



Common metrics: lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen suhteellinen painotus ilmastopolitiikassa

Tomi J. Lindroos | Tommi Ekholm | Ilkka Savolainen



Common metrics: lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen yhteismitallista- minen ilmastopolitiikassa

Tomi J. Lindroos, Tommi Ekholm & Ilkka Savolainen

ISBN 978-951-38-7886-3 (nid.)

ISSN 2242-1211 (nid.)

ISBN 978-951-38-7887-0 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2012

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT

PL 1000 (Tekniikantie 4A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT

PB 1000 (Teknikvägen 4A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

Toimitus Marika Leppilahti

Kopijyvä Oy, Kuopio 2012

Common metrics: lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen yhteismitallistaminen ilmastopolitiikassa

Common metrics: comparing the warming effect of climate forcers in climate policy. **Tomi J. Lindroos, Tommi Ekholm & Ilkka Savolainen.** Espoo 2012. VTT Technology 57. 55 s. + liitt. 3 s.

Tiivistelmä

Käytännön ilmastopolitiikka edellyttää suhteellisen yksinkertaista tapaa verrata eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutusta. Muussa tapauksessa jouduttaisiin sopimaan esimerkiksi päästövähennystavoitteet jokaiselle kaasulle erikseen.

Tällä hetkellä eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutusta vertaillaan GWP-kertoimilla (Global Warming Potential). Käytettyjä GWP-kertoimia on päivitetty tieteellisen ymmärryksen lisääntyessä ja niihin vaikutetaan yleisesti suhteellisen tyytyväisiltä. Vuodesta 2005 alkaen GWP-kertoimille on kuitenkin esitetty useita vaihtoehtoja, joista tunnetuimpia ovat GTP-kertoimet (Global Temperature change Potential), jotka mittaavat muutosta lämpötilassa kuten yleiset ilmastopolitiikkatavoitteet.

Valintaa eri kertoimien välillä tulisi arvioida ilmastopolitiikan koherenssin lisäksi myös päästöjen rajoittamisen kustannustehokkuuden näkökulmasta. Tässä raportissa esitettyjen arvioiden perusteella GWP-kertoimien periaate voi olla vaikeampi ymmärtää, mutta ne ovat jo käytössä ja lisäksi ne olisivat kustannustehokkaampia kuin GTP-kertoimet.

Uusien kertoimien lisäksi keskusteluun on noussut myös aiemmin vähemmän esillä olleiden päästöjen vaikutus lämpenemiseen. Esimerkiksi musta hiili lämmittää voimakkaasti etenkin arktisilla alueilla. Toisaalta joillakin muilla päästöillä, kuten SO_x - ja NO_x -päästöillä, on viilentävä vaikutus. GWP- ja GTP-kertoimia voidaan soveltaa myös näihin päästöihin, mutta epävarmuudet arvioissa ovat vielä suhteellisen suuria.

Lyhytikäiset päästöt pienentäisivät EU:n vuoden 2000 laskennallisia kokonaispäästöjä arviolta noin prosentilla. Vaikutus johtuu lähinnä suurista NO_x - ja SO_x -päästöistä. EU:ssa pyritään saavuttamaan merkittäviä terveysvaikutuksia vähentämällä näitä päästöjä vuoteen 2020 mennessä, mutta samalla kumottaisiin arviolta noin 10 % ilmastopolitiikan tehosta. Arviot ovat alustavia ja niihin sisältyy erittäin suuret epävarmuudet.

Avainsanat common metrics, GWP, GTP, green house gas, short lived climate forcers, NO_x , SO_x , NH_3 , NMVOC, black carbon, organic carbon

Common metrics: comparing the warming effect of climate forcers in climate policy

Common metrics: lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen yhteismitallistaminen ilmastopolitiikassa. **Tomi J. Lindroos, Tommi Ekholm & Ilkka Savolainen**. Espoo 2012. VTT Technology 57. 55 p. + app. 3 p.

Abstract

Climate policy needs a relatively simple method to compare the warming effect of different greenhouse gases (GHGs). Otherwise it would be necessary to negotiate a different reduction target for each gas.

At the moment, Global Warming Potential (GWP) concept is used to compare different GHGs. Numerical values of GWP factors have been updated alongside with scientific understanding and majority seems content to the GWP. From 2005 onwards there have been many proposals of optional metrics. The most well known is Global Temperature change Potential (GTP) concept which measures the change of temperature as does global climate policies.

The decision between metrics is a multicriteria decision which should include at least the coherence with climate policy and cost efficiency. The GWP concept may be a little more difficult to understand than the GTP but it is more cost efficient.

Alongside with new metrics, scientists and politicians have started to discuss of new emission which have an effect on warming. These Short Lived Climate Forcers (SLCFs) have either warming or cooling effect. Their effect can be presented with GWP and GTP but the uncertainties in the emission factors are large.

In total, SLCFs reduce overall emissions of EU approximately 1% in year 2000. NO_x, SO_x (cooling) and black carbon (warming) emissions were the biggest factors. EU is planning to reduce the SLCF emissions to achieve health and environmental benefits, but at the same time this reduces the effect of EU's climate policies by approximately 10%. Uncertainties in the estimates are large.

Avainsanat common metrics, GWP, GTP, green house gas, short lived climate forcers, NO_x, SO_x, NH₃, NMVOC, black carbon, organic carbon

Alkusanat

Tämä raportti on osa ympäristöministeriön tilaamaa hankekokonaisuutta, jossa tarkastellaan kansainvälisen ilmastopolitiikan vaikutuksia Suomeen ei-päästö-kauppasektorin, muiden ilmansaasteiden ja yhteismitallistamiskertoimien näkökulmasta.

Hankkeen ohjausryhmään osallistuivat ympäristöministeriöstä Magnus Cederlöf, Paula Perälä ja Harri Laurikka. Työhön VTT:stä osallistuivat Tomi J. Lindroos, Tommi Ekholm ja Ilkka Savolainen.

Kaikki esitetyt tulokset ja mielipiteet ovat selkeästi siteeratusta lähteestä tai tutkijoiden omia. Tekijät haluavat kiittää ohjausryhmää hyvästä yhteistyöstä ja arvokasta kommentteista.

Espoo 11.10.2012

Tekijät

Contents

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat.....	5
1. Johdanto	9
2. Yleiskatsaus common metrics -aihealueeseen	10
2.1 Durbanin päätös 4/CMP.7 ja IPCC:n viides arviointiraportti	10
2.2 GWP- ja GTP-kertoimet	11
2.3 Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset lämmittävät päästöt.....	12
2.4 Metriikan tavoitteena tukea ilmastopoliittikka.....	13
3. Kuinka eri kaasujen lämmittävää vaikutusta voidaan verrata?.....	14
3.1 Global Warming Potential (GWP).....	14
3.2 Global Temperature change Potential (GTP).....	17
3.3 Muut ehdotetut metriikat.....	18
3.3.1 Kahden korin lähestymistapa.....	19
3.3.2 Aikariippuva GTP.....	19
3.3.3 Global Damage Potential (GDP).....	20
3.3.4 Global Cost Potential (GCP).....	20
3.3.5 Cost Effective Temperature Potential (CETP)	21
3.3.6 Vertailu eri metriikoiden kertoimista CH ₄ :lle.....	21
4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista	23
4.1 Päästökertoimet kiinnitetty useissa eri sopimuksissa.....	23
4.2 Kioton pöytäkirjan GWP ₁₀₀ -kertoimien päivittäminen 2015.....	24
4.2.1 Suomen ja EU27:n laskennalliset päästöt (SAR:n GWP ₁₀₀ → AR4:n GWP ₁₀₀).....	24
4.2.2 Globaalit laskennalliset päästöt (SAR:n GWP ₁₀₀ → AR4:n GWP ₁₀₀).....	26
4.3 GWP ₁₀₀ -kertoimien vaihtaminen GTP-kertoimiin	27
4.3.1 Suomen ja EU27:n laskennalliset päästöt (GWP ₁₀₀ → GTP)	28
4.3.2 Globaalit laskennalliset päästöt (GWP ₁₀₀ → GTP).....	31

4.3.3 Eri metriikoiden vaikutus globaaleihin vähennyskustannuksiin ...	33
5. Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset ilmastoa lämmittävät ja viilentävät päästöt.....	35
5.1 Vuoden 2000 päästöjen vaikutus lämpenemiseen.....	35
5.2 Muiden ilmansaasteiden vaikutus lämpenemiseen.....	37
5.3 Mustan ja orgaanisen hiilen vaikutus lämpenemiseen	38
5.4 Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten päästöjen esittäminen GWP- ja GTP-kertoimilla.....	39
5.5 Suomen ja EU:n Kioton ulkopuoliset päästöt CO ₂ -ekvivalenteina.....	41
6. Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten kaasujen rajoittamisen vaikutukset lämpenemiseen ja terveyteen	44
6.1 Mustan ja orgaanisen hiilen päästöjen vähentäminen globaalisti	44
6.2 Muiden ilmansaasteiden vähentämisen vaikutukset Euroopassa	45
7. Yhteenveto	49
7.1 Päästökertoimet ilmastopolitiikan tavoitteiden tukena.....	49
7.2 Lyhytikäiset päästöt sekä lämmittävät ja viilentävät.....	50
7.3 Aihe esillä lähitulevaisuudessa.....	51
Lähteet.....	52

Liite 1: Tarkempi arvio lyhytikäisten päästöjen vaikutuksesta lämpenemiseen

1. Johdanto

Common metrics -käsitteellä tarkoitetaan eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutuksen vertailussa käytettäviä menetelmiä sekä tarvittavia oletuksia ja valintoja. Suomeksi voidaan puhua yhteismitallistamisesta. Aihe kattaa myös tehtävien valintojen vaikutusarviot, kuten kustannustehokkuusarviot. Tässä raportissa esitetään suhteellisen yksinkertainen ja kattava yhteenveto common metrics -teemasta.

Aihe on ajankohtainen, sillä joistakin lyhyen aikavälin uudistuksista laskentäsääntöihin on jo päätetty kansainvälisissä ilmastoneuvotteluissa ja useista pitkän aikavälin kehitystarpeista käydään aktiivista tieteellistä ja poliittista keskustelua.

Yleisesti kasvihuonekaasujen lämmittävää vaikutusta verrataan ns. Global Warming Potential (GWP) -painokertoimilla, joilla eri kaasujen lämmittävä vaikutus muunnetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂-ekv). Käytetyt painokertoimet vaikuttavat käytännön ilmastopoliittikkaan, sillä niillä lasketaan maiden kasvihuonekaasupäästöt YK:n ilmastopimuksen mukaisessa kasvihuonekaasuinventaariossa, päästövähennystavoitteet ja moni muu ilmastopoliittikan kannalta keskeinen tekijä.

Käytettävien kertoimien muuttaminen on hyvinkin todellinen vaihtoehto, sillä Durbanin ilmastokokouksessa päätettiin (4/CMP.7), että Kioton pöytäkirjan toisella velvoitekaudella siirrytään käyttämään hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n neljännen arviointiraportin GWP-kertoimia, kun ensimmäisellä velvoitekaudella käytettiin toisen arviointiraportin kertoimia. Erot ovat suhteellisen pieniä, suurimmillaan noin 20 %, mutta ne voivat vaikuttaa ratkaisevasti mm. eri päästövähennystoimien kustannustehokkuuteen ja CDM-projektien kannattavuuteen.

Samassa Durbanin päätöksessä pyydettiin, että SBSTA (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice) tekee selvityksen eri vaihtoehdoista, joilla kasvihuonekaasupäästöjä voidaan yhteismitallistaa. Myös joidenkin lyhytikäisten lämmittävien päästöjen, kuten mustan hiilen, rajoittamista on ehdotettu.

Politiikan jatkuvuuden näkökulmasta käytetyt kertoimia ja rajoitettavia päästöjä ei voida jatkuvasti vaihtaa, mutta toisaalta uutta luonnontieteellistä ymmärrystä ei tulisi täysin sivuuttaakaan.

Lukuun 2 on koostettu lyhyt yleiskatsaus, luvussa 3 tarkastellaan erilaisia tapoja verrata eri päästöjen lämmittävää vaikutusta ja luvussa 4 arvioidaan yhteismitallistamiskertoimien vaihdon vaikutuksia. Luvussa 5 käsitellään Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten päästöjen lämmittävää ja viilentävää vaikutusta ja luvussa 6 arvioidaan näiden päästöjen vähentämisen vaikutuksia lämpenemiseen.

2. Yleiskatsaus common metrics -aihealueeseen

Common metrics -teema on ajankohtainen sekä lyhyen että pitkän aikavälin ilmastopolitiikan kannalta. Esimerkiksi Durbanin ilmastokokouksen päätöksessä (4/CMP.7) päätettiin ottaa käyttöön päivitetty IPCC:n painokertoimet kasvihuonekaasuille Kioton toiselle velvoitekaudelle ja todettiin, että GWP-kertoimia ei valittu erityisesti politiikkatavoitteiden näkökulmasta ja että vaihtoehtoiset metriikat saattavat olla suositeltavia.

2.1 Durbanin päätös 4/CMP.7 ja IPCC:n viides arviointiraportti

Durbanin ilmastokokouksessa päätettiin, että vuoden 2015 raportoinnissa otetaan käyttöön hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) neljännen arviointiraportin AR4:n mukaiset GWP₁₀₀-kertoimet (päätös 4/CMP.7). Kioton pöytäkirjan ensimmäisellä velvoitekaudella käytetään toisen arviointiraportin kertoimia (IPCC 1995). Lisäksi Durbanissa päätettiin ottaa käyttöön vuoden 2015 raportoinnissa myös IPCC:n vuoden 2006 raportointiohjeet, mutta tässä raportissa käsitellään käytettävän metriikan vaikutuksia maiden ja sektoreiden päästöihin.

Durbanissa päätetyt muutokset GWP-kertoimiin eivät koske suoraan EU:n päästökauppaa, jossa käytetyt kertoimet on määritelty päästökauppadirektiivissä ja kansallisessa lainsäädännössä. Toisaalta on mahdollista, että EU:ssa päätettäisiin päivittää myös päästökaupan käyttämät kertoimet ja päästöjen laskentamenetelmät. Myös ei-päästökauppasektorilla saatetaan siirtyä käyttämään uusia kertoimia ja laskentasääntöjä.

Hiilidioksidin painokertoimeen muutos ei vaikuta, sillä muiden kaasujen lämmitävää vaikutusta verrataan hiilidioksidiin, joten hiilidioksidin kerroin on aina 1. Metaanin kerroin kasvaa Kioton pöytäkirjan toisella velvoitekaudella nykyisestä 21:stä 25:een eli noin 20 %. Typpioksiduulin kerroin pienenee 310:stä 298:aan eli muuttuu noin -5 %. Käytettävien kertoimien erot ovat suhteellisen pieniä, mutta ne

voivat vaikuttaa ratkaisevasti mm. eri päästövähennystoimien kustannustehokkuuteen ja CDM-projektien kannattavuuteen. Kertoimien vaihdon vaikutuksia on arvioitu luvussa 4.

Kioton pöytäkirjan GWP-kertoimien päivityksen lisäksi kansainvälisissä ilmastoneuvotteluissa on käyty laajempaa keskustelua suuremmista periaatteellisista muutoksista kansainväliseen ilmastopimusarkkitehtuuriin. Keskeisiä aiheita common metrics -teemasta ovat olleet GWP-kertoimien vaihtoehdot ja Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten kaasujen liittäminen rajoitusten piiriin. Molemmat aihepiirit tunnistettiin Durbanin päätöksessä 4/CMP.7 ja SBSTA:ta (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice) pyydettiin valmistelemaan selvitys aiheesta.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) järjesti huhtikuussa common metrics -työpajan, jossa käsiteltiin laajemmin uutta tieteellistä tietoa, tavoitteita poliittisesta näkökulmasta ja näiden muotoilemista yhdeksi metriikaksi. Työpajasta on kirjoitettu yhteenveto (UNFCCC 2012a) ja lyhyet johtopäätökset (UNFCCC 2012b), joissa lähinnä tunnustettiin asian tärkeys ja pyydettiin IPCC:ltä kattavaa esitystä aiheesta SBSTA:n kokoukseen vuodelle 2014 (40. SBSTA-kokous), kun viidennen arviointiraportin kirjoitustyö on valmistunut. Alustavan aikataulun mukaan IPCC:n WGI hyväksytään syyskuussa 2013 ja WGIII keväällä 2014.

IPCC:n viidennes arviointiraportti käsittelee common metrics -teemaa kattavasti, ja sen ensimmäisen osan toinen luonnos lähetettiin osapuolille kommentoitavaksi vuoden 2012 lokakuussa. Raportin ensimmäinen luonnos oli asiantuntijoiden kommentoitavana talvella 2012. On todennäköistä, että IPCC:n uusi arviointiraportti muodostaa kattavan pohjan tulevalle common metrics -keskustelulle, kuten aiemmatkin arviointiraportit. Raportin pohjana ollut tieteellistä kirjallisuutta on käytetty myös tämän raportin taustamateriaalina.

2.2 GWP- ja GTP-kertoimet

GWP- ja GTP-kertoimien periaatteita käydään tässä läpi yleisellä tasolla ja tarkemmin luvussa 3. Kertoimien vaihdon vaikutuksia arvioidaan luvussa 4.

Tällä hetkellä kasvihuonekaasujen päästöjä verrataan toisiinsa GWP-kertoimilla (Global Warming Potential), mutta mm. kansainvälisissä ilmastoneuvotteluissa niille on esitetty vaihtoehdoksi GTP-kertoimia (Global Temperature change Potential). Käytettävät kertoimet vaikuttavat maiden laskennallisiin päästöihin, päästövähennysvelvoitteisiin ja eri päästövähennyskeinojen kustannustehokkuuteen.

Kertoimien periaatteellinen ero on se, että GTP tarkastelee lämpötilan muutosta valitun ajan päästä ja GWP tarkastelee lämmitysenergian muutosta valitun ajanjakson aikana. Rajusti yksinkertaistettuna ero näiden kahden välillä on sama kuin se, että kuinka paljon mökkiä lämmitetään siellä oltaessa (GWP) ja kuinka lämpimäksi mökki jää, kun sieltä lähdetään pois (GTP).

Yleensä kertoimet lasketaan päästöpusseille (esimerkiksi kilogramma CO₂:ta ja kilogramma CH₄:ää), joiden vaikutusta vertaillaan toisiinsa. Aiemman mökkiesi-

2. Yleiskatsaus common metrics -aihealueeseen

merkin mukaisesti arvioitaisiin, kuinka paljon yksi takallinen puuta lämmittäisi mökkiä siellä oltessa (GWP) ja kuinka lämpimäksi mökki jäisi, kun sieltä lähdetään pois (GTP).

Käytännön politiikan kannalta suurin ero GTP- ja GWP-kertoimien välillä on metaanin ja muiden lyhytaikaisten kasvihuonekaasujen kertoimessa. GTP-kertoimilla mitattuna metaanin painoarvo on huomattavasti paljon pienempi kuin GWP-kertoimilla mitattuna.

GTP-kertoimiin siirtyminen käytännössä pienentäisi metaanin päästökerrointa ja siten metaanin roolia kansainvälisessä ilmastopolitiikassa. Esimerkiksi moni CDM-projekti perustuu metaanipäästöjen vähentämiseen, jolloin ne saattaisivat muuttua kannattamattomaksi eikä niistä välttämättä saataisi enää juurikaan päästöoikeuksia.

GWP-kertoimien laskennassa joudutaan tekemään useita oletuksia ja yksinkertaistuksia, mutta GTP-kertoimien arvioiminen on vielä mutkikkaampaa. Molempiin sisältyy suuria epävarmuuksia, joita IPCC:n viides arviointiraportti ilmestyyään selventänee.

2.3 Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset lämmittävät päästöt

Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasujen lisäksi ihmiskunta tuottaa useita muita lämpenemiseen vaikuttavia päästöjä, mutta ne on jätetty Kioton pöytäkirjan ulkopuolelle, koska niiden kokonaisvaikutus on keskimäärin pieni ja riippuu voimakkaasti siitä, missä päästöt vapautuvat, jolloin eri maiden päästöjä ei voi suoraan vertailla toisiinsa.

Toisaalta viime vuosina joitakin lyhytikäisiä päästöjä on haluttu mukaan rajoitusten piiriin, sillä esimerkiksi mustan hiilen lämmittävä vaikutus arktisilla alueilla on suuri. Yhdysvallat on edistänyt kansainvälisiä keskusteluja tällä rintamalla, ja on perustettu muun muassa ns. musta hiili -koalitio (Climate and Clean Air Coalition to Reduce Short-Lived Climate Pollutants), johon Suomikin liittyi vuonna 2012. Koalition tavoitteena on ”edistää keskustelua lyhytvaikutteisista ilmastomuutosta aiheuttavista ilmansaasteista sekä etsiä parhaita ratkaisuja kansallisiksi ja alueelliseksi keinoiksi päästöjen vähentämiseksi” (YM 2012).

Lisäksi useita lämpötilaan vaikuttavia päästöjä rajoitetaan mm. terveydellisistä syistä ja ympäristön suojelemiseksi. Esimerkiksi EU:n uuden päästökattodirektiivin olisi tarkoitus asettaa päästörajat mm. typen ja rikin oksideille, jotka keskimäärin viilentävät ilmastoa. Kun näiden päästöjen määrät pienenevät, kokonaislämmitysvaikutus hieman kasvaa. Toisaalta muita ilmansaasteita vähentämällä saavutetaan muita ympäristöllisiä ja terveydellisiä hyötyjä.

Muita ilmastoa lämmittäviä ja viilentäviä päästöjä on käsitelty tarkemmin luvussa 6 ja niiden vähentämisen vaikutuksien suuruusluokkaa on arvioitu luvussa 7.

2.4 Metriikan tavoitteena tukea ilmastopolitiikkaa

On tärkeää muistaa, että käytetty metriikka ei vaikuta fysikaaliseen todellisuuteen. Metaani lämmittää ilmastoa fysikaalisten ominaisuuksiensa mukaan kansainvälisissä sopimuksissa käytettävistä kertoimista riippumatta. Yhteismitallistamisker-
toimet ovatkin mm. tilastoinnin ja politiikanteon välineitä, joiden tarkoitus on helpot-
taa monimutkaisen asian käsittelyä sekä politiikan suunnittelua ja seurantaa.

Metriikan tavoitteena voidaankin pitää politiikkatoimien tukemista. Näin ollen politiikan tavoitteet asettavat vaatimuksia käytettävälle metriikalle, jonka tulee tarjota tietoa politiikan suunnitteluun ja seurantaan.

Ilmastopimuksen tavoitteet on kirjoitettu sopimuksen artiklaan 2: tavoitteena on vakauttaa ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksien nousu vaarattomalle tasolle, joksi Kööpenhaminan sitoumuksen perusteella voidaan tulkita kahden asteen lämpötilan nousua esiteolliselta ajalta vastaava taso, ja toisaalta tavoitteena on rajoittaa muutosnopeus sellaiseksi, että ekosysteemien sopeutuminen, ravinnontuotanto ja taloudellinen toiminta eivät vaarannu. Näistä kahdesta hiukan erilaisesta tavoitteesta tulee haasteita metriikan kehittämiseen.

Ilmastopimuksen yleiset tavoitteet antavat raamit poliittiselle toiminnalle, mutta käytännön politiikassa vuosittaiset kustannukset ja tukitarpeet nousevat usein keskeisiksi rajoitteiksi. Käytettävä metriikka vaikuttaa myös näihin, sillä painoker-
toimet muodostuvat käytännössä myös hintakertoimiksi eri kaasujen välille. Ilmas-
topoliitiikan kustannusten kannalta käytettävillä kertoimilla on väliä. Kioto-
kertoimien päivityksen vaikutusta kansallisiin päästövähennyskustannuksiin on arvioitu luvussa 4.2 ja eri metriikoiden vaikutuksia globaaleihin vähennyskustan-
nuksiin on arvioitu tarkemmin luvussa 4.3.

3. Kuinka eri kaasujen lämmittävää vaikutusta voidaan verrata?

Eri kasvihuonekaasujen lämmittävä vaikutus joudutaan käytännön syistä laskemaan yhdellä yksiköllä, hiilidioksidiekvivalenteina. Muuten jouduttaisiin mm. sopimaan päästövähennystavoitteet jokaiselle kaasulle erikseen. Yleisesti eri kaasuja verrataan ns. Global Warming Potential (GWP) -kertoimilla. IPCC:n arvio GWP-kertoimista on tarkentunut vuosien varrella, ja lisäksi GWP-kertoimille on esitetty muitakin vaihtoehtoja. Aiheeseen liittyvä keskustelu on kirjoitushetkellä vilkasta ja tässä luvussa esitetään yhteenveto eri vaihtoehdoista kasvihuonekaasujen lämmittävän vaikutuksen yhteismitallistamiseen.

3.1 Global Warming Potential (GWP)

GWP-kerroin kuvaa kaasun lämmitysvaikutuksen voimakkuutta suhteessa hiilidioksidin lämmitysvaikutukseen. Mitä suurempi kerroin on, sitä voimakkaammin kaasu lämmittää ilmakehää. Muiden kasvihuonekaasujen GWP-kertoimet ovat yleensä kymmeniä tai satoja kertoja hiilidioksidia suurempia, mutta ihmisen toiminnasta vapautuu muita kasvihuonekaasuja määrällisesti niin paljon vähemmän, että hiilidioksidin lämmitysvaikutus on suurempi kuin kaikkien muiden kaasujen yhteensä.

Kiotoon pöytäkirjassa otettiin käyttöön IPCC:n toisessa arviointiraportissa vuonna 1995 julkaistut GWP₁₀₀-kertoimet, jotka pyrkivät kuvaamaan, kuinka paljon eri kaasut lämmittävät maapalloa 100 vuoden aikana. Tällä hetkellä GWP₁₀₀-kertoimia käytetään ilmastopimukselle tehtävän raportoinnin lisäksi hyvin laajasti mm. EU-direktiiveissä, CDM-oikeuksissa ja erilaisissa ympäristöselvityksissä. Joissakin yhteyksissä, kuten EU:n kestävyyskriteerien laskennassa, käytetään IPCC:n kolmannen arviointiraportin kertoimia, ja kansainvälisissä ilmastoneuvotte- luissa on sovittu, että vuonna 2015 tehtävästä päästöjen raportoinnista alkaen käytetään GWP₁₀₀-kertoimia IPCC:n vuoden 2007 arviointiraportista. GWP₁₀₀-kertoimien laskutapaa on havainnollistettu kuvassa 3.1.

3. Kuinka eri kaasujen lämmittävää vaikutusta voidaan verrata?

$$\text{GWP}_{100} = \frac{\text{Esim. metaanipäästön säteilypakotevaikutus 100 v. aikana}}{\text{vastaavan CO}_2\text{-päästön säteilypakotevaikutus 100 v. aikana}}$$

Kuva 3.1. GWP₁₀₀-kertoimien laskemisen yleisperiaate. Käytännössä laskenta sisältää lukuisia oletuksia mm. kaasujen elinajoista ilmakehässä ja säteilypakotteen suuruuksista. Säteilypakotteella (radiative forcing) tarkoitetaan ilmakehään imeytyvää lämpötehoa, jota yleensä mitataan yksiköllä wattia per neliometri (W/m²). Säteilypakotevaikutus on kasvihuonekaasuilla positiivinen, eli lämmittävä, mutta joillakin lyhytikäisillä kaasuilla se voi olla myös negatiivinen.

Astetta monimutkaisemmin sanottuna GWP-kertoimien fysikaalinen periaate on seuraava: GWP on tarkastellun kaasun massayksikköpäästöstä tarkastelujakson puitteissa ilmakehä–pinta-järjestelmään absorboitunut energia suhteessa hiilidioksidin massayksikköpäästön aiheuttamaan vastaavaan energiaan. Tarkasti ilmaistuna kasvihuonekaasut eivät siis lämmitä ilmakehää eivätkä maapalloa, vaan ilmakehä–pinta-järjestelmää, joka sisältää ilmakehän, meren pintakerroksen ja maanpinnan.

GWP-kertoimiin liittyy kohtalaisen suuri epävarmuus, mikä johtuu mm. epävarmuuksista kaasujen elinajoista ilmakehässä ja todellisten lämmitysvaiikutusten suuruuksista. IPCC:n (2001) kolmannen arviointiraportin mukaan epävarmuus on suuruusluokkaa ± 35 %.

IPCC on päivittänyt GWP-kertoimia kolmannessa (2001) ja neljännessä (2007) arviointiraportissaan. Viime vuosina julkaistut tieteelliset tutkimukset antavat aihetta päivittää kertoimia myös seuraavassa arviointiraportissa, joka julkaistaan loppuvuodesta 2013. Eri arviointiraporttien ja uusien tieteellisten julkaisujen GWP₁₀₀-kertoimet on koottu taulukkoon 3.1.

Metaanin GWP₁₀₀-kerroin on kasvanut hieman jokaisessa IPCC:n arviointiraportissa, ja uusimpien tutkimusten mukaan metaanin kertoimen tulisi olla 27, jos huomioidaan metaanin vaikutus aerosoleihin ilmakehässä. Jos huomioidaan myös metaanipäästöjen epäsuorat vaikutukset ilmakehässä, jotka koostuvat mm. vaikutuksista CO₂-pitoisuuteen, vesihöyryyn, otsoniin ja kasvillisuuteen, metaanin GWP-kerroin voisi olla jopa 34 (Shindell et al. 2009).

Eri kasvihuonekaasujen elinajat vaihtelevat ja lämmitysvaiikutuksen yhteismitallistamiskerroin riippuu tarkastelujakson pituudesta. Kun eri kasvihuonekaasupäästöjä vertaillaan, joudutaan tekemään oletus tarkastelujakson pituudesta, joka kuvaa tavallaan politiikan aikajänteen pituutta: minkä aikajänteen ilmiöihin tai muutoksiin politiikalla halutaan vaikuttaa.

Nykyisten skenaariotarkastelujen mukaan 100 vuoden aikajänne sopisi suuruusluokaltaan esimerkiksi 2–4 asteen lämpenemisrajoitetta koskeviin tarkasteluihin. Muita IPCC:n esittämiä vaihtoehtoja tarkastelujakson pituudeksi olivat 20 ja 500 vuotta. Luokkaa 20 vuotta oleva aikajänne sopisi puolestaan lämpenemisen nousunopeutta koskeviin tarkasteluihin, ja 500 vuoden aikajänteen avulla voitaisiin arvioida hitaasti saavutettavia tasapainotiloja teoreettisesta näkökulmasta.

3. Kuinka eri kaasujen lämmittävää vaikutusta voidaan verrata?

Taulukko 3.1. Metaanin, typpioksiduulin ja muutaman yleisimmän F-kaasun GWP₁₀₀-kertoimet IPCC:n eri arviointiraporteissa ja uusissa tieteellisissä tutkimuksissa, joita käytetään myös uuden IPCC:n arviointiraportin lähdemateriaalina. Hiilidioksidin GWP on aina 1, sillä se on kasvihuonekaasu, johon muiden lämmittävää vaikutusta verrataan.

	SAR	TAR	AR4	Uusi tutkimus
CO ₂	1	1	1	1
CH ₄	21	23	25	27–34 ^a
N ₂ O	310	296	298	
HFC-23	11700	12000	14800	
HFC-134a	1300	1300	1430	
SF ₆	23900	22200	22800	

a) Shindell et al. 2009

Lyhyempi tarkastelujakso korostaa lyhytikäisten kaasujen, kuten metaanin, lämmittävää vaikutusta, ja pidempi tarkastelujakso vaikuttaa päinvastoin. Taulukossa 3.2 on esitetty eri kaasujen elinikä ilmakehässä ja niiden GWP-kertoimet IPCC:n neljännen arviointiraportin mukaan (IPCC 2007).

Taulukko 3.2. IPCC:n neljännen arviointiraportin esittämä elinikä ja GWP₂₀, GWP₁₀₀ ja GWP₅₀₀-kertoimet yleisimmille pitkäikäisille kasvihuonekaasuille.

	Elinäika ilmakehässä Vuotta	GWP ₂₀ (AR4)	GWP ₁₀₀ (AR4)	GWP ₅₀₀ (AR4)
CO ₂	*	1	1	1
CH ₄	12	72	25	8
N ₂ O	114	289	298	153
HFC-23	270	12 000	15 000	12 000
HFC-134a	14	3 800	1400	440
SF ₆	3200	16 000	23 000	33 000

* Hiilidioksidi ei sinänsä hajoa ilmakehässä, vaan imeytyy meriin ja kasvillisuuteen. Hiilidioksidin poistumisnopeutta ilmakehästä arvioidaan Bernin hiilenkiertomallilla.

3.2 Global Temperature change Potential (GTP)

Vuonna 2005 tieteellisessä kirjallisuudessa (Shine et al. 2005) GWP-kertoimille esitettiin vaihtoehdoksi GTP-kertoimia (Global Temperature change Potential). Kertoimien periaatteellinen ero on se, että GTP tarkastelee lämpötilan muutosta valitun ajan päästä ja GWP tarkastelee lämmitysenergian muutosta valitun ajanjakson aikana. Rajusti yksinkertaistettuna ero näiden kahden välillä on sama kuin se, että kuinka paljon yksi takallinen puita lämmittää mökkiä siellä oltaessa (GWP) ja kuinka lämpimäksi mökki jää, kun sieltä lähdetään pois (GTP).

Myös GTP-kertoimien kanssa joudutaan oletamaan jokin tarkastelujakso, esimerkiksi 100 vuotta. Kun kaasun elinikä on tarkastelujaksoa pidempi, GWP- ja GTP-kertoimet ovat likimain samat, mutta jos kaasun elinikä on tarkastelujaksoa lyhyempi, on myös GTP-kerroin pienempi.

Aiempi mökkiesimerkki voi auttaa ymmärtämään myös tämän: jos mökilläoloaika eli tarkastelujakso on lyhyt, vastaavat lämmitysenergia ja loppulämpötila toisiaan aika hyvin, mutta jos mökilläoloaika on todella pitkä, ehtii lämmitysenergia haihtua ja mökki jäähtyä useaan kertaan, ellei sitä lämmitä uudelleen. Globaalissa ilmastojärjestelmässä lyhytikäisten pakotetekijöiden aiheuttama lämmitys ehtii kulkeutua syvään mereen tai säteillä avaruuteen ennen kaukana tulevaisuudessa, esimerkiksi 100 vuoden päässä, olevaa tarkasteluhetkeä.

GTP-kertoimiin sisältyvä epätarkkuus on GWP:tä suurempi, sillä GTP-kertoimissa laskentaketju on pidempi ja siinä on useampia epävarmuutta sisältäviä prosesseja ja parametreja kuin GWP:n arvioinnissa (lämpeneminen vs. lämmitys-teho). Viime vuosina GTP-kertoimiin liittyvä tieteellinen keskustelu on ollut erittäin vilkasta ja eri tutkimuksien tulokset poikkeavat toisistaan, sillä niissä on käytetty hieman eri oletuksia ja laskentarajauksia.

Taulukossa 3.3 on esitetty GWP- ja GTP-kertoimia tärkeimmille kasvihuonekaasuille (CO₂, CH₄ ja N₂O) sekä joillekin F-kaasuille. Etenkin metaanin GTP-kerroin vaihtelee huomattavasti siteerattavasta tutkimuksesta riippuen. Metaanin GTP₁₀₀-kerroin on arvioitu uusissa tutkimuksissa välille 0,5–8 ja metaanin GWP₁₀₀ välille 27–34. Ero GWP₁₀₀- ja GTP₁₀₀-kertoimien välillä on suurimmillaan silloin, kun kaasun elinikä ilmakehässä on lyhyt.

Metaanin tapauksessa ero 20 vuoden ja 100 vuoden GTP:n välillä on suurempi muilla kaasuilla. Tämä johtuu siitä, että metaanin elinikä on lyhyt. Jos tarkastelujaksoksi valitaan selvästi kaasun elinikää pidempi aikajakso, lämmittävä vaikutus ehtii imeytyä meriin ja haihtua avaruuteen. Jos tarkastelujakson pituus on lähellä kaasun elinikää, lämmittävä vaikutus ei ehdi hävitä ja GTP-kerroin on lähellä GWP-kerrointa.

3. Kuinka eri kaasujen lämmittävää vaikutusta voidaan verrata?

Taulukko 3.3. GWP- ja GTP-kertoimia pitkäikäisille kasviuonekaasuille. Etenkin metaanin GTP-kertoimille on laskettu hyvin erisuuruisia arvioita eri julkaisuissa. Taulukon GWP-kertoimet on IPCC:n neljännessä arviointiraportista ja GTP-kertoimet eri lähteistä, jotka on esitetty taulukon alla.

	Elinaika ilmakehässä	GWP ₂₀ (AR4)	GWP ₁₀₀ (AR4)	GTP ₂₀	GTP ₁₀₀
	Vuotta				
CO ₂	*	1	1	1	1
CH ₄	12	72	25	52 ^a – 66 ^b	0,5 ^a – 8 ^b
N ₂ O	114	289	298	290 ^a	270 ^a
HFC-23	270	12 000	15000	13 000 ^c	16 000 ^c
HFC-134a	14	3800	1400	3 100 ^c	800 ^c
SF ₆	3200	16 000	23 000	18 000 ^c	23 000 ^c

* Hiilidioksidi ei sinänsä hajoa ilmakehässä, vaan imeytyy meriin ja kasvillisuuteen. Hiilidioksidin poistumisnopeutta ilmakehästä arvioidaan Bernin hiilenkiertomallilla.

a) Shine et al. 2005 b) Boucher et al. 2009 c) Fuglestvedt et al. 2010

Joidenkin F-kaasujen elinikä ilmakehässä on niin pitkä, että niiden GTP₁₀₀-kerroin on suurempi kuin vastaava GWP₁₀₀-kerroin. Erot eivät kumminkaan ole niin suuria kuin metaanin tapauksessa. Vaikka F-kaasut eivät ole niin oleellisia GWP–GTP-keskustelun kannalta, tulisi muistaa, että joidenkin F-kaasujen kertoimet ovat erittäin suuria, jopa yli 20 000, ja niiden globaalit päästöt ovat olleet viime vuosina voimakkaassa kasvussa.

3.3 Muut ehdotetut metriikat

GWP:n ja GTP:n lisäksi on esitetty useita muita metriikoita. Tässä käydään läpi joitakin lähestymistapoja, jotka eroavat periaatteeltaan merkittävästi yllä esitetyistä GWP:stä ja GTP:stä ja joilla voidaan katsoa olevan relevanssia tehokkaan ilmastopolitiikan saavuttamisen kannalta. Tässä esitettyjen metriikoiden tieteellisiä ja poliittisia ulottuvuuksia on käsitelty mm. UN-FCCC SBSTA:n järjestämässä Common Metrics -workshopissa toukokuussa 2012¹.

Osion lopussa esitellään vertailu eri metriikoiden antamasta kertoimista CH₄:lle sekä luvussa 4 arvio kustannuksista kolmella eri metriikkavaihtoehdolla, mikäli ilmaston lämenemistä pyritään rajoittamaan 2 °C:n tasolle. Vastaavia metriikoita

¹ Report on the workshop on common metrics to calculate the carbon dioxide equivalence of greenhouse gases, Note by the secretariat. FCCC/SBSTA/2012/INF.2, 8.5.2012.

3. Kuinka eri kaasujen lämmittävää vaikutusta voidaan verrata?

on kehitetty myös pinta-albedon muutoksille ja biomassan käytölle, mutta niitä ei käsitellä tässä.

3.3.1 Kahden korin lähestymistapa

Smith et al. (2012) ehdottavat metriikan säteilypakotetekijöille kahta koria: omaa koriaan pitkäikäisille kasvihuonekaasuille (kuten CO₂, N₂O ja eräät muut) ja omaa koriaan lyhytikäisille säteilypakotetekijöille (kuten CH₄ ja musta hiili, BC). Pitkäikäisten kaasujen määrälle annettaisiin kumulatiivinen rajoite ja lyhytikäisille päästöille päästönopeusrajoite.

Molemmille koreille tarvittaisiin omat painokertoimet, pitkäikäisten kaasujen kerrointen laskennassa olisi pitkä aikahorisontti, esim. 100 vuotta, ja lyhytikäisten lyhyt, esim. 20 vuotta. Lyhytikäisten päästöjen metriikan tulisi mahdollisesti olla maantieteellisestä alueesta riippuva. Koreja ei suoraan verrattaisi keskenään, vaan niillä olisi omat neuvotteluissa asetetut päästönrajoituksen tavoitteensa.

3.3.2 Aikariippuva GTP

Aikariippuva GTP (Shine et al. 2007) kuvaa GTP:n tapaan lämpötilanmuutosta kahden eri päästöpulssin seurauksena. Kiinteän, esim. 100 vuoden aikajänteen sijaan aikariippuvan GTP:n kohteena on lämpeneminen tiettyä kalenterivuonna, esim. vuonna 2100. Aikariippuvassa versiossa GTP-metriikan aikajänne siis lyhenisi tasaisesti vuosisadan kuluessa. Shinen et al. (2007) alkuperäisessä ehdotuksessa kohdevuotena olisi se vuosi, jolloin ilmaston keskimääräisen lämpenemisen oletetaan saavuttavan 2 °C:n tason. Tällöin metriikan logiikka olisi sopusoinnussa 2 °C:n tavoitteen saavuttamisen kanssa, mutta se jättäisi huomiotta mm. lämpötilan nousunopeuden sekä kohdevuoden jälkeiset lämpötilamuutokset.

Tällaisella metriikalla CH₄:n kerroin olisi nykyhetkellä samaa suuruusluokkaa kuin GTP₁₀₀-kerroin, mutta kasvaisi voimakkaasti vuosisadan aikana saavuttaen noin kertoimen 85 kohdevuoden lähestyessä. Tämä ajan mukana tapahtuva muutos heijastaa sitä, että lyhytikäisten kaasujen, kuten CH₄:n, rooli tulee sitä tärkeämmäksi, mitä lähempänä asetettu lämpenemistavoite on.

Aikariippuvaan GTP:hen liittyvät samat epävarmuudet kuin tavanomaiseen GTP-kertoimeen. Tämän lisäksi aikariippuvan GTP:n voidaan katsoa olevan potentiaalisesti haastava maille, joissa CH₄ muodostaa merkittävän osa päästöistä. Mikäli metaanin painoarvo kasvaisi vuosisadan aikana, kuten aikariippuvassa GTP:ssä tapahtuu, tällaisen maan laskennalliset CO₂-ekvivalenttipäästöt kasvaisivat pelkän metriikan vähittäisen muuttumisen myötä. Tällaiset tekijät tulisikin ottaa huomioon neuvoteltaessa maiden pitkän aikavälin vähennystavoitteita.

3. Kuinka eri kaasujen lämmittävää vaikutusta voidaan verrata?

3.3.3 Global Damage Potential (GDP)

Global Damage Potential (GDP) (mm. Kandlikar, 1995) on esitetyistä taloudellisista metriikoista perustellumpi, sillä se perustuu suoraan taloudelliseen hyvinvointiteoriaan ja kustannus–hyöty-analyysiin. Siinä suhteutetaan toisiinsa arvio kahden päästöpulssin aiheuttamasta taloudellisesta vahingosta päästöstä aiheutuvien lämpötilan muutosten kautta. Menetelmässä lasketaan molempien päästöpulssien, esim. CH₄:n ja CO₂:n, aiheuttamat lämpötilan muutokset, sekä näistä muutoksista syntyvät marginaalisten vahinkojen nykyarvot, jotka suhteutetaan toisiinsa.

Vaikka arviot ilmaston lämpenemisen aiheuttamista vahingoista ovat äärimmäisen epävarmoja, GDP-metriikan epävarmuus on tätä pienempää, sillä se suhteuttaa toisiinsa kaksi samalla tavoin epävarmaa arviota vahingoista. GDP riippuu hieman lämpötilan ja vahinkojen välille oletetun funktion muodosta, mutta tämä riippuvuus on kohtalaisen pientä. Suurempi vaikutus on nykyarvon laskemisessa käytettävällä diskonttokorolla, ts. sillä, miten lähitulevaisuudessa ja kaukaisessa tulevaisuudessa syntyvät vahingon yhteismitallistetaan. Diskonttokoron ongelma on siis samanlainen kuin GWP- ja GTP-metriikoiden aikajänteen valinta.

GDP antaa CH₄:lle hyvin erilaisia arvoja riippuen käytettävästä diskonttokorosta. Yleisesti käytetyllä 5 %:n korolla kerroin olisi noin 40–50, mutta esim. hyvin matalalla 0,5 %:n korolla CH₄:n kerroin olisi vain noin 10. Koska diskonttokoron valintaan ei ole yhtä oikeaa vastausta, voi olettaa, että poliittisen yhteisymmärryksen saavuttaminen metriikan parametreista olisi erittäin haastavaa.

3.3.4 Global Cost Potential (GCP)

Global Cost Potential on toinen ehdotettu taloudellinen metriikka, joka nojaa kustannus–hyöty-analyysin sijaan kustannustehokkuusajatteluun. Metriikassa oletetaan, että valittua ilmastotavoitetta, esim. 2 °C:n rajaa, tavoitellaan kustannustehokkaasti. Metriikan laskemiseksi muodostetaan kustannusoptimointimalli, joka sisältää oletetut kustannuskäyrät tulevaisuuden päästövähennyksille. Kustannusoptimoinnin kautta malli laskee marginaalikustannukset eli käytännössä ilmastotavoitteen saavuttamisen kannalta optimaaliset hinnat eri kaasuille. Metriikka-arvot muodostavat siten kahden kaasun hintojen välisen suhteen.

Mikäli ilmastososopimuksen (UNFCCC 1992) päämääräksi tulkitaan artikloiden 2 ja 3 perusteella olevan vaarallisen ilmastomuutoksen välttäminen kustannustehokkaasti, GCP olisi periaatteessa tämän päämäärän kanssa eniten sopusoinnussa oleva metriikka. Määritelmä vaarallisesta ilmastomuutoksen välttämisestä on kuitenkin liian väljä yksikäsitteisen GCP-metriikan laskemista varten. Mikäli metriikassa huomioidaan lämpötilatavoitteen lisäksi esim. myös tavoite lämpötilan *nousunopeuden* rajoittamiselle tai huomioidaan epävarmuus ilmaston herkkyydessä, GCP antaa hyvin erilaisia tuloksia. 2 °C:n tavoitteen perustapauksessa CH₄:n kerroin kasvaa noin viidestä vuosisadan kuluessa suunnilleen neljäänkymmeneen.

3. Kuinka eri kaasujen lämmittävää vaikutusta voidaan verrata?

Lämpötilan nousunopeutta rajoitettaessa optimaalinen kerroin vaihtelisi pääasiasa arvojen 30 ja 40 välillä koko vuosisadan ajan.

Koska eri vaihtoehdot politiikan määrittelyssä antavat hyvin erilaisia tuloksia, GCP:n rooli "kustannusoptimaalisena metriikkana" on kyseenalainen. Koska kertoimien laskeminen perustuu kustannusoptimointiin, jossa oletuksina on diskonttokorko ja eri kaasujen vähennyskustannuksen tulevaisuudessa, menetelmä voi olla myös liian läpinäkymätön saadakseen vahvaa asemaa kansainvälisessä ilmasto-politiikassa.

3.3.5 Cost Effective Temperature Potential (CETP)

GCP-metriikan läpinäkymättömyydestä johtuen sille on kehitetty yksinkertainen approksimaatio, Cost Effective Temperature Potential (CETP) (Johansson 2011). Tässä metriikassa parametreina on pelkkä lämpenemistavoite, diskonttokorko ja oletus vuodesta, jolloin lämpenemistavoite täyttyy (2 °C:n tavoitteella noin vuosi 2100), eikä metriikan laskentaan tarvita läpinäkymätöntä optimointimallia. Vastavuus GCP-metriikan kanssa yksinkertaisella lämpötilatavoitteella on kuitenkin hyvä. Koska CETP jäljittelee GCP-metriikkaa, sitä koskevat samat varaukset kuin alkuperäistä GCP:täkin.

3.3.6 Vertailu eri metriikoiden kertoimista CH₄:lle

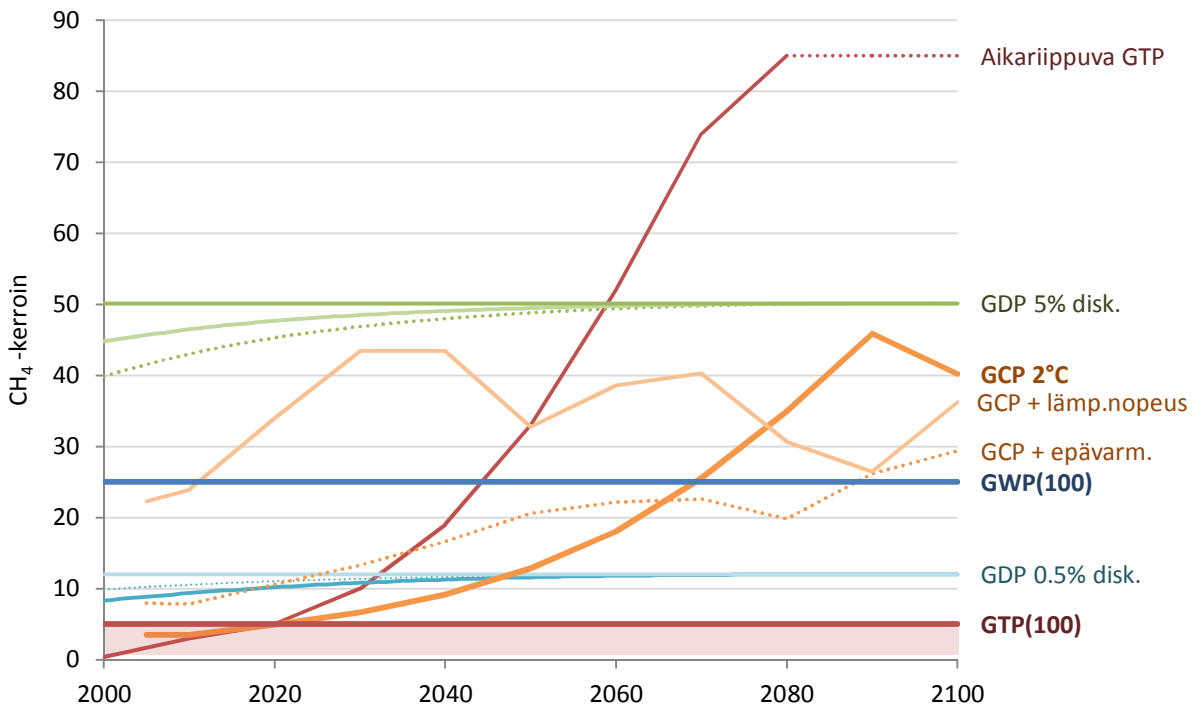
Yleinen vertailu yllä esiteltujen vaihtoehtoisten metriikoiden antamasta CH₄-kertoimesta on esitetty kuvassa 3.2². Kuvaan on sisällytetty GWP₁₀₀, vaihteluväli GTP₁₀₀-kertoimen arvoista eri malleilla laskettuna, aikariippuva GTP, GDP 0,5 %:n ja 5 %:n diskonttokoroilla sekä kolmella eri vahinkofunktiolla sekä GCP kolmella eri ilmastotavoitteella: 2 °C, 2 °C ja lämpenemisnopeustavoite sekä 2 °C ilmaston herkkyyden epävarmuus huomioiden.

Kuten kuvasta voi havaita, eri metriikat antavat hyvin erilaisia kertoimia CH₄:lle. Fysikaalisista metriikoista GWP₁₀₀ olisi yhtenevä noin 2 %:n diskonttokorolla lasketun GDP:n kanssa. GTP₁₀₀ antaa liian pienen painoarvon CH₄:lle kaikkiin muihin metriikoihin verrattuna. Aikariippuva GTP-kerroin alkaa hyvin pienestä ja kasvaa vuosisadan loppupuolella suuremmaksi kuin millään muulla metriikalla.

Jokainen esitetty metriikka on omista lähtökohdistaan perusteltu, eikä mitään metriikkaa voida pitää ainoana oikeana vaihtoehtona. Toisaalta fysikaaliset metriikat GWP ja GTP ovat läpinäkyviä, mutta toisaalta taloudellisilla metriikoilla on suurempi relevanssi ilmasto-politiikan kustannustehokkuuden kannalta.

² Tässä esitetyt tulokset ovat osa artikkelia, joka on lähetetty arvioitavaksi Climatic Change -lehteen.

3. Kuinka eri kaasujen lämmittävää vaikutusta voidaan verrata?



Kuva 3.2. Metaanin painokerroin laskettuna eri metriikkavaihtoehdoilla. GTP₁₀₀-kertoimille on esitetty punaisena alueena kirjallisuudessa esitettyjen metriikka-arvojen vaihteluväli. GDP-metriikka on laskettu kahdella diskonttokorolla (vrt. viivan väri) ja kolmella vahinkofunktiolla (vrt. viivan tummuus). GCP-metriikka on laskettu tavalliselle 2 °C:n tavoitteelle sekä lämpenemisnopeus ja ilmaston herkkyyden epävarmuudelta suojautuminen huomioiden.

Käytetyt kertoimet vaikuttavat päästövähennyskustannuksiin, sillä ne käytännössä muodostavat hintakertoimet eri kaasuilla, ja siten myös yleiseen ilmastopoliittikan kustannustehokkuuteen. Kustannustehokkuutta arvioitaessa joudutaan olettamaan jokin tavoite, esimerkiksi lämpenemisen tai myös lämpenemisnopeuden rajoittaminen. Lisäksi kustannustehokkuutta joudutaan käytännössä arvioimaan malleilla, jotka eivät aina ole kovinkaan läpinäkyvästi raportoituja. Luvussa 4.3 on arvioitu eri metriikoiden vaikutuksia globaaleihin vähennyskustannuksiin.

4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista

4.1 Päästökertoimet kiinnitetty useissa eri sopimuksissa

Eri kasvihuonekaasujen lämmittävää vaikutusta vertaillaan eli yhteismitallistetaan yleisesti ns. Global Warming Potential- eli GWP-kertoimilla, joilla eri kaasujen päästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂-ekv). Käytettyihin GWP-kertoimiin sisältyy suhteellisen suuri epävarmuus, noin 35 %. Tämä johtuu osittain laskentaoletuksista, joita joudutaan tekemään, ja osittain luonnontieteellisestä epävarmuudesta (IPCC 1995). IPCC on päivittänyt arviotaan GWP-kertoimista, kun ymmärrys kasvihuonekaasujen vaikutuksista ilmakehässä on vuosien varrella parantunut.

Käytettävät painokertoimet on sovittu jokaisessa kansainvälisessä sopimuksessa erikseen. Kioton ensimmäisellä velvoitekaudella käytetään IPCC:n GWP₁₀₀-kertoimia toisesta arviointiraportista (SAR) vuodelta 1995 (IPCC 1995) ja Kioton toisella velvoitekaudella siirrytään IPCC:n neljännen arviointiraportin (AR4) GWP₁₀₀-kertoimiin vuodelta 2007 (IPCC 2007). EU:n päästökaupassa käytetään IPCC:n toisen arviointiraportin (TAR) GWP₁₀₀-kertoimia vuodelta 1995 (IPCC 1995) ja EU:n kestävyyskriteerien laskennassa käytetään IPCC:n kolmannen arviointiraportin (TAR) GWP₁₀₀-kertoimia vuodelta 2001 (IPCC 2001). Vuonna 2015 käytetään siis vähintään kolmia eri kertoimia.

Jo päätetty Kioton pöytäkirjan painokertoimien vaihtaminen koskee ainoastaan Kioton pöytäkirjan toista velvoitekautta. EU:n päästökaupassa käytetyt kertoimet on määritelty direktiiveihin ja kansalliseen lainsäädäntöön, ja niiden muuttaminen vaatii vastaavien direktiivien ja kansallisten lakien muuttamista. Lisäksi uudet kertoimet saatetaan ottaa käyttöön myös EU:n ei-päästökaupasektorilla.

Jos eri sopimuksissa päädytään käyttämään eri kertoimia, aiheutuu tästä väistämättä rajapintaongelmia tilastoissa ja mahdollisesti myös CDM-oikeuksissa. Jos eri sopimuksissa päädytään lopulta käyttämään eri kertoimia, kasvihuonekaasupäästöjen raportoinnissa käytetään eri kertoimia eri sopimuksille, mikä johtanee tarpeeseen tehdä päällekkäisiä tilastoja.

Tilastojen lisäksi ongelmakohtaksi voivat muodostua CDM-oikeudet, joita voidaan käyttää sekä päästökaupasektorilla (Directive 2004/101/EC) ja ei-päästökaupasektorilla (Decision No 406/2009/EC). Jos eri sopimuksissa käytetään eri kertoimia, saattavat CDM-oikeudet olla hieman eriarvoisia eri sektoreilla.

4.2 Kioton pöytäkirjan GWP100-kertoimien päivittäminen 2015

Kioton toisella velvoitekaudella kasvihuonekaasujen painokertoimet muuttuvat ja käytännössä kaikkien maiden laskennalliset päästöt kasvavat. Muutos vaikuttaa enemmän niihin maihin, joilla on suhteellisen suuret metaanipäästöt. Kioton pöytäkirjan kertoimien päivittäminen ei välttämättä vaikuta EU:n direktiiveihin ja eri sopimuksien mukaiset päästöinventaarit mahdollisesti erkaantuvat.

Kertoimien päivittämisen ei pitäisi vaikuttaa päästövähennyskustannuksiin EU-tasolla, mutta yksittäisten jäsenmaiden vähennyskustannukset saattavat hieman muuttua riippuen siitä, otetaanko uudet kertoimet käyttöön ei-päästökauppa-sektorilla vai ei.

4.2.1 Suomen ja EU27:n laskennalliset päästöt (SAR:n GWP₁₀₀ → AR4:n GWP₁₀₀)

Kioton pöytäkirjan toisella velvoitekaudella vuodesta 2013 alkaen siirrytään käyttämään IPCC:n vuoden 2007 GWP₁₀₀-kertoimia. Uusia kertoimia käytetään siis ensimmäisen kerran vuoden 2015 päästöraportoinnissa.

Kertoimia päivitettäessä on keskeistä, että päästöaikasarjat pysyvät yhdenmukaisina. Kun uudet kertoimet otetaan käyttöön, tulisi laskea uudestaan myös aikaisempien vuosien päästöt. Muussa tapauksessa maiden ja sektorien päästöihin tulisi epäohjonmukaisuuksia eikä päästövähennysten laskeminen olisi niin mielekästä.

Kertoimien päivittäminen ei vaikuta laskennallisiin hiilidioksidipäästöihin, sillä hiilidioksidin kerroin on aina 1 ja muiden kaasujen lämmittävää vaikutusta verrataan hiilidioksidin. Metaanin kerroin kasvaa noin 20 % (21:stä 25:een) ja typpioksiduulin kerroin pienenee noin 5 % (310:stä 298:een). Myös F-kaasujen, joita käytetään mm. teollisuudessa ja kylmälaitteissa, kertoimet muuttuvat, mutta muutoksen suuruus ja suunta riippuu siitä, mitä F-kaasua tarkastellaan. Joillakin uusi kerroin on aiempaa arviota pienempi ja osalla suurempi. Kun lasketaan muutos koko F-kaasujen ryhmälle, joudutaan tarkastelemaan tiettyä vuotta ja silloin vaputuneiden F-kaasujen määriä.

Taulukossa 4.1 on esitetty yhteenveto laskennallisten päästöjen muutoksista, jos Suomen ja EU:n eri kasvihuonekaasujen ja sektorien päästöt vuosilta 1990 ja 2005 laskettaisiin uudestaan uusilla IPCC:n neljännen arviointiraportin mukaisilla kertoimilla. Absoluuttisina määrinä eli kilogrammoina, mitattuna päästöjen määrät eivät luonnollisestikaan muutu yhtään. Taulukossa esitetty muutos kuvaa eri kaasujen ja sektorien yhteismitallistetun (CO₂-ekv) lämmitysvaikutuksen muutosta.

Vuoden 2015 raportoinnin muutos kasvihuonekaasujen painokertoimissa vaikuttaa ennen kaikkea niihin sektoreihin, joilta vapautuu metaanipäästöjä, eli jätesektoriin ja maatalouteen. Muutokset muiden sektorien päästöissä ovat suhteellisen pieniä. Vaikutus laskennallisiin kokonaispäästöihin Suomelle ja EU27:lle on ainostaan noin +1 ... +2 %.

4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista

Lisäksi muutos metaanin ja typpioksiduulin kertoimissa vaikuttaa eri päästövähennyskeinojen kannattavuuteen ja kustannustehokkuuteen. Esimerkiksi metaanin kasvava kerroin tekee metaania vähentävistä toimista aiempaa edullisempia, mutta vain suhteessa Kioton päästövähennystavoitteeseen.

EU:n ja Suomen kokonaiskustannusten ei pitäisi muuttua päivitettyjen kertoimien vuoksi, sillä komissio on tulkinnut EU:n ilmasto- ja energiapaketin vastaamaan Kioto-tavoitteen laskentaa (SWD 2012/18). Eroavaisuuksia eri tavoitteiden välillä on käytettävien kertoimien lisäksi mm. lentoliikenteen ja maiden perusvuosien osalta. Kustannukset voisivat nousta vain siinä tapauksessa, että uusi Kioto-tavoite osoittautuisi hieman tiukemmaksi kuin EU:n nykyiset tavoitteet.

Taulukko 4.1. Arvio siitä, kuinka siirtyminen IPCC:n vuoden 2007 GWP₁₀₀-kertoimiin vaikuttaisi Suomen (4.1) ja EU27:n (4.2) laskennallisiin kokonaispäästöihin, jos vuosien 1990 ja 2005 päästöt laskettaisiin uudestaan uusilla kertoimilla. Muutos metaanin ja typpioksiduulin laskennallisissa päästöissä on vakio, sillä se riippuu suoraan käytettävistä kertoimista. F-kaasujen yhteenlaskettu muutos vaihtelee vuosien välillä, sillä eri F-kaasuja vapautuu vuosittain hieman eri määriä. Myös muutos eri sektorien päästöissä vaihtelee vuodesta toiseen riippuen vapautuvien päästöjen määristä.

	SUOMI (SAR → AR4)		EU (SAR → AR4)	
	vuoden 1990 päästöt	vuoden 2005 päästöt	vuoden 1990 päästöt	vuoden 2005 päästöt
CO ₂	0 %	0 %	0 %	0 %
CH ₄	+19 %	+19 %	+19 %	+19 %
N ₂ O	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %
F-kaasut	-5 % *	+17 % *	+17 % *	+14 % *
Sähkö ja lämpö	-0,02 %	-0,03 %	0 %	0 %
Teollisuus ja muu energian käyttö	-0,4 % **	+0,4 % **	+1,8 % **	+1,6 % **
Liikenne	+0,1 %	+0 %	+0,1 %	+0 %
Asuminen ja palvelut (1.A.4)	+0,4 %	+0,7 %	+0,4 %	+0,3 %
Maatalous	+3,7 %	+3,7 %	+5,5 %	+5,7 %
Jäte	+18 %	+17 %	+17 %	+17 %
Laskennalliset kokonaispäästöt	+1,3 %	+1,1 %	+1,9 %	+1,5 %

* F-kaasujen arvio kattaa noin 95 % F-kaasuista. Muutos F-kaasujen laskennallisissa päästöissä vaihtelee eri vuosina, sillä eri F-kaasupäästöjen määrät vaihtelevat vuosittain ja jokaisella on oma GWP-kerroin.

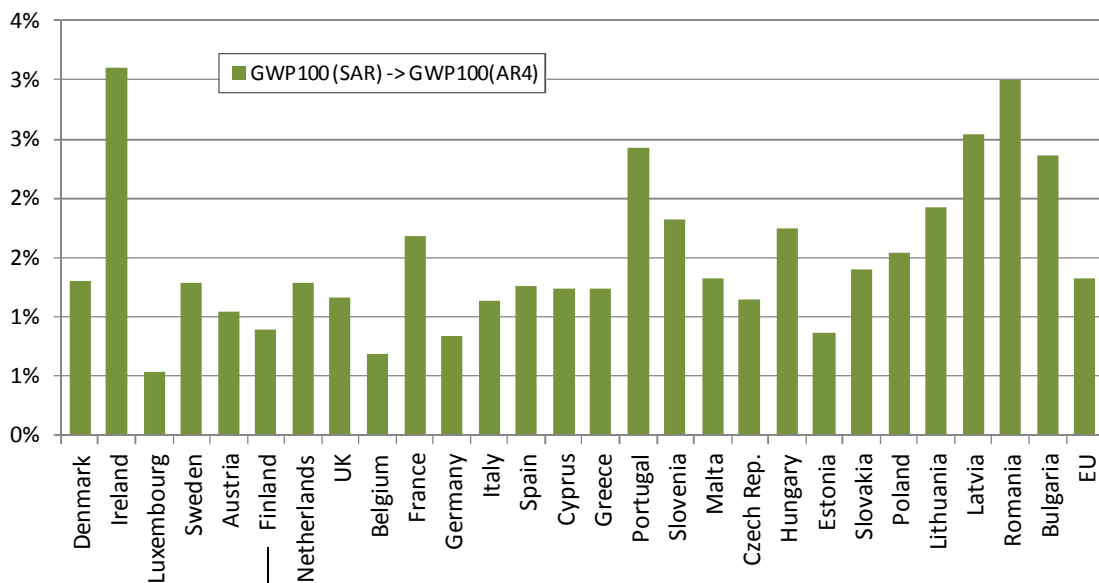
** F-kaasujen alustava arvio aiheuttaa erittäin pienen epävarmuuden (noin ±0,1 % vuonna 2005) myös teollisuuden kokonaispäästöjen arvioon.

4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista

4.2.2 Globaalit laskennalliset päästöt (SAR:n GWP₁₀₀ → AR4:n GWP₁₀₀)

Muutos joidenkin jäsenmaiden laskennallisissa päästöissä on selvästi suurempi kuin Suomessa tai EU:ssa keskimäärin. Kuvan 4.1 arviot on laskettu vuoden 2005 päästöistä UNFCCC:n kasvihuonekaasuinventareista, mutta ne eivät sisällä F-kaasujen päästöjä, minkä vuoksi Suomen ja EU:n tulokset poikkeavat hieman taulukoissa 4.1 ja 4.2 esitetyistä.

Kertoimien muuttaminen Kioton toiselle velvoitekaudelle ei vaikuta suoraan EU:n direktiiveihin, mutta pidemmällä aikavälillä myös EU:n direktiiveissä saataan siirtyä käyttämään uudempia GWP₁₀₀-kertoimia. IPCC:n vuoden 2007 kertoi-miin siirryttäessä laskennalliset päästöt kasvaisivat eniten maatalousvaltaisissa jäsenmaissa, kuten Irlannissa ja Romaniassa, ja vähiten Luxemburgissa ja Belgiassa. Vaihteluväli eri jäsenmaiden välillä on +1 ... +3 %.

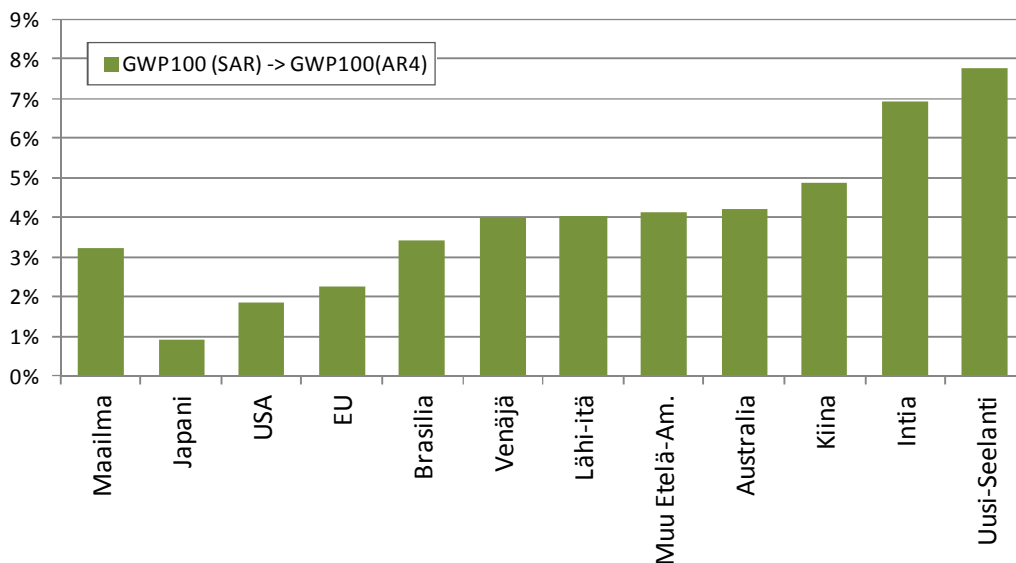


Kuva 4.1. Muutos jäsenmaiden vuoden 2005 laskennallisissa kokonaispäästöissä, jos ne lasketaan uudestaan IPCC:n vuoden 2007 GWP₁₀₀-kertoimilla. Arvio ei sisällä F-kaasuja.

Kuten aiemmassa luvussa selitettiin, muutos laskennallisissa päästöissä vaikuttaa päästövähennystavoitteeseen vain vähän, sillä kaikkien vuosien päästöt tulisi laskea takautuvasti uudelleen, jotta päästöaikasarjat pysyisivät yhdenmukaisina. Pieni ero aiempaan tavoitteeseen tulisi siitä, että eri kaasujen osuudet kokonaispäästöistä ja eri päästövähennyskeinojen kustannustehokkuudet muuttuisivat.

4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista

Aiemmin havaitut muutokset toistuvat samanlaisina myös globaalissa arviossa: maatalousvaltaisten maiden päästöt kasvavat enemmän kuin pitkälle teollistuneiden maiden. Etenkin Uuden-Seelannin ja Intian laskennalliset päästöt kasvaisivat voimakkaasti, kun päästöt lasketaan uusilla kertoimilla. Uuden-Seelannin laskennalliset päästöt kasvavat IEA:n päästötietokannan pohjalta lasketuilla luvuilla jopa noin 8 % (vuosi 1990).



Kuva 4.2. Muutos joidenkin maiden vuoden 1990 päästöissä, jos tällä hetkellä käytetyt GWP_{100} -kertoimet korvataan IPCC:n vuoden 2007 GWP_{100} -kertoimilla ja vuoden 1990 päästöt lasketaan uudelleen. Erot taulukkojen 4.1 ja 4.2 tuloksiin johtuvat kahdesta syystä: tämän kuvan tulokset on laskettu IEA:n päästötiedoilla eikä arvio sisällä F-kaasuja.

4.3 GWP_{100} -kertoimien vaihtaminen GTP-kertoimiin

Jos GWP_{100} -kertoimet vaihdettaisiin GTP-kertoimiin, vaikuttaisi valittavan tarkastelujakson pituus olennaisesti lopputulokseen. 100 vuoden tarkastelujaksolla kaikkien maiden ja sektorien laskennalliset päästöt pienenisivät, sillä metaanin kerroin olisi merkittävästi nykyistä pienempi ja typpioksiduulin kerroin hieman nykyistä pienempi. GTP_{100} -kertoimiin siirtyminen pienentäisi maatalous- ja jätesektorien merkitystä ilmastopolitiikassa erittäin paljon. Samalla tämä muutos nostaisi CO_2 -päästöjen ja teollisuusmaiden osuutta maailman kokonaispäästöistä. Lyhyempi, 20 vuoden tarkastelujakso vaikuttaisi päinvastoin.

4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista

4.3.1 Suomen ja EU27:n laskennalliset päästöt (GWP₁₀₀ → GTP)

Kun tarkastellaan GTP-kertoimiin siirtymistä, on tärkeää tehdä selväksi kuinka pitkää tarkastelujaksoa tarkoitetaan, sillä tulokset riippuvat keskeisesti tarkastelujakson pituudesta. Jos siirryttäisiin GTP₂₀-kertoimiin, kasvaisi metaanin painokerroin voimakkaasti, ja jos siirryttäisiin GTP₁₀₀-kertoimiin, pienenesi se huomattavasti. Muiden kaasujen osalta erot eivät ole niin suuria. Yhteenveto eri kertoimista on esitetty taulukossa 4.2. Kertoimet ja niiden laskentaperusteet on käsitelty tarkemmin luvussa 3.

Taulukko 4.2. GWP- ja GTP-kertoimia pitkäikäisille kasvihuonekaasuille. Etenkin metaanin GTP-kertoimille on laskettu hyvin erisuuruisia arvioita eri julkaisuissa. Taulukon GWP-kertoimet on IPCC:n neljännessä arviointiraportista ja GTP-kertoimet eri lähteistä, jotka on esitetty taulukon alla.

	Elinaika ilmakehässä	GTP ₂₀	GWP ₁₀₀ (AR4)	GWP ₁₀₀ (SAR)	GTP ₁₀₀
	Vuotta				
CO ₂	*	1	1	1	1
CH ₄	12	52 ^a – 66 ^b	25	21	0,5 ^a – 8 ^b
N ₂ O	114	290 ^a	298	310	270 ^a

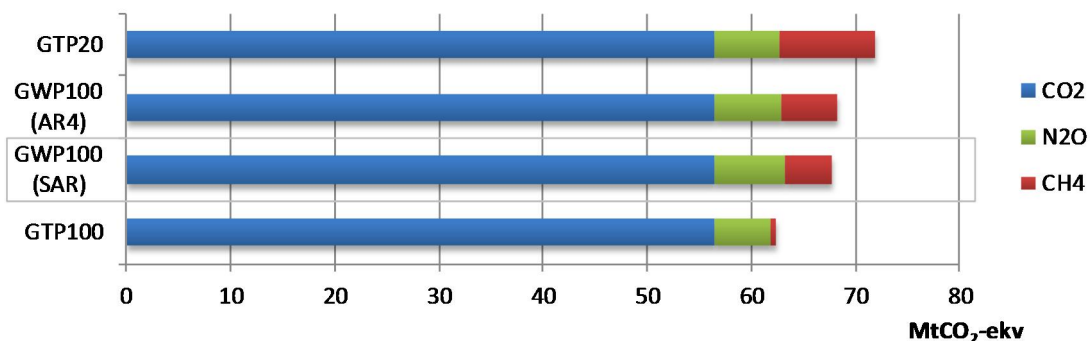
* Hiilidioksidi ei sinänsä hajoa ilmakehässä, vaan imeytyy meriin ja kasvillisuuteen. Hiilidioksidin poistumisnopeutta ilmakehästä arvioidaan Bernin hiilenkiertomallilla.

a) Shine et al. 2005 b) Boucher et al. 2009

Luvun tuloksia laskettaessa on käytetty seuraavia kertoimia: GTP₂₀ (CH₄ = 72, N₂O = 289), GWP₁₀₀ AR4 (CH₄ = 25, N₂O = 298), GWP₁₀₀ SAR (CH₄ = 21, N₂O = 310) ja GTP₁₀₀ (CH₄ = 3, N₂O = 244). GTP-kertoimille on esitetty huomattavasti käytettyä pienempiä ja suurempia arvoja, kuten taulukossa 4.2, ja siten tulokset ovat suuntaa-antavia.

GTP₁₀₀-kertoimiin siirtyminen vaikuttaisi päinvastoin kuin aiemmin käsitelty AR4-kertoimiin siirtyminen: laskennalliset kokonaispäästöt pienenisivät selvästi ja metaanin painoarvo vähenisi erittäin paljon. GTP₂₀-kertoimiin siirtyminen taas vaikuttaisi samoin kuin aiemmin käsitelty AR4-kertoimiin siirtyminen, mutta voimakkaammin: kokonaispäästöt kasvaisivat ja metaanin painoarvo kasvaisi. Kuvassa 4.3 on esitetty eri kertoimilla lasketut Suomen kokonaispäästöt kaasuittain. Arvio ei sisällä F-kaasuja, mutta siitä johtuva virhe on pieni, sillä niiden osuus kokonaispäästöistä on noin 1 % (mutta voimakkaassa kasvussa).

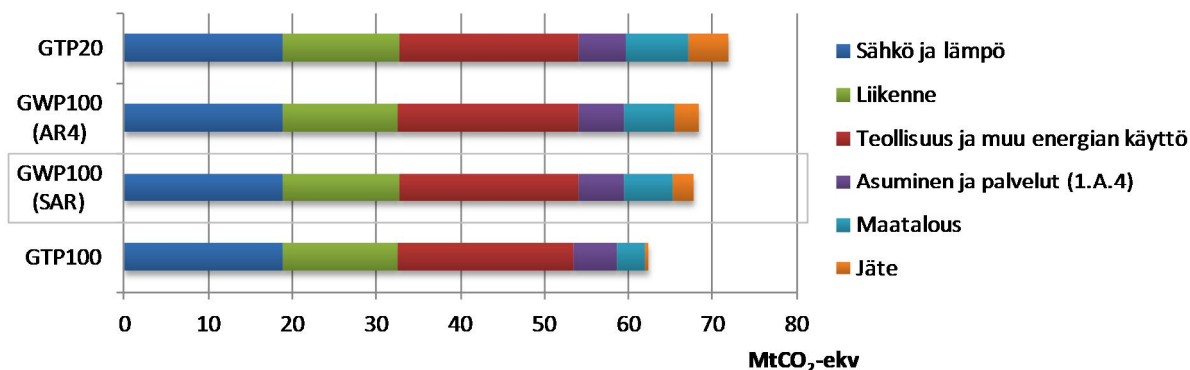
4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista



Kuva 4.3. Suomen kokonaispäästöt vuonna 2005 kasvihuonekaasuittain eri yhteismitallistamiskertoimilla. Siirtyminen GWP₁₀₀-kertoimesta GTP₁₀₀-kertoimeen pienentäisi metaanipäästöjen merkitystä ja siirtyminen 100 vuoden tarkasteluajasta 20 vuoden tarkasteluajkaan vaikuttaisi päinvastoin.

Kuvassa 4.4 on esitetty vastaava tarkastelu sektoreittain. Kuvan perusteella voidaan todeta, että muutokset ovat erittäin pieniä sähkön- ja lämmöntuotannossa, liikenteessä ja teollisuudessa. Asumisen ja palveluiden laskennalliset päästöt muuttuvat kertoimista riippuen hieman, maataloussektorin hieman enemmän ja jätesektorin erittäin paljon.

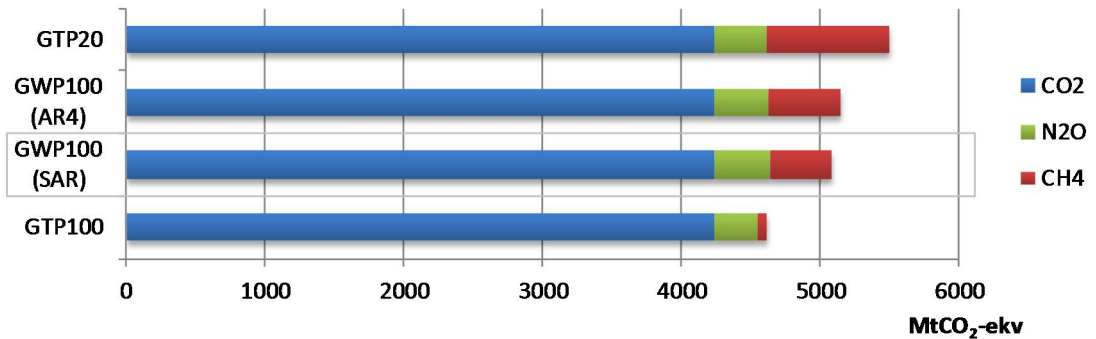
Vaihdos GWP₁₀₀-kertoimista GTP-kertoimiin vaikuttaisi ennen kaikkea niiden sektorien päästöihin, joilta vapautuu metaanipäästöjä. Vaikutuksen suuruus ja suunta riippuu keskeisesti GTP-kertoimien tarkastelujakson pituudesta.



Kuva 4.4. Suomen kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain vuonna 2005 eri yhteismitallistamiskertoimilla laskettuna. Sektorit on järjestetty siten, että painokertoimista aiheutuva muutos sektorin päästöissä on pienin vasemmassa laidassa (sähkö ja lämpö) ja suurin oikealla (jäte).

4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista

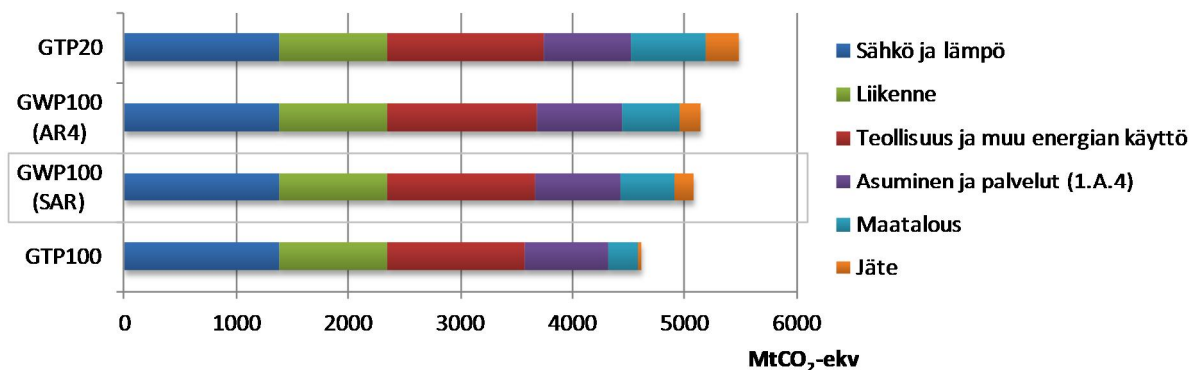
Kuvassa 4.5 on laskettu EU:n vuoden 2005 kokonaispäästöt uudestaan eri painokertoimilla. Jos siirryttäisiin vuoden 2007 IPCC-kertoimiin, laskennalliset kokonaispäästöt kasvaisivat noin prosentin. Siirtyminen GTP-kertoimiin vaikuttaisi merkittävästi enemmän: Siirtyminen GTP₂₀-kertoimiin kasvattaisi laskennallisia kokonaispäästöjä noin 8 % ja siirtyminen GTP₁₀₀-kertoimiin pienentäisi laskennallisia kokonaispäästöjä noin 9 %. Arvio ei sisällä F-kaasuja, mutta siitä johtuva virhe on pieni, sillä niiden osuus kokonaispäästöistä on noin 1 % (mutta voimakkaassa kasvussa).



Kuva 4.5. EU27:n kokonaispäästöt vuonna 2005 kasvihuonekaasuittain eri yhteismitallistamiskertoimilla. Siirtyminen GWP₁₀₀-kertoimista GTP₁₀₀-kertoimiin pienentäisi metaanipäästöjen merkitystä, ja siirtyminen 100 vuoden tarkasteluajasta 20 vuoden tarkasteluajkaan vaikuttaisi päinvastoin.

Kuvassa 4.6 on esitetty vastaavat arvio sektoreittain. Tulokset ovat hyvin samansuuntaisia kuin Suomelle, sillä kultakin sektorilta vapautuu hiilidioksidia, metaania ja typpioksiduulia suurin piirtein samoissa suhteissa eri maissa. Suuremmat erot tuloksissa johtuvat eroista eri sektorien suhteellisissa osuuksissa kokonaispäästöistä.

4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista



Kuva 4.6. EU27:n kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain vuonna 2005 eri yhteismitallistamiskertoimilla laskettuna. Sektorit on järjestetty siten, että painokertoimista aiheutuva muutos sektorin päästöissä on pienin vasemmassa laidassa (sähkö ja lämpö) ja suurin oikealla (jäte).

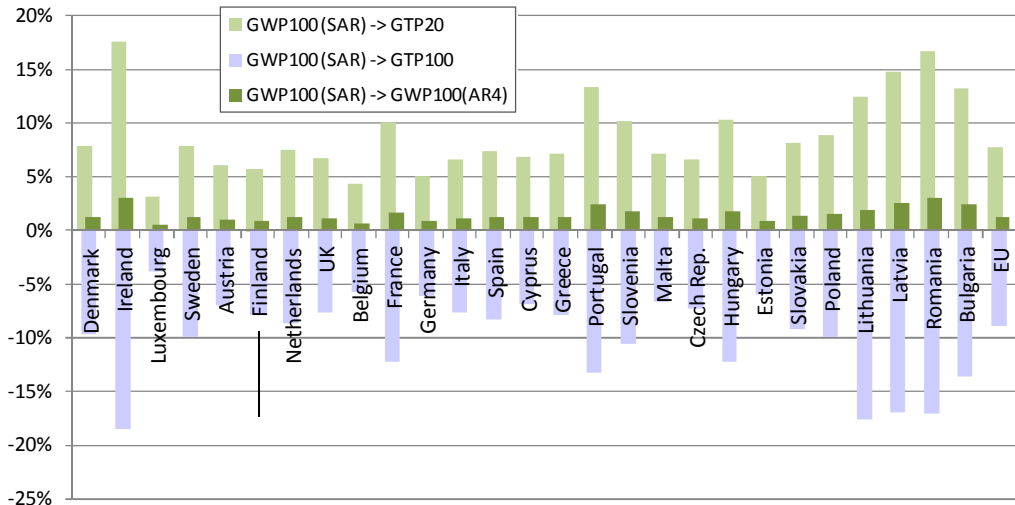
4.3.2 Globaalit laskennalliset päästöt ($GWP_{100} \rightarrow GTP$)

Kuvassa 4.7 on esitetty eri jäsenmaiden kokonaispäästöt, jos käytetyt GWP_{100} -kertoimet vaihdettaisiin joko GTP_{20} - tai GTP_{100} -kertoimiin ja vuoden 2005 päästöt laskettaisiin uudelleen. Vertailun vuoksi kuvaan on piirretty myös GWP_{100} -kertoimien päivityksen aiheuttama muutos. Keskeinen huomio kuvasta on se, että muutokset eri jäsenmaiden kokonaispäästöissä muuttuvat saman kuvion mukaan, mutta muutoksen suuruus ja suunta riippuu käytettävistä kertoimista.

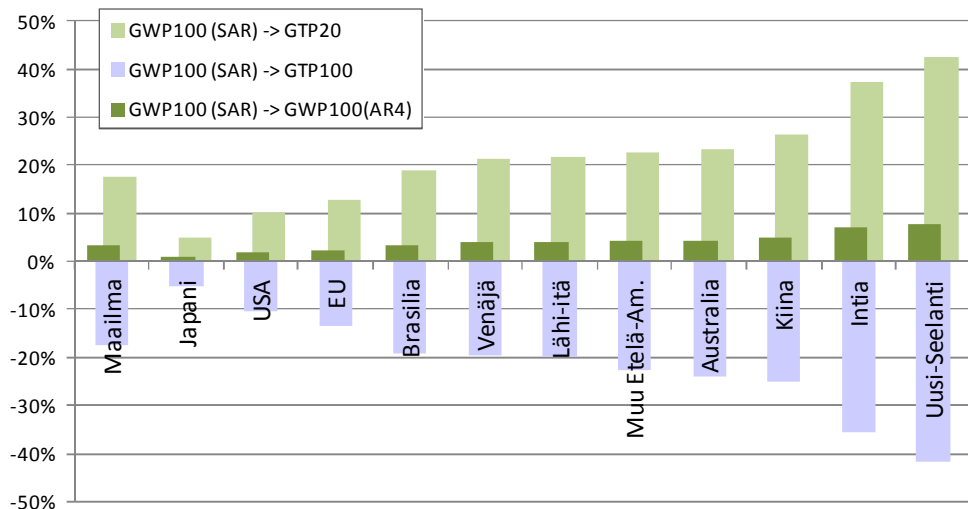
Painokertoimien vaihto GTP-kertoimiin muuttaisi globaaleja laskennallisia päästöjä enemmän kuin EU:n laskennallisia päästöjä, sillä monessa maassa metaanin osuus kokonaispäästöistä on huomattavasti suurempi kuin EU:ssa. Etenkin Uuden-Seelannin ja Intian laskennalliset päästöt muuttuisivat voimakkaasti, jos päästöt laskettaisiin GTP-kertoimilla. Yhteenvedo on esitetty kuvassa 4.8.

On tärkeä muistaa, että käytetty metriikka ei vaikuta fysikaaliseen todellisuuteen. Metaani lämmittää fysikaalisten ominaisuuksien mukaan riippumatta laskennassa käytettävistä kertoimista. Yhteismitallistamiskertoimet ovatkin mm. tilastoinnin ja politiikanteon välineitä, joiden tarkoitus on helpottaa monimutkaisen asian käsittelyä sekä politiikan suunnittelua ja seurantaa. Käytettävän metriikan tulisi tukea poliittisia tavoitteita mahdollisimman hyvin.

4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista



Kuva 4.7. Muutos jäsenmaiden vuoden 2005 laskennallisissa päästöissä, jos tällä hetkellä käytetyt GWP₁₀₀-kertoimet korvattaisiin uusilla GWP₁₀₀-kertoimilla tai oletetuilla GTP-kertoimilla ja vuoden 2005 päästöt laskettaisiin uudelleen. Kuvan arvio ei sisällä F-kaasuja. F-kaasujen puuttuminen ei ole suuri virhe, sillä niiden osuus kokonaispäästöistä on noin 1 %, vaikkakin osuus on voimakkaassa kasvussa.



Kuva 4.8. Muutos joidenkin maiden vuoden 1990 päästöissä, jos tällä hetkellä käytetyt GWP₁₀₀-kertoimet korvattaisiin uusilla GWP₁₀₀- tai oletetuilla GTP-kertoimilla ja vuoden 1990 päästöt laskettaisiin uudelleen. Kuvan tulokset on laskettu IEA:n päästötiedoilla eikä arvio sisällä F-kaasuja. F-kaasujen puuttuminen ei ole suuri virhe, sillä niiden osuus kokonaispäästöistä on noin 1 %, vaikkakin osuus on voimakkaassa kasvussa.

4.3.3 Eri metriikoiden vaikutus globaaleihin vähennyskustannuksiin

Kun päätetään kiinteistä kertoimista eri kaasujen välillä, systeemiin luodaan väistämättä jäykkyyttä. Painokertoimien kiinnittäminen käytännössä aiheuttaa kustannuslisän verrattuna teoreettiseen kustannusoptimiin ja vaikuttaa siten ilmastopoliittikan yleiseen kustannustehokkuuteen. Yksi kriteeri arvioida eri kertoimien parermmuutta onkin niiden aiheuttama lisäys kustannuksiin, jotka valitun ilmastotavoitteen saavuttaminen aiheuttaa.

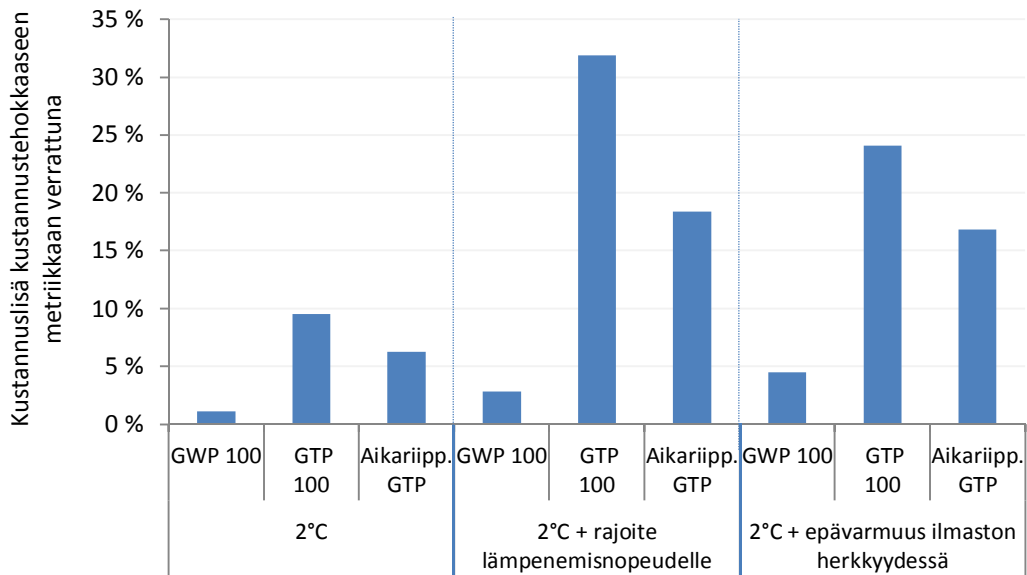
Valittavien painokertoimien vaikutusta globaaleihin päästövähennyskustannuksiin voidaan arvioida erilaisilla malleilla. Tässä on tehty suuruusluokka-arvio suhteellisen yksinkertaisella, globaalilla kustannuskäyrämallilla, jolla voidaan arvioida globaaleja päästövähennyskustannuksia ja lämpenemistä (Ekholm ja Lindroos, 2011). Malli minimoi annetun lämpenemistavoitteen saavuttamisesta syntyviä globaaleja päästövähennyskustannuksia. Vertailukohtana on kustannustehokas tapaus, jossa kaasujen välille ei kiinnitetä erillistä metriikkaa, vaan malli voi valita kullekin kaasulle tehtävät päästövähennystoimet erikseen. Tällöin optimoinnin tuloksena saatavat kaasujen välinen teoreettiset hinnat vastaavat Global Cost Potential -metriikkaa (GCP, ks. luku 3.3.4). Erillisen metriikan käyttö nostaa tavoitteen saavuttamisen kustannuksia vertailukohtana olevaan kustannustehokkuuteen verrattuna.

Arvio tehtiin kolmella eri metriikalla: GWP_{100} AR ($CH_4 = 25$, $N_2O = 298$), GTP_{100} ($CH_4 = 7$, $N_2O = 282$) ja aikariippuva GTP (kertoimet kuvassa 3.1). Lisäksi arvio tehtiin kolmella eri ilmastotavoitteella: nykyinen $2^{\circ}C$:n tavoite, $2^{\circ}C$:n tavoite + nousunopeuden rajoittaminen ja $2^{\circ}C$:n tavoite + ilmaston lämpenemisen epävarmuuden huomioiminen.

Kuva 4.9 esittää $2^{\circ}C$:n tavoitteen saavuttamiseksi tarvittavien päästövähennysten lisäkustannusta, joka syntyy, kun esitettyjä fysikaalisia metriikoita käytetään kustannusoptimointimallissa kustannustehokkaan metriikan sijaan. Optimointimallin kustannustehokkaimmassa ratkaisussa (GCP) kertoimet vaihtelevat ajan mukana, ja tällaisten muuttuvien kertoimien käyttäminen olisi käytännön ilmastopoliittikan kannalta monimutkaista. Kun lisäksi huomioidaan epävarmuudet GCP-metriikan laskennassa, ei täydellistä kustannustehokkuutta saavutettaisi käytännössä tälläkään metriikalla.

Kuvan perusteella GWP_{100} aiheuttaisi vain vähäisen kustannuslisän teoreettiseen optimitalpaukseen (GCP) nähden. Sen sijaan GTP-metriikat aiheuttaisivat kohtalaisia lisäkustannuksia kaikilla kolmella ilmastotavoitteella. Syynä tälle on se, että GTP-metriikat antavat metaanille liian alhaisen painon (aikariippuvalla GTP:llä vain vuosisadan alkupuolella), jolloin merkittävä osa kustannustehokasta CH_4 -vähennyspotentiaalia jää käyttämättä.

4. Arvioita päästökertoimien vaihtamisen vaikutuksista ja haasteista



Kuva 4.9. Globaalien päästövähennystoimien kustannuslisa kolmen eri tavalla määritellyn 2°C:n lämpenemistavoitteen saavuttamiselle kunkin tapauksen kustannustehokkaaseen tapaukseen verrattuna, mikäli eri kasvihuonekaasuille käytettäisiin metriikkana GWP₁₀₀-kerrointa, GTP₁₀₀-kerrointa tai aikariippuvaa GTP:tä. Arviot laskettiin kolmelle eri ilmastotavoitteelle: nykyinen 2°C:n tavoite (kuvassa 2°C), 2°C:n tavoite + nousunopeuden rajoittaminen (kuvassa 2°C + ramppi) ja 2°C:n tavoite + ilmaston lämpenemisen epävarmuuden huomioiminen (kuvassa 2°C + epävarmuus).

5. Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset ilmastoa lämmittävät ja viilentävät päästöt

Kioton pöytäkirja koskee pelkästään hiilidioksidia (CO₂), metaania (CH₄), typpioksiduulia (N₂O) ja osaa F-kaasuista (HFC:t, PFC:t ja SF₆). Otsonikadon estämiseksi solmittu Montrealin sopimus koskee loppuja F-kaasuja (CFC:t ja HCFC:t). Pitkäikäisten kasviuonekaasujen lisäksi myös muutamat lyhytikäiset kaasut ja musta hiili lämmittävät ilmastoa. Toisaalta aerosolien ja pilvien heijastava vaikutus viilentää ilmastoa. Jos Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset päästöt arvioitaisiin CO₂-ekvivalenteina, ne voisivat EU:ssa vastata jopa 15 %:a Kioto-kaasujen päästöistä.

5.1 Vuoden 2000 päästöjen vaikutus lämpenemiseen

Kuvassa 5.1 on esitetty IPCC:n arvio vuoden 2000 globaalien päästöjen lämmitysvaikutuksesta vuosien 2000–2100 aikana (IPCC 2007). Arvion mukaan vuoden 2000 hiilidioksidipäästöt lämmittävät ilmastoa enemmän kuin kaikki muut ihmisen toiminnasta aiheutuvat päästöt yhteensä. Toiseksi suurin lämmittävä vaikutus on metaanilla ja kolmanneksi suurin typpioksiduulilla.

Kioton pöytäkirjassa rajoitetaan hiilidioksidin (CO₂), metaanin (CH₄), typpioksiduulin (N₂O) ja F-kaasujen päästöjä. Kioton pöytäkirjan kaasut valittiin rajoitteiden piiriin ennen kaikkea siksi, että ne lämmittävät ilmastoa voimakkaasti, mutta lisäksi myös siksi, että niiden päästömäärät on suhteellisen helppo arvioida eikä maapalloa lämmittävä vaikutus riipu siitä, missä päästöt vapautuvat.

F-kaasut ovat pääasiassa teollisuudessa ja kylmälaitteissa käytettyjä fluori-kaasuja, joista osa tuhoaa otsonikerrosta (kuvassa 5.1 CFC:t ja HCFC:t). Otsonikerrosta tuhoavien kaasujen käyttöä rajoitetaan Montrealin sopimuksessa. Kioton pöytäkirjan piiriin kuuluvat loput F-kaasut (kuvassa SF₆, PFC:t ja HFC:t). Kaikki näistä lämmittävät maapalloa.

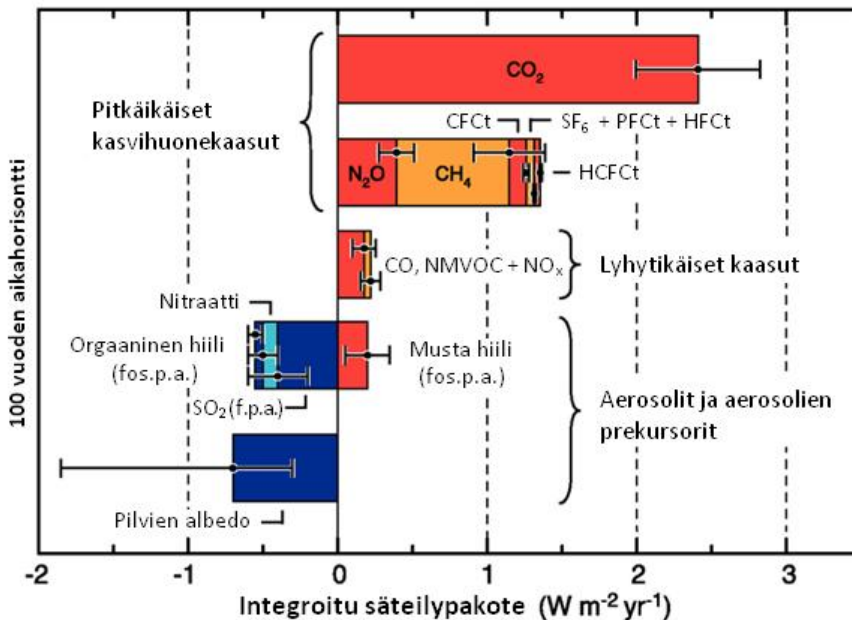
Muita lämmittäviä kaasuja päästöjä ovat häkä (CO), haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC:t) ja musta hiili (Black Carbon, BC). Haihtuvat orgaaniset yhdisteet sisältävät myös metaanin, joka raportoidaan erikseen. Tämän vuoksi yleisesti puhutaan haihtuvista orgaanisista yhdisteistä pl. metaani (Non Methane Volatile Organic Compounds, NMVOC).

5. Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset ilmastoa lämmittävät ja viilentävät päästöt

Keskimäärin viilentäviä päästöjä puolestaan ovat typen oksidit (NO_x), rikin oksidit (SO_2) sekä orgaaninen hiili (Organic Carbon, OC). Orgaaninen hiili on oma päästöryhmänsä eikä automaattisesti liity biomassan polttoon. Mustan ja orgaanisen hiilen muodostuminen ja vaikutukset on selitetty tarkemmin luvuissa 5.3.

Ilmansaasteiden lämmittävä ja viilentävä vaikutus riippuu keskeisesti siitä missä ne vapautuvat, sillä niiden keskimääräinen elinikä ilmakehässä on vain joitakin viikkoja ja niiden vaikutus riippuu päästöalueen olosuhteista. Esimerkiksi musta hiili lämmittää lumipeitteisillä alueilla paljon voimakkaammin kuin muualla.

Kuvassa 5.1 esitetyjä globaaleja keskiarvoja ei voi suoraan soveltaa yksittäisille alueille tai tiettyihin päästölähteisiin. Kuvassa 5.1 NO_x :n lämmittävä vaikutus on esitetty kolmannessa palkissa ja viilentävä vaikutus neljännessä palkissa. Aerosoleihin liittyvä ilmakehän kemia on erityisen mutkikasta ja arvioihin liittyvät epävarmuudet ovat suhteessa paljon suurempia kuin muissa kuvan arvioissa.



Kuva 5.1. IPCC:n (2007) arvio vuoden 2000 globaalien päästöjen lämmittävästä vaikutuksesta (integroidusta säteilypakotteesta) vuosina 2000–2100. Lyhytikäisten kaasujen ja aerosolien lämmittävä ja viilentävä vaikutus riippuu huomattavan paljon siitä, missä ne vapautuvat. Kuvan lukuarvot ovat globaaleja summia eikä niitä voi suoraan soveltaa yksittäisiin maihin tai päästölähteisiin. Mustan ja orgaanisen hiilen sekä SO_2 :n arvot sisältävät ainoastaan päästöt fossiilisista polttoaineista. Typen oksidien päästöjen vaikutus on esitetty kuvassa kolmannessa (NO_x) ja neljännessä palkissa (Nitraatti). Yhteensä globaaleilla NO_x -päästöillä on viilentävä vaikutus.

IPCC:n (2007) mukaan lyhytikäisten päästöjen osuus vuoden 2000 päästöjen lämmittävistä vaikutuksesta sadan vuoden aikavälillä arvioituna on suhteellisen pieni. IPCC:n arvion mukaan Kioton pöytäkirjan kaasut kattavat noin 90 % vuoden 2000 päästöjen lämmittävistä vaikutuksesta sadan vuoden tarkasteluvälillä. Lisäksi vuosien 2000–2005 aikana pitkäikäisten kasvihuonekaasujen globaalit päästöt kasvoivat nopeammin kuin muiden ilmansaasteiden päästöt (EDGAR 2010), joten Kioton pöytäkirjan kaasujen osuus lämmittävistä vaikutuksesta on tällä hetkellä hieman suurempi kuin aiemmissa arvioissa.

5.2 Muiden ilmansaasteiden vaikutus lämpenemiseen

Muista ilmansaasteista lämpenemiseen vaikuttavat jotkin lyhytikäiset kaasut ja aerosolipäästöt. Eri päästöjen vaikutusmekanismit ilmakehässä voivat olla erittäin monimutkaisia, ja lopullinen lämmitysvaikutus riippuu mm. päästöjen maantieteellisestä sijainnista, ympäröivän ilman kemiallisesta koostumuksesta ja alla olevan pinnan tummuudesta. Eri päästöjen keskimääräinen vaikutus globaaliin lämpenemiseen voidaan tiivistää seuraavasti:

- Typen oksidit (NO_x) – viilentävä ja lämmittävä vaikutus. Lyhyellä aikavälillä (joitakin vuosia) lämmittävä vaikutus ja pitkällä aikavälillä viilentävä vaikutus on suurempi
- Häkä (CO) – lämmittävä vaikutus
- Haihtuvat orgaaniset yhdisteet pl. metaani (NMVOC) – lämmittävä vaikutus
- Musta hiili (BC) – lämmittävä vaikutus
- Orgaaninen hiili (OC) – viilentävä vaikutus
- Ammoniakki (NH_3) – viilentävä vaikutus
- Rikin oksidit (SO_2) – viilentävä vaikutus.

Arviot typen oksidien lämmitysvaikutuksesta tyypillisesti sisältävät vaikutukset ilmankehän otsoniin, metaaniin, vesihöyryyn ja metaanin määrän kautta jälleen otsoniin. Lisäksi NO_x t vaikuttavat lämpenemiseen muodostamalla nitraatteja. Korkean reaktiivisuuden ja monien eri vaikutusten vuoksi kokonaisarvion tekeminen on vaikeaa. Lisäksi arvio on summa suhteellisen suurista viilentävistä ja lämmittävistä vaikutuksista, jotka suurelta osin kumoavat toisensa. Tämän vuoksi NO_x :n lämmitysvaikutuksen arviot sisältävät suhteellisen suuren epävarmuuden. Lisäksi arvioissa on suuria eroja riippuen päästölähteistä ja maantieteellisestä sijainnista.

Myös CO- ja NMVOC-päästöt vaikuttavat usealla eri tavalla. Ne mm. vaikuttavat otsonin ja hydroksyyli-ionien (OH) määrään, mikä vaikuttaa metaanin hajoamiseen ilmakehässä. Lisäksi CO- ja NMVOC-päästöt vaikuttavat ilmakehän aerosoleihin. Kokonaisvaikutus on arvioitu lämmittäväksi ja arvioiden epävarmuus on pienempi kuin NO_x :lla

5. Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset ilmastoa lämmittävät ja viilentävät päästöt

Aerosoleja ovat primääriset aerosolit, kuten esimerkiksi pienhiukkaset, muu pöly sekä musta ja orgaaninen hiili, ja sekundääriset aerosolit, kuten esimerkiksi sulfaatit ja nitraatit. Aerosolien prekursoreilla tarkoitetaan niitä aineita, jotka muodostavat aerosoleja ilmakehässä, kuten esimerkiksi SO_x , NO_x - ja NH_3 -päästöt.

Aerosolit vaikuttavat lämpenemiseen heijastamalla tai imemällä auringon valoa. Suoran vaikutuksen lisäksi ne vaikuttavat pilvien muodostumisen kautta. Hiukkaset toimivat pilvipisaroiden muodostumiskeskuksina ja hiukkasten määrän muutos voi siten vaikuttaa maapallolta heijastuvan säteilyn määrään.

Muodostuvat aerosolit ovat hyvin monenlaisia, mutta lisäksi niiden koko ja ominaisuudet voivat vielä muuttua ilmakehässä muodostumisen jälkeen. Lisäksi niiden lopulliseen lämmitysvaikutukseen vaikuttaa se, mihin ne kulkeutuvat ja minkälainen pinta niiden alla on. Tumman pinnan, kuten meren, päällä aerosolit tyypillisesti viilentävät, mutta hyvin heijastavan pinnan, kuten lumen, päällä ne tyypillisesti lämmittävät.

Aerosolien ilmastokemia on erittäin mutkikasta. Yleistäen aerosolit ovat keskimäärin pääasiassa viilentäviä, mutta osa niistä, kuten musta hiili, lämmittää voimakkaasti.

5.3 Mustan ja orgaanisen hiilen vaikutus lämpenemiseen

Epätäydellisessä palamisessa syntyvä noki koostuu vaaleammista orgaanisista komponenteista, tummemmasta erittäin hyvin valoa imevästä komponentista ja muista palamisen sivutuotteista, kuten rikin ja typen oksideista. Vaaleampia komponentteja kutsutaan orgaaniseksi hiileksi ja tummaa komponenttia mustaksi hiileksi. Termejä ”noki” ja ”musta hiili” saatetaan joskus käyttää virheellisesti toistensa synonyymeina.

Savun ja noen määrää on länsimaissa säädelty ilmanlaadun parantamiseksi jo pitkään, ja sitä kautta myös mustan hiilen määrää, mutta ilmastopoliittiseen keskusteluun musta hiili on noussut paljon myöhemmin. Ensimmäiset tieteelliset julkaisut mustan hiilen lämmittävistä vaikutuksista ovat 1980-luvun alusta (Rosen et al. 1981), mutta alustava kokonaiskuva mustan hiilen vaikutuksista pystyttiin muodostamaan vasta kolmanteen IPCC:n arviointiraporttiin vuonna 2001.

IPCC:n neljännen arviointiraportin (IPCC 2007) mukaan mustan hiilen päästöt aiheuttavat suuruusluokkaa $+0,2 [\pm 0,15] \text{ W/m}^2$ olevan keskimääräisen lämmittävän säteilypakotteen. Orgaanisen hiilen keskimääräinen viilentävä säteilypakote on luokkaa $-0,05 [\pm 0,05] \text{ W/m}^2$. Samassa IPCC:n arviointiraportissa ihmisen toiminnan aiheuttaman kokonaissäteilypakotteen on arvioitu olevan noin $1,6 \text{ W/m}^2$.

Musta hiili imee auringonvaloa tehokkaasti ja sillä on yleisesti ottaen voimakas lämmittävä vaikutus. Mustan hiilen kokonaisvaikutuksen voimakkuus riippuu kuitenkin alla olevasta pinnasta: arktisilla alueilla musta hiili lämmittää voimakkaasti ja meren päällä vähemmän, sillä meri olisi kuitenkin imenyt noin 90 % auringon säteilystä. Orgaanisen hiilen vaikutus on keskimäärin viilentävä, mutta erittäin hyvin heijastavalla pinnalla, kuten lumella, sen vaikutus voi olla lämmittävä.

5. Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset ilmasto lämmittävät ja viilentävät päästöt

Mustan hiilen lämmittävää vaikutusta tutkitaan kirjoitushetkellä erittäin paljon ja uutta tietoa saadaan jatkuvasti. Esimerkiksi elokuussa 2012 julkaistiin artikkeli, että biomassan poltosta vapautuva musta hiili lämmittää melkein kaksi kertaa niin voimakkaasti kuin on aiemmin ajateltu (Lack et al. 2012). Toisaalta toinen tuore tutkimus arvioi, että mustan hiilen lämmittävä vaikutus on yleisesti arvioitu liian suureksi eikä sen vähentäminen johtaisi niin suuriin hyötyihin ilmastonmuutoksen hidastamisessa, kuin on arvioitu (Cappa et al. 2012).

Suomessakin on aktiivista tutkimusta mustan hiilen vaikutuksista: Ilmatieteen laitoksessa on meneillään tutkimus Suomen mustan hiilen päästöjen merkityksestä arktisen alueen ilmastossa. Suomen Akatemian FICCA-tutkimusohjelmassa on hankkeita (COOL, STARSHIP), joissa tarkastellaan ilmakehän simulointimallien avulla hiukkapäätöjen merkitystä ilmaston muuttumisessa.

5.4 Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten päästöjen esittäminen GWP- ja GTP-kertoimilla

Myös muiden ilmansaasteiden lämmittävä ja viilentävä vaikutus voidaan esittää GWP- ja GTP-kertoimilla, mutta kertoimet riippuvat erittäin paljon siitä, missä päästöt vapautuvat. Lisäksi aiheesta käydään parhaillaan erittäin aktiivista tieteellistä keskustelua ja eri julkaisut esittävät erisuuruisia kertoimia.

Taulukkoon 5.1 on koostettu yhteenveto eri lähteissä esitetystä GWP- ja GTP-kertoimista muille ilmansaasteille. Kertoimet on esitetty vaihteluväleinä, mikä johtuu mm. siitä, että ilmakehän kemia on monimutkaista ja joissakin arvioissa on huomioitu pelkästään suorat vaikutukset ja toisissa myös joitakin epäsuoria vaikutuksia. Lisäksi kaikki arviot sisältävät epävarmuutta lähtöarvoissa ja oletetuissa taustapitoisuuksissa.

Taulukko 5.1. Muiden ilmansaasteiden lämmittävä ja viilentävä vaikutus voidaan esittää GWP- ja GTP-kertoimina, mutta kertoimet riippuvat paljon siitä, missä päästöt vapautuvat. Eri päästölähteiden ja alueiden kertoimet on tässä esitetty vaihteluväleinä. Lukuarvot perustuvat kunkin kategorian kohdalla mainittuun lähteeseen. NO_x-kertoimet on alkuperäisissä lähteissä esitetty N-grammaa kohti.

Päästö	Päästölähde	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	GTP ₂₀	GTP ₁₀₀
CO ₂	Kaikki	1	1	1	1
NO _x	Globaali (suora)	-130 ... -70	-40 ... -20	-	-
NO _x	Globaali (suora + epäsuora)	-250 ... -90	-70 ... -25	-	-
NO _x	Lentoliikenne ^{a,b}	+30 ... +140	-5 ... +20	-180 ... -30	-3 ... +2
NO _x	Laivaliikenne ^b	-30 ... -10	-20 ... -10	-60 ... -40	-9 ... -2

5. Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset ilmastoa lämmittävät ja viilentävät päästöt

Päästö	Päästölähde	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	GTP ₂₀	GTP ₁₀₀
NO _x	Keskim hiilivoimala ^c	-60	-15	-	-
NO _x	EU + Pohjois-Afrikka ^b	-20 ... -5	-10 ... -3	-20 ... -10	-1 ... 0
NO _x	Pohjois Amerikka ^b	-12 ... +10	-6 ... +1	-25 ... -10	-1 ... 0
NO _x	Etelä-Aasia ^b	-40 ... +10	-15 ... 0	-55 ... -20	-2 ... 0
NO _x	Tropiikki ^b	+10 ... +40	-9 ... -3	-80 ... -65	-25 ... -20
CO	Globaali (suora) ^d	+4 ... +8	+1 ... +3	+2 ... +5	0 ... +0,5
CO	Globaali (suora) ^e		+2 ... +4	-	-
CO	Globaali (suora + epäsuora) ^e		+3 ... +8	-	-
NMVO	EU + Pohjois-Afrikka ^d	+10 ... +25	+3 ... +8	+4 ... +13	+0,5 ... +1,5
NMVO	Pohjois Amerikka ^d	+8 ... +25	+3 ... +8	+4 ... +16	+0,5 ... +1,5
NMVO	Itä-Aasia ^d	+10 ... +25	+3 ... +8	+4 ... +15	+0,5 ... +1,5
NMVO	Etelä-Aasia ^d	+20 ... +35	+6 ... +12	+9 ... +24	+1 ... +2
NH ₃	Globaali (suora) ^e	-141 ... +11	-41 ... +3	-	-
NH ₃	Globaali (suora + epäsuora) ^e	-115 ... +9	-33 ... +3	-	-
SO ₂	Globaali, suora vaikutus ^e	-150 ... -10	-60 ... -20	-	-
SO ₂	Globaali, suora + epäsuora vaikutus ^e	-500 ... -30	-145 ... -10	-	-
SO ₂	Laivaliikenne (suora) ^b	-150 ... -40	-40 ... -10	-40 ... -10	-6 ... -2
SO ₂	Laivaliikenne (epäsuora) ^b	-1600 ... -750	-440 ... -220	-450 ... -220	-60 ... -30
SO ₂	Teollisuus, Aasia ^c	-110	-30	-	-
SO ₂	Teollisuus, Pohjois-Amerikka ^c	-220	-60	-	-
Musta hiili	globaali (suora) ^b	+1600	+400	+470	+60
Musta hiili	globaali (suora + albedo) ^f	+1400 ... +4400	+400 ... +1300	-	-
Org. hiili	globaali ^b	-240	-70	-70	-10
Org. hiili	globaali ^f	-320 ... -60	-90 ... -20	-	-

a) Myhre et al. 2011 b) Fuglestvedt et al. 2010 c) Shindell et al. 2008 d) Fry et al. 2011
e) Shindell et al. 2009 f) Bond et al. 2011

5.5 Suomen ja EU:n Kioton ulkopuoliset päästöt CO₂-ekvivalenteina

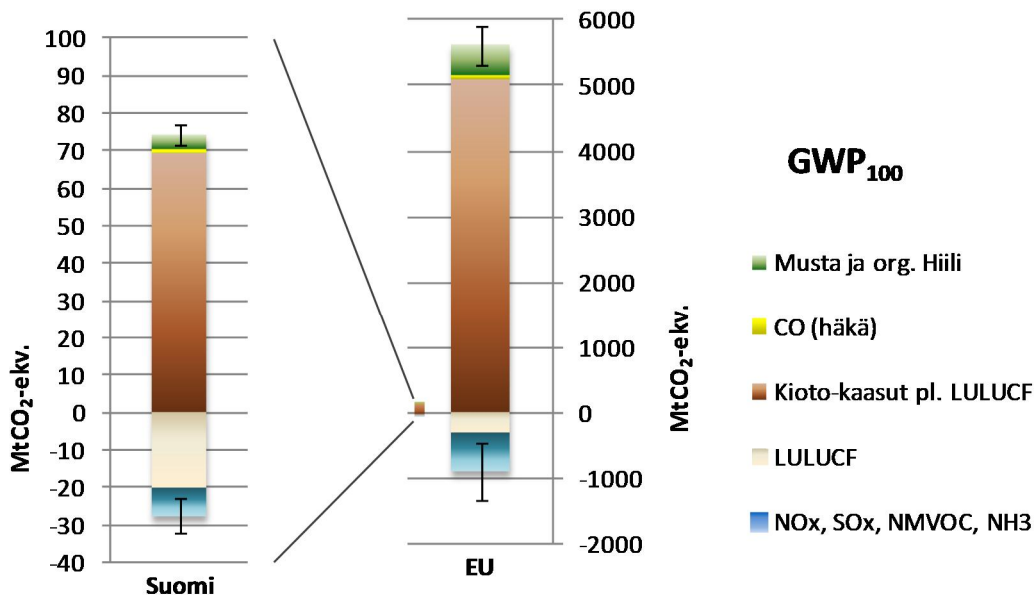
Kuvassa 5.2 on esitetty yhteenveto Suomen ja EU:n Kioton pöytäkirjan kattamista ja sen ulkopuolelle jääneistä päästöistä. Kioton pöytäkirjan kattamat päästöt ovat inventaarien mukaiset (IPCC 1995 -kertoimet), ja Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset päästöt on muutettu CO₂-ekvivalenteiksi taulukossa 5.1 esitetyillä GWP₁₀₀-kertoimilla.

Kuvaan on piirretty Kioton pöytäkirjan kattamat päästöt sekä maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin (LULUCF) nettohiilivuodet vuodelta 2000. Näiden lisäksi on esitetty mustan ja orgaanisen hiilen päästöt, häkäpäästöt (CO) sekä kaukokulkeumasopimuksen päästöt (NO_x, SO_x, NMVOC ja NH₃) muutettuna CO₂-ekvivalenteiksi. Kuvan vihreille ja sinisille palkeille on arvioitu myös ylä- ja alaraja, jotka kuvaavat arvioihin liittyvää suhteellisen suurta epävarmuutta.

Ehdotettu päästökattodirektiivi kattaisi sekä kaukokulkeumasopimuksen päästöt että PM_{2,5}-hiukkasten päästöt, jotka sisältävät osan mustan ja orgaanisen hiilen päästöistä. Osa näistä on kuitenkin tätä suurempia hiukkasia eivätkä ne siten sisälly ehdotettuun päästökattodirektiiviin.

GWP₁₀₀-kertoimilla arvioituna mustan ja orgaanisen hiilen päästöt lisäisivät Suomen laskennallisia päästöjä vuonna 2000 noin 9 %, ja muut ehdotetun päästökattodirektiivin päästöt vastaavasti pienensivät Suomen päästöjä noin 15 %. Kun tarkastellaan myös häkäpäästöjen lämmittävää vaikutusta, Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten päästöjen yhteisvaikutus Suomen laskennallisiin kokonaispäästöihin on noin -5 %.

5. Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset ilmastoa lämmittävät ja viilentävät päästöt



Kuva 5.2. Arvio Suomen ja EU:n vuoden 2000 Kioton-kaasuista ja muista ilmaan saasteista CO₂-ekvivalentein. Arvio on tehty GWP₁₀₀-kertoimilla. Suomen päästöt on esitetty myös suhteessa EU:n kokonaispäästöihin. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 1.

Koko EU:ssa muiden päästöjen osuus arvioiduista kokonaispäästöistä on suhteessa hieman pienempi kuin Suomessa, sillä nielujen suhteellinen koko on Suomessa suuri ja kokonaispäästöt sitä kautta hieman pienemmät.

Mustan ja orgaanisen hiilen huomioiminen laskennassa lisäisi EU:n päästöjä arviolta noin 10 % ja viilentävät lyhytikäiset päästöt pienentäisivät kokonaispäästöjä noin 12 %. EU:n tapauksessa Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten päästöjen yhteisvaikutus arviointiin kokonaispäästöihin on noin -1 %. EU:n osalta mustan hiilen päästöt on saatettu arvioida suuremmaksi kuin niiden pitäisi olla, sillä alkuperäisessä lähteessä tarkasteluun on otettu mukaan myös EU:n ulkopuolista Eurooppaa.

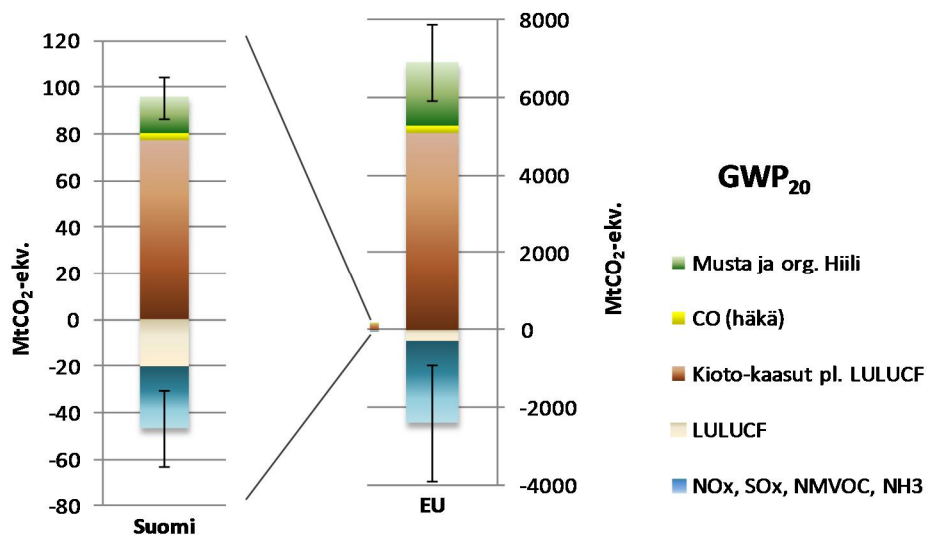
Kuvassa 5.3 on esitetty vastaava arvio laskettuna GWP₂₀-kertoimilla. Kun lämmitysvaikutusta tarkastellaan lyhyemmällä aikajaksolla, lyhytikäisten kaasujen merkitys korostuu. Esimerkiksi EU:lle musta ja orgaaninen hiili lisäisivät kokonaispäästöjä hieman yli 30 % ja muut ehdotetun päästökattodirektiivin päästöt pienentäisivät niitä noin 40 %. Lyhyemmällä tarkastelujaksolla arvioitu kokonaisvaikutus laskennallisiin päästöihin olisi noin -5 %. Lyhyemmällä aikajaksolla myös arvion epävarmuus kasvaa.

Lyhyen aikavälin ilmastopolitiikan näkökulmasta mustan hiilen päästöjen hillinnällä voitaisiin saavuttaa suhteellisen nopeita tuloksia. Toisaalta ehdotettu päästö-

5. Kioton pöytäkirjan ulkopuoliset ilmastoa lämmittävät ja viilentävät päästöt

kattodirektiivi taas vaikuttaisi juuri päinvastoin. Muiden ilmansaasteiden vähentämisen vaikutuksia lämpenemiseen on arvioitu tarkemmin luvussa 6.

On kuitenkin tärkeää muistaa, että muita ilmansaasteita vähentämällä voidaan saavuttaa mm. terveydellisiä ja ympäristöllisiä hyötyjä. Näitä arvioita on käsitelty tarkemmin VTT:n julkaisussa "Ilmastopolitiikan vaikutus ilmansaastepäästöihin" (Ekholm et al. 2012).



Kuva 5.3. Arvio Suomen ja EU:n vuoden 2000 Kioto-kaasuista ja muista ilmansaasteista CO₂-ekvivalentein. Arvio on tehty GWP₂₀-kertoimilla. Suomen päästöt on esitetty myös suhteessa EU:n kokonaispäästöihin. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 1.

6. Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten kaasujen rajoittamisen vaikutukset lämpenemiseen ja terveyteen

Lyhytikäisiä päästöjä vähentämällä voitaisiin saavuttaa nopeita tuloksia ilmastonmuutoksen hillinnässä ja saavuttaa lisää aikaa pidemmällä tähtäimellä vaikuttavien toimien tekemiseen. On kuitenkin tärkeää muistaa, että joidenkin lyhytikäisten päästöjen vaikutus on viilentävä ja että niiden vähentäminen johtaisi voimakkaampaan lämpenemiseen, mikä vastaavasti edellyttäisi suurempia päästövähennyksiä lämmittävien päästöjen osalta. Toisaalta ilmansaasteiden vähentämisellä on yleisesti ottaen positiivisia vaikutuksia terveyteen ja ympäristöön, joten ilmastonmuutoksen hillinnän ei tulisi olla ainoa peruste, kun päätetään niiden vähentämisestä.

6.1 Mustan ja orgaanisen hiilen päästöjen vähentäminen globaalisti

IPCC:n (2007) neljännen arviointiraportin mukaan mustan hiilen päästöt aiheuttavat globaalisti suuruusluokkaa $+0,2$ [$\pm 0,15$] W/m^2 olevan lämmittävän säteilypakotteen ja orgaaninen hiili keskimäärin $-0,05$ [$\pm 0,05$] W/m^2 :n viilentävän säteilypakotteen. Mustan ja orgaanisen hiilen päästöt ovat lyhytikäisiä, ja niitä vähentämällä voitaisiin saada nopeita tuloksia. Epävarmuudet arvioissa ovat suuria.

Vuonna 2012 Science-lehdessä julkaistun tutkimuksen mukaan mustan hiilen globaaleja päästöjä vähentämällä voitaisiin hidastaa lämpötilan nousua noin $0,2$ °C vuosisadan loppuun mennessä, ja samalla voitaisiin säästää kymmeniä miljoonia ihmishenkiä sekä saavuttaa merkittävästi parempia satotasoja (Shindell et al. 2012). Näissäkin arvioissa on suuret epävarmuudet. Esimerkiksi lämpötila-vaikutuksessa arvion vaihteluväli on $-0,1$... $-0,38$ °C.

Raportin vaikutukset voitaisiin saada aikaan seitsemällä päästövähennyskeinolla, jos ne toteutettaisiin globaalisti. Merkittävimmät keinot ovat tiukkojen päästönormien käyttöönotto liikennesektorilla ja vanhan teknologian korvaaminen uudella sekä liikenne- että teollisuussektorilla. Lisäksi toimenpideportfolio sisälsi puunpolton tehokkuuden parantamista ja korvaamista kotitaloussektorilla sekä maatalousjätteiden ulkoilmapolton kieltämisen. Schindellin tutkimuksessa tarkas-

teltujen keinojen lisäksi on suuri määrä muitakin mahdollisia toimenpiteitä, joilla mustan hiilen päästöjä voitaisiin rajoittaa.

Raportissa ei tarkasteltu orgaanisen hiilen päästöjä, jotka muodostuvat yleensä yhdessä mustan hiilen päästöjen kanssa. Orgaanisen hiilen päästöjen väheneminen todennäköisesti lisää terveyshyötyjä, mutta toisaalta kumoaa osan arvioidusta viilentävästä vaikutuksesta.

6.2 Muiden ilmansaasteiden vähentämisen vaikutukset Euroopassa

Tällä hetkellä kaukokulkeumasopimus (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, CLRTAP) rajoittaa EU-maiden NO_x -, SO_x -, NMVOC- ja NH_3 -päästöjä. Muiden ilmansaasteiden päästöjä on säädelty myös päästökattodirektiivillä (National Emission Ceilings Directive, NECD) (Directive 2001/81/EC) jonka päivitysprosessi on kesken. Päästökattodirektiivin päivityksen yhteydessä on ehdotettu, että myös $\text{PM}_{2,5}$ -päästöt otettaisiin säätelyn piiriin.

$\text{PM}_{2,5}$ -päästöt sisältävät sekä mustaa että orgaanista hiiltä. GAINS-mallilla tehdyn arvion mukaan musta hiili muodostaa noin 18 % $\text{PM}_{2,5}$ -päästöistä ja orgaaninen hiili noin 25 % (BCEG 2012). Nämä ovat vain osa mustan ja orgaanisen hiilen päästöistä, mutta jos $\text{PM}_{2,5}$ -päästöt päätetään ottaa säätelyn piiriin, vähentää päästökattodirektiivi myös mustan ja orgaanisen hiilen päästöjä.

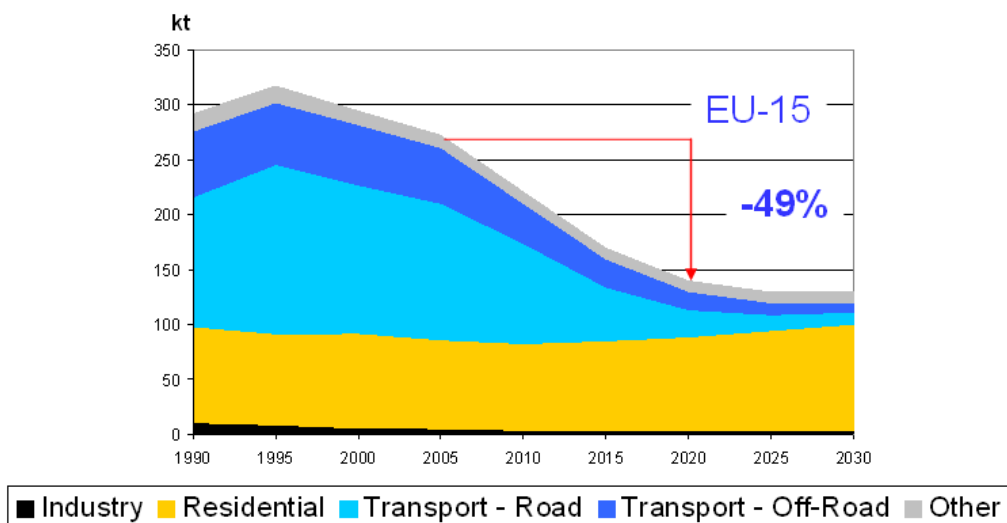
Joint Research Centren (JRC) mukaan jo päätetyt ja ehdotetut toimet vähentäisivät mustan hiilen päästöjä EU15:sta kuvan 6.1 mukaisesti. JRC:n arviot on julkaistu kansainvälisen mustan hiilen asiantuntijaryhmän raportissa (BCEG 2012). Arvion mukaan mustan hiilen päästöt laskisivat EU15:sta vuodesta 2005 vuoteen 2020 mennessä noin 50 %.

Mustan hiilen päästömääristä ei ole olemassa kattavaa inventaaria ja niiden arviointi on siksi vaikeaa. Jatkossa on käytetty edellisen luvun arviota koko EU:n mustan hiilen päästöistä ja sovellettu niihin kuvassa 6.1 esitettyä arviota EU15:sta mustan hiilen päästöjen kehityksestä. Orgaanisen hiilen päästöjen kehityksestä ei löytynyt arviota, joten tässä oletettiin, että sen päästöt kehittyvät kuten mustan hiilen päästöt.

Muut päästökattodirektiivin päästöt raportoidaan omissa inventaareissaan, ja niille on ehdotettu selkeitä tavoitteita vuodelle 2020. Kun eri päästöjen lähtötaso vuodelta 2000 ja tavoitetaso vuodelle 2020 muutetaan CO_2 -ekvivalenteiksi edellisen luvun GWP100-kertoimien avulla, huomataan, että muiden ilmansaasteiden vähentäminen vaikuttaa lämmittävästi. Etenkin NO_x - ja SO_x -päästöjen vähentäminen lämmittää ja toisaalta mustan hiilen päästöjen väheneminen viilentää ilmastoa.

Taulukkoon 6.1 on koottu lyhytikäisten päästöjen vaikutus lämpenemiseen vuodesta 2000 vuoteen 2020. Kokonaismuutos on arviolta +100 Mt CO_2 -ekv, mutta arvion epävarmuus on huomattavan suuri: ± 400 Mt CO_2 -ekv.

6. Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten kaasujen rajoittamisen vaikutukset lämpenemiseen ja terveyteen



Kuva 6.1. JRC:n arvio jo päätettyjen ja ehdotettujen toimien vaikutuksista EU15:n mustan hiilen päästöihin. Yksikään ehdotettu laki tai säädös ei säätele suoranaisesti mustan hiilen päästöjä, mutta SO₂- ja PM_{2,5}-päästöjen vähentäminen pienentää myös mustan hiilen päästöjä. (BCEG 2012.)

Taulukko 6.1. Yhteenveto jo päätettyjen toimien ja ehdotetun päästökattodirektiivin vaikutuksista NO_x-, SO_x-, NMVOC-, NH₃-, BC- ja OC-päästöjen määriin (Wagner et al. 2010, Amann et al. 2011) ja sitä kautta ilmaston lämpenemiseen. Lämmitysvaikutus on laskettu luvussa 5 esitellyillä GWP₁₀₀-kertoimilla.

Päästö	2000	2020	Muutos 2000–2020
	MtCO ₂ -ekv.	MtCO ₂ -ekv.	MtCO ₂ -ekv.
NO _x	-2350 (±120)	-160 (±50)	+110 (±50)
SO _x	-230 (±200)	-50 (±50)	+600 (±550)
NMVOC	+60 (±30)	+30 (±15)	-30 (±15)
NH ₃	-60 (±70)	-40 (±50)	+20 (±20)
BC	+500 (±260)	+240 (±130)	-260 (±140)
OC	-30 (±20)	-15 (±10)	+15 (±10)
Yhteensä	-120 (±700)	+0 (±300)	+100 (±400)

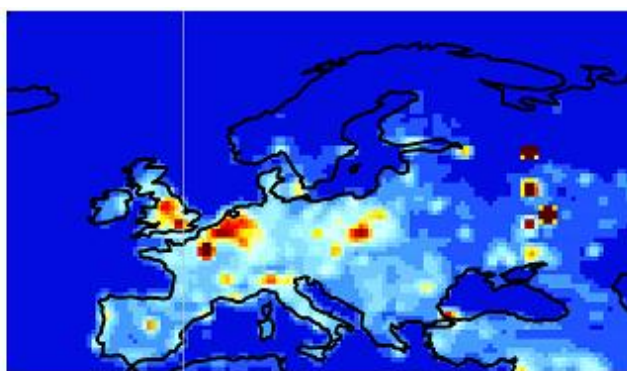
6. Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten kaasujen rajoittamisen vaikutukset lämpenemiseen ja terveyteen

Arvioitu lisäys lämmitysvaikutukseen vastaa noin 10 %:a suunnitellusta päästövähennyksestä vuoteen 2020 mennessä (-20 % vuoden 1990 tasosta = 1 200 MtCO₂-ekv). Epävarmuudet huomioituna muiden ilmansaasteiden vähentäminen saattaa johtaa myös viilenemiseen (arvion alaraja oli -300 MtCO₂-ekv) tai selvästi voimakkaampaan lämmitysvaikutukseen (arvion yläraja oli +500 MtCO₂-ekv).

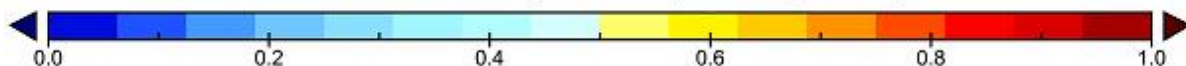
Muiden ilmansaasteiden vähenemisen terveyshyödyt on arvioitu merkittäviksi. IASA:n laajassa tutkimushankkeessa (Wagner et al. 2010) arvioitiin, että muiden ilmansaasteiden vähentäminen päästökattodirektiivin uudistusprosessissa ehdotetulle tasolle säästäisi kymmeniä miljoonia elinvuosia sekä pienentäisi happamoitumisesta ja rehevöitymisestä kärsivien luontoalueiden laajuutta.

Terveys- ja ympäristöhyötyjä voidaan suhteuttaa hyvin eri tavoin, jolloin niiden vaikutukset tuntuvat joko suhteellisen pieniltä tai suurilta. Asiaa on käsitelty laajemmin VTT:n muistiossa Ilmastopolitiikan vaikutus ilmansaastepäästöihin (Ekholm et al. 2012).

Arvioiden mukaan ilmansaasteiden vähentämisen terveyshyödyt ja satotason parannukset keskittyisivät Euroopassa pääasiassa niille alueille, joilla päästöt ovat selvästi muita alueita suuremmat. Kuvassa 6.2 on esitetty JRC:n arvio (BCEG 2012) mustan hiilen päästöjen alueellisesta jakautumisesta Euroopassa vuonna 2005. Suurimmat mustan hiilen päästökeskittymät EU:n alueella ovat Keski-Euroopan teollisuusalueilla, Englannissa ja Etelä-Puolassa. Muiden tarkasteltujen ilmansaasteiden osalta päästölähteet ovat jakautuneet vastaavasti ja myös potentiaaliset terveyshyödyt keskittyvät näille alueille.



Mustan hiilen päästöt - (10^{-11} kg m⁻² s⁻¹)



Kuva 6.2. JRC:n arvio mustan hiilen päästöjen maantieteellisestä jakautumisesta Euroopassa vuonna 2005 (BCEG 2012).

6. Kioton pöytäkirjan ulkopuolisten kaasujen rajoittamisen vaikutukset lämpenemiseen ja terveyteen

Suomen ympäristökeskus (SYKE) ylläpitää muiden ilmansaasteiden inventaaria ja tutkii myös mustan hiilen päästöjä. Kotimaisia vaikutusarvioita ei ole tehty, mutta Suomen tilannetta on arvioitu osana IIASA:n hankkeita. Yleisesti ottaen Suomen osalta nykytilanne on jo suhteellisen hyvä ja saavutettavat lisähyödyt ovat suhteellisen pieniä. Myös kansallisia terveys- ja ympäristöhyötyjä ilmansaasteiden vähentämisestä on käsitelty tarkemmin VTT:n muistiossa (Ekholm et al. 2012).

7. Yhteenveto

7.1 Päästökertoimet ilmastopoliitikan tavoitteiden tukena

Ongelmat eri kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitallistamisessa liittyvät suureksi osaksi aikaan liittyvien tekijöiden käsittelyyn. Ilmastopoliitikkana pyritään sekä pitkän että lyhyen aikavälin tavoitteisiin:

1. Pitkän ajan tavoitteena on vakauttaa ilmakehän pitoisuudet (eli pysäyttää lämpötilan nousu).
2. Lyhyen ajan tavoitteena on hillitä muutosnopeutta.

Näiden kahden tavoitteen ottaminen huomioon luo metriikalle haasteita. Tavoitteiden painotus on pitkälle poliittinen valinta. Tähän mennessä keskustelujen paino on ollut pääasiassa pitkän ajan tavoitteessa eli pitoisuuksien vakauttamisessa. Tähän voidaan päästä ennen kaikkea rajoittamalla pitkäikäisten kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin ja typpioksiduulin, päästöjä.

Nykyinen GWP₁₀₀-lähestymistapa ottaa huomioon suhteellisen hyvin pitkän aikavälin lämpötilan nousun rajoittamistavoitteen (tavoite 1). GWP:tä laskettaessa integroidaan myös lyhyen ajan säteilypakotteen yli, jolloin myös lyhyen ajan tavoite, nousunopeuden hillintä (tavoite 2), otetaan jossakin määrin huomioon.

Melko laajalti ollaan kuitenkin tyytyväisiä nykyiseen GWP₁₀₀-lähestymistapaan. GWP₁₀₀ on yksinkertainen käyttää ja helposti omaksuttavissa. Sen avulla voidaan mm. suunnitella päästönvähennystoimia eri kasvihuonekaasuille olettaen eri kaasuja koskeville toimille tietty vastaavuus.

Ilmastoneuvotteluissa on noussut esille muita painotustapoja, kuten GTP. Toisaalta GTP₁₀₀:n pitkää aikahorisonttia on arvosteltu, koska lyhytikäisten säteilypakotetekijöiden merkitys jäisi vielä pienemmäksi kuin GWP₁₀₀:n tapauksessa.

Jos GWP₁₀₀:sta siirrytään GTP₁₀₀:aan, painottuu pitkän ajan tavoite (1) vielä enemmän suhteessa lyhyen ajan tavoitteeseen (2). Jos muutosnopeuden hillinnan painoarvoa halutaan kasvattaa, tulee aikahorisonttia lyhentää tai valita erillisiä muutosnopeuden rajoituksia.

Päästökertoimet muodostavat käytännössä myös hintakertoimet eri kaasujen välille ja vaikuttavat siten keskeisesti ilmastopoliitikan kustannustehokkuuteen.

Arvioiden mukaan GWP-kertoimet olisivat kustannustehokkaampia kuin GTP-kertoimet (luku 5.3.3).

On tärkeä muistaa, että käytetyt kertoimet eivät vaikuta fysikaaliseen todellisuuteen. Yhteismitallistamiskertoimet ovat mm. tilastoinnin ja politiikanteon välineitä, joiden tarkoitus on helpottaa politiikan suunnittelua ja seurantaa.

7.2 Lyhytikäiset päästöt sekä lämmittävät ja viilentävät

Viime aikoina on keskusteluun noussut myös lämpenemisen hidastaminen (tavoite 2), johon voidaan vaikuttaa nopeimmin vähentämällä lyhytikäisiä säteilypakotetekijöitä, kuten mustan hiilen ja metaanin päästöjä.

Mustan hiilen lämmittävä vaikutus on kohtuullisen suuri, mutta sen elinikä on lyhyt. Tämän vuoksi mustan hiilen päästöjä vähentämällä voitaisiin hillitä lämpenemistä lyhyellä aikavälillä. Mustan hiilen päästöjen vähentäminen ei kuitenkaan yksin riitä, sillä tavoitteen 1 saavuttaminen vaatii voimakkaita vähennyksiä pitkäaikaisissa kasvihuonekaasuissa, joiden osuus kokonaislämmitysvaikutuksesta on merkittävästi suurempi. Lisäksi pitkäikäisten kasvihuonekaasujen päästöt kasvavat maailmanlaajuisesti niin nopeasti, että myös niiden päästömäärät on käännettävä laskuun.

Moni ilmansaaste heijastaa auringonvaloa ja keskimäärin viilentää maapalloa. Esimerkiksi SO₂:n, NO_x:n, NH₃:n ja orgaanisen hiilen viilentävä vaikutus on suhteellisen suuri, mutta niiden keskimääräinen elinikä ilmakehässä on erittäin lyhyt. Jos näitä päästöjä vähennetään voimakkaasti, maapallon lämpeneminen kiihtyy.

Myös muiden ilmansaasteiden lämmittävää vaikutusta voidaan arvioida GWP- ja GTP-kertoimilla ja sitä kautta verrata niitä Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasupäästöihin. Euroopassa muiden ilmansaasteiden yhteenlaskettu vaikutus oli viilentävä. Kun vuoden 2000 arvioitua viilentävää vaikutusta vertaa Kioton pöytäkirjan kattamiin kaasuihin, muut ilmansaasteet olisivat pienentäneet EU:n laskennallisia päästöjä yhteensä noin prosentin.

EU:ssa jo päätetyt ja ehdotetut politiikkatoimet todennäköisesti vähentävät viilentäviä ilmansaasteita enemmän kuin lämmittäviä, jolloin vuoteen 2020 mennessä menetettäisiin noin 10 % ilmastopolitiikan tehosta. Arvioiden epävarmuus on kuitenkin merkittävän suuri ja parhaimmassa tapauksessa ilmansaasteiden vähentäminen saattaisi viilentää maapalloa, mutta huonoimmassa tapauksessa niiden vähentäminen voisi kiihdyttää lämpenemistä selvästi odotusarvoa enemmän.

Koko maailman päästöinventaarit ja -ennusteet eivät ole riittäviä vastaavaan vertailuun. Asia on kuitenkin lyhyen ajan lämpenemisen kannalta merkittävä ja tutkimuksessa tulisi pyrkiä tarkentamaan suhteellisen suuria epävarmuuksia sekä päästöinventaareissa että käytetyissä painokertoimissa.

7.3 Aihe esillä lähitulevaisuudessa

Yhteenvetona voidaan todeta, että päästöjen kasvihuonevaikutuksen yhteismitallistamisessa on tapahtumassa suhteellisen paljon. Aihepiiristä julkaistaan jatkuvasti uusia tieteellisiä tutkimuksia koskien mm. tavanomaisten ilmansaasteiden roolia ilmastomuutoksen hillinnässä, GWP- ja GTP-vertailuja sekä aikajänteen merkitystä.

Myös IPCC:n viides arviointiraportti tulee käsittelemään aihepiiriä syyskuussa 2013 valmistuvassa työryhmän I osuudessa. Ensimmäisen työryhmän osuus on lähetetty maille kommentoitavaksi lokakuussa 2012.

Lisäksi IPCC:ltä on pyydetty kattavaa esitystä aiheesta SBSTA:n (ilmastosopimuksen alainen elin, Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice) kokoukseen vuodelle 2014 (40. SBSTA-kokous), kun viidennen arviointiraportin kirjoitustyö on valmistunut.

Lähteet

- 4/CMP.7. Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its seventh session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011; Addendum; Part Two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol at its seventh session; <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cmp7/eng/10a01.pdf> (17.10.2012).
- Amann, M. et al. 2011. Cost-effective Emission Reductions to Improve Air Quality in Europe in 2020 – Analysis of Policy Options for the EU for the Revision of the Gothenburg Protocol. NEC Scenario Analysis Report Nr. 8, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
- BCEG 2012. Draft report of the ad-hoc expert group on black carbon; http://www.bceg.org/documents/CLRTAP_BCEG_Draft%20Report%20Outline%2024%2003%2010.pdf (17.10.2012).
- Bond, T. C. et al. 2011. Quantifying immediate radiative forcing by black carbon and organic matter with the Specific Forcing Pulse, Atmospheric Chemistry and Physics 11; s. 1505–1525, <http://www.atmos-chem-phys.net/11/1505/2011/acp-11-1505-2011.pdf> (17.10.2012).
- Boucher, O. et al. 2009. The indirect global warming potential and global temperature change potential due to methane oxidation, Environmental Research Letters 4, 044007; http://iopscience.iop.org/1748-9326/4/4/044007/pdf/erl9_4_044007.pdf (17.10.2012).
- Cappa, C. D. et al. 2012. Radiative Absorption Enhancements Due to the Mixing State of Atmospheric Black Carbon; Science 337, s. 1078.
- Decision 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020.
- Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants.
- Directive 2004/101/EC of the European Parliament and of the Council of 27 October 2004 amending Directive 2003/87/EC establishing a scheme for

greenhouse gas emission allowance trading within the Community, in respect of the Kyoto Protocol's project mechanismsText with EEA relevance.

- EDGAR 2010. Results of the emission inventory EDGAR v4.1 of July 2010.
- Ekholm, T., Lindroos T. J. 2011. A risk hedging strategy for the 2°C target and the Copenhagen Accord, TemaNord 2011:543, Nordic Council of Ministers, Kööpenhamina.
- Ekholm, T., et al. 2012. Ilmastopolitiikan vaikutus ilmansaastepäästöihin VTT-R-06787-12. VTT, Espoo.
- Flanner, M. G. et al. 2007. Present-day climate forcing and response from black carbon in snow. *Journal of Geophysical Research* 112, D11202, doi:10.1029/2006JD008003.
- Fry, M. M. et al. 2011. The influence of ozone precursor emissions from four world regions on tropospheric composition and radiative climate forcing <http://www.agu.org/pubs/crossref/2012/2011JD017134.shtml> (17.10.2012).
- Fuglestvedt, J. S. et al. 2010. Transport impacts on atmosphere and climate Metrics, *Atmospheric Environment* 44 (37), ss. 4648–4677, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231009003653> (17.10.2012).
- IPCC, 1995. IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995; Working Group I: The Science of Climate Change
- IPCC, 2001. Climate Change 2001: Working Group I. The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- IPCC, 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007; Working Group I Report "The Physical Science Basis"
- Johansson, D.J.A. 2011. Economics- and physical-based metrics for comparing greenhouse gases. *Climatic Change* 110 (1–2), ss. 123–141.
- Kandlikar, M. 1995. The relative role of trace gas emissions in greenhouse abatement policies, *Energy Policy* 23(10), ss. 879–883.

- Kopp, R. E., Mauzerall, D. L. 2010. Assessing the climate benefits of black carbon mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 26, ss. 11703–11708.
- Lack, D. A. et al. 2012. Brown carbon and internal mixing in biomass burning particles, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, julkaistavana; <http://www.pnas.org/content/early/2012/08/13/1206575109.abstract> (17.10.2012).
- Rosen, H. et al. 1981. Soot in the Arctic, *Atmospheric Environment* 15, ss.1371–1374.
- Shindell, D. T. et al. 2008. A Multi-model assessment of pollution transport to the Arctic, *Atmospheric Chemistry and Physics* 8, ss. 5353–5372, <http://www.atmos-chem-phys.net/8/5353/2008/acp-8-5353-2008.pdf> (17.10.2012).
- Shindell, D. T. et al. 2009. Improved Attribution of Climate Forcing to Emissions, *Science* 326, ss. 716–718, <http://www.sciencemag.org/content/326/5953/716.full.pdf> (17.10.2012).
- Shindell, D. T. et al. 2012. Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security. *Science* 335, s. 183.
- Shine, K. P. et al. 2005. Alternatives to the global warming potential for comparing climate impacts of emissions of greenhouse gases, *Climatic Change* 68 (3), ss. 281–302, <http://rd.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-005-1146-9> (17.10.2012).
- Smith, S.M. et al. 2012. Equivalence of greenhouse-gas emissions for peak temperature limits, *Nature Climate Change* 2, ss. 535–538.
- UNFCCC 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/INFORMAL/84.
- UNFCCC 2012a. Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice; Report on the workshop on common metrics to calculate the carbon dioxide equivalence of greenhouse gases – Note by the secretariat; <http://unfccc.int/resource/docs/2012/sbsta/eng/inf02.pdf> (17.10.2012).
- UNFCCC 2012b. Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice; Common metrics to calculate the carbon dioxide equivalence of greenhouse

gases – Draft conclusions proposed by the Chair; <http://unfccc.int/resource/docs/2012/sbsta/eng/l05.pdf> (17.10.2012).

Wagner, F. et al. 2010. Baseline Emission Projections and Further Cost-effective Reductions of Air Pollution Impacts in Europe – A 2010 Perspective, NEC Scenario Analysis Report Nr. 7, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).

YM 2012. Tiedote 27.6.2012; Ympäristöministeri Niinistö ja Yhdysvaltain ulkoministeri Clinton tapaavat Suomen liittymisestä Yhdysvaltain ilmastoalotteeseen; <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=414653&lan=fi> (17.10.2012).

Liite 1: Tarkempi arvio lyhytikäisten päästöjen vaikutuksesta lämpenemiseen

SUOMI	Absoluuttiset päästömäärät **			Päästökerroin			Päästöt CO ₂ -ekvivalentteina (MtCO ₂ -ekv)	
		vuonna 2000	Lähde	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	Lähde	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀
CO ₂	Mt	56.8	Tilastokeskus 2012	1	1		56,8	56,8
CH ₄	Mt	0.26	Tilastokeskus 2012	56	21	IPCC 1995	14,4	5,4
N ₂ O	Mt	0.02	Tilastokeskus 2012	280	310	IPCC 1995	5,8	6,5
F-kaasut	MtCO ₂ -ekv **	0.57	Tilastokeskus 2012	–	–	–	0,57	0,57
LULUCF	MtCO ₂ -ekv **	-20.1	Tilastokeskus 2012	–	–	–	-20,1	-20,1
Kioton kaasut yhteensä							57,5	49,1
NO _x	kt (NO ₂ -ekv)	210	SYKE 2012	-102 (±34) ***	-29 (±9,4) ***	Fry et al. 2011	-21,4 (±7,1)	-6,1 (±2,0)
SO _x	kt (SO ₂ -ekv)	81	SYKE 2012	-78 (±70)	-22 (±20)	Shindell et al. 2009	-6,3 (±5,6)	-1,8 (±1,6)
NMVOOC	kt	160	SYKE 2012	+18,2 (±8,0)	+5,7 (±2,7)	Fry et al. 2011	2,9 (±1,3)	0,9 (±0,4)
NH ₃	kt	37	SYKE 2012	-53 (±62)	-15 (±18)	Shindell et al. 2009	-1,9 (±2,3)	-0,5 (±0,7)
CO	kt	610	EDGAR 2010	+5,0 (±1,3)	+1,6 (±0,4)	Fry et al. 2011	3,1 (±0,8)	1,0 (±0,2)
Musta hiili	kt	5.5	Kupiainen et al. 2010	+2900 (±1500)	+830 (±440)	Bond et al. 2011	16 (±8)	4,6 (±2,4)
Orgaaninen hiili	kt	6.2	Kupiainen et al. 2010	-160 (-320 ... -60)	-46 (-92 ... -18)	Bond et al. 2011	-1,0 (-2,0 ... -0,4)	-0,3 (-0,4 ... -0,6)
Lyhytikäiset päästöt yhteensä							-9 (-35 ... +17)	-2 (-10 ... +5)

EU27		Absoluuttiset päästömäärät **		Päästökerroin			Päästöt CO ₂ -ekvivalentteina (MtCO ₂ -ekv)	
		vuonna 2000	Lähde	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	Lähde	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀
CO ₂	Mt	4117	EEA 2012	1	1	*	4117	4117
CH ₄	Mt	23.1	EEA 2012	56	21	IPCC 1995	1296	486
N ₂ O	Mt	1.3	EEA 2012	280	310	IPCC 1995	377	417
F-kaasut	MtCO ₂ -ekv **	68	EEA 2012	–	–	–	68	68
LULUCF	MtCO ₂ -ekv **	-298	EEA 2012	–	–	–	-298	-298
Kioton kaasut yhteensä							5560	4790
NO _x	kt (NO ₂ -ekv)	12447	Wagner et al. 2010	-102 (±34)	-29 (±9,4)	Fry et al. 2011	-1270 (±423)	-361 (±117)
SO _x	kt (SO ₂ -ekv)	10439	Wagner et al. 2010	-78 (±70)	-22 (±20)	Shindell et al. 2009	-814 (±731)	-230 (±209)
NMVOOC	kt	11210	Wagner et al. 2010	+18,2 (±8,0)	+5,7 (±2,7)	Fry et al. 2011	204 (±90)	64 (±30)
NH ₃	kt	4021	Wagner et al. 2010	-53 (±62)	-15 (±18)	Shindell et al. 2009	-213 (±249)	-60 (±72)
CO	kt	39848	EDGAR 2010	+5,0 (±1,3)	+1,6 (±0,4)	Fry et al. 2011	199 (±52)	64 (±16)
Musta hiili	kt	600	Reddy et al. 2007	+2900 (±1500)	+830 (±440)	Bond et al. 2011	1740 (±900)	498 (±264)
Orgaaninen hiili	kt	669	Bice et al. 2009	-160 (-320 ... -60)	-46 (-92 ... -18)	Bond et al. 2011	-107 (-214 ... -40)	-31 (-40 ... -62)
Lyhytikäiset päästöt yhteensä							-261 (-2812 ... +2251)	-56 (-795 ... +671)

* Hiilidioksidin päästökerroin on aina 1, sillä muiden päästöjen lämmitysvaikutusta verrataan hiilidioksidin lämmitysvaikutukseen

** F-kaasut on otettu suoraan hiilidioksidiekvivalentteina, sillä F-kaasujen päästöjä on erittäin työläs arvioida kaasukohtaisesti ja vaikutus lopputulokseen on erittäin pieni. LULUCF-sektorin päästöt ovat hiilidioksidia.

Lähteet

- Bice, K. et al. 2009. Black carbon – A review and policy recommendations; Princeton University Woodrow Wilson School of Public and International Affairs Princeton University, New Jersey, Yhdysvallat.
- Bond, T. C. et al. 2011; Quantifying immediate radiative forcing by black carbon and organic matter with the Specific Forcing Pulse; Atmospheric Chemistry and Physics 11; s. 1505–1525; <http://www.atmos-chem-phys.net/11/1505/2011/acp-11-1505-2011.pdf> (17.10.2012)
- EDGAR 2010. Results of the emission inventory EDGAR v4.1 of July 2010.
- European Environment Agency; Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2010 and inventory report 2012; Submission to the UNFCCC Secretariat; 5/27/2012
- Fry, M. M. et al. 2011. The influence of ozone precursor emissions from four world regions on tropospheric composition and radiative climate forcing <http://www.agu.org/pubs/crossref/2012/2011JD017134.shtml> (17.10.2012).
- IPCC 1995. Climate Change 1995 – The Science of Climate Change – Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kupiainen, K. J. 2010. Emissions of carbonaceous particles country report Finland. Finnish Environment Institute (SYKE) – Currently at International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) – LRTAP BC expert group 17.6.2010; Suomen ympäristökeskus. http://www.bceg.org/meetings/2010/2010_06/documents/BCEG%20Presentations/Finland%20-%20Kupiainen.pdf (13.11.2012).
- SYKE 2012. Air pollutant emissions in Finland 1980–2010. Informative inventory report to the Secretariat of the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution; 15.3.2012.
- Reddy, M. S. & Boucher, O. 2007; Climate impact of black carbon emitted from energy consumption in the world's regions; Geophysical Research Letters, Vol. 34, L11802; <http://earthjustice.org/sites/default/files/black-carbon/reddy-and-boucher-2007.pdf> (9.11.2012).
- Shindell, D. T. et al. 2009. Improved Attribution of Climate Forcing to Emissions; Science 326(5953), 716–718. <http://www.sciencemag.org/content/326/5953/716.full.pdf> (17.10.2012).
- Tilastokeskus 2012. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2010; 2. korjattu painos.

Title	Common metrics: comparing the warming effect of climate forcers in climate policy
Author(s)	Tomi J. Lindroos, Tommi Ekholm, Ilkka Savolainen
Abstract	<p>Climate policy needs a relatively simple method to compare the warming effect of different greenhouse gases (GHGs). Otherwise it would be necessary to negotiate a different reduction target for each gas.</p> <p>At the moment, Global Warming Potential (GWP) concept is used to compare different GHGs. Numerical values of GWP factors have been updated alongside with scientific understanding and majority seems content to the GWP. From 2005 onwards there have been many proposals of optional metrics. The most well known is Global Temperature change Potential (GTP) concept which measures the change of temperature as does global climate policies.</p> <p>The decision between metrics is a multicriteria decision which should include at least the coherence with climate policy and cost efficiency. The GWP concept may be a little more difficult to understand than the GTP but it is more cost efficient.</p> <p>Alongside with new metrics, scientists and politicians have started to discuss of new emission which have an effect on warming. These Short Lived Climate Forcers (SLCFs) have either warming or cooling effect. Their effect can be presented with GWP and GTP but the uncertainties in the emission factors are large.</p> <p>In total, SLCFs reduce overall emissions of EU approximately 1% in year 2000. NO_x, SO_x (cooling) and black carbon (warming) emissions were the biggest factors. EU is planning to reduce the SLCF emissions to achieve health and environmental benefits, but at the same time this reduces the effect of EU's climate policies by approximately 10%. Uncertainties in the estimates are large.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7886-3 (soft back ed.) ISSN 2242-1211 (soft back ed.) ISBN 978-951-38-7887-0 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN 2242-122X (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)
Date	November 2012
Language	Finnish, English abstract
Pages	55 p. + app. 3 p.
Toimeksiantajat	Ministry of the Environment
Keywords	Common metrics, GWP, GTP, green house gas, short lived climate forcers, NO _x , SO _x , NH ₃ , NMVOC, black carbon, organic carbon
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

Nimeke	Common metrics: lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen yhteismitallistaminen ilmastopoliitikassa
Tekijä(t)	Tomi J. Lindroos, Tommi Ekholm, Ilkka Savolainen
Tiivistelmä	<p>Käytännön ilmastopoliitikka edellyttää suhteellisen yksinkertaista tapaa verrata eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutusta. Muussa tapauksessa jouduttaisiin sopimaan esimerkiksi päästövähennystavoitteet jokaiselle kaasulle erikseen.</p> <p>Tällä hetkellä eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutusta vertaillaan GWP-kertoimilla (Global Warming Potential). Käytettyjä GWP-kertoimia on päivitetty tieteellisen ymmärryksen lisääntyessä ja niihin vaikutetaan yleisesti suhteellisen tyytyväisiltä. Vuodesta 2005 alkaen GWP-kertoimille on kuitenkin esitetty useita vaihtoehtoja, joista tunnetuimpia ovat GTP-kertoimet (Global Temperature change Potential), jotka mittaavat muutosta lämpötilassa kuten yleiset ilmastopoliittikatavoitteet.</p> <p>Valintaa eri kertoimien välillä tulisi arvioida ilmastopoliitikan koherenssin lisäksi myös päästöjen rajoittamisen kustannustehokkuuden näkökulmasta. Tässä raportissa esitettyjen arvioiden perusteella GWP-kertoimien periaate voi olla vaikeampi ymmärtää, mutta ne ovat jo käytössä ja lisäksi ne olisivat kustannustehokkaampia kuin GTP-kertoimet.</p> <p>Uusien kertoimien lisäksi keskusteluun on noussut myös aiemmin vähemmän esillä olleiden päästöjen vaikutus lämpenemiseen. Esimerkiksi musta hiili lämmittää voimakkaasti etenkin arktisilla alueilla. Toisaalta joillakin muilla päästöillä, kuten SO_x- ja NO_x-päästöillä, on viilentävä vaikutus. GWP- ja GTP-kertoimia voidaan soveltaa myös näihin päästöihin, mutta epävarmuudet arvioissa ovat vielä suhteellisen suuria.</p> <p>Lyhytikäiset päästöt pienentäisivät EU:n vuoden 2000 laskennallisia kokonaispäästöjä arviolta noin prosentilla. Vaikutus johtuu lähinnä suurista NO_x- ja SO_x-päästöistä. EU:ssa pyritään saavuttamaan merkittäviä terveysvaikutuksia vähentämällä näitä päästöjä vuoteen 2020 mennessä, mutta samalla kumottaisiin arviolta noin 10 % ilmastopoliitikan tehosta. Arviot ovat alustavia ja niihin sisältyy erittäin suuret epävarmuudet.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-7886-3 (nid.) ISSN 2242-1211 (nid.) ISBN 978-951-38-7887-0 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN 2242-122X (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)
Julkaisu-aika	Marraskuu 2012
Kieli	suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	55 s. + liitt. 3 s.
Toimeksiantajat	Ympäristöministeriö
Avainsanat	Common metrics, GWP, GTP, green house gas, short lived climate forcers, NO _x , SO _x , NH ₃ , NMVOC, black carbon, organic carbon
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, Puh. 020 722 111

VTT on puolueeton, moniteknologinen tutkimusorganisaatio. VTT tuottaa yhdessä kotimaisten ja kansainvälisten asiakkaidensa ja yhteistyökumppaneidensa kanssa tieteelliseen tutkimukseen pohjautuvia innovaatioita ja luo näin edellytyksiä yhteiskunnan kestäväälle kehitykselle ja hyvinvoinnille.

Liikevaihto: 300 milj. euroa

Henkilöstö: 3 200

VTT:n julkaisut

VTT:läiset julkaisevat tutkimustuloksia ulkomaisissa ja kotimaisissa tieteellisissä lehdissä, ammattilehdissä ja julkaisusarjoissa, kirjoina, konferenssisitelmänä, patenteina sekä VTT:n omissa sarjoissa. VTT:n julkaisusarjat ovat VTT Visions, VTT Science, VTT Technology ja VTT Research Highlights. Sarjoissa ilmestyy vuosittain noin sata korkeatasoista tiede- ja ammattijulkaisua. Julkaisut ilmestyvät verkossa ja suurin osa myös painettuna.

VTT Visions

Sarja sisältää tulevaisuudennäkymiä ja ennakoiteja VTT:n näkemyksen mukaan merkittävistä teknologisista, yhteiskunnallisista ja liiketoiminnallisista teemoista. Sarja on suunnattu erityisesti yritysten ja julkishallinnon päättäjille ja asiantuntijoille.

VTT Science

Sarja tuo esille VTT:n tieteellistä osaamista. Siinä ilmestyy väitöskirjoja ja muita vertaisarvioituja julkaisuja. Sarja on suunnattu erityisesti tutkijoille ja tiedeyhteisölle.

VTT Technology

Sarja sisältää julkisten tutkimusprojektien tuloksia, teknologia- ja markkinakatsauksia, kirjallisuustutkimuksia, oppaita ja VTT:n järjestämien konferenssien esitelmää. Sarja on suunnattu ammattipiireille, kehittäjille ja soveltajille.

VTT Research Highlights

Sarjassa esitellään tiiviissä muodossa VTT:n valittujen tutkimusalueiden uusimpia tuloksia, ratkaisuja ja vaikuttavuutta. Kohderyhmänä ovat asiakkaat, päättäjät ja yhteistyökumppanit.

Common metrics: lämpenemiseen vaikuttavien päästöjen suhteellinen painotus ilmastopolitiikassa

Käytännön ilmastopolitiikka edellyttää suhteellisen yksinkertaista tapaa verrata eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutusta. Muussa tapauksessa jouduttaisiin sopimaan esimerkiksi päästövähennystavoitteet jokaiselle kaasulle erikseen.

Tällä hetkellä eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutusta vertaillaan GWP-kertoimilla (Global Warming Potential), mutta niille on esitetty useita vaihtoehtoja. Valintaa eri kertoimien välillä tulisi arvioida mm. ilmastopolitiikan koherenssin ja päästöjen rajoittamisen kustannustehokkuuden näkökulmasta. Tässä raportissa esitettyjen arvioiden perusteella GWP-kertoimien periaate voi olla hieman vaikea ymmärtää, mutta ne ovat suhteellisen kustannustehokkaita.

Uusien kertoimien lisäksi keskusteluun on noussut myös aiemmin vähemmän esillä olleiden päästöjen vaikutus lämpenemiseen. Esimerkiksi musta hiili lämmittää voimakkaasti etenkin arktisilla alueilla. Toisaalta joillakin muilla päästöillä, kuten riken (SO_x) ja typen (NO_x) oksideilla, on viilentävä vaikutus. Lyhytikäisten päästöjen lämmittävän vaikutuksen huomioiminen pienentäisi EU:n vuoden 2000 laskennallisia kokonaispäästöjä yhteensä noin prosentilla.

EU:ssa pyritään saavuttamaan merkittäviä terveysvaikutuksia vähentämällä lyhytikäisiä lämpenemiseen vaikuttavia päästöjä vuoteen 2020 mennessä, mutta samalla kumottaisiin arviolta noin 10 % ilmastopolitiikan tehosta. Arviot ovat alustavia ja niihin sisältyy erittäin suuret epävarmuudet.

ISBN 978-951-38-7886-3 (soft back ed.)

ISBN 978-951-38-7887-0 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 2242-1211 (soft back ed.)

ISSN 2242-122X (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)