



LAUREA

Kasvihuonekaasupäästöjen alueellisten laskentamenetelmien vertailua



Lounasheimo, Johannes

2009 Hyvinkää

Johannes Lounasheimo

Kasvihuonekaasupäästöjen alueellisten laskentamenetelmien vertailua

Vuosi 2009 Sivumäärä 95

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on noussut sadassaviidessäkymmenessä vuodessa yli 30 prosenttia, ja maapallon keskilämpötila samassa ajassa vajaan asteen. Globaali tavoite on rajoittaa lämpeneminen kahteen asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna, mikä tarkoittaa rajuja leikkauksia kasvihuonekaasupäästöihin (khk-päästöt). Ilmastopolitiikkaa muutoksen hillitsemiseksi toteutetaan monella tasolla: YK:lla ja kansallisvaltioilla on omat tavoitteensa, mutta myös esimerkiksi monet kunnat ja kaupungit ovat laatineet alueellisia päästövähennysstrategioita. Usein on tarkoituksenmukaista ajatella laajasti ja toimia paikallisesti.

Khk-päästöjen laskemiseksi ja päästötrendien seuraamiseksi on kehitetty useita laskentamenetelmiä. Tässä työssä vertaillaan kolmea Suomessa käytettyä tapaa inventoida alueelliset päästöt. Työn tavoitteena on selvittää Kasvener-mallin, Hilma-metodin ja Primäärienergiatarkastelun erityisominaisuuksia. Kaikki kolme menetelmää antavat samalle alueelle samoilla lähtötiedoilla erilaiset päästötulokset. Tarkoitus on analysoida miksi luvuista tulee erilaisia, mitä taustaolettamuksia menetelmät sisältävät ja miten herkästi kukin malli reagoi muutokseen.

Kasvener on kasvihuonekaasu- ja energiatasemalli, jota on käytetty useissa Suomen Kuntaliiton ilmastokampanjaan osallistuneissa kunnissa. Hilma-metodi on Kasveneristä edelleen pääkaupunkiseudun ilmastostrategiaa varten kehitetty menetelmä, ja CEN-standardiin perustuvaa Primäärienergiatarkastelua puolestaan ovat käyttäneet energiayhtiöt erityisesti erilaisten lämmitystapojen päästövertailujen yhteydessä. Vuoden 2006 päästöt laskettiin YTV-alueelle (Helsinki, Espoo, Kauniainen ja Vantaa) ja Kirkkonummelle.

Suurimmaksi eroksi menetelmien välillä osoittautui energiasektorin khk-päästöjen laskentatapa. Etenkin toisistaan poikkeavat tavat määrittellä alueella kulutetun sähkön alkuperä aiheuttivat tuloksissa hajontaa. Kasvenerissä suurin merkitys on paikallisella energiantuotannolla, kun taas Hilma-metodissa sähkön oletetaan olevan valtakunnallista keskiarvotuotantoa. Primäärienergiatarkastelussa sähkönkulutuksen päästöt lasketaan ikään kuin sähkö olisi peräisin Keski-Euroopan lauhdevoimaloista. Toinen merkittävä metodinen ero liittyy sähkön ja lämmön yhteistuotannon (CHP) khk-päästöjen jyvittämiseen kummallekin energiakomponentille. CHP-kaukolämmön päästöt olivat Kasvenerillä laskettuna selvästi suurimmat ja Primäärienergiatarkastelulla pienimmät.

Tutkimuksen kohteena olleita laskentamenetelmiä ei voi varsinaisesti arvottaa toinen toistaan paremmiksi. Toisaalta myöskään tulosten suuruusluokan perusteella ne eivät asetu systemaattisesti tiettyyn järjestykseen. Ainoastaan sähkönkulutuksen päästöjen korostuminen Primäärienergiatarkastelussa tuli selvästi esiin. Muilla päästösektoreilla menetelmät järjestäytyivät erilailla eri kaupungeissa. YTV-alueen asukasta kohti lasketut vuoden 2006 kokonaiskasvihuonekaasupäästöt olivat hiilidioksidiksi muutettuina seuraavat: Kasvener 7,4 t, Hilma-metodi 6,8 t, Primäärienergiatarkastelu 9,9 t.

Asiasanat: kasvihuonekaasut, päästöt, päästöinventaarit, laskentamenetelmät, alueellisuus, ilmastonmuutos, hiilidioksidi

Johannes Lounasheimo

Comparison of methods for assessing regional greenhouse gas emissions

Year	2009	Pages	95
------	------	-------	----

Over the last hundred and fifty years carbon dioxide content of the atmosphere has increased by more than thirty per cent and global mean temperature by nearly one degree. In order to reach the EU two-degree target, strict restrictions to greenhouse gas emissions must be imposed. Climate policy for holding back the change is executed at various levels: the UN has its own targets but for instance many municipalities and cities have been formulating regional mitigation strategies. It is often purposeful to think extensively and act locally.

Several different methods have been developed for assessing greenhouse gas emissions and tracking the emissions trends. The objective of this thesis is to compare three methods of calculating regional emissions. It examines the special characteristics of Kasvener, Hilma and Primary Energy Method as well as their differences. All three methods, all of which have been in use in Finland, give different results for the same region with the same data. The aim is to find out why they produce different figures, what background assumptions they make, and to analyse how sensitively each model reacts to changes.

Kasvener is a greenhouse gas and energy balance model that has been used in numerous municipalities involved in the Climate Campaign by the Association of Finnish Local and Regional Authorities. Hilma-method is based on Kasvener and develops it further for use in the Helsinki Metropolitan Area Climate Strategy to the Year 2030. Primary Energy Method, in contrast, has been utilized by energy companies particularly when contemplating the emissions of different types of heating systems in buildings. The emissions of year 2006 were calculated in the Helsinki Metropolitan Area (Helsinki, Espoo, Kauniainen and Vantaa) and Kirkkonummi.

The major discrepancy between the methods proved to be the way they calculate emissions of the energy sector. In particular, different determinations of the origin of the electricity consumed in the region caused dispersion in the results. Kasvener emphasises local production of energy whereas Hilma-method assumes that electricity is produced nationally. Primary Energy Method assesses the emissions as if the electricity originated from the condensing power plants of Central Europe. Another significant methodological distinction relates to the allocation of greenhouse gas emissions from combined heat and power production. Kasvener produced highest results for emissions from district CHP-heating, while Primary Energy Method clearly yielded the lowest figures.

None of the assessment methods studied here can be considered to be superior to the others as such. Nor do the results they produce align systematically from the highest to the lowest. The only thing clearly apparent was the accentuation of the emissions of the consumption of electricity by Primary Energy Method. In other sectors the ranking of the methods varied depending on the region. The total greenhouse gas emissions per capita in the Helsinki Metropolitan Area were as follows: Kasvener 7.4 t, Hilma 6.8 t, Primary Energy Method 9.9 t (carbon dioxide equivalent).

Key words: greenhouse gases, emissions, assessment methods, emissions inventories, regionality, climate change, carbon dioxide

Sisällys

1	Johdanto	7
2	Kasvihuoneilmiö	9
2.1	Säteilypakote	9
2.2	Kasvihuonekaasut ja niiden lähteet	12
2.2.1	Hiilidioksidi	13
2.2.2	Metaani	17
2.2.3	Typpioksiduuli	19
2.2.4	Fluoriyhdisteet	20
2.3	Otsoni ja hydroksyyli-radikaalit	22
2.4	Vesihöyry	22
2.5	Albedo	23
2.6	Aerosolit	24
3	Kasvihuonekaasujen alueelliset laskentamenetelmät	25
3.1	Kasvener	30
3.1.1	Laskettavat päästöt	31
3.1.2	Tarvittavat lähtötiedot	33
3.1.3	Kuntatason rajaus ja sähkön alkuperä	34
3.1.4	CHP-päästöjen jyvitys	35
3.2	Hilma-metodi	35
3.2.1	Hyödynjakomenetelmä	36
3.2.2	Sähkön päästökertoimet	38
3.2.3	Lämmitystarvekorjaus	39
3.2.4	Mallin käyttö	40
3.3	Primäärienergiatarkastelu	41
3.3.1	Primääriresurssikertoimen määrittely	42
3.3.2	Sähkön tuotannon PRF	44
3.3.3	Primäärienergiakerroin ja CHP-päästöjen jakotapa	46
4	Työn tavoitteet ja toteutus	48
4.1	Vertailun periaatteet ja tutkimuskysymykset	49
4.2	Aineisto ja sen käsittely	50
5	Tulokset ja niiden tarkastelu	51
5.1	Kokonaispäästöt	51
5.2	Sektorikohtaiset päästöt	53
5.2.1	Kaukolämpö	56
5.2.2	Kulutussähkö	57
5.2.3	Sähkölämmitys	58
5.3	Vuosivaihtelujen tasoittaminen Hilma-metodissa	59
5.3.1	Lämmitystarvekorjaus	59

5.3.2	Sähkön valtakunnallinen päästökerroin	61
5.3.3	Korjausten yhteisvaikutus tuloksiin	63
5.4	Alueellinen erottelukyky.....	64
5.5	Muutosherkkyys.....	68
5.5.1	Kivihillen osittainen korvaaminen puuhakkeella.....	68
5.5.2	Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen	70
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	72
7	Lopuksi	76
	Kuvaluettelo	80
	Taulukkuuettelo	81
	Lähteet	82
	Liitteet	86

1 Johdanto

Maapallon historia jaetaan maailmankausiin, ja nämä edelleen lyhyempiin geologisiin kausiin. Uuden kauden kynnyksellä maapalloa on koetellut yleensä voimakas ilmastonmuutos ja elollisen luonnon sukupuuttoaalto. Viimeisintä, 66 miljoonaa vuotta sitten alkanutta kenotsooista maailmankautta kuvaa ilmaston voimakas viilentyminen. Tämän katsotaan alkaneen Intian mannerlaatan törmäämisestä Euraasian laattaan, mikä poisti voimakkaan rapautumisen välityksellä runsaasti hiiltä ilmakehästä. Muutaman miljoonan viimeksi kuluneen vuoden aikana on vallinnut niin sanottu suuri jääkausi, jolloin ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on ollut alhaisimmillaan maailman historiassa. Tältä noin 250 ppm:n (*parts per million* eli tilavuuden miljoonasosaa) tasolta on nyt noustu yhdessä geologisessa silmänräpäyksessä lukemaan 386 ppm.

Äkillisen ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuden nousun on aiheuttanut 1700-luvun puolivälistä alkanut teollistumiskehitys ja fossiilisten polttoaineiden käyttö. Syyllisten hakemista oleellisempaa on kuitenkin saada huolestuttava kehitys pysähtymään, kun tällä hetkellä matka käy kohti uutta maailmankautta. Kansainvälinen yhteisö on tehnyt töitä päästöjen vähentämiseksi yli viisitoista vuotta, toistaiseksi laihoiin tuloksin. Yhdistyneiden Kansakuntien ilmastonmuutosta koskeva puitesopimus tuli voimaan vuonna 1994, ja Kioton laillisesti sitova, teollisuusmaat 5,2 prosentin päästövähennyksiin velvoittava lisäpöytäkirja laadittiin kolme vuotta myöhemmin. Kioton pöytäkirjan vuosia 2008-2012 koskevat veloitteet ovat varsin lieviä ja ne todettu riittämättömiksi ilmaston lämpenemiskehityksen hallitsemiseksi. Sopimus on kuitenkin tärkeä tiennäyttämä kohti entistä vaativampia päästövähennyksiä edellyttäviä kansainvälisiä ilmastopöytäkirjoja.

YK:n ilmastotyö on ilmaston lämpenemisen vastaisen taistelun runko, jonka ympärillä rönnyää runsas aluskasvillisuus. Kansainväliset veloitteet koskevat ilmastopöytäkirjan allekirjoittaneita YK:n jäsenvaltioita, mutta päästövähennyksiin pyritään muutakin kautta. Monet valtiot ovat laatineet omia, YK:n tavoitteita kunnianhimoisempia ilmasto-ohjelmia, ja toisaalta Euroopan Unioni on vahva ilmastotoimija. Edelleen kansallisvaltioiden sisällä voi tavata edelläkävijyyttä, kuten esimerkiksi useiden Yhdysvaltain osavaltioiden ilmastopolitiikka seuraamalla on voinut huomata. Mittakaavaa pienennettäessä entisestään päästään kuntiin, kaupunkeihin ja lopulta yksilöihin, joilta kaikilta vaaditaan konkreettisia tekoja lämpenemisen hillitsemiseksi enintään EU:n tavoitteen mukaiseen kahteen asteeseen.

Kansainvälistä ilmastopolitiikkaa toteutetaan valtiotasolla, ja kansallisten tavoitteiden mukaiset toimenpiteet näkyvät kunnissa ja kaupungeissa, joilla voi lisäksi olla omia intressejä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä (khk-päästöjä). Ilmastonmuutoksen torjumiseen tähtäävät strategiat toteutuvat paikallistasolla muun muassa yhdyskuntarakenteen tiivistämishankkeina,

liikennejärjestelmien uusimisena, uusiutuvan energian käytön lisäämisenä tai rakennusten energiatehokkuuden parantamisena. Tilastokeskus kartoittaa Suomessa kansalliset khk-päästöt, mutta lisäksi on tarkoituksenmukaista laskea päästöt myös kunnissa tai muulla paikallistasolla. Alueellisten päästötrendien ja ilmastostrategisten tavoitteiden toteutumisen seuraamiseksi on olemassa useita khk-päästöjen laskentamenetelmiä.

Tämän työn päätavoitteena on vertailla kolmea alueellista khk-päästöjen laskentamenetelmää: Kasveneriä, Hilma-metodia ja Primäärienergiatarkastelua. Kasvener on Suomessa tunnetuin kuntatason kasvihuonekaasu- ja energiatasemalli. Hilma-metodi on Kasveneristä edelleen kehitetty laskentamenetelmä, jota on ensiksi käytetty Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV:n ilmastostrategiatyössä, ja sittemmin Uudellamaalla ja Jyväskylässä. Primäärienergiatarkastelu on puolestaan CEN-standardiin perustuva, lähinnä lämmityksen khk-päästöihin painottuva malli. Työssä selvitetään menetelmien ominaisuuksia ja eroja toisiinsa nähden. Päästötulokset lasketaan kullakin menetelmällä Kirkkonummen, Vantaan, Helsingin sekä Espoon ja Kauniaisten osalta. Yksityiskohtaisemmat tavoitteet on esitetty luvussa 4.

Tutkimus on tehty YTV:n Seutu- ja ympäristötiedon tulosalueen toimeksiannosta, joten pääkaupunkiseutu (Helsinki, Espoo, Kauniainen ja Vantaa) valikoitui luontevasti tarkasteltavaksi kohteeksi. Lisäksi Kirkkonummi rakenteellisesti erilaisena alueena on mukana menetelmien erityispiirteiden selvittämiseksi. Lähtömateriaalina käytettiin Uudenmaan liitossa Kasvenerillä ja Hilma-metodilla laskettuja päästötuloksia vuodelle 2006. Vastaavaa vertailevaa tutkimusta ei alueellisista khk-päästöjen laskentamenetelmistä ole aiemmin tehty. Suomessa Kasveneriä on käytetty paljon, Hilma-metodin käyttö on kasvussa ja Primäärienergiatarkastelua joissakin yhteyksissä energiantuotannon päästölaskennassa.

Maailmanlaajuisesti alueellisia laskentamenetelmiä on luonnollisesti kymmeniä. Taustalla näissä on useimmiten hallitustenvälisen ilmastopaneelin, IPCC:n ohjeistus kansallisten päästöjen laskemiseksi, mutta tässäkin työssä tarkasteltavien kolmen menetelmän metodiikka poikkeaa toisistaan huomattavasti. Yksi yhteisesti hyväksytty menetelmä päästöjen laskemiseksi olisi tarpeellinen, jolloin alueiden välinen vertailu helpottuisi. Tämä olisi hedelmällistä enemmänkin erilaisten toimenpiteiden päästövähennystekokkuuden, kuin alueiden niin sanotun paremmuuden selvittämiseksi. Seuraavissa luvuissa käsitellään aluksi kasvihuoneilmaston teoriaa, kasvihuonekaasuja ja muita ilmastoon vaikuttavia tekijöitä, jonka jälkeen pureudutaan vertailtavien laskentamenetelmien teoriaan, metodiikkaan ja tuloksiin.

2 Kasvihuoneilmiö

Ilmakehä on vain muutaman kymmenen kilometrin paksuinen vaippa läpimitaltaan 13 000 kilometrisen maapallon ympärillä. Se on äärimmäisen herkkä ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan varsin monimutkainen järjestelmä, jonka tasapainotilasta elämä Maan päällä on riippuvainen. Ranskalainen Joseph Fourier kykeni jo lähes 200 vuotta sitten 1820-luvulla matemaattisesti osoittamaan kasvihuoneilmiön teorian, jonka mukaan planeetan keskilämpötila pysyy elämälle optimaalisena ilmakehän ansiosta. Muutama vuosikymmen myöhemmin fyysikko John Tyndall osoitti, että ilmavaipan lämmittävä vaikutus johtuu lähinnä vesihöyrystä ja hiilidioksidista. Näiden niin kutsuttujen kasvihuonekaasujen molekyylit päästävät auringon lyhytaaltoisen säteilyn lävitseen, mutta osan maasta takaisin kimpoavasta, Fourierin "hämäräksi lämmöksi" kutsumasta pitkäaaltoisesta infrapunasäteilystä kaasumolekyylit imevät itseensä ja säteilevät edelleen ympäristöönsä. Lämpö kyllä lopulta poistuu, mutta poukkoiltuaan ensin troposfäärisä maapalloa lämmittäen. (Toiviainen 2007, 245-246.)

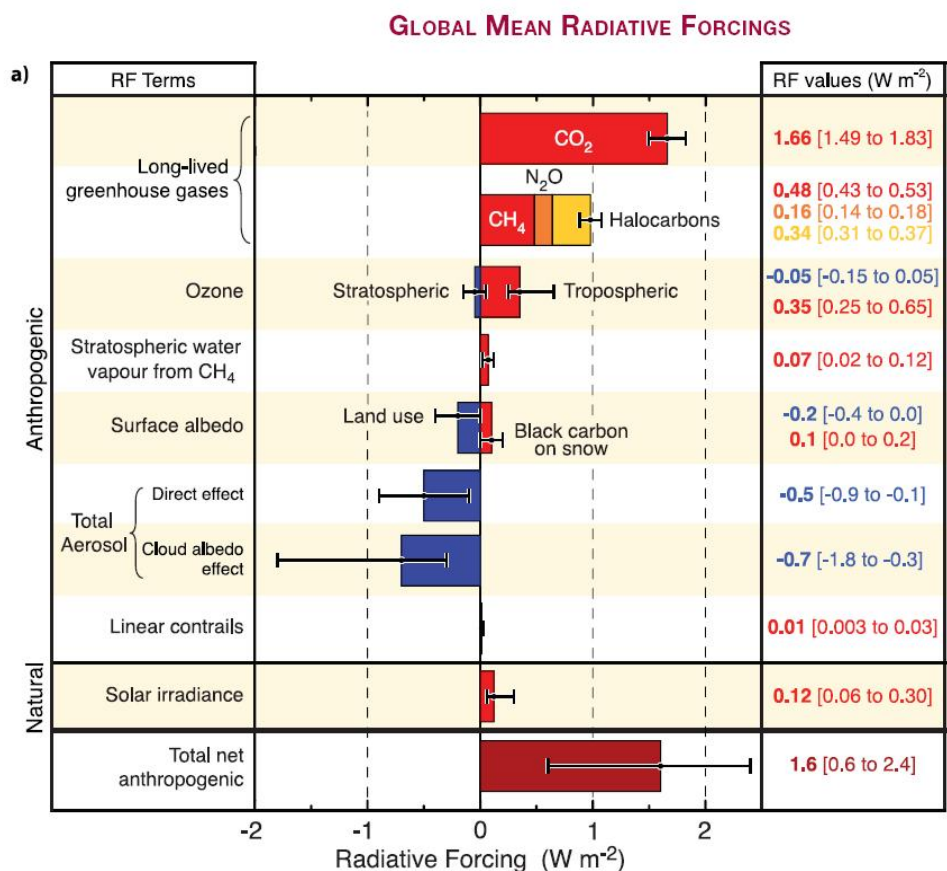
Ruotsalainen kemisti Svante Arrhenius esitti jo 1800-luvun lopulla tieteellisessä artikkelissaan, teollisuuslaitosten hiilidioksidipäästöt nostavat vähitellen maapallon keskilämpötilaa. Hän laskei ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistumisen esiteolliseen aikaan nähden lämmittävän maapalloa 5-6 astetta (Arrhenius 1896, 266-267). Laskelma pätee yhä varsin hyvin hienostuneempien arvioiden joukossa. Muiden ilmakehän kaasujen vaikutusta kasvihuoneilmiöön pidettiin pitkään merkityksettömänä. Vasta vuonna 1975, kun otsonikadon uhkaan oli alettu hiljalleen herätä, NASA:n tutkija Veerabhadran Ramanathan raportoi, että freoneilla on merkitystä myös infrapunasäteilyn absorptiossa ja siten edistävää vaikutusta maailmanlaajuiseen lämpenemiseen. 10 vuotta myöhemmin Ramanathan julkaisi listan 30 kasvihuonekaasusta, joiden yhteisvaikutuksen hän arvioi olevan yhtä suuri kuin hiilidioksidin (Weart 2003).

2.1 Säteilypakote

Ramanathanin sittemmin täydennetyn listan (83 yhdistettä, liite 1) kullakin kaasulla on erisuuruinen vaikutus kasvihuoneilmiöön. Jotta voitaisiin arvioida erilaisten ilmaston vaikuttavien tekijöiden suhteellista merkitystä tekemättä raskaita ilmastomallilaskelmia, on otettu käyttöön säteilypakotteen käsite (Räisänen 2008, 10). Normaalitilanteessa Maan pinnalle ja ilmakehään imeytyvän auringonsäteilyn määrän on keskimäärin sama kuin avaruuteen karkaan lämpösäteilyn määrä. Mikäli jokin ulkoinen tekijä muuttaa tätä tasapainoa, voidaan puhua sen aiheuttamasta säteilypakotteesta (engl. *radiative forcing*). Täsmällinen määritelmä on monimutkaisempi: "ulkoinen tekijän aiheuttama säteilypakote on se muutos pinnan ja troposfäärin muodostaman järjestelmän säteilytaseessa, joka syntyisi tämän tekijän vaikutus-

ta sen jälkeen kun lämpötila stratosfäärissä on hakeutunut uudelleen säteilytasapainoon, mutta pinnan ja troposfäärin lämpötila ja muut olosuhteet ovat samoja kuin ennen ulkoisen tekijän ilmaantumista” (Houghton ym. 2001).

Säteilypakotteen yksikkö on W/m^2 . Se voidaan määrittellä ilmakehän kaasumaisten komponenttien lisäksi myös esimerkiksi aerosolihiukkasille, maan *albedolle* eli kyvyllä heijastaa auringonvaloa sekä lentokoneiden tiivistymisjuoville (*linear contrails*). Kuvassa 1 esitetään säteilypakotteen keskimääräisiä arvoja eri tekijöille. Luvut kuvaavat muutosta esiteolliseen aikaan nähden (1750-2005).



Kuva 1. Säteilypakotteen arvoja (Solomon ym. 2007, 32). Positiiviset arvot tarkoittavat kasvihuoneilmiön voimistumista ja negatiiviset puolestaan viilentävää vaikutusta.

Säteilypakotteeltaan suurimmat yhdisteet ovat kasvihuoneilmiön voimistumisen kannalta merkittävimpiä. Tällaisia ovat Kioton pöytäkirjassakin mainitut pääasialliset kasvihuonekaasut hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja typpioksiduuli (N₂O) sekä fluoriyhdisteet (PFC:t, HFC:t ja rikkiheksafluoridi SF₆). Jälkimmäinen ryhmä sisältyy halogenoituihin hiilivetyihin (*halocar-*

bons), joihin kuuluvat niin ikään voimakkaina kasvihuonekaasuina, mutta myös otsonia tuhoavina yhdisteinä tunnetut freonit ja halonit. Otsonilla itsellään on alailmakehässä lämmittävä, mutta ylempänä stratosfäärissä maapalloa viilentävä vaikutus.

Säteilypakotteiden avulla voi verrata yhdisteiden kokonaisvaikutuksia ilmastoon, sillä se huomioi kunkin yhdisteen pitoisuuden. Toisaalta eri kasvihuonekaasujen maasta heijastuvan infrapunasäteilyn absorptiokyvystä, eli niiden voimakkuudesta suhteessa toisiinsa ei säteilypakotekonseptin avulla päästä selvytyteen. IPCC onkin laskenut kaasuille niin sanotut ilmastonlämmityspotentiaalit (engl. *global warming potential*, GWP), joiden avulla voidaan arvioida eri päästöjen vaikutusta ilmastomuutokseen tulevaisuudessa. Hiilidioksidille on annettu arvo 1, johon muita yhdisteitä on ominaisuuksiensa perusteella verrattu (taulukko 1).

Yhdiste	Kemiallinen kaava	Elinikä (vuosia)	Ilmastonlämmityspotentiaali (Global Warming Potential, GWP) eri aikajänteillä		
			20 vuotta	100 vuotta	500 vuotta
CO ₂	CO ₂	vaihtelee	1	1	1
Metaani	CH ₄	12±3	56	21	6,5
Typpioksiduuli	N ₂ O	120	280	310	170
HFC-23	CHF ₃	264	9 100	11 700	9 800
HFC-32	CH ₂ F ₂	5,6	2 100	650	200
HFC-41	CH ₃ F	3,7	490	150	45
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	17,1	3 000	1 300	400
HFC-125	C ₂ HF ₅	32,6	4 600	2 800	920
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	10,3	2 900	1 000	310
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14,6	3 400	1 300	420
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	1,5	460	140	42
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	3,8	1 000	300	94
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	48,3	5 000	3 800	1 400
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	36,5	4 300	2 900	950
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	209	5 100	6 300	4 700
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	39 605	1 800	560	170
Rikkiheksafluoridi	SF ₆	3 200	16 300	23 900	34 900
Perfluorometaani	CF ₄	50 000	4 400	6 500	10 000
Perfluoroetaani	C ₂ F ₆	10 000	6 200	9 200	14 000
Perfluoropropaani	C ₃ F ₈	2 600	4 800	7 000	10 100
Perfluorobutaani	C ₄ F ₁₀	2 600	4 800	7 000	10 100
Perfluorosyklobutaani	c-C ₄ F ₈	3 200	6 000	8 700	12 700
Perfluoropentaani	C ₅ F ₁₂	4 100	5 100	7 500	11 000
Perfluoroheksaani	C ₆ F ₁₄	3 200	5 000	7 400	10 700

Taulukko 1. Kasvihuonekaasujen eliniät ilmakehässä ja ilmastonlämmityspotentiaalit (UNFCCC 2008).

Potentiaalit riippuvat valitusta ajanjaksosta, jolla vaikutuksia tarkastellaan. Sadan vuoden aikajänteellä typpioksiduulin lämmittävä vaikutus on 310-kertainen ja metaanin 21-kertainen hiilidioksidiin nähden. Yhdisteiden erilaisesta pysyvyydestä ilmakehässä johtuen lukemat kahdenkymmenen vuoden aikana ovat 280 ja 56 ja viidensadan vuoden tarkastelujaksolla vastaavasti 170 ja 6,5.

Lämmityspotentiaalien avulla eri khk-päästöt voidaan muuttaa helposti vertailtaviksi hiilidioksidiekvivalenteiksi. Esimerkiksi 100 grammaa rikkiheksafluoridia, jonka GWP (100-yr) on 23 900 vastaa kasvihuonevaikutukseltaan lähes 2,4 tonnia hiilidioksidia. UNFCCC:n Kioto konferenssissa 1997 sovittiin, että lämmityspotentiaaleina käytetään IPCC:n toisessa arviointiraportissaan esittämiä arvoja 100 vuoden ajanjaksolle (taulukko 1), kun tehdään alueellisia päästölaskelmia ja kansallisista päästöistä raportoidaan edelleen (UNFCCC 1997, 31). Esimerkkitapauksessa SF₆-päästö kirjattaisiin tilastoihin 2,39 hiilidioksiekvivalenttitonniina (2,3 t CO₂-ekv.).

Sadalle vuodelle tasoitettut ilmastolämmityspotentiaalit voidaan kuitenkin erityisesti metaanin kohdalla asettaa kyseenalaisiksi. Metaanin eliniäksi on taulukossa 1 ilmoitettu keskimäärin 12 vuotta. Tämän jälkeen metaani hajoaa vesihöyryksi ja hiilidioksidiksi, jonka kasvihuonevaikutus huomioidaan metaanin 100 vuoden GWP-arvossa loput 88 vuotta. 20 vuoden arvo 56 kuvaa jo pidempien ajanjaksojen arvoja paremmin metaanin todellista voimakkuutta elinaikanaan.

2.2 Kasvihuonekaasut ja niiden lähteet

Lähes kaikki ilmakehän komponentit vaikuttavat suoraan tai epäsuorasti kasvihuoneilmioon. Alueelliset päästölaskentamenetelmät käsittävät yleensä kolme tärkeintä ja helpoimmin laskehtavissa olevaa kasvihuonekaasua eli hiilidioksidin, metaanin ja typpioksiduulin. Näiden kaikkien pitoisuus ilmakehässä on ihmisen toiminnan vaikutuksesta noussut esiteolliseen aikaan verrattuna.

Säteilypakotteeltaan typpioksiduulia suurempi, mutta päästöjen suhteen pienempi tekijä ovat fluoriyhdisteet. Ryhmään kuuluu lukuisia eri kemikaaleja, joita on käytetty teollisuudessa 1940-luvulta alkaen. Kioto pöytäkirjassa fluoriyhdisteistä on jätetty pois freonit (CFC:t ja HCFC:t), sillä näiden käyttö on saatu voimakkaasti vähenemään kymmenen vuotta Kiotoa vanhemman Montrealin sopimuksen myötä.

Taulukossa 2 on esitetty merkittävimpien kasvihuonekaasujen pitoisuudet ilmakehässä vuosina 2005 ja 1998. Seuraavissa luvuissa käydään näiden lisäksi lyhyesti läpi myös otsonin, vesi-

höyryn ja aerosolien ilmastovaikutukset. Epäsuorat kasvihuonekaasut eli hiilimonoksidi (CO), typen oksidit (NO_x) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) vaikuttavat lähinnä otsonin reaktioetjujen kautta.

Yhdiste	Pitoisuus 2005	Muutos vuodesta 1998
CO ₂	379 ± 0,65 ppm	+13 ppm
Metaani	1774 ± 1,8 ppb	+11 ppb
Typpioksiduuli	319 ± 0,12 ppb	+5 ppb
	ppt	
CFC-11	251 ± 0,36	-13
CFC-12	538 ± 0,18	+4
CFC-113	79 ± 0,064	-4
HCFC-22	169 ± 1,0	+38
HCFC-141b	18 ± 0,068	+9
HCFC-142b	15 ± 0,13	+6
CH ₃ CCl ₃	19 ± 0,47	-47
CCl ₄	93 ± 0,17	-7
HFC-125	3,7 ± 0,10	+2,6
HFC-134a	35 ± 0,73	+27
HFC-152a	3,9 ± 0,11	+2,4
HFC-23	18 ± 0,12	+4
Rikkiheksafluoridi	5,6 ± 0,038	+1,5
Perfluorometaani (PFC-14)	74 ± 1,6	-
Perfluoroetaani (PFC-116)	2,9 ± 0,025	+0,5

Taulukko 2. Kasvihuonekaasujen pitoisuuksia ilmakehässä vuosina 1998 ja 2005 (Forster ym. 2007, 141).

2.2.1 Hiilidioksidi

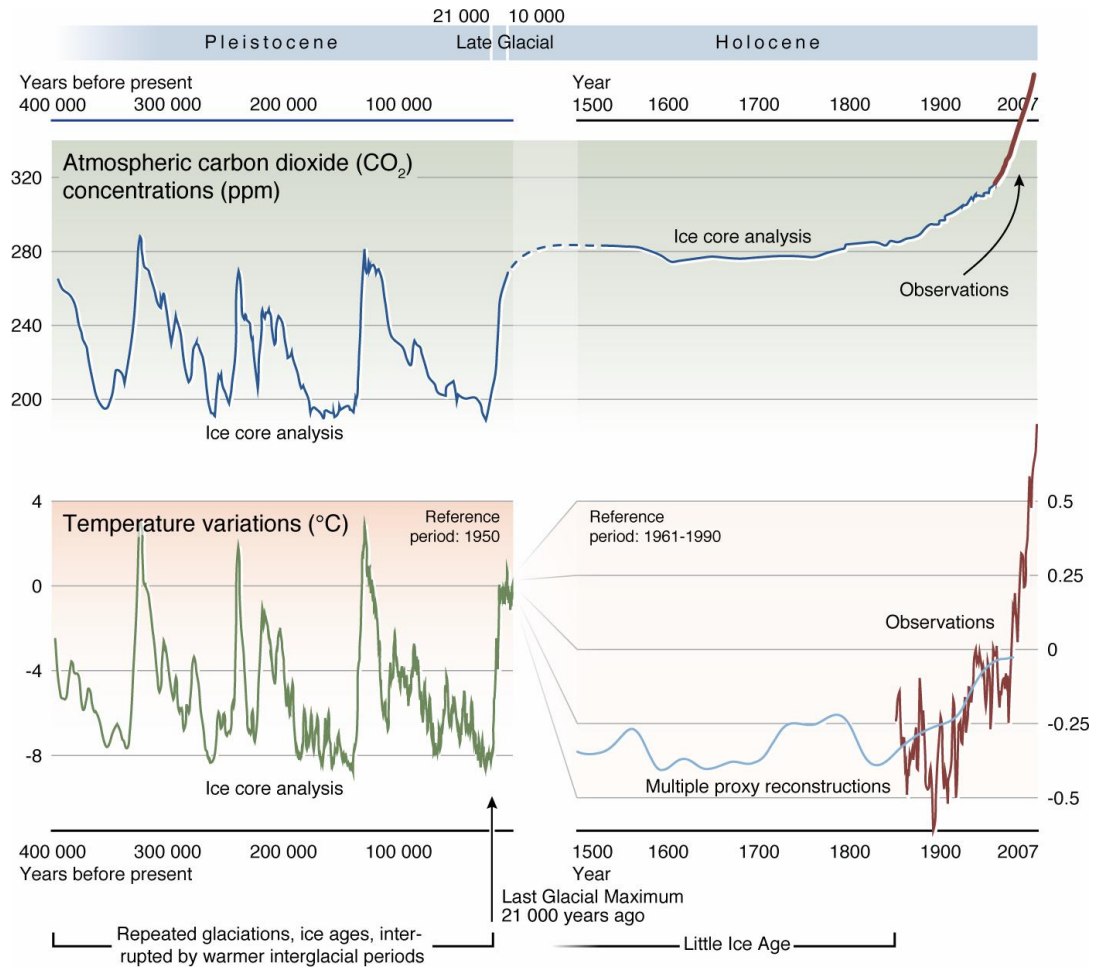
Hiili on yksi maailman yleisimmistä alkuaineista ja kaiken elollisen perusta. Puiden kuivapainosta noin puolet on hiiltä ja ihmisestäkin 18 prosenttia. Hiiltä on orgaanisina yhdisteinä pait-si eliökunnan edustajissa myös valtamerissä, maaperässä ja kerrostuneissa kivilajeissa. Suurin osa hiilestä on kuitenkin epäorgaanisessa muodossa, erityisesti kalkkikivinä ja muina karbo-naattikerrostumina. Myös ilmakehässä hiili on epäorgaanisessa muodossa, pääasiassa hiilidiok-sidina (CO₂). Sen määrä on mitättömän pieni, mutta merkitys suuri.

Kasvillisuus sitoo yhteyttäessään hiilidioksidia ja vapauttaa sitä muiden eliöiden tavoin solu-hengityksessä takaisin ilmakehään. Myös maaperän hajottabakteerien toiminta ja metsäpalot vapauttavat hiiltä ilmakehään. Tähän niin sanottuun hiilen nopeaan kiertoon eli *biosykliin*

osallistuvat merkittävästi myös valtameret ja niiden sisältämät planktonmassat hiilinielujen ominaisuudessa. Lisäksi kylmien merivirtojen mukana veteen karbonaatiksi liuennutta hiilidioksidia vajoaa syvälle valtameriin nousemaan taas etelämpänä lämpimien merivirtojen mukana takaisin pintaan ja ilmakehään.

Biosyklin ohella maapallolla kiertää hitaampia hiilivirtoja. Karbonaatteja muodostuu hiilidioksidin liuetessa suoraan veteen, mutta myös hitaasti veden ja mineraalikivien kanssa rapautumalla. Nämä huuhtoutuvat edelleen merenpohjaan ja päätyvät mannerlaattojen liikuessa syvälle maankuoreen. Tärkein hiiltä biogeokemiallisesta kierrosta poistava prosessi maapallon historiassa on ollut vuosimiljoonia jatkunut karbonaatin saostuminen kalsiittina ja dolomiittina (Merentutkimuslaitos 2008). Vulkaaninen toiminta kuitenkin palauttaa hiljalleen hiiltä jälleen ilmakehään. Koko hitaaseen kiertoon eli *geosykliin* voi kulua satoja miljoonia vuosia.

Maapallon hiilivirrat ovat olleet globaalina miljoonien vuosien keskiarvona kutakuinkin tasapainossa. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on mannerjäätiköiden sisälle jääneiden ilmakehiä analysoinnin perusteella vaihdellut jääkausien noin 200:sta interglasiaalien 280 ppm:ään (ppm = *parts per million* = miljoonasosa = promillen tuhannesosa). Kuvasta 2 nähdään miten pitoisuus on lähtenyt jyrkkään nousuun 1850-luvulta alkaen, kun ihmiskunta on alkanut voimallisemmin puuttua hiilen luonnollisiin kiertokulkuihin. Metsien hävittämisen ja ennen kaikkea fossiilisten polttoaineiden käyttämisen myötä maapallon hiilitasapaino on keikahtanut siten, että hiilen lähteistä on tullut hiilinieluja suurempia ja hiilidioksidin määrä ilmakehässä jatkuvasti kasvaa.

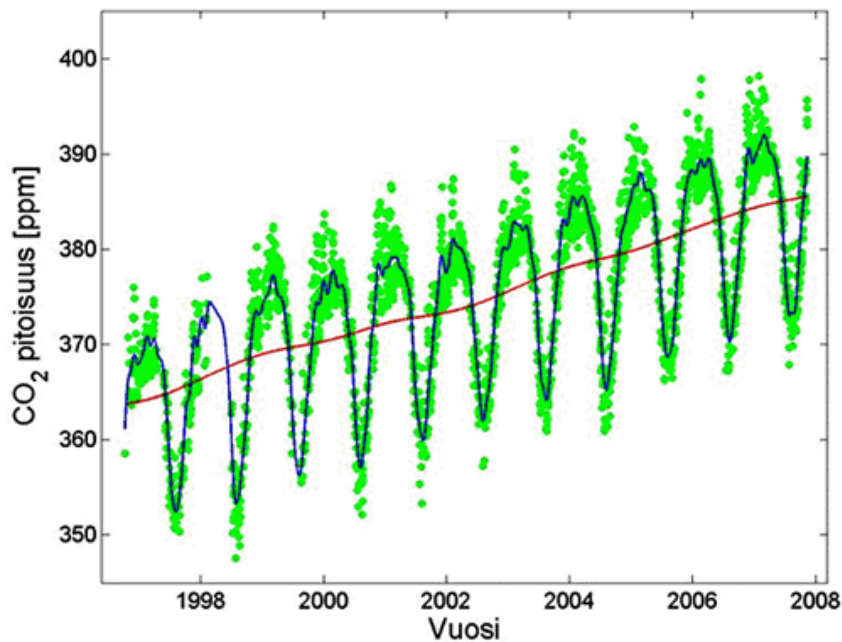


Kuva 2. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden ja maapallon lämpötilan vaihtelevuus pitkällä aikavälillä (UNEP 2007).

Fossiiliset polttoaineet ovat normaalista kierrosta poistunutta orgaanisperäistä ainetta. Kivihiili on syntynyt satojen miljoonien vuosien kuluessa maakerrosten väliin puristukseen jääneistä kasveista, pääasiassa tulvien alle joutuneista saniametsistä. Hapettomissa oloissa, kovassa paineessa ja lämmössä on syntynyt myös öljyä ja maakaasua kasvien ja meren pohjasedimentteihin hautautuneiden merieliöiden jäännöksistä. Orgaanista, hiilipitoista materiaa on tällä tavoin siirtynyt biosyklistä osaksi kivikettä, mutta viimeiset kaksi sataa vuotta sitä on jälleen kaivettu ja pumpattu esiin ja poltettu hiilidioksidiksi taivaalle. Tähän ylimääräiseen annokseen kasvihuonekaasua eivät tavalliset, lyhyen kierron hiilinielut pysty vastaamaan.

Mauna Loan vuorella Havaijilla on mitattu jatkuvatoimisesti ilman hiilidioksidipitoisuutta jo viisikymmentä vuotta. Tuorein kuukausikeskiarvo vuodenaikavaihtelukorjauksella on marraskuulta 2008. Lukema 386,2 ppm on historiallisen korkea (NOAA 2008a). Charles Keelingin

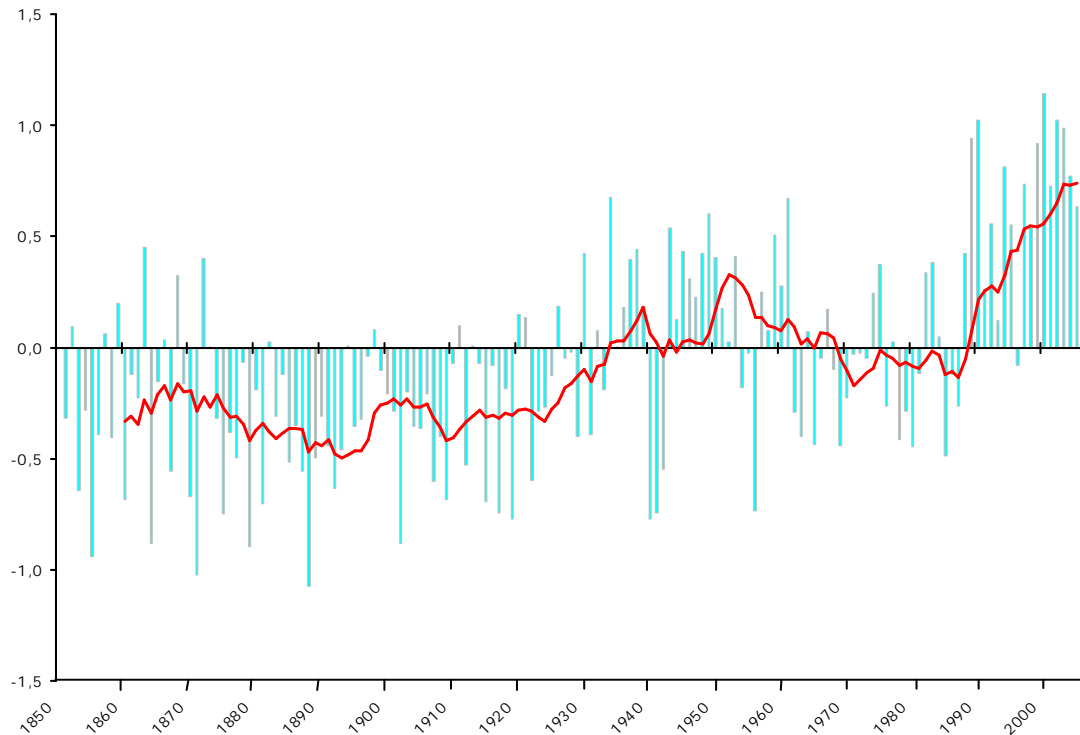
vuonna 1958 aloittaman hankkeen kanssa täysin vastaavanlaisia tuloksia on saatu Ilmatieteen laitoksen Pallas-Sodankylän Global Atmosphere Watch -asemalla (kuva 3). Mauna Loa mittauksen mukaan 1960- ja 1970-luvuilla keskimääräinen vuotuinen hiilidioksidipitoisuuden kasvu oli 1,05 ppm, 80- ja 90-luvuilla 1,50 ppm ja vuosina 2000-2007 2,01 ppm (NOAA 2008b).



Kuva 3. Hiilidioksidipitoisuuden kehitys Pallaksella (Ilmatieteen laitos 2008). Vuodenaikaisvaihtelu johtuu kasvillisuuden vuosirytmistä: keväällä ja kesällä yhteyttäminen on voimakkaimmillaan. Talvella kasvit eivät kuluta hiilidioksidia yhtä runsaasti ja pitoisuus ilmakehässä nousee. Lisäksi ainakin pohjoisella pallonpuoliskolla ihmisten aiheuttamat päästöt kasvavat tyypillisesti talviaikaan lämmitystarpeen lisääntyessä.

Vaikka hiilidioksidipitoisuuteen vaikuttavat päästövaihteluiden ja kasvillisuuden vuosirytmien ohella sääolojen ja merivirtojen vaihtelut, trendi on selvä: hiilidioksidin määrä ilmakehässä kasvaa ja kasvu on kiihtyvää. Ilmakehässä on hiilidioksidia nykyisin noin 3000 miljardia tonnia, josta yli kolmasosa on ihmisen toiminnan aiheuttamaa lisäystä. Tärkeimmän ja runsaimman kasvihuonekaasun pitoisuuden nousu on näkynyt suoraan keskilämpötiloissa joka puolella maapalloa. Esimerkiksi Euroopassa keskilämpötila on noussut esiteollisesta ajasta yhden asteen (kuva 4).

Temperature deviation, compared to 1961-1990 average (°C)



Kuva 4. Euroopan vuosikeskilämpötilan vaihtelu 1850-2005. Vertailuvuotena on vuosien 1961-1990 keskiarvo. Lämpötilan nousu koko jaksolla kymmenen vuoden keskiarvolla laskettuna on 1,07 astetta. Vuosi 2007 oli Euroopassa jo 1,5 astetta 1800-luvun jälkipuoliskoa lämpimämpi. (EAA 2006; 2008).

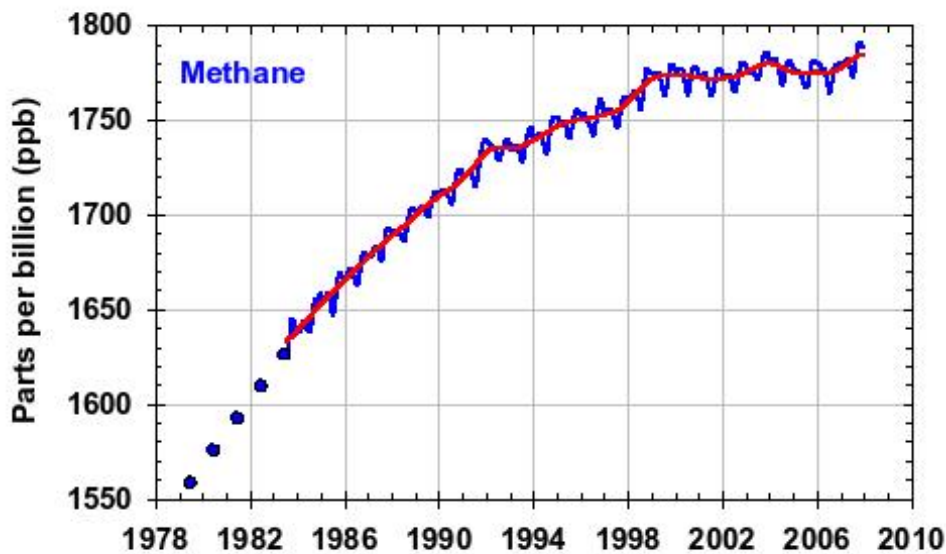
2.2.2 Metaani

Metaani (CH₄) on yksinkertainen, neljästä vety- ja yhdestä hiiliatomista koostuva yhdiste, jonka säteilypakote ilmakehässä on voimakkaan positiivinen. Metaania muodostuu orgaanisen aineksen hajotessa hapettomissa oloissa. Ilmakehän muuttuessa hapekkaaksi pari miljardia vuotta sitten metaania muodostavat bakteerit joutuivat ahtaalle. Niitä on kuitenkin edelleen valtamerissä, soilla, kosteikoissa ja märehtijöiden suolistossa, jotka ovat siten tärkeimpiä luonnollisia metaanin lähteitä. Tämän lisäksi puuta syövien termiittien ruoansulatuksessa ja metsäpaloissa vapautuu metaania ilmakehään.

Merkittävimäksi metaanintuottajaksi on noussut välillisesti ihmiskunta. Nykyään ilmakehään lasketaan päätyvän vuosittain 550 miljoonaa tonnia metaania, josta kaksi kolmannesta aiheutuu ihmisen toiminnasta (Toiviainen 2007, 205). Laajentuva karjatalous lisää märehtijöiden ja riisinviljely kosteikkojen määrää. Lisää viljelysmaata hankitaan monin paikoin polttamalla metsiä, ja myös kaatopaikoilla mätänevä orgaaninen jäte tuottaa metaania. Maakaasuporaus-

ten ja kuljetusten yhteydessä vapautuu metaania, samoin öljyntuotannossa, polttoaineiden käytössä ja jakelussa, jätevesien käsittelyssä ja biomassan poltossa. Suomessa kuitenkin luonnollisten päästöjen arvellaan olevan suuren suopinta-alan vuoksi suuremmat kuin antropogeeniset (=ihmislähtöiset, ihmisen toiminnasta aiheutuvat) päästöt (Karttunen ym. 2008, 105).

Metaani ei hiilidioksidin tavoin kierrä ilman, veden, maaperän ja eliöstön välillä, joten sen elinikä ilmakehässä on mahdollista määrittää melko tarkasti. Metaani ehtii vaikuttaa keskimäärin kahdentoista vuoden ajan ennen kuin hydroksyyliiradikaalit hajottavat sen hiilidioksidiksi ja vesihöyryksi. Jääkairausten perusteella ilmakehän metaanipitoisuus on vaihdellut 650 000 vuoden aikana 400 ja 700 ppb:n (ppb = *parts per billion*) välillä (Forster ym. , 140). Vuonna 2005 pitoisuus oli jo 1774 ppb (taulukko 2) ja kuten kuvasta 5 nähdään, trendi on alati nouseva.



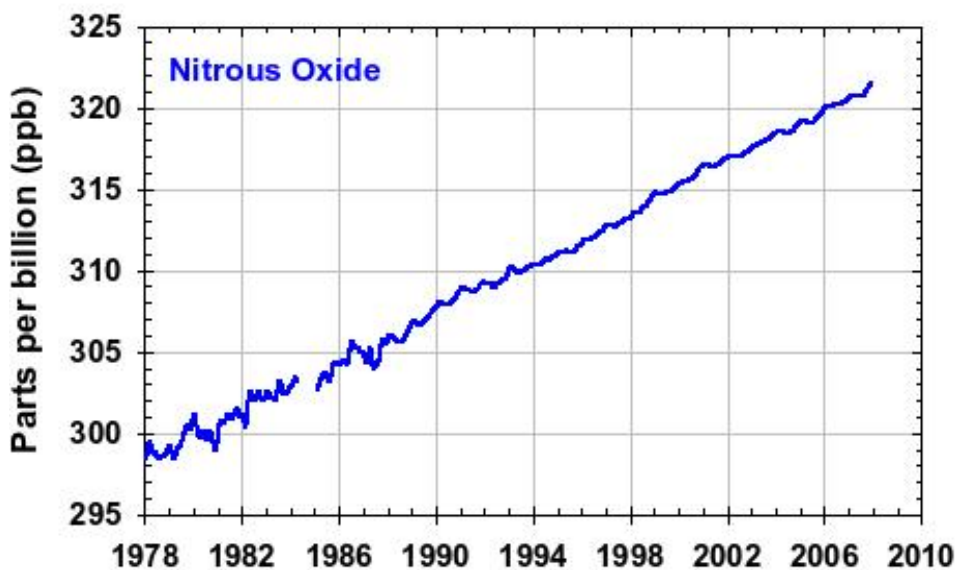
Kuva 5. Ilmakehän metaanin keskiarvopitoisuus (NOAA 2008c). Tulokset perustuvat Yhdysvaltain meri- ja ilmastohallinnon mittauksiin yli 100 eri paikalta maailmanlaajuisesti.

Kuvassa 5 näkyvä vuoden 2007 hyppäys on huolestuttanut tutkijoita. Syyksi äkilliseen nousuun on arveltu Siperian turvemaita suojaavan ikiroudan sulamista ja Jäämeren pohjasedimenttien metaanivarastojen hiljaista purkautumista, mutta täyttä varmuutta asiasta ei toistaiseksi ole (Merikallio 2008). Maailman valtamerien pohjiin on varastoitunut valtavat määrät metaania. Purkaukset saattavat olla äkillisiä, sillä kaasu on pohjasedimenteissä epävakaassa klatraattimuodossa. Metaaniklatraatit ovat huokoista jätää, jonka kiderakenne pitää kaasun sisällään

kovassa paineessa ja parin asteen lämpötilassa. Meriveden lämmitessä tai paineen laskiessa esimerkiksi tektonisen toiminnan (mannerlaattojen liikkuminen) seurauksena rakenne purkautuu. Pasi Toiviaisen (2008, 213) mukaan metaaniklatraattien arvioidaan sisältävän jopa 10 000 miljardia tonnia hiiltä, eli kaksi kertaa niin paljon kuin kaikissa maailman tunnetuissa hiili-, öljy- ja kaasuesiintymissä yhteensä.

2.2.3 Typpioksiduuli

Ilokaasuna tunnetun typpioksiduulin eli dityppioksidin (N_2O) ilmastolämmityspotentiaali on noin kolmesataakertainen hiilidioksiidiin verrattuna. Sen pitoisuus ilmakehässä on kuitenkin vajaa tuhannesosa hiilidioksidin pitoisuudesta, vuonna 2005 lukema oli 319 tilavuuden miljardisosaa (ppb). Kuvasta 6 nähdään, että pitoisuus on ollut tasaisessa nousussa ihmisten toimien ansiosta. Esiteolliseen aikaan verrattuna typpioksiduulia on nyt noin 16 prosenttia enemmän. Noin 40 prosenttia päästöistä on ihmisten tuottamia ja loput luonnollisia (Karttunen ym. 2008, 103).



Kuva 6. Ilmakehän typpioksiduulipitoisuus viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana (NOAA 2008c).

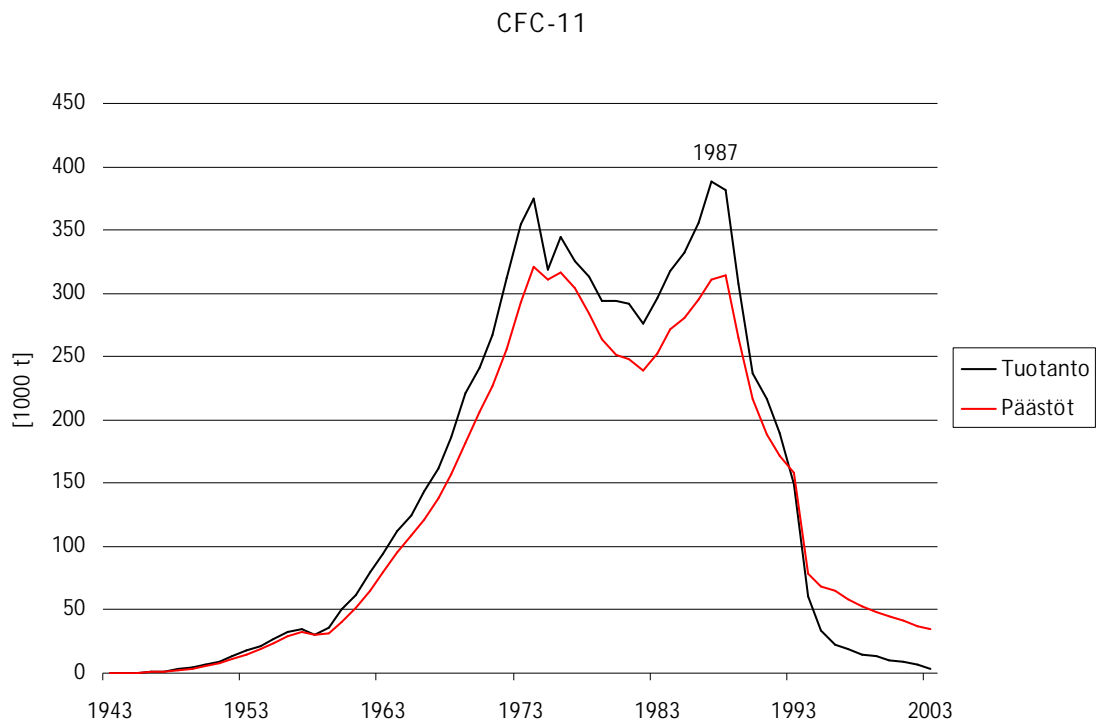
Typpioksiduulia muodostuu nitraateista bakteeritoiminnan seurauksena maaperässä ja merivedessä. Reaktioihin vaikuttaa kosteus ja lämpötila, ja on todennäköistä että tuottonopeus kasvaa ilmaston lämmitessä. Ihmislähtöisiä päästöjä syntyy maatalouden typpilannoituksesta ja lannoitteiden valmistuksesta, lannankäsittelystä, liikenteestä, teollisuusprosesseista ja fos-

siilisten polttoaineiden käytöstä. Typpioksiduulin elinikä ilmakehässä on pitkä, noin 120 vuotta. Molekyylit hajoavat ainoastaan reagoidessaan korkeaenergisien ultraviolettisäteilyn kanssa ilmakehän ylemmissä kerroksissa (Karttunen ym. 2008, 103).

2.2.4 Fluoriyhdisteet

Fluoriyhdisteet ovat kaikki tehokkaita kasvihuonekaasuja ja osa erittäin pitkäikäisiä. Hajanainen joukko voidaan jakaa hydrofluorohiilivetyihin (HFC), perfluorohiilivetyihin (PFC), rikkiheksafluoridiin (SF_6), kloorifluorihiiilivetyihin eli freoneihin (CFC) ja osittain halogenoituihin freoneihin (HCFC). HFC:t on kehitetty korvaamaan otsonikerrosta tuhoavia freoneja ja bromipitoisia haloneja.

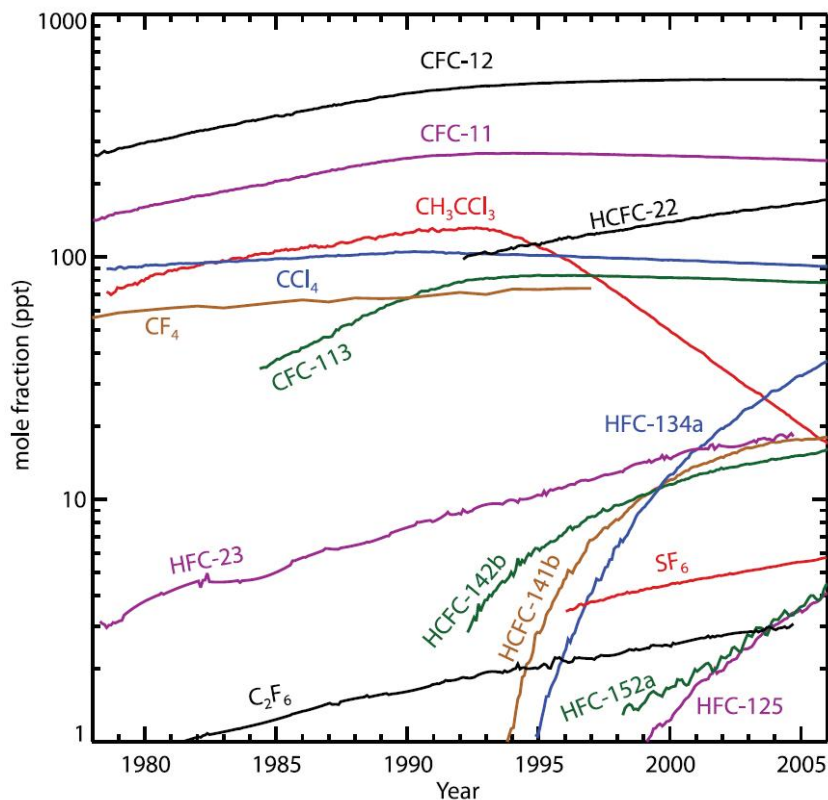
CFC:t ja halonit kieltevä Montrealin sopimus oli YK:n ympäristöohjelman UNEP:n kansainvälinen ponnistus otsonikadon torjumiseksi. Kuva 7 esittää erään yleisen freonin tuotantoa ja päästöjä maailmanlaajuisesti. Sopimuksen allekirjoitusvuoden 1987 jälkeen käyrät ovat laskeutuneet jyrkästi, mutta pitkän eliniän johdosta CFC-yhdisteitä on silti vielä jonkin verran ilmakehässä ilmasto lämmittämässä.



Kuva 7. CFC-11:n tuotanto ja päästöt maailmassa 60 vuoden aikana (AFEAS 2008).

Kemikaalia on käytetty ponnekaasuna, jäädytysaineena ja vaahtomuovien vaahtotuksessa.

Fluoriyhdisteisiin kuuluvien Kioton kaasujen eli F-kaasujen käyttö ja pitoisuudet ovat sen sijaan kasvaneet. Esimerkiksi HFC-134:n pitoisuus nousi 1990-luvulla lähes havaintorajoilla liikuneista arvoista 7,5 ppt:hen, PFC-kaasujen pitoisuudet ovat kasvaneet keskimäärin pari prosenttia vuodessa ja rikkiheksafluoridin määrä ilmakehässä on yli viisinkertaistunut sitten 1980-luvun. (Karttunen ym. 2008, 105). Kuvassa 8 näkyy erityisesti hydrofluorohiilivetyjen ja SF₆:n pitoisuuksien nousut.



Kuva 8. Yleisimpien fluoriyhdisteiden pitoisuudet 1970-luvun lopulta lähtien (Forster ym. 2007, 145).

Fluoriyhdisteiden pitoisuudet mitataan promillen miljardisosissa (ppt) eli niitä on ilmakehässä pääosin yli miljoona kertaa vähemmän kuin hiilidioksidia. Ilmastonlämmityspotentiaaliltaan yhdisteet voivat kuitenkin olla monta tuhatta kertaa hiilidioksidia voimakkaampia. Rikkiheksafluoridin GWP-arvo sadalle vuodelle on esimerkiksi 23900.

Monet HFC-yhdisteet voivat olla melko lyhytikäisiäkin (taulukko 1), mutta valtaosa säilyy pitkään ilmakehässä ja tuhoutuu typpioksiduulin tavoin vasta yli 50 kilometrin korkeudessa me-

sosfäärissä. Hydrofluorohiilivetyjä käytetään kylmä- ja ilmastointilaitteissa, perfluorohiilivetyjä alumiinin ja puolijohteiden valmistuksessa ja rikkiheksafluoridia sähköeristekaasuna.

2.3 Otsoni ja hydroksyyli-radikaalit

Otsonin (O_3) merkitys ilmakehän kemiassa on kahtalainen: stratosfäärissä 15-25 kilometrin korkeudella sijaitseva otsonikerros suojaa maapalloa auringon vaaralliselta ultraviolettisäteilyltä, mutta alailmakehässä otsoni on voimakas kasvihuonekaasu ja terveyshaittoja aiheuttava ilmansaaste. Kuvasta 1 nähdään troposfäärin otsonin (jota on vain 10 % kaikesta ilmakehän otsonista) säteilypakotteen olevan selvästi positiivinen kun taas yläilmakehän otsoni viilentää hieman maapalloa absorboidessaan auringon säteilyä. Ylhäällä otsonikerros muodostuu luonnollisella tavalla korkeaenergistien fotonien pilkkoessa happimolekyyliä, mutta alailmakehän otsoni on alkuperältään pääosin ihmislähtöistä. Antropogeeninen vaikutus tosin tuntuu stratosfäärissäkin, kun ihmisen tuottamat halogenoidut hiilivedyt ovat aiheuttaneet otsonikatoa ja jopa aukkoja otsonikerrokseen.

Otsonia kulkeutuu alailmakehään suoraan stratosfääristäkin, mutta sen pitoisuudet ovat lisääntyneet huomattavasti teollisuuden metaani-, typen oksidi-, hääkä- ja VOC²-päästöjen myötä. Typen oksidien läsnä ollessa ilmakehän monimutkaisissa fotokemiallisissa reaktioketjuissa hiiliyhdisteet hapettuvat lopulta otsoniksi (Ilmatieteen laitos 2008). Otsonia ei siis ole suorissa päästöissä, vaan se muodostuu esiasteistaan, joiden lähteitä ovat teollisuuden lisäksi muun muassa energiantuotanto ja liikenne. Reaktioissa on mukana niin sanottuja vapaita radikaaleja, joista erityisesti hydroksyyli-radikaalin (OH) merkitys ilmastolle on suuri. Erittäin reaktiivinen hydroksyyli toimii eräänlaisena ilmanpuhdistajana ja reagoi muun muassa metaanin ja HFC-kasvihuonekaasujen kanssa. OH-molekyylit tuhoavat joka vuosi lähes neljä gigatonnia ilmakehän yhdisteitä (Ehhalt, 1999). Silti Pasi Toiviaisen (2007, 206) mukaan lisääntyvät saasteet saattavat jopa romahduttaa hydroksyyli-radikaalipitoisuuden, mikä puolestaan lisäisi tuntuvasti metaanin elinikää ilmakehässä ja siten voimistaisi maapallon lämpenemistä.

2.4 Vesihöyry

Kuten Fourier jo osoitti, vesihöyry absorboi tehokkaasti infrapunasäteilyä, ja itse asiassa se onkin tärkein kasvihuonekaasu. Kasvihuoneilmion ansiosta Maan lämpötila on noin 33 astetta korkeampi kuin ilman sitä, ja tästä lisäyksestä 64 % on vesihöyryn ansiota (Karttunen ym. 2008, 97-98). Taulukossa 3 on esitetty kasvihuoneilmion tärkeimpien komponenttien lämmitävä vaikutus celsius-asteina.

Yhdiste	Lämmittävä vaikutus [°C]
vesihöyry	21
hiilidioksidi	7
otsoni	2
muut	3
yhteensä	33

Taulukko 3. Eri yhdisteiden osuus alailmakehän lämmönnoususta (Karttunen ym. 2008, 98).

Vesihöyryn määrää ilmassa säätelee voimakkaasti lämpötila: ilma muuttuu sitä kuivemmaksi, mitä ylemmäksi nousee. Vesihöyryn osuus koko ilmakehän massasta on noin 0,2 %, mutta määrä vaihtelee paikallisesti ja ajallisesti välillä 0,01-4 %. Ilmastonmuutoksen kannalta ylätroposfäärin ja stratosfäärin vähäisilläkin pitoisuuksilla on suuri merkitys. Ihmisen aiheuttamat vesihöyrypäästöt ovat vaikutukseltaan mitättömät ja aiheutuvat lähinnä keinokastelusta. Varsinaisesti vesihöyry ei ole ilmastosaaste eikä sitä huomioida päästölaskelmissa. Merkitykselliseksi vesihöyryn roolin tekee siihen liittyvä positiivinen palautemekanismi ilmaston lämpenemisen suhteen. Kun kasvihuoneilmiö voimistuu ja ilmasto lämpenee, lisääntyy myös veden haihtuminen. Lisääntynyt vesihöyrymäärä lämmittää ilmakehää edelleen, ja kaiken lisäksi lämmin ilma voi sisältää entistä enemmän höyryä. (Karttunen ym. 2008, 100.)

2.5 Albedo

Maan heijastuskyvyllä eli albedolla on merkittävä osuus ilmastoa muuttavien osatekijöiden kokonaisuudessa. Ilmakehän ulkorajalle saapuu auringonsäteilyä keskimäärin 342 W neliömetriä kohti. Tästä noin 30 % (107 Wm^{-2}) heijastuu maanpinnasta ja ilmakehästä, ennen kaikkea pilvistä, takaisin avaruuteen. Loput 70 % imeytyy maahan ja ilmaan (Räisänen 2008, 9). Planeetan heijastuskyvyksi, eli albedoksi¹ saadaan näin ollen 0,3. Heijastuskykyyn vaikuttavat maapallon pinnan koostumus ja tummuus sekä ilmassa leijuvat pienhiukkaset eli aerosolit.

Myös albedoon liittyy eräs ilmaston lämpenemistä edistävä palautekytkentä. Puhtaasta lumesta heijastuu 90 prosenttia auringonsäteilystä takaisin kun taas avomeren albedo on vain 0,07, eli 93 prosenttia säteilystä imeytyy veteen (Haapala 2008). Kun napajäätiköt alkavat sulaa, niiden heijastuskyky heikkenee ja lopulta veden muuttaessa olomuotoaan kiinteästä neste-mäiseksi, huomattavasti aiempaa suurempi määrä auringonsäteilyä jää lämmittämään ilmastoa, mikä taas entisestään lisää jäätiköiden sulamista.

2.6 Aerosolit

Aerosolit ovat ilmassa leijuvia nestemäisiä tai kiinteitä hiukkasia, kooltaan yhdestä nanometristä sataan mikrometriin. Ne vaikuttavat säteilypakotteeseen sekä suoraan että pilvien muodostuksen kautta. Tummat nokihiukkaset imevät lämpöä itseensä, mutta kaiken kaikkiaan ilmakehän aerosolit vaikutus on maapalloa viilentävä. Suurin osa ilmaan joutuvista hiukkasista on peräisin luonnollisista prosesseista, kuten vulkaanisesta toiminnasta. Tulivuorenpurkauksissa ilmaan pääsee runsaita määriä muun muassa rikkidioksidia, joka sirottaa auringon lyhytaaltoista säteilyä tehokkaasti takaisin avaruuteen (Karttunen ym. 2008, 163-164). Myös aatiomaapöly, merisuola, biologiset hiukkaset ja maastopalot ovat luonnollisia hiukkaslähteitä.

Antropogeenisiä hiukaspäästöjä syntyy muun muassa energiantuotannossa, liikenteessä, teollisuudessa ja puun pienpoltossa. Pienhiukkasten (alle 2,5 μm) viipymäaika ilmassa on vain viikon luokkaa, joten ihmistoiminnan aiheuttamat aerosolipäästöt viilentävät ilmakehää eniten saasteisilla alueilla. Suoran vaikutuksen lisäksi aerosolit vaikuttavat ilmaston lämpötilaan pilvisyyden kautta, sillä ne toimivat pilvien tiivistymisytiminä. Esimerkiksi planktonlevien tuottama dimetyylisulfidi muodostaa vesihöyrylle ytimen, jonka ympärille se voi tiivistyä pieneksi pisaraksi. IPCC:n neljännessä arviointiraportissa arvioitiin ilmakehän pienhiukkasten sekä suoran että epäsuoran vaikutuksen hillinneen maapallon lämpenemistä tähän mennessä karkeasti pyöristäen runsaalla kolmanneksella kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutukseen verrattuna. (Toiviainen 2007, 194; 198.)

3 Kasvihuonekaasujen alueelliset laskentamenetelmät

YK:n ilmastomuutoksen puitesopimuksen, UNFCCC:n allekirjoittaneiden osapuolten on laskettava kasvihuonekaasupäästönsä vuosittain. Laskennan perustana ovat hallitustenvälisen ilmastopaneelin kansallisten khk-päästöjen inventaari -ohjelman IPCC-NGGIP:n laatimat ohjeet. Puitesopimuksen kolmannessa osapuolikonferenssissa Kiotossa vuonna 1997 sovittiin, että 1995 ilmestyneen ensimmäisen ohjejulkaisun (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) tarkistettua painosta tulee käyttää päästöinventaarien laatimisessa (IPCC 2008). Sittemmin IPCC-NGGIP on julkaissut useita aiheeseen liittyviä hyvien käytäntöjen ohje-kirjoja ja viimeksi vuonna 2006 uuden version yleisohjeestaan.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories sisältää yksityiskohtaiset ohjeet energiantuotannosta, teollisuusprosesseista, kemikaalien käytöstä, maa- ja metsätaloudesta, muusta maankäytöstä sekä jätteistä syntyvien khk-päästöjen laskemiseksi. Suomessa Tilasto-keskus raportoi tällä metodiikalla lasketut päästöt vuosittain Euroopan komissiolle ja YK:n il-mastosopimuksen sihteeristölle (UNFCCC Secretariat).

Tässä työssä vertaillaan kolmea alueellista khk-päästöjen laskentamallia. Lähtökohta on Suo-messa yleisimmin käytetty menetelmä, kuntatason kasvihuonekaasu- ja energiatasemalli Kas-vener, johon verrataan pääkaupunkiseudun ilmastostrategiassa käytettyä Hilma-metodia sekä CEN-standardiin perustuvaa Primäärienergiatarkastelua. Myös Kasvenerin pohjalla on IPCC:n ohjeistus.

IPCC:n metodologia on kansainvälisesti tunnustettu. Eri polttoaineiden päästökertoimet hiili-dioksidille ja muille kasvihuonekaasuille on määritelty yleisohjeessa. Esimerkiksi kivihiilen Kasvenerissäkin käytetty hiilidioksidin päästökerroin 93,7 g/MJ saadaan laskemalla polttoai-neen hiilipitoisuus sen lämpöarvoon perustuen, ja kertomalla tämä hiilen hapettumisprosen-tilla ja hiilidioksidin ja hiilen molekyylimassojen suhteella¹ (IPCC 1996, 24-30). Tavallisimpien polttoaineiden yleisesti hyväksytyt CO₂-päästökertoimet, joita käytetään kaikissa khk-päästöjen laskentamenetelmissä, on esitetty taulukossa 4. Muiden khk-kaasujen päästöker-toimet lasketaan vastaavalla tavalla IPCC:n metodologian mukaan.

¹ Kivihiilen lämpöarvo = 25,8 tC/TJ, hapettumiskerroin = 0,99, M(C) = 12,0107, M(CO₂) = 44,0095. Päästökerroin = 25,8 x 0,99 x 44,0095 / 12,0107 = 93,7 t/TJ

Polttoaine	Päästökerroin [g/MJ]
kivihiili	93,7
turve	104,8
maakaasu	54,8
raskas polttoöljy	78,4
kevyt polttoöljy	73,7
dieselöljy	73,6
benssiini	72,9
nestekaasu	64,7
koksi	106,9
koksikaasu	41,1
masuunikaasu	261,1
yhdyskuntajäte (fossiiliperäinen)	157,4

Taulukko 4. Hiilidioksidin päästökertoimia fossiilisille polttoaineille (Kasvener 2007).

IPCC (2006a, 10-11) luettelee yhteensä kahdeksan inventaarien laatimiseen liittyvää epävarmuustekijää. Päästödataa ei välttämättä ole saatavissa joko siksi, että päästön aiheuttavaa prosessia ei tunnisteta, tai jos soveltuvaa mittausmenetelmää ei ole olemassa. Toisaalta arvot voivat olla niin pieniä, että käytetty mittari ei niitä havaitse, tai tarvittavaa dataa ei muusta syystä ole käytettävissä. Tiedot eivät myöskään ole aina edustavia. Esimerkkinä mainitaan voimalaitos, josta on saatavissa päästödataa vain silloin kun sitä ajetaan täydellä kapasiteetilla, mutta ei käynnistys- tai alasajovaiheessa. Myös tilastollinen satunnaisvirhe, virheellinen päästöluokittelu ja mittausvirhe on otettava huomioon.

Merkittävin virhemahdollisuus sisältyy käytettyihin laskentamalleihin. Yksinkertaisimmillaan malli voi olla vain yksittäinen päästökerroin. Monimutkaisimmista malleista esimerkiksi käyvät tässä työssä vertailtavat päästölaskentamenetelmät. Mallit ovat aina yleistyksiä todellisista järjestelmistä. Niissä voi olla virheitä ja ne sisältävät oletuksia. Mallien tarkkuus sekä ajallinen ja alueellinen kattavuus eivät välttämättä ole edustavia. Toisaalta käytettävissä olevien tietojen ja mallin vaatimusten ristiriita voi johtaa epävarmuutta aiheuttavaan ekstrapolointiin/interpolointiin.

Myös kuntien maailmanlaajuinen ympäristöjärjestö ICLEI (International Council for Local Environmental Initiatives²) korostaa aluetason päästöjen analysoinnin haastavuutta. Paikallishallinnoilla ei usein ole käytössä samoja tietolähteitä kuin kansallisella tasolla päästöinventaarioita laskettaessa. Tiedot energia- ja materiaalivirroista ovat valtakunnallisesti hyvinkin tarkkoja, mutta tarkasteltavan alueen pienentyessä esimerkiksi yksittäisen kaupungin tasolle heikkenee tämänkaltaisen datan edustavuus. ICLEI:n mukaan on tavallista, että paikallistason päästölaskennoissa joudutaan yhdistelemään valtakunnallista ja alueellista tietoa. (ICLEI 2008.)

Khk-päästöjen laskentamalleja käytettäessä valitaan aluksi alue tai systeemi, jonka päästöt halutaan laskea. Tämän jälkeen kerätään vaadittava data esimerkiksi voimalaitosten käyttämistä polttoaineista, lypsylehmien lukumäärästä ja teollisuuden jätevesistä. Tulokseksi saadaan päästölukemat mallin taustamuuttujien ja -oletusten mukaan laskettuna. Tavallisesti lähtökohtana on tiedot energiantuotannosta ja -kulutuksesta, liikenteestä, jätehuollosta sekä teollisuus- ja maataloustuotannosta. IPCC:n metodiikka huomioi myös maankäytön ja hiilinielut, mutta alueellisiin laskentamenetelmiin niiden vaikutusta ei toistaiseksi ole sisällytetty.

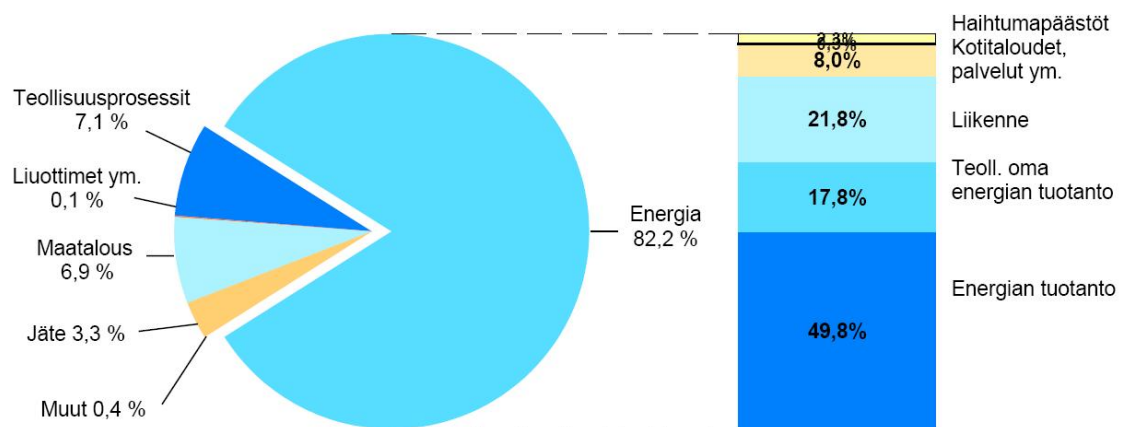
Lähtötiedot voivat olla tarkkuustasoltaan hyvin erilaisia. Englannissa ilmastonmuutoksen tutkimuskeskuksessa, Tyndall Centressä kehitetty GRIP-malli (Greenhouse gas Regional Inventory Project) luokittelee tulokset kolmeen kategoriaan käytettävissä olevien taustatietojen tarkkuuden mukaisesti. Karkeimmalla kolmostasolla ainoat vaadittavat tiedot ovat alueen väkiluku, bruttokansantuote, kotitalouksien määrä ja lähtevien lentojen lukumäärä. Ykköstopella sen sijaan vaaditaan muun muassa dataa kaukojäähdytyksen käytöstä, erilaisista riisinviljelymenetelmistä ja puolijohdeteollisuuden käyttämistä halogenoiduista hiilivedyistä (Carney 2008). GRIP:stä pyritään saamaan työkalu, jolla voidaan verrata eri kaupunkien päästöjä sektoreittain, ja laskea erilaisia tulevaisuusskenaarioita. Sen mukaan ottaminen tähän työhön ja vertailu Suomessa käytössä oleviin malleihin olisi ollut kiinnostavaa, mutta ei mahdollista mallin keskeneräisyyden vuoksi.

Maailmanlaajuisesti paljon käytetty päästölaskentamalli on World Resources Instituten (WRI) ja World Business Council for Sustainable Developmentin (WBCSD) yhteistyössä laatima kasvihuonekaasujen laskentaprotokolla. The Greenhouse Gas Protocol Initiativen internet-sivuilla on ladattavissa runsas määrä Excel-tauluja, joilla voi laskea eri teollisuuden sektoreiden tai sähköntuotantomuotojen päästöt. GHG Protocol on ollut lähtökohtana myös khk-päästölaskentaan liittyvälle ISO-standardille 14064-I (Specification with Guidance at the Organization Level for Quantification and Reporting of Greenhouse Gas Emissions and Removals) ja Pohjois-Amerikassa toimivalle The Climate Registrylle, jolla niin ikään on tarjota alueelli-

² Nykyisin virallisesti ICLEI - Local Governments for Sustainability

nen, online-pohjainen laskentatyökalu. Samankaltaista metodiikkaa käytetään myös ICLEI:n julkaisemassa laskentaohjeessa International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol Release Version 1.0.

Laskentamallien taustaolettamuksista tärkeimmät liittyvät energiantuotantoon. Menetelmiä vertailtaessa on kiinnitettävä erityishuomiota sähkön alkuperään. Sähkön tuotantorakenne on eri alueilla ja eri maissa hyvin erilainen, mutta toisaalta sähkö ostetaan tavallisesti yhteismarkkinoilta. Päästölaskennan suurimmat virhetulkintamahdollisuudet piilevät siinä, miten eri tuotantotavat ja markkina-alueet on huomioitu, millä tavoin päästökertoimet on laskettu ja miten sähkön ja lämmön yhteistuotannon päästöt on jyvitetty. Energiantuotannosta aiheutui lähes puolet Suomen vuoden 2005 khk-päästöistä (kuva 9), joten näiden seikkojen huolellisella puntaroinnilla on suuri merkitys päästöjä laskettaessa, erilaisia päästöskenaarioita hahmoteltaessa tai päästövähennysstrategioita laadittaessa.



Kuva 9. Suomen khk-päästöt lähteittäin 2005 (Energiateollisuus 2008a, 68).

Lähtökohtaisesti on päätettävä, lasketaanko päästöt tuotanto- vai kulutusperusteisesti. Tuotantoa vastaavat päästöt tarkoittavat alueella tuotettua energiaa ja sen aiheuttamia päästöjä sekä muista toiminnoista alueella syntyviä päästöjä. Kulutusta vastaavat päästöt kuvaavat puolestaan sitä määrää kasvihuonekaasuja, jonka alueen ihmiset ja instanssit toiminnallaan tuottavat. Kasvener-malli antaa energiantuotannon suhteen molemmat tulokset, mutta tässä työssä keskitytään pääsääntöisesti kulutukseen perustuviin päästöihin. Myös ICLEI viittaa tuotannon ja kulutuksen problematiikkaan puhuessaan energiavirroista ja alueellisen päästölaskennan haastavuudesta. Jos tietyllä alueella ei ole lainkaan energianlaitoksia, tuotantoperusteiset päästöt ovat täällä väistämättä hyvin pienet, vaikka sähköä kulutettaisiin runsaastikin. Kulutusperusteinen näkökulma kohdistuu enemmän yksilöihin, ja se tuo selvemmin näkyviin

erilaisten ilmastonmuutoksen torjuntaan liittyvien toimenpiteiden, erityisesti energiansäästön vaikutuksen.

Kansainvälisessä WRI:n ja WBCSD:n kasvihuonekaasuprotokollassa yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon päästöt jyvitetään siten, että lämmöntuotannon oletushyötysuhde on 80 % ja sähköntuotannon 35 % (GHG Protocol 2006). Tapa muistuttaa Motivan kehittämää hyödynjakomenetelmää, jota käytetään Hilma-metodissa. GHG Protocol mainitsee myös energiasäilömenetelmän yhtenä tapana allokoita yhteistuotannon päästöt. Energiamenetelmässä päästöt jaetaan sähkölle ja lämmölle yksinkertaisesti siinä suhteessa, jossa näitä energiamuotoja on tuotettu. Menetelmiä tämän khk-päästöjen laskemisen kannalta keskeisen tekijän laskemiseksi on lukuisia muitakin. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksessa (Liikanen 1999) käytiin läpi kahdeksan perusteltua tapaa jakaa yhteistuotannon päästöt (taulukko 5). KTM:n laskelmissa käytettiin esimerkkinä teollisuuslaitoksen yhteydessä sijaitsevaa voimalaa, joka tuottaa yhteistuotantona sähköä ja lämpöä sekä teollisuusprosesseille että yleiseen verkkoon, ja lisäksi jonkin verran pelkkää lauhdesähköä. Kokonaisenergiantuotanto esimerkkilaitoksessa oli 1890 GWh.

Jakotapa	Sähkön/lämmön päästöjen jakautuminen [%]	Yhteistuotannon hyödyn kohdistuminen	Laskennalliset hyötysuhteet sähkön-/lämmöntuotannolle [%]
Energiamenetelmä	26/74	Sähkö	86/86
Eksergiamenetelmä	46/54	Lämpö	41/114
Sähkön vaihtoehtoisen hankinnan menetelmä	51/49	Lämpö	39/130
Lämmön vaihtoehtoisen hankinnan menetelmä	23/77	Sähkö	75/90
Suhdemenetelmä	29/71	Sähkö	76/90
Hyödynjakomenetelmä	42/58	Molemmat	48/111
Työmenetelmä	56/44	Lämpö	35/145
Hintaperusteinen menetelmä	45/55	Lämpö	40/124

Taulukko 5. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon päästöjen jakotapoja (Liikanen 1999, soveltaen).

Suomessa yhdistetyllä sähkön- ja lämmöntuotannolla (CHP, Combined Heat and Power) on erityisen suuri merkitys, sillä lähes 80 prosenttia Suomen kaukolämmön tuotannosta ja kolmannes sähköstä saadaan yhteistuotannosta. Lukemat ovat maailman korkeimpia (Energiateollisuus 2008b). Helsingin energian Salmisaaren CHP-voimalan kokonaishyötysuhde on parhaimmillaan 90 prosenttia, kun vastaavasti sähkön erillistuotannossa keskimäärin hieman alle 40 prosenttia polttoaineen sisältämästä energiasta saadaan talteen. Yhteistuotantolaitoksissa saavutettuja päästövähennyksiä allokoidaan tyypillisesti enemmän lämmölle sen tuotannon paremman energiatehokkuuden johdosta ja toisaalta siksi, että sen voidaan ajatella olevan sähköntuotannon sivutuote.

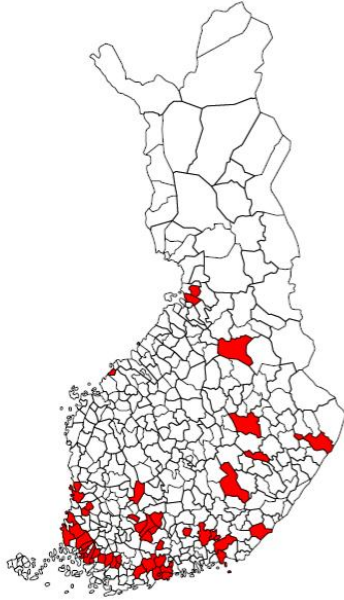
Tilastokeskus on käyttänyt vuoteen 2006 asti energiamenetelmää, jossa lasketaan vain kokonaishyötysuhde, ja hyöty kohdistuu sähköntuotannolle. Nykyään yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon päästöt lasketaan kansallisissa päästöinventaa-reissa hyödynjakomenetelmällä, jossa molemmat energiamuodot saavat etua erillistuotantoon nähden. Mainittujen jyvitystapojen lisäksi Kasvener-mallissa käytetään sovellettua energiamenetelmää, ja CEN-standardiin perustuvassa primäärienergiamenetelmässä on vielä oma tapansa jakaa yhteistuotannon päästöt. Näitä ja muita mallien sisältämiä energiantuotantoon liittyviä olettamuksia ja erityispiirteitä käsitellään seuraavissa luvuissa.

3.1 Kasvener

Kasvener on kuntatason kasvihuonekaasu- ja energiatasemalli, joka on kehitetty kuntien ilmastonsuojelukampanjaa varten. Kampanjan taustalla on ICLEI:n kansainvälinen Cities for Climate Protection -ohjelma (CCP). Alun perin Kasvener-mallin tarkoituksena oli auttaa kuntia laatimaan päästöinventaarior, jonka pohjalta ilmastotyö voitaisiin käynnistää. Mallin on suunnitellut ja toteuttanut Suomen ympäristökeskuksen erikoistutkija Jouko Petäjä Suomen Kuntaliiton toimeksiannosta vuonna 1997. Kasveneristä on sittemmin muodostunut työkalu, jota on pyritty jatkuvasti täsmentämään, ja jonka avulla on voitu seurata päästötrendejä jopa vuosittain tehtävien inventaarilaskelmien kautta. Kehitystyö on tapahtunut SYKE:n ja Kuntaliiton yhteistyönä. Suurimmat päivitykset malliin on tehty vuosina 2002 ja 2007.

Kasvener on 95 laskentataulua sisältävä Excel-pohjainen laskentatyökalu, joka on ilmaiseksi tilattavissa Suomen Kuntaliitolta. Ohjelmaa on käytetty eri vuosina ilmastonsuojelukampanjakunnissa, joita oli keväällä 2008 yhteensä 51 kappaletta (kuva 10). Myös YTV on omana yksikönään mukana kampanjassa. Kaikkiaan CCP:hen osallistuu yli 800 hallinnollista aluetta Euroopasta, Yhdysvalloista, Kanadasta, Australiasta, Uudesta-Seelannista, Japanista, Latinalaisesta Amerikasta sekä Etelä- ja Kaakkois-Aasiasta. Suomessa kampanjakuntien lisäksi myös Hämeen ja Pirkanmaan liitot sekä Jyväskylä ovat laskeneet päästönsä Kasvenerillä. Pää-

kaupunkiseudulla päästöinventaaureja on tehty tällä menetelmällä vuosille 1990, 1997, 2000 ja 2002.



Kuva 10. Kartta ilmastonsuojelukampanjaan liittyneistä kunnista 10.3.2008 mennessä (Suomen kuntaliitto 2008). Kampanjakunnissa asuu yhteensä 2,6 miljoonaa henkilöä.

3.1.1 Laskettavat päästöt

Kasvener-mallin avulla voidaan laskea tietyn rajatun alueen, esimerkiksi kunnan tai maakunnan vuotuiset, suorat khk-päästöt. Energiasektorilta malli laskee lisäksi päästökomponentit, joilla on vaikutusta paikalliseen ilmanlaatuun. Kokonaispäästöt lasketaan sekä alueen energiantuotannon että -kulutuksen mukaan. Päästöt jaetaan neljälle sektorille: energiaan, teollisuuden prosesseihin, maatalouteen ja jätehuoltoon. Kasveneristä lopputuloksena saatavassa tuotantoperusteisessa päästöraportissa energiasektori on jaettu edelleen sähköntuotantoon, kaukolämpöön, erillislämmitykseen, teollisuuden lämpöön, muuhun polttoaineeseen ja liikenteeseen (taulukko 6). Vastaavat alakategoriat kulutusperusteisessa raportissa ovat muu sähkö, kaukolämpö, sähkölämmitys, erillislämmitys, muu polttoaine ja liikenne (taulukko 7).

Päästölähde	Hiilidioksidi	Metaani	Typpioksiduuli	Yhteensä
	1000 tonnia	tonnia	tonnia	1000 t CO ₂ -ekv.
Sähköntuotanto	2 943	41	78	2 968
Kaukolämpö	3 209	50	87	3 237
Erillislämmitys	305	29	8,6	309
Teollisuuden lämpö	41	0,6	1,4	42
Muu polttoaine	94	99	2,3	97
Liikenne	1 390	153	206	1 457
Jätehuolto	0	3 031	61	83
Maatalous	0	47,9	24	8,6
Teollisuusprosessit	0	0	0	0
Yhteensä	7 982	3 451	469	8199

Taulukko 6. Kasvenerillä lasketut pääkaupunkiseudun tuotantoperusteiset khk-päästöt vuonna 2006 (Hintsala 2008).

Päästölähde	Hiilidioksidi	Metaani	Typpioksiduuli	Yhteensä
	1000 t	tonnia	tonnia	1000 t CO ₂ -ekv.
Kaukolämpö	3 209	50	87	3 237
Sähkölämmitys	288	4,0	7,6	290
Erillislämmitys	305	29	8,6	309
Muu sähkö	2 036	28	54	2 053
Muu polttoaine	136	100	3,7	139
Liikenne	1 444	154	207	1 512
Jätehuolto	0	3 031	61	83
Maatalous	0	48	24	8,6
Teollisuusprosessit	0	0	0	0
Yhteensä	7 417	3 444	454	7 630

Taulukko 7. Kasvenerillä lasketut pääkaupunkiseudun kulutusperusteiset khk-päästöt vuonna 2006 (Hintsala 2008).

Yllä olevista taulukoista nähdään, että Kasvener laskee kolmen tärkeimmän kasvihuonekaasun eli hiilidioksidin, metaanin ja typpioksiduulin päästöt. Kolmea muuta niin sanottua Kioton

kaasua, rikkiheksafluoridia, fluorihilivetyjä ja perfluorivetyjä malli ei huomioi. Näiden ja niin ikään mallin ulkopuolelle jäävien maankäytöstä aiheutuvien (esimerkiksi haihdunta turvetuotantoalueilta) päästöjen kokonaismääräksi on arvioitu noin 5 prosenttia Suomen kokonaispäästöistä (Petäjä 2007). Kasveneristä saa tulokseksi tuotanto- ja kulutusperusteisten khk-päästöjen lisäksi energiasektorin hiilimonoksidin, hiukkasten, rikkidioksidin ja typen oksidien päästöt, sähkönkulutuksen päästöt ja sektorikohtaiset kulutuslukemat sekä tarkasteltavan alueen polttoaineiden käytön jakauman. Häkä, SO₂ ja NO_x kuuluvat myös IPCC:n laskentaohjeiden piiriin, sillä niillä on välillisiä vaikutuksia kasvihuoneilmiöön. Hiilidioksidiekvivalenttimegatonneina ilmoitettavassa lopullisessa päästöluvussa näitä ei kuitenkaan oteta huomioon.

3.1.2 Tarvittavat lähtötiedot

Kasvener-malli sisältää 16 Excel-taulua, joihin lähtötietoja jokaiselta päästösektorilta syötetään. Energiasektorilta tarvitaan tiedot alueen sähkön ja lämmön kulutuksesta prosentuaalisine jakaumineen eri sektoreille, voimalaitosten tuotannosta polttoaineittain, teollisuuden energiantuotannosta, paikallisista sähkön jakeluhäviöistä ja kaukolämmön nettotuonnista tai -viennistä. Liikenteen päästöt puolestaan määritellään eri ajoneuvotyyppien energialähteiden käytön ja ajosuoritteiden perusteella. Jätesektorille syötetään tarkat tiedot kaatopaikoista, kompostoinnista, yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesistä, jätteen alkuperästä ja koostumuksesta. Myös maatalouteen liittyvä lähtödata on yksityiskohtaista. Mallin Määrät- ja Muu_jakotaulut sisältävät useita kymmeniä maataloustiedoilla täytettäviä soluja. Täydellinen lista tarvittavista lähtötiedoista löytyy liitteestä 2. Taulukkoon 8 on koottu tahoja, joita tietojen keräämisessä on hyödynnetty.

Organisaatio	Tilasto
Tilastokeskus	Energiatilasto
Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus TIKE	Matilda –maataloustilastot
Adato Energia Oy	Sähkö- ja kaukolämpötilastot
VTT	Lipasto – liikennetiedot
Ympäristöministeriö	Vahti - Valvonta- ja kuormitustietojärjestelmä – teollisuus

Taulukko 8. Tietolähteitä. Taulukossa mainittujen lisäksi tietoja on saatu myös seuraavilta tahoilta: Uudenmaan ympäristökeskus, YTV, HKL, energiantuotantolaitosten ilmoitukset, yritysten vuosikertomukset ja ympäristöraportit, Sähkö- ja kaasualan keskusliitto, Energiateollisuus ry., Ilmailulaitos, Merenkululaitos ja Ratahallintokeskus.

3.1.3 Kuntatason rajausta ja sähkön alkuperä

Kasvenerin *tuotantoperusteisessa* kasvihuonepäästöjen laskennassa kuntataso on määritelty kunnan alueellisten rajojen mukaan jätehuoltoa lukuun ottamatta. Energialaitosten päästöt lasketaan kuuluvaksi sille kunnalle, jonka rajojen sisäpuolella voimala sijaitsee. Kaatopaikkojen ja jätevesipuhdistamojen päästöt sen sijaan määritellään jätteen syntypaikan perusteella. *Kulutusperusteisessa* tarkastelussa kuntatason määrittely on mutkikkaampaa. Liikenteen, teollisuusprosessien, maatalouden ja jätehuollon osalta rajausta on sama tuotantoperusteisessa laskennassa liikenteen sähkönkäyttö pois lukien, mutta energiasektorin päästöt lasketaan eritavalla.

Kulutusperusteisessa laskennassa paikallisiksi kuntatason voimalaitoksiksi määritellään teollisuuden prosessivoimalaitokset ja kaukolämpövoimalaitokset riippumatta laitosten omistustaustasta sekä vesi-, tuuli- ja huippuvoimalaitokset, joilla on paikallinen omistustausta. Jos näiden laitosten sähköntuotanto ylittää kunnan sähkönkulutuksen, ylimääräisen osan päästöjä ei lasketa mukaan kunnan kulutusperusteisiin päästöihin. Mikäli paikallista sähköntuotantoa ei sen sijaan kulutukseen verrattuna ole tarpeeksi, täytetään vaje valtakunnallisella sähköllä, joita Kasvenerin määritelmän mukaan tuottavat seuraavat: ydinvoimalaitokset, lauhdevoimalat sekä vesi-, tuuli- ja huippuvoimalaitokset, jos nämä eivät ole paikallisessa omistuksessa. Lisäksi paikallisen tuotannon mahdolliset ylimäärät koko Suomen tasolla lisätään tähän niin sanottuun valtakunnalliseen ostosähköön. Lähtökohtana kuntatason rajaukselle on Jouko Peitjän (2008) mukaan ollut se, että paikallisiksi tuotantomuodoiksi valittaisiin sellaiset, joissa kunnan yrityksillä tai muilla tahoilla olisi jonkinlaista sanansijaa.

Edellä mainittujen jakosääntöjen perusteella esimerkiksi Helsingin sähkönkulutuksen päästöt aiheutuvat kokonaisuudessaan Helsingin energian kaukolämpövoimalaitosten sähköntuotannosta. Kirkkonummella puolestaan kulutetaan ensiksi teollisuuden prosessivoiman tuottama 15 gigawattituntia, jonka jälkeen lopun 96 prosentin osuuden kunnan sähkönkulutuksesta oletetaan olevan valtakunnalliseksi määriteltyä sähköä.

3.1.4 CHP-päästöjen jyvitys

Kasvenerin sovelletussa energiamenetelmässä lämmöntuotannon hyötysuhteeksi on sovittu 90 prosenttia. Tämän perusteella lasketaan lämmön kuluttama polttoainemäärä. Sähköntuotannon kuluttama energiamäärä saadaan vähentämällä voimalan polttoaineiden kokonaiskulutuksesta lämmön polttoaineet. Vuoden 2006 energiantuotantomäärien ja kulutetun polttoaineen perusteella Helsingin CHP-voimaloiden sähkön laskennalliseksi hyötysuhteeksi saatiin 71,6 prosenttia (Hintsala 2008).

Kasvenerin laskennalliset hyötysuhteet vastaavat tilannetta, jossa lämmöntuotanto olisi kokonaan erillistuotantoa. Yhteistuotannon hyöty kohdistuu tässä tapauksessa siis kokonaan sähkölle. Kasvenerin laskutapa on yhdenmukainen perinteisen energiamenetelmän kanssa sikäli, että päästöt lasketaan siinäkin tuotettujen energiamäärien suhteessa. Hyötysuhteena ei kuitenkaan käytetä sähkölle ja lämmölle yhteistä kokonaishyötysuhdetta, joka Helsingissä vuonna 2006 oli 79,9 prosenttia, vaan lämmöllä on vakiohyötysuhde, jonka perusteella sähköntuotannolle lasketaan omansa.

3.2 Hilma-metodi

Hilma-metodiksi kutsutaan tässä työssä khk-päästöjen laskentatapaa, jota käytettiin ensimmäistä kertaa pääkaupunkiseudun ilmastostrategiatyön yhteydessä. YTV:n yhdessä Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten kanssa laatima, vuoteen 2030 ulottuva strategia sisältää kaupunkien yhteisen ilmastovision, päästövähennystavoitteen ja toimintalinjat tavoitteen saavuttamiseksi. Tarkoituksena on vähentää asukaskohtaisia päästöjä kolmanneksella vuoden 2004 tasosta, mikä tarkoittaa 39 prosentin päästövähennystä vuoteen 1990 nähden. Strategian pohjaksi laskettiin pääkaupunkiseudun kulutusperusteiset khk-päästöt vuodelle 2004. Laskentamallina käytettiin Kasveneristä kehitettyä menetelmää, jossa keskeisin uudistus on sähkön ja lämmön yhteistuotannon päästöjen jyvittäminen hyödynjakomenetelmällä. Nimi Hilma-metodi on johdettu strategiatyön johtoryhmän nimestä Hilma, ja sitä on käytetty myös vuoden 2004 päästölaskentojen yhteydessä.

Hilma-metodin käytöstä sovittiin Pääkaupunkiseudun ilmastostrategia 2030:n johtoryhmässä yhteistyössä energiantuotantolaitosten kanssa. Haluttiin Kasveneriä kuvaavampi, vertailukelpoisempi ja vuosittain päivitettävissä oleva laskentatapa kulutuksen aiheuttamista päästöistä strategian toteutumisen seurannan avuksi (Huuska 2008a). PKS-ilmastostrategia valmistui loppuvuodesta 2007, jonka jälkeen Hilma-metodia on käytetty muuallakin. Uudenmaan liitossa Jarkko Hintsala on laskenut uusimmat vuoden 2006 khk-päästölaskelmat tällä menetelmällä erikseen kaikille Uudenmaan maakunnan kunnille, ja myös Jyväskylä on jo käyttänyt samaa metodia omissa päästölaskelmissaan.

Hilma-metodin tärkeimmät erot Kasveneriin nähden ovat hyödynjakomenetelmän lisäksi valtakunnallisen sähköntuotannon ominaispäästökertoimen ja erillisen sähkölämmityksen päästökertoimen käyttö. Lisäksi kaikille lämmitysmuodoille tehdään lämmitystarvekorjaus vuosikohtaisten säävaihteluiden aiheuttamien heilahtelujen tasaamiseksi. Pieniä eroja tulee lisäksi sähkölämmityksen kulutuksen laskennasta ja raideliikenteen päästöistä. Päästölaskennan periaatteena on käyttää ensin Kasveneriä, minkä jälkeen tehdään tarvittavat korjauslaskelmat. Muutokset koskevat nimenomaan kulutusperusteisia päästöjä, joita tässäkin työssä vertailaan. Myös päästökategoriat, kaukolämpö, sähkölämmitys, erillislämmitys, kulutussähkö (muu sähkö), teollisuus ja työkoneet (muu polttoaine), liikenne, jätehuolto, maatalous ja teollisuusprosessit säilyvät samoina.

3.2.1 Hyödynjakomenetelmä

Juha Liikasen (1999) tutkimuksessa yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon päästöjen jakamisesta hyödynjakomenetelmä oli mukana yhtenä kahdeksasta tutkimuksen kohteena olleesta tavasta jyvittää päästöt. Liikasen mukaan hyödynjakomenetelmä on saanut eri toimijoiden taholta kaikista jakotavoista eniten kannatusta ja olisi hyvä kompromissi kansainvälisessäkin käytössä (1999, 68; 72). Tutkimuksen jälkeen 8.2.2000 Tilastokeskus asetti energian tuotantotilastojen kehittämistä käsitelleen työryhmän, jonka ehdotuksen mukaan hyödynjakomenetelmään siirryttäisiin virallisissa tilastoissa lähitulevaisuudessa (Motiva 2004, 14). Siirtyminen uuteen metodiin tapahtui 2006, jolloin myös kuluneiden vuosien tilastoja alettiin korjata hyödynjakomenetelmän mukaisiksi. Menetelmää on suositeltu myös Ympäristöministeriön julkaisussa Kansallinen ilmasto-ohjelma - ympäristöministeriön sektoriselvitys (2001, 41).

Hyödynjakomenetelmän edullisuus johtuu yhteistuotannon hyödyn jakautumisesta tasapuolisesti molemmille energiatuotteille, kun päästöt jaetaan vaihtoehtoisten hankintamuotojen polttoainekulutusten suhteessa. Vaihtoehtoina käytetään sähkölle lauhdetuotantoa, jonka hyötysuhde on 40 prosenttia, ja lämmölle Kasvenerin sovelletun energiamenetelmän tapaan

vesikattilalämpöä 90 prosentin hyötysuhteella. Mikäli yhteistuotantovoimalaitos tuottaa myös lauhdesähköä lämpökuorman ollessa alhainen, erotetaan sen osuus ja vastaavasti erillinen lämmöntuotanto ennen jakomenetelmän käyttöä (Motiva 2004, 14).

Yhteistuotannossa sekä lämmön että sähkön hyötysuhteista saadaan hyödynjakomenetelmällä laskettuna suuremmat kuin erillistuotannon oletetut 90 ja 40 prosenttia. Hyötysuhteet lasketaan alla olevan ohjeen mukaisesti (YTV 2007, 93). Kursiivilla painetussa esimerkissä on käytetty Helsingin yhteistuotantovoimalaitosten lukuja vuodelta 2006 (Hintsala 2008). Energian yksikkö on gigawattitunti [GWh].

Ensin lasketaan vaihtoehtoisten hankintamuotojen polttoaineiden kulutukset:

Sähkö, lauhdetuotanto

$$F'e = Ee / \eta_e \qquad F'e = 6356,9 / 0,4 = 15892,3$$

Lämpö, vesikattilalämpö

$$F'h = Eh / \eta_h \qquad F'h = 6672,4 / 0,9 = 7413,7$$

missä

$F'e$ = vaihtoehtoisen sähkön erillistuotannon polttoainekulutus (lauhdetuotanto)

$F'h$ = vaihtoehtoisen lämmön erillistuotannon polttoainekulutus (vesikattilalämpö)

Ee = tuotettu sähkö yhteistuotannossa

Eh = tuotettu lämpö yhteistuotannossa

η_e = sähkön erillistuotannon hyötysuhde (40 %)

η_h = lämmön erillistuotannon hyötysuhde (90 %)

Toteutunut polttoaineenkulutus jaetaan vaihtoehtoisten hankintojen kulutusten suhteessa ja tuloksena saadaan polttoaineiden kulutukset sähkölle ja lämmölle:

Laskennallinen sähkön polttoaineiden kulutus yhteistuotannossa

$$F_e = F'e / (F'e + F'h) * F = 15892,3 / (15892,3 + 7413,7) * 16297,8 = 11113,4$$

Laskennallinen lämmön polttoaineiden kulutus yhteistuotannossa

$$F_h = F'h / (F'e + F'h) * F = 7413,7 / (15892,3 + 7413,7) * 16297,8 = 5184,4$$

missä

F_e = laskennallinen sähkön polttoaineiden kulutus yhteistuotannossa

F_h = laskennallinen lämmön polttoaineiden kulutus yhteistuotannossa

F = polttoaineiden kulutus yhteistuotannossa

Khk-päästöjen jyvitys tapahtuu laskennallisten polttoaineiden kulutusten (Fe ja Fh) mukaisesti, ja näistä voidaan johtaa myös laskennalliset hyötysuhteet kummallekin energiakomponentille. Helsingissä vuonna 2006 tuotetulle lämmölle saadaan tällä tavoin hyötysuhteeksi 129 % ($6672,4 / 5184,4 * 100$ %) ja sähkölle 57 % ($6356,9 / 11113,4 * 100$ %).

3.2.2 Sähkön päästökertoimet

Hilma-metodissa oletuksena on, että kuluttajat käyttävät keskimääräistä valtakunnallista sähköä. Erotuksena Kasvenerin valtakunnalliseksi määrittelemään sähköön, jota käytetään, jos paikallinen sähköntuotanto ei ole riittävää, tässä menetelmässä sähkölle lasketaan kokonaispäästökerroin kaikelle Suomessa kunakin vuonna tuotetulle sähkölle. Vuosiheilahtelun vähentämiseksi valtakunnallisen päästökertoimen laskennassa otetaan huomioon tarkasteluvuosi ja neljä edellistä vuotta. Viiden vuoden keskiarvon käyttäminen ilmentää vuosittaista tarkastelua paremmin päästötrendiä. Keskiarvo kertoo mihin suuntaan sähköntuotannon päästöt ovat menossa, ja eri vuodet ovat myös tällä tavoin selvemmin vertailtavissa keskenään. Sääolosuhteiltaan erilaisina vuosina valtakunnalliset päästökertoimet voivat muodostua hyvinkin erilaisiksi, kun sähkön tuotantorakenne muuttuu Pohjoismaissa. Esimerkiksi jos jonain vuonna on tarjolla runsaan sadannan ansiosta paljon halpaa norjalaista vesivoimaa, vähentää tämä runsaspäästöisen lauhdesähkön tuotantotarvetta Suomessa. Viiden vuoden keskiarvo nostaa hie-man tällaisen vuoden valtakunnallista päästökeroainta kohti normaalivuoden lukemaa.

Sähkölämmitykselle käytetään Hilma-metodissa vakiopäästökeroainta 400 kg/MWh. Sähkölämmitys ei ole tasaista perussähkökäyttöä, vaan siinä tulee käytetyksi myös korkeampipäästöistä niin sanottua väli- ja huippusähköä, erityisesti sähkönkulutuspiikkien aikana. Ympäristöministeriö on määritellyt päästökertoimen seuraavilla sähkölämmitystalon lämmityssähkön kulutusosuuksilla: perustehoalueen sähkö 30 prosenttia (päästökerroin 112 kg/MWh), välitehoalue 55 (459 kg/MWh) ja huiputehoalueen sähkö 15 prosenttia (869 MWh). Näillä oletuksilla päästökertoimeksi tulee 416 kg/MWh, mutta laskelmissa on käytetty pyöristettyä tasalukua 400 kg/MWh (Ympäristöministeriö 2006).

Valtakunnallinen sähkön kasvihuonekaasujen ominaispäästökerroin lasketaan Tilastokeskuksen vuosittaisen Energiatilaston taulukoiden avulla. Sähkölämmityksen korkeamman päästökertoimen kompensoimiseksi Suomen kokonaissähköntuotannosta vähennetään sähkölämmitykseen kulunut energia ja sähköntuotannon päästöistä (lasketaan Tilastokeskuksessa hyödynjាកomenetelmällä) sähkölämmityksen 400 kg/MWh:n päästökertoimella lasketut päästöt. Lisäksi on huomattava, että Energiatilasto sisältää vain hiilidioksidipäästöt, joten lukuihin on lisättävä muiden kasvihuonekaasujen osuus. Tässä työssä metaanin ja typpioksiduulin osuudeksi on Kasvenerin valtakunnallisen sähkön päästöjen perusteella arvioitu 1,3 prosenttia kokonais-

päästöistä. Taulukossa 9 esitetään Sähkön ominaispäästökertoimet vuosille 2000-2006 ja viiden vuoden keskiarvot 2004-2006. Tarkasteluvuoden 2006 laskelmissa käytettäväksi arvoksi on saatu 244 Kg/MWh.

Vuosi	Sähkönkulutus [GWh]	CO ₂ -päästöt [t]	Khk-päästöt (CO ₂ + 1,3 %) [t]	Sähkö- lämmitys [GWh]	Sähkölämmityk- sen khk-päästöt (400 t/GWh) [t]
2000	79 158	14 300 000	14 485 900	7 413	2 965 200
2001	81 188	18 600 000	18 841 800	8 425	3 370 000
2002	83 542	20 400 000	20 665 200	8 686	3 474 400
2003	85 229	28 100 000	28 465 300	8 814	3 525 600
2004	87 041	24 400 000	24 717 200	8 823	3 529 200
2005	84 672	13 800 000	13 979 400	8 725	3 490 000
2006	90 024	24 100 000	24 413 300	9 119	3 647 600

Vuosi	Sähkönkulutus ilman sähkö- lämmitystä [GWh]	Khk-päästöt [t]	Päästökerroin [t/GWh]	5 vuoden keskiarvo
2000	71 745	11 520 700	161	
2001	72 763	15 471 800	213	
2002	74 856	17 190 800	230	
2003	76 415	24 939 700	326	
2004	78 218	21 188 000	271	240
2005	75 947	10 489 400	138	236
2006	80 905	20 765 700	257	244

Taulukko 9. Sähkön valtakunnalliset ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000-2006 (Tilastokeskus 2007, soveltaen).

3.2.3 Lämmitystarvekorjaus

Lämmitystarvekorjauksen käyttöä perustellaan sähkön ominaispäästökertoimen viiden vuoden keskiarvon tapaan vuosiheilahtelujen pienentymisellä. Lämpimien ja kylmien vuosien aiheuttama ero lämmitysenergian tarpeessa pienenee ja päästötrendi tulee paremmin näkyviin. Lämmitystarvekorjausta käytetään Hilma-metodissa kaikkiin lämmitysmuotoihin, yhteistuotantokaukolämpöön, erilliskaukolämpöön, sähkölämmitykseen ja erillislämmitykseen. Jälkim-

mäisessä tapauksessa Kasveneristä saatu päästölukema säilyy ennallaan, mutta korjauksen vaikutus näkyy teollisuus ja työkoneet (muu polttoaine) -kategoriassa. Sähkölämmityksen korjaus muuttaa puolestaan hieman kulutussähkön päästölukemaa.

Lämmitystarveluvut saadaan niin ikään Tilastokeskuksen Energiatilastosta, jonne luvut on tuottanut Ilmatieteen laitos. Tarkasteluvuoden lukua verrataan vuosien 1971-2000 keskimääräiseen lämmitystarvelukuun. Lämmitystarpeen korjauskerroin määritetään huomioimalla 65 prosenttia vaihtelusta, eli kertomalla tarkasteluvuoden ja vertailuvuoden lukujen muutosprosentti 0,65:lla. Kertoimen avulla lasketaan kuinka paljon päästöjä on lämpiminä vuosina lisättävä ja kylminä vähennettävä, erojen tasoittamiseksi. Hilma-menetelmässä on käytetty yleisesti Helsingin lämmitystarvelukuja muissakin kunnissa. Vuosi 2006 oli 1971-2000 -keskiarvoa lämpimämpi, ja korjauskertoimeksi saatiin 1,051, eli kaikkien lämmitysmuotojen päästöihin on lisätty 5 prosentin lämmitystarvekorjaus.

3.2.4 Mallin käyttö

Hilma-metodissa ei ole kysymys erillisestä laskentaohjelmasta, vaan joukosta lisälaskutoimituksia, joissa sekä käytetään Kasvenerin tuloksia että hyödynnetään Kasvener-ohjelmaa. Tulosten muokkaus Kasveneristä lopullisiin Hilma-tuloksiin voidaan jakaa 6 vaiheeseen (taulukko 10).

Vaihe	Toimenpiteet
1	Lasketaan lämmitystarpeen korjauskerroin.
2	Lasketaan lämmitystarvekorjatun kaukolämmön päästöt hyödynjakomenetelmällä.
3	Lasketaan sähkölämmityksen kulutus ja päästöt. Lämmitystarvekorjaus kirjataan kulutussähkön päästöihin.
4	Lasketaan raideliikenteen päästöt valtakunnallisella sähkön ominaispäästökertoimella ja korjataan liikenteen kokonaispäästöt tämän perusteella.
5	Lasketaan kulutussähkön päästöt. Lämmitystarvekorjattu sähkölämmitys ja raideliikenteen sähkönkulutus vähennetään Kasveneristä kunnan alkuperäisestä sähkönkulutuksesta, ja erotus kerrotaan valtakunnallisella sähkön ominaispäästökertoimella.
6	Lasketaan lämmitystarvekorjauksen vaikutus erillislämmitykseen. Erotus lisätään Kasvenerin alkuperäiseen muun polttoaineen kulutukseen ja päästöt lasketaan Kasvenerillä uudestaan.

Taulukko 10. Kasvener-tulosten muokkaaminen Hilma-metodin mukaisiksi vaihe vaiheelta.

Vaiheessa 3 sähkölämmityksen kulutus lasketaan eri tavalla kuin Kasvenerissä, jossa asuintalojen osalta kulutus lasketaan kaavalla neliömäärä (kokonaispinta-ala) x keskimääräinen huonekorkeus 2,5 m x 55 kWh/m³ ja liikehuoneistoissa vastaavasti, mutta 3,5 metrin huonekorkeudella. Hilma-metodissa sen sijaan kaikkien rakennustyyppien pohja-pinta-ala kerrotaan luvulla 125 kWh/m². Tiedot rakennuskannasta saadaan Tilastokeskuksesta, ja päästöt lasketaan kertomalla kulutus päästökertoimella 400 kg/MWh.

Ominaislämmönkulutus 125 kWh/m² perustuu Helsingin Energialta saatuihin rakennuskannan sähkönkulutustietoihin vuosilta 1990-2004 (YTV 2007, 89). Petteri Huuskan (2008b) mukaan Helenin selvitys on Kasvenerin mallia tarkempi. Laskutapaa on muutettu siksi, että aikaisemman tavan katsottiin yliarvioivan sähkönkulutuksen, kun lämmittäjät säästävät sähköä sisälämpötilaa laskemalla, asentamalla ilmalämpöpumppuja tai käyttämällä takkaa.

Yllä esiteltyjen lisälaskutoimitusten tuloksena khk-päästölukemat muuttuvat kuudessa päästöluokassa (kaukolämpö, sähkölämmitys, erillislämmitys, kulutussähkö, teollisuus ja työkoneet (muu polttoaine) ja liikenne). Jätehuollon, maatalouden ja teollisuusprosessien päästöt ovat kaikissa kolmessa vertailtavassa laskentamenetelmässä samat. Mikäli kunnassa on teollisuuden prosessivoimantuotantoa, lämmöntuotannon päästöt täytyy vielä tältä osin laskea uudelleen hyödynjakomenetelmällä ja huomioida tulos *teollisuus ja työkoneet* -kategoriassa.

3.3 Primäärienergiatarkastelu

Primäärienergiatarkastelulla pyritään tuomaan esiin mahdollisimman ilmastoystävällisiä ja tehokkaita energiaratkaisuja, jotka voivat ohjata kulutusta ja investointeja oikeaan suuntaan. Tarkastelu perustuu polttoaineille määritettäviin primääriresurssikertoimiin (PRF, *primary resource factor*), jossa *resurssi* viittaa uusiutumattomiin luonnonvaroihin, käytännössä fossiilisiin polttoaineisiin. Kyseessä ei ole varsinaisesti alueellinen khk-päästöjen laskentamenetelmä, vaan kokonaisvaltaisempi, yhteiset energiamarkkinat huomioon ottava kulutuslähtöinen metodi määritellä tietyn systeemin ilmastovaikutuksia.

Menetelmä on yleisesti käytössä Keski-Euroopassa, erityisesti Saksassa, jossa PRF-kertoimia on määritelty eri polttoaineille ainakin kymmenen vuoden ajan. Laajemmin energiatehokkuuden ja khk-päästöjen arvioiminen primäärienergiametodilla tuli käyttöön Euroopan Unionin rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (Directive 2002/91 EC on the energy performance of buildings) myötä vuonna 2002. Suomen Ympäristöministeriö on harkinnut primäärienergiakertoimien laajempaa käyttöönottoa, kun rakennusmääräyksiä direktiivin mukaisesti tarkistetaan vuoteen 2012 mennessä. Tällöin energiatehokkuusajattelu kohdistuisi pelkkään loppukäyttöön keskittymisen sijaan suuremmin ilmastomuutoksen torjuntaan (Wirgentius 2008).

Primäärienergiametodi on kehitetty erityisesti erilaisten lämmitysratkaisujen kasvihuonevaiikutuksen arvioimiseksi. Suomessa mallia on sovellettu esimerkiksi Helsingin energiapolitiittisessa selonteossa Helsingin, Tukholman ja Nurmijärven lämmityksen hiilidioksidipäästöjen vertailuun. Selonteon mukaan yhden Helsingissä vuonna 2003 lämmitykseen kulutetun kilowattitunnin CO₂-päästö oli 160 g, Tukholmassa 20 prosenttia enemmän ja Nurmijärvellä vastaavasti lähes kolminkertainen (Helsingin kaupunki 2008, 7).

Tarkasteltavan kokonaisuuden khk-päästöluvut lasketaan primäärienergiakertoimen avulla, mutta lukujen suora vertailu muihin, yleisemmin käytettyihin alueellisiin laskentamenetelmiin vaatii syvällistä ymmärrystä mallin rakenteesta ja taustaolettamuksista. Lisäksi on huomattava, että primäärienergiamenetelmällä voidaan arvioida ainoastaan energiajärjestelmien khk-päästöjä, eikä esimerkiksi jätevesien typpioksiduuli- tai maatalouden metaanipäästöjä. Mallilla voidaan laskea sähkönkulutuksen, kaukolämmön, sähkölämmityksen ja muun erillislämmityksen päästöt.

Primääriresurssikertoimien laskentaperusteet on määritelty eurooppalaisen standardointijärjestön CEN:n (Comité Européen de Normalisation) standardissa EN 15603 Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings. Terminologia ei ole täysin johdonmukaista, sillä kyseisessä standardissa PRF:stä käytetään nimitystä *non-renewable primary energy factor*, ja tässä työssä käytettyä systeemin kokonaisprimääriresurssikerrointa kutsutaan nimellä *total primary energy factor*. Kertoimia ja niiden määrittelyä käsitellään myös rakennusten lämmitysjärjestelmiä koskevassa standardiperheessä CEN 228/TC Heating systems in buildings. Löyhästi määriteltynä voidaan puhua CEN-standardiin perustuvasta khk-päästöjen laskentamenetelmästä, vaikka todellisuudessa standardit ovat osa energiatehokkuusdirektiivin täytäntöönpanoa.

3.3.1 Primääriresurssikertoimen määrittely

Primäärienergialla tarkoitetaan luonnonvaroihin sisältyvää energiaa ennen muunnosprosessia käyttökelpoiseksi energiaksi (CEN 2008, 10). Primäärienergia voi olla joko uusiutuvaa energiaa, uusiutumattomaa tai molempia. Englannin kielessä uusiutumattomista fossiilisista energialähteistä käytetään usein nimitystä *resource energy*, josta on johdettu myös termi primääriresurssikerroin, PRF. Nimensä mukaisesti oleellista tässä laskentamallissa on juuri uusiutumattomien luonnonvarojen kulumisen suhteessa saatuun energiaan.

Fossiilisista polttoaineista saatavalle energialle on annettu vertailuluku 1. CEN-standardin mukaan kertoimen on huomioitava myös polttoaineiden louhimiseen, pumppaamiseen tai muuhun vastaavaan, kuljetukseen, varastointiin, jalostukseen ja jakeluun kuluva energia (CEN

2008, 30), jolloin esimerkiksi kivihiilen PRF:ksi on saatu 1,20 (taulukko 11). Puulle vastaava lukema on 0,10, eli puun saamiseen metsästä tulipesään on laskettu kuluvan 10 prosenttia sen sisältämästä energiasta. Kaikki alle yhden arvot tarkoittavat, että uusiutumatonta energiaa on kulunut vähemmän kuin energiamäärä, joka on saatu hyötykäyttöön. Primääriresurssikerroin sulkee siten pois uusiutuvan energian osuuden.

Fuel	Primary Resource Factor
Lignite Coal	1,30
Hard Coal	1,20
Oil	1,10
Natural Gas	1,10
Excess heat e.g. from industrial processes	0,05
Renewables (e.g. Wood)	0,10
Waste as Fuel, Landfill Gas	0,00
Free Cooling	0,00
Electrical Power, European average	2,50

Taulukko 11. Polttoaineiden eurooppalaisia PRF-keskiarvoja (Euroheat & Power 2006,13). Taulukkoon on lisätty myös teollisuuden hukkalämmön ja sähkönkulutuksen primääriresurssikerroimet.

CEN-standardissa on annettu pääperiaatteet primääriresurssikertoimien laskemiselle, mutta samalla suositellaan paikallisten olojen huomioon ottamista. Taulukossa 11 on esitetty polttoaineiden eurooppalaisia PRF-keskiarvoja, kun taas taulukon 12 Sveitsille lasketut vuoden 1996 arvot poikkeavat näistä jonkin verran.

Fuel	Primary Resource Factor
Oil	1,35
Gas	1,36
Anthracite	1,19
Lignite	1,40
Coke	1,53
Wood shavings	0,06
Log	0,09
Beech log	0,07
Fir log	0,10
Electricity from hydraulic power plant	0,50
Electricity from nuclear power plant	2,80
Electricity from coal power plant	4,05

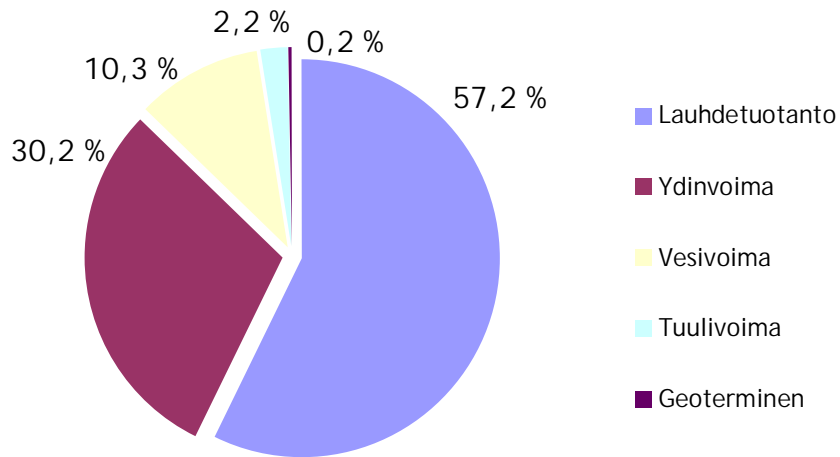
Taulukko 12. Primääriresurssikertoimia, Sveitsi 1996 (CEN 2008, 50).

Fossiilisten polttoaineiden kulutus, johon primäärienergiamenetelmä perustuu, antaa hyvän lähtökohdan khk-päästöjen arvioimiselle. Teoriassa PRF-kertoimet voisi laskea hyvinkin tarkasti, mutta kyseessä ei kuitenkaan ole "tieteellinen totuus", eivätkä esimerkiksi pääkaupunkiseudun khk-päästöt Primäärienergiatarkastelulla laskettuna vastaa alueen todellisia päästöjä. Helsingin energia määrittelee primääriresurssikertoimen työkaluksi, joka voi muuttaa energiamarkkinat tehokkaammiksi (Wirgentius 2008).

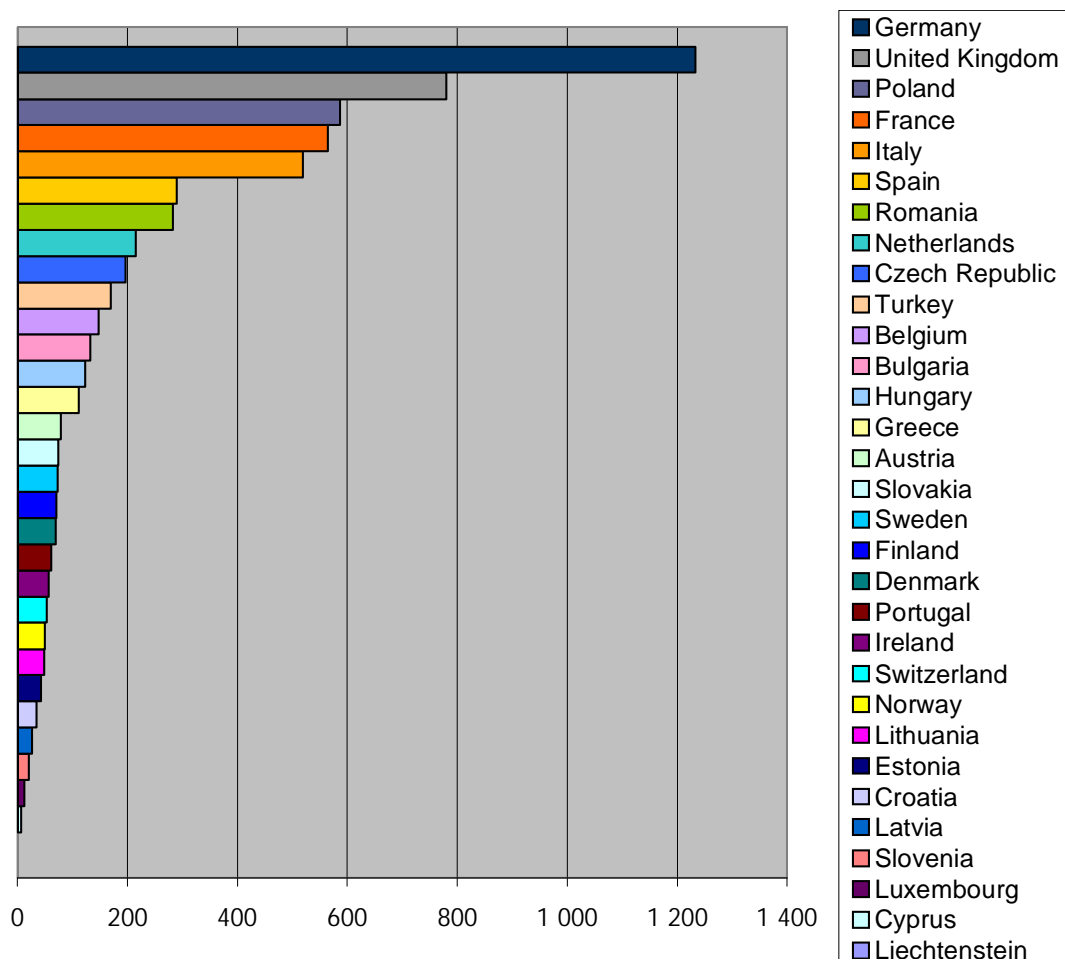
3.3.2 Sähköntuotannon PRF

Keskustelua herättävä sähkön päästökerroin määritetään Primäärienergiatarkastelussa eurooppalaisen keskiarvon mukaisesti. Vastaava primääriresurssikerroin on 2,5 (taulukko 11), joka kuvastaa Eurostatin mukaan sähköntuotannon keskimääräistä 40 prosentin tehokkuutta (Euroheat & Power 2006, 13). Kuvasta 11 nähdään, että EU 27-alueella³ vuonna 2005 tuotetusta 3310 terawattitunnista lähes 60 prosenttia saatiin runsaspäästöisestä lauhdevoimasta, ja esimerkiksi runsaasti hiilivoimaa tuottavan Saksan khk-päästöt olivat vuonna 2005 yli viisitoistakertaiset Suomen ja Ruotsin tasoon nähden (Kuva 12). Hiilidioksidin ominaispäästökertoimia tarkasteltaessa nähdään Keski-Euroopan maiden sijoittuvan kaaviossa selvästi Pohjoismaita korkeammalle (Kuva 13).

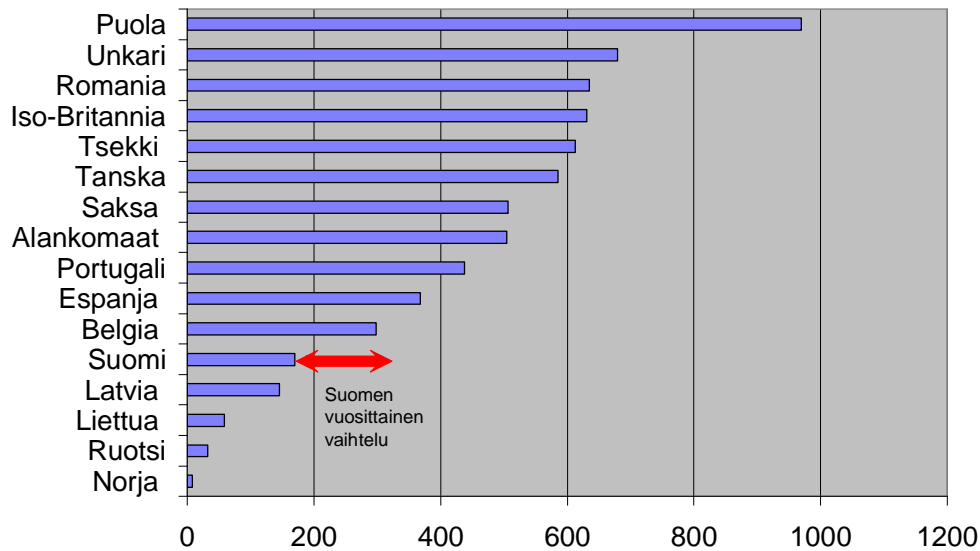
³ EU 27 = Euroopan Unionin jäsenvaltiot vuoden 2007 jälkeen



Kuva 11. Sähkön tuotantotapojen osuudet EU-27 -alueella 2005 (Eurostat 2007).



Kuva 12. Khk-päästöt EU-27 -maissa vuonna 2005 (EEA 2007). Yksikkö: 1 000 000 t CO₂-ekv (hiilidioksidiekvivalenttimestonni).



Kuva 13. Sähkön tuotannon ominaishiilidioksidipäästöt eräissä Euroopan maissa 2003 (Energiateollisuus 2008, 64). Yksikkö: kgCO₂/MWh.

Pohjoismaisille sähkömarkkinoille tai Suomen energiantuotannolle PRF-arvoja ei ole toistaiseksi laskettu. Kertoimen 2,5 käyttö ennakoii yhteiseurooppalaisten sähkömarkkinoiden syntymistä, mutta toisaalta olisi mielekästä laskea PRF-arvot tarkemmin. Vuonna 2006 Pohjoismaissa tuotettiin vajaa 400 terawattituntia sähköä, josta 51 prosenttia vesivoimalla, 24 % lauhdetuotantona, 22 % ydinvoimalla ja 3 % tuulivoimalla (Nordel 2006). Sekä pääkaupunkiseudulla että Kirkkonummella käytetään tätä sähköä, jonka primääriresurssikerroin olisi todennäköisesti alle eurooppalaisen keskiarvon. Sinänsä päästöttömien vesi-, tuuli- ja ydinvoiman kerroin ei kuitenkaan ole nolla, kun laitosten käyttö ja koko elinkaari otetaan huomioon, ja toisaalta sähkön rajatuotantomuotona on aina fossiilisilla polttoaineilla tuotettu lauhdevoima. Voimaloita ajetaan järjestyksessä kysynnän ja kustannustehokkuuden mukaan siten, että halvimmat vesi- ja ydinvoimalat otetaan käyttöön ensin, sitten yhteistuotantovoimalaitokset ja viimeisenä lauhdevoimalat, jos kysyntää vielä riittää. Mitä enemmän sähkön tarve kasvaa, sitä kalliimpia ja enemmän ilmastoa saastuttavia voimalaitoksia otetaan nykyisellä tuotantorakenteella käyttöön. Esimerkiksi Norjan lisäenergiatarve katetaan tyypillisesti tanskalaisella hiililauhdesähköllä (Euroheat & Power 2006, 14).

3.3.3 Primäärienergiakerroin ja CHP-päästöjen jakotapa

Tarkasteltavan kokonaisuuden, esimerkiksi kaukolämpöverkon kokonaisprimääriresurssikerroin saadaan kertomalla kunkin systeemiin syötetyn polttoaineen määrä polttoainekohtaisella PRF-kertoimella, summaamalla luvut yhteen ja jakamalla näin saatu bruttoenergiamäärä koko sys-

teemin energiankulutuksella. Lopullinen Primäärienergiatarkastelun mukainen, polttoaineiden koko elinkaaren huomioiva päästökerroin saadaan kertomalla koko systeemin PRF käytettyjen polttoaineiden päästökertoimien painotetulla keskiarvolla.

Menetelmä suosii voimakkaasti uusiutuvia energialähteitä, joilla PRF-arvot ovat alle yksi. Esimerkiksi jos Helsingin erillislämmitteiset kiinteistöt vaihtaisivat öljyn puuhun, putoaisivat niiden päästöt Primäärienergiatarkastelun mukaan 91 prosenttia (laskelma liitteessä 3). Samalla tavalla sähkön ja lämmön yhteistuotannolla tuotettu lämpö saa etua, sillä CEN-standardin mukaan yhteistuotantosähkö syrjäyttää lauhdetuotantoa markkinoilta ja syrjäytyneen tuotannon polttoaineet huomioidaan kaukolämmön kerrointa laskiessa. (Euroheat & Power 2006, 12). Yhteistuotannon energiatehokkuudesta koitua hyöty kohdistetaan tässä menetelmässä nimenomaan lämmölle. Systeemin PRF-arvoa laskettaessa CHP:n lämpökomponentin bruttoenergiasta vähennetään kokonaisuudessaan syrjäytetyn tuotannon polttoaineet eli tuotetun sähkön määrä kerrottuna yleiseurooppalaisella arvolla 2,5. Tällä tavoin esimerkiksi vuonna 2006 Helsingin yhteistuotetun kaukolämmön primäärienergiakerroin oli 0,41 ja päästökerroin vastaavasti 133 g/kWh (liite 3).

4 Työn tavoitteet ja toteutus

Työssä vertaillaan kolmea kasviuonekaasupäästöjen laskentamenetelmää, joista Kasvenermalli on ainut valmis laskentaohjelma, johon syötetään lähtötiedot, ja joka antaa tietojen perusteella selkeän päästöraportin. Muissa kahdessa menetelmässä, Hilma-metodissa ja CEN-standardiin perustuvassa Primäärienergiatarkastelussa laskutoimitukset päästölukemien saamiseksi suoritetaan itse taulukkolaskentaohjelmalla.

Vertailtaviksi alueiksi on valittu YTV-alueen kunnat Helsinki, Espoo, Vantaa ja Kauniainen sekä yhdyskuntarakenteeltaan muista hieman poikkeava, harvemmin asuttu Kirkkonummi, joka kuuluu sopimusperusteisesti YTV:hen liikenteen ja jätehuollon osalta. Tuloksissa Kauniaisten khk-päästöt on yhdistetty Espoon päästöihin, ja varsinaisen pääkaupunkiseudun neljän kunnan päästölukemat esitetään myös yhteenlaskettuna.

Kasvener-malli, sen metodiikka ja tulokset toimivat vertailupohjana, johon kahta muuta mallia peilataan. Erikseen laskettaviksi päästölähteiksi on valittu Kasvenerin antaman kulutusperusteisen päästöraportin yhdeksän kategoriaa (taulukko 13) sillä erotuksella, että muu polttoaine -luokan nimeksi on vaihdettu kuvaavampi, Pääkaupunkiseudun ilmastostrategiassa käytetty *teollisuus ja työkoneet*, ja vastaavasti Hilma-metodin *kulutussähkö* vastaa Kasvenerin muu sähkö -päästökategorialle. Kulutussähkö tarkoittaa kaikkea alueen sähkönkulutusta sähkölämmitys ja raideliikenteen sähkönkulutus pois lukien. Päästöyksikkö on hiilidioksidiekvivalenttimegatonni, joka merkitään Kasvenerin tapaan seuraavasti: 1000 t CO₂-ekv. Primäärienergiatarkastelusta käytetään Tulokset ja niiden tarkastelu -luvun kuvissa termiä CEN.

- Kaukolämpö
- Sähkölämmitys
- Erillislämmitys
- Muu sähkö
- Teollisuus ja työkoneet
- Liikenne
- Jätehuolto
- Maatalous
- Teollisuusprosessit

Taulukko 13. Vertailtavat päästökategoriat.

4.1 Vertailun periaatteet ja tutkimuskysymykset

Tässä työssä on tarkoitus selvittää kolmen khk-päästöjen laskentamenetelmän erityisominaisuuksia ja suurimpia eroavaisuuksia. Tavoite on jaoteltu tarkempiin tutkimuskysymyksiin, jotka esitetään taulukossa 14. Päästöjä tarkastellaan kulutusperusteisesti, ja tulokset ilmoitetaan sekä kokonaispäästöinä että asukasta kohti laskettuina. Jonkinlainen absoluutti tietyn alueen päästöille on täysin teoreettisesti ajateltuna olemassa, mutta tähän ei päästä millään tarkasteltavista menetelmistä. Kaikki mallit antavat samalle alueelle eri luvut, joiden etäisyyttä todellisista päästöistä voidaan pohtia. Niin ikään tässä tarkasteltavat mallit jättävät huomioimatta välilliset, esimerkiksi valitulla alueella kulutettujen, mutta toisaalla tuotettujen hyödykkeiden päästöt niiden koko elinkaaren ajalta. Tavoitteena on tuoda selvästi esille se, minkä takia luvuista tulee erilaisia, ja mitä taustaolettamuksia on kunkin menetelmän kohdalla syytä tuoda esiin, kun päästötietoja julkistetaan (tutkimuskysymys 1). Ylikorostuuko jokin päästösektori vai jääkö jonkin osa-alueen päästöt liian vähälle huomiolle (tutkimuskysymys 2)?

Mallien hyvien ja huonojen puolien hakemisessa on säilytettävä suhteellisuudentaju. Yksi tavoite voi toki olla pyrkiminen mahdollisimman lähelle todellisia päästöjä, mutta muitakin tarkoituksiperiä on päästöinventareihin mahdollista liittää. Energiantuotantoyhtiöiden käyttämän Primäärienergiatarkastelun on esimerkiksi mainittu olevan kulutusta ohjaamaan pyrkivä laskentamalli. Hyvän inventaarin on joka tapauksessa oltava läpinäkyvä, kattava ja luotettava. Myös selkeys, ymmärrettävyys, helppokäyttöisyys ja mallin tekijän mahdollisesti laatima käyttöopas ovat edullisia ominaisuuksia (tutkimuskysymys 3).

Kunkin laskentamallin kohdalla tarkastellaan sen alueellista sopeutuvuutta, eli toisin sanoen sitä, miten luotettava päästöinventari mallin avulla voidaan rakentaa, kun alueiden yhdyskunta- ja energiantuotantorakenteet ovat vaihtelevia. Ovatko erityyppiset alueet suoraan vertailukelpoisia keskenään (tutkimuskysymys 4)? Viides tutkimuskysymys koskee laskentamenetelmien keskinäistä vertailukelpoisuutta; voidaanko yhdellä tavalla lasketut päästölukemat muuntaa kuinka helposti toisen mallin mukaisiksi, esimerkiksi jonkin kertoimen avulla (tutkimuskysymys 5)?

Viimeisenä varsinaisena tutkimuskysymyksenä on laskentamenetelmien muutosherkkyys. Päästövähennysstrategioiden toteutumista voidaan seurata vuosittaisilla inventaareilla, mutta kuinka hyvin tehdyt toimenpiteet näkyvät tuloksissa? Kuinka herkästi malli reagoi esimerkiksi rakennusmääräysten tiukennuksiin, kivihiielen osittaisen korvaamiseen hakkeella tai henkilöautokannan sähköistämiseen. Onko mallien välillä eroja siinä miten alueelliset, konkreettiset teot näkyvät tuloksissa (tutkimuskysymys 6). Tätä ominaisuutta pyritään valottamaan kahden esimerkkitilanteen avulla. Ensimmäisessä skenaariossa CHP-voimaloiden kivihiieltä korvataan

hakkeella, ja toisessa rakennusten lämmitykseen tarvittava energia on 10 prosenttia lähtötilannetta pienempi. Keskeisimpänä kysymyksenä on kuitenkin selvittää menetelmien sisältämät perusolettamukset ja näiden aiheuttamat erot tuloksissa.

Mallin sisältämät olettamukset ja perusominaisuudet	(1) Miksi luvuista tulee erilaisia? Mitä mallin metodiikkaan liittyviä seikkoja on syytä tuoda esiin tulosten yhteydessä? (2) Yli- tai alikorostuuko menetelmän antamissa tuloksissa jotkin päästösektorit? (3) Menetelmän selkeys ja muut ominaisuudet
Alueellinen erottelukyky	(4) Kuinka hyvin tulokset sopivat rakenteeltaan ja kokoluokaltaan erilaisten alueiden päästöjen vertailuun?
Tulosten muunneltavuus	(5) Onko mahdollista muuntaa tietyllä laskentatavalla saadut tulokset toisen menetelmän mukaisiksi?
Herkkyys havaita pieniä päästömuutoksia	(6) Kuinka herkästi päästövähennystoimenpiteet näkyvät tuloksissa?

Taulukko 14. Tutkimuskysymykset.

4.2 Aineisto ja sen käsittely

Kasvener-ohjelma ja Helsingin, Espoon, Vantaan, Kauniaisten ja Kirkkonummen tulokset vuodelle 2006 saatiin valmiiksi laskettuina Uudenmaan liiton suunnittelijalta Jarkko Hintsalalta. Uudenmaan liitto on laskenut lopulliset tulokset alueen kunnille Hilma-metodilla, joten nämäkin luvut saatiin valmiina. Metodien logiikan avaamiseksi laskutoimitukset suoritettiin kuitenkin tätä työtä varten vaihe vaiheelta uudestaan. Myös Primäärienergiatarkastelun tulokset laskettiin itse Kasvener-tietoja hyväksikäyttäen.

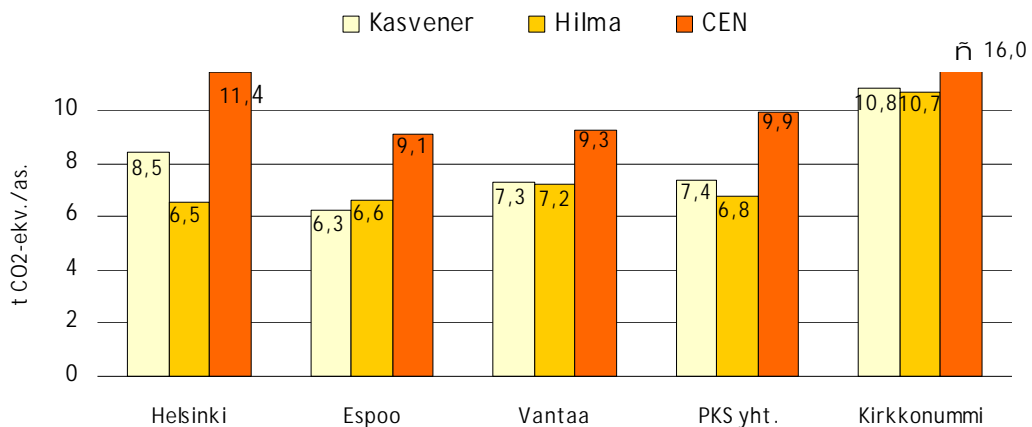
Työtä tehtiin syksyn 2008 mittaan osa-aikaisesti YTV:n tiloissa. Asiantuntija-apua saatiin Hilman osalta Petteri Huuskalta Helsingin ympäristökeskuksesta ja Primäärienergiatarkastelussa Helsingin Energian Niko Wirgentiukselta. Työn toteuttaminen vaati useita tapaamisia ja puhe- linpalavereita asiantuntijoiden kanssa. Laskutoimituksissa käytettiin Excel-ohjelmaa.

5 Tulokset ja niiden tarkastelu

Tarkastelun kohteena on kolme eri kasvihuonekaasupäästöjen laskentamenetelmää: Suomen Kuntaliiton Kasvener, pääkaupunkiseudun ilmastostrategiatyössä käytetty ja Uudenmaanliiton viimeisimmissä päästölaskennoissaan hyödyntämä Hilma-metodi sekä muun muassa Helsingin Energian käyttämä, eurooppalaiseen CEN-standardiin perustuva Primäärienergiatarkastelu.

Eri menetelmillä Helsingille, Espoolle ja Kauniaisille, Vantaalle ja Kirkkonummelle saadut tulokset on taulukoitu ja pyritty esittämään myös graafisesti. Ensiksi käsitellään alueiden kokonaispäästöjä eri menetelmillä laskettuna. Erityisesti keskitytään energiasectoriin. Toisena pääteemana on tällä hetkellä suurinta luottamusta nauttivan Hilma-menetelmän metodiikka. Kolmanneksi selvitetään laskentamallien soveltuvuutta rakenteellisesti erilaisten alueiden päästöjen laskemiseen ja neljänneksi mallien kykyä tehdä näkyväksi ilmastostrategisten toimenpiteiden vaikutuksia.

5.1 Kokonaispäästöt



Kuva 14. Pääkaupunkiseudun ja Kirkkonummen khk-päästöt vuonna 2006 eri menetelmillä laskettuna. Luvut ovat hiilidioksidiekvivalenttonneja asukasta kohti laskettuna. CEN = Primäärienergiatarkastelu. Kirkkonummen viimeinen pylväs ulottuu diagrammin ulkopuolelle.

Kuva 14 esittää kunkin alueen asukasmäärällä jaetut vuoden 2006 kokonaiskasvihuonekaasupäästöt Kasvenerillä, Hilma-metodilla ja Primäärienergiatarkastelun mukaan laskettuina. Sa-

mat luvut löytyvät taulukosta 15, johon on merkitty myös alkuperäiset, asukasluvulla jakamattomat kokonaispäästöt. Kasvenerillä lasketut khk-päästöt asukasta kohti olivat pääkaupunkiseudulla 7,4 ja Kirkkonummella 10,8 tonnia. Hilma-metodilla vastaavat lukemat olivat 14 prosenttia (6,8 t/as.) ja 0,9 prosenttia (10,7 t/as.) *pienemmät*. Primäärienergiatarkastelun mukaan päästöt olivat puolestaan pääkaupunkiseudulla 26 prosenttia (9,9 t/as.) ja Kirkkonummella 48 prosenttia (16,0 t/as.) *suuremmat* kuin Kasvenerillä lasketut.

	Kasvener		Hilma		CEN	
	kokonais- päästöt [1000 t CO ₂ -ekv.]	päästöt per asu- kas [t CO ₂ - ekv./as.]	kok. päästöt	per as.	kok. päästöt	per as.
Helsinki	4 750	8,5	3 657	6,5	6 402	11,4
Espoo	1 508	6,3	1 590	6,6	2 187	9,1
Vantaa	1 371	7,3	1 348	7,2	1 737	9,3
PKS yht.	7 630	7,4	6 595	6,8	10 325	9,9
Kirkkonummi	364	10,8	361	10,7	539	16,0

Taulukko 15. Pääkaupunkiseudun ja Kirkkonummen khk-päästöt vuonna 2006 eri menetelmillä laskettuna.

Hilma-metodilla laskettuna Helsingin päästöt vuonna 2006 olivat 23 prosenttia Kasvenerin lukuja pienemmät. Kun Helsingin osuus pääkaupunkiseudun päästöistä on kaikilla tavoilla laskettuna huomattavasti yli puolet (Kasvener ja CEN 62 %, Hilma 55 %), tämä tarkoittaa sitä, että myös Helsingin, Espoon, Kauniaisten ja Vantaan yhteenlasketuista päästöistä tulee Hilma-metodilla merkittävästi pienemmät muihin menetelmiin verrattuna.

Vantaalla Hilmalla päästiin vain hieman Kasveneriä pienempiin lukuihin, ja Kirkkonummella päästöt olivat näillä menetelmillä tarkasteltuna käytännössä samat. Espoossa sen sijaan muista alueista poiketen Kasvener antoi kaikkein pienimmät päästöt. Primäärienergiatarkastelulla lasketut khk-päästöt olivat kaikissa kunnissa Kasveneriä ja Hilma-metodia suuremmat, mikä johtuu etenkin sähkönkulutuksen päästöistä. Seuraavissa luvuissa käsitellään tarkemmin alueiden sektorikohtaisia khk-päästöjä ja syitä eroihin eri inventaarien päästötuloksissa.

5.2 Sektorikohtaiset päästöt

Kulutusperusteiset kokonaispäästöt on jaettu Kasvenerissä yhdeksään osa-alueeseen (kuva 15). Energiasektori käsittää lämmityksen ja sähkönkulutuksen päästöt, joista lämmitykseen kuuluvat sekä yhteistuotantona että erikseen tuotettu *kaukolämpö*, *sähkölämmitys* ja *erillislämmitys* (öljy- ja puulämmitys). Sähkönkulutuksen päästöt näkyvät luokassa *kulutussähkö*, joka tarkoittaa kaikkea kyseessä olevan alueen sähkönkulutusta vähennettynä sähkölämmityksen ja raideliikenteen sähkökäytön osuudella. Energiasektorin ulkopuolelle jäävät vielä seuraavat luokat: *teollisuus ja työkoneet*, *liikenne*, *jätehuolto*, *maatalous* ja *teollisuusprosessit*.

Teollisuus ja työkoneet (Kasvenerissä alun perin *muu polttoaine*) -luokkaan on laskettu yhteen khk-päästöt, jotka syntyvät alueen teollisuuden muuhun kuin sähköntuotantoon käyttämistä polttoaineista, teollisuuden itsensä käyttämästä prosessilämmöstä ja maatalouden työkalu- ja koneiden kevyestä polttoöljystä. Pääkaupunkiseudulla tämän kategorian osuus kokonaispäästöistä on prosentin tai kahden luokkaa, mutta Kirkkonummella noin neljännes. *Liikenne*-kategorian päästöissä huomioidaan tieliikenne eri polttoaine- ja ajoneuvotyyppineen, laivaliikenne ja sähköinen junaliikenne. Lentokoneiden päästöt on jätetty Uudenmaanliiton laskelmissa ja siten myös tässä työssä tarkastelun ulkopuolelle.

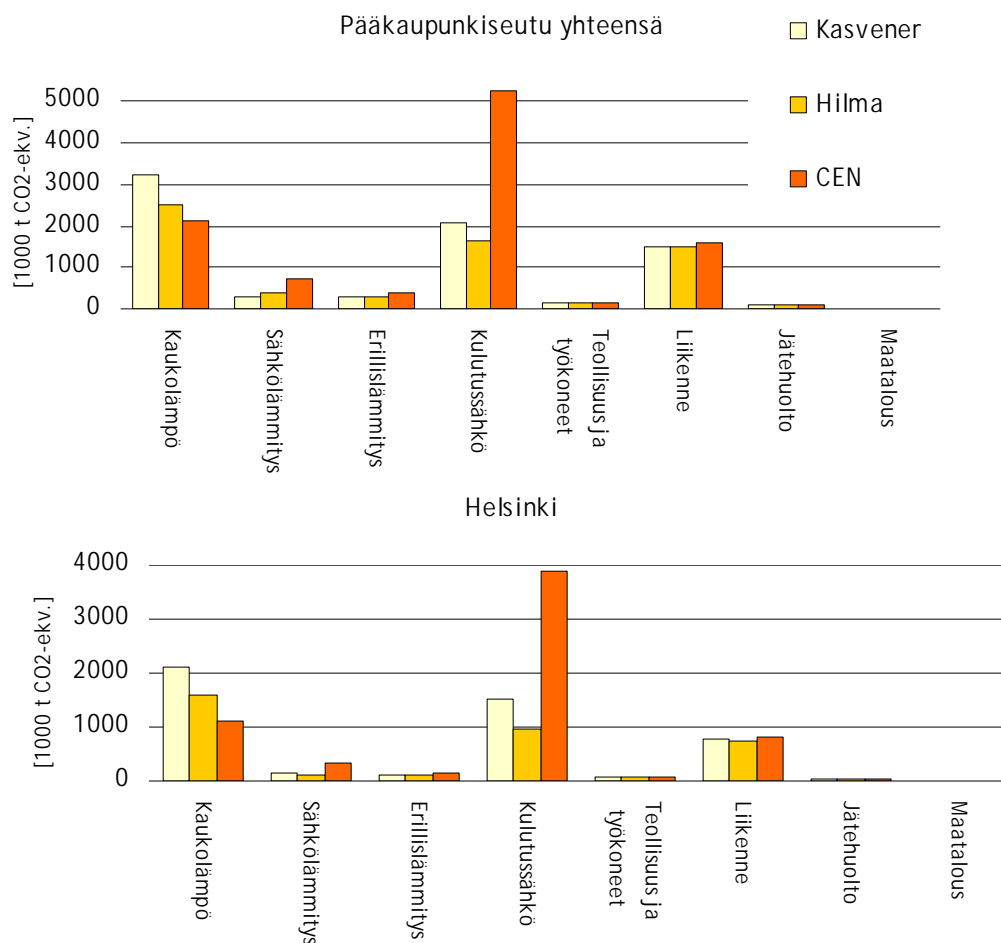
Teollisuusprosessien päästöt tarkoittavat Kasvenerissä kalkkikiven käytöstä sekä sementin ja kalkin valmistuksesta syntyviä hiilidioksidipäästöjä, etyleenin ja koksen valmistuksen metaanipäästöjä sekä typpihappoteollisuuden N₂O-päästöjä. Tällaista teollista toimintaa ei tässä työssä tarkasteltavista kunnista löydy, joten tuloksista on tämä luokka jätetty kokonaan pois. Suomessa teollisuusprosessien päästöt olivat kuitenkin esimerkiksi vuonna 2005 yli seitsemän prosenttia kokonaispäästöistä (kuva 9, sivu 28) johtuen pääasiassa sementin, kalkin ja typpihapon tuotannosta.

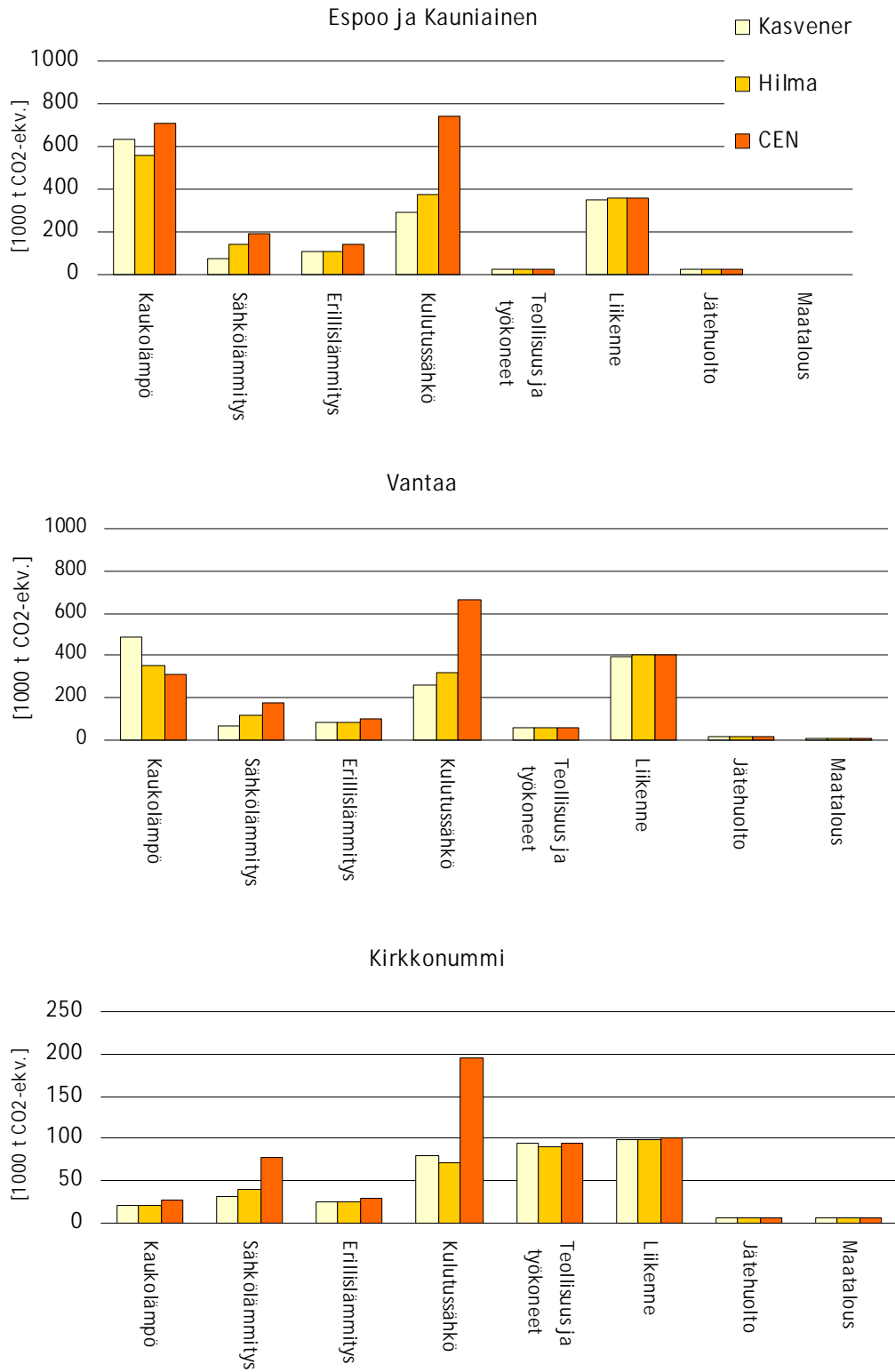
Jätehuollon ja maatalouden päästöjen osalta laskentamallit eivät eroa toisistaan. Toisin sanoen Hilmassa ja primäärienergiamenetelmässä on käytetty Kasveneristä saatuja lukuja kokonaispäästöjen laskemiseksi. Hilma-metodin tulokset eroavat Kasvenerin lukemista energiasektorin lisäksi jonkin verran myös *teollisuus ja työkoneet* sekä *liikenne* -sektoreilla, mutta Primäärienergiatarkastelu ainoastaan energiankulutuksen päästöjen suhteen.

Kuvassa 15 esitetään YTV-alueen ja Kirkkonummen vuoden 2006 khk-päästöt erikseen kullekin päästösektorille. Suurimmat erot menetelmien välillä näkyvät *kaukolämmön* aiheuttamissa päästöissä, *kulutussähkössä* ja *sähkölämmityksessä*. Näitä käsitellään perusteellisemmin omista luvuistaan 5.2.1, 5.2.2 ja 5.2.3. YTV-alueen yhteenlasketut khk-päästöt myötäilevät pitkälti Helsingin päästöjä.

Maatalouden ja jätehuollon päästöt ovat kaikilla menetelmillä samat. Primäärienergiatarkastelu koskee vain energiasektoria, joten siinä teollisuuden ja työkoneiden sekä liikenteen luekemat on otettu suoraan Kasveneristä. Liikenteen osalta Hilman ero Kasveneriin tulee käytännössä näkyviin vain Helsingissä, jossa raideliikenteen sähkönkulutus on tarkasteltavista alueista suurin.

Erillislämmityksen päästöissä CEN erottuu kaikissa kunnissa suurimpana, koska tällä laskutavalla öljylämmityksestä aiheutuu suuremmat päästöt kuin muilla menetelmillä. Tilanne kääntyisi päinvastaiseksi, jos pellettien tai muiden uusiutuvien polttoaineiden käyttö erillislämmityksessä yleistyisi. Hilma-metodissa erillislämmityksen päästöjen laskennassa käytetään lämmitystarvekorjausta, mutta sen vaikutus kirjataan polttoöljyn kasvaneena käyttönä *teollisuus ja työkoneet* -luokkaan. Espoossa ja Vantaalla tässä luokassa päästöistä tulee Hilma-metodilla Kasveneriä suurempia johtuen tarkasteluvuoden positiivisesta lämmitystarvekorjauksesta (luku 3.3.3). Kirkkonummella, jossa kolmannes kaikista rakennuksista lämmitetään kevyellä polttoöljyllä ja puulla, lämmitystarvekorjaus ei kuitenkaan näy vastaavasti. Korjaus kyllä lisää teollisuuden ja työkoneiden laskennallisia päästöjä, mutta toisaalta Kirkkonummella tuotetaan teollisuuden prosessilämpöä, jonka päästöt pienenevät hyödynjakomenetelmällä laskettuna.

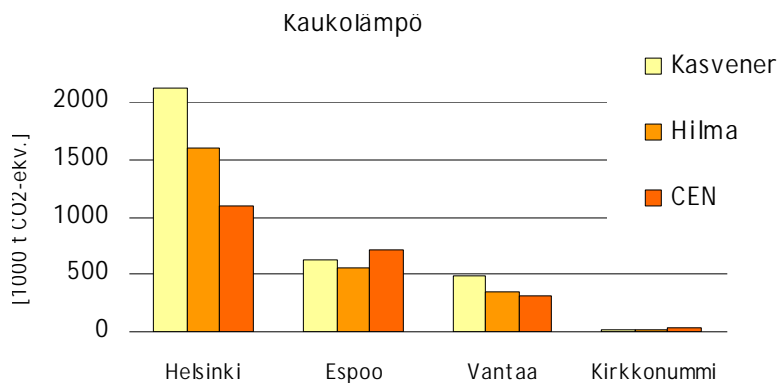




Kuva 15. Sektorikohtaiset khk-päästöt YTV-alueella ja Kirkkonummella.

5.2.1 Kaukolämpö

Kaukolämmön khk-päästöjen osalta eri laskutavat eroavat melko paljon toisistaan, kuten kuvan 16 pylväsdiagrammeista voidaan havaita. Helsingissä kaukolämmön päästöt olivat Kasvenerillä laskettuna 2,1, Hilmallä 1,6 ja Primäärienergiatarkastelulla 1,1 megatonnia. Vantaallakin Hilman lukemat olivat noin neljänneksen Kasveneriä pienemmät ja CEN:llä lasketut päästöt kaikkein alhaisimmat. Espoossa Hilman antamat päästöt olivat vain runsaat 10 prosenttia Kasveneriä pienemmät ja CEN:n lukemat puolestaan kaikista menetelmistä suurimmat. Myös Kirkkonummella Primäärienergiatarkastelulla lasketuista kaukolämmön päästöistä tuli muita menetelmiä suuremmat.



Kuva 16. Kaukolämmön khk-päästöt alueittain.

Tulokset kertovat paitsi laskentatapojen eroista, myös eri alueiden kaukolämmön tuotantotapojen erilaisuudesta. Jyrkimmät erot syntyvät sähkön ja lämmön yhteistuotantona tuotetusta kaukolämmöstä. Helsingissä kaikki ja Vantaalla lähes kaikki kulutettu kaukolämpö on tällaista CHP-lämpöä, mutta Espoossa yli kolmasosa (36 %) kaukolämmöstä on tuotettu pelkissä lämpölaitoksissa. Kirkkonummella kaikki kaukolämpö on erillistuotettua.

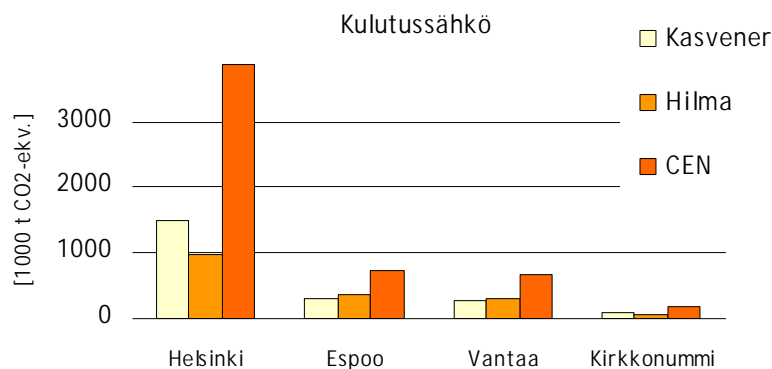
Luvussa 3 on kuvattu yhteistuotannon päästöjen laskentamenetelmät. Tulokset korreloivat voimakkaasti käytettyihin polttoaineisiin ja näiden ominaispäästökertoimiin, yhteistuotantolaitosten sähkön ja lämmön tuotantosuhteisiin ja Primäärienergiatarkastelun osalta tarkasteltavan alueen sähkönkulutukseen. Yleistäen menetelmien antamien tulosten järjestys suurimmasta pienimpään muodostuu kaukolämmön päästöjen suhteen seuraavasti: Kasvener, Hilma-metodi, Primäärienergiatarkastelu.

Lämpölaitoksissa erillistuotetun lämmitysenergian khk-päästöt riippuvat käytetyistä polttoaineista. Kasvenerin ja Hilman tulokset vastaavat tältä osin toisiaan lämmitystarvekorjausta lu-

kuun ottamatta. CEN:ssä päästöistä tulee muihin menetelmiin nähden sitä suuremmat mitä enemmän tuotannossa käytetään fossiilisia polttoaineita. Espoon ja Kirkkonummen lämpölaitoksissa pääasiallinen polttoaine on maakaasu, mikä nostaa CEN:llä lasketut kaukolämmön päästöpylväät kuvassa 16 kyseisillä alueilla korkeimmiksi.

5.2.2 Kulutussähkö

Kulutussähkön eli sähkölämmityksen ja raideliikenteen käyttämän sähkön osuuksilla vähennettyä sähkönkulutusta vastaavat khk-päästöt vaihtelevat laskentamenetelmästä riippuen suuresti. Primäärienergiatarkastelussa sähkönkulutuksen päästöjen lasketaan CEN-standardin mukaisesti vastaavan yleiseurooppalaista sähköntuotantoa, jolloin päästölukemat nousevat huomattavasti muiden menetelmien vastaavia korkeammiksi. Kasvener-mallissa alueella kulutetun sähkön katsotaan olevan paikallista tuotantoa niin kauan kuin sitä riittää, ja Hilma-metodissa puolestaan valtakunnallista keskiarvosähköä. Kuvassa 17 näkyy sähkönkulutuksen kuntakohtaiset khk-päästöt.



Kuva 17. Kulutussähkön khk-päästöt alueittain.

Kasvenerin käyttämät sähkön päästökertoimet tarkasteluvuonna olivat Helsingissä 386,5, Espoossa ja Kauniaisissa 197,1, Vantaalla 211,1 ja Kirkkonummella 280,5 kg/MWh. Hilma-metodissa käytetty valtakunnallisen sähkön ominaispäästökertoimen viiden vuoden keskiarvo oli 244 kg/MWh. Primäärienergiatarkastelun mukaan lasketut päästöt vastaavat sen sijaan noin 900 kiloa kasviuonekaasuja megawattituntia kohti.

Sähkönkulutuksen osuus kaikista alueen kasviuonepäästöistä oli Helsingissä Kasvenerin mukaan 32 prosenttia, Espoossa ja Vantaalla 19 prosenttia ja Kirkkonummella 22 prosenttia. Helsingin muita kuntia korkeampi prosentuaalinen osuus selittyy paikallisen kivihiiilipohjaisen

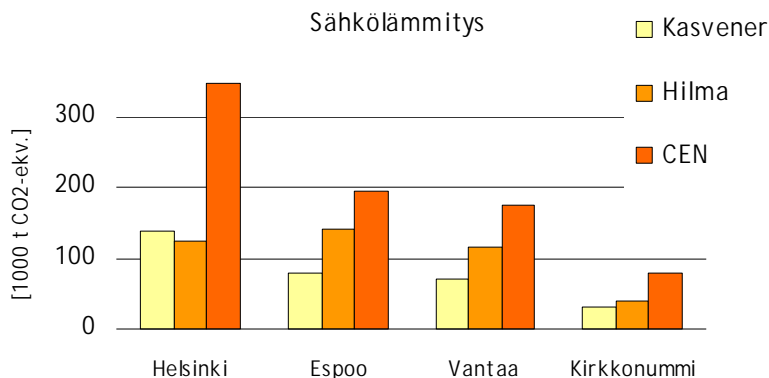
sähköntuotannon korkealla päästökertoimella. Myös suuri palvelusektori lisää Helsingin sähkönkulutuksen päästöjä suhteessa muihin päästölähteisiin.

Hilmassa käytetty valtakunnallinen päästökerroin 244 kg/MWh on huomattavasti Helsingin paikallista kerrointa pienempi, minkä johdosta Helsingin sähkönkulutuksen laskennallisista päästöistä tulee Hilma-metodilla 36 prosenttia pienemmät Kasveneriin verrattuna. Vastaavasti Espoossa ja Vantaalla päästöt kasvavat, sillä näillä alueilla paikalliset kertoimet jäävät Hilman valtakunnallisen lukeman alapuolelle. Kirkkonummella suurin osa sähkönkulutuksesta on Kasvenerin määritelmien (luku 3.1.3) mukaan valtakunnallista ostosähköä. Täällä pienen paikallisen tuotannon ja ostosähkön yhteinen päästökerroin on jonkin verran Hilman kerrointa suurempi, joten sähkönkulutuksen päästötkin ovat Kasvenerillä suuremmat kuin Hilma-metodilla. Kirkkonummellakin suurimmat luvut saadaan Primäärienergiatarkastelulla.

Päästökertoimien lisäksi tuloksiin vaikuttaa Hilma-metodin kohdalla sähkölämmityksen lämmitystarvekorjaus, jonka vaikutus lisätään kulutussähköön tai tarkasteluvuoden sääoloista riippuen vähennetään siitä. Vaikutus on kuitenkin jokseenkin marginaalinen: esimerkiksi Helsingissä vuonna 2006 tämä menettelytapa lisäsi Hilma-metodilla laskettuja sähkönkulutuksen päästöjä noin 3800 tonnia eli 0,4 prosenttia.

5.2.3 Sähkölämmitys

Sähkölämmityksen aiheuttamat khk-päästöt lasketaan Kasvenerissä ja CEN:ssä kulutuksen mukaan samaan tapaan kuin kulutussähkön päästöt. Hilma-metodissa käytetään päästökertoime-
na Ympäristöministeriön suosittelemaa 400 kg/MWh. Alla on kuvattu tulokset sähkölämmityksen päästöistä eri menetelmillä laskettuna.



Kuva 18. Sähkölämmityksen khk-päästöt alueittain.

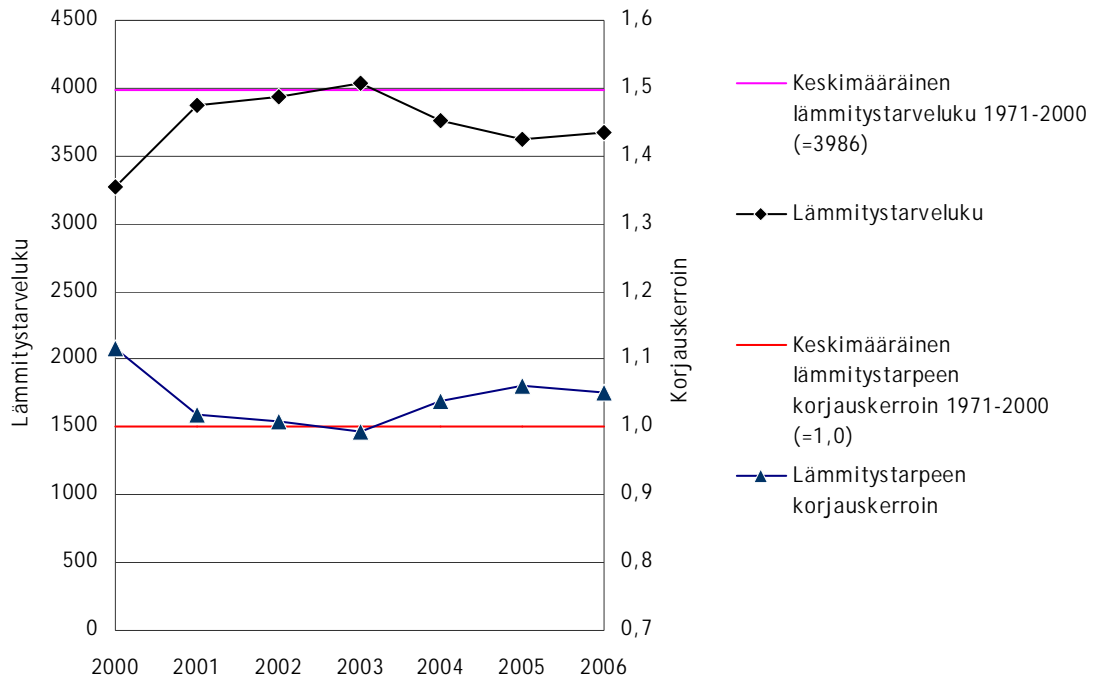
Menetelmät eroavat toisistaan paitsi päästökertoimiltaan myös sähkölämmityksen kulutuksen laskutavan suhteen. Primäärienergiatarkastelua varten kulutus on laskettu Kasvenerissä määritellyllä tavalla eli kertomalla sähköllä lämpiävien rakennusten arvioitu tilavuus ominaislämmöntarpeella. Hilmassa sähkölämmityksen menekiksi saadaan hieman pienempiä lukemia yksinkertaisemman laskutavan takia (luku 3.2.4), mutta silti päästöistä tulee suurempia kuin Kasvenerissä johtuen huomattavasti suuremmasta päästökertoimesta. Ainoastaan Helsingin kohdalla Kasvenerin ja Hilman pylväät asettuvat kuvassa 18 eri järjestykseen, sillä Kasvenerissä käytetyn paikallisen päästökertoimen ero Hilman kertoimeen 400 kg/MWh jää pieneksi.

5.3 Vuosivaihtelujen tasoittaminen Hilma-metodissa

Hilma-metodissa rakennusten vuosittaista lämmitysenergian tarvetta korjataan lämmitystarvekertoimen avulla kohti pitkän ajanjakson keskiarvoa. Vuosivaihteluja tasoitetaan myös sähköntuotannon suhteen. Tarkasteluvuonna ei käytetä juuri kyseisen vuoden sähkön valtakunnallista päästökerrointa, vaan viiden vuoden keskiarvoa. Seuraavassa käsitellään näiden korjausten vaikutusta Hilma-metodilla saataviin YTV-alueen tuloksiin.

5.3.1 Lämmitystarvekorjaus

Helsingin lämmitystarveluku oli 3675 vuonna 2006, kun vuosien 1971-2000 keskimääräinen luku on 3986. Lämmitystarve on siis ollut kyseisenä vuonna keskimääräistä pienempi, eli lämmitysenergian kulutusta korjataan ylöspäin, jotta päästäisiin lähemmäksi keskiarvoa. Lämmitystarvelukujen erotuksesta huomioidaan 65 prosenttia, jolloin lämmitystarpeen korjauskertoimeksi saadaan 1,05. Kuvassa 19 esitetään Helsingin lämmitystarveluvut ja vastaavat korjauskertoimet vuodesta 2000 alkaen.



Kuva 19. Lämmitystarveluvut (Tilastokeskus 2007) ja lämmitystarpeen korjauskertoimet Helsingissä 2000-2006.

Helsingin vuoden 2006 lämmitystarpeen korjauskertointa 1,05 on käytetty tässä työssä kaikkien kuntien Hilma-metodilla tehdyissä päästölaskennoissa. Korjaus lisää kaukolämmön, sähkölämmityksen ja erillislämmityksen päästöjä 5 prosentilla. Kahden viimeksi mainitun päästölisäys näkyy luokissa *kulutussähkö* ja *teollisuus ja työkoneet*.

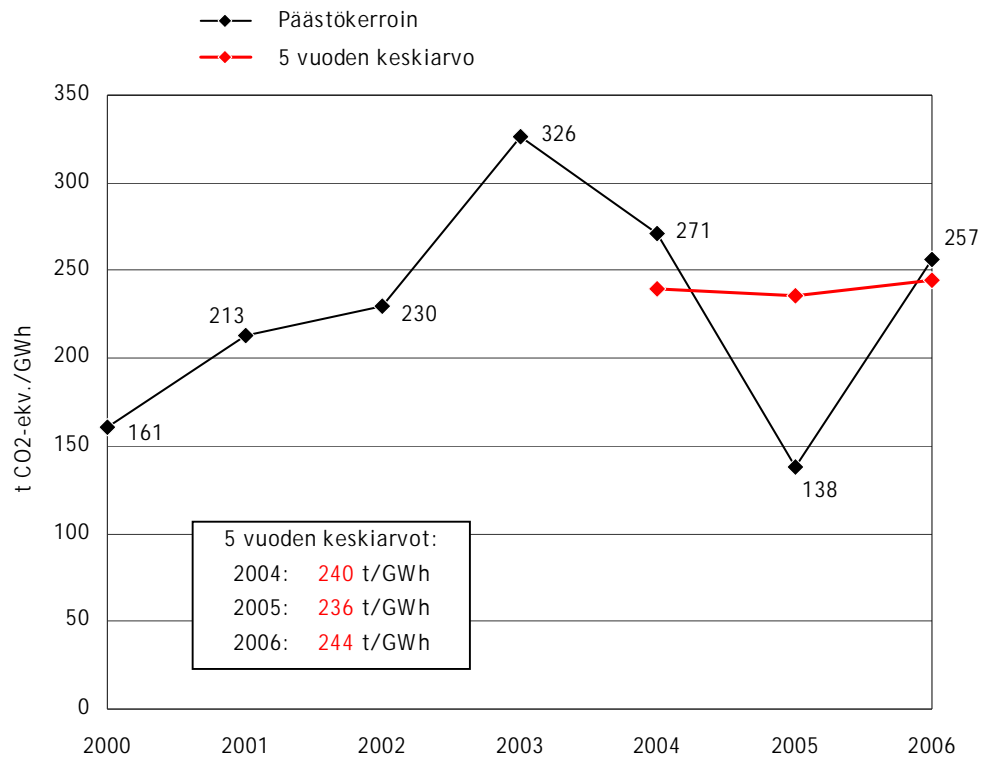
Taulukosta 16 nähdään, että vuonna 2006 lämmitystarvekorjatut YTV-alueen khk-päästöt olivat 154 tuhatta tonnia suuremmat kuin ilman korjausta. Sähkölämmityksen päästöt kasvoivat 11,8 ja erillislämmityksen 15,2 tuhatta tonnia. Kaukolämmön osuus päästölisäyksestä oli suurin, yli sata tuhatta tonnia. Kaiken kaikkiaan keskimääräistä lämpimämpi vuosi 2006 lisäsi Hilma-metodilla laskettuja YTV-alueen päästöjä hieman alle 2,5 prosenttia.

	Hilma	ilman lämmitys- tarvekorjausta	erotus
Kaukolämpö	2 508	2 380	128
Sähkölämmitys	381	381	
Erillislämmitys	309	309	
Kulutussähkö	1 656	1 644	12
Teollisuus ja työkoneet	154	139	15
Liikenne	1 497	1497	
Jätehuolto	83	83	
Maatalous	8,6	8,6	
YHTEENSÄ	6 595	6 441	154
Asukasta kohden [t]	6,8	6,6	0,2

Taulukko 16. Lämmitystarvekorjauksen vaikutus YTV-alueen khk-päästöihin sektorikohtaisesti. Yksikkö: 1000 t CO₂-ekv.

5.3.2 Sähkön valtakunnallinen päästökerroin

Hilma-metodissa päästölaskennan kohteena olevalla alueella kulutetun sähkön oletetaan olevan valtakunnallista alkuperää. Sähkölle lasketaan kasvihuonekaasujen ominaispäästökerroin, joka vaihtelee voimakkaasti vuosittain (luku 3.2.2). Vuonna 2006 kerroin oli 257 t/GWh, mutta esimerkiksi vuonna 2003 Suomen sähköntuotannon päästöt olivat keskimäärin 326 t/GWh. Kuvasta 20 nähdään tarkasteluvuoden ja neljän edellisen vuoden keskiarvon tasaavan tehokkaasti ominaispäästöjen vuosivaihteluja.



Kuva 20. Valtakunnalliset sähköntuotannon ominaispäästökertoimet 2000-2006.

Vuonna 2006 sähkön ominaispäästökerroin viiden vuoden keskiarvolla oli 244 t/GWh, joka on 13 tonnia per gigawattitunti vähemmän kuin kyseisen vuoden todellinen päästökerroin. Hilma-metodin laskentaperiaatteiden mukaisesti vuoden 2006 sähkönkulutuksen päästöjä korjataan näin ollen hieman alaspäin. Vuonna 2005 5 vuoden keskiarvon käyttö olisi tarkoittanut tuntuva lisäystä laskennallisiin khk-päästöihin. Taulukossa 17 nähdään korjauksen vaikutus pääkaupunkiseudun tasolla.

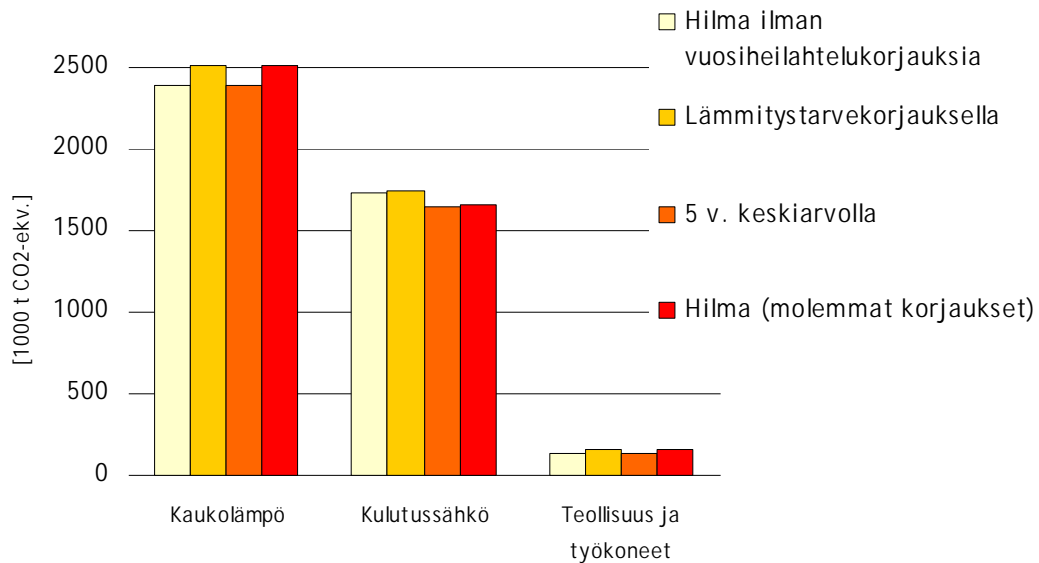
	Hilma	ilman 5 vuoden	
		keskiarvoa	erotus
Kaukolämpö	2 508	2508	
Sähkölämmitys	381	381	
Erillislämmitys	309	309	
Kulutussähkö	1 656	1 742	-86,0
Teollisuus ja työkoneet	154	154	
Liikenne	1 497	1 499	-2,1
Jätehuolto	83	83	
Maatalous	8,6	8,6	
YHTEENSÄ	6 595	6 683	-88,0
Asukasta kohden [t]	6,8	6,9	-0,1

Taulukko 17. Sähkön valtakunnallisen ominaispäästökertoimen 5 vuoden keskiarvon vaikutus YTV-alueen khk-päästöihin sektorikohtaisesti. Yksikkö: 1000 t CO₂-ekv.

Viiden vuoden keskiarvon ero todelliseen päästökertoimeen ei ollut vuonna 2006 kovin suuri, joten sen vaikutus YTV-alueen päästölaskennan tuloksiin jäi vähäiseksi. Sähkönkulutuksen päästöt pienenevät menettelytavan johdosta 86 tuhatta tonnia ja liikenteen 2100 tonnia. Vaikutus kokonaispäästöihin oli asukasta kohti 88 hiilidioksidiekvivalenttikiloa.

5.3.3 Korjausten yhteisvaikutus tuloksiin

Keskimääräistä lämpimämpänä vuonna lämmitystarvekorjaus nostaa päästölukemia YTV-alueella erityisesti kaukolämmön kautta. Vuonna 2006 sähkön valtakunnallinen ominaispäästökerroin oli viiden vuoden keskiarvoa korkeampi, minkä takia päästöjä korjattiin hiukan alaspäin (kuva 21).



Kuva 21. Hilma-metodissa käytettyjen lämmitystarvekorjauksen ja sähkön ominaispäästökerroimen viiden vuoden keskiarvon vaikutus tuloksiin pääkaupunkiseudulla. Kuvasta on jätetty liikennesektorin pois, sillä 5 vuoden keskiarvon vaikutus siihen on marginaalinen.

Vuonna 2006 vuosiheilahtelukorjaukset lähestulkoon kompensoivat toisensa. Alueen kokonaispäästöt Hilma-metodilla olivat 6595 ja muuten samalla tavalla laskettuna, mutta ilman korjauksia 6528 tuhatta tonnia (CO₂-ekv.). Lämmitystarvekorjauksen hieman suurempi vaikutus riitti lisäämään päästöjä 67 tuhatta tonnia eli vajaa 70 kilogrammaa asukasta kohti.

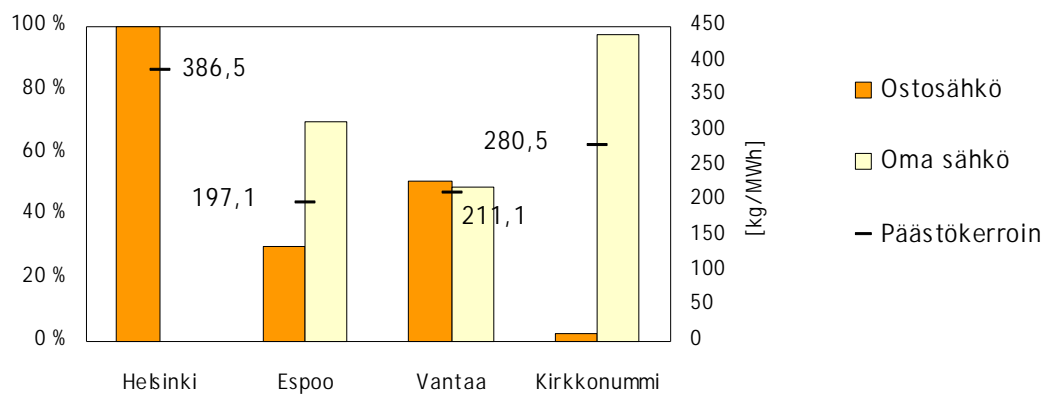
5.4 Alueellinen erottelukyky

Laskentamenetelmien keskinäisiä eroavaisuuksia tutkittaessa ensimmäisenä nousee esiin sähkönkulutuksen, kaukolämmön ja sähkölämmityksen päästöjen erilaiset laskutavat. Nämä sektorit vastaavat pääkaupunkiseudulla yli kahdesta kolmasosasta khk-päästöjä, joten eri menetelmät antavat alueiden kokonaispäästöistä hyvinkin erilaisia tuloksia. Erityisesti sähkönkulutuksen päästöjen määrittelytavat eroavat toisistaan: Helsingin sähkönkulutuksen khk-päästöt olivat vuonna 2006 Hilma-metodilla laskettuna vain neljäsosa vastaavasti Primäärienergiatarkastelulla lasketuista päästöistä.

Kasvener-mallissa kunnan kaikki sähkönkulutus oletetaan katettavan ensisijaisesti alueella sijaitsevien, paikallisiksi määriteltyjen voimalaitosten tuotannolla ja toissijaisesti valtakunnallisella ydin-, lauhde-, vesi- ja tuulivoimalla (luku 3.1.3). Tällä tavoin kullekin alueelle muodostuu oma sähkön khk-päästökerroin, joka riippuu paikallisen sähköntuotannon polttoaineista ja toisaalta siitä, kuinka paljon valtakunnallista ostosähköä tarvitaan vastaamaan alueen sähkön-

tarpeeseen. Samoja päästökertoimia on hyödynnetty myös Primäärienergiatarkastelussa, jossa päästöihin lisätään vielä keskieurooppalaista lauhdetuotantoa vastaava primääriresurssikerroin.

Helsingin vuoden 2006 sähköntuotanto riitti kattamaan alueen koko sähkönkulutuksen, joten vastaavat päästöt laskettiin käyttämällä paikallista päästökerrointa 386,5 kg/MWh. Vantaalla sen sijaan Kasvenerin määrittelemällä ostosähköllä katettiin puolet sähkönkulutuksesta, Espoossa 70 prosenttia ja Kirkkonummella 98 prosenttia (kuva 22). Näissä kunnissa sähkönkulutuksen päästökertoimista muodostui huomattavasti pienempiä kuin Helsingissä. Hilma-metodissa puolestaan käytetään kaikille samaa valtakunnallista päästökerrointa 244 kg/MWh.



Kuva 22. Vuonna 2006 kunnissa kulutetun sähkön alkuperä [%] ja vastaavat päästökertoimet [kg/MWh] Kasvenerin mukaan.

Alueiden yhdyskuntarakenne vaikuttaa khk-päästöihin jo sinänsä, mutta se peilautuu myös eri tavoin eri laskentamenetelmillä saatavissa tuloksissa. Kasvener-mallissa paikallinen energiantuotanto on keskeisessä osassa myös mallin antamissa kulutusperusteisissä tuloksissa. Kunnat, joilla on kaukolämpövoimalaitoksia tai teollisuuden prosessivoimaa, kärsivät korkeammista sähkönkulutuksen laskennallisista päästöistä verrattuna myös ydin- ja vesivoimalla tuotetun ostoenergian varassa oleviin alueisiin. Primäärienergiatarkastelussa ero korostuu entisestään, mutta Hilma-metodissa tilanne on tasaisempi.

Sähkönkulutuksen intensiivisyys vaikuttaa alueellisiin khk-päästöihin sitä voimakkaammin mitä enemmän valittu laskentamalli painottaa sähkösektoria huomioiden kuitenkin Kasvenerin kuntarajausperiaatteen energiantuotannon suhteen. Tässä työssä Kirkkonummi edustaa teollisuuden sähkönkulutuksen myötä vertailun energiaintensiivisintä aluetta. Taulukossa 18 on verrattu Espoon ja Kirkkonummen khk-päästöjä luokassa kulutussähkö. Havaitaan, että Espoossa

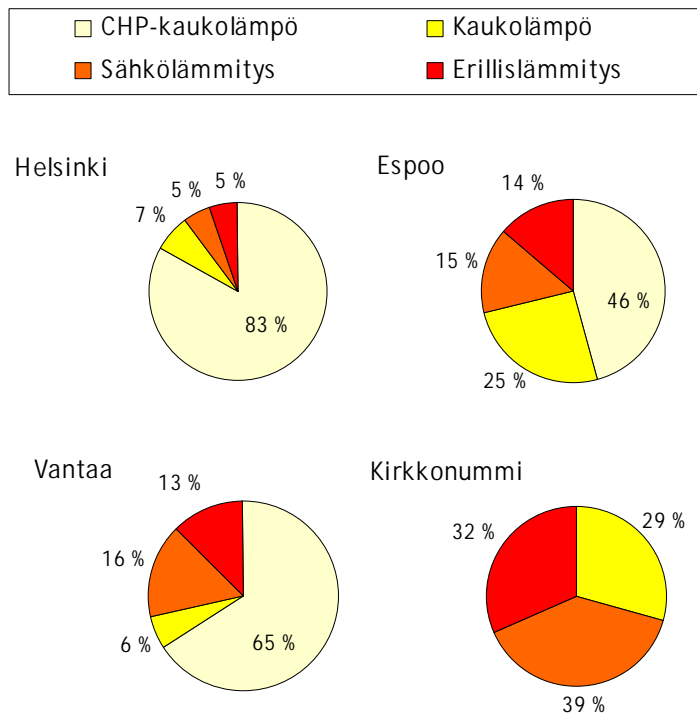
Hilmalla lasketut päästöt kasvavat kaksinkertaisiksi siirryttäessä käyttämään Primäärienergiatarkastelua, mutta enemmän sähköä asukasta kohti kuluttavalla Kirkkonummella ne lähes kolminkertaistuvat.

	Espoo	Kirkkonummi
Hilma	1,6	2,1
CEN	3,2	5,8

Taulukko 18. Espoon ja Kirkkonummen sähkönkulutuksen päästöt tonneina asukasta kohti Hilmalla ja CEN:llä laskettuina.

Liikenteen osalta laskentamenetelmät eivät eroa huomattavasti toisistaan. Eroja syntyy ainoastaan raideliikenteen sähkönkulutuksen päästöjen kautta. Helsingissä, jossa raideliikenne on merkittävimmissä asemassa, Kasvenerillä lasketut koko liikenteen khk-päästöt (1,4 t/as.) ovat vain vähän Hilma-metodilla laskettuja (1,3 t/as.) suuremmat ja Primäärienergiatarkastelua pienemmät (1,5 t/as.). Muita harvemmin asutulla Kirkkonummella liikennesektorin osuus kaikista alueen päästöistä on selvästi suurin, mikä tulee selvästi esiin kaikilla laskutavoilla (3,0 t/as.). Primäärienergiatarkastelu olisi voinut antaa liikenteelle suurempia lukemia, mikäli bensiinille ja dieselille olisi laskettu energiasektorin polttoaineiden tavoin primääriresurssikertoimet.

Rakennusten lämmityksestä aiheutuvien päästöjen suhteen laskentamenetelmät eroavat toisistaan eniten. Menetelmiä ei kuitenkaan voi laittaa yksiselitteisesti järjestykseen sen mukaan, kuinka paljon painoarvoa ne antavat lämmityksestä aiheutuville päästöille kokonaisuudessaan. Tässä vertailtavilla alueilla on tuntuvia eroja lämmitystavoissa, ja nimenomaan tässä kohtaa tulevat mallien metodiset eroavaisuudet esiin. Vuonna 2006 Helsingissä lämmitettiin kaukolämmöllä noin 90 prosenttia kiinteistöistä, Vantaalla ja Espoossa 70 prosenttia ja Kirkkonummella vajaa 30 prosenttia. Helsingin ja Vantaan kaukolämpö tuotettiin lähes kokonaan sähkön ja lämmön yhteistuotantona, Espoossa kaksi kolmasosaa. Kirkkonummella ei ollut yhteistuotantoa ollut lainkaan (kuva 23).



Kuva 23. Kiinteistöjen lämmitystapaosuudet (kuhunkin lämmitysmuotoon käytetyn energian suhde alueen kokonaislämmitysenergiaan) Helsingissä, Espoossa ja Kauniaisissa, Vantaalla ja Kirkkonummella (Hintsala 2008).

Suurimmat erot lämmityksen päästöissä eri menetelmien välillä tulevat alueilla, joilla kiinteistöjen lämmitystavat ovat mahdollisimman yhteneväisiä, eli tässä tarkastelussa Helsingissä ja toisaalta paljolti erillislämmitetyllä Kirkkonummella. Menetelmien suhteen trendit kulkevat näissä kunnissa vastakkaisesti suuntiin: Kirkkonummella Kasvener antaa pienimmät päästöt ja Primäärienergiatarkastelu suurimmat, Helsingissä päinvastoin. Likimääräisesti voidaan arvioida Primäärienergiatarkastelun, ja myös Hilma-metodin, suosivan CHP-kaukolämpöä ja lisäävän sähkölämmityksen osuutta Kasveneriin verrattuna.

Edellä kuvattua yleistystä laajempia linjanvetoja ei mallien suhtautumisesta eri tavalla lämmitettyihin alueisiin voida vetää. Hilma-metodissa sähkölämmityksen päästökertoimeksi tulee käytännössä kaikkialla suurempi kuin Kasvenerissä, mutta toisaalta sähkölämmityksen kulutus lasketaan eri tavalla. Erillislämmityksen merkitys on pieni, vaikka CEN:n nämä luvut ko-koavat hieman kahteen muuhun malliin nähden. Hilman ja Kasvenerin välinen ero erillislämmityksessä näkyy *teollisuus ja työkoneet* -kategoriassa.

Kaukolämmön khk-päästöjen laskeminen vaikeuttaa alueellisten päästövertailujen tekemistä kaikkein eniten. Yhteistuotetun kaukolämmön kohdalla tilanne on melko selvä, mutta erillisissä lämpölaitoksissa tuotetun lämpöenergian päästöt sekoittavat tilannetta. Tämä tulee näkyviin selvimmin Espoon ja Vantaan lämmityksen päästöjä vertailtaessa. Molemmissa kaupungeissa kaukolämmön osuus lämmityksestä on yhtä suuri ja Kasvenerillä lasketettuna kaukolämmön asukaskohtaiset päästöt ovat lähestulkoon samat (2,6 t/as.). Hilma-metodiin siirryttäessä päästöluvut laskevat Espossakin runsas 10 prosenttia (2,3 t/as.), mutta Vantaalla yhteistuotannon suuremman osuuden ansiosta jo melkein kolmanneksen (1,9 t/as.). Edelleen Primäärienergiatarkastelulla laskettuna ero kärjistyy: Espoossa, jossa yli kolmannes kaukolämmöstä on erillistuotettua, päästöistä tulee Kasvenerillä laskettuja *suuremmat* (3,0 t/as.), mutta Vantaalla luku laskee edelleen (1,7 t/as.).

5.5 Muutosherkkyys

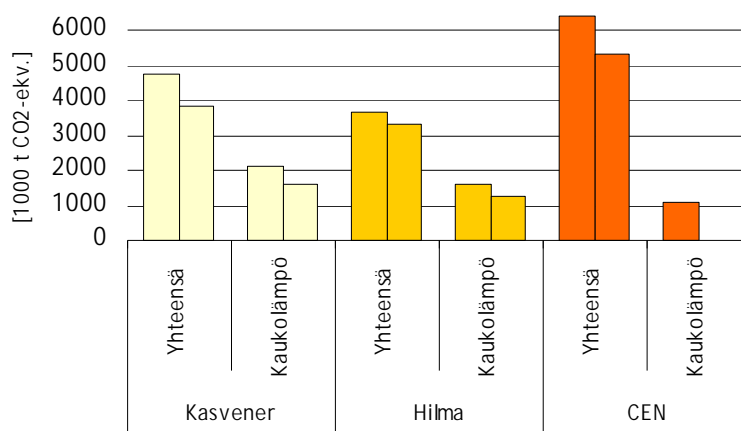
Muutosherkkyydellä tarkoitetaan laskentamenetelmien reagointikykyä muuttuvaan tilanteeseen. Toisin sanoen, kuinka herkästi jokin muutos lähtötiedoissa näkyy saatavissa tuloksissa ja mikä on sen vaikutus kokonaispäästöihin. Tällä tavoin voidaan punnita ilmastonmuutoksen torjunnan puitteissa tehtävien toimenpiteiden vaikutusta; miten esimerkiksi uusiutuvan energian käytön lisääminen tulee esiin eri menetelmillä saatavissa päästötuloksissa. Toisaalta seuraavassa pohditaan myös sitä, onko mallien välillä eroja pienten päästömuutosten havaitsemisessa.

Muutosherkkyyttä tutkitaan Helsingin alueella kahden esimerkin kautta: ensimmäisessä skenaariossa Helsingin Energia on korvannut CHP-voimalaitosten kivihiiiltä puuhakkeella siten, että uusiutuvan energian määrä energiantuotannossa on noussut 20 prosenttiin. Toisessa skenaariossa tiukentuneiden rakennusmääräysten myötä rakennusten lämmitysenergian tarve on laskenut 10 prosentilla.

5.5.1 Kivihiiilen osittainen korvaaminen puuhakkeella

Helsingin energian koko energiantuotanto, mukaan lukien tuotanto muualla kuin Helsingissä, oli 15700 GWh vuonna 2006, josta 3,3 prosenttia tuotettiin uusiutuvilla energianlähteillä (Helsingin Energia 2007, 8). Jos kokonaisuus halutaan nostaa 20 prosenttiin, uusiutuvilla tuotetun energiamäärän on noustava 3140 gigawattituntiin. Mikäli tämä toteutetaan skenaarion mukaisesti kokonaan Helsingin energialaitoksilla, 42 prosenttia kivihiilestä on korvattava hakkeella, kun maakaasun käyttö säilyy ennallaan.

Puuhakkeen käyttö vähentää Helsingin khk-päästöjä kaikilla menetelmillä. Kasvenerillä vaikutus on dramaattisin, kun Helsingin sähkönkulutuksen päästökerroin laskee 386:sta 288 kilogrammaan megawattitunnilta kivihiilen osuuden pienentyessä. Hilma-metodissa ja Primäärienergiatarkastelussa toimenpiteen päästöjä vähentävä vaikutus kohdistuu ainoastaan kaukolämpöön, mutta Kasvenerissä myös muuhun sähköön eli sähkönkulutukseen sekä jonkin verran sähkölämmityksen ja liikenteen päästöihin. Alla olevassa kuvassa nähdään Helsingin vuoden 2006 khk-päästöt kokonaisuudessaan sekä kaukolämmön osalta tavanomaisessa tilanteessa, ja esimerkin mukaisesti lisätyllä bioenergian osuudella.



Kuva 24. Kivihiilen osittaisen hakkeella korvaamisen vaikutus Helsingin khk-päästöihin. Matalammat pylväät kuvaavat hake-skenaarion päästöjä. Primäärienergiatarkastelussa (CEN) kaukolämmön päästöt putoavat tällöin nolnaan.

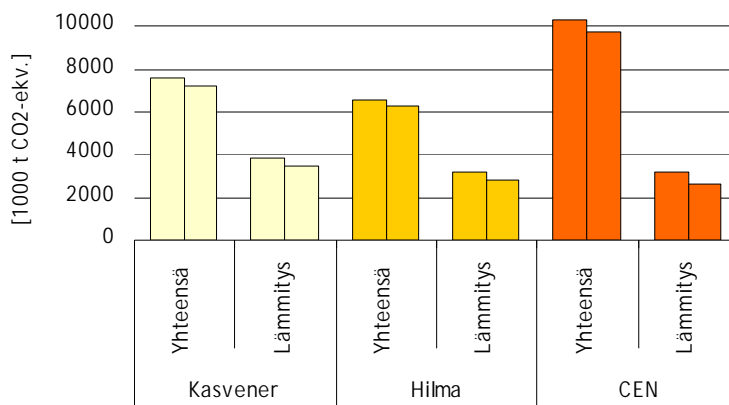
Kokonaispäästöt laskevat esimerkkitalanteessa prosentuaalisesti seuraavasti: Kasvener 19 prosenttia, Hilma 10 prosenttia ja CEN 17 prosenttia. Jälkimmäinen menetelmä reagoi voimakkaasti uusiutuvien energianlähteiden käyttöön. Hake-skenaariossa ei Helsingin rakennusten kaukolämmittämisestä koidu laskennallisesti lainkaan khk-päästöjä, mutta koska sähkönkulutuksen päästöt säilyvät tällä menetelmällä edelleen suurina, ei vaikutus kokonaispäästöihin tule yhtä näkyvästi esiin. Kasvenerin kohdalla paikallisella bioenergian lisäämisellä on Helsingissä suurin vaikutus menetelmän kuntarajausperiaatteen johdosta. Muun sähkön (kulutussähkö) khk-päästöt vähenevät 25 prosenttia, samoin sähkölämmityksen. Hilma-metodissa vaikutus on sen sijaan maltillisempi ja kohdistuu CEN:n tapaan ainoastaan kaukolämmön päästöihin. Esimerkkiskenaariossa hakkeella korvattavan kivihiilen määrä on melko suuri. Hilma-metodilla, jota Uudenmaanliitto on käyttänyt viimeisimmissä päästölaskennoissaan, toimenpide laski vuoden 2006 khk-päästöjä Helsingissä 6,5:stä 5,9 tonniin asukasta kohti. Todelli-

suudessa päästöt putoaisivat vielä hieman enemmän, sillä tämänkaltainen bioenergiasatus näkyisi hieman myös Hilmassa käytettävässä sähkön valtakunnallisessa päästökertoimessa.

5.5.2 Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen

EU:n energiatehokkuusdirektiivin toimeenpanon myötä rakennusten energiankäyttöön on alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota. Rakennusmääräysten tiukentuminen muun muassa eristyksen laadun ja paksuuden osalta näkyy ennen kaikkea pienempänä lämmitysenergian tarpeena. Energiatehokkuuden parantamisen tavoite kohdistuu sekä olemassa olevaan rakennuskantaan että uudistuotantoon. Tämä näkyy myös sähkönkulutuksen alenemisena valaistuksen uudistamisen ja ilmastointilaitteiden tehokkuuden nostamisen myötä. Tässä skenaariossa tarkastellaan kuitenkin vain tilannetta, jossa koko rakennuskannan lämmitysenergian tarve on vähentynyt.

Seuraavassa verrataan pääkaupunkiseudun vuoden 2006 khk-päästöjä tilanteeseen jossa kunkin lämmitysmuodon kulutus on 10 prosenttia normaalitilannetta pienempi (kuva 25). Oletusarvoisesti tässä tapauksessa myös lämmityksen khk-päästöt putoavat kymmenellä prosentilla. Kokonaispäästöihin vaikutus olisi 5 prosenttia, kun tiedetään lämmityksen vastaavan noin puolesta koko pääkaupunkiseudun kasvihuonekaasutaakasta.



Kuva 25. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen vaikutus pääkaupunkiseudun khk-päästöihin. Lyhyemmät pylväät kuvaavat energiatehokkuusskenaarion päästöjä.

Kuvan 25 perusteella Kasvener ja Hilma-metodi käyttäytyvät hyvin toistensa kaltaisesti. Päämäärienergiatarkastelussa päästölukemat laskevat hieman kahta muuta mallia enemmän. Kasvener täyttääkin 10 prosentin hypoteesin varsin tarkasti: energiatehokkuusskenaariossa läm-

mityksen päästöt laskevat tällä menetelmällä 3,84:stä 3,45 megatonniin, eli lähes tasan 10 prosenttia. Hilma-metodilla pudotus on vajaa 11 prosenttia, mutta Primäärienergiatarkastelussa jo hieman yli 17 prosenttia. Vaikutus pääkaupunkiseudun kokonaiskasvihuonekaasupäästöihin on vastaavasti 5,0, 5,3 ja 5,4 prosenttia. Hilma-metodissa ja erityisesti CEN:ssä yli 10 prosentin päästövähennykset aiheutuvat lähinnä kaukolämmön ja erillislämmityksen päästöjen oletettua suuremmasta pienenemisestä.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Työn tarkoituksena oli vertailla erilaisia kasvihuonekaasupäästöjen laskentamenetelmiä. Vertailupohjaksi valittiin Suomen Kuntaliiton Kasvener-malli, joka on Suomessa tunnetuin ja yleisimmin käytetty alueellinen päästölaskentamenetelmä. Hilma-metodiksi kutsuttua laskentamallia on käytetty YTV:n ilmastostrategiatyössä ja Uudenmaanliiton viimeisimmissä päästölaskennoissa. Primäärienergiatarkastelu puolestaan on alun perin lämmitystapojen energiatehokkuuden vertailemiseen tarkoitettu työkalu, mutta koska sitä on käytetty myös alueellisten khk-päästöjen laskemisessa, otettiin tämä menetelmä kolmanneksi mukaan vertailuun. Tarkasteluvuodeksi valikoitui luontevasti vuosi 2006 eli viimeisin, jolta oli saatavissa Kasvenerin vaatimat täydelliset lähtötiedot. Alueiden osalta tutkittiin varsinaista YTV-aluetta, eli pääkaupunkiseudun neljää kaupunkia (Helsinki, Espoo, Kauniainen, Vantaa) yhdessä ja erikseen sekä YTV:n sopimuskumppania Kirkkonummea, joka edusti hieman harvemmin asutua, maaseutumaisempaa seutua.

Tuloksia tarkasteltaessa havaittiin, että samalle alueelle voidaan saada eri menetelmillä kovin erilaisia päästölukemia, vaikka lähtötiedot ovat täysin samat. Ainoa selvä trendi oli Primäärienergiatarkastelulla saatujen tulosten suhde kahdella muulla menetelmällä suoritettuihin laskelmiin. Kaikilla alueilla Primäärienergiatarkastelu antoi korkeammat lukemat johtuen pääasiassa voimakkaasta sähkönkulutuksen päästöjen painottamisesta. Hyvin karkea tulosten perusteella muodostettu estimaatti olisi noin 30 prosentin lisäys Primäärienergiatarkastelulla lasketuissa päästöissä Kasveneriin tai Hilma-metodiin verrattuna, mutta tämä pätee ainoastaan tässä työssä tarkastelluilla alueilla ja vuoden 2006 lähtötiedoilla.

Varsinaista muuntokerrointa ei menetelmien välille ole mahdollista muodostaa, siinä määrin monimutkaisia ja eri tavoin erilaisilla alueilla käyttäytyviä mallit ovat. Hilma-metodilla saatiin Vantaalla ja Kirkkonummella vain hieman Kasveneriä pienemmät laskennalliset päästöt, mutta Helsingissä ero oli huomattava. Espoossa sen sijaan *Kasvenerillä* lasketut päästöt olivat kaikkein pienimmät. Kasvener-mallissa tulokset vaihtelevat paljon sen mukaan, millainen sähkön päästökerroin alueelle mallin kuntarajausoletusten ja alueen sähköntuotantorakenteen perusteella saadaan. Espoossa vuonna 2006 päästökerroin oli 197,1 kg/MWh, Helsingissä lähes kaksi kertaa suurempi (386,5 kg/MWh). Hilman 244 kg/MWh asettuu näiden väliin, mikä osaltaan selittää sen, että Espoon päästöt ovat Hilma-metodilla laskettuna suuremmat kuin Kasvenerillä. Lisäksi Kasvenerissä tulee kuvaan mukaan alueittain vaihteleva niin sanotun ostosähkön määrä omine päästökertoimineen.

Kasvenerillä saatavat tulokset asettuvat Primäärienergiatarkastelun tason alapuolelle, mutta vertautuvat Hilman tuloksiin vaihtelevasti eri kunnissa. Malli on edelleen oleellinen instru-

mentti khk-päästöjen alueellisissa laskennoissa. Toisin kuin muut tähän työhön mukaan otetut laskentamenetelmät, se on oma systemaattinen laskentaohjelmansa, jonka käytöstä on Suomessa runsaasti kokemusta. Lisäksi Kasvener sisältää jonkinlaisen täyttöohjeen, mutta tässä olisi selvästi paikka edistykselle sikäli kun mallia edelleen päivitetään.

Hilma-metodi on tavallaan Kasvenerin kehitysversio, jota on alettu käyttää yhä laajemmin. Pyrkimys on ollut vastata entistä tarkemmin alueen todellisiin kulutuksesta aiheutuviin päästöihin ja toisaalta saattaa vuosittaisissa laskennoissa näkyviin päästöjen kehitystrendi. Vertailtavat laskentamallit riitelevät keskenään eniten sähkön ja lämmön yhteistuotannon päästöjen laskenta- ja jyvitystapojen sekä sähkönkulutuksen päästöjen laskennan suhteen. Hilma-metodissa nämä on yritetty ratkaista mahdollisimman neutraalisti: CHP-tuotannon päästöt jyvitetään asiantuntijoiden suosittelemalla hyödynjakomenetelmällä, ja sähkönkulutuksen päästöt lasketaan käyttämällä valtakunnallista ominaispäästökerrointa. Kasveneriin verrattuna selkeiksi ominaispiirteiksi Hilma-metodissa havaittiin kaukolämmön yhteistuotannon hienoinen suosiminen ja toisaalta sähkölämmityksen kasvaneet päästöt.

Hilma-metodin vuosiheilahtelukorjausten tarkoitus on tasoittaa sääoloiltaan poikkeuksellisten vuosien tuloksia kohti keskiarvoa. Vuonna 2006 tämä tarkoitti vain aivan pientä lisäystä päästöihin, sillä lämmitystarvekorjaus ja sähkön päästökertoimen viiden vuoden keskiarvo kumosivat toistensa vaikutuksia. Lämmitystarvelukujen vertailuarvo on vuosien 1971-2000 keskiarvo. Ilmastonmuutos on kuitenkin edennyt jo sen verran, että tänä ajanjaksona talvet olivat kylmempiä kuin nykyään. Niinpä 2000-luvulla (vuotta 2003 lukuun ottamatta) lämmityksestä aiheutuvia päästöjä on jouduttu korjaamaan joka vuosi ylöspäin. Niin sanotut todelliset lämmityksen päästöt olivat vuonna 2006 YTV-alueella 2,5 prosenttia pienemmät kuin Hilma-metodilla lasketut. Käytännössä lämmitystarvevaihtelu ei ole kovin suurta, mutta jos järjestelmällisesti tuloksia korjataan aina samaan suuntaan, olisi ainakin vertailuarvon määrittelyä tarkennettava.

Valtakunnallinen sähkön ominaispäästökerroin on heilahdellut viime vuosina lämmitystarvelukua enemmän. Vuonna 2006 kerroin oli 257 kg/MWh ja viiden vuoden keskiarvo 244 kg/MWh, eli keskiarvon käyttäminen laskee päästöjä hieman. Yleistäen voisi olettaa, että tavallista lämpimämpänä vuonna päästökerroin olisi keskiarvoa pienempi, kun sähkön huipputehoalueen kulutus on vähäisempää eli lauhdevoimaloita ajetaan kylmiä vuosia vähemmän. Tällöin molemmat vuosiheilahtelukorjaukset vaikuttaisivat lämpiminä vuosina päästöjä kasvattavasti, ja kylminä tarkastelujaksoina lasketut päästöt olisivat vastaavasti todellisia pienemmät. Viiden vuoden ajanjakso keskiarvon laskemiselle on kuitenkin sen verran lyhyt, että näin ei välttämättä ole, kuten nyt käsittelyssä ollut vuosi 2006 osoittaa. Toisaalta viiden vuoden keskiarvo korjaa poikkeukselliset vuodet, kuten vuoden 2005 (kerroin vain 138 kg/MWh), mutta huomioi riittävällä tavalla muutokset valtakunnallisessa sähköntuotantorakenteessa.

Primäärienergiatarkastelua on sovellettu siten, että on käytetty Kasvenerin paikallisia päästö-kertoimia sekä primääriresurssikerrointa 2,5. Menetelmä on hyvin reaktiivinen sähkönkulutuk-sen muutoksiin, vaikka tässä työssä ei tällaista skenaariota tutkittukaan. Sen sijaan sähkön paikallinen tuotantotapa vaikuttaa tuloksiin vain vähän; keskieurooppalaisen primääriresurssi-kertoimen vaikutus on hyvin merkittävä. Sähkönkulutuksen päästöt lasketaan ikään kuin kaikki sähkö olisi rajatuotantomuodolla eli hiililauhteella tuotettu. Tämä sektori ylikorostuu päästö-tuloksissa, mutta tällöin esimerkiksi sähkön säästötoimenpiteet tulevat välittömästi näkyviin.

Primäärienergiatarkastelun metodiikka on kehittyneintä lämmön tuotantotapojen vertailussa. Malli suosii vahvasti yhteistuotantoa, mikä näkyy etenkin Helsingissä lämmityksen pieninä päästöinä. Myös Vantaalla rakennusten lämmityksen khk-päästöt laskevat jotakuinkin Hilman tasolle, vaikka CEN:ssä sähkölämmitykselle lasketaan kulutussähkön tapaan erityisen suuret päästöt. Kaikista menetelmistä Primäärienergiatarkastelu ottaa väkevimmän huomioon uusiu-tuvien polttoaineiden käytön. Hake-skenaariossa päästövähennys oli Kasvenerissä hiukan suu-rempi kuin CEN:ssä, mutta tämä johtui siitä, että Kasvenerissä myös sähkönkulutuksen pääs-töt pienenevät. Jos tarkastellaan samassa tilanteessa vain lämmityksen päästöjä, nousee primäärienergiatarkastelu ylivoimaisen herkäsi havainnoimaan tämänkaltaisen bioenergian käytön lisäämisen vaikutuksia. Herkkyys tuli esiin myös energiatehokkuusskenaariossa, jossa lämmitysenergiantarpeen 10 prosentin lasku vähensi Kasvenerillä ja Hilmalla laskettuja khk-päästöjä likimain saman 10 prosenttia, mutta Primäärienergiatarkastelussa vähennys oli 17 prosenttia.

Tietyn alueen kaikesta kulutuksesta aiheutuvista todellisista khk-päästöistä voi puhua vain hypoteettisesti. Sähkön päästöjen määrittely, elinkaariajattelu sekä materiaali- ja energiavir-tojen kontrollointi asettavat suuria haasteita pyrittäessä mahdollisimman tarkkaan kulutuspe-rusteiseen päästölaskentaan. Hilma-metodi pyrkii vastaamaan tähän haasteeseen. Hyödynja-komenetelmän käyttö on tunnetusti hyväksi havaittu tapa jakaa sähkön ja lämmön yhteistuotannon päästöt, ja Hilman tapa laskea sähkönkulutuksen päästöt on lähimpänä todel-lista tilannetta, jossa sähkö on yhteispohjoismaista tuotantoa. Toisaalta Kasvener on selkeä ja koeteltu, ja Primäärienergiatarkastelu puolestaan on herkkä havaitsemaan muutokset sähkön-kulutuksessa ja polttoainevalinnoissa. Yhtä oikeaa tapaa laskea khk-päästöt alueellisesti ei voida määrittää, sillä päästölaskenta sisältää aina rajoitteita.

Pääkaupunkiseudun ilmastostrategiassa on mainittu kolme merkitykseltään suurinta menetel-mien pätevyyttä heikentävää tekijää. Ensiksi, laskenta ei pidä sisällään välillisiä päästöjä ja toiseksi, alueen ulkopuolelle suuntautuvan liikenteen päästöt eivät tule huomioiduksi. Kol-mantena mainitaan työpaikkaomavaraisuus, joka on pääkaupunkiseudulla selvästi yli sata pro-senttia. Tämä kasvattaa seudun liikenteen, palveluiden sähkönkulutuksen ja kaukolämmityk-sen päästöjä. Seudulle on sijoittunut runsaasti muun muassa valtion virastoja. (YTV 2007, 91.)

Välillisillä päästöillä tarkoitetaan lähinnä kulutustavaroiden ja elintarvikkeiden valmistamisen ja tavaroiden kuljetuksen aiheuttamia khk-päästöjä, jotka syntyvät tarkasteltavan alueen ulkopuolella. Toisaalta jos tarkastellaan kokonaisuutta, nämä päästöt näkyvät jonkin muun alueen päästötaseessa. Kuitenkin esimerkiksi helsinkiläisten lihansyönnin vähentämisen positiiviset päästövaikutukset häviävät globaalin talouden pyörteisiin, eivätkä näy alueen päästötaseessa, jos ja kun välillisiä päästöjä ei huomioida.

7 Lopuksi

Tällä hetkellä on vallalla käsitys, jonka mukaan globaali yhteiskunta saattaisi selvitä vähin vaurioin maapallon keskilämpötilan enintään kahden asteen noususta esiteolliseen aikaan nähden. Menetelmiä sopeutua ilmaston lämpenemiseen kehitetään kaiken aikaan, mutta asiantuntemuksen alati lisääntyessä on käynyt selväksi, että yhä rajummat kasvihuonekaasupäästöjen leikkaukset ovat tarpeen muutoksen hillitsemiseksi. Ilmastopolitiikka on viime vuosina kuin vaivihkaa hiipinyt entistä merkittävämmäksi osaksi kaikkea päätöksentekoa. Esimerkiksi autoalalla markkinointi perustuu tätä nykyä pieneneviin hiilidioksidipäästöihin ja myönteisistä ilmasto- ja muista ympäristöratkaisuista on tullut yritysten kilpailuvaltti.

Khk-päästöjen laskemiseksi on olemassa lukuisia eri menetelmiä, joista enemmistö perustuu IPCC:n kansallisia päästöinventareja koskevaan ohjeistukseen. Valtiotasoa pienemmälle alueelle rajattavissa olevat laskentamenetelmät ovat tärkeitä erilaisten ilmastostrategioiden toimeenpanon seurannassa ja esimerkiksi tietyn kunnan tai kaupungin päästökehityksen selvittämiseksi. Tässä työssä tutkittiin kolmea Suomessa käytettyä alueellista laskentamallia: Kasveneriä, Hilma-metodia ja Primäärienergiatarkastelua. Mielenkiinto kohdistui siihen, miten erilaisia tuloksia mallit antavat samoilla lähtötiedoilla, ja Tulosten tarkastelu -luvussa pyrittiin selvittämään miksi näin on; mitkä taustaolettamukset sisältyvät mallien metodiikkaan.

Alueellisten päästölaskentojen perusteella kaupunkeja on julkisuudessa asetettu paremmuusjärjestykseen, mutta tärkeämpää olisi esittää kunkin alueen ilmaston muutoksen hillintään suunnattujen toimenpiteiden vaikutus. Alueellinen vertailu ei ylipäänsä ole mahdollista, jos käytössä on eri laskentamenetelmät, ja vaikka khk-päästöt laskettaisiin samalla tavalla, on tulosten esittämisen yhteydessä tuotava esiin käytetyn menetelmän erityisominaisuudet. Toisaalta alueiden välisellä, hyvässä hengessä tapahtuvalla päästövähennyskilpailulla voi olla myönteisiä seurauksia.

Kasvener, Hilma-metodi ja Primäärienergiatarkastelu soveltuvat kaikki alueelliseen khk-päästöjen laskentaan. Kasvenerin kohdalla tulee muistaa energiantuotantoa koskeva aluerajaus, jonka mukaan sähkönkulutuksen päästöt lasketaan tietyin reunaehdoin paikallisen tuotannon perusteella. CHP-voimalaitosten päästöt taas jyvitetään Kasvenerissä siten, että yhteistuotannon hyöty kohdistuu sähkölle. Hilma-metodin jyvityssäntöjen mukaan kumpikin energiakomponentti saa jonkin verran etua, ja Primäärienergiatarkastelussa lasketaan yhteistuotetulle kaukolämmölle erityisen pienet päästöt. Hilmassa sähkön osalta oletuksena on, että kuluttajat käyttävät keskimääräistä valtakunnallista sähköä. Primäärienergiatarkastelussa sähkönkulutuksen khk-päästöt vertautuvat keskieurooppalaisen lauhdetuotannon päästöihin.

Tutkimuksen kohteena olleita päästölaskentamenetelmiä ei ole syytä lähteä arvottamaan. Kaikki indikoivat omalla tavallaan alueellisissa päästöissä tapahtuvia muutoksia. Kehittämisen varaa menetelmissä kuitenkin on. Kasvener-malli kaipaisi selkeämpää käyttöohjetta, jollaista toisaalta Hilma-metodille tai Primäärienergiatarkastelulle ei ole laadittu lainkaan. Hilmassa lämmitystarvekorjauksen vertailuluku voisi olla vuosien 1971-2000 keskiarvon sijaan esimerkiksi kuluneen viiden vuoden keskiarvo, joka tasoittaisi vuosivaihteluja, mutta ottaisi huomioon myös yleisen ilmastokehityksen. Valtakunnallisen sähkön päästökertoimen laskentaa voisi myös tarkentaa. Nyt kokonaissähkönkulutus jaetaan Suomessa tuotetun sähkön khk-päästöillä, mikä jättää tuontisähkön huomioimatta.

Vuonna 2006 sähköä tuotiin Suomeen 14,1 TWh ja vietiin 2,7 TWh (Tilastokeskus 2008). Omaispäästökertoimesta siis puuttuu tuonnin ja viennin erotusta vastaavan sähkömäärän tuottamisesta aiheutuneet khk-päästöt. Toisaalta Hilma-metodin luotettavuutta parantaisi entistään siirtyminen suomalaista kulutussähköä vastaavan pohjoismaisen päästökertoimen käyttöön, ja vielä siten, että kumpaankin suuntaan kulkevat hiilivirrat sisällytettäisiin kertoimen laskentaan. Primäärienergiatarkastelussa käytetylle sähkönkulutuksen keskieurooppalaiselle primääriresurssikertoimelle taas olisi syytä laskea suomalainen tai pohjoismainen vastine.

Tulevina vuosina tapahtuvana kehityskulkuna päästölaskentamenetelmien osalta voisi nähdä ainakin Hilman metodiikan sisällyttämisen Kasvener-ohjelmaan. Uusi kokonaisuus voisi toimia myös internetissä selainpohjaisena versiona. Ohjelmaan olisi mahdollista myös rakentaa eri tarkkuustasoja, toisin sanoen karkeimmalla tasolla vaadittavia lähtötietoja olisi vähemmän ja se olisi yleisluontoisempaa. Tarkin taso taas voisi mennä yksityiskohdissaan nykyistäkin Kasvener-versiota pidemmälle. Tuotantoperusteinen päästölaskenta tulisi säilyttää kulutusperusteisen rinnalla, sillä sen tulokset indikoivat selvemmin mahdollisia ilmastomyönteisiä muutoksia alueellisessa energiantuotantorakenteessa. Eräs tärkeä ulottuvuus olisi lisäksi kunnissa tai kaupungeissa kulutetun päästöneutraalin vihreän sähkön huomioon ottaminen.

Kasvenerin sektorijako saattaisi niin ikään olla tarkoituksenmukaista pohtia uudelleen. Tulokset voisi saada tarvittaessa yksityiskohtaisemmin jaoteltuna, esimerkiksi kaukolämmön yhteis- ja erillistuotannon päästöt erikseen laskettuna. Sektorien nimistä muu sähkö ja muu polttoaine ovat epämääräisiä termejä, jotka on Hilma-metodissa korvattu nimillä kulutussähkö ja teollisuus ja työkonet. Jälkimmäinen luokka tuntuu tosin olevan tarkoitettu päästöille, jotka eivät muualle sovi. Vaikka teollisuuden merkitys on pääkaupunkiseudulla pienehkö, olisi sen päästöt yleisesti ottaen hyvä esittää selkeämmin. Teollisuus-kategoria sisältäisi tässä tapauksessa myös muun lämmitysenergian kuin teollisuuslaitosten itsensä tuottaman prosessilämmön. Lisäksi luokkaan laskettaisiin teollisuusprosesseista sekä kaikesta teollisuuden kuluttamasta sähköstä aiheutuvat päästöt. Tällaista lähestymistapaa vietäessä vielä pidemmälle

tulisivat kyseeseen myös Kotitaloudet ja Palvelut -luokat, joista edellinen voisi sisältää myös matkustamisesta syntyvät khk-päästöt.

Toinen keskeinen tavoite on välillisten päästöjen tuominen mukaan alueellisiin päästölaskentoihin. Suomen ympäristökeskuksen tuotannon ja kulutuksen tutkimusohjelman puitteissa tämäntyyppinen malli on jo pitkälle kehitetty. Samalla tavoin kuin sähkötuotannon hiilivirrat, myös kaikki muut tarkasteltavan alueen rajojen yli kulkevat, khk-päästöihin vaikuttavat materiaali- ja energiavirrat tulisi ottaa huomioon, kun päästöjä lasketaan kulutusperusteisesti. Edellä kuvattuun uuteen laskentaohjelmaan voisi vielä lisätä välilliset päästöt arvioivan ominaisuuden. Malli pitäisi lanseerata ison kampanjan turvin, jotta siitä saataisiin vähintään kansallinen standardi.

Tutkimuksen tekeminen osoittautui ennakoarvailuja haastavammaksi. Ilmastonmuutoksesta sinänsä löytyy valtavasti lähdemateriaalia, mutta khk-päästöjen laskentamenetelmistä erittäin vähän. Tässä tarkasteltuja menetelmiä aiemmin käyttäneiden asiantuntijoiden apu oli arvokasta. Työ perehdytti tekijänsä varsin syvällisesti laskentamenetelmiin. Kasvener-tulokset saatiin valmiiksi laskettuina, mutta kahden muun menetelmän osalta laskutoimitukset suoritettiin itse, mikä olikin käytännössä ainoa tapa selvittää mallien ominaispiirteet. Näidenkin laskelmien osalta Kasveneriä joutui hyödyntämään sekä tietolähteenä lähtödatan osalta että laskentavälineenä. Jälkikäteen ajatellen YTV-alueen rinnalle olisi voinut ottaa täysin maatalousvaltaisen tai muuten Kirkkonummea enemmän pääkaupunkiseudusta poikkeavan alueen. Tarkasteluvuosia olisi myös voinut olla useampi kuin nyt laskettu 2006, mutta tämä ei olisi enää mahtunut opinnäytetyön luonteen, ja tutkimukselle varatun ajan asettamiin raameihin. Joka tapauksessa ennalta työlle asetettujen tavoitteiden voidaan katsoa toteutuneen mallikkaasti.

Kuvaluettelo

Kuva 1. Säteilypakotteen arvoja.	10
Kuva 2. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden ja maapallon lämpötilan vaihtelevuus pitkällä aikavälillä.	15
Kuva 3. Hiilidioksidipitoisuuden kehitys Pallaksella.	16
Kuva 4. Euroopan vuosikeskilämpötilan vaihtelu 1850-2005.	17
Kuva 5. Ilmakehän metaanin keskiarvopitoisuus.	18
Kuva 6. Ilmakehän typpioksiduulipitoisuus viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana.	19
Kuva 7. CFC-11:n tuotanto ja päästöt maailmassa 60 vuoden aikana.	20
Kuva 8. Yleisimpien fluoriyhdisteiden pitoisuudet 1970 luvun lopulta lähtien.....	21
Kuva 9. Suomen khk-päästöt lähteittäin 2005.	28
Kuva 10. Kartta ilmastonsuojelukampanjaan liittyneistä kunnista 10.3.2008 mennessä.	31
Kuva 11. Sähkön tuotantotapojen osuudet EU-27 -alueella 2005.....	45
Kuva 12. Khk-päästöt EU-27 -maissa vuonna 2005.	45
Kuva 13. Sähköntuotannon ominaishiilidioksidipäästöt eräissä Euroopan maissa 2003.	46
Kuva 14. Pääkaupunkiseudun ja Kirkkonummen khk-päästöt vuonna 2006 eri menetelmillä laskettuna.	51
Kuva 15. Sektorikohtaiset khk-päästöt YTV-alueella ja Kirkkonummella.	55
Kuva 16. Kaukolämmön khk-päästöt alueittain.	56
Kuva 17. Kulutussähkön khk-päästöt alueittain.....	57
Kuva 18. Sähkölämmityksen khk-päästöt alueittain.	58
Kuva 19. Lämmitystarveluvut ja lämmitystarpeen korjauskertoimet Helsingissä 2000-2006.....	60
Kuva 20. Valtakunnalliset sähköntuotannon ominaispäästökertoimet 2000-2006.	62
Kuva 21. Hilma-metodissa käytettyjen lämmitystarvekorjauksen ja sähkön ominaispäästökertoimen viiden vuoden keskiarvon vaikutus tuloksiin pääkaupunkiseudulla.	64
Kuva 22. Vuonna 2006 kunnissa kulutetun sähkön alkuperä ja vastaavat päästökertoimet Kasvenerin mukaan.	65
Kuva 23. Kiinteistöjen lämmitystapaosuudet Helsingissä, Espoossa ja Kauniaisissa, Vantaalla ja Kirkkonummella.	67
Kuva 24. Kivihiilen osittaisen hakkeella korvaamisen vaikutus Helsingin khk-päästöihin.	69

Kuva 25. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen vaikutus pääkaupunkiseudun khk-päästöihin.	70
---	----

Taulukkoluetelo

Taulukko 1. Kasvihuonekaasujen eliniät ilmakehässä ja ilmastonlämmityspotentiaalit.....	11
Taulukko 2. Kioton kaasujen pitoisuuksia ilmakehässä vuosina 1998 ja 2005.....	13
Taulukko 3. Eri yhdisteiden osuus alailmakehän lämmönoususta.....	23
Taulukko 4. Hiilidioksidin päästökertoimia fossiilisille polttoaineille.	26
Taulukko 5. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon päästöjen jakotapoja.....	29
Taulukko 6. Kasvenerillä lasketut pääkaupunkiseudun tuotantoperusteiset khk- päästöt vuonna 2006.....	32
Taulukko 7. Kasvenerillä lasketut pääkaupunkiseudun kulutusperusteiset khk- päästöt vuonna 2006.....	32
Taulukko 8. Tietolähteitä.....	34
Taulukko 9. Sähkön valtakunnalliset ominaispäästökertoimet Suomessa vuosina 2000-2006.....	39
Taulukko 10. Kasvener-tulosten muokkaaminen Hilma-metodin mukaisiksi vaihe vaiheelta.....	40
Taulukko 11. Polttoaineiden eurooppalaisia PRF-keskiarvoja.....	43
Taulukko 12. Primääriresurssikertoimia, Sveitsi 1996.....	44
Taulukko 13. Vertailtavat päästökategoriat.....	48
Taulukko 14. Tutkimuskysymykset.....	50
Taulukko 15. Pääkaupunkiseudun ja Kirkkonummen khk-päästöt vuonna 2006.....	52
Taulukko 16. Lämmitystarvekorjauksen vaikutus YTV-alueen khk-päästöihin sektorikohtaisesti.	61
Taulukko 17. Sähkön valtakunnallisen ominaispäästökertoimen 5 vuoden keskiarvon vaikutus YTV-alueen khk-päästöihin sektorikohtaisesti.	63
Taulukko 18. Espoon ja Kirkkonummen sähkönkulutuksen päästöt tonneina asukasta kohti Hilmalla ja CEN:llä laskettuina.	66

Lähteet

- AFEAS 2008. Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study. Production, Sales and Emission data. CFC-11. Viitattu 10.12.2008.
http://www.afeas.org/data.php?download=emission_cfc11
- Arrhenius, S. 1896. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. Philosophical magazine and journal of science, series 5, vol. 41, huhtikuu: 237-276. Viitattu 21.10.2008.
<http://www.globalwarmingart.com/images/1/18/Arrhenius.pdf>
- Carney, S. 2008. InterMETREX project extension. Climate change/Urban change. Piloting the GRIP model at the European metropolitan level N|E|S|W and central. GRIP data requirements – full. [Word-tiedosto]. Tulostettu 6.11.2008.
- CEN 2008. Energy performance of buildings - Overall energy use and definition of energy ratings. Suomen standardoimisliitto. SFS-EN 15603:en.
- EAA 2006. European annual mean temperature deviations, 1850-2005. Viitattu 8.12.2008.
<http://dataservice.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=2513>
- EEA 2007. European Environment Agency. Greenhouse gas emission projections for 2010 in Europe (as of June 2007). Viitattu 31.10.2008.
<http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/metadetails.asp?id=1027>
- EAA 2008. European annual average temperature deviations, 1850-2007, relative to the 1850-1899 average (in °C). Viitattu 8.12.2008.
<http://dataservice.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=3472>
- Energiateollisuus 2008a. Ilmastonmuutos ja energia. Ajankohtaista esitysmateriaalia ilmastonmuutoksesta ja energiasektorista. Viitattu 31.10.2008.
<http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/ymp%c3%a4rist%c3%b6%20ja%20energians%c3%a4%c3%a4st%c3%b6/ilmastonmuutos/liitteet/tietopaketti%20ilmastonmuutoksesta.pdf?SectionUri=%2ffi%2fjulkaisut%2fymparistopooli%2ftutkimusaineisto>
- Energiateollisuus 2008b. Kaukolämpö. Yhteistuotanto. Viitattu 11.11.2008.
<http://www.energia.fi/fi/kaukolampo/yhteistuotanto>
- Euroheat & Power 2006. Ecoheatcool. Work Package 3. Guidelines for assessing the efficiency of district heating and district cooling systems. Viitattu 15.11.2008.
<http://www.euroheat.org/ecoheatcool/documents/Ecoheatcool%20WP3%20Web.pdf>
- Eurostat 2007. Gas and electricity market statistics. 2007 edition. Viitattu 31.10.2008.
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-GB-07-001/EN/KS-GB-07-001-EN.PDF
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M. & Van Dorland, R. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Cambridge, United Kingdom & New York: Cambridge University Press.

GHG Protocol 2006. Allocation of GHG Emissions from a Combined Heat and Power (CHP) Plant. Guide to calculation worksheets (September 2006) v1.0. Viitattu 10.11.2008.

http://www.ghgprotocol.org/downloads/calcs/CHP_guidance_v1.0.pdf

Haapala, J. 2008. Lumen ja jään albedo. Merentutkimuslaitos. Viitattu 30.10.2008.

http://www.fimr.fi/fi/tutkimus/ilmasto_vaikutukset/merijaan_fysiikka/albedo/fi_FI/albedo/

Helsingin Energia 2007. Vuosikertomus 2006. Yhteiskuntavastuun raportti. Viitattu 31.12.2008

http://www.helen.fi/vuosi2006/print/Helsingin_Energia_vuosikertomus_PDF.pdf

Helsingin kaupunki 2008. Helsingin kaupungin energiapoliittisia linjauksia. Selonteko kaupunginvaltuustolle 23. päivänä tammikuuta 2008. Viitattu 29.10.2008.

<http://www.hel2.fi/ajankohtaista/energiapolitiikka.pdf>

Hintsala, J. 2008. Kasvener_Helsinki_laskenta_2006. [Excel-tiedosto]. Viitattu 10.11.2008.

Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell & Johnson, C.A. (toim.) 2001. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Cambridge, United Kingdom & New York: Cambridge University Press.

Huuska, P. 2007. Esitys laskentatavan valinnasta. Liite 2. [Word-dokumentti]. Tulostettu 19.11.2008.

Huuska, P. 2008a. Kasvenerin kehittäminen. [PPT-dokumentti]. Viitattu 11.11.2008.

Huuska, P. 2008b. Vastaus sähköpostitiedusteluun 17.11.2008. Tulostettu 17.11.2008.

ICLEI 2008. Local governments for sustainability. International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol. Viitattu 10.11.2008.

http://www.iclei.org/fileadmin/user_upload/documents/Global/Programs/GHG/LGGHG_EmissionsProtocol.pdf

Ilmatieteen laitos 2008a. Hiilidioksidin ja metaanin pitoisuushavainnot. Hiilidioksidipitoisuuden kehitys Pallaksella. Viitattu 8.12.2008.

http://www.fmi.fi/ilmastonmuutos/tutkimuskohteita_8.html

Ilmatieteen laitos 2008b. Otsonia syntyy troposfäärin valokemiallisissa reaktioissa. Viitattu 14.10.2008.

http://www.fmi.fi/tutkimus_otsoni/otsoni_32.html

IPCC 2008. Intergovernmental panel on climate change. National greenhouse gas inventories programme. NGGIP Publications. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Viitattu 5.11.2008.

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>

IPCC 2006a. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 1. General Guidance and Reporting. Chapter 3. Uncertainties. Viitattu 5.11.2008.

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_3_Ch3_Uncertainties.pdf

IPCC 2006b. Emission Factor Database. Viitattu 12.1.2009.

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

- IPCC 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual (Volume 3). Energy. Pages 21-40. Viitattu 5.11.2008.
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ref2.pdf>
- Karttunen, H., Koistinen, J., Saltikoff, E. & Manner, O. 2008. Ilmakehä, sää ja ilmasto. Keuruu: Otava.
- Liikanen, J., 1999, Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon päästöjen jakaminen, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 19/1999, Energiaosasto, Helsinki.
- Merentutkimuslaitos 2008. Itämeriportaali. Tietoa Itämerestä. Ilmastonmuutos. Hiilen kierto. Viitattu 8.12.2008.
http://www.fimr.fi/fi/tietoa/ilmastonmuutos/fi_FI/hiilen_kierto/
- Merikallio, K. 2008. Suomen Kuvalehti. Ilmastonmuutos. Metaanin määrä ilmakehässä on kasvanut hälyttävän nopeasti. Viitattu 10.12.2008.
<http://www.suomenkuvalehti.fi/etusivu/terveys-ja-tiede/ilmasto/ilmastonmuutos-metaanin-maara.aspx>
- Motiva 2004. Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet. Viitattu 19.11.2008.
http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/a8a7afda7535c2d9768af49e885a4959/Laskentaohje_CO2_kohde_040622.pdf
- NOAA 2008a. National Oceanic and Atmospheric Administration. Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. Mauna Loa CO₂ monthly mean data. Viitattu 8.12.2008.
ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2_mm_mlo.txt
- NOAA 2008b. National Oceanic and Atmospheric Administration. Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Viitattu 10.12.2008.
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- NOAA 2008c. National Oceanic and Atmospheric Administration. Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index. Observations. Viitattu 10.12.2008.
http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi_2008.fig2.png
- Nordel 2006. Annual statistics 2006. Viitattu 31.10.2008.
<http://195.18.187.215/docs/4/PGINCHBBMJDLBOAGMCONJBCMPDB39DB6TW9DW3571KM/Nordel/docs/DLS/2007-00378-01-E.pdf>
- Petäjä, J. 2007. Kasvener. Kuntatason kasvihuonekaasu- ja energiatasemalli. Ohje. [Excel-tiedosto]. Viitattu 10.11.2008.
- Petäjä, J. 2008. KHK-päästölaskelmat – Kasvener. [Sähköpostiviesti]. Tulostettu 17.11.2008.
- Räisänen, J. 2008. Kasvihuoneilmio, ilmastonmuutos ja vaikutukset. Viitattu 16.10.2008.
http://www.atm.helsinki.fi/~jaraisan/kasvihuonemoniste_uusi.pdf
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R.B., Berntsen, T., Bindoff, N.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., Hegerl, G.C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B.J., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, T.F., Whetton, P., Wood, R.A. & Wratt, D. 2007. Climate Change 2007: The

Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Summary. Cambridge, United Kingdom & New York: Cambridge University Press.

Suomen kuntaliitto 2008. Ilmasto ja energia. Kartta ilmastonsuojelukampanjaan liittyneistä kunnista sekä kuntien asukasmäärät. Viitattu 10.11.2008.
<http://kunnat.net/binary.asp?path=1;29;356;1033;36689;36692;37940;102319&field=FileAttachment&version=6>

Tilastokeskus 2007. Energiatilasto 2006. Taulukot 3.2, 3.4.4 ja 6.4. [CD-ROM]. Viitattu 3.12.2008.

Tilastokeskus 2008. Energian hankinta, kulutus ja hinnat. Taulukko 2. Sähkön hankinta ja kokonaiskulutus. Viitattu 9.1.2009.
http://www.stat.fi/til/ehkh/2007/04/ehkh_2007_04_2008-03-20_tau_002.xls

Toiviainen, P. 2007. Ilmastonmuutos. Nyt. Muistiinpanoja maailmanlopusta. Keuruu: Otava.

UNEP 2007. Historical trends in carbon dioxide concentrations and temperature, on a geological and recent time scale. Viitattu 8.12.2008.
<http://maps.grida.no/go/graphic/historical-trends-in-carbon-dioxide-concentrations-and-temperature-on-a-geological-and-recent-time-scale>

UNFCCC 1997. Report of the Conference of the Parties on its third session, held at Kyoto from 1 to 11 December 1997. Part two: action taken by the conference of the parties at its third session. Viitattu 10.10.2008.
<http://unfccc.int/resource/docs/cop3/07a01.pdf>

UNFCCC 2008. GHG Data. Global Warming Potentials. Viitattu 10.12.2008.
http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php

Weart, S. 2003. The discovery of global warming. Other greenhouse gases. Viitattu 16.10.2008.
<http://www.aip.org/history/climate/othergas.htm>

Ympäristöministeriö 2001. SY473. Kansallinen ilmasto-ohjelma - Ympäristöministeriön sektoriselvitys. Helsinki: Oy Edita Ab.

Ympäristöministeriö 2006. Ympäristöministeriön moniste 166. Sähkölämmitysveron toteuttamiskelpoisuus Suomessa. Helsinki: Edita Prima Oy.

YTV 2007. Pääkaupunkiseudun ilmastostrategia 2030. Ilmastonmuutoksen hillintä keskeiseksi osaksi kaupunkien suunnittelua ja päätöksentekoa. Helsinki: Painoprisma Oy.

Liitteet

Liite 1. Kasvihuonekaasut.	87
Liite 2. Kasvener-laskennassa tarvittavat lähtötiedot.....	89
Liite 3. Primäärienergiatarkasteluun liittyviä laskutoimituksia.....	94

	Gas Name	Formula
1	SULPHUR DIOXIDE	SO ₂
2	NITROGEN OXIDES	NO _x
3	NON METHANE VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS	NM _{VOC}
4	METHANE	CH ₄
5	CARBON MONOXIDE	CO
6	CARBON DIOXIDE	CO ₂
7	NITROUS OXIDE	N ₂ O
8	AMMONIA	NH ₃
9	PARTICULATE MATTER/DUST	TSP
10	Particulate matter particles < 2,5 µm	PM _{2.5}
11	Particulate matter particles < 10 µm	PM ₁₀
12	Nitrogen Trifluoride	NF ₃
13	CH ₂ Br ₂	CH ₂ Br ₂
14	CHCl ₃	CHCl ₃
15	CH ₃ Cl	CH ₃ Cl
16	CH ₂ Cl ₂	CH ₂ Cl ₂
17	CH ₃ OCH ₃	CH ₃ OCH ₃
18	(CF ₃) ₂ CF ₂ OCH ₃	(CF ₃) ₂ CF ₂ OCH ₃
19	(CF ₃)CH ₂ OH	(CF ₃)CH ₂ OH
20	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OH	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OH
21	(CF ₃) ₂ CHOH	(CF ₃) ₂ CHOH
22	HFE-125	CF ₃ OCHF ₂
23	HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂
24	HFE-143a	CH ₃ OCF ₃
25	HCFE-235da2	CF ₃ CHClOCHF ₂
26	HFE-245cb2	CF ₃ CF ₂ OCH ₃
27	HFE-245fa2	CF ₃ CH ₂ OCHF ₂
28	HFE-254cb2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₃
29	HFE-347mcc3	CF ₃ CF ₂ CF ₂ OCH ₃
30	HFE-356pcf3	CHF ₂ CF ₂ CH ₂ OCHF ₂
31	HFE-374pc2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CH ₃
32	HFE-7100	C ₄ F ₉ OCH ₃
33	HFE-7200	C ₄ F ₉ O ₂ H ₅
34	H-Galden 1040x	CHF ₂ O ₂ CF ₂ O ₂ CF ₄ OCHF ₂
35	HG-10	CHF ₂ O ₂ CF ₂ OCHF ₂
36	HG-01	CHF ₂ O ₂ CF ₂ CF ₂ OCHF ₂
37	c-C ₃ F ₆	c-C ₃ F ₆
38	HFE-227ea	CF ₃ CHF ₂ OCF ₃
39	HFE-236ea2	CF ₃ CHF ₂ OCHF ₂
40	HFE-236fa	CF ₃ CH ₂ OCF ₃
41	HFE-245fa1	CHF ₂ CH ₂ OCF ₃
42	HFE-263fb2	CF ₃ CH ₂ OCH ₃
43	HFE-329mcc2	CF ₃ CF ₂ O ₂ CF ₂ CHF ₂
44	HFE-338mcf2	CF ₃ CF ₂ OCH ₂ CF ₃
45	HFE-347mcf2	CF ₃ CF ₂ OCH ₂ CHF ₂
46	HFE-356mec3	CF ₃ CHF ₂ CF ₂ OCH ₃
47	HFE-356pcc3	CHF ₂ CF ₂ CF ₂ OCH ₃
48	HFE-356pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CHF ₂

49	HFE-365mcf3	CF3CF2CH2OCH3
50	(CF3)2CHOCHF2	(CF3)2CHOCHF2
51	(CF3)2CHOCH3	(CF3)2CHOCH3
52	-(CF2)4CH(OH)-	-(CF2)4CH(OH)-
53	HFC-23	CHF3
54	HFC-32	CH2F2
55	HFC-41	CH3F
56	HFC-43-10mee	CF3CHFCHFCF2CF3
57	HFC-125	CHF2CF3
58	HFC-134	CHF2CHF2
59	HFC-134a	CH2FCF3
60	HFC-152a	CH3CHF2
61	HFC-143	CHF2CH2F
62	HFC-143a	CF3CH3
63	HFC-227ea	CF3CHF2CF3
64	HFC-236fa	CF3CH2CF3
65	HFC-245ca	CH2FCF2CHF2
66	CF4	CF4
67	C2F6	C2F6
68	C3F8	C3F8
69	C4F10	C4F10
70	c-C4F8	c-C4F8
71	C5F12	C5F12
72	C6F14	C6F14
73	Sulphur Hexafluoride	SF6
74	HFC-152	CH2FCH2F
75	HFC-161	CH3CH2F
76	HFC-236cb	CH2FCF2CF3
77	HFC-236ea	CHF2CHF2CF3
78	HFC-245fa	CHF2CH2CF3
79	HFC-365mfc	CF3CH2CF2CH3
80	CF3 I	CF3 I
81	DIOXINS AND FURANS	DIOX
82	POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS	PAH
83	Trifluoromethyl Sulphur Pentafluoride	SF5CF3

(IPCC 2006b).

Maatalous	
Kotieläimet	Eläinten tai eläinpaikkojen lukumäärä (kpl)
Lypsylehmät	Kanat
Emo- ja imettäjälehmät	Kananpojat
Hiehot	Kukot
Sonnit, yli 1 vuotta	Broileremot
Vasikat, alle 1 v	Broilerit
Siat	Kalkkunat
Lampaat	Muu siipikarja (mm. ankat, hanhet)
Vuohet	Porot
Hevoset	Minkit, hillerit
Maatalousmaa	Pinta-ala (ha)
Viljakasvit	Viljelykasvit (pelto)
-syysvehnä	Herne (tyypeä sitova kasvi)
-kevätvehnä	Apilansiemen (tyypeä sitova kasvi)
-ruis	Öljykasvit
-ohra	Peruna
-kaura	Sokerijuurikas
-seosvilja, korsiviljat	Avomaan vihannekset
-seosvilja, korsiviljat+palkokasvit	Suopellot
Pellot ja niiden lannoitus	
Yhdyskunnan jätevesilietteiden typpipitoisuus (kg N / t kuiva-aine)	Hernesato (tyypeä sitova kasvi) (kg/ha)
Jätevesilietteestä pelloille sijoitettava osuus (%)	Apilansiemenen sato (tyypeä sitova kasvi) (kg/ha)
Viljasato (kg/ha)	Öljykasvien sato (kg/ha)
-syysvehnä	Perunasato (kg/ha)
-kevätvehnä	Sokerijuurikkaan sato (kg/ha)
-ruis	Avomaan vihannesten sato (kg/ha)
-ohra	Maahan jätetyn oljen osuus (%)
-kaura	Viljakasvien osuus suopeltoalasta (%)
-seosvilja, korsiviljat	Heinäkasvien osuus suopeltoalasta (%)
-seosvilja, korsiviljat+palkokasvit	Väkilannoitteiden typpimäärät (kg/pelto-ha)
	Väkilannoitteiden pintalevityksen käyttöosuus (%)
	Väkilannoitteiden sijoituspaikkalevityksen käyttöosuus (%)
Kuiva/kuivikelantakäsittelyn osuus (%) (muu lietelantakäsitt.)	
Lypsylehmät	Kanat
Emo- ja imettäjälehmät	Kananpoikaset
Hiehot	Kukot
Sonnit, yli 1 vuotta	Broileremot
Vasikat, alle 1 v	Broilerit, kananpoikaset
Siat	Kalkkunat
Lampaat	Muu siipikarja (mm. ankat, hanhet)
Vuohet	Porot
Hevoset	Minkit, hillerit
	Ketut, supikoirat
Maidon tuotanto (kg/v,eläin)	
Lypsylehmät	Emo- ja imettäjälehmät

Maidon rasvapitoisuus (%)	
Teollisuusprosessit	Määrä (t)
Klinkkerin tuotanto	Vedyn tuotanto
Poltetun kalkin tuotanto	Etyleenin tuotanto
Tavallisen kalkkikiven käyttö	Koksin tuotanto
Dolomiittikalkkikiven käyttö	Sintterin tuotanto
Soodan käyttö	Raakaraudan tuotanto
Ammoniakin tuotanto	Typpihapon tuotanto
Teräksen tuotanto	
Teollisuusprosessien päästökertoimien korjauskertoimet	
Klinkkerituotannon päästökertoimen korjauskerroin	Teräksen tuotannon päästökertoimen korjauskerroin
Sementtiuunin pölypäästön korjauskerroin	Vedyn tuotannon päästökertoimen korjauskerroin
Kalkintuotannon päästökertoimen korjauskerroin	Typpihapon tuotannon päästökertoimen korjauskerroin
Kalkkikiven ja dolom.kalkkikiven käytön päästökertoimien korj.kerroin	
Energiantuotanto	
Kaukolämmön kulutus	(GWh)
Sähkönkulutus	
Sähköntuotanto	Tuotanto (t), Käyttö (t)
Ydinvoimalaitokset	Muu sähköntuotanto
Vesivoimalaitokset	Yhteensä
Tuulivoimalaitokset	
Energiantuotannon polttoaineet	(Kunkin) polttoaine-energian kulutus (GWh)
Tavalliset lauhdutusvoimalaitokset	Kaukolämpölaitokset (vesikattilat)
Huippuvoimalaitokset (vain sähköä tuottavat)	Teollisuus
Kaukolämpö- ja prosessivoimalaitokset	Rakennusten erillislämmitys
Teollisuuden prosessivoimalaitokset	Muu pa. käyttö (mm. maa- ja metsät., rak.toiminta)
Kaukolämpövoimalaitokset	
Lämmönkulutus (hyötyenergian kulutus)	(GWh)
Teollisuuden hyötyenergia	Muu kulutus (mm. maa- ja metsätal. työkoneet)
Rakennusten erillislämmitys	
Lämmöntuotanto	Nettotuotanto (GWh)
Kaukolämpölaitokset (vesikattilat)	Teollisuuden prosessivoimalaitokset
Lämpöpumput (lämmön tuotanto = lämm. kulutus)	KI_Pr-voimalaitokset
Kaukolämpövoimalaitokset	
Sähköntuotanto	Nettotuotanto (GWh)
Kaukolämpövoimalaitokset	Huippuvoimalaitokset (vain sähköä tuottavat)
Teollisuuden prosessivoimalaitokset	Tavalliset lauhdutusvoimalaitokset
Kaukolämpö- ja prosessivoimalaitokset	
Kaukolämmön kulutuksen jakautuma (GWh)	
Teollisuusrakennukset (GWh)	Muu kulutus (GWh)
Asuinrakennukset (GWh)	
Kaukolämmityksen muun kulutuksen jakautuma (%)	
Kunnan rakennusten osuus (%)	Palvelusektorin rakennusten osuus (%)
Muiden julkisten rakennusten osuus (%)	
Sähkönkulutuksen jakautuma (GWh)	
Yksityinen (GWh)	Edellisiin sisältyvä sähkölämmitys yhteensä (GWh)
Maatalous (tuotanto- ja yksityiskulutus) (GWh)	Suurteollisuus (joka tuottaa myös itse sähköä) (GWh)

Julkinen sektori (GWh)	Teollisuus (jolla ei ole omaa sähköntuotantoa) (GWh)
Palvelusektori (GWh)	
Sähkölämmityksen (GWh) jakautuma	
Kunnan rakennusten osuus (%)	Asuinrakennusten osuus (%)
Muiden julkisten rakennusten osuus (%)	Maatalousrakennusten (tuotantotoiminta) osuus (%)
Palvelusektorin rakennusten osuus (%)	
Maatalouden sähkönkulutuksen (GWh) jakautuma	
Tuotantotoiminnan (tuotantorakennukset ja -koneet) osuus (%)	Yksityisen kulutuksen (kotitaloudet ja asuinrak.) osuus (%)
Julkisen sektorin sähkönkulutuksen (GWh) jakautuma	
Kunnan oman kulutuksen osuus (%)	Muun julkisen kulutuksen osuus (%)
Kaukolämpövoimalaitosten tuotannon jakoperusteet	
Onko kuntaan k-lämpöä tuottava laitos omassa kunnassa (1 tai 0)	Omaan kuntaan tuleva osuus laitoksen k-lämmöntuotannosta (%)
Kaukolämpö- ja prosessivoimalaitosten tuotannon jakoperusteet	
Kaukolämmön osuus laitoksen koko lämmöntuotannosta (%)	Omaan kuntaan tuleva osuus laitoksen k-lämmöntuotannosta (%)
Onko kuntaan k-lämpöä tuottava laitos omassa kunnassa (1 tai 0)	
Kaukolämpölaitosten tuotannon jakoperusteet	
Onko kuntaan k-lämpöä tuottava laitos omassa kunnassa (1 tai 0)	Omaan kuntaan tuleva osuus laitoksen k-lämmöntuotannosta (%)
Vesivoimalaitosten sähköntuotannon (GWh) jakautuma	
Valtakunnallisten voimalaitosten osuus (%)	Muiden paikallisten voimalaitosten osuus (%)
Paikallisen teollisuuden voimalaitosten osuus (%)	
Tuulivoimalaitosten sähköntuotannon (GWh) jakautuma	
Valtakunnallisten voimalaitosten osuus (%)	Muiden paikallisten voimalaitosten osuus (%)
Paikallisen teollisuuden voimalaitosten osuus (%)	
Huippuvoimalaitosten sähköntuotannon (GWh) jakautuma	
Valtakunnallisten voimalaitosten osuus (%)	Muiden paikallisten voimalaitosten osuus (%)
Paikallisen teollisuuden voimalaitosten osuus (%)	
Paikalliset sähkön (siirto- ja) jakeluhäviöt	
Häviöt sähköä tuottavan (suur)teollisuuden kulutuksessa (%)	Häviöt muussa sähkönkulutuksessa (%)
Kaukolämmön satunnainen nettotuonti tai nettovienti	
Viennin osuus kunnan kaukolämmön tuotannosta (%)	Tuonnin osuus kunnan kaukolämmön tuotannosta (%)
Rakennuskanta	Kerros-pinta-ala (1000 m ²)
Asuinrakennukset	Liike-, palvelu- ja varastorakennukset
Maatalouden tuotantorakennukset	Teollisuusrakennukset
Kunnan rakennukset	Sektoreittain erittelemättömät rakennukset
Muut julkiset rakennukset	
Jätteiden käsittely	
Kaatopaikat	
-kiinteä yhdyskuntajäte	Yhdyskuntien jätevedet
-rakennusjäte (ei maamassat)	-tuleva BHK7-kuorma puhdistamolle
-teollisuuden kiinteä jäte (ei kaivosjäte)	-vesistöön johdettu tyyppikuorma
-yhdyskuntalietteet (ka.määrä)	-jätevesilietteiden kokonaismäärä (t kuiva-ainetta)
-teollisuuden lietteet (ka.määrä)	Teollisuuden jätevedet
Kompostointi	-tuleva COD-kuorma puhdistamolle

-biojäte, yhdyskunnat, laitoskompostointi	-vesistöön johdettu typpikuorma
-biojäte, kotikompostointi	Kalankasvatuksen typpikuorma vesistöön
-biojäte, teollisuus	
-yhdyskuntajätevesiliete (ka. määrä)	
-jätevesiliete, teollisuus (ka. määrä)	
Yhdyskuntajätteiden (t) alkuperä	
Kulutussektoreittain erittelemätön osuus (%)	Muun julkisen sektorin osuus (%)
Kotitalouksien osuus (%)	Palvelusektorin osuus (%)
Kunnan osuus (%)	Teollisuuden osuus (%)
Rakennusjätteen (t) alkuperä	
Kulutussektoreittain erittelemätön osuus (%)	Muun julkisen sektorin osuus (%)
Kotitalouksien osuus (%)	Palvelusektorin osuus (%)
Kunnan osuus (%)	Teollisuuden (rakennustoiminnan) osuus (%)
Yhdyskunnan jätevesien BHK:n (t) alkuperä	
Kulutussektoreittain erittelemätön osuus (%)	Muun julkisen sektorin osuus (%)
Kotitalouksien osuus (%)	Palvelusektorin osuus (%)
Kunnan osuus (%)	Teollisuuden osuus (%)
Metaanin korjauskerroin (hoidetut kaatopaikat 1,0; mattomat, syvyys>5 m 0,8; hoitamattomat, syvyys<5 m)	
Metaanin talteenotto kaatopaikalta	
Talteenottomäärä (% muodostuvasta metaanista)	Talteenoton alkamis- ja päättymisvuosi (HUOM! eril. sarakajaottelu)
Kaatopaikan käyttövuodet (HUOM! Erilainen sarakajaottelu)	
Kaatopaikalla ko. jätteiden vastaanoton alkamisen vuosiluku	Kaatopaikalla ko. jätteiden vastaanoton loppumisen vuosiluku
Kompostoinnin tukiaineosuudet (%)	
Biojäte, yhdyskunnat, laitoskompostointi	Yhdyskuntajätevesiliete
Biojäte, kotikompostointi	Jätevesiliete, teollisuus
Biojäte, teollisuus	
Yhdyskuntien jätevedet	
Jäteveden tulevasta BHK-kuormasta hajoavaa osuutta (%)	Proteiinin kulutus (kg/henk,v)
Anaerobisen jätevesikäsittelyn osuus (%)	Laitospuhdistuksen osuus (% asukkaista)
Anaerobisessa jätevesikäsittelyssä metaanin vuoto-osuus (%)	Jäteveden käsittelyn osuus haja-asutusalueilla (% asukkaista)
Aerobisen käsittelyn anaerobisen hajoamisen osuus (%)	
Teollisuuden jätevedet	
Jäteveden tulevasta COD-kuormasta hajoavaa osuutta (%)	Anaerobisessa jätevesikäsittelyssä metaanin vuoto-osuus (%)
Anaerobisen jätevesikäsittelyn osuus (%)	Aerobisen käsittelyn anaerobisen hajoamisen osuus (%)
Liikenne	
Henkilöautot, pakettiautot, Linja-autot, Kuorma-autot, Laivat, Junat, Lentokoneet	
Kullekin ajoneuvotyyppille erikseen	Energialähteiden käyttö (GWh) polttoaineittain
Ajosuorite (milj. km)	Hiilimonoksidin päästöt (t)
Hiilidioksidin päästöt (1000 t)	Hiukkasten päästöt (t)
Metaanin päästöt (t)	Rikkidioksidin päästöt (t)
Typpioksiduulin päästöt (t)	Typen oksidien päästöt (t)
Henkilöautojen kulutuksen (GWh) jakautuma	
Kulutussektoreittain erittelemätön osuus (%)	Muun julkisen sektorin osuus (%)

Kotitalouksien osuus (%)	Palvelusektorin osuus (%)
Kunnan osuus (%)	Teollisuuden osuus (%)
Pakettiautojen kulutuksen (GWh) jakautuma	
Kulutussektoreittain erittelemätön osuus (%)	Muun julkisen sektorin osuus (%)
Kotitalouksien osuus (%)	Palvelusektorin osuus (%)
Kunnan osuus (%)	Teollisuuden osuus (%)
Linja-autojen kulutuksen (GWh) jakautuma	
Kulutussektoreittain erittelemätön osuus (%)	Palvelusektorin osuus (%)
Kunnan osuus (%)	
Kuorma-autojen kulutuksen (GWh) jakautuma	
Kulutussektoreittain erittelemätön osuus (%)	Palvelusektorin osuus (%)
Kunnan osuus (%)	Teollisuuden osuus (%)
Muun julkisen sektorin osuus (%)	

(Petäjä 2007).

CEN Helsinki 2006.

The inputs to the calculation are:

- $Q_{F,i}$ Fuel (final energy) input to the heating plants and to the cogeneration plants within the considered system within the considered period (usually one year). The amount of this energy is measured at the point of delivery.
- $Q_{CHP,ext}$ Heat delivery to the considered system from external cogeneration power plants.
- $f_{P,F,i}$ Primary resource factor of the fuel (final energy) inputs.
- W_{CHP} Electricity production of the cogeneration plants of the considered system.
- $f_{P,elt}$ Primary resource factor of electrical power. This factor is given by the European average - in accordance to principles laid down in annex III of Directive 2004/08/EC - cf Figure 3.
- $Q_{C,i}$ Heat energy consumption measured at the primary side of the substations of the supplied customers within the period of interest (usually one year).

The result of the calculation is the primary resource factor $f_{P,DH}$ of the considered district heating system.

CHP / kaukolämpö		$Q_{F,i}$	$f_{P,F,i}$	tulo
polttoaineet	hiili	7 406,0	1,2	8887,2
	öljy	70,8	1,1	77,88
	maakaasu	8 770,0	1,1	9647
	biomassa	51,0	0,1	5,1
yht.				18617,2
		W_{CHP}	$f_{P,elt}$	tulo
CHP / sähköntuotanto		6 356,9	2,5	15892,3
		$Q_{C,i}$		
kaukolämmön kulutus		6596,6		

$$f_{P,DH} = \frac{\sum_i Q_{F,i} \cdot f_{P,F,i} - W_{CHP} \cdot f_{P,elt}}{\sum_j Q_{C,i}} = 0,413$$

kaukolämmön päästö-
kerroin (Kasvener) 321,8 $\bar{\theta}$ ominaispäästöt = 132,9 g/kWh

(Euroheat & Power 2006).

CEN Helsinki 2006
Erillislämmitys

Normaalitilanne:

	$Q_{F,i}$	$f_{p,F,i}$	tulo
öljy	440	1,1	484
puu	19,8	0,1	1,98
yht.			485,98 GWh

$$pk = 305,9 \text{ t/GWh} \quad \bar{\Theta} \quad \text{päästöt} = 148,7 \quad 1000 \text{ t CO}_2\text{-ekv.}$$

Öljy korvattu puulla:

	$Q_{F,i}$	$f_{p,F,i}$	tulo
öljy	0	1,1	0
puu	459,8	0,1	45,98
yht.			45,98 GWh

$$pk = 305,9 \text{ t/GWh} \quad \bar{\Theta} \quad \text{päästöt} = 14,1 \quad 1000 \text{ t CO}_2\text{-ekv.}$$

(pk = päästökerroin)

$$\text{päästövähennys} \quad 91 \%$$