päästövähennysten absoluuttisten tonnimäärien tarkasteluun.

0.9 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. päästövähennyksiä yli tämänhetkisen kansallisen ei-PK-sektorin tavoitteen päästöoikeuksien hintaa vastaavilla kustannuksilla. Tätä suuremmilla päästövähennyksillä, ts. mikäli kansallinen ei-PK-sektorin tavoite olisi alle 28.8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.<sup>11</sup>, jouduttaisiin käyttämään epävarmempia päästövähennyksiä, joiden kustannukset olisivat arviolta yli 100 €/t CO<sub>2</sub>. Näistä potentiaalisin keino, metsätähdedieselin hyödyntäminen liikenteessä, lämmityksessä tai työkoneissa, voi aiheuttaa nettopäästöjä LULUCF -sektorilla, riippuen LULUCF -päästöjen laskentatavoista.

Yllä olevan perusteella nykyisen ei-PK-sektorin tavoitteen täyttämässä marginaalikustannukset nousisivat noin 60 €/t CO<sub>2</sub> tasolle, mikä on korkeampi kuin useimmat ennusteet päästökaupan päästöoikeuksien hinnoista vuodelle 2020. Siten ei-PK-sektorin päästötavoitteen tiukentaminen ei ole kustannustehokkuuden perusteella kannattavaa. Lisäksi, koska mahdollisuutta päästökaupan oikeuksien hinnan nousemisesta 100 €/t CO<sub>2</sub> tasolle vuonna 2020 voidaan pitää erittäin epätodennäköisenä, olisi tason 28.8 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. alittava ei-PK-sektorin tavoite kustannusten kannalta hyvin epäedullinen.

On kuitenkin hyvä huomata, että kahdella suurimmalla ei-PK-alisektorilla, liikenteessä ja maataloudessa voi olla mahdollista saavuttaa päästövähennyksiä joita tässä muistiossa ei ole tarkasteltu. Tällaisia keinoja voivat olla mm. kaavoitus, yhdyskuntarakenteen kehittäminen ja kysynnän ohjaaminen, mutta nämä eivät ole helposti tarkasteltavissa pelkkien rahallisten kustannusten kautta.

Lisäksi, mikäli päästöjen vähentämiseksi tehdään toimia, joita ei ole huomioitu tässä raportissa tai toteutetaan muista syistä toimia, jotka yllä on katsottu kustannusten kannalta tehottomiksi, vähentää tämä loogisesti muutoin vaadittavia päästövähennystoimia. Siten tällaisia kustannustarkastelun ulkopuolisia toimia toteutettaessa on mahdollista saavuttaa myös yllämainittuja päästötasoja alhaisemmat päästöt, mikäli hyödynnetään myös esimerkiksi 60 €/t CO<sub>2</sub> marginaalikustannukseen saakka oleva kustannustehokas päästövähennyspotentiaali.

## Lähdeviitteet

Alaja, T., 2009. *Emission abatement options and cost effects for fluorinated greenhouse gases – Emission projections for fluorinated greenhouse gases up to 2050*, Finnish Environment Institute (SYKE), 7.12.2009.

Bionova Engineering, 2008. *Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen kustannustehokas vähentäminen*.

Hagström, M., Vartiainen, E., Vanhanen, J., 2005. *Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys – loppuraportti*. Gaia Group Oy.

Harlin, A., Edelmann, K., Immonen, K., Mroueh, U-M., Pingoud, K. ja Wessman, H. 2010. *Industrial biomaterial visions. Spearhead Programme 2009-2013*. VTT Research Notes 2522.

---

<sup>11</sup> Tämä vastaa noin 20 % vähennystä Suomen 2005 ei-PK-sektorin päästöistä nykyisellä PK-sektoriijaolla, tai noin 21 % vähennystä vuoden 2012 jälkeisellä PK-sektoriijaolla.

- Huhtinen, K, Lilja, R, Sokka, L., Salmenperä, H., Runsten, S., 2007. *Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016 – Taustaraportti*, Suomen Ympäristö 16, Suomen Ympäristökeskus.
- IEA, 2008. *World Energy Outlook 2008*. OECD/IEA.
- LVM, 2009. *Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020*, Liikenne- ja viestintäministeriö, Ohjelmia ja strategioita 2/2009.
- McKeough, P. ja Kurkela, E., 2008. *Process evaluations and design studies in the UCG project 2004–2007*. VTT Research Notes 2434.
- National Communication, 2009. *Finland's Fifth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Ministry of the Environment and Statistics Finland, Helsinki. 280 p.
- Nylund, N-O, Sipilä, K., Mäkinen, T. ja Aakko-Saksa, P., 2009. *Polttoaineiden laatuporttatuksen kehittäminen*, VTT Tutkimusraportti VTT-R-4076-09, 2009.
- OECD, 2008. *Biofuel Support Policies, An Economic Assessment*.
- Oinonen, T. ja Soimakallio, S. 2001. *HFC- ja PFC-yhdisteiden sekä SF<sub>6</sub>:n päästöjen tekniset vähentämiskeinot ja niiden kustannukset Suomessa*, VTT Tiedotteita 2099.
- Pöyry Energy Oy, 2009. *Metsäbioenergian saatavuus energiantuotantoon eri markkinatilanteissa. Loppuraportti*.
- Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H. ja Paappanen, T., 2009a. *Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and heat generation in Finland – Dealing with the uncertainties*, Energy Policy, Vol. 37(1), ss. 80-90.
- Soimakallio, S., Antikainen, R. ja Thun, R., 2009b. *Assessing the sustainability of liquid biofuels from evolving technologies – A Finnish approach*. VTT Research Notes 2482.
- TEM, 2008. *Pitkän aikavälin ilmastoja energiastrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008*, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu – Energia ja ilmasto 36/2008.
- Tuhkanen, Sami, 2002. *Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto*, VTT Tiedotteita 2142.
- US-EPA, 2006. *Global Mitigation of Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases.*, EPA 430-R-06-005, United States Environmental Protection Agency.
- YM, 2008. *Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia – Ympäristöministeriön sektoriselvitys*, Ympäristöministeriön raporteja 19, 2008.